

音とグラフ

～物体の固有振動数および音波の振動数に関する数理的考察と物体の強度に関する関連性～

研究者 市野桃音 竹田美波 松澤恭介 南澤哲輝
指導教諭 蟻川修史

1. 研究概要および目標

声でワイングラスを破壊する実験を見て共振現象について興味を持ち、ワイングラス以外の物も音で破壊することが出来るのか疑問に思い研究を行った。また、音の波形は全て単純な sin 波の合成からなることを知り、本当にそうなるのかフーリエ級数展開を用いて音波を数式で表し調べようと考えた。

2. 研究内容・研究方法

研究1：様々な楽器の振動数をデジタルオシロスコープで測定し、グラフの数式化およびその分類を行う。

ユーフォニアム、テナーサクソをはじめ、様々な楽器の振動数をデジタルオシロスコープ (owon 社製 VDS6000 高分解能高感度 PC ベースデジタルオシロスコープ 任意波形発生器) により調査し、数式として分類する。

研究2：音波による物体破壊 (共振現象) について調べる。

比較的壊れ易いと考えたチョーク、寒天を用いて実験を行う。同じ物体どうしを叩いて出た音の振動数とその物体の固有振動数とみなし、その振動数と同じ振動数をもつ音を物体に当て物体の様子を観察する。

3. 研究結果・考察

[研究1]

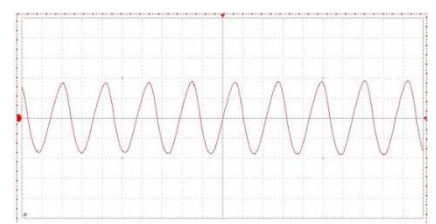
以下は、テナーサクソ (チューニング bb) (図1), テナーサクソ (Gis) (図2), ユーフォニアム (hi b b) (図3), ユーフォニアム (チューニング bb) (図4) ユーフォニアムマウスピース (図5), チューナー (図6) の各音波の波形をオシロスコープにて読み込んだものである。波形が同じになるかどうかを確認するため、条件を同じくして各5回データをとり確認した。そのうちの1回を以下に示す。(M 1.0ms/div T 0.0ns D 1k S 50.00kS/s)



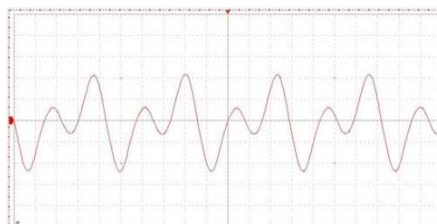
(図1) テナーサクソ (チューニング bb)



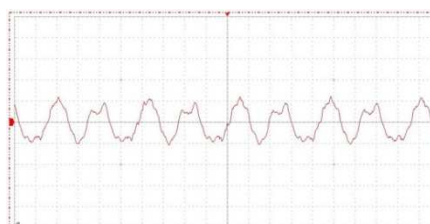
(図2) テナーサクソ (Gis)



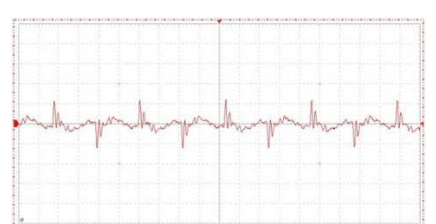
(図3) ユーフォニウム (hi b b)



(図4) ユーフォニウム (チューニング bb)



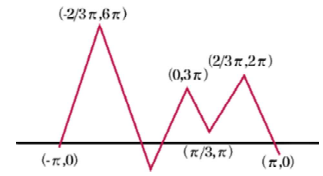
(図5) ユーフォニアムマウスピース



(図6) チューナー

吹く加減によっては多少の違いが出てくるが、それぞれの楽器についてほぼ同じような波形がみられた。

続いて、テナーサックス (Gis) グラフの数式化を試みた。見た目からだけではグラフの数式化は困難と考え、テナーサックス音波のグラフに直線のグラフを重ね、近似グラフを作成しそれをフーリエ級数にて近似して式を作成した。右が重ねて合わせた直線のグラフである。計算のしやすさも考えながらグラフを作成した。周期 2π のフーリエ級数展開は以下の式で与えられる。



グラフ (1)

$$f(x) \sim \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos nx + b_n \sin nx) \quad (a_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \cos nx dx, b_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \sin nx dx, (n=0,1,2,3\dots))$$

$$\left[-\pi, -\frac{2}{3}\pi\right] \text{ の範囲では, } y = 18x + 18\pi, \quad \left[-\frac{2}{3}\pi, -\frac{\pi}{3}\right] \text{ の範囲では, } y = -27x - 12\pi,$$

$$\left[-\frac{\pi}{3}, 0\right] \text{ の範囲では, } y = 18x + 3\pi, \quad \left[0, \frac{\pi}{3}\right] \text{ の範囲では, } y = -6x + 3\pi$$

$$\left[\frac{\pi}{3}, \frac{2}{3}\pi\right] \text{ の範囲では, } y = 3x, \quad \left[\frac{2}{3}\pi, \pi\right] \text{ の範囲では, } y = -6x + 6\pi \text{ で近似の直線グラフを作成した。}$$

$a_n b_n$ の総和

$$a_n = \frac{54}{n^2\pi} \cos \frac{2}{3}n\pi - \frac{54}{n^2\pi} \cos \frac{n}{3}\pi - \frac{24}{n^2\pi} \cos n\pi + \frac{24}{n^2\pi} \quad (1)$$

$$b_n = -\frac{36}{n^2\pi} \sin \frac{2}{3}n\pi + \frac{36}{n^2\pi} \sin \frac{n}{3}\pi - \frac{3}{n} \quad (2)$$

(1), (2) より, 上記グラフ (1) はフーリエ級数展開により次のように近似できる。

$$f(x) \sim \frac{7}{6}\pi + \sum_{n=1}^{\infty} \left(\left(\frac{54}{n^2\pi} \cos \frac{2}{3}n\pi - \frac{54}{n^2\pi} \cos \frac{n}{3}\pi - \frac{24}{n^2\pi} \cos n\pi + \frac{24}{n^2\pi} \right) \cos nx + \left(-\frac{36}{n^2\pi} \sin \frac{2}{3}n\pi + \frac{36}{n^2\pi} \sin \frac{n}{3}\pi - \frac{3}{n} \right) \sin nx \right) \quad (3)$$

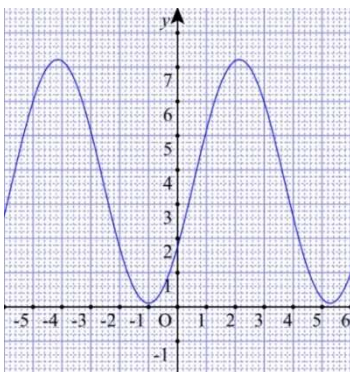
(3) 式に n の値を代入した結果は以下の通りである。

$$n=1 \text{ のとき } y = \frac{7}{6}\pi - \frac{6}{\pi} \cos x + 3 \sin x \quad (4)$$

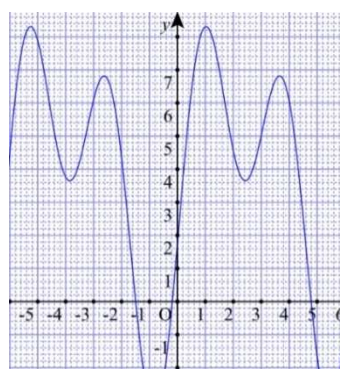
$$n=2 \text{ のとき } y = \frac{7}{6}\pi - \frac{6}{\pi} \cos x + 3 \sin x + \left(\frac{9\sqrt{3}}{\pi} - \frac{3}{2} \right) \sin 2x \quad (5)$$

$$n=3 \text{ のとき } y = \frac{7}{6}\pi - \frac{6}{\pi} \cos x + 3 \sin x + \left(\frac{9\sqrt{3}}{\pi} - \frac{3}{2} \right) \sin 2x + \frac{52}{3\pi} \cos 3x - \sin 3x \quad (6)$$

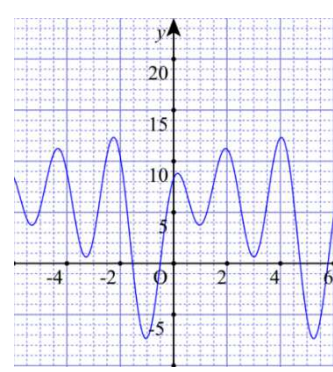
(4) ~ (6) 式のグラフを作成した。



(4) 式のグラフ



(5) 式のグラフ



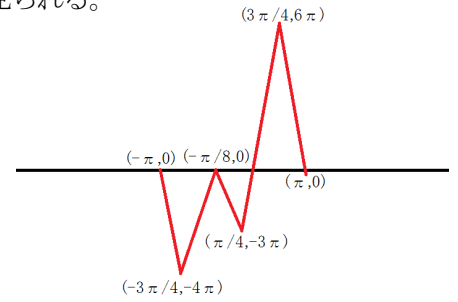
(6) 式のグラフ

n の値が増えるにしたがって、(グラフ1) の状態に近づいていく様子が見られる。

(図1) の周期関数に近づけることができた。

次に、ユーフォニアム音波 (チューニング bb) の数式化を行った。

テナーサクソ音波と同様、音波グラフに直線のグラフを重ね、近似グラフを作成しそれをフーリエ級数にて近似して式を作成した。グラフ (2) が重ねて合わせた直線のグラフである。



(グラフ 2)

$$\left[-\pi, -\frac{4}{3}\pi\right] \text{ の範囲では, } y = -16x - 16\pi, \left[-\frac{4}{3}, -\frac{\pi}{8}\right] \text{ の範囲では, } y = \frac{32}{5}x + \frac{4}{5}\pi,$$

$$\left[-\frac{\pi}{8}, \frac{\pi}{4}\right] \text{ の範囲では, } y = -8x - \pi, \left[\frac{\pi}{4}, \frac{3}{4}\pi\right] \text{ の範囲では, } y = 18x - \frac{15}{2}\pi,$$

$$\left[\frac{3}{4}\pi, \pi\right] \text{ の範囲では, } y = -24x + 24\pi \text{ で近似の直線グラフを作成した。}$$

$a_n b_n$ の総和

$$a_n = \frac{98}{5n^2\pi} \cos \frac{3}{4}n\pi + \frac{72}{5n^2\pi} \cos \frac{n}{8}\pi - \frac{26}{n^2\pi} \cos \frac{n}{4}\pi - \frac{8}{n^2\pi} \cos n\pi \quad (7)$$

$$b_n = \frac{258}{5n^2\pi} \sin \frac{3}{4}n\pi - \frac{26}{n^2\pi} \sin \frac{n}{4}\pi + \frac{8}{5n^2\pi} \sin \frac{n}{8}\pi \quad (8)$$

(7), (8) より, 上記グラフ (1) はフーリエ級数展開により次のように近似できる。

$$f(x) \sim \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \left(\left(\frac{98}{5n^2\pi} \cos \frac{3}{4}n\pi + \frac{72}{5n^2\pi} \cos \frac{n}{8}\pi - \frac{26}{n^2\pi} \cos \frac{n}{4}\pi - \frac{8}{n^2\pi} \cos n\pi \right) \cos nx \right. \\ \left. + \left(\frac{258}{5n^2\pi} \sin \frac{3}{4}n\pi - \frac{26}{n^2\pi} \sin \frac{n}{4}\pi + \frac{8}{5n^2\pi} \sin \frac{n}{8}\pi \right) \sin nx \right) \quad (9)$$

(9) 式に n の値を代入した結果は以下の通りである。

$n=1$ のとき

$$y = \frac{-228 - 40\sqrt{2} + 36\sqrt{2\sqrt{2} + 4}}{5\sqrt{2}\pi} \cos x + \frac{128 + 4\sqrt{4 - 2\sqrt{2}}}{5\sqrt{2}\pi} \sin x \quad (10)$$

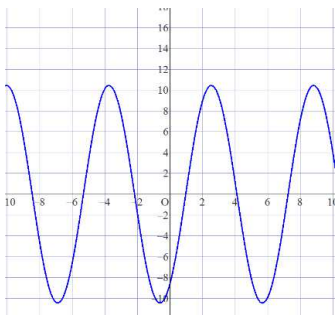
$n=2$ のとき

$$y = \frac{-228 - 40\sqrt{2} + 36\sqrt{2\sqrt{2} + 4}}{5\sqrt{2}\pi} \cos x + \frac{128 + 4\sqrt{4 - 2\sqrt{2}}}{5\sqrt{2}\pi} \sin x \\ + \frac{18 - 10\sqrt{2}}{5\sqrt{2}\pi} \cos 2x + \frac{-388 + 4\sqrt{2}}{20\pi} \sin 2x \quad (11)$$

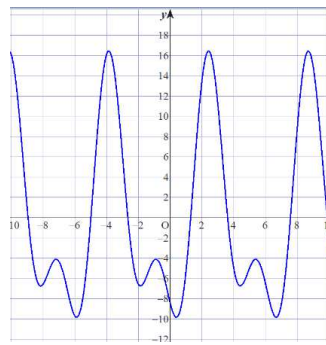
$n=3$ のとき

$$y = \frac{-228 - 40\sqrt{2} + 36\sqrt{2\sqrt{2} + 4}}{5\sqrt{2}\pi} \cos x + \frac{128 + 4\sqrt{4 - 2\sqrt{2}}}{5\sqrt{2}\pi} \sin x + \frac{18 - 10\sqrt{2}}{5\sqrt{2}\pi} \cos 2x \\ + \frac{-388 + 4\sqrt{2}}{20\pi} \sin 2x + \frac{-32 + 40\sqrt{2} + 36\sqrt{4 - 2\sqrt{2}}}{45\sqrt{2}\pi} \cos 3x + \frac{128 + 4\sqrt{4 + 2\sqrt{2}}}{45\sqrt{2}\pi} \sin 3x \quad (12)$$

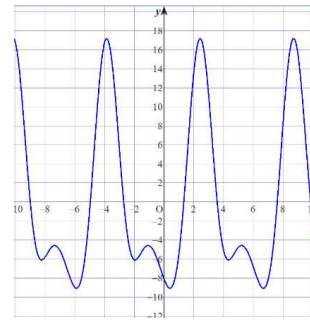
(10) ~ (12) 式のグラフを作成した。



(10) 式のグラフ



(11) 式のグラフ



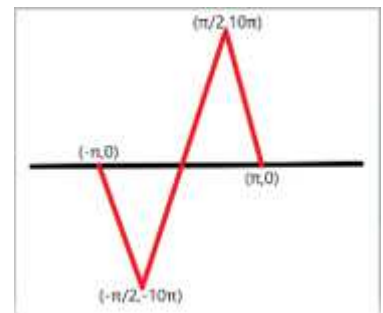
(12) 式のグラフ

n の値が増えるにしたがって、(グラフ 2) の状態に近づいていく様子が見られる。

ただし、 a_0 の値は、縦に平行移動するのみなので省略した。

(図 3) の周期関数に近づけることができた。

さらに、ユーフォニアム音波 (hi b b) の数式化を行った。
テナーサクソ音波と同様、音波グラフに直線のグラフを重ね、
近似グラフを作成しそれをフーリエ級数にて近似して式を作成
した。グラフ (3) が重ねて合わせた直線のグラフである。



(グラフ 3)

$\left[-\pi, -\frac{\pi}{2}\right]$ の範囲では、 $y = -20x - 20\pi$, $\left[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right]$ の範囲では、 $y = 20x$,

$\left[\frac{\pi}{2}, \pi\right]$ の範囲では、 $y = -20x + 20\pi$ で近似の直線グラフを作成した。

$a_n b_n$ の総和

$$a_n = 0 \tag{13}$$

$$b_n = \frac{80}{n^2 \pi} \sin \frac{n}{2} \pi \tag{14}$$

(13) , (14) より、上記グラフ (1) はフーリエ級数展開により次のように近似できる。

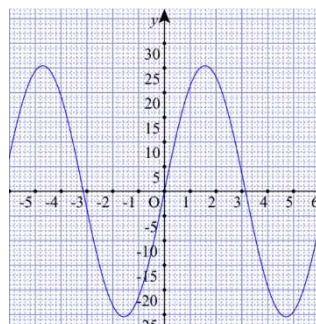
$$f(x) \sim \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{80}{n^2 \pi} \sin \frac{n}{2} \pi \right) \sin nx \tag{15}$$

(15) 式に n の値を代入した結果は以下の通りである。

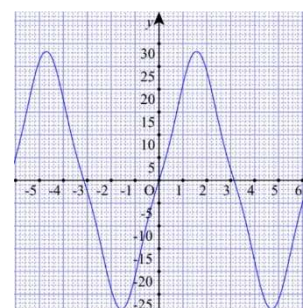
$$n = 1 \text{ のとき } \quad y = \frac{80}{\pi} \sin x \tag{16}$$

$$n = 3 \text{ のとき } \quad y = -\frac{80}{9\pi} \sin 2x \tag{17}$$

(16) , (17) 式のグラフを作成した。



(16) 式のグラフ



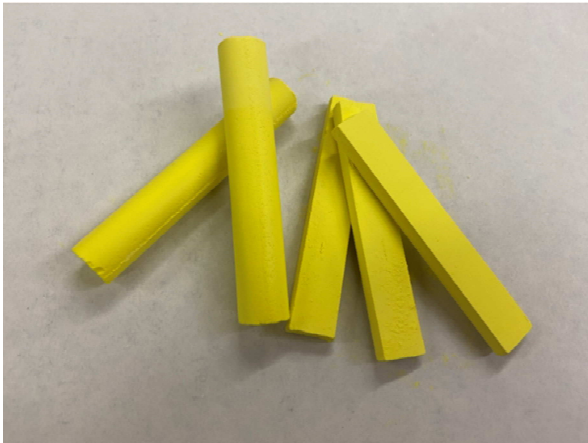
(17) 式のグラフ

ユーフォニアム (hai b b) のグラフがそもそも正弦波に近い波形であったため (16) のグラフが元の波形 (図 4) に近い波形グラフとなった。

完全に合致しているということとはできないが、周期関数として近似できたと考えられる。また、 $n=1$ 、 $n=2$ 、 $n=3$ とすることにより、 n の値が「3」のとき、各音波の波形に近づけることができたように考えられる。(ユーフォニアム (hai b b) では $n=1$ のとき)

[研究2]

まず、通常チョークおよび加工チョーク (写真1)、寒天ゼリー (写真2) の固有振動数を、オシロスコープを用いて調べた。加工チョークは、円形のものと比較分析するため長方形の形になるように加工して分析を行った。

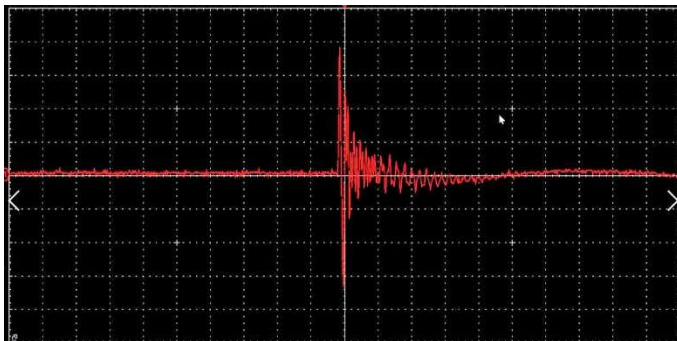


通常チョークおよび加工チョーク (写真1)

