

令和7年度

理数科
理数探究
報告書

青森県立五所川原高等学校

目 次

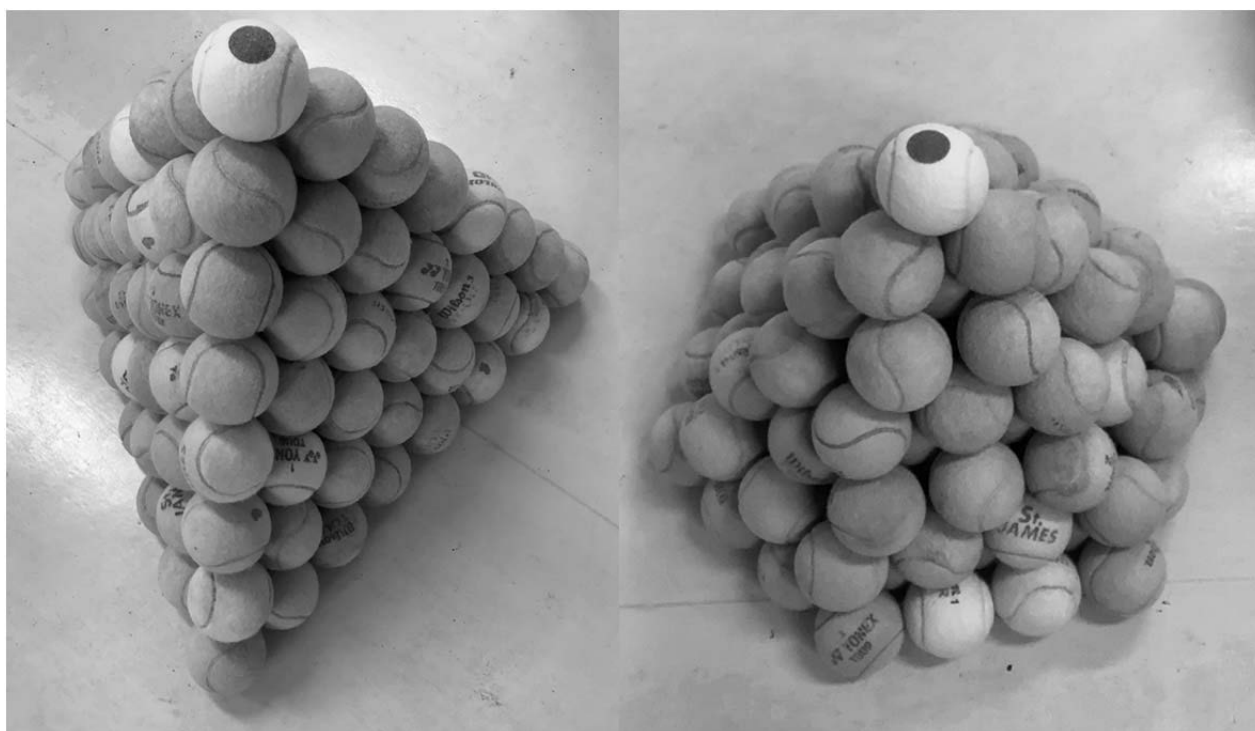
1	できるだけ隙間のない物体の詰め方についての研究	1
2	自作の簡易地震計を用いた免震構造の効果と適性の分析	7
3	青森県の特産品に含まれるアントシアニンを用いて紫外線を遮断するには	1 3
4	カビから取り出す抗生物質	1 9
5	魚の廃棄物を材料とした生分解性プラスチックの生成方法について	2 4
6	植物由来成分を利用したりんご害虫防除	2 9
	令和7年度理数探究校内発表会 次第	3 3
	第26回青森県高等学校理数系課題研究等発表会	
	開催要項及び発表テーマ一覧	3 4

できるだけ隙間のない物体の詰め方についての研究

青森県立五所川原高等学校 理数科2年 数学班

研究者名 湯澤一花 菊地海斗 丸一嘉也

指導教員 福士敬之 石田和久



1. 研究目的

課題を設定しようときっかけとなるものを調べていたところ、ポップコーンの容器を発見。その詰め具合を見て「もっと多く入っていれば満足できるのに」と考え、「できるだけ多く物を入れたい」という考えに変換。そこから今回の研究に至る。目的は、「効率的に物を入れ、持ち運ぶ回数を少なくする」というものである。なお、ここでは「効率がいい」を「ある一定の大きさの容器にできるだけ多くのものが入る」とする。

2. 方法

2-1 充填率とそれに関する用語の解説

・充填率

球の充填率とは、ある空間内で球が占める体積と、その空間の体積の比¹⁾と定義されている。

・ケプラー予想

ケプラー予想とは、ドイツの天文学者ヨハネス・ケプラーが1611年に提唱した、「無限に広がる3次元空間において、球を最も密に詰める方法は六方最密構造と立方最密構造であり、このときの充填率を超える配置はない」というものである。また、これらの配置での充填率は約74%となる。(ほぼ証明完了)

・最密充填

最密充填とは、先述したケプラー予想にて提唱された、無限に広がる3次元空間において最も密に詰められる充填方法であり、六方最密充填(図1)と立方最密充填(図2)の2つがある。

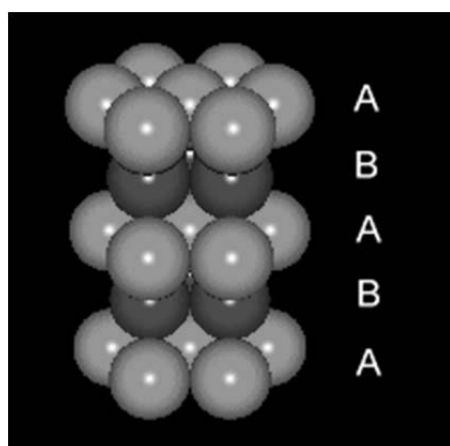


図1 六方最密構造²⁾

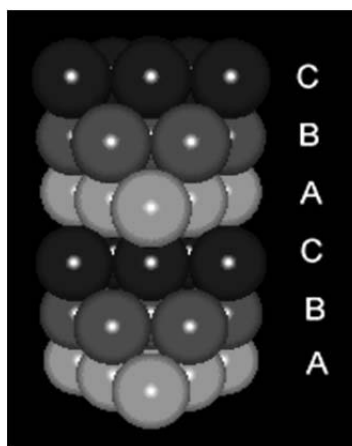


図2 立方最密構造³⁾

2-2 実験方法

段ボール箱にテニスボールを詰め、適当に詰めたときと最密充填で詰めたときのボールが入った個数と充填率を比較する。なお、球は切らずに考え、段ボール箱とテニスボールの変形は考えないものとする。

① 適当に詰める

1. 段ボール箱にテニスボール100個を流し入れる。
2. 少しでも段ボール箱からはみ出たボールを取り除く。
3. 段ボール箱に残ったボールの個数を記録し、充填率を計算する。
4. 1~3を計100回繰り返す、平均値を求める。

② 最密充填で詰める

1. テニスボールを段ボール箱からはみ出ない高さまで詰める。
2. 並べる向きを変えて縦と横で2回ずつ記録をとり、充填率を記録する。
3. 六方最密充填と立方最密充填それぞれの平均値を求める。

2-3 実験器具

- ・ テニスボール 半径 3.30 cm (公式規格)
- ・ 段ボール箱 23.8×39.8×28.8 (cm³)

3. 仮説 1

最密充填が一番多くボールを詰められて、ケプラー予想によるとこのときの充填率は約 74%なので、それに近い値が出ると予想される。

4. 結果

結果は、以下の通りとなった。

表 1. 適当に詰めた際の個数と充填率の平均値

個数の平均値(個)	85.7
充填率の平均値(%)	47.3

表 2. 最密充填の個数と充填率の平均値

	六方最密充填	立方最密充填
個数の平均値(個)	99.5	95
充填率の平均値(%)	54.9	52.4

5. 考察 1

実際に入った個数や充填率は、ケプラー予想から考えられる数値よりも少なかった。これは、実験のとき、一部でもはみ出た球は取り除くことにしていたためと考えられる。また、ケプラー予想は無限に広がる 3次元空間という条件下での予想であり、容器の中の空間が有限である今回の実験では最密充填が最も効率のいい詰め方ではないことも考えられる。

6. 仮説 2

実験の内容を踏まえて、充填率を求めるための一般化された式を求めることにした。しかし、3次元での充填率を一般化しようとする、変数が多く式が複雑になってしまう。そこで、まずは 2次元で平面に円を敷き詰めた状態の密度を考え、それを応用して 3次元へ展開していくことにした。

7. 考察 2

7-1. 六方構造

図 3 のような詰め方で、面積 $a \times b$ の長方形に、半径 r の円を最大 x 個詰められるように敷き詰める。以下、この詰め方を六方構造と呼ぶ。 a の方向に並べた円の個数を p (奇数行)、 p' (偶数行)、 b の方向に並べた円の個数を q とおく。

まず、 a の方向について考えると、

奇数行は $p = \left\lfloor \frac{a}{2r} \right\rfloor$ ($\lfloor \ \rfloor$ はガウス記号)

偶数行は片側に r の隙間ができるので、 $p' = \left\lfloor \frac{a-r}{2r} \right\rfloor$

よって、 a の範囲によって、 p' は以下のように場合分けできる。

$2pr \leq a \leq 2pr + r$ のとき、 $p' = p - 1 \dots \textcircled{1}$

$2pr + r \leq a < 2pr + 2r$ のとき、 $p' = p \dots \textcircled{2}$

次に、 b の方向について考えると、図 3 より、 $q = \left\lfloor \frac{b-2r}{\sqrt{3}r} \right\rfloor + 1$

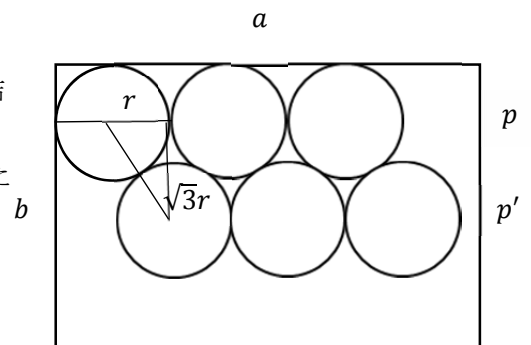


図 3 六方構造

よって、 b の範囲は、 $\sqrt{3}qr + (2 - \sqrt{3})r \leq b < \sqrt{3}qr + 2r \cdots \textcircled{3}$

①, ②, ③より、長方形の面積の取りうる範囲は、以下のように示される。

$$p' = p - 1 \quad \text{つまり} \quad 2pr \leq a \leq 2pr + r \quad \text{のとき,}$$

$$2pr\{\sqrt{3}qr + (2 - \sqrt{3})r\} \leq ab < (2pr + r)(\sqrt{3}qr + 2r) \cdots \textcircled{4}$$

$$p' = p \quad \text{つまり} \quad 2pr + r \leq a < 2pr + 2r \quad \text{のとき,}$$

$$(2pr + r)\{\sqrt{3}qr + (2 - \sqrt{3})r\} \leq ab < (2pr + 2r)(\sqrt{3}qr + 2r) \cdots \textcircled{5}$$

以上から、以下の3つの場合に分けて、六方構造での充填率を求める。

A. ④かつ q が奇数であるとき、

円の個数は $x = p\left(\frac{q+1}{2}\right) + (p-1)\left(\frac{q-1}{2}\right)$ となるので、充填率の取りうる範囲は

$$\frac{\left\{p\left(\frac{q+1}{2}\right) + (p-1)\left(\frac{q-1}{2}\right)\right\}\pi r^2}{(2pr+r)(\sqrt{3}qr+2r)} < \frac{\pi r^2 x}{ab} \leq \frac{\left\{p\left(\frac{q+1}{2}\right) + (p-1)\left(\frac{q-1}{2}\right)\right\}\pi r^2}{2pr\{\sqrt{3}qr+(2-\sqrt{3})r\}}$$

$$\frac{(2pq-q+1)\pi}{2(2p+1)(\sqrt{3}q+2)} < \frac{\pi r^2 x}{ab} \leq \frac{(2pq-q+1)\pi}{4p(\sqrt{3}q+2-\sqrt{3})}$$

