

# リモネンの高濃度抽出

神奈川県立厚木高等学校

2年 D組 β1班

## 1. 要旨

今日ではオレンジの皮はゴミとして廃棄されている。また、現代では環境対策に多くの注目が集まっている。これらのことから、我々はオレンジの皮を有効に活用する方法を研究することにした。

本研究では、オレンジの皮に含まれるd-リモネン(*1-Methyl-4-(1-methylethenyl)-cyclohexene*)という物質に着目し、リモネンを活用できるようにするための高濃度な抽出方法を検討することにした。抽出方法は、水蒸気蒸留法、溶剤抽出法、圧搾法の3つに加え後から遠心分離法を追加し計4つの方法を活用し高濃度な抽出を検討した。

結果としては、溶剤抽出法と遠心分離法の2つを組み合わせた方法を用いることによって最も高濃度な抽出をすることができた。しかし、その方法でも実用化するには程遠く、根本的な抽出法の改善が必要とされるという結論に至った。

## 2. 背景・目的

オレンジの皮に含まれるd-リモネン(*1-Methyl-4-(1-methylethenyl)-cyclohexene*)には、油汚れを落とす効果などがあり、掃除等様々な場面で用いられる。そこで、捨てられてしまうオレンジの皮からリモネンを高濃度で抽出する方法を検討し、フードロスに対策する事によって、持続可能な社会に貢献することを目的とした。また、抽出方法については、先行研究により、溶剤抽出法、圧搾法がリモネンの抽出に有効であるということがわかっている。<sup>1</sup>

## 3. 仮説

先述したとおり、先行研究により、溶剤抽出法、圧搾法がリモネンの抽出に有効であるということがわかっている。<sup>1</sup>そこで新たに水蒸気蒸留法を加え、これら3つの抽出法を比較し、オレンジの質量に対して最も効率よく抽出できる抽出方法が水蒸気蒸留法であるかの検討を行う。

## 4. 方法

初めに、オレンジの皮を剥き1cm四方に切っておく。また、この実験ではネーブルオレンジ(*Citrus sinensis var. brasiliensis*)を使用し、すべて50gとする。

### 実験1-1: 水蒸気蒸留法

【1】固定した丸底フラスコにオレンジの皮を入れ、皮が完全に浸かるまで純水を注ぎ、沸騰石を一粒加える。

【2】ガスバーナーに火をつけ、先ほどのビーカーを網に乗せ温める。

【3】気化した気体をリービッヒ冷却器で冷やし、200mlビーカーに集める。

### 実験1-2: 溶剤抽出法<sup>2</sup>

【1】200mlビーカーに果皮を入れ、皮が浸るくらいまでそれぞれの薬品を注ぎ、果皮をガラス棒でつつく。

【2】液体のみを取り出して容積600mlのナスフラスコに移し、ロータリーエバポレーターで蒸留する。その際、水温は60℃とし、300hPaまで減圧する。

【3】十分に液体を得るまで抽出する。

### 実験1-3: 圧搾法

【1】オレンジの皮を不織布で包み、圧搾機に入れる。

【2】抽出が十分に行えたことが確認できるまで圧搾したのち、抽出された液体をろ紙で濾す。

## 実験2

リモネンにはポリスチレンとの親和性があり溶解性を持つことが知られている。そこで、ポリスチレンを主成分とする発泡スチロールをどれほど液体が溶かしたかを数値化することによってそれぞれの濃度を比較する。

【1】それぞれの実験で得られた液体を、シャーレに入れた発泡スチロールに入れる。

【2】発泡スチロールが溶けた体積で濃度を比較する。

## 実験2:結果

3つの液体全てで明らかな溶解性は確認できなかったため、追加で次のような実験を行った。

## 実験3:溶剤抽出法+遠心分離

【1】ミキサーにオレンジの皮(150g)とエタノール(250ml)を加え、皮と液体が混ざりきるまで30秒間攪拌する。

【2】【1】で抽出した液体各30mlをマイクロチューブに入れる。

【3】3000回/分で回転させ、15分間遠心分離を行う。

【4】遠心分離終了後、2層に分かれた液体のうち上層部分をピペットで取り出す。

【5】エバポレーターを用いて【4】で得た液体を蒸留する。

## 実験4:

時間をおいて実験3で抽出できたものをもう一度エバポレーターで蒸留する。

## 実験5:濃度測定

リモネンは石鹼の泡立ちを抑える効果があるとわかっている<sup>3</sup>。

## 補足実験

抽出の際に用いたエタノールが石鹼の泡立ちに影響しないことを確認する。

手順1:300mlビーカーに石鹼水0.5%を60ml入れ、それを4つ用意する。

手順2:それぞれのビーカーに純水、エタノール、アセトン10mlずつ入れる。

手順3:攪拌機でそれぞれ30秒ずつ混ぜ、泡立ちの高さを比較する。

## 本実験

【1】300mlビーカーに石鹼水0.5%を60ml入れ、それを3つ用意する。

【2】それぞれのビーカーに実験3、実験4で抽出したものを10ml入れ、もう1つのビーカーにはエタノールを10ml入れる。

【3】それぞれ攪拌機で30秒ずつ混ぜ、泡立ちの高さを比較する。

## 5. 結果

図2のように抽出したものにより泡立ちが抑えられたことが確認できた。また、わずかに2回抽出したほうが低くなっていることがわかった。また、補足実験と図1より、エタノールは泡立ちに影響しないことがわかった。よって、抽出されたものにはリモネンが含まれていることが確認できた。



図1 左から純水、エタノール、リモネン

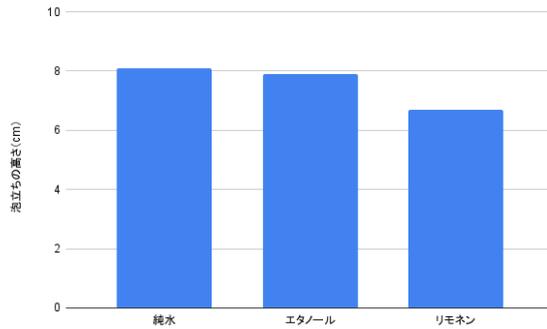


図2 用いた液体と泡立ちの高さ(cm)

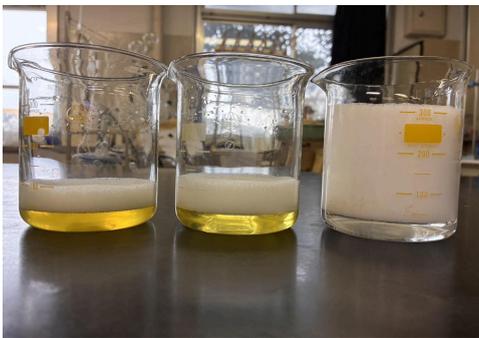


図3 実験5の結果 右から実験4、実験3、エタノール

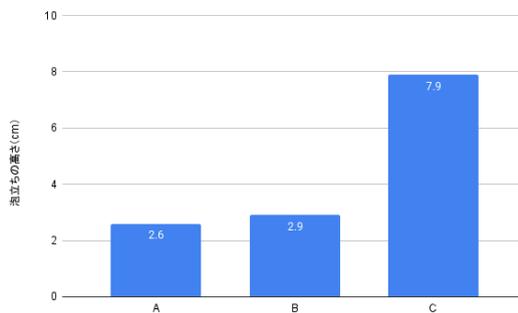


図4 用いたビーカーと泡立ちの高さ(cm)

## 6. 考察

結果より、仮説である水蒸気蒸留法はリモネンの抽出には不適切であることが判明した。また、リモネンの抽出において効果的なのは遠心分離機を用いた遠心分離法と溶剤抽出法を組み合わせた方法であり、その方法で抽出したのものにはリモネンが含まれていることが実験5によって判明した。

## 7. 結論

遠心分離法と溶剤抽出法を組み合わせる方法が今回の中では最も高濃度抽出に適していたということがわかった。

## 8. 今後の展望

遠心分離、溶剤抽出法を経て抽出したものにリモネンが含まれることは確認することができたが、その抽出できたものを活用するには濃度が全く足りなかった。よって、根本的に抽出方法を改善することや、オレンジの皮の量を大量に増やすことが必要であると考えられる。

今回用いた方法を改善して濃度を高めることは可能であると考えられるが、活用まで考えるのであれば何かを根本的に変えることが必要であるように感じた。

## 9. 参考文献

- 1 厚木高校78期2年H組3班α リモネンの高濃度抽出法の検討 2025.9.26 閲覧  
[https://www.pen-kanagawa.ed.jp/atsugi-h/tokushoku/documents/78h\\_report.pdf](https://www.pen-kanagawa.ed.jp/atsugi-h/tokushoku/documents/78h_report.pdf)

2 宮城県延岡高等学校化学112班 食料廃棄物から香料を作る 2025.9.26 閲覧

[https://cms.miyazaki-c.ed.jp/6027/cabinets/cabinet\\_files/download/282/3a4672e08c7a1c20d0fe67a8fcf54416?frame\\_id=494](https://cms.miyazaki-c.ed.jp/6027/cabinets/cabinet_files/download/282/3a4672e08c7a1c20d0fe67a8fcf54416?frame_id=494)

3 熊本県立松橋高校 リモネン依存セッケンの効果変動の分析 2025.9.3 閲覧

URL 消失

# MBTIの違いによる、環境変化が社会的比較の傾向に与える影響

神奈川県立厚木高等学校

2年 D組 β2班

## 1. 要旨

学校生活におけるクラス替えや進路選択などの環境変化により、他者と自分を比較する機会が増える。本研究は、MBTI<sup>1</sup>の性格タイプの違いが、環境変化に伴う社会的比較傾向に与える影響を明らかにすることを目的とした。厚木高等学校の生徒を対象にアンケート調査を実施し、性格タイプ別に社会的比較傾向を分析した。その結果、外向型(E)/内向型(I)や感情型(F)/思考型(T)といった単一指標では有意差は限定的であったが、4色分類では社会的比較に有意な変化が多く認められた。このことから、社会的比較傾向は性格特性と環境要因の相互作用によって変化する可能性が示唆された。

## 2. 背景・目的

### 背景

学校生活においては、クラス替えや進路選択など、環境の変化が頻繁に生じる。こうした変化は、生徒の心理的状态に影響を与えやすく、他者と自分を比較する「社会的比較」<sup>2</sup>の傾向が強まったり弱まったりする可能性がある。一方、MBTI診断<sup>3</sup>は個人の性格特性を16タイプに分類する指標であり、個人の行動傾向や認知スタイルを把握する手がかりとなる。そこで本研究では、性格タイプの違いによって社会的比較への傾向に差が生じるのかどうかを検証する。

### 目的

本研究の目的は、MBTIによって分類される性格タイプと社会的比較の傾向との関連性を明らかにすることである。さらに、性格タイプの違いによって、環境の変化が社会的比較にどのような影響を与えるかを分析する。最終的には、得られた研究をもとに、高校生に対する心理的サポートや学習支援の方法を検討するためのヒントを得ることを目指す。

## 3. 仮説

社会的比較傾向とMBTIの性格タイプの関係においては、特に感情型(F)と思考型(T)の違いが大きく影響すると考えられる。感情型(F)は他者の感情や評価に敏感であり、他者からの承認や共感を重視する傾向がある。そのため、自己評価において上方比較(自分より優れている他者との比較)を行いやすいと予想される。一方、思考型(T)は論理や合理性を重視し、物事を客観的に捉える傾向がある。そのため、自己評価の基準として下方比較(自分より劣っている他者との比較)を行い、自身の立ち位置を確認する傾向が強いと推察される。

## 4. 方法

MBTIによる性格タイプと社会的比較傾向との関連を調査するため、以下の手順でアンケート調査を実施した。

#### 4-1 調査対象

調査対象は、厚木高等学校の生徒とした。

#### 4-2 MBTIと社会的比較傾向の測定

〈MBTI診断〉

MBTIの性格タイプの分類には、オンラインで実施可能な「無料性格診断テスト16Personalities」<sup>3</sup>を用いて、各生徒を16の性格タイプに分類した。

〈社会的比較傾向の測定〉

Gibbons and Buunk(1999)による「社会的比較志向性」<sup>4</sup>の邦訳を用いる。質問項目の作成にあたっては、以下の先行研究を参考にした。

- 「社会的比較志向性と心理的特性との関連」<sup>4</sup>
- 「Instagramの利用と幸福度の関係における社会的比較と承認欲求の影響」<sup>5</sup>

さらに、「アンケートを用いた質の高い調査研究を行うための手引き」<sup>6</sup>を参照し、質問文の明確化、項目数の適正化、回答の一貫性を高める工夫を行った。

すべての質問項目は、5段階尺度（1=全くそう思わない～5=とてもそう思う）で回答を求めた。

社会的比較に関する具体的な質問項目を図1に示す。

（なお、本調査の質問項目5、6は同じではないかという指摘を受けたため、後期中間テスト後のアンケートでは質問項目6は使用していない）

事前調査	
質問項目1	他の人のやり方と比べて自分のやり方はどうであるか、いつも気にしている
質問項目2	自分と似たような課題に直面している人が、何を考えているのかよく知ろうとする
質問項目3	あまり自分と他の人とを比べる方ではない
質問項目4	何かについてもっと知りたいと思うとき、それについて他の人が何を考えているのか知ろうとする
質問項目5	何かについて自分がどのくらい上手くできたかを知りたいときには他の人のやったことと自分がやったことを比べる

本調査	
質問項目1	次のテストではAさんに勝てるよう頑張ろうと思う
質問項目2	Aさんにはこれ以上頑張らなくて欲しいと思う
質問項目3	自分なんかダメだと思う
質問項目4	Aさんを尊敬してる
質問項目5	次のテストでもAさんに勝てるように頑張ろうと思う
質問項目6	Aさんには次のテストでも勝てるように頑張ろうと思う
質問項目7	自分はできると思って安心する
質問項目8	自分の方が良くできて、安心する

図1 MBTI診断アンケート質問項目

#### 4-3 調査時期と手順

- ① MBTI診断および初回の社会的比較アンケートの実施(事前調査)
- ② 後期中間テストの直前に社会的比較アンケートを実施(本調査)
- ③ 後期中間テストの直後に再度社会的比較アンケートを実施(本調査)

- ④ アンケート集計
- ⑤ t検定による統計分析

#### 4-4 分析方法

回収したデータは、MBTIによる性格タイプ別に分類し、スプレッドシートに入力する。前後の社会的比較傾向の変化について、性格タイプごとにt検定を用いて統計的有意差の有無を検証する。さらに、16タイプを四つのグループにまとめた4色分類も用いて、多角的に分析を行った。

## 5. 結果

### 【事前調査①】

本研究の第1段階として厚木高等学校の生徒718人の回答より得られたデータをもとに、MBTIのタイプと社会的比較の頻度や強さの概要を以下に示す。

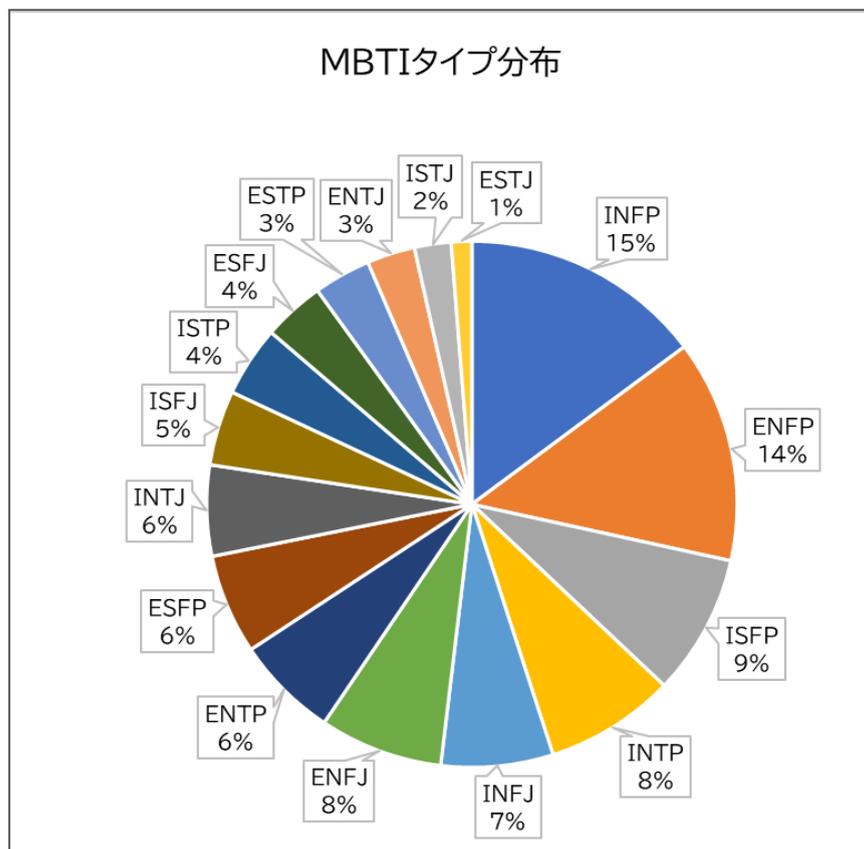


図2 MBTI診断アンケート結果によるタイプ割合

図2より、MBTIの性格タイプではINFPおよびENFPが最も多く、感情型(F)や直感型(N)を含むタイプが多くみられた。一方で、ESTJやISTJなど判断型(J)を含むタイプは比較的少数であった。日本人の一般的な傾向とほぼ等しい結果となった。

