

最適航空路

～自然を味方につける飛行～

研究者： 近藤 雄太 塚田 修造 瀬在 陸

指導教諭： 佐藤 勉 先生

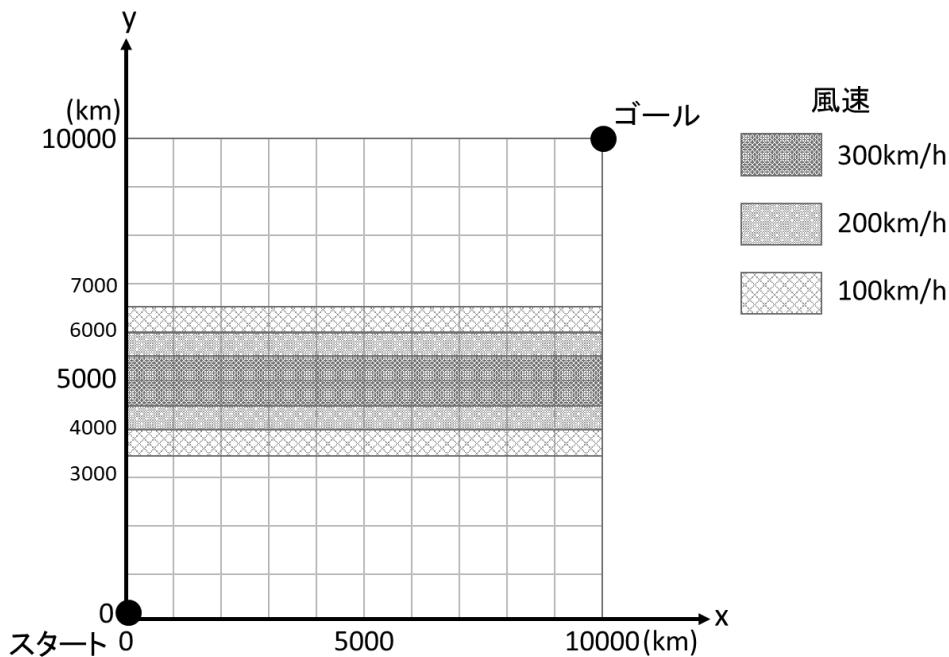
1. 研究概要および目的

私たちは、航空路が最短航路から大きく外れる時があるのを不思議に思った。理由は天候や緊急着陸用の空港に沿った航路の優先などがあるが、主にジェット気流という上層風による影響である。そこで、ジェット気流の影響を受けた航路と最短航路の飛行時間と航路を比較し、遠回りでも風を利用することの有効性を確認するのが本研究の目的である。

2. 研究内容・研究方法

飛行する空間を簡略化した図(1)を用いて、ジェット気流の追い風と向かい風が吹いているときの飛行時間を計算する。ジェット気流の影響を受けた最適航空路はコンピュータを用いて全探索(すべての数字の組み合わせで探索する方法)によって求める。このとき、風による航路の影響の受けやすさを4段階に分けてそれぞれの成績を比較する。

飛行環境の条件は以下のように設定した。



図(1)

- ◆ 飛行機の速さ: 800km/h
- ◆ スタート地点: 原点
- ◆ ゴール地点: 点(10000, 10000)
- ◆ x 軸方向を正の向きしたとき、 $(4500 < y < 5500)$ の範囲に速度 $\pm 300\text{km/h}$ 、 $(4000 < y < 4500, 5500 < y < 6000)$ の範囲に速度 $\pm 200\text{km/h}$ 、 $(3500 < y < 4000, 6000 < y < 6500)$ の範囲に速度 $\pm 100\text{km/h}$ のジェット気流が吹いている。

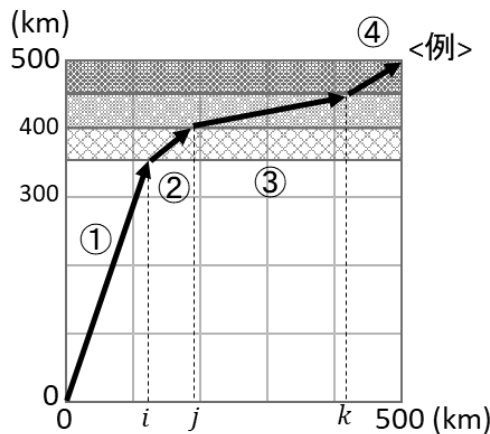
これらの具体的な数字は計算結果を分かりやすくするために、実際の飛行規模に基づいて定めた。

風による航路の影響の受けやすさは(A)～(D)の4段階に分けた。

- A) 基本は直線で飛行するが、風の速度が変わる6つ全ての境界線において方向転換可能
- B) 基本は直線で飛行し、風無しの部分と風速 100km/h の境界と風速 100km/h と 200km/hの境界の4つの境界線において方向転換可能
- C) 基本は直線で飛行し、風無しの部分と風速 100km/hの境界のみ、2つの境界線において方向転換可能
- D) スタートからゴールまで直線で飛行する(最短距離)

まず、(A)の航路の飛行時間を計算する。

図(1)のジェット気流の条件は点(5000, 5000)に関して対称であるため、全ての航路が点(5000, 5000)に関して対称であると考えられる。そのため(0 ≤ x ≤ 5000), (0 ≤ y ≤ 5000)の範囲で原点から点(5000, 5000)までの航路を計算し、2倍すれば正確な結果が得られる。



図(2)

原点から点(500, 500)へ移動するとき、基本は直線で、風の速度が変わる3つの点で方向転換が可能のため、3つの点のx座標が決定されれば航路が確定する。図(2)のように境界の点のx座標をそれぞれ i, j, k ($0 < i < j < k < 500$) と置く。

図(1)と図(2)で大きさが10倍違う理由は、後に i, j, k に数字を代入する際に計算量を減らすためである。図(1)のまま i, j, k に(0, 1, 2, ..., 5000)をそれぞれ代入していくと、約1000億通りの計算をする必要があるため多くの時間がかかってしまう。そのため図(2)のようにサイズを一度10分の1にして、計算後に再び10倍する。 i, j, k には実質的には(0, 10, 20, ..., 5000)を代入することになり、(0, 1, 2, ..., 5000)を代入するに比べたら10km未満の誤差が生じるが、約1億通りの計算に減らすことができる。

図(2)のように航路を①～④の4つの直線に分け、それぞれの飛行時間を t_1, t_2, t_3, t_4 、合計飛行時間を t と置き、

$$t = 20(t_1 + t_2 + t_3 + t_4) [h]$$

によって求める。

<直線①>

図(2)より 飛行距離 $d_1 = \sqrt{i^2 + 350^2}$ [km]

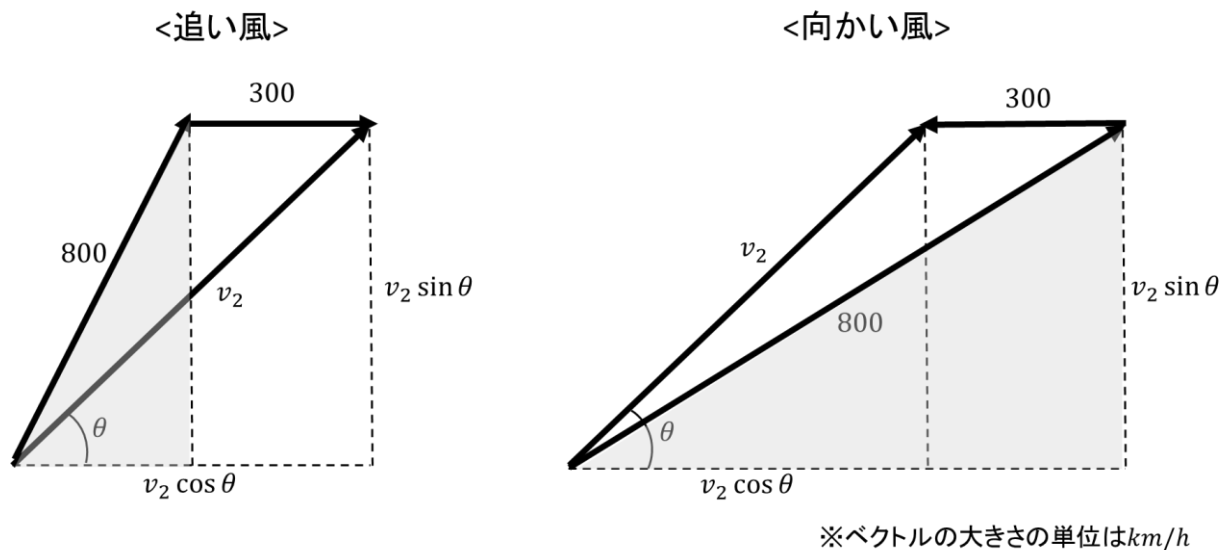
速さ $v_1 = 800$ km/h

飛行時間 $t_1 = \frac{d_1}{v_1}$

<直線②>

図(2)より 飛行距離 $d_2 = \sqrt{(j-i)^2 + 50^2}$ [km]

速さ v_2 はジェット気流の影響を受けるため、以下のようにベクトルを用いて求める。



図(3)

図(3)の進行方向と x 軸がなす角 θ について、図(2)より

$$\tan \theta = \frac{50}{j-i} \quad (i \neq j)$$

$$1 + (\tan \theta)^2 = \frac{1}{(\cos \theta)^2} \text{ であるため}$$

$$\therefore \cos \theta = \frac{j-i}{\sqrt{(j-i)^2 + 50^2}}$$

図(3)灰色部分の直角三角形について、ピタゴラスの定理より

$$800^2 = (v_2 \cos \theta \pm 100)^2 + (v_2 \sin \theta)^2$$

$$\therefore v_2 = \mp 100 \cos \theta + \sqrt{(100 \cos \theta)^2 + 630000} \text{ [km/h]} (\because v_2 > 0)$$

このとき、 $+100 \cos \theta$ のときは追い風、 $-100 \cos \theta$ のときは向かい風となる。

飛行時間は $t_2 = \frac{d_2}{v_2}$

直線③、④も②と同様に計算する。

<直線③>

図(2)より 飛行距離 $d_3 = \sqrt{(k-j)^2 + 50^2}$ [km]
速さ $v_3 = \pm 200 \cos \theta + \sqrt{(200 \cos \theta)^2 + 600000}$ [km/h]
$$\cos \theta = \frac{k-j}{\sqrt{(k-j)^2 + 50^2}}$$

飛行時間 $t_3 = \frac{d_3}{v_3}$

<直線④>

図(2)より 飛行距離 $d_4 = \sqrt{(500-k)^2 + 50^2}$ [km]
速さ $v_4 = \pm 300 \cos \theta + \sqrt{(300 \cos \theta)^2 + 550000}$ [km/h]
$$\cos \theta = \frac{500-k}{\sqrt{(500-k)^2 + 50^2}}$$

飛行時間 $t_4 = \frac{d_4}{v_4}$

t_1, t_2, t_3, t_4 を i, j, k のみで表した。次はコンピュータを用いてそれぞれに(0, 1, 2, ..., 500)を代入して、全探索で t の値が最小になる組み合わせを調べる。

(B)、(C)、(D)の航路も(A)と同様に飛行時間は i, j, k で表される。

(B)の航路は風速 200km/h と 300km/hの境界線で進行方向を変えられないため、 k の値は j の値によって決まる。

$500 - k = k - j$ より、 $k = \frac{j+500}{2}$ と表すことができる。

(C)の航路は風速 100km/h と 200km/hの境界線と風速 200km/h と 300km/hの境界線で進行方向を変えられないため、 j と k の値は i の値によって決まる。

$j - i = k - j = 500 - k$ より、 $j = i + \frac{500-i}{3}, k = j + \frac{500-i}{3}$ と表すことができる。

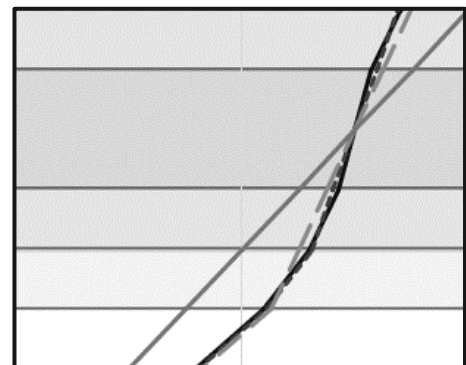
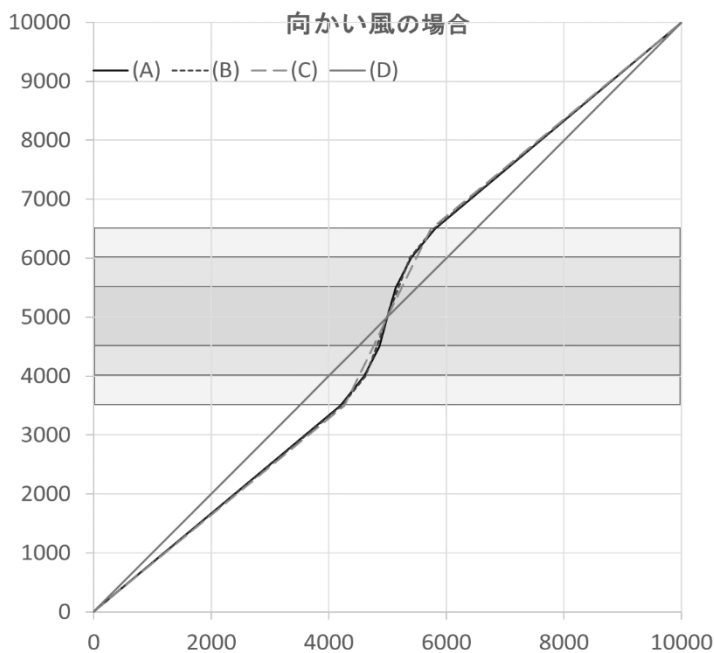
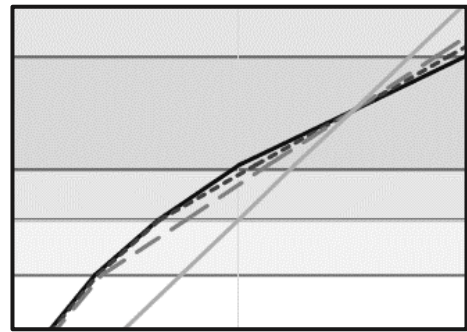
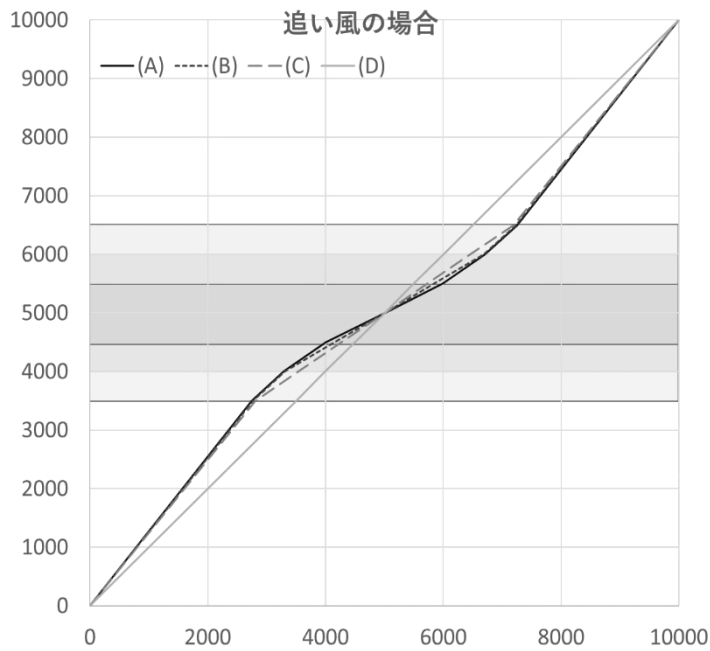
(D)の航路は直線であるため、 $i = 350, j = 400, k = 450$ と確定する。

以上の方法で計算し、最短時間のときの航路と飛行時間を記録した。

3. 研究結果・考察

最短飛行時間の計算結果とその時の i, j, k の値の組み合わせ、航路は次ページにある通り。

航路	飛行時間 t (h)	(D)の t との倍率	$i \times 10$	$j \times 10$	$k \times 10$
追い風(A)	16.752	0.98744	2750	3290	4010
追い風(B)	16.765	0.98821	2770	3310	4155
追い風(C)	16.799	0.99022	2810	3540	4270
追い風(D)	16.965	-	3500	4000	4500
向かい風(A)	18.613	0.97757	4200	4600	4860
向かい風(B)	18.630	0.97847	4220	4620	4810
向かい風(C)	18.679	0.98104	4260	4507	4753
向かい風(D)	19.040	-	3500	4000	4500