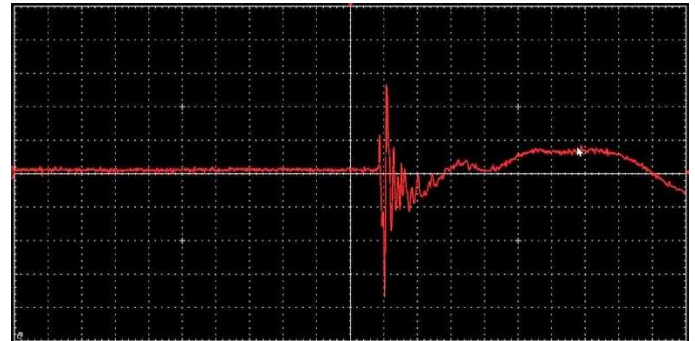


作成した寒天ゼリー (写真2)

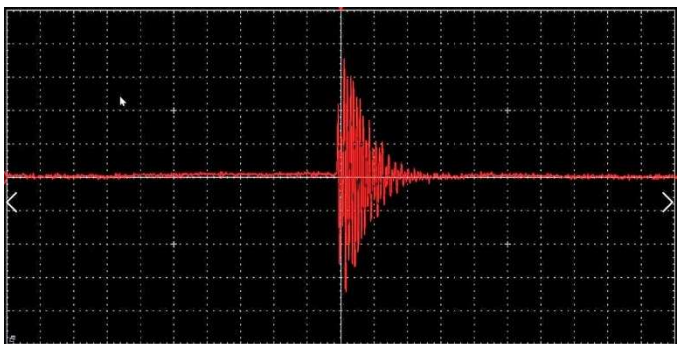
(図7) ~ (図10) は、通常、加工チョークをそれぞれにて叩いたとき、折れたときにそれぞれ発生する波形をオシロスコープにて読み取ったものである。



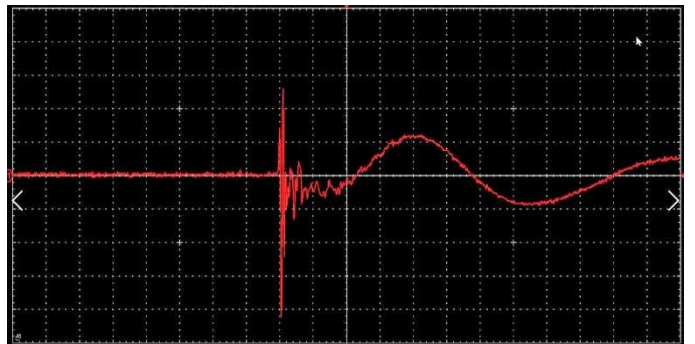
通常チョークどうしで叩いたときに出る波形 (図7)



通常チョークが折れたときに出る波形 (図8)



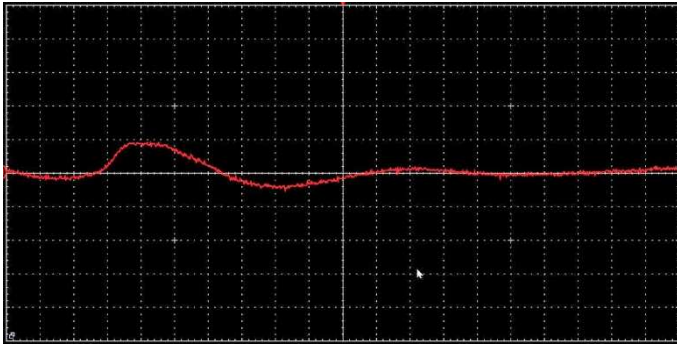
加工チョークどうしで叩いたときに出る波形 (図9)



加工チョークが折れたときに出る波形 (図10)

通常チョークおよび加工チョークでは、叩くと高い音が発生するため、振動数も高く横に短い波形が観測された。チョークが折れたときに観測される波形に関しては、円形のチョークよりも角柱形に加工されたチョークのほうが幅の狭いグラフが観測された。

また、以上の測定より発生した振動を固有振動数と同じ振動数の音波をチョークにあてることによりどのような影響を及ぼすのかを調べた。スマートフォンのアプリ（楽器チューナーLite）にて同じ振動数の音を作成し、物体に音波をあてることにより音波が物体に及ぼす影響について調査したが、スマートフォンの音波が微弱であることから、チョークにはっきりと目立つ振動を与えることができなかった。



寒天どうしで叩いたときに出る波形（図 11）

寒天ゼリーでは、鈍い音が発生し、振動数も低く横に広い波形が観測された。寒天ゼリーは微少な振動を与えることができていた様子もあるが、大きな振動の観測には至らなかった。

ガラスのような固い物体ではなく、崩れやすいものを使用して実験を行ったが、ガラスのような固い材質であり丸い形のほうが、振動をより与えることができたのではないかと考えている。スマートフォンの音よりも大きい音での検討やより精密な振動の測定が必要であると感じている。

5. まとめ

デジタルオシロスコープによる音波の観測からはじめ、近似、フーリエ級数展開を利用して三角関数でグラフを数式化することができた。テナーサクソやユーフォニアムなどの楽器から発生する音波を数式化して目に見える形にすることができた。振動に関しては、スマートフォンによる微弱な音波では振動数をそろえても、物体に破壊を及ぼすような振動を与えることはできなかった。今後、物質の違いや与える音波の状況による違いも検討するなど研究を続けていきたい。楽器とスマートフォンの電子音の波形、振動数をそろえることにより、スマートフォンでも楽器と同じように音は聞こえることが分かった。また、今回の研究では、音波のグラフについて直線グラフで近似して、フーリエ級数展開を行ってグラフの式化を行ったが、見た目上のグラフ化はできたものの数学的厳密さには弱さが残るため、今後さらにグラフから正確に式を見出せるかについて検討したいとともに、詳細な分類を試みたいと考えている。グラフから、「音」を作成し、聞いたところある程度は同じ音が聞こえたが理論づけが不十分であることを感じた。また、固有振動数の波形を調べ、音波による振動を与えて物体にどのような影響があるのかを分析したが、目立った破壊にはつながらなかった。物体と音波による影響に関して今後さらに理論的追究を果たしたいと考えている。

引用・参考文献

改訂版 物理基礎 國友正和ほか 数研出版株式会社 2016 年

改訂版 高等学校 数学Ⅲ 岡部恒治ほか 数研出版株式会社 2018 年

応用数学 田河生長（代表） 大日本図書株式会社 2001 年

GRAPES <https://tomodak.com/grapes/>

理工学者が書いた数学の本 フーリエ解析 江沢洋 講談社 1987 年

鐘のうなりにおける考察 屋代高等学校理数科課題研究 平成 20 年度

渋滞の発生と解消

～簡易モデルを用いた渋滞吸収走行の検証～

研究者 松山龍紀 北村康稀 藤井克樹 北澤花恋 長谷川梨央

指導者 丸山博史

1. 研究の目的と概要

近年、自動車の増加に伴って各地で交通渋滞が発生し、遅延による時間の損失、交通事故の誘発、エネルギーロスなど人々の生活に様々な悪影響を及ぼしている。そこで、渋滞現象を解明し、そのモデルを表す手法が提案されてきた。また、解決策として、個々に走行する車両の速度を制御することで渋滞を防止・緩和する研究がされている。私たちはこの先行研究の1つである“渋滞吸収走行”について調査し、シミュレーションを通してその有効性を検証した。

2. 先行研究の分析

渋滞の原因

渋滞は交通流において、複数の車両が連なって走行する際、前方の車両が無意識に減速し、その減速が後方に伝播するにつれて増幅し、後方になればなるほど低速走行もしくは停止せざるを得なくなるために起こる。主な発生場所は“サグ部”と呼ばれる道路が下り坂から上り坂に変わる凹構造を持つ場所が6割以上を占めており、この他にも接続道路やインターチェンジ、トンネルなど無意識に減速してしまう場所や必然的に減速が強いられる場所が中心である。

渋滞の定義

渋滞吸収走行を検証する上で渋滞そのものの定義付けを把握するために各高速道路管理会社における定義を調べた。以下に一例を示す。

NEXCO 各社：時速 40km 以下で低速走行あるいは停止・発進を
繰り返す車列が 1km 以上かつ 15 分以上継続した状態
阪神高速：時速 30km 以下

このように、渋滞の定義は高速道路管理会社によってそれぞれ異なることが分かった。そこで、先行研究における定義を調べたところ、渋滞基本図（図1）というものがあることが分かった。図1より低密度領域では交通密度と交通流量は比例関係にあり、車の流れがスムーズであると分かる。ところが、臨界密度と呼ばれる25台/km付近を超えると、密度の増加に伴い流量が減少し、同時にデータ点が広がることから渋滞が発生していることが分かる。以上

より先行研究では、「密度が臨界密度よりも大きくなった点」が渋滞であると定義していた。

さらに調べたところセルオートマトンモデル (図2) というものがあつた。このモデルは格子状のセルで構成され、各セルの内部の状態は時間の経過とともに変化し、その変化はセル自身または隣接するセルの内部状態によって決定される。

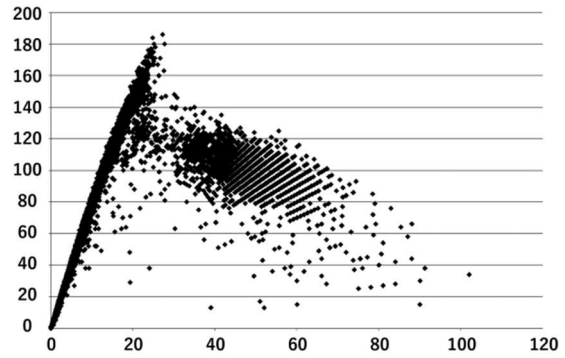


図 実測基本図の例 (中央自動車道, 上り相模湖付近). 横軸が密度 (台/km) で縦軸が流量 (台/5分) を表す

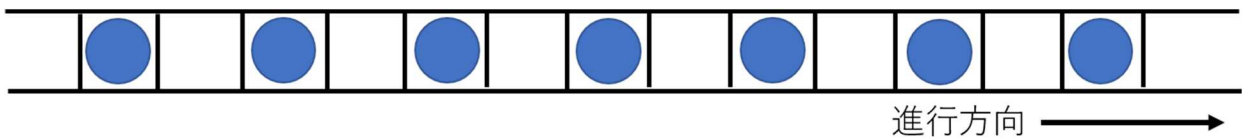
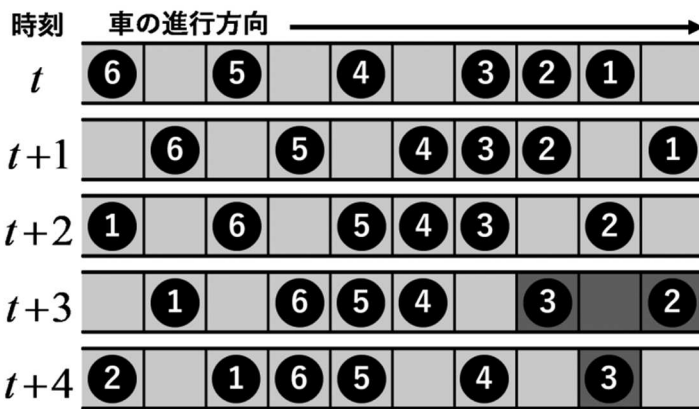


図 2

先行研究ではこのセルオートマトンモデルを用いて渋滞をモデル化し、“ルール184”という時間更新におけるルールに基づいて渋滞のメカニズムが検証された。(図3) このルールでは、1つのセルに位置できる車両は1台であり、時間更新は離散的に一定秒毎に行う。基本的に1回の時間更新で1セル前進する。1つ前のセルに車両が存在



しなかった場合、その車両は次の時間更新で1セル前進できるが、存在した場合には次の時間更新で前進することができない。ルール184に基づいて渋滞を検証すると、図3のように渋滞流の規模は変化せず、渋滞流は車両の進行方向に対して反対向きに流れることがわかる。

図 3 出展 武蔵野大学工学部

渋滞吸収走行

渋滞吸収走行とは渋滞に加わる車両数を減らすための走行法である。あらかじめ十分な車間距離をとって走行し、渋滞の最後尾に追いつかないように速度を抑え、車間距離を詰めすぎないようにすることで、渋滞を緩和・解消することができる。先行研究ではセルオートマトンモデルを用いてルール184の下で検証された。(図4)

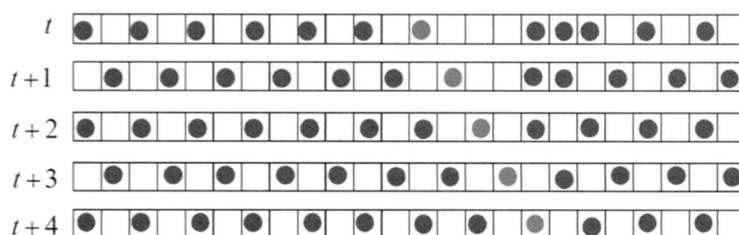


図 4

出典 東京大学先端科学技術研究センター

渋滞吸収走行の実証例

2009年3月15日に中央道上り線小仏トンネル付近に発生した約2kmの渋滞流における渋滞吸収走行の社会実験が映像とともに公開されている。この実験では8台の吸収車両が相模湖IC付近から時速70kmで一定の車間距離（約40m）を保ちながら走行し、渋滞最後尾が見え始めた時点で減速し車間距離を詰めすぎないように走行した。（図5）この実験の結果、渋滞吸収隊各車の平均速度が上昇し、後方の車両ほど渋滞の影響を受けていないことが分かった。また、渋滞地点での平均速度は渋滞吸収隊通過後に回復した。これらの結果から渋滞吸収走行に有効性があることが実証された。（図6）

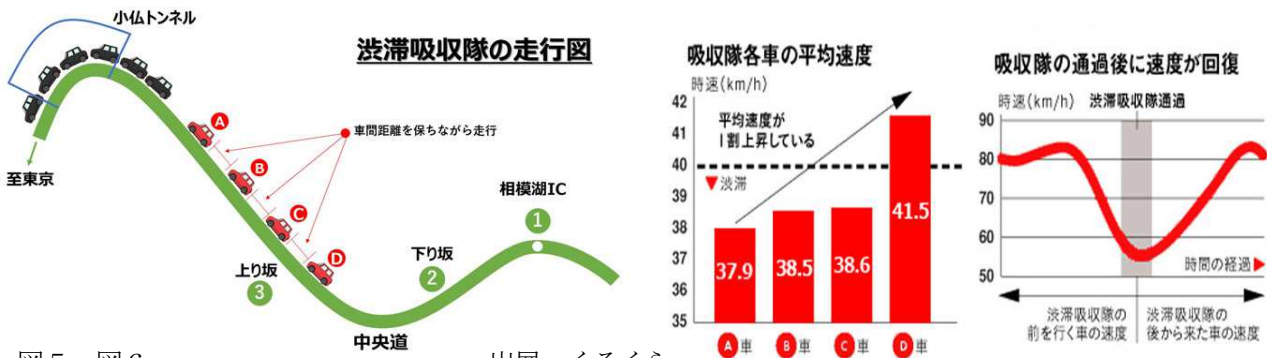


図5・図6

出展 くるくら

先行研究と実証例の比較

先行研究におけるルール184の下での検証は渋滞流が完全に停止している時しか再現できていない。また、実証例にあるような速度や車間距離の条件が不明瞭であり、“渋滞吸収車が渋滞最後尾に追いつかないように減速して車間距離を詰めすぎない”ということの再現もできていないのではと考えた。そこで、渋滞流がある程度の速度で流れている上で、且つ渋滞吸収車の速度や車間距離の条件をより明確にしたモデルを作成し、独自にシミュレーションすることで渋滞吸収走行の有効性を検証しようと考えた。

3. 研究方法

モデルの定義

先行研究や実証例を基にモデルの条件設定をした。まず、モデルを簡易的にするために渋滞流は“一車線の平坦な直線道路を傾斜による加減速が無く、車線変更や車両が流出入することなく走行する”と定義した。初期状態として一定数の車両を車間距離が詰まった状態で並べ、その車列を渋滞区間とする。また、その後方に車間距離を広くとった車列を表示し、この車列を渋滞吸収車列とした。なお、渋滞吸収車列は無限に続くものとする。各車列の速度や車間距離の設定をするにあたり、セルオートマトンモデルを用いるよりも座標平面を用いる方が条件設定しやすいと考え、x軸を道路に見立ててモデルを作成した。車間距離は座標上の点と点の距離とする。このモデルで1秒毎に時間更新を行う。各車列の時間更新における直進距離（速度）や車間距離の条件は以下の通りである。

初期状態で渋滞区間にいる車両

- 車間距離は1
- 一回の時間更新で1進む
- 初期の渋滞区間を過ぎると一回の時間更新で2.5進む

渋滞吸収走行をする車両

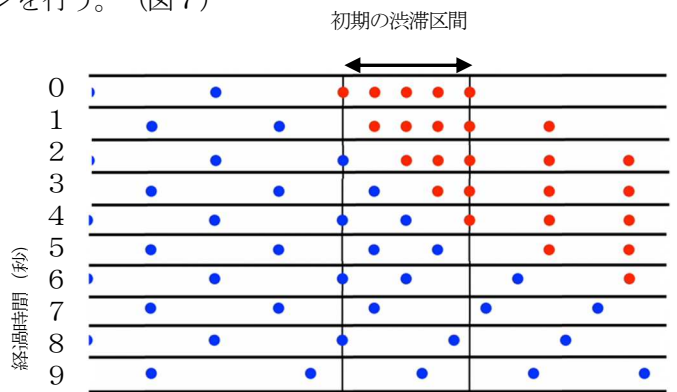
- 最初の車間距離は4
- 一回の時間更新で2進む
- 渋滞に追いつくと前方車両との距離が2未満にならないように減速する
- 前方の車両との車間距離が一定以上になると加速する

なお、渋滞解消の定義は渋滞吸収走行行列の車両が初めて速度が1にならず加速した時とする。

これらの条件を踏まえて完成したモデルでシミュレーションを行う。(図7)

図7 初期状態の渋滞区間に含まれる車両数が5台のとき

時間が経過するにつれて初期の渋滞区間の交通密度が小さくなることによって渋滞が緩和していき、8秒が経過した時点で解消している。



モデルの妥当性

車両の速度や車間距離などの数値は座標1を実際の道路における10mと仮定した場合の数値を根拠として設定した。これらの条件は実証例や一般的な高速道路における条件にある程度一致しているため、このモデルの妥当性はあ

ると考えられる。しかし、再現できていない条件が

あることや、このモデルの変数が初期状態の渋滞区間に含まれる車両数だけであることから完璧なモデルとは言い難い。

4. 研究結果

検証結果は右のとおりである。

初期の渋滞区間の台数 (台)	解消にかかった時間 (秒)	最低限必要な渋滞吸収車両数 (台)	90	178	89
2	2	1			
3	4	2	...	...	...
4	6	3	100	198	99
5	8	4	...	...	...
6	10	5	200	398	199
7	12	6	...	...	...
8	14	7	300	598	299
9	16	8	...	...	...
10	18	9	400	798	399
...
50	98	49	500	998	499
...
60	118	59	1000	1998	999
...
70	138	69	1500	2998	1499
...
80	158	79	2000	3998	1999