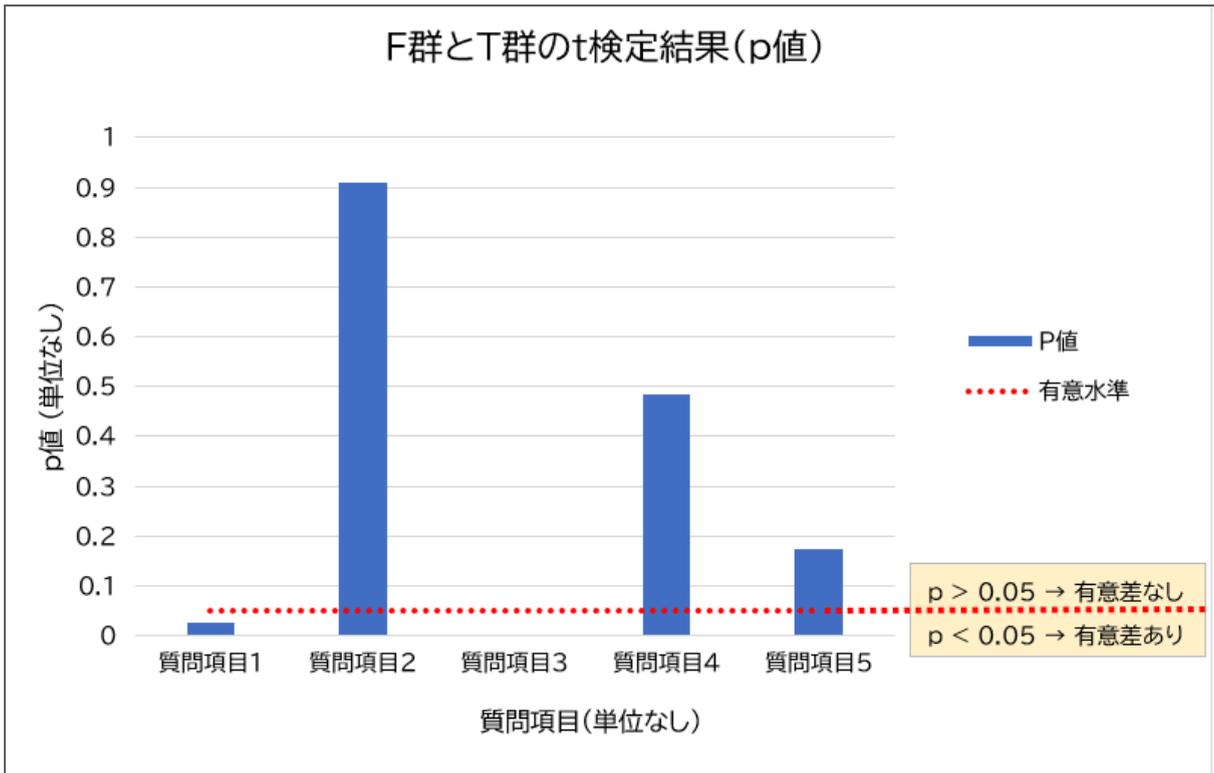


図3 F(感情型)とT(思考型)の社会的比較傾向  
 図3の通り、質問項目1、3においてのみ、t検定のp値に有意差が認められた。

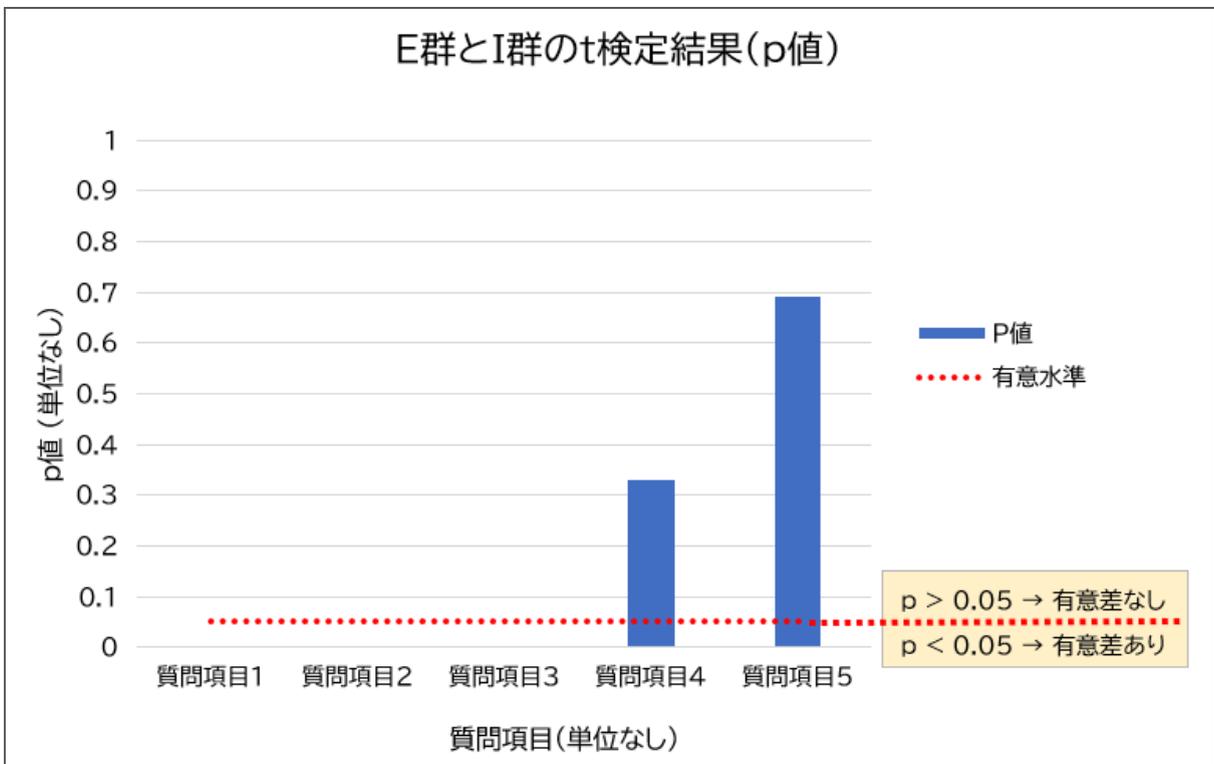


図4 E(外向型)とI(内向型)の社会的比較傾向  
 図4の通り、質問項目1、2、3において、t検定のp値に有意差が認められた。

【本調査②③】

後期中間テスト前後で得られた厚木高等学校1、2年生(②は407人、③は452人)のデータをもとに、個人単位でみた社会的比較の程度の変化量の概要を以下に示す。

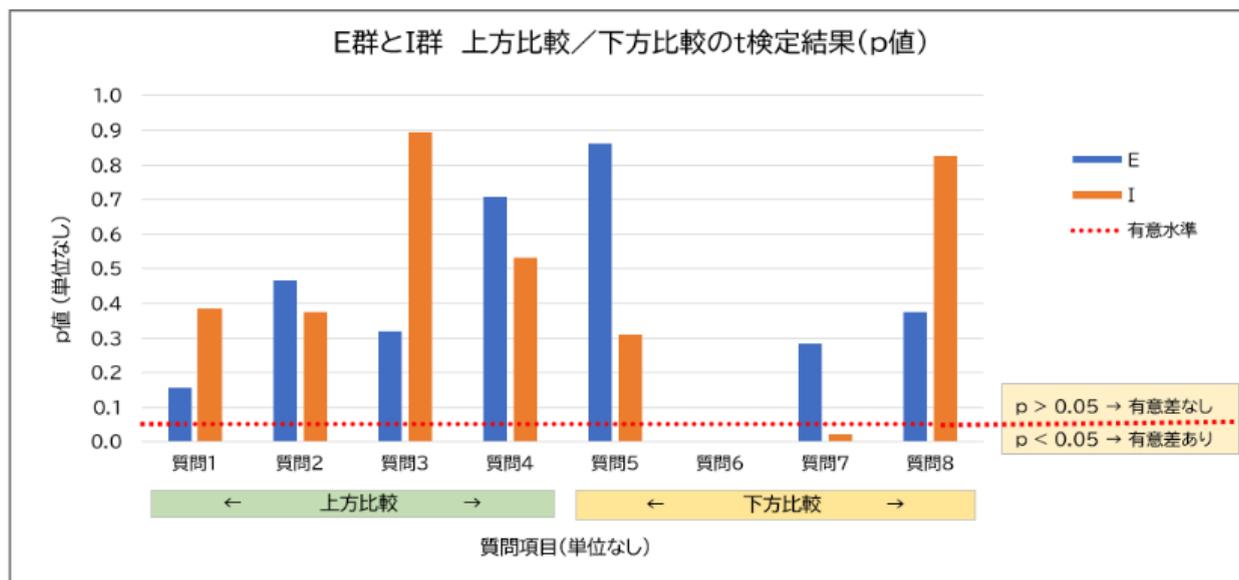


図5 E(外向型)とI(内向型) 上方比較/下方比較の変化量  
図5の通り、多くの質問項目でt検定のp値に有意差が認められなかった。

		テスト前					
		紫×黄	紫×緑	紫×青	黄×緑	黄×青	緑×青
上方比較	質問1	0.000023	0.002907	0.000488	0.002841	0.098127	0.024190
	質問2	0.166029	0.001174	0.080902	0.000674	0.076410	0.016138
	質問3	0.143460	0.117840	0.034449	0.090602	0.023096	0.045663
	質問4	0.159085	0.000181	0.158918	0.000109	0.151101	0.000213
下方比較	質問5	0.000496	0.019647	0.147803	0.009855	0.003457	0.044397
	質問6	0.000076	0.142556	0.021484	0.000003	0.031297	0.014386
	質問7	0.000007	0.083836	0.154956	0.000000	0.000047	0.107242
	質問8	0.000041	0.034376	0.112978	0.000170	0.001178	0.094074

		テスト後					
		紫×黄	紫×緑	紫×青	黄×緑	黄×青	緑×青
上方比較	質問1	0.005654	0.045256	0.033846	0.023817	0.000643	0.003866
	質問2	0.083120	0.026272	0.116453	0.003847	0.145892	0.019575
	質問3	0.130016	0.023704	0.017884	0.011760	0.012091	0.081189
	質問4	0.160936	0.000704	0.116048	0.000424	0.118455	0.001454
下方比較	質問5	0.024728	0.161116	0.012755	0.015322	0.000941	0.008013
	質問6						
	質問7	0.012896	0.070108	0.120363	0.038470	0.044275	0.135059
	質問8	0.007981	0.085882	0.030480	0.011737	0.131239	0.046052

図6 色別テスト前後のt検定結果(p値)の一覧表

図6の通り、色別ではテスト前後で t検定のp値に有意差が多く認められた。数値は小数点第7位で四捨五入して表記し、統計的に有意差が認められた項目を黄色で示した。

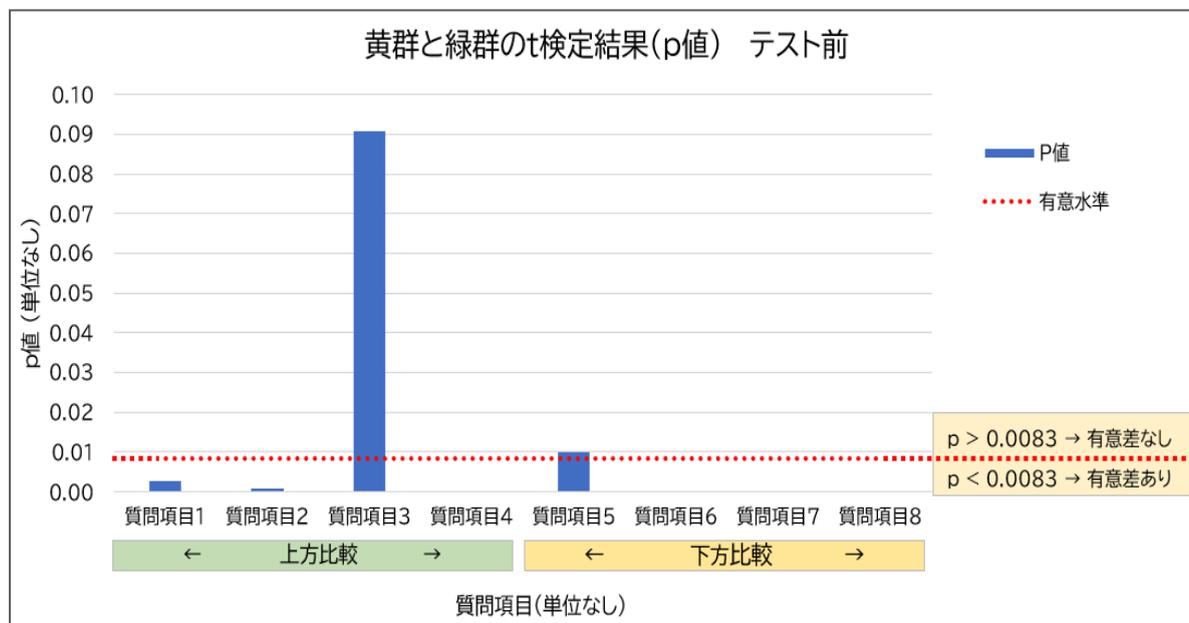


図7 黄群と緑群のテスト前 社会的比較傾向

図7の通り、質問項目1、2、4、6、7、8のみt検定のp値に有意差が認められた。

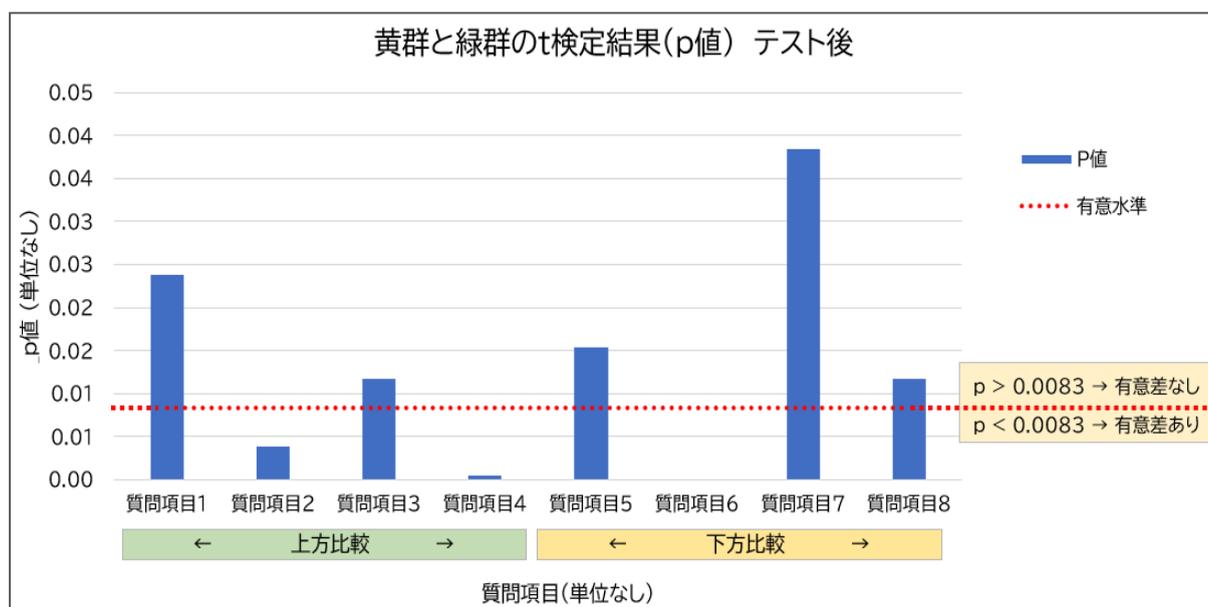


図8 黄群と緑群のテスト後 社会的比較傾向

図8の通り、質問項目2、4のみt検定のp値に有意差が認められた。

なお、後期中間テスト後のアンケートでは、調査内容の変更により質問項目6は使用していない。

## 6. 考察

### 【事前調査①】

○図3、4より

本研究の仮説では、社会的比較傾向において感情型(F)と思考型(T)の違いが大きく影響すると予想した。しかし、事前調査のデータ分析では感情型(F)と思考型(T)の間に有意な差は認められなかった。

一方、外向型(E)と内向型(I)の間には統計的に有意な差が確認された。特に「他者との比較を意識するかどうか」に関する質問項目で顕著であった。外向型(E)の生徒は他者の意見や行動を参照する傾向が強く、社会的比較を積極的に行う傾向があるのに対し、内向型(I)の生徒は比較を避ける傾向が表れていた。

この結果から、外向型が他者との交流や社会的活動を重視する性格的特性を持つことが考えられる。外向型(E)の生徒は比較対象に接する機会が多く、その影響を受けやすいため、社会的比較傾向が強くなると考えられる。一方、内向型(I)は自己の内面への関心が強く、他者との比較を必要としないため、比較傾向が弱くなると考えられる。

### 【本調査②③】

○図5より

事前調査①の結果を踏まえ、外向型(E)と内向型(I)では、社会的比較傾向の環境への柔軟性や変化のされ方が異なると新たな仮説を立て、外向型(E)と内向型(I)の単位指標でのみ個人単位でみた社会的比較の程度の変化量を分析した。しかし、概ねの質問項目でt検定のp値に有意差は認められなかった。このことから、本研究の条件、範囲では、性格特性の違いは環境変化に伴う社会的比較傾向の変化に影響を与えないことが確認された。

○図6より

色別では後期中間テスト前後において、t検定結果のp値に有意差が多く認められた。

MBTIには、性格タイプを基にした4色分類が一般的に用いられており、それぞれの分類には共通した特徴があるとされている。

紫群(分析家)にはINTJ、INTP、ENTJ、ENTPが含まれ、知的・理論的な傾向をもつ。

青群(番人)にはISTJ、ISFJ、ESTJ、ESFJが含まれ、秩序や協調性を重視する傾向がある。

緑群(外交官)にはINFJ、INFP、ENFJ、ENFPが含まれ、理想や調和を重んじる傾向がある。

黄群(探検家)にはISTP、ISFP、ESTP、ESFPが含まれ、柔軟性や行動力に特徴がある

<sup>3,7</sup>。

これら4色分類は、それぞれ価値観やコミュニケーションスタイル、動機づけの傾向が異なるとされていることから、テスト前後という状況変化に対する反応の違いが社会的比較傾向に表れ、その結果として複数の項目で有意差が認められた可能性が考えられる。

○図7、8より

図6、7、8の分析においては、複数の質問項目に対してt検定を行ったため、ボンフェローニ補正<sup>8</sup>を用いて有意水準を0.05から0.0083に補正し分析を行った。

中でも有意差が最も多く認められたのが、黄群と緑群のテスト前後における社会的比較であった。黄群は状況への適応力が高く、体験を通して判断する傾向があることから、テストという明確な出来事を境に社会的比較の在り方が変化しやすかった可能性がある。一方、緑群は物事の意味や価値を重視し、自己の内面と向き合う傾向が強いため、テスト前には成績や評価を他者と比較しながら自己評価を行いやすいと考えられる。このような性格特性の違いにより、テスト前後という状況変化が両群の社会的比較傾向に強く影響し、多くの項目で有意差が認められたと考えられる。

## 7. 結論

本研究では、MBTIによって分類される性格タイプと社会的比較傾向との関連性、ならびに環境の変化が社会的比較に与える影響について検討した。その結果、外向型(E)/内向型(I)や感情型(F)/思考型(T)といった単一の性格指標では社会的比較傾向に明確な差はほとんど認められなかった。一方で、4色分類においては、特に黄群および緑群でテスト前後の社会的比較に有意な変化が多く認められた。

このことから、社会的比較傾向は性格特性のみで一律に説明できるものではなく、価値観や行動傾向を含む複合的な性格特徴と、テスト前後といった環境要因との相互作用によって変化する可能性が示唆された。

これらの結果を踏まえると、生徒の性格タイプや状況に応じて支援の方法を工夫することが重要であると考えられる。

状況変化に影響を受けやすい黄群には学習過程や努力を評価する声かけを行い、内面的価値を重視する緑群には自己評価や振り返りを取り入れるなど、社会的比較に偏らない支援が有効である。

以上より、本研究は、高校生に対する心理的サポートや学習支援を検討する上で、性格特性と環境要因の両面から支援を考えることの重要性を示すものである。

## 8. 今後の展望

本研究にはいくつかの課題も残された。第一に、調査対象が高校一年生と二年生であったため、定期テストを環境変化要因として扱ったが、学年によって定期テストに対する認識や、心理的意味付けが異なる可能性がある。そのため、学年別に分析を行うことで、より詳細な結果が得られると考えられる。第二に、本研究ではGoogleフォームによるアンケートを実施したが、これは量的データだったために、回答の正確性や個人の内面的な認識を十分に反映できていない可能性がある。今後は、インタビューなどの質的調査を併用することで、より社会的比較傾向が生じる背景を理解でき、結果の信頼性も高まると考えられる。