これによって得られた式の下限を取る式と最大値を取る式を $f(p, q)$ とおき、最大値と下限をそれぞれ求めたところ、以下の結果が得られた。

$$45.3\% < \frac{(2pq-q+1)\pi}{4p(\sqrt{3}q+2-\sqrt{3})} \leq 90.5\%$$

$$28.3\% < \frac{(2pq-q+1)\pi}{2(2p+1)(\sqrt{3}q+2)} \leq 90.5\%$$

B. ④かつ q が偶数であるとき、

円の個数は $x = p \cdot \frac{q}{2} + (p-1) \cdot \frac{q}{2}$ となるので、充填率の取りうる範囲は

$$\frac{\left\{p \cdot \frac{q}{2} + (p-1) \cdot \frac{q}{2}\right\}\pi r^2}{(2pr+r)(\sqrt{3}qr+2r)} < \frac{\pi r^2 x}{ab} \leq \frac{\left\{p \cdot \frac{q}{2} + (p-1) \cdot \frac{q}{2}\right\}\pi r^2}{2pr\{\sqrt{3}qr+(2-\sqrt{3})r\}}$$

$$\frac{(2pq-q)\pi}{2(2p+1)(\sqrt{3}q+2)} < \frac{\pi r^2 x}{ab} \leq \frac{(2pq-q)\pi}{4p(\sqrt{3}q+2-\sqrt{3})}$$

この式の最大値を取る式と下限を取る式の範囲は、

$$39.3\% < \frac{(2pq-q)\pi}{4p(\sqrt{3}q+2-\sqrt{3})} \leq 90.5\%$$

$$28.3\% < \frac{(2pq-q)\pi}{2(2p+1)(\sqrt{3}q+2)} \leq 90.5\%$$

C. ⑤であるとき、

円の個数は $x = pq$ となるので、充填率の取りうる範囲は

$$\frac{\pi r^2 pq}{(2pr+2r)(\sqrt{3}qr+2r)} < \frac{\pi r^2 x}{ab} \leq \frac{\pi r^2 pq}{(2pr+r)\{\sqrt{3}qr+(2-\sqrt{3})r\}}$$

$$\frac{\pi pq}{2(2p+1)(\sqrt{3}q+2)} < \frac{\pi r^2 x}{ab} \leq \frac{\pi pq}{(2p+1)(\sqrt{3}q+2-\sqrt{3})}$$

この式の最大値を取る式と下限を取る式の範囲は、

$$52.3\% < \frac{\pi pq}{(2p+1)(\sqrt{3}q+2-\sqrt{3})} \leq 90.5\%$$

$$21.0\% < \frac{\pi pq}{2(2p+1)(\sqrt{3}q+2)} \leq 90.5\%$$

7-2. 単純構造

六方構造と同じ条件で、図4のように円を詰めた時の充填率も求める。以下、この詰め方を単純構造という。

$$p = \left\lfloor \frac{a}{2r} \right\rfloor, \quad q = \left\lfloor \frac{b}{2r} \right\rfloor \quad \text{より } a, b \text{ の範囲は}$$

$$2pr \leq a < 2(p+1)r, \quad 2qr \leq b < 2(q+1)r \quad \text{となるので,}$$

最大 x 個の円を詰められる面積の取りうる範囲は,

$$2pr \times 2qr \leq ab < 2(p+1)r \times 2(q+1)r$$

$$4pqr^2 \leq ab < 4(p+1)(q+1)r^2$$

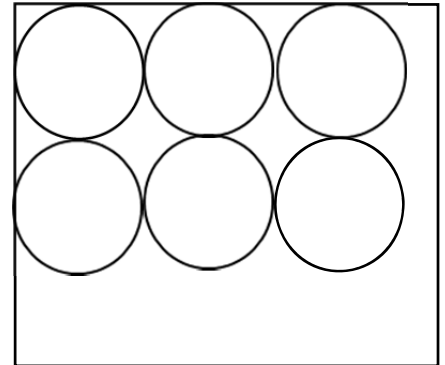


図4 体心構造

また、このとき詰められる円の個数 $x = pq$ より、充填率の取りうる範囲は

$$\frac{\pi r^2 pq}{4(p+1)(q+1)r^2} < \frac{\pi r^2 x}{ab} \leq \frac{\pi r^2 pq}{4pqr^2}$$

$$\frac{\pi pq}{4(p+1)(q+1)} < \frac{\pi r^2 x}{ab} \leq \frac{\pi}{4}$$

この式の最大値を取る式と下限を取る式の範囲は,

$$\frac{\pi}{4} = 78.5\%$$

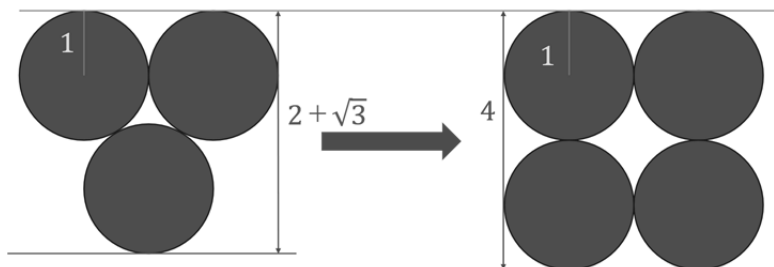
$$19.6\% < \frac{\pi pq}{4(p+1)(q+1)} \leq 78.5\%$$

正確な上限値を出すには至らなかったが、誤差を少なくして、さらに円を多く詰める方法として、次のようなものを考案した。

長方形の b の方向に許される誤差は、円の半径を1として $\sqrt{(2^2-1^2)} = \sqrt{3}$ 。その誤差を詰めるように下図の配置を取る。左下図が六方構造のまま、右下図が最下部を単純構造に変えた場合である。

$\sqrt{3} = 1.73$ として、誤差を0.27詰めつつ、入れる円の個数を1個多くできる。

詰めた時にできた隙間の活用



$$\sqrt{3} = 1.732 \dots \approx 1.73 \text{ とする。}$$

$$\text{差は } 4 - (2 + \sqrt{3}) = 0.27$$

図5 円をさらに詰める工夫

8. 今後の展望

六方構造と単純構造の2通りの詰め方で、平面である長方形に大きさの等しい円を敷き詰めた時の充填率の一般化された式を作ることができた。最大値に着目すると、六方構造のほうが単純構造よりも充填率が高い。しかし、2つの式を比較して明確な関係性を出すまでには至らなかった。今後、この2つの式をグラフに表すなどして比較した結論を出していきたい。また、元々、3次元での充填率を式に出すのが目的だったが、本研究では2次元での一般化に留まった。今後は、2次元の充填率の式をもとに3次元で最初の実験のような場合での充填率を一般化させた式を求めていきたい。

9. 謝辞

本研究にあたり、弘前大学大学院理工学研究科教授 別宮耕一先生には多くの助言を賜りました。ここに感謝の意を表します。

10. 引用・参考文献

- 1) ジョージ・G・スピーロ 著 青木薫 訳『ケプラー予想 四百年の難問が解けるまで』新潮文庫(2014) p 22
- 2) 独立行政法人国立高等専門学校機構沼津工業高等専門学校 National Institute of Technology, (kosen)Numazu College, 『1.3 六方最密充填』
https://user.numazu-ct.ac.jp/~m.kobayashi/semi/1_3/index.html
- 3) 独立行政法人国立高等専門学校機構沼津工業高等専門学校 National Institute of Technology, (kosen)Numazu College, 『1.4 立方最密充填』
https://user.numazu-ct.ac.jp/~m.kobayashi/semi/1_4/index.html
『Newton 別冊 感動する数学 図形の神秘編』 p 110 ケプラー予想 円や球を最も密に並べる方法とは？

自作の簡易地震計を用いた免震構造の 効果と適性の分析



青森県五所川原高等学校 理数科 2 学年 物理班

其田廉介 高森勇利 永田彩仁 奈良健汰 藤田大剛 川浪佑月

指導教員 鳴海 諒洸

1. 研究動機

地震の多い日本では、近年、地震対策として従来の耐震構造に加え免震構造が注目されるようになってきている。しかし、免震構造はコストが高かったり横揺れ以外の地震には効果が発揮されにくかったりと改善点も多くある。そこで、建築物の大きさや地震の大きさによる効果の違いや免震構造に対する適性を調べたいと考えた。

※免震構造と耐震構造について

・免震構造では建物と地盤の間に免震層として免震装置を設置し、地震エネルギーを免震層で集中的に吸収することで免震層より上部の建物への地震エネルギーの伝達を遮断し、地震の揺れを大幅に低減する。

・耐震構造では建物の主架構である柱や梁を強くし、地震力に対して損傷することで建物の崩壊を防ぐ。

したがって免震構造は建物内部の家具や設備の転倒を防ぎ建物内の安全性を高めることや建築物の機能継続の確保に有効である。実際令和6年能登半島地震で震度6強という大きな地震動を受け木造建物に大きな被害を生じた七尾市内で免震構造を採用した病院において地震後も機能継続が図られた事例が報告されている。

2. 方法

2-1 建築物

建築物として段ボールと竹串を用いた模型を作成した。この時東京都千代田区ミナト九段下ビル(13.1m×11.9m×41.3m)の比率を参考に0.130m×0.130m×0.400mの直方体の模型と、3階建ての一軒家(都心の絶対高さ制限10.0mに基づく)に見立てた0.100m×0.100m×0.100mの立方体の模型を作成した。また直方体、立方体それぞれ段ボールのみのものと、梁のように竹串を入れたものを作成した。

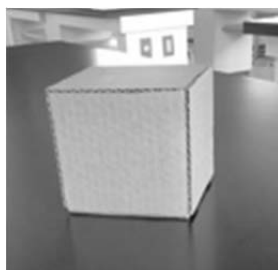
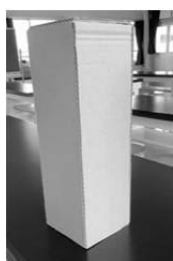


図1 直方体(左)と立方体の模型(右)

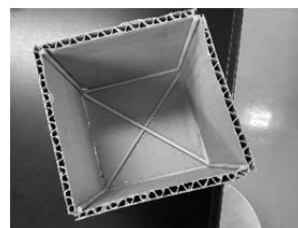


図2 竹串をいれたものの内部

2-2 免震部分

半径2.5cmの円形に切り取った板目表紙を2枚に重ねたものとゴムを交互に重ねてアイソレータを再現したものを作成した。

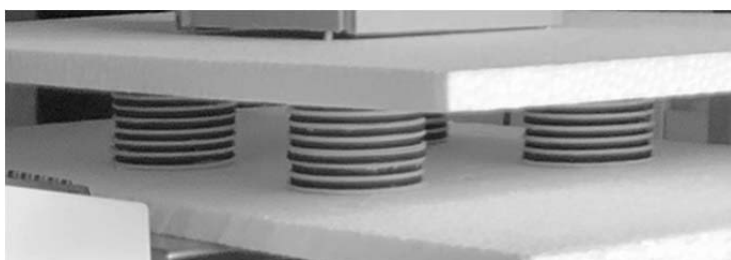


図3 アイソレータ

2-3 地震の再現方法

横揺れの地震を再現するものとして科学研究や実験室で溶液の混合や細胞成分の分析で使用されるスプリング式振とう台 Thermo bathe shaker SN-60SD を使用した。この機械は滑らかな往復運動を行い試料を揺らすため、横揺れに近い動きを規則的に行う。

2-4 計測方法

地震の震度を調べるために Raspberry Pi という手のひらサイズのコンピューターにプログラムを組み込み、センサーやコンデンサ等を組み立てて地震計を作成した。