5. 考察

検証結果より以下のことが推測される。

- ・ 渋滞区間の車両数を n 台とする時、渋滞解消にかかる時間は $2(n-1)$ 秒
- ・ 渋滞解消に必要な渋滞吸収車の車両数は $n-1$ 台

上記の推測は検証結果より初期の渋滞区間の台数が n 台と $n+1$ 台の時の解消にかかった時間と最低限必要な渋滞吸収車両の台数の差を比較すると、その値が常に一定になっていることが読み取れる。これらの結果から、渋滞吸収走行は渋滞の解消・緩和に効果を発揮すると考えられる。しかし渋滞解消に必要な渋滞吸収車両の車両数は $n-1$ 台になることから現実的に考えると、渋滞流が長距離になるほど渋滞吸収走行による渋滞解消は難しくなる。よって渋滞吸収走行は短距離の渋滞に対して大きな効果を発揮するのではないか。

6. 今後の展望

今回作成したモデルでは速度や車間距離などの条件を変えることができなかったため、今後それらを変数としたモデルを作成し、シミュレーションをしてより正確に渋滞吸収走行の有効性を検証したい。また、社会実験の動画やその他の記事でも言われていたことだが、実際の高速道路では複数車線があることにより、車間距離を開けると割り込まれることがあるので、渋滞吸収走行を完全な状態で実行することが難しい場合もある。そこで、今後は渋滞吸収走行の周知や、実施をするための新たな制度を作ることに加えて、より効果的な渋滞解消法の模索が必要になってくると考える。

7. 参考文献

東京大学先端科学技術研究センター 渋滞のサイエンスとその解消法

<https://www.jps.or.jp/books/gakkaishi/2016/03/71-03mijika.pdf>

JAF 社会実験 https://www.youtube.com/watch?v=TP_7uUG4e3o

武蔵野大学工学部 友枝明保 https://www.jstage.jst.go.jp/article/fsciesci/63/7/63_271/_pdf/char/en

くるくら <https://kurukura.jp/news/180809-20.html>

NEXCO 東日本 渋滞の定義 <https://www.driveplaza.com/safetydrive/mamechishiki/029.html>

NEXCO 中日本 渋滞の定義 <https://highwaypost.c-nexco.co.jp/faq/traffic/rule/345.html>

NEXCO 西日本 渋滞の定義 <https://www.w-nexco.co.jp/faq/09/>

阪神高速・首都高における渋滞の定義 https://life.oricon.co.jp/rank_insurance/news/2089829/

サボニウス型風車の作成

～災害時に備えよう!!～

研究者 相澤俊介 山崎哲哉 伊東宏起 佐藤樹雄

指導者 志真秀行

1. 研究の目的と概要

日本は災害が多く、災害時に役立つものを何か作れないかと思いこの研究を始めた。最近には色々な発電方法があるが、風力発電は二酸化炭素が発生しないため環境にやさしく、夜間も稼働できるといったメリットがあることを知った。さらに、下に記述してあるように、日本は世界に比べて風力発電の導入量が少ない。その理由として挙げられるのは、日本は山や谷が多く、導入量が多いヨーロッパのように恒常的に風が吹いていないため、電力の供給が不安定になることである。しかし、これは大規模な発電をする時である。そこで、安定して吹かない微量な風でも発電できる小規模なサボニウス型風車に目を付けた。だから、自分たちでサボニウス型風車を作成し、さらに災害時に利用できるような風車のあり方を提言する。

2. 発電について

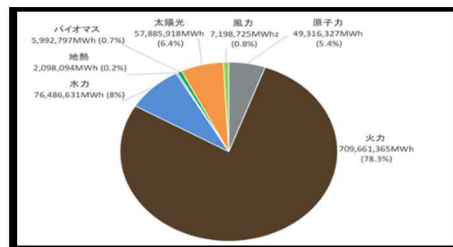
① 風力発電全般に関する説明

表1から風力発電は考えるべき欠点があるが持続的な社会を必要とする現代社会ではさらに普及させるべきだと考える。また、日本のエネルギー供給は約80%近く火力発電に頼っている。再生可能エネルギーは約16%（今回注目する風力発電は0.8%）にとどまっている。火力発電は大気汚染物質を大量に発生させるため、再生可能エネルギーの必要性が再確認される。世界の再生可能エネルギーの発電量内訳としては、風力発電が約半分を占めている。日本の自然エネルギーの割合(グラフ1)と比べると日本は世界的に見ても風力発電が普及していないことが、分かる。

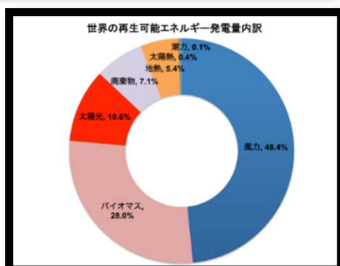
風力発電の特徴 (表1)

利点	欠点
CO2を排出しない	計画的な発電ができない
半永久的に発電が可能	騒音問題
発電機のコストが安い	電波障害
	鳥問題
	景観問題
	破損の危険性

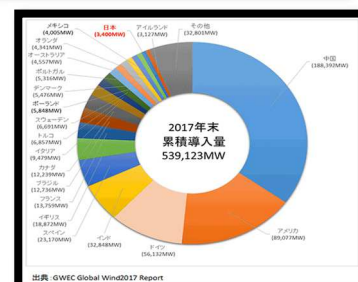
日本の自然エネルギーの割合 (グラフ1)



(グラフ2)



(グラフ3)



② サボニウス型風車の特徴

サボニウス型風車に関する

～サボニウス型の特徴～

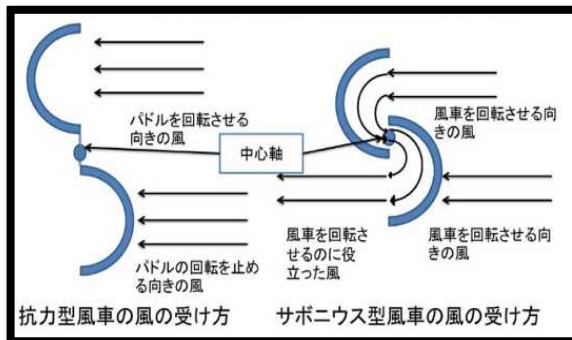
- ・垂直型の風車
- ・羽根が交互に風を受けて回転する仕組み（図1）
- ・騒音が水平軸と比べて小さい。

～サボニウス型風車の短所～

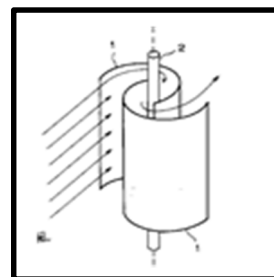
- ・発電効率が（最も普及している）プロペラ型より劣る。
→大規模な発電には向いていない。

～サボニウス型風車の長所～

- ・弱風でも起電でき、発電できる。→簡単に、手軽に発電できる。
- ・発電時の騒音が少ない。
→住宅地や被災地などでも騒音をあまり気にしなくて良い。
- ・起電力が風向きに依存しない。
→設置時に風向きを気にしなくて良いので、手軽に発電できる。
- ・構造が単純、機械的強度が高い。→暴風などの過酷な条件にも対応しやすい。



サボニウス型風車の風の受け方（図1）



サボニウス型風車の構造（図2）

3. 実験

① サボニウス型風車を自作し発電する。

～材料～ CD、ペットボトル（500mlのものを使用）、輪ゴム、ナット、木材、導線、

ネオジウム磁石、コイル（500回巻き×4本）

～作り方～

- ペットボトルを縦半分に切って、中心をずらしてCDに取り付ける。
- 直径約13mmの磁石を切断した木材に8個×2段取り付ける。※このときに、N極とS極を交互にする。（こうすることでコイルの中の磁界が変化し、電磁誘導が起こるため、誘導電流が流れる。）
- この木材の中心に、魚串のとがったほうを下向きにして刺す。
- これをペットボトルの羽部分と組み合わせる。（図3）

V 土台と魚串の設置点は摩擦がなるべく起こらないようにするために、木材の上に磁石を置く。

vi 導線を 500 回ずつ巻いた 4 つのコイルを直列につないで、極性が同じになるように土台に取り付ける。

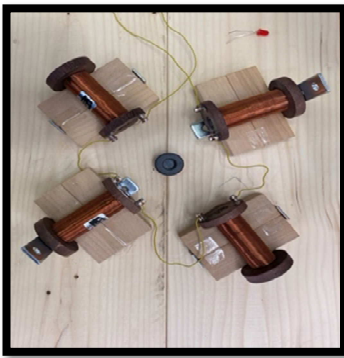
～実験方法～

i 小さく切った紙切れを扇風機（弱 中 強）の風に当て、最高到達点をかかった時間で割って風速を求める。（それぞれの風の強さで 10 回ずつ行い、平均値を出す。）

ii （図 4）のように組み立て、扇風機の 3 段階の風を風車に当ててテスターを繋ぎ電圧を測る。

iii テスターの値を読み取り、3 段階のそれぞれの風を受けて生じた電圧の平均値を出す。（風速と生じた電圧の平均値を出したものが表 2）

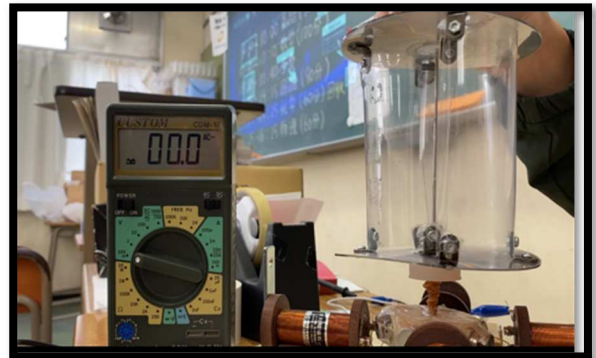
iv 風速と生じた電圧の関係を示したグラフを作成する。（グラフ 4）



(図 2)






(図 3)

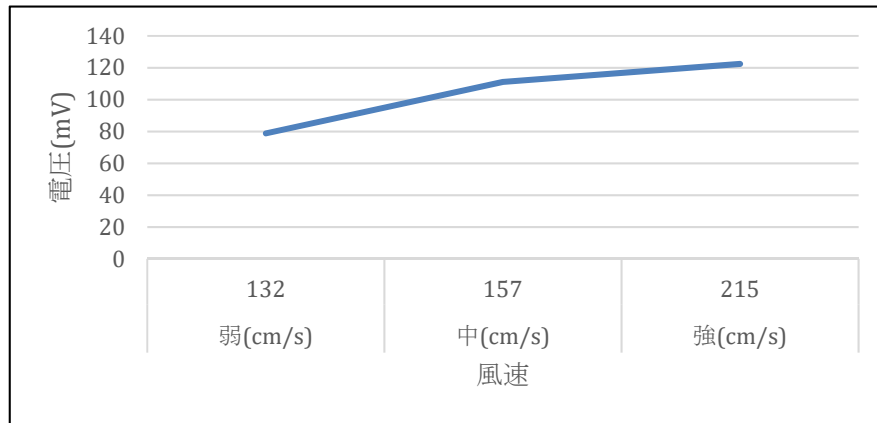


(図 4)

② 結果

弱	中	強
 テスターの値は 78.8 [mV]	 テスターの値は 111.1 [mV]	 テスターの値は 122.4 [mV]
風速 132 cm/ s	風速 157 cm/ s	風速 215 cm/ s

(表 2)



4. 結果と考察

(グラフ4)

～結果～

- ・風速を大きくしたら、発電できる電圧が増える。
- ・風速を大きくしたら、流れる電流が大きくなる。
- ・風速を求めたところ (中) の風速は、(弱) の風速の 1.2 倍だったのに対して、(強) の風速は、(中) の風速の 1.4 倍だった。…①
- ・発電できた (中) の電圧は (弱) の電圧の 1.4 倍だったのに対して、(強) の電圧は (中) の電圧の 1.1 倍だった。…②
- ・①②より、風速と発電できた電圧は比例せず、変化の割合は風速が速くなっていくにつれて、小さくなっていくことがわかる。

～考察～

○参考にしたサイトと今回の実験の相違点

- ・コイルの巻き数を比べると前者は 2500 回巻き×4 個で、後者は 500 回巻き×4 個である。この原因によって、電圧が極めて低い結果となった。
- ・風車の支柱の上部を固定せず手で支柱を押さえて実験したため、精密性に欠けた。

○改良点

- ・コイルの巻き数を上げる。
- ・専門的な (電動カッター) を使用する。

○成功点

- ・ネオジム磁石という、強力な磁石を使うことができた。
- ・風速のみの条件を変えて、対照実験によって電圧を測ることができた。

5. 災害などによる停電に備えるために

現在、災害時に利用できる再生可能エネルギーは太陽光発電が最も普及している。しかし、天候が優れない時に太陽光発電では発電できない。そこで役に立つのが風力発電だ。風力発電は比較的安価、悪天候時でも発電可能であるため、安定して発電できる。また比較的小さいという利点を生かして、各家庭の庭や空いたスペースに設置することができる。この方法で発電した電気を蓄電池に蓄えておき、災害時に利用する。

蓄電池は乾電池とは異なり、電気を使い切っても充電して電気を蓄えることで繰り返し使える。先に「天候が優れない時では太陽光発電は発電できない」と述べたが、風力発電も風が吹かなければ発電できない。

なので、太陽光発電とサボニウス型の風力発電を併用すれば、より短い期間で電気を蓄電池に蓄えることができ、災害時に利用できる。

6. 今後の展望

今回はコイルの巻き数が足りなかったため、今後はコイルの巻き数、羽の状態などを今回の実験よりも良質なもののでサボニウス型風車を自作して実験をすることによって、より大きな電気を発電したい。さらに、日本は他国と比べて再生可能エネルギーが普及していない。そこで、その割合を増やすための取り組みを促進するプロジェクトを計画し実行したい。

7. 参考文献

- ・サボニウス型風車の風の受け方

<https://slidesplayer.net/slide/1159806>

- ・風ナビ WindPowerNavigator

<https://www.fun.ac.jp/~kimura/wind/study/wingene/kind-of.htm>

- ・風車の種類は大きく 2 種類!? 風力発電入門講座 - ソーラー

<https://solarjournal.jp/windpower/1967/>

- ・世界の再生可能エネルギー発電量内訳 (sustainablejapan/2015 年)

<https://sustainablejapan.jp/2016/05/06/wind-power-market/11154>

- ・世界の風力発電導入量 (GWEC GlobalWind/2017 年)

<https://www.nedo.go.jp/library/fuuryoku/world/1-03.html>

- ・サボニウス型風車及びサボニウス型風車を利用した風力発電装置(astamuse)

<https://astamuse.com/ja/published/JP/No/1999062813>

落下する球と波の関係

～球によって波紋のでき方が変わるのか～

研究者 翠川伊織 宮下晴希 山崎智哉 吉澤朋希

指導者 福島哲夫

1. 研究の目的と概要

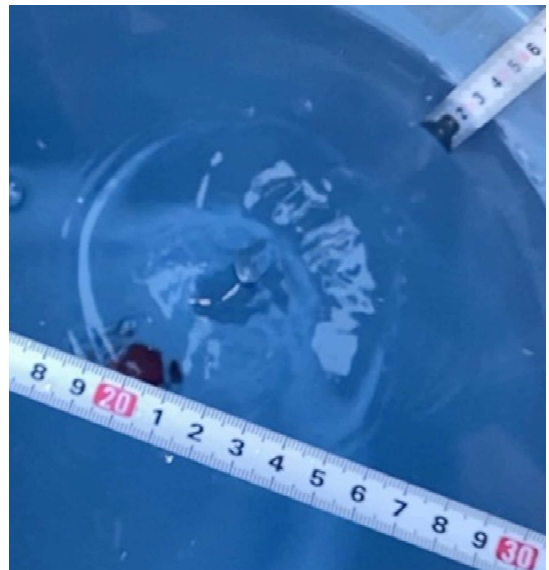
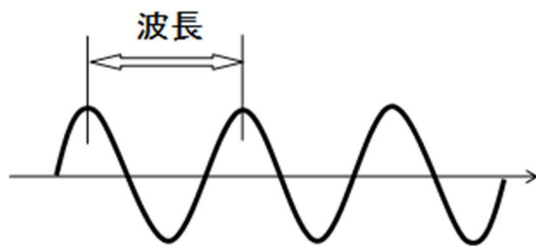
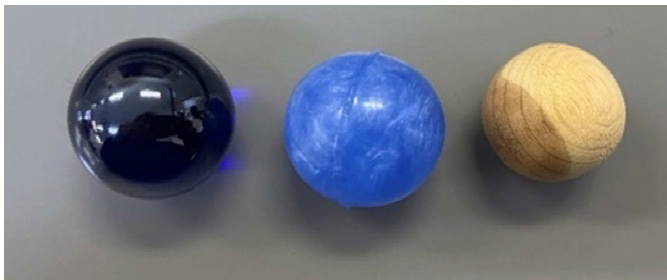
物体が水面上に落ちた時にどのような波紋ができるのか、また、波紋の表れ方に規則性はあるのかを調べることを目的とした。

2. 実験器具と条件設定

3種類の球(質量/直径)・木製ボール(3g/2.5cm)・ゴムボール(8g/2.5cm)・ビー玉(20g/2.5cm)

バケツ 口径 28 cm 深さ 30cm

1つ目の波の山と2つ目の波の山との間隔を1波長にした



3. 実験

実験 I 波紋の直径

実験方法

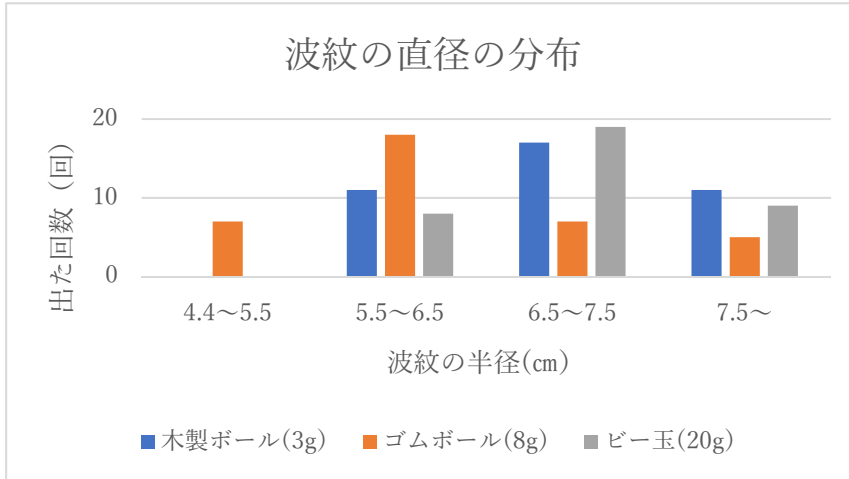
- 1) 30cm の高さから水を張ったバケツに球を各種類 1 球ずつ落下させる。
- 2) 球の落下の様子や波紋をスマートフォンのカメラを用いて上方から撮影する。

メジャーを固定して同時に撮影する。

- 3) 動画から波紋を観察し、大きさを計測する。
- 4) 落下させる物体と発生する波紋の関係性を考察する。

実験結果

各球と波紋（2つ目の山ができたとき）の直径の関係



それぞれの波紋の半径の平均値

- ・木製ボール 3.54cm
- ・ゴムボール 3.04cm
- ・ビーズ 2.59 cm

→この結果より、球の質量が大きいほど波紋

の直径は小さく、質量が小さいほど波紋の直径は大きくなると考えられる。

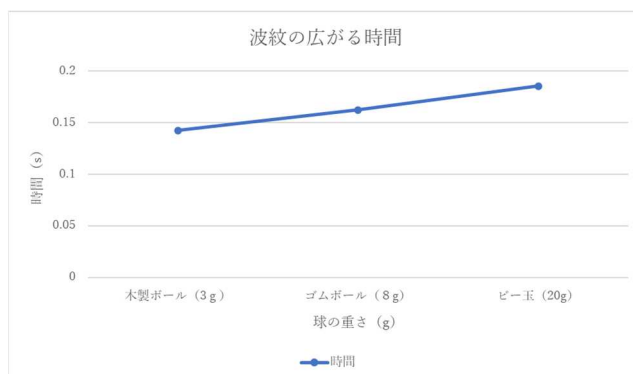
実験Ⅱ 波紋の広がる時間

実験方法

- 1) 実験1と同様の実験を行い、動画を撮影する。その際にタイマーを同時に撮影する。
- 2) 動画より1つ目の波紋の山ができてから2つ目の波の山ができるまでの時間を計測する。
- 3) それぞれの平均値を出して比較・考察する。