追い風であっても、向かい風であってもジェット気流の大きさによって方向転換がしやすい(A)、(B)、(C)、(D)の順番に飛行時間が短くなった。また、追い風の時よりも向かい風の時の方が(D)の t との倍率が小さくなり、また(B)、(C)の航路が(A)の航路に近くなったため、最適航空路は向かい風を避ける場合により有効的だと考えられる。

4. まとめ

ジェット気流を最大限に利用する最適航空路は、直線の航路(最短距離)よりも飛行距離は長くなるが、飛行時間は短くなるため、より効率的な飛行が可能になる。ただ、今回はスタート地点からゴール地点を結ぶ直線と45度に風が吹いていたため、飛行時間に顕著な差は生まれなかった。より平行に近い向きにジェット気流が吹いている飛行では、最適航空路の力が十分に発揮されるだろう。また、実際のジェット気流は蛇行しているため今回のように直線を中心とした航路ではなくなり計算量は膨大になってしまうが、より実用的な航路を出すことが期待できる。

5. 参考文献・ソースコード

<参考文献>

- 宮津 義廣 「最適航路と最適高度の選定」 (<特集>航空宇宙研究部会発足記念)
- 名古屋大学「大気のでっぺん 50 のなぜ」『宇宙地球環境研究所』 <<http://www.isee.nagoya-u.ac.jp/50naze/taiki/3.html>>

<ソースコード>

<https://github.com/Yuta-Kondo/OptimalAirRoute2>



図形に現れる数列

大学入試問題の一般化で見た数列の図形的意味

研究者 市河俊弥 渡邊翔太 田中光

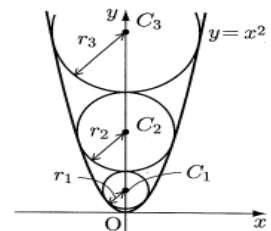
指導教諭 佐藤勉

1. 概要および目的

数列とは規則的に並んだ数の列のことであるが、数列が図形に現れることもあり数列と図形が融合した問題が大学入試で多く出題されている。本研究ではこのような数列と図形が融合した大学入試問題を改題して一般化することで、図形にどのような数列がなぜ現れるのかを明らかにすることを目指した。今回は、1. 放物線に内接する円の半径を考える問題 2. 複素数平面と漸化式を融合させて考察する問題 3. 外接する円の中心の座標に関する問題を扱った。結果として、1. 放物線の式の x^2 の係数と円の半径の値の間に等差数列が現れること 2. 三角形の面積に等比数列が現れること 3. 円の中心の x 座標に調和数列が現れることがわかった。

2. 扱った問題

以下の3つの問題を扱った。



[1] 中心が y 軸上にある半径 r_1 の円 C_1 が放物線 $y = x^2$ に2点で接している。 C_n ($n = 2, 3, \dots$) は y 軸上に中心を持ち、放物線 $y = x^2$ に接する半径 r_n ($n = 2, 3, \dots$) の円で、 C_{n-1} と右図のように外接している。 $r_1 = 1$ とすると、 r_n を n の関数で表せ。(上図)
(名古屋市立大学 2013 年理系第 1 問)

[2] 数列 $\{a_n\}, \{b_n\}$ は、 $a_1 = b_1 = 2$, $a_{n+1} = \frac{\sqrt{2}}{4}a_n - \frac{\sqrt{6}}{4}b_n$, $b_{n+1} = \frac{\sqrt{2}}{4}a_n + \frac{\sqrt{6}}{4}b_n$ を満たすものとする。
($n = 1, 2, 3, \dots$) a_n を実部とし、 b_n を虚部とする複素数を z_n とすると、次の問いに答えよ。
(1) $z_{n+1} = wz_n$ を満たす複素数 w と、その絶対値 $|w|$ を求めよ。
(2) 複素数平面上で、点 z_{n+1} は点 z_n をどのように移動した点であるか。
(3) 数列 $\{a_n\}, \{b_n\}$ の一般項をそれぞれ求めよ。
(4) 複素数平面上の3点 $0, z_n, z_{n+1}$ を頂点とする三角形の周と内部を塗りつぶしてできる図形を T_n とする。
このとき複素数平面上で $T_1, T_2, \dots, T_n, \dots$ によって塗りつぶされる領域の面積を求めよ。
(金沢大学 2016 年理系第 2 問)

[3] 次のように円 C_n を定める。まず、 C_0 は $(0, \frac{1}{2})$ を中心とする半径 $\frac{1}{2}$ の円、 C_1 は $(1, \frac{1}{2})$ を中心とする半径 $\frac{1}{2}$ の円とする。次に C_0, C_1 に外接し x 軸に接する円を C_2 とする。さらに、 $n = 3, 4, 5, \dots$ に対し、順に C_0, C_{n-1} に外接し x 軸に接する円で C_{n-2} でないものを C_n とする。 C_n ($n \geq 1$)の中心の座標を (a_n, b_n) とすると、次の問いに答えよ。ただし、2つの円が外接するとは、中心間の距離がそれぞれ円の半径の和に等しいことをいう。
(1) ($n \geq 1$)に対し、 $b_n = \frac{(a_n)^2}{2}$ を示せ。
(2) a_n を求めよ。
(名古屋大学 2002 年文系第 2 問)

3. 問題の一般化と解答

問題を改題して一般化し、解答をした。

改題後の [1]

中心がy軸上にあり、中心のy座標が O_1 、半径が r_1 の円 C_1 が放物線 $y = px^2$ (p は正の実数) に2点で接している。また、円 C_n の中心のy座標を O_n ($n = 2, 3, \dots$) とする。 r_n と O_n を、 n と p を用いて表せ。
その他の部分に変更していない。

〈解答〉文献[1]を参考にした。

$C_n: x^2 + (y - O_n)^2 = r_n^2$, 放物線 $y = px^2 \dots \textcircled{1}$ とおく。これら2式から得られる次の方程式

$$\frac{y}{p} + (y - O_n)^2 = r_n^2$$

$$y^2 - \left(2O_n - \frac{1}{p}\right)y + O_n^2 - r_n^2 = 0 \dots \textcircled{2}$$

は C_n と $\textcircled{1}$ が接するので、0以上の重解をもつ。

$\textcircled{2}$ の判別式を D とすると、 $D = 0$ より

$$\frac{1}{p^2} - \frac{4}{p}O_n + 4r_n^2 = 0$$

よって

$$O_n = pr_n^2 + \frac{1}{4p}$$

したがって $\textcircled{2}$ の重解は

$$y = pr_n^2 - \frac{1}{4p} \dots \textcircled{3}$$

$p \neq 0$, $r_n > 0$, $y \geq 0$ より $r_n \geq \frac{1}{2p} \dots \textcircled{4}$

また、 $\textcircled{3}$ を $\textcircled{1}$ に代入すると $x^2 = r_n^2 - \frac{1}{4p^2}$ より $x = \pm \sqrt{r_n^2 - \frac{1}{4p^2}}$

よって $\textcircled{1}$ と C_n は、 $\textcircled{4}$ のとき

$\left(\pm \sqrt{r_n^2 - \frac{1}{4p^2}}, pr_n^2 - \frac{1}{4p}\right)$ で接する。

C_n と C_{n+1} が外接するから

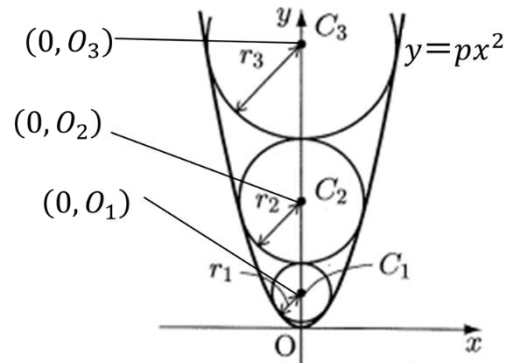
$$O_{n+1} - O_n = r_n + r_{n+1}$$

$$\left(pr_{n+1}^2 + \frac{1}{4p}\right) - \left(pr_n^2 + \frac{1}{4p}\right) = r_n + r_{n+1}$$

$$r_{n+1} - r_n = \frac{1}{p}$$

したがって、数列 $\{r_n\}$ は初項 r_1 、公差 $\frac{1}{p}$ の等差数列であるから

$$r_n = r_1 + (n-1)\frac{1}{p}$$



↑改題後の図

改題後の [2]

数列 $\{a_n\}, \{b_n\}$ は、 $a_1 = b_1 = s$, $a_{n+1} = qa_n - rb_n$, $b_{n+1} = ra_n + qb_n$ を満たすものとする。ただし q, r, s は正の実数。 $(n = 1, 2, 3, \dots)$

設問は、(4) を T_n の面積を T_n として、 T_n の一般項を求める問題に変更した。

〈解答〉文献[2]を参考にした。

(1) $z_{n+1} = (qa_n - rb_n) + (ra_n + qb_n)i = (q + ri)z_n$ より

$$w = q + ri, |w| = \sqrt{q^2 + r^2}$$

(2) $w = \sqrt{q^2 + r^2}(\cos \theta + i \sin \theta)$ ($\theta = \arg w$) とおく。

$0 < |w| < 1, 1 < |w|$ のとき、点 z_{n+1} は点 z_n を原点中心に θ だけ回転し、原点からの距離を $\sqrt{q^2 + r^2}$ 倍した点。
 $|w| = 1$ のとき、点 z_{n+1} は点 z_n を原点中心に θ だけ回転した点。

(3) $z_1 = s + si = s(1 + i) = \sqrt{2}s \left(\cos \frac{\pi}{4} + i \sin \frac{\pi}{4}\right)$

さらにド・モアブルの定理より

$$w^{n-1} = (\sqrt{q^2 + r^2})^{n-1} \{\cos(n-1)\theta + i \sin(n-1)\theta\}$$

$z_{n+1} = wz_n$ より、数列 $\{z_n\}$ は初項 z_1 、公比 w の等比数列であるから $z_n = z_1 w^{n-1}$ したがって

$$\begin{aligned} a_n &= \sqrt{2}s (\sqrt{q^2 + r^2})^{n-1} \cos\left\{\frac{\pi}{4} + (n-1)\theta\right\} \\ b_n &= \sqrt{2}s (\sqrt{q^2 + r^2})^{n-1} \sin\left\{\frac{\pi}{4} + (n-1)\theta\right\} \end{aligned}$$

(4) 点 O を原点 O とし、 $P_n(z_n)$ とする。

① $0 < |w| < 1, 1 < |w|$ のとき

$\triangle P_n O P_{n+1} \sim \triangle P_{n+1} O P_{n+2}$ となる (二辺比夾角相等) から

$$T_n : T_{n+1} = 1 : (q^2 + r^2) \Leftrightarrow T_{n+1} = (q^2 + r^2) T_n$$

したがって、数列 $\{T_n\}$ は初項 T_1 、公比 $(q^2 + r^2)$ の等比数列であるから

$$T_n = \frac{1}{2} |z_1| |z_2| \sin \theta \cdot (q^2 + r^2)^{n-1} = s^2 (q^2 + r^2)^{n-1} \sin \theta$$

② $|w| = 1$ のとき

$\triangle P_n O P_{n+1} \cong \triangle P_{n+1} O P_{n+2}$ となる (二辺夾角相等) から

$$T_n = T_1 = \sqrt{q^2 + r^2} \sin \theta$$

改題後の [3]

次のように円 C_n を定める。まず、 C_0 は $(0, p)$ ($p > 0$)を中心とする半径 p の円、 C_1 は $(2p, p)$ を中心とする半径 p の円とする。次に C_0, C_1 に外接し x 軸に接する円を C_2 とする。さらに、 $n = 3, 4, 5 \dots$ に対し、順に C_0, C_{n-1} に外接し x 軸に接する円で C_{n-2} でないものを C_n とする。 C_n ($n \geq 1$)の中心の座標を (a_n, b_n) とすると、次の問いに答えよ。ただし、2つの円が外接するとは、中心間の距離がそれぞれ円の半径の和に等しいことをいう。

設問は改題前と同じである。

〈解答〉

(1) C_0 と C_n の中心間の距離は C_0 と C_n の半径の和に等しいから

$$(a_n - 0)^2 + (b_n - p)^2 = (b_n + p)^2 \quad \text{よって} \quad b_n = \frac{(a_n)^2}{4p}$$

(2) C_n と C_{n-1} の中心間の距離は C_n と C_{n-1} の半径の和に等しいから

$$(a_n - a_{n-1})^2 + (b_n - b_{n-1})^2 = (b_n + b_{n-1})^2$$

$$(a_n - a_{n-1})^2 = 4b_n b_{n-1}$$

$$(1) \text{より} b_n = \frac{(a_n)^2}{4p} \text{であるから} \quad (a_n - a_{n-1})^2 = \frac{1}{4p^2} (a_n)^2 (a_{n-1})^2$$

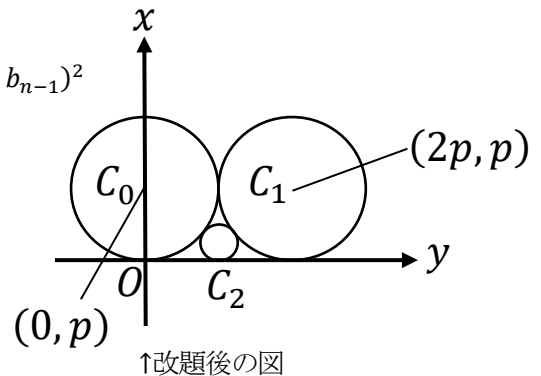
$$a_n \text{は原点に近づく単調減少だから} \quad a_n - a_{n-1} = -\frac{1}{2p} a_n a_{n-1} \dots \textcircled{1}$$

$a_n \neq 0$ であるから、 $\textcircled{1}$ の両辺の逆数をとると

$$\frac{1}{a_n} - \frac{1}{a_{n-1}} = \frac{1}{2p}$$

したがって、数列 $\left\{\frac{1}{a_n}\right\}$ は初項 $a_1 = 2p$ 、公差 $\frac{1}{2p}$ の等差数列であるから

$$\frac{1}{a_n} = \frac{1}{2p} + (n-1) \frac{1}{2p} = \frac{n}{2p}$$



両辺の逆数をとると

$$a_n = \frac{2p}{n}$$

(1) より $b_n = \frac{(a_n)^2}{4p}$ であるから

$$b_n = \frac{1}{4p} \cdot \frac{4p^2}{n^2} = \frac{p}{n^2}$$

4. 考察

[1] を改題して一般化した結果、円の半径に等差数列が現れることがわかった。等差数列が現れる理由は、半径 r_n, r_{n+1} の 2 円が外接 \Leftrightarrow (2 円の中心間の距離) = $r_n + r_{n+1} \cdots$ ※ という和の関係を利用したからだと考えられる。この等差数列の公差は、放物線の式の x^2 の係数である p の逆数である。つまり、公差は p に反比例する。解答にある式④は、円が放物線に接するときの円の半径に関する条件である。すべての自然数 n について (公差) > 0 であることから、 $r_n < r_{n+1}$ が成り立つ。したがって、初項 r_1 が式④を満たすならば、すべての自然数 n について r_n は式④を満たす。逆は明らかに成り立つ。 r_1 が式④の等号を満たすとき、円 C_1 は放物線と原点ただ一点で接する。実際の入試では $r_1 = 1, p = 1$ と設定されており、 $r_n = n$ となる。文献[3]によると、本研究の放物線と同様に、双曲線と接する円 C_n と C_{n+1} ($n = 1, 2, 3, \dots$) が互いに外接するとき、円の半径に一項おきのフィボナッチ数列とリュカ数列が現れることがわかっている。双曲線の場合、※の関係を利用すると 3 項間漸化式が現れたことがこれらの違いを生んだと考えられる。

[2] を改題して一般化した結果、三角形の面積に等比数列が現れることがわかった。等比数列が現れる理由は、三角形の相似という積の関係を利用したからだと考えられる。ただし、 $|w| = 1$ のときは合同な三角形が現れるが、これは公比 1 の等比数列に対応する。一般化して得られた式を見ると、実際の入試では θ が有名角になるように q, r, s が設定されていることがわかる。 w の偏角が π/n ($n = 3, 4, 5, \dots$) となるとき、 P_{2n+1} は半直線 OP_1 上に存在する。このとき、 $n \rightarrow \infty$ とすると曲線が現れると考えられる。

[3] を改題して一般化した結果、円の中心の x 座標の値に調和数列が現れることが分かった。調和数列が現れたのは、※の関係をを利用して得られた式の両辺の逆数をとると等差数列が現れたからである。また、問題の設定から、 $n \rightarrow \infty$ のとき $a_n \rightarrow 0$ であり、調和数列の一般項は 0 に収束するので、この点から見ても、調和数列が現れることは妥当だと考えられる。