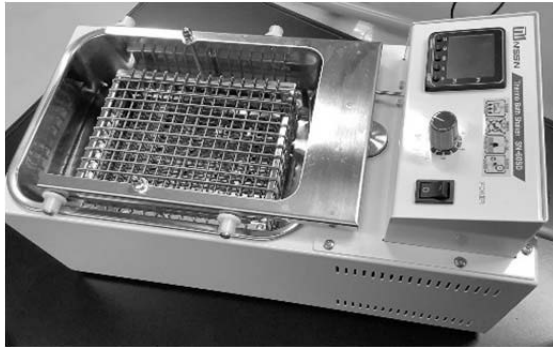


図 4 Thermo bathe shaker SN-60SD

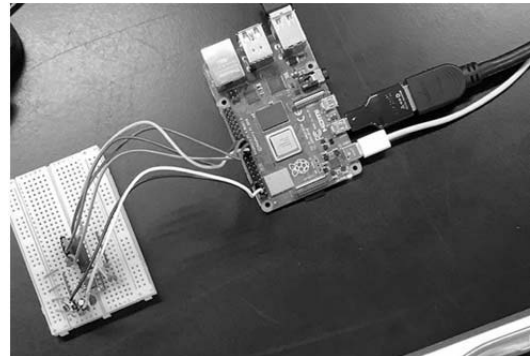


図 5 作成した地震計

```
import time
import datetime
import math
import socket

import spidev
import os
import sys

# FPS 制御 -----
# ターゲット FPS
target_fps = 200

start_time = time.time()
frame = 0

# SPI センサ制御 -----
spi = spidev.SpiDev()
spi.open(0,0)
spi.max_speed_hz = 1000*1000

def ReadChannel(channel):
    adc = spi.xfer2([(0x07 if (channel & 0x04) else 0x06), (channel & 0x03) << 6, 0])
    data = ((adc[1] & 0x0f) << 8) | adc[2]
    return data

# 加速度データ制御 -----
# A/D コンバータ値 -> ガル値 係数
ad2gal = 1.13426
# 0.3 秒間数
a_frame = int(target_fps * 0.3)

# 地震データ -----
adc_values = [[1] * target_fps, [1] * target_fps, [1] * target_fps]
rc_values = [0, 0, 0]

a_values = [0] * target_fps * 5
adc_ring_index = 0
a_ring_index = 0
# リアルタイム震度計算 -----
while True:
    # リングバッファ位置計算
    adc_ring_index = (adc_ring_index + 1) % target_fps
    a_ring_index = (a_ring_index + 1) % (target_fps * 5)

    # 3 軸サンプリング
    for i in range(3):
        val = ReadChannel(i)
        adc_values[i][adc_ring_index] = val

    # フィルタ適用及び加速度変換
    axis_gals = [0, 0, 0]
    for i in range(3):
        offset = sum(adc_values[i])/len(adc_values[i])
        rc_values[i] = rc_values[i]*0.94+adc_values[i][adc_ring_index]*0.06
        axis_gals[i] = (rc_values[i] - offset) * ad2gal

    # 3 軸合成加速度算出
    composite_gal = math.sqrt(axis_gals[0]**2 + axis_gals[1]**2 + axis_gals[2]**2)

    # 加速度リングバッファに格納
    a_values[a_ring_index] = composite_gal

    # 0.3 秒以上継続した合成加速度から震度を算出
    seismic_scale = 0
    min_a = sorted(a_values)[-a_frame]
    if min_a > 0:
        seismic_scale = 2 * math.log10(min_a) + 0.94

    # 0.1 秒おきに出力
    if frame % (target_fps / 10) == 0:
        print(datetime.datetime.now(), "scale:", seismic_scale, " frame:", frame)

    # 次フレームの開始時間を計算
    frame += 1
    next_frame_time = frame / target_fps

    # 残時間を計算し、スリープ
    current_time = time.time()
    remain_time = next_frame_time - (current_time - start_time)

    if remain_time > 0:
        time.sleep(remain_time)

    # フレーム数は 32bit long 値の上限あたりでリセットしておく
    if frame >= 2147483647:
        start_time = current_time
        frame = 1
```

図 6 Raspberry Pi に打ち込んだプログラム

2-5 計算方法

作成した地震計によって得られた数値のうち、図7の赤線で囲まれている部分の連続する30個分のデータの平均をとった。この時小数第4位を四捨五入して計算した。

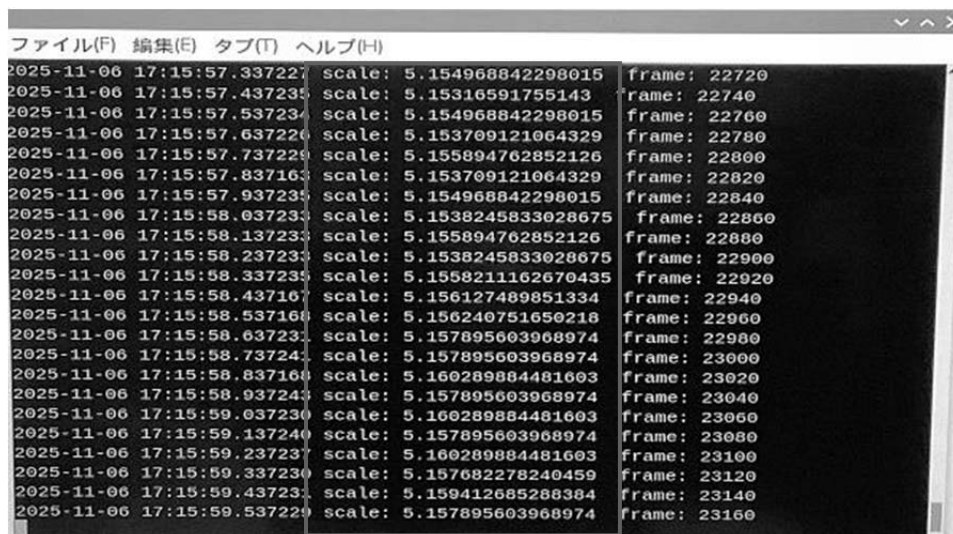


図7 地震の震度

3. 実験結果

	免震構造なし			免震構造あり			回数
	2	4	6	2	4	6	
目盛り	2	4	6	2	4	6	
立方体 竹串あり	3.992	4.762	5.158	3.694	4.784	5.165	1回目
立方体 竹串なし	3.843	4.635	5.206	3.535	4.816	5.123	1回目
直方体 竹串あり	3.798	4.810	5.235	3.691	4.771	5.164	2回目
直方体 竹串なし	3.860	4.995	5.506	3.781	4.926	5.710	1回目
直方体 竹串あり	3.942	4.962	5.543	3.845	5.092	5.481	2回目
直方体 竹串なし	3.721	5.059	5.637	3.701	4.932	5.542	1回目
直方体 竹串あり	3.899	5.013	5.753	3.542	4.863	5.588	2回目

図8 それぞれ2回計測した結果

	免震構造なし			免震構造あり		
	2	4	6	2	4	6
立方体 竹串あり	3.913	4.781	5.212	3.724	4.784	5.159
立方体 竹串なし	3.821	4.723	5.221	3.613	4.794	5.144
直方体 竹串あり	3.901	4.994	5.525	3.813	5.009	5.596
直方体 竹串なし	3.810	5.036	5.695	3.622	4.898	5.565

図9 2回の平均

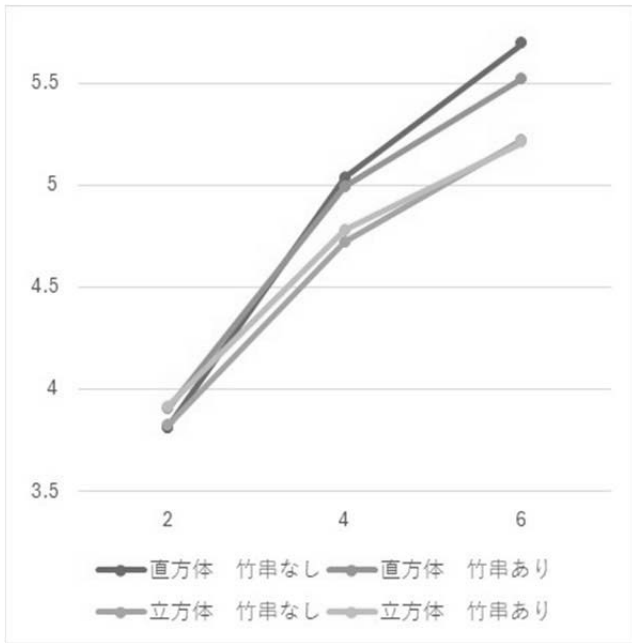


図 10 免震構造無の比較

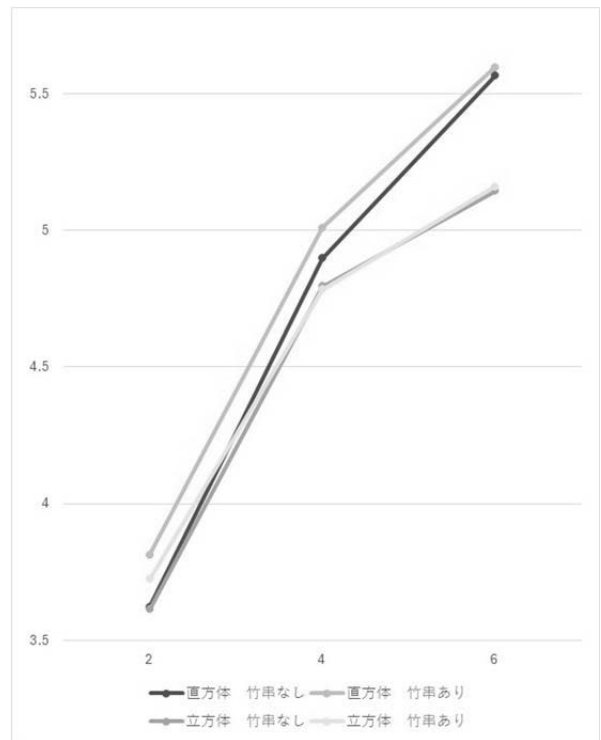


図 11 免震構造有の比較

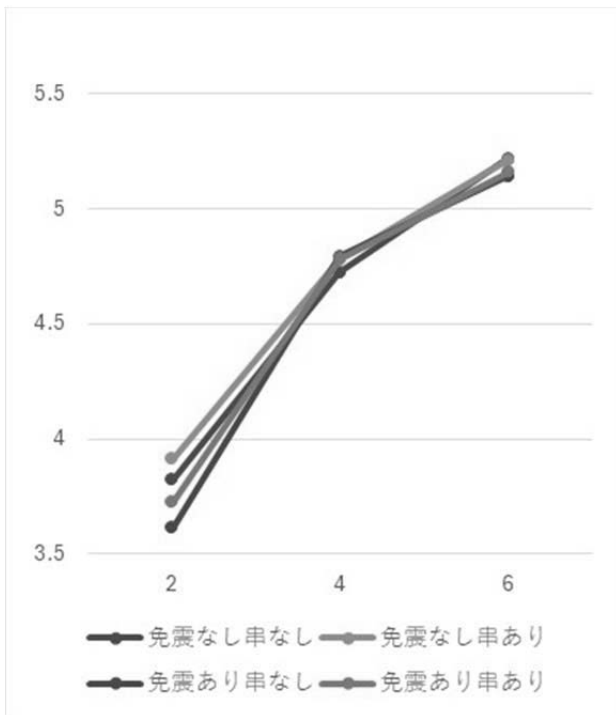


図 12 立方体の比較

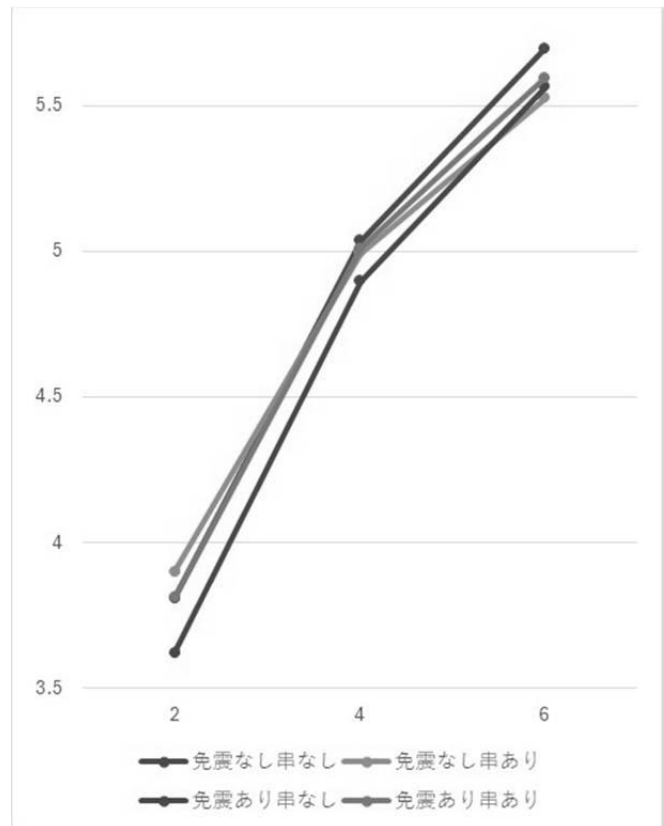


図 13 直方体の比較

4. 結果・考察

目盛り4の時に免振の効果が見られないものが多かった。また、全体的に優位なが見られなかった。これは模型が軽かったことや、免震構造のゴムが固すぎたことが原因だと考えられる。また、直方体の方が立方体の時と比べて揺れが大きかった。これは高所の方が揺れやすいためだと考えられる。

5. 今後の展望

免震部分の素材や模型の素材、大きさ、形を変えて実験を行う。免震の時竹串がある方が揺れていたが原因が不明なため今後の実験で検証する。リアルタイムで計測データをグラフにできるように改良する。免震部分に超電導を用いて実験を行う。

