

令和4年度

スーパーサイエンスハイスクール

生徒課題研究論文集



38年目を迎えた徳山川水質調査

徳山川では、河川、地域の水源である徳山川の水質調査を行っています。測定項目はpH、アルカリ度と濁り(濁度)、アンモニア態窒素、亜硝酸態窒素、硝酸態窒素(5日陰濃度)、亜硝酸イオン(測定)、硝酸イオン(測定)化学的酸素要求量(5日陰)、硬度(測定)、リン酸(測定)の9項目に及びます。1/2濃度の水質を、1日だけで単層的に測定してレポートを作成し、調査、準備、発表、振り返り、まとめ、振り返り、また徳山川川の水質調査、化学実験の修習場となりました。徳山川川の水質調査を行っている「徳山川」の役割を改めて確認しました。



令和5年3月

山口県立徳山高等学校



# Extension of Napoleon's Theorem

～ナポレオンの神書を越えた証明～

徳山高校理数科2年 上野史記 高橋大太 木岡純 (山口一葉 監査校長 西元教員)

**動機**  
「ナポレオンの定理」は直線と円、直線と直線の交点、直線と直線の交点、直線と直線の交点の3点の重心が一致するものである。

**方法**  
GeoGebraというグラフィックソフトウェアを使い、図形を動かして証明する。

**「ナポレオンの定理」とは**  
任意の三角形に対して、各辺の中点を結ぶと正三角形となる。また、この正三角形の中心と元の三角形の重心が一致する。

**五角形の場合の証明**  
全ての辺が等しい  
(1) 五角形の各角が108°であること  
(2) 五角形の各辺が等しいこと  
(3) 五角形の各対角線が等しいこと  
(4) 五角形の各対角線が五角形の各辺と平行であること  
(5) 五角形の各対角線が五角形の各頂点と等しいこと

**五角形の場合の証明**  
全ての辺が等しい  
(1) 五角形の各角が108°であること  
(2) 五角形の各辺が等しいこと  
(3) 五角形の各対角線が等しいこと  
(4) 五角形の各対角線が五角形の各辺と平行であること  
(5) 五角形の各対角線が五角形の各頂点と等しいこと

**五角形の場合の証明**  
全ての辺が等しい  
(1) 五角形の各角が108°であること  
(2) 五角形の各辺が等しいこと  
(3) 五角形の各対角線が等しいこと  
(4) 五角形の各対角線が五角形の各辺と平行であること  
(5) 五角形の各対角線が五角形の各頂点と等しいこと

**五角形の場合の証明**  
全ての辺が等しい  
(1) 五角形の各角が108°であること  
(2) 五角形の各辺が等しいこと  
(3) 五角形の各対角線が等しいこと  
(4) 五角形の各対角線が五角形の各辺と平行であること  
(5) 五角形の各対角線が五角形の各頂点と等しいこと

**五角形の場合の証明**  
全ての辺が等しい  
(1) 五角形の各角が108°であること  
(2) 五角形の各辺が等しいこと  
(3) 五角形の各対角線が等しいこと  
(4) 五角形の各対角線が五角形の各辺と平行であること  
(5) 五角形の各対角線が五角形の各頂点と等しいこと

# 色素による生分解性プラスチックの分解の差について

山口県立徳山高等学校 青柳 石田 赤谷 岩崎 周田 演義 担当教員：西村先生

**背景**  
生分解性プラスチックの種類によって分解速度が異なる。その差を明らかにするために、色素を加えた生分解性プラスチックの分解速度を比較し、その性質を利用して他の材料と組み合わせることで、分解が速くなるプラスチックを開発する。

**実験Ⅰ**  
タンパク質性プラスチック(牛乳: 乳乳=1:1)を実験Ⅰと同様に作成し、質量を測定する。  
(C) (B) (K)

**目的**  
生分解性の低い「ペニコワシ色素」と高い「クチナシ色素」を加えた生分解性プラスチックの分解速度を比較し、その性質を利用して他の材料と組み合わせることで、分解が速くなるプラスチックを開発する。

**実験Ⅱ**  
① 実験Ⅰ(C)、ペニコワシ色素(B)、クチナシ色素(K)をそれぞれ、ポリカプロラクタンプラスチックを形成する。  
(C) (B) (K)  
② 紫外線を24時間当てたもの(C)に、①のものを(X)を用いる。  
③ 紫外線と高温(50℃)の土にプラスチックを4週間埋め、分解を行う。  
④ 小型気体発生装置で測定する。

**結果Ⅱ 質量変化**

日数	C	B	K
0	0.00	0.00	0.00
7	0.13	0.06	0.21
14	0.24	0.06	0.24
21	0.24	0.06	0.24
28	0.24	0.06	0.24

○と×の差  
→BとCは3日目に完全分解した  
→Kが○と×との差が大きい

**結果Ⅰ PCLの能力**

サンプル	能力
C	47.79265
B	12.1671
K	361.84823

○と×の差  
・色素を加えると強度が下がる  
・紫外線と高温(50℃)の土に埋めると分解が速くなる  
・Bは○と×との差が小さい

**考察Ⅱ**  
色素を加えたプラスチックは紫外線による分解の促進効果があると思われる。また、Kの○と×の差が大きいことは、Kに紫外線が加わるため、Xが分解されにくくなったためだと考えられる。さらに、実験Ⅰ、Ⅱを踏まえ、この中で紫外線による差が大きいクチナシ色素が特異的プラスチックに高い効果があると考えた。

**今後の課題**  
その他の色素も加えてみることで分解が速くなるか、分解にどのくらいの紫外線が必要なのか、異なる色素の比率をどうするか、水中での分解は可能なのか、光の吸収率によって結果は異なるのかを研究していきたい。

**参考文献**  
西村先生「生分解性プラスチックの分解速度」1993年 徳山大学理学部附属高等学校「生分解性プラスチックの分解」2013年 徳山大学理学部附属高等学校「生分解性プラスチックの分解」2024年 <https://www.okayama-u.ac.jp/department/department/department/department/>

**参考文庫**  
Asahi アサヒ新聞 Leave a nest

# 屋久島研修報告書

藤原直大 新土井隆 深町夢 小野村奈 松野咲月 石田夢音 筑崎清人 林優佳 長谷川海 齋藤穂 青柳 廣瀬 藤原 藤田裕香 藤川優之 西水成美 三輪大貴 指導教員 青田 藤原 山本 幸子

**屋久島の植物の共生と循環**

屋久島は約1550万年前から1万年前にかけておこが島が海上に隆起してできた島である。故に植物が育ちにくい環境となっている。そこで植物たちはおこが島のような好湿をたどり、長い時間をかけて今の姿のように繁栄してきた。と暮らしたところから生える植物

**植生の垂直分布**

屋久島は、国内では北緯度に位置しているが、花崗岩の崖の低さにより、急な斜面が形成され、大きな標高差が生じ、独自の植生分布が見られる。

2000m 常緑帯  
8℃ 樹高は非常に高くゴツゴツとしていました。根があまり濡れなかったのが乾くことのできる大きな理由です。

1500m 常緑帯  
8℃

1000m 常緑帯  
15℃

500m 常緑帯  
20℃

**ガジュマルについて**

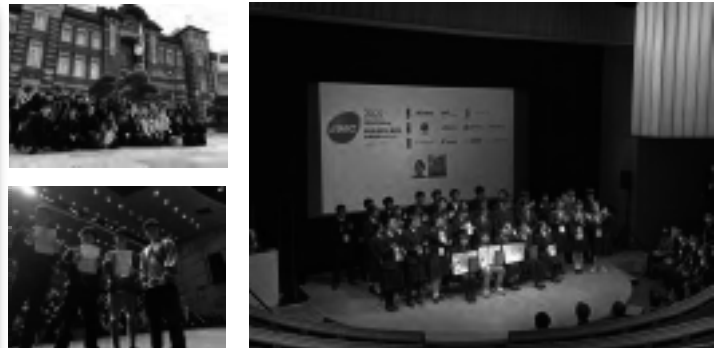
起源は「風から守る木」で、この言葉が故郷「ガジュマル」と呼ばれるようになった。常緑広葉樹の常木である。幹は多数分岐して葉茂り、周囲から褐色の気根を地面に向けて垂らす。垂れ下がった気根は、徐々に土台や自分の幹に覆纏りからみつき根系となっていき、気根は当初はごく細いが、太くなれば幹のように樹皮が発達する。地面に濡すれば幹と区別がなくなり、成長した気根はアスファルトを突き破る威力がある。こうした過程で、土台となる木は枯れていく(ガジュマルはいけゆる「絡め殺しの木」の一種である)。

**感想**

今回の訪問で、屋久島は自然遺産となった時の姿をそのままに残している島だと思えました。世界遺産に登録された地域の、登録以前の暮らしが考察できたりとても面白かったです。また、屋久島の電気はほとんどが、水力発電で賄われていたり、屋久島の自然の特性を最大限利用しており環境への配慮が本州よりも行き届いていて、人と自然の共生を感じられました。

**ガジュマル!!!!**  
近年では、この樹木が観光から保護植物としての人気も高い!!!

沖縄や屋久島の小学生は、ガジュマルについて学び、上るときは「はじめてもいいですか?」と聞くらしい(?)



「スーパーリエンスハイスクール 生徒課題研究論文集」2023年3月

山口県立徳山高等学校 理数科・普通科



**所在地**  
〒745-0061  
山口県徳山市徳山2-5-0

**連絡先**  
Tel. 0834-21-0099  
0834-21-0193

[http://www.tokyugame-hs.jp/p\\_cms/index.php\\_tok](http://www.tokyugame-hs.jp/p_cms/index.php_tok)



令和4年度

スーパーサイエンスハイスクール生徒課題研究論文集



山口県立徳山高等学校

山口県立徳山高等学校

令和4年度スーパーサイエンスハイスクールの生徒課題研究給文集

もくじ

はじめに	1
Extension of Napoleon's Theorem: ベナポレオンの命題を超えた証明	2
重力加速度とミルククラウン	6
色素による生分解性プラスチックの分解の速さについて	10
鉄屑におけるクエン酸の洗浄効果の検証	14
果物が本来持つビタミンCをできるだけ保ったキウイのドライフルーツの開発	18
自分の声を相手に伝えたい	22
紫外線による紙への影響とその対策	26
おそろしく速い振動計でなきや見逃しちゃうね～液体の粘度との関係～	30
勝電位を用いたハンズフリーデバイスの開発	34
奈良「昔産竹」の解用と応用～奈良の詠を継ぎ引きし、現代に復活させる～	38
$\Delta 1$ Cal color の開発	46
VRPhysics (VRを用いた物理運動可視化アプリ) の開発	50
占延による米ノリの強度と硬化時間の短縮	54
シグタケ菌の成長と旨の関係	58
洗濯後の柔軟剤の残留量測定	62
炭を活用したリン酸吸着による水処理の検討	66
肥料の組成がジャボケの成長に与える影響	70
くねおろしの辛味成分イソオシゲネートによるカビの増殖抑制効果の調査および食品への活用	76
紫外線の可視化	80
カーブミラーの利便性向上で交通事故を減少させる	83

## はじめに

山口県立徳山高等学校は、令和2年度に第3期スーパーサイエンスハイスクール（以下SSH）に指定されました。これまで継続してきた様々な取組は、地域、企業、大学、保護者、卒業生など多くの方から支えられながら成熟し、現在は学校の特徴を形成するまでに成長しています。

指定13年目を迎えた今年度は、課題研究が大きく飛躍した年になりました。磁力線の研究がつくばサイエンスエッジ2022で全国1位に続き、日本代表としてGloBallink2022に出場し、世界3位に表彰されました。また、忍者の研究がJSEC2022で全国5位と高く評価され、同じく日本代表として世界大会ISEEに出場することになりました。その他、理数科や普通科の生徒による人工知能を使ったカーブミラーや米糶の研究など、ユニークな課題研究が科学コンクールで次々と入賞し、今年度だけで延べ36名の生徒が表彰されました。

こうした本校の課題研究活性化の立役者は「校内科研費」と「企業連携」です。

今年4年目となる「校内科研費」とは、生徒の研究計画のプレゼンテーションを学校スタッフが評価し、実験機材の購入や発表旅費に使う資金を交付する本校独自の研究支援制度です。今年度は過去最多となる16の生徒チームが申請し、総額94万円をチームに分配しました。結果として、課題研究の校外発表数は57件と「校内科研費」導入前の3倍になり、数々の入賞にもつながりました。

また「企業連携」も課題研究の質的向上に大きく貢献しています。課題研究では、往々にして生徒や教員だけでは解決できない技術的、金銭的な問題に直面します。本校では、測定機器の借入や、技術的な助言、発表に必要な研究資金の援助など、企業から手厚い支援を受けることができます。高校生の研究活動を支援する様々な企業や地域とのつながりは、今後、探究活動を継続させる原動力になると考えています。

このように、徳山高校は「校内科研費」と「企業連携」に支えられて、生徒の自主性と主体性を維持しながら、質の高い課題研究を実施するに至っています。来年度、その支援を受けた課題研究の一つが世界大会に出場します。課題研究を通じて成長した若いエネルギーが、日本の輝きを明るく照らしてくれることを確信しているところです。

SSH卒業を通じて、生徒が専門と協力しながら、研究を計画し、実験を準備し、実行記録を繰り返して成果をまとめ、発表する。課題研究の過程で得られた様々な学びが、掲載した論文の行間に見て取れます。

未来を支える科学技術人材を育成するため、厚手のないご意見をいただけたらと存じます。

令和5年3月

SSH主任 末谷健志

# Extension of Napoleon's Theorem ～ナポレオンの辞書を超えた証明～

要約記 川口一隆, 大岡純, 眞崎湯大  
山口県立徳山高等学校  
指導教員 大岡純

## アブストラクト

ナポレオンの定理は三角形にのみ対応した定理である。四角形や六角形に拡張した先行研究を読み、一般化するときに成り立つ条件や法則について研究を行った。辺とその両隣の頂点を頂に結んだ線分がすべて平行な五角形・正五角形は線形変換を用いた図形において、ナポレオンの定理の拡張が成り立つと予想し、八角形までについては高校で習う数学の範囲で、五角形については線形変換を用いて証明できた。また、外側の正五角形の面積から内側の正五角形の面積を引いたものと元の図形の面積の関係についても明らかになった。今後はナポレオンの定理の拡張の必要条件について研究を進めていきたい。

## 1. 研究目的

ナポレオンの定理とは、「任意の三角形に対し各辺を1辺とする正三角形を描き、これら3つの正三角形の重心同士を結んだとき、この三角形は正三角形となる。また、3つの正三角形をもとの三角形の外側と内側に描く場合で2通りの正三角形ができるが、この2つの正三角形の面積の差は、もとの三角形の面積と等しくなる」というものである。

私たちは、このナポレオンの定理に興を持ち、三角形以外の図形にも、法則が成り立つ条件が存在するのではないかと考え、研究を行った。

## 2. 研究方法

GeoGebra というグラフ表ソフトを使い、仮説を立てて証明する。

## 3. 仮説

辺とその両隣の頂点を頂に結んだ線分がすべて平行な五角形・正五角形は線形変換を用いた図形に対して各辺を1辺とする正五角形の重心同士を結ぶと正五角形となることをナポレオンの定理の拡張と定義し、これが成り立つと予想した。また、できた図形の面積にも何らかの関連性があると考えた。

## 4. 結果

辺の比と三角比を用いた五角形の場合の証明  
五角形の場合

図1のように  $AB//CE$ ,  $BC//AD$ ,  $CD//BE$ ,  $DE//AC$ ,  $EA//BD$  である五角形  $ABCDE$  を考え、 $AB=a$ ,  $BC=b$ ,  $CD=c$ ,  $DE=d$ ,  $EA=e$ ,  $BD$  と  $CE$ ,  $CE$  と  $AD$ ,  $AD$  と  $BE$ ,  $BE$  と  $AC$ ,  $AC$  と  $BD$  の交点をそれぞれ  $A'$ ,  $B'$ ,  $C'$ ,  $D'$ ,  $E'$  とする。

また、 $\triangle CD$ ,  $\triangle DE$ ,  $\triangle EA$ ,  $\triangle AB$ ,  $\triangle BC$  と1辺を共有し、五角形  $ABCDE$  の外側に存在する正五角形の重心をそれぞれ  $A''$ ,  $B''$ ,  $C''$ ,  $D''$ ,  $E''$  とする。

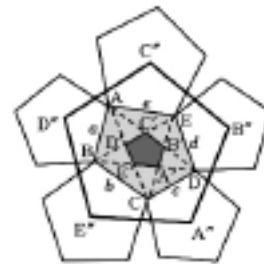


図1

辺の長さがすべて等しいことの証明

(1) 五角形  $ABCDE$  の五角形  $A'B'C'D'E'$  であることとその相似比

$CD = ke$  とおくと  $\triangle ABC \sim \triangle A'B'C'$  の相似比より、 $BC : AB = EC : B'E' = e : (1-k)e = B'E'$  より  $C'D' = ab$  と採らして、 $E'A' = ke$ ,  $C'E' = BD = (1-k)e$ ,  $BE' = DA = (1-k)e$  である。 $\triangle A'B'E' \sim \triangle A'DC'$  である。

以上より、 $(2-k)e : e = e : (1-k)e$

よって、 $k^2 - 3k + 1 = 0$  を解いて、

$0 < k < 1$  より  $k = (3 - \sqrt{5})/2 \dots \star$

よって、相似比は  $1 : (3 - \sqrt{5})/2$  である。

(2) 相似比  $k$  を用いた辺の長さの関係

$\triangle A'E'B'$  と  $\triangle C'E'D'$  に余弦定理を用いて、

$$\cos \angle A'E'B' = \frac{d^2 + \{(1-k)e\}^2 - e^2}{2d(1-k)e}$$

$$\cos \angle C'E'D' = \frac{e^2 + \{(1-k)d\}^2 - e^2}{2e(1-k)d}$$

これらと(1)より、 $e^2 - e^2 = (1-k)(d^2 - e^2)$

(3) 正五角形の一辺と外接円の半径の関係とその活用

$\angle BAE$  を  $A$  とおくと

$$\cos \angle C'AD'' = \cos(360^\circ - A + 108^\circ) =$$

$$= (\cos A \cos 72^\circ + \sin A \sin 72^\circ)$$

1辺の長さが  $x$  の正五角形の外接円の半径を  $r$  とすると、 $r = x(2\cos 54^\circ)$

よって、 $AC'' = e(2\cos 54^\circ)$ ,  $AD'' = a(2\cos 54^\circ)$

$\triangle C'AD''$  に余弦定理とこれらを用いると

五角形  $A'B'C'D'E'$  の1辺  $C'D'$  について

$$C'D'^2 = \{(\cos 54^\circ) \{e^2 + a^2 + 2ea(\cos A \cos 72^\circ + \sin A \sin 72^\circ)\}\}^2$$

が成り立つことがわかる

(4)  $\cos 72^\circ$  を  $k$  で表す

$$\cos 72^\circ = \cos \theta \text{ とすると } \cos 3\theta = \cos(360^\circ - 2\theta)$$

$$4\cos^2\theta - 3\cos\theta - 2\cos^3\theta = 1$$

$$\cos\theta = 1 \text{ とおくと, } (-1)(4) + (-2)(-1) = 0$$

$$0 < \theta < 1 \text{ より } \cos 72^\circ = (-1 + \sqrt{5})/4 \cdots \star$$

(1)より,  $\cos 72^\circ = (1-k)/2$   
 $t = (1-k)/2, 4t^2 + 2t - 1 = 0$  より  
 $k = 3t - 1 = 0$

(b)  $a\sin A = cd\sin D$  であること

$\triangle ABE, \triangle CDE$  にそれぞれ正弦定理を適用して,  
 $(2-k)c \sin A = e \sin \angle ABE,$   
 $d \sin \angle ECD = (2-k)a \sin D$   
 $\angle ABE = \angle ECD$  より, 上の二式で等式を立てると,  
 $2-k \neq 0$  より  $c/\sin A = e/d \cdot a/\sin D$

よって,  $\sin A/c = d/e \cdot \sin D/a$   
したがって,  $a\sin A = cd\sin D$

(6)  $C'D' = A'B'$  であること

(5)を未いて,

$$c = a - 2kac/\cos 72^\circ = c' + d' + 2kcd/\cos 72^\circ$$

を示せばよいことになる。  
 $2kac/\cos 72^\circ = c' + a = (3-k)c', 2kcd/\cos 72^\circ = c' + d' = (3-k)d'$   
(1), (2), (4)より,

$$(\text{左辺}) = (\text{右辺}) = (k^2 - 3k + 1)(c' - d') = 0$$

よって,  $C'D' = A'B'$   
同様にして,  $A'B' = B'C' = C'D' = D'E' = E'F'$   
このことから, 五角形の全ての辺が等しいことが証明できた。

内角がすべて等しいことの証明

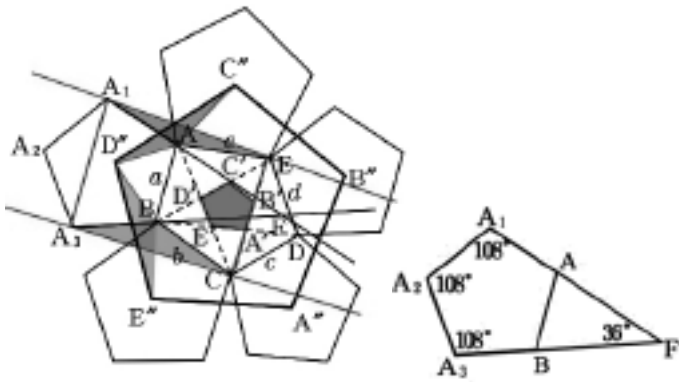


図2

図3

図2のように長さaである辺A3の外の正五角形で, A1, B以外の各頂点をA4, A5, A6とおく。  
A1A5の長さは★より  $(2\cos 72^\circ - 1)a = (\sqrt{5} - 1)a/2$   
A3の長さは★より  $(2-k)a = (\sqrt{5} - 1)a/2$   
よって  $A1A5 = A3$ 。また, A1A5/A3は仮定と正五角形であることから示せるので, 五角形A1A5A3が平行四角形である。よって,  $A1E = A3C$  である。

また, A1AとA3Bの交点をFとし, 四角形A1A5AFを作る。図3のように  $\angle AFA3 = 36^\circ$  である。  
 $\triangle A1A5 \sim \triangle A3AC$  より  $\angle A1A5F = \angle A3AE$   
 $\triangle A3BC \sim \triangle A5BE$  より  $\angle BDE' = \angle BAE'$   
A1F//A3Cであるから  $\angle A1FB = \angle BA3C = \angle A1FA3 = 36^\circ$   
つまり,  $\angle A1A5F + \angle BDE' = 36^\circ$   
また,  $\angle A1A5B = 72^\circ$  であるから  
 $\angle C'D'E' = \angle A1A5B + \angle A1A5F + \angle BDE'$

$$72^\circ + 36^\circ = 108^\circ$$

以下, 同様にして五角形A'B'C'D'E'のすべての内角は108° になって, すべて等しい。

七角形の場合

A3 = a, BC = b, CD = c, DE = c, EF = c, FG = f, GA = g である凸七角形ABCDEFGにおいて, 次の条件を満たすとする

AB = CG = DF, BC = AD = EG, CD = BE = AF,  
DE = CF = BG, EF = DG = AC, FG = AE = BD, GA = BF = CE  
さらにBFとCG, ADとCG, BCとAD, BCとCF, CFとDG, DGとAE, BFとABの交点を順にA', B', C', D', E', F', G' とする。また, 辺AB, BC, CD, DE, EF, FG, GAと1刀を共有し, 七角形ABCDEFGの外側にある正七角形の中心を順にA'', B'', C'', D'', E'', F'', G'' とする。

辺の長さがすべて等しいことの証明

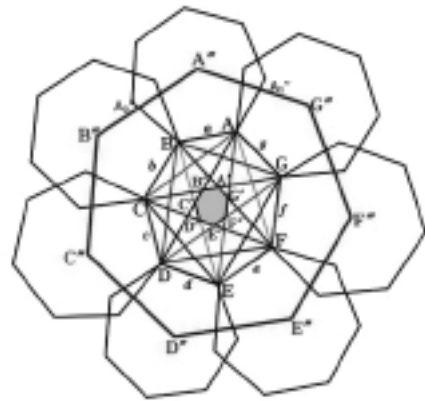


図4

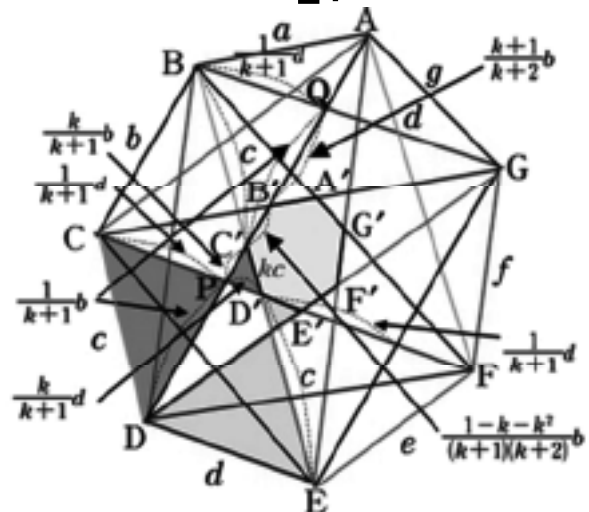


図5

(1)  $\cos 360^\circ = 7$  について  
 $7 \neq 360^\circ$  とすると  $\cos 40^\circ = \cos 30^\circ$  であるから2倍角と3倍角の公式により,  $8\cos^4\theta - 4\cos^2\theta - 3\cos^6\theta + 3\cos^8\theta = 0$   
 $\cos\theta = 1$  とおくと  $-2 < \theta < 2$  であり  
 $8t^4 - 4t^2 + 3t^6 - 3t^8 = 0 \Rightarrow (t^2 - 1)(8t^2 + 4t^4 - 4t^6) = 0$   
 $t = 1$  より  $8t^2 + 4t^4 - 4t^6 = 0 \cdots \textcircled{1}$   
よって  $t$  は  $\textcircled{1}$  かつ  $-2 < \theta < 2$  を満たす値である。  
(2) 七角形 ABCDEFG と七角形 A'B'G'D'F'G' である



こと

①をA)と①の交点、QをA)とBCの交点とする。  
 C)により $\triangle CPD \cong \triangle D'P'C'$ である。  
 C')より $\cos(\theta < \pi)$ とおくと、 $\triangle CPD$ と $\triangle D'P'C'$ の相似比は $1:k$ である。

②より $a^2 - 3a = 1 - 0 \dots \textcircled{2}$ となる

(3)  $\cos \theta$  と  $k$  の関係

ここで、 $k = 2c - 1$  とすると  $1 < 2c < 2$  によって  $0 < k < 1$  となる。これを②に代入すると①に一致する

$1 - \cos \theta, k = 2c - 1$  より  $\cos \theta = (k + 1) / 2$  である。

(4)  $d - a = (k + 1)^2 (a^2 - a^2) / (2k + 3)$  であること

$2a \cos A = a - d = (2 + k) / (1 + k) \cdot d$

$2d \cos B = d - a = (2 + k) / (1 + k) \cdot a$

余弦定理より  $\cos \angle ABC = \cos \angle BDC$  より

$d - a = (k - 1)^2 (a^2 - a^2) / (2k + 3)$

(5)  $G'A' = D'E'$  であること

$d - e = 2d \cos B \cos \theta - a |g| 2a \cos A \cos \theta$

したがって  $G'A' = D'E'$

同様に、 $A'B' = B'C' = C'D' = D'E' = E'F' = F'G' = G'A'$  によって、辺の長さがすべて等しい

**内角がすべて等しいことの証明**

一辺を  $a$  とする、七角形の外側にできる。正七角形の頂点をそれぞれ  $A, B, A_1, A_2, A_3, A_4, A_5$  とする。

(3) より、 $\cos \theta = (k + 1) / 2$  であり、

$A_1A_2 = (2 \cos \theta - 1)a, CG = (2 + k)a$  より、

$A_1A_2 = CG$

また、仮定より、 $A_1A_2 = CG$

よって、四角形  $A_1A_2CG$  は平行四辺形である

五角形と可換にして、すべての内角が等しいと証明できる。

**n 角形の場合**

(1) 前提

$n$  を 5 以上の自然数とする。平行  $n$  角形  $ABCD \dots$  の全ての辺の外側にそれぞれ  $n$  角とした正  $n$  角形を作り、その中心を、 $Q_1, Q_2, \dots, Q_n$  とする。正  $n$  角形から頂点  $Q, P, Q, P, \dots$  とする。(図 6)

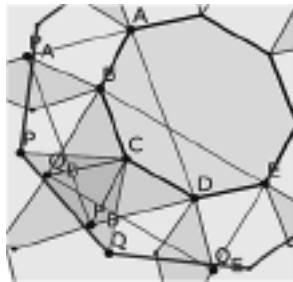


図 6

(2) 辺と対角線の比

線形変換では、直線上の線分比は変化しないので、平行  $n$  角形の辺とその隣り  $n$  角の頂点を結んだ線分の比は全て正  $n$  角形と等しいになる。…(1)

(3) 平行四辺形

正  $n$  角形  $Q$  の  $B$  の隣の頂点を  $Q_1$ 、 $C$  の隣の頂点を

$Q_2$  とする。

ここで、 $BC = AD, BQ_1 = EQ_2$  より  $AD = EQ_2 \dots \textcircled{2}$

①②より、四角形  $ADQ_1E$  は平行四辺形

同様に、四角形  $BCQ_1Q_2$  は平行四辺形

(4) 線分の長さが等しいことの証明

平行四辺形なので、 $AP = DP, BQ_1 = EQ_2 \dots \textcircled{3}$

$\triangle BCQ_1$  と  $\triangle DCQ_2$  は合同なので、 $BQ_1 = DQ_2 \dots \textcircled{4}$

③④より、 $AP = DP = BQ_1 = EQ_2$  となり、この長さを  $2k$  とおく

正  $n$  角形の一辺の長さ(内接円の半径)  $= k$  とすると、

$PC = k - BC, QC = k - QC \dots \textcircled{5}$

$\angle BCQ_1 = \angle DCQ_2$  より、 $\triangle BCQ_1 \cong \triangle DCQ_2 \dots \textcircled{6}$

⑤⑥より、 $\triangle BCQ_1 \cong \triangle DCQ_2$  (相似比  $1:k$ )

$\therefore PQ = 2k$

$QR, RS \dots$  でも同様にして、

$PQ = QR = RS = \dots = 2k \dots \textcircled{7}$

(5) 全ての角が等しいことの証明

正  $n$  角形の内角の大きさを  $\theta$  とすると、

$\angle CBA = \angle QCD = \theta / 2$

正  $n$  角形  $AP$  と  $OP, DP$  と  $PQ$  のなす角は  $\theta / 2$

$\triangle APQ$  より、 $\angle OPQ = \theta$  (同位角)

同様に、 $\angle OPQ = \angle PQR = \angle QRS = \dots = \theta \dots \textcircled{8}$

⑦⑧より多角形  $OPQR \dots$  は正  $n$  角形である。(Q, R, D)

**楕円への拡張**

$n$  を限りなく大きくしたとき、正  $n$  角形は円に、平行  $n$  角形は楕円に近づく。よって、点  $Q$  が楕円を動くとき、点  $Q$  で楕円に接し、半径が点  $Q$  での速反ベクトルの大きさの円の中心  $P$  の軌跡が円になるのではないかという仮説を立てた

媒介変数表示  $x = a \cos \theta, y = b \sin \theta$  で表される曲線上の

点  $Q$  の位置ベクトルは、 $c = (a \cos \theta, b \sin \theta)$ 、

点  $Q$  における速度ベクトルは、

$v = (-a \sin \theta, b \cos \theta)$

速度ベクトルと同じ大きさの法線ベクトルは

$n = (+b \cos \theta, +a \sin \theta)$  (複号  $n$  順)

仮定より  $c = q + n$

$(a \cos \theta, b \sin \theta) = (1 + b \cos \theta, 1 + a \sin \theta)$

$(a - 1) \cos \theta = (b - 1) \sin \theta, (a - b) \cos \theta = -a \sin \theta$

よって、軌跡は楕円の 2 つの焦点の中点を中心とする半径  $a - 1, |a - b|$  の 2 つの円である。(図 7)

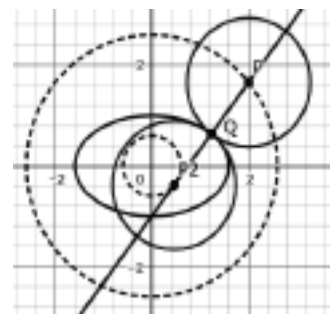


図 7

ナポレオンの定理の拡張からできた区形の面積

任意の正多角形をもとの平行四辺形の外形と内側に置く場合で2通りの正多角形が考えられるが、いずれも正n角形となる。

このとき、図8のように外形の正n角形の面積を  $S_{out}$ 、内側の正n角形の面積を  $S_{in}$ 、平行四辺形の面積を  $S$ 、正n角形の最長の対角線を  $l$  とすると、次式が成り立つと予想した

$$S_{out} - S_{in} = S \cdot l^2$$

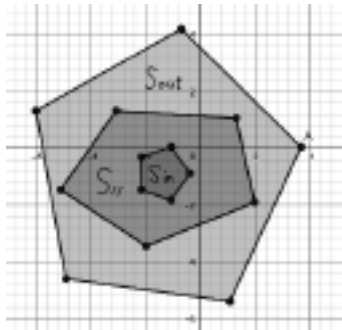


図8

平行n角形は、隣り合う2辺とその間の角が決まればただ一つに決まる。よって、隣り合う2辺の長さを  $a, b$ 、その間の角の大きさを  $\theta$  とする。

(1) 一辺が  $a$  の正n角形の性質

(面積)  $= na^2 / (4 \tan(\pi/n))$

(一辺の長さ)  $= (n-2/n) \pi = \pi - 2\pi/n$

(2)  $S_{out} - S_{in}$

$S = (\text{正n角形の一辺}) / (\text{正n角形の外接円の半径})$

とすると、 $S = 1 / (2 \sin(\pi/n))$

外側、内側の正n角形の1辺をそれぞれ  $a, a'$  とする。

$$x^2 = a^2 + a'^2 - 2a^2 a' \cos(2\pi/n) = (a - 2a'/n + a')^2$$

$$a^2 + a'^2 - 2a^2 a' \cos(\pi + 2\pi/n - \theta)$$

$$a^2 + a'^2 - 2a^2 a' \cos(2\pi/n - \theta)$$

$$a^2 + a'^2$$

$$2a^2 a' (\cos(2\pi/n) \cos \theta + \sin(2\pi/n) \sin \theta)$$

$$y^2 = a^2 + a'^2 - 2a^2 a' \cos(\theta) = (a - 2a'/n + a')$$

$$a^2 + a'^2 - 2a^2 a' \cos(2\pi/n + \theta)$$

$$a^2 + a'^2$$

$$2a^2 a' (\cos(2\pi/n) \cos \theta - \sin(2\pi/n) \sin \theta)$$

$$S_{out} - S_{in} = 4a^2 a' \sin^2(2\pi/n) \sin \theta / (4 \tan(\pi/n))$$

$$= 2a^2 a' \sin(\pi/n) \cos(\pi/n) \sin \theta$$

$$= 4 \tan(\pi/n) \sin^2(2\pi/n)$$

$$= na^2 \sin \theta / (2 \tan^2(\pi/n))$$

(2)  $S$

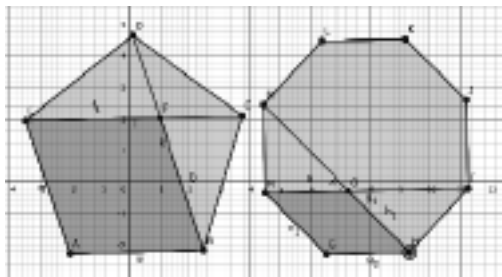


図9

図9の正多角形と平行四辺形を比較して、

(正多角形の面積) (平行四辺形の面積)

$$na^2 / (4 \tan(\pi/n)) + a^2 \sin(\pi - 2\pi/n)$$

$$n / (4 \tan(\pi/n)) \sin^2(2\pi/n)$$

$$n / 8 \tan(\pi/n) \sin^2(\pi/n) \cos(\pi/n)$$

$$n / 8 \sin^2(\pi/n)$$

線形変換では面積の比は変わらないので、

$$S_{out} - na^2 \sin^2(\pi/n) = 8a^2 \sin^2(\pi/n)$$

$$(4) S \cdot l^2$$

$$S \cdot l^2$$

$$= (na^2 \sin^2(\pi/n) - 8a^2 \sin^2(\pi/n)) \{2 - 2 \cos(\pi - 2\pi/n)\}$$

$$= (na^2 \sin^2(\pi/n) - 8a^2 \sin^2(\pi/n)) \cdot 4 \cos^2(\pi/n)$$

$$= na^2 \sin^2(\pi/n) / (2 \tan^2(\pi/n))$$

$$(2), (4) \text{より } S_{out} - S_{in} = S \cdot l^2 = na^2 \sin^2(\theta) / (2 \tan^2(\pi/n))$$

5. 考察

高校数学で証明するとき、偶数角形と奇数角形で証明の方法に違いがあった。また、この方法では九、十角形より多角になると比の値が複雑になり、正確性に欠ける近似でしかできなかったため、別の方法を考える必要があると考えた。

6. 結論

辺とその両隣の頂点を頂に結んだ線分がすべて平行なn角形(正n角形に線形変換を用いた図形)ではナポレオンの定理の拡張が成り立つことが証明された。また、点Qが円周を動くとき、点Qで楕円に接し、半径が点Qでの速度ベクトルの大きさの円の中心Pの軌跡が円になることも証明された。さらに、(外形の正n角形の面積) = (内側の正n角形の面積) = (平行四辺形の面積) / (正n角形の最長の対角線) となることも分かった。

7. 展望

ナポレオンの定理の拡張について、現在十分な証明は行っていないが不要性の証明が課題であるため、研究を続けていきたい。また、高校数学の範囲では三、四、五、六、七、八角形しか証明できず、他の多角形では近似はできるが、証明は出来なかったため、別のアプローチも探したい。