実験結果

各球の波紋の
広がるまでの
時間の平均値



- ・木製ボール 0.1425 秒
- ・ゴムボール 0.1625 秒
- ・ビー玉 0.1854 秒

→質量が大きいほど時間、つまり一つ目の波の山と二つ目の波の山の間隔は長いと考えられる。

4. 考察 I

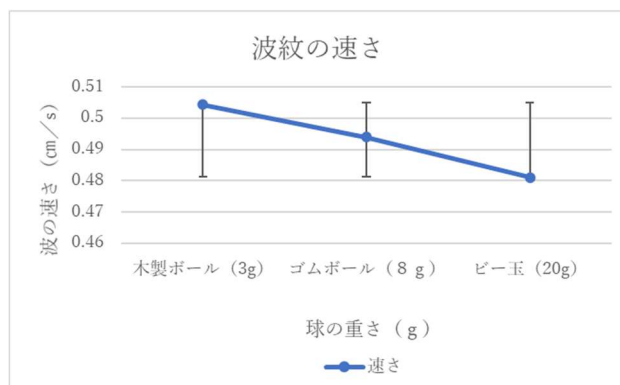
実験 1・2 の考察

実験 1…それぞれの球を落下させた時にできる波紋の大きさの関係より、球の質量が大きいほど波紋の直径は小さく、質量が小さいほど直径は大きくなる。

実験 2…それぞれの球を落下させた時の波紋のできる間隔の時間より、球の質量が大きいほど広がるまでの時間は長くなり、球の質量が小さいほど広がるまでの時間は短くなる。

実験 1・2 より…「波の半径×広がる時間=波の速さ」が成り立つ。よって上記の結果からそれぞれの球を落下させた時に発生する波紋の広がる速さを求めることができる。

- ・波紋の広がる速さ



木製ボール 0.5044cm/s

ゴムボール 0.494cm/s

ビー玉 0.4814cm/s

さらに、波の速さの公式 $v = \lambda / T$ までの結果を代入する。

ここで v =波の速さ、 T =周期、 λ =波長なのでそれぞれの値を計算すると以下の表の関係がわかる。

	木製ボール	ゴムボール	ビー玉
波の速さ (cm/ s)	0.5044	0.494	0.48143
周期 (s)	0.1425	0.1625	0.1854
波長 (cm)	3.54	3.04	2.597

ここから周期は 木製ボール > ゴムボール > ビー玉

波長は 木製ボール < ゴムボール < ビー玉

速さは 木製ボール ≒ ゴムボール ≒ ビー玉 の関係にあることがわかる

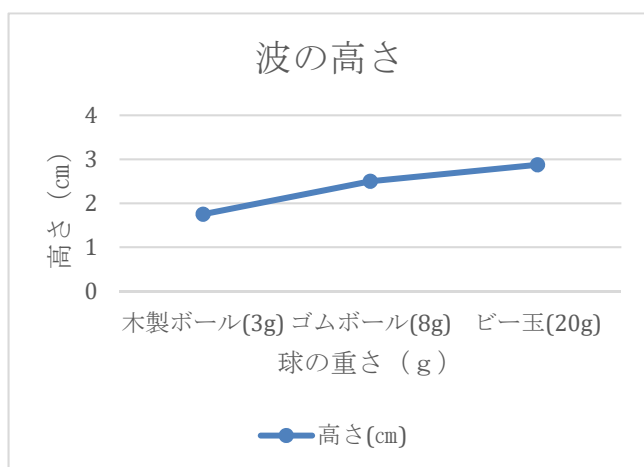
5. 実験Ⅲ 波の高さ

実験方法

- 1) 実験 1 と同様の実験を行う。
- 2) カメラを用いて球の落下の様子を横から撮影する。
- 3) 動画より落下に伴い発生した波(しぶき)の高さの最大値を観察し計測する。
- 4) それぞれの平均値を出して比較・考察する。

実験結果

各球の波の高さの平均値



木製ボール 1.75cm

ゴムボール 2.5cm

ビー玉 2.875cm

→球の質量が大きいほど波は高く、質量が小さいほど波は低くなると考えられる。

6. 考察Ⅱ

実験 3 の考察球の質量が大きいほど波は高く、質量が小さいほど波は低くなることがわかる。

[木製ボール<ゴムボール<ビー玉]となる関係が見られた。

8. まとめ

考察より、波紋の要素についての値は

周期 木製ボール>ゴムボール>ビー玉

波長は 木製ボール<ゴムボール<ビー玉

速さは 木製ボール≒ゴムボール≒ビー玉

となり、球の質量によって波紋に関する数値に変化が見られることから、波紋の速さは落下する球の質量が関係しないと考えられる。質量が小さいほど波紋の直径が大きくなり周期が短くなる。逆に質量が大きいほど波紋の半径が小さくなり、周期が短くなる。そして波の速さはほぼ等しいと言える。

波の速さの誤差は質量が大きいほど大きくなる。波の高さは[木製ボール<ゴムボール<ビー玉]となり、球の質量が大きいほど波が高くなったので、波が発生すまでに時間がかかったと考えられる
よって落下する球と波の関係は目立つものはないと言える。

9. 今後の展望

実験について水温や水の体積などの詳細を考慮することができなかったので、条件の設定を整えた上で数値に変化があるのか調べたい。また、まとめから考えられる「球の落下速度」や「エネルギー」、その他に先生よりお聞きした「力積」という観点からもその関係性について調べたい。

10. 参考文献

なし

11. 球

- ・木製ボール…シダーボール(ダイソー)
- ・ゴムボール…スーパーボール(ダイソー)
- ・ビー玉…ビー玉(ダイソー)

生分解性プラスチックの実用化

～生ごみとしてプラスチックを処理する～

研究者 大谷彩日 高良夏美 柳沢葉奈

指導者 宮原喜美男

1. 研究目的（問題意識）

近年プラスチックごみが分解されずに生物や生態系に重大な悪影響を及ぼしている。この問題に興味を持ち、現状を調べたところ、その解決策として「環境にやさしいプラスチック」というものの研究や活用がなされていることが分かった。この「環境にやさしいプラスチック」がどのようなものなのか確認するとともに、このプラスチックが普及しない原因とその解決策を実験から模索したいと考えた。

2. 現状（先行研究の分析）

(1) プラスチックの問題

軽量で加工がしやすく丈夫であることから、プラスチックはレジ袋やペットボトルのほかにも、色々なものに利用されている。この手軽さからごみとして排出される量も膨大なものとなり、このごみの中には適切に処理されず海に流出している海洋プラスチックごみと呼ばれるものもある。

海洋プラスチックごみは海岸に流れ着くものよりも、海洋生物への悪影響が大きな問題として捉えられている。海洋プラスチックごみのうち、マイクロプラスチックのような微粒子は、海洋生物の体内に取り込まれ、その体内に蓄積される可能性が指摘されているからである。実際にそのような事例は数多く確認されており、その原因は海洋生物がプラスチックを餌と間違え、あるいは餌と一緒に取り込んでしまうからと考えられている。そして海洋生物が体内に取り込んだプラスチックは消化もされず、その体の内部を傷つけ、あるいは腸閉塞を起こし少なくない死因となることも確認されている。

このように生物が消化できない、また、自然に分解されないプラスチックごみは、海洋生物に悪い影響を及ぼしている。そればかりでなく、このマイクロプラスチックを飲み込んだ海洋生物が市場に出回れば、それらを口にする私たちの体内にもマイクロプラスチックが入り込む可能性、さらには、人の体内にもプラスチックが蓄積される可能性すらある。

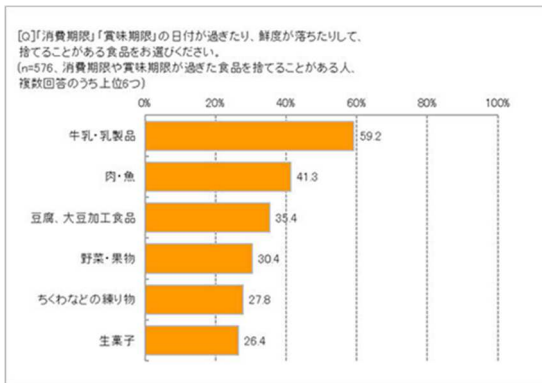
(2) プラスチックの種類・食料廃棄物について

事前調査としてインターネットや本を用いて「環境にやさしいプラスチック」について調査を行ったところ、プラスチックの中には牛乳を原料としたものがあることを知った。また、生産された牛乳は、廃棄されるものも多くあり、これは食料廃棄物として問題視されていることもわかった。そこで、プラスチックについての調査に加え、食料廃棄物についてと食料を原料とするプラスチックについても調査することにした。

その結果以下のことが分かった。

- ・ 環境にやさしいプラスチックは主に二種類あり、それは「バイオマスプラスチック」と「生分解性プラスチック」である
- ・ 食料廃棄物は、野菜、果実、牛乳、卵などの廃棄量が特に多い（グラフ1参照）
- ・ 牛乳やとうもろこしなどの身近なものを原料とするプラスチックがあり、それを「カゼインプラスチック」という

グラフ1 廃棄物内訳



(3) 生分解性プラスチック分解のメカニズム

- ①微生物が体外に高分子加水分解酵素を分泌し、それが分解されるものの表面に結合することで加水分解反応がおこる。
- ②分解されてできた物質(分解生成物)は微生物体内に取り込まれ、エネルギー生産などに使われて二酸化炭素になる。

(4) バイオマスプラスチックと生分解性プラスチックについて

バイオマスプラスチックとは再生可能な生物由来の資源を原料にしたプラスチックのことであり、生分解性プラスチックとは使用中は普通のプラスチックと同様に使うことができるが、使用後は一定の条件のもとで分解され水と二酸化炭素に分解されて自然にかえるプラスチックのことである。また生分解性プラスチックの問題点は十分に分解されるまでに数カ月かかること、条件下にないと全く分解されないこと、100%生分解性プラスチックでないと一部は残ってしまうことである。

本研究で実験に使用したプラスチックはカゼインプラスチックとポリ乳酸プラスチック(PLA)であり、カゼインプラスチックは生分解性プラスチックとバイオマスプラスチックの両方の性質、ポリ乳酸プラスチックは生分解性プラスチックのみの性質を持つ。

特にカゼインプラスチックは牛乳と酢から簡単に作ることが出来る。牛乳に含まれるたんぱく質は水分の中でバラバラになって浮かんでいて、そこに酢を加えることでタンパク質同士が集まり、加熱すると固くなる。この性質を利用してプラスチックを作ることができる。

3. 研究方法

実験 I. カゼインプラスチックの製造と分解の確認

カゼインプラスチックを実際に作り、プラスチックとしての性能を確認する

・製造

1. 牛乳 100ml を沸騰させる。
2. ガラス棒でかき混ぜながら酢を 57 滴加える。
3. ガーゼを用いてこし出す。
4. ガーゼに包んだまま残留物に水を 3 分間かけて冷やす。
5. キッチンペーパーなどを用いて水分を拭き取り、形を整える。
6. 500W の電子レンジで 1 分×4 回加熱する。

・分解の確認

出来上がったカゼインプラスチックを以下の4種類の環境下におき、定期的に質量を計測し、観察する。

A:水(池) B:水(蒸留水) C:土(花壇) D:土(加熱)

実験II. PLAについての事前調査

1. (株)三洋化成に協力いただき、試薬とコップからプレートを作成する。
2. 同社にて比重、硬度、引張強さ、材質分析を計測する。

実験III. ポリ乳酸プラスチックの分解の確認

実験IIの1で作成したプレートを以下の3種類の環境下におき、定期的に質量を計測し観察する。

A:池 B:蒸留水 C:花壇の土

実験IV. 身近なものでポリ乳酸プラスチックの分解を速くする実験

身近なもの(以下①~⑥)を使い、定期的に質量を計測し、観察する。

- ① きゅうり (強アルカリ性)
- ② じゃがいも (中酸性)
- ③ ほうれん草 (中アルカリ性)
- ④ レモン汁 (酸性)
- ⑤ 重曹 (弱アルカリ性)
- ⑥ みかん (弱酸性)

1. ①~⑥を個別に細かくすりつぶす
2. 1の6種類を別々のビーカーに入れ、それぞれにほぼ同じ大きさに切ったポリ乳酸プラスチックを入れる
実験品は以下の仮説により選定した。

- ・ 過去の研究資料によると、プラスチックが最も早く分解したときのpHは7以上であった。そのため、アルカリ性であるきゅうり、ほうれん草、重曹において質量の減少があると予想する。
- ・ 柑橘類に含まれるリモネンにはプラスチックを溶かす働きがあるため、酸性であるがレモン汁、みかんにおいても質量の減少がみられると予想する。
- ・ リモネン以外の酸性を示す品でも確認するためじゃがいもも実験品として選定したが、質量の減少量は少ないと予想する。

4. 結果・考察

実験Iの結果・考察

- ・ 水(池)、土(花壇)は分解し、水(蒸留水)、土(加熱)は分解しなかった(表1)ことから、バイオマスプラスチックでもあり生分解性プラスチックでもあるカゼインプラスチックの分解には微生物が必要である。
- ・ 生分解性プラスチックは、水につけると柔らかくなり原型を留めることが出来ないため、プラスチック製品としての実用化は難しいと考えられる。



	実験前 6/21	実験後 7/1	備考
水(池)			分解した
水(蒸留水)			分解しなかった
土(花壇)			分解した
土(加熱)			分解しなかった

表1 実験Iの結果

実験Ⅱの結果・考察

- 市販のポリ乳酸プラスチック製コップと PLA 試薬は同じ成分であったため、市販のポリ乳酸プラスチックコップは本当に PLA からできている。
- PLA はもろく、加工には向かないので作られる製品は限られる。(表 3)
- 曲面は力が逃げやすいためもろい PLA でもコップをつくるには向いている。

表 3 材質調査結果

	厚さ(mm)	断面積(mm ²)	荷重(N)	引張強さ(Mpa)	伸び測	伸び	硬さ	比重
市販PLAカップ	0.2	1.2	75.17	62.7	—	—	87	1.228
PLA試薬	—	—	—	—	—	—	78	1.243
塩ビ(比較用)	0.9	5.4	101.4	18.8	12.9	416	—	—

実験Ⅲの結果・考察

質量の変化は、大きく減少した順に蒸留水、池、花壇の土となった。(グラフ 2)

微生物を豊富に含む池と土が大きく減少し、微生物を含まない蒸留水で減少は見られないと予想していたが、その予想に反して蒸留水で大きく減少し、逆に土ではあまり減少が見られなかった。この理由としては、室内に放置していた蒸留水は適度な温度が保たれていたため微生物が繁殖してしまい、花壇では気温差が大きかったことや湿度が足りなかったことで微生物の活動が沈静化してしまったのではないかと考えられる。

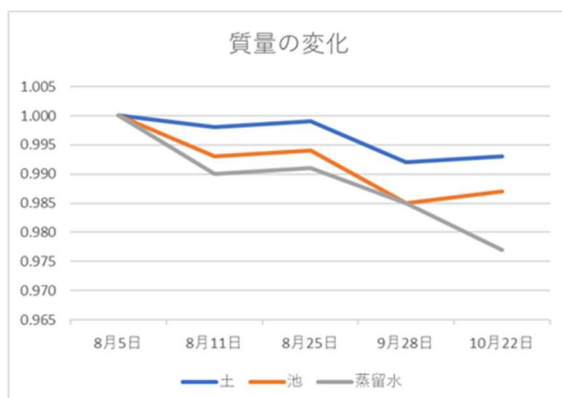
実験Ⅳの結果・考察

結果は減少量の多かった順にきゅうり、レモン汁、ほうれん草、重曹となり、じゃがいもは最終的な変化はなく、みかんは質量が増加した。(グラフ 3)

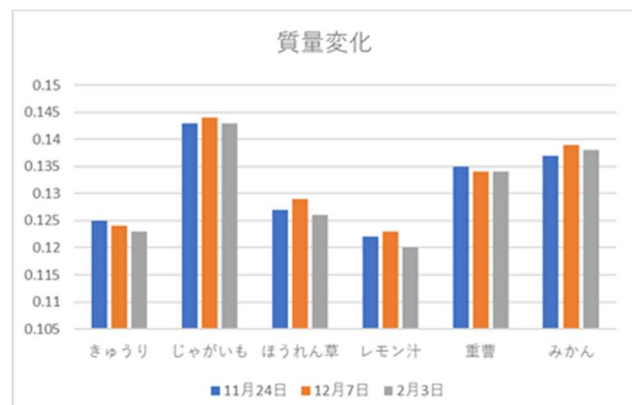
みかん以外については実験前にたてた予想通りであった。よってアルカリ性の野菜などによってポリ乳酸プラスチックを分解することが出来るという仮説は正しいと言える。

みかんに入れたプラスチックの質量が増えた理由としては仮説しか立てられないので、結果としての報告はできない。

グラフ 2 実験Ⅲの質量の変化



グラフ 3 実験Ⅳの質量の変化



5. 提案

提案1

ごみ処理場でプラスチックを分解させる

実験Ⅰの結果より、微生物の働きによって生分解性プラスチックが分解されるということ、また実験Ⅳの結果より家庭でプラスチックを分解するのはあまり現実的ではないということが分かったので、ごみ処理場で生分解性プラスチックの分解をするのが良いのではないかと考えた。

そこで、生ごみの処理方法の一つである「バクテリア方式」での生ごみ処理時に生分解性プラスチックを同時に分解することを提案する。「バクテリア方式」とは、微生物によって生ゴミを生分解し、最終的には二酸化炭素と水にまで分解する方法である。この処理方法による生ごみ処理時に生分解性プラスチックと一緒に入れることで、微生物によって効率的に生分解性プラスチックを分解することが出来ると考えている。

提案2

カゼインプラスチックの強度を高めるためにケイ酸を加える

陶器の原料であるケイ素の酸化物のケイ酸が加わることで、カゼインプラスチックの弱みである水への耐性の低さや加工のしにくさを軽減できるのではないかと考えた。

これについては現在実験中で、どのように加えるのが効果的か、また加えたことによってどの程度強度が増すのかを調べていく予定である。

6. 今後の課題

- ・バクテリア方式での生分解性プラスチックの分解の実用性を調査し、実現の可能性やそれにおける問題点などを調べる。
- ・現在行っているカゼインプラスチックのケイ酸による強化の実験をさらに進め、強度をどの程度高められるのかを硬度計を用いて調べる。また提案2についてさらに具体的な方法を調査する。
- ・カゼインプラスチック、ポリ乳酸プラスチックのそれぞれについて、コスト面での現状や課題を調査する。

7. 引用・参考文献

1) 海洋プラスチック問題とは？日本や海外の取り組み

https://gooddo.jp/magazine/oceans/marine_pollution/plastic_garbage/

2) 微生物が24時間で分解！生ゴミは“運ばず、燃やさず、その場で処理”が最先端に

<https://emira-t.jp/special/13049/>

3) 生分解性プラスチックは本当に分解するのか(上)