6. 謝辞

今回の理数探求で助言いただきました、弘前大学工学部御領 潤 教授にお礼申し上げます。

7. 参考文献

[耐震・免震・制震の違いは？それぞれの特徴やメリットについて | Libook | 近鉄不動産株式会社](#)
[免制震デバイス - 日鉄エンジニアリングの鋼構造技術](#)
[ラズパイ震度計 | P2P 地震情報](#)

青森県の特産品に含まれるアントシアニンを 用いて紫外線を遮断するには



青森県立五所川原高等学校 理数科 化学1班

市川心陽 坂本藍香 福地夏帆 奈良岡桜 長谷川瑞葵

担当教諭 三上知夏

1. 目的・研究動機, 語句の説明

市販の日焼け止めに含まれる紫外線吸収剤, 紫外線散乱剤は肌や環境に悪影響であることを知った。青森県の特産品であるリンゴやカシスにはアントシアニンというポリフェノール(※1)が多く含まれていることを知り, その紫外線吸収作用で, 市販の日焼け止めより肌や環境に優しい日焼け止めを作り, 紫外線から人の肌を守ることはできないか, アントシアニン(※2)で紫外線を遮断することはできないかと考え, 今回の研究テーマを定めた。

※1 植物が紫外線や外敵から身を守るために生成する苦みや色素の成分の総称。

※2 ブルーベリー, リンゴ, カシスなどの花や果実に含まれるポリフェノールの一種で, 紫外線吸収作用や抗酸化作用を持つ。植物が紫外線などの有害な光から身(実)を守るために蓄えられる天然色素。酸性では赤色を示し, 最も安定している。塩基性では青紫色を示す。

2. 仮説

リンゴやカシスをすりおろしたのからエバポレーターを用いてポリフェノールを抽出し, アントシアニンの有無を確認してから, それを紫外線散乱材などが含まれていない日焼け止めに混ぜることで紫外線吸収作用のほかに抗酸化作用を持った日焼け止めの作成ができるのではないかと考えた。また, リンゴとカシスでは実の色の濃さからカシスの方がポリフェノールをより効率的に抽出できるのではないかと考えた。

3. 事前準備

1. リンゴ(青森県産サンふじ)からの抽出(皮のみ)

1-1 ポリフェノールを抽出するために, すりおろしたリンゴの皮を 70%エタノール水溶液中(70%が最も細胞を破壊しやすい濃度)に浸し, 冷蔵庫で 24 時間冷蔵庫静置する。

1-2 24 時間の静置の後, ガーゼで濾してろ過し, ろ液を取り出す。

1-3 取り出した溶液を 30℃(※3)のエバポレーターで濃縮する。

1-4 濃縮した溶液を酸性で保管するためにクエン酸溶液 ($6.7 \times 10^{-4} \text{mol/L}$) (※4)を加える。
これをリンゴ抽出液とする。

2. カシス(青森県産あおもりカシス)からの抽出(皮つきの実ごと)

2-1 ポリフェノールを抽出するために, ミキサーで粉碎した冷凍カシスを 70%エタノール水溶液中に浸し, 冷蔵庫で 24 時間静置する。

2-2 24 時間の静置の後, ガーゼで濾してろ過し, ろ液を取り出す。

2-3 取り出した溶液を 30℃(※3)のエバポレーターで濃縮する。

2-4 濃縮した溶液を酸性で保管するためにクエン酸溶液 ($6.7 \times 10^{-4} \text{mol/L}$) (※4)を加える。
これをカシス抽出液とする。

※3 ポリフェノールは, 30℃より高温の状態では, アントシアニン色素が発現しにくくなることから, 湯浴の温度を 30℃に保つことで, 抽出効率に及ぼす影響を最小限にした。

※4 ポリフェノールは, 酸性溶液中で安定な状態となることから, pH5.0 の水溶液で保存するのが有効であると考えたため。

4. 実験

1. TLC 法によるアントシアニンの確認

TLC 法とは薄層クロマトグラフィー (Thin Layered Chromatography) のことで, ガラス, アルミニウム等の板上にシリカゲル, アルミナやセルロース等の吸着剤を薄膜状に固定した薄層プレートを用いる分離技術である。今回は, 先行研究をもとに抽出したポリフェノールにアントシアニンが含まれているかどうか, Rf 値を求めて確かめる。

- 1-1 展開液(n-ブタノール：酢酸：水=4：1：5)を作成する。
- 1-2 200mm × 200mm TLC プレート下部に 15 mmの余白を取るため、鉛筆で薄く線を引く。
- 1-3 TLC プレートを展開液で展開し、不純物を展開面から除き、乾燥させる。
- 1-4 乾燥後、線上にキャピラリーチューブで抽出液を 10 回スポットする。
- 1-5 スポットした抽出液を展開する。
- 1-6 展開が終わった TLC プレートを乾燥させて、Rf 値を求める。

2. 溶液中の吸光度によるアントシアニンの濃度測定 (弘前大学 岩井教授提供)

2-1 緩衝液・抽出液の調整

- 2-1-1 0.025mol/L の塩化カリウム水溶液に濃塩酸を滴下し、pH1.2(※5)に調整する＝緩衝液 1
- 2-1-2 0.40mol/L の酢酸ナトリウム水溶液に塩酸を滴下し、pH4.4(※6)に調整する＝緩衝液 2

2-2 総アントシアニン濃度測定(pH differential 法)

- 2-2-1 原液, 1.5 倍希釈, 3 倍希釈の抽出液を 2 本の試験管に 1mL ずつ採取する。
- 2-2-2 抽出液の 1 本に 0.5mL の緩衝液 1 を添加し、混合する。
- 2-2-3 もう 1 本に 0.5mL の緩衝液 2 を添加し、混合する。
- 2-2-4 2-2-2, 2-2-3 の吸光度を分光光度計で測定する。
蒸留水でゼロ合わせをしてから 520nm と 700nm の 2 つの波長で吸光度を測定する。
- 2-2-5 次の式で総アントシアニン濃度 C を算出する(シアニジン-3-グルコシド当量で算出)
緩衝液 1 の 520nm(※7)吸光度=①, 緩衝液 1 の 700nm(※8)吸光度=②,
緩衝液 2 の 520nm(※7)吸光度=③, 緩衝液 2 の 700nm(※8)吸光度=④とする。

$$C (\text{mg/mL}) = [(\text{①} - \text{②}) - (\text{③} - \text{④})] \times 449.2 (\text{g/mol}) \times \text{抽出液の希釈倍率} \div 26900 (\text{L/mol/cm})$$

449.2 : シアニジン-3-グルコシドの分子量(g/mol)

26900 : シアニジン-3-グルコシドのモル吸光係数(L/mol/cm)

- 2-2-6 各 3 回測定し、総アントシアニン濃度の平均値および標準偏差を算出する。

緩衝液 1 の吸光度が 0.3~0.9 の範囲になるように抽出液の希釈倍率を調整する。

※5 アントシアニン色素が pH1.2 という強酸条件下で最も安定で最も濃い有色の化学構造(フラビリウムカチオン型)を取るため。

※6 アントシアニン色素が pH4.0 という弱酸条件下で発色が最も抑制されるため。

pH1.2 の緩衝液の吸光度と pH4.0 の緩衝液の吸光度の差から正確な濃度を測定することができるため。

※7 520nm はアントシアニンが最も吸収する光の波長であるため。

※8 720nm はアントシアニンが最も吸収しない光の波長であるため。

3. 吸光度測定

- 3-1 カシス溶液とリンゴ溶液の濃度をそれぞれ 10 倍, 5 倍, 2 倍に設定したものを用意する。
- 3-2 果糖 6.5% 標準液を用いて吸光度の測定を行う。このとき、分光光度計の波長を UV-A の波長である 320 nm に設定する。
- 3-3 希釈倍率ごとに 5 回ずつデータを取り、その平均を求める。



図1 リンゴ抽出液を作成する



図2 実験に使用した分光光度計

5. 結果

実験 3 の TLC 法を行い Rf 値を求めて、以下の結果が得られた。

Rf 値	試料 1	試料 2	試料 3	試料 4	試料 5	平均値
成分 1	0.442	0.405	0.394	0.394	0.400	0.407
成分 2	0.326	0.300	0.310	0.300	0.310	0.309
成分 3	0.263	0.236	0.247	0.231	0.236	0.243

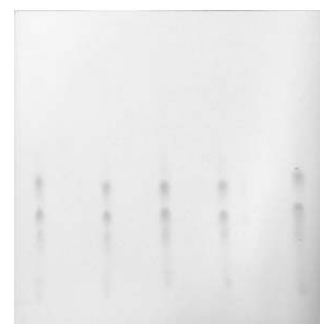


表 1 カシス抽出液の Rf 値

・実験 4 で抽出液の吸光度の測定を行い、以下の結果が得られた。

回数	1	2	3
pH1.2-波長 520nm	0.6025	0.6645	0.5560
pH1.2-波長 700nm	0.0005	0.0005	-0.0005
pH4.4-波長 520nm	-0.0015	-0.0015	0.0010
pH4.4-波長 700nm	-0.0005	0.0005	0.0005

表 2 カシス抽出液の吸光度

回数	1	2	3	4
pH1.2-波長 520nm	-0.0015	0.0015	0.0015	0.0010
pH1.2-波長 700nm	0.0005	0.0010	0.0010	0.0005
pH4.4-波長 520nm	0.0005	-0.0005	-0.0005	-0.0075
pH4.4-波長 700nm	-0.0005	0.0010	0.0005	-0.0005

表 3 リンゴ抽出液の吸光度

	1	2	3	4	5
10 倍	0.0035	0.0005	0.0025	0.0030	0.0025
5 倍	0.0075	0.0025	0.0065	0.0085	0.0025
2 倍	0.0120	0.0135	0.0135	0.0045	0.0130

表 4 リンゴ溶液の吸光度 (320 nm)

	1	2	3	4	5
10 倍	0.0300	0.0100	0.0050	0.0095	0.0195
5 倍	0.0280	0.0075	0.0180	0.0065	0.0235
2 倍	0.0080	0.0270	0.0185	0.0500	0.0060

表 5 カシス溶液の吸光度 (320 nm)

6. 考察と展望

6-1 実験 1

Rf 値	推測される色素
0.243	デルフィニジン - 3 - グルコシド (0.26)
0.309	デルフィニジン - 3 - ルチノシド (0.30)
0.407	シアニジン - 3 - グルコシド (0.38) シアニジン - 3 - ルチノシド (0.37)

・各資料の平均値を、同じ条件で行われた参考文献の Rf 値と比較してところ、溶媒前線から 2 つ目の成分の Rf 値とデルフィニジン - 3 - ルチノシドの Rf 値との誤差が 0.10 以内であったため抽出液中にデルフィニジン - 3 - ルチノシドが含まれていると考えられる。

・溶媒前線から 3 つ目の成分の Rf 値とデルフィニジン - 3 - グルコシドの Rf 値との誤差が 0.20 以内であったため、デルフィニジン - 3 - グルコシドも含まれていると考えられる。

・最も溶媒前線に近い成分の Rf 値がシアニジン配糖体の Rf 値に近いため、シアニジン配糖体も含まれていると考えられる。

→保存時に抽出液中に発生した浮遊物はアントシアニンではなく糖である可能性が高い。

・Rf 値の理論値と測定値にずれが生じているので、溶媒前線の読み取りの正確さに問題があったか、試料に用いたカシス溶液に保存性のためにクエン酸を加えていたことが影響した可能性が考えられる。

・今回の TLC での分析では、展開液以外では紫外線照射により見えない物質や溶媒前線などを確認しながら行ったが、今後は発色試薬を用いた分析や展開溶液を変更して、溶媒前線をよりはっきりさせたり、より目的の物質のみが単離できるようにしたりして、精度の高い Rf 値を求めたい。

・TLC で得られる各成分の吸光度を測定することで、より無駄のないカシス抽出液の作成を行う。

6-2 実験 2

・吸光度の測定結果より、リンゴ抽出液よりもカシス抽出液のほうが吸光度が高いため、カシスの方が紫外線を遮断しやすいと考えられる。

・カシス抽出液の中でも、pH1.2 に調整したカシス抽出液の 520nm の光の波長の吸光度が他の pH、波長に比べ、著しく高いのは、※5 にもあるように、アントシアニン色素は pH1.2 という強酸条件下で最も安定で最も濃い色素であるためだと考えられる。