8. 謝辞

本研究は、山口県立徳山高等学校のSS1科授業の助成により行われました。また研究に際し、ご支援いただいた指導教員の西元敬進先生に謝辞を申し上げます。

9. 参考文献

ナポレオンの三角形の拡張(田中泉生、筑波大学付属駒場高校)、ナポレオンn角形の拡張(石塚真人、宮本至、真崎陽夫、岸崎愛加、山田知俊、牧野真月、徳山高等学校)

# 重力加速度とミルククラウン

中野貴人、兵國颯人、一撈流海、谷本悠貴、福永 輝  
 山口県立徳山高等学校  
 指導教員 石馬和宏

## アブストラクト

ミルククラウンとは、牛乳などの若干の粘性を持つ液体において、同じ液体を流った容器はその液面を一滴落とすと、王冠状の形を形成する現象のことである。先行研究では、ミルククラウンの形状は液体の粘度、液面衝突後の経過時間によって変化することが明らかになっている。私たちは今回、ミルククラウンの液面を落とす際の加速度を変えることでミルククラウンの形状にどのような違いがあるかを実験で確かめた。これを確かめることで、重力加速度の異なる他の惑星でも、液体が存在していれば同様の現象が発生するのかなどを推察することができると思われる。

## 1. 研究目的

先行研究では、ミルククラウンの衝突後の経過時間や粘度、液滴が衝突する液体層の深さの違いによるミルククラウンの形成を調査したものが多かった。そこではミルククラウンの直径が衝突後の経過時間の1/4乗に比例する、液体の粘度が大きくなるほどミルククラウンの直径が小さくなる、ミルククラウンの直径は液体層の深さの違いに影響されないことがわかった。しかし、液滴を落とす際の加速度を変えてミルククラウンの直径の大きさを比較した研究はなかった。そこで私たちは、重力加速度の大きさとミルククラウンの直径に関わりがあるかを調べるために今回の研究を行った。

## 2. 研究方法

今回の研究では、(1)ミルククラウンを発生させる装置と(2)重力加速度を調整する装置が必要となる。(2)を(1)に組み込み、1つの実験装置とした。

### (1) ミルククラウンを発生させる装置



図1 ミルククラウン発生装置(左)と装置の断面(右)

### 液滴の加速度の算出方法

実験装置の質量を  $M$  (kg)、おもりの質量を  $m$  (kg) とし、 $M$  の加速度を  $a$  ( $m/s^2$ )、糸の張力を  $T$  (N) とする。

運動方程式より、

$Ma + Mg = T$ 、 $ma - mg = T$  となり、これらの式から  $a$  を導くことで液滴の加速度  $g+a$  を出す。

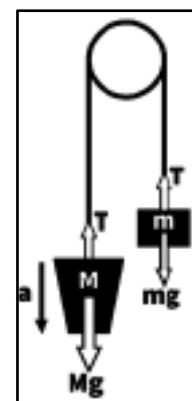


図2 イメージ図

### 実験道具

- ・長さを加したビュレット (・滑車) ・シヤ-レ
- ・ゴム棒 (・組) ・丸くカットしたアクリル板
- ・iPhone12 2台 (・おもり)

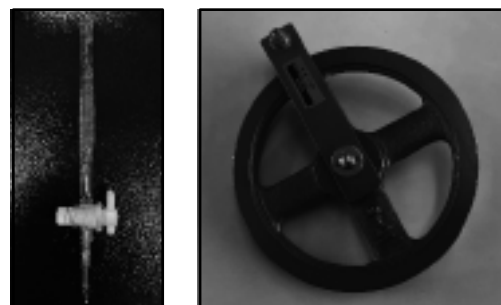


図3 カットしたビュレット(左)と実験に使用した滑車(右)  
 実験手順

- ① 直径9.5cmのシヤ-レに牛乳を注いで液体層をつくる。

- ② 一方に長さを加えたシュート(斜3片)を固定し、液滴用の牛乳を入れる。
  - ③ シュートの向きを直し、等速箱で液滴が下されるように調整してから、シャーレの液体層にミルククラウンを発生させる。
  - ④ 真上からiPhone12の標準カメラで発生したミルククラウンをスローモーション撮影する。(1080p, 240fps, フラッシュ無)
- この際、装置の水平を保つために反対側にも同じ機種 iPhone12 を取り付ける。

**(2) 重力加速度を調整する装置**

①の装置に紐をつける。実験を行う時の天井に定滑車(図3右)を固定し、①の装置の紐を通して紐の先におもりをつける。おもりの質量を変えることで、実験装置内の見かけの重力加速度を変えることができる。今回は重力加速度を  $g(m/s^2)$  として、重力加速度が  $0.3g$ ,  $0.6g$ ,  $1.0g$  となるようにおもりを調整し、それぞれの場面で実験を行った。



図4 実験装置全体(左)と装置の概形(右)

(3) 撮影した映像からミルククラウンの直径を計測する方法

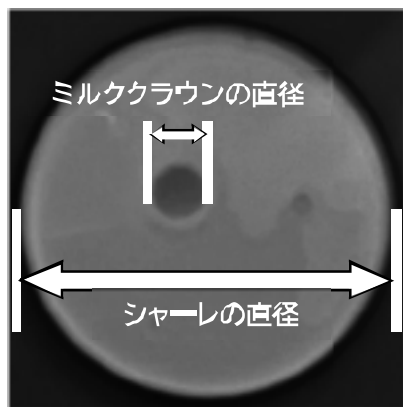


図5 iPhone12 で真上から撮影したミルククラウン

スローモーションで撮影した映像から静止画(図6)を抽出すると以下のような画像が得られる。

真上から撮影しているため、カメラの映像の歪みを無視できるとして、シャーレとミルククラウンの直径の比を甲す。シャーレは  $9.6cm$  であるため、この比と比較からミルククラウンの直径を求める。

なお、ミルククラウンの直径は、ミルククラウンが発生して、崩壊せずに直径が一層で大きくなったところを定義とする。

**3. 仮説**

先行研究では、ミルククラウンの直径が衝突後の経過時間の  $1/4$  乗に比例することから、重力加速度でも同様に重力加速度を大きくするほど、ミルククラウンの直径も大きくなると考える。

**4. 結果**

$1.0g$  の実験では、実験装置を滑車で動かさずに行う。試行は合計 29 回行った。以下に結果を示す。

表1  $1.0g$  でのミルククラウンの直径 (cm)

1回目	1.38	2回目	1.45
3回目	1.46	4回目	1.43
5回目	1.40	6回目	1.45
7回目	1.29	8回目	1.45
9回目	1.37	10回目	1.40
11回目	1.37	12回目	1.29
13回目	1.34	14回目	1.18
15回目	1.29	16回目	1.29
17回目	1.29	18回目	1.29
19回目	1.29	20回目	1.29
21回目	1.27	22回目	1.26
23回目	1.29	24回目	1.37
25回目	1.32	26回目	1.13
27回目	1.29	28回目	1.24
29回目	1.21	平均値	1.32

また、実験装置を滑車で動かす  $0.3g$ ,  $0.6g$  の実験では3回ずつの試行した。

表2 0.3g, 0.6g でのミルククラウンの直径 (cm)

	0.3g	0.6g
1回目	1.56	1.43
2回目	1.48	1.45
3回目	1.40	1.36
平均値	1.48	1.41

得られたデータをもとに以下にグラフを示した

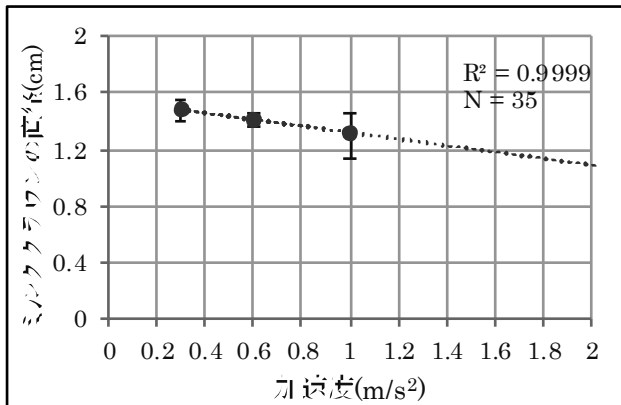


図6 表1, 表2をもとに作成したグラフ

平均値を比較すると、0.3g から順に 1.48、1.41、1.42 (cm) となった。仮説とは異なり、重力加速度が大きくなるほどミルククラウンの直径が小さくなるという結果が得られた

## 5. 考察

今回の実験では、3種の重力加速度を操作した際のミルククラウンの直径の大きさは、0.3g、0.6g、1.0g と増加させるにつれて小さくなるという結果が得られた。また、この結果から図6の近似曲線を作成すると、 $R^2$  値 0.9999 の線形近似が得られた。これが他の加速度でも当てはまると仮定すると、2.0g では 1.09cm となる。また、約 6.78g でミルククラウンの直径が 0 cm となる。しかし、装置の都合上、装置(1)を上昇させながらの測定が困難で、1.0g 以上の測定が出来なかったため、加速度 1.0 (m/s<sup>2</sup>) を境として値の増加減少の推移が変わる可能性も考えられる。先に示した法則性が確かでない可能性もある。

ミルククラウンの直径の値が各実験で変化したことから、ミルククラウンの直径の大きさは重力加速度の大きさに影響を受けるといったことが考えられる。先行研究では速度や衝突速度によってミルク

クラウンの大きさが変わることが示されていたが、さらにもう一つの要素として考えられることになる

また、上のグラフに示されているように、仮定した仮説とは逆に重力加速度を小さくするほどミルククラウンの直径が大きくなるという推移を示す結果となった。先行研究では衝突後の滞留時間の 1/4 乗に比例するという結果だったので時長とは対称的な結果となった。

今回の実験では1回の実験にかかる時間が長く、1.0g 以外の重力加速度で滞留の計測を3回ずつしか行っていないため結果が実験の精度によって左右される場合も考えられる。

数値を読み取る際、iPhone によって撮形された動画を実寸大よりも拡大した画面上で比を算出し、実際の値を算出しているのでも画面上の誤差も拡大によって結果に影響を及ぼしている可能性もある。

## 6. 結論

私たちは、先行研究で相関関係が明らかにされていないミルククラウンの直径と衝突時の重力加速度の大きさとの関係について調べた。

その結果、ミルククラウンの直径は重力加速度の大きさの影響を受けることが判明し、また、その直径の大きさは重力加速度の大きさが大きくなるにつれて小さくなっていくことが分かった。

重力加速度が変わる場面となると宇宙空間となるので、今回の研究から得られた結果は地球外での実験に応用できる可能性がある。

## 7. 展望

今回の実験では実験の精度という面で不足している部分が多々見られたため、より空フレーム数での撮影や、長さの計測など改善できる点を見出し実験するとより正確な結果が得られると思われるので実験できる環境を整えられればと考えている。

また規模の大きさも変化させる試みも行いたい

## 8. 謝辞

本研究において実験のアドバイスや監督を行っていただいた石馬先生をはじめとする先生方に心から

感謝申し上げます。

本研究を実施する機会を提供いただき、実験に必要な不可欠だった実験用具の購入費用の支援をしていただいた SSF 会連の方々にもこの場を借りて感謝を述べさせていただきます。

## 9. 参考文献

### 1. ミルククラウンに関する研究

[https://www.slage.isl.go.jp/article/nagata1982/226/226\\_199.pdf#char=ja](https://www.slage.isl.go.jp/article/nagata1982/226/226_199.pdf#char=ja)

### 2. ミルククラウンの画像解析

[https://ndl.go.jp/view/download/dig\\_depo\\_10971304\\_no\\_AR0005409339.pdf?contentNo=1&LernaLiveNo=](https://ndl.go.jp/view/download/dig_depo_10971304_no_AR0005409339.pdf?contentNo=1&LernaLiveNo=)

### 3. ミルククラウン形成過程における重力加速度の影響について

[https://axa.repo.nii.ac.jp/?action=repository\\_action\\_common\\_download&ten\\_id=1351&item\\_no=1&attribute\\_id=31&file\\_no=1](https://axa.repo.nii.ac.jp/?action=repository_action_common_download&ten_id=1351&item_no=1&attribute_id=31&file_no=1)

# 色素による生分解性プラスチックの分解の差について

青柳 唯 石川 歩 糸谷 小遥 岩崎 愛加 周田 千恵 廣末 佳奈  
山口県立徳山高等学校  
指導教員 西村 みずき

## アブストラクト

私たちは色素の性質のうち耐光性に注目し、耐光性の異なる色素を混ぜた生分解性プラスチックの分解速度の差について研究をした。今回は、耐光性の違いによる分解の差を調べ、それを利用した「時限式プラスチック」を提案することを目的とした。実験結果から、耐光性の高いクチナシ赤色素を混ぜ、紫外線を当てるとプラスチックの分解速度が大きくなることが分かった。これより、クチナシ赤色素をタンパク質性プラスチックに混ぜたものが、時限式プラスチックに適していると推察する。

## 1. 研究目的

現在、日本でも注目されている環境問題の一つは、プラスチック問題がある。この問題を解決するために開発された生分解性プラスチックがあるが、分解に多くの時間を要することが課題となっている。そこで、生分解性プラスチックの分解を促進させることができ、かつ環境に優しいものはないかと考えた。

先行研究より、色素は光に当たることによって活性化状態になり、生分解性プラスチックに混ぜると分解の起点になることが知られている。また、色素の性質の一つに耐光性があり、紫外線照射によって色素自身の分解に差があることも分かっている。本研究では、色素の耐光性によって生分解性プラスチックの分解を促進できると考え、色素の耐光性の違いによる生分解性プラスチックの分解速度の差を明らかにすることを目的とした。その後、結果をもとに光が当たることによって分解がはじまる、丈夫かつ分解しやすい「時限式プラスチック」の提案をした。

## 2. 仮説

色素自身が分解されるとプラスチックの表面積が大きくなり、微生物による分解が効率よく行われると考え、耐光性の低い色素を混ぜた生

分解性プラスチックの方が速く分解されると予想した。

## 3. 研究1（紫外線による変化）

### （1）準備

製品としても売られているポリカプロラクトンプラスチックを提供した

ポリカプロラクトンプラスチックの作り方

① ポリカプロラクトンプラスチックに熱を加え、柔らかくする。

② 100gのプラスチックに1gの色素を振りこむ

③ クッキングシートにはさまみ、アノコンを用いて0.1cm以下の厚さにする。

④ 小型引張圧縮試験機を用いて測定を行うため、機械の規格の大きさに合わせて型を抜く。（図1）

色素には、耐光性の高いクチナシが色素と耐光性の低いベニゴウジ色素を用いた。これらの色素は、その他の性質にはほとんど差異は無い。色素には、炭水化物であるデキストリンが含まれているが、今回の実験には影響しないとした。型める上は微生物の活性化のため堆肥と腐葉土を1：1に混合した。



**図1 ポリカプロラクトンプラスチック  
(左からコントロール、ベニコウジ色素、  
クチナシ赤色素)**

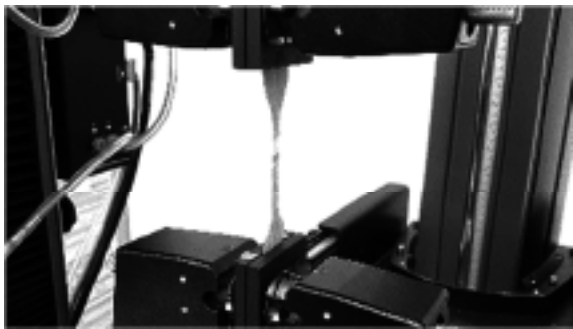
**(2) 実験方法**

ポリカプロラクトンプラスチックにベニコウジ色素とクチナシ赤色素をそれぞれ混ぜ、成形をした。また、コントロールとして何も混ぜていないものを作成した。

作成したプラスチック3種類のそれぞれ半枚には紫外線照射を行った。紫外線照射は、光源から約10 cm離し、12時間照射を2回、合計24時間の照射をした。

照射後、すべてのプラスチックを土に4週間埋め、分解した。微生物が土壌に活動する気温30℃以下の暗室に置き、乾燥防止のため毎日5%の水を与えた。

掘り出したプラスチックの応力を小型引張圧縮試験機で測定し、プラスチックの強度から分解速度の比較をした。(協力：白川産業技術センター) (図2)



**図2 小型引張圧縮試験機**

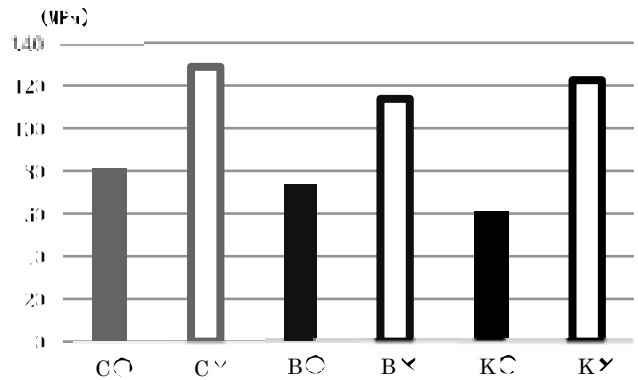
**(3) 結果1**

色素の種類の違いや照射の有無に関わらず色素を加えるとプラスチックの強度は小さくなった。

また、どのプラスチックも照射をすると、強度は小さくなった。

クチナシ赤色素を加えたプラスチックは照射を行うと分解が大きく進み、ベニコウジ色素は変化が小さいことが確認できた。(グラフ1)

表1)



C コントロール B ベニコウジ色素 K クチナシ赤色素  
(○)紫外線照射有 (×)紫外線照射無し

**グラフ1 PGLの応力**

**表1 照射の有無による応力の差**

C	B	K
47.79265	32.10713	61.84828

**(4) 考察1**

実験1の結果から、色素には生分解性プラスチックの劣化を促進する働きがあることが確認できた。また、耐光性の低いベニコウジ色素を混ぜたプラスチックは、紫外線による劣化が小さかった。これは、紫外線の影響がプラスチックではなく、色素そのものに集まったためだと考えられる。さらに、この中で紫外線による劣化が大きいクチナシ赤色素が時装式プラスチックに向いていると考えた。

この実験では、紫外線の有無による色素入りプラスチックの強度の違いが分かった。そこで、次は色素入りプラスチックと微生物分解の関係についての実験を行った。

**4. 研究2 (微生物による分解量の変化)**

**(1) 準備物**

実験1と同様のクチナシ赤色素、ベニコウジ



色素、土を準備した。また、プラスチックにはポリカプロラクトンプラスチックよりも分解が速い、タンパク質性プラスチックを使用した。

（タンパク質性プラスチックの作り方）

- ① 牛乳と豆乳を1：1で混ぜ、加熱する。
- ② 白糖を入れ溶かす。
- ③ 酢を入れかき混ぜ、タンパク質を沈殿させる。
- ④ タンパク質をガーゼで濾しとる。
- ⑤ 均一に伸ばして冷凍し、2cm×3cmの大きさに切る。（図3）
- ⑥ ⑤で切ったものを電子レンジで硬くなるまで加熱する。



**図3 タンパク質性プラスチック**  
（左からコントロール、ペニコウジ色素、クチナシ色素）

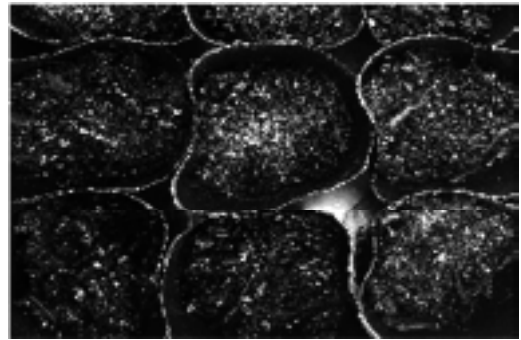
（2）実験方法

タンパク質性プラスチックを実験1と同様の3種類のプラスチックを用意、照射しに埋める。（図4）（図5）

埋めたプラスチックを1週間ごとに取り出し、質量変化をみる。



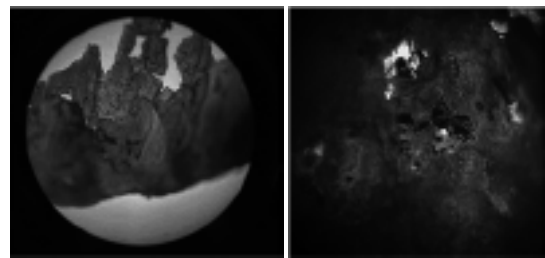
**図4 照射の様子**



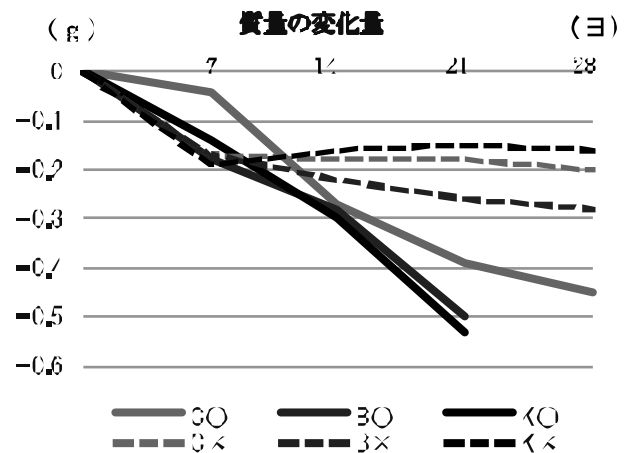
**図5 埋めたポット**

（3）結果2

日にちが経過すると、照射の有無に関わらず質量の変化量の差は大きくなる。また、実験1と同様、クチナシ赤色素は照射の有無による差が大きい。照射をしていないクチナシ赤色素のほうはコントロールよりも分解しないことが分かった。（図6）（グラフ2）（表2）



**図6 タンパク質性プラスチックの顕微鏡写真（右が分解前、左が分解後）**



**グラフ2 質量の変化量**

表2 照射の有無による差の大きさ [g]

照射の有無	7	14	21	28
C	0.13	0.09	0.21	0.25
E	0.01	0.06	0.24	0.24<
K	0.06	0.13	0.38	0.38<

(4) 考察2

実験2の結果から、紫外線照射をしたプラスチックの分解は一定の速度で進んだが、紫外線照射をしていないプラスチックは日が続くと分解速度が遅くなる事が分かる。

耐光性の高いクチナシ色素を混ぜたプラスチックの分解が促進されたのは、紫外線の照射がプラスチックそのものに負ったためだと考えられる。

クチナシ色素を混ぜたものがコントロールより分解されなかったことから、クチナシ色素にはタンパク質性プラスチックの強度を上げる働きがあると分かる。これは、クチナシ色素の成分のゲンピン様タンパク質の架橋作用を持っているためだと考える。

5. 結論

以上により、生分解性プラスチックに耐光性の高い色素を混ぜ、紫外線を照射すると分解が促進されることが分かった。

また、今回の実験で作成した中で時限式プラスチックに迫るのは、一般的なプラスチックよりも架橋作用によって強度が高くなること、紫外線照射後の分解速度が促進されていることから、タンパク質性プラスチックとクチナシ色素の組み合わせであると推察する。(図7)

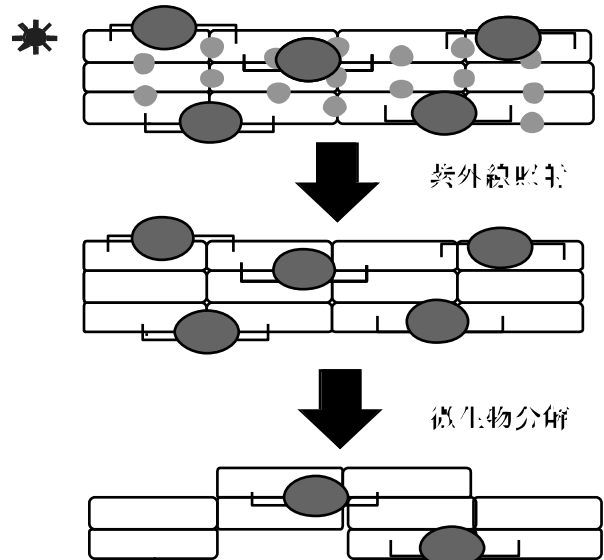


図7 時限式プラスチック模式図

6. 展望

今回の実験では、用いた色素及びプラスチックの種類が少なく、製作したプラスチックの強度も大きかったため結果にばらつきが多くあった。用いるプラスチックの規格を揃えるとともに、その他の色素やプラスチックでの検証を行ってみたい。その中でも、架橋作用をもつ色素に注目し、より実用性の高い時限式プラスチックの開発を行いたい

7. 謝辞

本研究を行うにあたり、ご支援、ご指導をいただいた宮崎県アサヒ飲料株式会社様、株式会社リベネス様に深く御礼申し上げます

8. 参考文献

天然色素/天然着色料 一般社団法人 日光生物科学研究所.2022<https://www.rokkouco.jp/wp/naturalfoodcolor/>  
 菊池武彦,半津木文雄,近部次郎,倉持智宏,伊保六彦. 生分解性プラスチックの分解速度. 1993年 群馬大学教育学部付属中学校. 生分解性プラスチックの研究. 2015年  
 山口哲志,宮崎 高之,立石正典. 組織検査法の開発の現状. 2006年

# 鉄サビにおけるクエン酸の洗浄効果の検証

清水 一希、小田 勇良、田中 一貴、西川 裕吉

山口県立徳山高等学校

指導教員 田中 雅人

## アブストラクト

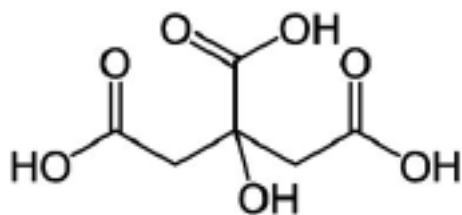
クエン酸の鉄サビへの洗浄効果を検証するために、クエン酸の持つ酸性やキレート作用の性質が鉄サビへの洗浄効果に及ぼす影響について検討した。吸光光度法を利用して、クエン酸と鉄(III)イオンでのキレートによる黄褐色の水溶液で透過率を測定した。鉄(III)キレートの形成量は、pH が大きいほど多くなった。陰イオンの影響については、ナトリウムイオンはキレート形成を大きく阻害しなかったが、カルシウムイオンの共存条件下ではキレート形成量が約 62%まで減少した。以上より、クエン酸で鉄サビを落とすなら、よりクエン酸イオンの量を増やすために pH を酸性に調整したクエン酸ナトリウムを利用すると効果的であると考えられる。

## 1. 研究目的

クエン酸 (Citric Acid) は、家庭での簡易清掃に広く使われており、特に水垢や鉄サビへの効果が有外である。しかし、水垢と鉄サビの洗浄にはそれぞれ異なる洗剤を使う必要があり、それぞれの洗浄の仕組みは詳しく知られていない。そこで、鉄サビに注目して、クエン酸によって水垢と鉄サビを同時に洗浄するための条件を見つけることを目的とした。

## 2. 仮説

クエン酸は、カルボキシ基を3つ持つ弱酸で、0.100mol/L 水溶液の pH は約 2.2 である。金属イオンを配位して強いな結合を作るキレート作用を持っている。鉄サビの主成分は酸化鉄(III) (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)であることが知られている。クエン酸によって鉄サビを洗浄できる理由は、酸性度とキレート作用のどちらかが作用するのではないかと予想した。



【図1】クエン酸 (C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>7</sub>) の構造式

## 3. 研究方法

実験には、鉄板の酸化により行われた鉄サビを反

射した。クエン酸と鉄サビを反応させる際、キレートを変化させるために、25℃に設定したインキュベーターで24時間反応させた。

クエン酸によって落とされた鉄サビは、溶液中に存在することを利用して、溶けだした鉄サビを定量するために分光光度法を用いた。これは、分光光度計などを用いて水溶液に一旦入射した光を透過させ、その前後の光の差を比較することで、透過率や吸光度を測定する手法である。

透過率からも算出できる吸光度には、ランベルト・ベールの法則によって、溶液のモル濃度と比例することが分かっている。これを生かして、濃度既知の水溶液を分光光度計で透過率を測定し、吸光度について検量線を作成し、それぞれの溶けだした鉄サビを定量した。また、ブランクは鉄サビと 20mL の蒸留水を共存させたものとした。

## 4. 実験手法

### (1) 鉄サビの生成

20mL × 70mL × 10mL の鉄板を濃硝酸と 30% 酸化水素水の混合液に 24時間浸けこむで酸化させた。

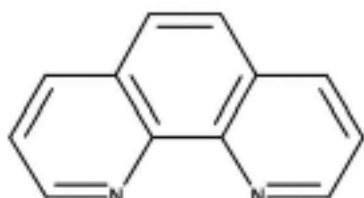
### (2) 検量線の作成

以降の実験で溶けだした鉄サビを定量するために検量線を作成した。

### ① Fe<sup>3+</sup>-フenantロリン鉛体検量線

1.00mmol/L 硝酸アンモニウム鉄(II)六水合物( $(NH_4)_2Fe(SO_4)_6 \cdot 6H_2O$ ) 標準溶液を調製した。4本の50mLメスフラスコにそれぞれ0mL、1.0mL、3.0mL、5.0mLの標準溶液を計量した。水溶液中の $Fe^{2+}$ をすべて $Fe^{3+}$ に還元するために6%塩酸ヒドロキミルアミン( $HONH_2 \cdot HCl$ )を5mLずつ入れた。その後、それぞれのメスフラスコに1g/L、10-フェナントロリン水溶液を5mLずつ入れた。最後に、それぞれの溶液のpHを6.2にするために、0.1mol/L酢酸-酢酸ナトリウム緩衝液を1.0mLずつ入れて50mLの水溶液を調製した。

その後、分光光度計(SPECTRONIC 20-)を用いて、調製したそれぞれの水溶液を $Fe^{3+}$ -フェナントロリン錯体の極大吸収波長である510nmで透過率を測定して、検量線を作成した。



【図2】1,10-フェナントロリンの構造式

## ② $Fe^{3+}$ -クエン酸キレート検出線

市販のクエン酸鉄(III)三水合物( $FeC_6H_5O_7 \cdot 3H_2O$ )を0.13と近似して、 $1.00 \times 10^{-4}mol/L$ の標準溶液を調製した。250mLメスフラスコで希釈すると透過率の差が大きく現れなかったため50mLメスフラスコを用いて希釈した。4本の50mLメスフラスコに標準溶液をそれぞれ0mL、10mL、20mL、30mLずつ入れて50mLの水溶液を調製した。

分光光度計(SPECTRONIC 2)付分光光度計のマルチ波長測定を用いたところ、340~880nmの範囲で透過率のピークは観察できなかつたため、最も透過率が小さかつた420nmで検出線を作成した。

## (3) 研究1 1,10-フェナントロリンによる洗浄効果の検討

以下の3つの条件で鉄サビとクエン酸を共存させた。

- ① 0.100mol/Lクエン酸水溶液20mL。
- ② アンモニア水( $NH_3$ )を用いてpH1.5に調整した0.100mol/Lクエン酸水溶液20mL。

- ③ 塩化アンモニウム( $NH_4Cl$ )を用いてpH1.5に調整した0.100mol/Lクエン酸水溶液20mL。

反応後の水溶液を、実験手法(2)検出線の作成と同様に、 $Fe^{3+}$ を $Fe^{2+}$ に還元して発色させた。その後、得られた水溶液をpH1.2に調整して、50mLの水溶液を調製した。その後、分光光度計を用いて $Fe^{3+}$ -フェナントロリン錯体の極大吸収波長である510nmで透過率を測定し、吸光度や溶けだした酸化鉄(III)の質量を算出した。また、水溶液と共存させた鉄サビの表面を観察した。

## (4) 研究2 $Fe^{3+}$ -クエン酸キレートによる洗浄効果の検討

以下の3つの条件で鉄サビとクエン酸を共存させた。

- ① 0.100mol/Lクエン酸水溶液20mL。
- ② 塩化アンモニウムを用いてpH1.5に調整した0.100mol/Lクエン酸水溶液20mL。
- ③ アンモニア水を用いてpH11に調整した0.100mol/Lクエン酸水溶液20mL。

反応後の水溶液をろ過して、溶けなかつた鉄サビを分離して、200mLの水溶液を調製した。その後、分光光度計を用いて検出線作成と同様に420nmで透過率を測定し、吸光度や形成した $Fe^{3+}$ -クエン酸キレートの物質量を算出した。また、分離した鉄サビの質量を測定した。

## (5) 研究3 軽金属イオンによる洗浄効果の阻害の検討

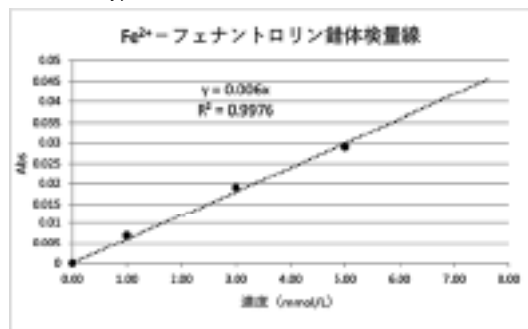
以下の3つの条件で鉄サビとクエン酸を共存させた。

- ① 0.100mol/Lクエン酸水溶液。
- ② 塩化ナトリウム( $NaCl$ )を1.0mmol添加した0.100mol/Lクエン酸水溶液。
- ③ 塩化カルシウム( $CaCl_2$ )を1.0mmol添加した0.100mol/Lクエン酸水溶液。

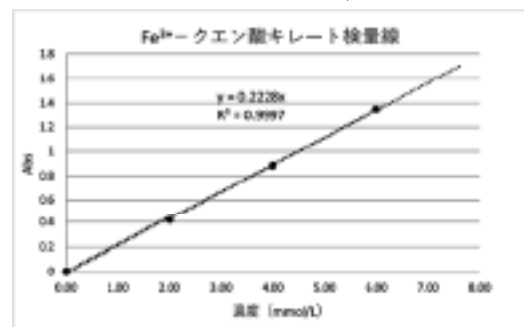
反応後の水溶液をろ過して、溶けなかつた鉄サビを分離して、200mLの水溶液を調製した。その後、分光光度計を用いて得られた各水溶液が420nmの光を最も吸収することを確認して透過率を測定し、吸光度や形成した $Fe^{3+}$ -クエン酸キレートの物質量を算出した。分離した鉄サビの質量を測定した。

5. 結果

(1) 検量線の作成



【グラフ1】Fe<sup>2+</sup>-フェナントロリン錯体検量線

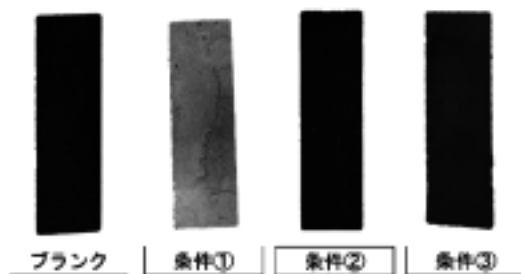


【グラフ2】Fe<sup>2+</sup>-クエン酸キレート検量線

(2) 研究1

【表1】研究1で測定した透過率の平均値から算出した吸光度・濃度・物質量

	条件①	条件②	条件③
透過率(%)	60	-	49
吸光度	0.222	-	0.310
濃度(nmol/L)	38.2	-	23.4
物質量(nmol)	7.65	-	10.7



【図3】研究1における24時間後の各条件で共存させた鉄サビの表面

- ・条件②はブランクよりも透過率が大きくなり各何の算出ができなかった。
- ・条件①、条件③ではフェナントロリンで全色させ

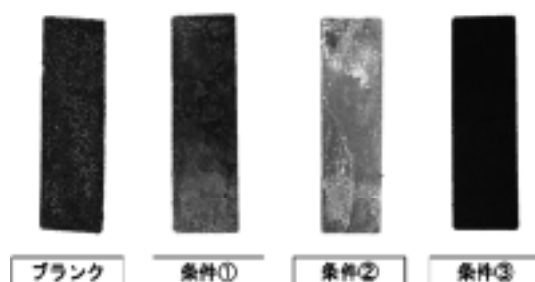
る前から水溶液が黄褐色に変化した。

- ・どの条件でも水に溶けなかったサビ由来の物質による濁りが見られ、特に条件③に多く見られた。

(3) 研究2

【表2】研究2で測定した透過率の平均値から算出した吸光度・濃度・物質量

	条件①	条件②	条件③
透過率(%)	12.5	10.8	117.1
吸光度	0.839	0.967	-
濃度(nmol/L)	3.966	4.34	-
物質量(nmol)	0.753	0.808	-



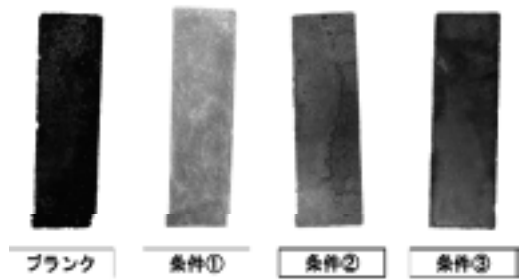
【図4】研究2における24時間後の各条件で共存させた鉄サビの表面

- ・条件③はブランクよりも透過率が大きくなり各何の算出ができなかった
- ・条件②の方が①よりも水溶液の色が濃かった
- ・表面の鉄サビの溶け具合は、条件①と②では大きく変わらなかった
- ・条件①、②、③、ブランクにおける共存させたサビの質量はそれぞれ0.023g、0.022g、0.031g、0.016gだった。

(4) 研究3

【表3】研究3で測定した透過率の平均値から算出した吸光度・濃度・物質量

	条件①	条件②	条件③
透過率(%)	14.5	18.9	30.1
吸光度	0.839	0.724	0.521
濃度(nmol/L)	3.77	3.25	2.334
物質量(nmol)	0.753	0.650	0.468



【図6】研究3における24時間後の各条件で共存させた鉄サビの表面

- ・Na を 1.0mmol 添加すると、形成されるクエン酸キレート物質量は 0.103mmol 減少した。
- ・Ca を 1.0mmol 添加すると、形成されるクエン酸キレートの物質量は 0.285mmol 減少した。
- ・表面の鉄サビの落ち具合などの条件でも大きく変わるなかったが、条件③では若干黒ずみが見られた。
- ・条件①、②、③、ブランクにおける分離させたサビの質量はそれぞれ 0.023g、0.026g、0.026g、0.016g だった。

