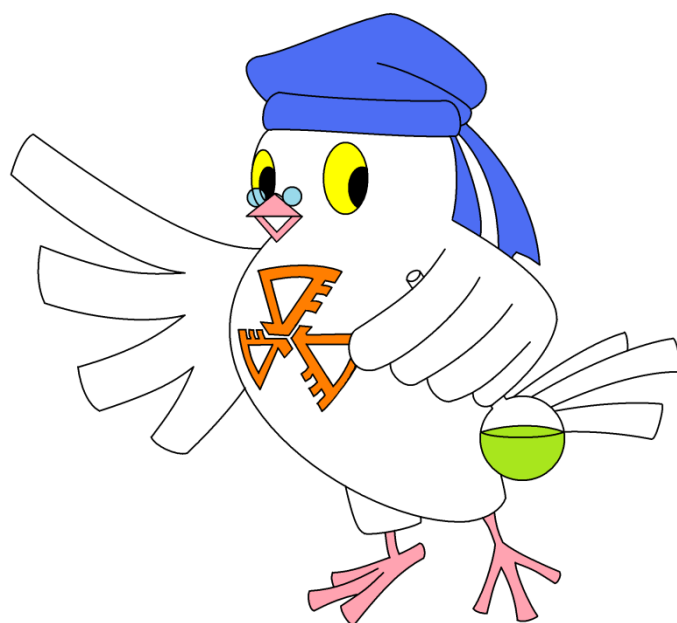


スーパーサイエンスハイスクール研究開発

令和7年度  
理数科課題研究論文集



高知県立高知小津高等学校

## 目 次

は じ め に . . . . .	1 ページ
リアウイングの形状とダウンフォースの関係 . . . . .	2 ページ
遮音材・吸音材の組み合わせによる防音効果について . . . . .	5 ページ
木 工 継 手 に 関 す る 研 究 . . . . .	7 ページ
植 物 を 人 工 的 に 紅 葉 さ せ る に は . . . . .	12 ページ
N A A の 構 造 と 甘 未 の 関 係 に つ い て . . . . .	15 ページ
土佐あかうしのルーメンで発生するメタンを減少させる物質の探索 . . . . .	18 ページ
浦戸湾における黒い津波の発生とその影響について . . . . .	23 ページ
高 校 生 の 恋 愛 傾 向 に つ い て の 研 究 . . . . .	27 ページ

## はじめに

本校は平成 14 年度より文部科学省のスーパーサイエンスハイスクール（以下SSHという。）の研究指定を受けており、経過措置期間を含め 23 年間にわたり事業を進めてきました。令和 6 年度からは、5 年間のSSH認定校の指定を受け、新たなステージに立って本県の理数教育をリードする取組をスタートさせたところです。

第Ⅳ期の指定からは、研究主題を「地域創生に資するグローバルな視点で活躍できる理数系人材の育成プログラムの開発」として、SSHの取組を理数科のみならず普通科まで拡げ、学校全体で行う探究型学習「課題研究」を通して、主体性や思考力、協働する力などを身に付けた次代を担う生徒の育成を目標とした取組を進めてきました。認定校の指定を受けてからも、「ALL高知」の掛け声のもと、大学や研究機関、企業など多くの方々にご協力いただきながら、地域の課題や先進的な取組を学ぶ「地域フィールドワーク」、科学分野への興味関心と実験技能等の向上を図る「OZUサイエンス」や「短期集中体験ゼミ」、四国の自然環境や関連施設に対する興味を高めるための「サイエンスフィールドワーク」など様々な取組を実施することで、生徒たちは「発見・驚き・感動」を実感するとともに、理数分野への興味関心を高めることができています。

理数科の課題研究については、1 年次の「理数探究基礎」の中でデータの分析やプレゼンテーションに必要な知識や技能を早い段階から習得させ、それらを生かして 2 年次、3 年次の課題研究に取り組むことで、科学的な探究力や論理的な思考力、プレゼンテーション能力などを総合的に育成する取組を行っています。そして、探究活動発表会では、普通科を含めた全生徒が、他の生徒たちや保護者、中学生の前で研究の成果を発表し、プレゼンテーション能力の向上だけでなく、探究の楽しさや達成感も味わうことができたようです。テーマを自分の進路と結びつけて研究する生徒も増えてきており、本校探究学習の成果の一つとも言えます。

さて、本年度ノーベル化学賞を受賞された京都大学の北川進副学長は、「今までできないこと、誰もわからないこと、これは絶対無理だということにチャレンジしていくことによって、また新たな発展がある」と話されています。デジタル技術等が急速に普及し、それまで人が行っていた多くの仕事や役割がAIにとって代われようとしている今の世の中で、想像（創造）力を働かせ、誰もわからないことに挑戦していくという営みは、間違いなく「人」でなければできないことであり、北川副学長の言葉は、まさに研究に携わる者の原点を示した言葉です。今後このような世の中を生きる生徒の皆さんには、多くの情報の中から事実を正確につかみ取り、考え、分析し、判断して、しっかりと根拠を示しながら説明するとともに、仲間と協力しながら将来を切り開いていく力を身につけてもらいたいと思います。理数科の課題研究の取組は、皆さんのそうした力の育成に必ずつながるものです。

この論文集にまとめられた課題研究は、令和 5 年度理数科入学生の 3 年間の探究的な学習活動の集大成です。ぜひ多くの方にこの論文集を手にとっていただき、本校のSSH活動の取組と生徒の活動をご覧いただけましたら幸いです。

最後に、本研究の実施に際しましてご支援をいただきました大学・研究機関、企業等の方々に心からお礼を申し上げます。

令和 8 年 2 月

高知県立高知小津高等学校長 竹崎 実

## リアウイングの形状とダウンフォースの関係

畠中 優緋、大崎 弘誠、川原 孝誠、和井 勇樹

### 研究要旨

私たちは道路を走っている自動車には様々な形状があり、その中でもリアウイングの形状の違いに興味を持った。リアウイングの形状の違いは、ダウンフォースに影響がある。そこで、リアウイングの様々な要素を変更し、ダウンフォースの大きさの変化を調べ、用途に応じた最適なリアウイングを見つけたいと考え、研究に取り組んだ。

### 1. はじめに

私たちは道路を走っている自動車が様々な形状をしていることに気づき、興味を持った。調べていくと、リアウイングの形状の違いによって、車体を下に押し付ける力、ダウンフォースの大きさに違いがあることが分かった。そこで、リアウイングの角度や高さによって、ダウンフォースの大きさがどのように変化するかを調べてみることにした。

### 2. 研究の概要

自動車に取り付けるリアウイングの角度によって、車体を下に押し付ける力、ダウンフォースの大きさがどのように変わるかを調べ、様々な用途に適したリアウイングの角度を見つけるために研究を行った。

### 3. 目的

車のリアウイングについて、リアウイングの高さ・角度によるCL値、Cd値の変化を調べる。求めたCL値、Cd値から用途に応じた最適なリアウイングの角度を見つけ、車の燃費向上や高速走行時の安全性向上につなげる。

#### (1) 抗力・揚力(Cd値・CL値について)

空気の流れと平行に働く力を抗力(Cd)、垂直に働く力を揚力(CL)という。

**抗力** 抗力  $D$  [N] =  $\frac{1}{2} \times$  抗力係数  $C_d$  [-]  $\times$  密度  $\rho$  [kg/m<sup>3</sup>]  $\times$  (代表速度  $U$  [m/s])<sup>2</sup>  $\times$  代表面積  $S$  [m<sup>2</sup>]

**揚力** 揚力  $L$  [N] =  $\frac{1}{2} \times$  揚力係数  $C_L$  [-]  $\times$  密度  $\rho$  [kg/m<sup>3</sup>]  $\times$  (代表速度  $U$  [m/s])<sup>2</sup>  $\times$  代表面積  $S$  [m<sup>2</sup>]

### 4. 実験 I (高さとの関係)

#### (1) 方法

工作用ボードで作った32分の1スケールの車の模型に、作成したリアウイングを取り付ける(作成方法は図1を参照)。これを風洞装置内で電子はかりに固定する。このとき、装着した状態ではかりの値を0にする。排風機から風を吸い込み、電子ばかりの値を測定する。この操作をリアウイングの高さを1mmから7mmまで1mmずつ変化させながら行った。風洞装置の構造は、縮流洞、ハニカム構造、観測洞、排風機からなっている。縮流洞は空気を圧縮し風洞内に流れる風の速度を上げることで実験値を大きくし、比較をしやすくする役割を果たす。ハニカム構造は乱れている風の向きを揃えることができるため、実験の値のブレを抑えることができる。観測洞は実験の様子を観測するためのもので、排風機は風を吸い込む装置で、風を模型に当てることで車が走っている状態を再現することができる。

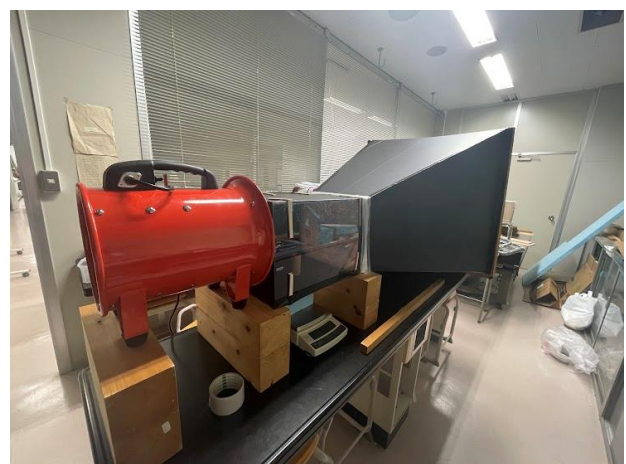
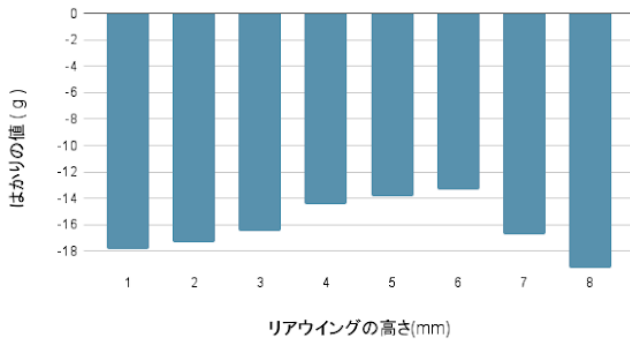


写真1 風洞装置

## (2) 結果

結果は下図のように、6mmの時に下向きの力が最も大きくなり、全体として山なりのグラフとなった。実験値がすべてマイナスになった原因は、プラモデルを入れるために観測洞の下にあけた穴から空気が流れ込み、プラモデルを押し上げたためと考えられる。

グラフ1 リアウイングの高さとはかりの値の関係



## 5. 実験Ⅱ (角度との関係)

### (1) 方法

実験値が小さすぎる値だったため、16分の1スケールの実験模型を作成し、それに伴いリアウイングの作成方法を変更し、拡大した。風洞装置に関しては、実験Ⅰでマイナスの値を示したと考えられる穴をふさいだ。また、Cd値も測定するため、下の写真のように装置をセッティングした。

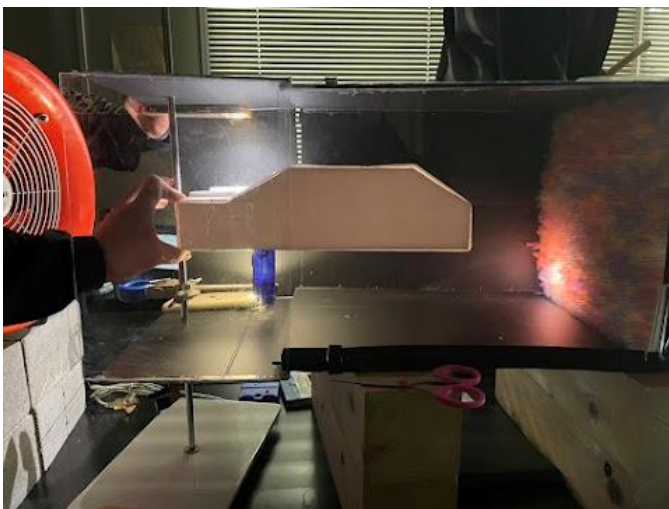
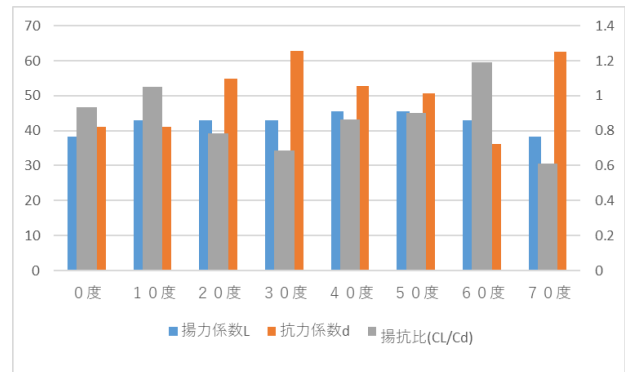


写真2 16分の1スケールの実験模型

## (2) 結果・考察

グラフ2 16分の1スケールの模型におけるCd値とCL値の角度依存性



グラフから読み取れるように、Cd値は30度で最大、60度で最小となった。また、CL値は50度が最大となり、山なりのグラフとなった。また、揚抗比(CL/Cd値)は、60度のとき最大となった。

## 6. 考察

今回装着したのは、飛行機の翼を上下逆転させたような形状のリアウイングである。そして、スモークマシンを用いた実験の観察よりリアウイングの上下に風が分断されており、リアウイングの下底に沿って流れていた。これらのことから、今回の実験模型にも、ベルヌーイの定理によるダウンフォースが働いていることがわかった。よって、今回の実験で用いたリアウイングと車の模型に関しては、ベルヌーイの定理によるダウンフォースと、リアウイングにぶつかる風による下方向の分力が、60度で最適な空力を生み出したと考えられる。

## 7. 参考文献

- 小林敏雄, 奥明栄, 鬼頭幸三. 自動車と空気力学: 自動車の開発におけるCFD技術の浸透とレーシングカーの空力技術開発の現状 (2002).
- 田中佑磨, 藤田奏, 平田壮太, 高島創平. 風洞製作とリアウイングの形状によるダウンフォースの関係 (2021). スーパーサイエンスハイスクール Advanced Science 課題研究論文集 Vol.9, 13-18.