回数	1	2	3
アントシアニン濃度 C(mg/mL)	0.602017	0.664033	0.566492

表 4 カシス抽出液のアントシアニン濃度

回数	1	2	3	4
アントシアニン濃度 C(mg/mL)	-0.002017	0.000525	0.000517	0.0006169

表 5 リンゴ抽出液のアントシアニン濃度

・吸光度の測定結果と、実験 4-2 の pH differential 法を用いた結果、表 4, 5 のアントシアニン濃度が求められた。カシス抽出液のアントシアニン濃度の平均は 0.61085 (mg/mL)、リンゴ抽出液のアントシアニン濃度の 2~4 回目の平均は 5.53×10^{-4} (mg/mL) であった。なお、リンゴ抽出液のアントシアニン濃度の平均を求める際に 1 回目の結果を含めなかったのは濃度で負の値をとったからである。

・アントシアニン濃度が負の値として得られたのは吸光度でマイナスの値をとってしまったからであり、その理由としては、蒸留水でのゼロ合わせがうまくできていなかった、もしくは、使用したセルに汚れや傷があった、そのほか、分光光度計による直射日光が当たっていた可能性などが考えられる。

・カシスから一定量のアントシアニンを得るための定量実験を行う。

6-3 実験 3

・吸光度をわずかだが確認できたため、アントシアニンには紫外線吸収の効果があると考えられる。

・溶液作成から時間が経ってしまったため、アントシアニンの効果が弱まった可能性がある。

・標準液と抽出液の糖の濃度が異なっていた。

・市販の日焼け止めの吸光度と比較する。

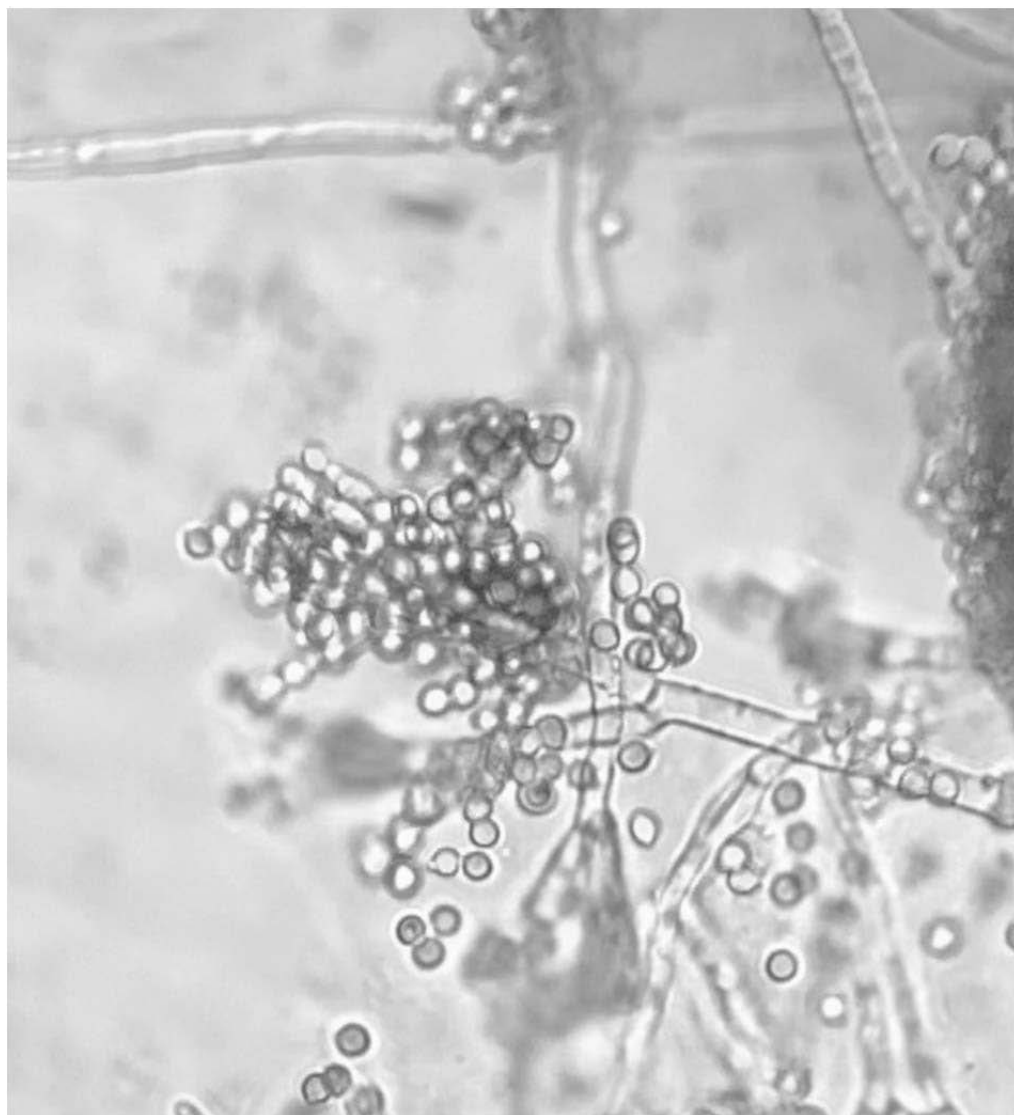
7. 謝辞

今回の理数探究で助言いただきました弘前大学農学生命科学部岩井教授に御礼申し上げます。

8. 参考文献

1. 大阪教育大学「日焼け防止に最も効果的なアントシアニンを含む植物とは？」
全4ページ 2024年3月
https://f.osaka-kyoiku.ac.jp/tennoji-h/wp-content/uploads/sites/5/2024/03/proof2seitohoukokusyo_2022-70-73.pdf
2. 鹿光生物科学研究所「天然色素ーアントシアニン」 2021年11月9日
https://www.rokkou-co.jp/wp/home/food_color_main/天然植物色素ーアントシアニン/
3. 農林水産省 HP 全85ページ P40, 41, 112
https://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/hozen_type/h_sehi_kizyun/pdf/miyagi_kaju5_06.pdf
4. 平成26年度岩手農業研究センター試験研究成果書
https://www.pref.iwate.jp/agri/_res/projects/project_agri/_page_/002/004/220/h26shidou_21.pdf
5. 食品微生物学 エタノール殺菌とその殺菌メカニズム
<https://foodmicrob.com/ethanol-basic/>
6. 独立行政法人 青森県産業技術センター(加熱処理がカシスアントシアニンに与える影響)
全2ページ 2009年 3月
https://jspp.org/hiroba/q_and_a/detail.html?id=1942
7. 沖智之, 澤井祐典, 古川(佐藤)麻紀, 須藤郁夫: 紫黒米・黒大豆中の総アントシアニンの pH differential 法による定量とその試験所間比較による妥当性確認. 分析化学, 60(10), 819-824, 2011.
https://www.jstage.jst.go.jp/article/bunsekikagaku/60/10/60_10_819/_pdf/-char/ja
8. 国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構 花き研究所 中山真義
「化合物の分離と混合を同時に行う交差 TLC 法の開発」 2015年 全6ページ
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsrpp/50/2/50_KJ00010115797/_pdf/-char/ja
9. 飯田女子短期大学 平井俊次, 千裕美, 近藤民恵, 川俣幸一
「加熱処理が果実のポリフェノール化合物に与える影響」
<https://cir.nii.ac.jp/crid/1050282813868221696>
10. 京都府立大学学術機関リポジトリ 牧 善輔, 稲本 英子
桑の実のアントシアニン色素 1972年10月 全4ページ
<https://kpu.repo.nii.ac.jp/record/files>
11. 「紫サツマイモのアントシアニン分析法」国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 九州沖縄農業研究センター 沖智之 全11ページ
<https://www.fmric.or.jp/ffd/ffmanual40104.pdf>

カビから取り出す抗生物質



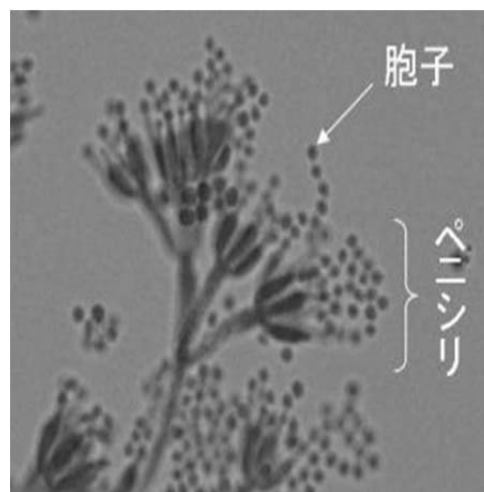
青森県立五所川原高等学校 理数科 2 学年 化学 2 班
研究者名：大谷穂高 金澤瑠 越一樹 齋藤優 高橋和成
指導教員：齋藤郁子

1. 研究動機

ペニシリンという抗生物質はアオカビから精製することができる。そこで我々は市販の食品から発生するアオカビからペニシリンを単離することはできるのか。併せて、アオカビ以外のカビでもペニシリンのような抗菌作用は見られるものはあるのか検証する。

2. ペニシリンとは

右記のようなアオカビが産出するペニシリンは治療薬として最初に使われた抗生物質。1928年、イギリスの細菌学者フレミングが、ブドウ球菌の培養中に偶然発見した。細胞壁の合成を阻止し、死滅させる。特に肺炎や淋病に効果がある。(出典：ニッポニカ、一部改変)



(図1) (*1)

3. 仮説

ペニシリンはアオカビ (*Penicillium notatum*) によって産出される抗生物質であり、これは自然界に多く存在している。現代の滅菌技術や培地制御を用いれば、高校の実験室においても、食材に自然発生したアオカビからペニシリンのような抗生物質を抽出できる。併せて、アオカビ以外のカビにも抗菌効果を持つ個体がある。

4. 実験・研究方法

- ① 食パン、白米、トマト、ミカン、レモン、カンボゾーラチーズ（表面にシロカビ、内側にアオカビが植え付けられたチーズ）を用意し、蒸留水を与えて放置してカビを発生させる。



▲ 食パン (図2)



▲ 白米 (図3)

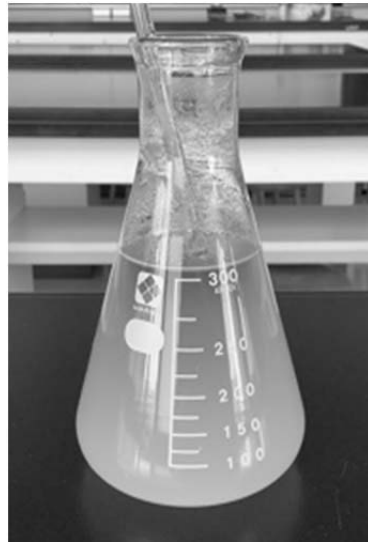


▲ レモン (左) ミカン (右)
(図4)

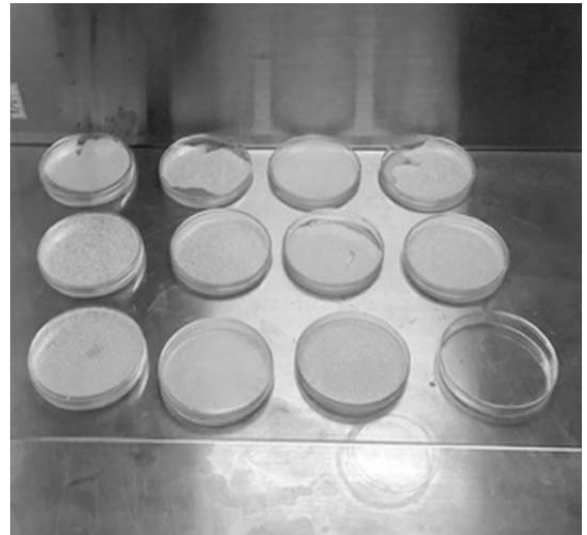
- ② 寒天を蒸留水 300mLあたり 7.05g の割合で溶かし、オートクレーブで 121°C で 15 分間高圧蒸気滅菌 (*2) し、触れることができるほど冷めたらクリーンベンチの中で滅菌シャーレに分注し、冷蔵庫で冷却することで凝固させる。



▲使用した
寒天培地
(図5)



▲蒸留水に溶かした
寒天培地
(図6)



▲滅菌シャーレに分注した
寒天培地
(図7)

③ ①で得たカビの中から目視で青色を呈するカビを取り出し、顕微鏡で観察しアオカビの形状に似ているものを②で作成した寒天培地に植え付け保存する。

(アオカビの純度を高めるため、②・③を繰り返す)