<https://www.alterna.co.jp/28962/2/>

4) 生分解性プラスチック入門-JBPA

<http://www.jbpaweb.net/gp/>

5) 日本では、年間約1,700万トンの食品廃棄物が排出。このうち消費者庁

https://www.caa.go.jp/policies/policy/consumer_policy/information/food_loss/exchange_of_opinions/pdf/131028_sanko2-5.pdf

6) オレンジページ 食品ロス調査

<https://www.jacom.or.jp/ryutsu/news/2020/05/200528-44544.php>

7) STEAM JAPAN 牛乳をプラスチックに変えてみよう！

<https://steam-japan.com/practice/1895/>

8) 高分子の生分解—生分解性プラスチック

<https://www.jstage.jst.go.jp/article/kobunshi1952/>

9) プラバイオ

<https://seibunnkaisei.com>

10) 一般財団法人 日本乳業協会

https://nyukyuu.jp/dairyqa/2107_162_290/

11) ビニリデン協だより

https://vdkyo.jp/download/pdf/no_80.pdf

12) 生分解性プラスチックの合成および分解に関する教材研究 熊本大学教育学部紀要

<https://kumadai.repo.nii.ac.jp/>

8. 謝辞

本研究を遂行するにあたり、株式会社三洋化成の皆様には実験へのご協力をはじめ今後の研究への助言などもいただき、お忙しい中見学などもさせていただきました。貴重なお時間をいただき本当にありがとうございました。

また、ご指導くださった先生方をはじめ、この研究にご協力いただいたすべての皆様はこの場をお借りして感謝します。ありがとうございました。

微生物燃料電池の実用化に向けて

～高いエネルギーを得るための条件とは～

研究者 内山みな美 片桐ひなの 原陽菜 山崎あかり

指導者 手塚理実

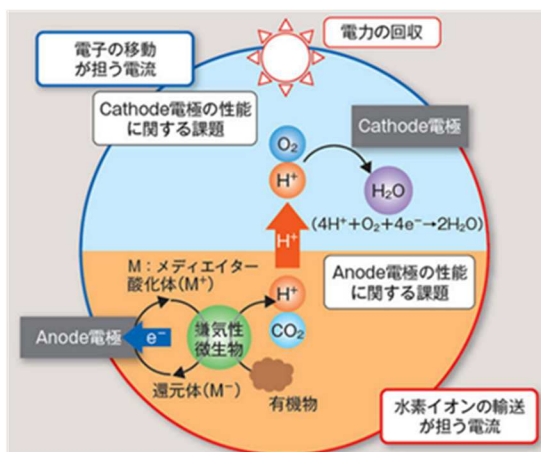
1. 研究の目的と概要

現在日本で行われている主な発電は資源が有限なものや、環境に悪影響を与えるものであり、天然資源が枯渇し発電ができなくなる恐れや電力発電の危険性が指摘されている。そこで私たちはクリーンな発電ができる再生可能エネルギーの一つである微生物燃料電池に注目し、実用化を目指しどのような条件で持続的な発電ができるか実験しようと考えた。

2. 微生物燃料電池の仕組み

微生物燃料電池とは嫌気性微生物の代謝反応を利用して有機物を電気エネルギーに変換する装置のこと。嫌気性微生物・・・生育に酸素を必要としない微生物のこと。嫌気性微生物は有機物を分解する際に発生する電子を普通酸素に渡すのに対して、酸素以外の二価鉄などに電子を渡す。

図 1



〈発電の仕組み〉

アノード

燃料となる有機物が微生物により分解されるときに水素イオンと電子が発生する。その電子を負極が回収し、電子は外部回路を經由してカソードに移動。

カソード

アノードから移動してきた電子が酸化剤の還元反応により分解の際に発生した水素イオンと反応して水になる。

今回の実験では、微生物が分解する有機物は土の中に含まれる植物の根や葉と考えて実験を行った。

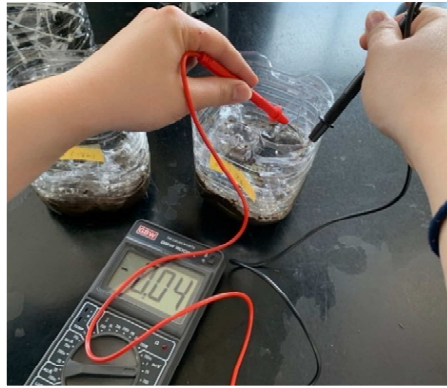
3. 実験 I 実験装置の作製と田んぼの深さの違いによる電圧の変化

インターネットに載っていた装置を参考にペットボトルを用いた簡易的な装置を作製し、電圧を測定した。

実験方法

- (1) 実験に用いる装置を作製する。
 - a) 電極部の製作(カーボンクロス、ロックタイ、ニッケル線、ネットを使用)。
 - b) 電極を1日ほど水につけて安定させる。
 - c) ペットボトルに泥(125g)を入れ、a)で作成したアノードを固定させる。
 - d) c)で入れた土の表面に切れ込みを入れたラップをかぶせ、蒸留水(150ml)とカソードを入れる。
- (2) (1)の装置を田んぼ1の深い所の土と浅い所の土を用いて3つずつ作製し、1週間おきに電圧を測定する。

(3) 電圧を測定後、対照実験として微生物を加熱し、死滅させた後に電圧を測定する。



実験結果

グラフ 1

電圧の変化(V)

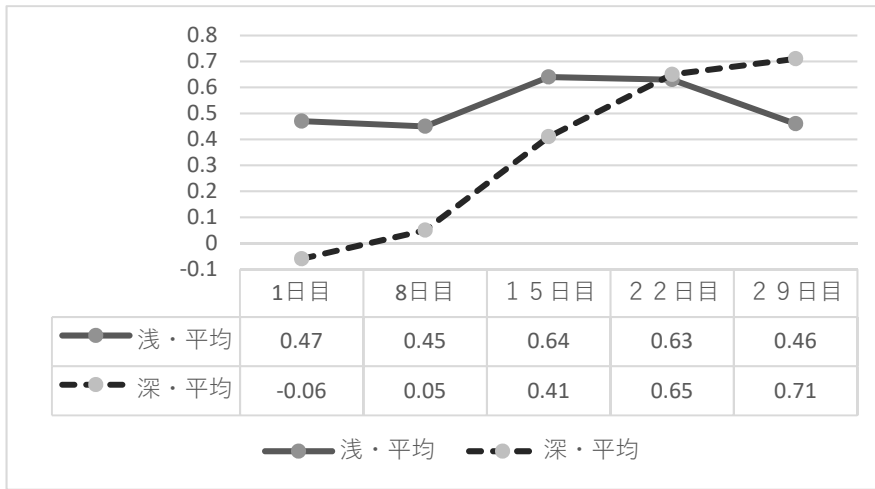


表 1

加熱処理後の電圧 (V)

7月28日	
浅①	0.20
浅②	0.19
浅③	0.17
深①	0.13
深②	0.12
深③	0.17

- ・ 田んぼの深い方と浅い方で電圧に差が出ると予想していたが、どちらもほぼ同じ値の電圧が出た。
- ・ しかし、浅い方は値が上下したが、深い方の土は徐々に電圧が上がった。

考察

グラフ 1 より、深い所の土の方がより多くの電圧を得られたのは、酸素に触れていない土の方がより多くの嫌気性微生物が存在したからだと考えられる。

表 1 の対照実験より、電圧が大幅に減少したことから、この電圧は微生物によるものだと見える。

土から水分を完全に蒸発させたが、多少の電圧は生じてしまったのは、土の中に含まれていたであろう金属などと反応してしまったからだと考えられる。

4. 実験Ⅱ 土壌の違いによる電圧の変化

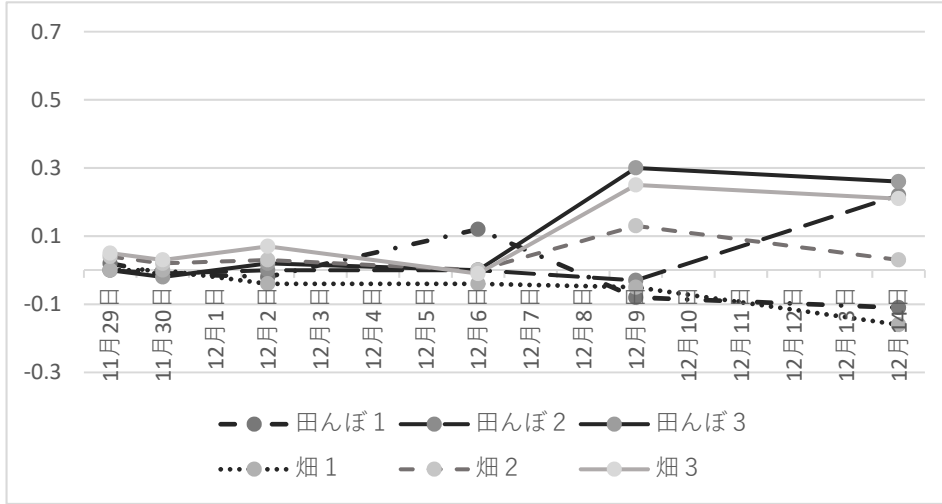
実験Ⅰでは田んぼのみで測定をしたが、土壌の違いが電圧に影響するのではないかと考え検証した。また実験Ⅰを踏まえて、今後は深い所の土を用い、得られた電圧は微生物によるものだと考えて実験を進める。

実験方法

- (1) 田んぼ 3 か所、畑 3 か所の土を用いて、実験Ⅰと同様にそれぞれ 1 つずつ装置を作製する。
- (2) 実験Ⅰと同じように電圧を測定する。

実験結果

グラフ2 土壌による電圧の変化 (v)



実験結果

- ・土によって得られた電圧に大きな差はなく、全体的に小さかった。
- ・田んぼ 1 の電圧を実験 I と比較すると、実験 II の電圧のほうが得られた電圧は小さかった。

考察

- ・グラフ 2 より田んぼや畑の中でも電圧の出方に差があることから、育てている作物や土のある環境によって電圧にも差が出ると考えられる。
- ・実験 I は夏の気温が高い環境で実験を行ったのに対し、実験 II は冬の気温が低い環境で行ったことから、得られた電圧に差が出たのではないかと考えられる。

5. 実験Ⅲ 温度の違いによる電圧の変化

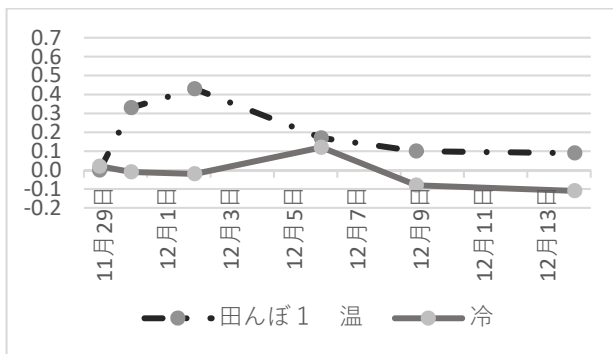
実験 I, II の結果を比較して、電圧の差は温度によるものではないかと考え検証した。

実験方法

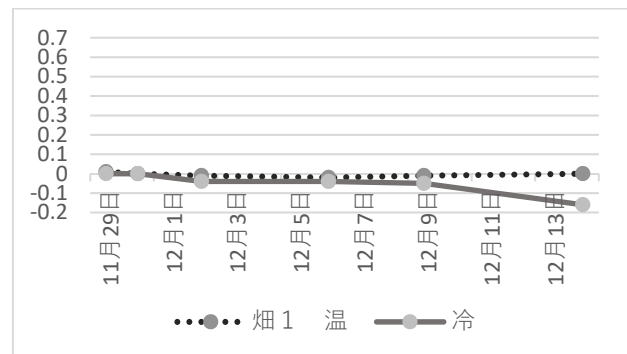
- (1) 田んぼ 1、畑 1、2 の土を用いて、実験 I と同様にそれぞれ 1 つずつ装置を作製する。
- (2) 3 つの装置を 30℃ に設定したインキュベーターの中に入れて電圧を測定する。

実験 I を行った時の気温が約 30℃ だったため、条件をそろえるためにインキュベーターを 30℃ に設定した。

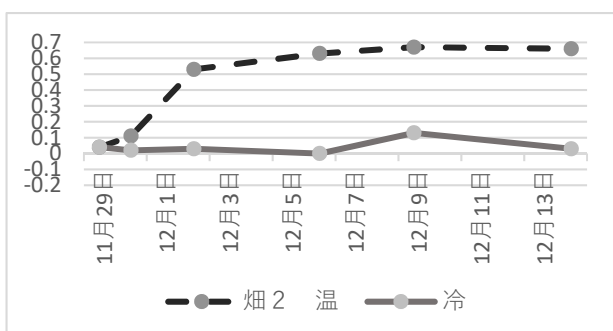
グラフ 3 田んぼ 1 (v)



グラフ 4 畑 1 (v)



グラフ 5 畑 2 (v)



実験結果・考察

- ・グラフ 4 より、畑 1 は温度を変えても電圧はほぼ 0 だったことから、嫌気性微生物は存在しなかったと考えられる。
- ・グラフ 3, 5 より田んぼ 1、畑 2 はインキュベーターで温度を高くしたほうがより大きな電圧を得られた。
- ・温度が電圧の大きさに関係し、微生物が活性化したと考えられる。

6. 実験Ⅳ 糖による電圧の変化

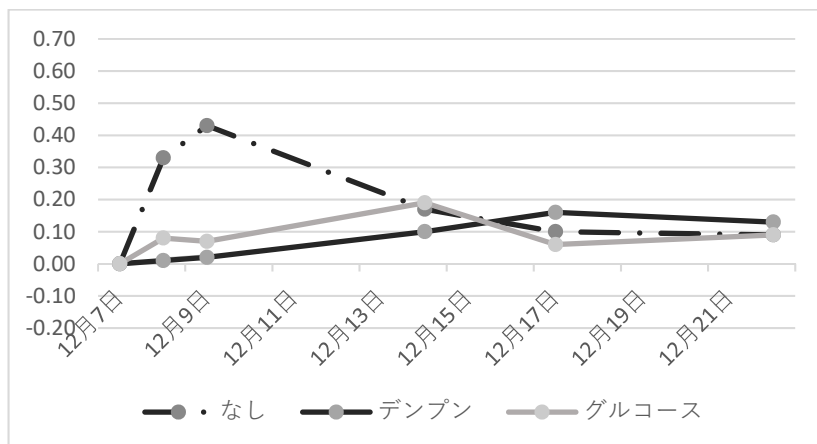
より大きな電圧を得るために、先行研究を調べたところ、「微生物は栄養源として種々の単糖, オリゴ糖, アルコール, 有機酸などを利用するが, 主要なものはグルコースと考えられる。」との記載があり、微生物は糖を加えることによって活性化し、より多くの電圧が得られるのではと考えた。

そこでグルコースとデンプンを加え、電圧を測定した。

実験方法

- (1) 田んぼ 1 の土を用いて、実験 I と同様にそれぞれ 1 つずつ装置を作製する。
- (2) 蒸留水にグルコースとデンプンを溶かし、濃度を 50g/L にして装置に入れる。
- (3) 実験Ⅲと同様にインキュベーターに入れて、電圧を測定する。

グラフ 6 糖による電圧の変化 (v)



実験結果・考察

- ・グラフ 6 より、電圧が増えることはなくむしろ下がってしまった。
- ・さらに濃度を変えての実験が必要だと考えられる。

7. まとめ・考察

- ・長期的な発電を考えたときに、田んぼの深いところの土の方がより大きな電圧が得られると考えられる。
- ・対照実験として熱して微生物を死滅させた後電圧は減少したことから、実験により得られた電圧は微生物による発電であるといえる。
- ・発電には温度が大きく関わると分かった。特に夏のような温かい環境が発電には適していた。
- ・今回の実験では、糖による電圧の変化は見られなかった。

8. 今後の展望

今後の展望として育てられている作物の違いや場所によって電圧に差が出るのかを調べるため、場所の違う田んぼや畑でも実験を進めたい。また、発電に最適な温度も細かく調べたい。

さらに先行研究をもう 1 度調べ直し、微生物に与える糖の濃度による電圧の変化について実験を行ってみたい。

9. 参考文献

- 1) 微生物が燃料を作る微生物燃料電池！ | おもしろ科学実験室 (工学のふしぎな世界) | 国立大学 56 工学系学部 HP (mirai-kougaku.jp)
- 2) 微生物による多糖の合成と分解 杉本要著

電気分解による消毒液の作製

～食塩水を電気分解すると殺菌効果が期待できる～

研究者 小田中胡桃 北澤初音 小山采夢 山田伊緒里

指導教諭 柳沢克央 西村明巳

1. 研究の目的と概要

新型コロナウイルス感染症が世界中で爆発的に拡大し、日本でもその勢力は猛威を振るっている。そして感染症の拡大に伴い、消毒液の需要は急激に高まり消毒液の不足が問題となった。新型コロナウイルス感染症の拡大から2年ほどたった今、その問題は解消しつつあるが、医療現場等では今なお消毒液の需要はひっ迫している。また、全国の多くの店や施設等でも出入り口には消毒液が設置され、今後も消毒液の需要は高い状態が続いていくだろう。

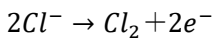
消毒液として多く用いられるものとしてアルコールが挙げられる。しかし、アルコールを一から作製するとなると専門的な知識と技術が必要となるだろう。そこで、私たちは次亜塩素酸水に注目した。次亜塩素酸水は厚生労働省が消費者向けに発表している、新型コロナウイルスの消毒に推奨している溶液の一つである。NITEの検証により新型コロナウイルスへの有効性が確認された。さらに次亜塩素酸水は引火性がなく、空間噴射も可能である。また、アルコールでは効果が薄れる可能性がある濡れた場所でも高い効果が期待できるとされている。

感染症が日本でも流行し始めてから、多くの企業が次亜塩素酸水による消毒ができる商品を開発した。しかし、その多くはモノを対象としており人肌に使用することを目的としているものは少ない。そこで、私たちは人肌に使用できる濃度の次亜塩素酸水を作製できないかと考えた。次亜塩素酸水には濃度が低いほうから微酸性次亜塩素酸水、弱酸性次亜塩素酸水、強酸性次亜塩素酸水がある。人肌に使用できるのは微酸性次亜塩素酸水、弱酸性次亜塩素酸水である。残留塩素濃度が高いほど殺菌効果が高いと定義し、人肌に使用できる範囲でより高い殺菌効果がある次亜塩素酸水の作製を目的とする。

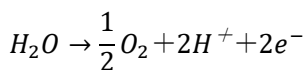
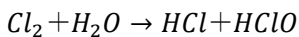
2. 先行研究

《食塩水の電気分解化学式》

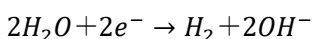
～陽極～



・発生した塩素は直ちに不均化反応を起こし、次亜塩素酸水が生成する。

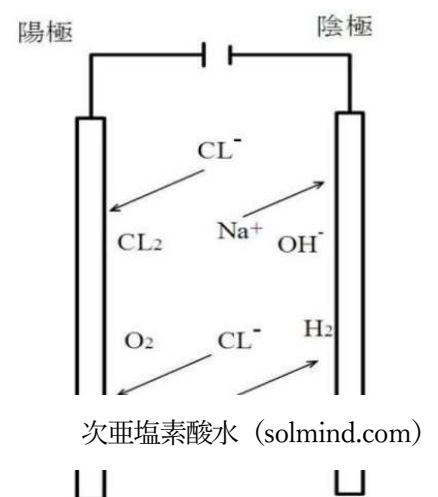
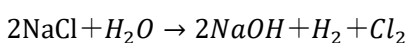


