

# 小麦のふすまを用いた臭気吸着剤の研究

神奈川県立厚木高等学校

2年 AB組 α1班

## 1. 要旨

本研究は、近年みられる環境にやさしい製品への関心の高まりを背景に、小麦のふすまから環境負荷の少ない臭気吸着剤を開発することを目的とする。ふすまの状態が消臭効果にもたらす影響を確かめるため、未処理、乾燥処理、炭化処理と状態を変えて、1分ごとのアンモニア吸着率を測定する実験を行った。その結果、全てのふすまに消臭効果が見られ、最も高い効果を発揮したのは未処理のふすまということが明らかになった。よって、ふすまは消臭剤として実用性があるといえる。

## 2. 背景・目的

近年、環境に優しい製品への関心が高まっていることをふまえて、天然由来の資源である小麦のふすまを用いた消臭剤を検討した。本研究では小麦のふすまとアンモニアガスの吸着作用の関係を明らかにすることを目的とする。本研究の意義は従来、限られた用途または廃棄物として扱われがちであった小麦のふすまについて、新たな利用可能性を示すことで食品廃棄物の削減及び再利用を促進する点にある。さらに、消臭ビーズの主成分である吸水性樹脂<sup>③</sup>は生分解されにくい。それと比較して小麦のふすまは生分解されやすいという点は重要な要素である。

## 3. 仮説

小麦のふすまから環境負荷の少ない臭気吸着剤を作ることができる。

## 4. 方法

実験1)ふすまを乾燥させることでカビの発生を抑えることができるのではないか。

消臭剤にカビが生えれば実用性に欠けるため、ふすまにカビが生えにくい条件を調べる。

- 1.未処理、乾燥処理済み、炭化処理済みのふすまをシャーレに5gずつ用意する。
- 2.日陰になる場所に隣合わせに置き、約1ヶ月放置する。
- 3.カビが生えているかどうかそれぞれの様子を確認する。

実験2)最も消臭効果が高くなるふすまの状態を調べる。

ふすまは活性炭と同じ多孔質構造であるため、ふすまにも消臭効果があると考えられる。

- 1.シャーレ8つに同じ条件のふすまを5gずつ入れ蓋をする。 図1 実験2のようす
- 2.密閉容器の中に液体のアンモニアを入れる。
- 3.ドライヤーで風を密閉容器の中に流す。
- 4.容器内のアンモニアの量を検知器で測定する。
- 5.アンモニアが逃げないように外側からシャーレの蓋を外す。
- 6.アンモニア濃度の変化を1分ごとに測定する。
- 7.これを30分間続ける。

## 5. 結果

実験1)



図2 実験開始時のふすまのようす(10/9)

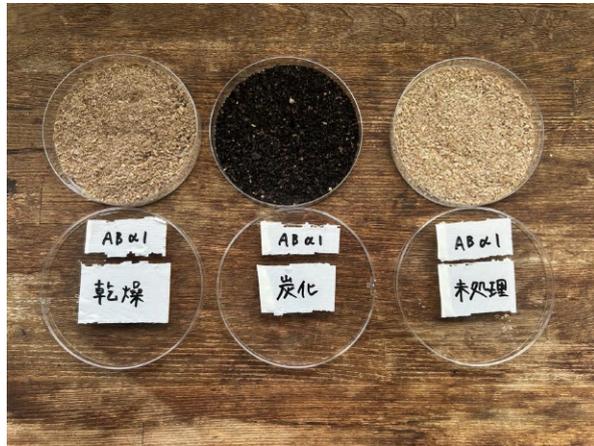
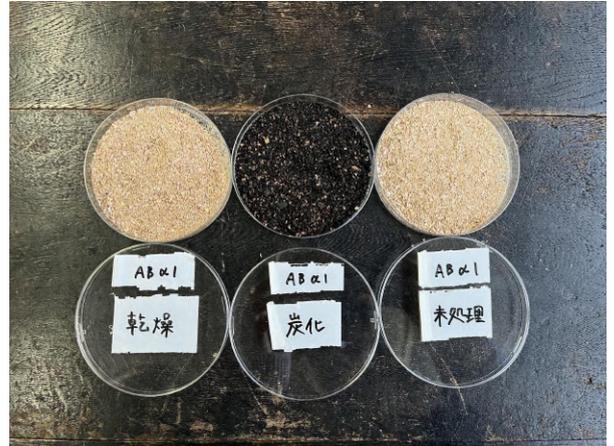


図3 実験終了時のふすまのようす(11/6)



実験2)

時間経過に伴う空气中アンモニア濃度減少の推移

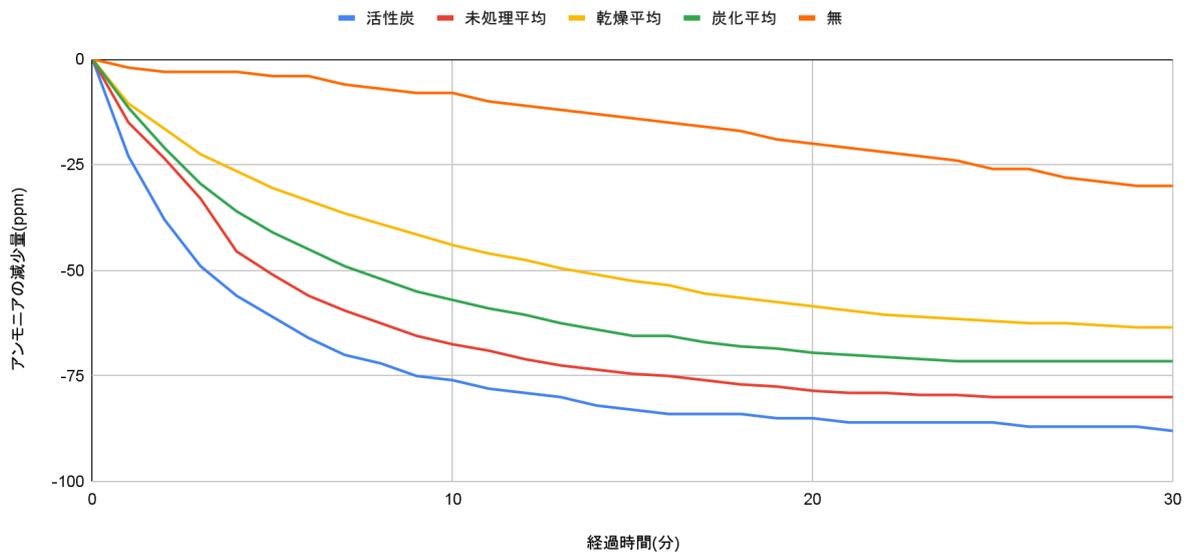


図4 何も入れないとき、活性炭、未処理・乾燥処理・炭化処理を行ったふすまの時間ごとのアンモニアの吸収率(縦軸のppm(百万分の1(10<sup>-6</sup>)を表す濃度・割合の単位)については実験の時間経過0分時点でのppmからの差を表している。)

実験1について、未処理と乾燥処理に差は見られなかったが、炭化処理には白い斑点のようなものが増えていることが分かった。しかし、目視では、それをカビとは判断できなかった。

実験2の結果は図4のグラフの通りである。短時間(この場合短時間とは5分とする)で最も多くアンモニアを吸収する素材は活性炭であり、次に未処理のふすま、炭化処理のふすま、乾燥処理のふすまである。

## 6. 考察

ふすまを炭化処理すると多孔質構造がより増えるので消臭効果が上がると予想していたが、実際の結果は異なるものとなった。実験で使用したアンモニアは水に溶けやすい性質があるため、未処理のふすまに含まれる水分にアンモニアが吸収され、消臭効果を発揮したことが考えられる。徐々に減少しているグラフは吸収素材を何も置かなかった場合であるが密閉しきれていない容器の隙間からアンモニアが漏れ出ていることがわかる。

## 7. 結論

実験2により、小麦ふすまとアンモニアガスには吸着作用において関係があり、活性炭には劣るものの小麦ふすまにも高い消臭効果があることが示された。これにより、小麦ふすまは環境に優しい臭気吸着剤として新たな利用可能性を持ち、食品廃棄物の削減及び再利用を促進できると言える。

## 8. 今後の展望

実験1について、1ヶ月放置したもののカビと判断できるものはなかったため保存安定性に優れていることが判明した。よってふすまは消臭剤としての実用性があると考えられる。実験2より、ふすまの状態の条件にかかわらず、それぞれ消臭効果が確認できたため、ふすまは消臭剤として活用できると言える。実験2について、ふすまを炭化処理すると多孔質構造がより増えるため消臭効果が上がると予想していたが、実際の結果では未処理のふすまが最も消臭効果が高く、その次に炭化処理、乾燥処理の順番となった。実験で使用したアンモニアは水に溶けやすい性質があるため、未処理のふすまに含まれる水分にアンモニアが吸収され、消臭効果を発揮した可能性が考えられる。しかし、これはふすまの多孔質構造による消臭効果ではないので構造由来の効果を検証するには適していなかった。そのため、実験2と同様の実験を水に溶けにくい硫化水素などの別の気体で行う必要があると考えている。

## 9. 参考文献

1)山崎義一 xu.繊維製品への消臭機能付与 2025年5月22日閲覧

[https://www.istage.jst.go.jp/article/senshoshi1960/34/7/34\\_7\\_329/pdf](https://www.istage.jst.go.jp/article/senshoshi1960/34/7/34_7_329/pdf)

2)厚木高校2年B組a1班 備長炭と木酢液における消臭効果の検証 2025年6月13日閲覧

[www.pen-kanagawa.ed.jp/atsugi-h/tokushoku/documents/78b\\_report.pdf](http://www.pen-kanagawa.ed.jp/atsugi-h/tokushoku/documents/78b_report.pdf)

3)小林製薬株式会社 ホームページ 2025年6月21日閲覧

<https://www.kobayashi.co.jp/>

# 厚木市で起きる出会い頭事故と死角の関係

## 神奈川県立厚木高等学校

2年 AB組 α2班

### 1. 要旨

本研究は厚木市が掲げる市内の交通死亡事故ゼロ目標に対し、出会い頭事故と死角の関係を明らかにすることでその一助となることを目的とする。手法として、厚木市が公開する事故の位置情報をQGISを用いて国土地理院の地理院地図上に展開し、事故発生地点から停止距離分離れた位置に運転手の視野図を配置した。視野図が建物と重なる場合を死角ありと判断し、市内で発生した32件の事故を対象に検証を行った。その結果、32件中23件の事故で死角があることが確認され、二項検定により死角が出会い頭事故の発生に有意な影響を与えることが示された。本研究の結果は、出会い頭事故の予防策を講じる上で死角の解消に着目する重要性を示唆している。

### 2. 背景・目的

厚木市をより良い市にするために私たちが取り組めることの一つとして、交通事故の削減がある<sup>1</sup>。厚木市は交通死亡事故をゼロにすることを目標としており、私たちはその中でも死角が原因となる交通事故に着目し、建物などによって視界が遮られて事故が発生する場所を特定したいと考えた。研究結果を啓発活動等の資料として活用し、今後の交通事故発生の予防につなげることを目的とする。

### 3. 仮説

出会い頭事故の原因には死角が関係する。

### 4. 方法

[1] 運転者の視野を定義づける。

運転者の視野を120度と定義した。

ヒトの視野は内側(鼻側)に60度、外側(耳側)に100度であり、そのうち左右それぞれの内側視野(各60度)を合わせた計120度のエリアは、両方の目で同時に見える「両眼視野」の範囲である<sup>2</sup>。この範囲は物を立体的に感じ、距離感を正確に把握できる<sup>3</sup>ため、接近車両の認識や危険回避において特に重要な役割を果たすと考えられる。以上の理由から、本研究では運転者の視野角を120度として設定した。

[2] 厚木市で以下の条件で起きた交通事故を探す

「交差点、一車線の道路、信号がない、車両対車両」

厚木市で発生した事故とその情報はAtsugi accident insight<sup>3</sup>という厚木市が公開している地図で「交通事故統計情報\_車両相互」の項目から閲覧できる。これを利用し、事故情報全1783件のうち1000件を無作為に選び、その中から上記の条件を満たす事故を探した。

一車線の道路や信号の有無を確認する際に必要に応じてGoogle MAPS<sup>4</sup>も使用した

[3] 検証場所ごとの停止距離<sup>5</sup>を求める

停止距離とは運転者が急ブレーキをかけようとした地点から自動車が停止した地点までの距離のことである。

以下の式を用いて停止距離を求めた。

停止距離 = 空走距離(反応時間(秒)×車速(秒速))+ 制動距離(時速(Km/時)の2乗÷(254×摩擦係数))

なお、摩擦係数については事故発生当時の天候と道路の種類を考慮する。

事故発生当時の天候はAtsugi accident insightを利用、道路の種類はGoogleストリートビュー<sup>6</sup>を利用して確認した。

#### [4] Atsugi accident insightの事故発生点を国土地理院の地理院地図へ移す

まず、GISアプリQGISに国土地理院の地図を読み込ませ、表示させた。その後ジオリファレンス機能を用い、事故発生地点が示されたAtsugi accident insightのスクリーンショット画像を地理院地図上に示した。ジオリファレンス機能とは、緯度や経度の情報を持たない画像に位置情報をもたせることで事前に読み込んだ地図の同じ座標位置に画像を重ね合わせられる機能のことである。本検証では建物の位置が非常に重要であるため、事故発生地点周辺の建物の角の座標を合わせている。

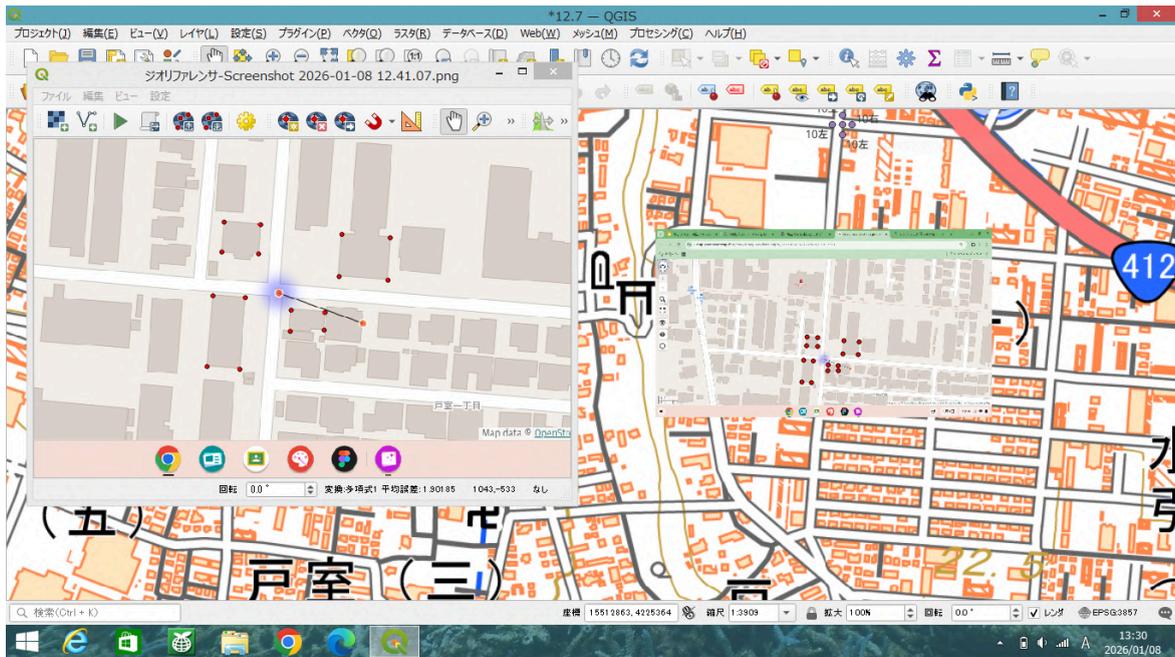


図1 ジオリファレンス機能で地理院地図上に表示されたスクリーンショット画像(右)

このようにして地図と画像を重ねた状態でQGISのポイントレイヤを使用し、事故発生点の上に点を打った。その後スクリーンショット画像のレイヤを非表示にすることで地理院地図の上に事故発生点を移すことができた。

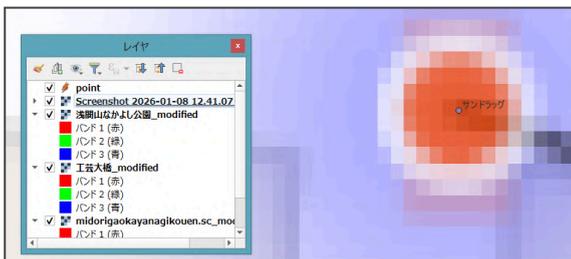


図2 ポイントレイヤに点を打つ画像



図3 地理院地図の上に表示された事故発生点

※二枚の画像(図2図3)は同じ位置について作業した際の画像である

また、これらの作業はAtsugi accident insightの地図では今後の手順に必要な縮尺まで十分に拡大できなかったことを理由に行ったものである。

#### [5] 停止距離分離れたところに点を打つ

発生点から停止距離分離れた位置に運転者の視野の図を置くために、停止距離分離れたところに点を打つ作業を行った。方法3で求めた晴れの場合の停止距離1131cmがPC画面上でキリの良い10cmになるよう縮尺を調整した。今回は最も本来の値に近い縮尺1:113を採用した。

この縮尺のまま画面の上から定規で事故発生点から10cm離れた位置に点を打った。定規の角度は交差点の道に沿って平行になるようにした。なお、本研究で対象とした事故32件がどれも晴れであったことから、検証は全て同じ縮尺で作業されている。

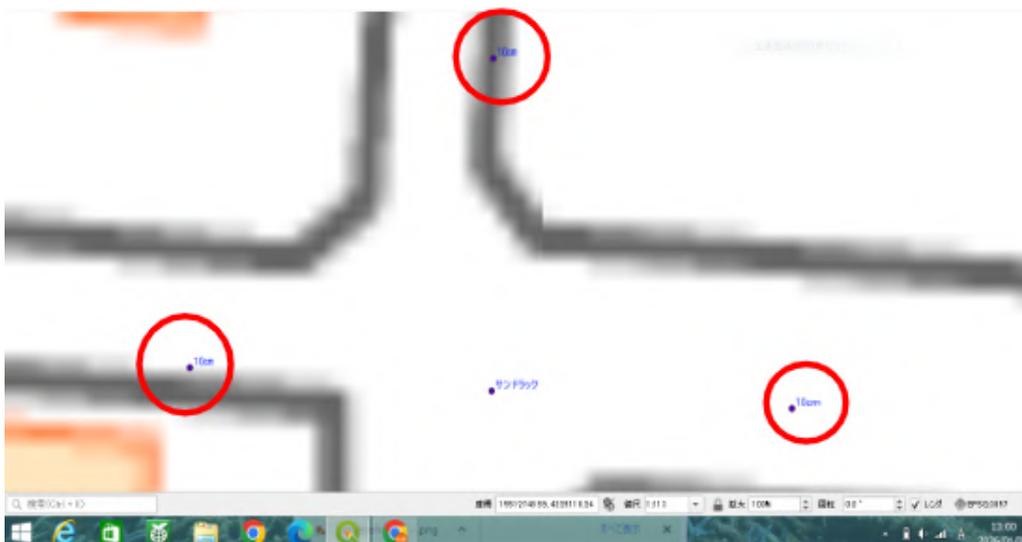


図4 停止距離分離れた位置を示した点(赤丸内)

#### [6] 視点の位置を定義づける

視点の位置は、日本自動車販売協会連合会 乗用車ブランド通称名別順位(2025年1月～8月)<sup>7</sup>で首位であったトヨタ自動車株式会社のヤリス<sup>8</sup>を基に定義する。

トヨタ自動車株式会社のホームページから問い合わせた際にご提供いただいた車体図の座面を長方形と見なし、その対角線の交点を運転者の視野の位置として定義づけた。

なお、この車体図は忍者ツールズ株式会社の描画定規アプリ<sup>9</sup>を用いてほぼ正確であると判断した上で使用した。

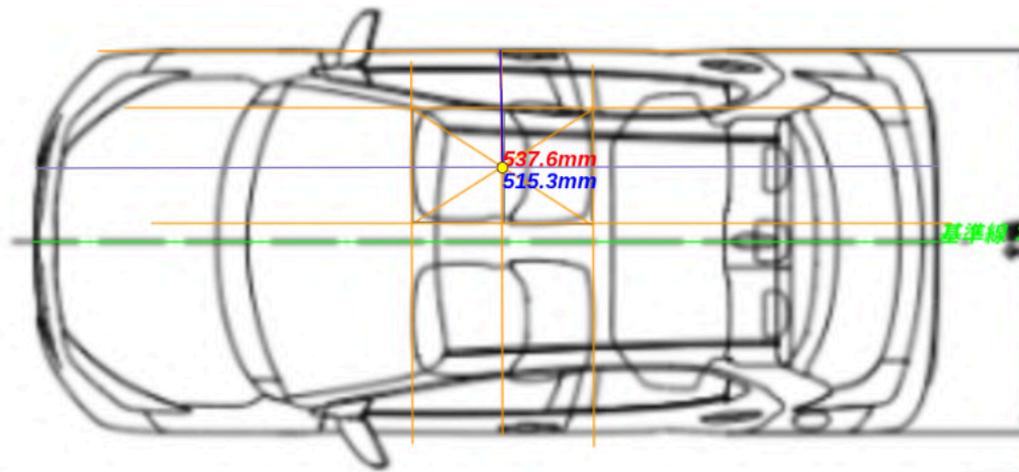


図5 定義した視野の位置(運転席上の黄色点)

この定義と寸法を利用し、車の中心から運転者の視野の位置までの実際の寸法を計算した。基準線から視点の位置までの最短距離をxとし、画面上で車幅169.5cmが10cmのときxが2cmであることを基に計算をすると

$$169.5:10=x:2 \quad x=33.9$$

であることがわかった。

これを方法5までで作成した画像の縮尺で $\alpha$ cmになるとして計算すると

$$1:113=\alpha:33.9 \quad \alpha=0.3$$

となった。

項目		ヤリス [単位: mm]
全長		3950
全幅		1695
全高		<ul style="list-style-type: none"> <li>前輪駆動: 1495</li> <li>総輪駆動: 1510</li> </ul>
軸距		2550
乗車位置	前席	<ul style="list-style-type: none"> <li>標準シート: 1035</li> <li>回転チルトシート: 1055</li> </ul>
	後席第1列	<ul style="list-style-type: none"> <li>M15A-FKS, 1KR-FE原動機付: 1905</li> <li>M15A-FXE原動機付: 1915</li> </ul>
後写鏡の取付高さ	右	<ul style="list-style-type: none"> <li>前輪駆動: 1040</li> <li>総輪駆動: 1055</li> </ul>
	左	<ul style="list-style-type: none"> <li>前輪駆動: 1040</li> <li>総輪駆動: 1055</li> </ul>
前車軸から後写鏡までの距離	右	625
	左	645

図6 ヤリスの寸法表

この値をもとに、停止距離分離れた位置の点より同じ縮尺上で右に3mm離れた位置が運転者の視点位置であると定義づけた。

[7]運転者の視野の図を方法5までで作成した事故発生点の画像に重ね合わせる

以下の作業ではどちらもGoogleスライドを使用している。

まず、視野の画像を作成した。インターネット上で分度器の画像を検索し、120度になる位置に青の実線を、基準となる90度の位置に点線を引いた。このとき、作られた図形を他の分度器の画像にも重ねて正確か確かめるようにした。

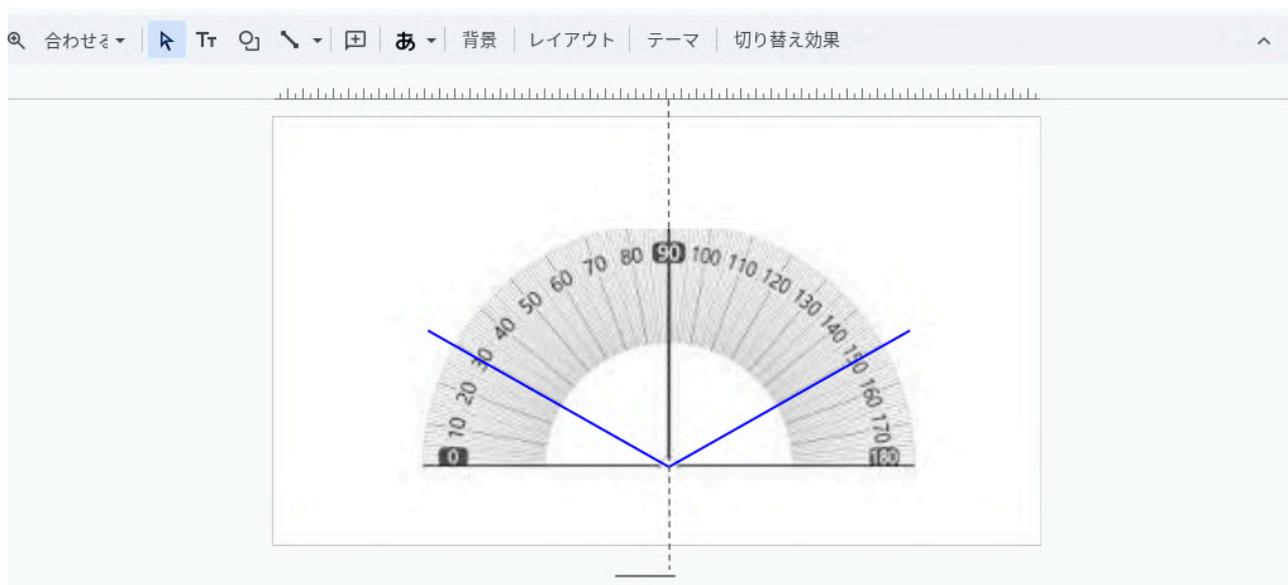


図7 視野の図を作成した際の画像

次にここで作成した図を複製し、90度の点線が方法5までで作成した画像の停止距離分離れた位置の点とその事故の発地点の二点を通る直線となるように向きを調節する。この際、視野を表す青い2本の線が交わる位置が停止距離分離れた点の方になるようにする。同じ縮尺上で画像を右に3mm移動させた。このとき、青い線と建物が重なった場合を死角あり、重ならない場合を死角なしとした。この手順を、各事故地点において車の進入が想定される全ての方向に対して同じ作業を行った。

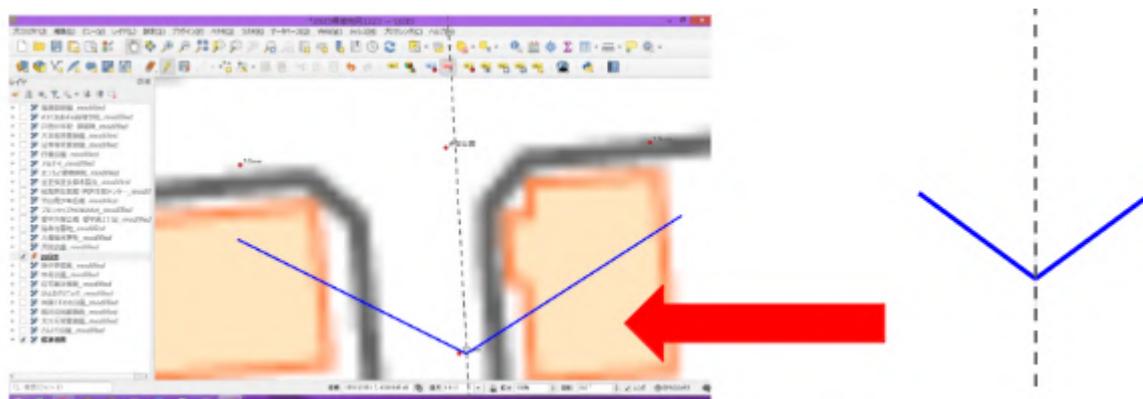


図8 視野の図を挿入した後の画像

#### [8]事故の分類

[7]の作業で少なくとも一方向に死角が確認された事故を「死角あり」の事故、すべての方向で死角が確認されなかった事故を死角なしの事故として事故を分類した。

### 5. 結果

調査対象となった全32件の事故のうち、死角が要因となったものは23件(71.9%)にのぼり、死角が関与しなかったケースは9件(28.1%)であった。

区分	件数(件)	割合(%)
死角あり	23	71.9
死角なし	9	28.1
合計	32	100

表1 出会い頭事故における死角の有無別件数

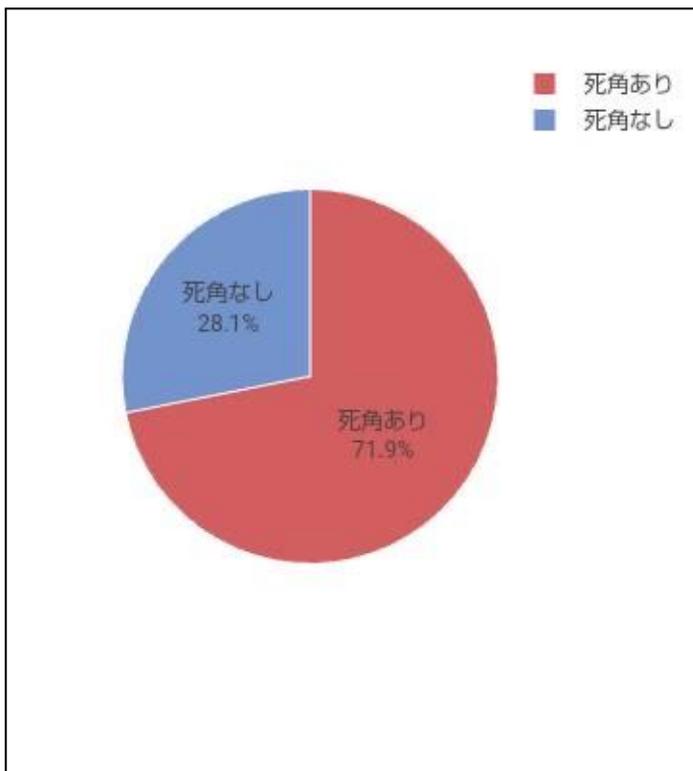


図9 出会い頭事故における死角の有無の割合

## 6. 考察

出会い頭事故の発生原因における死角の影響を検証するため、5.結果の値を用い、有意水準 $\alpha=0.05$ で二項検定(片側検定)をおこなった。

仮説「出会い頭事故の原因には死角が関係する」に基づき、帰無仮説を「出会い頭事故の発生原因に関係しない(出会い頭事故において死角が存在する事故の割合は50%である)」と設定した。

また、対立仮説を「出会い頭事故の発生原因に死角は関係する(出会い頭事故において死角が存在する事故の割合は50%よりも高い)」と設定した。

統計ソフトであるjs-STAR<sup>10</sup>を用いp値を算出したところ $p=0.0100$ が得られた。

観測値 1	観測値 2
23 (0.7188)	9 (0.2813)
p=0.0100 (片側確率)	

図10 js-STARを用いたp値の計算結果

このp値は有意水準0.05を下回っていることから、帰無仮説は棄却され、対立仮説が採択された。したがって、出会い頭事故の原因には死角が関係することが統計的に示された。

## 7. 結論

出会い頭事故の原因には死角が関係する。

この結論から、出会い頭事故の予防策を講じる上で死角の解消に着目することが極めて重要であるといえる。

## 8. 今後の展望

本研究では、出会い頭事故において死角が関与している可能性を示すことができたが、分析対象となった事故件数は32件と限られている。今後は、対象とする事故件数をさらに拡大し、より多くの事例を用いた分析を行うことで、結果の信頼性を高める必要がある。

また、本研究では直進車同士の出会い頭事故を主に想定して視野の検証を行ったが、実際の交通環境では右折・左折を伴うケースも多い。今後は車両の進行方向やハンドル操作を考慮した視野モデルを導入し、より実際の運転状況に近い条件で検証を行うことが求められる。

さらに、出会い頭事故の要因は死角だけでなく、速度、標識やカーブミラーの有無、道路幅、交通量など複数の要素が複雑に関係していると考えられる。今後はこれらの要因も併せて分析し、死角との関連性を比較検討することで、より効果的な事故防止策の提案につなげたい。

## 9. 参考文献

[1] 厚木市 厚木市交通安全推進画

<https://www.city.atsugi.kanagawa.jp/material/files/group/32/keikaku.pdf> 2025年6月4日閲覧

[2] 福田眼科医院 目の仕組み

<https://www.fukuda-eye.jp/eye-mechanism/> 2025年6月4日閲覧

[3] 厚木市 Atsugi accident insight

<https://umap.openstreetmap.fr/ja/map/atsugi-accident-insight> 2025年6月4日閲覧

[4] Google Google MAPS

<https://www.google.co.jp/maps> 2025年6月4日閲覧

[5] 実務の友 車速から停止距離を計算

<https://www5d.biglobe.ne.jp/Jusl/SmartJitutomo/TeisiKyoriS.html> 2025年6月4日閲覧

[6] Google グーグルストリートビュー

<https://www.google.co.jp/intl/ja/streetview/> 2025年6月4日閲覧

[7] 日本自動車販売協会連合会 乗用車ブランド通称名別順位(2025年1月～8月)

<https://www.jada.or.jp/files/libs/6117/202509241052165134.pdf> 2025年8月23日 閲覧

[8]トヨタ自動車株式会社 ヤリス カタログ

[https://toyota.jp/pages/contents/request/webcatalog/yaris/yaris\\_main\\_202506.pdf](https://toyota.jp/pages/contents/request/webcatalog/yaris/yaris_main_202506.pdf)

2025年9月27日 閲覧

[9]忍者ツールズ株式会社 描画定規アプリ

<https://drawingruler.the-ninja.jp/> 2025年9月27日 閲覧

[10]柏崎インターネットサービスjs-STAR

<https://www.kisnet.or.jp/nappa/software/star8/index.htm> 2026年1月8日 閲覧

# 冷凍保存におけるグルテンの伸展性を 保持する際の水分の関与

神奈川県立厚木高等学校  
2年 AB組 α3班

## 1. 要旨

本研究では、冷凍保存中に生じるグルテンの伸展性低下に着目し、不揮発性物質である食塩および砂糖がその性質に与える影響を検討した。水、食塩水、砂糖水を用いて作成したグルテンを冷凍保存し、伸展性を「耐久性」と「粘弾性」の二つの観点から評価した。その結果、10%食塩水では耐久性が、20%砂糖水では粘弾性がそれぞれ高く保たれる傾向が見られた。これより、冷凍保存中のグルテンの伸展性保持には、強度と柔軟性のバランスを考慮した保存条件が重要であることが示唆された。

## 2. 背景・目的

近年、冷凍食品や冷凍パンなど、冷凍保存された食品は私たちの生活に広く普及している。一方で、冷凍保存により、解凍後の食感悪化などの品質低下が課題とされている。

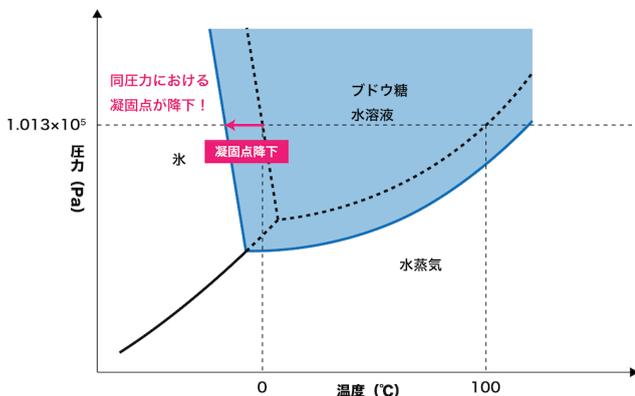
これらの品質低下の要因の一つとして、小麦に含まれるグルテンの性質変化が考えられる。グルテンは、食品の弾力や伸びを支える重要な成分であり、冷凍中の水の結晶化によってその構造が損なわれると、伸展性が低下すると考えられる。そこで本研究では、不揮発性物質である食塩および砂糖に着目し、これらによる凝固点降下が冷凍保存中のグルテンの伸展性に与える影響を検討した。



[図1] グルテンの説明

## 3. 仮説

塩や砂糖などの不揮発性物質による凝固点降下によってグルテンに含まれる水の結晶化を防ぐことで、解凍時の伸展性低下を抑制できるのではないかと考えた。また、塩と砂糖では水への作用が異なるため、伸展性の保持のされ方にも違いが生じると考えた。



[図2] 凝固点降下の説明

## 4. 方法

### 【1】小麦粉からグルテンを取り出す

①硬質小麦粉100gに 水 / 食塩水(10%および20%) / 砂糖水(10%および20%) 50mlを加え、ホームベーカリーを用い均一になるまで10分程度こねる。

- ②①を水 / 食塩水(10%および20%) / 砂糖水(10%および20%) で揉み洗いし、グルテンを取り出す。
- ③取り出したグルテンをシリコン型に入れて冷凍保存する。



[図2] 使用したホームベーカリー [図3] 取り出したグルテン

〈比較方法〉

「伸展性」を「耐久性」と「変形のしやすさ(=粘弾性)」という2つの観点から考え、 $\alpha$ と $\beta$ の2種類の検証を行った。

(1)添加物による比較

- A 水
- B 食塩水(10%/20%)
- C 砂糖水(10%/20%)

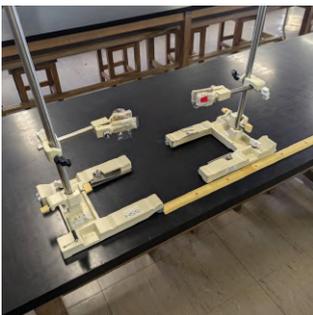
上記の3種類をそれぞれ6個ずつ作成し、その平均値を記録した。

(2)保存期間による比較

作成したすべてのグルテンの1日後、1週間後、2週間後の結果を記録した。

## **[2]グルテンの伸展性の検証 $\alpha$ - 「耐久性」**

- ①[図4]のような装置を組み立てる。
- ②グルテンの両端をスタンドで固定する。
- ③片方のスタンドを固定し、もう片方のスタンドを1cm/sの速さで真横に動かす。
- ④グルテンが切れたときの伸び幅を記録する。

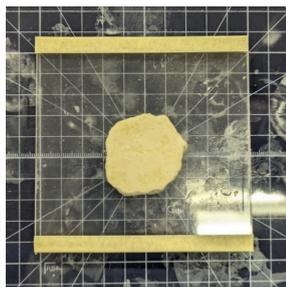
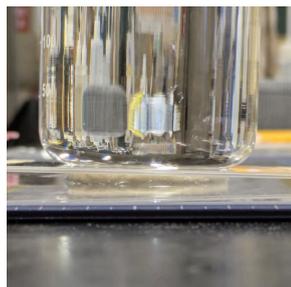


[図4] 検証  $\alpha$  で用いた装置

## **[3]グルテンの伸展性の検証 $\beta$ - 「粘弾性」**

- ①目盛り付きの板を下敷きにしてグルテンを置く。
- ②グルテンの上に土台として透明の板を置く。
- ③さらにその上に、おもりとして 200mlの水が入ったビーカーを1分間置く。

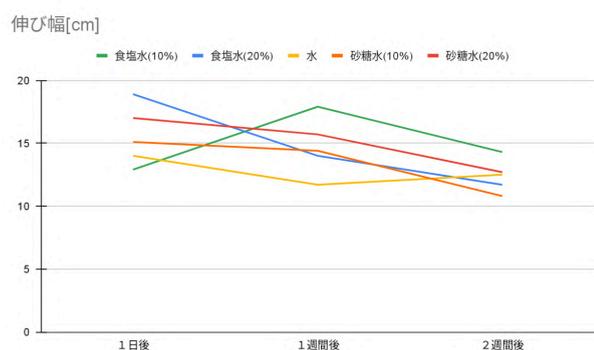
④おもりを置く前後のグルテンの写真を撮影し、描画定規アプリで中心の点を通る幅の最大値を求める。



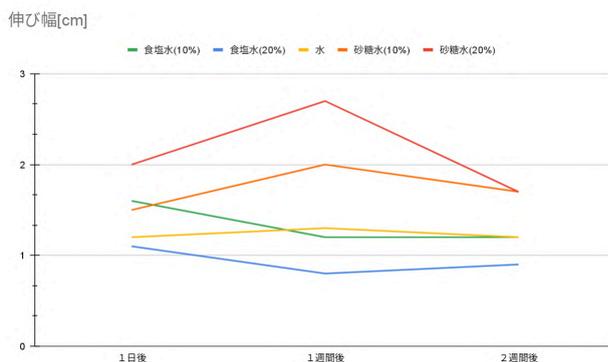
[図5] 検証  $\beta$  の様子

[図6] おもりを1分間乗せたグルテン

## 5. 結果



[図5] 5種類のグルテンの伸び幅平均比較  $\alpha$



[図6] 5種類のグルテンの伸び幅平均比較  $\beta$

## 6. 考察

### [2]グルテンの伸展性の検証 $\alpha$ - [耐久性]

すべての条件で保存期間が長くなるにつれて伸びは低下した。特に水を用いた場合は、1日後から1週間後にかけて大きく低下し、最も伸びが低い結果となった。一方、食塩水および砂糖水を用いた条件では、伸びの低下が抑えられた。中でも10%食塩水は、1週間後・2週間後でも比較的高い値を示し、最も切れにくい結果となった。