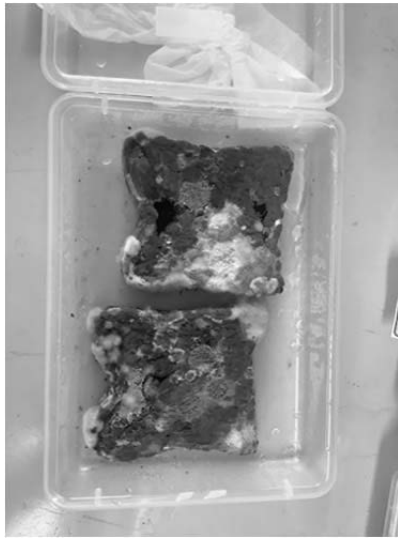
④ 雑菌である手の常在菌の上にアオカビを植え付け、ディスク拡散法(※)により抗菌効果を検証する。ここで、併せて食材に生えたクロカビ、シロカビを用いてアオカビの場合と同じように追加検証を行った。

※ディスク拡散法とは

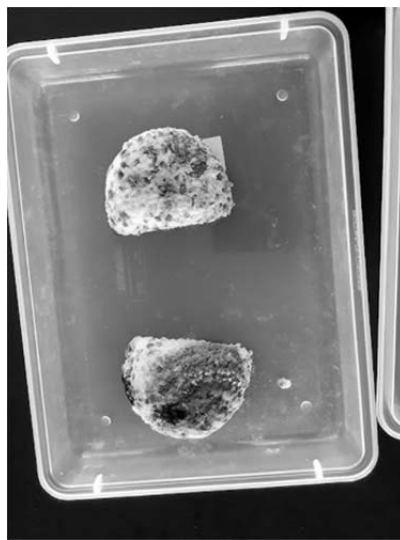
毛細管現象により、寒天中の水分がディスクの濾紙に吸収され、ディスク中の薬剤が溶解する。溶解した薬剤は直下の培地に移行し、培地上の細菌に作用しながら拡散していく。拡散した薬剤濃度と細菌の増殖能との関係により阻止円が形成される。すなわち阻止円が小さければ、その薬剤に対する感受性が低いということになる。(※3)

5. 結果

カビを発生させる段階で、トマトでは腐敗によりアオカビが生育しなかった。しかし、食パン、白米、ミカン、レモンには下図のようにカビが発生した。



▲食パンに生えたカビ
(図8)



▲白米に生えたカビ
(図9)



▲ミカン、レモンに生えたカビ
(図10)

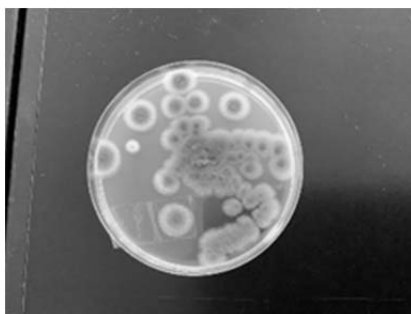
次に顕微鏡で取り出したカビを観察したところ、レモン以外の食パン、白米、トマト、ミカンにアオカビがみられた。レモンではアオカビは観察できなかった。

白米に生えたアオカビは寒天培地で繁殖に成功したが、他の食材はクロカビやシロカビに覆われてアオカビを確認できなかった。

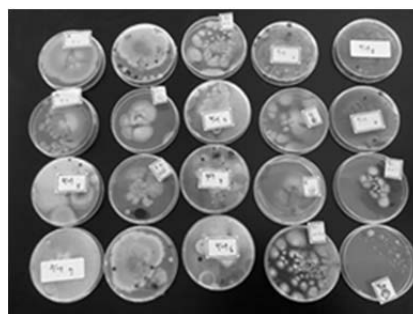
表1

食材	食パン	白米	トマト	ミカン	レモン	チーズ
顕微鏡でのアオカビの確認	○	○	-	○	×	○
寒天培地での繁殖	×	○	-	○	×	○

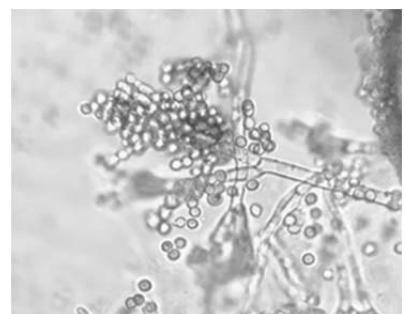
○…できた ×…できなかった -…未実施



▲寒天培地での繁殖が成功したもの (図11)



▲寒天培地での繁殖が失敗したもの (図12)



▲顕微鏡で実際に確認できたもの (図13)

その後、ディスク拡散法を用いて抗菌効果を検証した。結果は以下の通りになった。

表2

カビの種類	アオカビ	シロカビ	クロカビ
阻止円の有無	×	×	×

6. 考察

- ・固体培地に生えたアオカビをそのまま水に溶かしたためディスクにカビが生えてしまったことから、ディスク拡散法を正しく検証できなかった。
- ・ディスク拡散法に使用する常在菌の生え方や量が安定していなかったため、実験対象として、不十分だった可能性がある。
- ・ミカンとレモン、パンは様々なカビが混在している中から取り出したため、ほかのカビが混入してしまった。

7. 今後の展望

- ・アオカビを繁殖させる際に液体培地を用いることで液体中にペニシリンを放出させ、そのペニシリンを用いてディスク拡散法を検証する。
- ・常在菌を十分培養してから、実験を行う。
- ・観察の間隔を短くして、アオカビが生えたところですぐ取り出す。
- ・アオカビのみの培地に近づけ、より純粋なアオカビで抗菌効果を検証していく。そしてアオカビから抗生物質であるペニシリンの抽出及び定量をしていく。
- ・現在はアオカビのみ、抗菌効果を示すペニシリンが確認されているが、クロカビやシロカビなどそれ以外のカビにおいても同様の性質を持つ物質を発見するため、検証を進めていく。
- ・市販のペニシリンを用いてディスク拡散法を行い、実際に阻止円が形成されるかなどを検証し、実験方法を確認する。

8. 謝辞

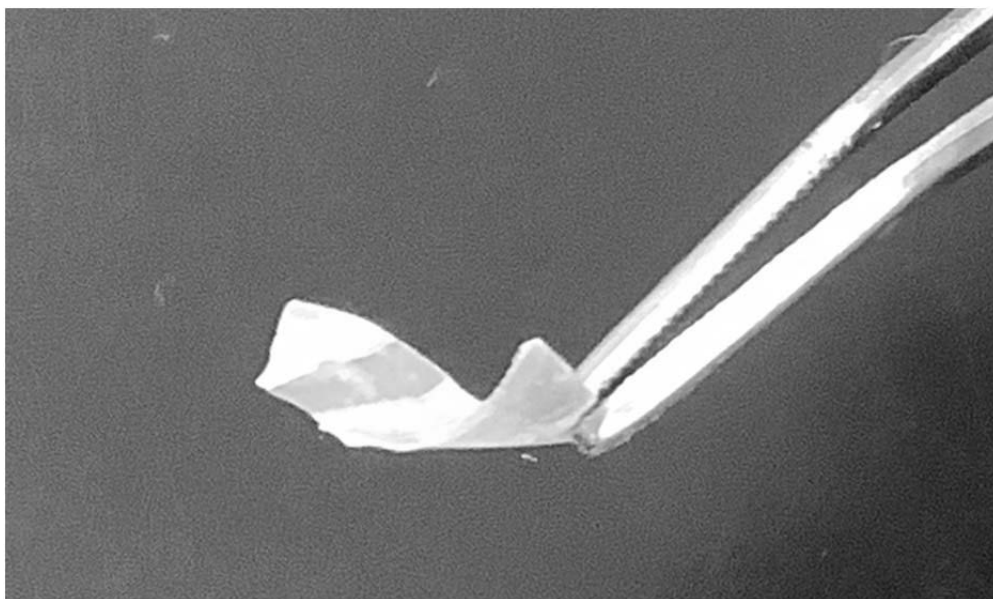
本研究に助言をしてくださった弘前大学農学生命科学部田中和明教授に御礼申し上げます。

9. 参考文献

- ・さいたま市サイエンスナビ(*1)
<https://www.city.saitama.lg.jp/sciencenavi/kenkou/003/p008951.html>
- ・ペニシリンの抽出
<https://school.gifu-net.ed.jp/ena-hs/ssh/H30ssh/sc2/21835.pdf>
- ・無菌操作と培地の作り方マニュアル(*2)
<https://www.ed.ehime-u.ac.jp/~muko-lab/img/file7.pdf>
- ・ディスク拡散法(厚生労働省)(*3)
https://www.maff.go.jp/j/syouan/suisan/suisan_yobo/attach/pdf/fishmed-51.pdf

魚の廃棄物を材料とした生分解性プラスチックの生成方法について

青森県立五所川原高等学校 理数科 2 学年 生物班



研究班員 桜庭真人 須藤那桜 高橋冴綺

對馬結葉 中村聖奈 原瑚都子 山田果英

指導教員 箱田憲哉

1. 目的

近年海洋に流出したプラスチックごみによる生態系への影響が世界で深刻化しており、日本でも対策が求められている。私たちもこの問題解決に貢献できる方法を探るために海洋生分解性プラスチックに注目し、環境に配慮した新しい素材の可能性を広げたいと考えた。

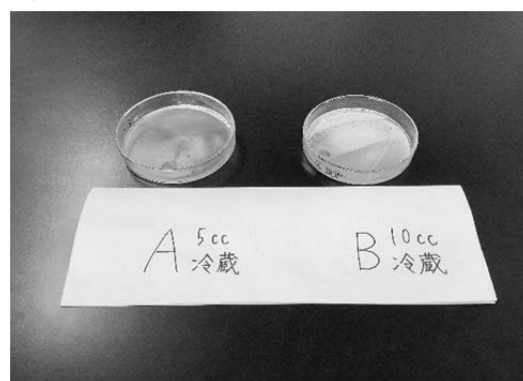
2. 実験方法・研究方法および結果・考察

2-1 プラスチックの生成方法

材料は、魚の皮 33.3g 塩化ナトリウム 33.3g 活性炭 2.43g シャーレ直径 5cm

方法は、魚の皮に同等量の塩化ナトリウムを添加後、7日間塩漬け。水洗いして脱塩した後、つかる程度の水を加え、80℃で1時間加熱。ガーゼでうろこなどの不純物をろ過。抽出液(242.9g)に対して質量の1パーセントの活性炭を添加する。スターラーで1時間混合。ろ紙で、活性炭をろ過する。これをシャーレに移し入れ、冷蔵6℃で乾燥させる。左Aが5cc、右Bが10cc

図1



2-2 結果

乾燥後の生成物は薄くて破れやすく、ほとんど取り出すことができなかった。

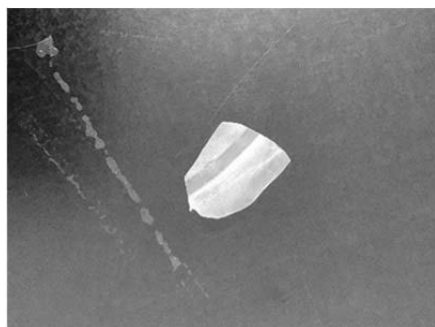


図2

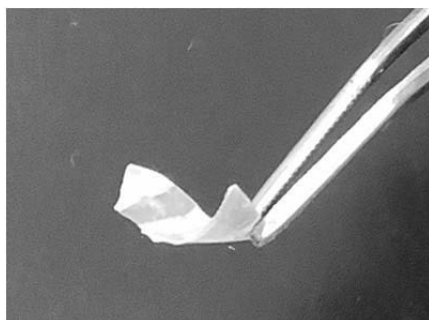


図3

2-3 考察

生成物が薄かったのは、ゼラチン濃度が低かったことが原因であると考えられる。次の実験ではさらに加熱して、ゼラチン濃度を高くする。

2-4 実験①

目的は、抽出液を加熱することで濃縮する。15時間50分、抽出液を70℃のウォーターバスで湯煎する。ここでできた抽出液を、抽出液2とする。抽出液2を、横5.0cm縦5.0cm高さ1.0cmのシリコンの型に入れる。シリコンAには高さ1.0cmまで、シリコンBには高さ0.5cmまで入れる。

図4

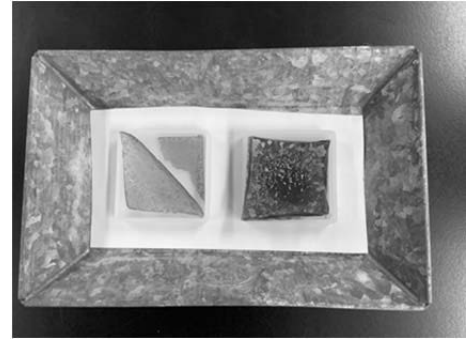


左がA、右がB

2-5 結果

冷蔵庫から出した直後はどちらも硬い。活性炭を加えたものの、魚の生臭さは取れなかった。Bは、常温に1時間ほど置いておくと、曲げても折れないほど柔らかくなる。どちらも白い結晶のようなものが見られる。

