

「近畿大学アグリ技術革新研究所年報
(令和 7 年度) Annual Report of
ATIRI April 2025 - March 2026」

「近畿大学 アグリ技術革新研究所
Agricultural Technology and Innovation
Research Institute (ATIRI), Kindai University」
URL:<https://www.kindai.ac.jp/atiri/>

はじめに

近畿大学アグリ技術革新研究所 (ATIRI: Agricultural Technology and Innovation Research Institute) は、近畿大学農学部における分野横断的な研究情報の集約と連携を可能にする研究・教育のプラットフォームとして 2018 年 4 月に誕生しました。

農学分野の研究は遺伝子から地球環境まで非常に多岐に渡っています。農学部の各教員が各分野でそれなりに目覚ましい研究成果をあげていますが、農学部という組織が大きくなり、カバーする研究分野の裾野が広がるに従い、分野横断的な繋がりが希薄になりがちでした。この問題を解決するのが本研究所です。設立以来、本研究所は農学部における研究・教育のプラットフォーム機能を発揮し、分野横断的な繋がりを少しずつ強化し、個別の分野のみでは見えてこない新しい研究・教育の切り口を提供してまいりました。

これからも SDGs (持続可能な開発目標) の達成のために、1) 農学分野における革新的な技術開発・研究で社会に貢献すること、2) 産学官連携の実学研究および地域社会の技術発展の推進に役立つことを二本の柱として、研究活動を推進します。

近畿大学アグリ技術革新研究所は開設当初から毎年研究活動報告書を作成してまいりました。2024 年度の年次研究報告書から年報 annual report として体裁を大きく変更いたしました。今回の2025年度版年報の活動報告は3つのセクションで構成されています。ひとつは本研究所員が研究を実施し、学術雑誌に発表した研究論文の内容を分かりやすく解説した和文抄録であり、次は近畿大学アグリ技術革新研究所が研究助成を行った研究成果の報告4件であり、最後が社会連携活動の報告になります。

この近畿大学アグリ技術革新研究所年報を通じて、当該研究所の活動についてより深くご理解いただくとともに、今後の一層のご支援をお願いする次第です。

近畿大学アグリ技術革新研究所所長
近畿大学副学長
江口 充

目次

1. 研究活動報告(論文発表された研究の概要紹介)

- 1-1. 「血管疾患の発症機序理解と予防・治療法確立のための基礎研究と社会実装の試み」
……財満 信宏
- 1-2. 「平均樹高と林分密度から平均胸高直径を推定するためのモデル」
……井上 昭夫
- 1-3. 「禰豆子の竹の口枷は実際の竹とは異なる」
……井上 昭夫
- 1-4. 「ForestScanner による都市樹木における胸高直径の測定:市民科学への応用可能性」
……井上 昭夫
- 1-5. 「クルマエビ幼生およびポストラバの飼育成績ならびに走光性に及ぼす光周期及び光強度の影響」
……石橋 泰典
- 1-6. 「クロマグロ仔魚の摂餌および浮上死に及ぼす光波長の影響」
……石橋 泰典
- 1-7. 「*Bacteroides thetaiotaomicron* 由来の GH84 ファ ミリー *N*-アセチル- β -D-グルコサミニダーゼが触媒する β 1,6-選択的酵素的 *N*-アセチルグルコサミニル化反応とその糖基受容体の特異性」
……大沼 貴之
- 1-8. 「イネ由来キシラナーゼ阻害タンパク質 OsXIP とイネ立枯れ病菌 *Rhizopus oryzae* 由来 GH11 キシラナーゼ RXyn2 の結合に伴う分子配置」
……大沼 貴之
- 1-9. 「静電気と顕微鏡技術を併用したメロンうどんこ病菌の農薬感受性に対する評価法の確立」
……野々村 照雄
- 1-10. 「青色光および赤色光がイチゴうどんこ病菌の分生子放出、分生子柄形態および菌叢形成に及ぼす影響」
……野々村 照雄

- 1-11. 「深海由来微生物 *Serinicoccus marinus* KDM482 が生産する新規 amino-naphthoic acid 二量体」
……福田 隆志
- 1-12. 「セントポーリアにおけるアントシアニン着色の不安定性の原因となる単一の MYB 遺伝子の転写選択性」
……細川 宗孝
- 1-13. 「ピレスリン生合成阻害剤の構造活性相関」
……松田 一彦
- 1-14. 「黒潮・親潮混合域における銀化ニホンウナギの日周鉛直移動に対する低温環境の影響」
……渡邊 俊
- 1-15. 「大学関係者が関与する CSA に対する大学生の評価と支払意思額」
……大石 卓史
- 1-16. 「女性看護学生における食習慣と葉酸摂取量の関連」
……竹森 久美子
- 1-17. 「mRNA 核外輸送に関わる mRNA 輸送体の機能解析」
……増田 誠司
- 1-18. 「日本人若年女性訓練パネルにおけるプリンおよびピリミジン系 5'-リボヌクレオチ드가グルタミン酸の検知閾値とうま味強度に及ぼす作用」
……近藤 高史
- 1-19. 「三毛猫の毛色を決める遺伝子をついに発見」
……佐渡 敬
2. 近畿大学アグリ技術革新研究所助成金研究成果報告
- 2-1. 「各種大豆加工食品の生理機能性評価」
……森山 達哉
- 2-2. 「カーボンネガティブアグリ技術:天然殺虫剤への再訪がもたらす未知との遭遇」
……松田 一彦
- 2-3. 「深海由来微生物 *Gordonia alkanivorans* KDM2412 を用いた新規 seriniquinone 硫酸エステル体の作製」
……福田 隆志
- 2-4. 「大学・地域連携における CSA (地域支援型農業) の有効性の検証と実践モデルの考案」
……大石 卓史

3. 社会連携活動報告

3-1. 社会連携事業の報告……大石 卓史

3-2. 第13回奈良まほろば産学官連携事業の活動報告……松田 一彦

1-1 「血管疾患の発症機序理解と予防・治療法確立のための基礎研究と社会実装の試み」 財満 信宏 近畿大学農学部・近畿大学アグリ技術革新研究所

研究概要

我々の生命活動は、多種多様な細胞が相互に連携しながら機能することで維持されており、その活動に必要な酸素や栄養素は血液を介して全身へ供給されている。生体は糖質や脂質などのエネルギー源を一定期間体内に蓄積できるため、短期間の絶食であれば生命を維持することが可能である。一方で、血流が途絶え酸素や栄養素の供給が停止すると、細胞機能は短時間で著しく障害され、不可逆的な組織障害へと進展する。このことから、生体恒常性の維持には十分なエネルギー源の確保のみならず、それらを安定的に各組織へ供給する血管機能の維持が極めて重要である。我々はこれまで、血管構造の破綻機序の解明と、食品成分を活用した血管健全性維持技術の確立を目指した研究を推進してきた。本稿では、2025 年度に実施した研究成果を概説するとともに、それらの成果を基盤とした社会実装に向けた取り組みについて紹介する。

1) ニコチン誘導性血管変性を抑制する香気成分(ターメロン)の発見と作用機序の解明

心血管疾患は世界的な主要死因であり、その発症には喫煙が重要な危険因子として関与している。特にニコチンは血管平滑筋細胞や血管内皮細胞に作用して酸化ストレスや炎症を惹起し、マトリックスメタロプロテアーゼ (MMP) を活性化することで弾性線維を分解し、大動脈壁の構造破綻を引き起こすことが知られている。このような血管構造の脆弱化は、大動脈瘤や動脈硬化などの心血管疾患発症の重要な要因となる。また、喫煙者だけでなく受動喫煙者もニコチンに曝露されるため、受動喫煙による血管障害を予防する新たな手法の開発が求められている。

本研究では、ウコン (*Curcuma longa*) 精油の主要揮発性成分であるターメロン (α -turmerone、 β -turmerone、 α -turmerone) に着目した。ターメロンは経口摂取により抗炎症作用、抗酸化作用、抗うつ作用などを示すことが報告されているが、吸入されたターメロンが血管へ及ぼす作用については十分に検討されていなかった。研究グループはこれまでに、吸入したターメロンが血液や各臓器へ移行することや、高脂肪食負荷マウスの体重増加を抑制することを報告しており、本研究では吸入ターメロンがニコチン誘発性大動脈障害を抑制できるかを検証した。

実験では、マウスにニコチンを投与して大動脈障害モデルを作製し、その一部の群にはウコン精油を一定時間吸入させた。実験終了後、大動脈を摘出し、組織学的解析によって弾性線維の損傷や血管壁の変化を評価するとともに、MMP-2 発現量を免疫組織学的に解析した。また、吸入後の血清中に存在するターメロンを分析し、体内への移行を確認した。さらに、摘出した大動脈を用いた培養系 (ex vivo 培養) を用いて、精製した α -turmerone、 β -

turmerone および ar-turmerone それぞれの血管保護作用を比較した。

その結果、ニコチン投与群では大動脈中膜の弾性線維に著しい断裂や平坦化が認められ、MMP-2 発現も有意に増加していた。一方、ウコン精油を吸入した群では、これらの変化が有意に抑制され、大動脈壁の正常構造が維持されていた。すなわち、吸入したウコン精油はニコチンによる弾性線維分解を抑制し、血管構造を保護することが明らかとなった。また、血清分析では α -turmerone、 β -turmerone および ar-turmerone の 3 種類すべてが検出され、吸入された揮発性成分が呼吸器から吸収されて全身循環へ移行することが確認された。

さらに、各ターメロン異性体の作用を比較した結果、ar-turmerone が最も強くニコチン誘発性大動脈障害を抑制することが明らかとなった。培養大動脈においても ar-turmerone 添加群では弾性線維の破壊が著しく抑制され、MMP-2 発現も低下していたことから、吸入後に体内へ移行した ar-turmerone が血管組織へ直接作用し、血管保護効果を発揮する可能性が示された。