これは、凝固点降下による水の結晶化抑制に加え、適度な脱水作用によってグルテン構造の強度が保たれたためと考えられる。一方、20%食塩水では脱水が過剰となり、グルテンが硬く脆くなったことで、保存期間の経過とともに伸びが低下したと考えられる。また、砂糖水では水のみときより伸びは大きかったものの、構造の強度を高める作用が弱いため、10%食塩水には及ばなかったと考えられる。

### [3]グルテンの伸展性の検証 $\beta$ - [粘弾性]

検証  $\alpha$  と同様、保存期間とともに値は低下したが、条件によって大きな差が見られた。水を用いた場合は、すべての期間で伸び幅が小さく、変形しにくい結果となった。一方、砂糖水では大きな伸び幅を示し、特に20%砂糖水は1週間後、2週間後でも高い値を維持した。

これは、砂糖の保水性によって冷凍後もグルテンが柔らかい状態を保ち、重さを加えた際に変形しやすくなったためと考えられる。一方、食塩水、特に20%食塩水では、脱水作用により構造が硬くなり、変形しにくくなったと考えられる。

## 7. 結論

本研究では、冷凍保存中のグルテンの伸展性低下を抑制するため、水、食塩水、砂糖水による保存条件の違いを比較した。その結果、検証  $\alpha$  と検証  $\beta$  で異なる傾向が見られた。

検証  $\alpha$  では10%食塩水が最も高い値を示し、グルテンの耐久性が保たれていることが分かった。一方、検証  $\beta$  では20%砂糖水が最も高い値を示し、粘弾性が維持されていることが分かった。

このことから、グルテンの伸展性は耐久性と粘弾性という二つの要素から成り立っており、冷凍保存においては両者のバランスを考慮した条件設定が重要であると結論づけた。本研究は、冷凍食品の品質評価において、単一の指標ではなく、性質を分解して多面的に評価する重要性を示したと考える。

## 8. 今後の展望

- ・最適濃度の探索  
→5%や15%などの中間濃度、塩+砂糖の併用条件の検証
- ・食品への応用
- ・測定方法の拡張  
→復元性、回復時間など 伸展性をより多面的に評価
- ・保存条件の具体化  
→冷凍温度、冷凍速度、解凍方法などによる検証

## 9. 参考文献

- [1]小林りか / 冷凍貯蔵下でのパン生地劣化挙動に対する添加油の役割の検討  
[https://www.istage.ist.go.jp/article/nskkk/70/8/70\\_NSKKK-D-23-00027/pdf](https://www.istage.ist.go.jp/article/nskkk/70/8/70_NSKKK-D-23-00027/pdf)(2026年1月7日閲覧)
- [2]吉澤俊祐・白木賢太郎/タンパク質の凝集剤としての塩・有機溶媒・高分子  
[https://www.sbi.or.jp/wp-content/uploads/file/sbi/9305/9305\\_tokushu\\_1.pdf](https://www.sbi.or.jp/wp-content/uploads/file/sbi/9305/9305_tokushu_1.pdf)(2026年1月12日閲覧)
- [3]日本甜菜製糖株式会社/砂糖の特性  
<https://www.nitten.co.jp/column/sugar/characteristic>(2026年1月12日閲覧)
- [4]グリコ栄養食品株式会社 / グリコ栄養食品たべもの事典  
<https://www.glico.com/nutrition/tabemono/material/01/02/index.html>(2026年1月7日閲覧)
- [5]描画定規アプリ  
<https://drawingruler.the-ninja.jp>(2026年1月12日閲覧)

# 米のGIと抗菌性から食料安全保障を考える

神奈川県立厚木高等学校

2年 AB組 α4班

Queensland Academy for Science, Mathematics and Technology

## 1. 要旨

本研究はオーストラリアのQueensland Academy for Science, Mathematics and Technologyと共同でおこなわれた。GI(グリセミックインデックス)と各種米由来の抗菌ペプチド(AMP)の抗菌性を調査し、比較することで、食料不安の解決策として最も適する米の種類を特定することを目的とする。食料安全保障の条件として国連食糧農業機関(FAO)が掲げる4つの条件をGIとAMPによる抗菌性と対応させ最終的な米の評価をした。日本とオーストラリアで、産地が異なることによる米の性質を特定するため、本研究では両国で一般的に市販・消費されている、コシヒカリ(精米)とコシヒカリ(玄米)、アルポリオ米(日本では類似種のカルナローリ米)を分析した。結果、玄米が我々の定義したGI及びAMPの観点から見て最も適していることが示された。

## 2. 背景・目的

2025年だけでも、約23億人もの人々が食料不安に直面したと推定されている<sup>10</sup>。米は抗菌性のあるペプチド(抗菌ペプチド、以下AMP)を含んでいることが示されている<sup>3,7</sup>。また、炭水化物を摂取した際の血糖値の上昇の程度を示すGIが低いほど、高血糖に悩む人々や、特に糖尿病患者にとって安全な食べ物だと言えることが知られている。そこで我々は、米が持つペプチドの抗菌性、GIには生育環境による影響があるのではないかと考えた。日本及びオーストラリア産の米について、GIと抗菌性の調査をおこない、調査結果をもとに、国連が提唱している食料安全保障<sup>4</sup>の4つの条件(利用、安定性、アクセス、供給)<sup>12,13</sup>にどの種や栽培地の米が適しているかを結論づけることを目的とする。GIは「利用」、「アクセス」に対応し、AMPは「安定性」と「供給」に対応すると解釈することができる。米は90カ国以上で主食であり<sup>14</sup>、100カ国以上で生産されている<sup>11</sup>ため、食料安全保障の4つの条件を脅かす課題の解決に米が重要であることが示されている<sup>11</sup>。このことから、米の栄養価と抗菌性は食料安全保障において重要だと考えたため、調査対象として米を設定した。

## 3. 仮説

GI:

アミロースの含有量が多い米を食べたほうが食後の血糖値の上昇が緩やかになることが示されている<sup>8</sup>。また、アミロース含有量は登熟期の気温が低ければ多くなることが知られている。登熟期における日本の気温はおよそ24℃～29℃(8月から9月)<sup>9</sup>、オーストラリアの気温は17.5℃～26.4℃(1月から3月、シドニー)<sup>6</sup>であるから、オーストラリア産米の方が低GIの米といえると予想できる。

AMP:

作られる阻止円はオーストラリア米のほうが大きくなると考えられる。抗菌性ペプチドはコメに含まれるタンパク質からなる。また、タンパク質の含有量は水分を含まない米のほうが多く<sup>5</sup>、オーストラリアの稲作の中心地は日本よりも雨が少ないニューサウスウェールズリベリナ地方に広がっている<sup>6</sup>ことから抗菌性はオーストラリア米の方が高いと予測することができる。

## 4. 方法

## GI:

### 1. サンプル調製

#### 1-1 米の炊き方

米と水の質量比が1:1になるように炊飯する。通常、米が完全に糊化し全体が柔らかくなるまで、水で煮るか蒸す。硬い粒が残らないようにする。炊き上がった米を50.0g正確に計量する。

#### 1-2 炊き上がった米の冷却

炊き上がった米をすぐに、炊いた米を清潔な容器または皿に移す。容器を37°Cに設定した湯煎にかけることで、 $37.0 \pm 2.0$ °Cまで冷却する。炊飯器の蓋を開け、炊飯器の内部温度が37.0°Cに達するまで待つ。

#### 1-3 米の均質化

米が所定の温度に達したら、清潔な陶器製のすり鉢に移す。乳棒を用いて、滑らかな消化液状の粘度になるまで手で米を潰し均質化する。

### 2. 模擬消化段階

#### 2-1 口腔相反応混合液の調製

米ペーストに、事前にpH7.0 $\pm$ 0.05に調整<sup>17</sup>した蒸留水120.0mℓを加える。校正済みのpHメーターでpHを確認し、必要に応じて1M水酸化ナトリウム(NaOH)または1M塩酸(HCl)で調整する。3.4%(w/v)  $\alpha$ -アミラーゼ(原料:*Aspergillus oryzae*) 30mℓを加える。ガラス棒で混合物全体がほぼ均質化されることを確認する。

#### 2-2 経口段階の培養

混合物を37.0°Cに設定した振とう水浴<sup>16,19</sup>に設置する。正確に32分間培養し、5分ごとに30回転の攪拌を行い、口腔内での混合を模擬する。

### 3. 模擬腸管消化段階

#### 3-1 消化酵素の添加

1%パングレアチン(原料:ブタ膵臓) 15mℓを添加。内容物を十分に混合し、酵素が均一に分散するようにする<sup>21</sup>。

#### 3-2 腸管段階の培養

37.0°Cで120分間インキュベートする。振とう水浴を用いて60rpmで穏やかな攪拌を維持する。このステップにより、炭水化物がグルコースまで完全に加水分解される。

### 4. グルコース測定器によるグルコース定量

#### 4-1 時間点サンプリング

0、20、40、60の間隔で、ピペットを用いて消化混合液を25mℓずつ採取する<sup>18</sup>。蒸留水75mℓを加えて希釈する。

#### 4-2 酵素不活性化

各分取液の酵素活性を直ちに不活性化し、さらなるグルコース放出を防ぐ。加熱ブロックで95.0°Cに5分間加熱する。

#### 4-3 清澄化(必要な場合)

各サンプルを10,000\*gで5分間遠心分離し、固形粒子を除去する。上清を慎重に清浄なマイクロチューブに移し、グルコース分析<sup>18</sup>を行う。

#### 4-4 グルコース測定器を用いたグルコース測定

清澄化後、加熱した場合は上清25mℓを室温まで冷却する。血糖測定器とテストストリップが水溶液サンプル用に校正・検証されていることを確認する(付録1参照)。(注:多くの民生用血糖測定器は全血用に校正されており、研究用に特別に検証されていない限り、血液以外のサンプルでは不正確な測定値を示す可能性がある。)上清25mℓを蒸留水で100mℓに希釈し、血糖測定器のテストストリップを澄んだサンプルに浸す。表示されたグルコース濃度<sup>15</sup>(mg/dL または mmol/L)を表1のように記録する。加水分解指数計算との整合性を保つため、測定値を「利用可能炭水化物100gあたりの質量(g)」に換算する。各測定時点ごとに繰り返し、サンプルごとに新しいテストストリップを使用し汚染を避ける。

Uncertainty:	Unit: mmol/L (Diluted to 100 mL)			
Sushi Rice	0 minutes	20 minutes	40 minutes	60 minutes
Trial 1	0.6	7.2	9.9	11.9
Trial 2	0.6	7.9	9.4	11.4
Trial 3	0.6	7.5	8.8	11.5
Trial 4	0.6	7.2	10.7	11.5

↑表1 測定したグルコース量を記録する方法の例

## 付録1: 非血液検体用グルコメーター校正手順

### ステップ1: グルコース標準液の調製

同一マトリックス(例: グルコース無添加米消化液)中の既知濃度のグルコースを用いて校正曲線を作成する。

- 試験マトリックスのブランクサンプルを調製する(例: 澱粉添加前の不活性化消化液)。
- コントロール溶液を用いた校正
- このブランクマトリックスにおいて、一連のグルコース標準溶液を調製する:  
0、25、50、100、150、200 mg/dL グルコース
- 蒸留水に溶解したD-グルコース(無水物または一水和物)を使用する。

### ステップ2: 血糖測定器で測定

- 新しいテストストリップを検体に浸す。
- 各既知グルコース濃度について、血糖測定器の測定値を記録する。
- 再現性を確保するため、各標準液を少なくとも3回繰り返す。

注: マトリックスが澄明であることを確認し、必要に応じて濾過または遠心分離を行い、微粒子が干渉しないようにする。

### ステップ3: 検量線を作成する

- 血糖測定器の読み取り値(y軸)と実際のグルコース濃度(x軸)をプロットする。
- 直線回帰線をフィットさせる。
  - 式(例:  $y = 0.87x + 5$ )が補正係数となる。
  - 良好な直線性を得るには、 $R^2$ 値が0.99以上であるのが理想的である。

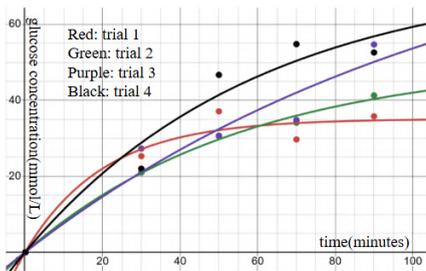
### ステップ4: サンプル測定値への補正適用

- 血糖測定器で実験サンプルを測定する。
- 回帰式を用いて、生の測定値を実際のグルコース濃度へ補正する。

## 5. データ処理

5-1 各品種、それぞれの試行について、測定したグルコース濃度を時間軸に対してプロットした。グラフ作成ツールとしてはDesmosを用いた。x軸が時間(分)、y軸がグルコース濃度(mmol/L)である<sup>20</sup>。なお、このとき $x=0.1$ のときのyの値は0とし、20分時点の測定値は $x=30$ 、40分時点の測定値は $x=50$ 、60分時点の測定値は $x=70$ 、80分時点の測定値は $x=90$ の点にプロットする。これは模擬消化段階全体についてのGIを算出するためである。Area Under the Curve(AUC)は $y = M(1 - e^{-kx})$ の回帰分析により算出される<sup>20</sup>。関数を $f(x)$ とした場合、AUCは式aで表せる(図1)。この段階で計算したAUCの品種ごとの平均を、 $AUC_{Sample}$ とする。

図1 式a 
$$AUC = \int_0^{90} f(x) dx$$



↑ 図2 Desmosを用いたグラフ作成の例。データは日本産コシヒカリ(玄米)のもの。

5-2 5-1と同様の手順で基準食品(本研究では白パン)を用いて収集したデータを処理し、 $AUC_{Reference}$ とした。各米サンプルの加水分解指数(HI)は式bで算出し<sup>20</sup>(図3)、その上で推定GIを式cで算出する<sup>20</sup>(図4)。各サンプルのGIを記録する。

図3 式b 
$$HI = \frac{AUC_{sample}}{AUC_{reference}} \times 100$$

図4 式c 
$$GI = 39.71 + 0.549 \times HI$$

5-3 算出されたGIが産地間作用、品種間作用、産地・品種の交互作用(以下、交互作用)によるものかをANOVA(分散分析)によってそれぞれ調べる。有意水準は0.05とする。

5-4 5-1で、交互作用の項目で有意差が認められた場合は、Tukey's HSDでHSD値を求め、その値が産地間の差を上回るかどうかを調べる。上回った場合は有意差あり、下回った場合は有意差なしとみなす。

## AMP:

### 1. サンプルの準備

1-1 未調理の米(80g)をすり鉢と乳棒で細かく砕く。

### 2. AMPの抽出

2-1 サンプルを水酸化ナトリウム水溶液(400ml, 0.2%)に入れ、1時間攪拌する<sup>1</sup>。

2-2 遠心分離機にかけ、溶け残りを取り除く<sup>1</sup>。(3000xg, 10分)

2-3 塩酸(6mol/L)を滴下し、pH5.0になるまで中和する<sup>1</sup>。

2-4 遠心分離機にかけ、沈殿を回収する<sup>1</sup>。(3000xg)

2-5 回収した沈殿に水(400ml)を加える<sup>1</sup>。

2-6 遠心分離機にかけ水洗した後、放置させ乾燥させる<sup>1</sup>。(3000xg)

2-7 蒸留水(200ml)を加え、塩酸もしくは水酸化ナトリウム水溶液で酵素(ペプシン)の至適環境(pH2.0)を作る。

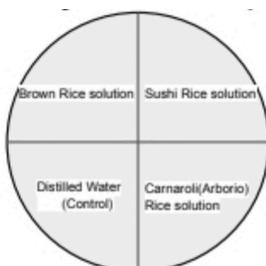
2-8 温度を37℃にしてペプシンを加え、2時間放置する。

2-9 0.2%の水酸化ナトリウム水溶液でpH7にしペプシンを失活させる。

### 3. 抗菌性評価

3-1 PDA培地にアオカビ(*Penicillium crysogenum*)を塗布する。これを3個作成する。

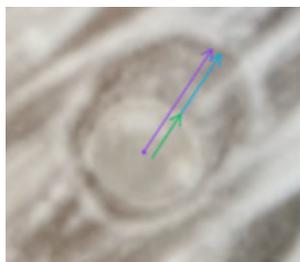
3-2 ペプチド水溶液およびコントロールとして滅菌水をペーパーディスクに浸し、3-1で作成した培地にそれぞれ図5のように入れる。



← 図5 培地におけるペーパーディスクの配置

SushiRiceはコシヒカリ精米、BrownRiceはコシヒカリ玄米、Carnaroli(Arborio) Riceはカルナローリ米またはアルポリオ米をそれぞれ指す。Distilled Waterは滅菌水を指し、本実験でコントロールとして機能する。

3-3 それぞれの培地を25℃のインキュベーターの中に入れ、阻止円の最大半径(図6)を数日後に観察する。



←図6 阻止円の例。阻止円の最大半径とは、青色の線の長さ(cm) (ペーパーディスクの中心から阻止円の端までの線(紫色)の長さからペーパーディスクの半径(緑色)の長さを引いた長さ)を指す(cm)。

#### 4. データ処理

4-1 ANOVA(分散分析)によって観測された値が産地間作用、品種間作用、産地・品種の交互作用(以下、交互作用)によるものかをそれぞれ調べる。有意水準は0.05とする。

4-2 4-1で、交互作用の項目で有意差が認められた場合は、Tukey's HSDでHSD値を求め、その値が産地間の差を上回るかどうかを調べる。上回った場合は有意差あり、下回った場合は有意差なしとみなす。

### 5. 結果

#### GI:

↓表2 オーストラリアでおこなわれたGI値に関する実験の結果

品種	Area Under Curve (4s.f.) / mmol・L <sup>-1</sup> ・s				平均AUC	加水分解指数	GI
	Trial 1	Trial 2	Trial 3	Trial 4			
アルボリオ米	4647	4513	4969	4399	4628	0.795	83.33
コシヒカリ精米	4627	4783	4493	4806	4677	0.803	83.8
コシヒカリ玄米	2470	2421	2353	2640	2471	0.424	62.47
白パン	5824						

↓表3 日本でおこなわれたGI値に関する実験の結果

品種	Area Under Curve (4s.f.) / mmol・L <sup>-1</sup> ・s				平均AUC	加水分解指数	GI
	Trial 1	Trial 2	Trial 3	Trial 4			
カルナローリ米	2622	2800	2544	2927	2723	0.467	64.74
コシヒカリ精米	2063	2490	2238	2400	2298	0.394	61.05
コシヒカリ玄米	2458	2277	2539	3178	2613	0.504	66.66
白パン	5824						

## AMP:

↓表4 オーストラリアでおこなわれたAMPに関する実験の結果(N/TはNot Tested、未実施を表す。)

品種	阻止円最大半径の平均 /cm				試行全体の平均値(cm)
	Trial 1 (11/17/25)	Trial 2 (12/02/25)	Trial 3 (12/03/25)	Trial 4 (12/04/25)	
アルボリオ米	0.396	0.225	N/T	0.258	0.293
コシヒカリ(精米)	0.457	0.121	N/T	0.379	0.325
コシヒカリ(玄米)	0.367	0.325	0.429	N/T	0.374

↓表5 日本でおこなわれたAMPに関する実験の結果(N/AはNot Available、利用不可を表す。ここで  
のN/Aの箇所は黒カビによる汚染などにより測定不能であった。)

品種	阻止円最大半径の平均 /cm				試行全体の平均値(cm)
	Trial 1 (12/19/25)	Trial 2 (12/19/25)	Trial 3 (12/19/25)	Trial 4 (12/19/25)	
カルナローリ米	0.01	0.01	0.02	N/A	0.0133
コシヒカリ(精米)	0.01	0.147	0.4	N/A	0.185
コシヒカリ(玄米)	0.01	0.22	0.2	N/A	0.143

## 6. 考察

### GI:

作用	p値(有意差水準0.05)
産地間作用	$2.94626 \times 10^{-11}$
品種間作用	$1.05967 \times 10^{-7}$
交互作用	$2.18211 \times 10^{-10}$

↑表6 GI値に関する実験で観測されたデータをANOVAにかけた結果

ANOVAの結果、産地間作用、品種間作用、交互作用の全てで有意差が確認された。これにより、産地間作用について、日本産の米のGIはオーストラリア産の米より有意に低いことがわかった。この結果は仮説とは逆の結果であり、仮説はGIの結果に影響する一因ではあると考えられるが、精米度や加工条件の違いなどの別の要因がより強く作用した可能性がある。

次に、食料安全保障に適した品種を特定するために、3つの指標を設定した。

第一の指標として設定した「適切性」は、GIが低いかどうかという基準で決定する。品種ごとの平均値は、表7のとおり、コシヒカリ玄米が最も低いGIを示したため、コシヒカリ玄米が最も健康的であると言える。

	カルナローリ米/ アルポリオ米	コシヒカリ(精米)	コシヒカリ(玄米)
平均GI	74.38	72.59	<b>65.21</b>

↑表7 米の品種及びそれぞれの平均GI

第二の指標として設定した「一貫性」は、同じ地域内での標本がどれだけ一貫しているかという基準で決定する。品種ごとの地域内分散の2国平均は表8のとおり、コシヒカリ精米>カルナローリ米/アルポリオ米>コシヒカリ玄米の順に小さかったため、この順で一貫性があると言える。

	カルナローリ米/ アルポリオ米	コシヒカリ(精米)	コシヒカリ(玄米)
平均分散	4.03	<b>2.52</b>	6.18

↑表8 米の品種及びそれぞれの平均分散(GI)

第三の指標として設定した「頑健性」は、それぞれの品種に対する、産地2か国間の平均GIの差をもとに判断する。例えばカルナローリ米/アルポリオ米に着目すると、日本では品種ごとの地域による差は、約21である(日本:64.74、オーストラリア:83.33)。これはTukey's HSDで算出されたHSD値4.62を上回るため、栽培地域に対して頑健性があるとは言えない。表9のとおり、コシヒカリ玄米の地域差が明らかに他の2種に比べて小さく、かつHSD値を下回るため、地域間に有意な差がない。つまりコシヒカリ玄米に最も頑健性があるといえる。

	カルナローリ米/ アルポリオ米	コシヒカリ(精米)	コシヒカリ(玄米)
地域差	18.6	22.7	<b>4.3</b>

↑表9 米の品種及びそれぞれの地域差(GI)

したがって、総合的に、産地間比較では日本産の米が、品種間比較では玄米が最も食料安全保障安全保障に適していることが示された。

#### AMP:

作用	p値(有意差水準0.05)
産地間作用	0.01277552
品種間作用	0.6038649
交互作用	0.75823883

↑表10 AMPに関する実験で観測されたデータをANOVAにかけた結果

ANOVAの結果、産地間作用の項目でのみ有意差が確認された。これにより、産地間作用について、オーストラリア産の米の抗菌性は日本産の米の抗菌性に比べて有意に高いことが示された。

次に品種間作用について、GIで用いた3つの指標でAMPのデータを評価すると、第一の基準である「適切性」においては、阻止円の平均最大半径が表11が示すようにコシヒカリ(玄米) ≒ コシヒカリ(精米) > アルボリオ米/カルナローリ米という大小関係を示した。しかしANOVAの結果より、これらの値は統計的に有意な値と見なすことができず、単なる数値の比較にとどまる。

	カルナローリ米/ アルボリオ米	コシヒカリ(精米)	コシヒカリ(玄米)
平均最大半径[mm]	2.13	2.67	2.74

↑表11 米の品種及びそれぞれの阻止円の平均最大半径

第二の指標である「一貫性」においては表12のとおり、コシヒカリ(精米)は両国でかなり高い分散を示したが、コシヒカリ(玄米)とアルボリオ米/カルナローリ米は低い分散を示した。かつコシヒカリ(玄米)は両国で測定されたデータを見ても3品種の中では特に低い平方分散を示した(日本: $s^2 = 0.0027$ 、オーストラリア: $s^2 = 0.0041$ )。

	カルナローリ米/ アルボリオ米	コシヒカリ(精米)	コシヒカリ(玄米)
平均分散	0.5781	2.848	<b>0.3435</b>

↑表12 米の品種及びそれぞれの平均分散(AMP)

第三の指標である「頑健性」においては、産地と品種の交互作用が有意ではないことから、特定の品種が環境要因に依存して抗菌性能を低下させることがないことを示している。

	カルナローリ米/ アルボリオ米	コシヒカリ(精米)	コシヒカリ(玄米)
地域差	1.57	1.14	1.97

↑表13 米の品種及びそれぞれの地域差(AMP)

以上を要約すると、抗菌性に産地間に全体的な差異は認められるものの、品種間作用は実験誤差に比べて小さく、品種は環境要因に依存しないことが分かる。よって本研究における最終的な評価は数値的な傾向と「一貫性」に着目しておこなわれるべきだと考えた。以上より、産地としてはオーストラリア、品種としては最も強い抗菌作用と一貫性を示した玄米が食料安全保障の観点において適切である。

## 7. 結論

本研究の結論として、我々の目的は、どの品種の米と、その生育・貯蔵・消費環境が食料安全保障により適しているかを明らかにすることにあった。GIとAMPに関する議論を考慮すると、両国の数値は一部で一致し、他では差異が見られたものの、玄米が選定した代理指標と最も合致し、他の2種類よりも効果的である。玄米の低いGIは食料安全保障の「利用」「アクセス」の条件を満たし、高い抗菌性は「供給」「安定性」の条件を満たす。

産地については、GIと抗菌性ペプチドの結果が一致しなかったため、全体的にどちらが食料安全保障に適するかという結論を出すことはできなかった。

## 8. 今後の展望

GIに関する実験では、炊飯方法や模擬消化の手順が日常生活に沿わない場合があるという問題点がある。例えば炊飯方法について、本研究では米と水の質量比を指定してサンプルを作成したが、実際の炊飯手順は体積比に基づくことが多い。また、本研究では胃での消化は時間や実験設備の制約などのため模擬しなかった。よって実験は簡略化された消化モデルに過ぎず、生体内反応と同じ正確な値を示したのではない。これらのことから、今後の研究では体積比を指定した炊飯方法に変更し、より詳しい消化模擬の方法を模索することが求められると考える。

AMPに関する実験では、アクネ菌 (*Cutibacterium acnes*) に対する抗菌性が本田ら<sup>2)</sup>によって確かめられているが、本研究ではアオカビ (*Penicillium crysogenum*) のみを用いたため、先行研究と結果が一致しない可能性があり、かつ生態学的汎用性のあるデータとは見なせないという問題点がある。加えて、実験ではAMPのみを抽出することができておらず、測定した結果がAMPのみによるものかは明らかにされていない。以上より、今後の実験ではより多様な菌を用いることや、AMPのみを正確に抽出できる方法の検討が必要だと考える。

研究全体としては、選定された米の品種が3種類、産地が2か国と比較されるサンプルが国際的には限定的であること、経済的な側面を加味せずに米の食料安全性について評価したことが問題点である。比較するサンプル数を増やしたり、経済的な側面を分析する方法を加えていくべきである。

総合すると、食料安全保障というテーマを設定する以上、今後の研究ではより日常生活に沿った研究方法や前提条件を設定するべきだと考えられる。

## 9. 参考文献

[1] 日本国特許庁 2007年 公開特許公報 (A) 特許出願公開番号特開2007-222053JP2007222053A.pdf  
2025年9月29日閲覧

[2] Hitomi Hagawa, Kento Imai, Ziwei Gao, Masayuki Taniguchi, Kazunori Shimizu, Hiroyuki Honda  
2021年 食品や化粧品業界の素材開発に新材料！ 独自開発の「高温焼成シリカゲル」で、抗菌ペプチドが見つかる [https://www.nagoya-u.ac.jp/researchinfo/result/upload/20211202\\_engg.pdf](https://www.nagoya-u.ac.jp/researchinfo/result/upload/20211202_engg.pdf)  
2025年9月29日閲覧

[3] 谷口正之 2019年 食品タンパク質由来抗菌ペプチドの作用機序と多彩な生理活性の解明  
[https://katosei.jsbba.or.jp/view\\_html.php?aid=1144](https://katosei.jsbba.or.jp/view_html.php?aid=1144)  
2025年9月29日閲覧

[4] 相馬はじめ 2025年 食料安全保障を基農家が分かりやすく解説  
<https://hajimete-hirogaru.com/food-security/>  
2025年9月29日閲覧

[5] 松江勇次 2021年 日本のお米は世界一おいしいのかokomechain-40.pdf  
2025年9月29日閲覧

[6] オーストラリア政府観光局 オーストラリアの気候  
<https://www.australia.com/ja-jp/facts-and-planning/weather-in-australia.html>  
2025年9月29日閲覧

[7] 谷口正之 2017年 Characterization and production of multifunctional cationic peptides derived from rice proteins <http://dx.doi.org/10.1080/09168451.2016.1277944>  
2025年9月29日閲覧

[8]田村朝子、金胎芳子、榎康明、前島大輔 2020年 アミロース米「越のかおり」の食後血糖上昇抑制効果と食味向上の検討

[https://www.ismcn.jp/documents/journal/2021/Vol.24No.1/chap04.xhtml#chap04\\_05](https://www.ismcn.jp/documents/journal/2021/Vol.24No.1/chap04.xhtml#chap04_05)

2025年9月29日閲覧

[9]気象庁 2025年 観測開始からの毎月の値

[https://www.data.jma.go.jp/stats/etrn/view/monthly\\_s3.php?prec\\_no=44&block\\_no=47662](https://www.data.jma.go.jp/stats/etrn/view/monthly_s3.php?prec_no=44&block_no=47662)

2025年9月29日閲覧

[10]The World Bank 2025年 Food Security Update. The World Bank Group.

<https://thedocs.worldbank.org/en/doc/40ebbf38f5a6b68bfc11e5273e1405d4-0090012022/related/Food-Security-Update-118-September-19-2025.pdf>

2026年1月19日閲覧

[11]Fukagawa, N. K., & Ziska, L. H. 2019年 Rice: Importance for Global Nutrition. Journal of

Nutritional Science and Vitaminology, 65(Supplement), S2–S3. <https://doi.org/10.3177/insv.65.S2>

2026年1月19日閲覧

[12]Food Security Cluster Handbook. 2023年12月15日 The Four Pillars of Food Security.

Handbook.fcluster.org. <https://handbook.fcluster.org/docs/231-the-four-pillars-of-food-security>

2026年1月19日閲覧

[13]Food and Agriculture Organization of the United Nations 2009年 World Summit on Food Security:

DECLARATION OF THE WORLD SUMMIT ON FOOD SECURITY . In fao.org (p.1). Food and Agriculture Organisation.

[https://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/Summit/Docs/Final\\_Declaration/WSFS09\\_Declaration.pdf](https://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/Summit/Docs/Final_Declaration/WSFS09_Declaration.pdf). 2026年1月19日閲覧

[14]Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2023年 *FAOSTAT: Crops and livestock products*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. Parameters: All Countries, Area Harvested, Rice, 2023

2026年1月19日閲覧

[15]Harvey, D. 2019年1月18日 5.4: Linear Regression and Calibration Curves. Chemistry LibreTexts.

[https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Analytical\\_Chemistry/Analytical\\_Chemistry\\_2.1\\_\(Harvey\)/05%3A\\_Standardizing\\_Analytical\\_Methods/5.04%3A\\_Linear\\_Regression\\_and\\_Calibration\\_Curves](https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Analytical_Chemistry/Analytical_Chemistry_2.1_(Harvey)/05%3A_Standardizing_Analytical_Methods/5.04%3A_Linear_Regression_and_Calibration_Curves)

2026年1月19日閲覧

[16]Fernandes, Jean-M., Madalena, D. A., Pinheiro, A. C., & Vicente, A. A. 2020年 Rice in vitro

digestion: application of INFOGEST harmonized protocol for glycemic index determination and starch morphological study. Journal of Food Science and Technology, 57(4), 1393–1404.

<https://doi.org/10.1007/s13197-019-04174-x>

2026年1月19日閲覧

[17]Akinfemiwa, O., Muniraj, T., & Zubair, M. 2023年11月12日 *Amylase*. PubMed; StatPearls Publishing.

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK557738/>

2026年1月19日閲覧

[18]Rojas-Bonzi, P., Vangsøe, C. T., Nielsen, K. L., Lærke, H. N., Hedemann, M. S., & Knudsen, K. E. B.

2020年 The Relationship between In Vitro and In Vivo Starch Digestion Kinetics of Breads Varying in

Dietary Fibre. *Foods*, 9(9), 1337. <https://doi.org/10.3390/foods9091337>

2026年1月19日閱覽

[19]Brodkorb, A., Egger, L., Alming, M., Alvito, P., Assunção, R., Ballance, S., Bohn, T., Bourlieu-Lacanal, C., Boutrou, R., Carrière, F., Clemente, A., Corredig, M., Dupont, D., Dufour, C., Edwards, C., Golding, M., Karakaya, S., Kirkhus, B., Le Feunteun, S., & Lesmes, U. 2019年 INFOGEST static in vitro simulation of gastrointestinal food digestion. *Nature Protocols (INFOGEST)*, 14(4), 991–1014. <https://doi.org/10.1038/s41596-018-0119-1>

2026年1月19日閱覽

[20]Goñi, I., Garcia-Alonso, A., & Saura-Calixto, F. 1997年. A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index. *Nutrition Research*, 17(3), 427–437. [https://doi.org/10.1016/s0271-5317\(97\)00010-9](https://doi.org/10.1016/s0271-5317(97)00010-9)

2026年1月19日閱覽

[21]Johnson, M.P., & Hillier, K. 2007年 *Pancreatin*. Elsevier eBooks, 1–3.

<https://doi.org/10.1016/b978-008055232-3.62359-1>

2026年1月19日閱覽

# 自己奉仕バイアスと不安の関係

## 神奈川県立厚木高等学校 2年 AB組 β5班

### 1. 要旨

本研究は、不安に悩まされる人の心理的負担を軽減することを目的として自己奉仕バイアスと不安の関係を調査した。厚木高校の生徒を対象にアンケート調査を行い、自己奉仕バイアスと不安の傾向を点数化して相関を分析した。その結果、両者の間には、負の相関( $r=-0.32$ )が見られ仮説は立証された。さらに2次アンケートの分析結果から不安の原因を内的要因に帰属させる傾向がある人は、不安を感じにくい可能性が示唆された。

### 2. 背景・目的

人が持つ「自己奉仕バイアス」という心理傾向は人間関係の悪化や自己成長の機会損失など、多くのデメリットが存在する。そこで、不安と自己奉仕バイアスの間に関係があるのではないかという仮説の妥当性を明らかにして不安を抱える高校生に具体的な思考過程の提示を検討する。

### 3. 仮説

自己奉仕バイアスが高い人ほど不安を感じにくい傾向にある。

### 4. 方法

まず、1次アンケートと追加実験としての2次アンケートを実施した。

1次アンケートとして、対象は、厚木高校の2年A組、2年B組を除く厚木高校1学年、2学年、3学年の生徒全員である。実施期間は2025年7月から9月である。Google Formでリッカート尺度による選択式のアンケートを行う。回収数は843件であるが、不備のあった回答に加えて、IQR法により外れ値とされた41件を除いた802件を分析対象とした。

これらのデータを「①自己奉仕バイアス」と「②不安傾向」に関する計18の質問をそれぞれ回答ごとに5件法を用いて点数化した。そして以下の分析を行った。

はじめにCORREL関数より①②間の相関関係を求めた。そして、①②の関係が正規分布に従っているかどうかをシャピロウィルク検定にかけて調べた。その後、マンホイットニーのU検定により①②の関係に有意差が確認されるかどうか検証した。

1次アンケートにより判明した①②の負の相関の傾向を更に掘むために2次アンケートを実施した。不安を感じる具体的な場面での思考プロセスを明らかにすることで、不安を感じる対象は、「自己奉仕バイアスが高いかつ不安が高い人」「自己奉仕バイアスが高いかつ不安が低い人」の合計18名である。ただし、1次アンケートの得点化したデータの上位下位25%を不安・自己奉仕バイアスが高い・低い傾向にあると定義する。実施期間は2025年12月である。5W1Hの形式に基づき実際に過去に不安を感じた経験談を図1のアンケート用紙を配布して回答を記入してもらい、ワードクラウドを用いて集計したデータの出現頻度を比較する。

表1<1次アンケート質問内容>

「1:まったく思わない」「2:あまり思わない」「3:どちらでもない」「4:少し思う」「5:とても思う」の5項目により回答を得た。

#### ①自己奉仕バイアスに関する質問

##### 【質問文1】

あなたは班員で協力して十分に準備をしたためグループの発表中スムーズに話が続き、先生 によって評価があげられました。あなたがこの状況下にあるとき、以下の質問に答えてください。

問1-1	この成功は自分のおかげだとおもう
問1-2	この成功は今後も繰り返すと思う
問1-3	他の発表でも同じような成功を繰り返すと思う

**【質問文2】**

あなたの班は準備不足でグループ発表の時間中話が途中で止まり、先生によって評価が下げられました。あなたがこの状況下にある時、以下の質問に答えてください。

問2-1	この失敗は自分のせいだと思う
問2-2	この失敗は今後も繰り返してしまうと思う
問2-3	他の発表でも同じようなミスをしてしまうと思う

**②不安傾向に関する質問**

「1:全くあてはまらない」「2:あまりあてはまらない」「3:どちらでもない」「4:少しあてはまる」「5:非常にあてはまる」の5項目により回答を得た。

**【質問文3】**

以下の質問に答えてください。

問3-1	人がなんと思おうと、どうということはないとわかっているけど、自分のことを人がどう思うか気になる
問3-2	他の人が私の欠点に気づくのではないかとしばしば心配する
問3-3	他の人が自分のことを認めてくれなくても、あまり気にならない
問3-4	どんな印象を人に与えているか、ほとんど気にしない
問3-5	人に自分の欠点を、みつけれられるのではないかと心配だ
問3-6	誰かと話しているとき、その人が自分のことをどう思っているか心配だ
問3-7	自分がどんな印象を与えているのかいつも気になる
問3-8	他の人が私のことを価値がないと思うのではないかと心配だ
問3-9	他の人が私のことをどう思うかはほとんど気にならない
問3-10	他の人が私のことをどう思っているか、気にしすぎると思うことがときどきある
問3-11	他の人が私をどう思っているか気にかけないほうである
問3-12	私の友達が自分をどう思っているかをあれこれ考えてしまう

表2〈2次アンケート質問内容〉

あなたが過去に不安を感じた経験談について以下の問いに答えてください

1	いつの出来事ですか
2	どこで起きましたか
3	そのシチュエーションが起こったとき、誰と一緒にいましたか
4	なぜその出来事に不安を抱きましたか
5	また今後その出来事が起こったときあなたはどのように対処しますか

アンケートの質問項目のうち、1「いつの出来事ですか」、4「なぜその出来事に不安を抱きましたか」、5「また今後その出来事が起こった時あなたはどのように対処しますか」に着目し、それぞれに基準を設けて不安が高い群と低い群の回答の偏りを調べた。1「いつの出来事か」はその内容が具体か抽象かを基準とした。4「なぜその出来事に不安を感じたか」は、その原因を状況や環境などに帰属させる外的か、自分に帰属させる内的かを基準とした。また、5「その出来事が起こったときあなたはどのように対処するか」はその対処法の内容が他人から見て実践しているかわからないものなら心情、他人から見てわかるものなら行動、この両方が含まれている、の3つを基準とした。1と5の回答の偏りについては明確な差は見られなかったが、4に対しての回答は偏りが見られたので、そこに着目した。

### 5. 結果

シャピロウィルク検定により、自己奉仕バイアスw値0.9812426、p値1.274...e-08、不安傾向w値0.977、p値6.904...e-10であった。w値が1に近い値であり0.05<p値であるとデータが正規分布に従っていると見えるが、p値が基準に満たなかったため正規分布にしたがっていないと判断した。そのため、マンホイットニーのU検定を利用して自己奉仕バイアスと不安傾向の間に有意差を調べた。結果有意差が確認された。また、不安と自己奉仕バイアスの相関係数が-0.32(弱い負の相関)であった。