## 9. 参考文献

1. 一般社団法人日本MBTI協会 MBTIとは <https://www.mbti.or.jp/what/> 2025/9/23閲覧
2. Weblio辞書 社会的比較理論  
[https://www.weblio.jp/content/%E7%A4%BE%E4%BC%9A%E7%9A%84%E6%AF%94%E8%BC%83%E7%90%86%E8%AB%96#google\\_vignette](https://www.weblio.jp/content/%E7%A4%BE%E4%BC%9A%E7%9A%84%E6%AF%94%E8%BC%83%E7%90%86%E8%AB%96#google_vignette) 2025/9/23閲覧
3. NERIS Analytics Limited 無料性格診断テスト 16Personalities  
<https://www.16personalities.com/ja/%E6%80%A7%E6%A0%BC%E8%A8%BA%E6%96%AD%E3%83%86%E3%82%B9%E3%83%88> 2025/9/23閲覧
4. 筑波大学心理学系 外山 美樹 社会的比較志向性と才む理約特性との関連  
<https://tsukuba.repo.nii.ac.jp/record/2753/files/23.pdf> 2025/9/23閲覧
5. 成蹊大学 QVWDJUDPの利用と幸福度の関係における社会的比較と承認欲求の影響  
<https://www.seijo.ac.jp/education/faeco/academic-journals/jtmo42000001iji-att/235-8arai.pdf>  
2025/9/23閲覧
6. 小山 祐樹 川口 敦 志馬 伸朗 アンケートを用いた質の高い調査研究を行うための手引  
[https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsicm/28/3/28\\_28\\_180/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsicm/28/3/28_28_180/_pdf) 2025/9/23閲覧
7. MBTIラボ MBTIの色分けとは？性格タイプを色で表現する方法について徹底解説！  
[https://16labo.jp/mbti-color-coding/#google\\_vignette](https://16labo.jp/mbti-color-coding/#google_vignette) 2025/12/27閲覧
8. 株式会社データシード いちばんやさしい、医療統計 ポンフェローニ法での補正は多重比較検定で重要！計算方法やメリットデメリット  
<https://best-biostatistics.com/multiple/bonferroni.html> 2025/12/27閲覧

その凹凸、本当に必要？  
～サハラギンアリの謎に迫る～

神奈川県立厚木高等学校  
2年D組3班β

## 1. 要旨

近年、サハラギンアリはバイオミメティクス分野において注目を集めている。本種は砂漠という過酷な環境下で生存可能であり、その生態、特に毛の構造には未解明な点が多い。先行研究より、アリの毛は三角柱構造を有し、皮膚に接しない二面が凹凸で覆われていることが明らかになっているが、凹凸の役割や形状については十分に検討されていない。そこで本研究では、毛表面の凹凸が温度変化に与える影響、熱放射に有効な凹凸の個数、および凹凸形状の違いによる影響を明らかにすることを目的として実験を行った。

その結果、凹凸を有するモデルにおいて放射冷却効果が確認された一方で、特定の形状や過剰な凹凸数は冷却効果に大きな影響を与えないことが示された。

今後は、サンプルサイズの拡張およびモデルの精密化による実験の信頼性向上と、実験条件の拡張による結果の一般化を図り、地球温暖化に伴う異常気象への対応を見据えた社会実装につなげる。

## 2. 背景・目的

今日、生物の構造や機能から得たアイデアを新しい技術や製品に活用するバイオミメティクスという学問分野が注目を集めている。例えば、ハスの花の撥水性に着想を得たヨーグルトの蓋や、カエルの足を模倣したカヌーのパドルなどがある。世界中に生息する多種多様な生物の中で今回私達は *Sahara Silver Ant* (サハラギンアリ) に注目した。サハラギンアリとはサハラ砂漠に生息する体長10mm程のアリである<sup>1</sup>。サハラ砂漠では地表温度が70度に達することもあり、ラクダなどの乾燥に適した生物でさえ生き抜くのは容易でない<sup>1</sup>。それにも関わらず、なぜサハラギンアリは過酷な環境で活動を続けられるのか、その鍵となるのは特殊な構造を持つ毛であり<sup>2,3</sup>、未解明な部分が多い。サハラギンアリの毛の構造の解明が、地球温暖化による厳しい暑さに対応するヒントになることを見据え、私達はサハラギンアリの毛の構造について調べることにした。

本研究では、以下の3点を目的として実験を行う。

- ①毛の表面の凹凸が温度変化に与える影響を確認する
- ②より効果的に熱を反射する凹凸の個数を明らかにする
- ③凹凸の形が温度変化に与える影響を確認する

## 3. 仮説

### (1) 根拠となる先行研究、法則

(ア) サハラギンアリの毛の構造<sup>4,5,6,8</sup>

Columbia University in the City of New York (コロンビア大学) の研究チームがサハラギンアリの三角柱の毛の構造と熱防御のメカニズムを明らかにした。

[構造]

毛の断面が三角形であり、皮膚に面している一面は平滑であるのに対し、その他の二面は凹凸構造になっている。また三角柱の中は空洞になっている。

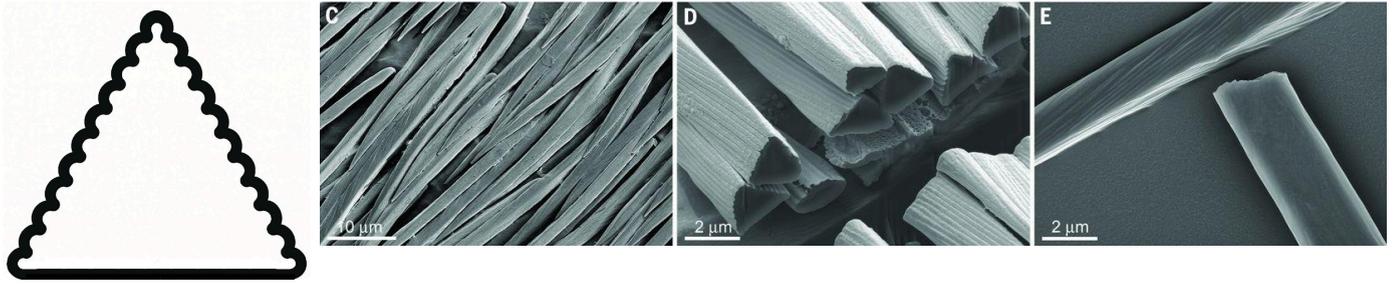


図1 毛のイメージ図      図2 C.E 走査電子顕微鏡(FIB)、D 集束イオンビーム(FIB)による分析

### [効果]

太陽光スペクトル(可視光線および近赤外線)における体表面の反射率を高め、中赤外線領域において、過剰な熱を熱放射により体外へ排出する能力を高める。<sup>1</sup> この効果は炎天下でのみ働き、5～10度体温を下げる。

### (イ)キルヒホッフの法則<sup>10</sup>

ドイツの物理学者であるグスタフ・キルヒホッフ(Gustav Kirchhoff)により1845年に発見された法則。熱の放射率は吸収率と等しくなる。物体に光が当たったとき、吸収率+反射率+透過率=1の関係が成り立つ。透過しないと仮定すると、吸収率+反射率=1となり吸収率=1-反射率である。この式から反射率が低いほど吸収率が高くなることがわかる。すなわち、反射率が低下すると熱の放射率は向上する。

### (ウ)エネルギー保存の法則<sup>16</sup>

エネルギーが熱や仕事、あるいは電磁波など、異なる形態に変換されても孤立した系におけるエネルギーの総和は常に一定に保たれるという物理法則。熱力学においては、これを『熱力学第一法則』と呼び、系に与えられた熱量と系がなした仕事の差が内部エネルギーの変化に等しいことを示している。

## (2)仮説

(1)(イ)(ウ)より、エネルギー保存の法則によって反射されなかったエネルギーはすべて吸収に回るため、キルヒホッフの法則の「吸収しやすいものは放射もしやすい」という性質を通じて、反射率を下げることでそのまま放射率の向上に直結すると考え以下の仮説をたてた。

- ①毛の表面に凹凸がある方が熱を放射しやすい。
- ②凹凸が増えれば増えるほどより効果的に熱を放射する。
- ③凹凸の形が最も鋭い形(今回の場合は三角形)のときに最も熱を放射する。

## 4. 方法

### 実験準備： ミルクプラスチックを用いた模型の作成する

今回の実験では牛乳のカゼインを主成分とするミルクプラスチックを用いて、アリの毛の主成分であるタンパク質を再現する。実験は三角柱に形成したミルクプラスチックを用いて行う(以下「三角柱」という)。三角柱は以下の方法で制作する。

### (1)材料

- |          |           |            |
|----------|-----------|------------|
| ・牛乳      | ・キッチンペーパー | ・型         |
| ・酢(レモン汁) | ・鍋        | ・瞬間接着剤     |
| ・バンダナ    | ・電子レンジ    | ・ストロー(凹凸用) |

## (2)手順

- ①牛乳を加熱し沸騰させる
  - ②①に酢(レモン汁)を一滴づつ加えかき混ぜる
  - ③バンドナを用いて②を濾し、タンパク質を取り出す
  - ④取り出したタンパク質を水で洗う
  - ⑤キッチンペーパーで水気を取り型どる(6cm×15.5cm×8mm) \*1
  - ⑥更に乾燥させ硬化する \*2(片端を持ったときに形が崩れない状態を硬化したと定義する)
  - ⑦①から⑥の工程で作った長方形を三枚瞬間接着剤で固定し三角柱を組み立てる
- \*1 凹凸は⑤以外同じ手順で制作し、最後に三角柱表面に瞬間接着剤で固定する。⑤は「それぞれの太さに合わせたストローで型を取る」に変更。凹凸の太さ、個数については以下の実験の方法を参照。
- \*2 乾燥方法についてはサイトによって方法が異なるため、どの方法が本研究に最も適しているか試行する。判断の基準として、場所によって色、厚さに斑がなく、横幅6cmが確保できているものを理想とする。試行する乾燥方法は以下の3つとする。
- ①電子レンジ500wで状態を確認しながら一分ずつ加熱する<sup>11</sup>
  - ②オーブンで100度で状態を確認しながら加熱する<sup>13</sup>
  - ③冷蔵庫で3日乾燥させる<sup>12</sup>

### 実験①: 毛の表面の凹凸が温度変化に与える影響を調べる

#### (1)材料

- ・三角柱 1
- ・黒画用紙
- ・凹凸のついた三角柱 2 (板の厚さ4mm、凹凸の直径6mm、凹凸の個数10)
- ・サーモグラフィーカメラ<sup>9</sup>
- ・発泡スチロール

#### (2)手順

- ①地面からの断熱材として発泡スチロールを屋外の日向に設置する
- ②発泡スチロールの上に黒画用紙を設置更にその上に三角柱と凹凸のついた三角柱を設置する
- ③三十分間放置する
- ④三角柱と凹凸のついた三角柱をどけ、それぞれの下の黒画用紙の温度をサーモグラフィーカメラ<sup>9</sup>を用いて撮影し、温度を比較する(T検定を用いる)

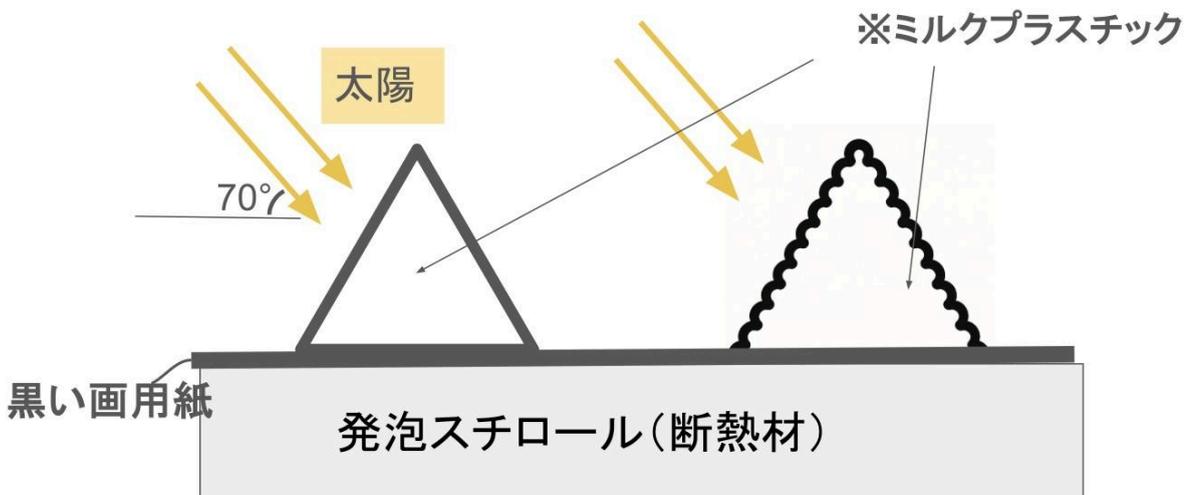


図3 実験①の模式図

この実験により、凹凸の意義を確認する。

## 実験②: 凹凸の個数が温度変化に与える影響の違い調べる

### (1) 材料

- ・凹凸のついた三角柱2、3、4  
(板の厚さ、ストロー直径、凹凸個数は以下参照)
- ・黒画用紙
- ・発泡スチロール
- ・サーモグラフィカメラ<sup>9</sup>

### (2) 手順

- ①地面からの断熱材として発泡スチロールを屋外の日向に設置する
- ②発泡スチロールの上に黒画用紙を設置し、更にその上に凹凸のついた三角柱2、3、4を設置 する
- ③三十分間放置する
- ④すべての凹凸のついた三角柱をどけ、それぞれの下の黒画用紙の温度をサーモグラフィカメラ<sup>9</sup>を用いて観測し、温度を比較する(T検定を用いる)

	板の厚さ(mm)	ストロー直径(mm) (凹凸部分の再現)	凹凸個数
2	6	12	5
3	4	6	10
4	2	4	15

図4 模型の寸法

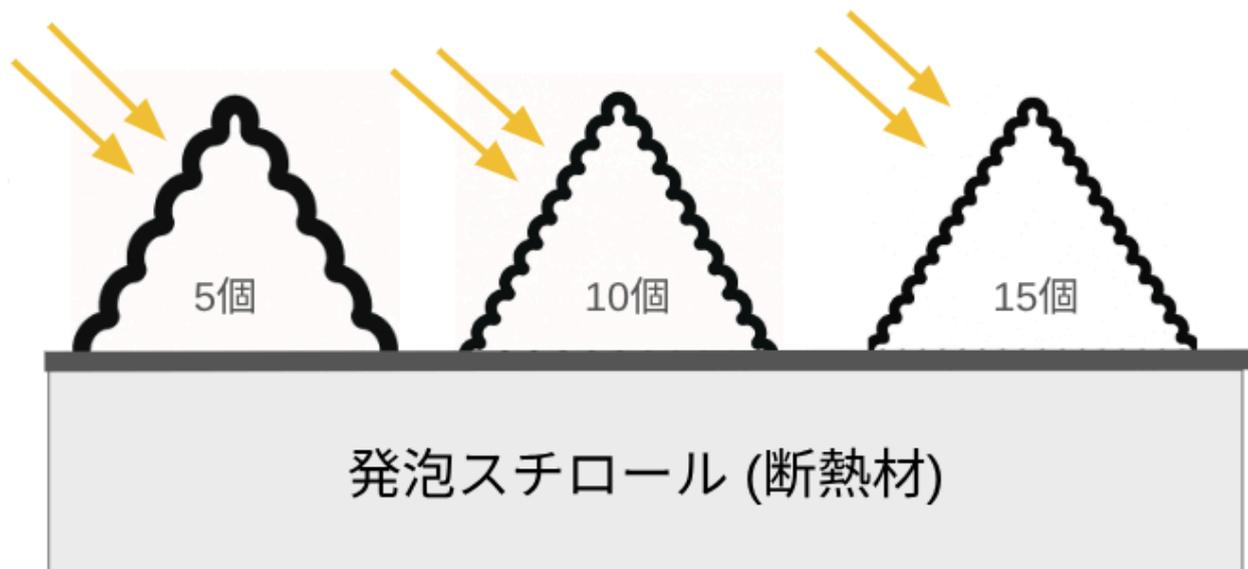


図5 実験②の模式図 I

## 実験③: 凹凸の形が温度変化に与える影響を調べる

### (1) 材料

- ・形の異なる凹凸のついた三角柱2,5,6  
(板の厚さ、ストロー直径、凹凸個数は以下参照)
- ・黒画用紙
- ・発泡スチロール
- ・サーモグラフィカメラ<sup>9</sup>

## (2) 手順

- ①地面からの断熱材として発泡スチロールを屋外の日向に設置する
- ②発泡スチロールの上に黒画用紙を設置し、更にもその上に凹凸のついた三角柱2, 5, 6を設置 する
- ③三十分間放置する
- ④すべての凹凸のついた三角柱をどけ、それぞれの下の黒画用紙の温度をサーモグラフィーカメラ<sup>9</sup>を用いて観測し、温度を比較する。(T検定を用いる)

	板の厚さ(mm)	凹凸の直径	凹凸個数	凹凸の形
2	6	12	5	半円
5	6	12	5	三角形
6	6	12	5	四角形



図6 実験②の模式図Ⅱ

## 5. 結果

実験準備:ミルクプラスチックを用いた模型を作成する

①電子レンジ500wで状態を見ながら一分ずつ加熱する<sup>11</sup>

加熱中に中心部が複数箇所膨らみ、形が型取り直後と比較して大きく歪んだ。特に場所によって厚さ・色が変わった。横幅6cmは確保できた。

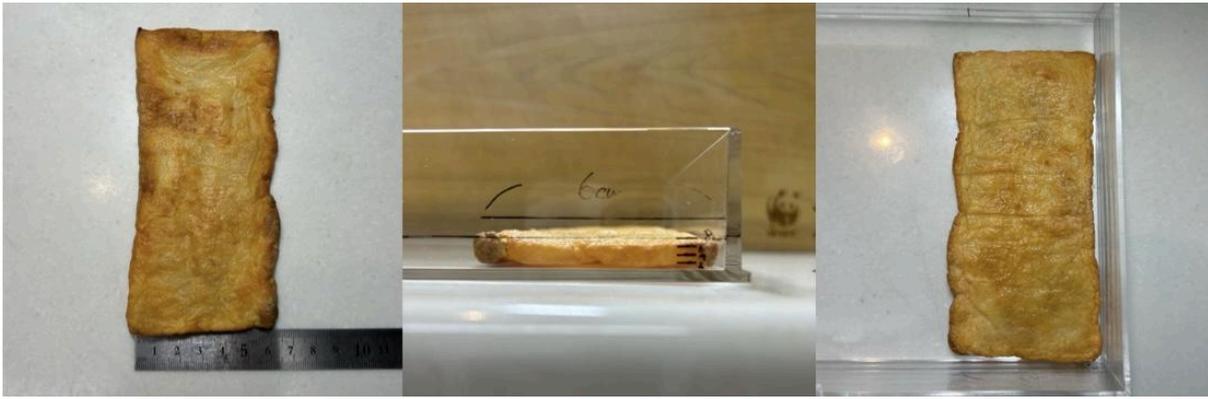


図7 電子レンジによる加熱後の模型の外観(上面・側面)

②オーブンで100度で状態を確認しながら加熱する<sup>13</sup>

加熱中に大きな変化は見られなかった。色・厚さに変化はないものの、横幅6cmが確保できなかった。



図8 オーブンによる加熱後の模型の外観(上面・側面)