本研究は、揮発性食品成分を吸入することで血管保護作用を発揮できることを示した数少ない研究であり、食品由来香気成分の新たな機能性を示す重要な成果である。従来、食品機能性は経口摂取を前提として研究されてきたが、本研究は「吸入」という新たな摂取経路によって揮発性成分が全身へ移行し、生理機能を発揮することを実証した。また、ニコチンによる血管障害に対する予防効果が示されたことから、喫煙者だけでなく受動喫煙者の血管保護を目的とした新しい予防戦略への応用も期待される。

一方で、本研究はマウスを用いた基礎研究であり、ヒトにおける有効性や安全性は今後の検討課題である。また、ターメロンの作用機序についても MMP-2 抑制以外のシグナル伝達経路や抗酸化作用、抗炎症作用などを含めた詳細な解析が必要である。しかし、本研究は香気成分が吸入後に全身循環へ移行し、血管組織に到達して生物学的活性を示すことを明確に示した点で意義が大きく、香りを利用した新たな機能性食品や予防医学への展開が期待される成果である。

論文情報

Higashihara, M., Shimizu, D., Kishi, C., Sumi, T., Kakiyama, S., Yoshioka, Y., Matsumura, S., Moriyama, T., Zaima, N.: Inhaled turmerone can attenuate nicotine-induced degeneration of the aorta. *Fitoterapia*. 182, 106465, 2025. doi: 10.1016/j.fitote.2025.106465.

2) 香気成分 β -カリオフィレンが喫煙者の動脈の硬化に及ぼす影響評価のためのランダム化二重盲検プラセボ対照試験

喫煙は心血管疾患の最も重要な危険因子の一つであり、動脈硬化や血管内皮機能障害、血管壁のリモデリングを促進することが知られている。ニコチンやタバコ煙に含まれる多様な有害成分は、酸化ストレスや慢性炎症を惹起し、血管壁の弾性低下や血流障害を引き起こす。その結果、動脈スティフネス（動脈硬化度）の増大を介して心筋梗塞や脳卒中などの心血管イベント発症リスクを高める。したがって、喫煙者における血管機能を改善する新たな予防法の開発は、公衆衛生上の重要な課題となっている。

β -カリオフィレン (β -caryophyllene: BCP) は、黒コショウ、クローブ、ホップ、カンナビス、柑橘類などに含まれる天然のセスキテルペンであり、食品香気成分として広く利用されている。BCP は選択的な CB2 受容体アゴニストとして作用し、抗炎症作用や抗酸化作用を示すことが数多く報告されている。一方、BCP は揮発性成分であるため、経口摂取だけでなく吸入によっても体内へ取り込まれる可能性がある。しかし、ヒトにおいて BCP 吸入が血管機能へ及ぼす影響を検証した臨床研究はほとんど存在していなかった。

本研究では、日常的に紙巻きたばこを喫煙している成人を対象として、BCP 吸入が動脈スティフネスへ及ぼす影響を評価することを目的に、ランダム化二重盲検プラセボ対照比較試験を実施した。対象者は BCP 群とプラセボ群に無作為に割り付けられ、被験者および研究担当者の双方が割付内容を知らない条件で試験を実施した。主要評価項目として上腕一足首脈波伝播速度 (brachial-ankle pulse wave velocity: baPWV) を測定し、BCP 吸入前後における動脈スティフネスの変化を比較した。また、安全性についても有害事象などを調査した。

解析の結果、BCP 吸入群ではプラセボ群と比較して baPWV の改善傾向が認められた。特に試験開始時点で baPWV が高値であった被験者では、BCP 吸入による改善効果がより顕著に観察され、血管が比較的硬化している集団ほど効果を受けやすい可能性が示唆された。一方、試験開始時の baPWV が低く、血管機能が比較的良好な被験者では大きな変化は認められず、BCP の作用は正常な血管機能を過度に変化させるものではなく、障害された血管機能の改善に選択的に働く可能性が考えられた。

また、試験期間を通じて重篤な有害事象は認められず、BCP 吸入による安全性にも大きな問題は確認されなかった。食品由来香気成分を吸入するという極めて簡便な方法で血管機能改善効果が得られたことは、本研究の大きな特徴である。

BCP による血管機能改善の分子機序については、本試験では直接検討されていないものの、これまでの基礎研究成果から複数の作用機序が考えられる。BCP は CB2 受容体を介して炎症性サイトカイン産生を抑制するとともに、酸化ストレスを軽減し、血管内皮機能を改善することが報告されている。また、動物実験ではニコチンによる弾性線維分解や MMP-2 発現増加を抑制し、大動脈構造を保護する作用も示されている。これらの知見を踏まえると、BCP 吸

入は血管壁の慢性炎症や組織障害を抑制することで、動脈スティフネスの改善に寄与した可能性が考えられる。

本研究は、BCP 吸入による血管機能改善効果をヒトで初めてランダム化二重盲検プラセボ対照比較試験により示した点で意義が大きい。さらに、効果が主として動脈硬化リスクの高い被験者に認められたことから、BCP は血管機能低下を有する集団を対象とした予防的介入に有用である可能性が示された。

一方、本研究にはいくつかの課題も残されている。対象者数は比較的限られており、対象も喫煙者に限定されていることから、非喫煙者や高齢者、心血管疾患患者などへの一般化にはさらなる検証が必要である。また、長期吸入による持続効果や最適な吸入量、作用持続時間についても今後検討する必要がある。さらに、血中 BCP 濃度や炎症マーカー、酸化ストレスマーカーなどとの関連を解析することで、ヒトにおける作用機序をより詳細に明らかにできると考えられる。

以上より、本研究は、食品由来香気成分である BCP の吸入が喫煙者の動脈スティフネスを改善し得ることを臨床的に示した先駆的研究であり、「香りによる血管ケア」という新たな機能性食品・予防医学の可能性を提示した重要な成果である。また、喫煙者のみならず、血管機能の低下が懸念される集団への応用も期待され、BCP を利用した新たな血管疾患予防技術の社会実装につながる基盤的知見を提供した。

Yamada, K., Matahira, Y., Takuwa, N., Yoshioka, Y., Matsumura, S., Higashihara, M., Zaima, N., Unno, N: Evidence of improvements to arterial stiffness among regular users of combustible cigarettes – effect of inhalation of beta-caryophyllene – : A randomized, double-blind, placebo-controlled study. Contributions to Tobacco & Nicotine Research 34, 3, 2025.

1-2 「平均樹高と林分密度から平均胸高直径を推定するためのモデル」

井上 昭夫 近畿大学農学部・近畿大学アグリ技術革新研究所

研究概要

木材価格の低迷や林業従事者の高齢化と減少を受け、わが国の林業には低コスト化と省力化が求められている。このような背景を受け、素材生産の前段階で行われる資源量把握のための森林調査についても、省力化や低コスト化を進める必要がある。これによって、国産材の安定的かつ効率的な供給体制の構築に貢献し、立木価格の低迷や林業労働力の不足に対応していくことが、現在のわが国における林業経営の重要な課題だといえる。そのための方策の1つとして、ICT (Information and Communication Technology) 技術を積極的に活用し、林業の効率化を推進する「スマート林業」による森林調査の効率化が検討されている。

スマート林業による森林調査には、地上レーザスキャナ、航空機レーザ、ドローンを用いたもの、あるいは、これらを組み合わせたものがある。中でも、ドローンや航空機レーザによる森林調査法では、調査に要する時間と労力を軽減し、林分密度や単木レベルでの樹高を計測することが可能になりつつある。しかし、胸高位置が上空から確認できないことからわかるように、胸高直径は上空から直接に計測できない。そのため、①樹高を変数とするモデル、②樹冠表面積を変数とするモデル、③樹高と樹冠表面積を変数とするモデルによって、単木レベルでの胸高直径の推定が試みられている。

しかし、このような計測とモデルによって単木レベルでの森林資源情報を収集しても、実際の森林管理は、収穫表や密度管理図、相対幹距といった林分レベルでの情報をもとに行われるため、時間とコストをかけて収集したデータを活用できていない。加えて、ドローンや航空機レーザによって、単木レベルでの樹冠投影面積を計測する作業は繁雑であり、大きな誤差の生じる場合もみられる。このような点に鑑みれば、単木レベルでの森林資源情報の詳細な把握がスマート林業の最終的な目標であることを前提としても、現時点においては、ドローンや航空機レーザによって比較的容易に計測できる樹高や林分密度の情報をもとに、平均胸高直径を推定できれば十分だと考えられる。

そこで本研究では、ドローンや航空機レーザ計測への応用のために、スギとヒノキの人工林を対象として、地上調査のデータをもとに、林分密度と平均樹高の値から平均直径を推定するためのモデルを誘導し、その妥当性を検証することを目的とした。なお、本研究では、モデルの作成においてドローンや航空機レーザによる計測データを使用せず、地上調査のデータを用いている。これは、モデルによる推定誤差とドローンなどによる計測誤差を明確に区別するためである。

本研究では、以下のようにしてモデルを誘導した。まず、過密林分における ha あたり樹幹表面積合計は林分密度によらず一定の上限値 (S_{max}) をもつと仮定した (樹幹表面積の保存則)。次に、新たな密度指標として、 S_{max} に対する各林分での樹幹表面積合計 (S) の割合を「相対樹幹表面積 (S/S_{max})」と定義した。そして、 S/S_{max} と相対幹距 (Sr) との関係は、べき乗