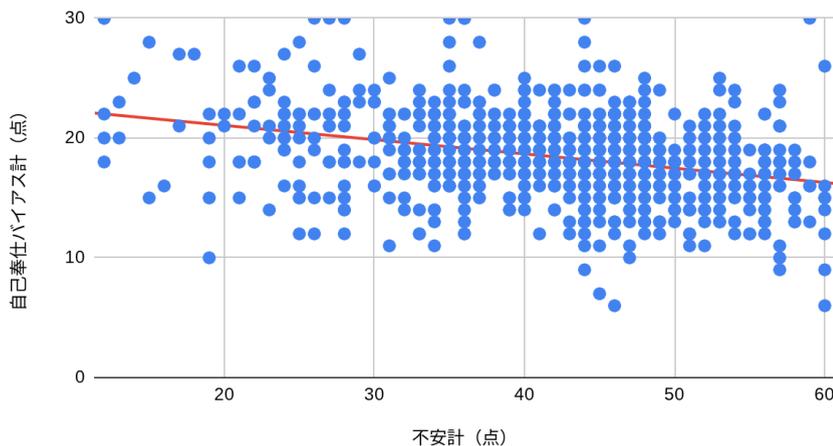


図4 1次アンケート802件の回答の不安と自己奉仕バイアスの相関関係(相関係数-0.32)

名詞	スコア	出現頻度
夏	0.04	2
中学一年生	2.62	1
小学3年生	2.39	1
2025年	2.21	1
12月4日	2.21	1
夏期	0.90	1
高校受験	0.69	1
小1	0.65	1
中1	0.26	1
講習	0.25	1
模試	0.20	1
志望校	0.18	1
塾	0.07	1
9月	0.05	1
4月	0.04	1

図1 ワードクラウド抜粋「いつのことですか」

名詞	スコア	出現頻度
不安	0.07	2
語順	3.28	1
student	3.22	1
全身麻酔	1.72	1
焦燥感	1.24	1
中間テスト	1.01	1
悪循環	0.43	1
留年	0.27	1
車椅子	0.25	1
ネガティブ	0.18	1
キープ	0.17	1
ポジティブ	0.14	1
成績	0.12	1
術	0.12	1
そのため	0.12	1

動詞	スコア	出現頻度
思う	0.01	3
駈る	0.22	1
追いかける	0.08	1
書ける	0.07	1
抱く	0.04	1
壊す	0.04	1
なす	0.03	1
殴る	0.03	1
降りる	0.03	1
遅れる	0.03	1
下がる	0.02	1
起こす	0.02	1
怒る	0.01	1
走る	0.01	1
続ける	0.01	1

図2 ワードクラウド抜粋「なぜその出来事に不安を抱きましたか」

■ 名詞	スコア	出現頻度
マインド	2.31	2
店員	0.12	2
不安	0.07	2
準備	0.05	2
心	0.03	2
ネガティブ思考	7.65	1
正当防衛	2.10	1
知識不足	1.56	1
緊急時	1.21	1
素直	0.78	1
行儀	0.63	1
氣質	0.44	1
ストイック	0.41	1
尊重	0.37	1
深刻	0.22	1

■ 動詞	スコア	出現頻度
殴る	0.13	2
逃げる	0.10	2
考え込む	0.78	1
審える	0.70	1
和らぐ	0.46	1
心がける	0.29	1
返せる	0.11	1
切り替える	0.09	1
見つめる	0.09	1
認める	0.04	1
起こる	0.04	1
直す	0.02	1
まくる	0.01	1
とる	0.00	1
出す	0.00	1

図3 ワードクラウド抜粋「また今後その出来事が起こったときあなたはどのように対処しますか」

質問内容	いつの出来事ですか		なぜその出来事に不安を感じましたか		その出来事が起こったときあなたはどのように対処しますか		
	具体	抽象	外的	内的	心	行動	心+行動
不安高い人 (計7人)	6人(86%)	1人(14%)	<b>7人(100%)</b>	<b>0人(0%)</b>	0人(0%)	5人(71%)	2人(29%)
不安低い人 (計11人)	8人(73%)	3人(27%)	<b>4人(36%)</b>	<b>7人(64%)</b>	3人(30%)	6人(60%)	1人(10%)

表3 2次アンケートの各質問の解答結果にそれぞれ基準を設けて回答の偏りを示した表

## 6. 考察

1次アンケートの結果である図4から、自己奉仕バイアスと不安の傾向の間には負の相関( $r=-0.32$ )が認められた。そのため、自己奉仕バイアスが高いほど不安を感じにくいという関係が考察できる。この結果の原因としては、自己奉仕バイアスが心理的な防衛機制として機能している可能性が考えられる。自己奉仕バイアスが高い者は、成功を内的要因に帰属させ、失敗を外的要因に帰属させる傾向がある。この思考パターンにより、失敗に直面しても自己肯定感が損なわれにくく、過度な不安を抑制しているのではないかと推察される。

表3の2次アンケートの結果において、自己奉仕バイアスが高い群の中でも特に不安が低い者は、不安の原因を内的要因に帰属させる割合が高い(64%)という、一見矛盾した傾向が示された。本来、自己奉仕バイアスは失敗の原因を外的要因に求めるものであるが、本研究の結果は、不安に対してはむしろ自分の内側の問題として捉えることが、不安の抑制に繋がっている可能性を示唆している。このように不安の原因を内的要因に帰属させる割合が高いのは、自分の行動次第で状況は変えられるというような、自分自身で将来を変えられるというコントロール力が働いているからではないかと推測できる。対照的に、不安が高いグループは原因を外的に求める割合が100%であった。自分自身では制御不能な外的要因に原因を帰属させることで、結果として不安を増大させていると考えられる。以上のことから、適度な自己奉仕バイアスで自尊心を保ちつつ、不安の原因を内的要因に求めて物事を内的帰属で捉える姿勢を持つ人は、不安を感じにくいと考えられる。

## 7. 結論

今回の研究では、自己奉仕バイアスと不安の関係について調査し、その結果、自己奉仕バイアスが高い人は不安を感じにくい傾向があるとわかった。そのため、不安を感じにくくする対策として、成功の要因と不安の要因を成功や不安の原因を内的要因に帰属させることが挙げられる。認知の仕方が不安を軽減させる可能性があるという示唆された。

## 8. 今後の展望

本研究では、自己奉仕バイアスと不安の間に統計的な有意差を確認し、負の相関があることを明らかにした。しかし、ここで示されたのはあくまで相関関係であり、自己奉仕バイアスが高いから不安が低くなるという直接的な因果関係までを証明するには至っていない。

そのため、因果関係の特定に向けた実験を行う。1次アンケートより特定した不安を感じやすい生徒を対象として、意図的に自己奉仕バイアスを高めるような実験を行い、両者の因果関係を明確に特定する。具体的には、3週間程度の認知トレーニング・ワークショップを実施する。本研究の2次アンケートで示された不安に対する帰属の転換を検証する。具体的には、不安の原因を自分では制御不能な外的要因から自らの行動に帰属させるトレーニングを行う。このように、不安の対象を自らの努力次第で改善できる範囲である内的要因に引き寄せることで、自分の行動で状況を変えられるという手応えにより将来のコントロール感を意図的に感じさせる。具体的な解決策を示すことで不安の軽減につなげたい。

また、本研究は厚高生のみを対象にアンケートを行った。そのため、高校生であること、厚木高校生であることによって結果に偏りが生まれた可能性がある。調査範囲を拡大して、より汎用性の高い研究を目指す。また、厚木高校生の中での調査のため、相対的な傾向しか調査できなかった。世界規模での自己奉仕バイアスと不安の関係を示す調査を行うことで、その結果と今回得たデータを比較することで、絶対的な評価を目指す。そして、今回は自己奉仕バイアスが高い人のみに注目したため、自己奉仕バイアスが低いかつ成功の原因・不安の原因を外的要因に求める人も対象にして調査を行い、自己奉仕バイアスと不安の全体像の把握と、2つの関係の特定を目指す。

## 9. 参考文献

- 1) I-stage もうひとつのself-serving bias: 日本人の帰属における自己卑下・集団奉仕傾向の共存とその意味について  
[https://www.istage.ist.go.jp/article/ijesp1971/37/1/37\\_1\\_65/pdf](https://www.istage.ist.go.jp/article/ijesp1971/37/1/37_1_65/pdf)  
[https://www.saiseikai.or.jp/medical/symptom/anxiety\\_depression/](https://www.saiseikai.or.jp/medical/symptom/anxiety_depression/)  
(最終閲覧2025/6/30)
  - 2) 東京学芸大学 対人不安に対する研究動向 <https://www2.u-gakugei.ac.jp/~nmatsuo/miki-kadai.htm> (最終閲覧2025/6/30)
  - 3) グローバル採用ナビ 自己奉仕バイアスのデメリット  
[https://global-saiyou.com/column/view/service\\_bias](https://global-saiyou.com/column/view/service_bias) (最終閲覧2025/6/30)
  - 4) CX college アンケート分析方法  
<https://www.ninout.ai/blog/posts/analysis-20230106/> (最終閲覧2025/6/30)
  - 5) 川崎こころのクリニック 社会不安障害が  
[https://kawasaki-mental-clinic.jp/menu/disease/sad/#:~:text=社会性不安障害\(Social,見られたりします%E3%80%82](https://kawasaki-mental-clinic.jp/menu/disease/sad/#:~:text=社会性不安障害(Social,見られたりします%E3%80%82) (最終閲覧2025/1/11)
  - 5) I-stage. 日本語版パルノイアチェックリスト因子構造及び妥当性の検討 さ  
[https://www.istage.ist.go.jp/article/personality/17/2/17\\_2\\_182/pdf](https://www.istage.ist.go.jp/article/personality/17/2/17_2_182/pdf) (最終閲覧2026/1/11)
- 【1】UserLocal AIテキストマイニング  
<https://textmining.userlocal.jp/results/wordcloud/992297f3-ea3f-47dd-a19f-4b8e3058cf83>

# アニメーション映画から学ぶ建築

## ～映画から検証する空間デザインと時代の感じ方～

神奈川県立厚木高等学校

2年 B組 α6班

### 1. 要旨

アニメーション映画鑑賞の際にどのような要因が私たちの心理に影響を及ぼすのか。本研究では映画内の空間デザインと人の時代感覚の関係を調べるため映画の解析、生徒へのアンケートを実施した。明度が特に影響が大きく、彩度や色相はそれ単体で時代感覚に決定的な影響はないという結論が得られた。

### 2. 背景・目的

建築デザインと心理の関係に興味があった。  
映画内の空間デザインが観客にどのような影響を及ぼすのか学びたかった。  
アニメーション映画を見る際、私たちが「これは昭和時代を描いている」といったように、特定の時代を思い浮かべるのはどのような要因によるのか気になった。

### 3. 仮説

アニメーション映画内の部屋の色彩や家具の配置が人の時代感覚に影響を与える。

### 4. 方法

#### 検証1

[1]平成後期、昭和後期が時代背景であるアニメーション映画各2本から3つずつシーンを選び、image color summarizerを使用しHEX、HSL、面積比を抽出し、平均彩度と平均明度を比べる。有意差の有無を調べるために仮説検定を行う。

[2]開口比による影響を調べるため、[1]の実験で使用した画像と同じ12シーンを使用し、画像分析アプリImage Jで抽出した窓部分のピクセル数÷画像全体のピクセル数を求める。有意差の有無を調べるために仮説検定を行う。

#### 検証2

アンケートポスターを廊下に設置し厚木高校生にアンケートを実施する。

2つの加工した画像を載せ、どちらが古く感じるかについて小さい紙を封筒に投票する形でアンケートを取った。

①A:明度+15 B:明度-15

②A:彩度+15 B:彩度-15

③A:色相-15 B:色相調節なし  
の3枚を4セット掲示した。

集まった結果を仮説検定にかけ、有意差の有無を調べる。

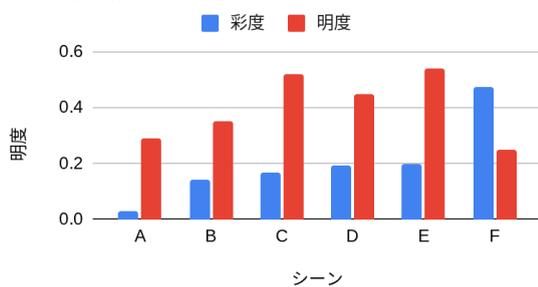
※家具配置については検証しなかった。

## 5. 結果

検証1

[1]

平成後期



昭和後期

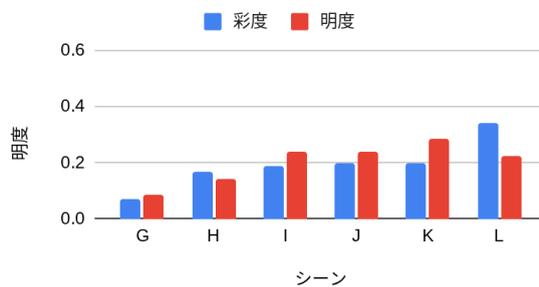
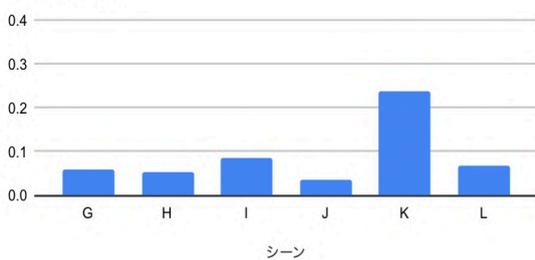


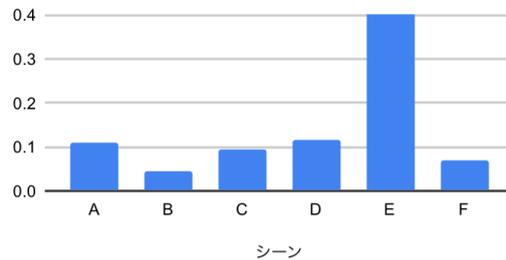
図1 平成後期の映画のシーン別平均彩度、平均明度  
図2 昭和後期の映画のシーン別平均彩度、平均明度

彩度に関しては平成後期の映画、昭和後期の映画間で有意差はなかったが、明度では仮説検定の結果、有意差があった。

平成開口比



昭和開口比



[2]

図3 平成後期の映画のシーン別開口比  
図4 昭和後期の映画のシーン別開口比

帰無仮説は棄却されず、開口比に有意差はなかった。

## 検証2

	1F	2F	3F	4F	合計
彩度A	21	11	11	11	54
彩度B	35	56	42	59	192
明度A	14	15	12	6	47
明度B	27	49	36	62	174
色相A	4	31	27	41	103
色相B	8	32	21	23	84

表1 アンケートの結果

### ①明度

帰無仮説は棄却され、明度を下げたBの方が古く感じた人が多かった。

### ②彩度

帰無仮説は棄却され、彩度を下げたBの方が古く感じた人が多かった。

### ③色相

帰無仮説は棄却されず、色相の違いは時代感覚の違いを生まなかった。

## 6. 考察

### ○明度について

映画内で時代によって明度に差があること、アンケートで実際に低明度を古いと感じることから、明度は人が映画から時代を感じる重要な手がかりになっている。

### ○彩度について

検証1では映画内の影響がないことがわかったのに、検証2のアンケートで彩度が時代感覚に影響を及ぼした要因について

- ・映画内では時代に関係なく彩度が意図的に調整されている
- ・人は明度などのよりわかりやすい情報を優先して映画内の時代を判断する

・アンケートでは彩度だけを変えたため判断の手がかりで彩度を使った

・古い写真、色褪せたポスター、レトロ加工などにより、くすんだ色から「古い」を連想しやすい文化的・経験的なイメージがすでに形成されているため、彩度を下げると、無意識に「古い」と判断されやすい

などが考えられる

○色相について

色相そのものは、時代感覚を直接決定づける要因ではなく、明度や彩度といった色の強さ・明るさの方が重要であると考えられる。

○開口比について

時代感覚に直接影響するものではないと考えられる。

## 7. 結論

映画の空間デザインのうち、特に明度が人の時代感覚に強く影響する

一方、彩度や色相、開口比といった要素は、単独では時代感覚に決定的な影響を与えない、もしくは補助的な役割にとどまる

## 8. 今後の展望

開口比による違いを応用して考える。

色相を他の色味にも調節して検証する。

家具配置について効果的な検証方法を考え、時代感覚にどのような影響を及ぼすのか分析する。

## 9. 参考文献

① 日本建築学会論文

「色彩が空間認知に与える影響」

[https://www.jstage.jst.go.jp/article/aija/59/463/59\\_KI00004220951/\\_pdf/-char/ja?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.jstage.jst.go.jp/article/aija/59/463/59_KI00004220951/_pdf/-char/ja?utm_source=chatgpt.com)

2025年8月12日

② 大平雅美 (2011)

「映像における『青』の色彩感情—大学生の色彩連想語とアニメーション映画の色彩効果—」

[https://tais.repo.nii.ac.jp/record/46/files/%E5%A4%A7%E5%B9%B3%E9%9B%85%E7%BE%8E%E3%80%8C%E6%98%A0%E5%83%8F%E3%81%AB%E3%81%8A%E3%81%91%E3%82%8B%E3%80%8C%E9%9D%92%E3%80%8D%E3%81%AE%E8%89%B2%E5%BD%A9%E6%84%9F%E6%83%85%EF%BC%8D%E5%A4%A7%E5%AD%A6%E7%94%9F%E3%81%AE%E8%89%B2%E5%BD%A9%E9%80%A3%E6%83%B3%E8%AA%9E%E3%81%A8%E3%82%A2%E3%83%8B%E3%83%A1%E3%83%BC%E3%82%B7%E3%83%A7%E3%83%B3%E6%98%A0%E7%94%B%E3%81%AE%E8%89%B2%E5%BD%A9%E5%8A%B9%E6%9E%9C%EF%BC%8D%E3%80%8D.pdf?utm\\_source=chatgpt.com](https://tais.repo.nii.ac.jp/record/46/files/%E5%A4%A7%E5%B9%B3%E9%9B%85%E7%BE%8E%E3%80%8C%E6%98%A0%E5%83%8F%E3%81%AB%E3%81%8A%E3%81%91%E3%82%8B%E3%80%8C%E9%9D%92%E3%80%8D%E3%81%AE%E8%89%B2%E5%BD%A9%E6%84%9F%E6%83%85%EF%BC%8D%E5%A4%A7%E5%AD%A6%E7%94%9F%E3%81%AE%E8%89%B2%E5%BD%A9%E9%80%A3%E6%83%B3%E8%AA%9E%E3%81%A8%E3%82%A2%E3%83%8B%E3%83%A1%E3%83%BC%E3%82%B7%E3%83%A7%E3%83%B3%E6%98%A0%E7%94%B%E3%81%AE%E8%89%B2%E5%BD%A9%E5%8A%B9%E6%9E%9C%EF%BC%8D%E3%80%8D.pdf?utm_source=chatgpt.com)

2025年8月13日

③ Wang, S. 他 (2025)

“The Effect of Color Contrast on the Visual Clarity of Images of Indoor Environments”

[https://www.mdpi.com/2075-5309/15/7/1157?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.mdpi.com/2075-5309/15/7/1157?utm_source=chatgpt.com)

2025年8月13日

生成AIを活用した記憶に残る英単語学習アプリ開発  
神奈川県立厚木高等学校  
2年AB組 α 7班

## 1. 要旨

本研究は、大学受験で使われる英単語数が年々増加傾向にあることから、人間の画像優位性効果<sup>2</sup>を利用し、画像生成AI<sup>3</sup>により作成された画像を用いてイメージをより明確化することで学習を効率化することを目標とする。作成したプロンプトにより生成した画像の定着効果は画像なしと比べ、有意差なしと本研究では結論づけられた。

## 2. 背景・目的

近年、大学受験で要求される英単語数は増加傾向にあり、受験生に要求される語彙量は年々拡大している。また、難関大学で出題される抽象的・難解な英単語は既存の英単語帳や学習アプリに十分には収録されていない場合が多い。そのため、個々の学習者が必要とする語彙に応じてパーソナライズされた英単語学習を支援する仕組みが求められていることが示唆される。

また、現在生成AIの目まぐるしい発展によって、生成AIを活用した学習手法が世界的に注目を集めている。そこで本研究では、学習者がアプリを使って画像を生成し、記憶の定着を促す機能を備えたアプリを開発することで、より効果的な語彙学習環境の提供を目指す。

## 3. 方法

### 1. 開発環境の準備

gemini2.5flash版<sup>3</sup>とimagin4.0<sup>3</sup>版を使用。

### 2. 基本機能の設計

画像を出力する画面、英単語を出力する画面、意味を表示する画面を想定してUIを設定。

### 3. プロンプトの作成

Gemini2.5flash<sup>3</sup>及びcopilot<sup>3</sup>を利用し、画像のみを見た時にその英単語をイメージしやすくなるようなプロンプトを作成。

### 4. アプリの作成

作成したプロンプトを基にアプリ(ワードキャンパス<sup>4</sup>)を作成。また、単語分析や例文を表示する欄を追加。

### 5. 効果性の検証

作成したプロンプトより生成した画像を用い、次の検証を行う。

検証内容

厚木高校2年生の9クラスの中から無作為に5クラスを選び、それらをA群、B群の2グループに分ける。A群にはターゲット1900<sup>®</sup>のレイアウトを模した30個の英単語、訳、例文が載っている表を与え、B群にはA群に与える表に加え、作成した画像も与える。それぞれ3分で単語を記憶させ、その後30単語の中から我々が選んだ15単語4択テストを実施する。その後、平均点と分散を算出し、それぞれt検定とF検定にかけて有意差の有無を調べる。

#### 4. 結果

Geminiを用いた英単語のイメージ画像を生成するアプリケーションの開発を行った。



図1アプリ画面

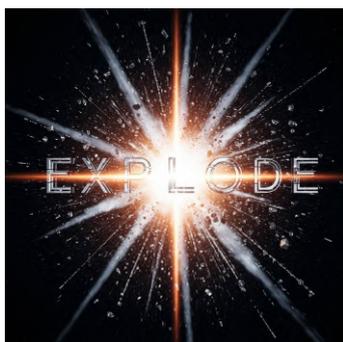


図2表示画像

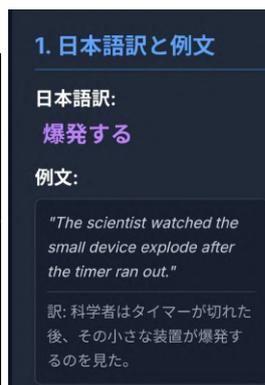


図3日本語訳

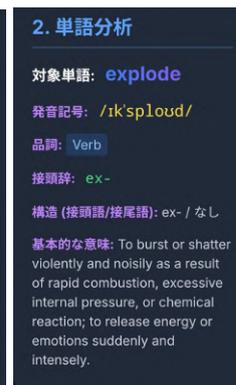


図4単語分析

	平均点(15点満点)	分散
画像なし(n=74)	11.16	6.63
画像あり(n=112)	11.27	6.97

表1検証結果

#### 実験結果

平均点、分散共にB群の方がわずかに高い傾向が確認されたが、有意水準0.05のt検定では、p値=0.778>0.05より、平均点に有意差は認められず、F検定の結果F=1.051<1.35より分散にも有意差は認められなかった。

#### 5. 考察

A群とB群で有意差が見られなかった理由として、実験設定が実際の英単語学習の状況と乖離していた点が挙げられる。今回の実験では、AI生成画像そのものの効果を検証するために、制限時間3分以内でできるだけ多くの単語を暗記するというタスクを課し、さらに使用した英単語は単語帳から無作為に抽出したものであった。無作為抽出であったため、選ばれた単語が実際に「イメージしにくい」「覚えにくい」語であったかは保証されていない。むしろ、画像がない方が余計な情報がなく覚えやすい単語が含まれていた可能性もある。その結果、AI生成画像が本来発揮する効果が十分に検証されず、A群とB群の間に有意差が現れなかったと考えられる。

## 6. 結論

本研究では、学習者が覚えにくい英単語に対してAI生成画像を補助的に用いることで、記憶を効率化できる可能性を持つアプリケーションを開発した。一方で、すべての英単語学習に画像を用いることは、むしろ情報量が増えて非効率となる場合がある可能性も確認された。

本研究は、画像生成技術の教育応用における基礎的知見を提供した。

## 7. 今後の展望

より実際の学習場面に近い環境設定のもとで実証実験を行い、本アプリケーションの有効性を検証することが今後の課題である。

また、本研究では英単語学習に焦点を当てたが、生成画像を用いた記憶支援の枠組みは、古文単語など他教科の語彙学習にも応用可能である。さらに、適切な画像生成手法を導入することで、抽象的でイメージしにくい物理的事象を視覚化し、理解を促進する学習支援への展開も期待される。

## 8. 参考文献

1) JALT Journal 大学入試英語問題語彙の妥当性と実用性時代的变化

[https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=http://www5d.biglobe.ne.jp/~chujo/data/ngoi.pdf&ved=2ahUKEwiat\\_r-6oSSAxXc1zQHXXmeAU4QFnoECGUQAQ&usg=AOvVaw2G3TW-wPTyKHifzIBHGfJj](https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=http://www5d.biglobe.ne.jp/~chujo/data/ngoi.pdf&ved=2ahUKEwiat_r-6oSSAxXc1zQHXXmeAU4QFnoECGUQAQ&usg=AOvVaw2G3TW-wPTyKHifzIBHGfJj) (2026/1/12閲覧)

Richard E. Mayer

Rote Versus Meaningful Learning

[https://web.mit.edu/jrankin/www/teach\\_transfer/rote\\_v\\_meaning.pdf](https://web.mit.edu/jrankin/www/teach_transfer/rote_v_meaning.pdf)(2026/1/12閲覧)

2) ユームテクノロジージャパン株式会社 画像優位性がもたらす学習テーマ

3) Google Gemini <https://gemini.google.com/?hl=ja>

Microsoft Copilot <https://copilot.microsoft.com>

4) ワードキャンパス(Geminiにて作成) <https://gemini.google.com/share/f7a9f622570b>

5) 旺文社(2020)『英単語ターゲット』1900 6訂版

# 卵殻膜の抗菌作用について

神奈川県立厚木高等学校  
2年AB組 β8班

## 1. 要旨

本研究は、卵殻膜が持つ生体保護のための機構である抗菌作用について調べることを目的として行われた。卵殻膜の有無を変えたシャーレで乳酸菌を培養することで対照実験を行い、その結果、環境に依存する点も多いが卵殻膜には抗菌作用がある可能性が示唆された。

## 2. 背景・目的

身近な食品である卵の消費期限が約2週間と長く、鮮度をどう保っているか調べた。その結果、卵殻と今回注目する卵殻膜によって細菌の侵入を物理的、化学的に抑えている事が分かった。しかし卵殻膜について論じる先行研究<sup>1</sup>に不明な点が複数残されていたため、その点を明らかにし当該テーマの正当性について検討する。

## 3. 仮説

卵殻膜には抗菌作用がある。

## 4. 予備実験

使用する試料の濃度を決定するために予備実験を行った。

### 【予備実験準備】寒天培地の作成

・材料と器具

(材料)

サブロー寒天培地(*Saburo Ager Medium*)<sup>3</sup>19.5g、純水300g、乳酸菌(*Lactic Acid Bacteria*)(今回はヨーグルトビヒダス無糖で代用)

(器具)

使い捨てプラスチックシャーレ、オートクレーブ、恒温器、乾熱滅菌器、500ml三角フラスコ、コーンレンジ棒、マイクロピペット、100mlビーカー

・方法

- ①.コーンレンジ棒、100mlビーカーを新聞紙、アルミホイルでそれぞれ包み、乾熱滅菌180℃で2時間かける。
- ②.500ml三角フラスコにサブロー寒天培地の粉19.5gと純水300mlを入れてよく混ぜる。培地の種類は先行研究<sup>1</sup>を参考にしてサブロー寒天培地<sup>3</sup>を使用した。
- ③.②で混ぜた三角フラスコをオートクレーブにかけ、滅菌する。
- ④.クリーンベンチ内で寒天培地をシャーレの中に流し込む。
- ⑤.固まったら蓋をして雑菌の増殖防止のためひっくり返して保存する。

### 【予備実験方法】

- ①.マイクロピペットで純水1mlとヨーグルト10μlを100mlビーカーに入れて混合し、濃度10%の乳酸菌水(以下試料)を作る。
- ②.①で作ったものを純水1mlと混ぜ、濃度1%の試料を作る。
- ③.②で作ったものを純水1mlと混ぜ、濃度0.1%の試料を作る。

- ④.①②③で作った試料を10 $\mu$ lずつ寒天培地に上に垂らし、それぞれ6シャーレを作成する。
- ⑤.コーンレンジ棒で均一になるようにならす。
- ⑥.恒温器を用いて寒天培地を約30 $^{\circ}$ C(機械の都合上誤差あり。実際には29.8 $^{\circ}$ C~30.1 $^{\circ}$ Cの間)で3日間培養する。
- ⑦.増殖した菌の数を測定する。

#### 【予備実験結果】



図1.2.3:左から番号が若い順に10%、1%、0.1%のシャーレ

1%、0.1%ではほとんど菌の繁殖が見られなかったことから、本実験では10%の試料を使うことにする。

## 5. 方法

### 【本実験準備Ⅰ】寒天培地の作成

予備実験準備と同様の手順のため割愛。

### 【本実験準備Ⅱ】試料の作成

予備実験準備と同様の手順のため割愛。

### 【本実験準備Ⅲ】卵殻膜の採取

#### ・材料と器具

(材料)卵3個、次亜塩素酸溶液500ml(濃度0.05%)

(器具)1Lビーカー、ピンセット、解剖バサミ

#### ・方法

- ①.ピンセット、解剖バサミをアルミホイルでそれぞれ包み、乾熱滅菌180 $^{\circ}$ Cで2時間かける。
- ②.1Lビーカーの中に次亜塩素酸溶液(濃度0.05%)を500ml用意する。
- ③.用意したビーカーの中に殻がついたままの卵を入れる。
- ④.3分後、ビーカーの中から卵を取り出し、オートクレーブで滅菌した蒸留水(以下滅菌水)で洗浄する。
- ⑤.取り出した卵の一部を割って中身を出し、卵殻から卵殻膜を採取する。採取した卵殻膜は滅菌水の中で保存する。



図4:採取した卵殻膜

【本実験方法】

- ①.卵殻膜を乳酸菌を塗布した培地上に隙間を開けて各シャーレに2個ずつ配置する。
- ②.恒温器を用いて寒天培地を約30°C (予備実験と同様、微小の誤差あり)で3日間培養する。
- ③.各シャーレに増殖した菌の数を測定する。

6. 結果(本実験)

シャーレごとの菌の数

\* x 3,4,5のシャーレは仮値

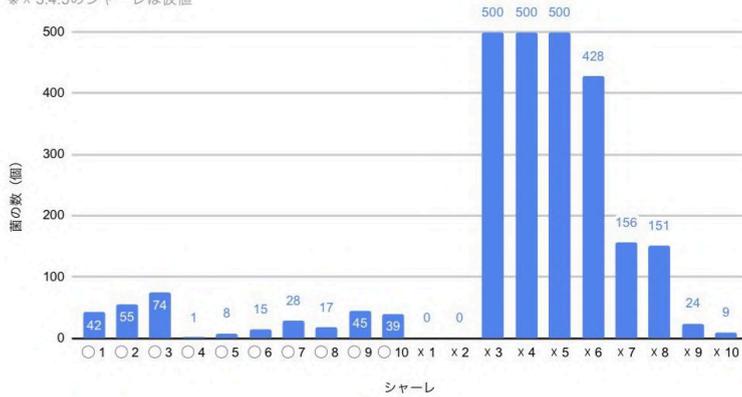


図5:シャーレごとの菌の数

卵殻膜あり

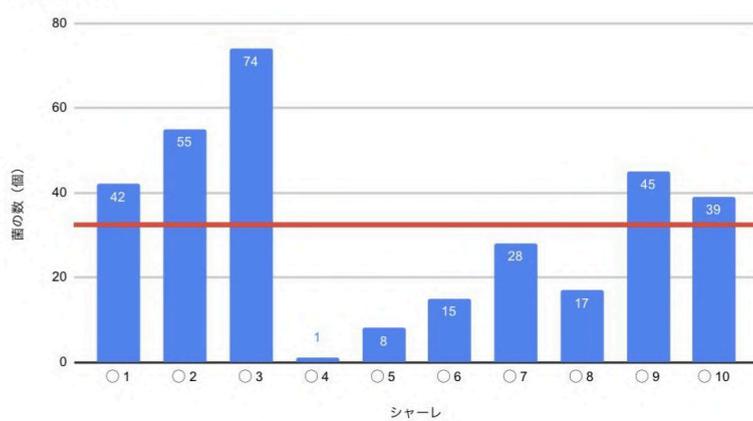


図6:卵殻膜ありの結果と平均値(赤線)

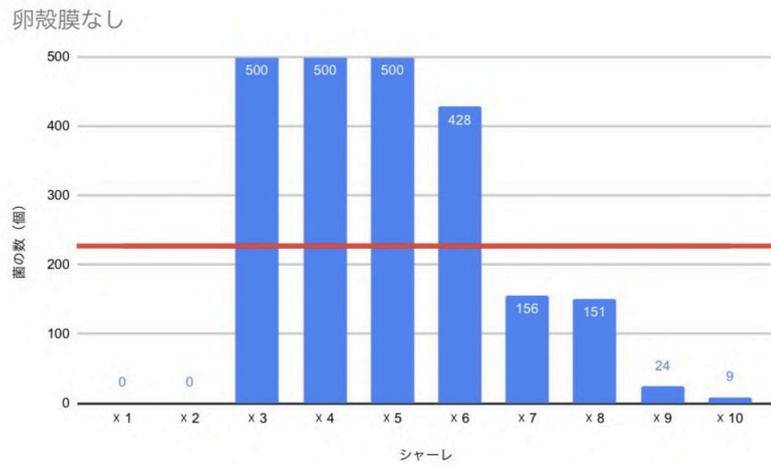


図7:卵殻膜なしの結果と平均値(赤線)

結果は以上のグラフの通りになった。卵殻膜なしの③④⑤シャーレでは表面全体を菌が覆ってしまい、正確な個数の測定が不可能であったため、仮値として一律500の値を設定した。図6.7で赤線が示す平均値は卵殻膜ありが32.4、なしが226.8という結果になった。

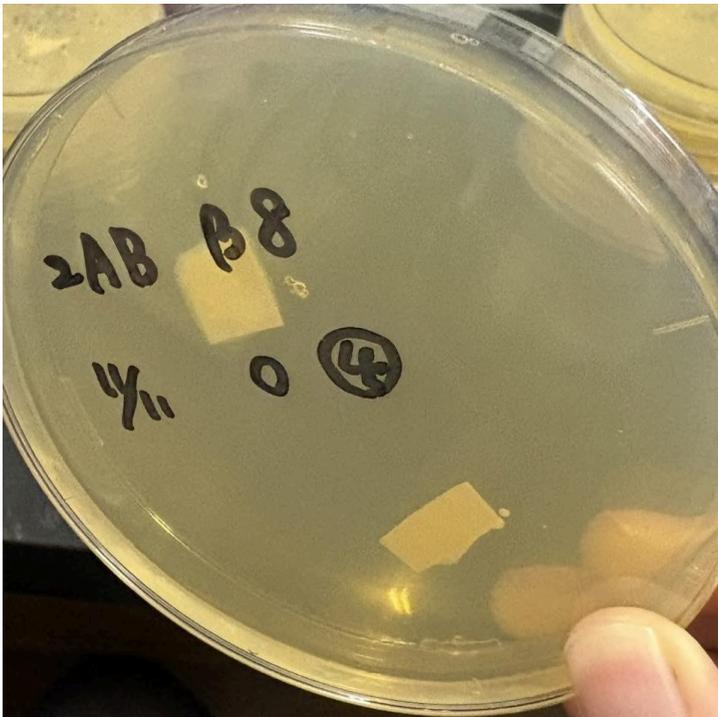


図8:菌の増殖が見られないシャーレ



図9:表面を菌が覆っているシャーレ(卵殻膜なし③)

## 7. 考察

今回の実験では一般的な抗菌物質を用いた実験で観察されるような、卵殻膜の周囲に形成される明確な阻止円が確認されなかった。しかし、結果で示した通り卵殻膜ありと卵殻膜なしは、卵殻膜ありのほうが菌の増殖を明らかに抑えられているシャーレが多く確認された。また、このときの様子として卵殻膜の周囲に限らず、シャーレ全体において菌の増殖が抑えられていることが観察された。この理由として、卵殻膜の洗浄に使用した滅菌水の影響が考えられる。卵殻膜に付着していた滅菌水が寒天培地上に広がり、その際シャーレ上の試料を押し流してしまったことが予想でき、その結果卵殻膜付近に細菌が存在せず、明確な阻止円が形成されなかったと考えられる。さらに、使用した卵殻膜ごとに付着していた滅菌水の量が異なっていたため、押し流された試料の量に差が生じ、シャーレごとに菌の数にばらつきが生じた可能性がある。

## 8. 結論

今回の実験結果から、卵殻膜には抗菌作用があると考えられる。

## 9. 今後の展望

本実験における課題の一つは、前提条件を十分にそろえることができなかった点である。特に、卵殻膜を採取する過程で卵白を完全に除去できなかった場合、卵白中に含まれる殺菌作用を持つリゾチームの影響を受けた可能性が否定できない。このことから以下の点を改善する必要がある。

- ①卵殻膜の洗浄方法を水以外の方法に変更することで、蒸留水が卵殻膜に含まれる抗菌成分を広げてしまうことを防ぐことができると考える。
- ②シャーレの数を増やすことでデータ数を確保し、結果のばらつきを抑えることができる。これにより、統計的に高い信頼性の高い結果が得られると考えられる。
- ③本実験ではサブロー寒天培地のみを使用したのが、複数種類の培地を用いることで、培地条件や菌種の違いによる卵殻膜の抗菌作用の差異を比較することが可能になると考える。
- ④卵殻膜の形状や大きさを統一することで、接触面積の違いによる影響を排除し、条件をより厳密にそろえた実験が行えると考えられる。

⑤卵殻膜の抗菌効果が時間の経過とともにどの程度持続するのかを調べることで、抗菌作用の性質や実用性について、より詳しく明らかにできると考えられる。

## 10.参考文献

1.R3石川県立七尾高等学校 卵殻と卵殻膜が菌を防ぐ機構について

[https://cms1.ishikawa-c.ed.jp/nanaoh/cabinets/cabinet\\_files/download/158/b595500fa189b233db76f918f3264e11?frame\\_id=202#:~:text=%E5%8D%B5%E3%81%AF%E5%8D%B5%E6%AE%BB%E3%80%81%E5%8D%B5%E6%AE%BB%E8%86%9C,%E3%81%A6%E3%81%AE%E7%A0%94%E7%A9%B6%E3%81%AF%E5%B0%91%E3%81%AA%E3%81%84%E3%80%82](https://cms1.ishikawa-c.ed.jp/nanaoh/cabinets/cabinet_files/download/158/b595500fa189b233db76f918f3264e11?frame_id=202#:~:text=%E5%8D%B5%E3%81%AF%E5%8D%B5%E6%AE%BB%E3%80%81%E5%8D%B5%E6%AE%BB%E8%86%9C,%E3%81%A6%E3%81%AE%E7%A0%94%E7%A9%B6%E3%81%AF%E5%B0%91%E3%81%AA%E3%81%84%E3%80%82)

2025年5月13日 閲覧

2.一島英治 卵にみる生体の防御機構

[https://www.istage.jst.go.jp/article/kagakutoseibutsu1962/13/8/13\\_8\\_489/pdf/-char/ja](https://www.istage.jst.go.jp/article/kagakutoseibutsu1962/13/8/13_8_489/pdf/-char/ja)

2025年5月22日 閲覧

3.島津ダイアグノティクス株式会社 アキュディア™ サブロー寒天培地 顆粒

<https://industrial-diagnostics.biz.sdc.shimadzu.co.jp/products/05701/>

2025年5月22日 閲覧

4.木澤祥恵 初めて微生物を扱う学生向けの微生物分離・観察実験の組み立て  
-「夏休み自由研究お助け隊」を通して

[https://www.tech.tsukuba.ac.jp/2010/report/n05\\_report2010.pdf](https://www.tech.tsukuba.ac.jp/2010/report/n05_report2010.pdf)

2025年9月18日 閲覧

5.有機合成薬品工業株式会社 グリシンのはたらき

[https://www.yuki-gosei.co.jp/glycine/page\\_3/](https://www.yuki-gosei.co.jp/glycine/page_3/)