## 6. 考察

### (1) 研究1

条件③について、透過率が大きくなりむしろ定量できなかった理由として、ブランクよりも pH が大きいためであると考えられる。

条件①と③を比較すると、pH が小さい条件①の方が、透過率が小さいことから溶けだした鉄サビが多いことが分かる。酸化鉄(III)は塩基性化合物であることから、鉄サビの表面により作用するのは、酸性条件であることが示唆される。

条件①、条件③において水溶液が色づいており、フュナントロリンによる鉄体の色と混ざることによって 510nm において濃度を正しく測定できてないと考えられる。また、水溶液の濁りも、濃度を正しく決定できなかった要因であると考えられる。

### (2) 研究2

透過率が条件①と比較して条件②が小さいことから、pH が小さい条件②の方がクエン酸とキレートを形成した鉄サビが多いことが分かる。また、pH が小さい方が沈殿したサビの質量が大きいことが

からも、酸性条件である方が鉄サビの表面に作用することが、研究1と同様に示唆された。

### (3) 研究3

条件①と②を比較すると、ナトリウムイオンは鉄のキレート生成を大きく阻害しないことが分かった。このことから、水溶液中のクエン酸イオンを増やすためにクエン酸ナトリウム水溶液を鉄サビ溶として任用したい。

条件①と③を比較すると、カルシウムイオンは Fe<sup>3+</sup>-クエン酸キレートの形成を阻害していることが分かる。このことより、水垢と共存した鉄サビを溶かそうとすると洗浄効果が半減される可能性がある。また、表面の黒ずみは溶けだした鉄サビが存在したものと考えられる。

## 7. 結論

表面の鉄サビを効率よく落とすには、溶液を酸性条件にするほど落ちやすく、カルシウムイオンが共存すると、Fe<sup>3+</sup>-クエン酸キレートの形成を阻害することがわかった。このことから、キレート形成によって鉄サビの洗浄効果を高めるためには、よりクエン酸が溶解しやすいクエン酸ナトリウム水溶液を、洗浄条件下で用いることが効果的である。

## 8. 謝辞

この研究を監督していただいた上田先生に感謝申し上げます。また、研究環境を整えてくださった理学部化学院にも感謝申し上げます。

## 9. 参考文献

山口 順子、コ母村 栄、大矢 勝「クエン酸によるカルシウム系汚れの洗浄に対する消費者情報の実験的検証」

一般社団法人日本家政学会誌, 2019, Vol. 70, No. 10, Page643~662

2. 佐藤 香枝、今永 幸子、森川 命「パーソナル分光光度計を用いた鉄イオン及びタンパク質の定量分析」

[https://www.ijsi.ac.jp/ijst/article/annals/annals/2021/05/05\\_033\\_027](https://www.ijsi.ac.jp/ijst/article/annals/annals/2021/05/05_033_027)

# 果物が本来持つビタミンCをできるだけ保ったキウイのドライフルーツの開発

山田 知優 山崎 佑香 藤ハ 英清 吉永 成宗

山口県立徳山高等学校

指導教員 重森 大輝

## アブストラクト

キウイには多くビタミンCが含まれているが、ドライフルーツに加工することでビタミンCが失われている。そこで、ドライフルーツにおけるビタミンC量の減少理由と減少を防ぐ方法を研究した。本研究ではドライフルーツの製作過程で前処理と乾燥方法をそれぞれ変化させて実験を行い、乾燥前と乾燥後のビタミンC量を比較した。その結果、前処理では70℃の1%砂糖水で行ったもの、乾燥方法では熱風乾燥で乾燥させたものが最もビタミンC残存量が多くなることが分かった。今後はよりビタミンC量の減少を抑制できる前処理・乾燥方法を研究したい。

## 1. 研究目的

近年、栄養食として注目されているドライフルーツは果物が本来持つビタミンCを失っている。先行研究では、野菜のビタミンC量の減少理由と減少を防ぐ方法は明らかにされているが、果物のビタミンCの差違については述べられていない。そこで、本研究では、ビタミンCを多く含むキウイに着目して、ドライフルーツのビタミンCの減少理由とビタミンCの減少を防ぐ方法を見明らかにする。また、ビタミンCを豊富に含むドライフルーツを作成することで、ビタミンCのサプリメントの代用として、手軽に摂取できるようになるのではないかと考えた。

## 2. 仮説

ビタミンCは水溶性であり、前処理の段階で水に多くのビタミンCが溶けだしていると考えたため、溶質を加えることでビタミンCの溶解度が変化し、ビタミンCが多く残ると予想した。また、ビタミンC量の増減は、溶解度と関係があると考えたため、水温の高いものはビタミンCが溶けやすく、残存量が少なくなると予想した。さらに、ビタミンCは熱に弱く、乾燥の段階で多くのビタミンCが失われていると

考えたため、真空凍結乾燥、自然乾燥、熱風乾燥、加熱乾燥の順にビタミンCが多く残ると予想した。

## 3. 研究方法

キウイのドライフルーツ以下の方法で作成する。  
①皮をむき、0.5cm幅にカットする。  
②100mLの溶液に1分間浸す前処理を行う  
③乾燥させる。

今回の研究において、キウイのドライフルーツは、キウイの質量が乾燥前の質量の20%以下まで減少したら、乾燥完了とみなした。

また、ビタミンC量の測定は、2倍希釈したキウイの果汁10mLを $3.87 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$ ヨウ素溶液を用いてヨウ素滴定により測定した。

### (1) 研究1 前処理を変化させる

①キウイの皮をむいた後、個体差を減らすために、複数体のキウイのスライスを混合させ、50g量り取る。

②①のキウイのビタミンC量を測定する。



↑図1  
前処理

- ⑤ 蒸留水、1%砂糖水、1%食塩水、1%デンプン溶液の4種類の溶液の水温を70℃、15℃、5℃に変化させた計12種類の溶液を作る
- ⑥ ⑤で作った溶液を用いて、図1のようにそれぞれ前処理を行う。
- ⑦ カゴの発生を防ぐために、④で前処理を行ったキウイの水分をふき取る。
- ⑧ 自然乾燥の方法で乾燥させる。
- ⑨ 乾燥後のキウイのビタミンC量を測定し、乾燥前のキウイのビタミンC量と比較する。

(2) 研究Ⅱ 乾燥方法を変化させる

- ① キウイの皮をむいた後、固形量を減らすために、複数個のキウイのスライスを混合させ、50gほどにする。
- ② ①のキウイのビタミンC量を測定する。
- ③ 15℃の蒸留水を用いて前処理を行う。
- ④ カゴの発生を防ぐために、③で前処理を行ったキウイの表面の水分をふき取る。
- ⑤ 乾燥方法を以下の3通りに変化させ、乾燥させる。
  - ⑤-1 600Wの帯電レンジで余分な水分をふき取りながら加熱する加熱乾燥
  - ⑤-2 マイラノヤの熱風を当てて乾燥させる熱風乾燥
  - ⑤-3 室外にキウイを干し、日光を当てて乾燥させる自然乾燥
  - ⑤-4 真空凍結乾燥機を用いてキウイを凍結し、真空にして水分をとばす真空凍結乾燥



↑ 図2 熱風乾燥



↑ 図3 真空凍結乾燥機

- ⑥ 乾燥後のキウイのビタミンC量を測定し、乾燥前のキウイのビタミンC量と乾燥前と比較する。

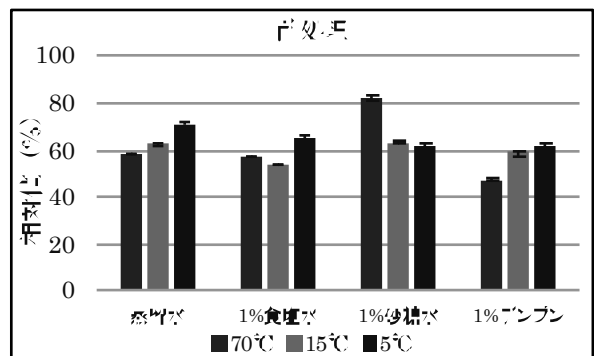
4. 結果

(1) 研究Ⅰ 前処理を変化させる

研究Ⅰにおいて、乾燥の過程は、図4、図5のように自然乾燥で行った。結果は、表1、グラフ1のようになった。

表1 前処理によるビタミンC量の変化

水質	蒸留水	食塩水	砂糖水	デンプン
15℃	62.5	53.8	53.2	59.1
70℃	58.7	57.3	81.9	47.4
5℃	71.2	61.8	61.9	61.7



グラフ1 前処理によるビタミンC量の変化



↑ 図4 乾燥前



↑ 図5 乾燥後

1%砂糖水・70℃が最もビタミンC残存率が多くなった。また、1%デンプン・70℃が最もビタミンC残存率が少なくなった。食塩を除いて、水温が高いほど、ビタミンC量の差が大きくなった。砂糖水・70℃以外は、蒸留水に比べてビタミンC残存率を増やす作用がなかった。水温15℃、5℃の時、デンプンは全て溶けず、溶液が白濁した。

前処理に用いた溶液の違いがドライフルーツの見た目やにおい等に影響を与えておらず、乾燥後のキウイの見た目はどのキウイも同様であった。

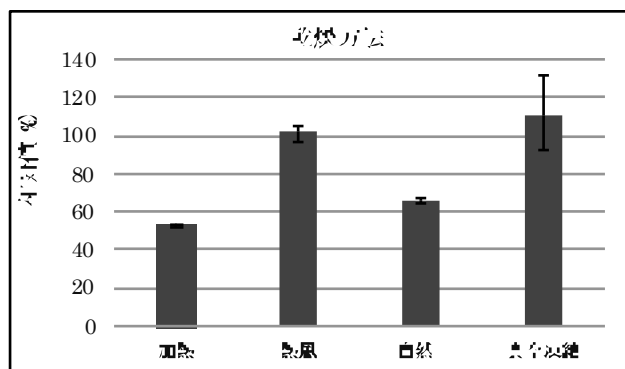


## (2) 研究Ⅱ 乾燥方法を変化させる

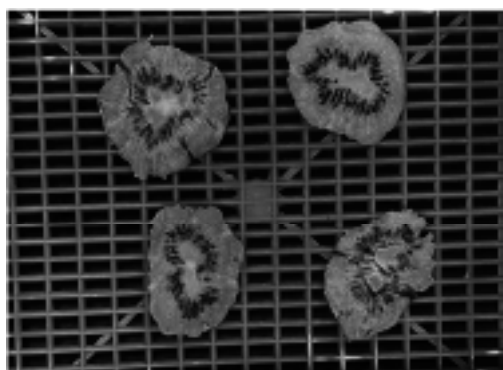
器具は、表2、グラフ2のようになった。乾燥後のキウイは、図6、図7、図8、図9のようになった。

表2 乾燥によるビタミンC量の变化

乾燥方法	対値(%)
加熱乾燥	52.4
熱風乾燥	102.2
自然乾燥	66.4
真空凍結乾燥	112.2



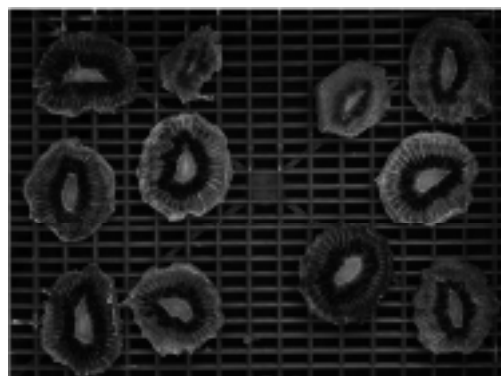
グラフ2 乾燥によるビタミンC量の変化



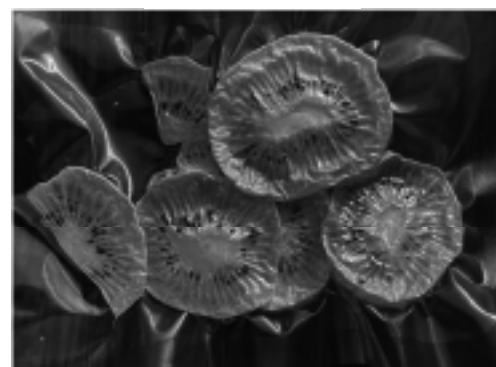
↑ 図6 加熱乾燥



↑ 図7 熱風乾燥



↑ 図8 自然乾燥



↑ 図9 真空凍結乾燥

熱風と真空凍結のビタミンC残存率が多くなった。しかし、真空凍結では結果のばらつきが大きくみられた。

加熱乾燥は、電子レンジで加熱したため、キウイの表面が少し焦げた(図6)。熱風乾燥は、乾燥前のキウイと見た目に大きな変化はなかった(図7)。自然乾燥では、少しがぶり、透切になった(図8)。真空凍結乾燥をしたキウイは乾燥前に比べて乾燥後のほうが、色が薄く、パリパリになった(図9)。また、真空凍結乾燥したキウイは、乾燥後のビタミンC量が乾燥前と比較して増加したものが減少したものがみられた。

## 5. 考察

### (1) 研究Ⅰ 前処理を変化させる

1%砂糖水で前処理を行ったキウイのビタミンC残存率が多かったことから、キウイの表面が砂糖の粒でコーティングされることでビタミンCの減少を抑制できると考えられる。デンプン溶液で前処理を行ったキウイの乾燥後のビタミンC

ンC量が大きく減少したことから、デンプンからせん屑渣にビタミンCの粒子が終まり、溶液中に流れ出すため、ビタミンCが大きく減少すると考えられる。また、前処理に用いる溶液の粘度の差がビタミンC残存量の差と人体同じであったことから、粘度が高いほど、ビタミンCの溶解度が大きくなるため、溶液によるビタミンC残存量の差が大きくなると考えられる。

## (2) 研究Ⅱ 乾燥方法を変化させる

加熱乾燥、自然乾燥でビタミンC量が大きく減少したことから、ビタミンCは紫外線、マイクログ波に弱いと考えられる。比較的、乾燥時間の短い熱風乾燥のビタミンC残存率が、乾燥時間の長い自然乾燥より多かったことから、ビタミンCは還元性であるため、酸化により減少すると考えられる。真空凍結乾燥において、乾燥後のビタミンC量が乾燥前と比較して増加している個体があったことから、真空凍結でのビタミンC量の増減には、キウイの細胞壁が関係していると考えられる。

## 6. 結論

キウイをドライフルーツに加工した際はビタミンC量が大きく減少するのは、前処理時に、長時間水に浸し、ビタミンCが前処理を行った溶液に溶け出しているためだと考えられる。

また、ビタミンCは還元性であるため、酸化により減少する。そのため、ビタミンCの減少を抑えるためには、比較的乾燥時間が短い乾燥方法で乾燥することや真空凍結乾燥のような加工前の状態をなるべく失うことが可能な乾燥方法が理想的であると考えられる。

したがって、50℃の1%砂糖水で前処理を行い、熱風乾燥で乾燥させたものが最もビタミンC量が多くなると考えられる。

## 7. 展望

今回作成したドライフルーツは、生の状態のキ

ウイと比較して、ビタミンCが減少しているため、よりビタミンC量の減少を抑えられる前処理・乾燥方法の研究をしたい。70℃1%砂糖水で前処理を行い、熱風で乾燥させたキウイを試食したところ、美味が非常に強く、口に合わないという意見が多かったため、甘みの多いドライフルーツの作成をしたい。真空凍結乾燥においてビタミンC量が増加する原因は、キウイの細胞壁が破壊され、細胞内のビタミンCが細胞外に放出されたことであると仮説を立てているが、今後、この仮説の検証とビタミンC量が増加する条件の研究をしたい。また、作成したドライフルーツを1週間程度、常温で保存したところ、キウイの表面が赤褐色に変化した。これは、酸化によるものであると推測されるため、キウイの本来的な色を長期間保持できるような酸化防止法を研究したい。

## 8. 謝辞

今回、この研究を行うにあたり、アロハ飲料株式会社様、株式会社リバネス様に多大なご支援をいただきました。定期的なメンタリングで研究のアドバイスをしていただいたアロハ飲料株式会社様、このような機会を提供して下さった株式会社リバネス様には本当に感謝しています。また、実験の準備をして下さった先生方、ありがとうございました。

## 9. 参考文献

- 高橋徹三、「ビタミンCの各種測定法」(分析化学、1958年、第8巻、536ページ～542ページ)
- 西村敬子「乾燥キウイのビタミンC変化について」(愛知教育大学研究報告、1980年、49ページ～54ページ)
- 人羽和子、「貯蔵、処理および加熱調理に伴うジャガイモのビタミンC含量の変化」(日本家政学会誌、1988年、10号、1051～1057ページ)
- 北川幸彦、「ビタミンCに及ぼす紫外線の影響(第1報)」(栄養と食料、1967年、第20巻、第5号、68～73ページ)

# 自分の声を相手に伝えたい

廣川大輝、中村杏心、糸川一貴、山下知明

山口県立徳山高等学校

指導教員 三原三希子

## アブストラクト

自分自身の聞こえている声の研究にあたって、気導音と骨伝導音を周波数の大小から区別し、骨伝導音が音にもたらす影響の度合いについても考察する。完全な理論的な言えないが、一部人間の感覚を利用して、高校物理の範囲内で現象について、比較・検定を行い、データを整理することで、気導音と骨伝導音の違いを定量的に分ける。さらに、骨伝導を頭蓋の大きさ・形の要素と絡めて捉えることで、骨伝導の及ぼす影響について、内容を深める可能性を示唆する。

## 1. 研究目的

自分の声を録音して聞いてみると、普段発声するときと同じく自分の声との正確に違和感を感じることもある。この原因は骨伝導音と気導音との周波数の差であるが、実際どれくらいの差があるのか、どのような親しみがあるのかは不明である。本研究はその疑問に焦点を当て、さらにその往來をもとに、気導音から音域聞いている自分自身の声を生成できるのではないかという展望をもとに開始した。

## 2. 仮説

普段発声時に聞く自分の声は骨伝導音により、全体の周波数が小さくなっており、また、波の干渉の面から鼓蓋の大きさもこれに関係しているのではないかという仮説が立てられた。

## 3. 研究方法

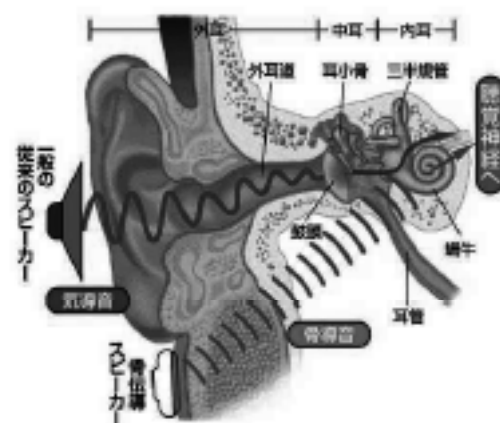
### (1) 事前知識

#### <骨伝導音と気導音>

伝わる音の種類は骨伝導音と気導音との二種類が存在する。通常の外から聞く音が気導音であり、これは空気を媒質として伝わる。一方で、骨伝導音とは鼓蓋骨などの骨の一部振動に含まれるものである。例えば、舌鼓発音するとき聞いている自分自身の声は空気を媒質として伝わる気導音と骨を媒質として

伝わる骨伝導音が混じったものである。一方で、自分の声を録音したものは骨伝導音が含まれておらず、音を構成しているのは気導音のみである。録音した自分の声を聞いてみたときに違和感が生じるのはそれ故であると考えた。さらには、骨伝導音のほうが気導音と比較して、周波数が小さくなるということが知られている。

### ●耳の構造



骨伝導音と気導音の図

### (2) 予備実験一〇日

- ① メンバー全員の声をも骨伝導マイクとスマートフォンの録音機能を用いて、それぞれで録音する。
- ② 骨伝導マイクで録音した音を骨伝導

音、スマートフォンで録音した音を気導音とそれぞれみなし、音声解析アプリを用いて、種について比較する。

### (3) 予備実験二回目



マネキンにイヤホンを埋め込む様子

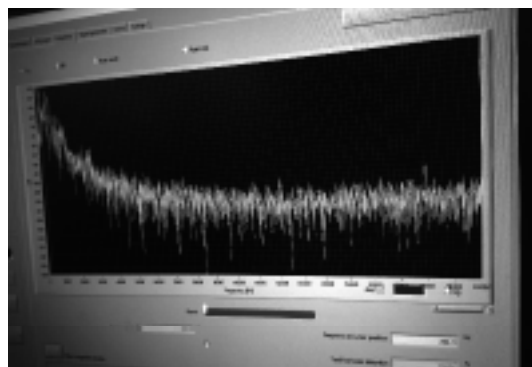
- ① 発音スゴコル製のマネキンにマイクを埋め込み、マネキン自体に音を流して集音する。
- ② 集音した音がどのくらい骨伝導による形變を受けたのかということについて、音声解析アプリを用いて、解析する

※二回の予備実験から意味が得られなかった原因はマネキンの材質と骨伝導マイクフォンの欠陥にあるとして、本実験へと方針を変更した。

### (4) 本実験

- ① マンパ全員の声について、マイクを用いて、集音する
- ② 音声解析アプリを用いて、集音した気導音のピッチを変更する。被験者は自分自身の声の気導音のピッチを調整し、骨伝導音に最も近いピッチを調べる。なお、骨伝導音が音の周波数を小さくするという情報による信りをなくするため、被験者とは別の実験参加者が変更なし、5%変更、3%変更（5%と3%変更についてはそれぞれ加えた場合と引いた場合との二種類）の計六種類の音声ファイルを作

成し、被験者はそのうちからランダムな順番で順に聞くという方針を立てた



実験の様子（フーリエ変換）

## 4. 結果

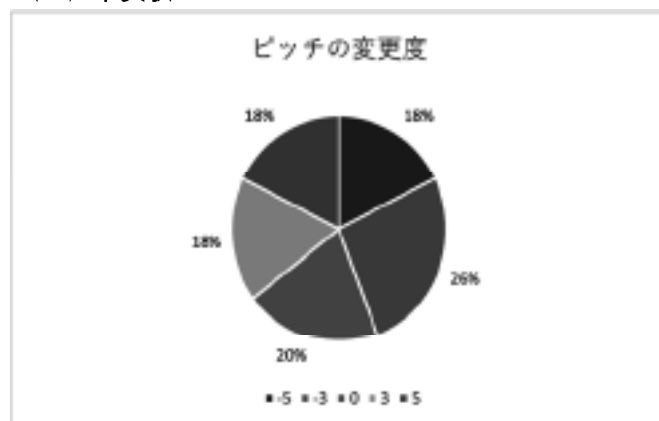
### (1) 予備実験一回目

骨伝導マイクフォンを用いて集音した音とスマートフォンを用いて集音した音の二種類の音の間には周波数の差は3~5Hzと、ほとんどなかった。さらに、被験者ごとを比較したが、規則性は全く見られなかった。

### (2) 予備実験二回目

音源の音と集音した音の二種類の音の間には周波数の差は5~10Hzと、ほとんどなかった。

### (3) 本実験



グラフ1 (ピッチの変更度について)

グラフ1からわかるように

- ① ピッチを5%下げた場合 18%
- ② ピッチを3%下げた場合 26%
- ③ ピッチ変更0%の場合 20%

④ ピッチを3%上げた場合 18%

⑤ ピッチを5%上げた場合 18%

であった。

全体として、ピッチを上げた割合は44%、変更なしの割合は20%、ピッチを下げた割合は36%をそれぞれ占めた。

## 5. 考察

### (1) 予備実験 1. 2

— 1Fについては、二種類の音の周波数の差はほとんどなく、被験者ごとの比較においても規則性がみられなかったことから、実験結果はほぼ誤差であったといえる。

— 2Fについても、二音目と三音目、二音目の音の差がほぼなかったことから、実験結果はほぼ誤差であったといえる。

骨伝導マイクコフマン (SONY 製) は使用感と実験結果から考えるに、そもそも骨伝導音を集音できているのか信頼性がないと推察付けられた。念のため、カスタマーサポートセンターに相談したが、骨伝導かどうかは保証しきれぬとの回答だった。

同様に、マネキンの材質に対して問題があったと考えられる。骨と発音スチロールには大きな密度の差があり、マネキンを通じて集音した音は骨伝導音とみなすには条件が不十分であった。

以上の理由により、二音の予備実験では望む結果が得られなかったのではないかと推察される。

### (2) 本実験

我々の予想としては骨伝導の音が含まれると周波数は小さくなると思っていたが、結果からわかるように周波数が大きくなると思えた人も小さくなると思えた人も割合としてそれほど差はなかった。この結果から骨伝導音と気導音が二歩によって周波数に変化しているのではないかと推察した。

## 6. 結論

二音目について自分の声と録音した声の二種類と

の比較から、骨伝導が音全体の周波数を小さくしているということを推測した。結果的には、データにきほどの違いは見られなかった。

ここで、実験を通して得られた結果と考察を一度整理する。

### ① 骨伝導音と気導音が混じった声と気導音のみの声の二種類の周波数の大小関係

骨伝導音のほうがもう一方に比べて、周波数が小さくなる、すなわち、骨伝導は音の高さを低くする性質があると考えられるが、二歩によって周波数への影響には個人差がある。

### ② 骨伝導の及ぼす影響の度合い

骨伝導の周波数への影響は頭の大きさ、個人の周波数の平均の違いなどが影響し、気導音との波の干渉が起きているが、ほかの要因も関係している。

## 7. 展望

骨伝導がもたらす影響の度合いについては実験できたが、頭蓋の大きさなどの値は測定する時間が足りなかった。仮説の検証では、声には様々な周波数の波が含まれていることから頭蓋骨に到達した波が頭蓋骨の両端でも一端反射し、波の干渉により、増幅する波と減衰する波とができ、そのうち増幅する波が周波数の小さい波であり、減衰する波が周波数の大きい波となっている。それゆえに、周波数の小さな波、すなわち低い音が強調されることで、骨伝導は音の周波数を全体的に小さくする傾向にあるというように予想されていた。そのため、被験者の発する声に含まれる波の周波数と頭蓋の大きさ・骨についてデータをとり、フーリエ変換を用いた、波の干渉による増幅・減衰する波の波長と測定した頭蓋の幅との互の関係を明らかにすることができるかもしれない。ただし、この実験に対しては声の発生源を一点に定め難いため、高校範囲の数学・物理では研究が困難であると予想される。

※フーリエ変換とは、横軸に周波数、縦軸に振幅 (音の大きさ) をとったグラフで、周波数ごとの音の大きさをしめすものである。

以下に頭蓋と骨伝導の及ぼす影響との関係性につ

いての実験したい実験内容を整理する。

### <追加実験>

- ① 被験者の頭の長さについて、メジャーを用いて測定する。
- ② 被験者の声の気導音を録音する。
- ③ 骨伝導によって音が低くなる原因を声に含まれる波が鼓室腔の下端で互定路反折し、波の下折により、そのうち周波数の小さい波が増幅し、周波数の大きな波が減衰することであると仮定する。
- ④ 音声解析アプリを用いて、②において録音した気導音の周波数を求める。
- ⑤ フーリエ変換を用いて、④で録音した気導音の周波数とデシベルの関係性をグラフに表す。
- ⑥ ④の仮定に基づき、⑤のグラフの高音部分を減衰させ、低音部分を増幅させることで、実際の頭蓋内で計測されると予想される波の周波数とデシベルの関係性をグラフに表す。
- ⑦ 音声解析アプリを用いて、②において録音した気導音のピッチを⑤のグラフに基づいて調整し、複数の音声ファイルを作成する。ただし、先人権などの条件を極力排除するために、被験者以外の実験参加者が音声ファイルを作成するものとする。
- ⑧ 被験者は⑦で調整されたピッチのうち、特定の発声口は無く「自分自身の声に最も近いと感じるピッチについて調べる。
- ⑨ ⑧で導き出した音について、全体の周波数を求める。
- ⑩ ⑧で導き出した音の周波数と①にて測定した頭の長さの値について、グラフ上に点を取る。
- ⑪ 完成したグラフから骨伝導の反響の影響について考察する。

※⑧における、「音程の発生時に伴く「自分」の声”は自分などをつけて気導音を遮断した状況下での声、すなわち骨伝導音とする。また、声の発生源を一点に定め難く、内容が寛容範囲を逸脱することが予想されるため、数学教員の功力が必須であると考えられる。

以上のような追加実験の成功は、完全に理論的というわけではなく、一般人の感覚に依るが、従来の骨伝導に関する性質の解明への大きな一歩となりうるであろうと予測される。

### 8. 謝辞

今回の骨伝導がもたらす声の世にメカの違いについての研究を行うにあたって、多くの方々に協力していただきました。まず、我々の研究を指導していただいた担当教員の上原先生には、実験のテーマを決めた後から、考察に関するアドバイスをいただきました。同様に、埼玉大学功教授益村教授には実験の方針について様々なアドバイスをいただきました。教授に頂いた代替案をもとに本実験を行うことができました。その他、教員の方々や正数科の方々からも新しい考え方や視点を指摘していただき、課題解決の大きな助けになりました。私たちの研究に協力していただき、ありがとうございました。

### 9. 参考文献

- ・「骨導音の周波数解析  
— 日本大学 埼玉学部 — 藤岡弘展, 菊弘毅, 新野裕行  
<https://www.es.nijon.ac.jp/academic/research/gakujutu/61/pdf/0111.pdf>
- ・「骨伝導型ピックアップから導出した直接骨導音の音響特性」 音声医学言語学会 和田秀孝, 西澤典子, 武市紀人, 本間明宏, 前田弓紀, 玉虫詠子, 米本清  
[https://www.istage.jp.go.jp/article/c/57/3/57\\_29/\\_pdf/-chat/ia](https://www.istage.jp.go.jp/article/c/57/3/57_29/_pdf/-chat/ia)

# 紫外線による紙への影響とその対策

奥原裕基 山口大悟 奥伊織 長谷川潤

山口県立徳山高等学校

指導教員 村田安希子

## アブストラクト

我々が日常的に使用している紙というものは、我々が文字を書く媒体として紀元前二世紀ごろから現在に至るまで広く使われている。しかし紙は、日光を長時間当てると変色してしまふことがあり、変色した紙は紙としての機能を損なってしまう。そこで我々は紙が変色してしまふ原理、そしてどのくらい日光を照射すると変色してしまふのか実験によって調べ、紙焼けを防ぐ方法について検討した。ここで紙焼けとは、紙に紫外線を照射して変色することを表す。

## 1. 研究目的

紙焼けとは、紙が紫外線によって変色してしまふ反応であり、変色が起ると紙が脆くなる、傷むなど紙に悪影響を及ぼす。

そこで我々は紙焼けを防ぎ、より長く紙を失奪できるようにしたいと思いこの研究を行った。

先行研究では、木材中のリグニンが太陽光に含まれる紫外線を吸収し、ラジカル反応によって低分子化するがある。ラジカル反応はさらに他の成分の分解をも引き起こす、とも書かれている。

またリグニンは、構造がまだ未解明であり、どのくらいの割合で紙が変色するのかについては研究されていなかった。

そこで紫外線の照射時間を変えて、紙がどの程度で変色していくのか検証し、紙焼けを防ぐ試薬の種類と量について実験した。

## 2. 研究方法

### (1) 実験 I

#### <実験準備物>

- ・新聞紙（紙焼けしてなく、インク部分ではないところ）
- ・コピー紙（紙焼けしてなく、リグニンが少なくなるように加工されているもの）
- ・紫外線照射機（ハンデン・UV ランプ LUV-16）  
波長 365nm
- ・カラーメーター

#### <実験方法>

- ① コピー紙と新聞紙に紫外線照度を 5cm の距離で互定して照射する。この時、写真 1 のように紫外線照射機以外の光を遮断するため、暗室で照射する。
- ② 一定の時間ごとに実験の直後において、カラーメーターで写真 2 のようにカラーモードを計測する
- ③ ②で得たデータをグラフにととめる。
- ④ ②で得たデータをカラーモード変換ツールに入力し、得られたデータをグラフに書き込ませる。

写真 1



写真 2



#### <カラーメーターについて>

カラーメーターとは物体の色を定量化する機械であり、紙の変色を客観的に観察するために使用した。写真 2 のように数値が表示され、L\*a\*b\* 値を表している。L\* は、白さ、赤さ、青さのばらつきを表している。

図3がカラーメーターの表示図である。横軸がL値、縦軸がa値を表しており、赤色が一に行くほど赤み、一

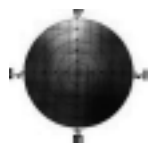


図3

に行くほど緑みができる。また、a値が一に行くほど黄色み、二に行くほど青みができる。

<カラーコード変換ツールについて>

カラーコード変換ツールとは、カラーメーターによって得られた数値を入力することによって、その数値の色を表すものである。今回数値によるものだけでなく、反射の前後の色を表し視覚的に観察するために利用した。

## (2) 実験Ⅱ

UVグロウを減らす加工がされていない紙に物質を塗着させ、それをラミネートすることによって、紫外線を防ぐ。

今回は、紫外線散乱材として、日焼け止めクリームなどに使われている酸化チタンや酸化亜鉛、その他に身近にある塩化ナトリウムや炭酸水素ナトリウムを選んで実験を行った。

<実験準備物>

- ・試薬
  - 酸化チタン(IV)、酸化亜鉛(II)、塩化ナトリウム、炭酸水素ナトリウム
- ・わら半紙(UVグロウを減らすような加工がされていないもの)
- ・ラミネートフィルム
- ・ラミネートフィルム(UVカット)
- ・実験1と同じ紫外線照射機

<実験方法>

- ① 酸化チタン(IV)、酸化亜鉛(II)、塩化ナトリウム、炭酸水素ナトリウムをそれぞれ0.01 mol 測り、蒸留水 100ml に入れ、1つの混合物を作る。
- ② わら半紙を縦 10.5cm、横 2.7cm に切ったもの
- ③ を、6つ用意し1～6とする。1と2のわら半紙は、3～6のわら半紙は、(1)で作った混合

物の頂部に設置

- ④ わら半紙1を、通常のラミネートフィルムでラミネートし、2をUVカットのラミネートフィルムでラミネートする。
- ⑤ わら半紙1～6に、紫外線照射機で紫外線を一定時間当て続け、照射の前後でL値を測定する。この時、照射する場所を2か所に設定し、それぞれの場所の値の平均値を求める。

## (3) 実験Ⅲ

実験Ⅲでは、紫外線照射機から出る紫外線とUVカットラミネートフィルムが反射した紫外線強度の違いを調べた。また、酸化亜鉛の濃度を変えて、紙から反射して出る紫外線強度を測定する。

<紫外線強度について>

光源から出ているUV(紫外線)の強さのことであり、一定の面積にどれだけの長さの紫外線が照射されているのかを示すもの。この単位は W/cm<sup>2</sup> で表される。

<実験準備物>

- ・わら半紙(UVカットラミネートフィルム)
- ・紫外線照射機
- ・メジャー
- ・酸化亜鉛



### 3. 結果

#### (1) 実験Ⅰ

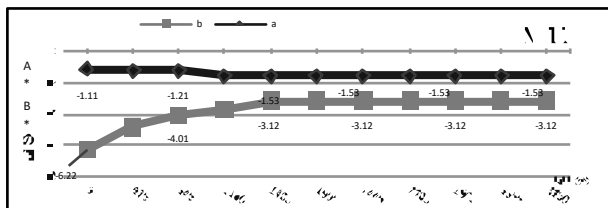


図4

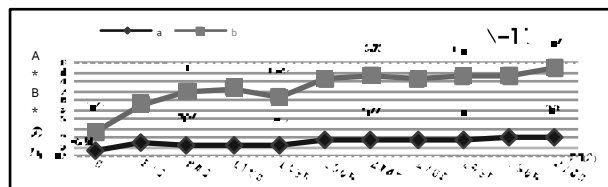


図5

図4がコピー用紙、図5が新聞紙について、それぞれの紙の0時の色と1800分の色を比較したものである。L\*は明るさによって大きく変わるので、今回はグラフにまとめなかった。

グラフと図からわかるように、紙の変色はラグニンを多く含んだ新聞紙のほうが大きかった。また、グラフからわかるように、紙の変色はL\*値が一方向に大きくなっていった。

#### (2) 実験Ⅱ

表

	L*	a*	b*
「なし」の照射前	73.67	-0.003	8.376
照射後	74.755	1.507	12.425
変化量		1.51	7.05
UVカットラミネートフィルム	75.51	0.085	-2.565
照射前			
照射後	75.39	-0.325	-3.86
変化量		-0.41	-1.295
酸化チタン (IV)	75.82	0.07	6.175
照射前			
照射後	74.695	1.335	12.19
変化量		1.328	6.015
酸化亜鉛	75.495	0.05	6.115
照射前			
照射後	74.765	0.735	10.01
変化量		0.73	3.895
塩化ナトリウム	74.35	0.16	6.746

照射前			
照射後	73.935	1.47	12.03
変化量		1.22	6.285
炭酸水素ナトリウム	74.8	0.955	5.15
照射前			
照射後	73.915	1.97	12.065
変化量		0.995	3.915

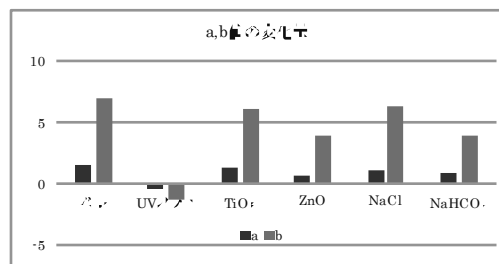


図6

表は、照射から1800分後の各半紙のLab値を、図6は、その変化量をそれぞれ表している。照射前後の変化量を見てもグラフのようにUVカットラミネートフィルム、酸化亜鉛、炭酸水素ナトリウム、酸化チタン、塩化ナトリウム、なしの順でLab値の変化量が小さかった。