3. 米満竜太, 高倉葉子, 高木通俊. リアスポイラーによるノッチバック車の空力特性の向上 (2010) . [http://bulletin.soe.u-tokai.ac.jp/vol50\\_no2\\_2010/P130\\_136.pdf](http://bulletin.soe.u-tokai.ac.jp/vol50_no2_2010/P130_136.pdf)
4. F1 テクノロジー. 第3回「ウイング編 (1)」. (1999) . [http://www.bea.hi-ho.ne.jp/toy/F1/fl\\_tech.htm](http://www.bea.hi-ho.ne.jp/toy/F1/fl_tech.htm)
5. HEXAGON Software Cradle. 揚力係数 (2024) . [https://www.cradle.co.jp/glossary/ja\\_Y/detail0105.html](https://www.cradle.co.jp/glossary/ja_Y/detail0105.html)
6. HEXAGON Software Cradle. 熱流体解析の基礎 25 第3章 流れ:3.5.5 抗力と揚力 (2019) . <https://www.cradle.co.jp/media/column/a185>
7. 一般社団法人 日本機械学会流体工学部門. ダウンフォース (2012) . [https://www.jsme-fed.org/experiment/2012\\_12/002.html](https://www.jsme-fed.org/experiment/2012_12/002.html)

## 8. 指導者より

本研究は、グループの強いチームワークと粘り強さによって成し遂げられた。当初は実験データの取得に苦労し、思うような結果が得られず、何度も壁にぶつかることがあった。しかし、各々が与えられた役割を責任感を持って果たしながらも、互いに協力し合い、課題を乗り越えていく姿が印象的であった。

今回の研究活動を通じて、彼らは単に物理学の知識を深めただけでなく、困難に立ち向かう姿勢や、チームで協働する大切さを学んだ。この経験が、これからの人生における大きな糧となることを願う。

## 遮音材・吸音材の組み合わせによる防音効果について

小松咲輝, 高橋奏太, 森風人, 渡邊建志郎

### 研究要旨

避難所では被災者間の騒音トラブルが問題になっている。そのため、安価で簡易に防音を行える素材を見つけることを目的に研究を行った。防音材とは、遮音材・吸音材を組み合わせたものである。そこで、遮音材・吸音材それぞれの素材や位置を変えることでダンボールより優れた防音材を見つけることができるのではないかと考え研究に取り組んだ。

### 1. はじめに

災害時では、被災者間同士が共同生活するのを余儀なくされるため、個人のプライバシーが確保されにくくなる。そのため、被災者間でのトラブルが起りやすくなる。その原因の1つとして騒音トラブルが挙げられるため、避難所の仕切りの素材を考えることでこの問題を解決したいと思いこの研究を始めた。

引用文献より、以下の情報を活用して研究をした。

防音材：吸音材、遮音材

吸音材：音を熱エネルギーに変換し吸音することで効果を発揮する

遮音材：音を遮ることで効果を発揮する  
(引用文献①より)

高周波の音波は波長が短いため、音波が狭い範囲に集中して伝播し、一方低周波数では広範囲に伝播する。  
(引用文献③より)

### 2. 研究の概要

厚さ、表面積の等しい2枚の板(遮音材、吸音材)に関する音の減少率を比較する。

### 3. 目的

避難所に応用できるように身近にある材質をもとに吸音材と遮音材を探し、それ等を種類や並べる順番ごとに組み合わせ、最も防音性能が高くなる組み合わせを見つける。

### 4. 方法

- ① 縦、横 30 センチの段ボールを用意し、避難所に見立てる。
- ② 何も挟まずに入口と出口で音の大きさを測定する。(音源：引用文献②を使用)
- ③ 高音のときと低音のときの音源の音の大きさをそろえる。
- ④ 吸音材(スポンジ)と遮音材(鉛、アルミ)をはさんで音の大きさを測定する。
- ⑤ 吸音材と遮音材の配置する順番を変える。
- ⑥ 音の高さを変え2~5を繰り返す。

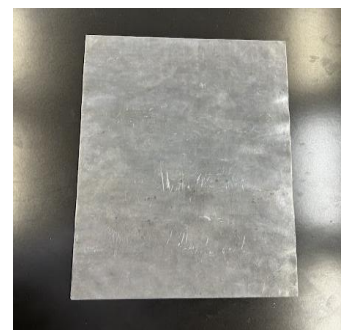
#### 【使用した防音材】

吸音材：ウレタンフォーム、スポンジ

遮音材：鉛板、アルミ



【図 I デジタル SD 騒音計】



【図 II 遮音材 (鉛板)】



【図Ⅲ 実験風景】

## 5. 結果及び考察

【高音時】吸音材を音源側にした方が減少率が高かった。

⇒吸音材を音源側にする事で、音が吸音材の触れる回数が多くなったためと考えられる。

【低音時】吸音材に関して鉛板の方が遮音性能が高い。

⇒密度が鉛の方が大きいから。

ウレタンフォームに対して遮音性能が高い。

⇒スポンジの方が微細な穴や気泡が多数存在する多孔質材料であるから。

【混合音時】遮音材を音源側にした時の方が減少率が大きかった。

【表1 低音を音源とした時の音の減少率】

	1回目	2回目	3回目	4回目	平均	減少率
前後 スポンジ鉛	49.6dB	49.6dB	49.2dB	49.4dB	49.5dB	23.6%
前後 鉛スポンジ	50.1dB	50.0dB	49.5dB	49.0dB	49.7dB	23.3%
前後 スポンジアルミ	50.8dB	51.3dB	51.0dB	50.8dB	51.0dB	21.3%
前後 アルミスポンジ	50.8dB	50.6dB	49.9dB	49.6dB	50.2dB	22.5%
前ウレタン後鉛	52.5dB	51.6dB	51.3dB	52.4dB	52.0dB	19.6%
前鉛後ウレタン	52.8dB	52.2dB	52.7dB	53.4dB	52.8dB	18.4%

【表2 高音を音源とした時の音の減少率】

	1回目	2回目	3回目	4回目	平均	減少率
前後 スポンジ鉛	46.0dB	35.0dB	39.1dB	34.9dB	38.8dB	40.1%
前後 鉛スポンジ	43.0dB	43.2dB	43.0dB	41.1dB	42.6dB	34.3%
前後 スポンジアルミ	36.0dB	34.4dB	34.1dB	35.9dB	35.1dB	45.8%
前後 アルミスポンジ	35.0dB	39.0dB	36.4dB	33.5dB	36.0dB	44.4%

【表3 低音と高音の混合音を音源とした時の音の減少率】

	1回目	2回目	3回目	4回目	平均	減少率
前ウレタン後鉛	54.2dB	54.5dB	54.4dB	54.8dB	54.5dB	14.1%
前鉛後ウレタン	51.2dB	51.9dB	50.6dB	54.0dB	51.9dB	17.6%
前スポンジ後鉛	60.5dB	60.8dB	60.7dB	60.0dB	60.5dB	6.1%
前鉛後スポンジ	60.5dB	59.5dB	59.9dB	59.0dB	59.7dB	7.2%

## 6. 参考文献

福岡県立筑紫丘高等学校 佐伯 航平 他  
「より防音性の高い素材を探す」(2023)『第47回全国高等学校総合文化祭2023かごしま総文自然科学部門論文集』 16-17

## 7. 引用文献

- ①「防音材とは？防音材・遮音材の種類の違いーアトピッコハウス」. <https://www.atopico.com/blog/39187.html>. 2025年3月31日
- ②スピーカーから水を抜く音. <https://www.youtube.com/watch?v=1F5eN0uxVb0>. 2025年3月31日
- ③超音波 | 性質や特徴と可視化手法について解説. <https://www.kk-co.jp/use/onpa/>. 2025年3月31日

## 8. 指導者より

何をもって音の減衰といえるかという点に苦勞していたが、実験を行うまでに議論を重ね、方向性を決めてからは繰り返し実験し、得られたデータから言えることを真摯に検証した姿に頼もしさを感じる。避難所へ応用するまでには材質の変更など課題があるため今後引き継いで検証してくれる後輩が出ることを期待している。

# 木工継手に関する研究

## ～蟻継ぎ構造の形状による強度変化について～

山本 愛莉

### 研究要旨

伝統的な技法の木工継手の一種である、腰掛け蟻継ぎの強度に関する研究を行った。腰掛け蟻継ぎの接合部である蟻ほぞの台形部分の寸法は、各企業や作成を行う建築大工によって異なり、明確に定まっていない。そこで、理論的に蟻ほぞの形状の強度を示し、強度として最適と言える形状を発見しようと考え研究を行った。

### 1. はじめに

#### (1) 木工継手について

2本の木材を同一方向でつなぎ合わせる接合方法を木工継手という。主に木工部品の結合・固定や角材の延長などに用いられる。木工継手には様々な形状があり、それぞれ名称や用途が異なる。本研究では、接合部分が台形状の「腰掛け蟻継ぎ」の強度について調査する。

#### (2) 腰掛け蟻継ぎについて

腰掛け蟻継ぎは木工継手の一種であり、接合部の「蟻ほぞ」は台形の形状をしている。また、蟻ほぞの側面は階段状となり、これを「腰掛け構造」という。名称は蟻ほぞの形状が蟻の頭に似ていることに由来する。接合する木材の凸部を「男木」、凹部を「女木」と呼ぶ。腰掛け蟻継ぎは主に建物の梁(建物の骨組みのうち水平方向に設置される部材)に使われ、建築や家具製作において広く用いられている技法である。

### 2. 研究の概要

本研究では、腰掛け蟻継ぎ構造の強度を実験的に検証する。腰掛け蟻継ぎは機械加工によるプレカットもあるが、本研究では手作業で作成した柱を用いて実験を行った。

塚崎ら(2014)による「機械加工能率を向上させた腰掛け蟻仕口の強度特性に関する研究」では、プレカット加工を用いて腰掛け構造の深さや蟻ほぞ形状を変化させて実験がなされているが、本研究は蟻ほぞの台形部分の角度に着目し、その強度への影響を調査した。

### 3. 目的

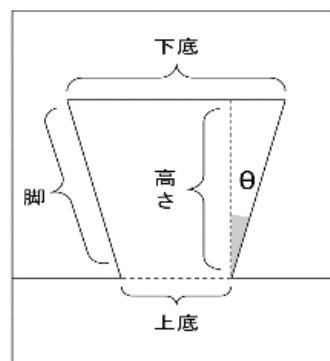
腰掛け蟻継ぎの寸法は建築企業や大工により明確に定まっていないことがわかった。そこで、蟻ほぞの形状を変えることが強度にどのような影響を与えるかを明らかにすることを目的として、本研究を開始した。

### 4. 方法

#### (1) 実験方法

##### ① 蟻ほぞの台形形状について

蟻ほぞは、台形の形状をしている。台形とは一組の対辺が平行な四角形であり、平行な対辺の短い方を「上底」、長い方を「下底」という(必ずしも上側に上底、下側に下底があるとは限らない)。また、平行でないもう一組の辺を「脚」という。蟻ほぞの台形は、向かい合う脚の長さが等しい「等脚台形」である。本研究では、上底の垂線と脚がなす角度を $\theta$ (シータ)とし、これを「脚の傾き」とする。



▲蟻ほぞの台形の要素

## ②蟻ほぞの台形形状を変化させる条件について

台形は主に、上底・下底・高さの3つの要素によって形状が定まる。これらの長さを変化させることで、さまざまな形状の台形を作ることができる。台形の形状を変化させる条件については以下の方法が考えられる。

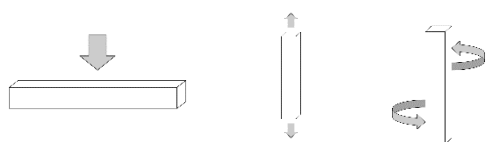
- ア. 台形の高さを変化させる(台形の下底と上底を固定)
- イ. 台形の下底を変化させる(台形の上底と高さを固定)
- ウ. 台形の上底を変化させる(台形の下底と高さを固定)

実際に調べた建築大工が公開している腰掛け蟻継ぎの寸法のうち、「1.5寸～2寸」といったように高さを1つの値に明確に示していないものがあった(大工さんが作ったホームページ, 2024)。

そのため本研究では、条件アと比較的加工が容易であった条件イを用いて研究を進めた。

## ③柱に対しての力の加え方について

実際に柱に対して加わる力はさまざまなものがある。柱に対し垂直方向に加わる力や、柱を引っ張り合うようにして加わる力、柱をねじるようにして加わるねじれの力などが考えられる。



▲柱に対して加わる力の例

本研究では、実験を行うにあたって再現の容易である「柱に対して垂直に加わる力」に対する強度を調べた。

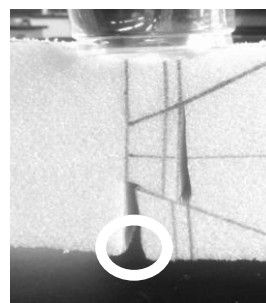
## (2) 実験詳細

### ① 実験 I

実験 I では、スタイロフォームを用いて、幅 70mm、高さ 50mm、長さ 340mm の柱を作成した。また、腰掛け構造の加工が容易でなかったため、腰掛け構造は施さないものとし、蟻ほぞのみの強度を調べることにした。

台形形状を変化させる条件は、「台形の高さを変化させる方法」と「台形の下底を変化させる方法」を用いた。台形の高さを変化させる方法では、蟻ほぞの台形の下底を 30mm、上底を 20mm に統一し、台形の下底を変化させる方法では、蟻ほぞの台形の高さを 40mm、上底を 20mm で統一した。脚の傾きは両柱とも、5°、10°、15°、20°、25°、30° の 6 種類を 2 本ずつ作成した。

水平な場所で、2 つの台を 240mm 離して設置し、その上に作成した柱を置いた。蟻ほぞの高さの半分を中心とし、その上にプラカップを設置し、1 個 20 グラムのビー玉を加えた。この際、柱が折れるまでに乗っていたビー玉の個数、ビー玉を最大数(100 個)乗せたときの歪みの大きさを記録し、強度を比較した。