式によって近似できると仮定した ($S/S_{\max} = \alpha Sr^{\beta}$)。さらに、 S と平均直径 (D)、平均樹高 (H) および林分密度 (ρ) の積 ($DH\rho$) との関係は、地域や樹種に依存しない傾き $k(\approx 1.93)$ をもった原点を通る直線によって表せると仮定した ($S = kDH\rho$)。以上の仮定より、 S を消去し、 D の陽関数として整理すると、次式を得る。

$$D = \frac{\alpha S_{\max}}{kH\rho} \left(\frac{100^2}{H\sqrt{\rho}} \right)^{\beta}$$

ここで、 α 、 β および $S_{\max}$ は、樹種と地域ごとに異なる係数で、地上調査のデータをもとに決定できる。したがって、ドローンまたは航空機レーザによって H と ρ を計測できれば、それらの値を誘導したモデルに代入することで、 D を推定できる。

誘導したモデルにおける係数の決定と妥当性の検証には、森林総合研究所によって公開されている収穫表調製業務資料のうち、スギ 14 地域 1,457 林分、ヒノキ 11 地域 959 林分のデータを用いた。まず、樹種と地域ごとに、すべてのデータをモデリングデータと検証データに分割した。次に、モデリングデータを用いて、樹種と地域ごとに $S/S_{\max}$ と Sr との関係を解析し、先に誘導したモデルの係数 (α 、 β および $S_{\max}$) を決定した。そして、検証データの H と ρ を誘導したモデルに代入し、 D を推定した。さらに、推定した D の平均誤差 (正確度) と RMSE (精度) を求め、モデルの妥当性を評価した。

解析の結果、いずれの樹種、いずれの地域についても、相対樹幹表面積と相対幹距との関係は、モデルの誘導において仮定した通り、べき乗式によって適切に回帰できた。しかし、べき乗式の係数 (α と β) は、いずれも樹種と地域によって異なった。したがって、本研究において誘導したモデルは、国内のスギ・ヒノキ林において共通の係数をもたず、樹種ごと、地域ごとに係数を使い分ける必要がある。

紀州地方のスギ林を例にすると、平均直径の実測値と推定値との間には強い正の相関があり、両者に有意な差はみられなかった。実測値と推定値との誤差は、平均誤差で -0.2 cm (平均相対誤差: -0.1%)、RMSE で 1.3 cm (相対 RMSE: 6.3%) となり、比較的小さい値を示した。この結果は、他の地域と樹種においても同様であった。この誤差の大きさを考察するために、樹高や樹冠投影面積から単木の直径を推定する従来のモデルを網羅的にレビューした結果、平均誤差で 0.3-8.8 cm (平均相対誤差: 2.5-37.2%)、RMSE で 1.8-10.8 cm (相対 RMSE: 11.3-29.1%) と報告されていることがわかった。したがって、単木レベルと林分レベルという違いはあるが、本研究で提案したモデルは、先行研究のモデルと比べても遜色のない正確度と精度を備えていると言って良い。

しかし、平均直径が 40 cm 以上の林分においては常に過小推定となった。この原因としては、他の自己間引きに関するモデル (3/2 乗則や Reineke 式など) と同様、平均直径 40 cm 以上の生育段階になると林冠の閉鎖が崩れることで、モデルの誘導の際に仮定した樹幹表面積の保存則が成立しなくなるのかもしれない。この理由により、平均直径 40 cm 以下の林分において過小推定となっている可能性がある。

わが国における人工林の齢級構成をみると、人工林面積の半分以上が 10 齢級 (50 年生)

以上となっている。今後、年数が経つにつれて、さらに齡級構成は高齢にシフトしていくと予想される。その結果、平均直径が 40 cm 以上に達し、本研究で提案するモデルでは平均直径が過小推定されるような林分がますます増えていくと予想できる。この問題を解決するための暫定的な方法として、平均直径が 40 cm 以上のスギ林のデータのみを対象として（ヒノキで平均直径 40 cm 以上の林分はみられなかった）、平均直径の推定値と実測値との関係を解析した。その結果、地域の違いとは関係なく両者の関係は直線式によって回帰できた。したがって、平均直径の推定値が 40 cm を超える林分の場合、直径の推定値を得られた回帰式に代入することで、直径の過小推定を補正できる。ただし、この方法はあくまで暫定的なものとしてみられるべきであり、本質的にはモデルの改良が求められよう。

紀州地方のスギ林を対象として、平均樹高と林分密度の誤差を擬似的に与えることで、平均直径の推定値に及ぼす影響をシミュレートした。その際、これまでのドローンや航空機レーザによる樹高と林分密度の推定に関する研究をレビューした上で、擬似的な誤差の範囲は平均樹高で-20%から+20%、林分密度で-20%から 0%とした（林分密度については正のバイアスをもつという報告はなかった）。シミュレーションの結果、平均直径の誤差を収穫調査における一般的な括約（2.0 cm）以下にするには、平均樹高の誤差範囲を±10%以内、林分密度の誤差範囲を-15%以内とする必要があることが示された。平均樹高については、現在の技術水準において、誤差の範囲を±10%以内に抑えることは可能だと考えられる。したがって、今後においては、林分密度の誤差範囲を-15%以内に抑えるようなドローンまたは航空機レーザによる計測技術の開発が求められる。

本研究では、ドローンまたは航空機レーザによる森林調査への応用を目的とし、平均樹高と林分密度から平均直径を推定するためのモデルを誘導し、その妥当性を地上調査のデータをもとに評価した。その結果、ドローンまたは航空機レーザによって平均樹高と林分密度の正しい計測値が得られるならば、提案するモデルによって平均直径を正確に精度良く推定できることがわかった。今後においては、このモデルが、ドローンや航空機レーザ計測データの解析アプリに実装され、その妥当性が現地において実証されることが求められる。最後に、本研究において作成したモデルが、これからのスマート林業による森林資源調査の発展・効率化に少しでも貢献することを願ってやまない。

論文情報

Umemi, K., Inoue, A. A model for predicting mean diameter at breast height from mean tree height and stand density.

Journal of Forest Research 29(3): 186-195. (IF=1.3)

<https://doi.org/10.1080/13416979.2024.2311946>

1-3 「禰豆子の竹の口枷は実際の竹とは異なる」

井上 昭夫 近畿大学農学部・近畿大学アグリ技術革新研究所

研究概要

アニメ「鬼滅の刃」に登場する竈門禰豆子がくわえている竹の口枷は、節間長の比率という点で、実際の竹（マダケ属）とは異なっている。本研究では、アニメに描かれた口枷における節間長 150 例とマダケ属の竹稈の実測データ 112 例とを比較した。アニメでは、最長節間長に対する隣接節間長の比は 0.45 ± 0.11 であったのに対し、モウソウチクおよびハチクの実測値では、それより有意に高い 0.94 ± 0.08 であった。また、竹稈に沿った節間長分布の数理モデルからも、口枷で観察された比率は実際の竹では再現できないことが示され、この結論が支持された。本研究で用いた方法論は、理科教育や数学教育の教材としてだけでなく、課外活動にも活用できる可能性を示している。これらの知見は、作者、イラストレーターあるいは読者の理解不足を批判するものではなく、むしろ竹研究者によるサイエンスコミュニケーション上の空白を補うものとして受け止められるべきである。本研究は、竹に対する社会的関心を高める一歩となるだろう。

研究の背景

本研究は、アニメ「鬼滅の刃」に登場する竈門禰豆子の竹製の口枷が、実際の竹（特に、日本で一般的なマダケ属）の稈と形態的に一致するかを、自然科学的観点から検討したものである。禰豆子の口枷は 4 つの節と 3 つの節間から構成され、中央の節間が最も長く、両側の節間が短く描かれている。実際の竹では、節間長は稈の中央部付近で最大となり、基部および先端部に向かって徐々に短くなることが知られている。しかし、アニメに描かれた口枷では、中央の節間に対して隣接する節間が極端に短く見える。本研究では、この特徴に着目し、アニメ中の口枷の節間比と、実際の竹稈における節間比を比較した。また、節間長分布の数理モデルを用いて、観察された比率が実際の竹で再現可能かを検討した。本研究の主眼は、竹科学そのものへの直接的な貢献というよりも、広く知られた文化的題材を入口として、竹に対する社会的関心や科学的理解を高める点にある。

資料と方法

まず、漫画中から、禰豆子が竹の口枷を装着しているコマを 150 例抽出し、できるだけ正面を向いたものを選んだ。各コマについて、中央節間長と隣接節間長を 0.1 cm 精度の定規で直接測定した。また、可能な場合には、髪の毛の生え際から顎までの顔長も測定した。各測定は 3 回繰り返し、その平均値を解析に用いた。中央節間長に対する隣接節間長の比を「節間比」、顔長に対する口枷長の比を「口枷-顔長比」と定義した。解析では比率のみを用いたため、コマごとの印刷サイズの違いは結果に影響しない。

次に、実際の竹における節間比を評価するため、サイズの異なる 2 種のマダケ属（モウソウ

チクとハチク)の実測データを用いた。竹稈試料は九州の2地点から採取され、健全な生立竹を対象とした。試料数はモウソウチク50本、ハチク62本、合計112本である。各竹稈について、地際から先端に向けた累積節間長を測定し、最大節間長およびその両側の隣接節間長を求めた。

アニメの口枷、モウソウチク、ハチクの3群間で節間比を比較するため、Kruskal-Wallis検定を用いた。有意差が認められた場合には、Wilcoxon順位和検定による多重比較を行い、Holm法でP値を補正した。モウソウチクとハチクの最大節間長の比較にはMann-Whitney U検定を用いた。また、口枷-顔長比が1.0と異なるかどうかを、1標本Wilcoxon符号付順位検定で検討した。正規性や等分散性が仮定できない可能性を考慮し、すべてノンパラメトリック検定を用いた。