2026年1月12日 閲覧

6.ALMADO 卵殻膜とは

<https://www.almado.co.jp/aboutesm/>

2026年1月12日 閲覧

7.ヤクルト 抗菌ペプチド

[https://institute.yakult.co.jp/dictionary/word\\_3972.php](https://institute.yakult.co.jp/dictionary/word_3972.php)

2026年1月12日 閲覧

8.工藤智史 知ってる？除菌・抗菌・静菌の違い～銀の力！コーティング科学の感染対策～

[https://www.infirmiere.co.jp/shop/secure/column\\_291.aspx](https://www.infirmiere.co.jp/shop/secure/column_291.aspx)

2026年1月12日 閲覧

# 彩度と記憶の関係

神奈川県立厚木高等学校  
2年 A・B組 β9班

## 1. 要旨

本研究では、ポスターなどの情報を伝える媒体への活用を目的に記憶に残りやすい彩度についての実験を行った。実験は厚木高校1年生9クラス(追実験にて2年生3クラス)を対象に、3種類の彩度で3桁の数字を記したスライドを赤文字・青文字・緑文字の3種類用意し、20秒間見せた後に覚えている数字を回答してもらった。しかし、一部の数字に多くの回答が見られたため、思うようなデータが得られなかった。そのため、数字をひらがなに置き換えて追実験を行ったが一部でのみ優位差が見られた。時間の都合により、本研究は終了とした。

## 2. 背景・目的

先行研究により、彩度が高い色ほど誘目性があることがわかったが、記憶に残るかについては言及されていなかった。そこで私たちは、記憶に残りやすい彩度を見つけることによって、情報をより伝えやすくできるのではないかと考えた。

## 3. 仮説

彩度が高い数字または文字ほど、記憶に残りやすい。

## 4. 方法

1. まず、彩度を変えた3桁の数字が記載された画像を被験者に20秒間見せる。言葉でなく数字を用いた理由は、人によってある特定の言葉に対する馴染みは異なるため、覚えやすさに影響があると考えたからだ。その後、アンケートを用いて覚えている数をすべて回答してもらう。基準となる色として赤・青・緑の光三原色を用い、彩度はHSV<sup>1</sup>のS(彩度)の値が50、75、100となるものを用いる。

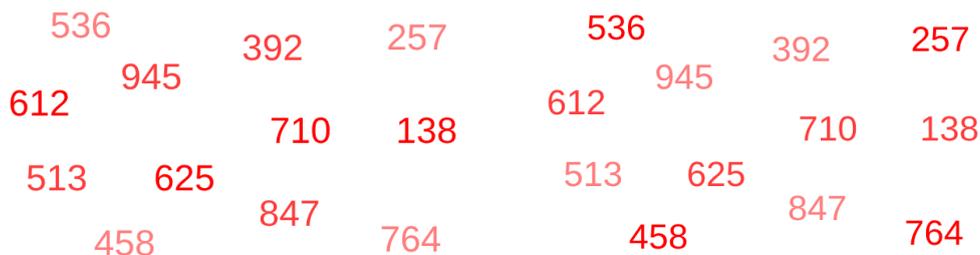


図1 被験者に見せる画像①

図2 被験者に見せる画像②

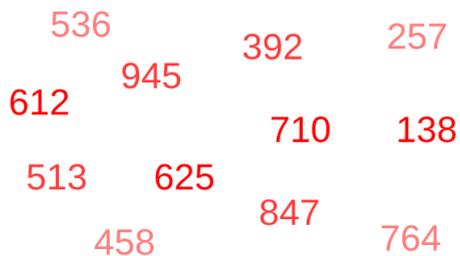


図3 被験者に見せる画像③

2. 方法1の結果からポスターの文字の彩度を変更したものを作成し、記憶に残りやすい彩度の実用性を検証する見通しであったが、方法1の検定で有意差がみられなかったため、その後続く方法2は中止した。

3. 追加実験：彩度を変えた3文字のひらがなが記載された画像を被験者に20秒間見せる。その後Google Formでのアンケートを用いて覚えている言葉をすべて回答してもらう。基準となる色は原色の青色を用い、彩度はHSVのS(彩度)の値が50、75、100となるものを用いる。

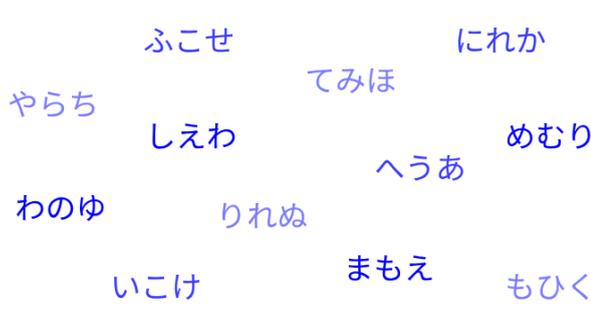


図4 被験者に見せる画像①

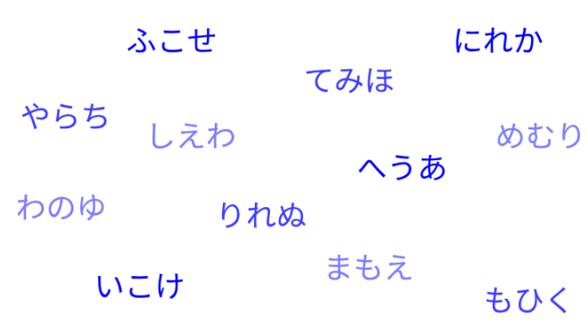


図5 被験者に見せる画像②

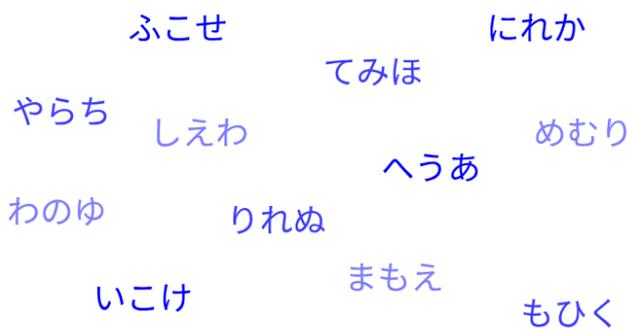


図6 被験者に見せる画像③

#### 4. 分析方法

本実験の方法はWMW検定を用いることとする。理由として、WMW検定はデータの分布形式を問わないノンパラメトリック検定であるため、小標本であっても統計的な妥当性を維持し、結果への影響を最小限にできるからだ。また、数値を順位に変換し対象の確率分布を比較するため、外れ値を含めた、値そのものの影響を最小限に抑え、データ全体の分布の偏りをより正確に評価できるためである。

## 5. 結果

方法1. 下の表は回答数を数字ごとにまとめ、1クラスの平均を出したものである。710の回答数が著しく多かった。本実験ではWMW検定を用いるため外れ値を取り除く必要はないが、分析のため、IQR法を用いて計算したところ、710は外れ値であることが判明した。

257	536	764	458	625	138	710	612	847	945	392	513
3.63	3.13	1.38	1.13	3.75	2.63	17.3	6.63	1.38	6.38	5.13	3.38

図7 各数字の平均回答数

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
彩度高	4	14	×	32	33	35	10	31	15
中	24	15	×	11	10	25	15	6	27
低	6	35	×	6	9	12	36	27	10
回答人数	37	33	×	37	39	39	40	34	32

図8 彩度ごとの回答数

Sが50の色を彩度低、Sが75の色を彩度中、Sが100の色を彩度高と表記している。WMW検定を行った結果、どの組み合わせにおいても有意差はみられなかった。

### 3. 追加実験

方法1と同様に外れ値がないかIQR法を用いて計算した結果、外れ値はなかった。

ふ こ せ	に れ か	へ う あ	い こ け	め む り	ま も え	し え わ	わ の ゆ	り れ ぬ	や ら ち	も ひ く	て み ほ
3.33	1.00	2.66	1.33	1.66	1.33	2.00	1.33	0.66	0.66	1.66	0.66

図9 各文字列の平均回答数

	A B	C	E
彩度高	9	10	8
中	5	3	6
低	4	3	4
回答人数	40	37	29

図10 彩度ごとの回答人数

方法1と同様、Sが50の色を彩度低、Sが75の色を彩度中、Sが100の色を彩度高と表記している。

WMW検定を行った結果、彩度高と彩度低で有意差がみられた。また、彩度高と彩度中でも有意差がみられたが、彩度中と彩度低では有意差はみられなかった。

## 6. 考察

方法1において「710」という数字に回答が極端に集中した要因として「710(平城京に遷都した年)」が日本史において広く知られた語呂合わせであり、高校生にとって馴染み深い数字であったこと、また0で終わる区切りのよい数であったことが挙げられる。また3桁の数字は日常生活において身近にあり、その中で覚えやすい数字は個人によって異なると考えた。つまり無作為に抽出した数字の集合でも個人差の影響を完全に排除することは困難であったと推察される。そのため、彩度の違いよりも個人による数字そのものの覚えやすさが強く影響し、彩度の効果を正確に検証できなかつたと考えられる。一方、文字を用いた実験では造語を使用したため、既有知識や個人の覚えやすさの影響を受けにくかつたと考えられる。また、方法2の一部で有意差がみられた理由として、彩度の高い文字は誘目性が高く、視覚的注意を引きやすいことから、記憶に残りやすくなつた可能性が考えられる。また、本実験では一枚のスライド内に彩度の異なる文字を同時に提示したため、周囲との比較による相対的な影響が生じ、特定の文字が強調されることで記憶に影響を及ぼす可能性が考えられる。さらに、スクリーンの設置位置がクラスごとに異なっていた点も、被験者の視覚的条件に差を生じさせ、結果に影響を与えた可能性がある。

## 7. 結論

本研究の結果、数字においては彩度の違いによる記憶成績への影響は認められなかつた。一方、文字においては、Sを100に設定した彩度が最も高い条件で提示されたものが最も記憶されやすい傾向が示された。

## 8. 今後の展望

実験方法の課題として、スクリーンの設置位置を必ず統一し、視覚的条件の差異による影響を排除する必要がある。また、追加実験においては一定の傾向が確認されたが、WMW検定に影響しづらいとして

もサンプル数は十分とは言えない。よってサンプル数を増やした上で再検証を行い、本研究で得られた結論の妥当性をより高めたい。さらに、相対的な影響を排除するため、一枚のスライド内に一種類の彩度のみの文字を提示する条件を設定し、同様の実験を行うことが望まれる。

## 9. 参考文献

1. 相馬一郎 色彩の心理効果

[J-Stage https://www.jstage.jst.go.jp/shikizai1937/pdf/-cha](https://www.jstage.jst.go.jp/shikizai1937/pdf/-cha)

(2025年6月4日閲覧)

2. 高良桜空 彩度、明度、三原色って？知っておきたい「色」の基礎知識

<https://blog.iro-dori.net/useful/color/12359/>

(2025年6月4日閲覧)

3. Randll RGBとHSV・HSBの相互変換ツールと変換計算式

[https://www.peko-step.com/tool/hsvrgb.html#google\\_vignette](https://www.peko-step.com/tool/hsvrgb.html#google_vignette)

(2025年9月11日閲覧)

4. 都外川八恵 物体のプロフィールを表す～分光反射率曲線

<https://www.cocolor.biz/colorlesson/%e7%89%a9%e4%bd%93%e3%81%ae%e3%83%97%e3%83%ad%e3%83%95%e3%82%a3%e3%83%bc%e3%83%ab%e3%82%92%e8%a1%a8%e3%81%99%e3%80%9c%e5%88%86%e5%85%89%e5%8f%8d%e5%b0%84%e7%8e%87%e6%9b%b2%e7%b7%9a/>

(2025年7月15日閲覧)

5. 都外川八恵 分光反射率曲線で色を表示する

<https://www.cocolor.biz/colorlesson/%E5%88%86%E5%85%89%E5%8F%8D%E5%B0%84%E7%8E%87%E6%9B%B2%E7%B7%9A%E3%81%A7%E8%89%B2%E3%82%92%E8%A1%A8%E7%A4%BA%E3%81%99%E3%82%8B/>

(2025年7月15日閲覧)

<sup>1</sup>HSVとは、色相・彩度・明度の3つの要素で色を表現したものである。

# ノイズキャンセリング機能使用者に緊急車両の接近を伝えるアプリケーションの開発

2年A組 α10班

## 1.要旨

本研究では、ノイズキャンセリング機能付き機器の使用中に緊急車両のサイレン音に気づきにくくなるという課題に着目し、スマートフォンのマイクを用いてサイレン音を自動検知し、通知やバイブレーションで使用者に警告するAndroidアプリケーションの開発を目的とした。KotlinおよびAndroid Studioを用いてアプリを制作し、入力音声に対してFFT解析を行い、周波数変動やエネルギー分布の特徴量からサイレン音との相関を判定する方式を採用した。初期段階では処理負荷の増大による遅延が発生したが、音量フィルタによる前処理の導入などの軽量化によって改善が見られた。至近距離での検証ではサイレン検知が概ね可能であることを確認した。一方で、研究期間の制約により、実機環境および実使用環境での十分な有用性検証には至らなかった。今後は実環境下での測定データの収集と検知アルゴリズムの改良を行い、誤検知の低減と検知精度の向上を図ることで、実用性の高いシステムへの発展を目指す。

## 2.背景・目的

ノイズキャンセリング機能付きの機器を使用している際、周囲の音が聞こえにくくなることで、緊急車両の接近に気づけなかった事例が報告されている。これは救急・消防活動の妨げや交通事故につながる恐れがあり、社会的にも重要な課題である。

このような背景から、本開発では、緊急車両のサイレン音を検知し、検知時に通知やバイブレーションを発生させることで、ノイズキャンセリング機器の使用者が確実に緊急車両の接近に気づけるアプリケーションを開発することを目的とする。

## 3.仮説

なし

## 4.方法

### 実験1(アプリケーションの制作)

Android studioからKotlinを用いてアプリを制作。まず初めにアプリケーションの方向性を「スマホに元からついているマイクで音を拾いその音量や周波数の変位からサイレンを判断して人にサイレンを通知するアプリ」として、制作開始。まず初めに基本構造として、権限許可を得るコード

と、FFT上の計算に使用する数値の中で、基本的に自由が効く値を規則性に合わせて設定する。(例えば2で割り切れる値だと計算がわかりやすいから偶数にするなど)そして同時にマイクに入った音の周波数を時間ごとに画面に表示するための描画コードを設定。画面上でデータを取れると、アプリの開発途中での改善が行いやすいため、スマホの画面上に仮でグラフを表示する。そして、マイク使用の許可が出次第音量の測定を始める。同時にFFTで計算を始め、マイクから受け取った音量と周波数からエネルギーの平均、一定時間ごとの周波数の平均、周波数の変動且つ動きを計算した後に一般的に日本で救急車に使われているデータと比べたときにどれほど相関があるかを計算し、相関があると認められた場合に通知を送り、音を鳴らすようにプログラムを行った。そして、実際に近距離でサイレンを鳴らしたり止めたりして動きを観察した。

## 実験2(アプリケーションの有用性の検証)

本実験では、緊急車両のサイレン音に対して人間が回避行動を取ることが可能な距離に着目し、提案アプリケーションの有用性を検証する。

1) 人間が緊急車両を認識し、回避行動を開始できる距離を設定し、その距離において緊急車両が発するサイレン音の音量(dB)を\*逆二乗の法則を用い、計算により求める。

\*逆二乗の法則:リスナーと音源の間の距離が2倍になると、音圧レベルは6.02dB低下する。この値は、通常小数点以下を切り捨てた6dBで表される。これと反対にリスナーと音源の間の距離が1/2になった場合も同様である。つまり、距離が2倍になる毎に音圧レベルは6dB低下し、半分になる毎に6dB増加する。

2) 提案アプリケーションがどの程度の音量(dB)までサイレン音を検知することが可能であるかを実験により明らかにする。

3) 計算によって求めた理論上のサイレン音量と、アプリケーションの検知可能な音量の限界値を比較し、両者の差について仮説検定を行う。

これにより、提案アプリケーションが緊急車両の早期検知に有用であるかどうかを定量的に評価する。

## 5.結果

### 実験1-1

一回目にアプリ起動に成功した際に、とてつもない量の遅延が発生した。10~20秒の間で常に遅延が発生し、突拍子のないタイミングでサイレン検知の通知が出てしまったりした。そのため、アプリの構造を見直し、PCに表示したデータを元にアプリを改善した。まず、CPUの使用率が98%を叩き出し、PCが異常な熱を発したため、軽量化から始めた。まず、はじめから音のFFT検定を開始しておくことで大量のデータ処理による無駄が大量に出るため、雑音を排除するために音量で雑音を排除するシステムをフィルターとしてはじめに用意し、処理を軽量化した。また、音量は実験2の逆二乗の法則から割り出す物とし、各プログラミングを書き直した後にもう一度実験を行った。

## 実験1-2

2度目のアプリ起動では、明らかな遅延の軽減が見られた。且つ至近距離であればほぼ完璧にアプリが動作することがわかった。

## 実験2

本研究では、アプリケーションの開発に想定以上の時間を要した。その結果、研究期間内に十分な実験時間を確保することができず、本来実施予定であったアプリケーションの有用性に関する実験を行うには至らなかった。

## 6.考察

考察として、本アプリケーションを仮想デバイス上で動作させた際、アプリ起動時にCPU使用率が90%を超える状況が確認され、その影響として軽微な処理遅延が発生した。この遅延は、仮想デバイス特有の処理負荷や、実機環境では不要となる仮想デバイス処理が影響している可能性が高いと考えられる。

一方で、実機環境においては仮想デバイス処理が不要であることに加え、取得したデータを一定時間で自動的に消去する設定を導入しているため、メモリ使用量および処理負荷の増加が抑制されると考えられる。これらの要因から、実機での動作においては、仮想デバイス上で確認された遅延は軽減される見込みである。

また、検知精度に関しては今後の改善が必要であるものの、精度を除く機能面においては、重大な不具合や設計上の問題は確認されなかった。このことから、本アプリケーションは基本的な機能要件を満たしており、今後、実機環境での検証および検知精度の向上を行うことで、より実用的なアプリケーションへと発展させることが可能であると考えられる。

## 7.結論

本研究における実証実験は、至近距離での音声の聞き取りを対象とした条件に限定して実施した。そのため、実際の利用環境を想定した長距離での使用や、周囲の雑音を含む状況下での検証は行っていない。

また、実機環境における動作検証は未実施であり、実際の運用時には、開発時には想定していなかった挙動や性能低下が生じる可能性がある。これらの点を踏まえると、本アプリケーションの実用性については、現時点では十分に評価することが困難である。

一方で、至近距離条件下においては、音声の検知に関して一定の精度が得られることを確認しており、限定的な環境下では本アプリケーションが有効に機能する可能性が示唆された。今後は、実機環境での検証および実験条件の拡張を行うことで、より実用的な評価を進める必要がある。

## 8.今後の展望

今後の展望として、まず実験回数を増やすことにより、検知精度の定量的な評価を行うとともに、得られた結果を基にアルゴリズムおよび各機能の改善を進めていく予定である。これにより、検知性能の安定性および再現性の向上を図る。

次に、実際の街中や道路環境といった実運用を想定した環境下において、マイクがどのように音を取得するかを調査する。具体的には、交通騒音や人の話し声などの環境音が音声取得および検知精度に与える影響を分析し、実環境特有の課題を明らかにする。

さらに、これらの調査結果を踏まえ、環境音を考慮した判断手法について検討を行う。単純な音量や周波数特性に基づく判定だけでなく、周囲の状況に応じた柔軟な判定基準を導入することで、誤検知の低減および実用性の向上を目指す。

加えて、実験については行えなかったため、実際に行いアプリケーションの有用性を検証する。以上の取り組みを通じて、さまざまな利用環境における動作検証を行い、本アプリケーションの実用性を多角的に検証・立証していくことを今後の課題とする。

## 9.参考文献

- 1.株式会社アイシン(2025) YYサイレンアラート <https://yssystem.com/product/Alert> 閲覧日 2025年 5月8日
- 2.ITS Connect推進協議会(2015) ITS Connect推進協議会 <https://www.itsconnect-pc.org/> 閲覧日 2025年 5月13日
- 3.トヨタ自動車 安全技術(2016) | ITS Connect | トヨタ自動車WEBサイト <https://toyota.jp/technology/safety/itsconnect/> 閲覧日 2025年 5月13日
- 4.株式会社アンリツ アンリツ <https://www.anritsu.com/ja-jp> 閲覧日 2025年 9月17日
5. Extron <https://www.extron.co.jp/calculators/inverse-square-law/?tab=tools> 閲覧日 2025年12月18日

## 10.謝辞

本研究の遂行にあたり、制作方法の検討をはじめ様々な面でご協力を賜りました株式会社アンリツ 金澤様に、深く感謝申し上げます。

# 植物による治安改善効果の期待

神奈川県立厚木高等学校  
2年 AB組 β11班

## 1. 要旨

私達は厚木市民であり、自分たちの住む街がよりよく評価されることを望んでいる。その上で、厚木市の治安が市のよさを下げていると感じ、その要因の一つとしてゴミのポイ捨ての多さが課題であるとした。本研究は、花を植えることで人々のゴミのポイ捨てに対する意識をどれだけ改善できるかを明らかにするものである。花を植えた場合と何もしなかった場合のゴミの量を、四つの項目（普通ゴミ、缶、ペットボトル、たばこ）別に一ヶ月に三回ずつ計測し、T検定を用いてそこに有意差はあったか調査する。結果はペットボトルとたばこにのみ有意差が見られた。花には治安の改善効果が期待できると考える。

## 2. 背景・目的

厚木市の「借りて住みたい町ランキング」が今年1位から2位に下がってしまった。厚木市の魅力を回復させるためには治安の改善が必要だと考え、治安改善には芝生が有効的である<sup>1</sup>という先行研究から、植物を使用することによって治安改善を促す。

ポイ捨てを減らすために、花畑、更地、目の絵の看板が効果的であり<sup>2</sup>、花壇がある状態でのゴミのポイ捨ての増減についてさらに調べようと思った。

また、検証する上で本厚木駅の付近で人通りがあること、元からゴミが散乱していること、また喫煙所であることから厚木サンパークが最も適していると考え、実験を行う

## 3. 仮説

花を植えるとゴミの量が減り、厚木市の治安が改善する。

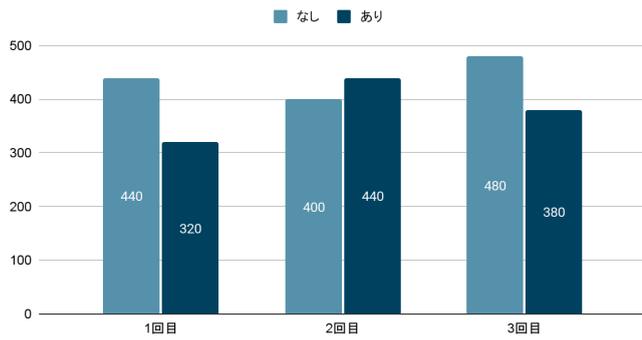
## 4. 方法

事前に花を植える前のゴミの量を、1ヶ月間で3回同じ曜日、時間帯にゴミを計測する。このときゴミはペットボトル、缶、タバコ、その他の普通ゴミで区別して計測する。その後花を置き、同じように1ヶ月間で3回同じ曜日、時間帯で計測する。その結果をt検定にかけて有意差を調べる。

## 5. 結果

普通ゴミ

普通ゴミ(単位/g)



	なし	あり
平均値	440	380
標準偏差	40	60
標本数	3	3

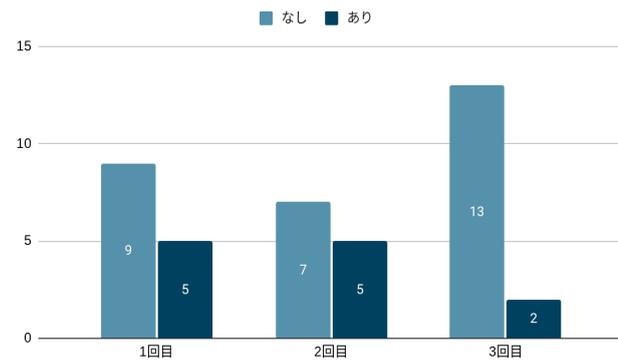
図1 花がある時とない時の各回の普通ゴミの重さ(g)

図2 図1より得られる詳しい値

図2の値を用いて有意水準5%の片側t検定にかけたところ $p=0.152279$ で棄却できない。

### ペットボトル

ペットボトル(単位/本)



	なし	あり
平均値	9.67	4
標準偏差	3.06	1.73
標本数	3	3

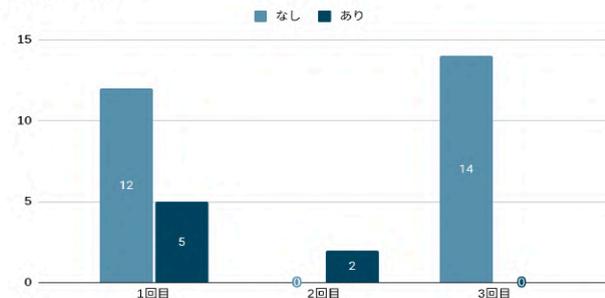
図3 花がある時とない時の各回のペットボトルの本数(本)

図4 図3より得られる詳しい値

図4の値を用いて有意水準5%の片側t検定にかけたところ $p=0.0423404$ で棄却できる。

### 缶

缶(単位/本)



	なし	あり
平均値	8.67	2.33
標準偏差	7.57	2.52
標本数	3	3

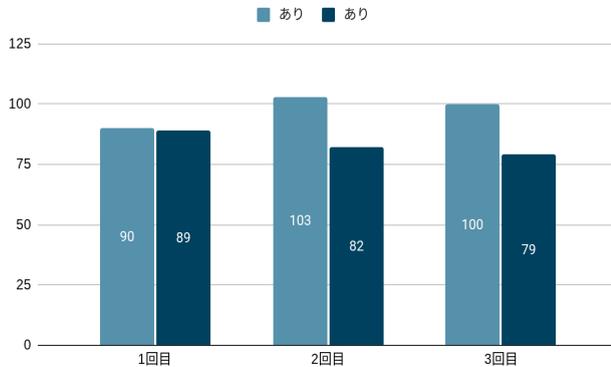
図5 花がある時とない時の各回の缶の本数(本)

図6 図5より得られる詳しい値

図6の値を用いて有意水準5%の片側t検定にかけたところ $p=0.161991$ で棄却できない。

## タバコ

タバコ(単位/本)



	なし	あり
平均値	97.67	83.33
標準偏差	6.81	5.13
標本数	3	3

図7 花がある時とない時の各回の本数(本)

図8 図7より得られる詳しい値

図8の値を用いて有意水準5%の片側t検定にかけたところ $p=0.0380534$ で棄却できる。

## 6. 考察

ゴミの種類によっては効果を確認できた○

→サンプル数が少ない、花の数が不十分、

必ずしも花によりゴミの量が減るとは言い切れない

少しの治安改善には結びついた

## 7. 結論

効果あり

## 8. 今後の展望

今回は花を置いた状態と置いてない状態それぞれ3回ずつしか計測できておらず、データが足りない状況であったためゴミの種類によって結果が変わってしまったと考えられるので、データを十分に揃えて実験をしていきたい。

また、花の量をお金やプランターの関係で計14株、花の種類を季節の関係でコスモスにして実験を行ったが、花の数をもっと増やしたり、パンジーやビオラなどの視覚的に華やかに見えるような花を用いることでポイ捨ての量がどのように変化するか調査していきたい。

加えて、プランターの配置による違いにも着目し、人通りの多い場所や元のポイ捨てゴミの量が多い場所に設置したり、季節による花の見え方や管理状態の違いがポイ捨てに与える影響についても調べる必要があると考えた。

これらの点を組み合わせて比較、検証して最も効果的なポイ捨て防止対策を見つけていきたい。

## 9. 参考文献

1 中俣友子 阿部恒之 ゴミのポイ捨てに対する監視カメラ、先行ゴミ、景観、看板の効果

[https://www.istage.jst.go.jp/article/jipsy/87/3/87\\_87.14057/pdf/-char/ja](https://www.istage.jst.go.jp/article/jipsy/87/3/87_87.14057/pdf/-char/ja) 2026年1月10日閲覧

2 Civil Rights Corps Getting smart on safety  
<https://www.civilrightscorps.org/wp-content/uploads/2023/05/Getting-Smart-On-Safety>~2026年1月10日閲覧

3 厚木市市内刑法犯認知件数  
[https://www.city,atsugi.kanagawa.jp/material/files/group/32/keihouhannintkendu\\_R6.xls](https://www.city,atsugi.kanagawa.jp/material/files/group/32/keihouhannintkendu_R6.xls)~2026年1月11日閲覧

4 LIFULL 〈首都圏版〉2024年 LIFULL HOME'S みんなが探した！住みたい街ランキング  
<https://lifull.com/news/30808/>~2026年1月11日閲覧

5 五輪警備保障株式会社 街の清潔さと治安の関係<https://www.golin.co.jp/2025/12/18/>~2026年1月11日閲覧

# ゼブラフィッシュにおける色の好みとストレスによる影響

神奈川県立厚木高等学校  
2年 AB組 β12班

## 1. 要旨

本研究は、ゼブラフィッシュ *Danio rerio* の色の好みやストレスによる影響を調べることを目的とする。T字路を用いて実験を行い、どちらの色を選択するかを観察した。また、ストレスを与える場合にはその場で2分間閉じ込めた。その結果、青、緑、赤、黄の順で好む傾向があり、ストレスによる影響を明らかにすることは出来なかったが、左右を学習する可能性があることが分かった。

## 2. 背景・目的

先行研究により、ゼブラフィッシュには色の識別能力および空間学習能力があり、さらに先錐体細胞ごとの錐体感度の高さが示されている。そこで本研究では、錐体感度の高さと色の好みが等しいのか、またストレスが色の好みに及ぼす影響を調べる。

## 3. 仮説

- (1)~(5) 錐体感度の高さは色の好みと等しい。
- (6) 赤に行ったら報酬を与えると赤に行く個体が増加する。
- (7) 好みの差が大きい色のとき、好んでいた色に行った際に閉じ込めるとゼブラフィッシュはストレスを感じ、好んでいなかった色に行く個体が増加する。
- (8) 好みの差が小さい色のとき、好んでいた色に行った際に閉じ込めるとゼブラフィッシュはストレスを感じ、好んでいなかった色に行く個体が増加する。
- (9) (8)の実験の色の左右を入れ替え、緑に行った際に閉じ込める。5回実験を行い、6回目で色の左右を入れ替えると赤に行く個体が増加する。

## 4. 方法

- 実験に用いる器具
- ・30×30×30の水槽・色つきボード(赤、青、黄、緑、黒)・セロハンテープ・網
- ・カルキ抜きした水・ゼブラフィッシュ・エサ(1)のみ・赤虫 *Propilocerus akamusi* (6)のみ

### (1)赤-青の実験

- ①赤と青の色つきボードを用いて水槽の中に図1(a)のT字路をつくる。

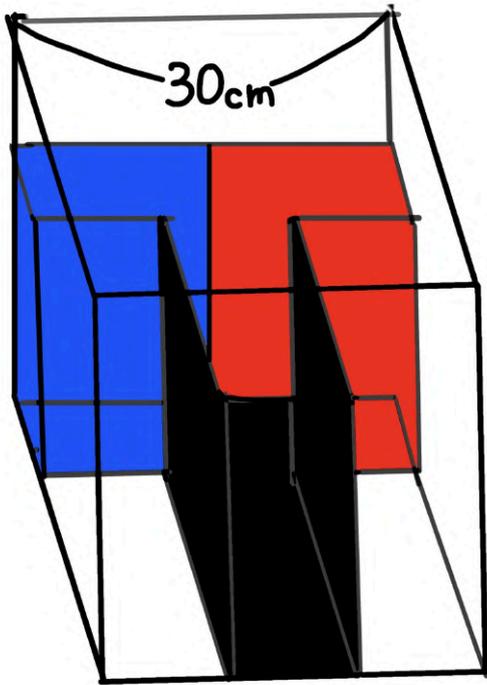


図1(a) 実験で用いるT字路の図  
(以下これをT字路と呼称する)

②このT字路にゼブラフィッシュを黒の手前ゾーンに入れて行った色を記録する。なかなか進まない場合は図1(b)のように黒いボードで後ろから押して分岐点まで誘導する。

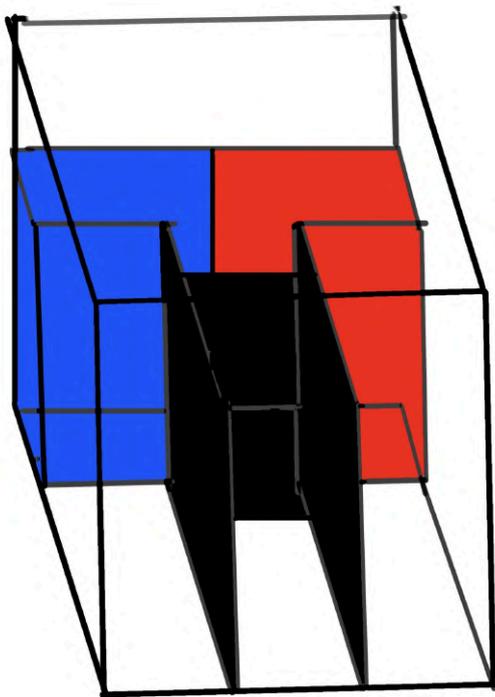


図1(b) 黒いボードを動かしたT字路

(def ゼブラフィッシュが図2のように色つきゾーンの端から5cmまでにゼブラフィッシュの体全体が先に入った方を“行った”とする。)

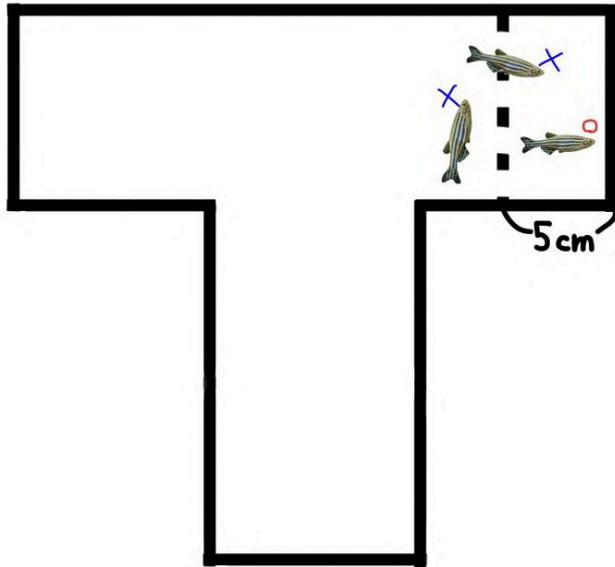


図2 “行った”の基準

③5匹でそれぞれ1回ずつ行う。ただし、ゼブラフィッシュが光の当たり方の違いで判断している可能性があるため、T字路を90° ずつ回転させて行う。エサで誘導できるかどうか試すため、5匹のうち2匹は赤の方にエサを入れた状態で行う。

(2)青-緑、青-黄、黄-緑の実験

(1)の①で作成したT字路で青-緑、青-黄、黄-緑の3パターンの組み合わせで行う。

②までは(1)と同様。

③これを5匹でそれぞれ1回ずつ行う。

(3)赤-黄の実験

(1)の①で作成したT字路で赤-黄の組み合わせで行う。

②までは(1)と同様。

③これを5匹でそれぞれ1回ずつ行う。

(4)赤-緑の実験

(1)の①で作成したT字路で赤-緑の組み合わせで行う。

②までは(1)と同様。

③これを10匹でそれぞれ1回ずつ行う。

(5)全ての組み合わせの実験

(1)の①で作成したT字路で赤、青、緑、黄のうち2つずつの全6組の組み合わせで行う。

赤、青、緑、黄の組み合わせごとの実験の呼称として、赤-青を(5)-1、青-緑を(5)-2、青-黄を(5)-3、赤-黄を(5)-4、緑-黄を(5)-5、赤-緑を(5)-6とする。

②までは(1)と同様。

③青-赤、青-緑、黄-青では20匹、赤→※緑、赤→黄、緑→黄では13匹、緑→赤、黄→赤、黄→緑では12匹でそれぞれ1回ずつ行う。

※ハイフンではなく→で繋がれているときは単に組み合わせだけでなく、左右の位置も表す。赤→緑の場合は右緑左赤という配置を表す。

ただし、色ではなく左右で判断している可能性があるため、それぞれ半分の回数に行った時点で、左右の色つきボードの位置を入れ替えてさらに残り半分の回数を行う。これを上記した全ての組み合わせにおいて同様にして実験を行う。

#### (6)報酬を用いた赤-緑の実験

T字路は(5)-6と同様のものを用いる。

①までは(1)と同様。

②このT字路にゼブラフィッシュを黒の手前ゾーンに入れて、泳がせる。なかなか進まない場合は図1(b)のように黒いボードで後ろから押して分岐点まで誘導する。赤に行ったら赤虫(エサ)を与え、食べるまで黒いボードで閉じ込め、緑に行った場合は何もしない。

③これを20匹でそれぞれ1回ずつ行う。

ただし、半分の回数に行った時点で、左右の色つきボードの位置を入れ替えてさらに残り半分の回数を行う。

#### (7)軽度のストレスを与えた青-黄の実験

T字路は(5)-3と同様のものを用いる。

①までは(1)と同様。

②このT字路にゼブラフィッシュを黒の手前ゾーンに入れて、泳がせる。なかなか進まない場合は図1(b)のように黒いボードで後ろから押して分岐点まで誘導する。青に行ったらアカムシは与えず黒いボードで2分間閉じ込め、黄に行った場合は何もしない。

③これを21匹でそれぞれ1回ずつ行う。

ただし、半分の回数に行った時点で、左右の色つきボードの位置を入れ替えてさらに残り半分の回数を行う。

#### (8)軽度のストレスを与えた赤-緑の実験

T字路は(5)-6と同様のものを用いる。

①までは(1)と同様。

②このT字路にゼブラフィッシュを黒の手前ゾーンに入れて、泳がせる。なかなか進まない場合は図1(b)のように黒いボードで後ろから押して分岐点まで誘導する。緑に行ったら黒いボードで2分間閉じ込め、赤に行った場合は何もしない。

③これを1,2回目では21匹、3~7回目では20匹でそれぞれ1回ずつ行う。

ただし、5回目までは緑→赤で固定して行う。しかし誤って6回目で左右の色つきボードの位置を入れ替えてしまった。

#### (9)(8)から色つきボードの左右を入れ替えた実験

②までは(8)と同様。

③これを1~3回目では18匹、4~6回目では15匹でそれぞれ1回ずつ行う。

ただし、5回目までは赤→緑で固定して行い、6回目で左右の色つきボードの位置を入れ替えた。

## 5. 結果

(1)~(4)赤、青、黄、緑のうち2色を組み合わせ(6パターン)実験(1)~(3)は5匹、実験(4)は10匹T字路に泳がせた。結果を図3に示した。

図3 (1)~(4)の実験におけるそれぞれの色に行ったゼブラフィッシュの数と色つきボードの組み合わせ

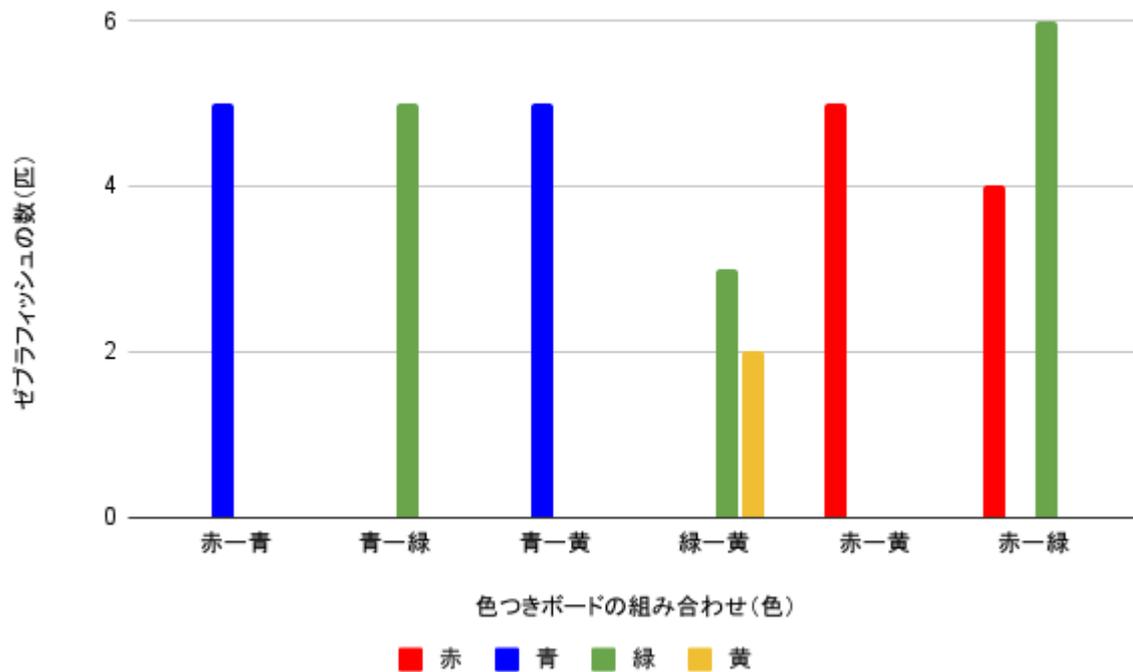


図3に示すように、色つきボードの組み合わせによって選ばれる色に偏りがあった。(1)では最終的には青にのみ行ったが、エサを入れると赤に行く個体もいた。また、水槽を回転させても赤に行く個体はいなかった。(2)では青-緑は緑、青-黄は青に行った。緑-黄は両方に行ったが、緑の方が多かった。(3)では赤のみに行った。(4)では両方に行ったが、緑の方が多かった。