▲歪みが生じている様子

歪みとは、上図の丸で囲んだ部分を意味する。おもりを乗せたときの蟻ほぞの開き具合の長さを測る。実験 II および実験 III についても同様とする。

### ② 実験 II

実験 II では、スタイロフォームを用いて、幅 60mm、高さ 50mm、長さ 450mm の柱を作成した。実験 II では、腰掛け構造を施した。

台形形状を変化させる条件は、「台形の下底を変化させる方法」を用いた。蟻ほぞの台形の高さは 40mm、上底は 20mm で統一した。腰掛け構造と蟻ほぞの深さは、高さの半分の 25mm ずつになるように施した。下底の

長さが、20mm、30mm、40mm、50mm の4種類の柱を2本ずつ作成した。

350mm 離して設置した台に柱を置き、柱の側面と蟻ほぞの真上からそれぞれ力が加わるように接合部の腰掛け構造の全長の半分におもり(1個 250グラム)を1つずつ加えて吊るした。その際の柱の歪みを記録し、強度を比較した。



▲実験IIの様子

### ③実験III

実験IIIでは、ヒノキの木材を用いて、幅35mm、高さ35mm、長さ493mmの柱を作成した。実験IIIでも、腰掛け構造を施した。

台形形状を変化させる条件は、「台形の下底を変化させる方法」を用いた。蟻ほぞの台形の上底は1.1mm、高さは2.2mmで統一した。腰掛け構造と蟻ほぞの深さは、高さの半分の17.5mmずつになるように施した。脚の傾きが、5°、10°、15°、20°のものを4本ずつ作成した。

43.3mm 離して設置した台に柱を置き、側面から力が加わるように接合部の腰掛け構造の全長の半分に、板を紐で吊るし、水を入れたペットボトルを500グラムずつ加えた。柱が折れるまでペットボトルを加え、それまでの柱の歪みを記録し、強度を比較した。



▲実験IIIの様子

## 5. 結果

### (1) 実験I

実験Iの結果は以下ようになった。  
「台形の高さを変化させたもの」

$\theta$	生じた歪みの大きさ [mm] / 柱が折れた際 のビー玉の個数 [個]	
	①	②
5°	7mm	5mm
10°	5mm	7mm
15°	7mm	5mm
20°	9mm	9mm
25°	7mm	7mm
30°	8mm	8mm

「台形の下底を変化させたもの」

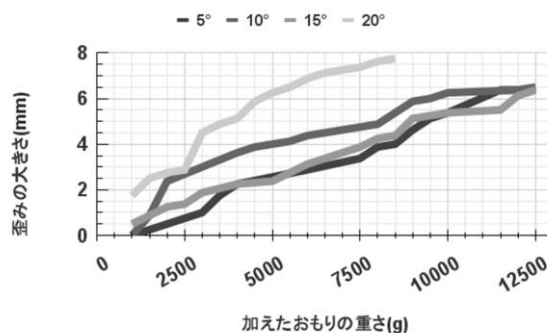
$\theta$	生じた歪みの大きさ [mm] / 柱が折れた際 のビー玉の個数 [個]	
	①	②
5°	7mm	6mm
10°	100個	100個
15°	7mm	7mm
20°	8mm	100個
25°	97個	100個
30°	42個	41個

## (2) 実験Ⅱ

実験Ⅱの結果は以下のようになった。

「柱の側面から力を加えたもの」

おもりの重さ	生じた歪みの大きさ			
	下底 : 20mm	下底 : 30mm	下底 : 40mm	下底 : 50mm
250g	3mm	2mm	3mm	2mm
500g	4mm	3mm	3mm	3mm
750g	5mm	4mm	4mm	3mm
1000g	6mm	5mm	5mm	4mm



▲角度ごとの各柱の歪みの大きさの平均

また、実験Ⅲでは柱の折れ方にも特徴が見られた。

「蟻ほぞの真上から力を加えたもの」

おもりの重さ	生じた歪みの大きさ			
	下底 : 20mm	下底 : 30mm	下底 : 40mm	下底 : 50mm
250g	10mm	3mm	3mm	4mm
500g	11mm	4mm	5mm	6mm
750g	13mm	5mm	5mm	7mm
1000g	柱が折れた	6mm	6mm	8mm



▲蟻ほぞの脚の傾きが20°の柱が折れた様子(左)と5°の柱が折れた様子(右)

脚の傾きが大きい柱は女木側が折れ、脚の傾きが小さなものは男木側が折れた。

## (3) 実験Ⅲ

実験Ⅲの結果は以下のようになった。

重りの重さ[kg]	生じた歪みの大きさ [mm]															
	5°				10°				15°				20°			
	①	②	③	④	①	②	③	④	①	②	③	④	①	②	③	④
1	—	—	—	—	—	—	—	—	2	—	—	—	—	5	2	—
1.5	—	—	—	—	—	—	—	3.5	—	—	—	—	—	—	3	2
2	—	—	—	—	3	—	3	—	—	—	—	3	—	5.5	3.5	—
2.5	—	—	—	—	—	—	—	—	2.5	—	—	—	—	6	—	—
3	4	—	—	—	—	—	—	—	—	2	—	—	4	7	4	3
3.5	—	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	8	4.5	—
4	—	—	2	—	3.5	3	—	5	3	—	—	4	—	8.5	5	—
4.5	—	—	—	—	—	—	4	—	—	—	—	—	5	9	5.5	4
5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2.5	—	—	—	10	6	—
5.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6	—	—	—	10.5	6.5	—
6	—	3.5	—	2	4	—	4.5	—	—	—	3	—	—	—	折	5
6.5	—	—	—	—	—	—	5	—	—	—	—	5	5.5	11	—	—
7	—	—	—	—	—	—	5.5	—	—	—	—	—	—	折	—	5.5
7.5	—	—	4	—	—	—	6	—	4	3	—	5.5	—	—	—	6.5
8	—	4.5	—	3	—	—	6.5	—	—	4	6	—	—	—	—	7
8.5	—	—	4.5	—	—	—	—	—	—	—	6.5	6	—	—	—	折
9	—	5.5	5	4	—	—	6	折	7	—	4	5	7.5	—	—	—
9.5	—	6.5	5.5	4.5	—	—	—	—	7.5	4.5	—	—	—	—	—	—
10	—	—	折	6	5	4.5	折	—	8	5	—	—	—	—	—	—
10.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
11	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
11.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
12.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
13	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

(折：柱が破損した値、—：変化無し)

## 6. 考察

実験結果を簡潔にまとめると、以下のようになる。

実験Ⅰ：脚の傾きが小さい柱は、比較的大きな力に耐える傾向が見られた。

実験Ⅱ：歪みの大きさに大きな差は見られなかったが、傾きが小さい柱は外れやすく、噛み合わせが弱かった。

実験Ⅲ：傾きが小さい柱の中でも、10° および15° のものが特に大きな力に耐える傾向があった。

これらの結果から、脚の傾きが小さくなるほど、重量に対する耐力は増すが、それに反して噛み合わせの力は弱くなる傾向があることが分かった。

したがって、極端に傾きが小さい、あるいは大きい角度の柱には、強度が高いものは存在しないと考えられる。

本研究では、角度の比較において5° 刻みで柱を作成した。したがって、実験Ⅲで強度が高かった10° ~15° の範囲を、1° 刻みあるいはそれより細かい単位で再度検証するこ

とで、最適な柱の寸法が明らかになる可能性がある。

また、今後の展望としては、柱の作成や強度の測定に機械を用いること、さらには柱のサイズや材質を変えた場合にも今回の傾向が再現されるかどうかを検証することが挙げられる。

## 7. 参考文献

- ・大工さんが作ったホームページ (2024). 『在来工法木造建築木材の繋ぎ方、木材の継ぎ手、木材の繋ぎ方法、継ぎ手種類の一覧』.  
<https://tyouken.tendon.bz/yougo/000/001.htm#Top>.2024年7月2日.
- ・大工の学校 (2008). 『継手 腰掛け蟻継ぎ』.<https://blog.goo.ne.jp/tom-p1423/e/6ccac71db58ddfc97a36559cd5491395>.2024年7月2日.
- ・安江工務店 住まいのかかりつけ医チャンネル (2023). 『【木造建築】これぞ匠の技！腰かけ鎌継ぎ・腰かけ蟻継ぎ・ほぞ穴の実演・大工道具紹介』.<https://www.youtube.com/watch?v=oIJuLFLLMss>.2024年7月2日.
- ・YO 設計 (2013). 『「仕口・継手とは」』.  
[https://yo-archi.com/column/c\\_004.html](https://yo-archi.com/column/c_004.html).  
2024年7月2日.
- ・丸晴工務店 (2023). 『木造建築で用いられる伝統的な「蟻継ぎ」って何！？』.<https://www.marusei-j.co.jp/木造建築で用いられる伝統的な「蟻継ぎ」って何/>.2024年9月17日.
- ・ともさんの HP (2019). 『材木継ぎ手の種類』.  
<https://totomo.net/11002-tugite.htm>.  
2024年10月1日.
- ・株式会社菊池技建 (2018). 『家具の継ぎ手の種類』.<https://kikuchigiken.co.jp/log/?l=454879>.2024年10月1日.
- ・塚崎英世 河合直人 小松幸夫 前川秀幸 松留慎一郎 (2014). 『機械加工能率を向上させた腰掛蟻仕口の強度特性に関する研究』.

[https://www.jstage.jst.go.jp/article/aijs/79/700/79\\_811/\\_pdf/-char/ja](https://www.jstage.jst.go.jp/article/aijs/79/700/79_811/_pdf/-char/ja).2024年9月17日.

## 8. 指導者より

当初身近な素材として、スタイロフォーム、ビー玉で検証することができた。実験試料は、自ら時間をかけて丁寧に作ることができた。日本の伝統的な木工技術の良さを数値化して確認できた。本研究が木工技術の伝承とともに木材の活用につながることを願っている。

## 植物を人工的に紅葉させるには ～オオカナダモの紅葉について～

久保田 結琳、野口 春乃

### 研究要旨

気象庁の観測結果より紅葉が遅れていることを知った。しかし、紅葉の遅れが落葉樹の成長にどのような影響を及ぼすのかは把握されていない。そこで、水生植物であるオオカナダモを用いて、0.10mol/Lのスクロース水溶液や蒸留水に浸したり、UV照射や葉に意図的な折り目をつけたりするなどの刺激を与え、葉の変化を観察した。これらの外的要因による変化から、クロロフィルの分解とアントシアニンの合成に着目し、温度以外で紅葉を誘発させる条件を明らかにすることを目的として実験を行った。

### 1. はじめに

紅葉は様々な場所で日本の風景を彩っている。紅葉樹が作り出す美しい風景は観光地の経済にも大きく貢献している。気象庁の観測結果から、長期的な温暖化により紅葉に必要な気温の低下が起こりづらくなり、秋の紅葉が遅れ始めていることを知った。しかしながら、紅葉の遅れが落葉樹の成長にどのような影響を及ぼすのかは把握されていない。紅葉の遅れで日本に特有の四季を感じられなくなる事態が起こらないようにするため、本研究に取り組んだ。

### 2. 研究の概要

一般に植物の葉はクロロフィルが分解されることで緑色を失い、アントシアニンが合成されることで赤くなる。

秋になり気温が低下すると、光合成効率が低下したクロロフィルは過剰な活性酸素を発生させ、自らの細胞を破壊する。このことを防ぐためにクロロフィルは分解され、アントシアニンはクロロフィルの光の吸収を抑制し、活性酸素を作らせないようにするために合成されると考えられている。また、アントシアニンは葉から幹への養分の転流を促すためにはたらくとも考えられている。

このことから私達は、紅葉は植物が外部から身を守るために起こす反応であると考えた。紅葉に関する実験に水生植物であるオオカナダモが多く使われていることを知り、本研究でもオオカナダモに様々な刺激を与え、紅葉の誘発を試みる実験を行った。

### 3. 目的

温度以外でオオカナダモの紅葉を誘発する条件を明らかにし、オオカナダモを人工的に紅葉させる方法を考察する。

### 4. 実験方法

#### (1)水溶液の影響

試験管に0.10mol/Lのスクロース水溶液45mLを入れ、6cmに切断したオオカナダモを浸し、蒸発しないようにパラフィルムを巻いた。外気温4°C～14°C、約3000lux程度の窓際で10日間観察を行った。

対照実験として、スクロース水溶液の代わりに蒸留水やオオカナダモ飼育水槽の水を用いた。

#### (2)切断葉との違い

オオカナダモの茎から切り離した葉のみ（以後、切断葉という）を各水溶液に浸した。(1)と同様の条件で観察を行い、通常のおオオカナダモ（茎あり）と比較した。

#### (3)UV照射の影響

オオカナダモの切断葉および茎ありを各水溶液に浸してUV照射(365nm、1h)を行った後、(1)と同様の条件で観察を行い、UV照射なしと比較した。

#### (4)葉の折り目の有無

通常のおオオカナダモ（茎あり）の葉に意図的に折り目をつけてから各水溶液に浸した。

さらに、(3)のUV照射したものとUV照射をし

ていないものを(1)の条件下で観察し、折り目の有無および折り目と UV 照射の両方の条件での比較をした。

## 5. 結果と考察



















	切断葉		茎あり			
UV照射 1h	×	○	○	○	×	×
折り目	×	×	○	×	○	×
水槽の水						
スクロース水溶液						
蒸留水						

図 オオカナダモの変化の様子

### (1)水溶液の影響

①スクロース水溶液に浸したオオカナダモは、葉の緑色が薄くなり、その後、赤茶色に変化した。また、スクロース水溶液にはカビが発生した。

②水槽水に浸したオオカナダモは、大きな変化は見られなかった。

③蒸留水に浸したオオカナダモは、水槽水につけたオオカナダモと同様に、変化はなかった。

以上のことより、オオカナダモの葉に変化があったのは、スクロース水溶液に浸したときであった。なお、スクロース水溶液にはカビが発生したが、実験結果に影響はないものと考えられる。