～陰極～



・陽極で発生した水素イオンと、陰極で発生した水酸化物イオンは中和反応を起こすため、生成する溶液はほぼ中性になる。

～全体～



《pH、ppm とは》

pH…水素イオン指数を表す単位。 $-\log_{10}[H^+]$ で表される。

ppm…主に溶液の濃度を表すときに使われる単位。 $[mg/L]$ と同じ。 part per million の略であり 10^{-6} のこと。

《次亜塩素酸水とは》

- ・ 10～80ppm の有効塩素濃度を持つ酸性電解水のこと。
- ・ 消毒液には微酸性次亜塩素酸水、弱酸性次亜塩素酸水が用いられる。刺激性が低いため、手指に触れても手荒れを起こしにくい。

弱酸性次亜塩素酸水…pH4.0～6.5 ppm10～60

3. 実験Ⅰ 食塩水の電気分解で次亜塩素酸水が生成するかを確かめる実験

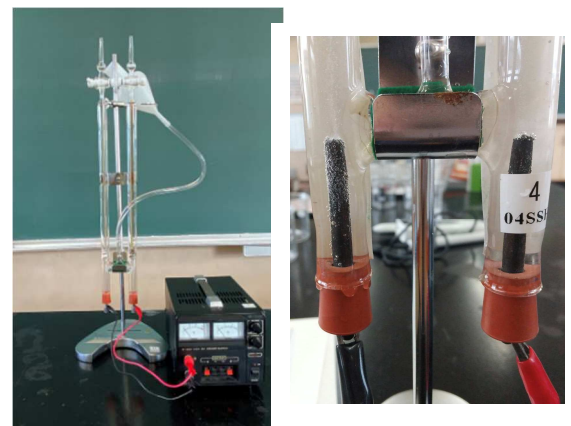
《実験方法》

①0.2%の食塩水を用意し、白金電極とホフマン管を用いて電圧 20V で 15 分間電気分解する。

②生成した溶液に BTB 溶液を加えて色の変化を見る。

《実験結果》

	食塩水	精製水
ホフマン管内の様子	陽極側に気泡発生	変化なし
BTB 溶液の色	黄色	緑色



《考察》

・ BTB 溶液の色が食塩水は黄色に、精製水は緑色になったことから、電気分解後は化学式より次亜塩素酸水が生成し、精製水は電解質を含まないため電気分解できない。

・ ホフマン管の陽極側から気体が発生したことから、化学式より Cl_2 が発生が分かる。

・ 陽極側に Cl_2 が発生し次亜塩素酸水が生成したことから、食塩水の電気分解で消毒液を作製することは可能である。

生じたこと

《疑問》

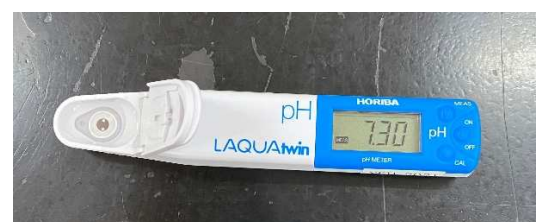
電気分解の時間を変えることで次亜塩素酸水の濃度が変化し、殺菌効果に差がみられるのではないかと。

4. 実験Ⅱ 時間変化に伴う pH 値の変化

《実験方法》

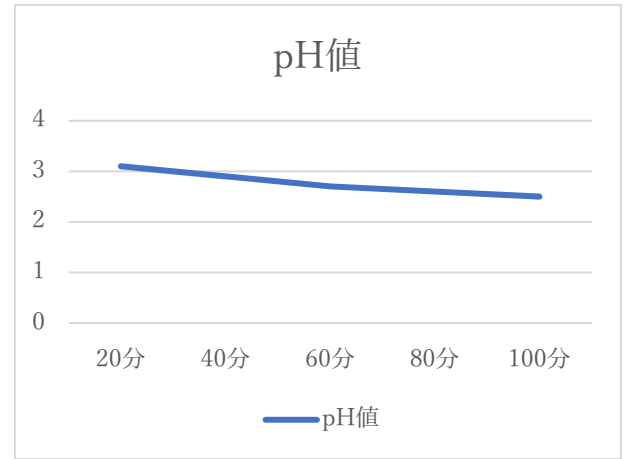
①0.2%の食塩水を 5 つ用意し、白金電極とホフマン管を用いて電圧 20V で時間を変えて電気分解する。

②pH メーターで生成した溶液の pH 値を測定する。



《実験結果》

	1回目	2回目	3回目	平均
食塩水	6.5	6.0	5.7	6.1
20分	3.1	3.1	3.1	3.1
40分	2.9	2.9	2.8	2.9
60分	2.7	2.7	2.7	2.7
80分	2.6	2.5	2.6	2.6
100分	2.5	2.5	2.4	2.5



《考察》

・電気分解する時間が長いほど pH 値が低くなることから、生成する次亜塩素酸水の濃度は高くなり、殺菌効果が高くなると考えられる。

・60分以降は pH 値が 2.7 以下である。pH 2.7 以下は強酸性であるため、人肌に使用できない。よって、電気分解時間は 20 分前後がちょうど良いのではないかと。しかし、酸性が強いため人肌に使用した場合、手荒れなどの問題が発生する可能性がある。よって、実用性は低いと考えられる。一方でモノに使用する場合には効果が期待できると考えられる。

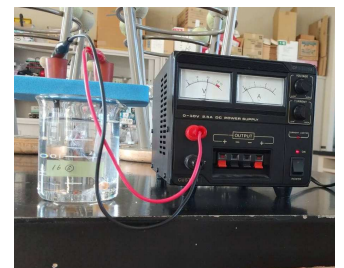
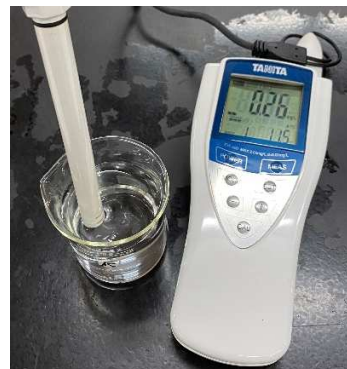
5. 実験Ⅲ 半透膜で仕切って電気分解

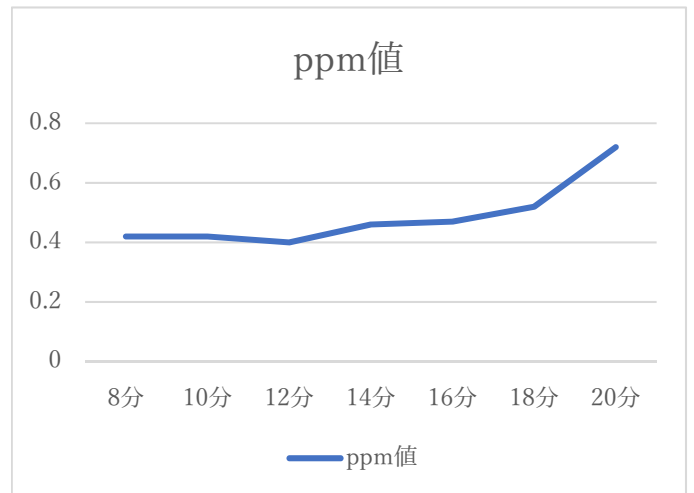
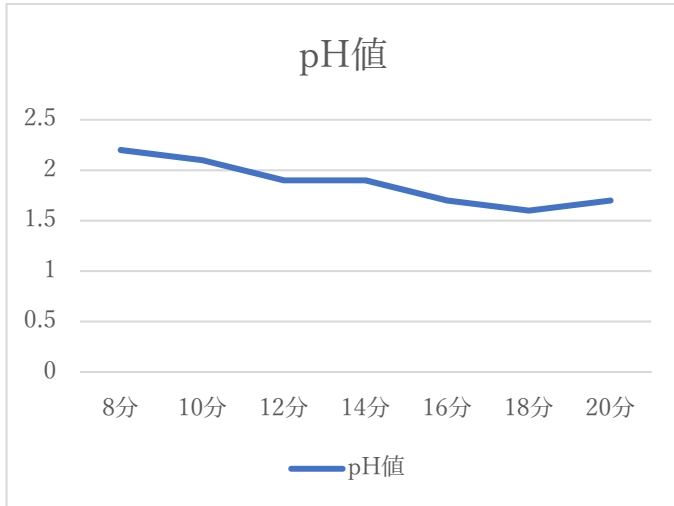
《実験方法》

- ①0.2%の食塩水を用意する。
- ②炭素棒と半透膜を用い、電圧 20V で 5 回ずつ電気分解する。
(ホフマン管や白金電極よりも取り扱いやすい半透膜と炭素棒を使用することにした。)
- ③100mL メスフラスコとホールピペットを用いて、半透膜内の溶液を 100 倍希釈する。
- ④残留塩素濃度測定器で 100 倍希釈した溶液の ppm 値を 3 回測定する。
- ⑤pH メーターで半透膜内の溶液の pH 値を 3 回測定する。

《実験結果》

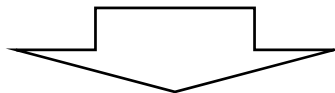
	pH 値	ppm 値
0分	7.3	0.35
8分	2.2	0.42
10分	2.1	0.42
12分	1.9	0.40
14分	1.9	0.46
16分	1.7	0.47
18分	1.6	0.52
20分	1.7	0.72





《考察》

- ・ホフマン管で電気分解した時間よりも、この実験のほうが電気分解時間を短くしたのにも関わらず、pH 値が低くなった。これは、ホフマン管の場合、陽極の溶液を取り出す際に陰極側の溶液が少し混ざったためだと考えられる。
- ・pH 値と ppm 値のグラフを比べると、電気分解時間が長いほど次亜塩素酸水が多く発生したことで pH 値は下がり、ppm 値は上がったことから、残留塩素濃度は pH に依存することが分かる。
- ・半透膜内の溶液は pH 値が低すぎるため、人肌の消毒には使用できない。



ホフマン管での実験に倣い、実験Ⅲと実験方法は変えずに電気分解後に両極の溶液を混ぜれば、消毒液として使用できる溶液が得られるのではないかと。

6. 実験Ⅳ 電気分解後に両極の溶液を混ぜる

《実験方法》

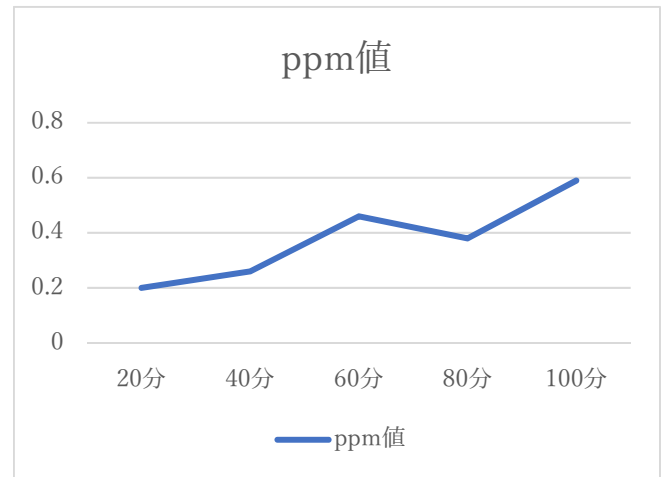
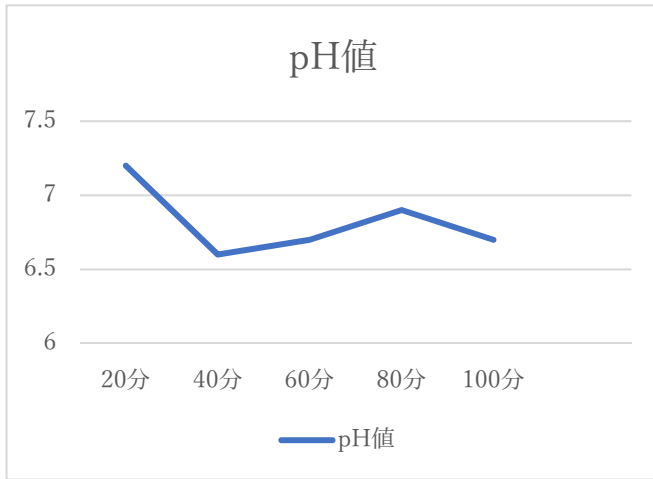
方法は実験Ⅲと同様。ただし、電気分解後に両極の溶液を混ぜ、ppm 値と pH 値を測定する。

《実験結果》

	pH 値	ppm 値
2 分	7.4	0.24
4 分	7.5	0.25
6 分	7.5	0.31
8 分	7.6	0.27
10 分	7.2	0.22
20 分	7.2	0.20
40 分	6.6	0.26
60 分	6.7	0.46
80 分	6.9	0.38
100 分	6.7	0.59

・pH は 4.0 以上、残留塩素濃度は 10～60ppm の範囲内である。

・測定値にばらつきがみられた。



《考察》

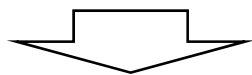
- ・ 100 分以内の電気分解であれば殺菌効果が期待でき、かつ人肌にも使用できる消毒液の作製が可能である。
- ・ 人肌に使用することを目的とすると、より pH 値が7である中性に近いものが望ましい。その点では、電気分解時間が80分のものが当てはまる。よって、この実験において人肌に使用することが可能で、かつ殺菌効果も期待できるのは80分間電気分解して作製した次亜塩素酸水である。

7. まとめ

- ・ 食塩水を電気分解することによって消毒液を作製することが可能である。
- ・ 電気分解時間が長いほど次亜塩素酸水の濃度は高くなり、殺菌効果が高い。

《半透膜内の溶液を用いる場合》

- ・ pH 値が強酸性を示し、人肌に使用するのは難しい。
- ・ 残留塩素濃度は殺菌効果が期待できる範囲であった。
- ・ 残留塩素濃度から判断すると、電気分解時間が20分を超えると残留塩素濃度が60ppm以上になり、人肌に使用することは難しくなる。



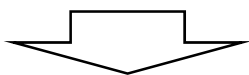
手指消毒に使用するよりは、身のまわりの物の消毒に使用する。

《両極の溶液を混ぜて用いる場合》

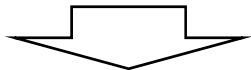
- ・ pH は中性に近い値であり、人肌に使用しても問題ない。
- ・ 残留塩素濃度は10~60ppmの範囲であり、殺菌効果が期待できる。
- ・ 80分間電気分解すると、安全でかつ殺菌効果が期待できる消毒液を作製することが可能である。

8. 反省

- ・ 測定値にばらつきがみられ、平均値の変動が安定しなかった。



- ・気温、湿度が同じ条件で実験が出来なかったため。
- ・電気分解後から測定までに時間が経ってしまい、次亜塩素酸水の濃度が低下したため。



《新たな疑問》

- ・気温、室温によって殺菌効果は変化するのか。
- ・経過時間によってどのくらい濃度が低下するのかなど、電気分解後の時間の経過と残留塩素濃度の低下にはどのような関係性があるのか。

9. 今後の展望

長野県には温泉が数多くあり、その中に塩化物泉というものがある。塩化物泉は他の温泉水に比べて、塩化物イオンが多く含まれている。塩化物泉を電気分解すると、食塩水よりも短時間の電気分解で消毒液を作製することが可能なのではないかと考えた。食塩水の電気分解実験の結果を応用して、塩化物泉についても調べてみたい。また、長野県の温泉で消毒液を作製することで、長野県のアピールにもつなげていきたい。

10. 参考文献

- ・除菌、殺菌に役立つ電解水とは？作り方も解説
- ・次亜塩素酸水とは（種類、除菌効果） www.nihon-trim.co.jp
- ・第12回次亜塩素酸水による殺菌と電解技術 pro.saraya.com
- ・一定濃度以上の「次亜塩素酸水」が新型コロナウイルスに有効と発表されました www.sibata.co.jp
- ・ppmとはー予備知識ー | 株式会社ピーエスジェイコーポレーション psj2001.com
- ・次亜塩素酸水ナトリウム駅の作り方ー目黒区 www.city.meguro.tokyo.jp
- ・水道水を殺菌水に加工する研究：電解次亜水に加工して利用 www.jstage.jst.go.jp
- ・Q&A 二酸化塩素による除菌等をうたった製品の利用について www.gakkohoken.jp
- ・コロナウイルスの構造と複製サイクル（ライフサイクル） www.jiu.ac.jp
- ・電気分解で除菌する自動制御の「温泉水電解除菌システム」を実用化～塩化物泉のレジオネラで属菌対策を安全で簡単に～ www.takenaka.co.jp

天然の撥水剤!!