#### (3) 実験Ⅲ

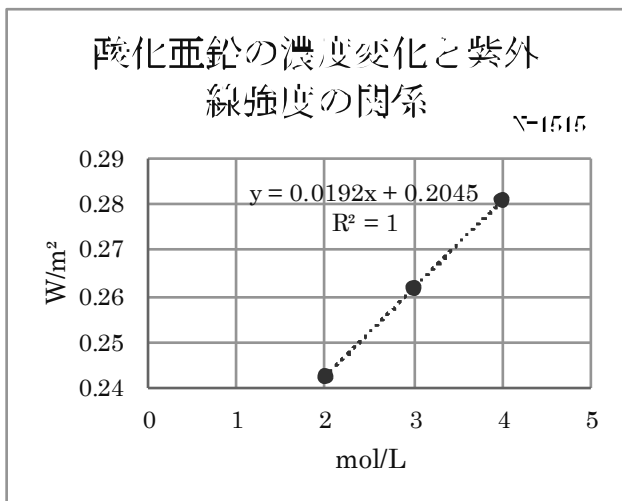


図7

図7からわかるように、酸化亜鉛の濃度が大きくなると、反射する紫外線強度も大きくなることが分かった。

### 4. 考察

### (1) 実験Ⅰ

今回の実験によって先行研究のラグニンによって、紙は変色してしまうことが示された。また、ラグニン含有量が多い紙ほど、変色しやすいことが分かった。

### (2) 実験Ⅱ

変色の変化量の順番を見てみると、「なし」が「平変色」していた。このことから、紙とラミネートフィルムの間には物質を入れることによって、変色は抑えられることが分かった。また、酸化亜鉛が変色を抑えることができたのは、次のように考えられる。光の散乱状態を表す公式によると、物質の粒子の大きさによって散乱状態は変化し、光の屈折率が高いほど光は散乱されなくなる。酸化亜鉛は光の屈折率が低いため、最も紫外線を防ぐことができたと考えられる。酸化亜鉛よりも屈折率が高い酸化チタンは、炭酸水素ナトリウム、酸化亜鉛よりも紙の変色を防ぐことができなかった。

また、炭酸水素ナトリウムが酸化チタンより、紙の変色を防ぐことができたのは、炭酸水素ナトリウムの吸収スペクトルが大きかったからである。

### (3) 実験Ⅲ

結果から、酸化亜鉛の濃度が大きくなるにしたがって反射する紫外線強度が上がった。このことから、紙に含有させる物質の量が大きくなるほど、紫外線は反射され、紙焼けを防ぐことができると予想される。また、UVカットラミネートフィルムと比較しても、酸化亜鉛 4 mg/L のほうが紫外線をより反射できていた。

## 5. 結論

酸化亜鉛の量を増やすほど紫外線を防ぐことができるが、酸化亜鉛が紙の表面に付着すると白い跡が残り筆跡しづらく、用法には制限があることも分かった。製造する過程で酸化亜鉛を長時間紙を隔てずに利用するなど、用法についても今後考えていきたい。変色の原因となるラグニンを減らす実験も行っていきたい。今回は、日光ではなく、人工の紫

外線を実験したため、紫外線のほかに紙にどのような影響があるかが分からなかった。次はより実際の状況に合わせた実験を行いたい。紫外線の波長以外にも、温度や湿度などを変えて紙の変色に変化はあるのか調べたい。また、今回できなかった紙のラグニンを減らす実験も行っていきたい。

## 6. 謝辞

本研究にあたり、多くの方々にご指導、ご鞭撻をいただきました。

村田先生、竹重先生、西本先生をはじめとして、様々な先生方が研究についての助言や実験準備の援助をいただき、ここまで研究を遂行することができました。心から感謝いたします。

## 7. 参考文献

1. 紙の発光性 平公山佳里
2. ラグニン 植 隆昌
3. カラーコピー変換ツール  
<https://szacet.jp/col-converter/>
4. 紫外線値色見本 伊原電子工業株式会社
5. カラー選択ツール  
<https://z.co/ags/ENM50c>
6. スペクトル  
<https://ssnmr-sd.db.aist.go.jp/SSNMR/Top.php>
7. 紫外線防御材としての酸化亜鉛の機能と開発  
<https://www.soc.co.jp/sys/wp-content/themes/soc/assets/pdf/cst-ultraviolet.pdf>

# おそろしく速い振動 オレでなきや見逃しちゃうね～液体の粘度との関係～

石塚真人、田中悠人朗、野村日向人、三輪大貴、森岡優希

山口県立徳山高等学校

教員 末谷健志

## アブストラクト

液体の動粘度と液体の表面を伝わる波の速度の関係性を調べた。振動板上に液体を垂らし振動させて、その表面にできる波形を撮影し、定常波ができる振動数を書き出した。この振動数と波長を用いて波の速度を導き、横軸に動粘度の平方根、縦軸に波の速度を取ってグラフを描いた。このことグラフから、波の速度は液体の動粘度の平方根に比例するという結果が得られた。今後の研究では、調べる動粘度、振動数の幅を大きくして、精度を向上させたい。

## 1. 研究目的

鹿児島県立徳山高等学校物理化学部の先行研究「振動板」での水柱の運動に関する研究」で、振動板上の液滴の表面には定常波ができるという研究がある。またこの研究の今後の課題として、「使用する液体の粘性などを変えることで違った結果が出てくることも考えられる」という記述があった。液体の動粘度は分子間力の入ききに関係があるので、動粘度が大きくなれば、波の速度も速くなるのではないかとこの予想を立て、このことを確かめるため、先行研究をもとに液体の動粘度を変え、波長を変えずに定常波ができる振動数を調べることで、液体を伝わる波の速度と、液体の動粘度の関係性を調べるのではないかと考えた。

## 2. 研究方法

### (1) 溶液の作成

片栗粉を水に溶かして加熱すると粘性が増加することを利用し、蒸留水に片栗粉と、律案を容易にするために食紅を溶かした液体を加熱する。この片栗粉の量を変化させることで、異なる動粘度の溶液を複数作成する。これらの動粘度を、キャノン・フロンズを毛细管粘度計を使用して測定した。これは、一定量の液体が一定温度において、内径が均一な毛细管内を層流状態で重力方向に自然落下する為に要する時間から動粘度を求める装置である。



図1 毛细管粘度計と粘度を測定する様子

図1のように、恒流水槽を用いて試料の粘度を40℃に保ちながら計測を行った。計測は3回行い、その平均値を用いて、動粘度=粘度計定数×落下時間の式に代入した。なお、液温が40℃である場合は、この粘度計の粘度係数が40℃で0.03154cSt/s（センチストークス毎秒）であるからである。

## (2) 波の観測

操作(1)で生成した液を、パイプレーターにより振動させる。パイプレーターの振動部分に台としてアクリル板を固定し、その上にホールスライドガラスを設置して、くぼみの全体に液液が広がるように液液の量を調節した。これにより、液滴の端から端までの長さを計測することができ、すべての液液について、波長をそろえることができる。また、半波長の長さを測るために、背景には1mm方眼用紙を設置した(図2)。

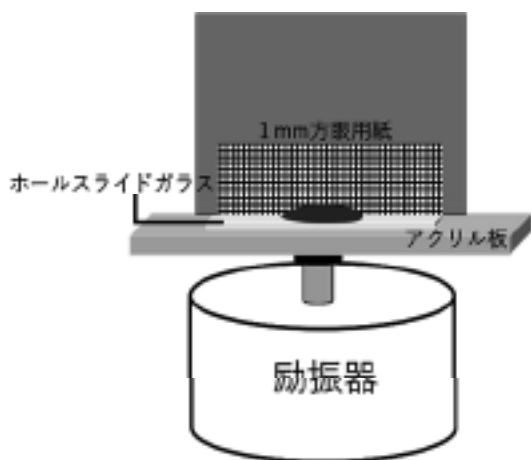


図2 実験装置の図

このパイプレーターに流れる液を、リレーと低周波発信器を組み合わせることによって、任意の周波数で電流を振動し、パイプレーターの振動数を自由に変化させられるようにした(図3)。また簡単な回路図を示す(図4)。

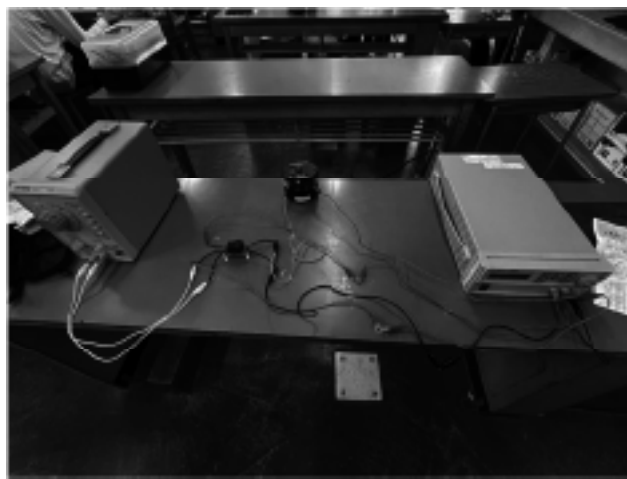


図3 実験の全体写真

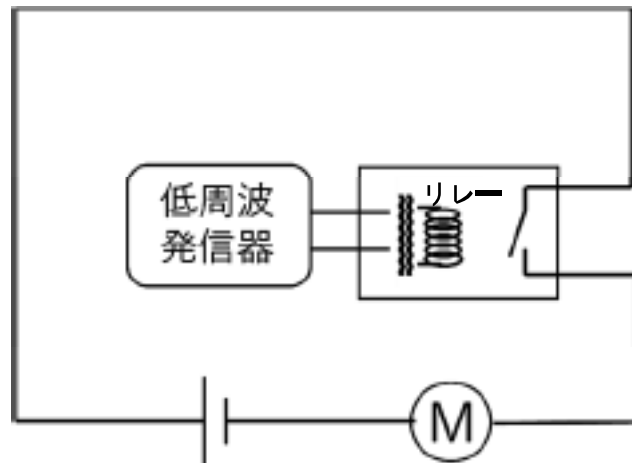


図4 回路図

なお、図3において、リレー電源とパイプレーターの電源は共通の電源装置を使用している。振動数を、20Hzから50Hzまで1Hzずつ、更に55Hzと60Hzの可変パターン振動数について、この液液の表面にできる液液を、スマートフォンのスローモーション撮影機能を利用して動画を撮影し、これをコマ送りにして背景の方眼と比較しながら、表面にできる3つの半波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$ の長さを記録した(図5)。



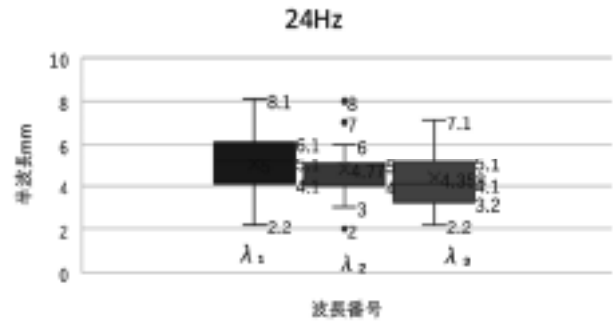
図5 半波長 $\lambda_1/2$ 、 $\lambda_2/2$ 、 $\lambda_3/2$

## 3. 結果

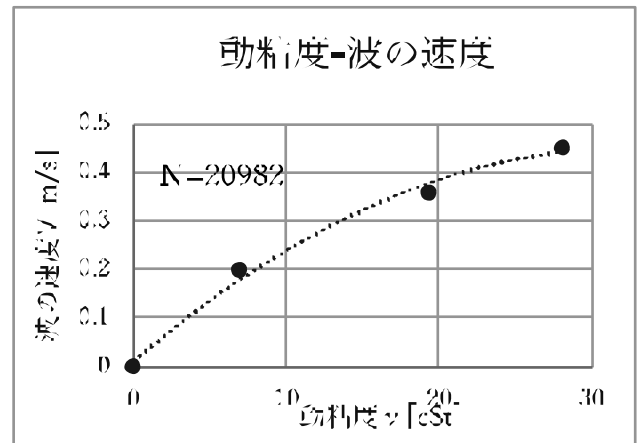
例として、ある液液について、定常波ができていると考えられる振動数での3つの半波長の表及び半波長どうしのばらつきを表す散布図、半波長自体のばらつきを表す棒ひげ図を表し、グラフ1のようになった。また、動粘度と波の速度の関係についてはグラフ3、グラフ4の結果が得られた。ただし、グラフ3は管内に液体の動粘度、管内に液体を伝わる液の速度を、グラフ4では管内に液体の動粘度の平方根、管内に液体を伝わる波の速度を取っている。

表1 溶液1の24hzにおける3つの半波長  
この他各溶液についても20hzから60hzまで  
同様のデータを取得した

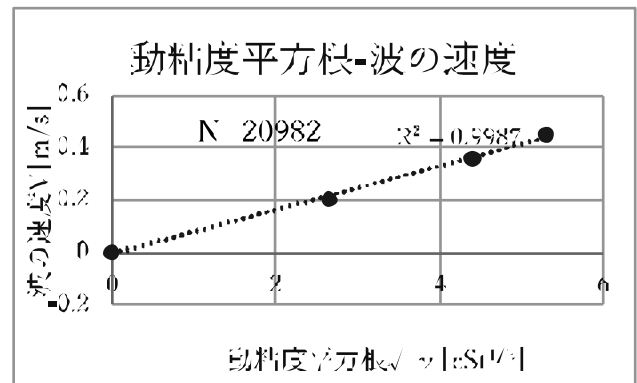
溶液1	周波数	24hz
$\lambda_1/2(\text{mm})$	$\lambda_2/2(\text{mm})$	$\lambda_3/2(\text{mm})$
5.1	5	5.1
5.1	5	5.1
5.1	5	5.1
6.1	4	5.1
6.1	4	4.1
6.1	5	4.1
7.1	4	4.1
4.1	5	5.1
4.1	5	6.1
6.1	5	4.1
6.1	5	5.1
4.1	4	4.1
4.1	4	5.1
6.1	4	5.1
4.1	4	4.1
5.1	4	4.1
3.1	5	4.1
5.1	5	4.1
5.1	5	5.1
6.1	5	5.1
4.1	5	5.1
4.1	4	3.2
5.1	5	4.1
6.1	3	6.1
6.1	4	5.1
6.1	4	4.1
6.1	4	5.1
3.2	4	5
4.1	4	5
5.1	7	3.2
5.1	6	4.1
4.1	4	5.1
5.1	3	6.1
6.1	3	6.1
5.1	4	3.2
7.1	2	6.1
6.1	3	6.1
6.1	3	5.1
6.1	6	3.2
4.1	4	4.1
6.1	5	4.1
6.1	6	3.2
4.1	6	3.2
6.1	6	3.2
5.1	7	3.2
7.1	4	4.1
5.1	4	5.1
5.1	5	4.1
5.1	4	6.1
4.1	5	6.1



グラフ1 各半波長の箱ひげ図



グラフ2 動粘度と波の速度



グラフ3 動粘度の平方根と波の速度

#### 4. 考察

操作(2)で、各溶液のそれぞれの振動数で、半波長を2、2、2、2、2の複数のデータを得ることができる。1つの振動数につき、得られた3つの半波長の平均値をとり、この3つの値で散布図を作成する。これを他の振動数についても同様に行う。この散布図に近似直線を引き、R<sup>2</sup>値を出して、振動数ごとに比較する。定常波に近いほど、各半波長の長さがそろわはずだから、R<sup>2</sup>値が1に近い振動

数が定常波のできる振動数だといえる。

しかし、平均値だけと比較したのでは、偶然平均値のばらつきが小さくなっているという場合もあるため、 $\rho$ 値が大きいデータをいくつか選び、それぞれの半波長のデータすべてで箱ひげ図を作成し、 $n_1/2$ 、 $n_2/2$ 、 $n_3/2$  3 種の散らばりを調べる。散らばりが小さいほうが定常波に近いといえる。

このようにして、定常波のできる振動数を波の式、

$$v = \lambda f \quad (1)$$

に代入し、波の速度を求める。なお、定常波のコブの数が 3 つになるようにしたので、半波長はスライドガラスのくぼみを 3 等分した長さである。この作業をすべての溶液について行うことで、液体の動粘度と波の伝わる速度のグラフ 3 を描いた。波の速度は動粘度の平方根に比例すると予測し、横軸に動粘度の平方根を取ってグラフ 1 を描いた。グラフ 3 から、液体の動粘度が大きいほど、その液体中を伝わる波の速度が大きいことが分かった。また、グラフ 3 の形状、グラフ 1 の近似直線が正比例の形に近いこと、 $\rho$ 値が 0.9987 で 1 に近いことから、液体を伝わる波の速度は、液体の動粘度の平方根に比例することが推測できる。

このような結果が得られた理由は、液体の表面を伝わる波は、弦を伝わる波に近似できるからであり、ここで弦についての波の速度式

$$v = \sqrt{T/\rho} \quad (2)$$

から、液体の表面を伝わる波の速度は、表面張力の平方根に比例するのではないかと予測し、そこで、「融点近傍における融解金属の粘性と拡散、せん断と表面張力などとの間の関係」の論文にある、表面張力  $\gamma_m$  と密度  $\rho_m$  の式

$$\gamma_m/\rho_m = 7.0 \times 10^{-3} (\text{Pa/M})^{-1/2} \quad (3)$$

で、 $(\text{Pa/M})^{-1/2}$  が定数といえるので、表面張力と密度が比例するといえる。そして動粘度は粘度と密度を用いて

$$\eta = \eta' \rho \quad (4)$$

とあらわされるので、実験結果のような関係がみられると考察した。

## 5. 結論

以上より、液体を振動させることで表面に生じる定常波の波長と定常波のできる振動数から、液体の動粘度と波の速度の関係を求めることができた。またその関係は、液体を伝わる波の速度は、その液体の動粘度の平方根に比例すること、液体の表面を伝わる波は弦を伝わる波に近似できることが分かった。

しかし、今回の実験で確かめた液体の粘度は 3 種類であり、尤もその差も小さいため、正確性に欠く。加えて、定常波を探した振動数の幅も小さいため、もっと大きな振動数で定常波ができている可能性を排除されない。そして、電磁石の動電圧が悪かったこと、波を肉眼で観測したことが、データの精度を著しく低下させている。今後の研究では、調べる粘度、振動数の幅を大きくすること、そして波の観測方法を改めることが課題である。

## 6. 謝辞

この研究は、多大な資金、設備の援助に加えて、この研究に携わってくださった先生方の助力により成り立っています。ここに謝辞を申し上げます。

## 7. 参考文献

第 51 回日本学生科学賞作品集(物理編)高校の部(科学技術振興機構賞)「振動板上での液体の運動に関する研究」滋賀県立膳所高等学校物理科学班

「融点近傍における融解金属の粘性と拡散、せん断と表面張力などとの間の関係」木原 尊、武本 郁男、飯田 幸彦、溶接学会誌、42 巻 12 号、1973 年

# 筋電位を用いたハンズフリーデバイスの開発

柴崎湧人、藤川俊之、堀本康介、宮正丈太郎

山口県立徳山高等学校

指導教員 矢本健志

## アブストラクト

人が筋肉を動かした際に生じる電位である「筋電位」は、義手やハンドスーツなどリハビリやスポーツ工学等に用いられ、筋肉の動作をある程度認識することが可能である。本研究では筋電位の測定の手軽さと扱いやすさに着目し、メガネや自動車のハンドルなどをハンズフリー操作することを目的に研究を行った。また、測定に必要な筋電位測定用の回路・ソフトウェア等も自作した。

### 1. 研究目的

筋電位とは生物の筋細胞（筋繊維）が収縮活動する際に発生する活動電位である。筋電位を測定し、モーター等に変化を反映させることにより、ハンズフリーでの作業が可能にすることができることに着目した。また、この技術は身体的な負担による不自由を軽減することができると考えた。

### 2. 研究方法

#### (1) 研究1 「筋電位の簡易測定とハンズフリー眼鏡」

筋電位は、人間等の生物が筋肉の収縮活動をする際に生じる電位であり、筋細胞近くでは80~90[mV]あるが、体表では数十[μV]~数[mV]と約1000分の1に減衰している。これではマイコンボードでの測定が困難なため、アンプ等の増幅回路を用いて測定する必要がある。

本研究では、はじめにコンタクトレンズで販売されているHohelme製増幅回路を使用した。(図1)入力端子に人の体表に貼り付けた電極パッド3枚、出力端子にマイコンボードを接続し、マイコンボードのI2Sポートを介してPCで波形を視測した。視測した波形を図2に示す。

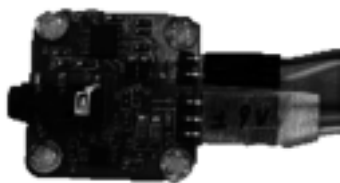


図1 市販増幅回路

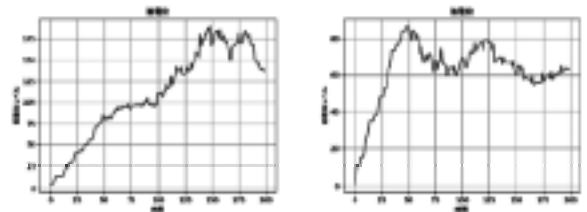


図2 筋電位の波形

筋肉を動かすと、視測した筋電位の波形をもとにレンズが跳ね上がる、ハンズフリーメガネを開発した。ハンズフリー眼鏡の概観としては次の通りである：

#### ① 筋電位測定

両方の一端子をついて、端子を一つ取り付け、筋電位を取り出す。この際一端子を二つ用いるのは、できるだけノイズを排除する差動増幅を採用したためである。

#### ② 筋電位増幅

増幅回路を用いて、取り出した微弱な筋電位を、筋肉の収縮が十分に判定可能な程度まで増幅する。

#### ③ 演算

筋電位がしきい値を越えるごとにモーターの先きが繰り返されるようにマイコンボード(Arduino)にプログラムを書き込んだ。レンズが跳んでいる状態は135°、閉じている状態は180°として扱う。

#### ④ 作例

眼鏡のレンズから外れている、眉間部分に装着されたマイコンボード。(角度を指定して

回転可能なモーター)を作動させる。

(ク) 研究Ⅱ 「筋電位測定環境」

①筋電位増幅回路

研究方法(1)では、筋電位の増幅に既製の増幅回路を使用した。しかし、帯域や増幅率の設定が困難であるため、増幅回路を自作した。自作する回路の仕様を下記の通り定める。

- ①直流電源(電源)で動作する。
- ②増幅率(ゲイン)を調整可能である。
- ③ノイズを正確に除去可能である。
- ④2箇所筋電位を同一に測定できる。

筋電位は正・負両方の電圧を含むが、一般的な電源の電圧は正のみであるため、乾電池のような直流電源だけでは正の筋電位しか増幅できない。そこで、DC-DCコンバータを用いて負の筋電位を増幅できるようにした(図3下)。また、筋電位は個人差が大きいため、増幅率(ゲイン)を可変抵抗によって調整できるようにした(図3上中央)。また、筋電位は微小であり片目のノイズが混じってくるため、特に影響の大きい交流電源からのノイズ(蛍光灯など/60Hz)を除去する(図3右)も抵抗とセラミックコンデンサを用いて除去した。増幅には、計数アンプと呼ばれるオペアンプの一種を用いた。

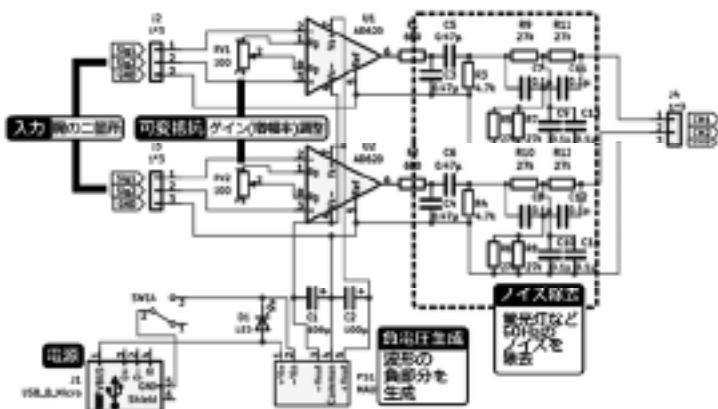


図3 自作増幅回路・回路図

②筋電位測定ソフトウェア

従来、筋電位を測定する際、マイコンのIDEに搭載されたプロッタ機能を使用していた。しかし、波形の記録が困難な点や数値の取

りできない点など、研究において不便な部分があった。これらの問題を解決するため、波形の記録・保存が可能なソフトウェアを制作した。

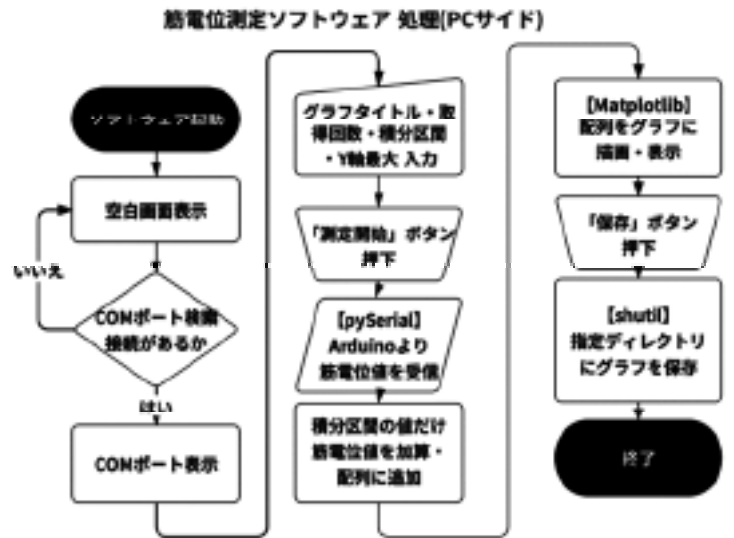


図4 筋電位測定ソフト・フローチャート

図4の通りの流れを行うことで、手軽に筋電位の波形を測定・保存可能にした。また、開発にはPythonを用い、GUIライブラリを併用することで操作が手軽なことを実現した。

(3) 研究Ⅲ 「筋電位制御バギー」

研究Ⅱより筋電位の波形を詳細を確認できたため、研究Ⅰのサーボモーターを駆動する機構と組み合わせ、ハンドルを筋電位で操作可能なスマー・バギーを製作することとした。既製品の玩具バギーに改造を施すことで製作した。

製作にあたり、主な改造項目を下記に挙げる。

- ①ハンドルを切るための機構
- ②力行用モーターのスウィッチング機構
- ③筋電位を測定、演算するプログラム

①は読み取った筋電位の値に応じてハンドルの角度を調整する必要があるため、パルスと角度の相関性を調べ備えた産業用サーボモーターを採用した。これをハンドルシャフトと金具で接続する(図5)ことでハンドルを駆動化した。



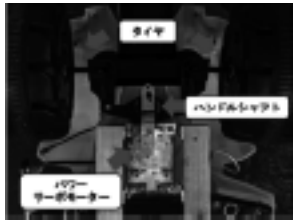


図6 玩具パギー改造後背面

②は筋電位が生じた際に車体を前進させる機中である。改造前の車体の前進スイッチの結線をトランジスタを介してマイコンボードと接続することで、プログラムから車体を前進させることが可能にした。

③は筋電位を左右の腕で測定した2箇所筋電位の値を処理し、ハンドルの角度を制御するプログラムである。両腕の筋電位の値で土を減算し、正・負に応じて左右にハンドルを振れるようにした。

### 3. 結果

#### (1) 研究Ⅰ「筋電位の簡易測定とハンズフリー眼鏡」の結果

筋電位のしきい値を超えた際に眼鏡のレンズが上下に作動するハンズフリー眼鏡を作成できた。手を握ると図6のハンズフリー眼鏡が跳ね上がり、緩めると下がった。この研究Ⅰにより、筋電位の値を利用して、サーボモーターが制御可能であることが分かった。また、筋電位にはしきい値を設ける際に、個人差が大きいということも分かった。また、電極パッドから増幅回路への信号線が机等に接触すると、ノイズが切れた。



図8 ハンズフリー眼鏡外観

#### (2) 研究Ⅱ「筋電位測定環境」

##### ①「筋電位増幅回路」の結果

研究Ⅰの増幅回路ではできなかった増幅率

の可変設定が可能な増幅回路ができた。基板上の半固定抵抗を回転することにより、500~10000倍の任意の倍で筋電位を増幅可能である。また、オペアンプでの増幅後にフィルタ回路を設けたことで、交流60Hzのノイズや接触によるノイズが低減した。これらの回路を2つ重ねて製作することで、2箇所筋電位を同時に測定できた。

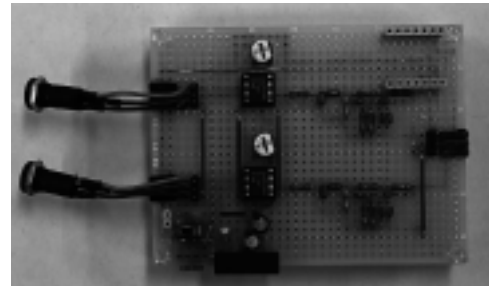


図7 自作増幅回路図

##### ②「筋電位測定ソフトウェア」の結果

マイコンボードのI/O搭載シリアルプロッタでは不可能であったグラフの波形の失角が解消となった。グラフタイトルや波形保存データを任意に指定可能なため、筋電位の比較が容易である。また、従来のシリアルプロッタでは波形の縦軸が変化していたが、固定機能を選択することで、グラフ上の縦軸比較が可能となった。

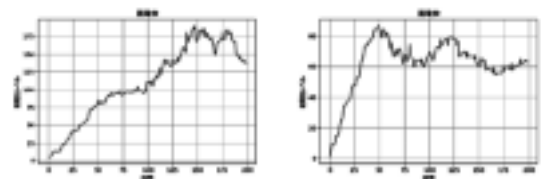


図8 本ソフトウェアで測定した筋電位

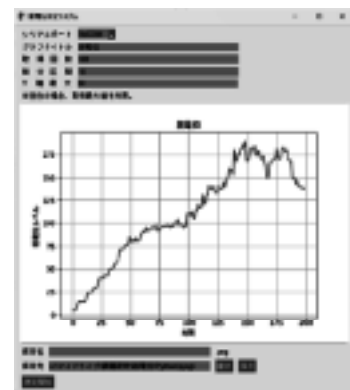


図9 筋電位測定ソフトウェア・GUI

### (3) 研究Ⅲ 「筋電位制御バギー」の結果

筋電位を両腕の2箇所にて測定し、右方の筋電位の値を得ることで、パワー・トランジスタの負荷を調整し、玩具バギーのハンドルを操作できた。また、ハンドルの操作が行われると、玩具バギーが前向きする機構も正確に動作した。しかし、連続運転を行うと、スイッチングに用いたトランジスタが発熱して、抵抗が急激に増加することで速度の低下がみられた。



図10 筋電位制御バギー(左) スwitching回路(右)

## 4. 考察

### (1) 研究Ⅰ 「筋電位の簡易測定とハンズフリー眼鏡」の考察

しきい値に個人差が大きいことが分かったが、可変抵抗を用いて増幅率を調節することで個人差に対応できると考える。しかし、筋収縮を行うとスムーズにレンズが上下に動いており、強い反応を必要とする車等の運転にも応用できると考えた。

### (2) 研究Ⅱ 「筋電位測定環境」の考察

#### (i) 「筋電位増幅回路」の考察

筋電位を可変的かつ低ノイズでの増幅に成功したが、若干接触不良やノイズの除去ができていない事象が発生する。これらは、基板上のパターンが狭いことや、増幅回路と電極パッドを接続する信号線が細く、絡みやすいことが原因と考えられる。プリント基板によるベタパターンやシールド付き信号線を用いることが有効な解決方法であると考ええる。

### (2) 「筋電位測定ソフトウェア」の考察

本研究では、グラフのリアルタイム更新が実現できなかった。特に、測定中の波形が観察できず、測定後にしか確認できないことから、測定のやり直しが多数生じた。グラフのリアルタイム更新を実現するためには、より複雑なプログラムが必要となるため、プログラムの刷新が必要と考える。

### (3) 研究Ⅲ 「筋電位制御バギー」の考察

筋電位のノイズを完全に除去できなかったため、時折バギーのハンドルが誤動作することがあった。この誤動作を防止するためには、マイコンボード上で急激な値の変化には反応しないようプログラムする必要がある。具体的には、直前の値からの変化を求め、一定値以上の変化には反応しないプログラム等の対策が必要となる。

また、連続運転した際の発熱による抵抗増加問題は、プリントトランジスタの負荷を従来の2つから増やすことや物理リレーの利用があげられる。加えて、現在のトランジスタにヒートシンクとDCファンを設置することも有効であると考ええる。

## 5. 結論

本研究では、筋電位の波形特性を生かし、眼鏡とバギーの2種類のハンズフリーデバイスを開発できた。今後は、これらのデバイスを多数の人に使用してもらう、実用感想等を共に改良を施したい。

## 6. 謝辞

本研究を行うにあたり、先生方をはじめとするご指導いただきました皆様の方に感謝申し上げます。

## 7. 参考文献

「市販の電子部品を利用した簡易的な筋電計の製作について」改智健志、「本学及装具学会誌」、2019年

# 忍具「些音聞金」の解明と応用 ～忍具の謎を解き明かし、現代に役立てる～

徳井倫幸、矢野湧人  
 山口県立徳山高等学校  
 指導教員 大谷健志

## アブストラクト

「些音聞金」は聞き手側を振動させたとあるが、使用法やメカニズムが不明の忍具だ。弊校の生徒は、「些音聞金」は音を増幅させていないことを判明させ、高音のみを減衰させているのではないかと結論に至った。本研究では高音の回折しにくさと高音「土の干渉による」ち音しあいでの「低音」などの高音のみが減衰していることを判明させた。私たちは「些音聞金」に確実に効果があることを確認し、現代のマイクに「些音聞金」の機能を正確に実現できるアタッチメントを実現した。

## 1. 背景

江戸時代以降に活躍した忍者は、その隠密性から、その行状やノウハウ、道具については主に口伝で伝えられてきた。江戸時代の浪言半蔵正成が著したとされる「忍秘伝」には、忍者の道具、つまり忍具について比較的詳しく記述されており、「三大忍経伝書」のひとつに数えられている。

2019年には中島篤見氏により「忍本」忍秘伝（『忍書刊行会』）として現代語訳され、読者による詳細な解釈が行われたものが出版されたことにより、広く世間が忍者について知ることとなった。

さて、「忍秘伝」には、「些音聞金（さおとさきがね）」と呼ばれる、忍者が聞き手側を用いていた道具が記述されている。（図1-1）

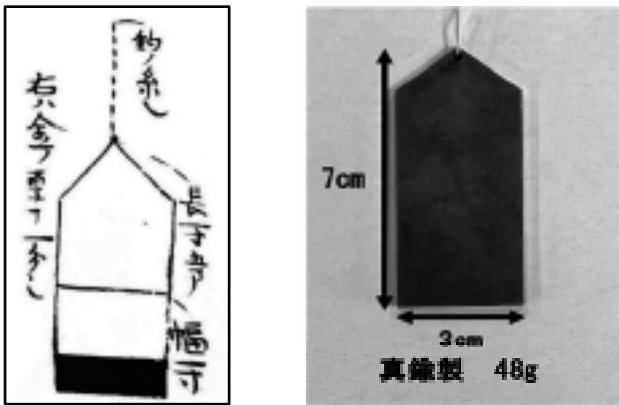
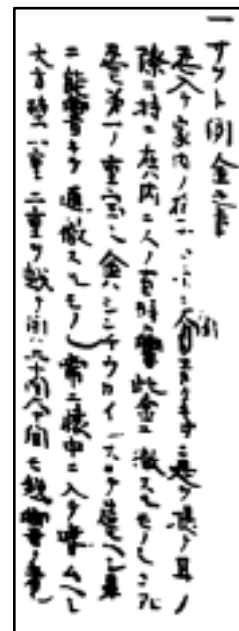


図1-1「些音聞金」の忍秘伝の図と製作したレプリカ

「忍秘伝」によると、素材は真鍮もしくは金製の金扁板であり、大きさは、縦がおよそ4.5cm、横がおよそ3cmであるとされる。なお、当時、メートル法は用いられていなかったため、寸法をおよそ30.3mmと計算しているが、当時は正確な基準がなかったことに留意したい。



### 『現代語訳』

“家の隅に掛けたら話が聞き取れない時は、これを掛けて耳の奥に掛けておけば聞き取れる。人がいれば音が響いてその聞かぬ音が到達するものである。これは忍者には第一と云えるほど貴重な忍具である。同金には鉛が用いた（中から喰入された交易用の金）で作る。これによく響いて音が通徹する。常に懐中に入れて置くこと。大木、壁一面二面を越えて聞かぬ、時には五七間（90.9m）六八間（69.1m）も越して響くものである。”

図1-2「忍秘伝」における「些音聞金」の記述

さらに、「些音聞金」についての記述と現代語訳を示す。（図1-2）

図1-2に示すとおり、「些音聞金」を使うと、遠く



図 3-2 に示したとおり、「些音筒金」の裏側では、概ね 5000Hz 以下の低音は変化しないことが分かる。一方で、5000Hz 以上の高音は概ね 2～8割程度減衰していることが分かる。

この結果は、一般的に高音は直進性が強く、反射しにくいいため「些音筒金」の裏側に高音が取り込みにくいからと考えられる。

さらに、図 3-2 からは、「些音筒金」からの位置によっても高音部の減衰の度合いが変化していることが分かる。場所毎に振幅が変化する顕著な現象として、音の干渉が考えられる。大半たちはこの実験結果から、「些音筒金」の両端で屈折した音が、裏側で干渉して干渉縞を形成しているのではないかとこの仮説を立てて、研究を終了した。

#### 4. 実験方法（以下、今年度の研究）

##### （1）研究Ⅰ 「些音筒金」裏側の音圧分布

先行研究により「些音筒金」の裏側で干渉が起きている可能性が示唆された。そこで、「些音筒金」の裏側で観測される音がどのような分布になるのかを調べた。

- ① 「些音筒金」の裏にマイクを置く。
- ② 11000 Hz の音を「些音筒金」に照射し、1cm 角の方眼用紙による場所ごとの振幅の大きさを測定する。
- ③ 7000 Hz、30000 Hz も同様にして測定する。