### (2)切断葉との違い

オオカナダモの切断葉は、茎ありの場合よりも緑色が薄くなった。この変化は、すべての水溶液で見られた。

このため、切断葉は茎ありの状態より、変化が起こりやすいと考えられる。

### (3) UV 照射の影響

UV 照射を行ったオオカナダモのうち、水槽水に浸したものは茎や葉の先端のみが赤く変化し

た。また、スクロース水溶液に浸したものは緑色が薄くなり葉全体が赤茶色に変化した。これらの変化は茎の有無による違いが見られなかった。

このことより、UV 照射は、葉の色の変化を促進すると考えられる。

### (4) 葉の折り目の有無

葉に折り目をつけたオオカナダモ（茎あり）は水溶液の種類によらず、折り目から葉先にかけて緑色が薄くなる変化が見られた。さらに UV 照射をした個体にのみ折り目から葉先、茎の先端が赤茶色になる変化が見られた。

## 6. 結論

オオカナダモの葉の緑色が薄くなる変化が見られたのは、スクロース水溶液に浸した場合、切断葉にした場合、茎ありの葉に折り目をつけた場合であった。これらの外的要因により、緑色の色素であるクロロフィルの分解が起こったと考えている。

一方、葉が赤茶色に変化したのは、切断葉でも茎ありでも UV 照射を行った場合である。ただし、UV 照射後に水槽水に浸すと葉の一部が、スクロース水溶液に浸すと葉全体が赤茶色になった。また、茎ありの個体に折り目をつけて UV 照射を行うと、折り目から葉先にかけて赤茶色となった。これらの外的要因により赤茶色になったのは、クロロフィルの分解とアントシアニンの合成が行われ、クロロフィルの緑色とアントシアニンの赤色が混ざったためだと考えている。

## 7. 参考文献

- ①株式会社文一総合出版(BuNa)(2018/11/26) なぜ紅葉するの？葉の色が変わる「色素」のメカニズム (2025/03/24)
- ②福岡県 HP (2022/02/01) 紅葉はなぜ起きる？～葉の色が変わる仕組み～(2025/03/24)
- ③北原晴男 (1997/3)「物質合成から見た紅葉」弘前大学教育学部教科教育研究紀要、第 25 号、35-42(2025/03/28) (2025/03/24)
- ④徳島県立城南高等学校(2014) オオカナダモの紅葉に影響を及ぼす要因～その引き金とは～(2025/03/28)
- ⑤柏山祐一郎(2013)「RESEARCH 水圏生態系を支えるミクロな食物連鎖」季刊生命誌 77 号リサーチ (2025/03/24)

- ⑥樋口裕美子 (2022/09/27) 秋にモミジが赤くなるのはなぜ? (2025/03/28)
- ⑦柏山祐一郎 (2021/04/27) 真核生物に普遍的なクロロフィルの無毒化代謝 (2025/03/28) (2025/03/24)
- ⑧オオカナダモ紅葉において誘導されるクロロフィル分解産物の構造 天然有機化合物討論会講演要旨集 56 (0)、Poster27-、2014
- ⑨気象庁 HP (2025/03/18) 日本の年平均気温

## 8. 謝辞

本研究を遂行する上で多くの方々にご助言、ご指導をいただきました。高知大学の濱田和俊先生、高知小津高校の先生方、生物部の皆さん、本研究のサポートにご尽力くださいました皆様に心よりお礼申し上げます。

## 9. 指導者より

本研究において、生徒たちは日々の継続した記録・観察を行い、熱心に取り組んだ。思うような結果が得られないことが続いたが、実験手法や条件を見直すなど何度も試行錯誤した。その中で得た成果や生物への感謝の念は得難い経験であり、今後の糧となるものと期待したい。

## NAA の構造と甘味の関係について

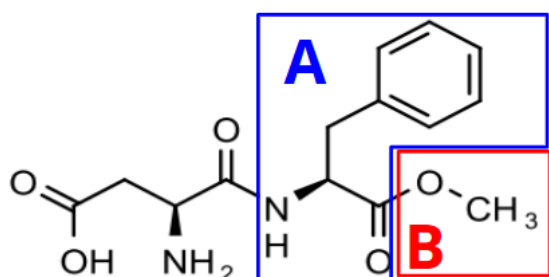
川崎 大輝, 比嘉 瑛昇, 濱田 晴輝, 坂本 カンナ

### 研究要旨

身の回りの食物には、人工甘味料の一種であるアスパルテームが利用されているが人工甘味料の有毒性に懸念の声も上がっている。先行研究では、アスパルテームから *n*-アセチルアスパルテーム(以下、NAA)を合成・単離し、構造予測と味覚の測定を行い、人工甘味料に似た甘味に変化している明らかになっている。しかし、NAA の構造は決定されておらず、NAA の構造と甘味の関係について言及されていない。そこで本研究では、NAA を単結晶化し、X線構造解析で構造を決定し、AH=B 説に基づき構造から甘味の有無を調べることにした。結果として、NAA の単結晶化の最適な溶媒を検討し、針状結晶を得ることができたが、X線構造解析で構造を決定まで至らなかった。

### 1. はじめに

近年、生活習慣病にかかる人が増加しており、この社会問題を少しでも減らしたいと考えた。調べてみると、人工甘味料の摂取が様々な疾患に関与していることが報告されている。人工甘味料の一種であるアスパルテームは砂糖の約 200 倍の甘さを持つが、代謝の過程で分解され、フェニルアラニン (図 1 の A) やメタノール (図 1 の B) を生じる。フェニルアラニンは先天性疾患であるフェニルケトン尿症の患者では分解できず、知的障害を引き起こす可能性がある。また、メタノールは体内でホルムアルデヒドに変化し、失明の恐れがあることが示唆されている。そこで、毒性の低い人工甘味料を合成できれば社会問題の解決につながるのではないかと考え、本研究では NAA という物質の甘味料としての有用性を検討することにした。



アスパルテーム

図1 アスパルテームの構造

A: フェニルアラニンが生じる構造

B: メタノールが生じる構造

### 2. 研究の概要

本校の先行研究によると、1年目にはアスパルテームから NAA を合成・単離し、構造予測と味覚の測定を行った結果、アセスルファム K に似た甘味を示すことが明らかになった。2年目には MTT アッセイにより、NAA の細胞に対する毒性が極めて低いことが確認された。3年目にはコメントアッセイを行い、NAA の発がん性が低いことが示された。しかし、これらの研究ではいずれも NAA の構造が決定されておらず、構造と甘味の関係についても言及されていない。

### 3. 目的

NAA を単結晶化し、X線構造解析で構造を決定し、AH=B 説\*に基づき構造から甘味の有無を調べることにした。

\*AH-B 説: 甘味と化学構造の関係としてプロトン供与基(AH)とプロトン受容器(B)があり、これらが互いに 2.5~4Å の距離にあれば甘味受容体と水素結合を起こして甘味刺激が引き起こされるという説。

### 4. 実験操作

#### (1) 実験 I (NAA の精製方法)

① 97%(w/w)無水酢酸 10mL にアスパルテーム 0.3g を加え、超音波処理後、60°C の恒温器で 10 分間反応させた。(図 2)

② 展開溶媒(体積比:n-ブチルアルコール 9:酢酸エチル 3:水 2)420mL を用い、①で合成した NAA と先行研究の NAA を薄層クロマトグラフィー

(TLC)で展開した。

③ 展開後、UV ランプ(254nm)で NAA の層を確認し、削り取った後、エタノールでろ過し、ろ液をエバポレーターで濃縮後、乾燥させた。

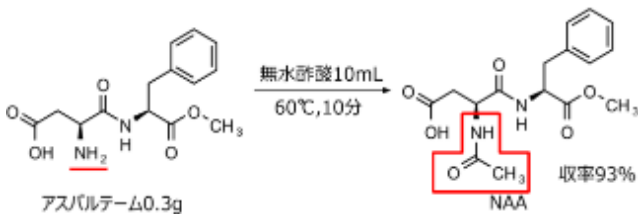


図2 NAAの合成方法

## (2) 実験Ⅱ(再結晶法)

① サンプル管に NAA0.01g にトルエン 99.0% (w/w)、シクロヘキサン 99.5%(w/w)、1-プロパノール 99.8%(w/w)をそれぞれ 0.3mL ずつ加えた。その後、60°Cの恒温器で加熱し、室温(17°C)に戻るまで放置し、観察した。

②①の3つのサンプル管を観察した後、1-プロパノールを入れたサンプル管のみ完全に溶解したため、NAA0.04g を追加で溶かした。その後、60°Cの恒温器で加熱し、室温(17°C)に戻るまで放置し、観察した。

## (3) 実験Ⅲ(溶媒拡散法)

良溶媒\*と貧溶媒\*を用いて単結晶化させる溶媒拡散法(図3)を用いて単結晶化の実験を3種類おこなった。

\*良溶媒…NAA が溶けやすい溶媒

\*貧溶媒…NAA が溶けにくい溶媒



図3 溶媒拡散法

## ア NAA の飽和溶液にする実験

① 良溶媒(1-プロパノール)0.3mL に溶け残りが出るまで NAA を溶かした。

②①の溶液をろ過する

③ろ過した溶液上に図のように貧溶媒(シクロ

ヘキサン)0.3mL を乗せた。

④1日静置した。

## イ 良溶媒と貧溶媒の体積比を変える実験

良溶媒と貧溶媒の比を 3:1,3:2,2:1,1:1 でそれぞれ実験を行った。

① 良溶媒(1-プロパノール)1.8mL に NAA0.06g を溶かした。

② 溶液の上に図のように貧溶媒(シクロヘキサン)を加えた。

③1日静置した。

## ウ 良溶媒をエタノールにした実験

① 良溶媒(エタノール)0.3mL に NAA0.03g を溶かした。

② 溶液の図3のように貧溶媒(シクロヘキサン)を 0.2mL 加えた。

③15日静置した。

## 5. 結果

### (1) 実験Ⅰ

本研究の NAA の Rf 値:0.906 と先行研究の NAA の Rf 値:0.885 を比較すると誤差±0.05 以内であったため NAA を合成できたと考えられる。

### (2) 実験Ⅱ

室温(17°C)に戻した直後 1-プロパノールのみ析出し、実体顕微鏡で観察すると針状結晶が確認できた。(図4)

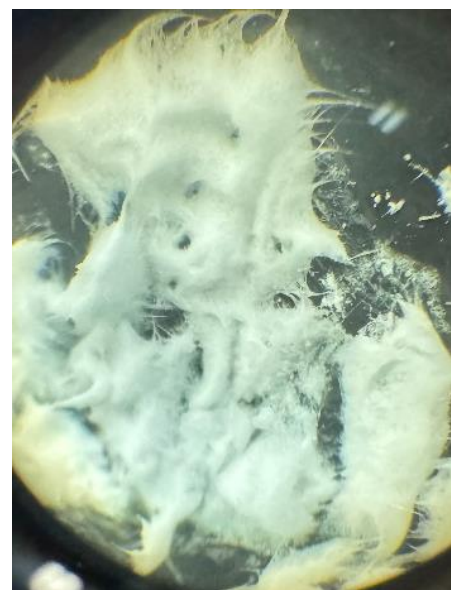


図4 針状結晶(溶媒:1-プロパノール)

### (3) 実験III

#### アの結果

①のとき、溶かすために超音波を使ってしまったため、温度が15℃上がってしまった。NAAを0.058g溶かしたところで②に移った。1日静置したところ、針状結晶が析出した。(図5)

#### イの結果

どの比率でも結晶の析出は見られなかった。

#### ウの結果

15日後に確認したところ、針状結晶の析出が見られた。(図6)



図5 針状結晶(1日経過した後)

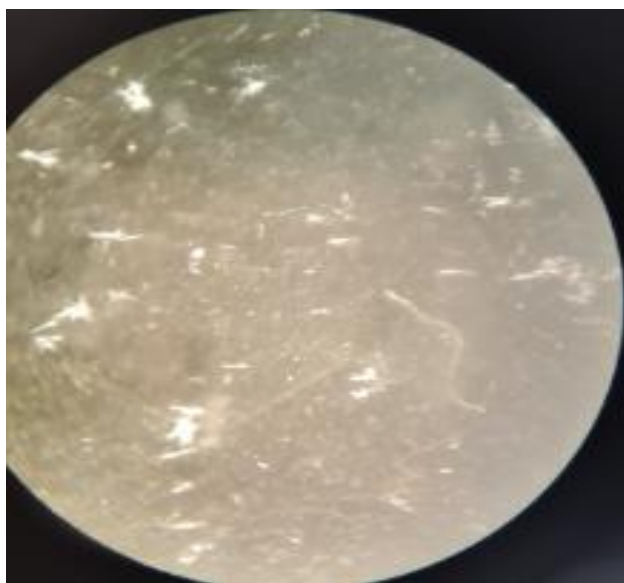


図6 針状結晶(15日経過した後)

## 6. 考察

n-アセチルアスパルテームは多数の極性官能基(アミド、カルボニル、エステル等)を持つこと

から極性分子であり、極性溶媒である1-プロパノールに可溶であったため、その溶媒から結晶が得られたと考えられる。しかし、得られた結晶は針状結晶であったため、X線構造解析においては良好な回折格子を形成しにくく、構造解析が困難であることがわかった。針状結晶が生じた要因としては、析出速度が過度に速くなり、核生成が多数生じて短時間で一次元方向に成長したことが考えられる。

## 7. 参考文献

・持田 邦夫(2019).「単結晶 X線構造解析」.学習院大学理学部.

[https://www.sci.gakushuin.ac.jp/global-image/units/upfiles/30502-1-20190219183551\\_b5c6bcdf79ef26.pdf](https://www.sci.gakushuin.ac.jp/global-image/units/upfiles/30502-1-20190219183551_b5c6bcdf79ef26.pdf)

(参照日: 2025年3月28日)

・前橋 健二(2011).「甘味の基礎知識」.『日本醸造協会誌』,106(12),218-225.

[https://www.jstage.jst.go.jp/article/jbrewsocjapan/106/12/106\\_818/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jbrewsocjapan/106/12/106_818/_pdf)

(参照日: 2025年3月28日)

・河添 結斗(2022).「新規人工甘味料の研究開発」.『高知小津高校 令和4年度理数科課題研究文集』,14-18.