～ブロッコリーブルームの研究～

研究者 北村未有 塚原希々花 村田歩佳

指導者 塩原啓佑

1. 研究の目的と概要

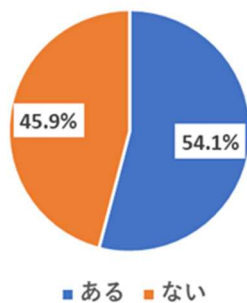
ブロッコリーは毎日の食卓でよく見られる身近な野菜である。私たちはブロッコリーが水を弾くことに疑問を抱いた。これにはブロッコリーの表面に付着しているブルーム*という物質が関係していると言われている。そこで、農薬と勘違いされることもあるブルームという物質の認識を改めること、ブルームがブロッコリーに及ぼす影響を調べること、その性質を製品に利用することを目的に研究を行った。

*ブルーム：植物の表面にみられる蠟状の物質。白い粉のように見え、新鮮な果物や野菜から分泌される。残留農薬と間違われることがあるが人体には無害。

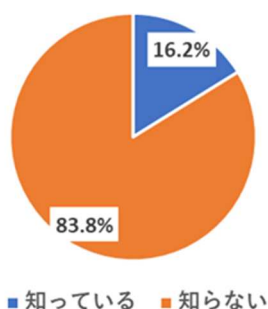
2. ブルームの認知度調査

ブルームについての認知度を調べるため、Google フォームを使用してアンケート調査を行い、屋代高等学校2年生37名から回答を得た。

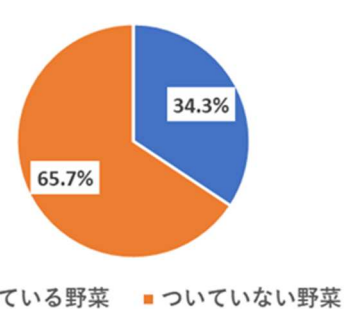
野菜の表面に粉状の物質がついているのを見ることができますか。



野菜の表面についている粉末が何か知っていますか。



粉状の物質がついている野菜とついていない野菜が売られているらどちらを買いますか。



アンケートの結果より、野菜の表面に物質が付着していることを認識している人は54.1%と半数に上った。しかし、物質がどのようなものであるのかを知っている人は16.2%と少なかった。また、34.3%は白い粉が付着していない野菜や果実を購入すると回答しており、ブルームが敬遠される原因になっていることが分かった。

3. 実験Ⅰ：ブルームの性質の検証

ブルームは蠟とよく似ており、同じ性質があると予想された。そこで、ブルームの撥水性と燃焼性の検証を行った。

実験Ⅰ-1 ブロッコリーの撥水性の検証

ブロッコリーのブルームを付着させた画用紙と、付着させていない画用紙に水を滴下し蒸発するまでの時間を計測した。画用紙は色付きのものを使用し、ブルームの付着した部分が見えるようにした。

結果Ⅰ-1

ブルームを付着させた色画用紙（図1）では、水滴は画用紙上で球形を保っていたが、付着させていない画用紙（図2）では水滴は浸透し、球形が崩れた。

また、水滴が蒸発するまでの時間もブルーム付着させた画用紙（図1）の方が早かった。

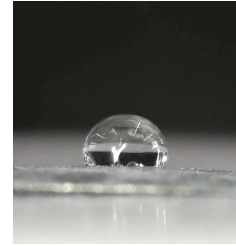


図1

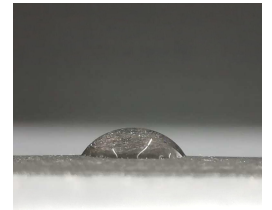


図2

実験Ⅰ-2 ブロッコリーのブルームの助燃性効果の検証

ブルームが付着した画用紙と付着していない画用紙の燃焼時間を比較した。

結果Ⅰ-2

ブルームが付着した画用紙のほうが53秒早く燃え尽きた。

4. 実験Ⅱ：ブロッコリーブルームの抽出

性質のより詳細な検証や、応用利用には大量のブルームが必要になる。しかし、ブロッコリーの表面からブルームをかき集める方法では少量のブルームしか得られなかった。そこで、より効率的なブルームの抽出方法を探索した。

実験Ⅱ-1 遠心分離を用いた抽出

ブロッコリーを1時間圧力鍋にかけ、突けば崩れる位の硬さにする。その後、チューブに煮汁、ペースト状にしたブロッコリーをそれぞれ移し、遠心分離機（図3）にかける。



図3



図4

結果Ⅱ-1

2層に分かれた。性質の検証実験からブルームは蠟のような物質であり、比重が軽いことから上層がブルームであると考えられる。

実験Ⅱ-2 有機溶媒を用いた抽出

4種類の有機溶媒（ジエチルエーテル、ベンゼン、エタノール、アセトン）と水をそれぞれブロッコリーの葉に滴下し、ブルームがどの物質に溶けるのか調べた。

結果Ⅱ-2

以下の図5のような結果が得られた。



図5



図6

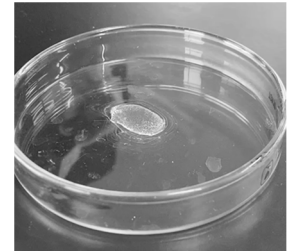


図7

エタノール・アセトン：滴下後の葉に変化はなかった。

ベンゼン：滴下後、滴下した部分のブルームが少し剥がれ、葉の緑色がやや濃くなった。

ジエチルエーテル：滴下した部分のブルームが剥がれ、葉の緑色が濃くなった（図6）。

溶けたブルームをシャーレに回収することができた（図7）。

実験Ⅱ-3 超音波を用いた抽出

超音波を用いた物理的振動によってブルームの単離を試みた。水を張ったビーカーにブロッコリーを入れ、超音波洗浄機に数分かけて、ブルームが剥がれているかを確認した。

結果Ⅱ-3

実験後の葉が変色し、花蕾（図8）が水に浮かべると沈むようになったことからブルームを剥がすことはできたと考えられる。

しかし、ブルームだけを取り出すことはできなかった。



図8

5. 実験Ⅲ :ブルームの鮮度維持効果の検証

実験Ⅰブロッコリーの撥水性の検証からブルームには撥水効果があることがわかっている。

ブルームは植物の表面からの蒸発を防ぎ、鮮度を保つ役割を果たしているのではないかと考えた。そこで、ブルームの鮮度維持効果を検証するために次のような実験を行った。

- 1, ブルームを剥がしたブロッコリー(以下ブロッコリーA、B、C)、剥がしていないブロッコリー(以下ブロッコリーD、E、F、)を用意する(図9)。
- 2, 切断面からの蒸発を防ぐために、切断面にはパラフィルムを貼る。
- 3, 温度を8度に保ったインキュベータで保管する。
- 4, 重量測定を24時間毎に5日間の期間で行う。
- 5, ブロッコリーA、B、Cは脱脂綿にジエチルエーテルを含ませ、表面を優しく拭くことでブルームを落とした。この操作は質量測定後毎に行った。



図9

結果Ⅲ-1 質量の変化

平均	水分減少率(%)
ブルームなし	20.03
ブルームあり	17.69

表1

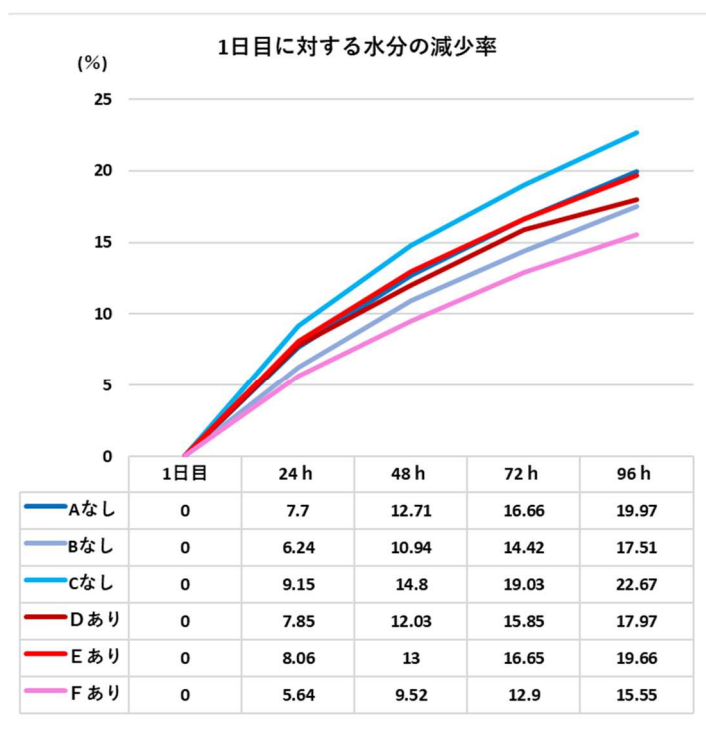


表2

5日後のブロッコリーの質量が、1日目と比較してどの程度質量が減少したのか算出した(表1)。

その結果、ブルームを剥がしたブロッコリー（A～C）では、重量が 20.03%減少した。一方で処理を行わなかったブロッコリー（D～F）では重量の減少が 17.69%に留まり、ブルームを剥がすと重量減少が大きくなることが分かった。この傾向は、重量測定を行った5日間で共通していた（表2）。この結果からブルームはブロッコリー表面からの蒸発を防ぎ、水分を保持することで鮮度の維持に効果があると推測された。

6. まとめ・考察

実験Ⅰ、Ⅱを通してブルームは撥水性と助燃性をもち、親油性でジエチルエーテルによく溶けるとということがわかった。また、実験Ⅲから、ブルームにはブロッコリーの水分を保持する働きがあることもわかった。一度剥がしてもまた再生してくるのは、ブルームがブロッコリーの鮮度を保つ上で必要なものであるからだと考えられる。洗浄後、落ちたブルームが確認できなかったことから、ブルームが水に溶ける、細分化されるなど目に見えない形になってしまっていることが考えられる。ブルームはごく微量なので取り出せないと判断した。ただ三十分程度の実験だったので、時間や数量を変えることで異なる結果が出る可能性がある。

7. 今後の展望

今後のブルームに関する実験において最も重要なのは、いかに大量のブルームを取り出すことができるかということだと考えている。今回の研究において、私たちは有機溶媒や超音波、手作業などによってブルームを安定して取り出すことができなかと模索したが、いずれも芳しい成果をあげることができなかった。理由としては、ブルームが付着している絶対量がごく微量であること、水など安易な方法で単離することはできない点がある。

今回の実験でブロッコリーの鮮度保持にブルームが関与していることが分かったため、単離精製した後は他の野菜や果物にブルームを付着させ、他の野菜や果物の鮮度を保たせることでブルームの可能性についてより多くの人に知ってもらいたい。

8. 参考文献

東京工業大学「ブドウの周りの白い粉を作る遺伝子を発見」

<https://www.titech.ac.jp/news/2011/025566>

あいち産業科学技術総合センター食品工業技術センター「青野菜の鮮度評価試験について」

http://www.aichi-inst.jp/shokuhin/other/up_docs/news1905-2.pdf

シロツメクサの培養について

～四つ葉形成メカニズムの解明に向けて～

研究者 春日洗輝 小林佑季 待井優花 丸山大輝

指導教諭 長山耕己

1. 研究の目的と概要

シロツメクサの四つ葉の効率的な培養法が確立されていないことから効率的な培養方法を見つけたいと思い、どのような事が四つ葉の発生に関係しているのか考えた。先行研究などを踏まえた上で踏みつけの刺激で四つ葉が発生する割合が上がるか、また、シロツメクサを組織培養したら四つ葉からは四つ葉が再現できるかというテーマで実験を進めた。

2. 四つ葉ができる仕組みと仮説

四つ葉ができる仕組みは一般に二種類が考えられている。

〈外的要因〉…人や動物に踏まれたり濃い肥料がかかったりする物理化学的な刺激により、葉のもととなる極小さな成長点に傷がつくことで1枚の小葉が2枚に分かれる

〈遺伝的要因〉…突然変異のため、3つ1セットにする仕組みそのものが変化してしまう

(参照：子供の科学のWebサイト;今日のはてな2020-10-27, レファレンス共同データベース;レファレンス事例詳細2007-6-19)

以上より、外的要因からできた四つ葉は特異的なものでありその四つ葉のある茎から今後生えてくる葉が四つ葉である確率は全て三つ葉の茎と変わらず、遺伝的要因から茎自体が突然変異すると同じ茎に生まれてくる葉は4枚になることが多くなると考えられる。よって、外的要因から成った四つ葉を培養すると三つ葉が生成するが、遺伝的要因から成った四つ葉を培養すると四つ葉が生成しやすいと考えた。

3. 実験Ⅰ 幼芽の踏みつけによって葉が4枚になる仮説の検証

2に記載の二つの理由の数値的な根拠が見つからなかったため外的要因で四つ葉になるときの割合はどのくらいかを調べるために下記の実験を行った。

実験方法

- ① シロツメクサの種を稲の苗箱3段に均一にまき、20℃のインキュベータの中で赤色LED下で毎日毎段100mlずつ水を与えて育てる(写真. 1-1)
- ② 芽が出たら、段ごとに光量などの条件が異なるかもしれないので同じ段を二分割ずつして片方を踏み
- ③ 小葉の枚数が確認できるまで成長したら踏んだ側と踏まなかった側、それぞれの四つ葉の枚数を数える



写真. 1-1 インキュベータ

実験結果

種をまいてから16日後に芽が出ているのが確認でき、上から1,2段目は芽が出て茎も最大約5cmまで成長した(写真. 1-2)が、3段目は一切生えていなか

った。よって1,2段目をそれぞれ2分割して片方を踏んだ。踏んだ側にはわかるように白いビニールテープを貼っておいた。そのあと、インキュベータに戻した。また、3段目はその後も同じように育てた。

その後3週間経っても1,2段目は葉が見られないというよりも枯れかかっており(写真.1-3)、3段目に関しては芽さえ出ていなかったのので3段目に新しい種をまいた。光量が足りないことが原因だと思い、外の日当たりの良いスペースを貸していただいて3段とも育てたが、その後も全ての段で葉の枚数が確認できるまで成長はしなかった。



写真.1-2 (1段目)



写真.1-3 (1段目) 右側を踏んだ

考察

シロツメクサが育たなかった原因に関しては光量が足りなかったからと夏期休業が挟まり水やりがまちまちになってしまった事が考えられる。また、自然光で生育を行えば成長する可能性はあったがコントロールされた培養条件で実験を行う必要があったため、寒天培地上での組織培養を試みた。

4. 実験Ⅱ シロツメクサの組織培養実験

四つ葉のシロツメクサの組織を培養したら四つ葉ができるのであればカルスを作成して、他の植物のカルスからはオーキシシンやサイトカイニンなどの植物ホルモンを投与すると、芽や根、胚が分化し、さらに完全な植物体にまで成長させられることが知られているのでこの方法でシロツメクサのクローンをたくさん作れるのではと考えた。まず、シロツメクサの植物体の部位でカルス形成ができる場所を探した。

培地組成：基本培地はカルス培養に適しているMS培地を用い、これにスクロース3%、および固形培地にするためにアガーを0.8%添加した。また一回で1Lの培地を作り(計二回作った)、500mlずつ分けてオートクレーブ(圧力 1.2kg/cm, 121°C, 15分間)で滅菌して500mlを滅菌シャーレ20枚に移して固めた。

実験方法 培養可能部位の確認

- ① 1つの三つ葉の株の、いろいろな部位(図.2-1)の内部の組織を簡易的なガスバーナーを使った無菌下で実体顕微鏡下で採取した。
- ② 全てを表面殺菌のためにエタノールにくぐらせて無菌水で洗ったのちにガスバーナー下で寒天培地に移してオーキシシン類としてIAA(1ppm[1mg/L]に希釈)をピペットで一滴滴下した。その後、シャーレの周りにパラフィルムを巻いて25°Cに保って下に水を敷いたインキュベータ(LED灯付き:光をたくさん当てるためにインキュベータ内の壁にアルミホイルをはった)の中に入れて培養した。
- ③ 定期的にシャーレを確認した。カビが生えてきたら別の培地に移した。
- ④ カルスの形成が見られたらいくつかの培地に分けてカビが原因で全滅することのないようにした。

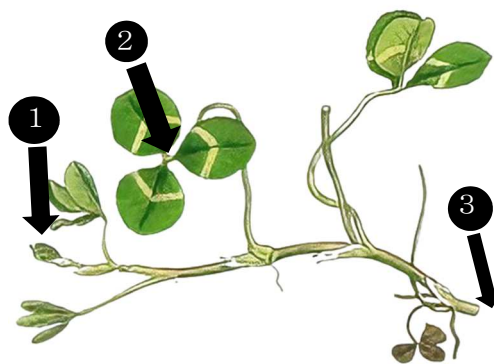


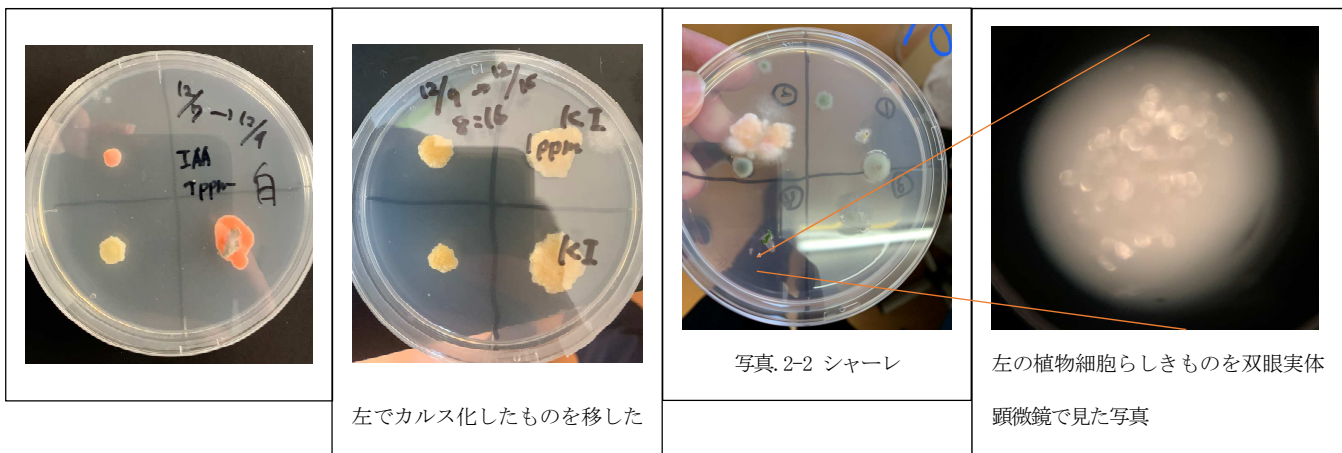
図.2-1 シロツメクサの図

【①】 ①～③の説明

番号	小葉の数	説明	作成した個数
①	3	ランナーの先端	12
②	3	小葉の分かれ目	6
③	3	根の先端(根冠は除く)	4

実験結果

- ①に関してはカルスを作ること成功した(写真. 2-1)。12 個作成して1 個がカルス化した。
- ②に関してはカルス化しなかったが培養した培地上に植物細胞らしきものが見られた(写真. 2-2)。
- ③に関してはカルス化しなかった。



左でカルス化したものを移した

写真. 2-2 シャーレ

左の植物細胞らしきものを双眼実体顕微鏡で見た写真

考察

①では12 個を培養して1 個だけしかカルス化しなかった。その後、同じくランナーの先端から3つの茎頂組織をとってカイネチン(1ppm に希釈)(サイトカイニン類の植物ホルモン)を滴下して培養したところ2つをカルス化させられた。また、この実験での無菌は近くにガスバーナーを配置する簡易的なものでありその後に行ったカイネチンを用いるものはクリーンベンチ内で行ったことから、①は無菌操作が十分でなかったためカルス化する事ができた割合が低かったと考えられる。

②では植物細胞らしきものができていたが本当かどうかはわからず、カルスの生成も見られなかった。

③では、根の先端に根端分裂組織があり培養できるかと思ったが結果的に何の変化もなかった。根の先端からでは培養しにくい事がわかった。

よって実験からランナーの先端を切り取って培養すればカルス化することができるとわかった。

5. 実験Ⅲ カルスへ与える植物ホルモンの影響

他の植物の組織培養のように、サイトカイニンとオーキシンを与えることで根を生やし葉をつけさせることを目的とした。まずそれぞれの植物ホルモンがカルスにどのような影響を与えるか観察した。

実験方法

① 1つのカルスを、4個を1セット(1つのシャーレ)として7セットに小さく分ける。

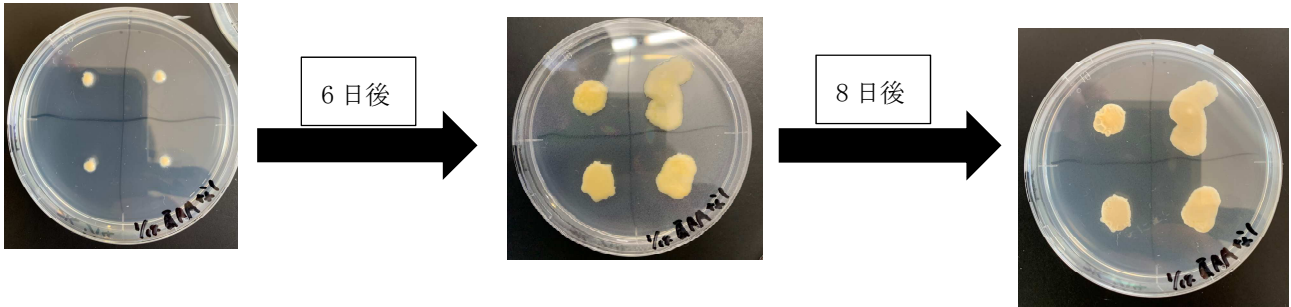
② オーキシニン類として IAA (インドール-3-酢酸) とサイトカイニン類として KI (カイネチン) をそれぞれ 1ppm, 10ppm, 100ppm に希釈したものと水をそれぞれ4個(1つのシャーレに4個)ずつ滴下する。