##### （2）研究Ⅱ 「些音筒金」による話し声の聞き取りやすさの測定

研究Ⅰによって、「些音筒金」の裏側では、音の打ち消しあいの干渉が顕著に起きていることが分かった。

そして先行研究と併せて、「些音筒金」は、屈折と干渉の 2 つの効果によって、高音を低減し、話し声の領域である低音を聞きやすくしていることが判明した。つまり器具「些音筒金」は高音をノイズキャンセ

ルする道具であることが判明した。

では、「些音筒金」は、低音領域である話し声をどれだけ聞きやすくするのか、振動数解析から定量的に計測した。

- ① ホワイトノイズを照射する。
- ② 話し声（シグナル）を 20～10000 Hz の範囲、高音に不必要な音（ノイズ）をそれ以上の振動数の範囲と定義する。
- ③ S（シグナル）/ N（ノイズ）比を以下の式で求める。

$$SN比 = \frac{\Sigma 20 \sim 10000 Hz \text{ の音}}{\Sigma 10000 \sim 22050 Hz \text{ の音}}$$

なお、録音形式はサンプリングレート 44.1kHz のリニア PCM である。そのため、最高可聴振動数が 22.05kHz となっている。これは可聴域とはほぼ一致する。

##### （3）研究Ⅲ 「些音筒金」の原理を活用し、既存のマイクに装着して話し声を聞き取りやすくする器具製作

研究Ⅰ、Ⅱによって、「些音筒金」は音の屈折と干渉によって高音を打ち消すノイズキャンセリングの道具であることが分かり、「些音筒金」を用いることで、話し声をより聞き取りやすくする効果があることが分かった。

しかもその方法は、音の幅をもつ金属板の端で音を閉くという非常に簡易な方法であることを判明した。

そこで、この知見を私たちが現代の生活に役立てようと考えた。既存のマイクに金属板を取り付けただけで、話し声を聞き取りやすくするマイクに変えることができるのではないかと考えた。

その方法は以下の通りである

- ① 3D プリンターを用いて、既存のマイクにステンレス板を固定する器具を製作する
- ② 研究Ⅱと同じ方法で S/N 比を測定し、性能を評価

する

## 5. 研究結果

### (1) 研究Ⅰ「些音聞金」表側の音量分布の結果

実験の様子は図 5-1 のとおりである。ホワイトノイズの音を照射したとき、「些音聞金」の表側における音量分布は、図 5-2 から図 5-4 となった。ヒートマップの割合は、元の音の振幅を 100%とおいた場合の相対数値であり、赤が示色がであればあるほど音が大きく、青色であればあるほど音が小さいことを示す。



図 5-1 研究Ⅰの実験の様子

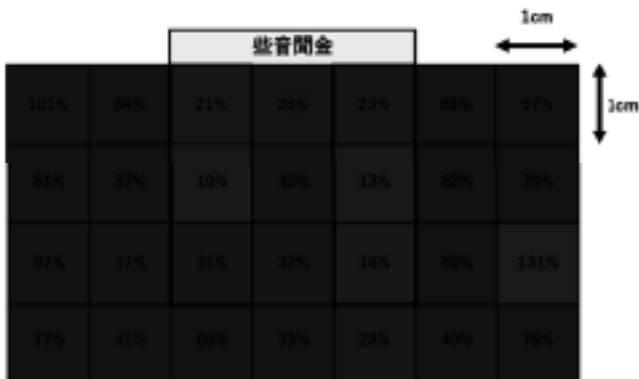


図 5-2 11000Hz のヒートマップ

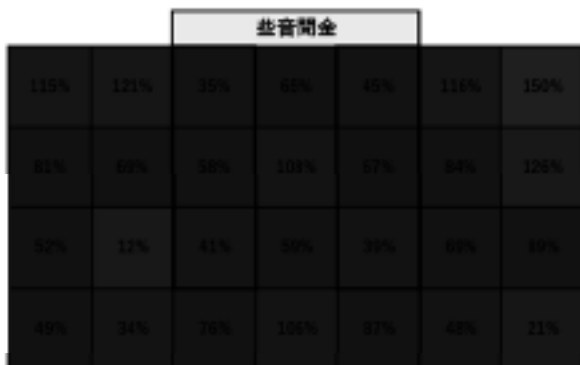


図 5-3 7000Hz のヒートマップ

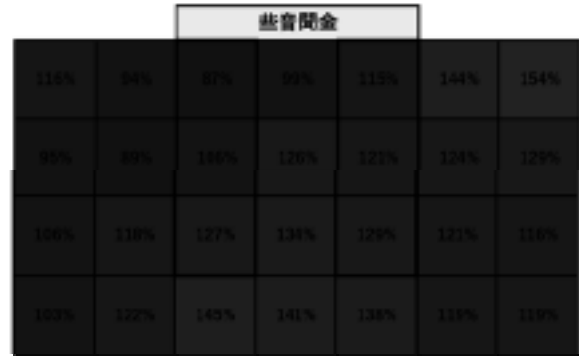


図 5-4 3000Hz のヒートマップ

### (2) 研究Ⅱ「些音聞金」による話し声の聞き取りやすさの測定の結果

実験の様子は図 5-5 のとおりである。測定音の振幅数値分布および S/N 比の結果は次の通りとなった。

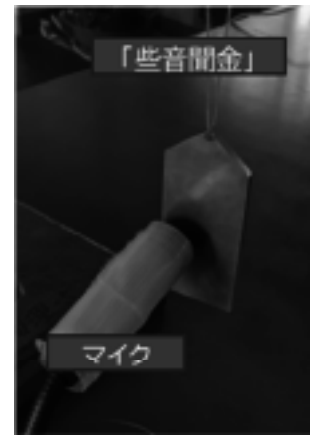


図 5-5 研究Ⅱにおける実験の様子

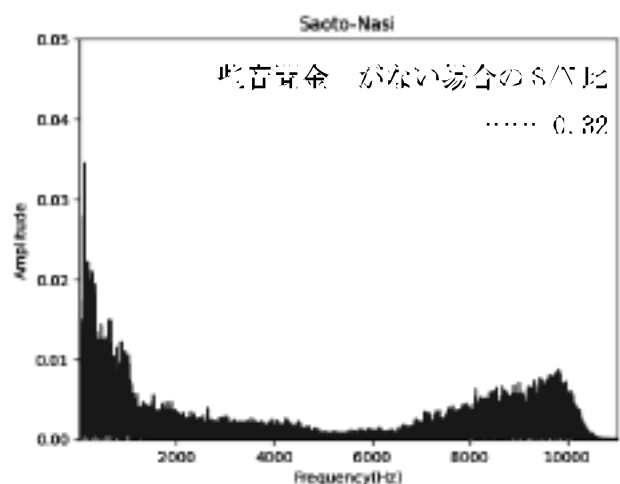


図 5-6 「些音聞金」なし（照射したホワイトノイズ）

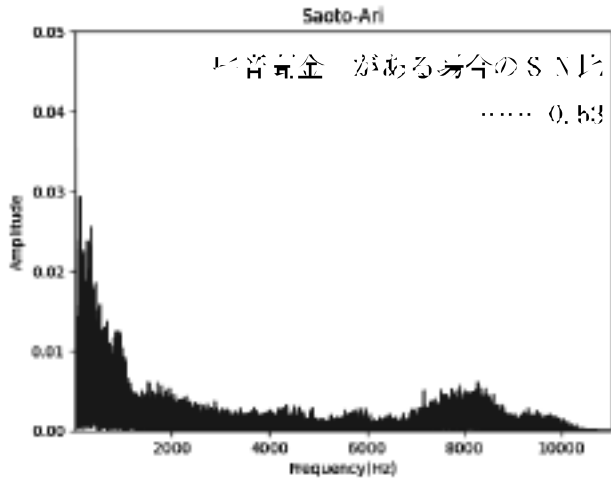


図 5-7 「音間金」あり

$\frac{\text{「音間金」がある場合のS/N比}}{\text{「音間金」がない場合のS/N比}} \dots\dots 1.7$  [倍]

(3) 研究Ⅲ「音間金」の原理を活用し、既存のマイクに装着して話し声を聞き取りやすくする器具  
製作の結果

3Dプリンターで製作した器具と既存のマイクに装着した様子を図 5-8、5-9 に示す。また、測定した音の波数特性は図 5-10、5-11 となった。

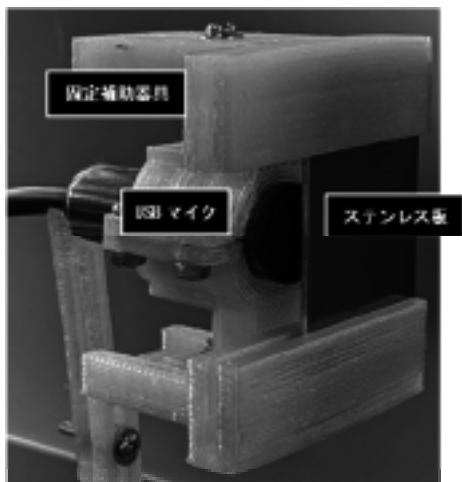


図 5-8 既存の USB マイクに装着した様子

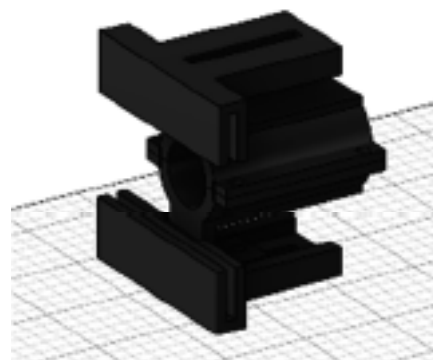


図 5-9 3D プリンターで制作した器具

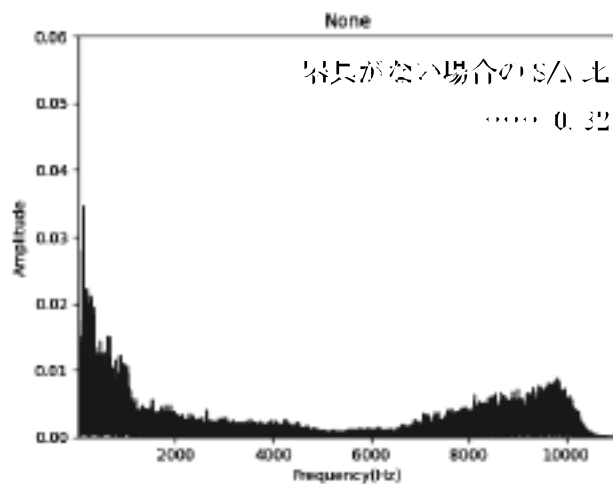


図 5-10 器具を装着していない場合の周波数分布

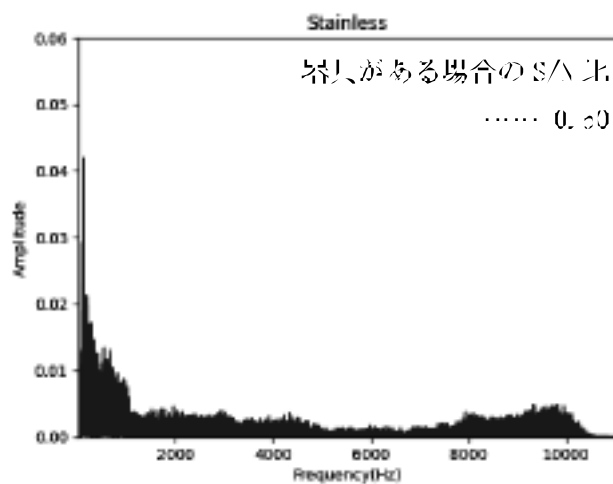


図 5-11 器具を装着した場合の周波数分布

$\frac{\text{装着した場合のS/N比}}{\text{装着していない場合のS/N比}} \dots\dots 1.6$  [倍]

## 6. 考察

### (1) 研究Ⅰ「些音聞金」裏側の音量分布の考察

図 5-2～5-4 より、低音であれば「些音聞金」の裏側でも音が減衰せず、高音であればあるほど「些音聞金」の裏側で音が減衰する。これは、先行研究でも同じ傾向がみられたが、高音ほど「打ち消しにくい」という性質に起因していると考えられる。

同じく、図 5-2～5-4 より、音の振動数も「些音聞金」の端と比べ、中央付近の音の振幅が大きくなる。これは、「干渉によるもの」と考えられ、「些音聞金」の両端で屈折した「半波」の波が、裏側中央では振動数が関係なく干渉によって強め合っていると考えられる。

しかし、図 5-2 および図 5-3 にみられるように高音においては「些音聞金」の両端で大きく減衰している様子が見測された。

実験結果より、音の干渉による打ち消し合いが起きているのではないかと考え、シミュレーションを行ってみた。シミュレーションは、器具の両端を同位相の波源とし、打ち消し合いの条件で打ち消し合う音の振動数を求める。

シミュレーションは次の式を用いて行った。

$$f = \frac{170}{\sqrt{(x+0,0015)^2 + y^2} - \sqrt{(x-0,0015)^2 + y^2}}$$

( $x, y$  は「些音聞金」中央を始点とした座標値)

この式は、波の基本式  $f = \frac{340}{\lambda}$  及び、干渉条件の公式  $|S_1P - S_2P| = m\lambda - \frac{\lambda}{2}$  ( $m = 0, 1, 2, \dots$ ) から導かれるが、この式では割愛する。

結果は、図 6-1 のとおりである。

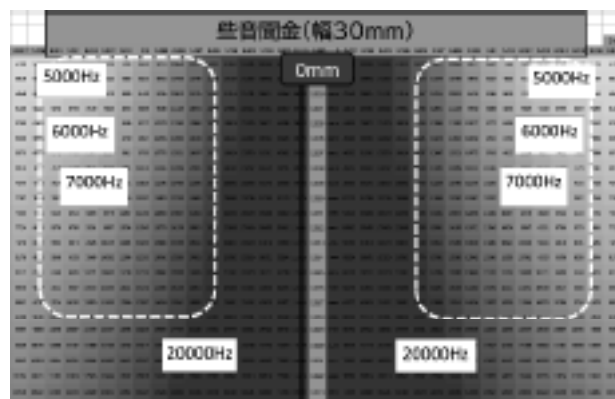


図 6-1 シミュレーション結果  
「些音聞金」の裏側における打ち消しあう  
音の振動数分布

このシミュレーションにより、「些音聞金」の両端では、5000 以上の高音が打ち消しあうことと、「些音聞金」の裏側では、5000Hz 以下の低音は、減衰しにくいことが分かった。つまり、このシミュレーション結果は、研究Ⅱとはほぼ一致していることを示している。

以上より、特に「些音聞金」裏側の両端においては、5000Hz 以上の高音に対して、高音が打ち消しにくいことに加えて、干渉による打ち消し合いが大きく、著しく減衰することが明らかとなった。

つまり、器具「些音聞金」は、高音のノイズを打ち消すノイズキャンセリングの機能があり、相対的に低音である話し声を聞きやすくする道具であることが判明した。

ここで、シミュレーションで用いた式から分かるように、「些音聞金」の幅を 30mm から大きくすれば、もっと低音を打ち消すことができる。ところが「些音聞金」の幅を 30mm にした理由は、5000Hz 以上の高音ノイズを消したかったからに違いないと考えた。

この答えは、9月に学校内での田のあそび道で音を測定したときに偶然得られた。その音の振動数スペクトラムを図 6-2 に示す。



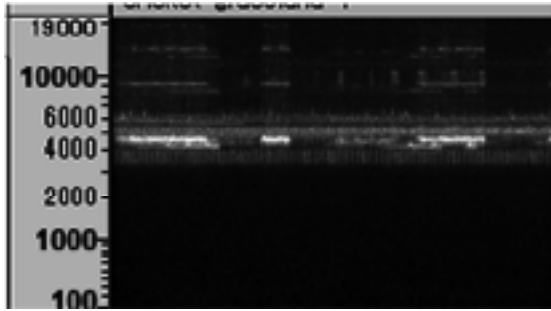


図 6-2 目で測定した音の振動数スペクトラム

人の話し声が一切ない中で測定したため、図 6-2 は「における環境音といえる。虫の音がけたたましく鳴り響き、5000Hz に大きなピークがあることが分かる。この音はスズムシである。

秋の夜、忍者が人の声を盗み聞きするには、このスズムシの鳴き声は少し邪魔だったに違いない。忍具「些音聞金」はこうした高音の環境音を低減するノイズキャンセリングの道具であることが推察された。

## (2) 研究Ⅱ 「些音聞金」による話し声の聞き取りやすさの測定の結果

図 5-6, 5-7 より、「些音聞金」を通して音を聞くことで、S/N 比がおよそ 1.7 倍に増加した。つまり 1.7 倍話し声が聞きやすくなることが分かった。これは、図 6-6~6-7 の振動数特性から、高音領域が減衰していることが、大きく影響していると考えられる。

## (3) 研究Ⅲ 「些音聞金」の原理を活用し、既存のマイクに装着して話し声を聞き取りやすくする器具製作の結果

図 5-10, 5-11 より、3D プリンターを用いて筐体をつくり、ステンレス板を既存のマイクに装着することで、S/N 比がおよそ 1.6 倍に増加した。つまり 1.6 倍話し声が聞きやすくなることが分かった。これは、図 5-10, 5-11 の振動数特性から、高音領域が減衰していることが、大きく影響していると考えられる。

つまり、忍具「些音聞金」で得られた知見を活用することで、既存のマイクに高音のノイズキャンセ

リング機能を簡単に追加できることができた。

## 7. 結果

本研究により、忍者が聴音に使っていた忍具「些音聞金」(さおとさきがね) について、次のことが明らかになった。

### (1) 「些音聞金」の物垣特性について

- ① 運送にあった音の共振による共振ではなく、同音と干渉によって振数 5000Hz 以上の高音が減衰する機能を有する。
- ② 特に「些音聞金」裏側の両端において、5000Hz 以上の高音に対して、高音が同音に干渉しにくいことに加えて、干渉による打ち消し合いが大きく、著しく減衰する。
- ③ 5000Hz 以上の環境音として、秋に鳴り響くスズムシの鳴き声などがあり、忍具はこのらの環境音を低減する道具であると推察される。
- ④ 高音領域の減衰により、低音領域が聞き取りやすくなり、S/N 比において、その忍具は 1.7 倍になる。

以上より、忍具「些音聞金」は、スズムシなどの高音の環境音を打ち消すノイズキャンセリングの機能があり、相対的に低音である話し声を聞き取りやすくする道具であることが判明した。

### (2) 忍者による「些音聞金」の使い方について

「些音聞金」両端の狭い領域において、5000Hz 以上の高音に対して、高音が同音に干渉しにくいことに加えて、干渉による打ち消し合いが大きく、著しく高音が減衰する。

つまり、「些音聞金」のノイズキャンセリング機能を有効に使うには、両端の狭い領域に耳の穴を調整する必要がある。

図 1-2 にあるとおり、忍秘伝に「耳に挿げて」とあることから、忍者は冬で「些音聞金」を正しく、一端を耳の穴に重なる角度の場面に調整して使用していた様子が推察される。(図 7-1)



図 7-1 視者の「些音閉金」の使用想像図

### (3) 現代における「些音閉金」の活用

特許が廃止によって、3Dプリンターを用いて薄板をつくり、スランクス板を既存のマイクに装着することで、S/A比がおおよそ1.6倍に増加した。つまり、本牙齦で得られた器具「些音閉金」の知見を用いて既存のマイクの性能を簡単にアップすることができた。

今後は、図 7-2 のようなマルチアレイマイクを開発したい。これは、「些音閉金」の端で声音が大きく減衰する特性を活用し、板の端にマイクを複数設置した装置である。これにより、直気的な方法を用いなくても、よりきれいに話し声を聞き取れるマイクを実現できるのではないかと考えている。



図 7-2 今後開発したいマルチアレイマイク

## 8. まとめ

私たちは「些音閉金」の持つ物理特性を科学実験によって調べた。その結果、「些音閉金」は、真側で回折・干渉によって高音領域を打ち消す機能を持つことが分かった。つまり、「些音閉金」は高音

のノイズを消し、低音の話し声を聞きやすくする装置であることが明らかになった。

また、その使用方法は、「些音閉金」の端に口を近づけて使用されていたことが観察された。

さらに、「些音閉金」の知見を活用することで、現代の既存のマイクに手軽に、話し声を聞きやすくする機能を追加できることが示された。

## 9. 謝辞

この研究を実験のアドバイスや研究の方向性について相談に乗っていただいた、科学部顧問の木谷健志先生をはじめとする本校の先生方、そしてSSH 生徒研究発表会など各種大会でお世話になった教授や先生方にこの場を借りて感謝を述べさせていただきます。

また、「些音閉金」の研究を始めるに当たって必要不可欠であった「些音閉金」のサンプルは、周市市に所在する千村鉄工所より無償で提供をいただきました。本当にありがとうございます。

## 10. 参考文献

「宗本 忠秘伝」中島篤臣 訳註、ISBN 978-4-336-06373-1、国書刊行会、NDL 789. 8

# AI Cat door の開発

志賀元飛、山田政彦、松永智教、桑原誠汰  
山口県立徳山高等学校  
指導教員 大谷健志

## アブストラクト

これまでのキャットドアは猫だけでなく他の動物も通れてしまうので、猫にとって不安が残っていた。そこで、AIによる顔認識を用いて家の猫だけを通すようなキャットドアを開発した。家の猫が通ろうとすると自動でドアが開き、他の猫や他の動物が通ろうとしてもドアは開かない様にした。これにより、以前より猫にとっての安全で自由な生活を実現した。

### 1. 研究目的

猫にとって安全で自由な生活を実現するために家の猫専用のキャットドアを開発すること。

### 2. 研究方法

研究目的を達成するために以下を開発する。

#### A) AIの判定を受けて自動で開閉するシステムの構築(※1)

このシステムは以下の流れで動作するように構築する

- ① webカメラで猫を映す。
- ② PCのAIで映った猫かどうかを判定する。
- ③ 正しい猫の判定であればマイコンボードへ動作の指示を送る。
- ④ ボタンで扉を開ける。

#### B) 正確に正しい猫を認識するAIの構築

一般にAIを構築するには、機械学習用の大量のデータが必要で、AIの精度を大きく左右する。そこで以下のデータを用いて精度を比較する。

- データ1 インターネットで公開されている大量画像(Kaggle)を用いてAIを構築する。(図2)  
本研究では猫、犬、ゴミ(ペットボール等)、雑のデータセットをAIの学習に用いた
- データ2 データ1に猫の3Dモデルを追加してAIを構築する。(図3)  
猫に製作した猫の3Dモデルを様々な方向から撮った写真を加え、AIを学習させる

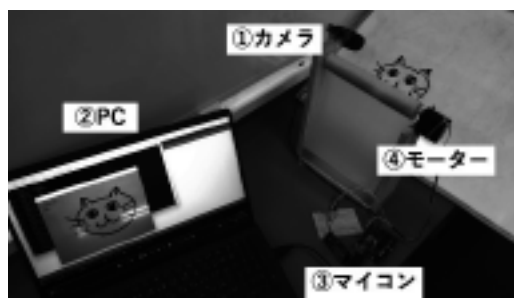


図1 実際の様子

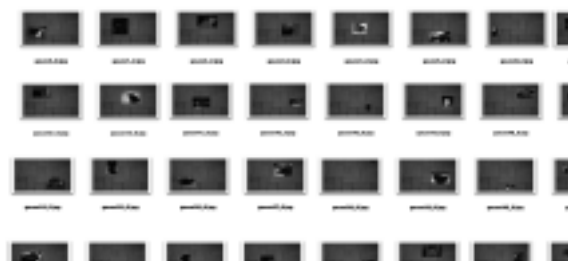


図2 インターネットに公開されている猫の大量画像



図3 学習に用いた猫の3Dモデルの一部

### 3. 開発の流れ

AIに学習で用いていない画像を見せ、それがどれだけの確率に判定されるかを確かめる。本実には本物の猫をカメラで写み取りAIに見せるのが望ましいが、猫を学校に連れ出すことはできなかったため背景を透過された猫の画像や、その他犬などの画像をAIに見せ、確率を測定した。

#### A) 写真を合成し、木増しするプログラム

AI cat door は扉を置きの機械であるため、カメラに映る背景はほとんど変化しない。そのため、猫や犬のデータを一枚の背景と合成することで写真に近づくと考えた。

図4, 5は背景画像と猫や犬のデータを合成し、木増しするプログラムの一部である。このプログラムでは以下を行う。

- ① 背景の上には猫や犬のデータをランダムな位置に貼り付ける
- ② その画像にモザイクやノイズ、コントラストの変化をつお、それぞれ保存する





図8 作成した3Dモデル



図9 背景と合成したデータセットの画像の例

#### 4. 結果

- A) 正しい猫が来たときに正確に扉が開くシステムが実装できた。  
表1より、97%の精度で正しい猫を判定できたと分かる。
- B) 3Dモデルを用いて精度の良いAIを実現した。  
表1より、3Dモデルを学習に用いたAIの方が正しい猫を判定する精度が高くなった。

表1 製作したAI cat doorの結果

試行回数	成功回数	成功割合
4200回	4078回	97.09%



図10 背景と合成した3Dモデルの画像の例

#### 5. 考察

- 結果Aについて  
図9より、データセットの猫には余計な背景が映り込んでいるが、3Dモデルには、余計な背景が映り込んでおらず、図10のように背景と合成したとき、より実実に近いデータを大量に用意することができたことが要因の一つと考えられる。また、データ2でも言った通り、様々な角度からの猫画像が撮れたことで3Dモデルのメリットを最大限に生かして様々なシチュエーションを生み出したことも要因の一つと考えられる。
- AI cat doorの課題  
図11よりAIは正しい猫ではない画像を見せたとき正しい猫と判断ミスした割合が白猫のときに最も多いことである。これは、本研究所で正しい猫として扱った猫が白猫であったためだと考えられる。(図11)

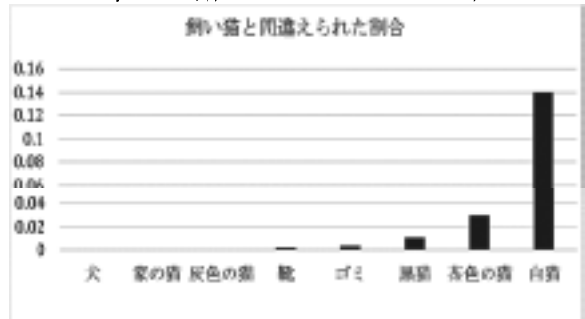


図11 正しく正しい猫であると判断したデータの種別割合



図12 背景と合成した正しい猫の画像の例

## 6. 展望

本研究では、かなり高い精度で白い猫を判断し、自動で扉を開放することができた。考察でも示したように、AI に飼い猫ではない画像を見せたとき飼い猫と判定ミスした場合が白猫のときに最も多いことが分かった。しかし、ドアを見てわかるように、ほかの白猫と飼っている家の白猫を見分けるのは人間でもかなり困難の業である。しかし、3D モデルを現実近づけたり、データ量を増やしたりすることで限りなく判定を 100% に知覚することが今後の課題である。そうすることで、人間だけでなく猫にとってもより過ごしやすい環境を作ると私たちは信じている。

## 7. 結論

本研究では、AI の画像認識を用いた cat door の開発を目指した。

そこで、インターネットで公開されている大量の画像で AI を構築したり、それに猫の 3D モデルを追加して AI を構築したりするという工夫を施した。

結果として、97% の精度を持った AI の開発に成功し、3D モデルを AI のデータに組み込むことが可能であることが分かった。

このことから、データを背景と合成するときには余計な背景を入れないことで、現実に近い画像となりデータとして価値があると考えられた。

その一方で、今回実験した猫が白猫であり人間でも判断するのが難しいため、AI に「猫の画像を見せると誤判定することが多い」という課題が浮かんだ。

この課題を踏まえて、3D モデルをより現実に近いものにし、データ量を増やすことで精度が改善すると考えられる。この仮説をもと猫にとってより住みやすい環境を作ることが目標としようと思う。

## 8. 謝辞

本研究を進めるにあたり、末谷先生には、指導教員として終始熱心なご指導を頂きました。心から感謝いたします。最後に、徳山高校物産部の皆様には、本論文の執筆にあたり多くのご助言、激励を頂きました。本当にありがとうございます。

## 9. 参考文献

プログラミングの参考にさせていただきました。

1. <https://qiita.com/bohemian916/articles/9630661ed529224f6e7>
2. <https://blanktar.jp/blog/2015-02-python/>

# VRPhysics (VR を用いた物理運動可視化アプリ) の開発

一筆/記 廣岡 大  
山口県立徳山高等学校  
指導教員 矢本 健志

## アブストラクト

運動の理解を容易にするために、VR 技術を用いたリアルタイムに物体の位置や速度、加速度ベクトルを可視化し、物質量の変化のグラフ表示やシミュレーション等を通じて様々な物理現象を理解するこれまでにないシステムを開発しようと考えた。実験ではこのアプリを用いて円運動や単振動などの物理量に感性が人大きく表れる運動を拝察した。今後は複数の VR での仮想空間の寸尺と加速度の精度の向上を目指し、研究を続けていきたい。

## 1. 研究目的

高校物理では約めに学ぶ力学がどの分野でも基本となる。その力学を学ぶ上では、運動の特性を表す量(位置や速度、加速度のベクトルなど)を理解することがとても重要である。しかし、これらを見ることはできないため、理解に多くの時間を要する。また、円運動や単振動などの運動ではさらにその速度や加速度のベクトルが重要になるが、等加速度直線運動などの単純な運動よりも理解がずっと難しくなる。これにより完全に運動を把握できず、物理に苦手意識を持つ生徒もいるのではないかと考えた。

こうした背景から、VR 技術を用いて立体的かつリアルタイムで力学のあらゆる運動の位置や速度、加速度を可視化する新しいシステムを開発しようと考えた。仮想空間では立体的なオブジェクトがリアルタイムに表示されるため、これまでにない運動の観察が可能になる。また、シミュレーションを用いることで反発係数や質量の変化による運動の変化も等しい比較が可能になる。このシステムを用いて可視化した運動の位置や速度、加速度のベクトルやグラフの観察、シミュレーション機能によって、より簡単に運動を理解することが可能になるはずである。

## 2. 研究の方法

### 【使ったデバイス】

PC, Meta Quest

計、アプリケーションの開発には Unity を使った。

### (1) 研究 I VR 空間上に位置や速度、加速度を可視化するアプリケーションの開発

#### ①矢印での可視化

コントローラーの位置はコントローラーのオブジェクトを表示し、それに速度を青色の矢印、加速度を赤色の矢印で表示する。

#### ②グラフでの可視化

取得した値からグラフを作ることで、運動の変化を分かりやすく可視化する。

### (2) 研究 II VR 空間上でシミュレーションを行うアプリケーションの開発

#### ①Ground

下向きに一定の加速度がかかる空間でのシミュレーションを行う。

#### ②Universe

万有引力が働く空間でのシミュレーションを行う。

### (3) 研究 III 開発したアプリケーションの利用

#### ①円運動

コントローラーに糸を吊り下げて回転させることで円運動を行う。

#### ②単振動

単振動ばねの先にコントローラーを取り付けて単振動を行う。

#### ③力学台車

力学台車にコントローラーを取り付けて斜めと水平な直で運動させる。

### 3. 結果

#### (1) 研究1 VR空間上に位置や速度、加速度を可視化するアプリケーションの開発

##### ① 矢印での可視化

コントローラから位置情報を毎フレーム取得し、1フレーム間の位置、速度の変化をフレームの長さで割ったものをそれぞれ速度、加速度とし、3次元ベクトルで求める。(図1)

一定のフレームごとに区隔を設けてベクトルを生成するとき、位置をその区隔の真ん中の値、速度、加速度をその区隔の平均の値とする。また、速度ベクトルを青色、加速度ベクトルを赤色の矢印で生成する。(図2)

```
ConPos = Controller.transform.position;
ConVel = (ConPos - preConPos) / Time.deltaTime;
ConAcc = (ConVel - preConVel) / Time.deltaTime;
preConPos = ConPos;
preConVel = ConVel;
```

図1. 位置から速度、加速度を取得するスクリプト

```
System = 0
if (frameCount >= frame)
{
    Vector3 ConPosSum = new Vector3(0, 0, 0);
    Vector3 ConVelSum = new Vector3(0, 0, 0);
    Vector3 ConAccSum = new Vector3(0, 0, 0);

    for (int i = 0; i < frame; i++)
    {
        ConPosSum += ConPosList[i];
        ConVelSum += ConVelList[i];
        ConAccSum += ConAccList[i];
    }

    Vector3 ConPosAverage = ConPosSum / frame;
    Vector3 ConVelAverage = ConVelSum / frame;
    Vector3 ConAccAverage = ConAccSum / frame;
    float ConVelMagAverage = ConVelAverage.magnitude;
    float ConAccMagAverage = ConAccAverage.magnitude;

    Vector3 ArrowPos = ConPosList[Mathf.RoundToInt(frame / 2)];

    if (vectorMode == 0)
    {
        ArrowInstantiate(0, ArrowPos, ConVelAverage, ConVelMagAverage);
        ArrowInstantiate(1, ArrowPos, ConAccAverage, ConAccMagAverage);
        Graph(PlayerPos, ConPosAverage, ConVelAverage, ConAccAverage, 0);
    }
    else if (vectorMode == 1)
    {
        ArrowInstantiate(2, ArrowPos, ConVelAverage, ConVelMagAverage);
        ArrowInstantiate(3, ArrowPos, ConAccAverage, ConAccMagAverage);
        Graph(PlayerPos, ConPosAverage, ConVelAverage, ConAccAverage, 0);
    }
    else
    {
        if (OWInput.GetButtonDown("Fire1"))
        {
            ArrowInstantiate(4, ArrowPos, ConVelAverage, ConVelMagAverage);
            ArrowInstantiate(5, ArrowPos, ConAccAverage, ConAccMagAverage);
            Graph(PlayerPos, ConPosAverage, ConVelAverage, ConAccAverage, 1);

            ArrowPosList.Add(ArrowPos);
            ArrowVelList.Add(ConVelAverage);
            ArrowAccList.Add(ConAccAverage);
        }
    }
}
```

図2. ベクトルを表示するスクリプトの一部

アプリケーションを起動し、コントローラーを動かすと速度、加速度を表す矢印型のオブジェクトをVR空間上に表示できた。ベクトルの表示方法はRealtime(現在の運動をコントローラーの位置に表示) 図3)、Allerglow(直前の数秒間の運動を表

示) (図4)、Record(トリガーを押している間、運動を記憶し保存)、(図5)の三種から選ぶことができる。



図3. Realtimeでのベクトル



図4. Allerglowでのベクトル

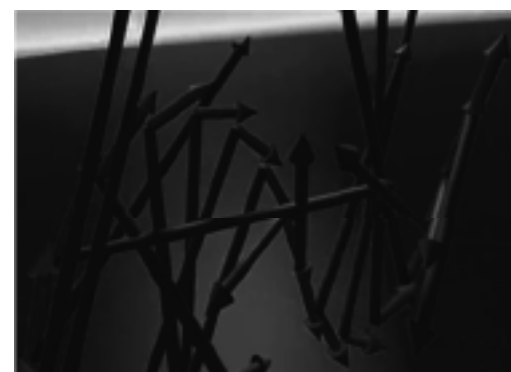


図5. Recordでのベクトル

##### ② グラフでの可視化

取得した位置や速度、加速度の値を保存し、横軸を時間、縦軸を何としたグラフを生成する。方法として、使用者から値に対応した2点位置の点を求め、TimeRenderer 関数を用いて線で結ぶことで折れ線グラフを描く。また、三種全ての値のグラフを同時に表示する。(図6)

```
Vector3 LeftConPos = Controller2.transform.position;
var gvecx = (LeftConPos.x - PlayerPos.x) * gohange + 0.0001f;
var gvecy = (LeftConPos.y - PlayerPos.y) * gohange + 0.0001f;
var gvecz = (LeftConPos.z - PlayerPos.z) * gohange + 0.0001f;
var basepoint = new Vector3(gvecx, gvecy, gvecz);
```



```

for (int i = 0; i <= 150; i++)
{
    position1[i] = new Vector3(0f, element2[GraphCombi[GraphMode, 0], i]
        * grange[0] + gpos[0], 0f) + basepoint + sidescale
        * (i - 75) + PlayerPos;
    position2[i] = new Vector3(0f, element2[GraphCombi[GraphMode, 1], i]
        * grange[1] + gpos[1], 0f)
        + basepoint + sidescale * (i - 75) + PlayerPos;
    position3[i] = new Vector3(0f, element2[GraphCombi[GraphMode, 2], i]
        * grange[2] + gpos[2], 0f)
        + basepoint + sidescale * (i - 75) + PlayerPos;
}

```

```

g1 = new GameObject();
lineRenderer(g1, position1, GraphCombi[GraphMode, 0]);
g2 = new GameObject();
lineRenderer(g2, position2, GraphCombi[GraphMode, 1]);
g3 = new GameObject();
lineRenderer(g3, position3, GraphCombi[GraphMode, 2]);

```

```

private void lineRenderer(GameObject g, Vector3[] position, int ColorNumber)
{
    var lineRenderer1 = g.AddComponent<LineRenderer>();
    lineRenderer1.useWorldSpace = true;
    lineRenderer1.useWorldSpace = false;
    lineRenderer1.positionCount = position.Length;
    lineRenderer1.material = new Material(Shader.Find("Sprites/Default"));
    lineRenderer1.startWidth = 0.02f;
    lineRenderer1.endWidth = 0.02f;
    lineRenderer1.startColor = GraphColor[ColorNumber];
    lineRenderer1.endColor = GraphColor[ColorNumber];
    lineRenderer1.SetPositions(position);
}

```

図6. グラフを表示するスクリプトの一部

アプリケーションを起動しコントローラーを動かすと、運動の変化をVR空間上にグラフとして表示できた。(図7)