結果

アニメに描かれた口枷の節間比は 0.45 ± 0.11 であった(図1)。これに対し、実際の竹では、モウソウチク、ハチクともに 0.94 ± 0.08 であり、アニメの口枷に比べて著しく高い値を示した。Kruskal-Wallis検定の結果、3群間には有意差が認められた。多重比較では、口枷とモウソウチク、口枷とハチクの間いずれも有意差があった一方、モウソウチクとハチクの間には有意差は認められなかった。

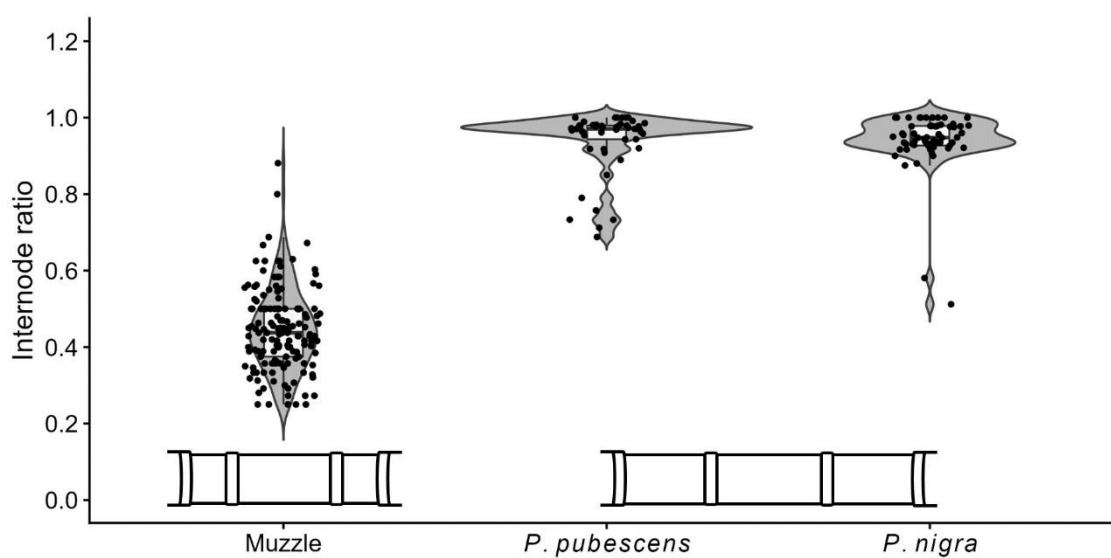


図1 竈門禰豆子の口枷における節間比(中央節間長に対する隣接節間長の比)と実際の竹との比較。バイオリンプロット下の模式図は、平均比に基づいて作成した代表的な節間配列を示している。左の図はアニメの口枷を、右の図は実測値に基づく2種の竹の節間配列を表す。比較を容易にするため、各模式図では中央節間長を揃えて示した。

最大節間長は、モウソウチクで 35 ± 10 cm、ハチクで 25 ± 4 cmであり、両種間には有意

差があった。また、アニメにおける口枷-顔長比は 0.66 ± 0.29 であり、1.0 より有意に小さかった。したがって、口枷は顔長より短く描かれていることが示された。

考 察

禰豆子の竹の口枷は実際の竹とは異なるのか？

本研究の結果、禰豆子の口枷における節間比は、実際のマダケ属竹稈の節間比とは大きく異なることが示された。実際の竹では、最大節間の隣の節間も最大節間に近い長さを示すため、節間比は 1 に近い。一方、アニメの口枷では、中央節間に対して隣接節間が極端に短く、実測されたマダケ属の範囲ではこのような配置は確認されなかった。このことから、口枷の節間比は実際の竹とは一致しない、あるいはマダケ属以外の竹を想定している可能性が考えられる。

しかし、日本の竹林の大部分はモウソウチクやマダケなどのマダケ属で構成されており、「鬼滅の刃」の時代設定である大正期においても、有用竹として利用されていた主要な竹は限られていた。また、マダケ属内では節間長分布の基本的なパターンに大きな種間差がないことが知られている。そのため、本研究で扱わなかったマダケを含めても、口枷と実際の竹との不一致という結論は大きく変わらないと考えられる。さらに、口枷-顔長比が 1 未満であることを考慮すると、最大節間長が長いマダケを材料とした可能性も低く、禰豆子の口枷は節間比と長さの両面から、実際のマダケ属の竹稈とは異なると考えられる。

数学的証明

経験的な比較を補強するため、竹稈に沿った節間長分布を表す数理モデルを用いて検討した。竹稈の基部から数えた節間番号、総節間数、全稈長、各節間長、累積節間長を定義し、節間番号と累積節間長をそれぞれ相対値に変換した。累積節間長と相対節間番号の関係は、三次多項式で近似した。この関数を微分すると、各位置における節間長に比例する値が得られる。最大節間長は、この微分関数の頂点に対応し、その隣の節間長との比を数式として導出した。

このモデルによれば、総節間数が増えるほど、最大節間に隣接する節間の長さは最大節間長に近づき、節間比は 1 に近づく。実測値に基づく係数を用いた場合、節間比は総節間数が 3 のときでも約 0.69、4 のとき約 0.83 となり、それ以上では 0.90 を超える。一方、禰豆子の口枷には 3 つの節間が見えているため、実際の竹稈としては総節間数が 3 を超える必要がある。しかし、観察された口枷の節間比は約 0.44 であり、生物学的に妥当な条件下でモデルが予測する値よりも明らかに低い。したがって、数理モデルの観点からも、口枷の節間比は実際の竹では再現しにくいことが確認された。

教育への応用

本研究の方法は、特別な測定機器を必要とせず、定規や巻尺による簡便な測定で実施できる。そのため、学校教育や課外活動における教材として利用できる可能性がある。たとえば、実

際の竹稈を採取し、基部から先端まで節間長の変化を観察したうえで、最長節間とその隣接節間を測定する。その部分を切り出して口枷に見立て、アニメの描写と比較すれば、竹の形態的特徴を直感的に理解できる。

さらに、なぜ竹の節間長が中央部で長く、基部と先端部で短くなるのかを考えることで、竹稈の力学的適応について学ぶことができる。基部では自重を支えるため短い節間が必要であり、先端部では枝葉を支える細い稈に強度が求められる。一方、中央部の長い節間は、風などの外力を受け流す柔軟性に寄与すると考えられる。また、本研究で用いた三次関数と微分による最大値の導出は、数学教育における微分の応用例としても有効である。身近なアニメキャラクターと科学・数学を結びつけることで、学習意欲や知識の定着を高める効果も期待される。

おわりに

本研究では、アニメに描かれた禰豆子の竹製の口枷と、実際のマダケ属竹稈を、形態測定、実測データ、数理モデルの3つの側面から比較した。その結果、口枷の節間比は実際の竹とは大きく異なり、マダケ属竹稈の節間長分布では再現しにくいことが示された。この結論は、作品や作者、作画、読者の理解不足を批判するものではなく、むしろ竹研究者が一般社会に向けて竹の特徴を伝えるための新たな入口を示すものである。文化的に親しまれている題材を用いて、生物学的観察と数理的検討を結びつける本研究の方法は、科学教育、数学教育、課外活動、サイエンスコミュニケーションに応用できる可能性を持つ。竹に対する社会的認知を高め、竹研究への関心を広げる一つの試みとして位置づけられる。

論文情報

Inoue, A. Nezuko's bamboo muzzle differs from actual bamboo (*Phyllostachys* spp.).

Advances in Bamboo Science 14: 100225. (IF=3.7)

<https://doi.org/10.1016/j.bamboo.2026.100225>

1-4 「ForestScanner による都市樹木における胸高直径の測定：市民科学への応用可能性」

井上 昭夫 近畿大学農学部・近畿大学アグリ技術革新研究所

研究概要

LiDAR を搭載した iPhone または iPad を用いて、LiDAR による森林調査を可能にする無料モバイルアプリケーション ForestScanner (FS) が近年開発された。FS は、森林内の樹木の胸高直径 (D) を測定する際の費用、労力、時間を削減できることが示されているが、都市緑地 (UGS) 内の樹木への適用可能性は評価されていなかった。そこで本研究では、都市緑地における FS の性能を評価するため、2 つの実験を行った。第 1 の実験では、70 本の樹木を対象として、さまざまな距離および方向から測定を行った。その結果、FS は従来の直径巻尺 (DT) と比較して D を過小評価する傾向があり、測定距離が長くなるほどバイアスとばらつきが大きくなることが明らかとなった。これらの結果は、精度と再現性を向上させるためには、できるだけ樹木に近い位置から測定すべきであることを示している。第 2 の実験では、39 本の樹木を複数の観測者が繰り返し測定した。その結果、FS は DT に比べて観測者間および観測者内のばらつきがやや大きかったものの、全体としては高い一致性を維持していた。両実験を通じて、過小評価の傾向は大径木ほど顕著であり、また第 2 の実験では針葉樹よりも広葉樹でより顕著であった。全体として、これらの知見は、都市緑地における炭素蓄積量を市民科学に基づいて評価する際に、FS が有用な可能性を持つことを示している。一方で、大径木や広葉樹を測定する場合には、慎重な適用が必要であることも示唆された。

研究の背景

本研究は、LiDAR 搭載 iPhone または iPad で樹木の胸高直径を測定できる無料アプリケーション ForestScanner (FS) について、都市緑地における適用可能性を評価したものである。都市緑地の樹木は、炭素を固定・貯蔵することで気候変動緩和に寄与するが、その炭素蓄積量を推定するには、胸高直径を正確に測定し、アロメトリー式に代入する必要がある。しかし、都市内には街路樹、公園、庭園など多数の樹木が存在するため、専門家だけで広域かつ継続的に測定するには多大な労力と時間を要する。その解決策として、一般市民が調査に参加する市民科学が期待される。FS は、従来の地上レーザースキャナや点群解析を必要とする手法に比べて、安価で簡便に胸高直径を測定できる利点がある。一方で、これまで FS の精度評価は主に森林環境で行われており、都市緑地での適用性、とくに未経験者が使用した場合の測定誤差は十分に検討されていなかった。そこで本研究では、測定距離、測定方向、観測者間・観測者内のばらつき、および針葉樹と広葉樹の違いが FS の測定性能に及ぼす影響を明らかにし、市民科学への実用性を検討した。