③冷蔵庫で3日乾燥させる<sup>12</sup>

乾燥中に大きな変化は見られなかった。色、大きさ、横幅ともに変化は見られなかった。

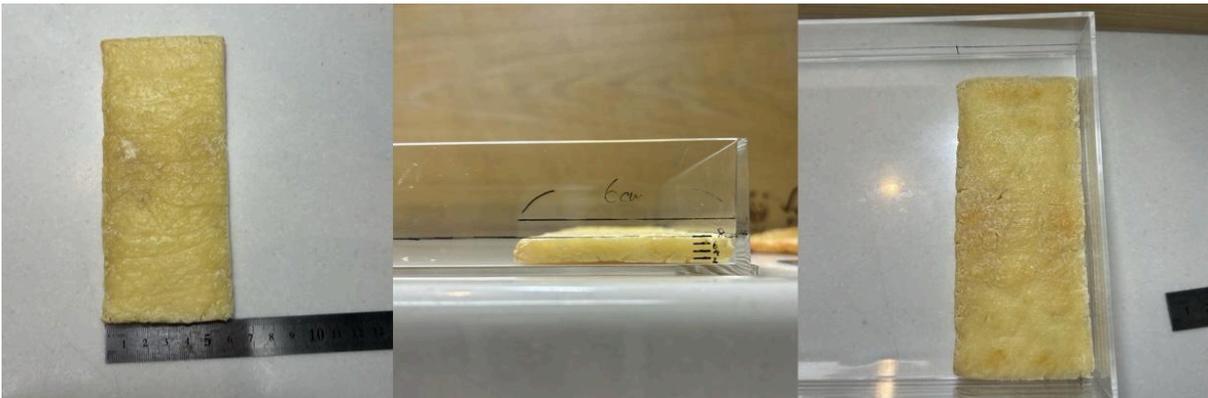
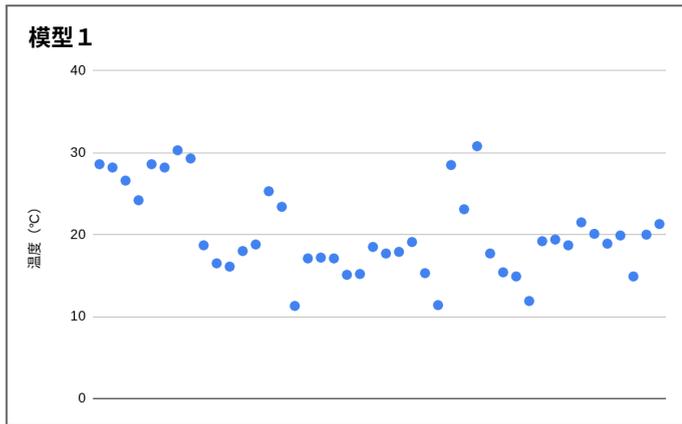


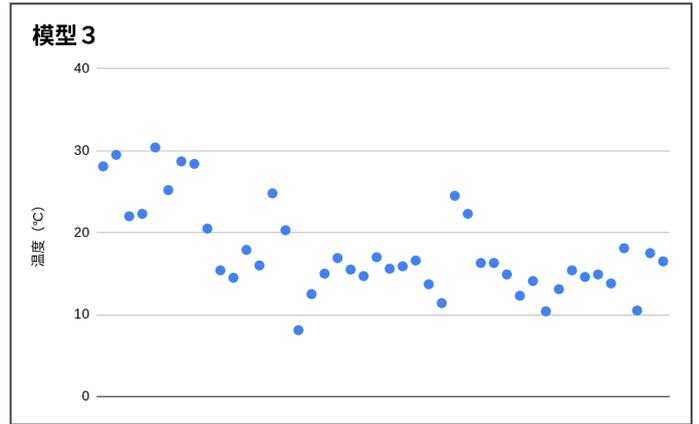
図9 冷蔵庫による乾燥後の模型の外観(上面・側面)

実験①: 毛の表面の凹凸が温度変化に与える影響を調べる



模型1 (凹凸なし)  
平均値: 17.78°C (±5.53)

図10 模型1の温度  
(30回)



模型3 (凹凸10)  
平均値: 20.22°C (±5.31)

図11 模型3の温度  
(30回)

実験 1 (平均値比較)

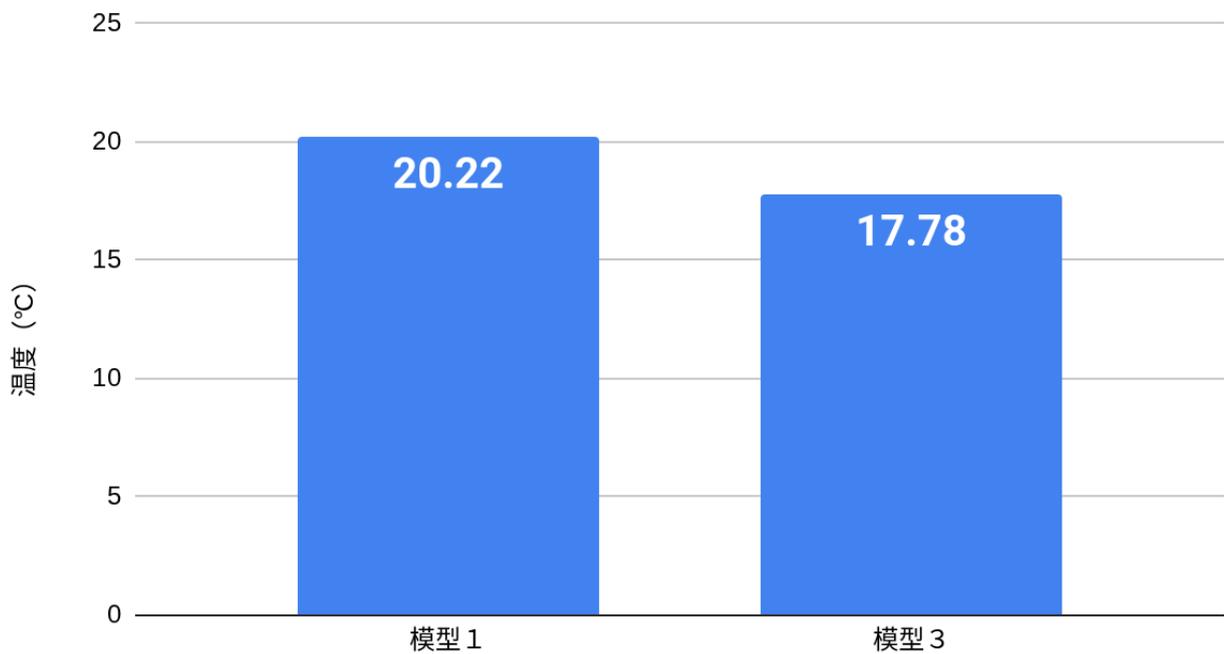
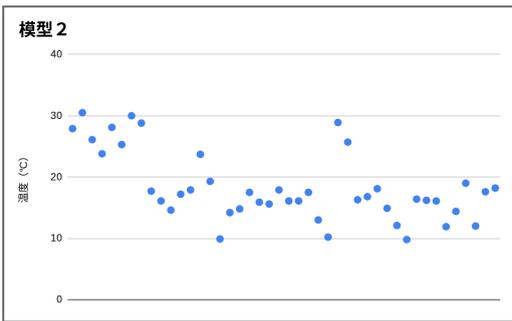


図12 模型1、3の平均値比較

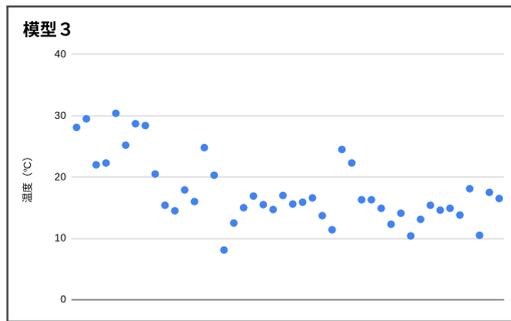
T検定

t検定(P値): 0.038 (P < 0.05)  
⇒ 有意差あり

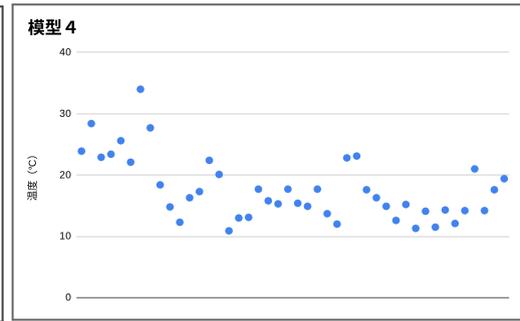
## 実験②: 凹凸の個数が温度変化に与える影響の違いを調べる



模型2 (凹凸5個) 図13 模型2の温度  
平均値: 18.41°C (±5.69) (30回)



模型3 (凹凸10個) 図14 模型3の温度  
平均値: 17.78°C (±5.53) (30回)



模型4 (凹凸15個) 図13 模型4の温度  
平均値: 17.70°C (±5.19) (30回)

## 実験2 (平均値比較)

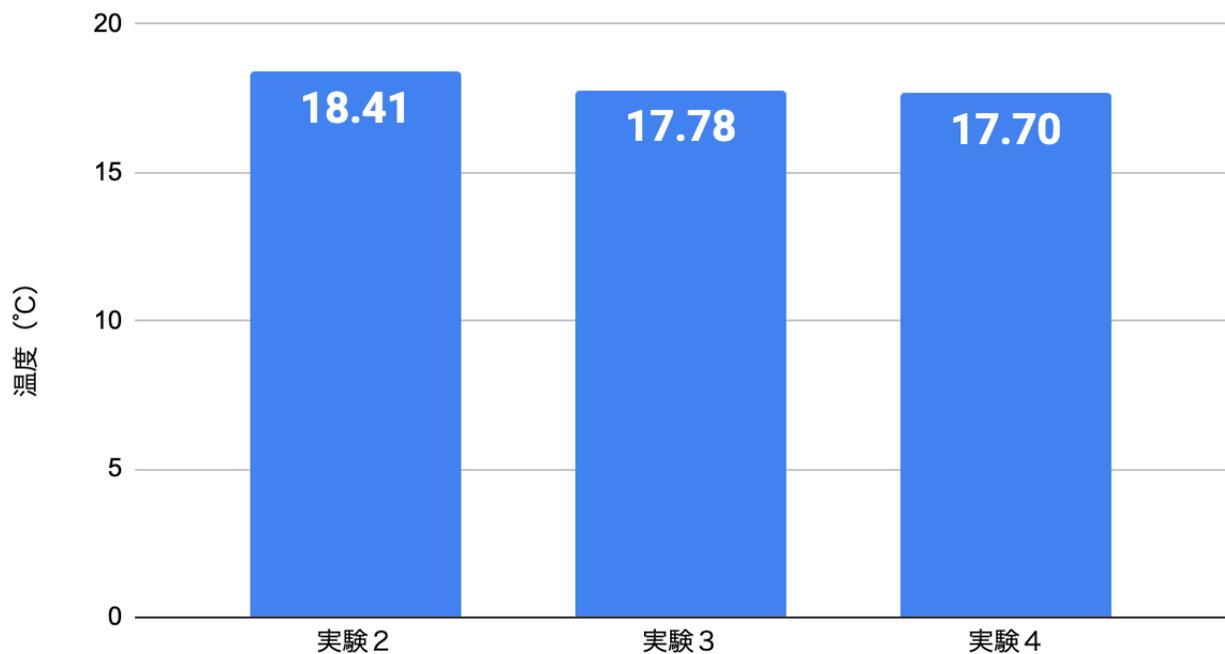


図16 模型3、4、5、の平均値比較

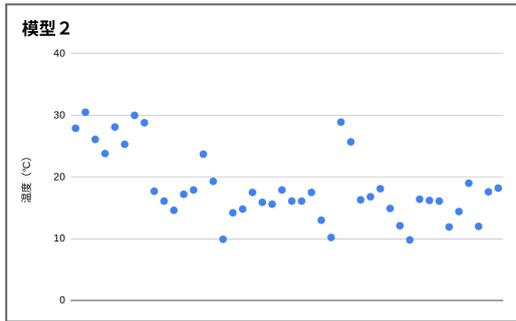
## 一元配置分散分析

(F値):0.22

(P値):0.80(P>0.05)

➡有意差無し

### 実験③:凹凸の形が温度変化に与える影響を調べる



模型2 (凹凸半円)  
平均値: 18.41°C (±5.69)

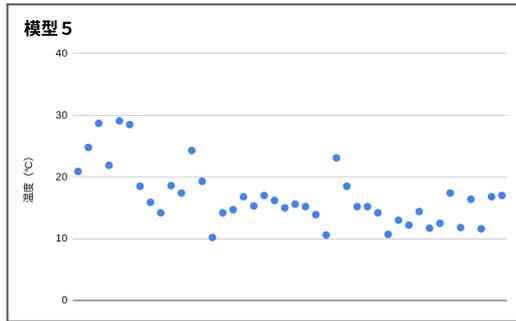


図17 模型の温度 (30回)  
模型5 (凹凸三角形)  
平均値: 16.86 (±4.82)

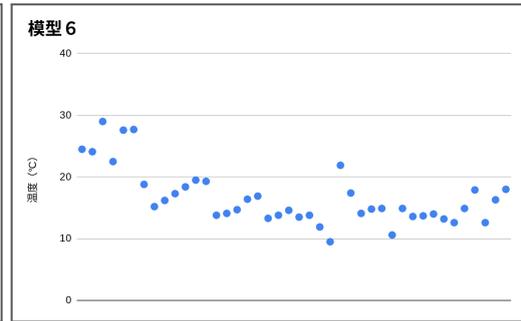


図18 模型の温度 (30回)  
模型6 (凹凸四角形)  
平均値: 16.70°C (±4.58)  
図19 模型の温度 (30回)

### 実験 3

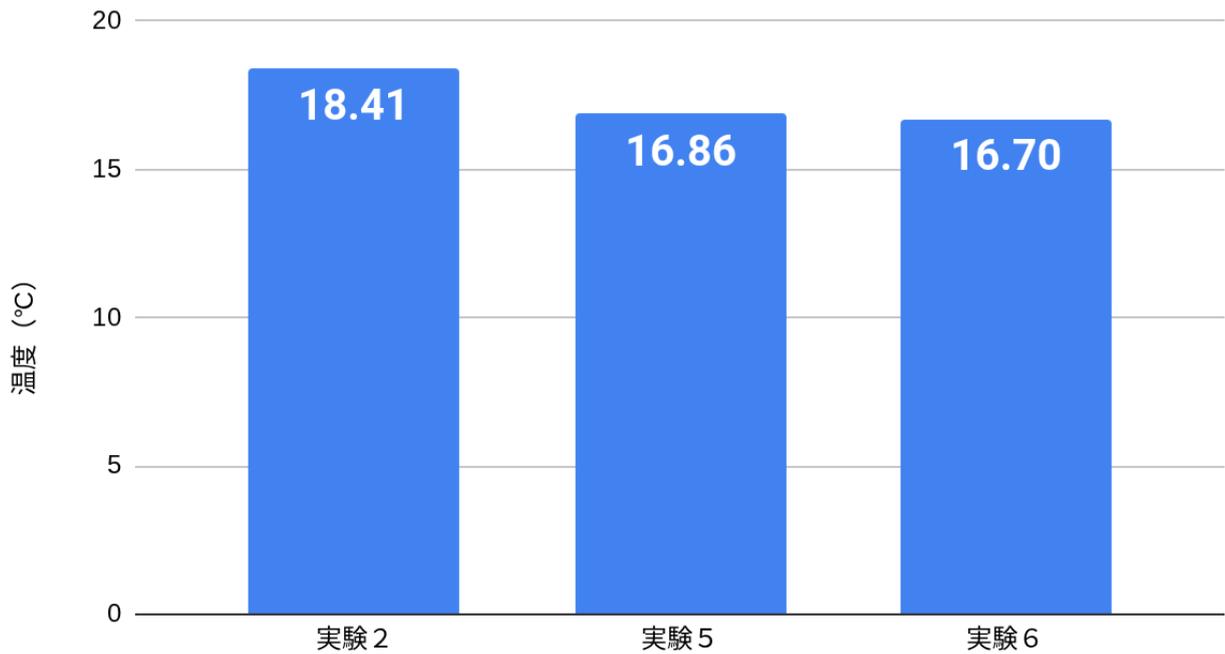


図20 模型2、5、6の平均値比較

#### 一元配置分散分析

(F値):1.49

(P値):0.23(P>0.05)

⇒有意差無し

## 6. 考察

実験1の結果から、表面に凹凸を持たせることで物体表面からの熱放射が促進され、温度低下に寄与することが実証された。これは、「毛の表面に凹凸が有る方が熱を放射しやすい」という当初の仮説を支持するものである。一方で、実験2・3において凹凸の数や形状に有意差が見られなかった点については、三つの要因が推測される。

第一に、本実験系において放射冷却による冷却効果は、凹凸の個数や形状の差異による変化よりも、凹凸そのものの有無による影響が極めて大きい可能性がある。

第二に、測定環境における空気の対流や熱伝導といった他の要因が、構造の違いによる微小な温度差を打ち消した可能性が考えられる。

第三に今回の測定計の解像度が、微小な放熱量の差を検知できる限界を超えていた可能性がある。ここで、考察をより深めるため、別途作成した各モデルの表面積と温度に関するグラフを図21に示す。

### 温度と表面積

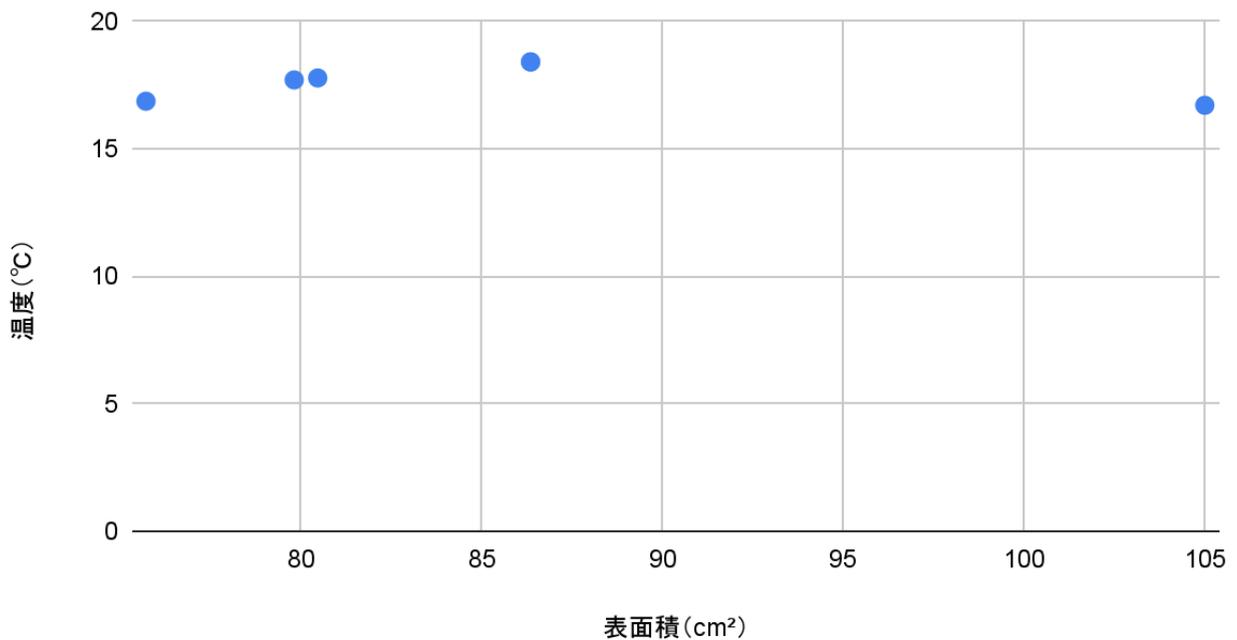


図21 温度と表面積の関係

各模型の表面積と温度変化を比較したところ、両者に相関関係は見られなかったため、温度低下の原因が単純な表面積の拡大による放熱や反射の影響ではないと考えられ、凹凸の形状の質が温度変化に影響を与える影響は少なからずあると考えられる。

## 7. 結論

今回の実験より、表面に凹凸構造を持つことで、持たない場合と比較して有意に温度が下がることが確認された。以上のことから、サハラギンアリの毛の凹凸は、過酷な砂漠環境において体温を維持するための重要な熱放射構造として機能していると結論付ける。