以上の結果から、数列と図形を融合した大学入試問題を一般化できた。そして、等差数列、等比数列、調和数列という高校数学で学ぶ基礎的な 3 つの数列に図形的な意味を見出すことができた。行う演算(利用する図形的数列)と数列には密接な関係があり、同じ問題でも注目する図形的性質によって、現れる数列が変わる可能性がある。

4. 参考文献

- [1] 松田康雄 円と放物線の縁 数研通信 No. 77 p. 6-7 数研出版株式会社
- [2] 改訂版チャート式®基礎からの数学Ⅲ p. 78-79 数研出版株式会社
- [3] 松田康雄 1 項おきのフィボナッチ数列とリュカ数列 数研通信 No. 97 p. 14-15 数研出版株式会社

環境にやさしい発電

～床で発電～

研究者 塩入彩花 寺島華奏 塚田直輝 瀧澤響 池内裕哉

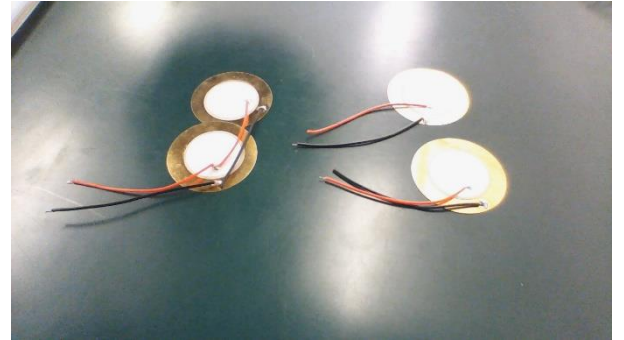
指導教諭 福島哲夫

1 研究概要及び目的

私たちは発電に目を向け、環境にやさしい発電方法として、圧電素子というものに興味を持った。圧電素子に圧力を加えると電圧が作りだせる。

この性質を用いて、学校の床に圧電素子を設置することで普段無駄になっているエネルギーを有効活用できるのではないかと考えた。

そこでまずは、圧電素子を踏む圧力がどのくらいなのかを調べその圧力と様々な条件で発電量を測定し、どれほどの発電が見込めるのかを調べることにした。



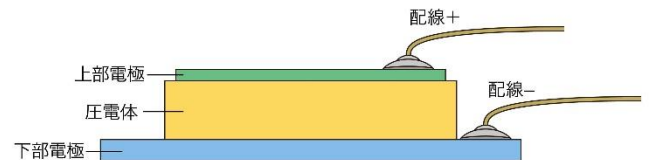
2 研究方法

・圧電素子とは

圧電効果をもつ圧電体を2枚の電極で挟んだ素子を基本とした構造である。

圧電効果とは、圧電体の結晶内の分離している電荷が圧力を加えられることで、ずれが大きくなり、結晶の片方の端が、プラスの電気を帯び、もう一方の端がマイナスの電気を帯びることで電圧を発生させるものである。

圧電素子の構造



これを用いて実験を行っていった。

・実験の課題と条件

廊下に圧電素子を敷き詰めたとしてどれだけ発電できるか。

また、圧電素子に圧力を加えたとき電圧は、一瞬しか発生しないため、テスターの計測したものを最大値で発電量をもとめる。

廊下の長さは34.5mで計算する。

実験方法

- 1、テスターに圧電素子をつなげ、圧電素子を実際に踏み、一步踏んだ時の発生する電圧と電流の平均値を求め。このとき、異なる4人の結果の平均を一步の電圧、電流にする。
- 2、圧電素子を並列、直列につなげて変化量を調べる。また、つなげた個数による変化量をしらべる。
- 3、圧電素子がある廊下を一往復した時の発電量がどのくらいか計算する。

3 実験結果・考察

実験の結果は以下のようである。

実験1 圧電素子1個を踏んだ時の電圧 (単位はV)

	Aさん	Bさん	Cさん	Dさん
1回目	15.06	13.07	10.89	12.00
2回目	15.75	12.57	10.46	12.82
3回目	12.87	11.76	9.46	11.15
4回目	13.48	11.31	9.96	11.86
5回目	17.62	14.17	10.45	12.97
平均	14.96	13.18	10.24	12.16

すべての平均 $12.634V$

実験2 圧電素子1個を踏んだ時の電流(単位は μA)

	Aさん	Bさん	Cさん	Dさん
1回目	2.1	1.6	2.1	2.8
2回目	2.0	1.6	2.4	2.5
3回目	1.4	1.5	2.7	3.0
4回目	3.8	1.1	1.9	4.9
5回目	4.4	1.4	2.0	5.5
平均	2.74	1.44	2.22	3.74

すべての平均 $2.535\mu A$

実験3 圧電素子2個を直列でつなげた場合(単位はV)

	Aさん	Bさん	Cさん	Dさん
1回目	20.0	18.4	17.2	17.25
2回目	18.0	18.7	17.0	12.98
3回目	17.9	17.1	15.0	14.87
4回目	20.1	22.2	18.0	13.68
5回目	22.6	16.6	19.0	17.80
平均	19.72	18.6	17.24	15.32

すべての平均

17.719V

単純計算で一個の二倍になるかと思ったが増えたことは増えたが二倍にならなかった。
理由としては、圧電素子同士の接続不良や、二個にしたことによる圧力の分散が考えられる。

電力 (W) = 電流 (A) × 電圧 (V) より、
圧電素子一個で作られる電力は $3.2 \times 10^{-5} \text{W}$ ということが分かった。

考察

実験2から直列で何個もつなげても電力量は増えにくいのではないかと考えられる。
よって今回は、一個踏んだ場合のみの電力で検証する。

検証

廊下に、必ず一歩歩いた時に圧電素子一個をふむように設置した場合一往復でどれくらいの電力を得られるのか

高校生の平均の歩幅は73.7cmなので (計算式は高校2年生の平均身長×0.45) 参考文献から
廊下の長さ34.5m ÷ 73.7cm ≒ 46.8 1往復で約93歩
よって発電量は $3.2 \times 10^{-5} \text{W} \times 93 \div 2.98 \times 10^{-3} \text{W}$ 得られる。

4 まとめ

- ・圧電素子で実用できる十分な量の電力を発電することは難しい。
- ・蓄電器を使って、長期間電気をためれば十分な量得られたかもしれない

5 参考文献

画像

<https://yahoo.jp/MzBaMW>

平成29年学校保健統計

https://www.mext.go.jp/component/b_menu/other/_icsFiles/afieldfile/2018/03/26/1399281_01_1.pdf

歩幅の目安

https://www.faq.healthcare.omron.co.jp/faq/show/4195?site_domain=jp

ケルビン発電器における静電気のたまり方の違いについて

～コイルの巻き数には最適値が存在する～

生徒名：畑山 日陽里、宮入 伶夢、島崎 水月、中曾根 碧、久保田 雅希

指導教官：倉田 亮輔

1. 研究概要および目的

私たちは、静電気をためて発電する「ケルビン発電器」という装置を知って興味を持った。この装置はコイルを通して水を落下させるだけで静電気をためることができる。よって雨水等を利用すれば、非常用の LED 電源等として利用できる可能性がある。そこで、効率よく静電気をためることができるコイルの形状を明らかにすることを目的として研究を行った。

2. 研究内容

ケルビン発電器の仕組み

図1はケルビン発電器でたまる静電気の様子、図2はコイルA付近で水が落ちる様子を表している。物体はわずかに正、又は負に帯電しているため、コイルAは負に帯電していると仮定する。すると、静電誘導により負の電荷と正の電荷は引き寄せ合うので、コイルAの中を通る水は正の電荷が引き寄せられる。この状態で水が水滴になるとき正の電荷が取り込まれて、水滴は正に帯電する。この水滴はコップAに落ちるので、水滴が落ちるたびにコップAは正に帯電していく。コップAは図3のようにコイルBにつながっているので、コイルBも正に帯電する。コイルBでは図2の場合とは電荷が逆になり、コイルBを通過する水滴は負に帯電する。つまり、水滴が落ちるたびにコップBは負に帯電していく。さらに、コップBはコイルAにつながっているのでコイルAは負に帯電する。水が落下し続けることで、正と負の静電気がそれぞれにたまっていく。

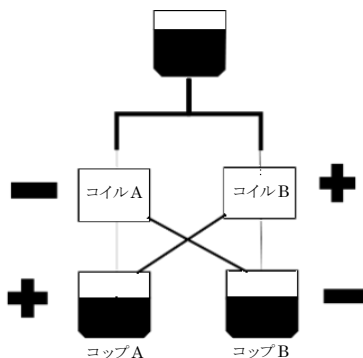


図1 ケルビン発電器に静電気がたまった状態

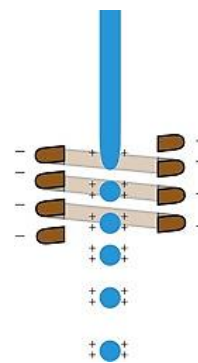


図2 コイルA付近で水が落ちる様子

私たちは静電気が発生する原理から、以下のような仮説を立てた。

仮説 : コイル部分の巻き数が多いほど影響を受ける電子が多くなり、帯電する量が多くなる。

コイル部分の大きさは巻き数だけでなく太さも関係するが、銅線の太さは 1.6mm でないとコイルの形が安定しなかったため、コイルを作る銅線の太さについては 1.6mm に固定し、巻き数を変えて仮説を検証する実験を行った。

3. 研究方法

先行研究をもとにケルビン発電器を作成し何回か予備実験を行った。安定して静電気を発生させるには以下の点が重要であることが分かった。

- ・コイルの中を水が流れ落ちる際に、コイルに流れが妨げられないこと
- ・コップに水がたまった後、2度目の実験を行う際には実験器の周りに飛び散った水滴等をよくふき取ること
- ・コイルがコップ以外に接触しないようにすること

以上の点に気を付けて実験を行った。実験の内容は以下の通りである。

- ① ケルビン発電器に水道水を入れ、落下させた水を帯電させる。
- ② コイル部分に箔検電器をつなぎ、箔の開いた角度で帯電量を測定する。

以上の実験を以下の条件で行った。

表1 実験の条件

コイルを作る銅線の太さ	1.6mm
巻き数	5回、10回、15回、20回
1つの巻き数における測定の回数	2回
期間	5日間

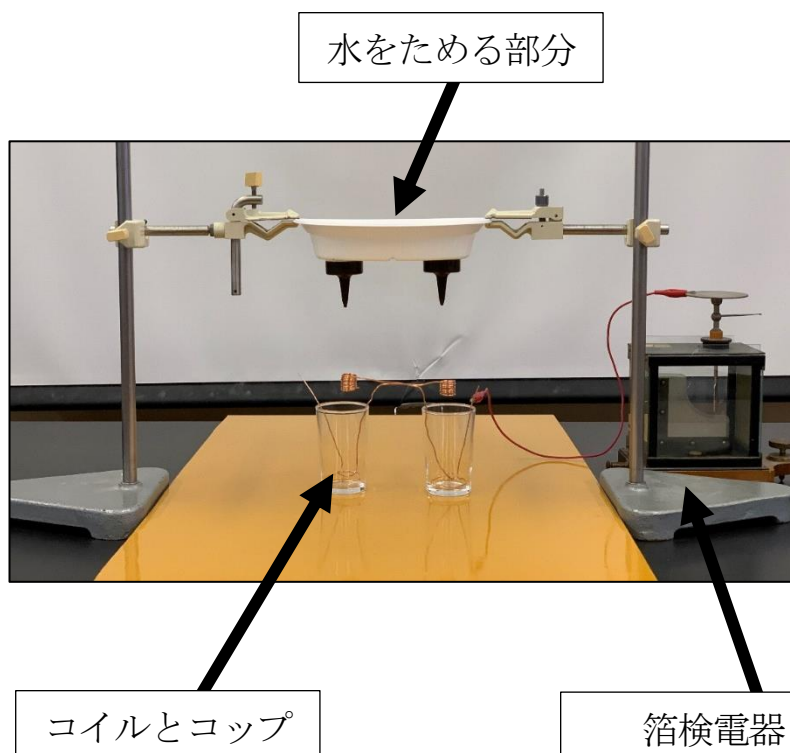


図3 作製したケルビン発電器（全体図）

図4 箔検電器の箔の開いた様子

4. 研究結果

実験は1つの巻き数について同じ日に2回行い、それを5日間繰り返したので合計10個のデータをとることができた。

表2 5回巻コイルの実験結果

	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目	7回目	8回目	9回目	10回目
箔の開き	○	×	○	○	○	○	○	○	○	×
箔の角度	7°	×	23°	—	—	—	—	—	11	×

平均値・・・8.20°

帯電した回数・・・10回中8回

表3 10回巻コイルの実験結果

	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目	7回目	8回目	9回目	10回目
箔の開き	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×
箔の角度	20°	30°	10°	18°	22°	—	—	—	20°	×

平均値・・・17.1°

帯電した回数・・・10回中9回

表4 15回巻コイルの実験結果

	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目	7回目	8回目	9回目	10回目
箔の開き	○	○	○	○	×	×	○	○	○	○
箔の角度	9°	17°	8°	70°	×	×	4°	—	—	—

平均値・・・15.4°

帯電した回数・・・10回中8回

表5 20回巻コイルの実験結果

	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目	7回目	8回目	9回目	10回目
箔の開き	○	○	○	×	○	○	×	×	○	○
箔の角度	20°	7°	15°	×	11°	27°	×	×	25°	24°

平均値・・・14.9°

帯電した回数・・・10回中7回

帯電量が多いほど箔検電器の箔が開く角度も大きくなる。それぞれの巻き数と箔の開いた角度の平均値をグラフにすると以下のようなになる。

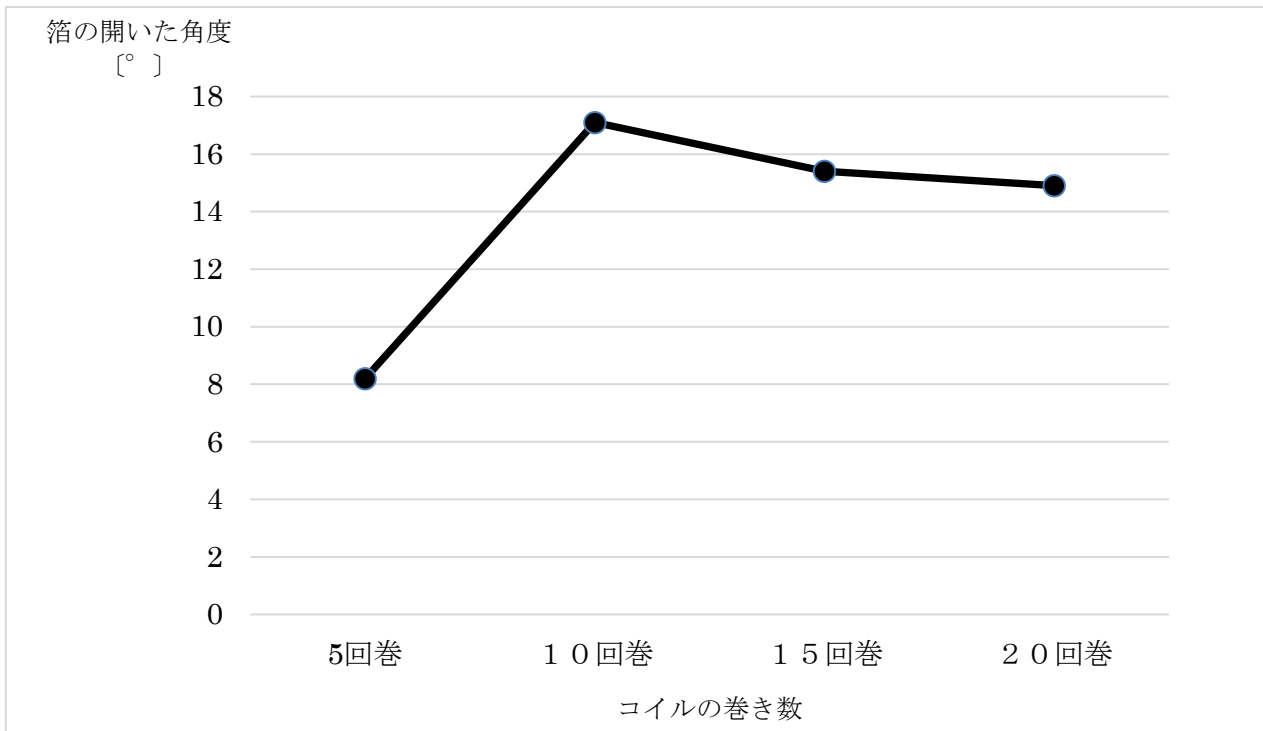


図5 巻き数と箔の開いた角度の関係

5. 考察

実験結果から、コイルの巻き数と帯電量は比例しないことが分かり、私たちの立てた仮説は否定された。帯電量は10回巻で最も多くなり、それ以上の巻数では減少する。以上のことから、帯電量はコイル部分の形状に加えて、他の要因も関わっていることが予想される。今回の実験を行った際に、水の落下する勢いによって箔の開く角度が大きく変わるときがあった。帯電量はコイル部分の形状だけでなく、落下する水の量にも関係する可能性がある。