材料と方法

調査は、奈良市にある近畿大学農学部キャンパスの都市緑地で実施された。キャンパス内には歩道沿いや開放空間に樹木が点在しており、学生や教職員が日常的に接する都市緑地の一例とみなすことができる。測定には iPhone 13 Pro Max を用いた。研究では 2 つの実験を行い、従来法である直径巻尺 (DT) による測定値を比較対象とした。

第 1 実験では、広葉樹 64 本、針葉樹 6 本の計 70 本を対象とした。1 名の未経験観測者が FS を用いて、樹木から 1 m, 2 m, 3 m, 4 m の距離で、原則として 4 方向から胸高直径を測定した。障害物や地形の制約がある場合には 3 方向とした。比較基準として、1 名の経験者が DT により胸高直径を測定した。DT 値を真値とみなし、BIAS, MAE, RMSE, PBIAS, 決定係数 R^2 , Bland-Altman 解析による 95% 一致限界を算出した。また、各距離における方向間のばらつきを評価するため、FS 測定値の変動係数を求めた。さらに、FS と DT の差を応答変数とし、DT 値、測定距離、およびその交互作用を説明変数とする回帰モデルを用いて、直径や距離が誤差に及ぼす影響を解析した。

第 2 実験では、針葉樹 19 本、広葉樹 20 本の計 39 本を対象とした。胸高直径測定の経験が少ない学生 10 名が、FS と DT の両方を用いて、同じ樹木を 1 週間間隔で 3 回繰り返し測定した。FS による測定距離や測定方向は指定せず、各観測者が任意に選択した。各樹木について、10 名×3 回の計 30 測定の平均値を FS と DT それぞれで算出し、両者を比較した。平均差の検定には対応のある t 検定を用い、系統誤差の評価には Bland-Altman 解析と Deming 回帰を用いた。また、観測者内変動と観測者間変動を変動係数で評価し、DT と FS の精度を比較した。さらに、級内相関係数や線形混合モデルにより、測定法によるバイアスとばらつきの成分を検討した。

結果

第 1 実験では、FS は DT に比べて胸高直径を過小評価する傾向を示した (図 1)。また、測定距離が長くなるほど、過小評価の程度とばらつきが大きくなった。1 m では BIAS が -0.6 cm, RMSE が 1.4 cm であったのに対し、4 m では BIAS が -2.3 cm, RMSE が 3.0 cm まで増加した。Bland-Altman 解析でも、距離が長くなるほど 95% 一致限界が広がった。方向間のばらつきも距離とともに増加し、変動係数の平均値は 1 m で 2.2%, 4 m で 3.4% であった。回帰分析の結果、FS と DT の差は DT 値が大きいほど負の方向に大きくなり、大径木ほど FS による過小評価が強まることが示された。この傾向はとくに 3 m および 4 m で顕著であり、胸高直径 50 cm の樹木では、予測バイアスが 1 m で約 -1.5 cm, 4 m で約 -4.9 cm となった。

第 2 実験でも、FS は DT より小さい値を示した。39 本の平均では、FS は DT に比べて胸高直径を 1.0 cm 過小評価し、この差は統計的に有意であった。MAE は 1.2 cm, RMSE は 1.4 cm, PBIAS は -3.3% , R^2 は 0.933 であり、全体として両手法の一致性は高かった。Deming 回帰の結果からも、樹木が大きくなるほど FS の過小評価が強まる傾向が確認され

た。測定精度については、観測者内変動、観測者間変動ともに、FSの方がDTより大きかった。観測者内変動の平均はDTで1.0%、FSで3.9%、観測者間変動の平均はDTで1.0%、FSで2.9%であった。ただし、級内相関係数はDTで0.996、FSで0.969と、いずれも非常に高い一致性を示した。樹種群別では、FSの過小評価は針葉樹よりも広葉樹で大きく、広葉樹では平均-1.3 cm、針葉樹では平均-0.7 cmであった。

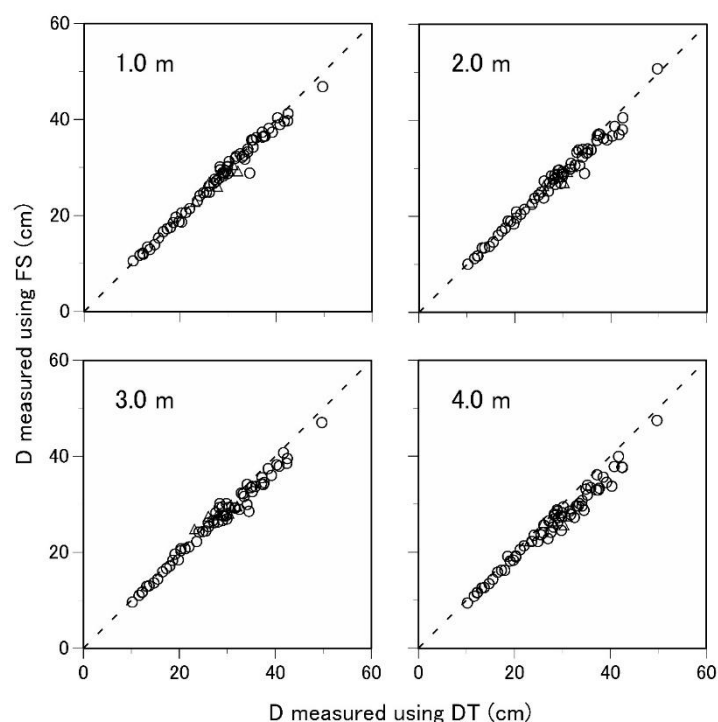


図1 4つの測定距離(1-4 m)において、直径巻尺(DT)およびForestScanner(FS)を用いて測定した胸高直径(D)の比較。白丸および三角は、それぞれ広葉樹および針葉樹を表す。破線は1:1の関係を示す。

考察

本研究は、都市緑地におけるFSの胸高直径測定性能を初めて体系的に評価したものである。2つの実験を通じて、FSはDTに比べて胸高直径を一貫して過小評価した。とくに第1実験では、測定距離と樹木サイズが大きくなるほど誤差が増加することが明確に示された。第2実験でも、複数観測者による繰り返し測定において同様の過小評価が確認され、大径木ほどその傾向が強まった。これは、FSの測定誤差がサイズ依存的事であることを示している。

精度に関しては、FSはDTよりも方向間、観測者内、観測者間のばらつきがやや大きかった。しかし、その差は数%程度にとどまり、未経験者が使用した場合でも測定値は比較的安定していた。距離が遠くなると方向間変動が増えるため、可能であれば複数方向から測定して平均値を用いることが望ましい。一方で、都市緑地における実用的な調査では、単一方向の測定で

も一定の信頼性は確保できると考えられる。また、第 2 実験では広葉樹で過小評価がやや大きかったが、広葉樹のサンプルは主にケヤキに限られていたため、この結果を一般化するにはさらなる検証が必要である。

市民科学に FS を活用する場合、測定距離を短くすることが重要である。本研究の結果から、樹木から 1-2 m 程度の距離で測定することが望ましいと考えられる。また、幹形が不規則な樹木や大径木では、複数方向から測定して平均値を用いることで、より安定した推定が可能になる。既往研究で提案された許容誤差基準と比較すると、本研究で得られた FS の誤差は、管理目的の樹木インベントリには十分収まる水準であった。一方、成長量や炭素固定量を精密に評価する研究目的の基準には達しておらず、その場合には補正式や測定手順の改善が必要である。

FS は平均して胸高直径を約 3% 過小評価した。この程度の直径誤差であっても、材積や炭素蓄積量の推定では 5-8% 程度の過小評価につながる可能性がある。したがって、炭素蓄積量評価に FS を用いる場合には、Deming 回帰などに基づく補正モデルの導入が有効である。ただし、補正モデルを広く適用するには、樹種、直径階、地域を拡大した検証が必要である。また、市民科学による胸高直径データを、専門家が TLS などで作成したアロメトリー式と組み合わせることで、都市緑地の炭素蓄積量評価を大規模かつ効率的に進められる可能性がある。

おわりに

本研究により、ForestScanner は都市緑地における樹木の胸高直径測定に利用可能であり、とくに簡便な測定手順を守れば、市民科学において実用的な性能を発揮することが示された。FS は DT に比べて胸高直径を過小評価する傾向があり、その傾向は大径木や長距離測定で強まった。一方で、短距離から測定すれば精度と再現性は向上し、未経験者による測定でも高い一致性が得られた。今後、FS による胸高直径測定を樹種識別ツールや地図情報と統合すれば、都市緑地における樹木データを市民参加型で広域に収集できる。さらに、専門家が構築したアロメトリー式やバイオマス拡大係数と組み合わせることで、都市緑地の炭素蓄積量評価に市民が実質的に貢献できるようになる。本研究は、気候変動緩和における都市緑地の役割を、低コストかつ大規模に評価するための基礎的知見を提供するものである。

論文情報

Tsuzuki, Y., Inoue, A. Measuring tree diameter at breast height in urban green spaces using ForestScanner: Implications for citizen science.