## 8. 今後の展望

本研究の知見を深めるため、今後は実験の質の向上と、異なる条件下での検証を並行して進める。まず実験精度の向上については、サンプルサイズの拡大、計測機器や測定環境の改善、模型の製作精度の向上、空気の対流や熱伝導の測定などを図る。これにより、構造そのものが持つ冷却特性をより正確に把握することを目指す。あわせて、多角的な条件での比較実験を行う。具体的には、異なる物質や気象条件、太陽光の角度による冷却効果の違いを解明したい。これらの取り組みにより、本研究で得られた成果を、バイオミメティクス技術としての具体的な指針へと繋げていく予定である。

## 9. 参考文献

1. DANIEL CULPAN NANFANG YU 銀毛に覆われたアリが、耐熱テクノロジーのヒントを生む  
<https://wired.jp/2015/06/23/saharan-ants-heat-survival/> 2025年6月13日閲覧
2. 橘悟 砂漠や乾燥地帯に棲む生物の面白い生存戦略! 将来のバイオミメティクスになるかも!?  
<https://lab-brains.as-1.co.jp/enjoy-learn/2023/12/57953/> 2025年6月13日閲覧
3. 技術の〇〇な話 三角の毛を持つ『シルバーアント』  
<https://note.com/tecart/n/n4ec385017d45> 2025年6月13日閲覧
4. いきもの サハラン・シルバーアント <https://toyforce.net/archives/4535> 2025年6月13日閲覧
5. FUJIFILM Reading keywords [https://sp-jp.fujifilm.com/future-clip/reading\\_keywords/vol77.html](https://sp-jp.fujifilm.com/future-clip/reading_keywords/vol77.html)  
2025年6月16日閲覧
6. ノーマン・ナンシー / チェン・チア・ツァフェルナンド・カミノ ゲイリー・Dバーナード南芳裕リュディガー・ウ”ェナー 涼しさを保つ: サハラギンアリにおける光学反射と放射熱拡散の強化  
<https://www.science.org/doi/10.1126/science.aab3564> 2025年6月13日閲覧
7. ナショナル ジオグラフィック協会 【動画】爆速でサハラ砂漠を走るアリ、謎を解明  
<https://natgeo.nikkeibp.co.jp/atcl/news/19/101800600/> 2025年6月13日閲覧
8. Sarah Elisabeth Verena Luisa Wahl Matthias Wittlinger Harald Wolf  
High-speed locomotion in the Saharan silver ant, *Cataglyphis bombycina*  
<https://journals.biologists.com/jeb/article/222/20/jeb198705/224418/High-speed-locomotion-in-the-Saharan-silver-ant> 2025年6月15日閲覧
9. サーモグラフィー&放射温度計  
<https://www.bosch-professional.jp/jp/ja/thermo-cameras-thermo-detectors-2510149-ocs-c/>  
2025年6月17日閲覧
10. FNの高校物理 サイトマップ キルッフホッフの法則(熱的放射平衡による1859~1860年)  
[http://fnorio.com/0090Kirchhoff's\\_law\\_of\\_radiation1/Kirchhoff's\\_law\\_of\\_radiation1.html](http://fnorio.com/0090Kirchhoff's_law_of_radiation1/Kirchhoff's_law_of_radiation1.html) 6月18日閲覧
11. 株式会社化学工業日報社 牛乳からプラスチックを作ってみよう/おうちで実験  
<https://kimilab.jp/experiment/plastic/> 9月30日閲覧
12. 加藤 泉水 / 亀井 彩乃 / 六車 紗菜 / 弓削 理子 カゼインプラスチックの分解について

<http://www.taka-ichi-h.ed.jp/img/R05-06.pdf> 9月30日閲覧

13. 吉村奏祐 / 葛西啓希 / 有賀凜太郎 / 松原羽駿 牛乳プラスチック  
<https://school.gifu-net.ed.jp/ena-hs/ssh/R06ssh/sc3/32415.pdf> 9月30日閲覧

14. t検定とは?種類と手順を解説-AVILEN  
<https://avilen.co.jp/personal/knowledge-article/t-test/> 2026年1月1日閲覧

15. 分散分析とは エクセルを使った具体的な分析手順を解説  
<https://kuroco.team/blog-data-anova-excel-20221125/> 2026年1月1日閲覧

16. 熱応用技術の基礎④熱力学(熱の法則)  
[https://www.simotec.co.jp/technical/thermal/appliedtechnology\\_thermodynamics/](https://www.simotec.co.jp/technical/thermal/appliedtechnology_thermodynamics/)  
2026年1月1日閲覧

# タンパク質の立体構造からクマムシの特殊性を解明する

神奈川県立厚木高等学校  
2年 D組 β4班

## 1. 要旨

乾眠により過酷な環境に耐えるクマムシの分子レベルの特性は未解明である。本研究では、他生物との比較からクマムシの特殊性を明らかにし、耐性の応用を目指す。DDBJから取得したクマムシ由来の塩基配列をBLAST解析により他生物と比較し、相同性の高い配列を抽出した。これらをアミノ酸配列に変換し、立体構造予測や機能推定、構造比較を行った。その結果、AlphaFold2による立体構造予測から、クマムシタンパク質HAMHAM1は他生物由来タンパク質と高い構造的・配列的類似性を示しつつ、特異な機能へ分化した可能性が示唆された。さらに本タンパク質は、クマムシの極限環境耐性を支える分子基盤の一部を担っている可能性が示された。

## 2. 背景・目的

乾眠状態になると様々な過酷な環境でも生き延びることのできるクマムシ。その特殊な性質を活かし、医療研究や宇宙開発、遺伝子編集技術など様々な分野への利用が期待されている。しかし、分子レベルでの特殊性はほとんど明らかになっていない。他の生物とクマムシのアミノ酸配列、タンパク質の立体構造や機能の比較を通して、クマムシの特殊性を明らかにする。延いてはクマムシの持つ耐性や乾眠能力を活用した技術などに役立てられるよう実験を行う。

## 3. 仮説

クマムシは節足動物や線虫と同じ脱皮動物と比較した際に、共通の立体構造を基盤としつつ、機能的に特化したタンパク質を有しているのではないかと仮定する。

## 4. 方法

### 実験1手順

1. DDBJ上で*Tardigrade*由来の塩基配列を取得する。
2. クマムシの塩基配列をBLAST探索し、相同性の高い他生物配列を抽出する。
3. それらの塩基配列をアミノ酸配列に変換し、AlphaFold2を用いて立体構造を予測する。また、ProteinPilotを用いて機能を推定する。
4. クマムシと他の生物のタンパク質の立体構造をTM-alignで重ね合わせ、TM-scoreで算出する。
5. クマムシと他の生物を比較し、その構造的差異および機能予測結果を基に、クマムシの分子的特性を考察する。

### 実験2手順

1. クマムシを採集し、同定する。
2. カネカ簡易DNA抽出キットを使用し、DNAを抽出する。
3. FASMACプライマーを使用し、PCRでDNAを増幅する。
4. タカラバイオに依頼しDNAをシーケンサーにかける。
5. 塩基配列からアミノ酸配列を推定する。
6. アミノ酸配列からタンパク質を決定する。

以下は実験1と同様。

## 5. 結果

### 実験1

15種類のクマムシ由来の塩基配列をアミノ酸配列へ翻訳し、AlphaFold2により立体構造を予測した。そのうち、信頼性の最も高かった解析対象のクマムシ由来タンパク質を「HAMHAM1」と呼ぶことにし、タンパク質の立体構造と機能の比較を行なった。

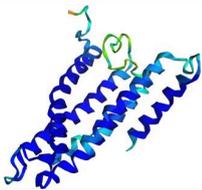
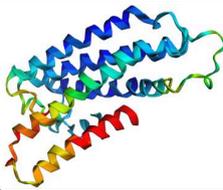
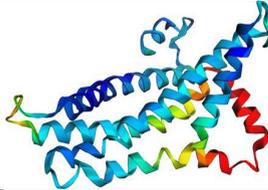
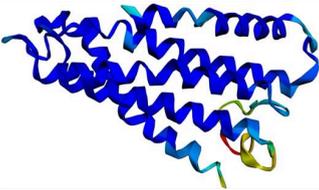
	Tardigrades (クマムシ)	millipedes (ヤスデ)	crustaceans (甲殻類)	flies (ハエ)
立体構造				
機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>膜の必須構成要素</li> <li>クオラムセンシング</li> <li>細菌型鞭毛基底小体</li> <li>細胞膜</li> <li>結合</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>膜の必須構成要素</li> <li>トール様受容体9シグナル伝達経路の調節</li> <li>宿主細胞の細胞膜</li> <li>細胞小器官を囲む膜</li> <li>細胞内小器官の一部</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>膜の必須構成要素</li> <li>酸化還元酵素活性</li> <li>細胞内小器官の一部</li> <li>細胞質の一部</li> <li>細胞構成要素の構築</li> <li>前駆代謝産物およびエネルギーの生成</li> <li>酸化還元過程</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>膜の必須構成要素</li> <li>細胞膜</li> <li>無機陰イオン膜貫通輸送体活性</li> <li>ATPアーゼ共役型膜貫通輸送体活性</li> <li>膜タンパク質複合体</li> </ul>

図1 クマムシ(HAMHAM1)とヤスデ、甲殻類、ハエの立体構造と機能

Proteinferでの機能推測によると、4種の生物全てで「膜の必須構成要素」が検出された。また、4種の類似したアミノ酸配列を有するタンパク質「膜細胞」に関する機能が検出された。これらの機能を比較すると、HAMHAM1のみに見られる機能はクオラムセンシングが挙げられる。しかし、クオラムセンシングは細菌由来の機能であるため、クマムシの消化器官に含まれていた細菌のタンパク質由来だと示唆される。

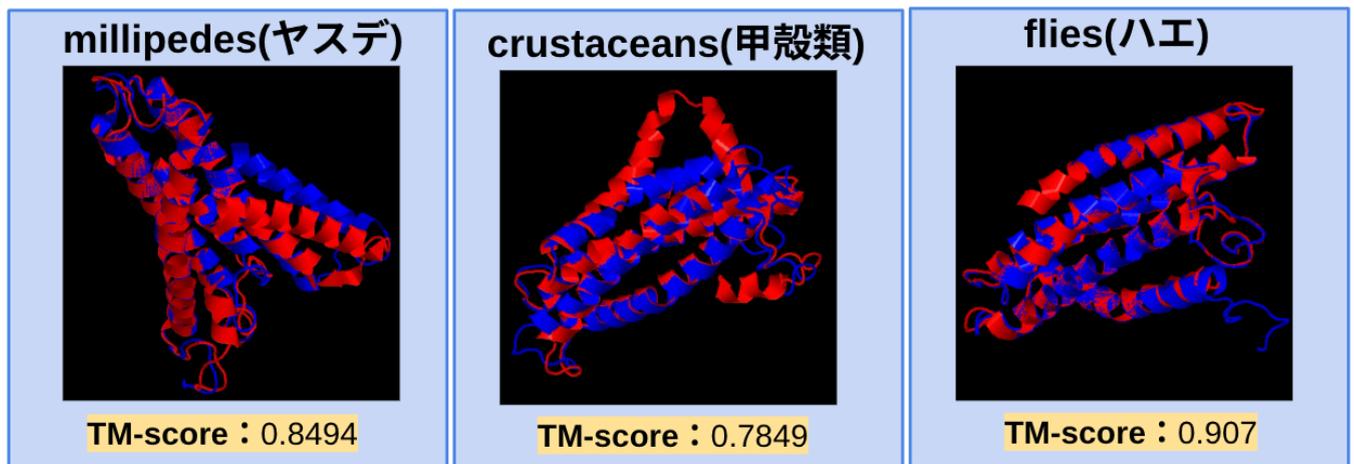


図2 HAMHAM1とヤスデ、甲殻類、ハエ由来タンパク質の比較

次にTM-alignによる構造比較の結果、HAMHAM1と他生物の間で二次構造レベルの差異をTM-scoreとして定量化することができた。青い立体構造がHAMHAM1、赤い立体構造が比較生物由来のタンパク質であり、TM-scoreが高いほど立体構造の一致度は高くなる。HAMHAM1と多生物間ではTM-scoreが高かったことから、これらのタンパク質が有する類似するアミノ酸配列は高度に保存する構造をもち、進化的に保存された基本的構造を共有していることが示唆される。

### ※TM-score基準

0.0–0.3 構造的相同性なし

0.4–0.5 部分的なドメイン相同性

0.5–0.7 フォールドレベルで類似

## 0.7–1.0 高度に保存された構造

※比較図の見方

青:HAMHAM1

赤:比較生物由来タンパク質

両者の重なりにより、構造保存性・相同性の程度を示す。

### 実験2

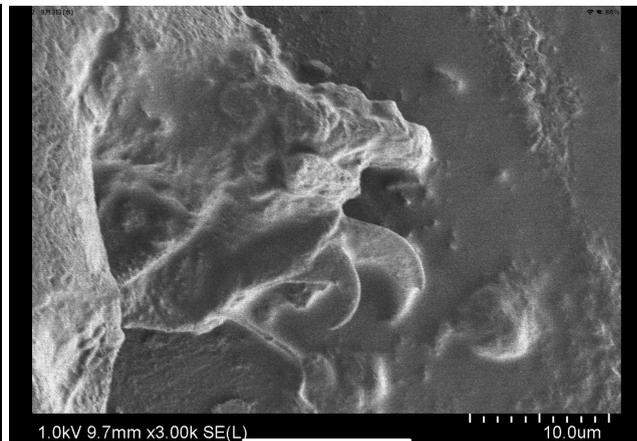
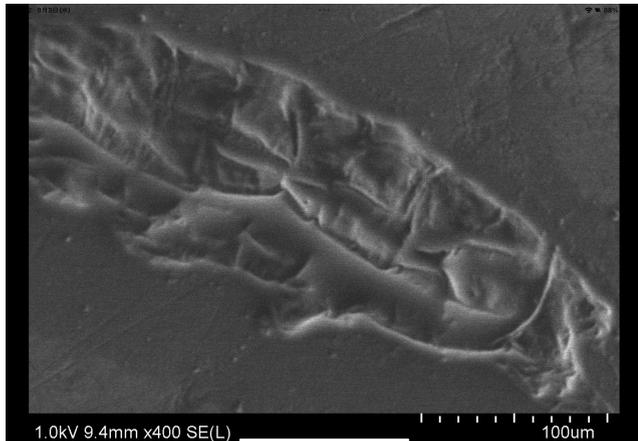


図3 電子顕微鏡下で観察したクマムシの体表 図4 電子顕微鏡下で観察したクマムシの爪

秦野の水無川沿いで採取したクマムシを2025年8月20日に行われたSSセミナーにて、東京農業大学での電子顕微鏡下で観察を行い、写真を撮影した。その後、撮影した写真と図書館に所蔵されている図鑑(日本産土壌動物 分類のための図鑑検索)に記載された各属・種の形態的特徴を比較し、同定を試みた。観察写真からは爪の形状を確認することができたが、口器の形状は不明瞭であった。そのため、確実な種レベルでの同定には至らなかったが、体表の特徴と爪の形状から属レベル、あるいは数種にまで候補を絞り込むことができた。その中でも特に可能性の高い種名は「オオヤマクマムシ」だと決定した。採取したクマムシはカネカ簡易DNA抽出キットを使用し、DNAを抽出した。抽出したDNAをFASMACプライマーを使用し、PCRで増殖させた。現在は電気泳動による解析を進めている。

## 6. 考察

### 実験1

立体構造の比較から、クマムシタンパク質HAMHAM1はヤスデ・ハエ・甲殻類のいずれとも高い類似性を示した。これはアミノ酸配列が類似し、進化的に保存された基本的構造を共有していることを示唆している。しかし、クマムシ由来の塩基配列はクマムシの食物や体表に由来するものが含まれている可能性もあり、その点を考慮する必要がある。また、TM-alignによる構造比較の結果から、HAMHAM1と他の生物の立体構造の重なり部分は共通の機能である「膜の必須構成要素」などの共通の機能、立体構造の青のみの部分は「クオラムセンシング」などのHAMHAM1特有の機能を担っていると考えられる。

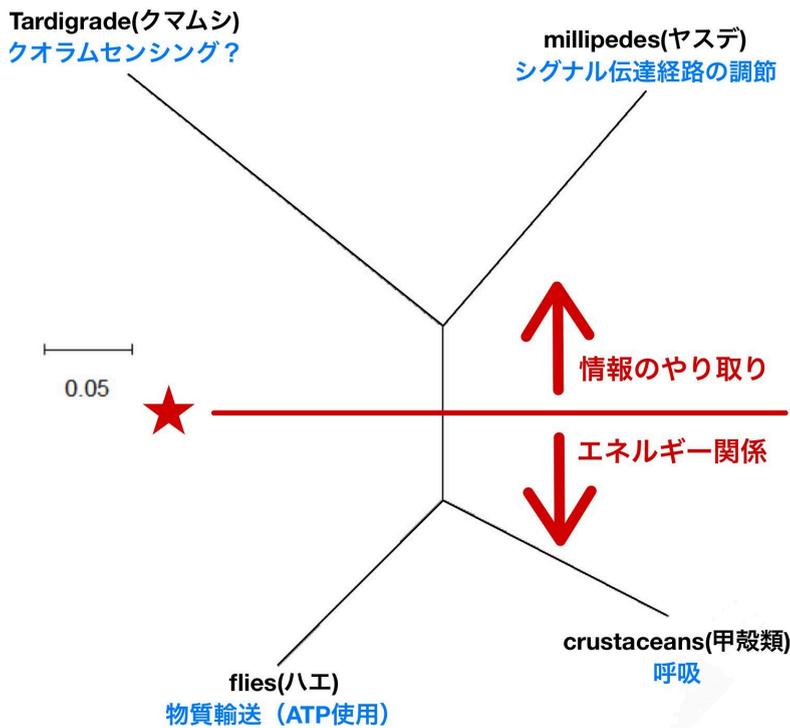


図4 クマムシと他の生物の系統樹と図説

MEGA12を用いた系統解析の結果からは、クマムシとヤスデが比較的近い進化的関係を持つことが示唆された。また、機能解析の結果、クマムシとヤスデのタンパク質には「情報伝達」に下川ある機能が多くみられたのに対し、ハエや甲殻類では「ATPを利用したエネルギー代謝」に関連する機能が多く検出された。このことから、構造は共通していても機能的には異なる分化が生じたと考えられる。すなわち、クマムシは他生物と分化構造的基盤を共有しながらも、独自の環境適応に関連する機能をもつタンパク質を発達させた可能性がある。

## 実験2

野外採集したクマムシの同定を試みたが、観察条件の制約から口器形態や器官の詳細な確認には至らず、属レベルあるいは数種の候補までに絞り込む結果となった。これは観察機器の倍率や撮影条件が要因であり、今後の同定精度向上には、より高性能な顕微鏡やサンプル処理法の工夫が必要であると考えられる。そして、現段階で同定をしたクマムシを部類別に分け、カネカ抽出キットによりDNA抽出、FASMACのサンプルに対応したプライマーを使用し、PCRを行った。だが、現段階ではそれら抽出し、増幅させたDNAが正しく以上のことが行われているか、採取したサンプルが同じか、などたくさんの疑念が残っており、考察としてなにか可能性付けるには確証や情報が不十分である。また、並行して進めた、採取したクマムシを用いた培養実験を実施したが、いずれの条件でも長期的な生存は確認できず、結果として培養は不成功に終わった。寒天培地を利用した条件がクマムシの生存に適していなかった可能性が高く、クマムシの種類によって適切な環境が大きく変化することから、改めてクマムシの同定やそれらに適する温度、湿度、餌資源など培養環境の精査が必要である。