6. まとめ

ケルビン発電器で静電気をためる際には、静電気が逃げないようにしっかりと絶縁状態を保つ必要がある。ためられる静電気量については、コイル部分の形状以外の要因も関係する。

7. 今後の展望

- ・落下する水の量を変えた場合の発電量の変化を測定する。
- ・雨水を用いた場合の帯電量を測定する。

8. 参考文献

- ・ケルビン発電機 <http://www.gifu-nct.ac.jp/elec/habuchi/demae/Kelvin/Kelvin.html>
- ・<http://sugitani.las.u-toyama.ac.jp/physics/yoshida/2016/209s.pdf>

ダイラタンシー現象の利用

～衝撃吸収性を利用した緩衝材～

生徒名：北澤善 小山遙生 下條明日真 戸谷春音

指導教官： 宮原喜美男先生 藤森俊彦先生

1. 研究の概要および目的

ダイラタンシー現象とは遅い刺激には液体のままであり、速い刺激には固体のような抵抗力を発揮する現象のことである。私たちは、片栗粉と水だけで流動体にも固体にもなれるダイラタンシー流体を作れるということに興味を持った。また、既存の研究によりダイラタンシー性流体は衝撃吸収性を持っていると知り、緩衝材として利用できるのではないかと考え研究を行った。

2. 実験 1

(1) 実験の内容

流動性を保ちながら、ダイラタンシー流体の性質をもつ状態が、ダイラタンシー流体を緩衝材として利用する際の最適な状態であると考え、その時の流体の液体と粒子の比を調べるため、実験を行った。また、今回の実験では既存の研究により、最もダイラタンシー現象が起こりやすいと考えられる、水と片栗粉の混合物を使用した。

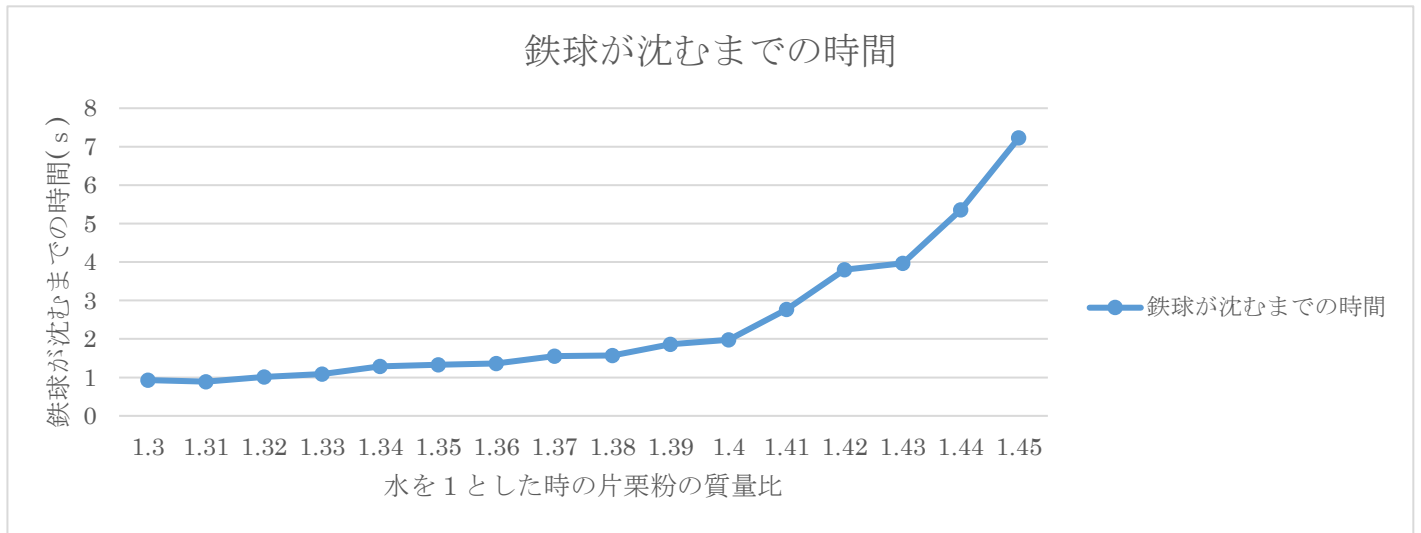
(2) 実験方法

1. 片栗粉と水の質量比が 1, 3:1 (片栗粉 130 g, 水 100 g) のダイラタンシー流体を作成する。
2. 上記 1 の手順で作成した混合物の表面に鉄球(質量約 112 g) を落とし、鉄球が完全に沈むまでの時間を計測する。
上記の手順を 3 回繰り返し、その平均値を求める。
3. 片栗粉の質量比を 0, 01 大きくするために、混合物に片栗粉 1 g を加え、再び上記 2 と同じ手順を行う。
4. 上記 2, 3 の手順を繰り返す。

(3) 実験結果・考察

	1回目	2回目	3回目	平均
1. 3:1	0.87	0.96	0.96	0.93
1. 31:1	0.86	0.92	0.89	0.89
1. 32:1	0.83	1.03	1.04	0.97
1. 33:1	1.06	1.13	1.08	1.09
1. 34:1	1.48	1.04	1.36	1.29
1. 35:1	1.49	1.4	1.28	1.39
1. 36:1	1.28	1.3	1.5	1.36
1. 37:1	1.63	1.68	1.34	1.55
1. 38:1	1.65	1.46	1.67	1.59
1. 39:1	1.78	1.84	1.97	1.86
1. 40:1	2.36	1.9	1.68	1.98
1. 41:1	3.17	2.9	2.24	2.77
1. 42:1	4.95	2.88	3.58	3.8
1. 43:1	4.92	3.07	3.93	3.97
1. 44:1	7.4	3.4	5.29	5.36
1. 45:1	8.36	7.16	6.18	7.23

※平均は小数点第三位を四捨五入



実験時の気温が高く、繰り返し実験を行うと同じ比でも落ちる秒数が変わってしまう場合があった。また、衝撃の吸収量などを測れる実験ではなかったので別のアプローチが必要だと感じた。

3. 実験 2

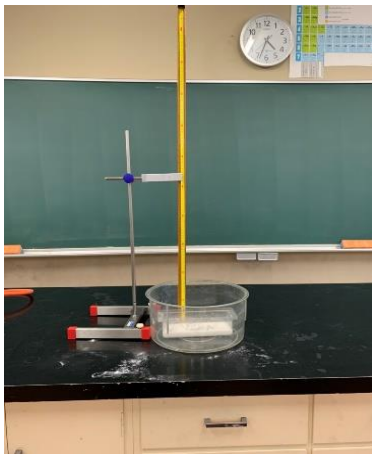
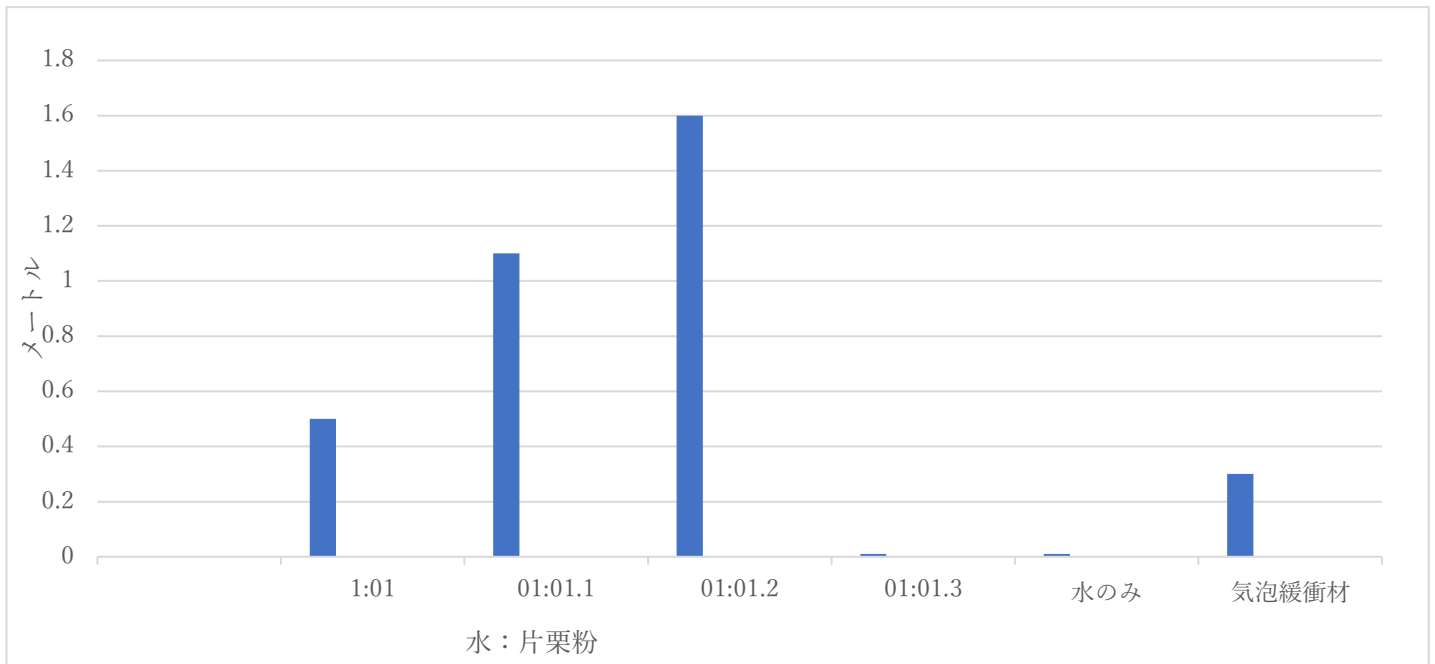
(1) 実験の内容

実験 1 の鉄球を沈ませる実験では、気温が高く実験中に水が蒸発してしまい正確な混合比率が求められなかった。また、ダイラタンシー現象が最も強く生じる比率が分かったとしても、緩衝材利用を考えたときに、その比が衝撃を最も吸収する比率であることの妥当性が確認できないという問題点があった。したがって、実際に様々な混合比率のダイラタンシー流体の上に、物体を様々な高さから落とし、それが跳ねるかどうかを調べることによって、衝撃吸収に最も適した比を調べた。また、緩衝材としての有用性を確かめるために、ダイラタンシー流体を、輸送時などに緩衝材として広く用いられている気泡緩衝材というものに置き換え、対照実験を行う。さらに、水の蒸発を抑えるために、気温の低い日に実験を行う。スーパーボールを用いたのは反発係数が 1 に近く、力が吸収されなかった場合跳ねることによって視覚的に確認できると思ったからである。

(2) 実験方法

1. 片栗粉と水の質量比が 1, 3:1 (片栗粉 130 g, 水 100 g) のダイラタンシー流体を作成する。
2. 上記 1 の手順で作成した混合物に、表面からの高さが 10 cm のところから、スーパーボールを落下させる。
3. 落とす高さを 10 cm ずつ高くし、落下させたスーパーボールが跳ねた時の高さを記録する。

3. 片栗粉の質量比を 0,01 大きくするために、混合物に片栗粉 1 g を加え、再び上記 2, 3 と同じ手順を行う。
4. 気泡緩衝材, 水を用いて、再び上記 2, 3 と同じ手順を行う。



(3) 実験結果・考察

落としたボールが跳ね返ったということはダイランシー流体がエネルギーを全て吸収できていない事がわかる。よってボールが跳ねる高さや吸収できるエネルギー量は演算に組み入れてもよいと仮定する。

まずは、力積の式 $F \Delta t = I$ で考えてみる。この時、ダイランシー流体がある場合とない場合では、ダイランシー流体の流動性により、 Δt が長くなり、 \bar{F} は小さくなっているため、ダイランシー流体は緩衝材となっていると考えられる。また、片栗粉の比率が大きくなる時、ダイランシー流体は流動性を失い固くなっていったため $0 < \Delta t < 1$ となり、 \bar{F} が大きくなり、ボールが跳ねてしまったと考えられる。

ダイラタンシー流体が流動性を保っていて、片栗粉の比を大きくしていった時、力積において流動性が徐々に小さくなっていくので Δt も小さくなる。しかし、ボールが跳ねるまでの高さは高くなっているためダイラタンシー流体は力積において、 Δt による加えられた力の減少は小さいと考えられる。したがって、ダイラタンシー流体の衝撃が加えられた時に固くなる性質によって、瞬間的に加わる力に対してそのエネルギーを吸収すると考えられるので、緩衝材として有用であると考えられる。

今回実験で使用したダイラタンシー流体200ml 水と片栗粉の比 1 : 1.3において、吸収したエネルギー量（仕事量）を $W [j] = m g h$ （位置エネルギー）とおくと、ボールの重さ11g 跳ねるまでの最大の高さ1.6m gは重力加速度 $9.8m/s^2$ より $W = \frac{11}{1000} \times 9.8 \times 1.6 \approx 1.7 [j]$

使用した水槽の底面積とダイラタンシー流体200mlより高さは、0.7mmとなる。ここで、吸収できるエネルギーはダイラタンシー流体の深さに比例すると仮定すると0.24 [j/mm]となる。この値を用いて銃口から飛び出した弾丸の持つ運動エネルギーであるマズルエネルギーを見つけたので、その値で考えてみる。一番小さい値140 [j]においてダイラタンシー流体の深さは $140 [j] \div 0.24 [j/mm] = 583.33..mm \approx 58cm$ よって、この拳銃の銃弾は深さ約58cmのダイラタンシー流体で止めることができる。少し長めになったが、簡易的に作れるダイラタンシー流体で銃弾を止められるのは緩衝材として有用であると考えられる。

今回は、吸収できるエネルギーはダイラタンシー流体の深さに比例すると仮定したが、実験を行えなかったため、確証はなく使用している。考えられることとしては、加わる衝撃に対して吸収できるエネルギーが2次関数のように増加していくなど可能性は沢山ある。銃弾の話をしたが、ダイラタンシー流体と他の素材を組み合わせた防弾チョッキも開発されているので、エネルギーの吸収量は様々な要素が関係あるのかもしれない。

4. 参考文献

31905.pdf (gifu-net.ed.jp)

<http://mgdb.himitsukichi.com/pukiwiki/index.php?%C3%C6%CC%F4%A4%CE%B0%D2%CE%CF>

七味温泉の色の変わる原因

～エメラルドグリーンから乳白色に変わる謎を探れ！～

生徒氏名：朝場香陽 金井桃花 高崎悠輝 廣川晴弘

指導教諭：柳沢克央先生

1. 研究動機

日本各地には、様々な温泉がある。中には温泉の色が青色、乳白色、黄色、黒色などに变化する温泉がある。しかし不思議なことに一つの温泉が、2つ以上の色に変化する温泉がある。その一つが長野県上高井郡高山村にある七味温泉だ。この温泉は緑色硫黄泉で、その時の状態によって色がエメラルドグリーンから乳白色に変化する。先行研究では緑色硫黄泉の呈色機構に関しての記述はあるが、色が変化する原理についての記述はない。よって色の変化の仕組みを研究しようと考えた。



写真1:七味温泉

2. 研究方法

① 緑色の硫黄を含有する温泉に関する

先行研究に基づき緑色の原因物質を調べる。
→原因物質を用いて緑色温泉を再現し検証。

② 白色になる原因を調べる。

→大学に温泉の成分の分析を依頼し、白色に見えるには何の関係しているかを調べる。
なお本研究では湯口から源泉が出て時間経過した湯船の湯を白色の状態と仮定して湯口のサンプルと比較した。

3. 結果・考察

① 緑色に見える仕組み

「緑色温泉の呈色機構」という先行研究によると、温泉が緑色になる理由は、硫化水素イオンが含まれる水溶液が黄色を呈色し、硫黄や炭酸カルシウムのレイリー錯乱による青色が合わさって緑色に見える。《図1》

先行研究の緑色の呈色機構が七味温泉に当てはまるかを確かめるため、図1の成分を溶かした水溶液「人工硫黄泉」を作り、源泉と人工硫黄泉を吸光分析で両者を比較した。《グラフ1・2》 380～550nmでの波の打ち方が似ていることから七味温泉にも先行研究の成分や機構が当てはまる可能性が高いと考えられる。