Urban Forestry & Urban Greening 118: 129293. (IF=6.7)

<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2026.129293>

1-5 「クルマエビ幼生およびポストラバの飼育成績ならびに走光性に及ぼす光周期および光強度の影響」

石橋 泰典 近畿大学農学部・近畿大学アグリ技術革新研究所

研究概要

本研究では、クルマエビ (*Marsupenaeus japonicus*) の種苗生産に適した照明条件を明らかにするため、発育初期のゾエア・ミシス期 (ZM 期) の幼生と、その後のポストラバ期 (PL 期) の個体を用い、光周期 (日長) と光強度 (照度:lx) が生残、成長および走光性に及ぼす影響を調べた。

ZM 期では、明期 12 時間・暗期 12 時間 (12L:12D) および 18L:6D の条件で、暗期のない連続照明 (24L:0D) より成長が優れる傾向を示した。また、200~1000 lx の低~中程度の光強度で、5000 lx の高い光強度より成長が良好な傾向がみられた。これに対して PL 期では、光周期の影響は明瞭ではなかったが、5000 lx で成長が有意に促進された。いずれの発育段階でも、生残率には照明条件による有意な差が認められなかった。

行動実験では、ZM 期の幼生は強い正の走光性を示したが、PL 期では反応が弱まった。以上の結果から、クルマエビに適する照明条件は発育に伴って変化し、発育段階に応じた光周期および光強度の管理が飼育成績の改善につながると考えられた。

研究の背景と目的

クルマエビは日本で高い商品価値を持つ一方、主要な養殖エビに比べて成長が遅く、出荷までに長い期間を要するため、生産効率の向上が重要である。特に、ふ化後の幼生から稚エビまでの種苗生産期は、高密度飼育と発育段階の急速な変化が重なるため、環境要因の変動による影響を受けやすい。照明は調整しやすい飼育要因であり、摂餌、活動、成長、体内リズムなどに影響する可能性がある。エビ類に適した光周期や光強度は種や発育段階によって異なり、クルマエビについてはゾエア・ミシス期からポストラバ期までを系統的に比較した研究はほとんどみられない。そこで本研究では、各発育段階に適した照明条件と走光性を検討した。

実験方法

最初に、2 日齢の幼生を 200 L の円形水槽に収容し、3 種類の光周期 (12L:12D、18L:6D および 24L:0D)、並びに 3 段階の光強度 (500、1000 および 2000 lx) を組み合わせた 9 試験区で 20 日齢まで飼育した。各試験区で反復を設けない予備実験を行ったところ、生残率は 2.3~21.7% と大きく変動し、各光周期では 1000 lx 区が最も高かった。この結果を、以下の本実験の条件設定に利用した。すなわち、飼育実験には 200 L の円形水槽を用い、ZM 期の実験では 2 日齢から 10 日齢まで、PL 期の実験では 10 日齢から 30 日齢まで飼育して、実験終了時の生残率と体長を測定した。光周期実験は 12L:12D、18L:6D および 24L:0D の 3 試験区とした。光強度実験は 200、1000 および 5000 lx の 3 試験区とし、それぞれ他方の要因を一定として各試験区 3 反復で比較した。

走光性の実験では、プロジェクターで浅型長方形水槽の左右に異なる明るさの光を投影し、2 分毎に左右を入れ替えた。ゾエア、ミシスおよび PL が各領域に存在した個体数から選択率

を算出した。相対光強度を 0～100%の範囲に設定し、50%を対照とした。この方法により、発育段階ごとの明るさに対する選択率を数値化した。

飼育水温は 25℃、塩分は 34 psu 前後に保ち、発育段階に応じて微粒子配合飼料、クルマエビ用飼料およびアルテミア幼生を与えた。照明には白色 LED を使用し、各水槽間に遮光カーテンを設けて相互の光の影響を防ぎ、所定の光周期または光強度を維持した。

ZM 期における光周期の影響

2～10 日齢の ZM 期では、生残率は 12L:12D、18L:6D および 24L:0D の間で有意差がなかった。一方、終了時の体長はそれぞれ 2.49、2.47 および 2.22 mm で、暗期を含む 2 条件の方が連続照明より大きくなる傾向 ($p = 0.052$) を示した。

行動実験では、ZM 期の幼生は明るい領域へ移動し、遊泳を継続した。連続照明では幼生の活動時間が長くなり、成長に利用可能なエネルギーが遊泳に消費された可能性がある。また、この時期は主に植物プランクトンや水中の懸濁粒子をろ過して摂餌するろ過食性であるため、照明時間を延ばしても視覚的に餌を認識する利点は少ないと推測された。これが、連続照明条件で成長が劣る傾向を示した一因と考えられた。

成長に及ぼす光強度の影響

ZM 期の生残率は 200、1000 および 5000 lx でそれぞれ 64.4、59.7 および 59.7% であり、有意差はなかった。体長は 3.39、3.23 および 2.83 mm となり、光強度が高いほど小さくなる傾向を示した ($p = 0.059$)。ZM 期の幼生では明暗への適応能力がまだ十分に発達していない可能性や、強い光への誘引によって活動量とエネルギー消費量が増えた可能性が、成長低下の一因になったと考えられた。

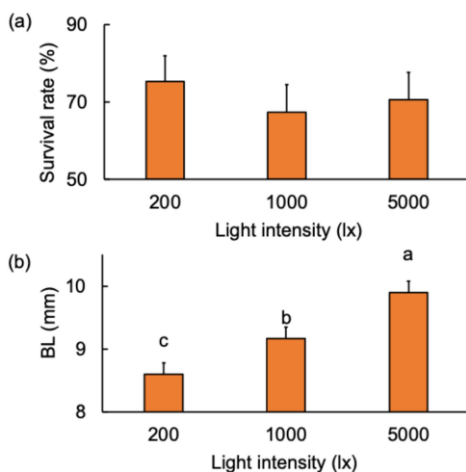


図 1 PL 期における光強度と生残率・体長

(a) 生残率、(b) 体長。10～30 日齢の PL を、24 時間連続照明の下で 200、1000 および 5000 lx で飼育した。値は推定周辺平均±標準誤差 (各区 3 水槽) を示す。生残率に有意差はなかったが、体長は 5000 lx 区で最も大きくなった。棒上の異なる英小文字を付した処理区間には有意差がある (Tukey 法、 $p < 0.05$)。

図の出典: Shinahara, Y. and Ishibashi, Y. (2026) "Effects of photoperiod and light intensity on the rearing performance and phototactic behaviour of kuruma shrimp *Marsupenaeus japonicus* larvae and postlarvae." *Aquaculture International* 34, Article 56, Fig. 5. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10499-026-02449-7>. © The Author(s) 2026. CC BY 4.0

(<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)。原図を改変せず転載し、掲載サイズのみ調整した。

これに対し、PL 期の体長は 200、1000 および 5000 lx で 8.60、9.17 および 9.90 mm となり、5000 lx 区が 200 lx 区 ($p < 0.001$ 、図 1b) および 1000 lx 区 ($p = 0.013$) より有意に大きくなった。PL 期では餌生物の探索における視覚への依存度が高まった可能性があり、明るい環境が摂餌効率を高めたと考えられる。光周期については、PL 期の生残率および成長のいずれにも有意差がなく、ZM 期ほど連続照明の不利益は明瞭ではなかった。

生残率

光周期実験および光強度実験のいずれでも、照明条件による生残率の有意差は認められなかった (PL 期の光強度実験は図 1a)。これは、本研究条件では光環境の影響が生残率よりも体長、すなわち成長に現れたことを示唆する。生残率は発育段階の移行時に大きく変動するため、飼育密度、餌料、水質、供試群の違いなどと光条件が組み合わさった場合には、生残率に影響が現れる可能性もあり、今後検討する必要がある。

ZM 期と PL 期の実験では、開始日齢、収容数、飼育期間および供試した幼生群が異なる。このため、例えば ZM 期の生残率約 60%と PL 期の約 70%を比べて、後者の方が良好であったと判断することはできない。なお、本実験では各試験区に 3 反復を設けたため、反復のない予備実験と比べて統計的な検定が可能である。

発育に伴う走光性の変化

行動実験では、ゾエアとミシスは基準より明るい 60~100%の領域を有意に選び、暗い 0~40%の領域を避けた。PL でも最も明るい 100%の領域は選ばれ、最も暗い 0~20%の領域は避けられたが、中間の明るさに対する反応は明瞭でなかった。発育段階と光強度の間には有意な相互作用が認められ、PL の正の走光性は ZM 期より有意に弱いことが示された。

この走光性の変化は、成長に及ぼす光強度の影響が発育段階によって逆転したことに関係すると考えられた。ZM 期では強い光への誘引が過剰な遊泳活動を招く可能性があるのに対し、PL 期では視覚による餌の探索能力が発達した可能性があり、強い光が摂餌および成長に有利に働いたと考えられる。ただし、本研究では酸素消費量や実際の摂餌量を直接測定していないため、その詳細については今後に検討する必要がある。

種苗生産への応用と今後の課題

本実験の結果から、種苗生産過程では、全期間を同一の照明条件で飼育するのではなく、ZM 期には暗期を設け、光強度を 200~1000 lx 程度とし、PL 期へ移行した後に光強度を高める段階的な管理が有効である可能性が示された。ただし、今回認められた影響は主として成長に関するものであり、生残率の改善は確認されていない。また、飼育実験は透明度の高い環境で実施しているため、今後は量産規模の大型水槽でも確認する必要がある。

また、光周期と光強度は別々の実験で調べたため、両者の組合せによる相互作用は十分に評価されていない。各実験の反復数は 3 水槽であり、5000 lx 区では水槽内の中央部と周辺部に明るさの差もあった。今後は、光周期と光強度を同時に組み合わせた実験、照明の均一化、摂餌量・代謝量の測定、より長期かつ実際の生産規模での検証が必要であろう。

研究の意義

本研究の重要な点は、クルマエビに適した光環境を一つの固定条件として示すのではなく、適切な光環境が発育に伴って変化することを飼育実験と行動実験の両面から示唆したことである。ZM 期から PL 期にかけて生じる走光性の低下、ならびにろ過摂餌から視覚を利用した餌探索への移行という発育に伴う変化が、発育段階による適切な光環境の違いと成長反応に関係する可能性があると考えられた。