## 7. 結論

AlphaFold2を用いた立体構造予測の結果から、クマムシタンパク質 HAMHAM1 は、ヤスデ・甲殻類・ハエ由来のタンパク質と高い構造的および配列的類似性を示す一方で、非常に特異な機能を獲得したタンパク質へと分化している可能性が示唆される。さらに、本タンパク質は、クマムシが極限環境に耐性を示すための分子・構造的基盤の一端を担っている可能性がある。

## 8. 今後の展望

今後は、実際に採取したクマムシの同定を行い、PCRによって増幅したDNAを、現在お借りしている装置(大塚電子株式会社製 Qsep Ultra)を用いて電気泳動解析する。さらに、他社にシーケンス解析を依頼することで、DNAの塩基配列を決定する予定である。得られた配列情報をもとに、再度立体構造解析を行い、クマムシの高い環境耐性を支える分子メカニズムをより明確にすることを旨とする。

## 9. 参考文献

- 1)高木利久(2004)『東京大学バイオインフォマティクス集中講義』羊土社 出版
- 2)堀川大樹 荒川和晴(2015)『クマムシ:極限環境を生きる究極生物』慶應義塾大学湘南藤沢学会出版
- 3)Matteo Vecchi, Michele Cesari, Roberto Bertolani, K. Ingemar Jonsson, Lorena Rebecchi and Roberto Guidetti(2016)『Integrative systematic studies on tardigrades from Antarctica identify new genera and new species within Macrobiotioidea and Echiniscoidea』CSIRO出版
- 4)青木淳一 (2015)『日本産土壌動物 分類のための図解検索 第2版』東海大学出版
- 5)中山広樹(2007)『バイオ実験イラストレイテッド ③本当に増えるPCR』秀潤社出版
- 6)中山広樹・西方敬人(2006)『バイオ実験イラストレイテッド ②遺伝子解析の基礎』秀潤社出版
- 7) 田中彬寛 中野智美 渡邊健斗 増田和俊 本田玄 秦裕子 尾山大明 柳澤実穂 國枝武和  
2022  
「クマムシ耐性タンパク質によるストレスに応答した細胞の硬化-究極生命体に向けて  
-カーズ(CAHS)タンパク質の働き-」  
<https://www.s.u-tokyo.ac.jp/ja/press/2022/8042/>  
(2025年6月16日閲覧)
- 8) 合同会社BXINFO「AlphaFold2を用いたタンパク質立体構造予測」  
<https://olvttools.com/documents/alphafold2>  
(2025年6月6日閲覧)
- 9) 産総研マガジン「2024年ノーベル化学賞「タンパク質設計と立体構造予測」とは？」  
[https://www.aist.go.jp/aist\\_j/magazine/20241211.html](https://www.aist.go.jp/aist_j/magazine/20241211.html)  
(2025年6月6日閲覧)
- 10) TogoTV  
米澤奏良 小野浩雅  
「ProtelInferを使ってアミノ酸配列からタンパク質の機能を予測する」  
<https://togotv.dbcls.jp/en/20230624.html>  
(2025年6月6日閲覧)

# フードシェアリングサービスアプリの開発

神奈川県立厚木高等学校  
2年 D組 β5班

## 1. 要旨

本研究では、現在の日本において大きな問題となっている「食品ロス問題」と「介護施設の経営危機問題」に着目し、これらの問題の解決への貢献を目的として、フードシェアリングサービスアプリを開発した。このアプリでは、介護施設をターゲットに、店舗とそこで余った食品の情報を地図を用いて表示し、購入者である施設に定価の半額で提供する仕組みとなっていて、アプリを利用することにより、売れ残ってしまった商品をそのまま破棄する場合にかかる人件費や食品の廃棄処理費を大きく削減し、利益を生み出すことが予測される。今後は、実店舗との連携やそれによって新たに見つかった改善点を細かく調整して、実装を目指していきたい。

## 2. 背景・目的

今回の研究において、きっかけとなったのは「食品ロス問題」と「介護施設の経営危機問題」の2つの社会問題である。現在、日本では食料全体の出荷量8202万tの6%にあたる522万t<sup>4</sup>が食品ロスとして廃棄されている。食料自給率が低く、多くの食品を他国から輸入に頼っている日本にとっては、この食品ロスの割合の高さが大きな痛手となっている。また、急激な物価の高騰を原因として、比較的収入の少ない高齢者の方々などと契約しサービスを提供する、介護施設を始めとした場所では、深刻な経営危機問題も起こっている。現状として、全国の介護施設の食費関連の支出において、平均して約57万円<sup>1,2</sup>の赤字を出しており、経営に大きな打撃を受けている。私達は、この2つの社会問題を解決する方法としてフードシェアリングサービスアプリの開発を目指した。

## 3. 開発方法

私達が開発したアプリでは、「ロールベースアクセス制御」と呼ばれる、アプリ利用者の役割によって操作の権限を制限し、閲覧可能な画面を管理するという仕組みを取り入れた。

このアプリの中では、利用者は「店舗側」と「購入者側」の2つの役割に分けられる。「店舗側」は閉店時間に近づいているタイミングで最終的に売れ残ると予測されると考えられる商品をアプリに出品することで食品の大量廃棄を防ぎ、「購入者側」はアプリの地図機能から店舗や購入したい商品を選択し、実際に店舗に向かい定価の半額で商品を購入する。

私達は、この「店舗側」と「購入者側」の2つ役割によって異なる画面を、班内で分担してプログラミングし、開発を行うことにした。プログラミングにはコードエディタとしてVScodeを用い、Pythonをプログラミング言語として、約6ヶ月間をかけてアプリを制作した。

#### 4. 結果

下の図は、実際のアプリの画面のスクリーンショットである。

##### ①【共通】アプリのホーム画面

購入者は”Customer Map”から地図画面へ。



図1-ホーム画面

##### ②【購入者側】地図画面

購入者の現在地を表示し、気になったお店に飛ぶことができる。

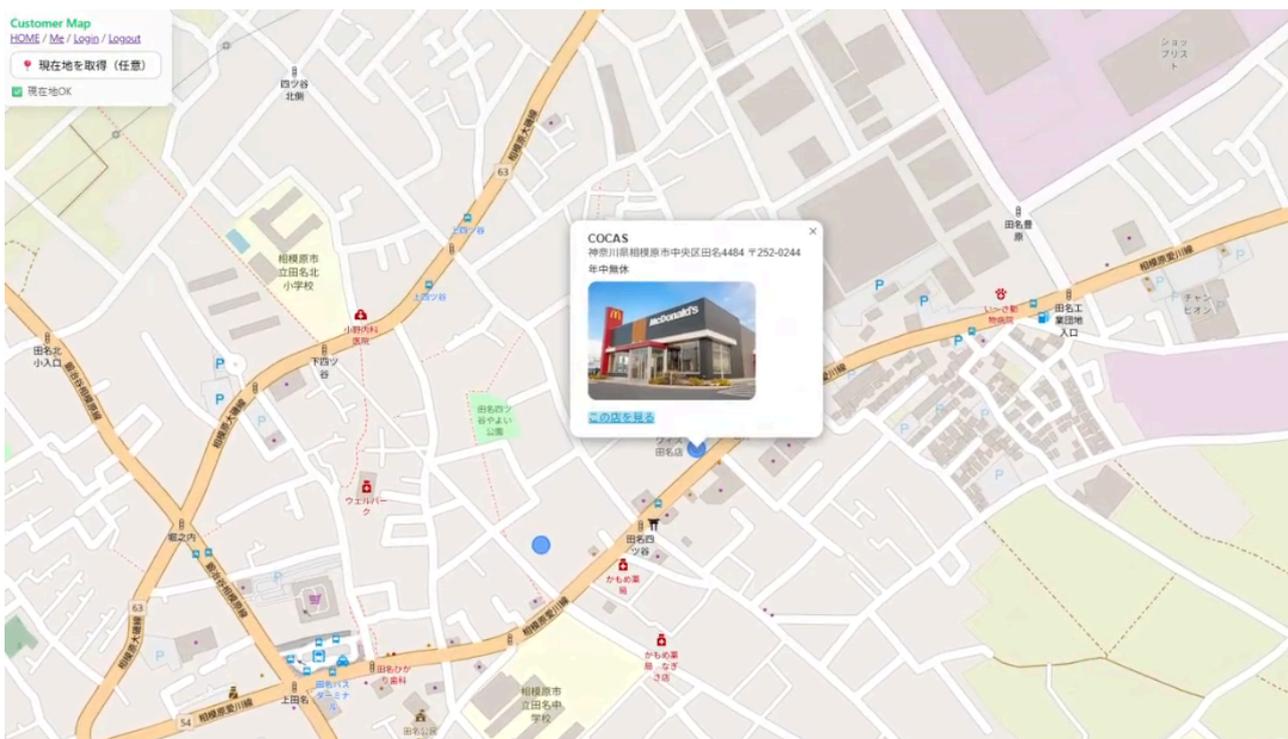


図2-地図画面（店舗はイメージです）

③【購入者側】注文画面

欲しい商品の個数・取りに行く時間などを記載し注文。

店舗ページ

COCAS  
住所: 神奈川県相模原市中央区田名4484 〒252-0244  
id=4



公開中の商品

ポテト (在庫 90)  
価格: 500 円



個数 qty  
1

受取予定 (自由入力)  
2026-2-25 6:20

メモ (任意)  
例: 早め希望

予約する

※ログインしていないと予約できません

図3-注文画面（店舗と商品はイメージです）

④【購入者側】注文確認画面

注文の後、情報を確認する画面に飛ぶ。

注文完了

予約が店に送信されました

店舗: COCAS

商品: ポテト

個数: 1

受取予定: 2026-2-25 6:20

メモ: -

状態: pending

[自分の注文一覧](#)

[マップに戻る](#)

図4-注文完了通知

⑤ 【店舗側】商品登録

店舗が詳細を打ち込み商品を登録すると、購入者側の画面にも反映されるようになっている。

### Store Dashboard

**COCAS**  
id=4 (この数字がログインID)  
住所: 神奈川県相模原市中央区田名4484 〒252-0244



※この写真はCustomer Mapのピンに出ます

#### 商品を追加

商品名	<input type="text"/>		
価格 (円)	<input type="text" value="0"/>	在庫数	<input type="text" value="0"/>
商品写真 (任意)	<input type="button" value="ファイルの選択"/> ファイルが選択されていません		
公開?	<input type="button" value="公開"/>		
<input type="button" value="追加"/>			

図5-商品登録画面 (店舗はイメージです)

⑥ 【店舗側】

客側が商品を購入すると下の画像のような通知が送られる

### 予約通知 (客→店)

**ポテト / 客: なめこ**  
qty=1 pickup=2026-2-25 6:20 status=pending

**ポテト / 客: なめこ**  
qty=1 pickup=2026-2-25 6:20 status=pending

図6-商品の予約通知画面

## ⑦【客側】

購入者は自分が予約した商品の一覧を確認することができる。

自分の注文一覧
COCAS / ポテト qty=1 pickup=2026-2-25 6:20 status=pending
COCAS / ポテト qty=1 pickup=2026-2-25 6:20 status=pending
難工事 / まつかさ qty=1 pickup=2026-2-25 6:20 status=pending
難工事 / まつかさ qty=1 pickup=2026-2-25 6:20 status=pending
難工事 / まつかさ qty=1 pickup=2026-2-25 6:20 status=pending
難工事 / まつかさ qty=1 pickup=2026-2-25 6:20 status=pending
sanken01 / いちよご大福 qty=1 pickup=2026-2-25 6:20 status=pending
sanken01 / いちよご大福 qty=1 pickup=2026-2-25 6:20 status=pending
Me

図7-注文一覧

## 5. 考察

このアプリを使うことで得られる「店舗側」と「購入者側」のそれぞれの利益を考えた。

まず「店舗側」は、「定価600円の商品を販売する」と仮定すると、廃棄費や人件費を加味して最終的に約273円の利益<sup>3</sup>を得ることができることが分かった。

次に「購入者側」の介護施設は、アプリの仕組みにより商品を定価の半額で購入することができるため、施設の経営危機の解消が期待されると言える。また、光熱費や電気代などの物価の高騰に対応しやすくなることや、社会問題解決に積極的な施設として評価があがるなどの利点が挙げられ、それにより施設スタッフの精神的な余裕が生まれ、サービスのさらなる充実につながることも考えられる。

## 6. 結論

このアプリは商品の取引に十分な機能を有しているうえに誤作動も起こらず、購入者である介護施設側と店舗側の双方にメリットがあると考えられるので、フードシェアリングサービスとしても経営を助けるものとしても実装することで社会や企業に貢献できるアプリだと言えると思う。

## 7. 今後の展望

実店舗や介護施設と連携した実証を行い、アプリを実際に利用してもらうことで見つかった改善点をアプリに反映させ、こちらが想定している利益が実際に発生するかどうかを確認したうえで、アプリの実用化を目指していきたい。

## 8. 参考文献

1 【食材費対応策4選】 高騰する介護施設の食材費の要因とは？対応策もあわせて解説（最終閲覧日1月25日） [https://kaisyuf.jp/kfcolumn/20250402-0090/?utm\\_](https://kaisyuf.jp/kfcolumn/20250402-0090/?utm_)

2 厚生労働省「介護分野における生産性向上の取組ガイドライン」（最終閲覧日1月26日）  
<https://www.kaigokensaku.mhlw.go.jp/commentary/fee.html>

3 主要都市における事業系一般廃棄物処理に係る処分料金一覧表  
[https://www.env.go.jp/council/former2013/03haiki/y0314-02/ref01\\_13\\_1.pdf](https://www.env.go.jp/council/former2013/03haiki/y0314-02/ref01_13_1.pdf)（最終閲覧日1月26日）

4 農林水産省 食品の価格動向  
<https://www.maff.go.jp/j/zyukyu/anpo/kouri/attach/pdf/index-87.pdf>（最終閲覧日1月26日）

# チョーク筆記時の不快音低減に向けた筆記角度調整・油混合量の最適化

神奈川県立厚木高等学校

2年 D組 β6班

## 1. 要旨

本研究は、チョーク筆記時の不快音を解消するため、材料組成と筆記角度の最適条件を解明することを目的とした。油や増粘剤を配合した試作チョークを用いて消去性や書き心地を検証し、併せて角度ごとの振動数を測定した。その結果、油の添加は音を抑えるが消去性を損なうこと、また角度が86度付近で最も不快音が発生することが判明した。今後は実用性と静音性を両立する材料の特定を目指す。

## 2. 背景・目的

チョークを使うときに出る不快音は、生徒の集中を妨げる原因になる。先行研究では、油を含ませたりチョークの長さを工夫することで不快音を緩和すること、またスティックスリップ現象が関係していることが報告されている。そこで本研究では、チョークの材料や使い方を工夫して、不快音を緩和する条件を探ることを目的とする。

## 3. 仮説

1. 油を含んだチョークは、不快音が緩和される。  
そのチョークの油と増粘剤の比率を適切にすることで崩れにくくなる。
2. チョークの角度を変えると、不快音が緩和される。

## 4. 方法

### (1)チョーク粉の作成

市販のチョークをすり鉢で碎き、チョーク粉を得た。これを基材として実験に使用する。

### (2)油入りチョークの作成

チョークは、チョーク粉、水、油、増粘剤(小麦粉)を次の表1の7通りの分量で混ぜたものを、3日間以上乾燥させて作成する。

表1 チョークの材料の分量

	チョーク(g)	増粘剤(g)	米油(g)	水(g)
①	37.8	1.50	1.50	30.2
②	37.8	1.50	3.00	30.2
③	37.8	3.00	1.50	30.2
④	37.8	3.00	3.00	30.2
⑤	37.8	0.00	1.50	30.2
⑥	37.8	0.00	3.00	30.2
⑦	37.8	0.00	0.00	30.2

### (3)チョークの検証

実験にあたって黒板の粉付きの良し悪しによって実験結果が変わることが示唆された。よって、実験1を行う前に追加実験として黒板の粉付きの良し悪しの定義についての実験を行った。

#### 方法

教室にある黒板aと黒板bを使用する。市販のチョークを用いて黒板に10cmほどの線を取り、それを10回なぞり濃い線を作る。黒板消しを用いて書いた線を軽く消し完全に消えるまでの回数を10回測定して、その平均を比較する。

#### 結果

黒板a → 5 5 5 4 5 5 5 5 5 5 (回) → 平均 4.9回

黒板b → 2 1 1 2 2 2 2 1 2 2 (回) → 平均 1.7回

上記の結果より黒板aのほうが粉付きが良いことがわかった。  
この追加実験の結果をふまえて、実験1を行った。

1. 文字を書いて消えやすさ、書き心地、崩れにくさを調べる。

・消えやすさは、チョークごとに、黒板にとった10cmの線を10回なぞった濃い線を完全に消すために必

要な黒板消しで擦る回数を10回測定してその平均をとる。この平均値をもとに消えやすさを比較する。

・書き心地は、協力者30人に各チョークを書いてもらい、書き心地を10点満点で評価してもらい、その平均値が高いものを書きやすいものとする。この結果をもとに書き心地を比較する。

・崩れにくさは、鉄工やすり上の同じ距離を400回往復させた際に削れた粉を、質量を揃えたラップで回収し、ラップと回収した粉とを合わせた質量をもとに崩れにくさを比較する。

2. チョークの不快感の発生しにくさを比較する。

3000Hzの範囲を不快感とし、①から⑦のチョークで書いた際の振動数をAnalyzer(スマートフォン向けアプリ)を使って測定する。

#### (4) 角度による実験

①黒板とチョークのなす角度  $\theta$  (°) をスマートフォンの分度器機能で調整しながら定める。角度を30°・60°・90°・120° に設定して振動数f(Hz)を測定し、角度と振動数の大まかな関係を把握する。

②振動数が3000Hz(不快感の振動数)をまたぐ角度区間を特定し、その範囲で角度の刻みを徐々に小さくして再測定する。これを繰り返し、最終的に最も不快感を発生しやすい角度を誤差 $\pm 1^\circ$  以内で特定する。

### 5. 結果

表1の①から⑦を作成し(④はカビてしまい、作成失敗)、実験1でそれらの消えやすさ・書き心地・崩れにくさを調べた。

実験1の結果をまとめると、表2のとおりになった。

表2 チョークの消えやすさ、書き心地、崩れにくさ

	消えやすさ(回)		書き心地(点)		崩れにくさ(g)
	黒板a	黒板b	黒板a	黒板b	黒板b
①	12.1	2.0	6.4	4.0	4.89
②	16.3	3.0	6.2	3.7	3.90
③	12.2	2.0	5.4	4.5	3.08
④	×	×	×	×	×
⑤	12.3	2.1	5.8	8.2	8.55
⑥	16.3	3.0	5.0	8.2	7.99
⑦	4.9	1.7	7.2	5.3	9.16

実験2の結果

作成した油入りのチョークはどれも、角度を調節しても3000Hzをまたがなかったため、通常のチョークで実験を行った。

表3 角度ごとの振動数①

$\theta (^{\circ})$	30	60	90	120
f(Hz)	9742	7186	2431	5927

表3の結果より、区間 $60^{\circ} - 90^{\circ}$ 、区間 $90^{\circ} - 120^{\circ}$  で3000Hzをまたいでいるので、3000Hzに最も近い周波数が出る角度  $\alpha$  は $60^{\circ} < \alpha < 120^{\circ}$  の範囲だと予想される。