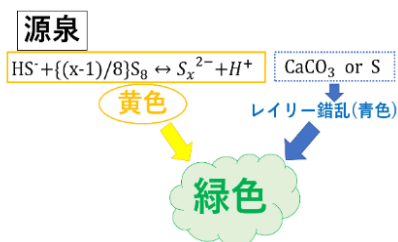
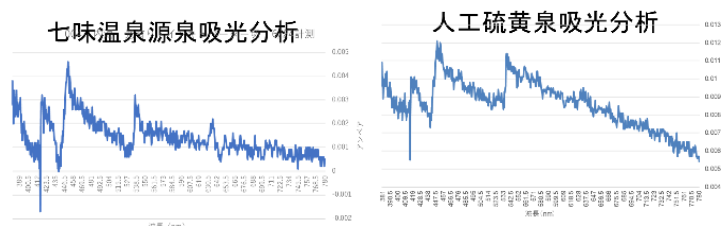


図1: 硫黄泉が緑色に見える仕組み 先行研究より



グラフ1・2: 源泉と人工硫黄泉の吸光分析

※レイリー錯乱

光の波長よりも小さい物質に光が入射した時に、物質がその光を吸収すると同時に光を四方八方に放出すること。今回の場合硫黄などが青い光を放出すること。

※吸光分析

試料に光を当てて、波長によってどの位の光を吸収したかを調べる検査。物質によってどの波長をどれくらい吸収するかは決まっている。

また温泉を長さ 1m の管《写真2》に入れて色を観察した。温泉と濾過した温泉を比較した。温泉自体は緑色をしていたが《写真3》、濾過すると緑色が抜けた。《写真4》青い光の波長は 435~480nm ($4.35\sim 4.80 \times 10^{-7}m$)でレイリー散乱はこれより小さな粒子で起きる。濾紙の穴の大きさは $10^{-7}m$ 程度であり、濾過することで緑色が消えたことから、濾過することでレイリー散乱を起こしていた粒子が取り除かれたと考えられる。

写真2:管



写真3: 温泉水 濾過無し

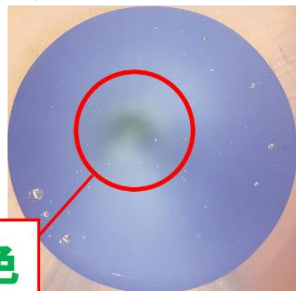


写真4: 温泉水 濾過有り



② 白色に見える原因を探る

信州大学物質化学科の手嶋勝弥教授に温泉の分析を依頼した。信州大学工学部に分析を依頼し、七味温泉に含まれる物質の分析を行った。

(1) 温泉に含まれる成分や状態の調査

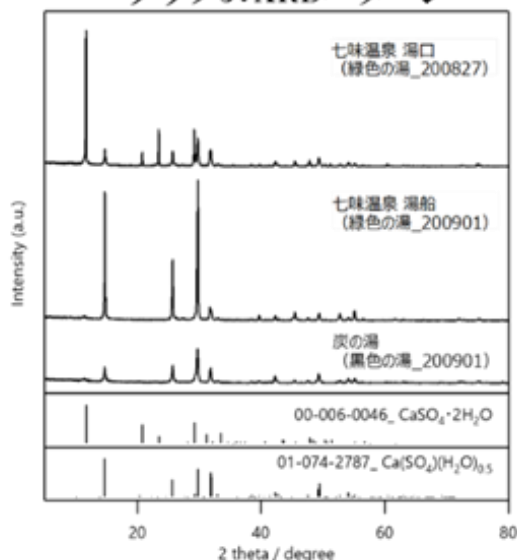
XRD: X線光電子分光法や ICP 分析: 誘導結合型発光プラズマ分析を用いて温泉水の濾液に含まれるイオン・化合物を調べた。《表1・グラフ3》

表1: ICPパターン 湯口&湯船

金属イオン		湯口	湯船
		(ppm)	(ppm)
ホウ素	B	12.599	11.101
ナトリウム	Na	85.154	75.607
マグネシウム	Mg	14.195	12.739
アルミニウム	Al	0.028	0.029
ケイ素	Si	36.202	32.972
カリウム	K	11.495	10.233
カルシウム	Ca	290.18	262.402
マンガン	Mn	1.529	1.369
ヒ素	As	1.594	1.415
ストロンチウム	Sr	0.896	0.806
バリウム	Ba	0.037	0.033

※測定値<0.010ppmの項目は除外

グラフ3: XRDパターン



※XRD：X線光電子分光法

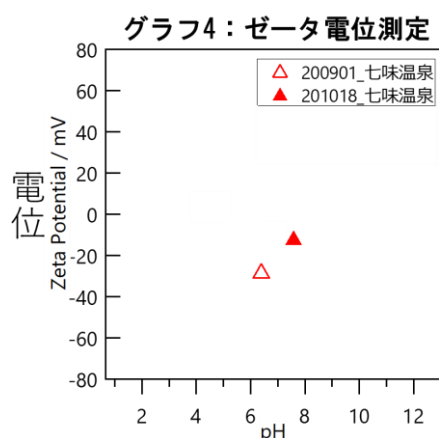
粉末試料にX線を照射し試料から放出される光電子の運動エネルギーから化合物を同定する方法。

※ICP分析：誘導結合型発光プラズマ分析

溶液中に含まれる金属イオン類の量を計測する分析方法。

成分分析により①の先行研究であげられていた硫黄やカルシウムが多く含まれることが分かった。XRDの結果から温泉に含まれる大部分は硫黄と硫酸カルシウムであることがわかった。このデータから硫酸カルシウムの析出が白色に関係していると考えた。しかし、温泉の粒子の電位を調べると帯電していなかった。《グラフ4》

粒子が帯電していないことから、凝集している可能性があることが分かった。レイリー散乱を起こしていた硫黄などの粒子が凝集して緑色が弱まると共に白色に見えると考えた。

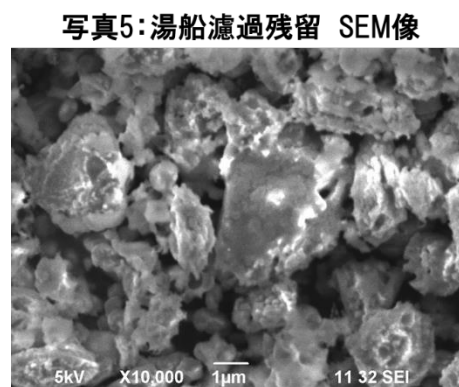
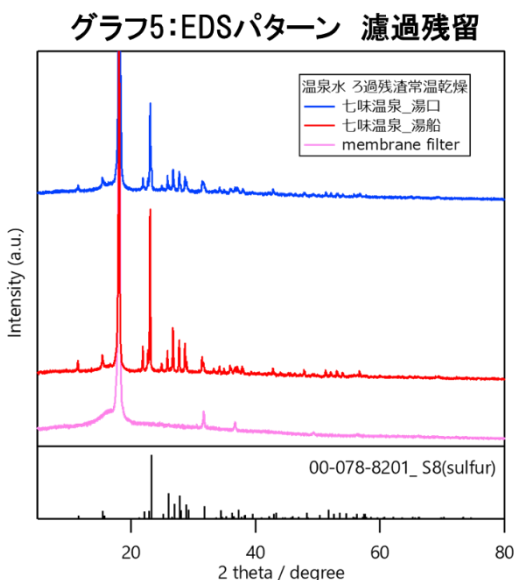


※ゼータ電位測定

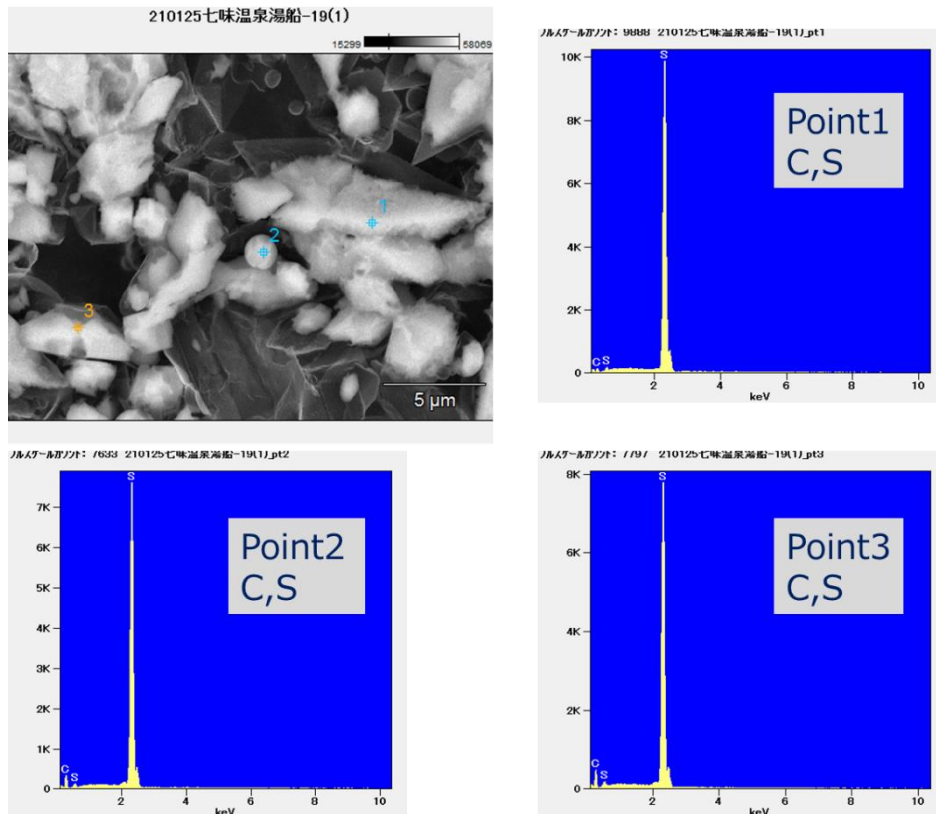
サンプル溶液中の微粒子の電位を測定する方法。

(2) 温泉を濾過し、濾液と濾過残留を分析

(1)の考察(下線部)が正しいかを確認するため。温泉を濾過し、濾過残留をXRDパターンとEDS、SEM(電子顕微鏡)で調べ凝集した硫黄の粒子が含まれるかを分析した。《グラフ5・データ1・写真5》



データ1:EDS 湯船濾過残留



※EDS：エネルギー分散型 X 線分析法

電子線照射により発生する特性 X 線を検出し、エネルギーで分光することによって、元素分析や組成分析を行う手法。

XRD より濾過残留には硫黄が多量に含まれることが分かる。SEM 像・EDS を見ると粒子径は 2~5 μm ($2.0\sim 5.0\times 10^{-6}m$) で粒子の大部分は硫黄であることが分かる。以上のことから(1)の考察は正しいと考えた。

4. 結論

七味温泉は硫化水素イオンの黄色と硫黄粒子などのレイリー散乱で生じる青色が合わさり、緑色に見える。白色に変化する原因は、レイリー散乱を起こした粒子が時間経過で凝集し、レイリー散乱が起こらなくなると共に大きな粒子になるために白色に見えると考えられる。

今回の研究で白色に見える原因が粒子の凝集であったことから七味温泉特定の現象でない可能性があることが明らかになった。硫黄泉の他の緑色温泉にも同じように白色に変化する場合があります、これらも粒子の凝集によって白色に見えるのではないかと考えられる。

5. 引用・参考文献

- ・ 緑色温泉の呈色機構（東邦大学）
<http://www5.famille.ne.jp/~kunimihp/08.new.pdf>
http://www.jhss.org/journal/back_number/vol60_pdf/vol60no2_119_133.pdf
- ・ 七味温泉 温泉分析表 環境未来株式会社
- ・ 一般社団法人材料科学技術振興財団
<https://www.mst.or.jp/method/tabid/64/Default.aspx>
- ・ 数研出版 改訂版 化学
- ・ 身の回りの光 <http://phenomenon-of-light.jp/page2.html>

6. 謝辞

今回の研究にご協力いただいた方々に厚く御礼申し上げます。

- ・ 七味温泉 紅葉館様
- ・ 信州大学工学部物質化学科 手嶋勝弥教授、研究室の皆様、関係者の皆様

屋代高校周辺の河川の水質調査

～16年前と今～

生徒 塩入一樹 井口誉心 西村円花 羽生田乃愛

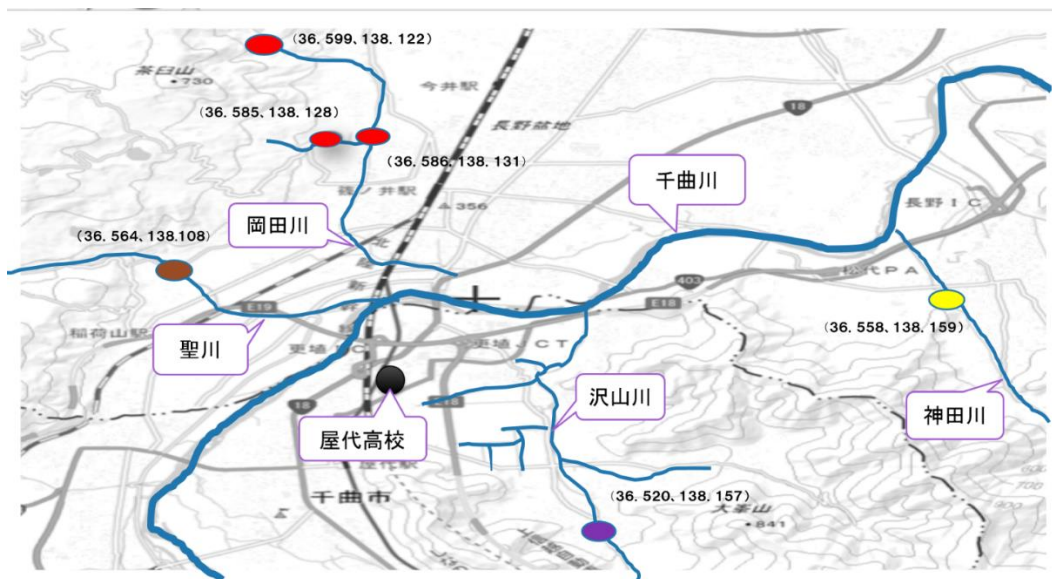
指導教諭 長山耕己

1. 研究目的

SDGs（持続可能な開発目標）は近年の最重要課題の一つである。私達は河川の水質を維持することもこれに含まれると考え、身近な河川を調査することにした。平成16年の屋代高校課題研究報告書の中に屋代高校周辺の9つの河川の水質を川の水調査セット（以下パケットテストと呼ぶ）、および指標生物を用いて調査した先行研究を見つけた。その中で調査地点が地図上で示されていた。4つの河川を選び、16年前と同じ方法で調査し、過去と比較し、必要があれば周辺河川の水質を向上させる方法を提案することを目的とした。

2. 研究方法

(図1)



方法1. 16年前に調査された河川の中から沢山川、聖川、神田川、岡田川の4つの水質を「河川水辺の国勢調査マニュアル」、「川の生き物を調べよう」、「滋賀の水生昆虫」の3つの資料に基づいて次の手順で8月3日から14日までに調査をした。方法・手順は以下の通りである。

- ① 安全に調査が行えそうな河川の地点を調べる。
- ② 現地の気温、水温、川幅、流速、水深、その他岸の様子や植生、周辺の環境などを記録する。
- ③ 指標生物の調査
4人で10分間川に入り、石の裏や川底の生物を手や網を使って採取する。その後採取した生物の種類を同定し、指標生物から4段階で水質を判定する。
- ④ パケットテスト
川の水調査セット（共栄社）を使い、 NH_4^+ 、 NO_2^- 、 NO_3^- 、 PO_4^{3-} 、CODの値を測定する。これらの結果をもとに水質の判定を行った。

方法2. 長野県市役所環境課でも様々な河川でバックテストを行っている。そのデータを利用してグラフを作成し、我々のデータと比較する。

方法3. 河川の水質と周辺の下水道整備の関係について調べるために、長野市上下水道局で得られる下水道計画図から、河川周辺の下水道整備状況の過去と現在を比較する。

3. 研究結果

方法1. ③の結果

得られた指標生物のデータを表1にまとめた。括弧内の数字はそれらの生物がどういった水質に生息しているかを示しており、(I)が最もきれいで(IV)が最も汚いことを意味する。調べた結果、沢山川では平成16年と同じく評価(I)できれいな水に住む生き物が見られた。聖川では16年前はきたない水に住む生き物(III)が見られ、今回の調査ではややきたない水に住む生き物(II)が見られた。神田川では16年前は大変きたない水に住む生き物(IV)が見られたが、今回の調査ではきれいな水に住む生き物(I)が多く見られ、もっとも変化が大きかった。岡田川では平成16年には大変きたない水に住む生き物(IV)やきたない水に住む生き物(III)が多く見られた。今回は調査に適した場所が見つけれず指標生物による調査は行っていないが、調査が困難と感じられるほど水がよどんでいる場所があった。