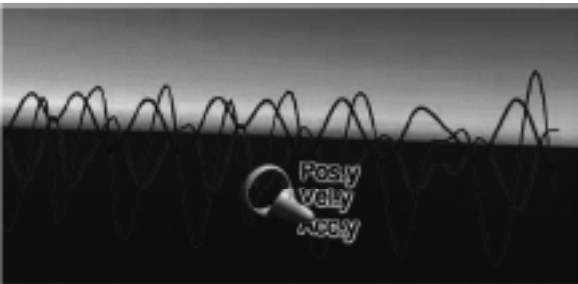


図7. 表示されるグラフ

## (2) 研究Ⅰ VR空間上でシミュレーションを行うアプリケーションの開発

コントローラーのトリガースイッチを際した時の位置を初期位置、速度を初速度とした球の動きをシミュレーションする。シミュレーション機能では、GroundとUniverseの2種類の機作を定義する。

### ① Ground

地面のある空で、下向きに一定の重力加速度を生かせるシミュレーションを作成する。Unityの物理演算機能を利用して、重力加速度や球と地面の反発係数も変数を設定する。

### ② Universe

万有引力の公式をスクリプトで記述する

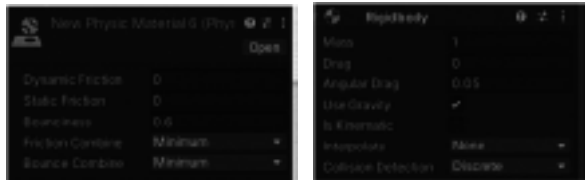


図8. Urilyのコンポーネント

```

else if (PlanetCount == 2)
{
    Vector3 difference = Planet2.transform.position
        - Planet1.transform.position;
    Vector3 UnitForce = difference.normalized;
    float distance2 = difference.sqrMagnitude;
    Vector3 Force = UnitForce * Planet1 * Planet2 / distance2;
    rb1.AddForce(Force);
    rb2.AddForce(-Force);
}

```

図9. 万有引力の公式を用いた計算するスクリプト

シミュレーション機能を使用すると、放物線を描く斜方投射の運動と、万有引力が働く2物体の運動が観察できた。(式10)(図11)(図12)



図10. Golicを用いたシミュレーション

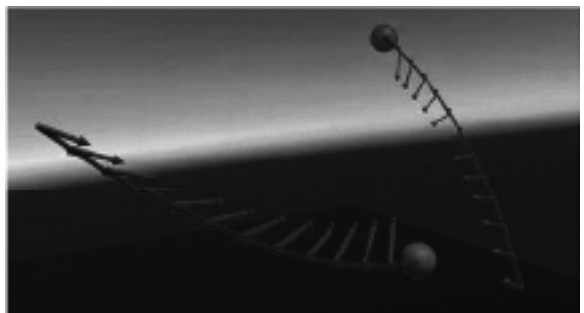


図11. Universeを用いたシミュレーション1

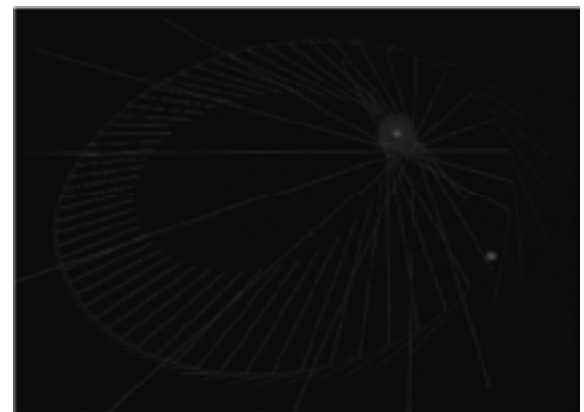


図12. Universeを用いたシミュレーション2

### (3) 研究Ⅲ 開発したアプリケーションの利用

#### ①円運動

常に、速度ベクトルが円の接線方向、加速度ベクトルが円の中心方向を向いた。(図 13)

#### ②単振動

グラフが正弦波となった。(図 14)

#### ③力学台車

加速度のベクトルが様々な向きを向いた。(図 15)



図 13. アプリケーションを用いた円運動

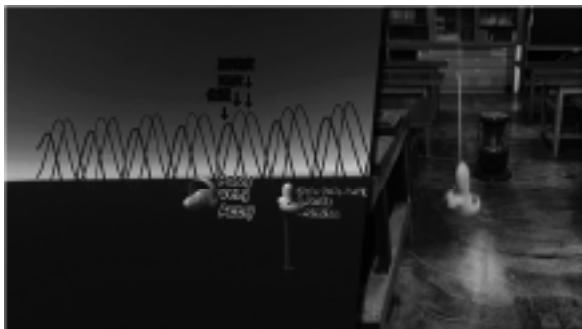


図 14. アプリケーションを用いた単振動

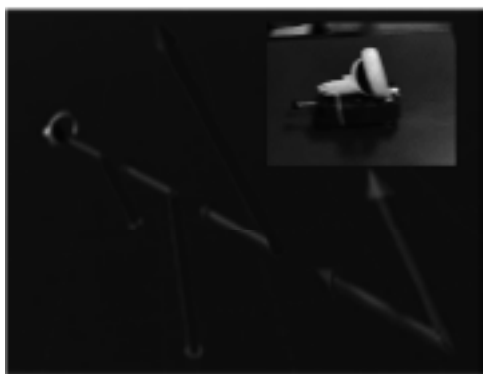


図 15. アプリケーションを用いた力学台車の運動

#### 4. 考察

図 10～図 16 より、このアプリを用いることで、位置や速度、加速度のベクトルの可視化やその変化を観察できるグラフ、シミュレーションの表示に成功し、運動を容易に理解することにつながったと考

えられる。

図 16 より、力学台車の実験で加速度のベクトルが様々な向きを向いたのは、コントローラ、の位置から加速度を計算するために、摩擦や振動の影響を大きく受けたからだと考えられる。

#### 5. 展望

このアプリの魅力はあらゆる運動の位置や速度、加速度を可視化できるという点にある。しかし速度の精度が速度の大きい運動で不安定になるという課題がある。これはコントローラ、の加速度センサーから値を直接取得することで解決できると考え、現在改良に取り組んでいるところである。

将来は複数の VR を用いて、同じ仮想空間内での共有を可能にすることで、結果を複数人で確認できるように研究を続けていきたい。

#### 6. 謝辞

本研究をすすめるにあたって、助言や論文の校正をしてくださった本校科学部物理専攻門の末谷先生に謝辞を申し上げます。また、本研究は山形県立徳山高等学校科研費より助成をいただいております。

#### 7. 参考文献

Unity の教科書「Unity 2018」第 4 版 (北村愛実・2018)

MediasAi (末谷徳志・2021)

# 品種による米ノリの強度と硬化時間の短縮

谷本悠真、山口大輝  
山口県立徳山高等学校  
指導教員 久保和彦

## アブストラクト

米ノリは日本で古くから用いられている環境にやさしいノリであり、強度が非常に高いとされている。しかしながら、固まるまでの時間(以下「硬化時間」と呼ぶ)が長く、水や湿気に弱いといった弱点を抱えている。そのため、現在では硬化時間がそれほど影響しない建築資材などで主に利用されている。

また、先行研究では「うるち米」や「もち米」などの米の品種の違いによる強度や弾力性が研究されていたが、米ノリを自作して応用実験をしている事例は見当たらなかった。

そのため、私たちはまず品種による米ノリの強度の違いを確かめ、どの米がノリとしての利用に適しているかを実験することにした。また、硬化時間を短縮するために、吸水作用のある化学的乾燥剤(今回は塩化カルシウム)を配合して強度を比較した。

## 1. 研究目的

米ノリは、木材どうしを繋ぎ合わせるのに優れた接着力を持っている。しかし現在、一般的に木工用接着剤は酢酸ビニル樹脂を主成分としたものが使われ、米ノリは建築などで使用される程度であまり日常利用されない。主な理由としては、米ノリが有機物であるため、カビなどに弱いことや接ぎ合わせるのに長い時間がかかることが挙げられる。

また、SDGs を代表して世界全体で持続可能な社会を目指している。米ノリは米と水しか使用しておらず、取りまく環境にやさしい素材であるため、私たちは米ノリをより日常的に使用できるようにしたいと考えこの研究を行った。

## 2. 研究方法

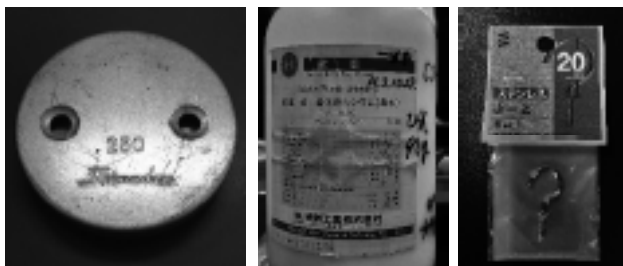


図1 使用した鋳(左)、塩化カルシウム(中)、酵母(右)

今回の研究では以下の2種類の実験を行う。

- A) 米の品種による米ノリの強度の違いを比較する

- 3) 米ノリの硬化時間を短縮する物質を発見し、米ノリに配合して強度を比較する

### (1) 実験道具

もち米、うるち米、塩化カルシウム無水和物、蒸留水、アカシア集成材(10mm厚)、酵母、鋳(250g/個)

### (2) 米ノリの製作

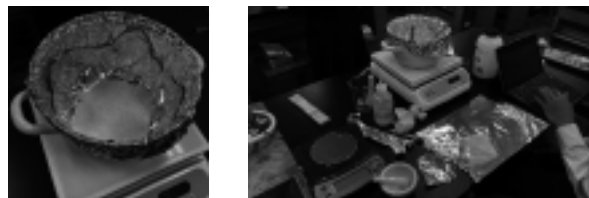


図4.5 米ノリ製作の様子

- ① 米をミキサーで粉末状にする
- ② 米を一定質量はかりとる。
- ③ 質量比が(米) : (蒸留水) = 1 : 3 となるように蒸留水の質量をはかり、米と蒸留水を鍋に入れて混ぜる。
- ④ ホットプレートで 220℃ に設定し加熱する。
- ⑤ 粉末状の米が水と完全に混ざり、蒸気が出て半透明に変色したところで取り出し、一定質量をはかって実験装置に塗布する

米ノリは冷凍庫で保存し、電子レンジで解凍して再度使用することができる。なお今回の実験では解凍したものは使っていないかった。

(3) 品種による米ノリの強度の比較実験

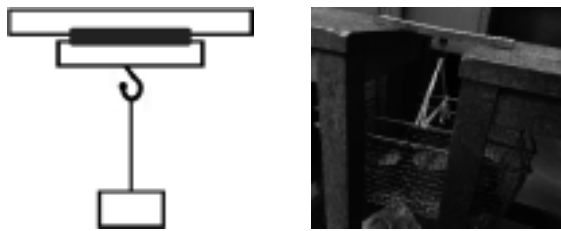


図6 実験装置の概形、図7 実験装置の写真

上部の板(以下「親板」と表記)に米ノリを塗布した板を接着する。コードをつけ、糸をつけたカゴを掛けて錘を足加していく。板が親板からはがれたときの錘の質量を調べる。

なお、錘は最初に4.0kg までおき、1分ごとに250gずつ追加するという方法をとった。この方法を用いて、以下の条件1~条件3を設けて実験を行った。

条件1

10 cm×15cmのアリシア木の板に米ノリを10g 塗布し、親板に貼り付ける。24時間以上乾燥させ、図8の実験を行う。

条件2

3.0cm×3.0cmのへの板に米ノリを0.50g 塗布し同様に実験を行う。

条件3

1.0cm×1.0cmの六の板に米ノリを0.050g 塗布し同様に実験を行う。

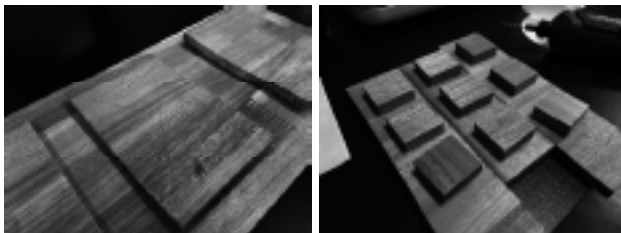


図8 条件1の実験装置(左)、図9 条件2の実験装置(右)

(4) 米ノリの硬化時間を短縮する物質

米ノリは硬化時間が非常に長いことが欠点であるため、硬化時間を示める方法も検討した。米ノリは水分を放出し乾燥することで硬化するため、今回の実験では、乾燥剤を米ノリに混ぜるという方法をとった。乾燥剤は主に物理的乾燥剤と化学的乾燥剤に分類できるが、一度吸水すると化学変化して再び水分を放出しない化学的乾燥剤に注目した。代表的な化学的乾燥剤として酸化カルシウムと塩化カルシウ

ムがあるが、今回はより安全な塩化カルシウムを採用した。

この実験では、加熱した米ノリ 200g(米 50g, 水 150g)に対し塩化カルシウム 11.1g(0.10mol)を投入する。全体的に混ぜたら(3)の条件3と同じ実験を行う。

3. 仮説

私たちは以下のような疑問から、「うるち米」よりも、「もち米」のほうが強度が高いと予想した。

米には、主にアミロースとアミロペクチンという2種類のデンプンが含まれている。アミロースはブドウ糖が直鎖状に約1,000個つながったものであり、アミロペクチンはブドウ糖が枝分かれして数万~数十万個つながっている。



図10 アミロースの概形(左)、図11 アミロペクチンの概形(右)

「うるち米」と「もち米」ではこの2種類のデンプンの含有割合が異なり、値体質はあるがおよそ以下の割合となる。

表1 もち米とうるち米のアミロース・アミロペクチンの含有割合

	アミロース	アミロペクチン
もち米	0%	100%
うるち米	20%	80%

アミロペクチンの割合が高いと粘り気が強くなる。「もち米」と「うるち米」を比較するともち米の方がアミロペクチンの含有割合が高いため、粘り気が強い。そのため私たちは、「もち米」の方が、接着強度が高いと予想した。

4. 結果

条件1の耐久実験では20kgを越える錘を投入したが、親板からはがれなかったために計測が行えなかった。これを踏まえ、親板を小さくして再度実験を行うことにした(条件2)。しかしそれでも強度が高く、計測が行えなかったため、再度親板を小さくして実験を行った(条件3)。以下は条件3での計測結

果である。

※に荷重の値について、仮説ははがれたときの質量が5kgだったとき、応荷重として記載するのは一つ前の段階の5.2kgとした。また、計算結果の質量は糸とカゴの質量は加算していない。

表7 米と水のみで作成した米ノリの応荷重比較

	耐荷重 (kg)	
	もち米	うるち米
1 目目	4.75	17.75
2 目目	9.75	9.75
3 L 目	5.25	9.25
4 L 目	7.70	13.75
5 目目	11.75	
平均値	7.83	12.63

「うるち米」の5目目の試行については、4目目の試行の際に5目目の板が剥がれかからはがれてしまったため実験ができず、値が得られなかった。

この実験の課題点として、試行1回ごとの強度差が大きく、規定的な値を得ることができなかったことである。しかし、全体的に「もち米」よりも、

「うるち米」の方が、強度が高い傾向があり、私たちの仮説とは異なる結果となった。

さらに、同じ条件で木工用ボンド(主成分:酢酸ビニル樹脂)でも実験を行ったが、結果は2.0kgとなった。「うるち米」は木工用ボンドの64.8%の強度とであった。

(4)では「うるち米」50gに、塩化カルシウム0.10mol(11.10g)を配合して、何も配合していない状態の米ノリとの強度比較を行った。(4)では強度の高かった「うるち米」を使用した。以下に結果を示す。

表3 塩化カルシウムの配合の有無による強度の比較

	うるち米の耐荷重 (kg)	
	配合あり	配合なし
1 目目	5.50	17.75
2 目目	8.00	9.75
3 目目	3.75	9.25
4 L 目	9.25	13.75
平均値	6.63	12.63

強度を平均値で比較すると、塩化カルシウムを配合した「うるち米」のノリは、配合していない場合と比較して49.5%低い強度となった。

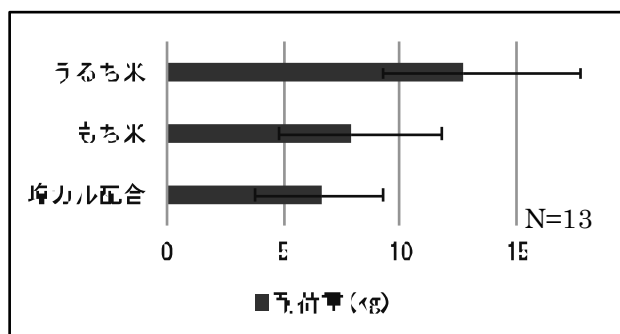


図12 表2, 表3をもとに作成したグラフ

## 5. 考察

まず、仮説と異なり「うるち米」の方が、強度が高い結果となった理由について、仮説で述べた「ネリ気」の前では説明できないため再検討した。米ノリはアミノース、アミノペクチンの表面にあるヒドロキシ基によって、水素結合で接合していると考えられている。水素結合は他の結合と比べても強い結合であることや、米ノリの強度が非常に高いことからこれも正しいと考えられる。仮説で示したように、アミノペクチンはアミノースと比べても非常に大きく、反応が起きているため表面積も大きい。しかし、米ノリが硬化するときにアミノペクチンが反応することで表面積が小さくなり、その結果アミノペクチンの表面での水素結合が少なくなるのではないかと考えた。一方、アミノースは直鎖状に連なっているため、硬化しても表面積が大きく変わらず、また、比較的小さく隙間に入りやすいために高い強度を維持できるのではないかと考えた。以上のことから「うるち米」の方が強度が高い理由は、アミノースを20%ほど含むからではないかと考えられる。

次に、塩化カルシウムを配合すると強度が大きく落ちた点については、塩化カルシウムは吸水性が高く、失水すると変質して再水を放出することがないため実験に用いたが、吸水した塩化カルシウムはゼリー状になるという特徴がある。そのため米ノリが完全に互い合わず、不純物となって強度が落ちてし

まった可能性が高いと考えられる。

強度実験における値のばらつきについてだが、実験装置に問題があったと考えられる。私たちは以下の写真のように、一つの親板に対して複数の実験装置をつけた。これでは親板がしなることによって、端につけた個体と中央につけた個体での強度差が生まれてしまう。また、集成材は品質が安定しているからという理由で板はアカシア集成材を用いたが、アカシア自体が品質の差が大きいので、板も強度差に影響を出したと考えられる。

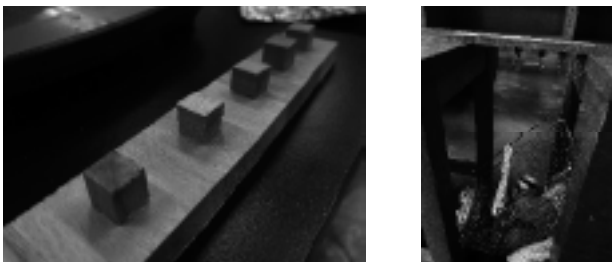


図 13, 14 親板一つに複数の実験装置をとりて実験した様子

## 6. 結論

- 「もち米」と「うるち米」で比較すると、「うるち米」の方が米ノリとしての強度が高い傾向にある。
- 「うるち米」50gに対し塩化カルシウム 11.1g(0.10mol)を配合すると強度が約 50%低下した。

## 7. 展望

今後の研究では、一つの親板に対し一つの試験装置を装着して個体ごとの強度差を低減する必要がある。具体的には、3.0×3.0(cm)の親板一つに条件3の実験装置を一つ装着して実験する予定である。

また、板にアカシア集成材を用いていたが、これからはより品質の安定したシトノキの集成材を使用して実験する。さらに実験の特性上、均一な値を得ることが難しいため、実験回数を増やすことに対応する予定だ。

乾燥剤について、塩化カルシウムでは水分を含むとゼリー状に変化してしまうため、以後の実験では生石灰を使用することも検討している。

また、「もち米」、「うるち米」は「ジャポニカ

米」に分類されるが、他にも「インゲンカ米」と呼ばれる品種もある。インゲンカ米はアミロースが約 40%、アミロペクチンが約 60%含まれている。予備実験でインゲンカ米で米ノリを製作した際に、粘り気が少なくうまく接着できなかったのが今回の実験では使わなかったが、考察をもとにするとインゲンカ米で条件3の実験データが得られれば、さらなる結果が得られる。製法を工夫してインゲンカ米でも実験を行う予定である。

以上の実験を終えた後、米ノリの強度が最大となるアミロースとアミロペクチンの含有割合についても実験で調査する。アミロースとアミロペクチンの試薬を用いて、それぞれの含有割合を調整しながら最適な割合を発見できるとよい。また、その結果で得られた割合に最も近い米(米ノリに最適な割合)を発見するのが最終目標である。

## 8. 謝辞

本研究にあたり、多くの方々にご指導、ご機嫌を賜りました。

米本先生、河川先生、竹重先生をはじめとして、様々な先生方が研究についての助言や実験準備の援助をしてくださり、ここまで研究を遂行することができました。心から感謝いたします。

株式会社無添加任保様には、米ノリを使用する品種の選び方や、実際にどのような場所で米ノリを使用するかなど、私たちの勝手なご迷惑はご容赦回答して頂きました。深く御礼申し上げます。

## 9. 参考文献

(1)もち米とうるち米の米粉ののりの物性の検討

[https://www.stage.ist.go.jp/article/nskkk1962/35/11/35\\_11\\_742.pdf](https://www.stage.ist.go.jp/article/nskkk1962/35/11/35_11_742.pdf) -char-ja

(2)ウルチ米およびモチ米の脂肪成分と熱糊化に伴う粘度との関係について

[https://www.stage.ist.go.jp/article/jhej1951/31/9/31\\_9\\_675.pdf](https://www.stage.ist.go.jp/article/jhej1951/31/9/31_9_675.pdf)

## シイタケ菌の成長と音の関係

二島太易、武智彩夏、細川明甲、篠川雅、坂越悠花、

山口県立徳山高等学校

卒業教員 小川 利巳

### アブストラクト

近年のキノコの需要の増加に向けて、栽培面積を広げずにキノコの生産量を増やすという目的で、植物に音を流すと収獲量が增加するようにキノコでも同じような結果が得られないかを示し、シイタケの培養体に様々な周波数の音を一定間流しながら培養し、その収量を調べた。その結果、400Hzと600Hzの周波数の音で培養したものは、どちらも従来の増産はほとんど見られず、子実体は腐った。また200Hzで培養したものは、無音に比べてコロニーの半径の大きさが下がっていた。これらのことから、音をシイタケに流すとその成長が阻害し、周波数が高くなるとその影響もさらに大きくなると思われる。

### 1. 研究目的

近年、キノコはそれに含まれている微量栄養素や代替タンパク質への期待から健康食品として注目されつつある。また、株式会社フーズバルーンフオメーションの市場調査レポートではキノコ市場は2027年までは8.5%の年平均成長率で成長すると予測されている。

ところが農林水産省による「キノコ類、木材等給の傾向」によると「へのキノコ生産者は減少が続き、キノコの生産量は1989年の33万トンから約20年で4割ほど増加したものの近年はキノコの出産量は年により多少の増減があるだけでほぼこの状態である。

キノコの需要に対応するためにキノコの生産量を増やそうとしても栽培面積を大きくすることは新たな栽培施設を増設することではキノコ農家にとってどちらも大きな経済的負担となってしまう。

そこで私たちは、植物に音を流すことで成長が促進される事例があることに着目し、音がシイタケの成長を促進するのではないかという仮説を立てた。

シイタケが植物と同じように、音により成長が促進されるのであれば、栽培面積を拡大したり、

栽培施設を増設したりせずにキノコを生産量を増やすことのできる、新たなアプローチとなると思われる。

さらに、与える音の周波数の違いによりキノコの成長の仕方に違いがあれば、成長に最適な周波数によってキノコの出産量増加を図ることができると考え、周波数の違いによるキノコの成長についても調べることにした。

### 2. 研究方法

#### (1) 供試菌株

本実験にはすでに栽培されており身近で入手しやすい市販の菌床栽培のシイタケ（雲太）（図1）を使用した。



図1 シイタケ（雲太）

#### (2) 寒大辛地の作成

水500mLにエビオス錠2.5g、砂糖5g、寒天10gを溶かし、寒天培地の液とした（以下、寒天

液と表結する)。オートクレーブでの滅菌の効率を上げるために三升フラスコ(100ml)2個にわけて寒天液を流し入れ、使用するシャーレと大にアルミホイルで包んでオートクレーブ(図2)で121℃、30分で滅菌したのち、クリーンベンチ内(図3)で室温まで冷まし、シャーレは約50℃ずつ寒天液を流し込んだ。

流し入れた寒天液が完全に固まった後、クリーンベンチ内でシイタケの外気に触れていない部分を無菌的※にハサミとピンセットで3mm四方の大きさに切り取った。そのシイタケ片をそれぞれの寒天培地の中央に1か所接種し、十分に冷めてからシャーレの蓋を閉め、図4に示すように定温21℃のインキュベーター内でスピーカーから同波数の音を流しながら培養した。

スピーカーはタブレット端末に接続してトーンジェネレーターというアプリを使用し「本体は通常の可聴域(200Hz、1000Hz、6000Hz)の音を流すものと無音状態のものに分けそれぞれの違いを観察した。スピーカーはシャーレに隣接させ、50dBで音を流した。

※・クリーンベンチの中で作業し、70%エタノール消毒液、アルコールランプを使用した。



図2 オートクレーブ 図3 クリーンベンチ



図4 インキュベーター

### (3) 経過観察

寒天培地に接種したシイタケ片以外の白色や緑色で網状の菌の混入が確認されたため、シイタケ片の増殖に与える影響がないと判断された場合に限り、雑菌を含む寒天の部分のみを除去してコロンタミナーションの拡大を防いだうえで観察を継続した。

また、寒天培地の作成の段階で寒天液が冷めないうちにシャーレの蓋を閉め、水蒸気が蓋についた場合に混入した雑菌が増殖しやすくなるを考慮、シャーレの蓋の水蒸が確認された場合には水滴をふき取った。これらの操作はいずれもクリーンベンチの中で無菌的※に行った。(※3)

### (4) 計測

シイタケ片の接種から1日後、毎日午後4時に菌の入ったシャーレを真上からタブレットで撮影し、図5に示すようにシイタケ片からコロニーの1周までの半径を3か所測りその平均値を記録とした。なお、午後1・2日間は欠日のためシャーレの撮影は行っていない。

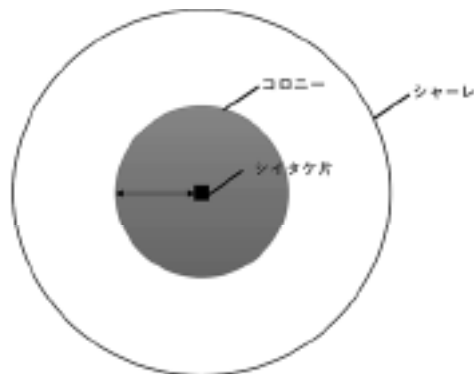


図5 コロニーの半径の測り方



### 3. 結果

#### (1) 200Hz、無音の場合

200Hz と無音でシイタケ菌を培養した結果を表2及び図6に示す。

すべてのシャーレで培養4日目からシイタケ菌の増殖がみられた。また、200Hzで培養したシイタケ片は無音で培養したものよりコロニーの半径の大きさが小さかった。さらに、6日目からはその差が次第に顕著になっていった。

	3H	4-	5H	6-	7-
200Hz <sub>a</sub>	0	0.22	0.33	0.57	0.85
200Hz <sub>b</sub>	0	0.05	0.18	0.38	0.61
無音 <sub>a</sub>	0	0.23	0.7	0.97	1.28
無音 <sub>b</sub>	0	0.2	0.7	0.97	1.35

表1 コロニーの半径の平均値の変化(cm)

(a,bは同じ条件の2枚の区別を表す。)

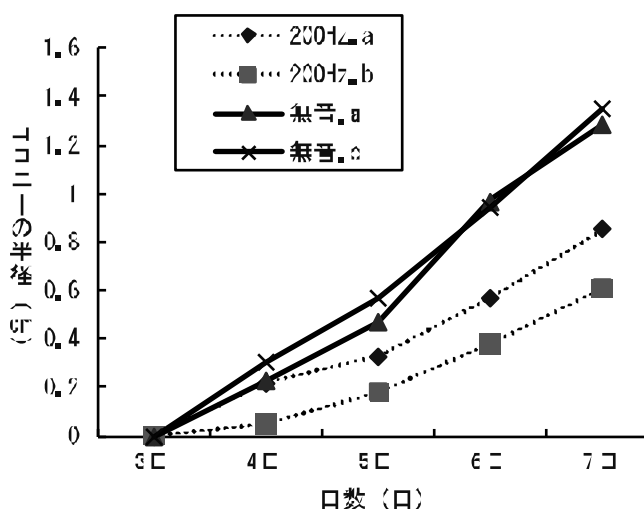


図6 コロニーの半径の平均値の変化(cm)

#### (2) 400Hz、600Hzの場合

400Hz と600Hzでシイタケ菌を培養した結果を表2及び図9に示す。

400Hz と600Hzで培養したシイタケ片はどちらもシイタケ菌の増殖はほとんど見られず、それぞれ7日後のコロニーの半径は400Hz<sub>a</sub>では0cm、600Hz<sub>b</sub>では0.005cmであった。

また、400Hzからは7日後、600Hz<sub>a</sub>では6日後に雑菌によるコンタミネーションが確認された

(図7、図8)。

さらに、400Hzと600Hzで培養したものは、シイタケ片が褐色に変色し、そのシイタケ片に隣接した寒天の部分も白色から褐色に変色した。

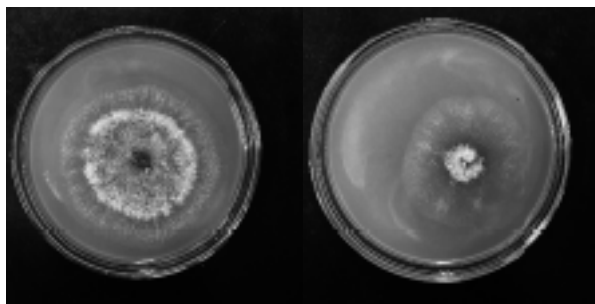


図7 400Hz<sub>b</sub>

図8 600Hz<sub>a</sub>

	3-	4-	5H	6H	7-
400Hz <sub>a</sub>	0	0	0	0	0
400Hz <sub>b</sub>	0	0	0.007	0.025	
600Hz <sub>a</sub>	0	0	0.021		
600Hz <sub>b</sub>	0	0	0	0	0.005

表2 コロニーの半径の平均値の変化(cm)

(a,bは同じ条件の2枚を区別する。)

斜線の部分は雑菌が侵入したため測定不可

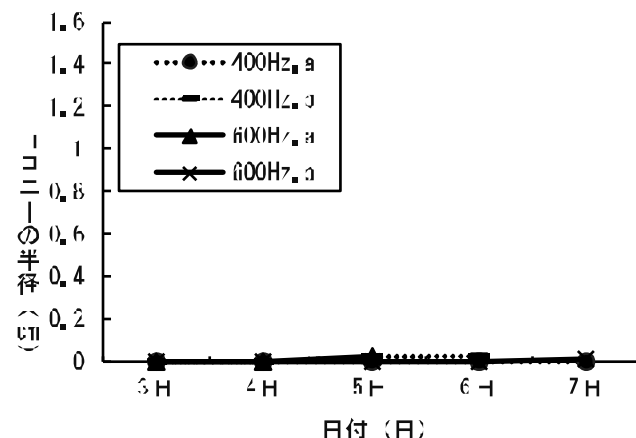


図9 コロニーの半径の平均値の変化(cm)

### 4. 考察

結果からシイタケ菌は無音状態の増殖が音を流す状態に比べてよく増殖し、シイタケ片に流水音の周波数を高くするほど、シイタケ菌はほとんど増殖しなくなることが分かった。

今回の研究で得られた結果より、音がシイタケ菌の増殖に与える影響と周波数によるシイタケ菌への影響の違いは見られたが、その原因まで考察することはできなかった。

## 5. 結論

本研究は音が植物の成長を促進することがあるという事例から、シイタケに音を流すと成長が促進されるのではないかと仮説を立てたが、結果と考察に示したように、無音状態でシイタケ片を培養したほうが、一定の音がある状態でシイタケ片を培養した場合よりも、ココニの半径が上回り、また周波数が大きくなるほどシイタケ菌のココニの半径は小さくなった。これらのことから、音はシイタケ菌の成長を促進する効果はなく、むしろ成長を阻害するという結論に至った。

## 6. 課題

今回の実験では周波数は200Hzごとに区別してシイタケに音を流したが結果の図6と図9からみられるように200Hzと400Hzの間でココニの半径に大きな違いが出た。

また、オーブンでシャーンを滅菌するときオーブンに入る容積の関係で、周波数ごとのサンプルの数が2つだけとなり、明確な傾向を得ることができなかった。

これらのことから、200Hz付近または200Hz以下の周波数について細かくズバッとシイタケに音を流して培養することで周波数の違いとシイタケの成長についてより詳細な結果が得られるようにしたい。

そして今回使用したシャーンの直径は9cmで結果からシイタケ菌のココニの半径は大きくても1.5cm程度だったのでより小さなシャーンを使用し、より多くのサンプルを用いて実験を行い、明確な傾向を得られるようにしたい。

以上の点に留意しながら、実験方法を改善し、今後も研究を続けていきたい。

## 7. 展望

今後の展望として、シイタケ以外のキノコについても音が成長などのような影響を与えるのか調べること、そして音がシイタケの成長に影響を与えた原因について解明することがあげられる。

まずシイタケ以外のキノコの成長に音がどのように影響するのかに関して、ほかのキノコの成長に音が与える影響が分かれば、キノコ全般への音が与える影響について傾向を予測できるのではないかと考える。

また、音がシイタケの成長に影響を与えた原因について、今回の研究結果ではわからなかったが、顕微鏡でのシイタケ菌の細胞の観察や寒天培地に接種する前のシイタケ片に含まれる物質と培養後のシイタケ片に含まれる物質の種類や量の違いについて調べることで、音がシイタケに与える影響の原因について知る新たな手がかりになるかもしれない。

## 8. 謝辞

本研究は独自高等学校の校内科伊費を使い行いました。

## 9. 参考文献

- 1) 「無菌操作と培地の作り方マル」  
[http://www.mil.ch-noc-l.ac.jp/~mko-lab/img/F1\\_c7.pdf](http://www.mil.ch-noc-l.ac.jp/~mko-lab/img/F1_c7.pdf)
- 2) 「キノコ栽培用の寒天培地の作り方。菌糸を培養して種菌づくりの準備をしよう。」  
<https://sakanakinoko.hatenablog.com/entry/20201106/1604665353>
- 3) 「はだ木を10打 シイタケ2倍 大分農研センター、環境の条件解明」  
<https://www.agri-news.co.jp/news/index/35509>
- 4) 「きのこ類、木材菌糸の傾向：農林水産省」  
[https://www.maff.go.jp/j/tokoi/sihyo\\_data\\_25.html](https://www.maff.go.jp/j/tokoi/sihyo_data_25.html)

# 洗濯後の柔軟剤の残留量測定

内田沙耶、百野笑莉、渡邊陽奈、松本哉杜  
山口県立徳山高等学校  
指導教員 久木知生、村上三希子、竹倉智美

## アブストラクト

粘度計と吸光光度計を利用して、洗濯排水に残留する柔軟剤の質量パーセント濃度を測定しようと考えた。粘度計では測定することができなかったが、吸光光度計では測定することができた。しかし洗濯排水を採取する場所が一定ではなく、実験の度に結果が大きく変化していたため、今後は正確なデータを測定する方法を考えていきたい。

## 1. 研究目的

私たちは、SDGs の目標の一つ「海の豊かさを守ろう」に着目した。私たちが普段行う洗濯に使われる洗剤には赤面活性剤が含まれている。赤面活性剤には毒性があると言われていたが、実際に洗濯排水にどのくらいの赤面活性剤が残留するかを調べたいと思った。また赤面活性剤が処理された後に流れた場合、どのくらいの量で環境に影響を与えるかを調べ、実際に洗濯排水に残留する柔軟剤中の赤面活性剤の量を測定したいと思った。

## 2. 研究方法

残留量の推定にあたっては、一般的に水溶液の濃度と粘度、濃度と吸光度には比例関係があることを利用して測定する。

- (1) 濃度を調整した柔軟剤の粘度もしくは吸光度と濃度（質量パーセント濃度）の関係を調べ、吸光度と濃度については検量線を作成した。

※今回は吸光光度計で測定しやすい、液体が白色のタイプの柔軟剤を使用した

- (2) 2.2L の水で糸（綿100%、75g）を手動洗濯機（図2）で、ヌトコフォームを用いて、2分30秒間同じコースで洗濯する（洗剤の質量パーセント濃度は0.04%）。図3は実際に洗濯をしている様子の写真である。

- (3) 洗濯排水の粘度もしくは吸光度を調べて、

(1) の検量線から排水に残留している柔軟剤の質量パーセント濃度を求める。

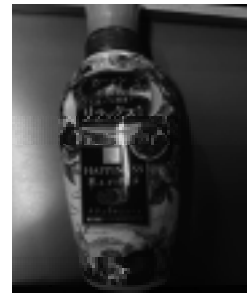


図1 柔軟剤



図2 手動洗濯機



図3 手動洗濯機で洗濯をしている様子

### 【実験1】粘度計を用いた濃度測定

図4の粘度計（キャノン・フェンスケ）を用いて粘度の大きさを比較し、柔軟剤の残留量を測定する。

### 粘度計（キャノン・フェンスケ）の原理

定量の液体が一定粘度において、毛细管を層流状態で重力方向に自然落下するのに要する時間を計測し、図5の粘度計の計算式により求める



図4 粘度計



図5 粘度計の計算式

### 【実験2】吸光光度計を用いた濃度測定

図6の吸光光度計（ピコスコープ：ラジオ電機株式会社）にてP波長で測定する。

### 吸光光度計の原理

特定の波長の光を試料溶液に当て、透過した光の量を測定し、その光が試料を反射する際の、対象とな

る物質による光の吸収の強度（吸光度）を測定してその物質の濃度を定量的に分析する



図6 吸光光度計（ピコスコープ）

### 3. 結果

#### 【実験1】粘度計を用いた濃度測定

粘度計（キャノン・フェンスケ）では、毛细管を100秒以上かけて流下したならば粘度を計測できないが、洗濯排水の流下は30秒前後で正確なデータが得られなかった

#### 【実験2】吸光光度計を用いた濃度測定

柔軟剤の検出率は図8のようになった。質量%濃度が0.01%と0.03%のとき吸光度の値は外れ値となったため除いた。上部、中部、下部で、それぞれ3回ずつの実験を行った結果は、図8の検出率より表1、表2、表3のようになった。また排水に残留している上部、中部、下部での柔軟剤の濃度（質量パーセント濃度）の平均の結果は表4のようになった。表4より採取した時間によって柔軟剤の濃度が一番高い場所が違った。