そこで、 $\alpha = 70^{\circ}, 80^{\circ}, 100^{\circ}, 110^{\circ}$  でも振動数の計測を行った。

表4 角度ごとの振動数②

$\theta (^{\circ})$	60	70	80	90	100	110	120
f(Hz)	7186	6084	4287	2431	4681	6219	5927

表4の結果より、求める角度は $80^{\circ} < \alpha < 100^{\circ}$  だと予想されるので、 $\alpha = 85^{\circ}, 95^{\circ}$  の振動数を計測したところ、 $85^{\circ}$  で3062Hz、 $95^{\circ}$  で4211Hzとなった。そのため、求める角度は $85^{\circ}$  付近と予測されるため、 $85^{\circ}$  付近の範囲で $1^{\circ}$  刻みで振動数の計測を行った。

表5 角度ごとの振動数③

$\theta (^{\circ})$	84	85	86	87	88
f(Hz)	3296	3062	3008	2987	2670

表5の結果より最も不快音の発生する筆記角度は $86^{\circ}$  であると考えられる。

## 6. 考察

### ・消えやすさ

油を含んだチョークは粉付きの良い黒板では消しづらくなるという欠点があるということがわかったので、油を含んだチョークを使う際は粉付きの悪い黒板が適していると考えられる。

### ・書き心地

粉付きの良い黒板については、アンケート協力者が5名と少数であるため、統計的な信頼性には限界がある。しかし、結果からは増粘剤が多く含まれているものほど書き心地が良いと推測できる。これは、増粘剤が粉の定着性を高め、黒板面にしっかりと色が乗ることで評価につながったと考えられる。

25名を対象とした粉付きの悪い黒板については、点数を高評価(7~10点)と低・中評価(0~6点)の2グループに分け、「カイ二乗検定」を実施した。その結果、チョークの種類と書き心地の評価との間に「有意差」(単なる誤差の範囲内ではない、意味のある差)が認められた( $p$ 値 $=2.33 \times 10^{(-15)} < 0.01$ )。この検定結果から、材料の配合比率の違いが、使用者の書き心地に影響を与えていることが統計的に証明された。

以上より、増粘剤は粉の定着性を高め、油は滑りやすさを高めている可能性があり、それぞれが書き心地に影響していると考えられる。

### ・崩れにくさ

結果より、他の条件が同じである場合、油の含有量が多いほど、チョークは崩れにくくなる。また、増粘剤の含有量が多いほど、チョークを崩れにくくなるので、油と増粘剤の両方がチョークを崩れにくくする効果があると考えられる。

## 7. 結論

実験の結果、自作のチョークでは実用的なものを作成することができなかった。そのため、自作のチョークよりも市販のチョークのほうが機能面や実用性、汎用性において優れていた。一方で、最も不快音の発生する筆記角度が $86^\circ$ であることや、油や増粘剤などの材料の配合が消えやすさ・崩れにくさ・書き心地に影響をもたらすことなどが分かった。

## 8. 今後の展望

・油を用いることで、不快音は実際に解消された。しかし、黒板に書いた線が消えづらくなるというデメリットも見られた。したがって、油のように不快音を解消する効果を持ちかつ、書いた線が消えづらくなる物質を見つけていきたい。

・今回の実験では、先行研究のもの以外に「角度」について詳しく実験した。しかし、チョークの太さ・硬さ・圧力・黒板の材質といった様々な要因を調べることができなかったため、今後の展望として別の要素についても検証していきたい。

## 9. 参考文献

1. 石川県立金沢泉丘高等学校理数科 「黒板とチョークによる異音の解析及び発生防止方法の模索」 <https://cms1.ishikawa-c.ed.jp/izumih/wysiwyg/file/download/30/2480>  
(2025年4月16日閲覧)
2. ヘルシーヒアリング 「嫌な音・不快な音・危険な音:音の雑学」  
<https://www.healthyhearing.jp/topics/topic-article-90>  
(2025年6月16日閲覧)
3. 千葉県立船橋高等学校理数科3年 「スティックスリップ現象の発生条件」  
[https://www.chiba-c.ed.jp/funako/ftp\\_kousin/ssh/reserch/2019/2019\\_02p2.pdf](https://www.chiba-c.ed.jp/funako/ftp_kousin/ssh/reserch/2019/2019_02p2.pdf)  
(2025年5月14日閲覧)

# 食べられるふすまの容器！？ ～おいしく環境問題を解決してみよう～

神奈川県立厚木高等学校  
2年 D組 β7班

## 1. 要旨

本研究は廃棄されるふすまの有効活用を目的として、ふすまを用いて紙の代替となる素材を作成することを検討した。また、人体に害のある化学薬品を使わないことで食べても人体に影響がない素材の開発を行った。ふすまを水と混ぜて加熱することで、ふすまに含まれるデンプンを $\alpha$ 化させふすまの繊維同士を接着しシート状に成型した。デジタルフォースゲージによる計測やクラスメートを対象に試食評価を行った。その結果、十分な耐荷重性のある素材が作成できることが示された。

## 2. 背景・目的

小麦のふすまの多くは廃棄されているが、その栄養価の高さを活かして利用できないかと考えた。食べることのできる素材として容器や紙の作成を行うことで食品ロスの削減、従来の素材の代替として使うことで資源の削減にもつながり環境負荷への軽減も見込めると考えた。また、ここでの紙ができたとする定義は、先行研究において持ち上げるとぼろぼろになってしまった<sup>3</sup>との記述があったため、「持ち上げても壊れない、折り曲げても割れないこと」とする。食べることのできる素材としての設定した定義を達成した際には実際に食べる際を想定し調味料などを加えても形が維持できるようにする。

## 3. 方法

### 実験方法1

ふすまとふすまの100倍の量の水を入れてデンプンがアルファ化する約60度まで煮る。煮たふすまを紙漉き機(縦14.4cm横9.5cm)を使ってならし、水を切り自然乾燥させて、乾いたら剥がす。できた紙を検証し、改善する。これらを条件を変えて行う。

### 実験方法2

水50ml、ふすま10gを入れてペースト状になるまで煮る。ペースト状のふすまをアルミホイルで作った型に剥がしやすいようにラップを敷いたものに入れて成型して、乾燥機で70℃で5時間乾燥させる。できた容器の耐荷重性を測定する。耐荷重性の検証方法は本と本の間にくすまのシート(5cm×10cm×0.3cm)を置き、デジタルフォースゲージで測定する。シートに計器を押し当てていき、歪み始めた力(N)を記録する。耐荷重性についてはお弁当に入れるカップを想定し一般的なおかずの重さの最大を約100グラムであると仮定し2倍の安全率である1.96Nを目標とする。これらに調味料を加えるなど条件を変えて行う。また、ミルキサーで砕いてから煮たふすまも用意し、クラスの人に食べて1~5段階で評価してもらおう(飲み込んだ後、舌で触れてもふすまの繊維の残留感がない状態を5とする)。

## 4. 結果

実験方法1(下の表においてもろい→持ち上げるとすぐに折れたとする)

条件	結果
①ふすま15g+冷水	もろい
②ふすま15g( $\alpha$ 化)	形は安定していたが、曲げようとしたらすぐに折れた

条件	結果
③すり鉢ですりつぶしたふすま15g(α化)	①、②より曲がり約30°で折れた
④ふすま10g(α化)	①②③よりうすい
⑤ふすま10g(α化)+紙漉き機から剥がした後におしつぶした	④と変化無し
⑥ふすま10g(α化)+ミキサー	紙漉きの時繊維が網目から落ちた→無駄が多い、もろい
⑦ふすま10g(α化)+ミキサー+きれいな水	もろい
⑧ふすま10g(α化)+ミキサー+デンプンが含まれていると考えられる煮汁	紙漉き機にくっついてはがれにくい
⑨ふすま10g(ふやかしておく)(α化)	もろい
⑩ふすま10g(α化)+重曹(10g)	もろい、重曹に期待した繊維を柔らかくする効果はほぼなかった

表1 実験方法1の結果

#### 実験方法2

条件	結果(N) 1回目	2回目	3回目
塩1g	16.4	15.7	16.1
塩5g	5.2	8.3	8.1
砂糖1g	4.3	8.5	3.5
砂糖5g	12.4	15.3	20.4
なし(煮詰めたもの)	25.8	13.6	8.1
なし(実験1の④と同じ)	0.5	0.4	0.5

表2 実験方法2の結果

人(右)型の種類(下)	A	B	C	D	E	F	G	H	平均値(点)
方法2	1	2	2	3	1	2	1	4	2
ミルミキサー+方法2	4	4	4	2	3	4	3	2	3.25

表3 食べやすさの検証結果

## 5. 考察

### 実験1

いずれの結果でも設定した定義「折り曲げても割れない」を達成することはできなかった。ただし形を維持できたものの感触から硬さや丈夫さを追求することができると考え、実験2を行った

実験2  
目標である1.96Nの耐荷重性を達成し、実験1の結果と比べ、より硬く耐荷重性のある素材が作成できた。これは実験1では紙漉き機の間隙から落ちてしまっていた糊の役割を果たすデンプンをより有効活用できたためだと考えられ、実験1後の煮汁からヨウ素デンプン反応が示されたことから考察できる。ふすまに他の物質を混ぜることで硬さはなくなっていく傾向があった。これはデンプンの全体に対する割合が下がっていくことが原因ではないかと考えた。また、砂糖が水に溶け加熱されることで粘性を示し乾燥後に固まり接着剤の役割を果たしたと、塩のデンプンの糊化を助ける作用も耐荷重性の向上に影響したと考えられる。塩の割合が高くなると耐荷重性が下がったが、これは塩の割合が低いときは塩のデンプンの糊化を助ける作用がうまく働いたが、割合が多くなることで乾燥の際に結晶が残りふすまの繊維同士の間が妨げられたためだと考えられる。また、表3よりミルミキサーを用いたものの方が平均してふすまの残留感が少なかったが、これはミルミキサーの使用によってふすまの繊維が細くなり、唾液と混ざりやすく飲み込みやすくなったためだと考えられる。

## 6. 結論

紙のようにしなやかさのある素材は作成できなかったが、定義の「持ち上げても壊れない」を満たす耐荷重性のある素材を作成できた。

## 7. 今後の展望

- ・味や食感、繊維の残り具合の追求
- ・耐水性の追求(ゼラチンや油によるコーティング)
- ・保存期間延長に向けた水分管理・微生物制御の検討
- ・デザイン性の追求
- ・ふすま由来の食物繊維量を活かした栄養付加価値の検討
- ・冷凍、加熱への対応の可能性検証
- ・量産、流通を想定した保管条件の検討
- ・プラスチック製容器との比較による環境負荷低減効果の評価
- ・測定回数及び被験者数を増やした検定を用いた有意差の検証

## 8. 参考文献

1. 青江誠一郎「穀類に含まれる食物繊維の特徴について」  
[https://www.istage.ist.go.jp/article/cookeryscience/49/5/49\\_297/.pdf](https://www.istage.ist.go.jp/article/cookeryscience/49/5/49_297/.pdf)

2026年1月31日閲覧

2. ロスゼロ「SDGsとは何か。～⑮陸の豊かさを守ろう～森林伐採は必要？」

[https://losszero.jp/blogs/column/news\\_0450](https://losszero.jp/blogs/column/news_0450)

2026年1月31日閲覧

3.東京学芸大学附属国際中等教育学校(2019)

「落ち葉のリサイクル技術の開発」

2026年1月31日閲覧

4.生野高校76期生物探究4班「廃棄野菜から紙を作ろう」

<https://www.osaka-c.ed.jp/ikuno/ssh/images/sshR04ronbun.pdf>

2026年1月31日閲覧

5.キヤノンエコロジーインダストリー「自由研究をしよう「紙を手作り」」

<https://ecology.canon/ecokids/seed/craft-paper.html#:~:text=%E5%A4%A7%E3%81%8D%E3%82%81%E3%81%AE%E6%B4%97%E9%9D%A2%E5%99%A8%E3%81%AB,%E3%82%92%E4%BD%9C%E3%81%A3%E3%81%A6%E3%81%8A%E3%81%8D%E3%81%BE%E3%81%99%E3%80%82>

2026年1月31日閲覧

6.Gakkenキッズネット「紙は何からどうやって作るの」

<https://kids.gakken.co.jp/kagaku/kagaku110/science0421/>

2026年1月31日閲覧

# 男性の髪型に対する男女の印象の違い

神奈川県立厚木高等学校  
2年 D組 β8班

## 1. 要旨

本研究では、第一印象を左右する「好印象な髪型」の性別による違いを明らかにし、円滑な対人コミュニケーションに役立てることを目的とした。高校二年生を対象にアンケートを行いカイ二乗検定で分析した結果、男女の好みには統計的に有意な差が認められた。男子は個性を、女子は親しみやすさを重視する傾向があるが、共通して清潔感のある髪型が好まれることが判明した。

## 2. 背景・目的

対人心理学では、第一印象の約8割が見た目で決まるといわれている<sup>1</sup>。なかでも視線が集まりやすい頭部は、その人の清潔感や信頼感を映し出す場所であり、特に「髪型」は印象を左右する大きな要素である<sup>2</sup>。しかし、どのような髪型が好まれるかは男女によって異なり、性別ごとの理想のイメージが影響していると考えられる。そこで本研究では、性別による「好印象な髪型」の違いを明らかにし、見た目が相手の評価にどう関わるかを考察する。これを通じて、円滑なコミュニケーションに役立つ自分磨きのヒントを得ることを目的とする。

## 3. 仮説

第一印象において、男性は清潔感のある「短髪」が、女性は表情が明るく見える「おでこを出した髪型」が、周囲からより好ましい印象を持たれると予想する。これら性別ごとの好まれる傾向をふまえた髪型の選択が、対人コミュニケーションをスムーズにする上で重要な鍵になると仮定する。

## 4. 方法

厚木高校の二年生を対象にGoogleフォームでのアンケートを実施し、その結果に有意差が見られるかを調べる。カイ二乗検定を用いる<sup>3</sup>。

## 5. 結果

アンケート結果

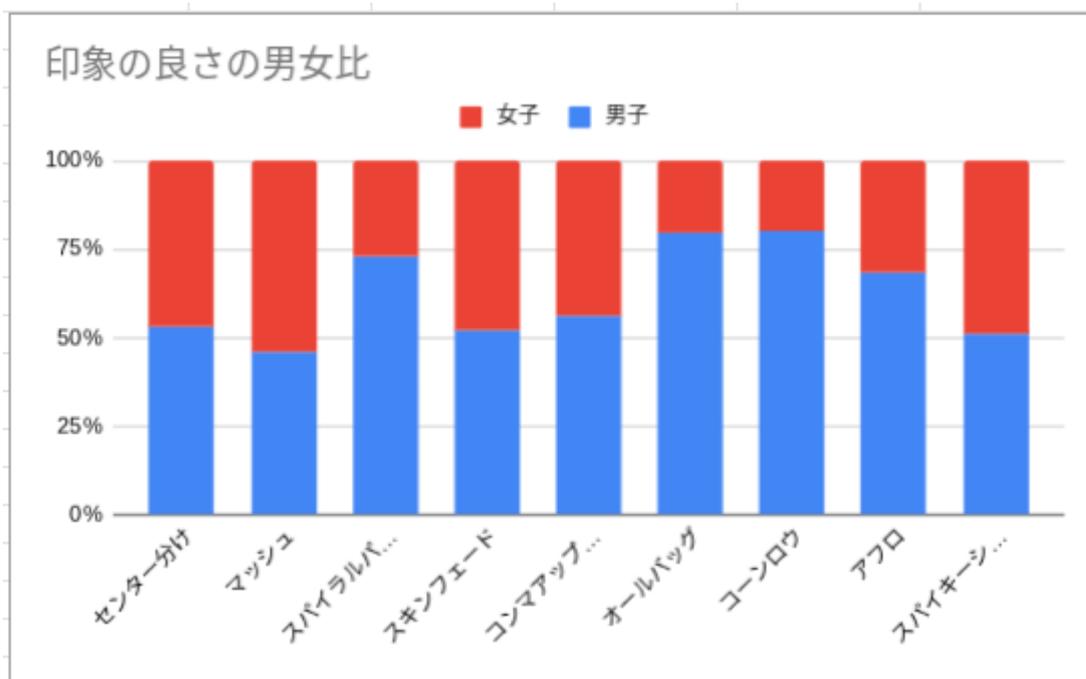
センター分け…A、マッシュュ…B、スパイラルパーマ…C、スキンフェード…D、コンマアップバング…E、オールバック…F、コーンロウ…G、アフロ…H、スパイクーショート…I とする

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	合計 (点)
男子	327	249	87	152	190	31	41	24	174	1275
女子	290	290	32	139	149	8	10	11	166	1095

【表1】アンケート結果をもとに1位を5点、2位を4点、3位を3点、4位を2点、5位を1点として換算し集計した表

男女それぞれの髪型の好みについてカイ二乗検定を行ったところ、カイ二乗値は61.533となった。これは、自由度8における有意水準1%の基準値を大きく上回っており、「性別によって好まれる髪型には統計的に明らかな差がある」ということが示された。

## 6. 考察



男子は「スパイラルパーマ」や「コーンロウ」など、個性的で手の込んだスタイルを女子よりも高く評価する傾向があるが、これは男子が髪型に対して「自己表現」や「トレンド」を重視しているためと考えられる。対して女子は「マッシュ」を強く支持しており、男子よりも「親しみやすさ」を好む傾向が見て取れる。一方で「センター分け」は男女ともに共通して高い評価を得ており、清潔感のあるスタイルは性別を問わず好印象を与えることが判明した。以上のことから、第一印象を良くするためには、自分のこだわりを追求するだけでなく、相手が求める「清潔感」や「安心感」を意識した髪型選びが重要であると考えられる。

## 7. 結論

以上のことから次のことを結論付けた。まず、性別によって好まれる髪型には統計的に明らかな差がある。次に、男子はスパイラルパーマなどのトレンドや個性を重視するが、女子はマッシュなどの親しみやすさを重視する傾向がある。最後に、センター分けは男女共に評価が高く、清潔感こそが性別を問わず好印象を与えるための共通した重要な要素である。

## 8. 今後の展望

- ・今回は高校二年生を対象としたが、大学生や社会人など、年齢の変化によって「好印象」の定義がどのように変わるかを検証したい。
- ・日常の対人関係だけでなく、面接や冠婚葬祭といった特定の場面において、求められる髪型や評価基準がどう変化するかを調査したい。
- ・男女共に共通して重要視された「清潔感」について、髪の長さ、色、ツヤなどのどの要素が最も影響を与えるのかを分析したい。

## 9. 参考文献

1カオナビ メラビアン の法則とは？【わかりやすく解説】第一印象、誤解  
<https://www.kaonavi.jp/dictionary/melabians-law/>2025年11月5日閲覧

2大島椿株式会社 髪型が人の印象の8割を決めるってホント？  
<https://ost.oshimatsubaki.co.jp/questions/003/>2025年6月17日閲覧

3いちばんやさしい、医療統計 カイ二乗検定とは？わかりやすく例を用いて分割表からp値の計算式も簡単に解説！

<https://best-biostatistics.com/contingency/chi-square.html>2025年10月29日閲覧

# ビタミンCを用いた汗の臭いの抑制

神奈川県立厚木高等学校

2年D組9班β

## 1.要旨

夏場、汗をかいたときの汗の臭いが気になった。そこで、ビタミンCを用いて皮脂の分泌を抑えることで、汗の臭いを抑えられると考えた。

本研究では、ビタミンCには皮脂の分泌を抑え、汗の臭いを抑える効果があるのかを明らかにする。

体を汚さない運動をして汗を採取し、その汗を10倍に希釈して培養した。また、ビタミンCを2週間入浴後に塗ったのち、もう一度同じ実験をした。

結果として、被験体のうち2人はコロニーの数が減少し、面積で判断すると全員が減っていたことが明らかになった。そこから、仮説を証明することはできなかったが、仮説が正しい可能性は十分にあると考えた。