表1

総合的な水質

沢山川	平成16年	ヘビトンボ(I) カワゲラ(I) サワガニ(I)	(III)
	令和2年	ヒラタカゲロウ(I) ブユ(I) オオシマトビケラ(II)	(II)
聖川	平成16年	ヒラタカゲロウ(I) カワニナ(II) ヒル(III) ミズムシ(III)	(IV)
	令和2年	カワゲラ(I) ブユ(I) コガタシマトビケラ(II)	(I)
岡田川	平成16年	ミズムシ(III) ザリガニ(IV)	(I)
	令和2年	未実施	
神田川	平成16年	ミズムシ(III) アメリカザリガニ(IV)	(III)
	令和2年	カワゲラ(I) ヒラタカゲロウ(I) ヨコエビ(I) ブユ(I) サワガニ(I) コガタシマトビケラ(II)	(I)

方法1. ④の結果

ここではバックテストによる判定を平成16年のデータと比較したい。しかし、当時の報告書ではa=きれいな、b=少しきれいな、c=汚いと三段階で判定されていたが、バックテストの具体的な値との対応表が記されていなかった。我々は多くの水質調査で一般的に採用されている基準を調べ、この対応表を作成した(表2)。そして本校平成16年の結果もこの基準から大きく外れていないと仮定し、結果を比較した。(表3)表3の結果から沢山川と聖川は平成16年と大きな変化は見られず、きれいな状態であると分かった。神田川はcからaへと大きく水質が改善されることが分かった。一方、岡田川ではcのままで変化は見られず汚いままであることが分かった。特に中流域ではアンモニアの値とCODの値が非常に高かった。

表2、パケットテスト値と判定の対応表

表2、パケットテスト水質 判定基準(mg/L)	a きれい	b やや汚い	c 汚い
NH ₄ ⁺	~0.2	~2	2~
NO ₂ ⁻	0.02	~0.2	0.2~
NO ₃ ⁻	1	~2	2~
PO ₄ ²⁻	0.05	~0.2	0.2~
COD	~2	~5	5~

表3 今回と平成16年パケットテスト判定の比較 ()内は実際の数値 (mg/L)

		NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	COD	総合的水質
沢山川	平成16年	a	a	b	b	a
	令和2年	a(0.2)	a(0.5)	a(0.02)	b(2~4)	a
聖川	平成16年	a	b	a	a	a
	令和2年	a(0.2)	a(0.2)	b(0.1)	b(2~4)	a
神田川	平成16年	c	c	c	c	c
	令和2年	a(0.2)	a(0.5)	b(0.1)	a(2)	a
岡田川篠ノ井体育館	平成16年	a	b	c	b	b
	令和2年	c(2~5)	a(0.2)	a(0.05)	c(8)	b
岡田川茶臼山運動場	令和2年	b(0.5)	a(0.2)	b(0.1)	c(8)	b
岡田川上流	令和2年	b(0.5)	a(0.2)	b(0.2)	b(4)	a

長野市の水質調査のデータにもパケットテストの結果が得られる部分があったため、データからグラフを作成し、自分たちの結果と比較した。特に過去と現在で顕著な差があった神田川と我々の結果では水質が悪く思われた岡田川の2つについてまとめた。(図2)

長野市役所のデータ (図2)

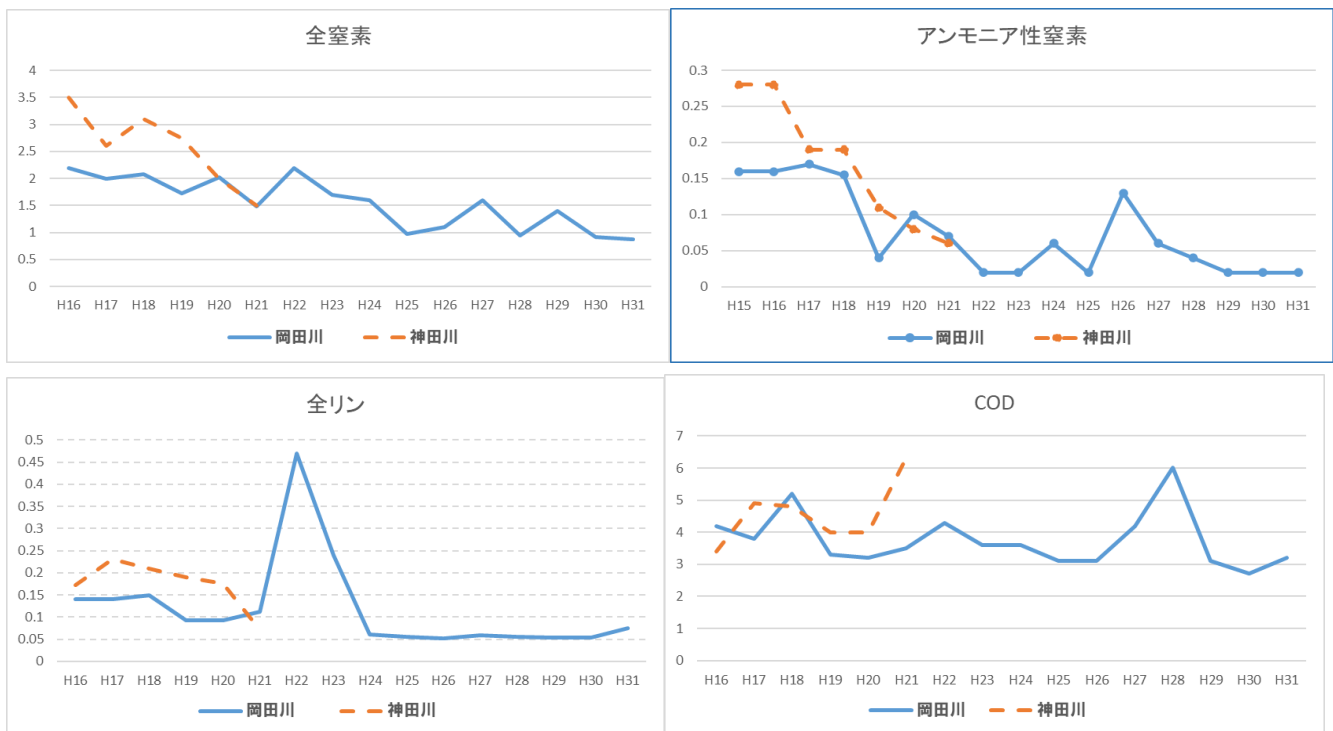
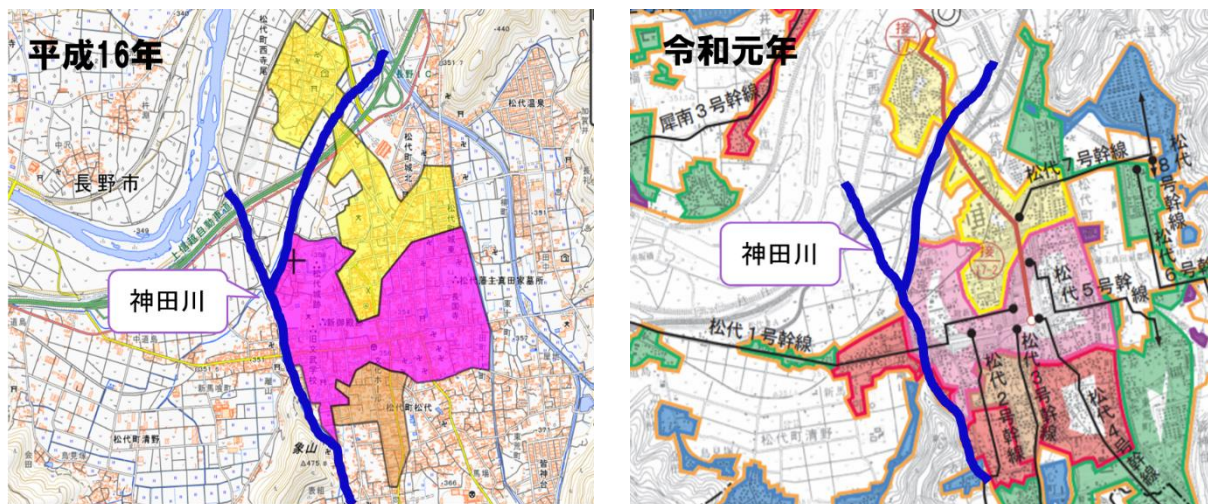


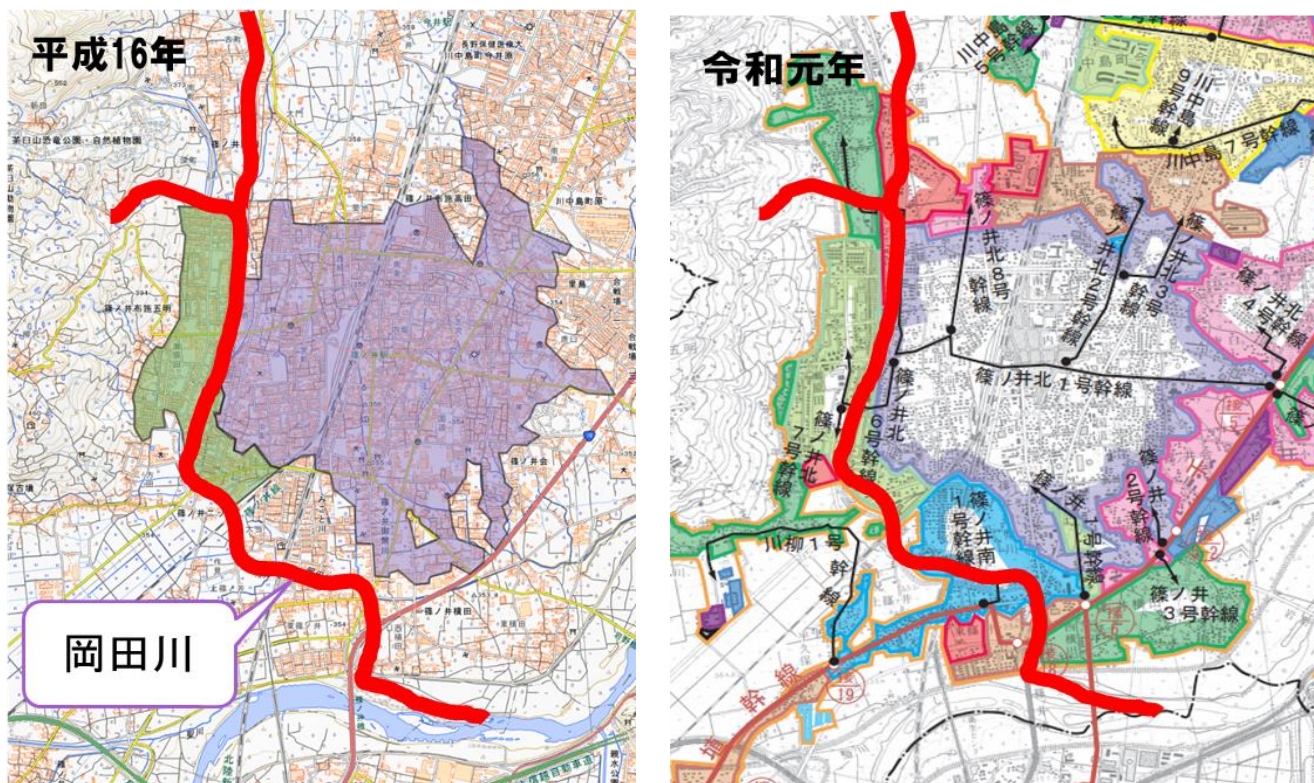
図2より長野市のデータでは両河川ともに全体として水質が改善傾向にあるといえる。神田川に関してはH22年

度以降のデータは無いが今回の我々の結果から現在は水質がとてよくなったといえる。長野市のデータから両河川の水質がだんだん改善されていることが分かった。その原因を突き止める手段として下水道の整備状況に着目し、過去と現在の状況を比べる図を作成した。これにあたっては長野市の下水道事業統計年報をもとに平成16年度と令和元年度の図の大きさと向きをそろえて、直接比較できるようにした。(図3、4)太線は河川を示している。周りの色付きの部分が下水道整備されていった地域である。2つの河川ともに流入域において下水道の整備範囲が広がっていることがわかる。

神田川付近の下水道計画図(図3)



岡田川付近の下水道計画図(図4)



4. 考察

指標生物の結果(表1)から3つの河川はいずれも現在の水質は大変きれいな水であるといえる。特に神田川では大変きたない水からとてもきれいな水へと大きな変化があった。バックテストでは沢山川と聖川に大きな変化はなく、神田川はきれいになり、岡田川は汚いままであった(表3)が、長野市のデータと比較すると水質が改善されて

いることが分かった。(図2)

ここからは平成16年のときよりも変化が大きかった神田川と今回調査した河川の中で比較的現在の水質が悪かった岡田川に絞って考察をしていく。我々の岡田川のCOD、NH₄⁺の値と長野市のCOD、NH₄⁺の値に大きな差がある理由は調査地点が異なることが考えられる。長野市のデータは岡田川の下流域で千曲川に近い場所であった。我々の地点は上流域から中流域であった。それに加えて、私達が調査した時は台風による大雨の影響で上流のダムに土砂がたまっていて、その撤去作業中で水質が悪化していたことが挙げられる。しかしながら、上流、中流域では下水計画が進まず、農地や家庭からの流入もあるため、それが原因の可能性も考えられる。

この2つの河川の周辺は平成16年では下水道の整備が進んでいない地区だったことから下水道の整備により水質が変化したのではないかと考えた。図3、図4より2つの河川ともに周辺の下水道の整備範囲が広がっていることが分かる。このことから下水道の整備が進んだことにより水質が改善したといえる。しかしながら、両河川を比較すると、神田川の改善が顕著である。我々はその原因を探るため河川愛護会会長 松本吉隆様にインタビューすることができた。神田川では松代河川愛護会により川の水質を保全する活動が行われている。 詳細は以下の通り。

- ・松代地区住民1万7千人を動員した年二回の清掃活動。
- ・田の水路を清掃することで、川に流出する水の水質がよくなる。
- ・河川を管理するために1世帯100円の集金をしている。(情報提供：愛護会会長 松本吉隆様)

5. 今後の展望

今後は岡田川の流入箇所の前夜などでバックテストを行い、水質が悪化する原因を探り、その改善策を提案したい。その際には神田川での水質改善の成功例も参考にしたい。

6. 謝辞

この研究において、ご協力いただいた長野市役所の皆様、松代河川愛護会の皆様、地域の皆様、先生方に深く感謝します。

参考文献

1. 平成16年度長野県屋代高等学校SSH 課題研究研究報告書集 (長野県屋代高等学校 SSH 研究会)
2. 「川の水調査セット」製造：株式会社共立理化学研究所
3. 滋賀の水生昆虫・図解ハンドブック (滋賀県小中学校教育研究会理科部会)
4. 平成28年度版河川水辺の国勢調査基本調査マニュアル [河川版] (底生動物調査編) (国土交通省水管理・国土保全局河川環境課)
5. 川の生き物を調べよう水生生物による水質判定 (環境省水・大気環境局 国土交通省水管理・国土' 全局)
6. 長野市役所環境課から頂いたデータ
7. H30 下水道事業統計年報 (長野市上下水道局)
8. 地理院地図 (国土地理院) <https://maps.gsi.go.jp>
9. 松代河川愛護会 会長 松本吉隆様
10. (水質判定基準として) 荒川 Clean Aid Forum cleanaid.jp
11. 平成29年度東御市内要河川水生生物調査

ポリプの成長速度の変化

～溶存酸素量及び他の要因が与える影響～

研究者 荒井孔文 高山葵衣 武田成未 羽鳥健太郎 山本くるみ

指導教諭 轟和久

1. 研究概要及び目的

近年、夏になると度々クラゲの大量発生が報道される。また、同時に海水中に家庭・農業排水が流出し、海水が栄養豊富になり、プランクトンが異常発生することで引き起こされる赤潮も問題になっている。このような富栄養化が進行するとたいていの海の生物は死んでしまうが、クラゲは逆に大量発生している。そこで、富栄養化が起きると海水中の溶存酸素量が低下することに着目し、プラヌラが基質上に固着し触手を生やすクラゲの幼生であるポリプ(図1)がどの程度まで溶存酸素量の減少に耐えられるのか、また大量発生のポイントを調べる。この研究からクラゲが生息可能な海水中の環境、溶存酸素量の新たな指標として活用していけるようにしたいと考えている。