(5) 赤、青、黄、緑のうち2色を組み合わせ(6パターン)色を左右で入れ替えて青-赤、青-緑、黄-青では20匹ずつ、赤→緑、赤→黄、緑→黄では13匹ずつ、緑→赤、黄→赤、黄→緑では12匹ずつT字路に泳がせた。実験の過程において、一部の個体が死亡したため、結果の分析に用いた個体数は予定より減少した。結果を特定の色とその他3色との差がわかるように、図4、6、8、10に示した。また、実験によって個体数が異なるため、特定の色の割合を図5、7、9、11に示した。

図4 (5)-1,2,3の実験におけるそれぞれの色に行ったゼブラフィッシュの数と色つきボードの組み合わせ

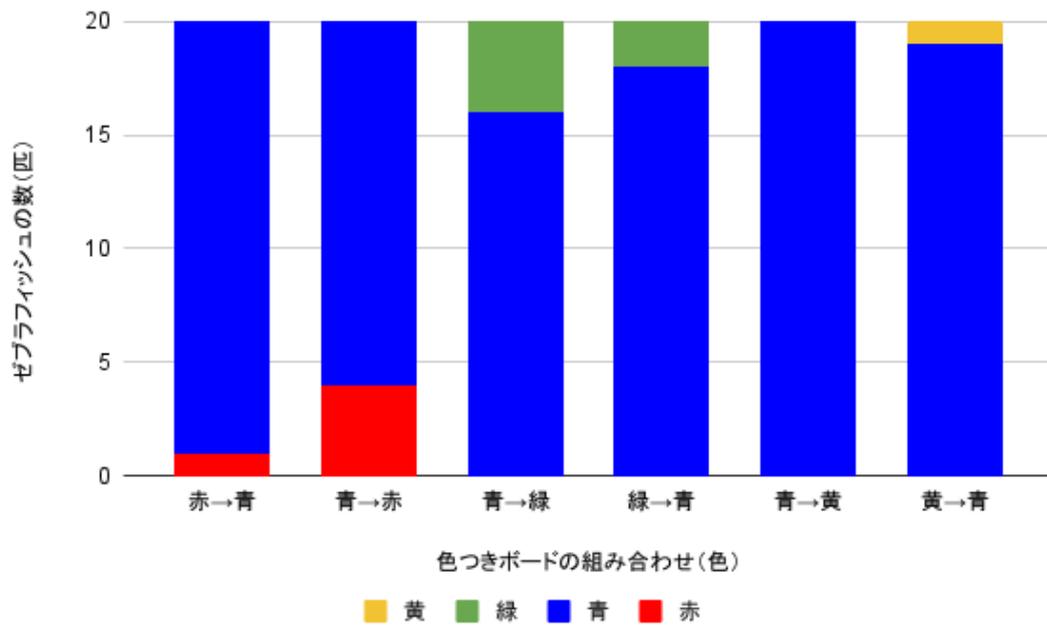


図5 (5)-1,2,3の実験におけるゼブラフィッシュが青に行った割合と色つきボードの組み合わせ

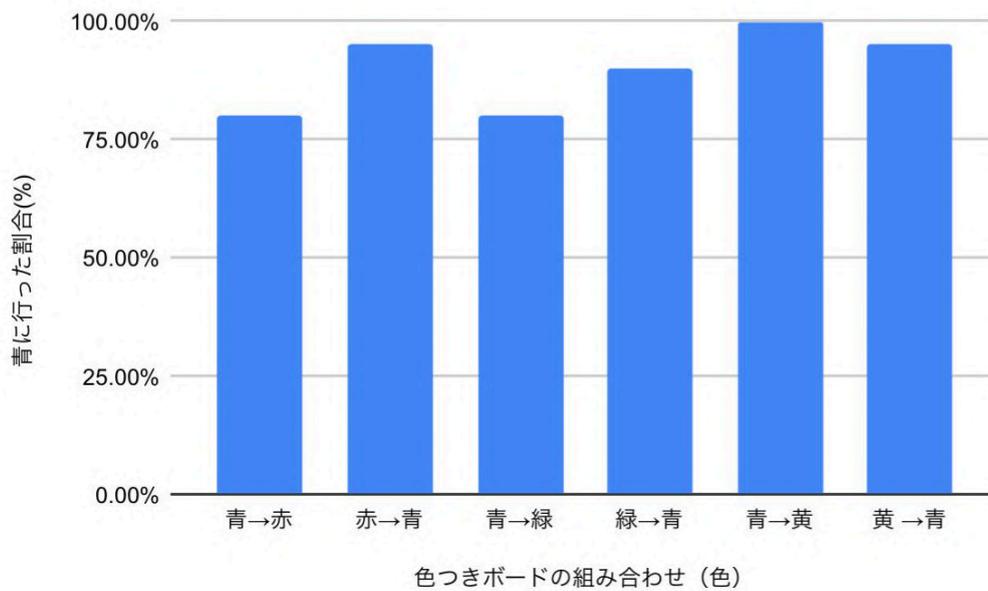


図4、5に示すように、どの組み合わせにおいても青に行く傾向が最も強く見られた。一方、青に比べると少数ではあるが赤、緑、黄に行く個体も見られた。

図6 (5)-1,4,6の実験におけるそれぞれの色に行ったゼブラフィッシュの数と色つきボードの組み合わせ

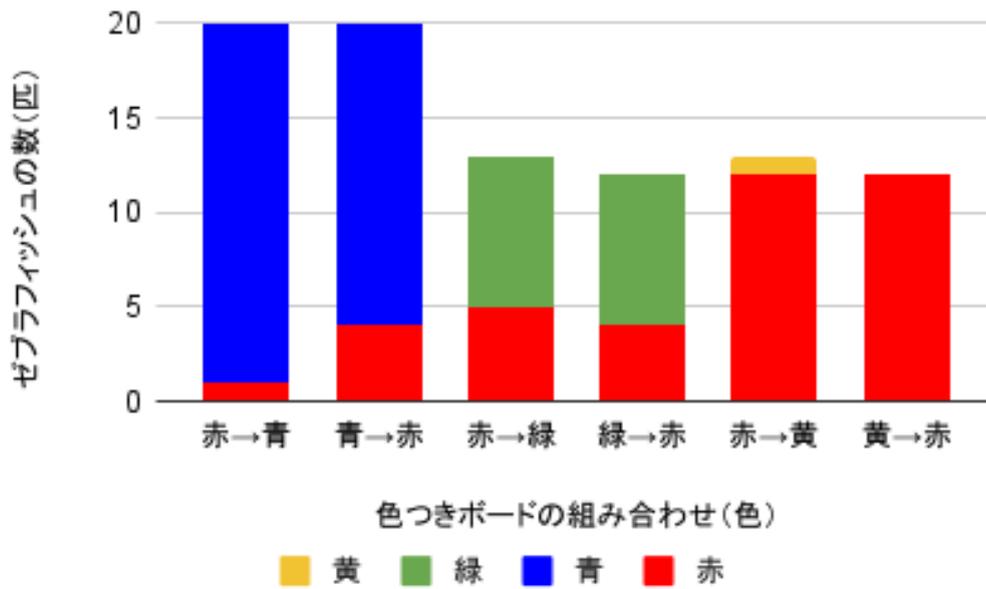


図7 (5)-1,4,6の実験におけるゼブラフィッシュが赤に行った割合と色つきボードの組み合わせ

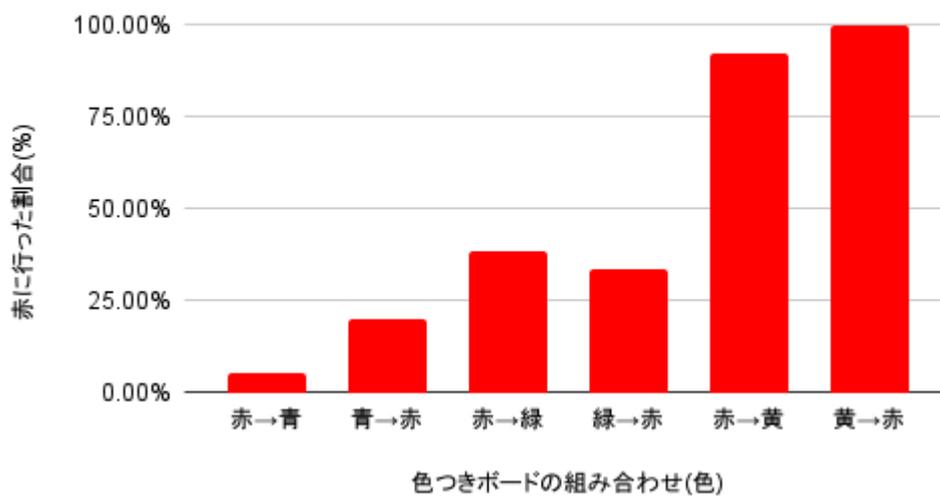


図6、7に示すように、赤-青では青に行く傾向が強く見られ、赤-緑ではあまり差は見られないが、緑に行く傾向が少し強くみられた。また、赤-黄では1匹を除き、すべての個体が赤に行った。

図8 (5)-2,5,6の実験におけるそれぞれの色に行ったゼブラフィッシュの数と色つきボードの組み合わせ

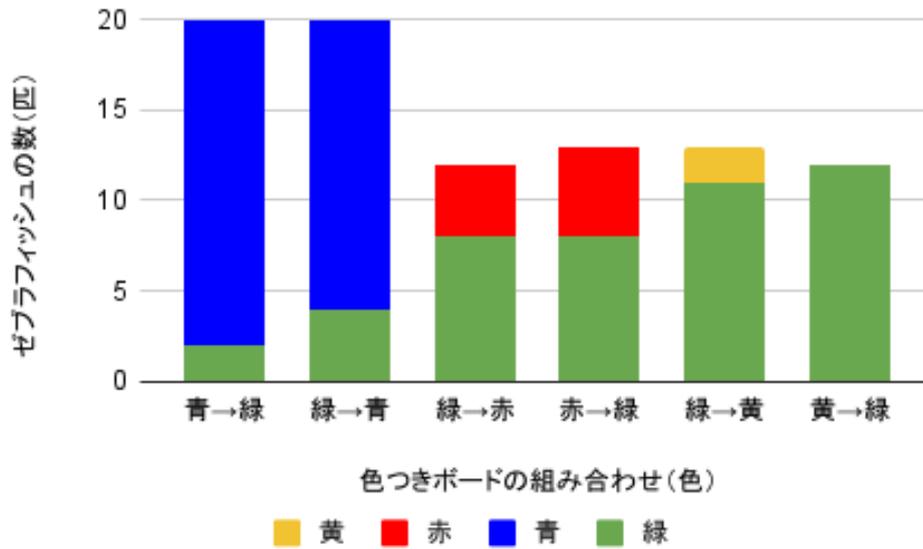


図9 (5)-2,5,6の実験におけるゼブラフィッシュが緑に行った割合と色つきボードの組み合わせ

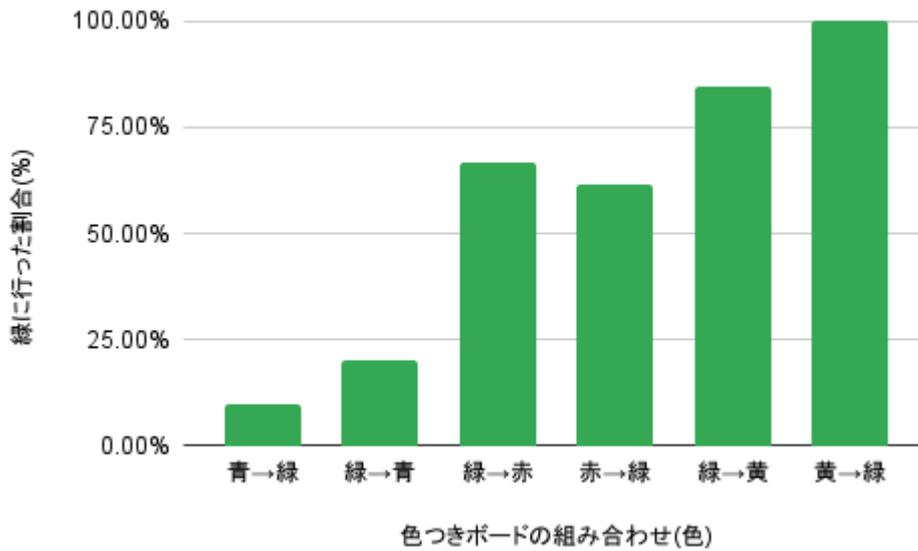


図8、9に示すように、緑-青では青に行く傾向が強く見られ、緑-赤ではあまり差は見られないが、緑に行く傾向が少し強くみられた。また、緑-黄では2匹を除くすべての個体が緑に行った。

図10 (5)-3,4,5の実験におけるそれぞれの色に行ったゼブラフィッシュの数と色つきボードの組み合わせ

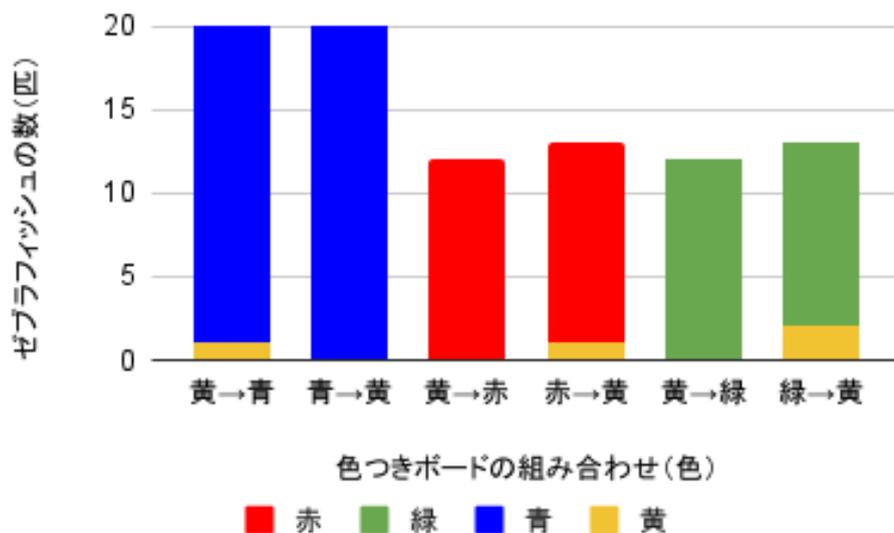


図11 (5)-3,4,5の実験におけるゼブラフィッシュが黄に行った割合と色つきボードの組み合わせ

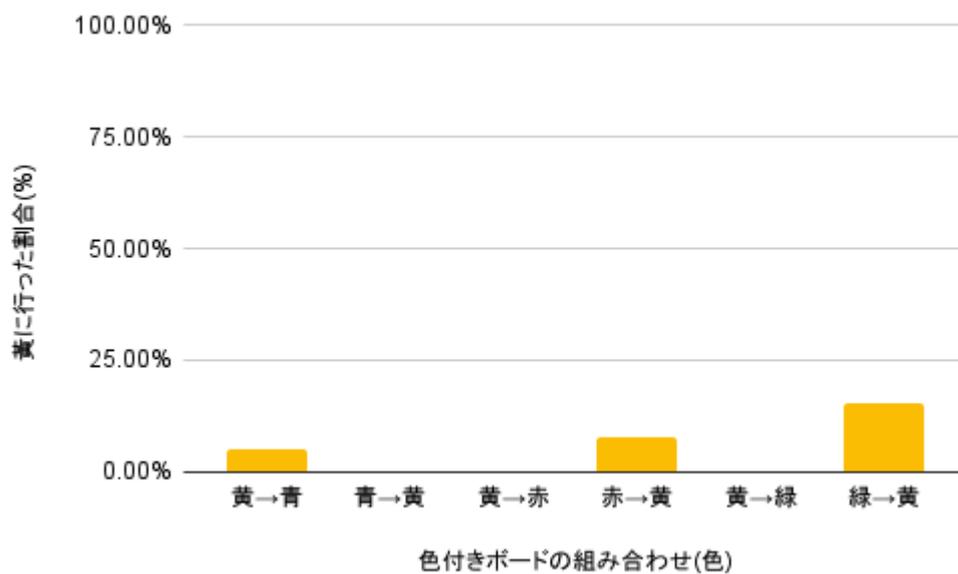


図10、11に示すように、黄-青、黄-赤では1匹を除くすべての個体がそれぞれ青、赤に行った。緑-黄では2匹を除くすべての個体が緑に行った。

表1 左右を入れ替えることによる有意差

色の組み合わせ	p値	有意差
赤と青	0.151	無
青と緑	0.376	無
黄と青	0.311	無
赤と緑	0.790	無
黄と緑	0.157	無
黄と赤	0.327	無

左右配置に有意差があるかどうかを調べるために有意水準5%でカイ二乗検定を行ったが、すべての組み合わせにおいて有意差は見られなかった。  
また、これ以降の検定はすべて有意水準5%とする。

(6) 赤-緑のT字路を用いて20匹ずつ泳がせ、赤に行った個体に赤虫を与えて、食べるまで閉じ込めた。

図12 (6)の実験におけるそれぞれの色に行ったゼブラフィッシュの数と色つきボードの組み合わせ

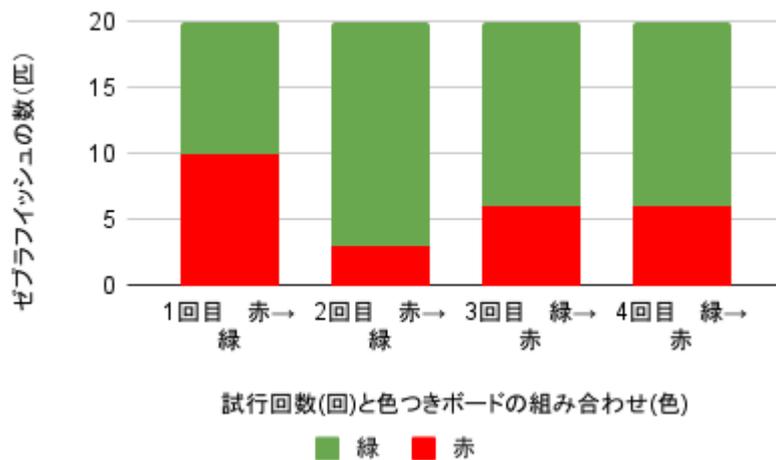


表2 1回目とその他の回の有意差

	2回目	3回目	4回目
1回目	有	無	無

有意差有りになったのは1回目から2回目にかけてのみだった。しかし、図12に示すように、3回目と4回目では2回目よりも緑に行く個体は減少したものの、1回目より緑に行く傾向が強くみられた。

(7) 黄→青のT字路を用いて21匹ずつ泳がせ、青に行った個体を2分間閉じ込めた。

図13 (7)の実験におけるそれぞれの色に行ったゼブラフィッシュの数と色つきボードの組み合わせ

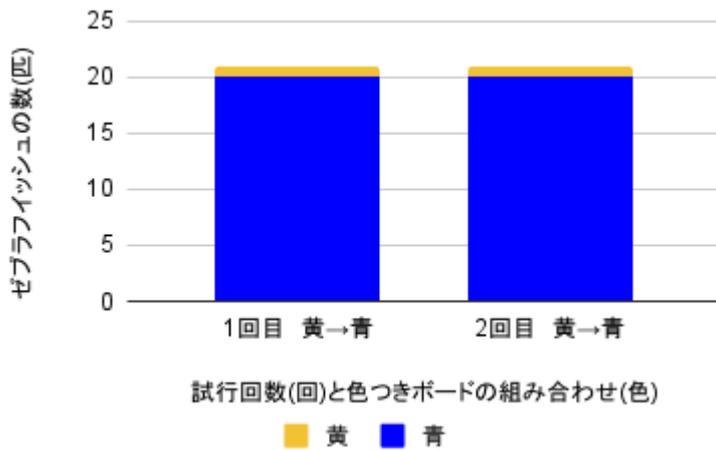


図13に示すように、1回目、2回目でも1匹を除くすべての個体が青に行った。よって、1回目から2回目にかけて明らかに有意差は無かった。

(8) 緑→赤のT字路を用いて1、2回目では21匹、3~7回目では20匹泳がせ、緑に行った個体は2分間閉じ込めた。

図14 (8)の実験におけるそれぞれの色に行ったゼブラフィッシュの数と色つきボードの組み合わせ

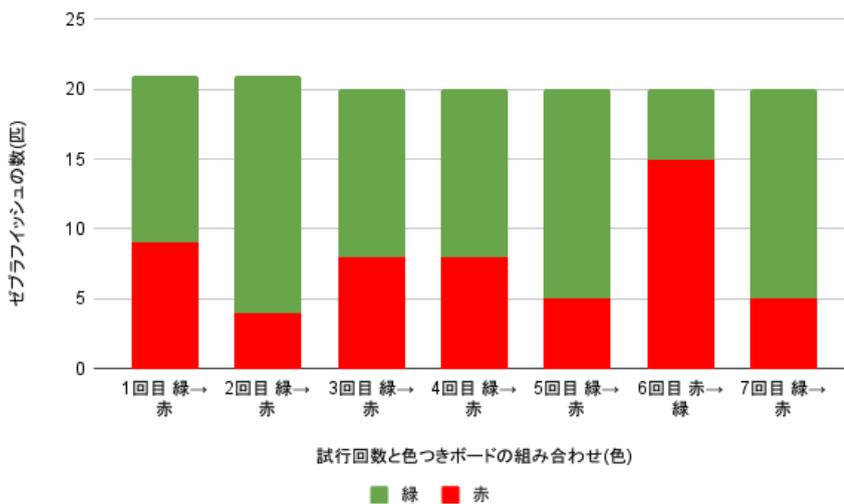


図14に示すように、誤って左右を入れ替えてしまった6回目を除くすべての実験で緑に行く傾向が強く見られた。反対に、6回目では赤に行く傾向が強く見られた。

そこで、Fisherの正確確率検定(片側検定)を行ったところ、p値は0.0003となったため、6回目とその他で有意差が有ることが分かった。

また、スピアマンの順位相関検定(片側検定)を行ったところ、スピアマンの順位相関は-0.07、p値は0.44となったため、全体として赤が増加する有意差が無いことが分かった。

(9) (8)と左右の色を入れ替えたT字路を用いて1~3回目では18匹、4~5回目では15匹泳がせ、緑に行く個体は2分間閉じ込めた。

図15 (9)の実験におけるそれぞれの色に行ったゼブラフィッシュの数と色つきボードの組み合わせ

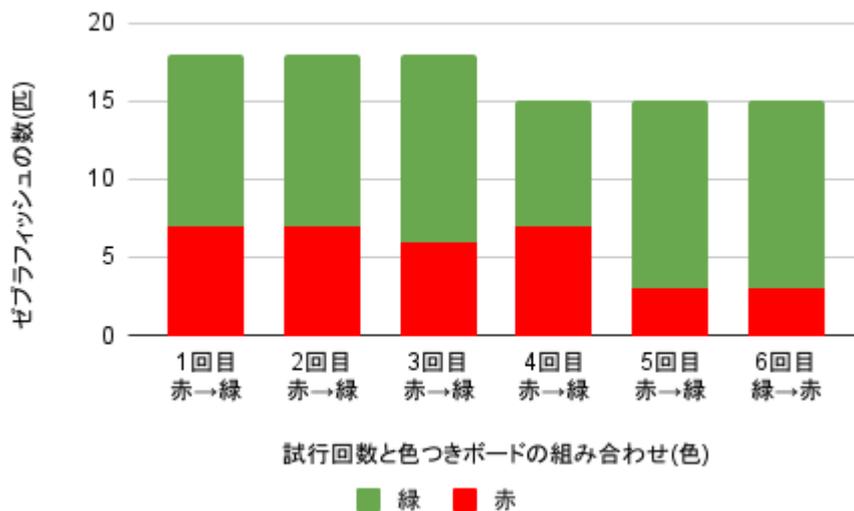


図15に示すように、左右を入れ替えた6回目も含めて、すべての実験において緑に行く傾向が強く見られた。わずかな違いではあるが、実験を重ねるにつれて赤に行く個体が減少する傾向が見られた。そこで、Fisherの正確確率検定(片側検定)を行ったところ、p値は0.12となったため、6回目とその他で有意差が無いことが分かった。

## 6. 考察

(1)ゼブラフィッシュは青を好む傾向があると分かった。しかし、赤にエサを入れると、赤の方に行く個体もいたことから、好む色でなくてもエサで誘導することが可能だと考えられる。また、水槽を回転させても結果は変わらなかったため、光の加減が影響しているとは考えにくい。

(2)この結果からこの3色の中でのゼブラフィッシュの好みを推測すると、緑、青、黄の順で好んでいると考えられる。ただ、黄-緑の結果を見ると明確な差がなかったため、より正確な結果を得るために個体数を増やして実験する必要がある。また、論文<sup>2)</sup>によると、ゼブラフィッシュの錐体感度は緑、赤、青の順で高いので今回の結果はおおむね錐体感度に沿っていると言える。

(3)どの個体も最終的には赤に行ったが、黄に行く時もあったため、黄を全く好んでいないとは言いきれない。そのため、青-緑、青-黄の組み合わせよりは好みの差が小さいと考えられる。

(4)差が大きい組み合わせだと予想していたが、実際には大きな差がなかったので、個体数を増やして再度実験する必要があると考えられる。論文<sup>2)</sup>によると、赤は緑の次に錐体感度が高いのでこれが関係している可能性がある。

(5)-1 ほとんどの個体が青に行ったため(1)と同様、青を好む傾向があると言える。しかし、(1)では全ての個体が最終的に青に行ったが、今回の実験では40匹中5匹が赤に行ったため、(1)は個体数が少なすぎたと考えられる。

(5)-2 ほとんどの個体が青に行ったため青を好む傾向があると考えられる。(2)では全ての個体が緑に行き、今回の結果とは真逆であった。そのため、(2)の個体数が少なすぎたと考えられる。また、論文<sup>2)</sup>によると青よりも緑の方が錐体感度が高いため、錐体感度の高さや色の好みは等しいとは言えない可能性がある。

(5)-3 1匹以外の個体が青に行ったため青を強く好む傾向があると考えられる。また、これまでの(5)の実験で青を含んだ全ての組み合わせの実験を行った結果からゼブラフィッシュの色の好みの傾向を推測すると、青、緑、赤、黄の順で好んでいると言える。しかし、(4)の実験と同様に緑と赤の差はほとんどないため、赤-緑(5)-6の実験をして、好みの傾向を判断する必要がある。

(5)-4 前回の実験から個体数が減ってしまったが、これまでの傾向通り、赤を好む傾向が強かった。

(5)-5 緑を好む傾向が強かったため、全ての組み合わせに置いて黄を好む傾向は見られず、1番好まれないと考えられる。

(5)-6 青と全ての色を組み合わせで比較した際には、赤と緑を好む傾向の差がほとんどなかったが、今回の結果から緑を好む傾向の方が少し大きいことが分かった。また、(5)の全ての実験の結果から、1つの色と他の3色の組み合わせで得られた好みの傾向と、その他の色同士を組み合わせで得られた好みの傾向は同じであることが分かった。さらに、論文<sup>2</sup>から分かるゼブラフィッシュの錐体感度の高さや色の好みは等しくないことや、色つきボードの左右配置に有意差がないため、左右ではなく色で判断していることが分かった。

(6) 赤虫を食べるまでその場で閉じ込めたところ緑に行く個体が増加したため、赤虫を与えたことか、その場で閉じ込めたことがストレスとなって赤を避けるようになったと考える。しかし、赤虫はゼブラフィッシュのエサであるため、その場に閉じ込められたことをストレスに感じたかと推測した。

(7) 好みの差が大きい青と黄では、青を避ける傾向は見られなかった。その場で閉じ込めている最中にゼブラフィッシュが逃げ出してしまった時もすぐに青のゾーンに戻っていたため、青を避ける傾向よりも青を好む傾向の方が強いと考えられる。よって、青と黄を使って行動を変化させることは難しいと考えられるため、次の実験では、もう一度好みの差が小さい赤と緑を使う。

(8) 誤って6回目で色つきボードの左右を入れ替えてしまったところ、赤が増加した。(5)の実験では左右の有意差はなかったが、今回の結果から考えると左右を固定して実験し続けると左右を学習し、色ではなく左右で判断することもあると考えられる。

(9) 6回目で左右を入れ替えても(8)のように赤が増加することはなかった。このことから、左右を入れ替えても全体的に緑に行く傾向があり、赤に行く個体が増加するというデータもあったが、その理由は分からなかった。

## 7. 結論

錐体感度の高さや色の好みと相関は見られず、また、左右を固定して実験を続けなければ左右に有意差は確認されなかった。

今回の実験から考えられることとして、赤虫等のエサを与えることか、その場に閉じ込め続けることはゼブラフィッシュにとってストレスになり得ること、ゼブラフィッシュには左右を学習する能力があることが挙げられる。

## 8. 今後の展望

ストレスの原因について調べ、色の好みの差とストレスの影響の関係を調べたり、色の組み合わせや実験数を変えて、左右を学習するかどうか調べる。また、発光させるなどして色の印象を強めることで学習させやすくなると考えられる。

## 9. 参考文献

- 1.理化学研究所 2024 ゼブラフィッシュの空間学習機能を実証 理化学研究所webサイト  
[https://www.riken.jp/press/2024/20240930\\_2/index.html](https://www.riken.jp/press/2024/20240930_2/index.html) (2026/1/12閲覧)
- 2.Shinya Sato,Vladimir J Kefalov. 2025 Characterization of zebrafish rod and cone photoresponses  
<https://www.nature.com/articles/s41598-025-96058-8> (2026/1/12閲覧)
- 3.Colwill et al. 2005 Visual discrimination learning in zebrafish  
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15967284/> (2026/1/12閲覧)
- 4.Margarette Sison et al. Behav Brain Res. 2010 Associative learning in zebrafish (Danio rerio) in the plus maze  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0166432809005877>  
(2026/1/12閲覧)

# 渦輪の維持について

神奈川県立厚木高等学校  
2年 AB組 β 13班

## 1. 要旨

渦輪はその特徴を消火活動に活かせると考えられている。本研究では渦輪をより遠くまで飛ばすことを目的とした。水の温度、加える圧力を変え、水中でストロー、注射器を用いて色素で着色した渦輪を発生させて移動した距離、時間を計測した。その結果、温度差とは負の相関関係が認められたが、圧力とはグラフに関係性がみられるものの負の相関関係は認められなかった。結論として、温度差は小さいほど維持し、圧力とは線形関係でない可能性がある。

## 2. 背景・目的

渦輪は物質、熱を拡散させずに遠方まで運べる特徴がある。そのことから渦輪を維持することで安全な消火活動に活かせるのではないかと考えられている<sup>1,2</sup>。



図1 空気砲による渦輪

## 3. 仮説

水温や圧力によって渦輪が維持される時間に変化が起こる。

## 4. 方法

- ①水中で注射器またはプラスチックストローを用いて色素で着色させた渦輪を発生させる。
- ②渦輪の大きさ、速度、維持の時間をスマートフォンのカメラを用いて測る。
- ③条件を変えて測定。

### 条件

- ・水温: 渦輪本体の水の温度に変化をつけ比較をする。ストローに印をつけ、そこまで着色した水を入れて落下させ、圧力が一定になるようにする。
- ・圧力: 注射器に着色した一定量の水をいれ、フォースゲージで注射器を押して加えた力の大きさを計測する。
- ・維持の定義  
維持は大きさを維持し移動している状態のことを維持していることとする。

## 5. 結果

### 水温

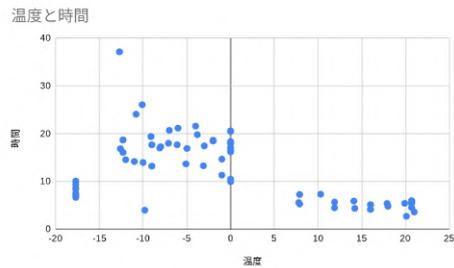
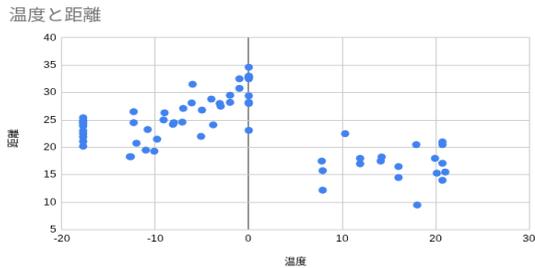


図2 温度差(°C)と進んだ距離(cm)

図3 温度差(°C)と持続した時間(s)

### 力

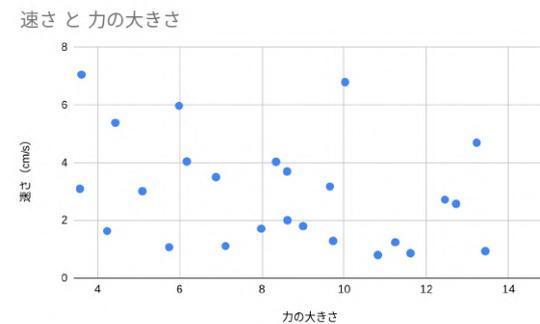
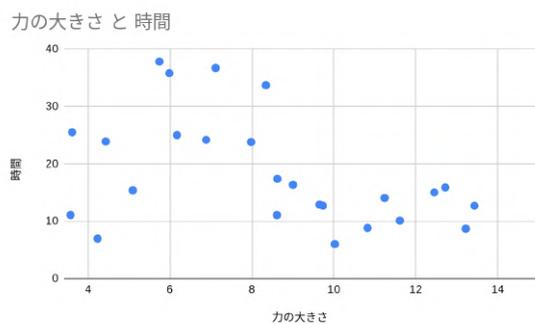


図4 力の大きさ(N)と持続した時間(s)

図5 力の大きさ(N)と速度(cm/s)

## 6. 考察

温度差の絶対値と距離、時間のそれぞれの相関係数とその有意性の片側t検定の結果は

距離 相関係数  $-0.715$  強い負の相関  $p=7.72 \times 10^{-12}$  有意な相関がある

時間 相関係数  $-0.583$  負の相関  $p=9.07 \times 10^{-8}$  有意な相関がある

ここから渦輪は自身と周囲との温度差が小さいほど維持すると推測される。

圧力と時間、距離のそれぞれの結果は

時間 相関係数  $-0.431$  負の相関  $p=0.0157$  有意な相関がある

距離 相関係数  $-0.325$  弱い負の相関  $p=0.0562$  有意な相関があると言えない

ここから渦輪を作る圧力と維持に線形関係はないと推測される。

しかし力が6~8 Nで維持する時間が最も長いので非線形関係の可能性はある。

## 7. 結論

渦輪と周囲の温度差

→小さいほど維持する

渦輪の維持と作る力の大きさ

→弱い負の相関関係

相関係数だけでは評価できない可能性がある

## 8. 今後の展望

- 渦輪の維持と他の要素(水の粘度等)の関係性を調べる。
- 力の大きさが渦輪の維持にどのように関係するかを非線形関係である可能性も考慮し調べる。
- 空気中でも同様に関係性があるか調べる。

・大きな水槽での規模の大きい実験を行う。

## 9. 参考文献

図1, ひまじん日記【科学実験】空気砲① 渦輪を見よう

<http://himajin.moe-nifty.com/blog/2022/07/post-35c335.html> 2025年6月19日閲覧

1, Pict-Labo シャボン玉＋渦輪＝カプセル消去法

<https://www.mirai-kougaku.jp/pictlabo/pages/190920.php> 2025年6月19日閲覧

2, 赤木 富士雄 周期的に連続生成させた渦輪を用いて気体、物質および熱を拡散させずに輸送する技術の開発とその応用

[https://www.sanchi.fukuoka-u.ac.jp/sangakukan/kenkyu/seeds/tm\\_akagi\\_201803006.pdf](https://www.sanchi.fukuoka-u.ac.jp/sangakukan/kenkyu/seeds/tm_akagi_201803006.pdf) 2025年6月19日  
閲覧

# 同調性バイアスによる投票行動への影響分析

神奈川県立厚木高等学校  
2年 A,B組 β 14班

## 1. 要旨

近年、若年層の選挙の投票率の減少が問題視されている。この問題の解決策の1つを提示するため、同調性バイアスを用いることで若年層の投票率が上昇するのか検討した。実験群と対照群にてそれぞれ模擬選挙を実施し有意差を測定した結果、同調性バイアスは若年層の選挙の投票率の上昇に有意であると示された。

## 2. 背景・目的

神奈川県厚木市によると市内における選挙の投票率は年々低下しており、投票率の向上が現在の課題となっている<sup>1</sup>。過去に行われた選挙の投票率の推移を詳しく調べていく中で年代別投票率に注目すると、10代から20代の若年層の投票率が低迷していることが判明した<sup>2</sup>。

そこで我々は「厚木市議会議員選挙における若年層の投票率向上」に焦点を当て、校内での模擬選挙による比較実験を行った。

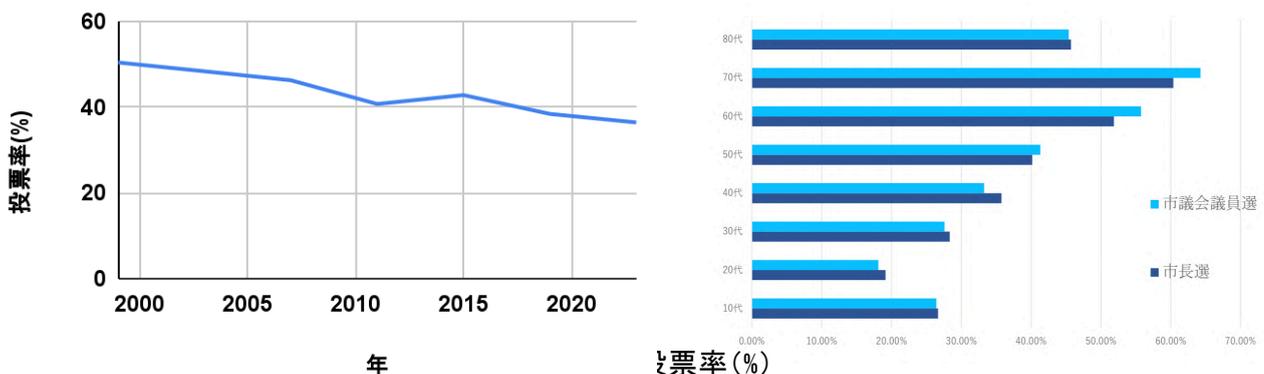


図1 厚木市議会議員選挙の投票率推移(%)<sup>1</sup>

図2 厚木市長選挙と厚木市議会議員選挙の年代別投票率(%)<sup>2</sup>

## 3. 仮説

先行研究では、若年層(先行研究内では大学生)の約75%が同調性バイアスの影響を受けたことを示した<sup>6</sup>。よって同調性バイアスを利用し義務感を刺激することで、若年層の投票率が上昇するという仮説を立てた。

## 4. 方法

以下2つの実験を行った。

### I 投票率の途中開示による模擬選挙実験

1. 実験群[1]と対照群[1]をそれぞれ1学級無作為に設定し、模擬選挙を実施する。
2. 実験群[1]でのみ、毎朝その時点の投票率として恣意的な投票率を開示する。
3. 実験群[1]、対照群[1]間の投票率に有意差があるか、カイ二乗検定を用いて検討する。
4. 実験群[1]でのみ「投票率がどの程度であれば自分も投票に行こうと感じるか」というアンケートを実施する。