図7 検出線に用いた浴液

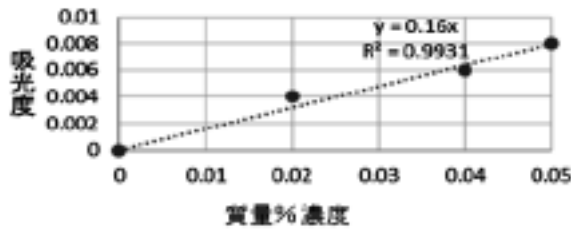


図8 検量線

表1 上部の柔軟剤（質量パーセント濃度）

	洗濯前	洗濯後	洗濯後5分後
1回F	0.0687%	0.0437%	0.0437%
2回F	0.0687%	0.0437%	0.0500%
3回F	0.0687%	0.0437%	0.0500%

表2 中部の柔軟剤（質量パーセント濃度）

	洗濯前	洗濯後	洗濯後5分後
1回F	0.0375%	0.0687%	0.0625%
2回F	0.0375%	0.0687%	0.0625%
3回F	0.0375%	0.0687%	0.0625%

表3 下部の柔軟剤（質量パーセント濃度）

	洗濯前	洗濯後	洗濯後5分後
1回L	0.0437%	0.0625%	0.1312%
2回L	0.0437%	0.0625%	0.1475%
3回L	0.0437%	0.0625%	0.1375%

表4 柔軟剤の濃度（質量パーセント濃度）の平均

	洗濯前	洗濯後	洗濯後5分後
上部	0.0687%	0.0437%	0.0479%
中部	0.0375%	0.0687%	0.0625%
下部	0.0437%	0.0625%	0.1354%

#### 4. 考察

【実験1】より、柔軟剤は粘度が低いため、粘度計（キャノン・フェンスケ）では濃度を推定することができなかったと考えられる。

【実験2】では、洗濯前と洗濯5分後では採取場所が下部の方がより柔軟剤が沈積しやすくなり、柔軟剤の濃度が高くなると仮定していた。しかし、より仮定と違って規則性のない結果になった。この原因は上部穴、中部穴、下部穴でも採取する場所によって柔軟剤の濃度が変化するためだと考えられる。また、洗濯水を採取する場所が一定ではなく実験の度に变化していたため仮定を正確に検証することができなかったと考えられる。

洗濯前後では手動洗濯機によって撈拌された直後なので上部、中部、下部ともに均一な濃度になると仮定したが、表1より均一な濃度にならなかった。この原因は洗濯水を十分に撈拌できていなかったことだと考えられる。

また、実験する回数が少なかつたことと実験する度に実験条件が変化していたため正確なデータが測定できなかったと考えられる。

#### 5. 結論

粘度計（キャノン・フェンスケ）と吸光度計を用いて洗濯排水に含まれている柔軟剤の残留量を測じた。しかし粘度計（キャノン・フェンスケ）では測定不可だった。

吸光度計では洗濯排水内で洗濯排水を採取する場所により濃度が変化するため正確なデータを測定することができなかった。よって洗濯排水にはどのくらいの柔軟剤が残留しているのか確認することができなかった。

そして今回の実験では、正確なデータを測定できなかったため表面活性剤がどのくらいの量で環境に影響を与えるのか調べ、洗濯排水に残留している柔軟剤の表面活性剤の量を推定するという段階までいかなかった。

今後は洗濯排水を十分に撈拌した後、洗濯排水を採取する場所を一定にして、データを測定したいと考えている。その際に十分に撈拌する方法や、洗濯排水に残留している柔軟剤の濃度のデータを、正確に測定する方法を研究していきたい。

また今回の実験は吸光度を簡単に測定できるビームスコープを使用した。今後はより精度の高い吸光度

度計を用いてデータを測定し、変化を観察したい。また洗剤の濃度や種類、洗滌時間などの条件を変えて実験計画を立てたい。

柔軟剤は一般的に合成洗剤と同時に使用する場合が多いため、その際のデータも測定したいと考えている。

## 6. 謝辞

この実験を遂行するにあたり、担当教員である、久本和生先生、村山安希子先生には、実験の手順などのアドバイスをいただきました。

また、竹上和英先生には、実験器具の用意、片付けなどのサポートをしていただき、徳山学校 SS の方々には、費用面でのサポートをしていただきました。謝辞を申し上げます。ありがとうございました。

## 7. 参考文献

日本界面活性剤工業会

界面活性剤の安全性と環境への影響

<https://www.jcsa.or.jp/>

[surfactant.../jcsa.or.jp/surfactant/safety/index.html](https://www.jcsa.or.jp/surfactant/safety/index.html)

# 炭を活用したリン酸吸着による水処理の検討

川口厚大、船木拓実

山口県立徳山高等学校

指導教員：スズキノ、村岡安希子

## アブストラクト

生活排水に多く含まれるリンが富集された河海に流入すると、赤潮の発生リスクが高まる。私たちの身近にある瀬戸内海でも過去、富栄養化からくる赤潮が頻度も発生しており、海洋環境を守るための持続的な対策が望まれていた。今回、炭を活用することで、富栄養化の原因でもあるリン酸の吸着について検討するとともに、もう一つの円滑市の課題である伐採後の竹の有効活用についても考えた。4年程では、SDGs項目の一つである、海の豊かさを守るため、リンの吸着除去材として、活性炭に加えて、竹炭の活用可能性について調べた。

## 1. 研究目的

### (1) 背景と目的

#### ① 背景

私たちが住む周南市は瀬戸内の徳山湾を有し、漁業、工業とその集結に際り発展してきた。この徳山湾は、富栄養化水域でもあり、海水の甲入りが少なく、生活排水だけでなく、河川を介した山内部の田畑からの流入水に含まれるリンが蓄積されやすい特徴がある。そのため、湾内において富栄養化が進むことによる赤潮の発生を懸念も終極し、水産業に悪影響を与えてきた歴史がある。その富栄養化を防ぐためには、流入水中のリンを低減することが必要であり、この水域においても、その対策が望まれている。

一方、周南市の甲山地区を流れると、竹林の急激な成長による竹林面積の拡大が課題として挙げられている。竹の伐採による蓄積はされているが、伐採後の竹の有効活用が求められている。この竹を竹炭として活用する活動は行われているが、本研究では、竹を持続可能な資源と捉えて、竹炭の吸着材としての活用可能性について調べることとした。

#### ② F 的

排水中のリンの除去の方法として、一般的に吸着材を用いた方法が使われ、その代表的な吸着材として、活性炭が挙げられる。

本研究では、竹炭を活用して排水中のリン酸濃度を下げることができないかを調べるため、吸着材として活性炭と竹炭のリン酸イオン吸着能を評価し、吸着材としての可能性を調査することを目的とする。

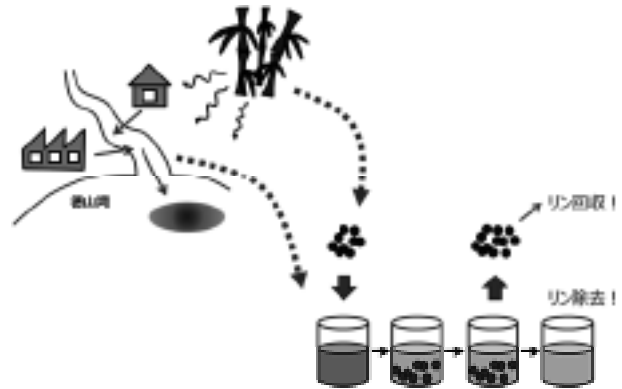


図1 生活排水由来のリン酸イオンの除去実

## 2. 研究方法

本実験では、活性炭と竹炭を用いて、リン酸水溶液、実排水の吸着試験を行った。吸着能の評価は、リン酸濃度を分光光度計で定量比較して行った。

### (1) リン酸水溶液調製

① 100ml ビーカーにリン酸二水素カリウム  $5.265 \times 10^{-4} \text{mol}$  を加え、70.00ml の蒸留水を添加して、スクレーパーを用いてかくはんし、溶解させ、その溶液をメスフラスコに入れて0.9980Lの蒸留水を再び追加して  $5.265 \times 10^{-4} \text{mol/L}$  の濃度のリン酸イオン水溶液を作製した。

② ①の溶液を100倍希釈して  $5.265 \times 10^{-6} \text{mol/L}$  のリン酸イオン水溶液を作製した。

③ ②の溶液を75倍希釈して  $3.949 \times 10^{-6} \text{mol/L}$ 、同様に、50倍希釈により  $2.638 \times 10^{-6} \text{mol/L}$ 、25倍希釈で  $1.319 \times 10^{-6} \text{mol/L}$  のリン酸イオン水溶液を作製した。

### (2) モリブデン青比色法によるバックテスト

① (1) ②、③で作成した4種類のリン酸イオン水溶液をチューブ1つにつき1種類の溶液を1.500ml 添加し、モリブデン青のリン酸イオン水溶液を4種類作製した。

② ①のリン酸イオン水溶液をPCRチューブに0.2mlほど入れた後、測定器に入れた。

### (3) 検量線の作成

① (1) (2) の水溶液を、用いて、ウシオ吉機

株式会社製のビュースコープを使用して測定を行った。

② 測定条件は、赤色光で、615nm 波長で測定した。

#### (4) 吸着試験

①  $5.265 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$  のリン酸イオン水溶液 20.00mL に、黒い竹炭の粉末を薬さしで2杯添加した。

② 添加後、スターラーでかくはんし、均一に水溶液中に分散させた。

③ 分散後の水溶液を室温で 24 時間放置した。

④ 放置後の水溶液を、スターラーでかくはんし、竹炭と溶液がよく混ざったことを確認した後、紙のろ紙を使用してろ過した。

⑤ ろ過後のろ液を (3) の条件にて吸光度測定した。



図2 ろ過の様子



図3 ろ過後の様子

### 3. 結果

#### (1) 検量線の作成

バックテストにより作製した水溶液入りビュースコープの吸光度を測定し、検量線を作成した。結果を以下に示す。

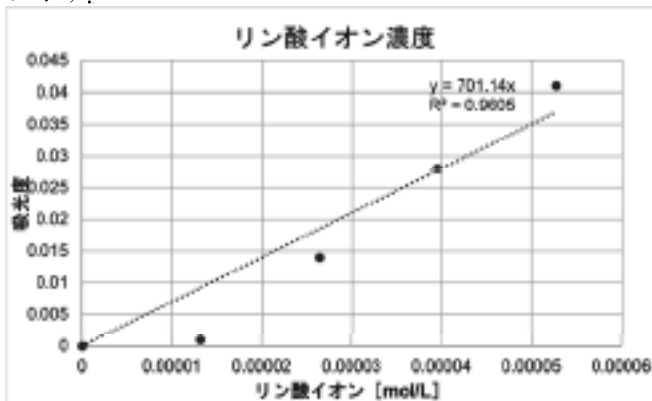


図4 調製水溶液の吸光度とその検量線

低濃度領域で検量線から若干外れる結果となったが、濃度に応じて吸光度が大きくなる傾向が表れた。

#### (2) 吸着試験

$5.265 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$  のリン酸イオン水溶液 20mL に、砕いた竹炭の粉末を薬さしで2杯添加した後、スターラーでかくはんした。その後、竹炭の分散水溶液を紙のろ紙でろ過したところ、ろ液側に若干の濁りが見られた。

#### (3) 吸着後の吸光度測定

吸着後のろ液の吸光度を測定したが、ろ過前の  $5.265 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$  のリン酸イオン水溶液よりも吸光度が大きく、許容範囲外となってしまったため、吸光度を測ることが出来なかった。

### 4. 考察

検量線は、濃度に応じて吸光度が大きくなり、作製について大きな問題はなかったと考える。低濃度領域で若干吸光度が低かったのは、リン酸イオン水溶液調製時の目盛誤差、希釈作業誤差の影響が考えられる。実験スキルの向上を区りたい。

次に吸着試験を実施した際の濁りとして、ろ液に濁りが見られた。ろ紙の孔径は竹炭のろ過に十分なサイズと想定していたが、竹炭の粒子の方が小さかった。

表1 ろ紙の孔径とろ液側の透過粒子サイズ

ろ紙の孔径	ろ液の過粒子
55 μm	14.64~35 μm

結果として、吸着試験後の吸光度が吸着前の吸光度より高くなってしまった。原因として、溶液を長時間放置したことによって水が蒸発して溶液の濃度が変わってしまったこと、竹炭の粒子がろ紙の孔径よりも小さかったため、ろ紙を粒子が通り過ぎてしまったことが考えられる。また、吸着時間による、対象物質の変化のリスクも考えられる。今回、24 時間と吸着時間を規定して実験を行ったが、水溶液作製後の生体物の安定性の確認、竹炭による化学変化の有無など、吸着時間の最適化も事前に実施すべきだったと考える。

以上の考察や、吸光度測定時に使用した当の波長が溶液に合っていなかったことから、竹炭によってリン酸を吸着できるかは今回の実験からは分からなかった。ただ、吸着ができないとは言いきれないと考える。その理由として明確なデータが出ていないため結果の信頼性が少ないことがあげられる。これからは濁りを取り除く方法や、吸着量を簡易な方法でどのような条件があるか調べると同時に、炭の種類による比較を行うことでその効力についても確認していく。



黒：竹炭  
白：ろ紙の穴

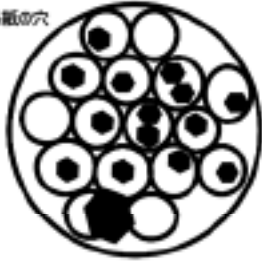


図5 竹炭をろ過する様子のモデル

### 5. 3を踏まえた実験

①で観察した通り、竹炭が紙のろ紙を通り過ぎていくかを確かめ、それを防ぐために以下の実験を考えた。

#### (1) ろ紙によるろ過

蒸留水 70.00ml に粉末の竹炭を葉っぱ 2杯添加し、ガラス杯で十分にかくはんした後、ろ紙で溶液をろ過した。その後、ろ液を光学顕微鏡で観察した。



図6 ろ過装置

#### (2) シリカゲルの粉末作成・装置完成

①と②で準備したシリカゲルを焼いて粉末状にし、ガラスフネルターナーを乗せたゴブレット・漏斗の上はその粉末を 5mm ほどの厚ができるように敷き詰め、吸引ろ過用の装置を作成した。

#### (3) 吸引ろ過

①(2)で作成した装置に(1)と同じように、竹炭が混合した 70.00ml の蒸留水を流し込んだ。

②①のろ液をもう一度(2)の装置でろ過した。

③②のろ液をさらに(2)の装置でろ過した。

④③のろ液を光学顕微鏡で観察した。

### 6. 結果

以下の写真は、ろ紙で溶液をろ過した場合のろ液の様子と、ろ液を光学顕微鏡で観察したときの様子である。

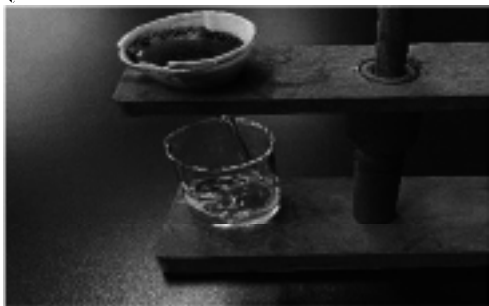


図7 ろ過中の様子

図8を見て分かるように、紙のろ紙では竹炭を十分にろ過することができず、竹炭の粒子がろ液に混合していることが分かる。

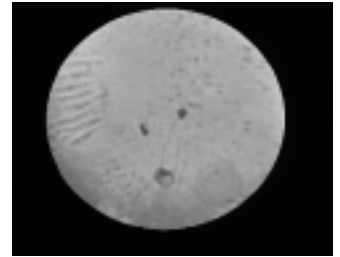


図8 光学顕微鏡で見たろ液

図9～図12はシリカゲルを用いた吸引ろ過装置で溶液をろ過した場合のろ液と蒸留水を比較したもので、ろ液を光学顕微鏡で観察したときの様子を交えたものである。

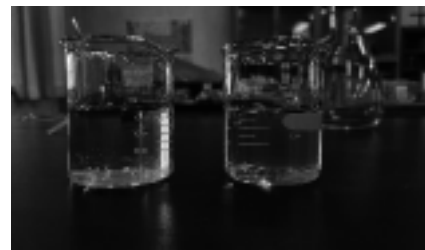


図9 (2)①のろ液(左：蒸留水 右：ろ液)



図10 (2)②のろ液(左：蒸留水 右：ろ液)



図11 (2)③のろ液(左：蒸留水 右：ろ液)



図12 (3)④の光学顕微鏡でろ液を観察した様子

図9から分かるように、シリカゲルの層があっても、ろ液はでわかるぐらいは濁っていた。しかし、ろ過を2回、3回と重ねるうちにろ液は無色に近付いていった。ろ過3回目のろ液は、肉眼では無色になっていた。しかし、光学顕微鏡でろ液を観察すると、ろ過しきれなかった竹炭の粒が見られた。

## 7. 考察

今回の実験で竹炭をろ過しきれなかったのは、シリカゲルの層が薄かったからだと考えた。そこで、シリカゲルの層を3mm,5mmくらいまで厚くし、どのくらい厚くしたら竹炭を十分にろ過することができるのか確かめる。

## 8. 結論

今回の実験では、竹炭でリン酸イオンを吸着できるのか分からなかった。

## 9. 展望

今回、竹炭のリン酸イオン吸着量を調べられなかった大きな原因は、リン酸イオン水溶液に添加した竹炭の粉末を十分にろ過しきれなかったことだと考えられる。そのため、竹炭を十分にろ過するためにシリカゲルの層をより厚くして実験をしていきたい。同時に、シリカゲルにリン酸イオンの吸着能があるのかを確かめる。また、この方法でもろ過できない場合は、表面積が小さくなり吸着能が低くなってしまいが、竹炭の粒子を小さくして実験をしたい。

リン酸イオン水溶液に竹炭を添加し、24時間放置したところ、リン酸イオン濃度が竹炭を添加する前よりも高くなってしまった。理由が考えられる。よって、水溶液の放置時間を短くしたときの濃度の変化を調べ、竹炭を添加してから放置する時間による吸着能の変化も調べたい。

竹だけでなく、ほかの物質を炭化した場合のリン酸イオン吸着能を調べ、どの物質がリン酸イオンを吸着するのに適しているのかも調べたい。

## 10. 謝辞

今回の実験をするにあたって、なかなか思ったような結果が出ない中、協力して下さり、多くのアドバイスをくださった奥田安希子先生並びに米本和生先生に深く感謝し、御礼申し上げます。

## 11. 参考文献

- 「島田川の水質調査」徳山高等学校

# 肥料の組成がジャゴケの成長に与える影響

大田 涉貴, 高瀬 明子

山口県立徳山高等学校

指導 小川 真由

## アブストラクト

コケに肥料を余分に与えると、成長の仕方に差がみられるのか、校庭のジャゴケを使用してリン・カリウム・窒素の成分の濃度やそれらの組成を変えながら調べた。その結果、低濃度のカリウムや窒素はコケの成長を促進するが、リンは低濃度でもコケを枯死させる働きがあることがわかった。続いて、ジャゴケをシート状に土の上に置き、日照の有無で定着させる実験を行った。その結果、コケシートが土に定着し、雑草の侵入を防ぐことが確かめられた。これらの実験を通して、肥料を有効に用いながらコケシートを定着させ、雑草の侵入や成長を防止する方法について探る。

## 1. 研究目的

コケに肥料を与えると悪影響がある、といった意見がよく聞かれる。また、SDGsを牽動力として農林産物や都市の緑化活動も盛んに行われており、土壌を必要としないコケは都市の緑化に最適である。そこで私たちは肥料が本当にコケの成長に悪影響を及ぼすのか、低濃度の肥料がコケの成長を促進するのであれば肥料の中のどの栄養素がコケの成長を促進するのかを調べたいと考えた。そこで世界的に分布が広く、重金属汚染物質や乾葉に対しての耐性が高いジャゴケというコケを対象とし、肥料の多量要素であるリン、カリウム、窒素の組成がジャゴケに与える影響について調べたい。また、その実験結果を元に、市販されているハイポネックスという化学肥料について、ジャゴケの生育に適した濃度を調べたいと考え、実用化に向けて実験を行った。

とした。大まかな仕組みとしてはポンプによって水槽内の水を揚水し、葉状体に揚水した水を散水することで水槽内の水を循環させ、水槽内の水環境と湿度を維持するというものである。図2はこの仕組みを模式的に表したものである。

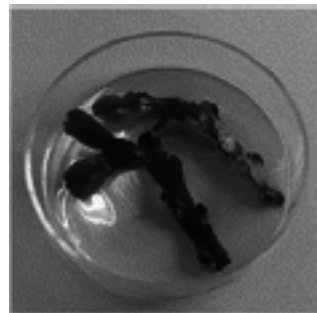


図1 ジャゴケ

## 2. 研究方法

### (1) ジャゴケの用意

#### ① コケ用栽培設備

本研究ではジャゴケ（図1）の生育環境の条件をそろえるために水槽の飼育に水耕栽培を採

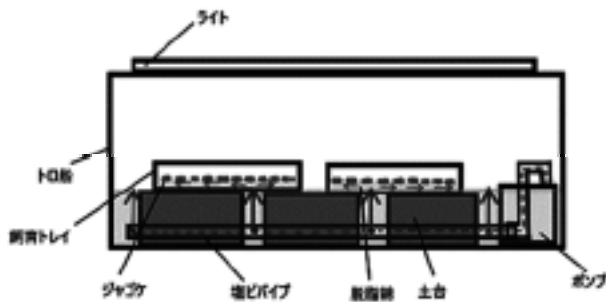


図2 研究に使用した水耕栽培設備

## (2) 準備物

- ・ジャゴケ (実験開始時の質量一斤 0.20g)
- ・個体識別用シール (10脂綿 (一枚 0.16g))
- ・シャーレ (10脂綿 (5mL 仕様))
- ・照明 (森上芸 フラット LED 900 ブラック  
全光束 1SS01L 消費電力 W937×D54×H85)

## 3. 実験

### 実験1 肥料の組成による影響

#### (1) 実験目的

ジャゴケの肥料の組成による影響を調べる。

#### (2) 実験方法

実験で使用した薬品は、表1の通りである。なお、ハイポネックス原液には窒素、リン、カルシウム、マグネシウム、マンガン、ホウ素等が含まれており、ハイポネックス 35倍はハイポネックス原液約 35倍希釈、ハイポネックス 350倍は約 350倍希釈に相当する。35倍、350倍 (リン酸、炭酸カルシウム、硝酸) の溶液の濃度はそれぞれハイポネックス 35倍、350倍における溶質の濃度と等しい。(実験2~4においても同様の表記をしている。)

実験手順に長しては

- ・個体識別用シールをシャーレに貼る
- ・シャーレ毎に10脂綿1枚とジャゴケ 0.2gを載せる
- ・シールに対応した溶液を 3.0mLずつ滴下してシャーレに蓋をし、様子を3連筒カメラで撮影し観

察する。

- ・実験後、見脂綿からジャゴケをはがし、ジャゴケの胞胞への定着度を評価する。

表1 実験1で使用した薬品

薬品名	濃度 (mol/L)	希釈率 (倍)	pH
ハイポネックス	1	35	7.42
ハイポネックス	0.1	350	7.59
リン酸 (PO <sub>4</sub> )	0.1	35	1.66
リン酸 (PO <sub>4</sub> )	0.01	350	1.62
炭酸カルシウム (K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> )	0.05	35	10.27
炭酸カルシウム (K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> )	0.005	350	9.83
硝酸 (HNO <sub>3</sub> )	0.06	35	1.87
硝酸 (HNO <sub>3</sub> )	0.006	350	2.57
リン酸 (リン酸)	0.1	35	2.24
リン酸 (リン酸)	0.01	350	7.00
リン酸 (リン酸)	2.00	35	1.63
リン酸 (リン酸)	0.200	350	1.69
炭酸カルシウム (炭酸)	2.00	35	9.04
炭酸カルシウム (炭酸)	0.200	350	2.00
水 (H <sub>2</sub> O)			35.0

※溶液の pH は実験後に計測した値 (実験2、3も同様)

#### (3) 結果

経過観察で確認された変化に関する気づきを以下に記す。

##### ○ハイポネックス

- ・35倍で9日目から根の付け根が黒変した。

##### ○リン酸

- ・2日目から葉状体が部分的に黄変し始め、4日目には黄変部が全体に広がった。

##### ○炭酸カルシウム

- ・35倍で3~7日目頃から根の付け根が黒変し、10日目から葉状体の一部が黄変し始めた

##### ○硝酸

- ・35倍で2日目から葉状体の一部が黄変し始めた (枯れる速度はリン酸 35倍より速い)

##### ○リン酸+炭酸カルシウム

- ・2日目から葉状体一部が黄変し始め、7日には完全に黄変した。

##### ○リン酸+硝酸

- ・2日には葉状体全体が黄変した。

## ○炭酸カリウム+硝酸

・変化なし

ここで、ジャゴケの成長の度合いを調べるために、実験前と実験後でのジャゴケの乾燥質量を計測したデータから「実験後のジャゴケの乾燥質量」÷「実験前のジャゴケの乾燥質量」で計算した値をジャゴケの成長率とする。ジャゴケが枯れたなかった項目についてこの成長率を図3に示した。なお、ジャゴケの仮根が胞脂體を密着しており、質量の計測が困難であったため仮根の質量は含まない。

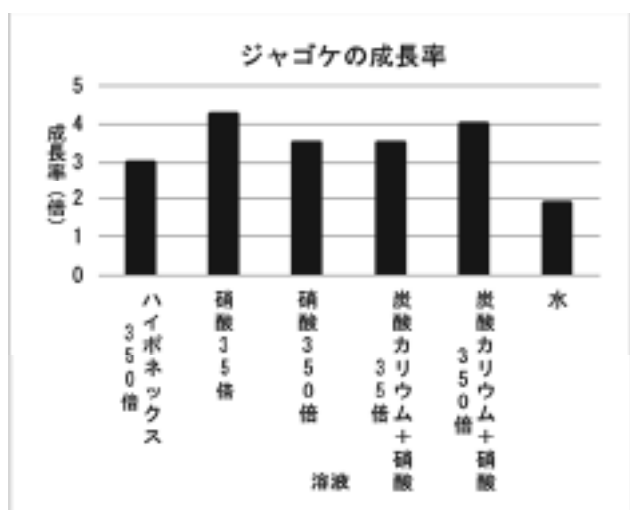


図3 実験1 ジャゴケの成長率

実験においてジャゴケが枯れなかったものでは、ジャゴケの成長率はいずれも大きい傾向が見られた。また、図3よりジャゴケの成長率が水よりも大きかった薬品は、炭酸カリウム 350倍、硝酸 350倍、炭酸カリウム+硝酸 35倍、炭酸カリウム+硝酸 350倍、ハイポネックス 350倍、ハイポネックス 350倍であった。炭酸カリウムと硝酸については、濃度によって、成長率に大きな差が確認された。

実験後に仮根の胞脂體への定着が確認されたものは、ハイポネックス 350倍、クエン酸 350倍、硝酸 350倍、炭酸カリウム+硝酸 350倍であった。そのうち特に発達していたものは、ハイポネックス 350倍、炭酸カリウム 350倍であり仮根が胞脂

體の裏側まで達していた。

## (4) 考察

・カリウムは一般的にほかの成分に比べて吸収されやすく、過剰に吸収されると葉が黒くに変化する性質をもち、今回ジャゴケでも同様の原因で葉状態が黒くなったものと思われる。ハイポネックス 350倍においても同様の変化が起きたことから、炭酸カリウムの影響による可能性がある。

・高濃度溶液のみを滴下した際、滴下した成分の運送障害や他の成分の欠乏症が引き起こされたり、浸透圧が低かったりした可能性がある。

・一般的にコケ植物以外の植物において、カリウムは根の発根を促進する成分となる。コケ植物はほかの植物の様な「根」は存在しないが、炭酸カリウムを含む溶液を滴下した場合に成長率が大きくなり、仮根が発達したことから、ジャゴケの仮根が植物と同様の「組み」で成長する可能性がある。

## 実験2 肥料に含まれる多量要素単体による影響

### (1) 実験目的

肥料の多量要素である、リン、カリウム、窒素のうち実験1においてジャゴケの成長が確認されたカリウムと窒素の濃度の違いがジャゴケに与える影響を調べる。

### (2) 実験方法

実験方法については実験1と同様である。

また、実験で使用した薬品は表2の通りである。

表2 実験2で使した溶液

薬品名	希釈倍率(倍)	pH
炭酸カリウム1	250	11.24
炭酸カリウム2	350	9.92
炭酸カリウム3	500	10.42
炭酸カリウム4	1000	10.72
炭酸カリウム5	2000	10.54
硝酸1	250	2.38
硝酸2	350	2.57
硝酸3	500	2.68
硝酸4	1000	2.96
硝酸5	2000	3.3
炭酸カリウム+硝酸1	250	10.5
炭酸カリウム+硝酸2	350	9.92
炭酸カリウム+硝酸3	500	10.23
炭酸カリウム+硝酸4	1000	10.3
炭酸カリウム+硝酸5	2000	9.35
水		7.27

(3) 結果

経過観察で確認された変化に関する気づきを以下に紹介。

○炭酸カリウム

- ・350倍で最も大きい成長率が確認された。
- ・濃度が低くなると成長率が低くなる傾向があった。

○硝酸

- ・250倍、350倍、500倍を滴下した場合は、5-11日から菜心体の溶液に浸漬している部分において黄変が起こった。
- ・500倍や1000倍の日に特に大きい成長率が確認された。

○炭酸カリウム+硝酸

- ・溶液の濃度が高いほど、成長率が大きくなる傾向があった。

また、実験1と同様にジャボウの成長率を求め、ジャボウが枯れたなかった項目について図4、5、6に示した。

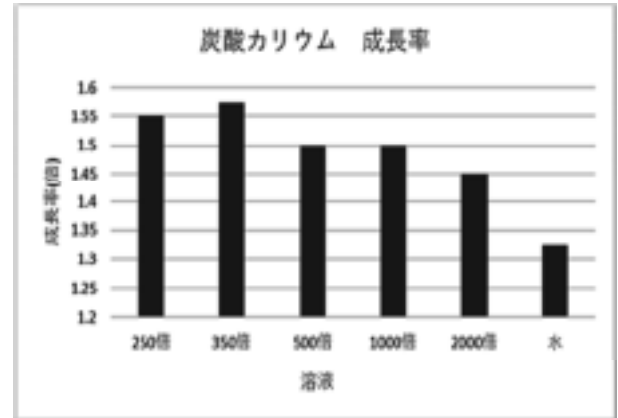


図4 炭酸カリウムの成長率

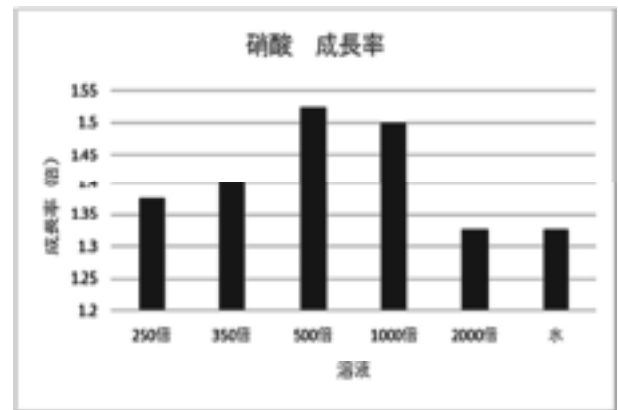


図5 硝酸の成長率

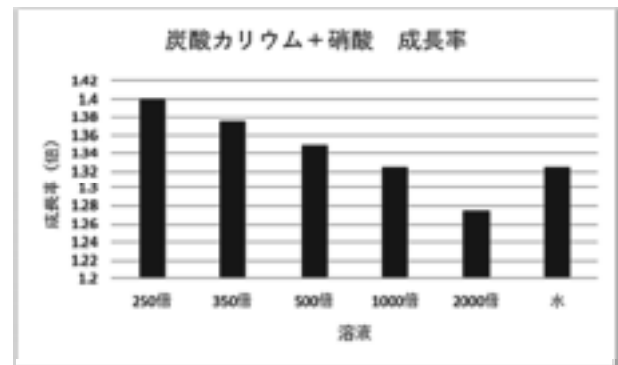


図6 炭酸カリウム+硝酸カリウムの成長率

(4) 考察

- ・炭酸カリウム+硝酸の場合に成長率が他の要素よりも低いのは溶液に含まれる多量要素各要素の量が半分であるからと考えられる。
- ・炭酸カリウムを含む溶液を滴下した場合、濃度が高いほど成長率が大きくなるということが分かった。

### 実験3 ハイポネックスの濃度の違いによる影響

#### (1) 実験目的

化学肥料の一種であるハイポネックスの濃度の違いがジャゴケに与える影響を調べる。

#### (2) 実験方法

実験方法については実験1と同様である。また、実験で利用した薬品は以下の通りである。

表3 実験3で利用した薬品

薬品名	希釈倍率(倍)	pH
ハイポネックス1	250	7.96
ハイポネックス2	350	8.1
ハイポネックス3	500	7.98
ハイポネックス4	1000	7.98
ハイポネックス5	2000	7.97
水		7.27

#### (3) 結果

実験1と同様にジャゴケの成長率を求め、ジャゴケが枯れなかった項目について図7に示した。

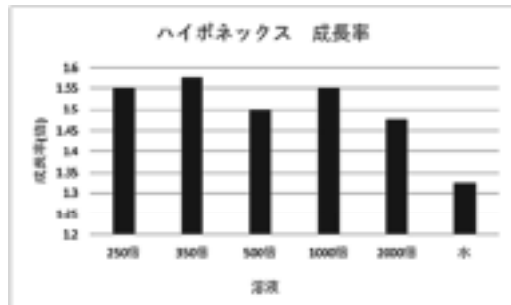


図7 ハイポネックスの成長率

#### (4) 考察

与えるハイポネックスの濃度によってのジャゴケの成長率の違いはそこまで大きくはないことが分かった。

またこれまでの実験結果から、耕作放棄地の土壤改善の代替や、太陽光発電において反月する防草シートとの代わりとしてコケの実用化を考察したい。そこで私たちはジャゴケのシートが防草シートの様な効果を持つのか検証を行った。

### 実験4 ジャゴケの防草シートとしての可能性

#### (1) 実験目的

ジャゴケで制作したシートの「黒下での健康状態と、雑草の発生状況について調べる。

#### (2) 実験方法

プラスチックケースを植物の栽培用としていた土を入れ、太陽光発電装置の黒下を置いたブースと何も置かないブースに分け、それぞれのブース全体をジャゴケのシートで覆った(図8)。毎日同じ時間帯に水やり、気温・湿度の測定を行った。そして、コケの生育状態と各ブースの雑草の有無について経過観察を約3週間行った。

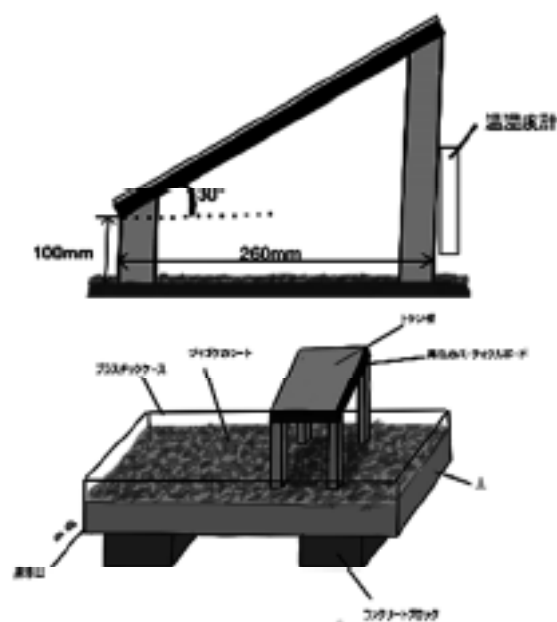


図8 実験5 実験装置

#### (3) 結果

実験期間中の気温は、平均18℃、湿度は平均50%であった。実験期間中の経過観察において雑草は発生せず、ジャゴケの生育状態も正常で、コケシートが土に着生する様子が確認された。

#### (4) 考察

ジャゴケのシートを敷くことで雑草の発生をある程度防ぐことが可能であるといえる。また、「黒下においてジャゴケの生育が可能であると考えられる。

#### 4. 結論

以上より、ジャゴケでは水のみで栽培したときよりも低濃度の肥料で栽培したときのほうが成長率は大きくなるということが分かった。特に低濃度の炭酸カリウムや硝酸はジャゴケの成長を促進することが分かった。また、リン酸を含有原液によりジャゴケが枯死するということが分かったため、ハイポネックスに関しては微量要素によるリンの効力の緩和が行われていると予測される。なお、被子植物に肥料を与えた場合根から吸収するのに対して、コケの場合葉全体から吸収するため、肥料の成分が直接葉全体をもつ細胞に影響を与え、コケが生存できなくなる可能性がある。

以上のことから、溶液の種類により最も成長を促進しやすい濃度があり、肥料がコケに影響があるということは必ずしも正しいとは言えず、肥料はコケの育成に有効であるといえる。