<https://www.kochinet.ed.jp/ozu-h/SSH/SSHseikabutsu/seikabutsu40.pdf>

・Japan Science and Technology Agency(2017).「結晶スポンジが100年問題を解決!」.JST成果情報.

<https://www.jst.go.jp/seika/bt59-60.html>

(参照日: 2025年5月7日)

## 8. 謝辞

本研究を進めるにあたり、ご指導いただいた先生方に心より感謝申し上げます。

## 9. 指導者より

今回の研究では、NAAの針状結晶を得られた点が大きな成果です。構造決定にまでは至らなかったものの、溶媒条件の検討を通して今後の研究に有用な知見を積み重ねることができました。甘味と構造の関係を解明するためには、更なる結晶条件の最適化が重要となるでしょう。今後も継続的な取り組みに期待しています。

# 土佐あかうしのルーメン発酵で発生する メタンを減少させる物質の探索

岩本瑠椰 高芝杏 濱田妃那 岡崎羽美 萩野太一

## 研究要旨

地球温暖化の要因である温室効果ガスの中でも、牛のゲップに含まれるメタンの影響は大きい。本研究では、高知県特産の褐毛和種牛の第一胃液内の微生物叢に影響を与える飼料添加物として、柚子果皮残渣やぶんたん果皮、海藻を用いて *in vitro* 培養試験を実施した。その結果、カギケノリのみがメタン排出を大幅に抑制することが示された。

## 1. はじめに

地球温暖化を進める要因の一つに温室効果ガスの増加があり、その中でもメタンの持つ温室効果の影響は大きい。メタンの排出量は家畜が出すゲップが 25% を占め、そのほとんどが牛によるものである。ゲップに含まれるメタンは牛の第一胃（以下、ルーメン）で微生物が発酵を行うことで発生する。牛から排出されるメタンは、給与する飼料にカギケノリを添加すると抑制されることが知られている。

## 2. 研究の概要

飼料に添加し、牛に給餌することで、メタン抑制効果が報告されている海藻の一種、カギケノリ (2024Eslam Ahmed) をコントロールとして用いながら、高知県特産の高知系褐毛和種に給与することで、第一胃液内の微生物叢の割合を変化させたことが示されている (2015 岩本) 柚子果皮残渣を中心に、メタン抑制効果が期待できる新規物質を探した。高知県の農作物や特産品から探索することを考え、いくつかの海藻と文旦果皮を用いて、*in vitro* 培養試験を行い、培養中に発生した気体中のメタン量と、培養前後の培養液中の DNA 量を比較した。結果、カギケノリはメタン量を大幅に減少させたが、柚子果皮残渣、ぶんたん果皮、その他の海藻ではメタンの抑制効果は確認できなかった。

## 3. 目的

*in vitro* 培養における柚子果皮残渣によるメタン抑制効果の有無、メタン抑制効果のある地域資源の新規探索、抑制機構の解明を目的とした。

## 4. 方法

### (1) *in vitro* 培養による発生気体の簡易メタン測定

牛のルーメン内での現象を、できるだけ反映し

た *in vitro* 培養になるように、複数の方法を参考にした。

### ① 材料

- ・高知大学褐毛和種高知系（土佐あかうし）のルーメン液
- ・人工唾液 (NaHCO<sub>3</sub>, KCl, CaCl<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, 12H<sub>2</sub>O, NaCl, MgSO<sub>4</sub> 7H<sub>2</sub>O, システイン塩酸塩, レサズリン) に 12 時間二酸化炭素を通気
- ・ガーゼ
- ・シリンジ
- ・シリコン栓
- ・濃厚飼料
- ・添加物〔柚子果皮残渣（以下、ゆず）、乾燥カギケノリ、ぶんたん果皮（以下、ぶんたん）、乾燥スサビノリ（以下、スサビノリ）、乾燥スジアオノリ（以下、アオノリ）、※乾燥海藻 A〕※高知大学と共同研究のため名称を示さず
- ・ウォーターバス
- ・三方活栓
- ・集気袋
- ・50mL の遠沈管

### ② 実験手法

採取し 2~3 時間以内のルーメン液に、人工唾液を 1:4 の割合で混合し、遠沈管に濃厚飼料と添加物とともに注ぎ、嫌気状態を保つため、二酸化炭素も注入後、栓をし、密閉した。39°C のウォーターバスで 24 時間培養後、発生した気体を集気袋に収集した。気体の含有成分の割合をポータブル検知器 GX-9000 (理研計器) で測定した。

実験後のルーメン液の pH を pH メーター (ハンナ HI98127N) で測定し、その後、DNA 抽出用サンプルとして 1ml を採取し冷凍保管した。

(2) ガスクロマトグラフィーによる発生気体の含有成分の分析

① 材料

- ・GC-4000 (ジーエルサイエンス)

② 実験手法

ガスクロマトグラフィーに、標準とするメタンガスの注入を行い、メタンのピークを確認した後、7回目の培養実験で収集した各気体 0.1 mL ずつを測定した。高知大学で実施してもらった。

(3) qPCR (quantitative PCR) を用いた反応前後のルーメン液内微生物の DNA 量の比較

培養前後で、培養液内に含まれる微生物の増減を確認するために、培養前後の全微生物の DNA 量を比較した。比較の対象として、培養液内の細菌とアーキアの DNA 量を基準とするため、細菌とアーキアの 16S リボソーム RNA の塩基配列を増幅するように、プライマーを設計した。発酵によって発生する水素と二酸化炭素からメタン (CH<sub>4</sub>) を生成するメタン生成菌である

*Methanobrevibacter ruminantium* の増減を推測するために、*Methanobrevibacter ruminantium* の 16S リボソーム RNA の塩基配列を増幅するプライマーも作成した。さらに、メタン生成の最終段階で働く酵素、メチル補酵素 M 還元酵素の α サブユニットをコードしている *M.ruminantium mcrA* 遺伝子の DNA 量もメタン生成菌の増減を示すものと考え、プライマーを作成し、増幅させた。

① 材料

- ・ Power SYBR Green PCR Master Mix
- ・ QIAamp PowerFecal Pro DNA Kit を使用し抽出した DNA
- ・ dH<sub>2</sub>O
- ・ 設計した Primer

全細菌、古細菌の 16SrDNA 用のユニバーサル塩基配列

F : TAAACTYAAAKGAATTGACGGG

R : GGGTTGCGCTCGTTG

*M. Ruminantium* の 16SrDNA に特異的な塩基配列

F : CTACCGCAGCATAACCGATAA

R : TCGTTAGGTGCGGAACATAAGTC

*M.ruminantium* の *mcrA* 遺伝子の塩基配列

F : CGAACCGGATTAGATACCC

R : GGCGGCGGACTTAACAG

- ・ QuantStudio 3 リアルタイム PCR システム (Thermo)

② 実験手法

冷凍保管した培養実験前と実験後のルーメン液から QIAamp PowerFecal Pro DNA Kit (QIAGEN) を用いて、各培養液に含まれる全微生物の DNA を抽出し、4 回目の培養実験前と後の各ルーメン液の DNA で、リアルタイム PCR を高知大学で実施してもらった。全細菌、古細菌の DNA 量、*M.ruminantium* の DNA 量、*M.ruminantium* の *mcrA* 遺伝子の DNA 量の変化を、PCR 増幅曲線により推定し比較した。

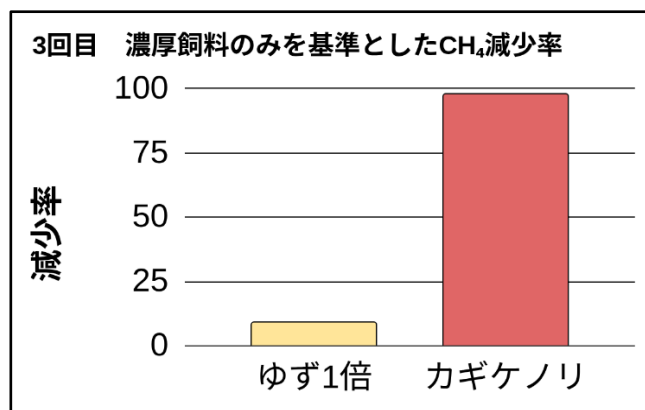
5. 結果

(1) 発生気体中の成分量の比較

1・2 回目は一晚培養している間に、栓が外れ気体が収集できなかった。3、4 回目で、濃厚飼料のみ添加に比べ、それ以外全てでメタンの大幅な減少が見られた。一方、5、6 回目では、大幅な減少は見られず、添加物によっては、逆に増加するなど、実験回によって結果が異なった。

実験回		3回	4回	5回	6回	7回
培養前pH		7.14	—	6.94	7.36	7.33
濃厚飼料のみ	pH	6.49	6.48	6.2	6.55	6.48
	O <sub>2</sub>	17.7	18.8	16.3	12.9	12.3
	CH <sub>4</sub>	73.5	44	87	7.5	7.4
濃厚飼料+ゆず1倍	pH	6.59	6.58	6.28	6.44	6.43
	O <sub>2</sub>	19.8	18.5	11.8	14.1	12.6
	CH <sub>4</sub>	27	47	9	71	7.8
濃厚飼料+ゆず10倍	pH			6.19	6.47	6.31
	O <sub>2</sub>			10.5	10.1	10.8
	CH <sub>4</sub>			9.2	9.1	8.9
濃厚飼料+ぶんたん1倍	pH					6.71
	O <sub>2</sub>					
	CH <sub>4</sub>					
濃厚飼料+ぶんたん10倍	pH			6.44	6.45	6.71
	O <sub>2</sub>			12.2	15	
	CH <sub>4</sub>			7.8	5.6	
濃厚飼料+カギケノリ	pH	—	6.2			6.7
	O <sub>2</sub>	8.8	15.5			
	CH <sub>4</sub>	1	5			
濃厚飼料+スサビノリ	pH			6.47	6.46	
	O <sub>2</sub>			12.7	8.8	
	CH <sub>4</sub>			7.9	8.5	
濃厚飼料+アオノリ	pH				6.38	6.6
	O <sub>2</sub>				11.6	
	CH <sub>4</sub>				8.1	
濃厚飼料+海藻A	pH			6.53		6.59
	CH <sub>4</sub>			13		
	O <sub>2</sub>			6.9		

表 1 発生気体の主成分の含有割合



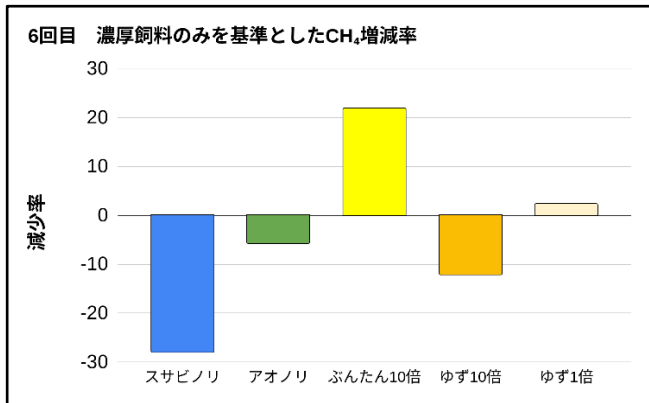
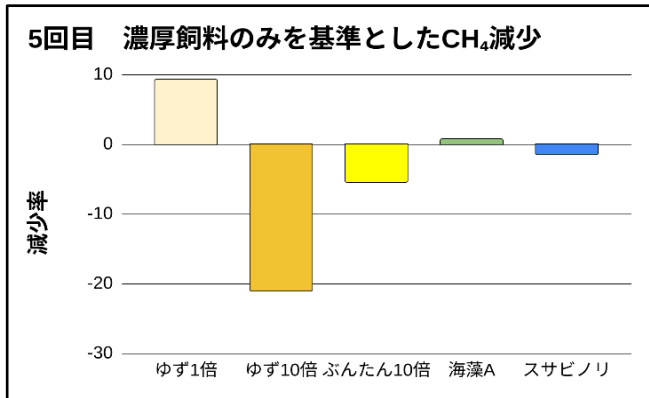
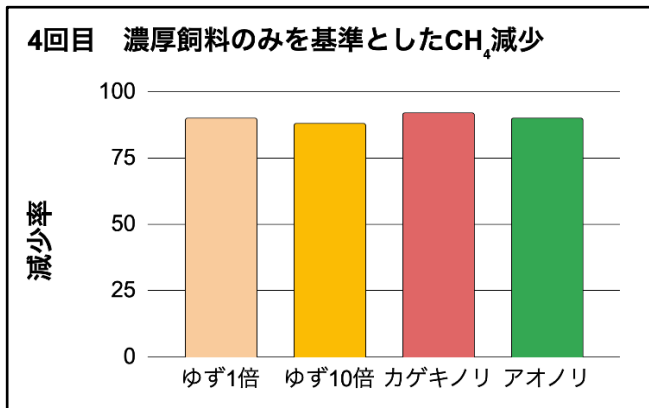


図1 各実験回のメタン含有量の比較 (%)

※3回目のカゲキノリの結果は、高知大学農林海洋科学部で行われた、同一ルーメンを用いた実験結果を使用している。

ポータブル検知器 GX-9000(理研計器)の測定結果に疑問を持ち、ガスクロマトグラフィーによる測定を実施した。

(2) ガスクロマトグラフィーによるメタン含有量の比較

メタンが検出されたサンプルにおいて、濃厚飼料のみの培養のものと比較し、ほとんどの添加物はメタンの減少が見られなかったが、カゲキノリを添加した培養では、コントロールの約100分の1まで減少していた。