また、プロジェクターを用いた走光性の行動実験は、甲殻類研究で初めて取り入れられたが、小さな幼生の光選択を定量化する方法として、他の水産生物にも応用できる可能性が高いと考えられた。

まとめ

クルマエビの ZM 期では、暗期を含む光周期条件と 200~1000 lx の光強度が成長に適する傾向を示し、連続照明および 5000 lx は成長を抑える可能性があった。一方、PL 期では反対に、5000 lx で成長が有意に促進された。照明条件による生残率の有意差は認められず、影響は主として成長に表れた。ZM 期の強い走光性が PL 期に弱まったことから、発育に伴う行動・摂餌様式・視覚機能の発達に応じて照明条件を切り替えることが、種苗生産の効率化に有効である可能性が示された。

論文情報

Shinahara, Y. and Ishibashi, Y. (2026) Effects of photoperiod and light intensity on the rearing performance and phototactic behaviour of kuruma shrimp *Marsupenaeus japonicus* larvae and postlarvae. *Aquaculture International* 34, Article 56. DOI: [10.1007/s10499-026-02449-7](https://doi.org/10.1007/s10499-026-02449-7)

原著論文はクリエイティブ・コモンズ表示 4.0 国際ライセンス (CC BY 4.0) のもとで公開されたオープンアクセス論文である。本資料は原著の内容を日本語で要約・再構成したものであり、図 1 は原著 Fig. 5 を改変せず転載し、掲載サイズのみ調整した。原著者名、論文名、掲載誌、DOI およびライセンスを表示した。CC BY 4.0 : <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

1-6 「クロマグロ仔魚の摂餌および浮上死に及ぼす光波長の影響」

石橋 泰典 近畿大学農学部・近畿大学アグリ技術革新研究所

研究概要

本研究では、ふ化後間もないクロマグロ (*Thunnus orientalis*) の仔魚を対象として、光の波長が視覚機能、遊泳行動、摂餌および浮上死に及ぼす影響を検討した。紫外光 (UV)、青色光、緑色光、黄色光および白色光を用い、視覚オプシン遺伝子の発現、仔魚の遊泳位置と遊泳速度、餌料であるワムシの摂餌量、ならびに水面での浮上死の状況を調べた。

その結果、2 日齢の仔魚では、稚魚で確認されている 10 種類の視覚オプシン遺伝子のうち 9 種類が発現していた。青色光、緑色光および白色光の下では仔魚の遊泳が活発になった一方、UV および黄色光の下では遊泳活動が低下した。摂餌量は UV、UV+白色光および黄色光で多くなった。これに対し、浮上死は青色光と緑色光で増加し、黄色光では減少した。200 L 水槽を用いた試験でも、緑色光による浮上死の増加と黄色光による減少が確認された。以上の結果から、光波長はクロマグロ仔魚の行動と生残を左右する重要な飼育環境要因であり、目的に応じた照明条件の設定が種苗生産技術の改善につながる可能性が示された。

研究の背景と目的

クロマグロは水産上の価値が高く、完全養殖技術も確立されているが、種苗生産では、ふ化後間もない仔魚の生残率が低いことが大きな課題である。特に、口が開いて初めて餌を摂取する時期に十分視認できずに生じる初回摂餌の失敗、水面に接触した仔魚が表面張力に捕捉されることで生じる浮上死、ならびに夜間などに水槽底へ沈降して死亡する沈降死が、初期減耗の主要因として知られている。

浮上死を防ぐ方法として、水面に薄い油膜を形成する処理が用いられる。しかし、クロマグロ仔魚は 2 日齢から、浮力調節に必要な鰾へ空気を取り込む。油膜が厚すぎると空気を取り込みが妨げられ、鰾が正常に開腔しないため、かえって沈降死を増加させる可能性がある。このため、油膜処理だけに依存せず、仔魚の遊泳位置や行動を制御する新たな方法が求められている。魚類は光の明るさだけでなく波長にも反応することから、本研究では、照明の波長を利用して摂餌を促進し、同時に浮上死を抑制できるかを検討した。

実験方法

実験には、主としてふ化後 2~3 日のクロマグロ仔魚を用いた。照射条件は、波長 385 nm の UV、480 nm の青色光、535 nm の緑色光、600 nm の黄色光および白色光とした。各試験区では水面での光子量がほぼ等しくなるように光強度を調整した。これにより、単なる明暗の差ではなく、波長そのものが仔魚に及ぼす影響を比較できる。

最初に、2 日齢の仔魚について、光を受容するタンパク質である視覚オプシン遺伝子の発現を解析した。次に、小型容器内の仔魚へ各波長の光を照射し、上方および側方から撮影した映像を用いて、水中を遊泳する個体の割合と遊泳速度を測定した。光強度は複数段階に設定し、光が強くなるにつれて行動がどのように変化するかも調べた。

摂餌試験では、一般的に使用されるワムシを給餌し、照射開始後 2、4 および 6 時間に仔魚を採取した。ワムシは消化されるが、その咀嚼器は消化管内に残るため、その数を顕微鏡下で計数し、摂餌量を推定した。また、通気の有無を変え、ワムシの水槽内分布によって結果が左

右されないかを確認した。浮上死の試験では水面の油膜を除去し、水面に捕捉されて死亡した仔魚を経時的に計数した。さらに、小型容器で得られた結果を確かめるため、200 L 水槽に各 2000 粒の受精卵を収容し、白色光と緑色光、ならびに白色光と黄色光を比較した。

視覚オプシン遺伝子の発現

2 日齢の仔魚では、稚魚で確認されている 10 種類の視覚オプシン遺伝子のうち、RH2A2 を除く 9 種類が発現していた。異なる種類のオプシンが発現することは、仔魚が幅広い波長の光に反応できる可能性を示す。遺伝子の発現だけで、成魚と同程度の色覚が完成しているとは断定できないが、後述の行動試験でも波長に応じた明確な差が認められたことから、これらの視覚系は 2 日齢の摂餌開始期には実際に機能している可能性が高い。

クロマグロが生息する外洋では、赤色や黄色など長波長の光は水中で減衰しやすく、青色から緑色の光が深くまで到達する。仔魚で青色・緑色域に対応する複数のオプシン遺伝子が発現していたことは、このような自然環境への適応に関係していると考えられる。一方、2 日齢には確認されなかった RH2A2 が稚魚では発現することから、成長に伴って視覚感覚が変化する可能性があり、適切な照明条件も発育段階によって異なると考えられる。

光波長による遊泳行動の変化

青色光、緑色光および白色光の下では、水中を遊泳する仔魚の割合が高く、遊泳速度も速くなった。特に青色光と緑色光では、光強度の増加に伴って遊泳活動が高まる傾向が明瞭であった。これは、クロマグロ仔魚が青色から緑色の光に誘引される正の走光性を示し、光源方向や水面付近へ移動したためと考えられる。

これに対し、UV および黄色光では、水中を遊泳する個体の割合と遊泳速度が低下した。視覚オプシン遺伝子の発現状況を考慮すると、これらの光を認識できなかったのではなく、光を回避する、または活動を抑制する反応を示した可能性がある。UV の回避は、過度な照射による組織障害を避ける反応である可能性がある。黄色の単色光は外洋の水中では相対的に少ないため、仔魚にとって通常とは異なる光環境として認識された可能性もある。

ただし、遊泳活動が高いことは、必ずしも飼育上有利とは限らない。活動の増加は餌料との遭遇機会を増やす一方、エネルギー消費を大きくする。また、遊泳能力の弱い初期仔魚が水面へ集中すると、そこから離脱できず、死亡につながる可能性がある。したがって、照明によって遊泳を促進する際には、餌料密度、水流、光源の位置などを併せて検討する必要がある。

摂餌に及ぼす影響

摂餌試験では、UV、UV を加えた白色光および黄色光の下で、仔魚の消化管内に認められるワムシ数が多くなった。UV の効果は試験開始後の比較的早い段階から現れ、黄色光では時間の経過に伴って摂餌量が増加する傾向を示した。通気によってワムシを水中に分散させた場合でも、通気しない条件と同様の傾向が得られたため、ワムシが特定の水深へ偏ったことだけでは説明できず、光波長が仔魚の餌料発見または捕食行動に直接影響したと考えられる。

UV によって摂餌量が増加した理由の一つとして、透明に近いプランクトンの視認性が高まった可能性がある。一部の動物プランクトンは UV を吸収する物質を持つため、UV を感知できる仔魚から見ると、背景水との明暗差が大きくなり、餌料を視認しやすくなる。初回摂餌の仔魚は飢餓への耐性が低いため、餌の視認性の向上は生残率の改善に重要である。

黄色光で摂餌量が増加した機構は明確ではない。天然海域のクロマグロ仔魚では、日没約

30 分後に消化管内容物重量が最大となることが報告されている。夕方の太陽光は大気中を長い距離通過するため、相対的に長波長側の成分が目立つ。このことから、黄色光が摂餌時間帯を示す環境情報として作用した可能性が考えられる。

浮上死に及ぼす影響

3 日齢の仔魚を用いた試験では、青色光および緑色光の下で浮上死が多くなり、UV、UV を加えた白色光、黄色光および暗黒条件では少なかった。青色光と緑色光へ誘引された仔魚が水面付近へ集中し、表面張力に捕捉されたことが主な原因と考えられる。一方、UV および黄色光では、光を回避する反応または遊泳活動の低下によって水面への接近が抑えられ、浮上死が減少した可能性がある。