### II 投票の意思表示による模擬選挙実験

1. 実験群[2]と対照群[2]をそれぞれ1学級無作為に設定し、模擬選挙を実施する。

2. 実験群[2]でのみ投票を意思表示するサクラを設定し、投票への宣言を促す。
3. 実験群[2]、対照群[2]間の投票率に有意差があるか、カイ二乗検定を用いて検討する。
4. 実験群[2]の投票した人にものみ「他人の投票の意思表示が投票の動機になったか」というアンケートを実施する。

また両実験とも、共通して以下の設定により行った。

- ・投票日は実際の厚木市議会議員選挙を参考にし、選挙告示の翌日から6日間を期日前投票日、7日目を投票日とする。
- ・選挙公報は対象クラスに掲示し、また対象クラスの生徒全員に配布する。
- ・教職員による投票率への影響を考慮し、各クラスの担任には一切の本研究に関わる話題を避けていただく。
- ・投票所は実際の選挙を参考に、期日前投票期間中は人の往来が多い階段付近の渡り廊下、投票日は社会科教室に設置する。
- ・期日前投票はホームルーム終了後60分、本投票はホームルーム終了後90分間行う。
- ・集計作業を省略するため、投票形式はGoogleフォームを使用する。

## 5. 結果

### I 投票率の途中開示による模擬選挙実験

投票	した	しなかった	合計
実験群[1]	18	23	41
対照群[1]	10	30	40

表1 実験 I の模擬選挙結果(人)

自由度=1、信頼区間=95%でカイ二乗検定を行った結果、 $p$ 値=0.07で有意差は認められなかった。

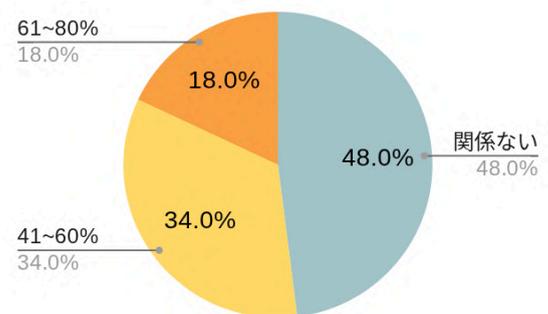
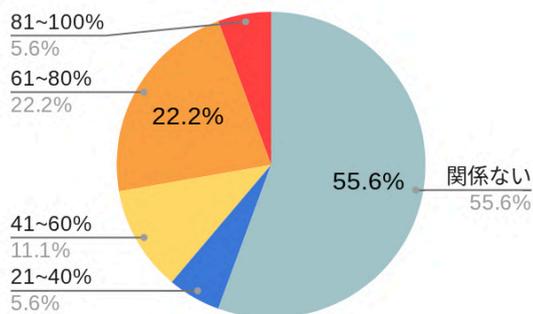


図3 実験 I 模擬選挙後アンケート結果(投票した人) (回答者18人)

図4 実験 I 模擬選挙後アンケート結果(投票していない人) (回答者15人)

図3,4より、自身の投票行動は事前の投票率に影響されないという回答が最も多く集まった。また、投票に参加した人と参加しなかった人で2番目に多い回答が別れる結果になった。

### II 投票の意思表示による模擬選挙実験

投票	した	しなかった	合計
実験群[2]	15	20	35
対照群[2]	4	36	40

表2 実験Ⅱの模擬選挙結果(人)

自由度=1、信頼区間=95%でカイ二乗検定を行った結果、 $p$ 値 $\approx 0.0011$ で有意差は認められた。

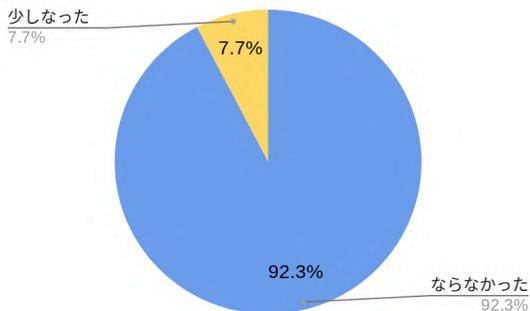


図5 実験Ⅱ模擬選挙終了後のアンケート結果(回答者15人)

図5より、アンケートでは同調性バイアスの影響を否定する回答がより多く集まった。

## 6. 考察

実験Ⅰでは $p$ 値が0.05に近く、有意差は認められなかったものの傾向が示唆された。最終的に開示した投票率が30%であったにも関わらず、図3より、投票に参加した人が40%以上と回答したのには矛盾が発生する。したがってこの結果が有権者の行動を正確に反映したのか疑問が残る。またこの矛盾は、アンケートを模擬選挙後に実施したために有権者が投票の理由を再構築してしまったのではないかと考える。他にも、図3,4より、事前の投票率が60%以上で投票に行くとの回答も見受けられるが、60%以上という値は日本における実際の選挙と比較して現実的な数値とかけ離れており、かえって違和感を感じてしまうと思われる。したがって、効果と再現性を両立できる範囲として、事前の投票率=40%~60%を妥当な候補間として位置付ける。

実験Ⅱでは有意差が認められ、実験Ⅰより大きな効果があることが示唆された。しかし図5より、アンケートでは同調性バイアスの影響を否定する回答が多く集まったことについて、本来同調性バイアスは無意識化に働くため有権者がバイアスを自覚していなかったことが考えられる。またいずれかの集団の模擬選挙へのモチベーションに偏りがあったことや、同調性バイアスではなく投票への潜在意識を刺激してしまったことが考えられる。

また、異なる同調性バイアスの加え方を試みた両実験のサンプルを合算させた。

投票	した	しなかった	合計
実験群[1]・[2]	33	43	76
対照群[1]・[2]	14	66	80

表3 実験Ⅰ、実験Ⅱの模擬選挙の結果を合算させた結果(人)

自由度=1、信頼区間=95%でカイ二乗検定を行った結果、 $p$ 値 $\approx 0.0005$ で有意差は認められた。2つの実験のサンプル数を合算させたことで、より正確な値が検出されたと考える。

## 7. 結論

本研究において、実験Ⅰ、実験Ⅱの手法によって同調性バイアスを用いることは若年層の選挙の投票率を有意に上昇させた。しかし、模擬選挙を行った際集団の分母が小さく、集団特有のノイズが結果に反映されてしまった可能性は否めない。また図1~3にて、アンケートでは同調性バイアスの影響を否定する回答が多く、アンケートの文言など手法を改め再度実験が必要である。

## 8. 今後の展望

今後の課題として、主にアンケートの実施方法が挙げられる。実験Ⅰでは我々の意図が被験者に正確に伝わらなかったのに加え、実験Ⅱでは同調性バイアスの影響を否定する回答が多かった一方、有意差が認められたことから正確に意図を伝える文言や潜在意識を正確に測定する手法の検討が重要であると考えられる。また、集団ごとの特有のノイズを排除するため対象とする群を増やし、結果の再現性を高めることが望まれる。

本研究で得られた同調性バイアスが若年層の投票率を上昇させるのに有意であるという結果を厚木市に共有するとともに、市という巨大な集団における可能な再現範囲や、応用の手法を検討していきたい。

## 9. 謝辞

本研究を遂行するにあたってご協力いただいた厚木市選挙管理委員会事務局の皆様、深く御礼申し上げます。

## 10. 参考文献

1.厚木市 選挙結果:市議会議員選挙(平成15年から令和元年まで)

<https://www.city.atsugi.kanagawa.jp/soshiki/senkyokanriinkai/10/1/index.html>

(2025年5月15日閲覧)

2.厚木市企画部企画制作課長 占部正子 厚木市の取り組みについて

[google.com/url?sa=D&q=https://x.gd/INzNS&ust=1769668080000000&usg=AOvVaw1iRvYNP1Fw1BLakz6rbJt1&hl=ja](https://x.gd/INzNS&ust=1769668080000000&usg=AOvVaw1iRvYNP1Fw1BLakz6rbJt1&hl=ja)

(2025年5月15日閲覧)

3.全国都道府県議会議長会事務局 投票率向上に向けた課題に関する調査研究 報告書

[https://www.gichokai.gr.jp/attach/b13/B13s\\_56\\_1hontai.pdf](https://www.gichokai.gr.jp/attach/b13/B13s_56_1hontai.pdf)

(2025年5月15日閲覧)

4.統計WEB 2-1.分析ツール t検定 z検定

<https://bellcurve.jp/statistics/course/23310.html?srsltid=AfmBOoovek3we7OnG4vf8Qfz7N3CY9Qfzjq77hhnJaoBcDIC7Clzh7t>

(2025年6月2日閲覧)

5.日本バーチャルリアリティ学会 VR空間における同調性バイアスを考慮した避難行動トレーニングシステムの開発と評価

<https://conference.vrsj.org/ac2023/program/doc/2C1-04.pdf>

(2025年6月2日閲覧)

6.やさびと心理学 アッシュの同調実験とは?心理学の意味医・実験内容・結果をわかりやすく解説

<https://yasabito.com/11361>

(2025年6月4日閲覧)

7.論文 バンドワゴンタイプ有権者と投票率

[https://www.istage.jst.go.jp/article/pcs1981/2008/50/2008\\_50\\_13/\\_pdf/-char/ja](https://www.istage.jst.go.jp/article/pcs1981/2008/50/2008_50_13/_pdf/-char/ja)

(2025年6月4日閲覧)

8.Geogr A. Miller(1956)『The Magical Number Seven plus or Minos Two』APA

# スマホの画面の明るさと目の疲れ方の関係

神奈川県立厚木高等学校  
2年A・B組 β15班

## 1. 要旨

私達は日常生活にとっても身近なスマホの使用による身体的影響に関心を持った。本実験は、「スマホ画面の明るさと視聴する環境によってどれほど目に疲労が蓄積するか」という疑問を明らかにすることを目的として行った。スマホの画面と部屋の照度をそれぞれ明暗組み合わせ、その中でスマホを視聴する。視聴前と後で自分の目の疲労度に関する質問10題をそれぞれ5段階評価してもらい項目ごとの平均値をその人の疲労度としたとき、暗い部屋で明るい画面のスマホを視聴した場合が一番疲労度が高いという結果が得られた。これにより暗い部屋で明るい画面のスマホをみた場合が一番人の目に負担をかけることがわかった。

## 2. 背景・目的

近年、スマートフォンは私達の日常生活に広く普及し、長時間利用する人が増えている。それに伴い目の疲れや痛み、視界のぼやけなどの症状を感じる人も多い。スマートフォンによる目の疲労には使用時間だけでなく、画面の明るさや周りの環境も大きく関係していると考えられるが正確な根拠については十分に理解されていない。そこで本実験では、スマートフォンの画面の明るさと周りの明るさを変えた場合に目の疲れ方にどのような違いが生じるのかを調べ、目に負担の少ない使用条件について考えることを目的とする。

## 3. 仮説

周囲の環境の明るさとスマートフォン画面の明るさの差が大きいほど、目にかかる負担は大きくなり、目の疲れを感じやすくなると考える。特に、暗い環境で明るい画面を使用した場合や明るい環境で暗い画面を使用した場合など、極端にどちらかを明るくしもう一方を暗くした場合に目の疲労度が強くなると予想される。一方で、周囲の明るさに近い明るさに画面を調節した場合には、目の疲労度は少なくなると考えられる。

## 4. 方法

### 1. 被験者

本実験では被験者数は25名とした。被験者の条件として、裸眼であるもの、または眼鏡・コンタクトレンズにブルーライトカット機能を含まないものを使用する者に限定した。これは、ブルーライトカットの有無が目の疲労に与える影響を排除するという先行研究をもとにしたもので、スマートフォン画面の明るさおよび部屋の明るさのみが結果に反映されるようにするためである。

### 2. 実験条件

実験で使用するスマートフォンは、機種による画面特性の差をなくすため、全被験者で同一の機種を用いた。スマートフォン画面の明るさは、「明」「暗」の二段階とし、それぞれ最大輝度および最小輝度に設定した。また、視聴時間はすべて15分に統一した。

視聴する内容はショート動画とし、定期的に画面が変化するようにすることで、動画の内容や色彩による明るさの差が実験結果に影響を及ぼすことを抑えた。視聴環境としては、遮光カーテンを用いて外光の影響を受けない部屋を使用し、電灯を点灯した「明るい部屋」と消灯した「暗い部屋」の2条件に設定した。また、本実験では部屋の中での明るさに違いが出ないよう、89lxとなる部屋の真ん中の座席に被験者を座らせ、スマホ画面は机に固定して立てることでスマホ画面と目の距離を一定にした。

### 3.被験者の分類

被験者は以下の4条件すべてを体験した。なお、各条件は同一の被験者が行い、条件間で人数差が生じないようにした。

- A. 部屋が明るく、スマートフォン画面が明るい条件
- B. 部屋が明るく、スマートフォン画面が暗い条件
- C. 部屋が暗く、スマートフォン画面が明るい条件
- D. 部屋が暗く、スマートフォン画面が暗い条件

### 4.実験の流れ

被験者には、明るい部屋および暗い部屋において、画面が明るいスマートフォンと暗いスマートフォンをそれぞれ15分間ずつ、計4回ショート動画を視聴してもらった。各条件の視聴が終了した直後に、目の疲労度を調べるためのアンケートに回答してもらった。

### 5.分析方法

本実験に先立ち、班員4名で事前実験を行い、実験手順および質問内容の妥当性を確認した。分析は主観評価と生理的評価の2つの観点から行った。主観評価では、Googleフォームを用いて目の疲れに関する10項目の質問を実施し、各質問に対して5段階評価で回答させた。評価は「とても感じる」を5点、「まあまあ感じる」を4点、「少し感じる」を3点、「特に感じない」を2点、「よくわからない」を1点とし、各項目の平均点を算出した。点が高いほど目の疲労を強く感じているものとした。各条件ごとに平均値を算出し、スマートフォン画面の明るさおよび部屋の明るさによる違いを比較した。

#### 質問項目一覧

- ①目が乾く ②まぶたを押すと痛い ③目の奥に痛みを感じる
- ④遠くを見るとぼやける ⑤頭痛を感じる ⑥めまいを感じる
- ⑦意識的に瞬きをしたくなる ⑧目の周りが熱く感じる
- ⑨首や肩が凝る ⑩全身がだるくて疲労感がある

## 5. 結果

### 1.主観評価の結果

表2より「暗い部屋で明るいスマホ」の条件において、全10項目中8項目で平均値が4.0を超え、最も高い疲労度を示した。特に「⑤頭痛を感じる」や「①目が乾く」、「⑩全身がだるくて疲労感がある」の数値が顕著に高かった。一方で、スマホの画面を暗くした条件においては、多くの項目で数値が低く抑えられた。特に「⑦意識的に瞬きをしたくなる」や「④遠くを見るとぼやける」については、画面が明るいときと比較して著しく低い値となった。

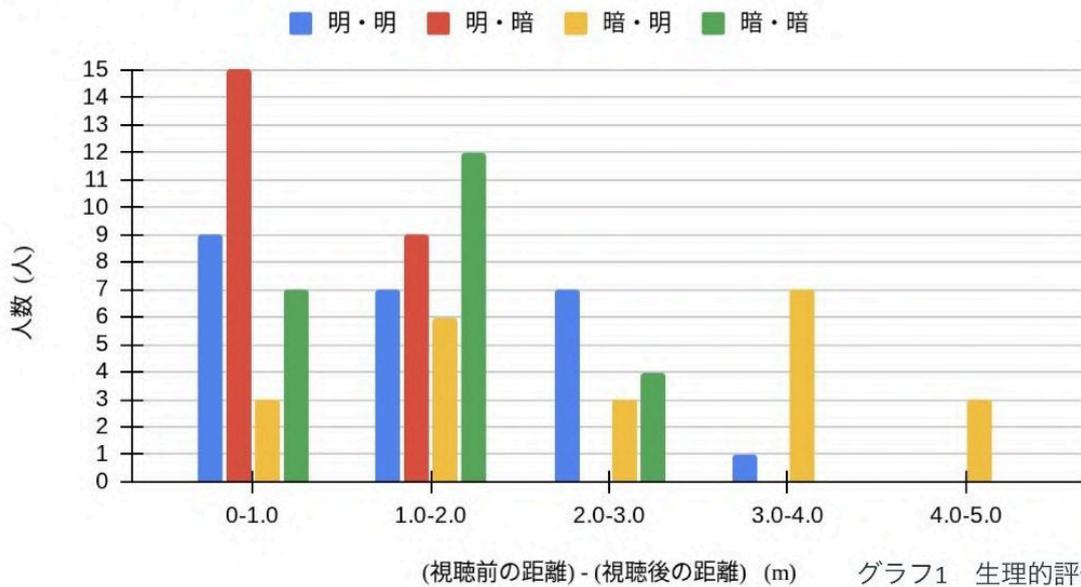
	明・明	明・暗	暗・明	暗・暗
項目①	3.2	2.1	4.8	2.5
②	2.8	1.8	4.2	2.2
③	3.5	3.0	3.8	3.1
④	1.5	1.2	2.9	1.4
⑤	3.0	1.5	4.1	2.0
⑥	2.5	2.0	4.1	2.3
⑦	1.2	1.1	2.5	1.2
⑧	3.8	3.5	4.0	2.6
⑨	3.1	2.4	4.3	2.8
⑩	2.9	2.0	4.5	2.2

表1 主観評価の項目別の結果

## 2.生理的評価の結果

生理的評価では、スマートフォン視聴前後の視力の変化量を比較した。その結果をグラフ1に示す。暗い部屋で明るいスマートフォンを視聴した条件(暗・明)では、視聴後に視力が大きく低下した被験者が多く、距離の差が3.0～4.0m以上となる割合も他の条件と比べて高かった。一方、スマートフォン画面が暗い条件(明・暗、暗・暗)では、視力の変化が0～2.0mの範囲に収まる被験者が多く、大きな視力低下はあまり見られなかった。この結果から、生理的な面においても、暗い部屋で明るいスマートフォン画面を視聴した場合に、目への負担が大きくなる傾向が確認された。

## 部屋の明暗・画面の明暗



### 6. 考察

本実験の結果から、スマートフォン画面の明るさと部屋の明るさの差が大きいほど、目の疲労が強くなることが示唆された。特に、暗い部屋で明るいスマートフォンを使用した条件では、主観評価・生理的評価の両方において最も大きな変化が見られた。これは、周囲が暗い状態で明るい画面を見ると、瞳孔が大きく開いた状態で強い光を受けることになり、目の調節機能に大きな負担がかかるためであると考えられる。

また、画面の輝度が高いことで、網膜への刺激が強くなり、視力の一時的な低下や疲労感につながった可能性がある。一方、スマートフォン画面を暗く設定した条件では、部屋の明るさにかかわらず疲労度が低く、視力の変化も小さかった。

このことから、画面の明るさを周囲の環境に合わせて下げることが、目の疲労軽減に有効であると考えられる。以上より、スマートフォンを使用する際には、特に暗い環境で画面を明るくしすぎないことが重要であり、適切な明るさ調整が目の健康を守る上で有効であると結論づけられる。

### 7. 結論

本実験では、スマートフォン画面の明るさと部屋の明るさが目の疲労に与える影響について検証した。その結果、暗い部屋で明るいスマートフォン画面を視聴した条件において、主観評価・生理的評価の両面から最も目の疲労が大きくなることが明らかになった。一方、スマートフォン画面を暗く設定した場合には、部屋の明るさにかかわらず疲労度が低く、視力の変化も比較的小さかった。以上のことから、目の疲労はスマートフォン画面の明るさそのものだけでなく、周囲の明るさとの明暗差によって大きく影響を受けると結論づけられる。特に、暗い環境で画面を明るくしすぎる使用方法は、目に強い負担を与えるため注意が必要である。

### 8. 今後の展望

本実験では、スマートフォン画面の明るさを2段階で比較したが、今後は中間的な明るさを含めた複数段階での比較を行うことで、目に最も負担の少ない明るさの範囲をより詳細に明らかにできると考えられる。また、視聴時間を15分間に固定したが、使用時間を延ばした場合の疲労の蓄積や回復の様子を調べる

ことで、長時間使用時の影響についても検討できる。さらに、ブルーライトカット機能の有無や、ナイトモードの使用による違いを比較することで、より実生活に即したスマートフォンの使用方法についての提案が可能になると考えられる。これらの点を改善・発展させることで、スマートフォン使用による目の疲労を軽減するための、より具体的で実用的な指針を示すことができると考えられる。

## 9. 参考文献

日本人間工学会大会講演集 <https://doi.org/10.14874/jergo.42spl.0.426.0> 2025年6月19日

眼精疲労度チェック <https://www.taisho-kenko.com/check/296> 2025年6月19日

# クロロフィルの抽出と保存方法の検討

神奈川県立厚木高等学校  
2年 AB組 β16班

## 1. 要旨

本研究では、植物からクロロフィルを抽出し、その抽出の可否、抽出液中に占めるクロロフィル由来成分の相対的割合、および保存性を評価することを目的とした。実験①ではアセトン抽出法を用い、吸光度測定によりクロロフィルaおよびbが抽出されていることを確認するとともに、吸光度データから抽出液中に占めるクロロフィル由来成分の相対的割合を定量的に評価した。実験②では先行研究に基づく抽出法を適用し、アセトン抽出法と比較してクロロフィル由来成分の割合が高い抽出液が得られることを明らかにした。さらに実験③では、抽出液を常温、冷蔵、冷凍条件で保存し、吸光度測定により保持状態を比較した結果、低温保存、特に冷凍保存においてクロロフィルの吸光特性が最も良好に維持されることが示された。以上より、クロロフィルの抽出にはアセトン抽出法が有効であり、先行研究法によって抽出液中のクロロフィル由来成分の割合を高めることが可能であること、また抽出後は低温保存が最適であることが示された。本研究の成果は、クロロフィルの抽出・保存技術の確立や、将来的な発電への応用に有用である。

## 2. 背景・目的

実験テーマについて調べる中で、クロロフィルは光励起によって電子移動が生じる物質であることが明らかとなった。さらに調査を進める中で、現在、大学や企業などにおいてクロロフィルを利用した研究が進められていることが分かった。そこで、環境に害を及ぼす外来種や雑草などからクロロフィルを採取することができれば、環境問題への貢献につながるのではないかと考えた。また、来年度ヴェリタスにおいてクロロフィルを用いた実験を行う際にも、有効に活用できるのではないかと考え、本研究に取り組んだ。

## 3. 方法

### ①クロロフィルの抽出について

アセトン抽出法(実験①)及び、先行研究[Isolation of Chlorophyll a from Spinach Leaves]の実験方法(実験②)で、ホウレンソウ(*Spinacia oleracea*)、タンポポ(*Taraxacum*)、セイタカアワダチソウ(*Solidago canadensis*)の抽出液を採取する。その後、分光光度計を用いて2つの実験で採取したサンプルの吸光度を測り、先行研究(表1)に記載されている純粋なクロロフィルの吸光度とそのサンプルの吸光度を照らし合わせることで、純度を推定する。

### ②クロロフィルの保存方法について

明るさ、気温、溶媒の条件を変えて保存する。そして、それぞれの保存方法で保存したサンプルの吸光度を測ることで、その結果からどれだけクロロフィルが保存されているかを調べる。(実験③)。

	クロロフィルa		クロロフィルb	
吸光剤	ミリモラー吸光係数[ $\epsilon$ □M]	特異吸光係数[ $\alpha$ ]	ミリモラー吸光係数[ $\epsilon$ □M]	特異吸光係数[ $\alpha$ ]

	クロロフィルa		クロロフィルb	
緩衝80%水性アセトン( pH7.8)	76.79	85.95	9.79	10.78
N,N'-ジメチルホルムアミド(DMF)	79.29	88.74	12.03	13.26
メタノール	71.43	79.95	20.20	22.26

表1 クロロフィルa 及び b の正確なモル吸光係数

#### 4. 結果

実験①のそれぞれの抽出液の吸光度の結果は、以下の通りである。

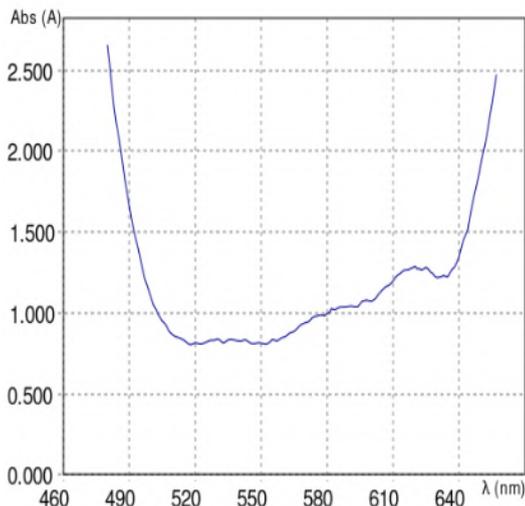


表2 ホウレンソウ抽出液の吸光度

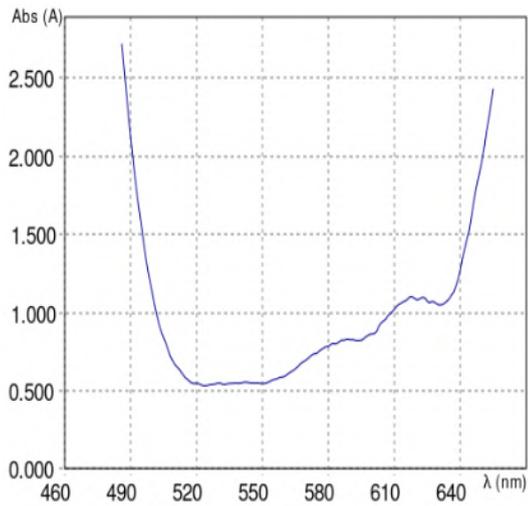


表3 タンポポ抽出液の吸光度

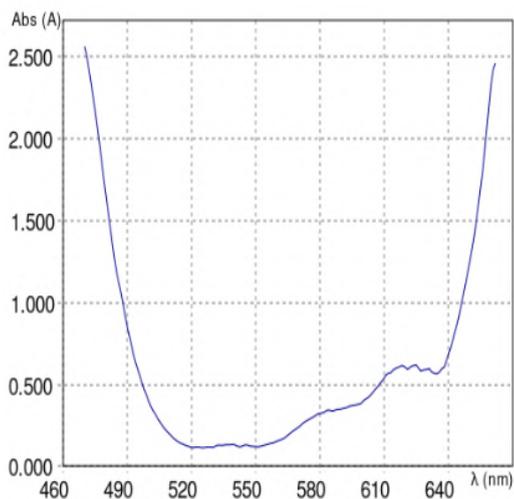


表4 セイタカアワダチソウ抽出液の吸光度

実験②の抽出液の吸光度の結果は、以下の通りである。

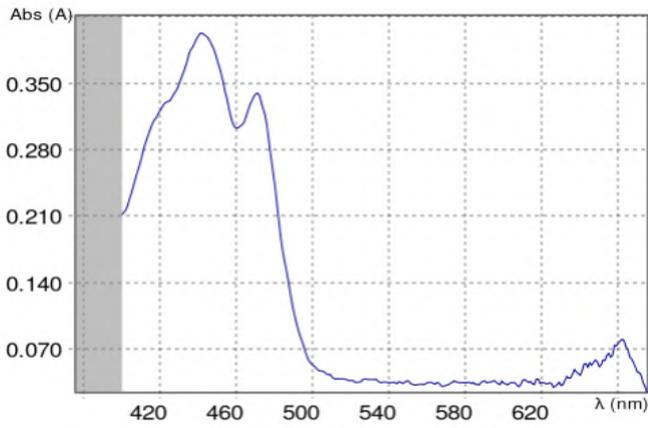


表5 セイタカアワダチソウ抽出液の吸光度

実験③の保存状態別の吸光度の結果は、以下の通りである。

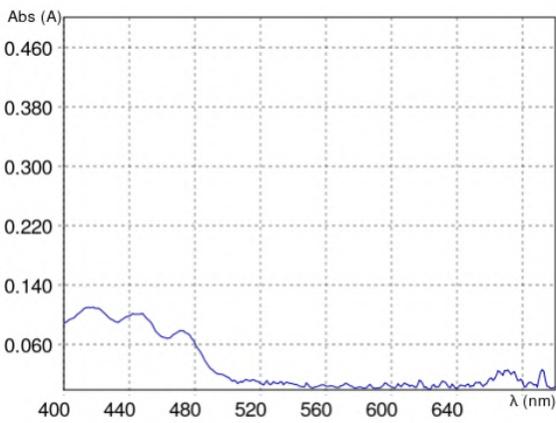


表7セイタカアワダチソウの常温保存

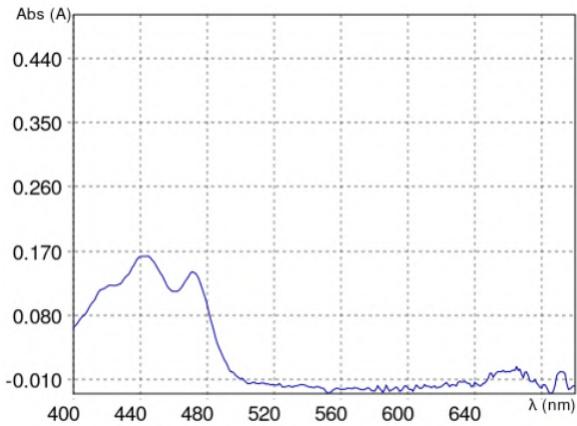


表8セイタカアワダチソウの冷凍保存

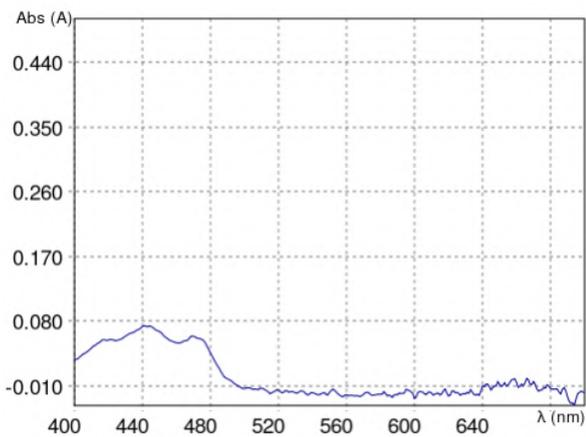


表9 セイタカアワダチソウ冷蔵保存

## 5. 考察

実験① アセトン抽出法によるクロロフィル抽出の可否の検証

実験①では、アセトン抽出法によって植物試料からクロロフィルが抽出できたかどうかを、吸光度測定によって評価した。得られた抽出液の吸光度スペクトルでは、400 nm付近および650 nm付近に吸光度の増加が確認された。これらの波長域は、先行研究で報告されているクロロフィルaおよびbの吸収特性と一致しており、抽出液中にクロロフィルが含まれていることを示している。さらに、分光光度計で測定した吸光度に対して、ミリモラー吸光係数 ( $\epsilon$  □M) および特異吸光係数 ( $\alpha$ ) を適用し、クロロフィルaおよびbの濃度を算出した。その結果、抽出液中に占めるクロロフィルa由来成分の相対的割合は約78%、クロロフィルb由来成分の相対的割合は約12%であることが確認された。残りの割合については、クロロフィル以外の色素成分や測定誤差が含まれていると考えられる。この結果から、アセトン抽出法はクロロフィルを抽出する方法として有効であり、吸光度測定を用いることで、抽出の可否に加えて抽出液中のクロロフィル由来成分の相対的割合を評価できることが示された。

#### 実験② 先行研究に基づく手法によるクロロフィル抽出の可否および純度の評価

実験②では、先行研究に基づく抽出手法を用い、実験①と同様に植物試料からクロロフィルが抽出できたかどうかを吸光度測定によって評価した。得られた抽出液の吸光度スペクトルにおいては、420 nm付近および650 nm付近に明確な吸光度の増加が観察され、クロロフィルaおよびbの吸収特性と一致していたことから、クロロフィルが抽出されていることが確認された。さらに、吸光度データに対してミリモラー吸光係数 ( $\epsilon$  □M) および特異吸光係数 ( $\alpha$ ) を適用した結果、抽出液中に占めるクロロフィルa由来成分の相対的割合は約82%、クロロフィルb由来成分の相対的割合は約15%であると算出された。残差は、クロロフィル以外の成分や測定誤差に起因すると考えられる。これらの結果から、実験②で得られた抽出液では、実験①と比較してクロロフィル由来成分の割合が高く、他成分の寄与が相対的に小さいことが示された。以上より、先行研究に基づく抽出法は、アセトン抽出法と比較して、抽出液中のクロロフィル由来成分の割合を高めることができる手法であると判断できる。

#### 実験③ 保存条件の違いによるクロロフィルの保持状態の検証

実験③では、抽出したクロロフィルを異なる保存条件(常温保存、冷蔵保存、冷凍保存)で保存し、保存条件の違いがクロロフィルの保持状態に与える影響を、吸光度測定によって評価した。その結果、冷凍保存した抽出液では、420 nm付近および650 nm付近において吸光度のピークが確認され、クロロフィルaおよびbに由来する吸収特性が維持されていた。一方、冷蔵保存では同様の波長域に吸光度のピークは認められたものの、冷凍保存と比較すると吸光度は低下していた。さらに、常温保存ではクロロフィルの吸収波長域における吸光度が著しく低下し、吸収ピークの不明瞭化が確認された。これらの結果から、保存温度が低い条件ほど、抽出液中のクロロフィル量、あるいはクロロフィルとしての吸収特性が保持されることが明らかとなった。

## 6. 結論

本研究では、植物からクロロフィルを抽出し、その抽出の可否、抽出液中に占めるクロロフィル由来成分の相対的割合、および保存性について評価を行った。その結果、以下のことが明らかとなった。

① アセトン抽出法および先行研究に基づく抽出法のいずれにおいても、吸光度測定によりクロロフィル

aおよびbが抽出されていることが確認された。

② 先行研究法を用いることで、アセトン抽出法と比較して、抽出液中に占めるクロロフィル由来成分の相対的割合が高くなることが示された。

③ 抽出したクロロフィルは低温で保存することで吸光特性が良好に維持され、特に冷凍保存が最も高い保持効果を示した。以上より、クロロフィルの抽出にはアセトン抽出法が有効であり、さらに先行研究法を用いることで抽出液中のクロロフィル由来成分の割合を高めることが可能であること、また抽出後は低温、特に冷凍条件で保存することが最適であることが結論づけられる。

## 7. 今後の展望

吸光度データを用いてクロロフィルaおよびbの濃度を定量し、抽出効率や純度をより正確に評価することが考えられる。次に、他の溶媒や超音波処理、乾燥方法などの条件を組み合わせることで、さらに高純度・高収率の抽出法を確立することが期待される。また、長期間にわたる保存実験を行い、保存条件とクロロフィルの安定性の関係を定量的に明らかにする。本研究で得られたクロロフィル抽出液を発電に応用し、その実用化可能性を検証することが重要である。これにより、クロロフィルの抽出・保存技術の確立だけでなく、再生可能エネルギーや環境資源の活用にもつなげることが可能である。

## 8. 参考文献

1. R.J.Porra W.A.Thompson P.E.Kriedemann Determination of accurate extinction coefficients and simultaneous equations for assaying chlorophylls *a* and *b* extracted with four different solvents: verification of the concentration of chlorophyll standards by atomic absorption spectroscopy [https://www.chem.ucla.edu/dept/Faculty/merchant/pdf/porra\\_et\\_al\\_1989.pdf](https://www.chem.ucla.edu/dept/Faculty/merchant/pdf/porra_et_al_1989.pdf) 2025.6.20閲覧
2. Ezekiel Dixon Dikio David Isabirye Isolation of Chlorophyll a from Spinach Leaves [https://www.researchgate.net/publication/49616425\\_Isolation\\_of\\_chlorophyll\\_a\\_from\\_spinach\\_leaves](https://www.researchgate.net/publication/49616425_Isolation_of_chlorophyll_a_from_spinach_leaves) 2025.6.20閲覧

# 濡れ性と水跳ねの関係について

神奈川県立厚木高等学校  
2年 AB組 α17班

## 1. 要旨

本研究では、水跳ねを引き起こす要因となるものを明らかにすることを目的として濡れ性と水跳ねの関係性を検討した。この研究では、濡れ性の指標として水と板との接触角を計測した。板を引き上げ、それによって生じる水跳ねの高さを撮影するという実験を板の素材と水の条件を変えて繰り返し、水と板の間の接触角と水が跳ねる高さについての分析を行った。その結果、接触角と水が跳ねる高さの間に弱い負の相関が見られた。

## 2. 背景・目的

水跳ねは私たちの生活で身近な存在である。そんな水跳ねについて先行研究では鉄球の落とす高さによって生じた水跳ねの高さの関係を調べていた<sup>1</sup>。私達はその着目点を変えて、濡れ性と水跳ねの高さの関係を調べることにした。濡れ性というのは液体が固体表面に広がる尺度である。

## 3. 仮説

水面から発生する場合において水滴は表面張力により重力の20倍の力で水面に引き込まれる。この現象から、液体は液体自身の表面張力の違いによって水滴の跳ね上がる高さを減少させると考えた。

## 4. 方法

### [1] 前準備

実験を行うための方法を考案し、それが可能な実験道具を作成する。

### [2] 実験の詳細

以下の条件で実験を行う。

- ・物体を引き上げたときに発生する水滴の高さを計測する
- ・物体の引き上げには重りとして水入りペットボトル(約500g)を使用する。
- ・波のない静かな水面である状態で実験を行う
- ・数値の測定にはスマートフォンのカメラと60cm定規を活用する。
- ・素材2種、液体2種の計4種の要素を一つずつ変えて対照実験を行う。

### [3] 濡れ性の測定について



図1 濡れ性による水滴の様子の変化<sup>2</sup>

そもそも濡れ性とは、固体の表面に対する液体の付着のしやすさのことである。左右の図はそれぞれ濡れ性が良い場合と悪い場合に対応していて、濡れ性が良ければ水滴の角度は小さくなり、悪ければ角度は大きくなる。

今回の実験では濡れ性の指標として水滴が板の表面との間につくる角度を $\theta/2$ 法で求めた。

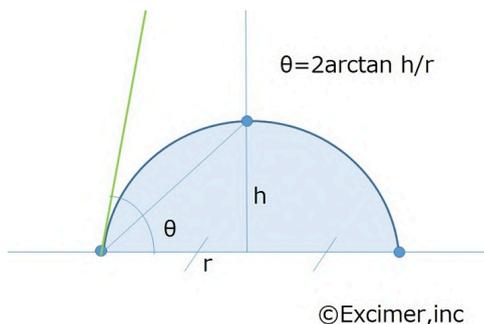


図2  $\theta/2$ 法について<sup>3</sup>

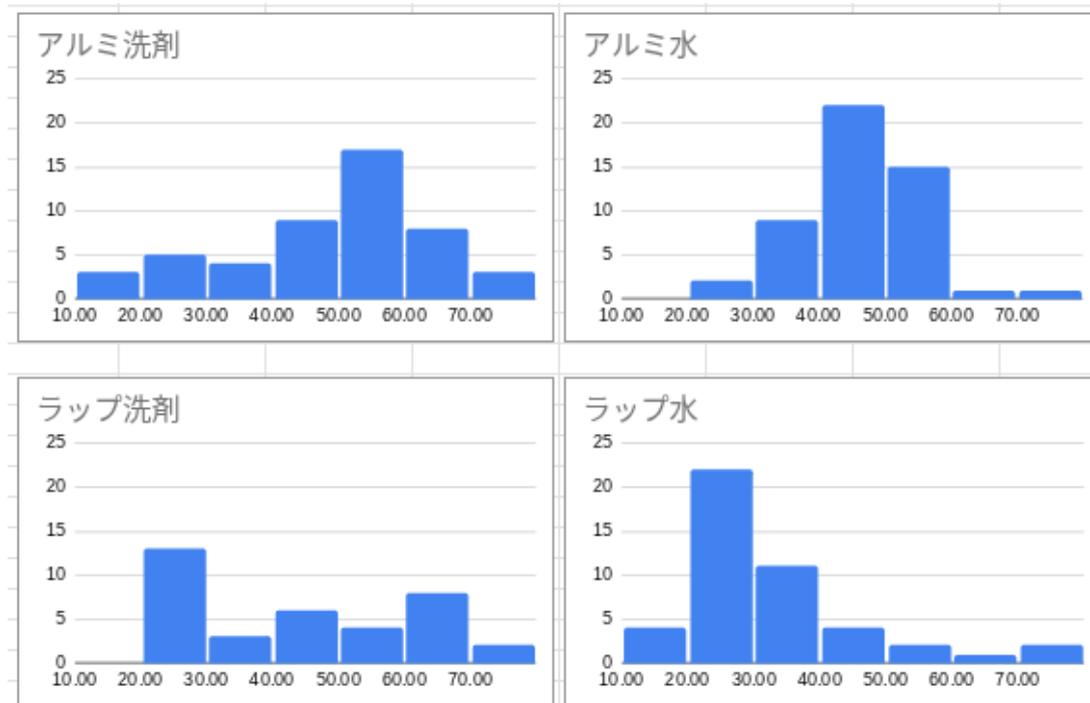
$\theta/2$ 法とは滴下した水滴を真円とみなすことで、半径と高さから $\theta = 2\arctan h/r$ の公式で接触角 $\theta$ を測定するものである。