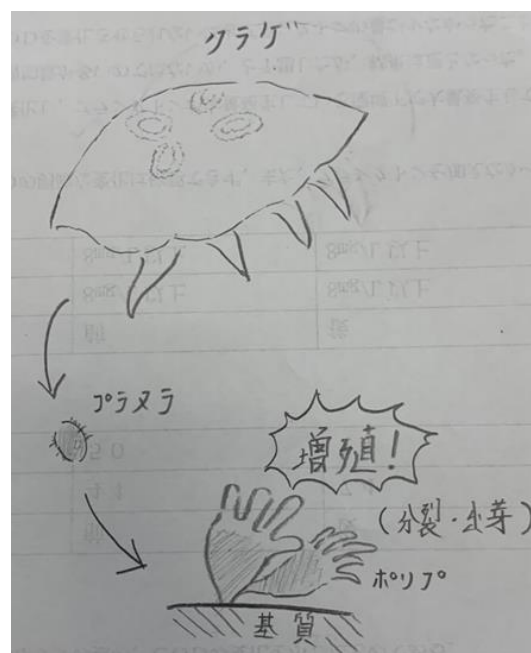


図1

2. 研究内容・方法

実験には、近年日本近海でも大量発生しており、入手や飼育が容易なミズクラゲのポリプを使用した。研究の前提として異なる4つの環境下でポリプを一か月間観察した。飼育液は人工海水(MARINE ARTS F-1)を使用した。環境条件は以下の通り。

(1)室温20℃ 明所



(3)室温5℃ 明所



(2)室温20℃ 暗所



(4)室温5℃ 暗所



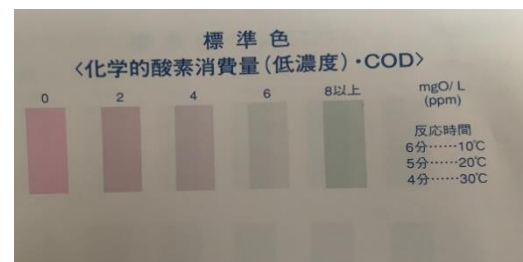
上記の実験の結果、ポリプの生育には室温20℃が適当だと判明した。このことから、これから行う実験は温度を20℃に保ったインキュベータ内で行うこととした。

以下の実験では、溶存酸素量を減少させるために動物プランクトンを使用する。

実験1：動物プランクトンがほぼ含まれていない人工海水を入れたビーカーと、動物プランクトン3.0ml/Lを含んだ人工海水を入れたビーカーを用意し、2種類のビーカーにそれぞれ44個、50個の4cm四方の網に固着したポリプを入れ、インキュベータ内で2週間餌をやりながら観察し、実験の前後でバックテストを用いて海水のCOD(化学的酸素要求量)とポリプの数の変化を測定した。

※ COD；海水などに含まれる被酸化性物質を酸化剤を用いて一定の条件下で酸化するとき消費される酸化剤の量を、酸素の量に換算したもの。代表的な水質の指標の一つであり、酸素消費量とも呼ばれる。

実験2：実験1で3.0ml/Lであったプランクトンを10.0ml/L含ませ、試行回数を増やすため2種類のビーカーに2個ずつポリプが固着した網を入れ、6週間観察し、実験1と同様実験の前後でバックテストを実施し、CODとポリプの数の変化を測定した。



バックテストの指標

3. 仮説

この実験の仮説として、プランクトン有のほうがポリプの数が多くなり、溶存酸素量が減少すると考えられる。

4. 実験結果

CODの値が高いほど、溶存酸素量の値が低くなる。また、ポリプの生存は触手の有無で判断する。下の表は、実験1のポリプの数の、CODの変化を示したものである。

ポリプの数

	前	後(二週間後)	変化量
プランクトン無し	44	74	+30
プランクトン有	50	74	+24

COD

	前	後(二週間後)	変化量
プランクトン無し	8mg/L以上	8mg/L以上	0mg/L
プランクトン有	8mg/L以上	8mg/L以上	0mg/L

実験1では、CODの明確な変化は確認できず、また、プランクトンを加えなかったビーカー内のポリプのほうの増加量が大きかった。

ポリプは海が富栄養化し、プランクトンが大量発生している環境下で大量発生しているため、プランクトンを加えたビーカーのほうのポリプの個体数の増加量が多いのではないかと予想したが、結果は逆となった。

原因としては、実験の期間が短かったことが挙げられたため、実験2ではプランクトンの量を10.0ml/L、実験期間を6週間として実験した。

下の表は、実験2のポリプの数、CODの変化を示したものである。

ポリプの数

	前	後(六週間後)	変化量
プランクトン無し	74	84	+10
プランクトン有	74	123	+49

COD

	前	後(六週間後)	変化量
プランクトン無し	8 mg/L 以上	0 mg/L	8 mg/L 以上
プランクトン有	8 mg/L 以上	0 mg/L	8 mg/L 以上

実験2では、プランクトンを加えたビーカーでは加えなかったビーカーの約5倍ポリプの個体数の増加量が大きかった。しかし、CODの変化量には差異がみられなかった。実験1とは異なり、どちらのビーカーでもCODは大きく減少していた。

5. 考察

実験結果に関して、実験前に蒸留水かつ有機物をほとんど含まない人工海水を使用したにも関わらず、CODの値が8 mg/L以上であったことが理論上起こりえないことである。

しかしながらこの結果から、ポリプはCODが多く溶存酸素量が少ない、生物の生育に不利な環境下でも増殖することができることが分かった。また、プランクトンを加えていなかったビーカーよりも増加量が大きかった理由としては、ポリプの餌となる動物性プランクトンが多かったためだと考えられる。

CODの減少量に変化がなく、またプランクトン有でもなしでも大きく減少したのは、溶存酸素量が増加したことを意味し、ポリプやプランクトンは呼吸をしているので、理論上ありえないことであるから、パックテストに不備があったと考えられる。

先行研究より、ポリプは海に窒素やリンなどが人間の活動によって流出し、海が富栄養化した際に大量発生する動物プランクトンを食べて成長するが、その種類はカイアシ類などの中型から、繊毛虫類などの微小動物プランクトンまで多岐にわたっており、海でそれらが大量に発生することで他の競合している動物が貧酸素によって減少する一方でそれらを食べて大量発生している、ということも分かっている。

しかしながら、参考にした先行研究によると現在わかっていないこともいくつか存在する。例えば、溶存酸素量の変化について、どれくらいの溶存酸素量で成長速度が速くなるのか、また、溶存酸素量の段階的なレベルに応じた成

長速度の変化はどうか、ということである。さらに、ポリプが生育する環境下においてさまざまな物質、例えば、窒素、リン、カリウム、ケイ素、家庭用洗剤などが含有した場合ポリプはどのように生育していくのか、という点について現在不明である。

6. 今後の展望

研究内容で触れた対照実験に期間がかかり、主実験に取り掛かるまでに時間がかかってしまったこと。また、実験により得られた結果の数値の考察に苦労したことにより、以下の追加実験に取り掛かることができなかつたので、今回の実験結果と先行研究を踏まえて、今後の展望として以下に記す。

- ・ 溶存酸素量についてプランクトン量を変えることによっていくつかの段階にわけ、各ステージにおける成長速度の違いを観察する。また、どの段階においてポリプは最も成長速度が大きくなるのかを調べる。なお、溶存酸素量を測定する際には、パックテストではなく、専用の機器を用いるとさらに正確な数値を得ることができるであろう。

- ・ 水質汚染、富栄養化に関わる物質（窒素、リン、カリウム、ケイ素）をポリプが成育するビーカーに混入しポリプの成長における変化を観察する。具体的には、リンを用いる場合はリン酸塩を、窒素の場合は亜硝酸態窒素を人工海水中に含ませ、餌を与えながら、5週間程度と期間を設定し研究を行いたい。

以上のことについて今後調査していきたい。

7. 謝辞

この課題研究を行うにあたり、轟先生、清水先生をはじめとする諸先生方に多大なる協力を賜り、実験等を行うことができました。感謝申し上げます。ありがとうございました。

8. 参考文献

- ・ 瀬戸内海の富栄養化とクラゲ類の増大について—AgriKnowledge
- ・ 18510007 研究成果報告書—KAKEN
- ・ グローバル化するクラゲ類の大量発生：原因と対策
- ・ 富栄養化対策（発生源対応）—環境技術解説—環境展望台
- ・ TUMSAI-OACIS Repository—Tokyo University of Marine Science and Technology（東京海洋大学）

除草剤に頼らない植物栽培法

～ヘアリーベッチのアレロパシーによる雑草抑制の検証～

研究者 窪田壮 酒井真実 杉田紗也 吉池美桜里

指導教諭 堀内栄子

1 研究概要および目的

農作物栽培においては雑草の繁茂が大きな問題となる。雑草が養分・水分・日光を奪うことによる、収量や品質の低下などだ。その対策として一般に使われている除草剤は、一例としてグリホサートというヒトの体重（増加抑制）及び肝機能に影響を及ぼすと認められている物質を主成分とする。また、グリホサートは非選択的に植物を枯らすため、大量に広範囲に散布すれば、農地周辺の植生に影響する。そのため、除草剤は適切な使用が求められるのである。そこで私たちは除草剤外の雑草駆除方法を模索し、多種類の植物に対する成長抑制効果があるとされる、ヘアリーベッチ（和名：ビロードクサフジ *Vicia villosa* Roth.）に着目し、この実用性を確かめ、提案することを目的とする。

2 ヘアリーベッチについて



ヘアリーベッチは、明治時代に牧草として導入された。日本では北海道を除いた地域で越冬が可能な越年草である。農業環境技術研究所による 1990 年ころからの研究によってアレロパシーが強いことが分かっている。ヘアリーベッチのアレロパシーはほかの植物の生育を阻害する効果があり、その本体としてシアナミドが含まれている。シアナミドは窒素肥料である石灰窒素の成分として殺虫・殺菌・除草効果のあることが知られている。また、ヘアリーベッチには緑肥効果がある。緑肥とは、植物そのものを肥料の一種として利用することを言う。ヘアリーベッチの場合、根粒菌が窒素を固定し土壌を肥沃にする。利用すると、窒素を施さなくても慣行栽培と同程度の収量・品質が確保できる。10aあたり 10～20kg の窒素を固定する。

3 研究方法

今回はサンドイッチ法を用いて、ヘアリーベッチの地上部及び根に含まれるアレロパシー作用（植物が放出する化学物質がほかの生物に阻害的または促進的な作用をもたらす効果）を持つ物質の有無を調べる。サンドイッチ法とは、アレロパシーの研究において広く用いられている手法であり、寒天培地中に包埋した植物体から浸出する物質のアレロパシー活性を、寒天培地上に播種した検定対象植物の発芽・発根の計測から判定する方法である。

(1) ヘアリーベッチ

22℃に設定したインキュベーターを用意した。縦 16cm、横 10cm、厚さ 12.5cm の容器に脱脂綿をしいて水を十分に含ませ、上でヘアリーベッチの種子を発芽させ、その後容器の高さいっぱい(約 13cm)になるまで育てた。育ったヘアリーベッチを種子を境にして地上部と根に分け、およそ 3mm を目安にハサミで細かく刻んだ。

(2) 検定対象植物

リーフレタス (*Lactuca sativa var. crispa* キク科)、トウモロコシ (*Zea mays* イネ科)、コマツナ (*Brassica rapa var. perviridis* アブラナ科) の3種類を用意した。それぞれ発芽率は80%以上、75%以上、85%以上と保証されている市販品である。キク科、イネ科、アブラナ科の植物が、農地に多く繁茂しているためこれらを選定した。

(3) 寒天培地

1Lの水に14gの粉寒天を溶かし、直径8.7cmの15個のシャーレにおよそ5mmの厚さになるように薄く張った。その上に(1)で用意したヘアリーベッチの根または地上部を0.5gずつ乗せ、さらに上から30gの寒天を流し入れて固めた。

(4) 種子の播種と育成

対象植物を(3)の寒天培地上に播種した。リーフレタスとコマツナは1つのシャーレにつき5粒、トウモロコシは3粒播種した。ヘアリーベッチの根または茎を包埋したシャーレは対象植物ごとに2皿ずつ、ヘアリーベッチを含まないシャーレは1つずつ作成した。

15個のシャーレは20℃に設定したインキュベーターに入れて(図1)7日間発芽・発根の様子を見た後、検定対象植物の根と胚軸(便宜上これ以降、芽とする)の長さを測った。



図1 インキュベーター内の様子

4 実験結果・考察

トウモロコシはヘアリーベッチの無いシャーレで1つだけ発芽が見られ、ヘアリーベッチのあるシャーレでは全く発芽しなかった。トウモロコシが他の植物に比べて発芽率が悪かったのは、発芽までの時間が他の2つの植物に比べて長く、実験の日数が短かったためと考えられる。(図3a) サンプル数が少なく条件もトウモロコシに適していなかったため、断定はできないものの、ヘアリーベッチのあるシャーレの種子は発芽せず、ヘアリーベッチの無いシャーレで1つだけ発芽したため、ヘアリーベッチがトウモロコシの発芽に対する抑制効果を持つ可能性はある。今後トウモロコシの発芽に適した条件で実験する必要がある。

コマツナとリーフレタスは全てのシャーレで発芽した。(表1)今回発芽するまでの日数に違いは見られなかったため、ヘアリーベッチはコマツナとリーフレタスの発芽を抑制しなかったと考えられる。

一方、コマツナとリーフレタスでは、ヘアリーベッチの上に植えたものがヘアリーベッチの無いものより根の長さも芽の長さも短かった。(図3b, c) リーフレタスの伸長量の平均値をヘアリーベッチの無いシャーレのもの比べると、根を入れたシャーレでは芽も根も29%程度、地上部では12%近くまで低下した。(図4a, b) コマツナはヘアリーベッチの根を入れたシャーレで根が40%に低下し、地上部を入れたシャーレでは芽が

62%に、根が 15%までに低下した。(図 5 a, b) これによりヘアリーベッチはコマツナとリーフレタスの成長を阻害する物質を持っていることがわかった。また、ヘアリーベッチの根の上に植えたものより、地上部と植えたものの方が検定対象植物の伸長率が小さかったため、ヘアリーベッチの他の植物の成長を阻害する物質は地上部に多く含まれているということもわかった。

図 2 実験後のシャーレの様子

図 2 a トウモロコシ

図 2 b コマツナ

図 2 c リーフレタス



右：ヘアリーベッチの含まないもの 中央：地上部の上に植えたもの 左：根の上に植えたもの

図 3 検定対象植物の伸長量の比較

図 3 a トウモロコシ

図 3 b コマツナ

図 3 c リーフレタス



上段：ヘアリーベッチなし 中段：ヘアリーベッチの地上部と植えたもの

下段：ヘアリーベッチの根と植えたもの

表 1 発芽率

	なし	芽 1	芽 2	根 1	根 2
コマツナ	100%	100%	100%	100%	100%
リーフレタス	100%	100%	100%	100%	60%
トウモロコシ	33%	0%	0%	0%	0%