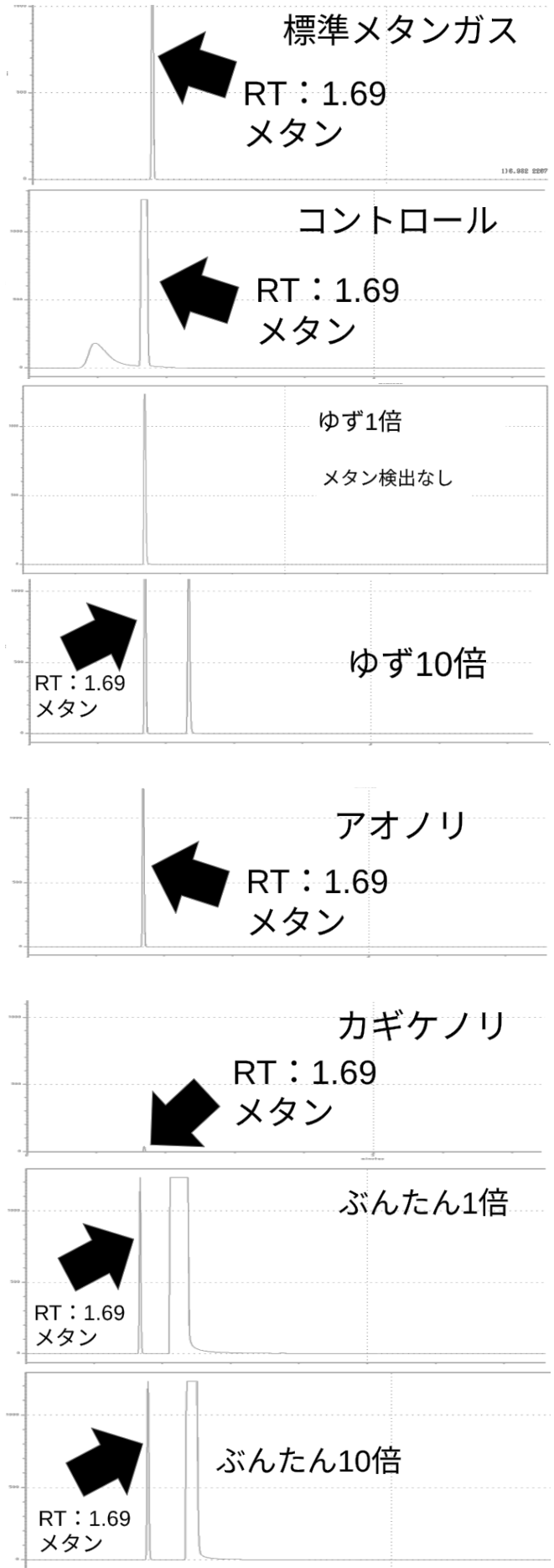


図2 7回目の実験におけるメタン含有

### (3) ルーメン液内の微生物の DNA 量の比較

DNA 量の増幅曲線を比較すると、カギケノリ添加のルーメン液は、明らかに他の培養液と違った増幅の遅さが示された。つまり、培養液に含有している DNA 量が大きく違っていたと言える。カギケノリ添加では、添加無しのルーメン液と比べ、*M.ruminantium* の DNA 量が 8.7%まで減少していた。in vitro 培養試験でのカギケノリ区分で、発生気体のメタンが大幅に減少したことを支持する結果だと言える。

サンプル名	mcrA遺伝子のDNA量 (%)		M. ruminantiumの DNA量 (%)	
ルーメンのみ	100		100	
ルーメン+濃厚飼料	87.3	100	86.5	100
ルーメン+濃厚飼料+カギケノリ	19.7	22.5	7.5	8.7
ルーメン+濃厚飼料+海藻A	52.7	60.3	44.2	51.1
ルーメン+濃厚飼料+ゆず1倍	62.1	71.1	81.5	94.1
ルーメン+濃厚飼料+ゆず10倍	69.6	79.7	42.2	48.8

表2 各遺伝子の DNA 増幅曲線から推測した DNA の割合

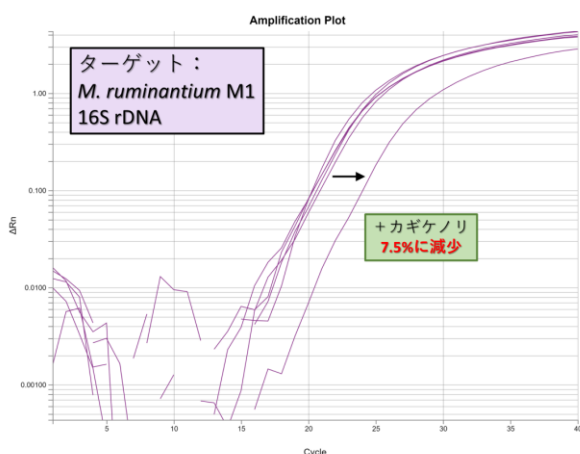
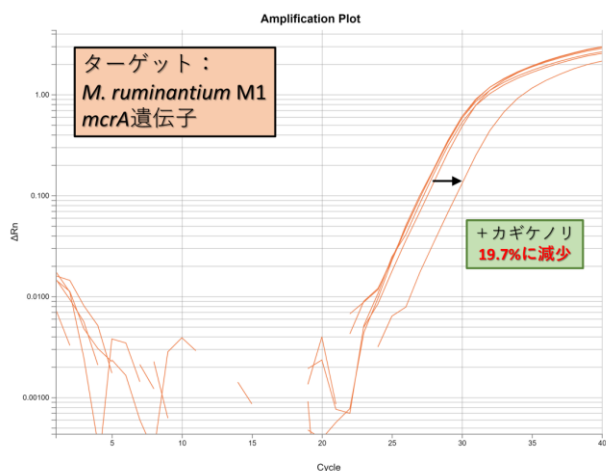
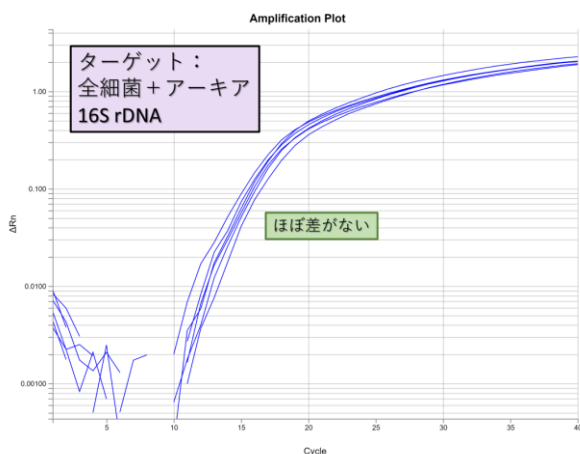


図3 標的とした遺伝子の DNA の増幅

## 6. 考察

発生気体中のメタンの含有量について、5回目以降の実験で、簡易測定器とガスクロマトグラフィーの測定結果が一致したため、添加することでメタンの抑制がはっきりみられたのは、カギケノリを加えた培養であると言える。これは、先行研究 (Eslam, 2024)の結果とも一致するため、今回実施した実験結果が正確で妥当なものであると言える。カギケノリ以外の添加物においては、今後、ガスクロマトグラフィーを用いた測定を複数回行い、再度確認する必要がある。

牛体内のルーメン内は、酸素濃度が非常に低い環境のうえ、発酵の進行により、酸素濃度がさらに下がる。私たちの実験においても実験回数を経るにつれ酸素濃度が低く安定した気体が収集できたので、安定して発酵が進み、実験回を重ねるごとに、実験の精度が向上したと考える。4回目までと5回目以降のメタンの含有割合に矛盾が起こったことは、実験を重ねる中で、使用した簡易検知器が一定以上の酸素濃度になると、メタン値を大きく換算する可能性を見つけた。簡易検知器がどのようにメタン量を算出するのか、もう少し使用して調べる必要がある。

qPCRの結果より、カギケノリ添加のルーメン液では、添加無しのルーメン液と比べ、*M.ruminantium* の DNA 量が 8.7%まで減少する。この結果から、カギケノリによる大幅なメタン抑制は、メタン生成菌の増殖の抑制か、培養中の死滅による、メタン菌の大幅な減少によるのではないかと考えられる。

## 7. 参考文献

- MCDUGALL, E. I (1948). Studies on ruminant saliva. Biochem. J.43: 99-109.
- 小林泰男 (2013).『カシューナッツ副産物給与によるウシからのメタン生成削減』. 環境バイオテクノロジー学会誌 13(2),89-93
- Eslam Ahmed,Takehiro Nishida. (2024). The anti-methanogenic efficacy of Asparagopsis Animal Feed Science and Technology. 116118. 1-8

- ・真貝拓三(2014).『カシューナッツ殻液を利用した乳用牛からのメタン低減技術』家畜栄養生理研究会. 58(2).45-51.
- ・大谷智通 (2022).『ウシのげっぶを退治しろ』.旬報社.
- ・小池聡 (2024).『ルーメンでのメタン産出と飼養管理』.臨床獣医 臨時増刊号. chapter4. 84-88
- ・岩本侑希子、梅脇冨矢香、浦部光治、垣渕和正、石田豊、松川和嗣.(2015) 果皮ペースト給与が褐毛和牛種高知系の肥育に及ぼす影響. 日本畜産学会、北海道, 9/11-12.

## 8. 謝辞

ルーメン液を何度も採取、提供して下さった高知大学農林海洋科学部 松川和嗣先生、測定でご協力いただきました坂野新太先生、高知大学総合研究センター 加藤伸一郎先生、技官、学生の皆様、そして、牛さんたち、本当にありがとうございました。

## 9. 指導者より

アドバイスをいただいた高知大学の農林海洋科学部の先生方も、実際にやったことのなかった研究内容に、高校生が取り組むことになりチャレンジングな研究だったと思います。研究方法を論文で調べ、学校に器具を買い足してもらい、本当に試行錯誤の日々だったと思います。昼休みが終わるまでに実験を開始させるために、昼休みに入ると同時に実験の準備に取り掛かり、装置をセッティングしスタートさせ、次の朝、無事に気体が発生しているのを確認するまでは、毎回、本当に気が気ではありませんでしたね。みんなで分担し、ハラハラしながら気体を回収した経験は、財産だと思います。

研究結果においては、新規のメタン抑制物質を見つけることはできませんでしたが、世界中の研究者が出した結果と一致する結果を、別の切り口の実験から出せたことは、特筆すべき成果でした。今回の経験を、大学での研究にどうぞ役立てほしいと思います。

# 浦戸湾における黒い津波の発生とその影響について

塩見 奏太, 浅井 優希, 山中 琉生

## 研究要旨

本研究では、浦戸湾における黒い津波の発生とその影響について研究した。昭和南海地震の記録写真の観察や水中ドローンを用いた浦戸湾の海底調査などから、浦戸湾の海底にはヘドロ（シルト質堆積物）が多く堆積しており、南海トラフ巨大地震で発生する津波が「黒い津波」になる可能性は高いと考えた。また、疑似ヘドロを用いた津波発生実験を行い、通常の津波との違いについても調べ考察した。

## 1. はじめに

津波について調査する中で、東日本大震災の津波が黒いことに気付いた。さらに調査していくと、この津波は海底のヘドロ等を巻き上げて黒くなっていることが分かった。黒い津波は通常の津波に比べて密度が高く、防波堤などに与える衝撃が増加することが明らかにされている。また、密度が高いため船舶や沿岸に駐車している車などを簡単に押し流し、建築物への被害を増大させる。衝撃が増加する原因は波の形にある。細かい粒子が含まれる黒い津波は、波の下部で地面との抵抗が生じ速度が遅くなる。一方、波の上部は抵抗が小さいため、速度は変わらずに進むため、下部の波に乗る形で波が盛り上がる。その結果、大きく立ち上がった波が壁に衝突し、衝撃が増加する。通常の海水の密度が  $1020\sim 1030\text{kg/m}^3$  であるのに対し、黒い津波では約  $1100\text{kg/m}^3$  であることも明らかとなっている。

## 2. 研究の概要

高知県にいつか来ると言われている南海トラフ巨大地震の津波も、東日本大震災で発生した津波同様に黒い津波となり、被害が拡大する可能性があると考えた。そこで、昭和の南海地震の記録写真をAIでカラー化し、黒い津波の発生について考察した。また、水中ドローンを用いて現在の浦戸湾の堆積物の状況を調査するとともに、津波発生装置を使って疑似ヘドロを含む津波（以下、疑似津波という。）と通常の津波との違いについても考察した。

## 3. 目的

高知県における過去の津波を調査したが、黒い津波に関する報告はされておらず、1946年12月の昭和南海地震以来、高知県沖では大きな津波を伴う地震は発生して

いない。また、高度成長期の家庭排水など、有機物を多く含んだ河川の水が浦戸湾に多く流れ込んでいることなどから、海底には多くのヘドロ等が堆積している可能性がある。そこで、浦戸湾海底の堆積物の状況を調査し、南海トラフ巨大地震で黒い津波が発生する可能性があるのか。また、黒い津波が発生した場合、その影響（波力）はどの程度になるかを明らかにするため本研究に取り組んだ。

## 4. 方法

### (1) 過去の南海地震調査

浦戸湾の地形などから、東日本大震災のように堆積物を巻き込んで黒い津波になる可能性が高いと考えたが、浦戸湾で黒い津波が発生した報告はない。そこで、高知市地域防災推進課に保管されていた昭和南海地震の写真に着目し、当時の写真をAIでカラー化し、黒い津波の発生について調査・考察を行った。

### (2) 浦戸湾の海底調査

水中ドローン(FIFISH V6)を用いて浦戸湾の代表3地点の海底調査を行った。船舶が航行する港湾内であったため、海底調査に当たっては、次の関係各所への許可申請等を行い実施した。

- ① 高知海上保安部
- ② 国土交通省四国地方整備局 高知港湾・空港整備事務所
- ③ 高知県港湾・海岸課
- ④ 高知県漁業協同組合高知支所・浦戸支所・御豊瀬支所
- ⑤ 高知南警察署
- ⑥ 高知中央消防署
- ⑦ 高知ファズ株式会社



図1 浦戸湾全景  
高知県庁土木部 港湾 海岸課 HP より引用

### (3) 疑似ヘドロを含んだ津波の波力測定

ヘドロの粒径は 0.004~0.625mm のシルトに分類されることから、大きさがおおよそ同じ石灰粉末(CaCO<sub>3</sub>)を疑似ヘドロ(シルト質堆積物)として通常の津波との衝撃を比較した。