今回はアルミホイル、ラップフィルムを木版に貼り付けたものを用意し、液体には水道水とそれに食器用洗剤を数滴加えたものの2種で一つの組み合わせあたり50回ほど計測した。

## 5. 結果

それぞれの場合の結果について、縦軸、横軸をそれぞれ回数(回)、高さ(cm)とし、ヒストグラムにまとめた。

図3 水が跳ねる高さと回数のヒストグラム(縦軸は回数(回)、横軸は高さ(cm))

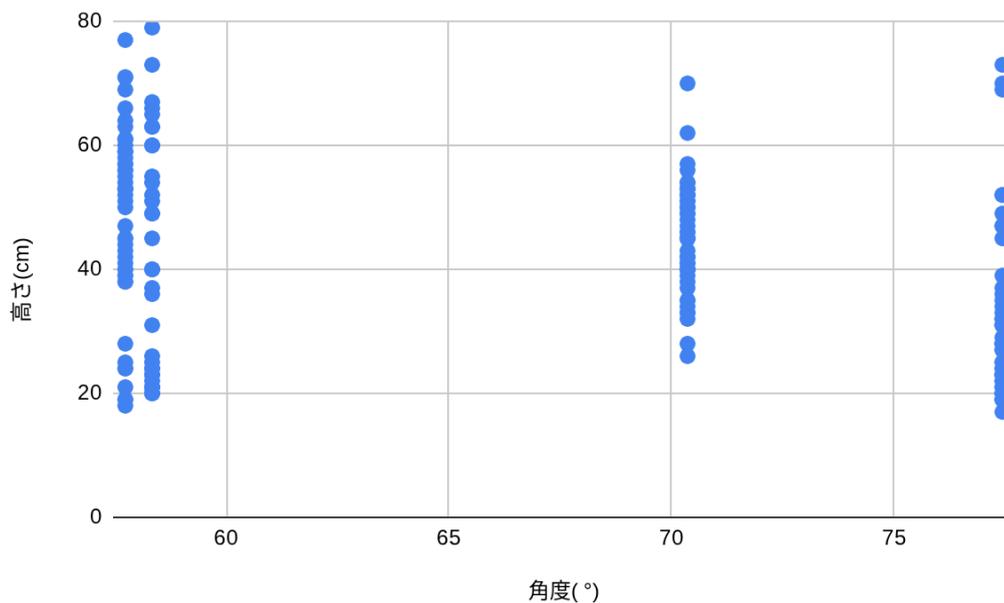


また、それぞれの場合について、 $\theta/2$ 法で求めた角度の平均の値は以下ようになった。

表1  $\theta/2$ 法で計測した角度の平均値

	アルミ洗剤	アルミ水	ラップ洗剤	ラップ水
角度の平均値(°)	57.7	70.3	58.3	77.4

図4 角度と高さについての散布図



## 6. 考察

これらの結果から相関係数を計算したところ、相関係数  $r = -0.319$  であった。

有意水準を0.05とし、これを用いてT検定を行ったところ、帰無仮説「角度と高さの間の相関係数は0である」は棄却された。よって、「角度と高さの間の相関係数は0でない」、つまり角度と高さの間に相関関係があると判断できる。

しかし、角度と高さの間に大きな相関関係があるとは言えないため、水跳ねの高さに関わる要素は他にもあると考えられる。また、濡れ性が直接的な原因なのではなく、他の原因によって角度と高さの両方が変わっている可能性なども考えられる。

## 7. 結論

濡れ性が高くなるほど水跳ねが高くなる傾向が見られた。

## 8. 今後の展望

実験を行うときに濡れ性を4つの場合でしか変えることができなかったため、より多くのデータを取り、精度を高めたい。また、少しの時間経過で濡れ性の値が変化してしまうので水滴の写真を撮る時間を決めて濡れ性の値をより正確に求めたい。検定はしていないが、水跳ねの高さの分布が素材ごとに近いように見えるので濡れ性以外の要因も視野に入れながら実験を進めていきたい。

## 9. 参考文献

(1)大河内 巖 石原 敦史 長屋 憧 古田 龍渉 水はねの最高到達点の高さの法則

<https://school.gifu-net.ed.jp/ena-hs/ssh/R04ssh/sc2/22221.pdf>

2025年6月1日閲覧

(2) 株式会社ニック 接触角とは何か? - 株式会社ニック | 接触角・濡れ性評価装置

<https://k-nick.com/technical/contactangle-01/> 2026/1/12日閲覧

(3)株式会社エキシマ 接触角  $\theta$  /2法 | 株式会社エキシマ

<https://excimer.co.jp/contact-angle/263> 2026年1月29日閲覧

(4) Physical Review Fluids

Self-similar jet evolution after drop impact on a liquid surface

<https://www.researchgate.net/publication/349842152> 2026/1/12日閲覧

(5) Bell Curve 26-3. 相関係数 | 統計学の時間 | 統計WEB

<https://bellcurve.jp/statistics/course/9591.html> 2026/1/18日閲覧

# 野菜の水分量と害虫の引き寄せ方の関係

神奈川県立野菜の水厚木高等学校

2年 A,B組 β 18班

## 1. 要旨

本研究では、野菜の生育状態と害虫による食害量の関係を明らかにすることを目的とした。野菜に含まれる水分量が野菜の状態に影響を与えると考え、水分量および肥料の量をそれぞれ適切量と少量に設定した4通りに分けて栽培し、水分量および食害量を測定した。その結果、水分量と肥料の量をともに少量に設定した野菜が、食害量が最も多くなるという傾向が見られた。

## 2. 背景・目的

本研究の背景として、テーマ検討の過程で参照した書籍に、健康的な野菜よりも、弱っている野菜に虫が寄ってくる<sup>1</sup>という記述が見られた。しかし、その中では虫が寄ってくる要因にどのようなものがあるのかについて詳しく言及されていなかった。一方、先行研究では、野菜の栄養価は栽培時期や施肥条件、土壌の状態などの栽培条件によって大きく変化することが報告されている。これらの栽培条件は、野菜の生育状態や水分量にも影響を及ぼすと考えられるが、水分量の変化と害虫による食害量との関係については十分に明らかにされていない。そこで我々はこの点に研究の余地があると考え、本研究を行った。本研究では野菜の状態と虫の引き寄せ方との関係を明らかにし、害虫の被害を最も抑える野菜の栽培条件を解明することを目的とする。

## 3. 仮説

本研究では、野菜に含まれる水分量が害虫の食害量に影響を与えるという仮説を立てた。特に、土壌の水分量が少なく、かつ肥料を少量しか施さない条件下で育てた野菜は、他の条件と比較して最も多い量で害虫の食害を受けるという仮説を立てた。

## 4. 方法

含まれる水分量による害虫の食害量の変化を比較するために下記の実験を行った。

### 1. 栽培条件の設定

*Brassica rapa var. perviridis* (小松菜)を対象とし、水分量および肥料の量をそれぞれ「適切量」と「少量」に設定し、以下の4通りの条件で栽培した。

(A)水:適切量 × 肥料:適切量

(B)水:適切量 × 肥料:少量

(C)水:少量 × 肥料:適切量

(D) 水:少量 × 肥料:少量

水分量は、適切量を土壌中の40%、少量を30%とし、毎朝8:00～8:30の間に水やりを行った。施肥量は、適切量を1プランターあたり15g、少量を5gとし、いずれも播種直前に土壌へ施用した。なお、本実験では、追肥は行わなかった。



図1 栽培中の小松菜の様子

(左から、肥適水適、肥少水適、肥少水少、肥適水少)

## 2. 食害試験の実施

実験1で栽培した野菜を各条件ごとに同じ株の中で半分に分割した。分割したそれぞれの野菜の重量を測定し、一方を事前に採取した *Mamestra brassicae* (ヨトウガ) の幼虫が入った容器に投入し、一定時間放置した後に食害された葉の重量を測定した。得られたデータを基に各条件ごとに食害量を比較し、水分量および施肥条件が害虫の食害に及ぼす影響を評価する。



図2 食害実験中の様子

### 3. 水分量の測定

一株を分割したもう一方を、水分量測定にかけた。測定には乾燥重量法を用いる。得られた水分量のデータと食害量の結果を比較することで、水分量および施肥条件が食害量に及ぼす影響を評価する。



図3 乾燥中の小松菜の様子

### 4. 検定方法について

本研究では、土壌の水分量および肥料の量の違いによって害虫による食害量に差が生じるかを検討するため、各条件間の平均値を比較した。それぞれの測定結果に対して、一元配置分散分析とT検定を用いる。一元配置分散分析とは、1つの要因によって分類された3群以上のデータの平均値に差があるかを検定する方法である。本研究では、与える水分量と肥料量の違いによって分類された4つの条件を1つの要因として扱い、一元配置分散分析を用いて条件間に有意な差があるかを検定した。一方でT検定は2群間の平均値の差を比較する際に用いられる検定方法である。本研究のように複数の条件が存在する場合、T検定を繰り返し用いると、過誤が生じる可能性が高くなってしまうため、本研究ではT検定を主たる検定方法とはせず、全体の差を検討する方法として一元配置分散分析を用いた。一元配置分散分析の結果、有意差が認められた場合には、どの条件間に差があるのかを明らかにするため、事後比較を行った。なお、すべての検定方法において有意水準は5%とした。

## 5. 結果



図4 実験に使用した各条件の野菜（左から、C:肥適水少、A:肥適水適、D:肥少水少、B:肥少水適）

それぞれの条件と野菜の水分量の関係

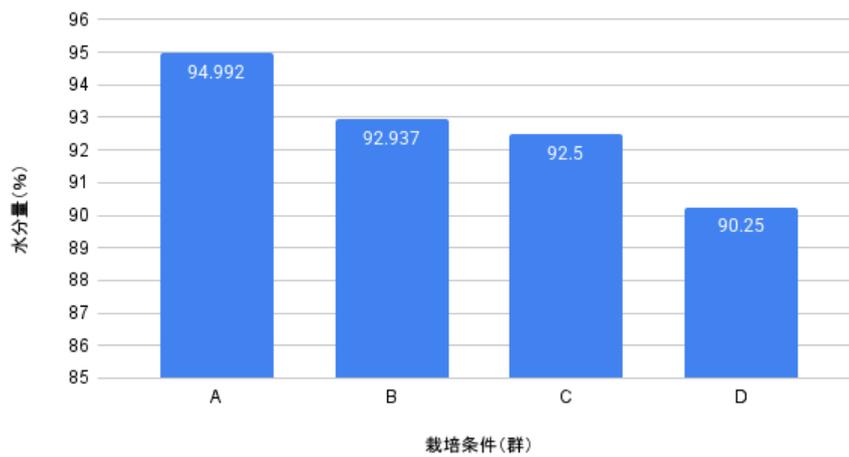


図5 それぞれの条件と野菜の水分量の関係(%)

それぞれの条件と食害量の関係

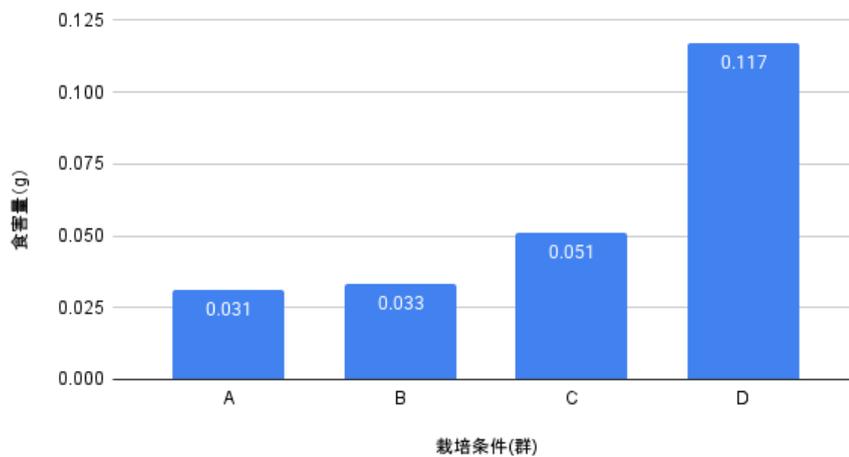


図6 それぞれの条件と食害量の関係(g)

目視による観察の結果、図4で示した個体のうち、水分量と肥料を両方適切な量を与えた個体が生育が最も良好で、葉の色が濃く、葉に張りが見られた。一方、水分量および肥料を両方少量しか与えなかった個体は、生育が不十分で、全体的に小さく、葉の色も薄い傾向が確認された。

また、それぞれの条件と野菜の水分量の関係について、上記の図5の数値を検定にかけた結果、一元配置分散分析では $p$ 値( $=0.001318909109$ ) < 基準値( $=0.05$ )であり、4つのデータ間で有意差が確認された。続いて、T検定にかけた結果、BとC、CとD以外のすべての条件間でT値 < 基準値( $=0.05$ )となり、それぞれのデータ間で有意差があることが確認された。

次にそれぞれの条件と食害割合の関係について、上記の図6の数値を検定にかけた結果、一元配置分散分析では $p$ 値( $=0.001222077424$ ) < 基準値( $=0.05$ )であり、4つのデータ間で有意差が確認された。続いて、T検定にかけた結果、AとD、BとD、CとDの条件間でT値 < 基準値( $=0.05$ )となり、それぞれのデータ間で有意差があることが確認された。

## 6. 考察

本研究の結果から、野菜に与える水分量および肥料の量を調整することで、野菜に含まれる水分量に変化を与えることができると考えられる。特に、水分や肥料が不足した条件では、葉の張りや色などに明らかな変化が見られ、植物の生理的状態が低下していることが示唆された。これは、水分や肥料の不足により成長に必要な栄養素が十分に供給されず、植物が本来もつ生理機能や防御機能が弱まったためであると考えられる。このことから、栽培環境の違いが野菜の外観および水分量に影響を与えることが明らかとなった。

また、虫の食害量については、野菜の水分量を調整することで、食害量に変化を与えることができると考えられる。特に、水分と肥料の両方を少量しか与えなかった、水分含有量が最も少ない野菜の食害量が最も多かったことから、虫には、水分含有量が少ない野菜を好んで食べる傾向があると考えられる。これは、水分や肥料が不足したことによって、植物が本来もつ防御機能が低下し、葉が柔らかくなったことや苦味物質が生成されず、虫にとって摂食しやすくなったことが原因として考えられる。

さらに、与えた水分量と肥料の量のどちらが小松菜の水分含有量に大きく影響しているかについては、差はわずかではあるものの、肥料の量の方がより大きく関係していると考えられる。これは、肥料が根の発達に影響を及ぼしたからだと考えられる。根の発達が促進されることで、水分を吸収する力や植物体内の水分量に差が生じたと推測される。したがって、同じ量の水分を与えた場合でも水分の吸収量や保持量に差が生じ、野菜の水分量に影響を与えたと考えられる。以上のことから、与える水と肥料の量の変化による生育環境の悪化が生理的機能の低下を引き起こし、その結果として害虫にとって摂食しやすい状態になったと考えられる。

## 7. 結論

以上から、適切な水分量と肥料の量で栽培した小松菜が害虫の被害を最も受けにくいということが分かった。

## 8. 今後の展望

本研究では野菜を適切な環境下で栽培することができず、実験期間が短くなってしまったため、収穫量が減少し、理想的な数のデータを求めることができなかった。さらに実験に使用した野菜は小松菜のみであったため、本研究での結果が他の野菜にも適用されるとは限らない。そのため今後は野菜を適切な季節と温度で栽培し、より多くのデータを集め、また他の種の野菜でも同様に実験を行い、他の種の野菜でも本研究と同様の結果が得られるか検証していきたい。

## 9. 参考文献

1. 吉田俊道 (2024)『図解でよくわかる菌ちゃん農法微生物の力で奇跡の野菜作り』 光の家協会出版
2. 吉田俊道 (2017)『生ごみ先生が教える「元気野菜づくり」超入門』 東洋経済新報出版
3. 吉田企世子(1998) Influence of Growing Condition to Vegetable Nutrition and Cooking 作物生育条件と野菜の栄養成分・調理法との関係  
[https://web.archive.org/web/20181031233322id/https://www.istage.ist.go.jp/article/eivogakuzashi1941/56/1/56\\_1\\_1/pdf](https://web.archive.org/web/20181031233322id/https://www.istage.ist.go.jp/article/eivogakuzashi1941/56/1/56_1_1/pdf) 2026年1月31日閲覧

# ペットボトル雲の持続要因

神奈川県立厚木高等学校  
2年 A・B組 α19班

## 1. 要旨

「クラウド・シーディング」から着想を得て、人工雲を維持し環境を変化させれば降雨を促せると考えた。そのためには雲の維持要因を特定する必要がある。

本研究では水温に着目し、500mlペットボトルと線香を用いて持続要因のデータを集めた。雲の濃さを照度計で数値化した。

煙を5秒入れた場合、雲の濃さとの関係はなかった。1秒入れた場合、先行研究とは逆に、水温が低くなるほど雲が濃くなる傾向があった。

グラフの回帰直線の式から、より持続に適した水温を求められた。

## 2. 背景・目的

現在の主流な方法では、既にある雲に対してシーディングをするが、それでは雲の有無に関して結局自然任せで、欲しい時の利用や、雲ができにくいために干害を受けているところでは利用できない。そこで、生成した雲を蒸発しないよう維持するための研究を行い実現することで、より人工的な、自然に左右されない天候の操作が可能になると考える。

## 3. 仮説

水温が高いほど雲は濃くなり、人工雲の長時間維持に影響する。

## 4. 方法

まずは、外からの刺激を与えない環境での雲の持続時間を調べる。

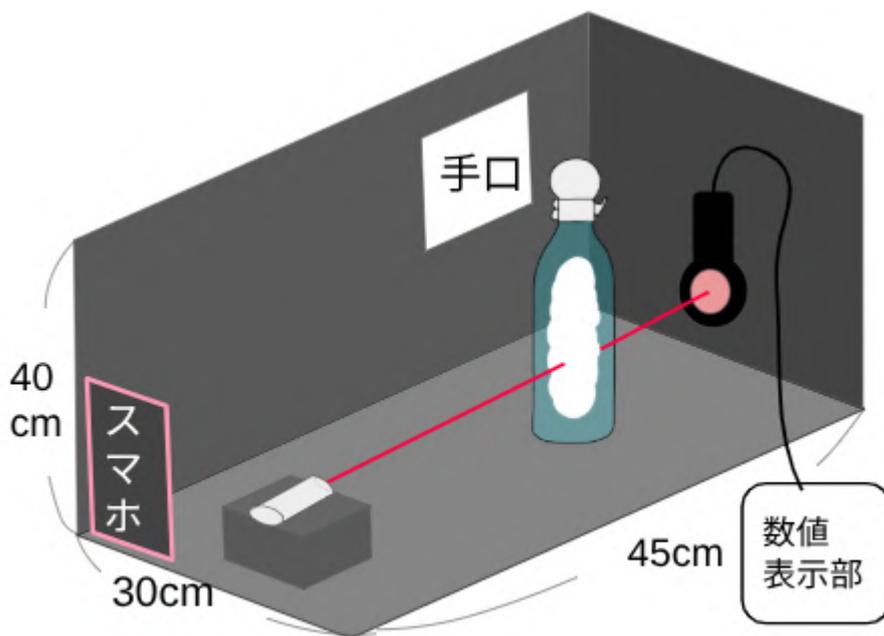
### ●使用した道具

- ・500mlペットボトル 三ツ矢サイダー特濃
- ・線香
- ・デジタル照度計  
サンワダイレクト品番400-TST932  
標準分光視感効率(標準比視感度)からのずれ( $f1'$ )6%以下、( $f2'$ )2%以下…(※)  
サンプリング周期0.5秒  
測定範囲0lx～400lxで使用した。
- ・赤色光レーザーポインター 化学室から借用
- ・黒色プラスチック段ボールで作った遮光箱  
縦45×横30×高さ40(cm)(以降は箱と呼ぶ)
- ・サンゲツ製ローマンシェードに遮光裏地が縫い付けてあるもの(以降は幕と呼ぶ)
- ・高校指定ジャージ

(※)…( $f1'$ ):照度計の受光部が、人間の目の感度にどれだけ近似しているかを示す指標。この値が小さいほど、様々な色の光に対して人間の目に近い測定値を示す。( $f2'$ ):斜めから当たった光の明るさを正しく測れるか、という「角度の補正」の正確さ。この値が小さいほど、斜めからの光に対しても正確な測定値を示す。「JIS C 1609-1」で高精度とされる一般形AA級照度計:( $f1'$ )6%以内、( $f2'$ )3%以内。

### ●実験方法

- ①水で濡らしたペットボトルを逆さまにし、中に線香の煙を5秒入れる。
- ②炭酸キーパーで蓋をして20回加圧する。
- ③箱内でペットボトルの中心と光源からの距離が15cmの位置に置き、レーザーポインターを通して照度を計測する。この値を「減圧前照度」とする。
- ④炭酸キーパーをゆるめて雲を発生させた後すぐ閉める。照度計で最低値を確認し、この値を「減圧後照度」とする。
- ⑤照度計の値が③の値に戻るまでの時間を計測する。



※遮光幕は図の見やすさのため省略

図1 現段階での装置

## 5. 結果

### 【データの項目の補足】

- ・持続時間→減圧後照度から減圧前照度に戻るまでの時間。
- ・透過率→「減圧後照度÷減圧前照度×100」で求められ、雲の濃さを表す。小さいほど雲は濃く、大きいほど雲は薄い。
- ・気温→測定時の室温。ペットボトルに加熱・冷却を行わない場合、ペットボトル内の気温と等しいものとする。
- ・湿度→測定時の室内の湿度。外気温と同様にペットボトルに加熱・冷却を行わない場合、ペットボトル内の気温と等しいものとする。
- ・水温→ペットボトル内を濡らすために使った水道水の温度。

以下は、各項目ごとの結果をグラフにしたもの。

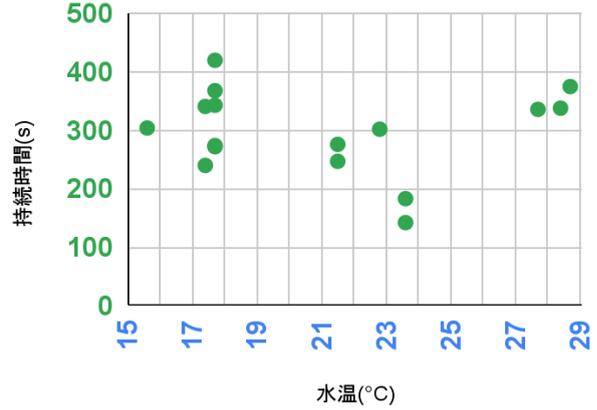
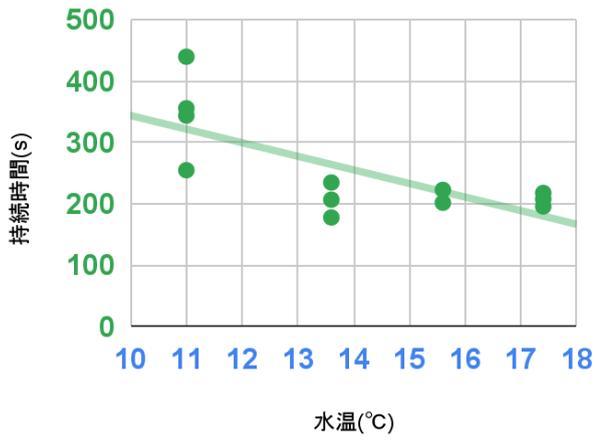


図2 線香を1秒入れた際の水温(°C)と雲の持続時間(s)

図3 線香を5秒入れた際の水温(°C)と雲の持続時間(s)

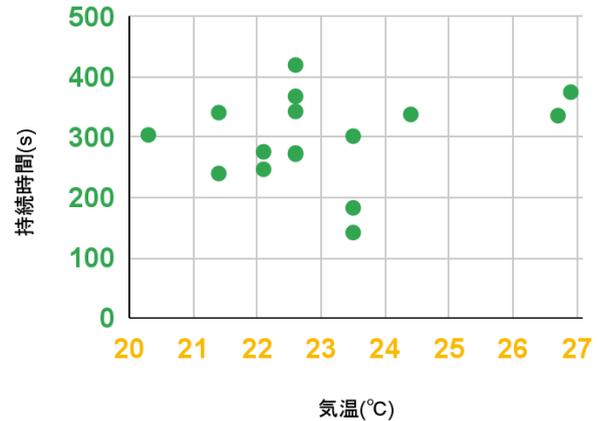


図4 線香を1秒入れた際の気温(°C)と雲の持続時間(s)

図5 線香を5秒入れた際の気温(°C)と雲の持続時間(s)

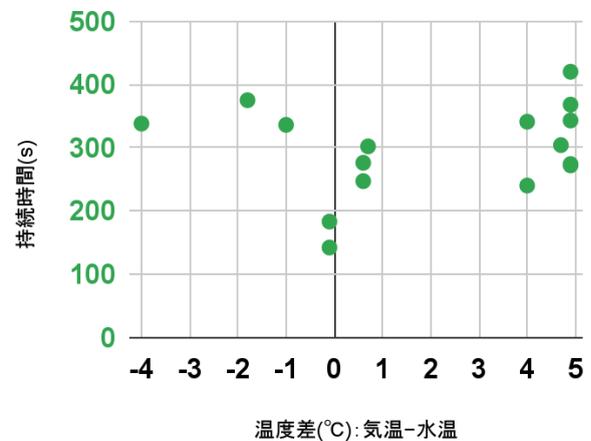
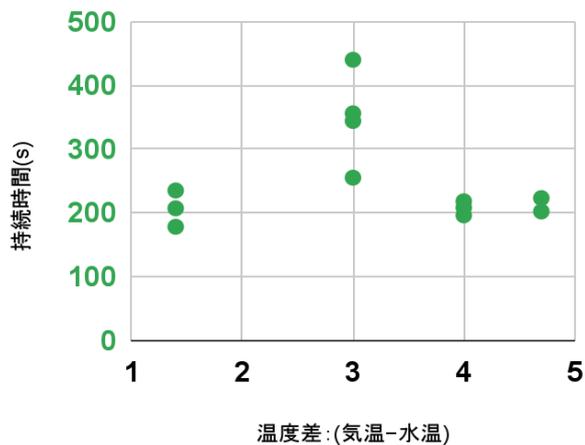


図6 線香を1秒入れた際の温度差と雲の持続時間(s)

図7 線香を5秒入れた際の温度差と雲の持続時間(s)

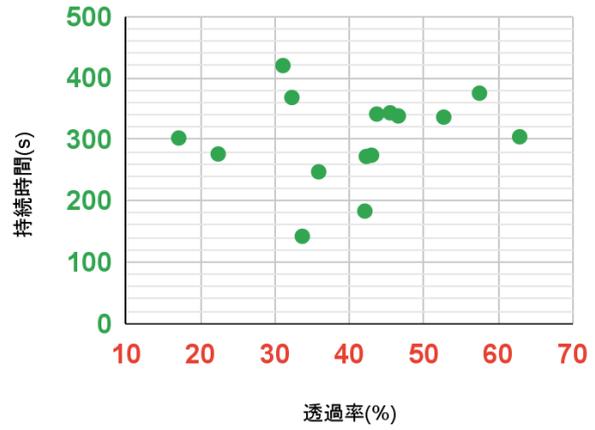
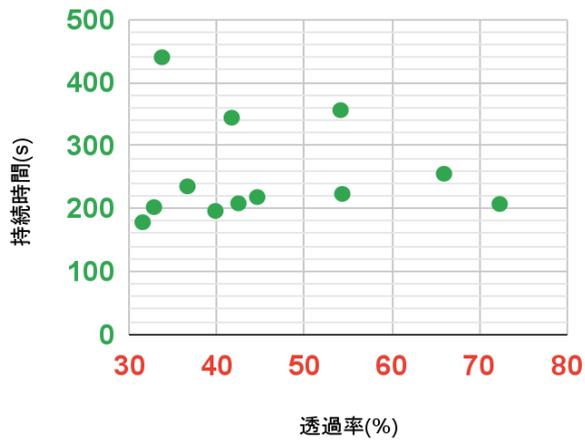


図8 線香を1秒入れた際の透過率(%)と雲の持続時間(s)

図9 線香を5秒入れた際の透過率(%)と雲の持続時間(s)

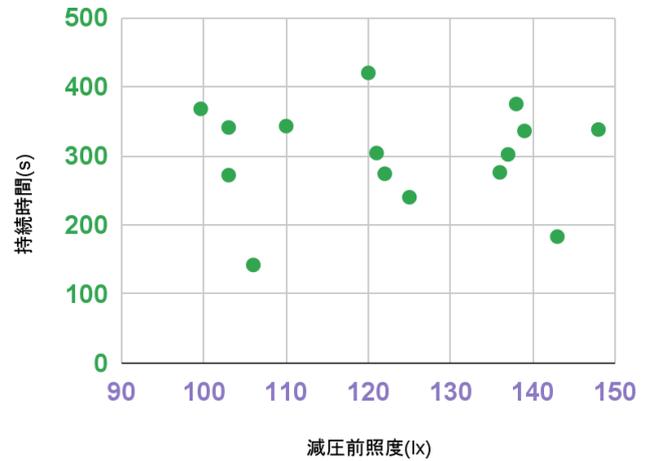
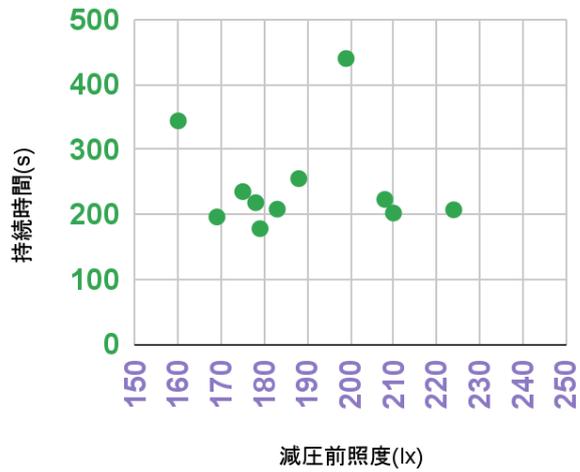


図10 線香を1秒入れた際の減圧前照度(lx)と雲の持続時間(s)

図11 線香を5秒入れた際の減圧前照度(lx)と雲の持続時間(s)

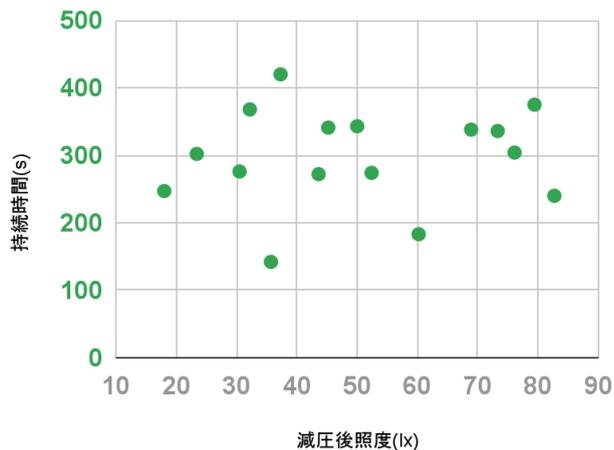
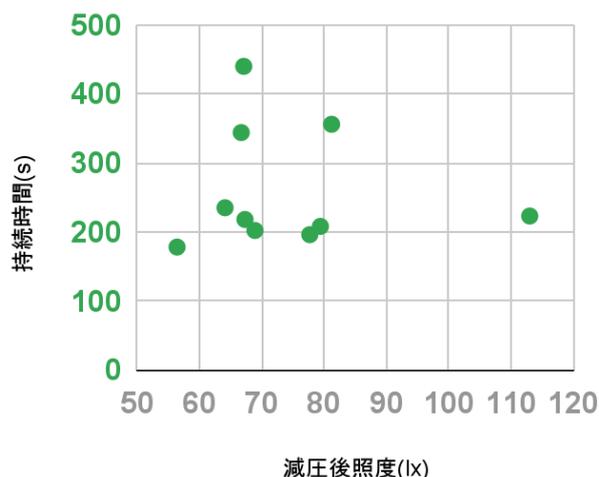


図12 線香を1秒入れた際の減圧後照度 (lx) と雲の持続時間 (s)

図13 線香を5秒入れた際の減圧後照度 (lx) と雲の持続時間 (s)

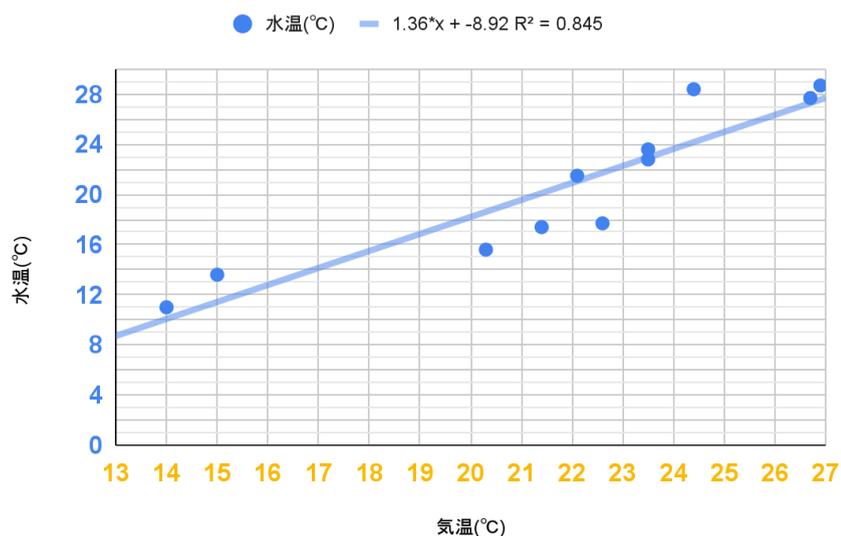


図14 気温と水温の関係 (°C)

## 6. 考察

今回の結果からは以下のことが考えられる。

- ・煙を1秒入れた場合に、水温が低いほど雲の持続時間が長くなった理由は、補足のグラフより水温が低いと気温も低いとすると、周りの熱エネルギーが少なく水滴が気化熱をもらえず水滴でいつづけたためだと考えられる。また、飽和水蒸気量が小さく、水滴が水蒸気に戻るスペースが少なく、水滴のまま空中にとどまるためだとも考えられる。

- ・先行研究と結果が逆になった理由は、本研究が先行研究と異なり、凝結核である線香の煙があり、水もペットボトル内を濡らしただけであり、持続要因には作った雲がいかに蒸発しないかが鍵となる。このため、高温の場合には気化熱により蒸発して消え、低温の場合には蒸発が遅れて長持ちしたと考えられる。

	条件	持続要因	高温	低温
先行研究	凝結核なし・水50ml	水蒸気供給	底の水から水蒸気が供給⇨長持ち	水蒸気不足⇨すぐ消える
本研究	凝結核あり・水ペットボトル内を濡らすだけ	蒸発しない	気化熱により蒸発⇨消える	蒸発が遅れる⇨長持ち

表1 先行研究と本研究の実験の比較

## 7. 結論

持続時間には水温が関係する。また、本研究のようにエアロゾルがあり、実際の大気に近い条件では、水温が低くなるほど持続時間が長くなる。

## 8. 今後の展望

- ・実験量を増やす→煙の量が多いほうが持続時間が長くなるため、煙を5秒入れる実験で、さらに温度の幅を広げた実験をする必要がある。1秒の場合でも、温度の幅を広げたり、再び同じ条件で実験してもなお相関が保たれるのかを調べていく必要がある。
- ・水温と持続時間のグラフ(図2)から得られた回帰直線 $y = -22.1x + 556$ より、水温5℃のとき、持続時間は446sという理論値を得ることができる。このように理論値を用いて予測・実験を行う。
- ・測定方法の改良→使うレーザーポインターや照度計を改良させて測定可能な雲の範囲を広げる。

## 9. 参考文献

①真木太一, 森田治, 鈴木義則, 脇水健次 気象研究ノート(第231号)「人工降雨・降雪研究の最前線」へのコメントおよび液体炭酸人工降雨法の有効性の解説

[https://metsoc.jp/tenki/pdf/2016/2016\\_03\\_0019.pdf](https://metsoc.jp/tenki/pdf/2016/2016_03_0019.pdf) 2025年6月4日閲覧

②NHK 実験61雲をつかむような話

[https://www2.nhk.or.jp/school/watch/bangumi/?das\\_id=D0005110329\\_00000](https://www2.nhk.or.jp/school/watch/bangumi/?das_id=D0005110329_00000) 2025年6月4日閲覧

③高松第一高等学校 荒木 佑哉, 重安 拓夢, 清水 若菜, 舟橋 実来

ペットボトル内の雲の動きの性質をさぐる <http://www.taka-ichi-h.ed.jp/img/R01-1.pdf> 2025年6月4日閲覧

④千葉県立木更津高等学校 浦松 彩乃 水蒸気でなくても雲はできるのか ～エタノール, アセトン等による雲の生成～ <https://share.google/OxbKqYaNQTHtINz6L> 2025年9月2日閲覧

## 1. 要旨

本研究では、自然由来の食品添加物の作成を目的としている。アロエが持つ抗酸化物質に注目し、それらが増減する生育条件と抗酸化作用の測定方法の確立を検討した。その結果、ルミノール反応を利用した測定方法を確立した。

## 2. 背景・目的

私達は当初、食品加工において興味を持っていた。中でも、食品添加物に関する内容は興味深かった。生鮮食品を保存するうえで、添加物は欠かせない。しかし、健康被害などの問題も絶えない。そこで私達はアロエに注目した。論文によると、アロエには抗酸化作用を持っていること<sup>2</sup>、生育環境によって含有する成分に差が出ること<sup>3</sup>がわかった。このことから、生育環境によって、アロエの抗酸化作用がどのように変化するのか。これを解明することで植物性の安全な酸化防止剤を作る足がかりを得ようと考えたのである。また、高校の設備で抗酸化作用を測定するのは難しい。そこで、我が校の先行研究<sup>4</sup>を利用した。この研究<sup>5</sup>では、ルミノール反応による抗酸化作用の測定に成功している。しかし、実験方法、結果において不十分な点も多いため、今回の実験で確立させようと考えた。

## 3. 仮説

アロエベラに含まれる抗酸化作用をもつ成分は、生育条件を変えることによって変化する。

## 4. 方法

### 4-1 (材料)

アロエベラ (*Aloe vera*)、ルミノール、水酸化ナトリウム水溶液 (1mol/L)、過酸化水素水 (4.5%) ホールピペット (10ml)、ヘキサシアノ鉄 (Ⅲ) 酸カリウム水溶液、スクリュウ管瓶 (容量33ml)、照度計、メスピペット (1ml)、安全ピペッター、乳鉢、さらし、包丁

### 4-2 (実験方法)

#### 【1】予備実験

①ルミノール1.1gをメスフラスコに入れ、水酸化ナトリウム水溶液(1mol/L)に溶かす。できた溶液をルミノール溶液とする。

②ヘキサシアノ鉄(Ⅲ)酸カリウム水溶液1.5gに純水30mlを溶かす。できた溶液を触媒とする。

③過酸化水素水を3.5%と4.5%にそれぞれ希釈する。

④ルミノール溶液10mlと3.5%過酸化水素水10mlと触媒1ml、ルミノール溶液10mlと4.5%の過酸化水素水10mlと触媒1mlをそれぞれ小瓶(容量13.7ml)に入れ、暗室で照度計を用いて照度を測る。得られた結果より実験を改定。

#### 【2】【1】の修正版

①～③【1】に同じ

④ルミノール溶液10mlと触媒1mlを2つの小瓶(容量13.7ml)にそれぞれ量り取る。

⑤3.5%の過酸化水素水を少量ほど小瓶にそれぞれ加える。4.5%の過酸化水素水はもう一方の小瓶に加え、照度計を用いて光量を測る。なお、この作業は暗室で行った。

#### 【3】【2】の修正版実験

①～③ 【1】に同じ

④スクリー管瓶を2つ用意し、片方(このスクリー管瓶を小瓶Aとする。)に過酸化水素水(10ml)と触媒(1ml)を加え、もう一方のスクリー管瓶(以下小瓶Bとする。)には、ルミノール溶液(10ml)を加える。