図 5



右がA、左がB

2-6 考察

生成した生分解性プラスチックから感じられた腐敗臭は、魚由来のコラーゲン原料に由来する、トリメチルアミンによるものだと考えられる。トリメチルアミンは、弱塩基性を示すため、酸性物質を添加することで、中和反応をさせ、臭気を除去できるのではないかと。

2-7 実験②

できた生成物の魚の生臭い匂いを防ぐ方法を探る。活性炭は、空気中のおい成分を吸着するもので、液体中に入れても効果を示さないことが分かったため、活性炭を加える作業はしないこととする。178.1gの抽出液をさらに濃縮させ、50gにした濃縮抽出液に、10分間隔でクエン酸を5gずつ攪拌しながら加える。最終的にクエン酸15gを添加する。(クエン酸は抽出液の23.0%)中和反応により水が発生し、乾燥させづらくなると考えたため、ホットスターラーを使って抽出液を、80℃で2時間加熱し、さらに濃縮する。ここでできた抽出液を、抽出液3とする。シリコンに抽出液10.0g加え、常温と冷蔵に分けて乾燥させる。

2-8 結果

クエン酸を加えた抽出液は、2週間経っても乾燥しなかった。クエン酸を加える前にあった、魚の生臭い匂いは大幅に軽減されたが、まだ若干残っており、メイラード反応(糖やタンパク質が加熱されることで起こる反応)による、焦げたような匂いがした。無臭ではなく、匂いはまだ臭かった。一か月経過しても手に取ることはできなかった。

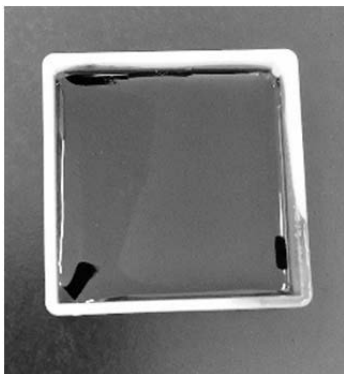


図 6 10月17日時点



図 7 11月5日時点

2-9 考察

クエン酸を入れて固まりにくくなった理由について、ゼラチンはタンパク質であり、酸がそのタンパク質成分を分解してしまい、ゼラチンの構造が壊れてしまうという、プロテオリシス（タンパク質加水分解）が起こったからではないか。

2-10 実験③

実験①で抽出液 2 から生成し、生臭い匂いのしていた生成物が、2 か月後、匂いがなくなっていたことに気づいた。調べてみたところ、魚の生臭い成分であるトリメチルアミンは、揮発性があるため、匂いは時間が経つにつれてなくなっていくことが分かった。そのため、クエン酸を添加しないで抽出液を生成する。

乾燥させた後、生成物を蒸留水の中に入れ、どのくらいの期間で分解されるかを調べる。

インキュベーターで 25℃に設定し、一週間ごとに経過観察をして、微生物による分解を調べる。対照実験として、プラスチックペットボトルの破片のみ入れたものも作る。

微生物が実験で使用する海水内に、微生物が存在しているかを調べるために、メチレンブルーを使用する。メチレンブルーが薄くなると、微生物が存在していると判断する。



図 8 左はプラスチックペットボトルの破片
中央は生成物
右は何も入れていない



図 9 実験で使用した生成物

2-11 結果

一週間経過後、ペットボトルの欠片、何も入れていないビーカーはどちらも色の変化が見られず、蒸留水に生成物を入れたビーカーではほとんど生成物が溶出していた。

2-12 考察

微生物の活動による色の変化であれば時間をかけてじっくりと色が変わるはずであるが、生成物を溶液の中に入れた瞬間に色が変化したことから、微生物による分解ではなく、生成物が持つ水溶性によって溶けたと考えられた。色が緑に近づいていて、変化したのは、生成物のメイラード反応によってできた茶褐色・黄褐色物質が溶出して緑に見えていると考えられる。

2-13 実験④

生成物を、五所川原高校校庭の木の下、湿った土壌の中に入れ、どのくらいの期間で分解されるかを調べる。土壌は、インキュベーターで25℃に設定し、一定環境下で保存する。

2-14 結果

土壌に埋めた生成物は2日目には全てなくなっていた。

2-15 考察

作製したプラスチックは、強い分解性・水溶性を示しているとわかる。土壌の中で分解されたと考察できるが、メチレンブルーを用いた実験では蒸留水で行う実験のみであり、微生物による分解が期待される海水での実験は行うことができていないため、完全に微生物による分解だとは断言できない。だが、高い水溶性は生成物のほとんどがコラーゲンでできていることを示唆しており、天然分子であるため、生分解性があるということはほぼ確実である。

3. 今後の展望

揮発性の高いトリメチルアミンを、より短時間で人間の鼻で感じられなくなるまで除去するための方法を検討・実行する。

ゼラチン濃度を測ることが難しいので、見かけ上のゼラチン濃度を特定させるために、水に純粋なゼラチンを入れ、一定の濃度のゼラチン溶液を作り、冷蔵庫で冷やし固める。その純粋なゼラチン溶液を固めたものと、抽出液を冷蔵保存した時のものの硬さを比べる。

4. 謝辞

本研究にあたり、弘前大学工学部物質創生化学科の呉羽拓真助教には多くの助言を賜りました。また、山本水産様には、材料の無償提供にご協力いただきました。改めて感謝の意を表します。

5. 参考文献

- ・ <https://www.senshu-u.ac.jp> 石巻専修大学「寒天と魚皮からなる生分解フィルムの調整」
- ・ <https://www.hyogo-c.ed.jp> 兵庫県教育委員会「ゼラチンを用いた生分解性プラスチックの生成方法について」

植物由来成分を使用したりんご害虫防除



青森県立五所川原高等学校理数科2年 生物班
木津 実 工藤 千翔 花田 暖知 村上 優哉
指導教員 奈良岡 奈央

1. 研究動機

五所川原市における主要産業である農業が、害虫被害や、化学農薬による環境負荷の増加といった問題に直面していることを知り、環境に優しく、持続可能な農業の実現を目指し、植物由来の成分を活用した虫防除の可能性を探ることとした。

2. 仮説

植物由来の成分は、リンゴゴブアブラムシおよびシンクイガといったりんご農業害虫の防除に効果を示す。*1, *2

3. 実験

一部の虫が特定の強い臭いに対して明確な忌避反応を示すことが確認されているという知見から、複数の植物成分の中から臭いに特徴があり、かつ入手可能な成分を実験対象として選定した。*3, *4, *5

その一つであるカプサイシンは、一味唐辛子(ハウス食品, 中国産)から抽出した。*6
具体的には、振とう機能付き恒温水槽を用い、唐辛子粉末をエタノールに浸漬した上で、57°Cに設定した恒温条件下で攪拌を行い、カプサイシンを抽出した。抽出後は濾過を行い、得られた抽出液を実験に用いた。

図1に示す実験装置を作成した。先行研究*1に記載されている構造をもとに、ペットボトル、アクリルパイプ、発泡スチロール、竹串を用いて制作した。



図1 作成した実験装置

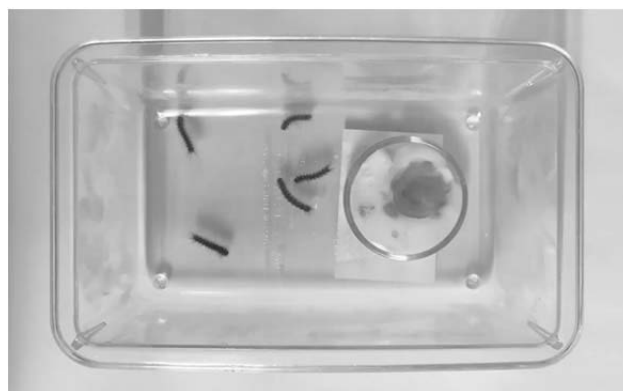


図2 実験①(カプサイシン抽出液)の様子

3-1 実験① アメリカシロヒトリを用いた実験

カプサイシンが虫に何か効果を示すかどうかを検証するための実験を行った。リンゴゴブアブラムシの捕獲が難しかったことから、同じくりんごの木の葉を食害するガの一種であるアメリカシロヒトリで行った。具体的には、脱脂綿を敷いたシャーレにエタノールを5 mL ずつ滴下したもの、およびエタノールを溶媒とするカプサイシン抽出液を5 mL 滴下したものの2種類を用意し、それぞれを別々の虫籠に設置した。各虫籠にはアメリカシロヒトリの幼虫を5匹ずつ放ち、15分間の観察を行い、忌避行動の有無や移動距離、脱脂綿への接近頻度などの行動変化、実験後の容態の変化を記録した。



図3 実験②の様子

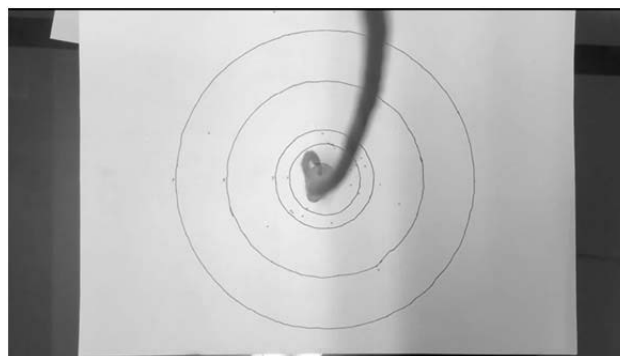


図4 実験③の様子

3-2 実験② 実験装置を用いたアブラムシの忌避実験

図1の装置を用いて実験を行った。両端から空気を吸い込み、片方にはカプサイシン抽出液を含ませた脱脂綿、もう一方には溶媒として使用したエタノールのみを含ませた脱脂綿をそれぞれ吊るした。中央

部のペットボトル内にモモアカアブラムシ(住化テクノサービス株式会社より購入)を入れ、内部の竹串を伝ってどちらの方向へ移動するかを観察することで、植物由来成分による忌避効果を検証した。

3-3 実験③ 忌避を視覚化したアブラムシの忌避実験

次に、モモアカアブラムシの空間的な忌避傾向をより明確に評価するため、図4に示したように、白紙上に同心円状の目盛り(中心から半径2, 3, 6, 9 cm 間隔)を描き、中央部にモモアカアブラムシ30匹を集合させた。その上方に、カプサイシン抽出液を染み込ませた脱脂綿を糸で吊るし、モモアカアブラムシが中心からどの程度離れるかを観察した。また、この実験も他の実験と同様に対照実験としてエタノールでも行った。

4. 結果

4-1 実験① アメリカシロヒトリを用いた実験

カプサイシン抽出液とともに配置された幼虫は、木から落ちた時や捕獲された際に見られるような防御反応を示し、首を左右に振る・体を丸める・背を反らすといった特有の挙動を確認した。一方、エタノールのみ条件下では、アメリカシロヒトリの幼虫の動きは活発であったものの、捕獲時には体が弛緩し、柔らかくなっているような様子が見られた。

4-2 実験② 実験装置を用いたアブラムシの忌避実験

モモアカアブラムシは一方の空間に一時的に入るものの、時間が経過すると逆側にも移動するなど、明確な忌避傾向を示すデータは得られなかった。滞在時間や個体数に顕著な差は見られず、統計的に有意な結果は得られなかった。しかし、カプサイシンの方に向かった個体が竹串から落ちる様子が見られた。

4-3 実験③ 忌避を視覚化したアブラムシの忌避実験

観察したところ、カプサイシン抽出液で実験したアブラムシと、エタノールで実験したアブラムシはどちらも外側に移動したという結果が得られた。また、中心方向へ戻ってきた個体も確認された。

カプサイシン抽出液の方では、実験開始からすぐに移動を開始していたが、時間の経過で動きが鈍くなっていった。中心付近にとどまったまま動かない個体も確認された。

エタノールの方では、カプサイシン抽出液の方よりも動き続けた個体が多く、長時間動き続けていた個体が半数以上を占めていた。

表1 実験③におけるアブラムシの出入り(上:カプサイシン抽出液 下:エタノール)

	出た回数	戻った回数
半径 3cm	9.7 回	4.3 回
半径 6cm	9.7 回	1.7 回
半径 9cm	7.0 回	1.7 回
	出た回数	戻った回数
半径 3cm	22.3 回	4.3 回
半径 6cm	19.3 回	2.7 回
半径 9cm	16.3 回	1.7 回