図 4 a

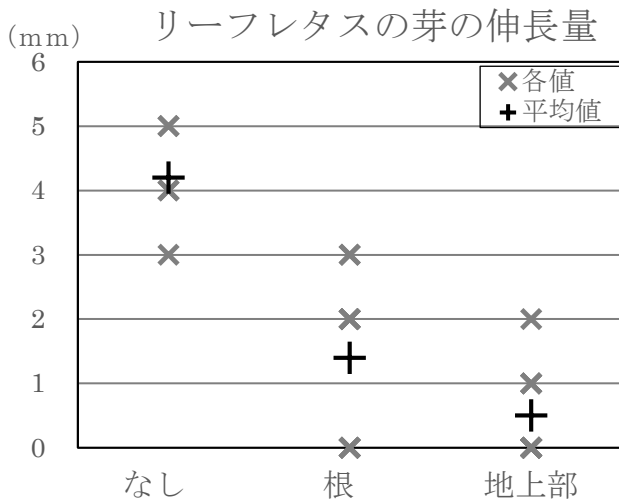


図 4 b

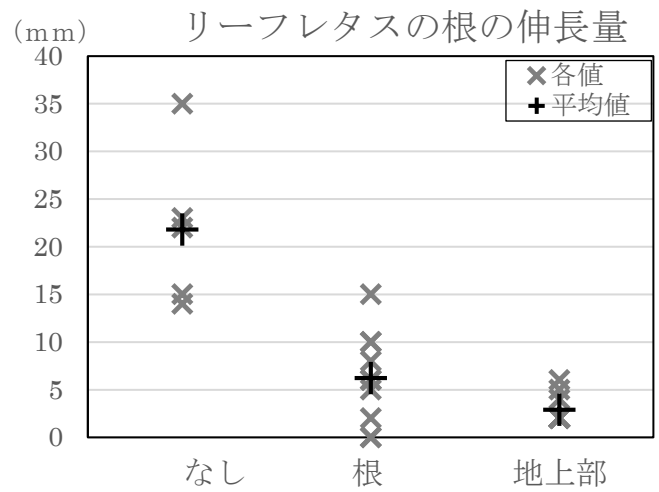


図 5 a

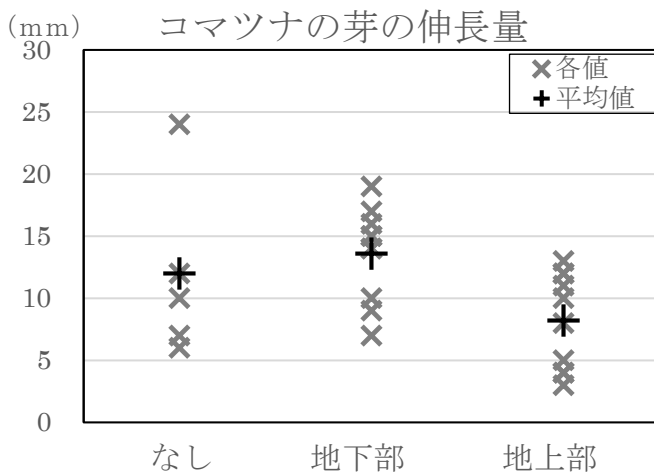
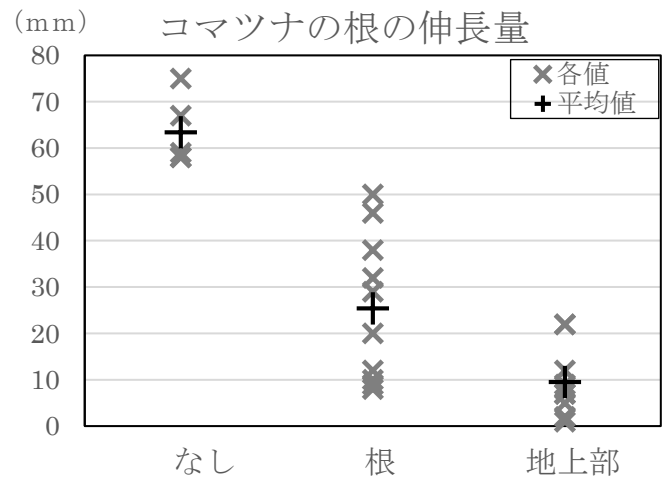


図 5 b



5 まとめ

草丈 20~30cm で地表を覆うように密生するヘアリーベッチは被陰効果でほかの植物の生育を阻む“グランドカバー”として活用されており、例として果樹園における下草としての利用がある。さらに、マメ科植物に共生する根粒菌の、大気窒素から窒素化合物を合成できる窒素固定能力により、窒素分の乏しい土壌における“緑肥効果”も大きい。また、このように多様な活用方法を持ちながら、栽培は容易にでき、安価であるという利点もある。

今回、キク科のリーフレタスとアブラナ科のコマツナに対する成長抑制効果ははっきり確かめられた。キク科ではヨモギ、タンポポ、ブタクサなど、アブラナ科ではナズナ類などが、雑草として農地に多くみられる。ほかにも多くの植物に対する抑制効果が期待できると考えられる。このような広範な抑制効果が農作物に与える影響を考慮すると、農作物と同時播種しての混植は慎重に行うべきかもしれない。農作物の苗を畝に植え、ヘアリーベッチを畝と畝の間に繁茂させるなど、一定距離をあけての育成が理想だろう。また、休耕地に雑草が繁茂しすぎると、害虫を呼び寄せ、周囲の農作物に迷惑となる場合があるが、ヘアリーベッチを育てておけ

ば、草取りや除草剤散布の手間を減らして土地を管理できるだろう。

本研究では、抑制効果物質の性質など、詳細については確かめていない。その物質が土壌の中にどれほど拡散し、滞在するのか、ヘアリーベッチの生育条件によって生成量が変わるのかなど、実用を前提に検証すべき課題はまだ残されている。環境に負担の少ない持続可能な農業を目指し、研究を進めていきたい。

6 課題

- ・トウモロコシの発芽率が低かったため、シャーレ1つにつき種を3つずつ播種するのは少なかった。
- ・対象植物の発芽のための適切な温度がそれぞれで違っていたため調整がうまくいかなかった。

7 参考文献

- ① 食品安全委員会 www.fsc.go.jp
- ② アレロパシーの効果に関する実験
https://www.rinya.maff.go.jp/j/kokuyu_rinya/kakusyu_siryo/pdf/00446_4_h14_002.pdf
- ③ ヘアリーベッチのアレロパシーによる雑草抑制効果
<https://core.ac.uk/download/pdf/59164339.pdf>
- ④ 雪印 ヘアリーベッチが農家にもたらしてくれるもの
https://www.snowseed.co.jp/wp/wp-content/uploads/grass/grass_201405_03.pdf
- ⑤ アレロパシー研究の最前線
<http://www.naro.affrc.go.jp/archive/niaes/techdoc/inovlec2004/1-3.pdf>

柱状節理の外的要因による変化

～収縮の速度や物質の割合で断面図が変化する？～

研究者 榎本 祐輝 林部 寛大 櫻井 優吾
指導教諭 大石 超 先生

1. 研究概要及び目的

柱状節理は、亀裂大きさや向き、長さなどに関わる条件がほとんど解明されていない為、差異の原因が分かれば、発生当時の地球の地質の調査に役立てることができると考えた。しかし、柱状節理は溶岩が変化したものであり、実験を行うことは難しい。そこで、一般的な実験モデルであるコーンスターチを用いて実験を行う。コーンスターチは、過程こそ違うものの、柱状節理と同じく固まると六角柱になるという希有な性質をもち、おおよその性質が同じと考えられている。よってスターチの特性を分析し、変化の条件を調べることによって柱状節理に関わる要因を推察する。

2. 研究内容・研究方法

柱状節理は地表に流れ出た溶岩が冷えて固まることで発生するという説が一般的であるが、溶岩を用いて実験することは難しい。その為、過程こそ違うものの、柱状節理と同じく規則的に六角柱に固まり、かつ水口毅氏なども使用しているコーンスターチを実験モデルとし、ここから得られた情報から柱状節理の発生条件を調べる。

条件の変化が柱状節理に与える影響を調べるため、コーンスターチを水に溶かし、温度や乾燥時間、乾燥方法を変えながら恒温器で乾燥する。

実験①《コーンスターチと水の割合の比較》

水 30g、50g が入った浅い容器それぞれ A、B にコーンスターチ 70g を混ぜ、恒温器で 40℃ で乾燥

実験②《同じコーンスターチの比で容器の深さの比較》

底の深い容器に水 100g とコーンスターチ 140g を混ぜた物 C、底の浅い容器に水 50g とコーンスターチ 70g を混ぜた物 D を恒温器で 70℃ で乾燥

実験③《同じコーンスターチと水の量での容器の深さの比較》

底の深い容器に水 50g とコーンスターチ 70g を混ぜたもの E、底の浅い容器に水 50g、コーンスターチ 70g を混ぜたもの F を恒温器で 70℃ で乾燥

実験④《乾燥方法の比較》

底の深い容器に水 50g とコーンスターチ 70g を混ぜたもの G、底の浅い容器に水 50g、コーンスターチ 70g を混ぜたもの H を、白熱電球で乾燥

A-B はコーンスターチの量の差、C-E は内容量の差、D-E 及び E-F は容器の深さ、E-G 及び F-H は乾燥方法に関する対象実験である。

また、D と F は行った日時はちがうが、同じ条件である

3. 研究結果・考察

・結果

実験①では、どちらも水が多すぎてスターチが沈殿し水と分離してしまった。また、形状は実験②の容器 D と同じ様になった。

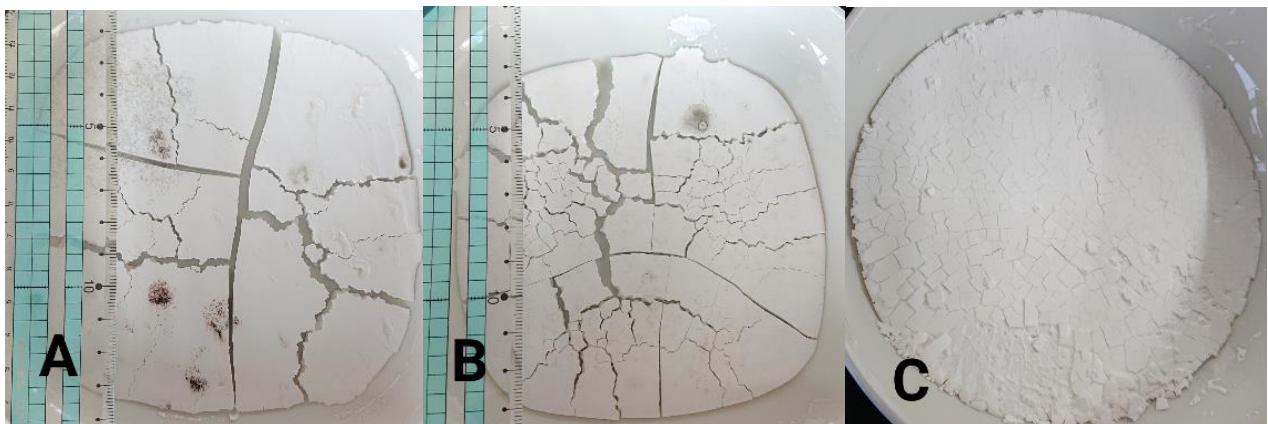
実験②で、底が深いスターチ C のほうが安定して固まった。

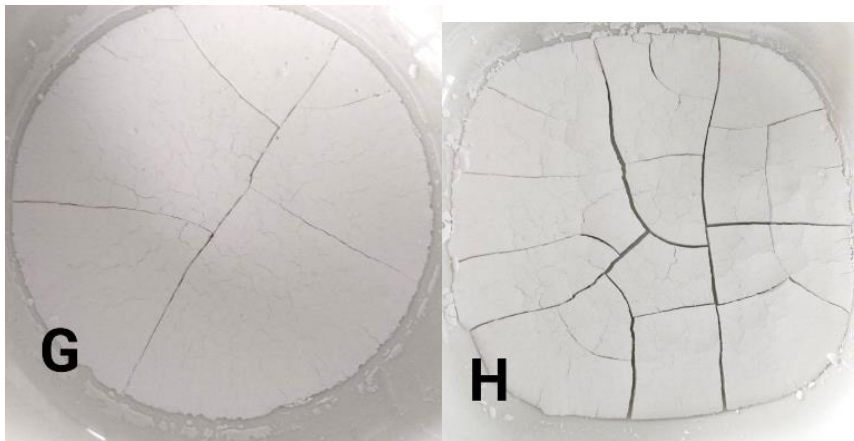
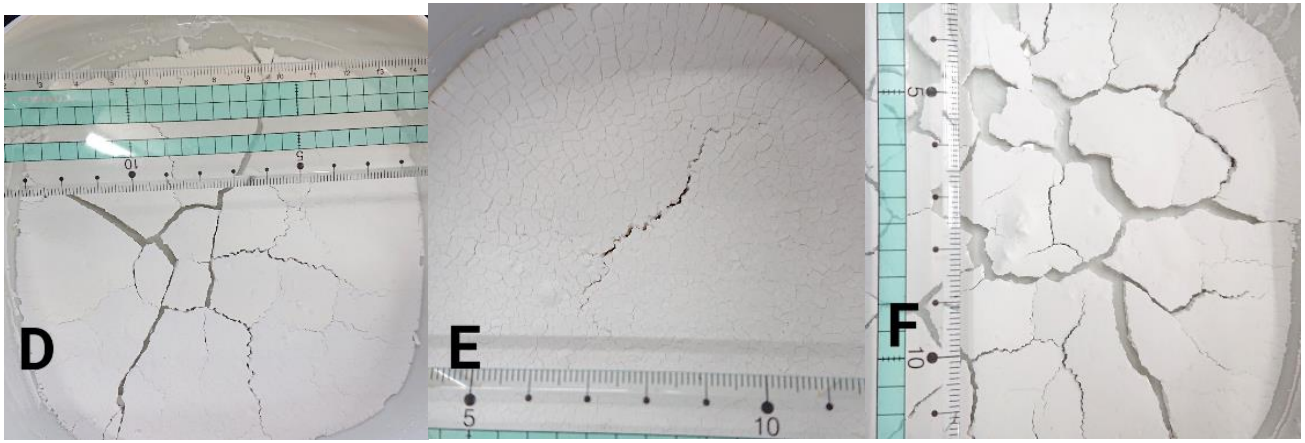
実験③では、同じ量でも深い容器 E のほうがより深く細かい亀裂が入った。実験②の結果を裏付けられた。

実験④では、あまり E と G、F と H で大きな違いは現れなかった。温度変化の速度にあまり差異が生じなかった為だと考えられる。

	A	B	C	D
水量	30g	50g	100g	50g
スターチ量	70g	70g	140g	70g
容器の深さ	浅い	浅い	深い	浅い
乾燥方法	恒温器・40℃	恒温器・40℃	恒温器・70℃	恒温器・70℃
備考	直線状の亀裂 カビが発生	直線状の亀裂を中 心に細かい亀裂 カビが発生	表面の剥離 非直線状の亀裂	中心から放射状に 亀裂

	E	F	G	H
水量	50g	50g	50g	50g
コーンスターチ量	70g	70g	70g	70g
容器の深さ	深い	浅い	深い	浅い
乾燥方法	恒温器・70℃	恒温器・70℃	白熱電球	白熱電球
備考	表面の剥離 非直線状の亀裂	D と同条件	表面の剥離 非直線状の亀裂	直線状の亀裂





・考察

容器 C と E を比較すると、内容量の差に関わらず、同様の結果(表面の剥離、非直線状の亀裂、底部での亀裂の密度の上昇)が見られたため、亀裂は内容量に左右されないとわかる。

容器 D と E、E と F を比較すると、容器の深さが変化すると亀裂の形状が変化するとわかる。

容器 E と G を比較すると、深い容器での恒温器と白熱電球での乾燥に差はほとんどないとわかる。

容器 F と H を比較すると、E と G とは違い、恒温器と白熱電球では亀裂の形状に差が見られた。

- ・ここから、温まりやすさの違いがこの違いを生み出したと考えられる。

容器 A と B を比較すると、コーンスターチの量が多いほうが亀裂が細かった。

容器 A と H の亀裂は、どちらも直線状であり似ていた。

これらのことから、温度が均一になりにくいほど亀裂が細かく、均一になるほど亀裂が直線になっていくと思われる。

- ・C と E の結果から内容量は結果に左右されないと考えられるので、大規模な実験モデルや、柱状節理そのものにも当てはまると思われる。よって、内部温度の差が大きいほど、柱状節理に近づくという仮説が立てられる。

この仮定は、高熱の溶岩が地面と触れて冷えて発生するという従来の定説とも一致する。また上部の剥離や底部の密度の変化も温度の違いと言えるだろう。

しかし、C と E の結果が正しいならば、コーンスターチは内容量が多いほど温まりづらいはずである。一応柱状節理に関しては、もともと火山内部で長時間暖められていたためという説明はつく。

また今回の実験では、特に A、B において、コーンスターチが沈殿してしまいほとんど混ぜることができなかった。AB 以外の実験結果と完全な対象実験になっていない恐れがある。

さらに、同条件のはずのD、Fに関しても、十分に似ているとは認められないくらい形状が違った。Dは朝、Fは夜間に実験したためだと思われる。

4. 今後の展望

研究の時間が足りず、うまくいかないものが多く、完全にコーンスターチから条件を導き出す事ができなかった。乾燥方法やコーンスターチと水の比率など、今までに変えた条件をさらに細分化して実験を行いたい。また、気温や湿度など、考慮していなかった条件があり、その条件が変化の要因である可能性も否めない。さらに多くの条件を視野に入れながら研究を続け、正確な結果を調べていきたい。

5. 引用 参考文献

「新版 地学辞典」下中直人（平凡社）

「地形現象のモデリング：海底から地球外天体まで」遠藤徳考・水口毅ら（名古屋大学出版会）

伊豆半島ジオパーク推進協議会事務局

<https://izugeopark.org/geosites/tsumekizaki/?cid=C06>