⑤小瓶Aに小瓶Bの中身を注いで加え、照度計を用いて光量を測る。なお、この作業は暗室で行い、過酸化水素水の濃度3.5%の場合と4.5%の場合でそれぞれ10回ずつ行う。

得られた結果により濃度が決定。また、今後の実験は【3】をもとに行う。

#### 【4】アロエを用いた実験

①学校で生育されたアロエベラ(*Aloe vera*)から葉を一枚収穫する。なお、このアロエベラ(*Aloe vera*)は一株のみであり、生育条件の変化させる操作は行っていない。

②包丁を用いて葉の表皮を剥がし、果肉を掻き出す。

③乳鉢である程度すりつぶした後に、さらしで果汁を搾り取る。

④搾り取った果汁1.1gを小瓶Aに加え、ルミノール反応を起こし、光量を測定する。この作業は暗室で行う。

#### 【5】【4】の修正版実験

①～③ 【4】に同じ

④搾り取った果実を純水で2倍希釈し、さらしを用いて濾し取る。

⑤搾り取った果汁1.1gを小瓶Aに入れ、ルミノール反応を起こす。この作業は暗室で行う。

## 5. 結果

### 【1】

ルミノール反応はあったものの、過酸化水素水とルミノール溶液、触媒を入れる順番が不適切であったため測定できなかった。

### 【2】

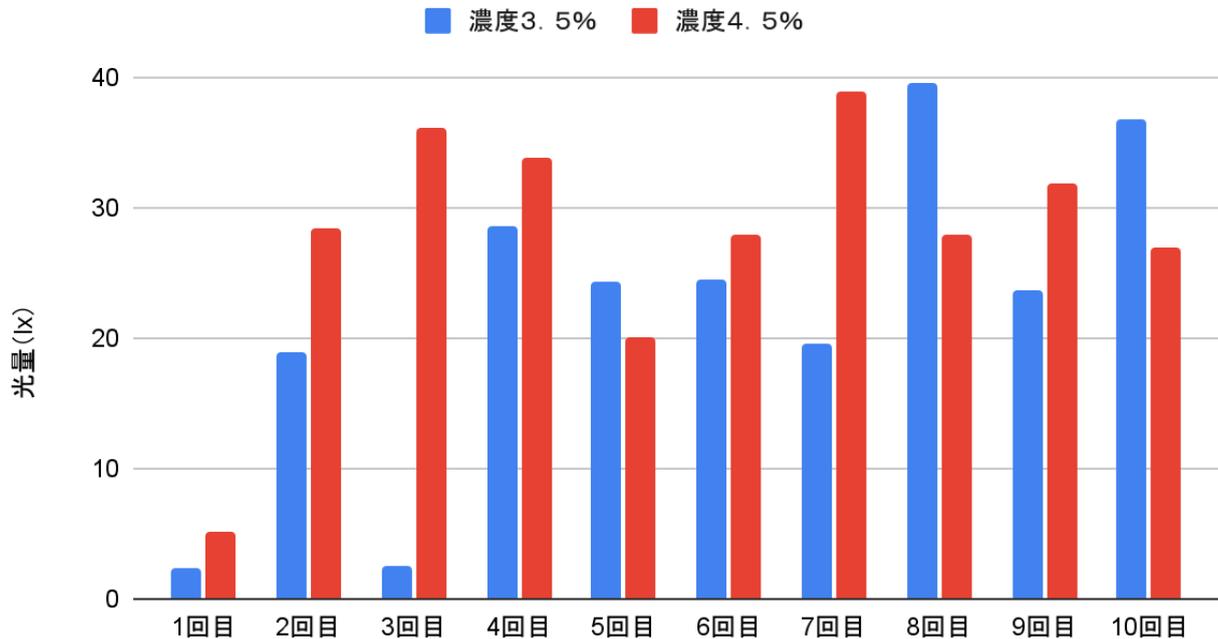
3.5%の過酸化水素水を入れた小瓶は0.04lx、4.5%の過酸化水素水を入れた小瓶は1.14lxを示した。

### 【3】[図1]濃度ごとの光量(単位lx)の値

	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目	7回目	8回目	9回目	10回目
濃度3.5 %	2.42	18.96	2.55	28.61	24.35	24.54	19.58	39.56	23.65	36.71
濃度4.5 %	5.18	28.49	36.06	33.82	20.01	28	38.93	27.96	31.91	27.02

[図2] (下)濃度による差異の可視化

## 濃度3.5% と 濃度4.5%



帰無仮説 濃度の違いによる有意差はない  
対立仮説 濃度の違いによる有意差はある

p値を0.05とした片側t検定を実施した所、0.13358...となり、帰無仮説を棄却できなかった。そこで得たデータをグラフ[図2]に直したところ、濃度が4.5%の過酸化水素水でルミノール反応を起こしたときの光量が平均的に高い傾向にあるため、濃度は4.5%に決定した。

### 【4】【5】



[図3] 希釈していない  
アロエ溶液を  
加えた場合



[図4] 正常なルミノール反応

【4】、【5】いずれの場合もアロエとルミノール溶液が分離し、一部分のみで発光した。アロエ溶液の粘性がルミノール反応を阻害し、光量を測定できなかった。

## 6. 考察

アロエ溶液の粘性は果汁に含まれる多糖類のものである。多糖類は加熱によって失活し、アロエの抗酸化作用の主成分であるポリフェノールは熱に強いことを利用し、アロエ溶液を加熱することで多糖類のみを取り除く事ができるのではないかと予想した。

## 7. 結論

現状では、抗酸化作用の測定方法の確立には成功している。しかし、抗酸化作用が変化する生育条件の発見には至らなかった。

## 8. 今後の展望

今回の実験では、加熱処理をした状態でのルミノール反応の光量を調べる実験を行いたい。

## 9. 参考文献

1. 厚木高校C- $\alpha$ -2 2024 アントシアニンを用いた抗酸化剤の作成の検討と抽出

[https://www.pen-kanagawa.ed.jp/atsugi-h/tokushoku/documents/78c\\_report.p](https://www.pen-kanagawa.ed.jp/atsugi-h/tokushoku/documents/78c_report.p)

2025年5月3日閲覧

2. ベラ・セザール,イバ・ヨジッチ,リディヤ・ベゴヴィッチ,ティー・ヴコヴィッチ,セルマ・ムリナリッチ,フル  
ヴォイエ・レペドウシュ スザナ・ボロヴィッチ・シュンジッチ ネヴェン・ジャルコヴィッチ抗酸化アロエベラエ  
キスによる過酸化水素の細胞毒性と4-ヒドロキシノネナールのヒト細胞タンパク質への結合の細胞型特  
異的調節2018 <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6210414/>

2025年6月26日閲覧

3. サンディーブ・クマール、マニラ・ヤダブ、アミタ・ヤダブ、プージャ・ロヒラ、ジャヤ・パーカシュ・ヤダブ  
2017 インドの異なる気候地域で採取されたアロエベラにおけるアロインおよびアロエエモジンの抗マラ  
リア活性と定量 <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5514507>

2025年6月26日閲覧

# タイトル

## ケラチン-セルロース複合フィルムにおける引張強度の持続性の検討

神奈川県立厚木高等学校  
2年 AB組 α 21班

### 1. 要旨

本研究は、廃棄毛髪に含まれるケラチンを再利用し、ケラチン-セルロース複合フィルムの引張強度の持続性を検討することを目的とした。未加水分解ケラチンであることを確認した後、酢酸濃度や乾燥方法を変えてフィルムの作製を行った。その結果、ケラチンの溶解量および乾燥条件が、フィルム作製の成否に大きく影響することが明らかとなった。今後は条件をより明確に設定し、環境に配慮した材料への応用を目指す。

### 2. 背景・目的

美容院などでは日常的に大量の毛髪が廃棄されており、その約90%はケラチンから構成されている。ケラチンは、動物の毛や爪、羽毛などに含まれる繊維状タンパク質であり、再資源化の可能性を秘めている。生分解性素材の利用やプラスチックごみの削減につながる点から、SDGsの目標12「つくる責任 つかう責任」、13「気候変動に具体的な対策を」、14「海の豊かさを守ろう」への貢献が期待できると考えた。また、廃棄物を再び資源として活用する「リサイクル」や、廃棄物や不要品の特性を活かして、より価値の高い製品へと生まれ変わらせる「アップサイクル」の考え方も取り入れている。

テーマ設定にあたっては、信州大学藤井研究室が企業との共同研究により開発に成功した「ケラチンフィルム」を先行研究として着目した。本研究では、このケラチンフィルムを梱包用フィルムとして利用することを想定し、その実用性や交換頻度の目安を明らかにすることで、長期的かつ安全な利用の可能性を検討することを目的とする。



図2 ケラチン

### 3. 仮説

省略

### 4. 方法

#### 【実験1】予備実験

1. ケラチン粉末を0.5gを10mLの水に入れ、溶解させる
2. 溶質の水への溶け方を観察する  
→加水分解ケラチン：水によく溶ける  
未加水分解ケラチン：水によく溶けない



図4 水に溶かした様子 図5 ケラチン粉末

#### 【実験2-1】フィルム作成①

1. 1%酢酸溶液をガスバーナーで加熱しながらケラチン粉末0.5gを添加
2. 溶け残りをろ過した後、グリセリンを添加
3. 直径6cmシャーレに12mL注ぐ
4. 底にシリカゲルを敷いたデシケーターにシャーレを入れて、直射日光の当たらない廊下で乾燥させる
5. 前工程のシャーレ乾燥後、1. で作成した溶液12mLを注ぐ  
→これを計3回繰り返し、36mLのケラチン溶液を使用する



図7



シャーレ



### 【実験2-2】フィルム作成②

1. ケラチン粉末を4%酢酸溶液に入れ、マグネチックスターラーで加熱する
2. シリコン型にケラチン溶液を注ぐ
3. 家庭用冷凍庫で数日、溶液を冷凍する
4. 真空乾燥機で溶液を8時間ほど乾燥させる



図10 冷凍後の溶液



図11 乾



空乾燥



### 【実験3】

1. 酢酸溶液を各20mL用意する(1%、2%、3%、4%、5%の計5種類)
2. マグネチック攪拌しながら、0.1gケラチンを添加
3. ろ過後濡れた状態のろ紙の重さを測る
4. デシケーターで乾燥させる
5. データ整理+計算(図16)

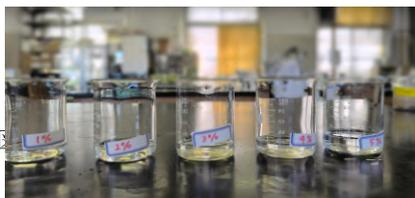


図13

図14 ケ



乾燥後



ろ紙の質量：1.6 g

不溶ケラチン量 = (乾燥後のろ紙+ケラチン) - ろ紙

溶解ケラチン量 = 添加量 (0.1 g) - 不溶ケラチン量

### 5. 結

#### 【実験1】

用いたケラチン粉末は数時間後も、水にほとんど溶けなかった。

図17 ケラチンが溶けていない様子

【実験2-1】

ケラチン溶液をデシケーターで乾燥させる段階までは成功した。しかし、ケラチンフィルムになっている様子は確認できず、シャーレにフィルムらしきものがこびりついている様子であり、フィルム作製に失敗した。

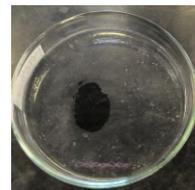


図18 乾燥後のシャーレの様子

【実験2-2】

真空乾燥させると、ケラチン溶液は粉末化していて、フィルムになっていなかった。



図19 粉末化したケラチン

【実験3】

最終結果は以下のとおりである。実験で得られたデータは表で示す。離散的な結果となった。

- ↓
- 酢酸 1%:0 g / 100 mL
  - 酢酸 2%:0.5 g / 100 mL
  - 酢酸 3%:0 g / 100 mL
  - 酢酸 4%:0.5 g / 100 mL
  - 酢酸 5%:0.5 g / 100 mL

室温：22℃		湿度：49%		ろ紙の質量：1.6g			
酢酸濃度	添加量 (g)：溶質	酢酸溶液量 (ml)：溶媒	ろ紙+ケラチン+酢酸溶液 (g)	ろ過後： ろ紙+ケラチン+酢酸溶液 (g)	乾燥時： ろ紙+ケラチン (g)		
1%	0.1	20	5.2	5.2	1.7		
2%	0.1	20	5.2	5.2	1.6		
3%	0.1	20	5.3	5.3	1.7		
4%	0.1	20	5.3	5.3	1.6		
5%	0.1	20	5.4	5.4	1.6		

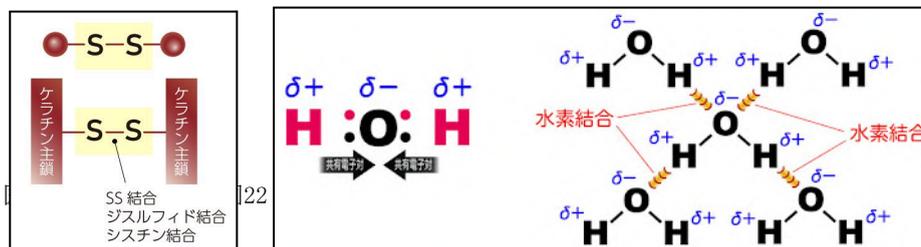
6. 考察

【実験1】

学校の冷蔵庫に保存されていたケラチン粉末は、未加水分解ケラチンであると考えられる。よって以降のフィルム作成に使用できると判断した。

【実験2-1】

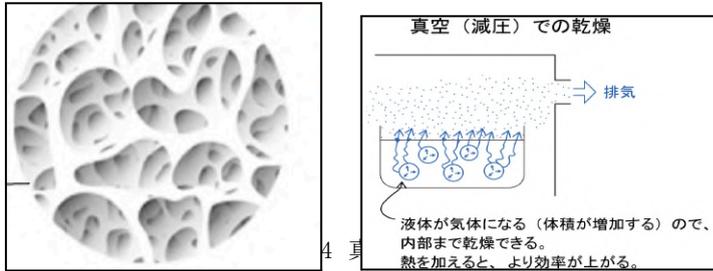
ケラチン分子間のSS結合や水素結合は1%酢酸溶液では十分に緩めることができず、その結果、ケラチン粉末の溶解量が低くなったと考えられる。また、溶解したケラチン量が少なかったことで、酢酸溶液中のケラチン濃度は低くなり、乾燥後に形成されたフィルムは薄くなったと考えられる。したがって、より高濃度の酢酸を用いることで、ケラチンの溶解量が増加すると考えた。



22

【実験2-2】

ケラチンが粉末化した原因の一つは、真空乾燥では圧力が低いため水分が急速に蒸発し、その際に内部に隙間が形成されることにあると考えられる。これによりケラチンは多孔質で脆い構造となり、粉末化したのだろう。(図23)加えて、真空乾燥を行う、急激な温度低下や脱水が原因で、分子同士が再配列・再結合する時間が不足したため、分子間の再結合が起こらなかった可能性を考えた。(図24)したがって、真空乾燥法は今回の条件では適していなかったと考える。



※図24 について

真空乾燥法とは、「真空(減圧)下では液体の沸点が下がる」という物理現象を利用して、対象物を低温・短時間で乾かす乾燥法のことを指す。

### 【実験3】

酢酸濃度の違いによる溶解度の有意な差は認められないと考えられる。

未加水分解であったケラチンは、溶解量が非常に微量であったため、最小単位が0.1gだった学校の電子天秤では溶解量を正確に測り取ることができなかったのだと考えられる。今後は、より最小単位の小さい電子顕微鏡でケラチン粉末を計り取る必要がある。さらに、実験1および2で用いたケラチン溶液についても、非常に低濃度であったことが実験3の結果より推測できる。

## 7. 結論

未加水分解ケラチンは水や酢酸には非常に溶けにくく、今回の条件では安定した純ケラチンフィルムを作ることはできなかった。また、ケラチンの溶解条件と乾燥方法がフィルム形成に大きく関わっているということがわかった。

## 8. 今後の展望

まずは純ケラチンフィルムの作製を成功させる。その後、成膜性および引張強度の向上を目的として、ケラチンとセルロースを複合させたフィルムの作製を試みる。特に、水素結合によりフィルムの骨格や強度を担うセルロースの役割に着目して、セルロースが50%以上となる比率を中心に条件を設定する。ケラチン:セルロース=3:7~5:5などの比率で複合フィルムの作製を行う。また、作製したフィルムについては、重りを用いた簡易的な引張強度測定により破断時の荷重を測定し、作製条件や保存期間による引張強度の変化を比較することで、梱包用フィルムとしての交換頻度の目安を明らかにする。さらに、引張強度に注目するだけでなく、水蒸気透過性(防湿性)や熱的安定性の評価にも取り組み、梱包材としての実用化につなげていきたい。これらの検討を通して、廃棄毛髪のアップサイクルにつながる生分解性材料としての応用可能性を評価していく。



図23

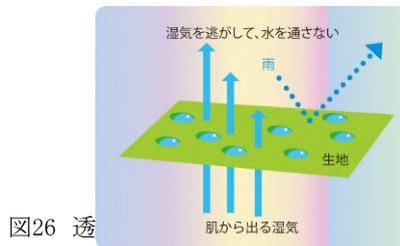


図26 透



## 9. 参考文献

1) 髪の毛の主な再利用(リサイクル)方法4選！具体的な活用方法を紹介

[https://quickpcr.jp/womanhair/hair-recycling/?srsltid=AfmBOooZZ1Rxsefb8xHBFbJOAZbCtPpqTA9PcUg9\\_oDMPaaGO48w1NUb](https://quickpcr.jp/womanhair/hair-recycling/?srsltid=AfmBOooZZ1Rxsefb8xHBFbJOAZbCtPpqTA9PcUg9_oDMPaaGO48w1NUb)

(最終閲覧日2025/11/6)

2) 厚木高校 78期 2年I組 α1班「小麦のふすまを用いた新たな生分解性素材の開発」

[https://www.pen-kanagawa.ed.jp/atsugi-h/tokushoku/documents/78i1\\_slide.pdf](https://www.pen-kanagawa.ed.jp/atsugi-h/tokushoku/documents/78i1_slide.pdf)(最終閲覧日2025/11/6)

3) 第2回先端材料工学に関する国際会議(AME 2016)の議事録

<https://www.atlantis-press.com/proceedings/ame-16/25857863> (最終閲覧日2025/11/6)

4) 毛髪から停られるケラチンフィルム 信州大学機関リポジトリ

<https://www.atlantis-press.com/proceedings/ame-16/25857863>(最終閲覧日2025/11/6)

5) 研究試料としての毛髪の特徴

<https://fiber.shinshu-u.ac.jp/fujii-lab/property.html> (最終閲覧日2025/11/6)

# 下水汚泥焼却灰の炭酸カルシウムを用いたリンの回収法

神奈川県立厚木高等学校  
2年 AB組 α22班

## 1. 要旨

リンは肥料の三要素の一つの元素であり、植物の生育に不可欠である。しかし、日本はその大部分を輸入に依存している。

本研究では、下水汚泥焼却灰に含まれるリンを再利用することで、この問題を解決できると考えた。先行研究の炭酸カルシウムを用いたリンの効率的な回収法を発展させ、言及のなかった温度の変化による収率の変化を逆二段階滴定により調べた。

その結果、温度とリンの収率に相関関係が見られないこと、25℃では炭酸カルシウム、72℃ではリン酸塩の沈殿が発生することがわかった。

今後は、沈殿を発生させないような実験方法を確立し、温度だけでなくpHの条件を変えることによってリンの収率をより高くする条件を見つけたいと考えている。

## 2. 背景・目的

リンは植物の成長に必要な3大栄養素の1つであるが、日本では生産できず中国からの輸入に頼っている<sup>1</sup>。また、下水汚泥焼却灰にはリン酸の含有量が30%ほどあるにもかかわらず、そのリサイクル率は極めて低い<sup>2,3</sup>。

これらの問題を解決するために、先行研究の鈴木ら<sup>4</sup>の方法を参考にし、下水汚泥焼却灰から更にリンを効率よく回収する方法を見つける。

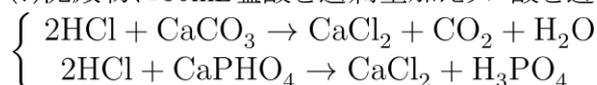
## 3. 仮説

炭酸カルシウムを用いた、下水汚泥焼却灰からのリンの回収において、温度が高いほうがリンの回収率は高くなる。

## 4. 方法

### 【実験1】

- (1)下水汚泥焼却灰を加え、100mLの水に溶かす。
- (2)溶液に1.0mol/Lの水酸化ナトリウムを20mL加え、5分以上攪拌する。
- (3)溶け切らなかった沈殿物を回収する。
- (4)溶液の温度を、ホットスターラーで25~70℃の間に調整する。
- (5)炭酸カルシウムを加え、5分以上攪拌する。
- (6)溶け切らなかった沈殿物を吸引ろ過する。
- (7)沈殿物に50mL塩酸を過剰量加えリン酸を遊離させる。



- (8)溶液を水酸化ナトリウムで逆二段階滴定する。

- (9)第1終点を $T_1$ (mL)、第2終点を $T_2$ (mL)、水酸化ナトリウム溶液の濃度を $C_{\text{NaOH}}$ (mol/L)、元の溶液の体積を $V$ (mL)とするとリン酸濃度 $C_{\text{H}_3\text{PO}_4}$ (mol/L)は、 $C_{\text{H}_3\text{PO}_4} = \frac{C_{\text{NaOH}}(T_2 - T_1)}{V}$ と表せる<sup>6</sup>ので、この式を用いてリン酸の濃度を求め、散布図にして傾向を見る。

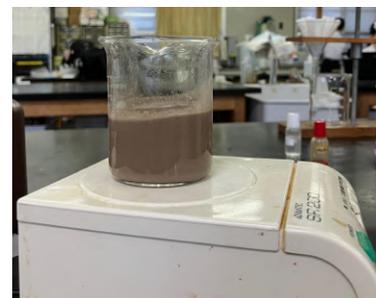


図1 方法(3)の様子

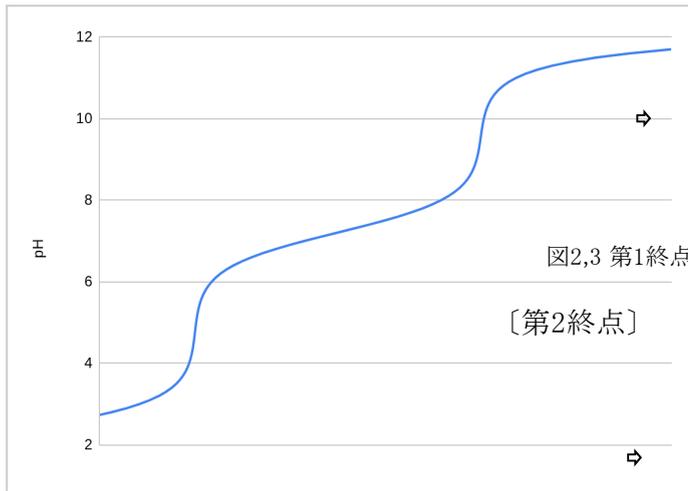


図2,3 第1終点の時の様子

[第1終点]



[第2終点]



図3,4 第2終点の時の様子

・実験1で温度を25,60,72℃に調節して滴定した際に、沈殿物が発生したため追加実験を行った。

[25℃の時の白色沈殿]

[60,72℃の時の白色沈殿]



図5 白色沈殿の様子



図6 白色沈殿の様子

【実験2】25℃のときに発生した沈殿物について硝酸銀を加える。

(1) 沈殿物

(2) 沈殿物に塩酸を加える。

(3) 沈殿物の炎色反応を確かめる。

【実験3】72℃のときに発生した沈殿物について滴定し、終点を2つ持つことを確かめる。遊離が起こっていないことを確かめる。

(1) 塩酸を加えた後に

(2) オレイン酸に沈殿物を加え、弱酸の

## 5. 結果

### 【実験1】

温度とリン酸の濃度は右の散布図のようになった。相関係数は、0.47 であり、強い相関関係は見られなかった。

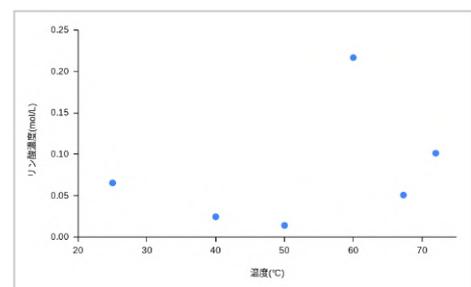


図7 温度とリン酸濃度の関係

### 【実験2】



硝酸銀を加えたとき、変化は見られなかった。  
また、塩酸を加えたときには発泡が見られた。  
さらに、橙赤色の炎色反応が見られた。

### 【実験3】

塩酸を加えて、滴定をすると、2回の終点が見られた。  
また、オレイン酸との反応では変化が見られなかった。

図8 炎色反応の様子 図9 オレイン酸との反応の様子

## 6. 考察

実験1について、相関関係が見られなかったことについて、60℃と70℃の間でリン酸濃度に大きな差が見られたことから、沈殿がリン酸濃度を測定する際に影響している可能性があると考えられる。

実験2について、炭酸の遊離が起きたことと橙赤色の炎色反応が見られたことから、25℃のときの沈殿物は、炭酸カルシウムを含む沈殿であると考えられる。

実験3について、オレイン酸より強く、塩酸より弱い酸がリン酸のほか考えられないため、60,72℃のときの沈殿物は、リン酸塩を含む沈殿であると考えられる。

## 7. 結論

今回の実験で利用したリンの回収方法において、温度とリンの収率に関係があると断言することはできない。

## 8. 今後の展望

滴定をする際に濁りが出ないような実験方法を確立する。

そして、その回収方法を使用し、pHの条件を変えていくことで、リンの回収率が高くなる条件を見つける。

## 9. 参考文献

1.リン循環産業振興機構大竹久夫(2023) 我が国の脆弱なリンサプライチェーン

[https://www.jstage.jst.go.jp/article/sfj/74/9/74\\_435/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/sfj/74/9/74_435/_pdf) 2025年9月28日閲覧

2.下水汚泥からのリン回収技術の開発

<https://whs.nagaokaut.ac.jp/reclab/gaiyou/2016/%E4%B8%8B%E6%B0%B4%E6%B1%9A%E6%B3%A5%E3%81%8B%E3%82%89%E3%81%AE%E3%83%AA%E3%83%B3%E5%9B%9E%E5%8F%8E%E6%8A%80%E8%A1%93%E3%81%AE%E9%96%8B%E7%99%BA.htm> 2025年9月28日閲覧

3.国土交通省 水管理・国土保全局 下水部 下水汚泥広域利活用検討マニュアル

<https://www.mlit.go.jp/common/001282926.pdf> 2025年9月28日閲覧

4.鈴木雅人など(2020)炭酸カルシウムを用いたリンの回収方法

<https://gakusyu.shizuoka-c.ed.jp/science/sonota/ronnbunshu/R2/203027.pdf> 2025年9月28日閲覧

5.混合酸の滴定曲線(2)―「レビ法」

<https://ftacg.livedoor.blog/archives/22827546.html> 2025年9月28日閲覧

6.リン酸 - Wikipedia

<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%83%AA%E3%83%B3%E9%85%B8> 2025年9月28日閲覧

7. 7664-38-2 リン酸

<https://labchem-wako.fujifilm.com/jp/product/detail/W01W0116-0217.html> 2025年9月28日閲覧

# ハクモクレンの葉の表面構造と撥水性の関係

神奈川県立厚木高等学校

2年 AB組 α23班

## 1. 要旨

本研究では、*Magnolia denudata*(以下、ハクモクレン)の葉の表面構造と撥水性の関係について調べた。ハクモクレンと*Camellia japonica*(以下、ツバキ)の葉の断面を観察したが、表面に明確な違いは見られなかった。次にハクモクレンの葉の表面を物理的に擦ることによって表面構造を破壊し、擦る前と擦った後の表面に水滴を落として様子を観察した。ツバキの葉にも同様の処理をし、顕微鏡で観察した結果、擦る前の試料と擦ったあとの試料では、表皮細胞の形状及び細胞境界の明瞭さに違いが見られ、表面に凹凸の粒状構造をもつものの方が強い撥水性が見られた。本研究は、ハクモクレンの表面構造が撥水性に強く影響することを明瞭に示した点に意義がある。

## 2. 背景・目的

植物の葉が水を弾く性質(撥水性)は、葉の表面に存在するクチクラ層などによって生じることが知られている。当初は葉表面のクチクラ層を単離して研究を進める予定であったが、クチクラ層は表皮と強く結合しており、単離が困難であった。実験の過程で、ハクモクレンの葉の表面は他の植物のように光沢がないことに気づいた。先行研究によると、ハクモクレンの葉のクチクラ層は比較的薄い。そこで本研究では、クチクラ層を含むハクモクレンの葉表面の微細構造全体が撥水性に果たす役割を調べることにした。

## 3. 仮説

ハクモクレンの葉の撥水性は、クチクラなどの化学成分よりも表面の微細構造に強く依存しており、押しつぶすと撥水性が低下する。一方、ツバキはハクモクレンに比べてより厚いクチクラ層をもち、撥水性はクチクラ層により依存することで、押圧後も撥水性が維持される。

## 4. 方法

### 【実験1】

ハクモクレンの葉とツバキの葉の一部を、それぞれカミソリで採取し、断面を観察する。断面から、表面の構造についての違いを読み取る。

### 【実験2】

ハクモクレンの葉を採取し、それぞれの試料について、未処理のものと指で表面を擦ったものを用意した。擦る操作では、できるだけ力を一定に保ち、5分間だけ行った。

各試料について、

- 1.表面構造の変化を見るために、葉表面の構造をスンプ法を用いて顕微鏡観察をした。
- 2.撥水性を検証するために、葉の表面にスポイトで水滴を滴下し、水滴の形状や広がり方を比較した。このとき、滴下した水滴が丸みをより保っているほど撥水性が高いと判断する。
- 3.ツバキの葉にも同様の処理・実験を行い、ハクモクレンの葉と比較する。

## 5. 結果

### 【実験1】

断面からはうまく違いが読み取れなかった。(図1、図2)

表面の微細構造は走査型電子顕微鏡のように高倍率のものでないとうまく読み取れないとわかった。

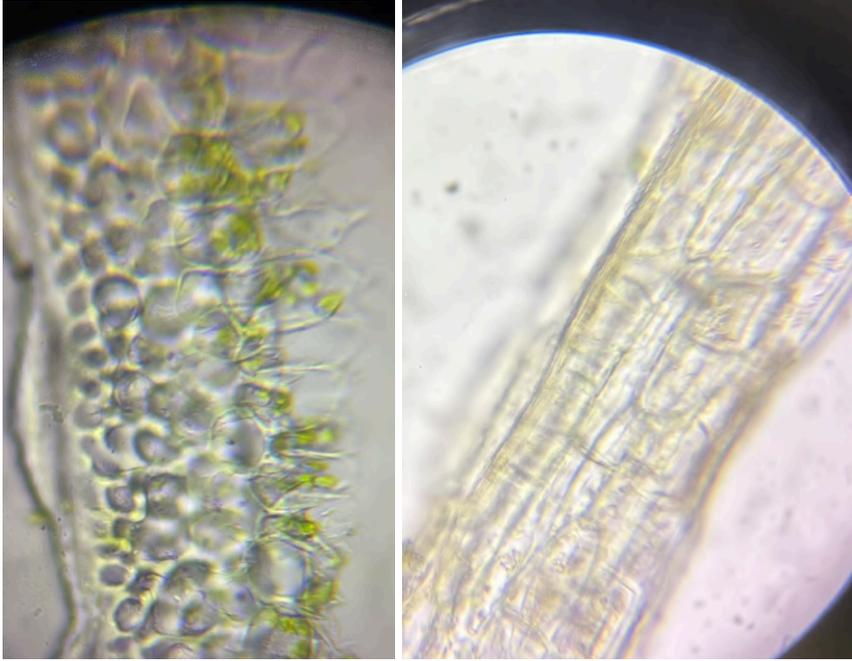


図1 ツバキの葉の断面

図2 ハクモクレンの葉の断面

## 【実験2】

### ・ハクモクレンの表面構造と撥水の観察

擦る前の葉では表皮細胞の形状や配置が比較的均一で、細胞境界が明瞭に観察された。(図3)  
一方、擦った後の葉では細胞境界が不明瞭になり、表面構造が乱れていた。(図5)  
撥水性について、擦る前は水滴が球形に近いが、擦った後は水滴が広がった。(図4、図6)

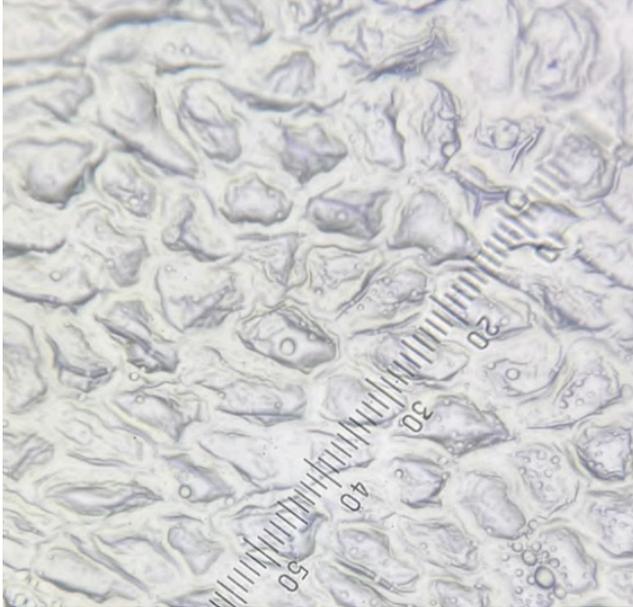


図3 ハクモクレン押圧前



図4 ハクモクレン押圧前

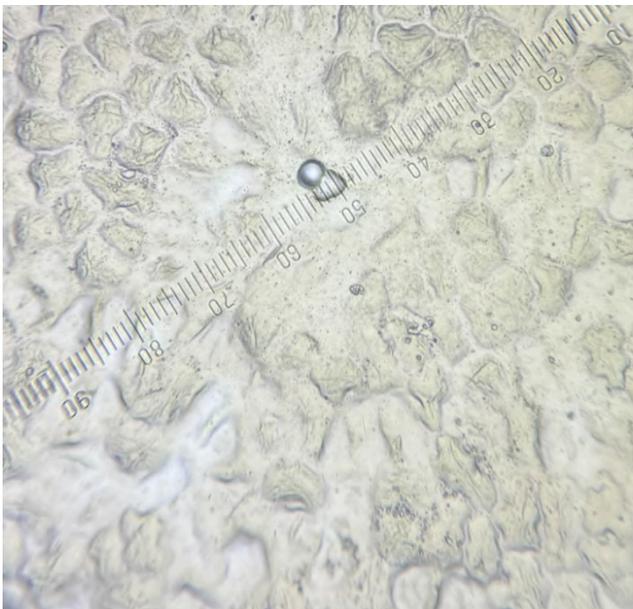


図5 ハクモクレン押圧後



図6 ハクモクレン押圧後

・ツバキの葉の表面構造と撥水の関係

擦る前、擦った後ともに表皮細胞の構造は見られなかった。(図8、図9)

また、擦る前と擦った後で同程度の撥水性が見られた。(図7、図9)



図7 ツバキ押圧前

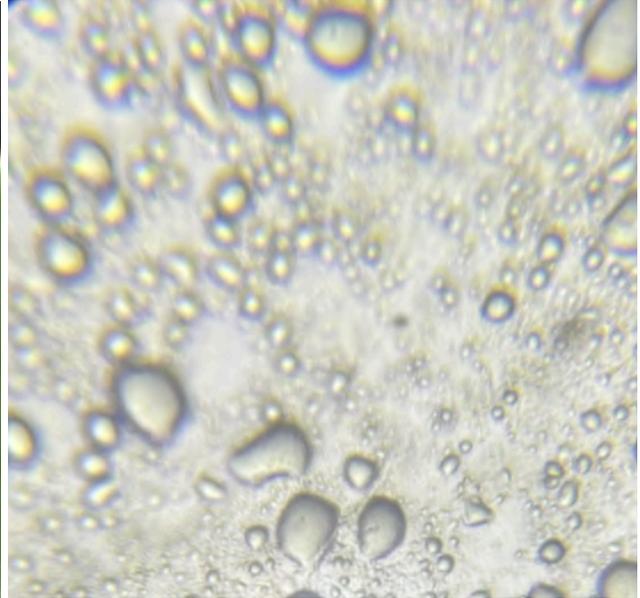


図8 ツバキ押圧前



図9 ツバキ押圧後

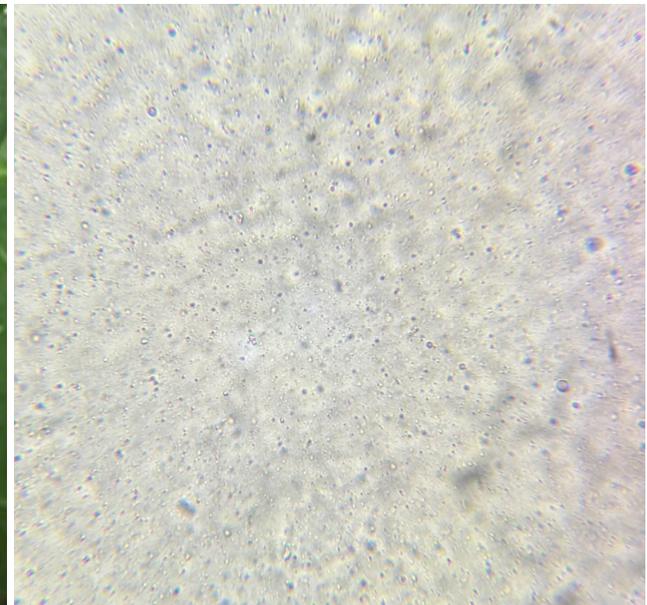


図10 ツバキ押圧後

6. 考察

ツバキでは表面構造、撥水性ともに変化が見られなかったが、ハクモクレンでは表面構造、撥水性ともに変化が見られたことから、葉の表面の微細な構造が撥水性に重要な役割を果たしているとし唆される。

## 7. 結論

ハクモクレンの葉の表面での撥水において、ツバキの葉と比べた場合、表面構造による影響が、表面のクチクラ層による影響よりも比較的優位である。

## 8. 今後の展望

現在はツバキとハクモクレンの2種類のみで、また一枚ずつの葉のみを用いているため、より実験回数を増やすことが必要である。また、今回は撥水性の定量的な評価をしていないため、今後は葉の表面と水滴のなす接触角の測定などを行うことで、より詳しい実験を行う。

## 9. 参考文献

1.V. A. Badanina,O. A. Futorna,O. O. Demchenko,R. M. PalagechaM. M. Gaidarzhy

Anatomical structure of leaves in Magnolia kobus, M. obovata, M. denudata in the first stages of ontogenesis 最終閲覧日2026年1月31日

<https://medicine.dp.ua/index.php/med/article/view/997#:~:text=The%20cuticle%20is%20relatively%20thin,the%20thinnest%20is%20in%20M.>

2.協和界面科学株式会社「撥水性の評価法」 最終閲覧日2025年6月4日

[https://www.istage.ist.go.jp/article/sfi/60/1/60\\_1\\_21/pdf/-char/ja](https://www.istage.ist.go.jp/article/sfi/60/1/60_1_21/pdf/-char/ja)

3.東京大学大学院「葉の表面構造と撥水性の発現機構—イネの葉における微細構造とロータス効果—」 最終閲覧日2025年6月4日

[https://bsi.or.jp/jpn/general/bsi-review/BSI\\_Review6B\\_102-111.pdf](https://bsi.or.jp/jpn/general/bsi-review/BSI_Review6B_102-111.pdf)

4.タキイ種苗株式会社「農業園芸用語集」 最終閲覧日2025年6月5日

<https://www.takii.co.jp/glossary/ku.html>

5.Susumu TERABAYASHI, Masami HIGUCHI and Minoru OKADA「Cork Layer Development and Cuticle Thickening in Stems of the Genus Magnolia Subgenus Yulania」最終閲覧日2025年6月5日

[https://www.istage.ist.go.jp/article/jiapbot/74/4/74\\_74\\_4\\_9357/pdf/-char/ja](https://www.istage.ist.go.jp/article/jiapbot/74/4/74_74_4_9357/pdf/-char/ja)