#### 準備物

- ・デジタルロードセル (LCCU21N100)
- ・津波発生装置 (W320cm×D30cm×H35cm)
- ・ノートパソコン
- ・石灰粉末

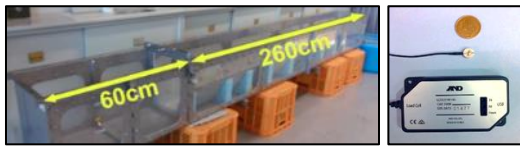


図2 実験で使用した津波発生装置とデジタルロードセル

- ① 海底調査の結果を踏まえて、津波発生装置内に簡易の浦戸湾を再現した。(貯水槽側から浦戸湾の入り口である御豊瀬、横浜東町、仁井田、弘化台とした)
- ② 内閣府が発表している高知市における津波高の最大値と浦戸湾の面積から貯水槽に溜める水の量を40Lとした。

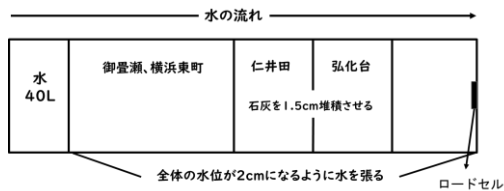


図3 上から見た津波発生装置

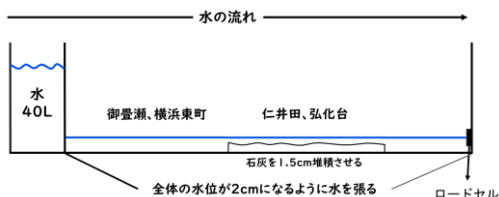


図4 横から見た津波発生装置

③ 調査を行った3地点付近のボーリング調査の結果を見ると、海底調査の際には確認できなかったシルト質の堆積物が、仁井田の海底下にも10m以上堆積していることが分かったため、貯水槽に溜める水の量と実際の水深の関係から、仁井田と弘化台の位置には、予めシルト質の堆積物に見立てた石灰粉末を1.5cm敷いておく。また、水深が2.0cm(石灰粉末を敷いた仁井田と弘化台の水深が0.5cm)になるように水を張っておき、満潮時の浦戸湾に見立てた。

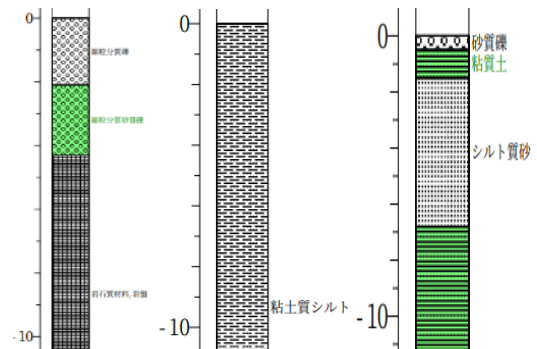


図5 ボーリング調査の結果(左:横浜東町、中:仁井田、右:弘化台)  
国土情報検索サイトKunijibannより引用

## 5. 結果

### (1) 過去の南海地震調査

東日本大震災時に押し寄せた津波の色は黒く、濁った黒色の泡を出していたが、カラー化した昭和南海地震の写真の水の色は澄んでいて、白く泡だっていた。また、別の写真では、白い石壁や津波が引いた後の地面にヘドロのような痕跡は見られなかった。

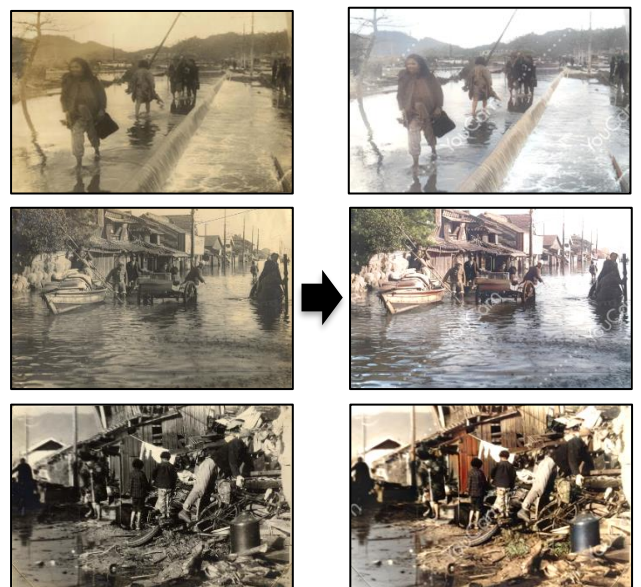


図6 過去の記録写真のカラー化  
高知市地域防災推進課 HP から引用したものを加工

## (2) 浦戸湾の海底調査

### ① 調査地点1：高知市横浜東町

泥や苔は少なく砂っぽい感じで、堆積物の多くは砂や礫であった。水中ドローンのスクリーによる砂の巻き上げが多く、ヘドロや泥のような粘着性の高いシルトではないと感じられた。

### ② 調査地点2：高知市仁井田

水質は少し濁っており、ゴツゴツした岩のようなものが多く堆積しており、その表面に砂のような粒や苔のようなものが付着していた。水中ドローンのスクリーによる砂などの巻き上げが見られた。調査地点1の横浜東町よりもやや粘着性があるように感じたが、ヘドロや泥のような粘着性の高いシルトではないと感じられた。

### ③ 調査地点3：高知市弘化台

水質は少し濁っており、海底には苔のようなものが一面に繁殖していた。この地点は水中ドローンのスクリーによる堆積物の巻き上げが少なく、苔のようなものの下に粘着性の高いヘドロのようなものが広範囲に確認された。



図7 水中ドローンによる海底調査の結果  
(上:横浜東町、中:仁井田、下:弘化台)

## (3) 津波の波力測定

### ① 通常の津波 (n=20)

- ・波力： $725 \text{ N/m}^2$  (標準偏差：0.072)
- ・波の速度： $0.35 \text{ m/s}$  (標準偏差：0.086)
- ・密度： $1.0 \text{ g/cm}^3$
- ・運動エネルギー： $2.45 \text{ [J]}$
- ・波の形：盛り上がりは小さい

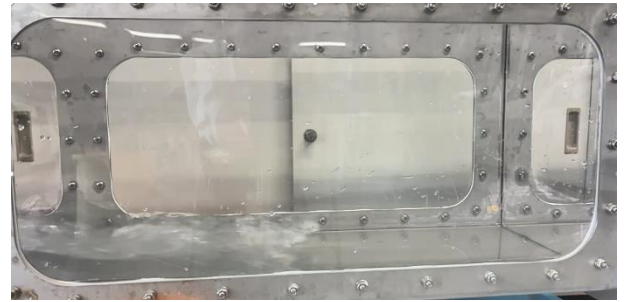


図8 通常の津波を横から観測

### ② 疑似津波

- ・波力： $750 \text{ N/m}^2$  (標準偏差：0)
- ・波の速度： $0.18 \text{ m/s}$  (標準偏差：0.030)
- ・密度： $1.04 \text{ g/cm}^3$
- ・運動エネルギー： $0.67 \text{ [J]}$
- ・波の形：盛り上がりは少し大きい



図9 疑似津波を横から観測

## 6. 考察・結論

AIによるカラー化の技術は発展途中であるため、確実ではないが、カラー化した写真の水の色やヘドロの痕跡が確認できなかったことから、昭和南海地震において黒い津波は発生していない可能性が高いと考えられる。

海底調査の結果やボーリング調査の結果から、浦戸湾には多くのシルト質堆積物が堆積していることが分かった。特に、仁井田や弘化台などの湾の幅が急激に狭くなっている箇所に多く堆積していることが確認できた。水は狭い場所を通過する際に勢いが強まり、浸食作用が強く働く。津波でも同じことが起こるため、浦戸湾においても黒い津波が発生する可能性は高いと考えられる。また、波力測定後の石灰粉末の様子を調べると、疑似津波が通過した際に0.3~0.6cmの石灰粉末が浸食されていた。本実験のスケールから考えると、1度の津波により海底が1.2~2.4m削られたことになる。東日本大震災では、波高9.0mを越す津波が繰り返し押し寄せ、海底が8.0m以上浸食されて黒い津波が発生している。これに対し、内閣府が発表した南海トラフ巨大地震で高知市を襲う津波の波高は15m以上とされているため、浦戸湾で黒い津波が発生した際の被害は、東日本大震災と同様かそれ以上に大きなものになる可能性がある。

津波の波力測定では、図8のように、ロードセルを津

波発生装置の壁に設置して波力を測定していたが、波がロードセルを上手く押せていなかったため、測定値が0.0 [N] を示し続けた。そこで、測定方法を図9のように改良して実験を継続した。改良後は安定した数値を得ることができるようになったものの、通常の津波と疑似津波の波力の差は小さかった。

波はうねりを伴って様々な方向から力を加えるが、ロードセルを押すために筒を設置したことで、ロードセルに対する垂直方向の力しか測定できていないことが実験結果に影響している可能性がある。また、実験結果をもとに運動エネルギーを算出してみると、通常の津波が2.45 [J] に対し、疑似津波は0.67 [J] と通常の津波の方が、約3.7倍大きなエネルギーを持っていたことが分かった。しかし、結果は運動エネルギーの小さい疑似津波の波力のほうがやや大きいというものであった。先行研究において波の形が波力に影響を及ぼすことが述べられていることから、本研究においても波の形が影響した可能性が考えられるが、詳細については明らかにすることができていない。



図10 波力測定(変更前)



図11 波力測定(変更後)

## 6. 今後の展望・課題

- (1) 津波の波力測定の方法について再検討する。
- (2) 波の形と波力の関係について明らかにする。
- (3) 海底調査の地点を増やし、湾全体の海底の様子をさらに明らかにする。
- (4) 高知県土木部港湾海岸課などの公的機関との連携を図る。

## 7. 参考文献

- (1) 管野彰彦(2019). 「黒い津波 知られざる実像 | 東日本大震災 あの日から8年」. <https://www3.nhk.or.jp/news/special/shinsai-portal/8/kuroinami/>. 2024年8月27日.
- (2) 楠下一輝(2024). 「【脅威】南海トラフ巨大地震でも発生する恐れ東日本大震災で街を飲み込んだ「黒い津波」の正体を検証」. <https://news.ntv.co.jp/nytv/category/society/yt8b7f64dcadd4bb19e63282206e20b02>. 2024年9月17日.

- (3) MBS NEWS(2020). 「研究進む「黒い津波」の恐怖とは?東日本大震災でも確認…威力増した津波が大阪を襲う可能性も」. [youtube.com/watch?v=1\\_eB47H8Eak](https://www.youtube.com/watch?v=1_eB47H8Eak). 2024年10月1日.
- (4) ニューススイッチ(2021). 「10年前に押し寄せた”黒い津波” 凄まじい破壊力が生じた理由とは」. <https://newswitch.jp/p/26329>. 2024年10月1日.
- (5) みやこあす(2023). 『いわて震災津波アーカイブ』. 宮古市教育委員会 文化課(市史編纂室). <https://miyako-archive.irides.tohoku.ac.jp/sae/item/01GVJB516Y4RD91RV4YTONVRXS#top>. 2024年11月11日.
- (6) 高知市地域防災推進課HP(2008). 「過去の南海地震写真」. <https://www.city.kochi.kochi.jp/soshiki/12/old-photo.html>. 2024年12月6日.
- (7) 高知県 土木部 港湾・海岸課HP(2024). 『高知県の港湾』. [2013052200227\\_www\\_pref\\_kochi\\_lg\\_jp\\_uploaded\\_attachment\\_95885.jpg](https://www.pref.kochi.lg.jp/uploaded_attachment_95885.jpg). 2024年12月20日.
- (8) 大年邦雄(1997). 「浦戸湾海域の水環境に関する研究—潮流および海水交換の特性」. 高知大学学術研究報. 自然科学編, 46, 163-176.
- (9) 木瀬晃周・有川太郎(2020). 「土砂・シルトを含んだ津波の波力に関する実験的研究」. 土木学会論文集 B2(海岸工学). 76, 2, 385-390.

## 8. 謝辞

本研究を進めるにあたり、昭和の南海地震の記録写真をご提供くださった高知市地域防災推進課の皆様、および浦戸湾の海底調査に際してご助言いただいた高知海上保安部の皆様には多大なるご協力をいただきました。感謝申し上げます。また、本研究に関わってくださったすべての方々には深くお礼申し上げます。

## 9. 指導者より

東日本大震災で起こった津波被害を自分事と捉え、長期間にわたる現地調査や高知県で初となる港湾内での水中ドローン調査を行うなど、積極的な活動を評価したい。

## 高校生の恋愛傾向についての研究

野中愛莉

### 研究要旨

高校生の恋愛傾向の特徴を調べるための研究を行った。アンケートを取り、HAD で分析し、傾向を読み取った。分析の仕方を変えたので、それぞれ先行研究でや参考文献とは違う結果になった。因果関係を調べてみたい。

### 1. はじめに

人との出会いや運命を数値化できないかと考え、先行研究「高校生の恋愛傾向の特徴(高知小津課題研究、2017)」に興味を持ち、引き継ぎを始めた。

### 2. 研究概要

先行研究「恋愛心理尺度の作成と恋愛傾向の特徴に関する研究-Lee の理論をもとに-(水野、2007)」では、男子は恋愛にのめり込みやすく、恋愛に対して理想主義的に考える傾向が強いのにに対し、女子は感情に流されず、現実主義的に恋愛を進める傾向が強いと考えられる。

また、先行研究「高校生の恋愛傾向の特徴(高知小津課題研究、2017)」では、高校生の恋愛傾向の特徴として、恋人がいる人は共通して相手のことを大切にしており、そのような人がモテると言える。

なお恋愛傾向の種類は以下の6つに分けることができる。

- ・S/ストルゲ(友愛的な愛):穏やかな友情的な恋愛
- ・M/マニア(熱狂的な愛):独占欲が強く、激しい感情を持つ
- ・L/ルダス(遊びの愛):恋愛をゲームとして捉え、楽しむことを大切にする
- ・A/アガペー(献身的な愛):嫉妬をしないで、相手のために気を使う
- ・E/エロス(美への愛):恋愛を至上のものとして考える。
- ・P/プラグマ(実利的な愛):恋愛をなにかの目的を