※最初は、グラム数を計り一番最初から比べてシャーレ全体がどのくらい重くなったのかを比較の基準とし

ようと思ったがどのシャーレも寒天培地が減っていくからかどんどんグラム数が減少してしまうので最初の大きさからどのくらい大きくなったかを目視で判断することにした。

実験結果

1) 水(滅菌水)を与えたカルス



2) IAA を与えたカルス

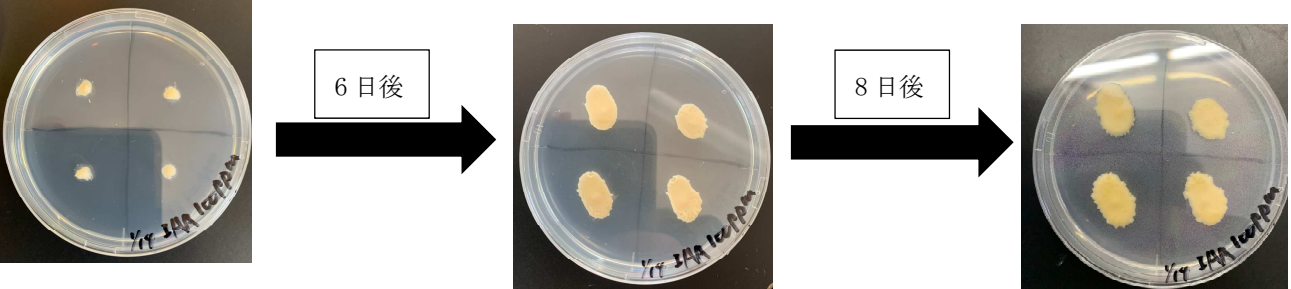
【 1ppm 】



【 10ppm 】



【 100ppm 】

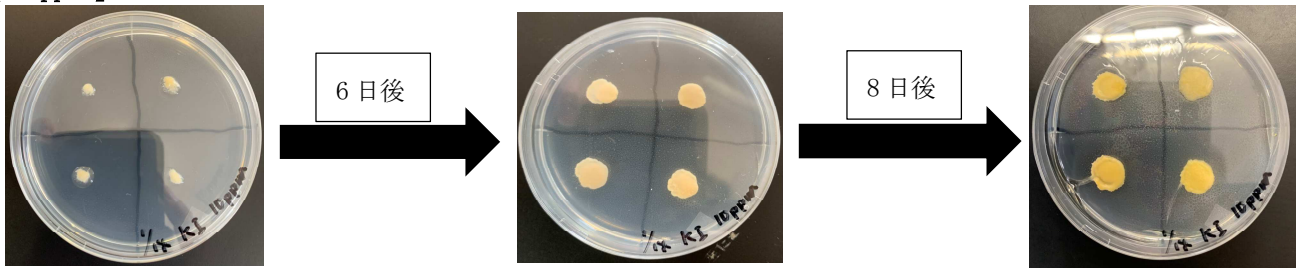


3) KI を与えたカルス

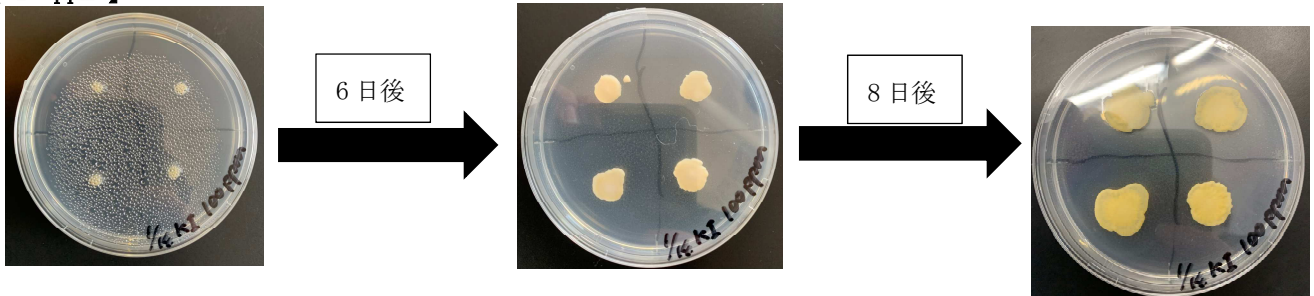
【 1ppm 】



【 10ppm 】



【 100ppm 】



考察

- 1)と2)または1)と3)の比較から植物ホルモンを与えなくても十分カルスが肥大することがわかった。
- 2)からは IAA,1ppm を滴下した培地はカビが入ってしまっていて判断できなくなってしまったが 10ppm と 100ppm を比べると 6 日後の写真がわかりやすいが 100ppm の方がカルスが大きくなっているのがわかる。よって 1ppm はカビのせいかもしれないが IAA の添加でシロツメクサのカルスが肥大しやすい順番は 1ppm < 10ppm < 100ppm だと考えられる。
- 3)からは 6 日後の写真から、1ppm が一番肥大化していたが 14 日後の写真からは 1ppm と 100ppm が同じくらい大きくなっていることがわかる。よって KI の添加で肥大しやすい順番を 10ppm < 1ppm ≒ 100ppm と考えた。
- また、全てのシャーレを比べると KI の 100ppm が一番大きくなっていることが目視でわかる。

6. まとめ (考察)

- ・シロツメクサの組織培養にはランナーの先端を用いて培養すればカルスを作れることがわかった。また、予備実験で植物ホルモンなしで茎頂培養したときに培地にすごい量のカビが発生してしまったため無菌下での作業の徹底、取り出した組織の洗浄、パラフィルムを巻くことはとても大事だと思う。
- ・カルスの成長は今回の実験では濃度 100ppm の KI が一番肥大化させられたが、参考にした論文（電力中央研究所報告 研究報告 U89041）ではイチゴのランナーからとった茎頂で培養するとき植物ホルモンの濃度を 1ppm や 0.1ppm で実験を行っており濃度が大きすぎると成長しにくいとあった。今回の実験で使った植物はイチゴではないものの、植物の種類によってここまで差が出るということがわかった。

7. 今後の展望

時間がなくてシロツメクサのカルスから植物体を作る条件を見出せなかった。サイトカイニンとオーキシンを同時に与えてそれらのバランスで発生がコントロールできる報告があるので試してみたい。

植物ホルモンを今回は二種類しか使わなかったが、6種類あるのでいろいろ比較して実験してみたい。

また、他の植物では TDZ やサイトカイニンの一種の BA の添加によってカルスからシュートが形成されるとあったので、シロツメクサでもシュート誘導を試してみたい。

また、公園などに生えている外的要因から成った四つ葉と、ネットショップで「四つ葉キット」として売っている種からできた遺伝的要因から成った四つ葉で、培養したときに何か違いがあるのか見てみたい。

8. 参考文献

- ・子供の科学の Web サイト : <https://www.kodomonokagaku.com>
- ・4-1. シュートの定義・根との違い : <https://staff.fukuoka-edu.ac.jp/fukuhara/keitai/4-1.html>
- ・レファレンス共同データベース : <https://crd.ndl.go.jp/reference/>
- ・『電力中央研究所報告 研究報告 U89041』
- ・日本植物生理学会 みんなのひろば 植物 Q&A : https://jspp.org/hiroba/q_and_a/
- ・asahi.com : <https://www.asahi.com/edu/nie/tamate/kiji/TKY200503070160.html>
- ・『リンゴ子葉カルスからのシュート形成に及ぼす BA, TDZ および CPPU の影響』

参 考

- ※1 カルス : 通常、細胞は組織の一部として役割を持って形成される (分化した状態) が、組織内のホルモンなどのバランスが崩れた場合、まだ何になるか決まっていない状態 (未分化)、あるいは決まった役割から離れた状態 (脱分化) の細胞の塊を形成する。この細胞の塊をカルスと呼ぶ。
- ※2 植物ホルモン : 植物ホルモンには植物の生育に関するもの、老化に関与するもの他、離層形成ホルモン (落葉に関与)、花芽誘導ホルモンなどが認められている。このうち、サイトカイニン類は特に植物の分化と生長に関与し、オーキシン類は細胞分裂、脱分化に関与するといわれており、植物の組織培養を行う場合、この2種類のホルモンが主に用いられる。
- ※3 シュート : 役割とかがちが大きく違う茎と葉を、植物形態学では「シュート」という一つの単位として扱う。カルスから培地中のサイトカイニンとオーキシンの含有比を変化させると、根や茎を発生させることができ、これを再分化 (シュートの形成) と呼んでいる。

(参照 : 電力中央研究所報告 研究報告 : U89041 他)

虹を見る夜

～月虹の発生条件の検証～

研究者 古田陽南乃 海沼さや 下平智也 桑澤晴希

指導者 大石超

1. 研究の目的と概要

月虹（げっこう）とは、月の光によって虹がかかる現象である。それは、「幸せを呼ぶ」とされる気象現象であり、ハワイや石垣島で観測されることが多い。しかし条件さえ揃えば日本各地でみられる現象であることが知られている。そこで「ハワイや石垣島に旅行しなくても月虹を見てみたい!」と思い、本研究では月虹を観測できる条件を検証することを目的として実験を行った。

2. 研究内容・研究方法

1) 月虹が発生する条件を調べる

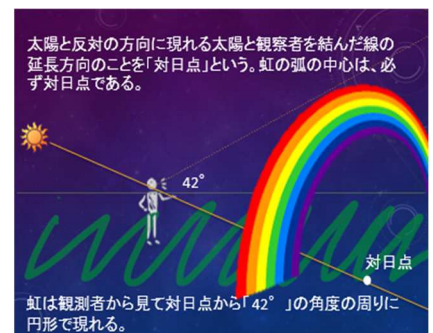
月虹は、太陽光の代わりに月光でできる虹であるため、その条件は通常の虹と同じものになると考えられる。そこでまず、虹が発生する条件を調べた。

条件① 空気中に水滴が存在すること。

虹は、水滴に差し込んだ日光が反射・屈折することで発生する。

条件② 観測者から見て、対日点から 42° の角度の周りに円形で現れる。

条件③ 一定以上の光量



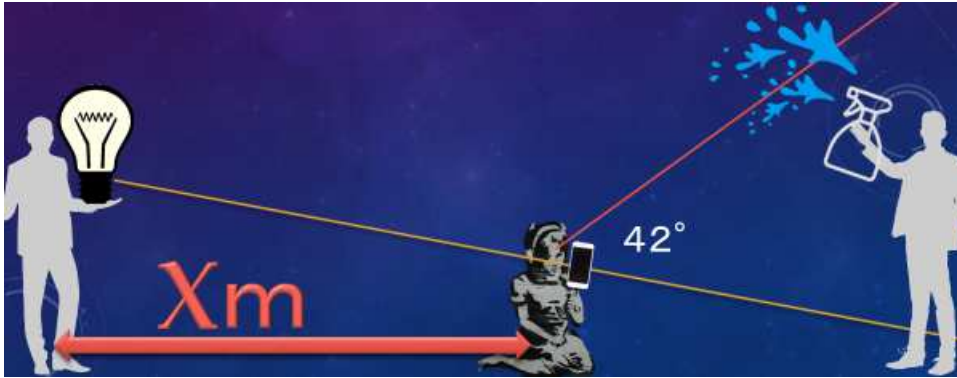
一般には晴天の直射日光が条件とされているが、月虹が観測されている以上、光量の最低ラインは「晴天の直射日光程度の光量」を下回ると予想した。

2) 月光の明るさに合わせた白熱電球の光を用いて虹が発生する条件を調べる。

満月の明るさは、 0.25lux とされる。これは、 20m 先に置いた 100w の白熱電球の明るさに等しい。このことから、電球から観測者の位置を変えることによって光量を変化させ、都度虹が発生するように調整し、最終目的を 20m とした。

実験方法

- ・道具 100w 白熱電球 ポータブル電源 霧吹き ホース 巻き尺
- ・場所 暗いところ(田んぼのあぜ道)
- ・時間 18:00～
- ・手順 ①↓の位置に立ち、左の人が電球をつける。



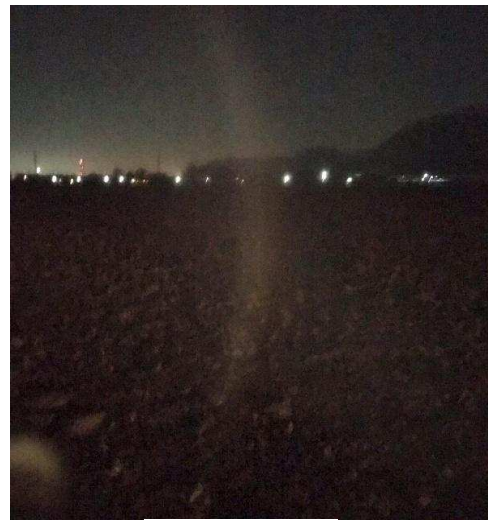
- ②真ん中の人がその場にしゃがみ、電球と目の位置を結んだ直線から 42° の場所を見上げる。
- ③右の人が霧吹きで水滴をまく。
- ④虹が発生するまで角度や水滴の量、水滴の粒の大きさ等を調整する。
- ⑤確認できたら、距離を変えて①～④を繰り返す。

実験結果

実験は 10~20m 地点、霧吹きを用いて行った。先述の通りの方法では虹は観測されず、10m 地点で水滴をまく位置を調節していくとしゃがんだ観測者(真ん中の人)の目線の高さで画像のように水滴が弧状に光る様子が観測された。また、この様子は観測者の位置からしか確認できず、電球を持っていた人、霧吹きで水滴をまいていた人の地点からでは確認できなかった。



↑撮影した写真



↑露出を高く

考察

撮影した光がまいた水滴の一部分のみだったこと、光が弧を描いていたことから、この光は虹の特徴を持っていると考えられる。

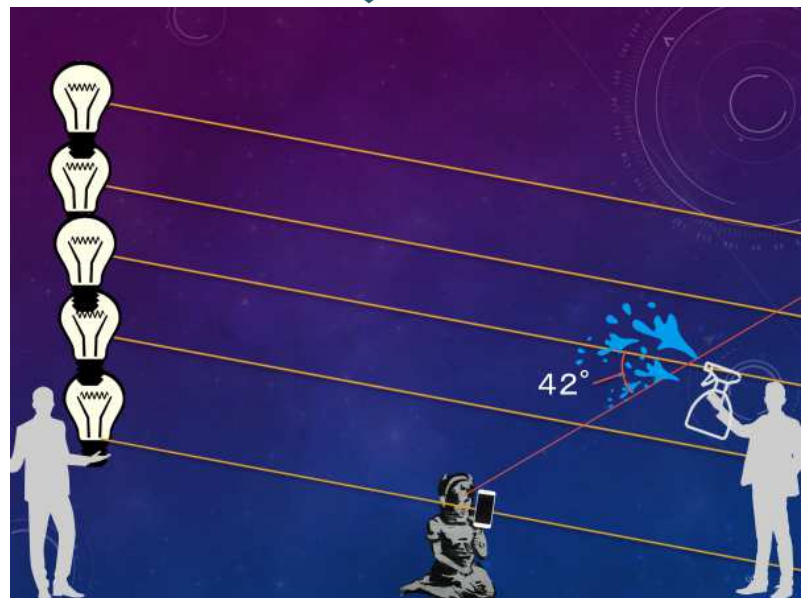
しかし、今回の実験では条件②を満たしていない。そこで、条件の通りに観測できなかった理由として白熱電球と太陽光・月光の違いが挙げられる。太陽光や月光は地球を広い範囲で照らしているのに対し、白熱電球が照らせる



範囲はごく小さい。対日点の存在について、電球をそのまま月に見立てて考えていたが光源の大きさも考慮した場合、



光が水滴に入射する角度と、観測者に差す角度が等しくなり、 42° というのは実際には水滴の内部で屈折・反射してできた角度ということになる。つまり、対日点は虹を観測する上での指標としての役割を持っており、本質的には虹の発生に直接かかわるものではないと考えられる。



電球を用いた場合はこの二つの角度は等しくならず、よって条件②に反したと考察できる。

また、虹には「七色」という最大の特徴がある。しかし今回は白い光しか観測されなかった。これは「白虹」または「霧虹」とよばれる気象現象と一致しており、これらは虹が通常より細かい粒の水滴によってできると白色になるという現象である。

虹が七色になるのは、光が水滴の内部で反射するとき色によって角度が異なるからである。この時、水滴が細かいと差が生じにくくなることで白虹が発生するとされている。実験で用いたのは霧吹きであり、水滴は雨粒より細かったことが、七色にならなかった原因と考えられる。

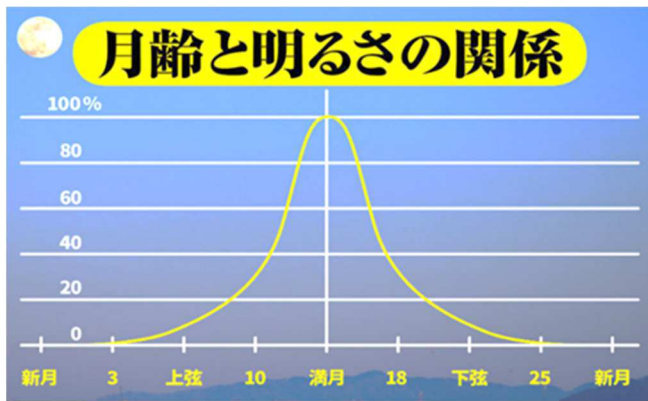
※10m以上離れた地点では虹が観測されなかった。先述の通り対日点について誤解があり実験の方法を見直す必要があると判明したため単純に光量不足が原因と決めることはできず、実験者の立ち位置や水滴をまく角度を試行錯誤すれば観測できる可能性があると考えている。

3) 調べた条件に沿って実際に月光で検証する。

1) 2) を踏まえ、実際に観測するための条件を考察すると、

☆一定以上の光量が必要

→満月か、満月近辺の晴れた晩

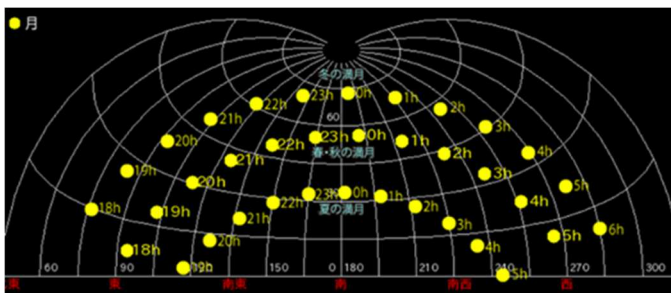


↳満月の明るさを100%にしたとき、半月の明るさは50%ではなく20%になる。

☆観測者から見て、対日点から42°の角度の周りに円形で現れる。

→18時以降

月が高く昇ってしまうと虹は低い位置に発生し、観測しにくい。よって月の高度の低い月の出、月の入りが好ましいと考えられる。



↳冬は18時~19時、または4時~6時頃

3. 今後の展望

実験の結果をあまり活かせなかったため白熱電球と月の決定的な違いを解消するための、水滴に差し込む光の角度を意識した実験をすることで、月虹の観測につなげたい。

また、月虹を観測するにあたって満月であることと晴れていることは、実験の有無にかかわらず必要になる条件となってしまうていて、実際に観測しようとするとその時点でかなり条件が絞られてしまっているのて、満月でない日の月光を利用する方法も調査したい。

4. 参考文献

ウェザーニュース

<https://weathernews.jp/s/topics/201807/300125/><https://weathernews.jp/s/topics/201809/200105/>

価格.com マガジン

<https://kagakumag.com>

国立天文台暦計算室

<https://eco.mtk.nao.ac.jp/koyomi/wiki/B7EEA4CEBDD0C6FEA4EAA4C8C6EEC3E62FC6EEC3E6B9E2C5D9.html>