## 2.背景・目的

近年地球温暖化に伴う気温上昇により、汗を多くかくことによって臭いを気にする人が増えるようになった。そのため市販の汗ふきシートを使い、臭いを抑える人がとても多くなった。しかし汗ふきシートでは臭いが残り、良い匂いになっても一時的なものに過ぎない。そこでわたしたちはビタミンCの性質を用いて、汗の根本的な臭いを抑えることができるのではないかと考えた。

## 3.仮説

汗の臭いは、皮膚に存在する常在菌が皮脂などを餌にすることでイソ吉草酸 $((\text{CH}_3)_2\text{CHCH}_2\text{COOH})$ を発生させることによるものだとわかっている<sup>1</sup>。そこで、ビタミンCを体に塗り皮脂の分泌を抑えることで、常在菌の餌を減らし結果的に汗の臭いを抑えることができる。ただし、本研究では培地で確認されたコロニーの数が減少した場合、汗の臭いが抑えられたと定義する。

## 4.方法

### 4.1(材料)

三角フラスコ500ml、寒天粉末(ダイゴ)、ガスバーナー、オートクレーブ、シャーレ、白金耳、アスコルビン酸、蒸留水、マイクロピペット

### 4.2(実験方法)

①500ml三角フラスコに純水200mlと寒天粉末8gを混合してオートクレーブ(121℃・120分)で溶かして滅菌する

②溶けた寒天をクリーンベンチで4つのシャーレに分注し、固める。

- ③160mlの蒸留水に40gのビタミンCを入れ、20%のビタミンC(アスコルビン酸)水溶液を作る
- ④体に常在菌以外の菌がつかないようにするために、コンクリートなどの土が舞わない場所で運動をして汗を採取する
- ⑤マイクロピペットで汗を10 $\mu$ l、蒸留水を90 $\mu$ l取り、10倍に希釈して白金耳で寒天培地に広げる。
- ⑥1日経過後、寒天培地を取り出し、写真を撮る
- ⑦細菌の増殖具合について寒天培地で確認されたコロニーの数を観察する。
- ⑧①～⑦の操作を、何も塗らない場合とビタミンC(濃度20%の水溶液)を2週間入浴後に首から上に塗った場合について実験する。

## 5.結果

左:ビタミンC塗る前

右:塗った後

Aさん

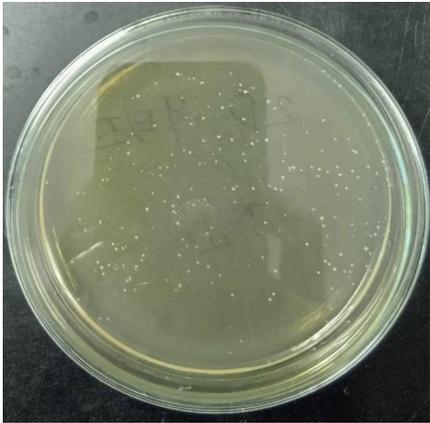


(図1) ビタミンC塗る前のAさん

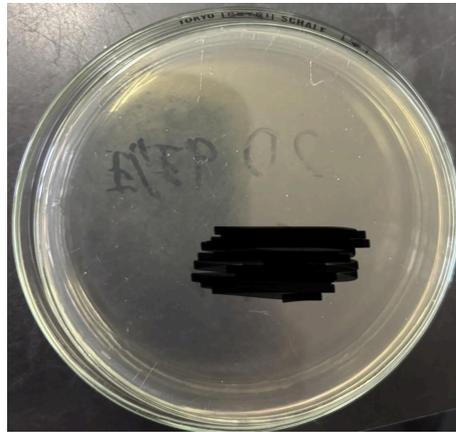


(図2) 塗った後のAさん

Bさん



(図3) ビタミンC塗る前のBさん

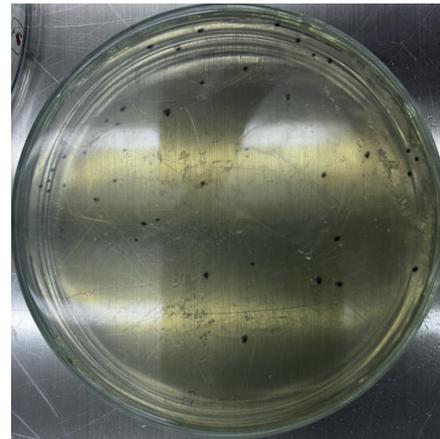


(図4) 塗った後のBさん

Cさん



(図5) ビタミンC塗る前のCさん



(図6) 塗った後のCさん

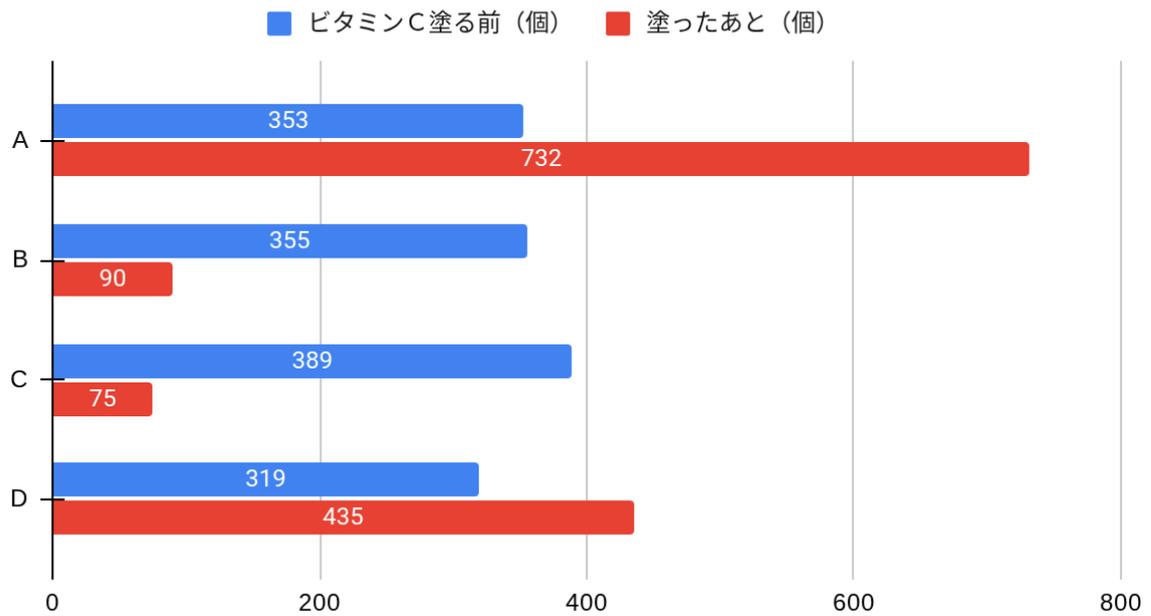
Dさん



(図7)ビタミンC塗る前のDさん  
結果②コロニーの数&面積変化

(図8)塗った後のDさん

### コロニーの数の変化



(図9)コロニーの数の変化(個)

被検体	塗る前後での面積変化
A	減っている
B	減っている
C	減っている
D	同じくらい

## (図10) 塗る前後での面積変化

結果としては個数のみで判断すると二人しかコロニーの数は減らなかった。しかし目で見ると明らかに面積は減っていた。

### 6.考察

#### ①コロニー数が減少した2人について

ビタミンCを塗る→皮脂の分泌の抑制  
→常在菌の減少→イソ吉草の減少  
➡汗の匂いの抑制

#### ②面積で判断すると全員減っていた →常在菌の減少

#### ③班内で結果が異なったのはなぜか

- ・身体的な個人差の問題  
→溶液を塗る期間を2週間より長くする
- ・塗る量の問題  
→班員で塗る量を統一する

### 7.結論

今回の検証だけで仮説を証明する事はできなかったが、仮説が正しい可能性は十分あり得る。  
(検証方法などは見直す必要がある)

### 8.今後の展望

今後の検証では、全員でビタミンCの塗る量を統一し、溶液を塗る期間を2週間より長くすることで、ビタミンCの浸透具合を統一させることが必要だと考える。  
また、被験体の数を増やすことでより正確なデータが得られると考えられる。

### 9.参考文献

#### ①クリニックフォアグループ医師ホームページ

<https://www.clinicfor.life/lp/online-insurance/hyperhidrosis/h-010/> 2025年7月9日閲覧

#### ② 遠山琳里、大島琴音 日常生活に密着した消臭効果とスプレーの作成

<https://school.gifu-net.ed.jp/ena-hs/ssh/H29ssh/sc3/31713.pdf> 2025年7月9日閲覧

③令和6年度神奈川県立厚木高等学校2年G組6班β 神奈川県立厚木高等学校ホームページ

[https://www.pen-kanagawa.ed.jp/atsugi-h/tokushoku/documents/78g\\_poster.pdf](https://www.pen-kanagawa.ed.jp/atsugi-h/tokushoku/documents/78g_poster.pdf) 2025年  
7月9日閲覧

# アルギン酸ナトリウムの活用方法

神奈川県厚木高等学校

2年D組10班β

## 1. 要旨

現在において、海洋ごみの環境への影響の増加が課題となっている。本研究は、アルギン酸ナトリウム水溶液を塩化カルシウム水溶液で架橋してできる膜であるOohoを、プラスチックの代用として活用できるかを明らかにすることを目的とした。その結果、Oohoを容器として活用するには、強度、耐水性、加工のしやすさが不足していることが示された。

## 2. 背景・目的

### <背景>

立命館高等学校、2019年度SSH生徒課題研究集録の研究資料にて、アルギン酸ナトリウム水溶液と塩化カルシウム水溶液を用いて架橋させることでOohoを作成できることを知った。Oohoは本来食べられる水として知られていたが、立命館高等学校ではOohoの膜の部分に着目し容器として利用する方法の研究をしていた。だが、結果としてその形状を保つことは叶わなかったため、Oohoをより自由な形状に成形、維持することができるアルギン酸ナトリウム水溶液と塩化カルシウム水溶液の濃度について研究しようと考えた。

### <目的>

Ooho膜の使用法の幅を広げること。

Ooho膜はアルギン酸をカルシウムイオンが架橋することでできるOohoの膜のことを指し、本来Oohoはその膜の内部に水を入れて食べられる水を完成させることや、人工イクラの膜などに用いられる事が多い。そこで、Oohoを平たくフィルム状に作り、乾燥させることでプラスチックの代わりに使用することができないかと考えた。(→用途としては夏祭りの焼きそばのプラ容器のようなものを想定。)

## 3. 仮説

仮説1 塩化ナトリウム水溶液の濃度が高いほど、架橋の反応速度が上がるため、反応前の形状のままOohoを生成することができる。

仮説2 アルギン酸ナトリウム水溶液の濃度が高いほど、架橋によって生成される膜が増加し分厚くなり、強度の高いOohoを生成することができる。

追加仮説 Oohoには焦げを落とす性質がある。

## 4. 方法

●Oohoの製法は断りがない限り次の手順とする。

- ① アルギン酸ナトリウム水溶液(n%)と塩化カルシウム水溶液(m%)を用意する。(n>0、m>0)
- ② アルギン酸ナトリウム水溶液をシャーレに薄く、平たく広げる。

- ③ ②のシャーレに塩化カルシウム水溶液をアルギン酸ナトリウム水溶液が浸る程度注ぎ込み、片側の表面を反応させる。
- ④ ③で反応していないシャーレの底側のアルギン酸ナトリウム水溶液を反応させるために、③でできた膜を持ち上げひっくり返し、塩化カルシウム水溶液と触れた箇所から徐々に反応させる。
- ⑤ アルギン酸ナトリウム水溶液が満遍なく反応し平たい膜ができたことを確認し、シャーレ内から塩化カルシウム水溶液を出す。ここでOohoは取り出さない。
- ⑥ 膜状のOohoが入ったシャーレに、Oohoが浸る程度の純水を注ぎ込み、塩化カルシウム水溶液との反応を完全に終わらせる。
- ⑦ 純水を捨てる。

#### 方法1 Oohoの強度に関して最も適する配合率の検証をする

・ここで強度は面に対する強度、縦に裂く力に対する強度、一点への強度の三種類に大きく分けることとする。

- ① アルギン酸ナトリウム水溶液(1%、1.5%、2%、2.5%、3%)と塩化カルシウム水溶液(1%、1.5%、2%、2.5%、3%)を全パターンで反応させ全25パターンの配合率のOohoを各1つずつ作る。
- ② ①で作った25つのOohoを乾燥させた後、それぞれ3種類の強度を確かめる。
- ③ ②の結果をもとに、想定している用途に最も適するものの配合率を考える。

#### 方法2 耐水性、耐油性の検証

主に食品に対して使用することを目的としているため、多くの食品に含まれる水分と油分にさらした際の強度の変容を検証し、目的の用途に使用可能かを検証する。

- ① 4-1-①で作った25つのOohoを、それぞれ十分な量の純水に沈め1分、5分、10分経過するごとにOohoの状態を確認する。(耐水性の検証)  
また、再び乾燥させた結果、どの程度①前と状態が変わるかを確認する。
- ② 4-1-①で作った25つのOohoを、それぞれ十分な量の食用油に沈め1分、5分、10分経過するごとにOohoの状態を確認する。(耐油性の検証)  
また、油を拭き取り乾燥させた結果、どの程度②前と状態が変わるかを確認する。

#### 方法3 成形方法の検証

実際に容器として用いるためには、成形を簡単かつ正確に行える必要があると考えたため、フィルム状のOohoを変形させる方法について検証する。

3-1 乾燥させたOohoを折り曲げる。

3-2 乾燥させる前に成形後の形にととのえ、乾燥させる。

3-3 Oohoを作る時点で成形後の形に整えたい状態で反応させる。

- ① 半透膜としてセロハンチューブを用意する。

- ② セロハンチューブの片側を結び、内側に塩化カルシウム水溶液(n%)を流し込む。
- ③ ②の表面にアルギン酸ナトリウム水溶液を付着させ、塩化カルシウム水溶液(m%)に浸す。
- ④ セロハンチューブを取り出し、内側の塩化カルシウム水溶液(n%)を捨てる。
- ⑤ 純水で流して反応を終わらせる。

\*  $n < m$ ,  $n > 0$ ,  $m > 0$

#### 方法4 Oohoの焦げとり効果の検証

研究中に偶然発見されたOohoによる鍋の焦げとり効果について検証する。

- ①焦げがついた鍋を用意し、Oohoを加え、加熱する。
- ②Oohoが炭化する、もしくは焦げが取れるまで続ける。
- ③加熱前との差異を検証する。

## 5. 結果

10月初旬、以前まで自然乾燥で実験をしていたが自然乾燥できなくなった。その対策としてデシケーター、乾燥機を用いて乾燥させた。しかし、デシケーターで1週間乾燥させても乾燥していないことが多かった。また、乾燥機でも温度や乾燥時間を変えて何度か乾燥させようとしたが元の形状よりも縮んでしまい、なおかつパリパリとした感触になって、もとの柔軟性を失ってしまう結果になった。そのため、上記の仮説を検証することが難しく、下記の結果は十分であるとは言えない。

1 4-1-①で作った25個のOohoは塩化カルシウム水溶液の濃度が大きくなるほど乾燥後の形は歪だった。また、形状による乾燥後の形状の差異が生じた。器形(4-3-3)はそもそも成形することができなかった。円形は球形よりも差異は生じにくかった。球形は乾燥後に大きさは変わらなかったが、中の水分がなくなった分潰れてしまって形を保てていなかった。円形は形こそ変わらなかったが、縮みやすかった。

2 アルギン酸ナトリウム水溶液の濃度が高いほど膜の中に溶液が残ってしまい、形が歪になってしまったが乾燥後の状態は濃度が低いものよりも分厚くなっていた。上記の理由から強度の検証ができなかったが、アルギン酸ナトリウム水溶液の濃度が濃いほど破れにくかった印象がある。具体的には指でちぎれるか試したところ、アルギン酸ナトリウム水溶液の濃度が高いほどうまくちぎれなかった。今後の展望にも記述するが、これから乾燥方法を確立させ、強度を測ってより正確な結果を得たい。

#### 追加仮説

乾燥後のOohoはどの鍋に入れて加熱しても、どれだけ水分を足しても焦げが落ちることはなかった。乾燥前のOohoは鉄製の鍋では焦げが落ち、ステンレス製の鍋では焦げが落ちなかった。また、水・塩化カルシウム水溶液・アルギン酸ナトリウム水溶液をそれぞれ鍋に入れて加熱しても焦げは落ちなかった。

## 6. 考察

5-1 Oohoの配合率は強度の観点からどちらの溶液も2%以上が適していると考えられる。また、成形する形は薄い平たいものの方がいいと言える。

5-2 強度が測れなかったため断言はできないが、仮説は正しかったと考えられる。実際アルギン酸ナトリウム水溶液の濃度が高いほど膜は分厚くなった。また、アルギン酸ナトリウム水溶液の濃度が高いほど成形が困難だったため、成形方法を考える必要がある。

追加仮説 水・塩化カルシウム水溶液・アルギン酸ナトリウム水溶液を入れても焦げが落ちなかったことからこれらの3つには焦げを落とす作用はないと言える。また、乾燥後のOohoを入れても焦げが落ちなかったことからOoho自体には焦げを落とす作用はないと言える。乾燥前のOohoなら焦げを落とすことができたことも踏まえ、以上のことからOoho内の水分が焦げを落としていると考えられる。ここで重要なのは水単体では焦げが落ちなかったことである。Ooho内の水分のほう焦げと鍋の間に入りやすいのではないかと考えた。また、焦げの種類によって落ちやすさの違いが出ると考えた。

## 7. 結論

強度は測定できなかったが、手で簡単にちぎれるほどの強度しかないため、強度の必要なビニール袋やプラスチック容器の代用には適さない。

プラスチックよりも加工に自由度がなく、様々な形に変えられないためプラスチックの代用にはなり得ない。

今回の実験結果から焦げ落としやコーティング剤、そして水分を多量に含んでいるため、加湿ビーズの代用などの容器ではない別の活用方法がある。

## 8. 今後の展望

恒温恒湿器などで温度や湿度を一定にしてOohoを乾燥させ、Oohoが乾燥する最適な環境を調べる。また、Oohoが乾燥するために必要な時間を計測する。

溶液を反応させる工程が無駄が多かったため、より効率的に生成できるようにする。特に、均一に架橋させて膜を生成することが難しかったため、その生成方法を決定したい。

焦げが落ちた原因であると考えられるOoho内の水分量と焦げの落ち方について調べ、より安定して効果が出るようにする。また、鍋の種類や焦げの種類によってどのような違いがあるのか調べ、よりOohoを活用できる方法を模索する。

コーティング剤に最適な溶液の濃度の検証とOohoでコーティングしたものの耐水性や強度を測り、どのような場合に使えるのか、使えないのかを調べる。

加湿ビーズとしての活用はできるのか調べる。

## 9. 参考文献

1 立命館高等学校2019年度SSH生徒課題研究集録 吉村瑛希『環境にやさしい容器の開発』  
p.68-78

2 株式会社キミカ 2025 アルギン酸の物性<https://www.kimica.jp/alginate/alginate-properties/>  
2025年9月30日閲覧