達成するための手段と考えている。

### 3. 目的

高校生の恋愛傾向において、恋人がいる群、片思い群、推し群、いない群ではどのような特徴の違いが見られるかを明らかにする。

### 4. 研究手法

(1)アンケートは先行研究「恋愛心理尺度の作成と恋愛傾向の特徴に関する研究-Lee の理論をもとに-(水野、2007)」で用いられたものを使用。

- ①質問項目の 6,12,18,24,30,36 が S/ストルゲに関する質問。
- ②質問項目の 7,13,19,25,31,37 が M/マニアに関する質問。
- ③質問項目の 8,14,20,26,32,38 が L/ルダスに関する質問。
- ④質問項目の 9,15,21,27,33,39 が A/アガペーに関する質問。
- ⑤質問項目の 10,16,22,28,34,40 が E/エロスに関する質問。
- ⑥質問項目の 11,17,23,29,35,41 が P/プラグマに関する質問。

(2)各群(恋人がいる群、片思い群、推し群、いない群)で結果を比較するために、すべての質問項目を「1:少しも当てはまらない」から「5:とても当てはまる」の5件法としたアンケートを作成する。

(3)四国地区 SSH 校指定校の 1103 名にアンケートを実施する。

(4) アンケート結果を基に、各群の特徴を見るためにHAD (Excel)を用いて、クラスター分析を行う。

## 5. 結果

HAD でクラスター分析を行った際、6 つに分けたクラスター6 分析(図1)と、7 つに分けたクラスター7 分析(図4)を読み取った。

### (1) クラスター6 分析

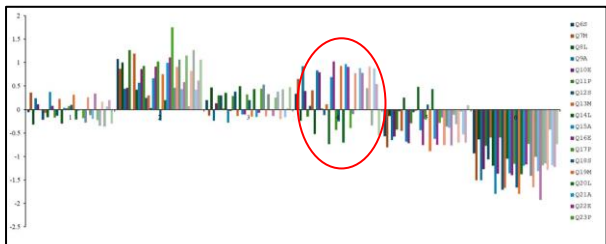


図1 クラスター6 分析における結果

6-I ~ 6-VIのクラスター(図1)を読み取ると以下のような特徴が見られる。

- 6-I : L・P が低い…恋愛において奔放で実利を求める集団
- 6-II : 全てが高い…恋愛に関心が強い集団
- 6-III : M・A が低い…情熱や奉仕の精神がない集団
- 6-IV : M・A・E が高い…強い情熱と深い献身、ロマンチックな集団
- 6-V : L が高い…縛られない恋愛を好む集団
- 6-VI : 全てが低い…恋愛に関心が低い集団

なおクラスター6-IV(図2,3)では以下の傾向が見られた。

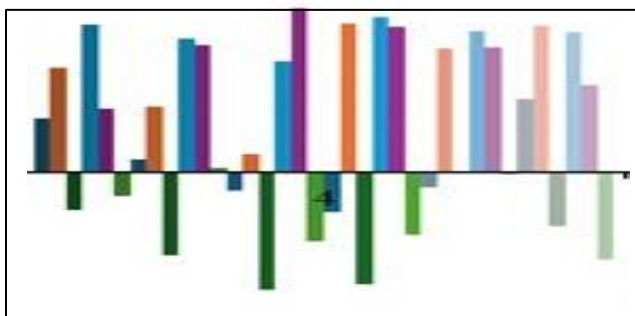


図2 クラスター6 分析のIV

- 藍:S/ストルゲ(友愛的な愛)
- 橙:M/マニア(熱狂的な愛)
- 青:A/アガペー(献身的な愛)
- 深緑:L/ルダス(遊びの愛)
- 紫:E/エロス(美への愛)
- 黄緑:P/プラグマ(実利的な愛)

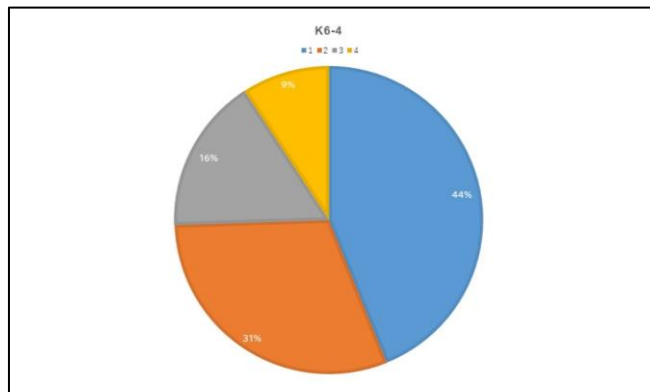


図3 図2における各群の内訳

青:恋人がいる群、橙:片思い群  
灰:押し群、黄:いない群

M・A・E が高く恋人がいる群を含む割合が多い

### (2) クラスター7 分析

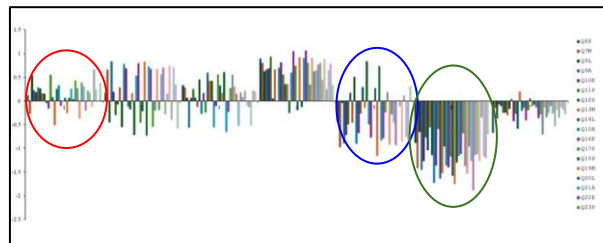


図4 クラスター7 分析における結果

7-I ~ 7-VIIのクラスター(図4)を読み取ると以下のような特徴が見られる。

- 7-I : M が低い…恋愛において相手に気持ちを求めない集団
- 7-II : M・A・E が高い…強い情熱と深い献身、ロマンチックな集団
- 7-III : A が低い…献身的でない集団
- 7-IV : L が低い…決まった恋愛ができる集団
- 7-V : L・S が高い…縛られない恋愛や交友できる恋愛を好む集団
- 7-VI : 全て大きく低い…恋愛に大きく関心が低い集団
- 7-VII : 全てが低い集団…7-VIより関心があるが、平均的に関心がない集団

なおクラスター7-I、V、VI(図5,7,9)では以下の結果になった。

クラスター7-I(図5,6)では以下の傾向が見られた。

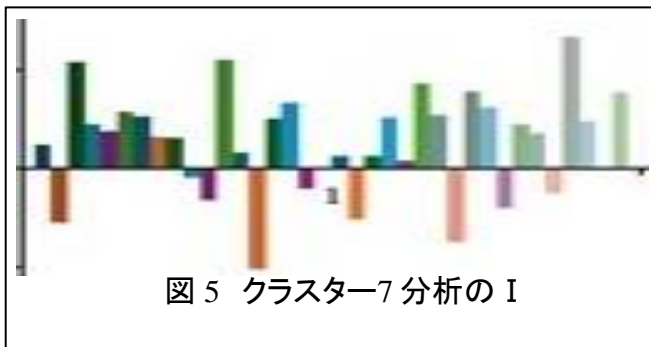


図 5 クラスタ7 分析の I

藍:S/ストルゲ(友愛的な愛)  
 橙:M/マニア(熱狂的な愛)  
 青:A/アガペー(献身的な愛)  
 深緑:L/ルダス(遊びの愛)  
 紫:E/エロス(美への愛)  
 黄緑:P/プラグマ(実利的な愛)

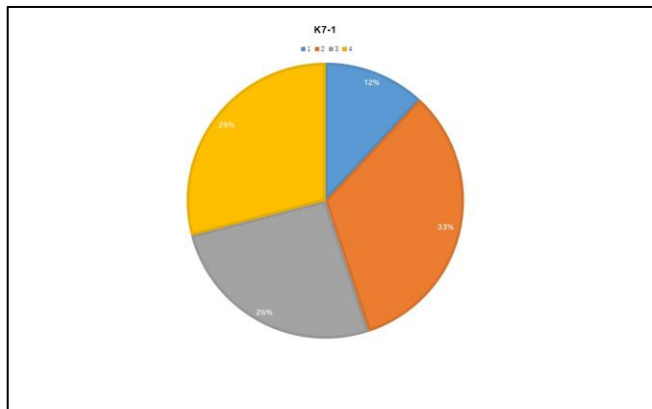


図 6 図 5 における各群の内訳

青:恋人がいる群、橙:片思い群  
 灰:押し群、黄:いない群

M が低く、恋人がいる群を含む割合が低い

クラスタ7-V (図 7,8) では以下の傾向が見られた。

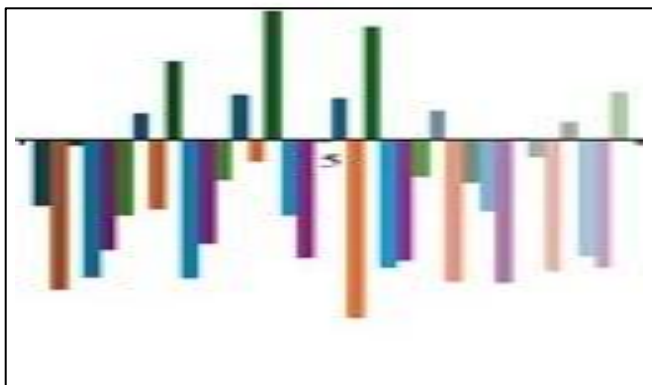


図 7 クラスタ7 分析の V

藍:S/ストルゲ(友愛的な愛)  
 橙:M/マニア(熱狂的な愛)  
 青:A/アガペー(献身的な愛)  
 深緑:L/ルダス(遊びの愛)  
 紫:E/エロス(美への愛)  
 黄緑:P/プラグマ(実利的な愛)

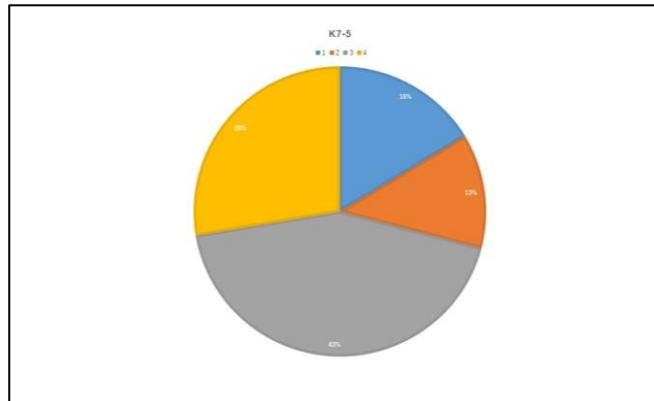


図 8 図 7 における各群の内訳

青:恋人がいる群、橙:片思い群  
 灰:押し群、黄:いない群

S・L が高く押し群を含む割合が多い

クラスタ7-VI (図 9,10) では以下の傾向が見られた。

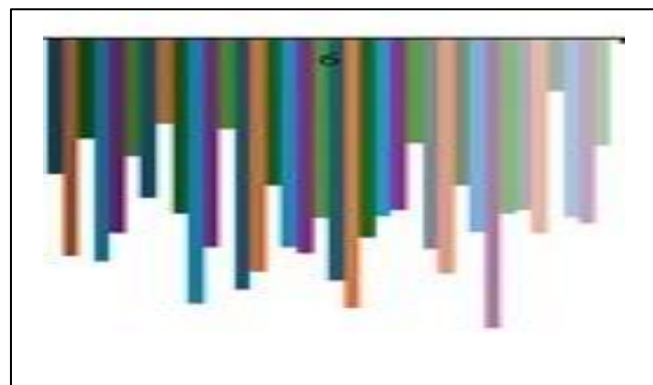


図 9 クラスタ7 分析の VI

藍:S/ストルゲ(友愛的な愛)  
 橙:M/マニア(熱狂的な愛)  
 青:A/アガペー(献身的な愛)  
 深緑:L/ルダス(遊びの愛)  
 紫:E/エロス(美への愛)  
 黄緑:P/プラグマ(実利的な愛)

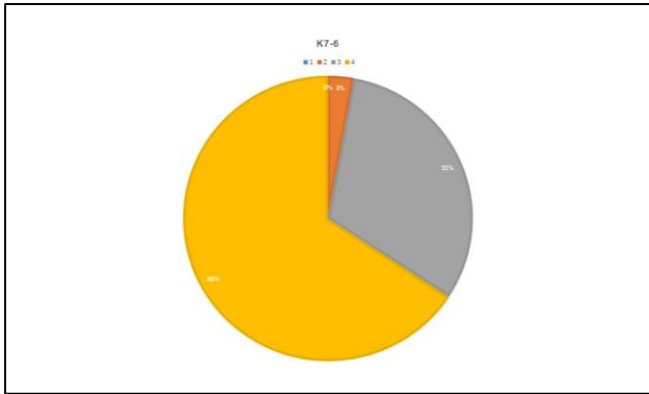


図 10 図 9 における各群の内訳

青:恋人がいる群、橙:片思い群  
 灰:推し群、黄:いない群

全て低く、いない群を含む割合が多い

## 6. 考察

- ・情熱的で献身的でロマンチストで、恋愛に執着しない傾向がある集団は、何か好意や関心を抱いている人が多い。
- ・自由な恋愛を求める傾向がある集団は、推し群が多い
- ・恋愛に関心が低い傾向がある集団は、現実で恋愛をしていない人が多い。

## 7. 参考文献

・2017(平成 29)年度理数科課題研究論文集「高校生の恋愛傾向の特徴」

・恋愛心理尺度の作成と恋愛傾向の特徴に関する研究—Lee の理論をもとに—  
 (2007, 水野邦夫)

<https://docs.google.com/presentation/d/1ls0hDia3TnSfpQsDIIY037zzG7yCxEPuSHvmlxOCwM/edit#slide=id.p1>

・清水裕士(2016).フリーの統計分析ソフトHAD:機能の紹介と統計学習・教育、研究実践における利用方法の提案 メディア・情報・コミュニケーション研究, 1, 59-73

## 8. 謝辞

本研究を進めるにあたり、高知大学 福住様にご助言を賜りました。ここに感謝の意を表します。また、アンケートにご協力して頂いた四国 SSH の皆様本当にありがとうございました。

## 9. 指導者より

今回の研究では、先行研究をもとに自分なりの指標を作成し、研究に取り組んだ。

クラスター分析によって、グループの傾向や特徴について分析はできた。今後もこの研究で学んだことを活かしていってもらいたい。