5. 考察

5-1 実験① アメリカシロヒトリを用いた実験

示した防御反応は、カプサイシンの揮発成分あるいは接触刺激によって、警戒・防御反応を誘発されたものと考察した。カプサイシンにより感覚神経が過剰興奮し、筋収縮や逃避行動を誘発したと推察される。一方、エタノールの条件でのみ観察された体の弛緩などは、揮発したアルコールによって酩酊状態になっていた可能性があると考えた。アメリカシロヒトリの気門からエタノール蒸気が吸入されたためだと考えた。

この実験では、カプサイシンが虫に対して何らかの効果を示すかという意図で行ったもののため、結果から何らかの効果はあると考えられる。

5-2 実験② 実験装置を用いたアブラムシの忌避実験

モモアカアブラムシがカプサイシン側に一時的に接近したものの、その後に反対側へ移動したり、竹串から落下したりする個体が見られたのは、カプサイシンの揮発成分がモモアカアブラムシに一時的な刺激を与えた可能性がある。アブラムシが一方向に留まらず移動を繰り返したのは、装置を酷使したことによる劣化、それにより濃度分布が均一にならなかったことが影響したと考えた。

5-3 実験③ 忌避を視覚化したアブラムシの忌避実験

真ん中に固まって動かない個体は、強すぎた刺激により一時的に麻痺や混乱を引き起こしたと考えた。また、エタノールの実験中に明確な忌避、誘引が確認されなかったことから、アブラムシの行動には自由があったと考えられる。今回の実験では、逃避距離に個体差が見られたが、これは個体の体力・刺激耐性・濃度分布の不均一などによる影響と考えられる。

上記の3つの実験を通して、カプサイシンはりんご農業における害虫の防除に効果を示すという考察を立てた。

6. 今後の展望

本研究では、植物由来成分カプサイシンがモモアカアブラムシおよびアメリカシロヒトリに対して忌避反応を誘発する可能性を確認した。今後は、従来の化学農薬とカプサイシン抽出液との間で防虫効果や忌避行動の強さを比較し、植物由来成分の代替性や環境への影響の少なさを評価する比較実験や、カプサイシン抽出液の濃度を段階的に変化させ、どの濃度で最も強い忌避反応が見られるかを検討することで、実用的な濃度条件を明らかにする実験を行いたい。また対象昆虫に対し、餌表面にカプサイシン抽出液を塗布し、摂食中や接触状態での行動変化を観察することで、経口的な忌避効果の有無を確認したい。これらの実験を通して、植物由来成分を用いた防虫手法の実用化に向けた基礎データの蓄積を目指す。

7. 参考文献

- *1 植物の香り成分を嫌うアブラムシ (化学と生物 Vol. 41, No. 1, 2003)
- *2 リンゴに寄生する リンゴクビレアブラムシの発生生態の解明と防除法確立 第1報 福島県におけるリンゴクビレアブラムシの発生実態(阿部 喜充・岡部 陽子・佐藤 力郎・佐々木正剛)
- *3 農薬はどうしてきくの <https://www.croplifejapan.org/qa/a4.html>
- *4 ジャガイモ由来天然毒成分ソラニンを用いた環境負荷低減農薬開発の検討(井手渚, 2025)
- *5 Repellent Effect of Garlic against Stored Product Pests (G. K. M. Mustafizur RAHMAN and Naoki MOTOYAMA*)
- *6 唐辛子からカプシノイド化合物を抽出分離する方法及び唐辛子抽出物(秀樹 山本, 扶美子 竹内, 守 神保, 紀和 佐々木)

8. 謝辞

本研究に助言して下さった弘前大学農学生命科学部高田晃准教授に御礼申し上げます。

令和7年度 理数探究 校内発表会

日時：令和7年11月14日(金) 13:30～

場所：青森県立五所川原高等学校 第一体育館

進行	校長挨拶・助言者紹介
研究発表	持ち時間は13分（発表8分+質疑応答5分） 途中、10分の休憩を入れる。
助言・講評	弘前大学 教育学部 教授 長南幸安 氏 国立研究開発法人 科学技術振興機構(JST) 奥谷雅之 氏
司会	前半：木津実・工藤千翔 後半：市川心陽・坂本藍香

発表順	科目	理数探究テーマ	氏名	指導者
1	数学	できるだけ隙間のない物体の詰め方の研究	2530 湯澤 一花	福士 敬之 石田 和久
			2516 丸一 嘉也	
			2503 菊地 海斗	
2	物理	自作の簡易地震計を用いた免震構造の効果と適性の分析	2509 其田 廉介	鳴海 諒洸
			2511 高森 勇利	
			2512 永田 彩仁	
			2513 奈良 健汰	
			2515 藤田 大剛	
3	化学	青森県産の特産品に含まれるアントシアニンを用いて紫外線を遮断するには	2518 市川 心陽	三上 知夏
			2520 坂本 藍香	
			2528 福地 夏帆	
			2525 奈良岡 桜	
			2526 長谷川 瑞葵	
4	化学	カビから取り出す抗生物質	2507 齋藤 優	齋藤 郁子
			2501 大谷 穂高	
			2502 金澤 瑠	
			2506 越 一樹	
5	生物	魚の廃棄物を材料とした生分解性プラスチックの生成方法について	2510 高橋 和成	箱田 憲哉
			2527 原 瑚都子	
			2508 桜庭 真人	
			2521 須藤 那桜	
			2522 高橋 冴綺	
			2523 對馬 結葉	
6	生物	植物由来の成分を利用したリンゴ害虫防除	2524 中村 聖奈	奈良岡 奈央
			2529 山田 果英	
			2504 木津 実	
			2517 村上 優哉	
			2505 工藤 千翔	
			2514 花田 暖知	

☆第13回高校生科学研究コンテスト（2年生のみ参加）

日時：12月7日（日）9:30～16:00（予定） 場所：青森大学

参加校：県内外高等学校 複数校 テーマ数未定

☆第26回青森県高等学校理数系課題研究等発表会（1, 2年生参加）

日時：12月13日（土）9:00～16:00（予定） 場所：弘前大学理工学部

参加校：青森県立青森高等学校、青森県立三本木高等学校

第26回青森県高等学校理数系課題研究等発表会

開催要項

- 1 目的 課題研究等の発表を通して、探究活動の質を高め、青森県の理数教育の向上を図るとともに、生徒間及び教員間の交流を図る。
- 2 期 日 令和7年12月13日（土）
- 3 会 場 国立大学法人 弘前大学理工学部
- 4 主 催 青森県高等学校長協会理数部会
- 5 後 援 青森県教育委員会
- 6 参加者 五所川原高校理数科 1・2年生、三本木高校GSCクラス 1・2年生、青森高校 1・2年生、3校の校長および関係教職員
- 7 事務局・担当校
青森県立五所川原高等学校 Tel.0173-35-3073 Fax.0173-34-6710
- 8 日 程
【開会式】
10:30～10:50 開会式（第10講義室：1号館5階）全体司会：五所川原高校
(1) 会長挨拶 青森県立五所川原高等学校 校長 三和 聖徳
(2) 来賓挨拶
青森県教育庁学校教育課高等学校指導グループ 指導主事 岡部 晴菜
弘前大学大学院理工学研究科 副研究科長 鳥飼 宏之
(3) 助言者紹介
(4) 諸連絡
【発表会】（各分科会の会場）司会進行：生徒2名
11:00～12:00 課題研究等発表会（午前の部）
・発表数3テーマ
12:00～13:00 昼食・休憩（60分）
13:00～14:20 課題研究等発表会（午後の部）
・発表数5テーマ（数学・物理分科会）
3テーマ（化学・生物・地学分科会）
5テーマ（生物・化学分科会）
14:20～14:50 講評・助言（分科会ごとに実施）
15:00 解散
（全体講評・助言を実施しないで、分科会ごとに閉会・解散）
- 9 備 考
 - ・分科会は3分科会（数学・物理系、化学・生物・地学系、生物・化学系）を予定しています。
 - ・各テーマ発表時間13分以内、質疑応答を含めて18分以内でお願いします。
 - ・会場のプロジェクターを利用する予定です。発表用パソコンは持参してください。
 - ・分科会会場の運営については、参加校で分担して行います。
 - ・昼食・休憩の時間については、分科会の進行状況により変更となる場合があります。

10 当日の分科会および助言者

第1分科会【数学・物理】会場：第8講義室（1号館4階）発表8テーマ

運営担当：五所川原高校（発表31名・観覧32名：合計63名）

第2分科会【化学・生物・地学】会場：第7講義室（1号館4階）発表6テーマ

運営担当：青森高校（発表33名・観覧12名：合計45名）

第3分科会【生物・物理】会場：第10講義室（1号館5階）発表8テーマ

運営担当：三本木高校（発表33名・観覧17名：合計50名）

第1分科会（発表数：数学2、物理6）

弘前大学 工学部 数物科学科 教授 別宮 耕一（べつみや こういち）

弘前大学 工学部 数物科学科 助教 久我 健太郎（くが けんたろう）

第2分科会（発表数：化学4、生物1、地学1）

弘前大学 工学部 物質創成化学科 准教授 太田 俊（おおた しゅん）

弘前大学 工学部 物質創成化学科 助教 呉羽 拓真（くれは たくま）

第3分科会（発表数：生物6、化学2）

弘前大学 農学生命科学部 分子生命科学科 准教授 濱田 茂樹（はまだ しげき）

弘前大学 農学生命科学部 食料資源学科 教授 岩井 邦久（いわい くにひさ）

第26回青森県理数系課題研究発表会 発表テーマ一覧

分科会	学校名	テーマ	内 容	発表人数
第1分科会 (数学・物理)	五所川原	できるだけ隙間のない物体の詰め方についての研究	効率的に物を入れ、持ち運ぶ回数を少なくするための数学的考察	3
	三本木	目指せ億万長者！人生攻略法！！	人生ゲームを試行して得られたデータと確率などを用いてどのようにゲームを進めていけば良いのかを考察した。	4
	青森	ペルチェ素子の最適な活用法	ペルチェ素子を用いたゼーバック効果の活用について	3
	五所川原	超電導を使った免震構造について	超電導を用いた免震構造の開発	6
	三本木	教科書を疑う！物理実験	教科書に載っている実験は私たちに再現できるのか検証してみた！	4
	青森	螺旋型水車で小規模水力発電に挑む！	螺旋型水車の開口率や羽根形状を工夫した複数モデルでの発電効率について	5
	三本木	硯を極めた男たち	硯の違いによる墨の違いについて	3

分科会	学校名	テーマ	内 容	発表人数
第2分科会 (化学・地学)	五所川原	魚の廃棄物から生分解性プラスチックの生成方法について	身近で手に入れやすい地域の材料から、環境負荷の少ない素材の開発	7
	三本木	PIXEによる葉や土の分析	木の種類や有無による土・葉の成分元素への影響と校庭の用途による成分元素の違いを調査した。	7
	青森	ゲーミング反応の利用	ゲーミング反応を利用した各種溶液中のアスコルビン酸量の測定について	6
	三本木	ねばねば成分で水質浄化できるのか	ポリグルタミン酸と他のねばねば成分の浄化作用を比較する。	6
	青森	堤川の水質について	酸性河川である堤川の水質の要因について	3
	三本木	ポリグルタミン酸の濃度による消火効率	ポリグルタミン酸の濃度によって消火時間にどのような変化があるかを実験しました。	8

分科会	学校名	テーマ	内 容	発表人数
第3分科会 (生物・物理)	五所川原	青森県の特産品に含まれるアントシアニンを用いて紫外線を遮断するには	青森県の特産品であるリンゴやカシスから日焼け止めを作ることができないかと考え、研究を始めた	5
	三本木	粘菌の山登り	粘菌は山があっても最短ルートを導き出せるのか調べる。	4
	青森	クマムシの体長と蘇生の関係及び走性について	クマムシの体調と走性の関係並びの負の光走性の有無について	3
	五所川原	カビから作る抗生物質	アオカビからペニシリンを精製し、その殺菌作用を高める方法を検証	5
	三本木	植物の生育と匂いは関係があるか	植物の生育に匂いは関係あるのかについて調べた。色々な匂いで植物を育て違いがあるか調べた。	4
	青森	沈水植物の光合成の極性	オオカナダモの光合成における炭素化合物の取り込み極性について	3
	五所川原	植物由来成分を利用したりんご害虫防除	より環境に優しく、持続可能な農業の実現を目指し、植物由来の成分を活用した虫防除の可能性を探る	4
	三本木	雨水の大冒険!! in三本木夢と生命の森	雨水が木の幹を通ることによる土のpHの変化を調べる。	4