#### 5. 展望

今回の実験では1週間ジャゴケの観察を行ったが、さらに長い期間観察することによってジャゴケの成長速度について詳細に調べたい。なお、ハイポネックス原液は、主に土壌で栽培する植物に用いるため、成分により吸収速度に差が出ている可能性があり、今後被子植物との比較が必要である。

また、ジャゴケの防草シートとしての実験をさらに実験にわたり行い、実用化を目指したい。

#### 6. 参考文献

1. 株式会社ハイポネックスジャパン
2. 「化学肥料に関する知識」BST 生物科学研究所  
肥料成分の水溶性、ク溶性、可溶性
3. 「刺葉作物の栄養診断と土壌診断指針」農林水産省
4. 「病害虫・生育障害」タケノ産出株式会社
5. 「水質環境によるジャゴケの変化の速い」大田 隆貴、高原 明子、原田 龍真、横田 俊希、田中 太陽、執筆「青森」2022年 山形県

6. 「An integrated solar-driven system produces electricity with fresh water and cools in arid regions」Renyan Li, Menghan Wu, Sara Alaidi, Chenlin Zhang, Wenbin Wang, Cell Reports Physical Science



# 大根おろしの辛味成分イソチオシアネートによるカビの増殖抑制効果の調査および食品への活用

小寺紗奈、原田晴英、林優佳、北川大幹、前原朱斗

山口県立徳山高等学校

卒業教員 小 川 昌

## アブストラクト

食品の管理を容易にするために、大根に含まれる辛味成分イソチオシアネートの抗菌作用や抗酸化作用を利用してカビの増殖を抑制することができるかどうか調査した。その結果、イソチオシアネートにはカビを抑制する作用があることが分かった。しかし、大根おろしのしぼり汁を食品に吹きかけるといった方法では食品の風味を損ねてしまうため、イソチオシアネートを食品の管理に利用するためにはまだまだ課題が多い。

## 1. 研究目的

大根などをすりおろした際に感じる辛味は、イソチオシアネートという成分が含まれていることを知った。そして、これらには抗菌作用や抗酸化作用があることが分かった。これを利用して食品を保存する際のカビの発生を抑えることができれば、開封後や食後の食品の管理がしやすくなるのではと考えた。大根は比較的安価で手に入りやすく、汎用性も高いため、利用することで工夫がしやすいと考えた。

## 2. 研究方法

### (1) 実験に使用した器具や材料

- ・食パン
- ・て板
- ・インキュベーター
- ・ストックバッグ

### (2) 実験方法

- ① 大根をすりおろして絞り、大根おろしのしぼり汁を作る。
- ② 食パンの皮を切り落とし、白い部分を

3.5 cm四方に切り分ける。その後、食パンの片面に蒸留水を吹きかけたもの、両面に吹きかけたもの、①を片面に吹きかけたもの、両面に吹きかけたものをそれぞれストックバッグに入れる。それぞれ 12 枚ずつ用意する。

- ③ ②のストックバッグを、40℃に温めたインキュベーターに入れ、

ストックバッグ内の食パンの周辺には空気を含ませ、真空中に近い状態にならないようにした。また食パンを観察する際、上下を入れ替えて、ずっと同じ面がインキュベーターの底に接触しないように注意した。

観察は月曜から金曜の毎日行い、カビが増殖した食パンの枚数を記録した。しかし、休日も、冬季休業により観察できていない日もある。

## 3. 結果

### (1) 蒸留水を吹きかけた食パン

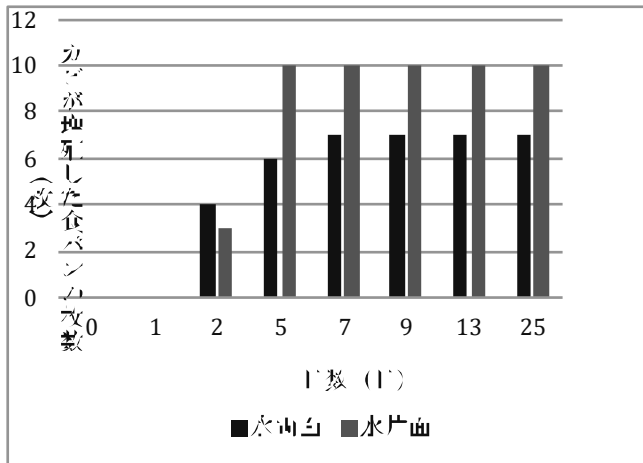


図1 蒸留水を吹きかけた後の日数経過に伴うカビが増殖した食パンの枚数の変化 (12枚中)

実験を開始した12月14日から7日後まではカビが確認された食パンの枚数は増加した。しかし、9日後以降食パン枚数の増加は見られなかった。

2日目の時点では蒸留水を両面に吹きかけた食パンの方がカビの増殖した食パンの枚数は多かったが、5日目以降は片方に吹きかけた食パンの方がカビの増殖した食パンの枚数が多かった。

最終的な結果としては、食パン12枚中

両面に吹きかけた食パン…7枚

片面に吹きかけた食パン…10枚

にカビの増殖が確認された。

また、カビが増殖しなかった食パンは、軽く叩いたときつげるとコンコン音が鳴るほど固く、水分はほぼ蒸発していた。

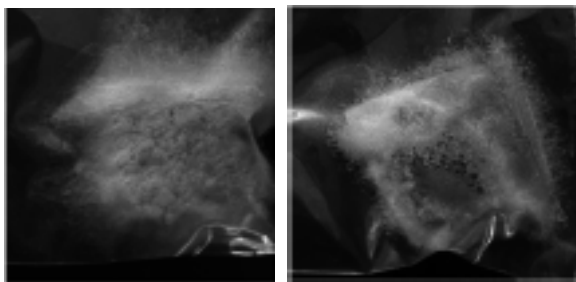


図2 7日以内の蒸留水を片面に吹きかけた食パンの外観

図2では、下ののような事例が確認された。

- ・白色、黒色、薄桃色のおわふわした綿のようなカビが食パンの周辺に増殖した。
- ・赤褐色、緑色のカビが蒸留水を吹きかけた面に増殖した。
- ・黒色、茶色のカビが食パンの内部に増殖した。

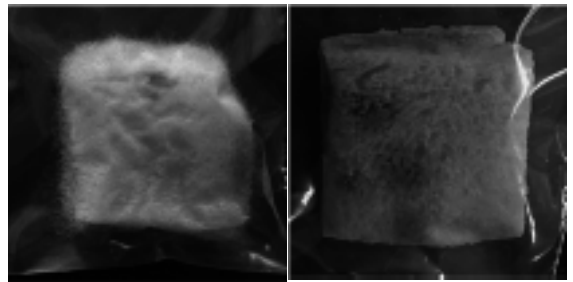


図3 7日以内の蒸留水を両面に吹きかけた食パンの外観

図3では、下ののような事例が確認された。

- ・白色、黒色のふわふわした綿のようなカビが食パンの周辺に増殖した。
- ・赤褐色のカビが蒸留水を吹きかけた面に増殖した。
- ・黒色、茶色のカビが食パンの内部に増殖した。

(2) 大根のしぼり汁を吹きかけた食パン

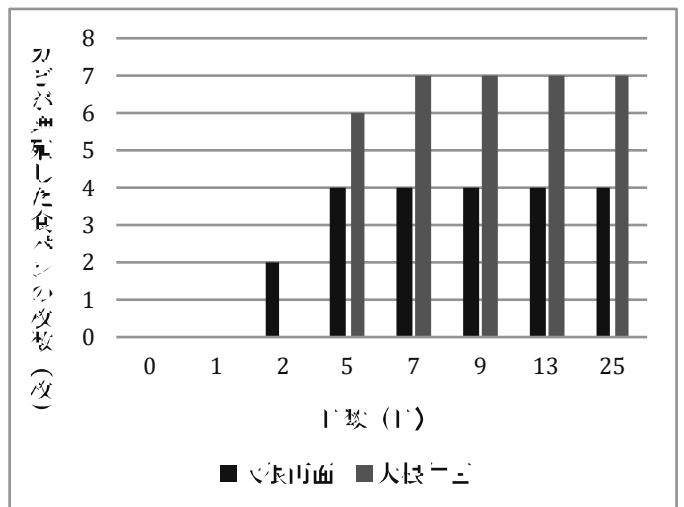


図4 大根おろしのしぼり汁を吹きかけた後の日数経過に伴うカビの増殖した食パンの枚数の変化 (17枚中)

実験を開始した12月12日から7日後まではカビが増殖した食パンの枚数は増加したが、9日後以降は増加が見られなかった。

大根のしぼり汁を片面に吹きかけた食パンは、6日後から急激に増殖した。

21日の時点では大根のしぼり汁を全面に吹きかけた食パンにのみカビが増殖したが、5日後以降は片正に吹きかけた食パンの方がカビの増殖した食パンの枚数が多かった。

最終的な結果としては、食パン12枚のうち  
 全面に吹きかけた食パン…4枚  
 片面に吹きかけた食パン…7枚  
 にカビの増殖が確認された。

また、カビが増殖しなかった食パンは、軽くかいたときつげるとコンコン音が鳴るほど固く、水分はほぼ蒸発していた。

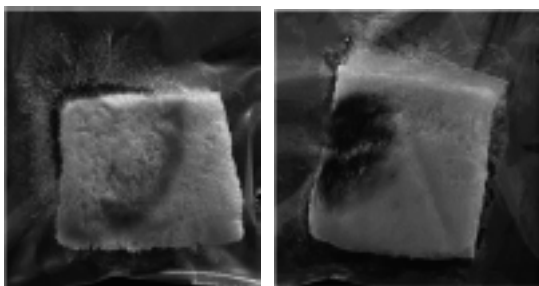


図5 7日目以降の大根おろしのしぼり汁を片面に吹きかけた食パンの外観

図5では、次のような特徴が確認された。

- ・白色、黒色のふわふわした糸のようなカビが食パンの周辺に増殖した。
- ・赤褐色、緑色のカビが蒸留水を吹きかけた面に増殖した。
- ・黒色のカビが食パンの内部に増殖した。

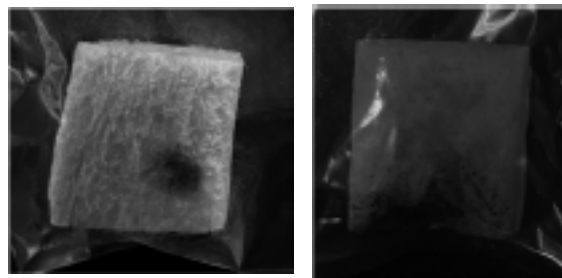


図6 7日目以降の大根おろしのしぼり汁を全面に吹きかけた食パンの外観

図6では、次のような特徴が確認された。

- ・白色のふわふわした糸のようなカビが食パンの周辺に増殖した。
- ・黒色、緑色のカビが食パンの内部に増殖した。

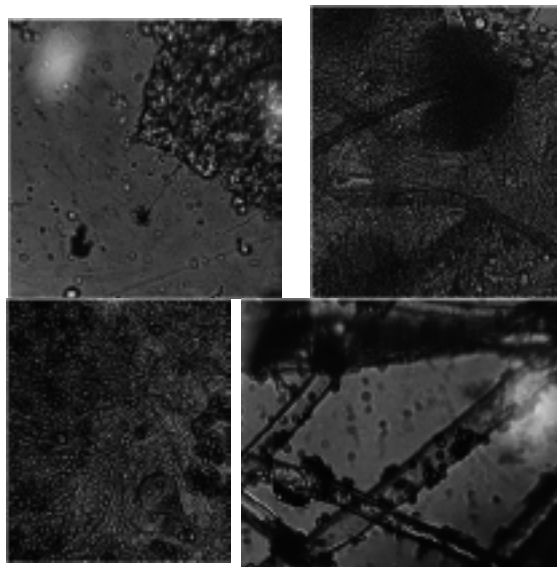


図7 増殖したカビの顕微鏡写真

#### 4. 考察

図1、図4より、カビが増殖した食パンの枚数は21日から増加していることから、カビは実験方法③の段階で入ってきたと考えられる。

実験開始前の考察では、蒸留水と大根おろしのしぼり汁を片正に吹きかけた食パンに比べて、全面に吹きかけた食パンの方がカビの増殖した個体数が多くなるを予想していた。片正に吹きかけた食パンの方が含まれる水分量が多い

からである。しかし実際には、図1、図4の比較より、向正に吹きかけた食パンよりも片面に吹きかけた食パンの方がカビの増殖した食パンの枚数は多かった。これは、食パンの表面が水分に覆われたことで外気と遮断され、カビの増殖に必要な酸素が行われなくなったためだと考えられる。

また、7日日以降結果に変化が見られなくなったのは、食パンの気泡に含まれるカビの増殖に必要な水分が完全に蒸発したことが原因だと推測できる。

2日間までは蒸留水や大根おろしのしぼり汁を両面にかけていたものの方がカビの増殖した食パンの枚数が多かった原因については、水分が多い方がカビが増殖しやすいことに加え、食パンの気泡に含まれる養素によってよりカビの増殖が促進される状態になったことだと推測される。

また、増殖したカビは主に接合菌類と不完全菌類であると考えられる。色や形状、顕微鏡観察からカビの種類を判断すると、

ケカビ (属名: *Mucor*)

アカカビ (属名: *Fusarium*)

アオカビ (属名: *Penicillium*)

コウジカビ (属名: *Aspergillus*)

クロカビ (属名: *Gladosporium*)

などであると予測される。

増殖したカビはどれも食品、作房内、工場など広範囲に分布しているため、大根おろしのしぼり汁を吹きかけた食パンは様々な環境に発生するカビの増殖を抑制する効果が期待できる。

## 6. 結論

蒸留水を吹きかけたパンよりも大根おろしのしぼり汁を吹きかけたパンの方がカビの増殖した食パンの枚数が少なかったことから、大根おろしのしぼり汁にカビを防ぐ作用があることがわかった。これらの結果はイソチオシアネートの効力によるものと考えられるが、析定はでき

ない。そのため、今後これらを析定することが課題である。これらの結果がイソチオシアネートによるものと仮定すると、イソチオシアネートは霉菌を作りため、食品の霉を抑制してしまう可能性がある。また、大根おろしのしぼり汁を吹きかけると食感も損ねてしまう。今後はこれらの事柄を視野に入れながら、食品の管理に利用するために実験を行っていきたい。

## 7. 謝辞

今回の研究を行うにあたり、カビの種々な観察、実験の条件や方向性について助言や指導をいただき、今回の実験でお力添えをいただいた小田先生をはじめ、お世話になった先生方に感謝いたします。また、本研究は徳山高等学校の校内科授業を奨励して研究しました。

## 8. 参考文献

アランイソチオシアネートによる食品の健全性確保

<https://www.istage.ist.go.jp/article/isfm>

# 紫外線の可視化

中本良汰、佐田由亮太、壽賢人、長根愛理、山本直新  
 山口県立徳山高等学校  
 指導教員 大谷 健志

## アブストラクト

「私たちが生活に密着にかかわりつつも、その姿を「目」にすることができない紫外線を、月のセンサーとプログラムを用いて、紫外線量を数値として可視化することができるようなセンサー装置の開発をした。このセンサーによって、音を用いて紫外線量を把握することができた。

### 1. 研究目的

ここ近年地球温暖化の影響により、紫外線対策の重要性が高まっているように思う。

それは、日傘や日焼け止めを利用する人が増えてきていたり、今までは夏に行われていた運動会が学校によって延期・中止になりにくい、つまり紫外線の弱い空や伏に行われるようになったりなどから分かる。

また、具体的なデータとして、国内での紫外線量を示した図1から紫外線量が年々増している傾向にあること。さらに、日焼けに対するアンケート結果(図2及び図3)から2017年時点で多くの人が一年中、様々な理由のもと日焼け対策をしていることが分かる。

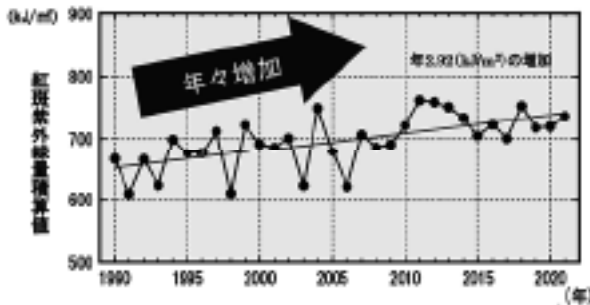


図1 (1990年から2020年の紫外線量の推移)

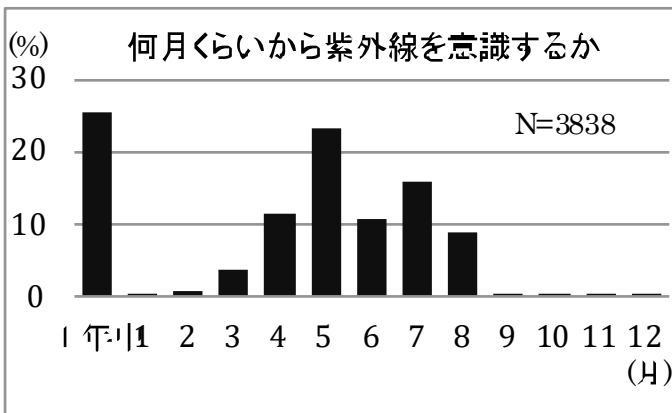


図2 (紫外線を意識する月のアンケート)

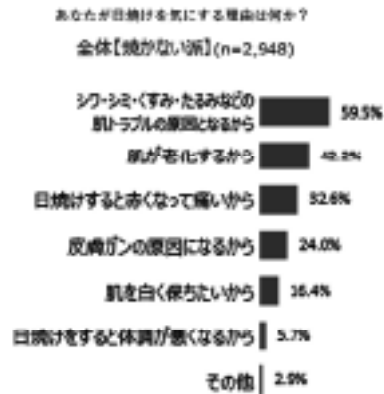


図3 (日焼けを気にする理由)

これらのことから、紫外線対策の重要性が高まっているのが分かるが、ここで私たちが疑問に思ったのは、果たして人々は見えない紫外線に対して効果的に対策をとれているのか、ということ。「雨が降るから気を付けて」とだけ言われたとき、どのくらい雨が降るのか分からなければ、折りたたみ傘だけで済むのか、はたまた防水スプレーを吹きかけた合羽を用意しなければならぬのか分からないことと同じように、その世々の紫外線量を把握していなければ、対策が大して行かない行に人念に準備してしまったり、その逆も起きてしまったりすると考えた、そこで私たちは、紫外線を可視化できるようにし、より効果的に紫外線対策ができるようにすることが目的である。

### 2. 研究方法

#### 研究 I Arduino プログラムの作成

紫外線を可視化する装置を作るためには、紫外線センサーやブザーを装着した基板を制作する必要があるため、電子工作に優れている Arduino を使用した。Arduino のプログラムは、紫外線センサーが読み取った紫外線の値に比例した電圧出力し、出力した電圧を Arduino nano の A6 ピンが読み取る。そして、読み取った電圧に比例した大きさの音をブザーが発するよう、tone() 関数を使用したプログラムを作成した。

### 研究Ⅱ 基盤の作成

(1) での説明のように、紫外線を可視化する装置を作るためには、紫外線センサやブザーを設置した基盤を作成する必要がある。まず、紫外線センサは、紫外線の値に比例した電圧を出力するセンサと、紫外線の値に比例した電流を出力するセンサがある。今回は、Arduinoで扱える電圧を出力する「ML8511」という紫外線センサを使用した。次に、Arduinoは小型で、持ち運びしやすいArduino nanoを使用した。ブザーは、音の大きさを音圧で変更できる圧電ブザーを使用した。

### 研究Ⅲ 紫外線量の測定

私たちは、装置が正しく作動しているのかを調べるために、2つの実験を行った。

#### (1) 大きな紫外線量の差の測定

大きな紫外線量の差が読み取れているのか調べるため、晴れた天気の日と曇り場所と弱い場所（駐車場と教室）で装置を使用して紫外線量を測定した。屋外では、太陽がセンサに直接当たるが、屋内では直接日光がセンサに当たっていない。私たちは、屋外よりも屋内のほうが、大幅に紫外線量が減少すると予想した。

#### (2) 小さな紫外線量の差の測定

小さな紫外線量の差も読み取ることができるのかの実験を行うため、晴れた日に窓からの距離と紫外線量を測る実験を行った。この実験2によって、屋外と屋内で行った実験よりも微細な紫外線量の差を測ることができると予想した。私たちは、窓からの距離が短くなると紫外線量は微量ずつ減少していくと予想した。

## 3. 結果

研究Ⅰより作成したプログラムが、図4である。

また、研究Ⅱより図5のような基盤を作成した。実際に基盤を使用するときは、図6のように学校にあるsurfaceを使用して、コードで繋ぎ使用する。

研究Ⅲ(1)の結果は以下のとおりである。計測結果としては(図7)のようになった。最大では紫外線量の値が330mV前後(最大値1023mV)なのに対して屋外では550mV以上といった値になっている。これらより、紫外線量は屋内と屋外で大幅な差がみられることが分かる。

また、窓からの紫外線量(実験で計測)を測定した研究Ⅲ(2)の結果を示したのは、図8のグラフである。このグラフより窓からの距離と紫外線量が比例していることが分かる。これ

らより、窓からの距離と紫外線量は相関関係にあることが分かる。このことから、紫外線センサは、微量の紫外線量の差も読み取れることが分かった。

```

int VOLUME;
void setup() {
  Serial.begin(9600);
}
void loop() {
  VOLUME=analogRead(A6);
  Serial.print("VOLUME");
  Serial.println(VOLUME);
  tone(A5, VOLUME, 200);
  delay(100);
}

```

図4 (プログラム)

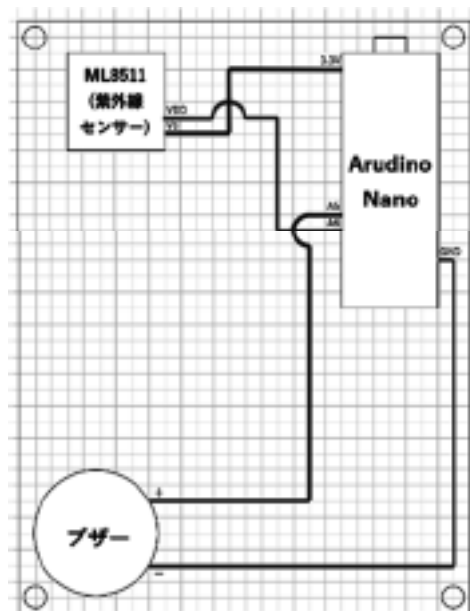


図5 (基盤の全体図)

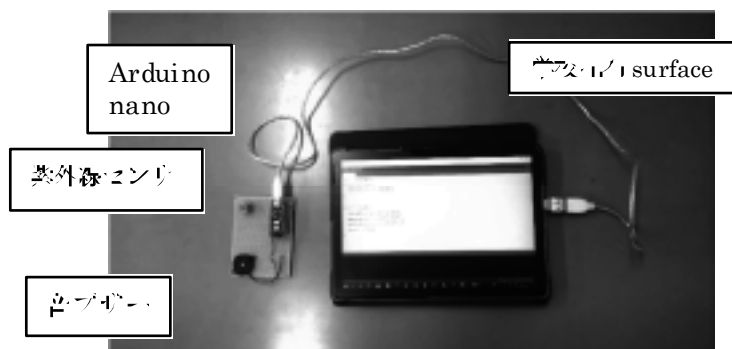


図6 (全体写真)

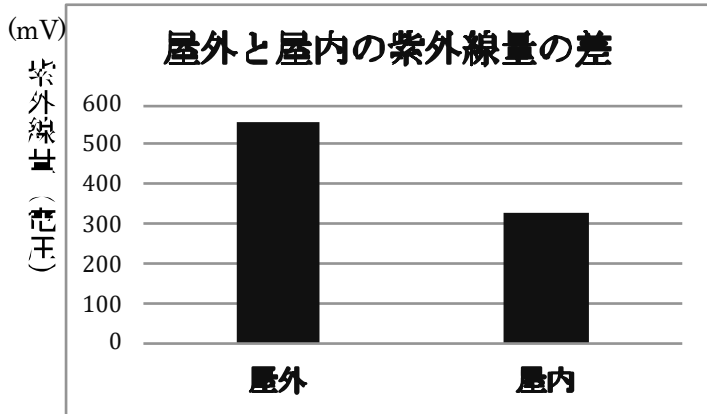


図7 (屋内と屋外での紫外線の計測結果)

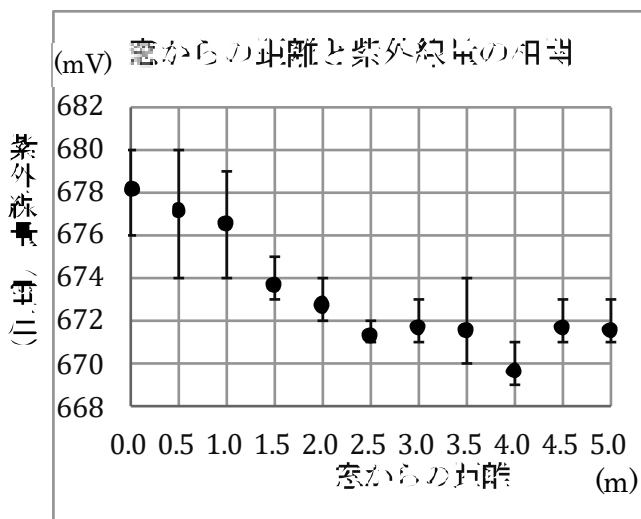


図8 窓からの距離と紫外線量の計測結果

#### 4. 考察

結果より、屋内では屋外より低い紫外線量が少ないこと、窓からの距離と紫外線量が負の相関関係にあることが分かる。また、図7で示されている紫外線量の値は、屋外での紫外線量の値より小さい。

これから、紫外線量は、屋内ではつねに屋外で測定した値より小さな値を示し、また窓からの距離が離ればそれに応じて減少していくものと考えられる。また、窓から2.5mより離れると、紫外線量はほぼ横ばいになることから、窓から一定距離離れると、紫外線量は一定になることが分かった。

さらに、紫外線量が減少していくと同時に「光が当たりにくくなっていったことや、「光に紫外線が含まれていることから、紫外線量は、「光の量」に依って決まっていくものではないかと考える。

今回の研究で用いたセンサーでは紫外線の大きな量を測ることができたが、図8から、とく

窓からの距離が3.0~3.5m程度と4.5~5.0m程度で測定した数値が不安定なものとなってしまったことがわかる。

この原因として考えられることは主に二つあり、一つは、先ほど述べた紫外線の強い場所と弱い場所は、それぞれ、季節が秋の時点での屋外と外からの光がほとんど入らない校内の一角であり、それらの場所における紫外線量について私たちが把握しているということが挙げられる。

もう一つは、センサーの使い方、及びArduino側のプログラムが正しくないということが挙げられる。前者の対処は困難なことではないが、今回の研究ではその場その場における異なる紫外線量を測定していたかったため、今回の研究では受けられた不自然な数値を正しいものとしてとらえるための根拠がなかったと思われる。ただし、紫外線の強弱のある程度の差は人間の感覚によるもので判断することができるともあるとも思われるため、後者のほうがより原因に近いと考えられる。このことから、人間の紫外線の強弱に対する感覚と、センサーの精度から得るデータの強弱が一致しなく割合できるようにすることが、私たちの研究におけるひとまずの目標を設定するうえでの必須条件である。

#### 5. 結論

以上より、音を用いて紫外線を計測できるようにし、より効果的に紫外線対策ができるようにすることを達成できたが、データの正確性や誤差の修正が大きいことなどの課題である。

#### 6. 謝辞

今回私たちの研究で相談に乗っていただいたり、プログラミングの指導を行ってくださったり、最後まで暖かく見守ってくださったりしていただいた徳山高校科学部物理科の顧問の平谷先生、二軒活の先生方に感謝申し上げます。この研究は、山一県立徳山高等学校の校舎科学研究費から助成をいただいております。

#### 7. 参考文献

大塚美幸, 寺嶋川, Sw, U. - Python アプリ開発入門ノート, 株式会社ソーテック社, 2018.

# カーブミラーの利便性向上で交通事故を減少させる

宇野康介 瀬川佑斗 浜井裕介 神田大輝  
山口県立徳山高等学校  
指導教員 大谷健史

## アブストラクト

従来のかーブミラーは夜間の車の認識がしにくい。そこでカーブミラーにカメラを取り付け、画像を認識するAIを用いて自動車を歩行者を判別し、危険を周知に伝える機械をつくった。自動車や歩行者がカーブミラーに近づいて来た際にAIが判別し、LEDが光ることにより周囲に危険を知らせることができた。

## 1. 研究目的

交通事故で亡くなる人は減少傾向にあるがその中で65歳以上の割合は50%と高いのが現状である。特に山口県ではその割合60%以上となっている。高齢者を防ぐためにも事故を減少させる必要がある。そんな中、交差点や十字路で事故減少に役立っているのがカーブミラーである。しかし、夜間のカーブミラーが見えにくく歩行者や自動車の存在に気が付きにくい。そこで、自動車や歩行者を自動で判別するAIとLEDを用いることによりカーブミラーの利便性を向上させ事故を減少させようと思った。

## 2. 研究方法

### (1) 機械学習の方法

- ① kaggleというサイトを使い自動車のデータセットを集めた。自動車は様々な角度の画像を集めた。また背景の画像を集め、合計二万枚の画像を集めた。背景の画像は判別する場所の画像を逐一集める。
- ② 次に集めた画像を基にtrain.pyを用いて機械学習をした。機械学習によりデータを読み込ませ、そのデータを基に自動車を判別する。

### (2) 判別の方法

読み込んだデータを基に判別する。判別した時に自動車である確率と自動車でない確率を出していく。判別する際はウェブカメラをカーブミラーに取り付けウェブカメラに映る映像を基に判別する。

### (3) シリアル通信 (python から arduino)

python から arduino へシリアル通信を行う。自動車である確率が80%以上ならば1を送り、それ以外ならば、2をarduinoに送るプログラムを作成する。

### (4) シリアル通信 (arduino から LED)

arduino から LED へ通信を行う。arduino から1が送られてきたならば、赤色を光らせる。また、2が送られてきたならば、青色を光らせる。

この通信により自動車の存在を知らせることが可能になる。

### (5) リレー回路

電力を補うためにリレー回路を用いて出力を確めた。リレー回路はarduino と LED の間に取り付けた。

### (6) 機械工作

基板 (ブレッドボード) に抵抗を取り付け、直列にしたりした。

## 3. 結果

### (1) 機械学習

機械学習では2万枚を超えるとメモリオーバーが表示されそれ以上の画像数を学習することはできなかった。また、夜間の画像数が少なく画像の取捨に時間がかかった。



図1 実際に集めた画像

### (2) 判別

昼間での判別は画像数が数千枚を超えると正確に判別されるようになった。(図5)

図2は実際のプログラムである。確率を計算し、その値をパソコンに表示させている。



図2のプログラム98,99で確率を表示している。

```

97)
for pred in preds:
    #show pred KANJI
    for i in range(max_classes):
        print("%i,%i,%i" % (i,ident[i],preds[0][i]))

    #show pred name
    max_pred_i=np.argmax(preds)
    print("This is {}".format(ident[max_pred_i]))

    #draw on picture Japanese fonts
    img_g11 = Image.fromarray(img)
    draw = ImageDraw.Draw(img_g11)
    draw.text((20, 20), ident[max_pred_i], font = font, fill = (100,100,0))
    draw.text((20, 30), str(int(100*preds[0][max_pred_i])+"%"), font = font, fill = (100,10
    img = np.array(img_g11)
    
```

図2 判別をするプログラム

```

if int(100*preds[0][0]) >= 80:
    abc=bytes("1","utf-8")
    ser.write(abc)
if int(100*preds[0][1]) > 10:
    abc=bytes("2","utf-8")
    ser.write(abc)
    
```

図3 pythariからarduinoへ信号を送るプログラム

```

void setup() {
    Serial.begin(115200);
    pinMode(12, OUTPUT);
    pinMode(13, OUTPUT);
    digitalWrite(12, LOW);
    digitalWrite(13, LOW); //初期化
}

void loop() {
    if(Serial.available()>0){
        int data=Serial.read();
        switch(data){
            case"1":
                digitalWrite(12, HIGH);
                digitalWrite(13, LOW);
                break;
            case"2":
                digitalWrite(12, LOW);
                digitalWrite(13, HIGH);
                break;
        }
    }
}
    
```

図4 arduinoに読み込ませるコード



図5 自動車が判別された際の確率表示画面

また、夜間での判別は同道で行い、電源はポータブル電源を使用した。(図6・7・8)



図6 自動車が来た際のLED

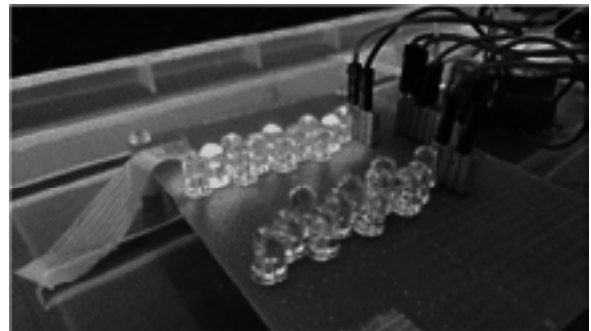


図7 自動車が来たとき以外のLED



図8 (ポータブル電源)

実際に自動車にカメラを向けると赤色が点灯しそれ以外のときは青色が点灯した。同道での実験では昼間での判定よりも精度が悪かった。

### (3) 機械工作

LEDの1列を並列にすると1列が燃えた。また、抵抗をつければLEDが光らなくなった。

LEDを並列にすることでLEDが連続に光るようになった。(図9,10,11)

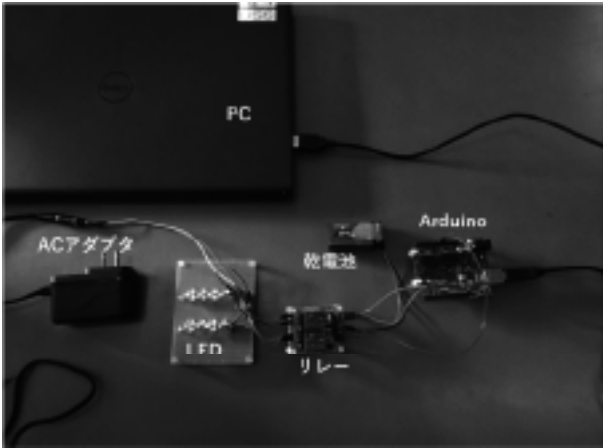


図9 実際の全体像

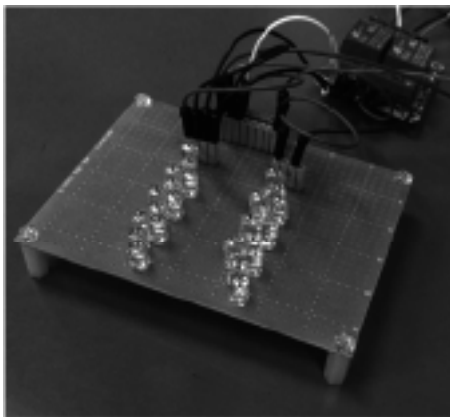


図10 並列に並べたLED

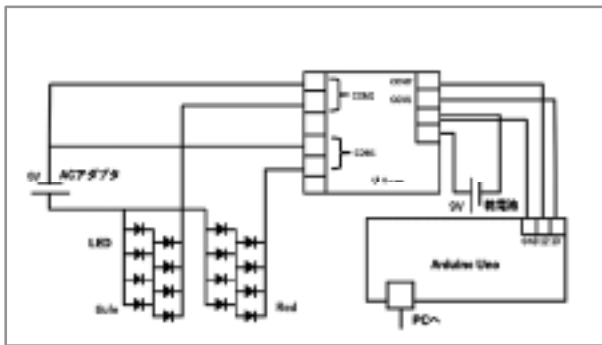


図11 回路図

また、基板を取り付けるとLEDが光るようになった。

最後に実際のカーブミラーに近い状態での工作を行った。カーブミラーに実際に取り付けることを想定してカーブミラーの返し部分のArduinoやリレー回路などを取り付けた。それらを一つのボムシートに固定し取り外しができるようにした。

#### 4. 考察

機械学習ではメモリーエラーが起こった。メモリーエラーは一定の画像数を超えると発生するこ

とが分かった。また、PCの容量が不足していることも分かった。

機械学習ではLEDの配置をつけるとLEDが適切に光らなくなった。このことから、抵抗により電流が弱くなったということが分かった。

また、(3)を直列につないでも適切に光らなかつたことから、直列では電流が過ぎたということが分かった。

判別で国道で判別をしたが判別の精度は高いままであった。国道は一般道よりも街灯の数も多く切るため判別をしやすかったということが分かった。また、画像数を増やすことによって夜間での判別の精度もある程度高くなることも分かった。しかし、夜間での判別は昼間での判別と比べると精度が低く、原因として夜間の画像数が少ないということが分かった。

リレー回路を使うとLEDを適切に光らせることができた。また、Arduinoではほぼ必要な電圧が出力できなかったが、リレー回路は小さな電流で大きな電流の切り替えができるということが分かった。

#### 5. 結論

今回の研究により、自動車の判別をしてLEDを点らせ、自動車の存在を知らせることが可能になった。しかし、明かりが少ない場所での判定については精度が下がりました。背景の画像が判別するときの時間や場所により変化しなければならぬこともわかった。

#### 6. 今後の展望

(1) 夜間での判別の精度を向上させるため  
と、夜間での画像数を増やし、また、背景についても夜間でのカーブミラーの取り付ける場所の画像数を増やすことにより判別の精度を上げていきたい。

また、画像の明度を変えたり反転したりして高増しすることによって画像数を増やしていきたい。判別の精度を向上させたい。

(2) 自動車だけでなく歩行者についても同様に機械学習を行い、判別していくことによりドライバーにとっても安心できるような機械を制作し、交通事故をより減らせるように努力していきたい。

#### 7. 謝辞

この研究を進める際にプログラミングや電子工作などを教えてくださった物理科の先輩方、また、この研究での様々な問題に耳を寄り添っていただいた木谷先生に感謝を申し上げます。