200 L 水槽を用いた確認試験では、緑色光区の浮上死は白色光区より有意に多く、黄色光区では白色光区より有意に少なかった(図 1)。小型容器のみならず、大型の飼育水槽でも同じ傾向が再現されたことから、光波長を利用した行動制御には実用化の可能性はある。

S. Tsuzuki et al.

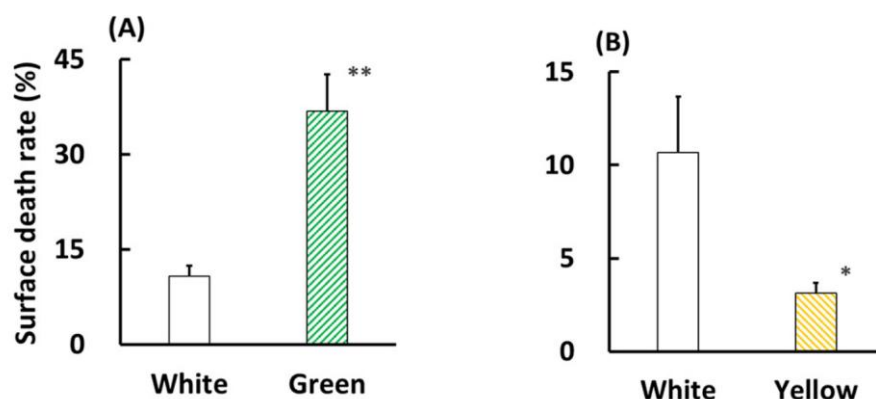


Fig. 8. Effect of green (A) and yellow (B) light on the surface-death rate of 3

図 1 200 L 水槽における光波長と浮上死率(3 日齢)

(A) 緑色光区では白色光区より浮上死が有意に多く、(B) 黄色光区では白色光区より有意に少なかった。棒は平均値、縦線は標準偏差(各区 3 水槽)を示し、アスタリスクは白色光区との有意差(* $p < 0.05$ 、** $p < 0.01$)を表す。青～緑色の光が仔魚を水面へ誘引して死亡を増やし、黄色光がその接近を抑えることが、実際の種苗生産に近い規模の水槽でも確認された。

図の出典: Tsuzuki, S., Ushiro, Y., Motohashi, K., Miyoshi, E., Tsuji, T., Taniguchi, Y., Hashimoto, S., Ishibashi, Y. (2026) Effects of light wavelength on feeding and surface death in larval Pacific bluefin tuna (*Thunnus orientalis*). *Aquaculture* 617, 743748, Fig. 8. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2026.743748> © 2026 The Authors. Published by Elsevier B.V. 本図はクリエイティブ・コモンズ表示 4.0 国際ライセンス (CC BY 4.0: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) に基づき、原図に改変を加えずに転載した(周囲の余白のみ調整)。

種苗生産への応用と今後の課題

本研究の結果は、特定の波長を常に使用すれば良いことを意味するものではない。青色光と緑色光は仔魚の遊泳活動を促進するが、浮上死を増加させる危険がある。一方、UV および黄色光は摂餌を促進し、黄色光は浮上死を抑制する可能性を示した。しかし、UV は照射強度や時間が過大であれば、眼やその他の組織への障害、成長への悪影響を生じる恐れがある。実用化に際しては、仔魚の日齢と飼育目的に応じて光波長を切り替える方法が適切である。

例えば、初回摂餌の時間帯に限り安全な強度の UV または UV を加えた白色光を利用し、浮上死が多発する時期には強い青色光や緑色光を避け、黄色光によって水面への接近を抑える方法が考えられる。ただし、本研究はふ化後 2~3 日の短期間であり、多くの試験は 2 L の小型容器で実施された。200 L 水槽で検証されたのは、緑色光および黄色光が浮上死に及ぼす影響であり、UV を含めた各照明条件が長期的な成長、生残、形態形成および健康状態へ及ぼす影響は明らかにされていない。

今後は、照射強度、照射時間、光源の位置、日周的な切替時刻、水槽規模および水流条件を組み合わせる必要がある。また、仔魚の発育に伴って視覚オプシンの発現や遊泳能力が変化するため、日齢ごとの最適条件を明らかにすることが重要である。これらの条件が確立されれば、照明は単に水槽を明るくする設備ではなく、仔魚の分布、摂餌および死亡要因を制御する飼育技術として利用できる可能性がある。

研究の意義

魚類の種苗生産において、照明の色が成長や生残に影響することは、これまでも複数の魚種で報告されている。しかし、その反応は魚種や発育段階によって異なり、ある魚種で有効な波長がクロマグロにも同様に有効であるとは限らない。本研究は、クロマグロで死亡が集中する初期の仔魚を対象とし、視覚オプシン遺伝子、遊泳行動、摂餌量および浮上死率を一連の指標として解析した点に特徴がある。また、浮上死については 200 L 水槽でも結果を確認しており、基礎的な視覚生理と飼育現象を結びつけた研究と位置づけられる。

さらに、摂餌を促進する光と浮上死を抑制する光が必ずしも一致しないことも重要である。青色光と緑色光は仔魚の活動を高めたが、水面への集中を通じて死亡を増加させた。一方、黄色光は遊泳活動を抑えながら摂餌を促進し、浮上死を減少させた。この結果は、照明条件を生残率だけ、あるいは摂餌量だけで評価するのではなく、行動、エネルギー消費、水槽内分布および死亡要因を総合的に評価する必要があることを示している。照明を時間帯や日齢に応じて変化させる制御技術へ発展させることができれば、クロマグロ以外の海産魚類の種苗生産にも応用できる可能性がある。

まとめ

本研究により、クロマグロ仔魚はふ化後間もない段階から幅広い波長の光に反応し、光波長によって遊泳、摂餌および浮上死が大きく変化することが示された。青色光と緑色光は遊泳を促進する一方で浮上死を増加させ、UV および黄色光は摂餌を促進し、黄色光は浮上死を抑制した。これらの結果は、光の色を適切に選択し、発育段階や飼育目的に応じて切り替えることにより、クロマグロ種苗生産における初期減耗を軽減できる可能性を示している。今後、量産水槽での安全性と生残効果を確認し、実用的な照明条件を確立することが期待される。

論文情報

Tsuzuki, S. et al. (2026) Effects of light wavelength on feeding and surface death in larval Pacific bluefin tuna (*Thunnus orientalis*). *Aquaculture* 617, 743748. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2026.743748

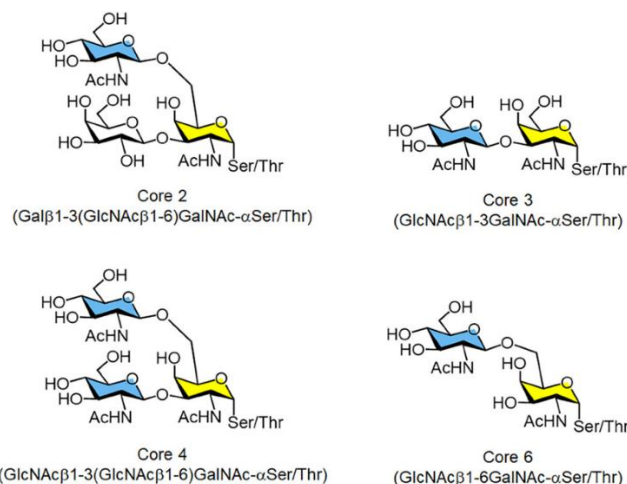
原著論文はクリエイティブ・コモンズ表示 4.0 国際ライセンス (CC BY 4.0) のもとで公開されたオープンアクセス論文である。本資料はその内容を日本語で要約したものであり、掲載した図の再利用も同ライセンスの表示条件に従う。本要約の記述について原著者による確認・承認を受けたものではない。

1-7 「*Bacteroides thetaiotaomicron* 由来の GH84 ファミリー *N*-アセチル- β -D-グルコサミニダーゼが触媒する β 1,6-選択的酵素的 *N*-アセチルグルコサミニル化反応とその糖基受容体の特異性」

大沼 貴之 近畿大学アグリ技術革新研究所

研究概要

生体内の様々なプロセスに関わるオリゴ糖鎖は、大きく *N* 結合型と *O* 結合型（ムチンなど）に分類され、胃液や唾液、関節液などの粘性流体に多く含まれて生体保護において重要な機能を果たしている。これらは化学的なコア構造によって分類されており、特にコア 2、3、4、6 構造には *N*-アセチルグルコサミン (GlcNAc) 残基が含まれている（下図）。これらムチン糖鎖を分解して栄養源とする腸内共生細菌の研究や、関連酵素の解析を進めるためには、*O*-グリカンコアオリゴ糖を安定して供給する技術が欠かせない。しかし β 1,6 結合を持つ糖鎖誘導体は商業的な入手経路が極めて限られており、容易に使用できないという課題が存在していた。本研究では、ヒトの主要な腸内細菌の一種である *Bacteroides thetaiotaomicron* 由来の糖類加水分解酵素ファミリー 84 (GH84) に属する *N*-アセチル- β -D-glucosaminidase (*Bt*OGA) に着目した。*Bt*OGA は本来、非還元末端の β -*O*-GlcNAc を加水分解する酵素だが、本研究ではこれを糖転移反応へ応用し、活性化された糖供与体（ドナー）である GlcNAc オキサゾリン誘導体 (GlcNAc-oxa) を利用して、位置選択的かつ立体選択的に *O*-グリカンコア 6 ニ糖 (GlcNAc β 1-6GalNAc) を酵素合成する系の構築に成功した。



GlcNAc を含む *O*-型糖鎖コアオリゴ糖の化学構造

反応条件としては、本来の最適 pH である 5.5 付近から pH 7.0 へとわずかにシフトさせることで、ドナーである GlcNAc-oxa の自発的な加水分解を抑制しつつ、効率的に糖転移生成物が得られることを見出した。生成した糖鎖を分取 HPLC で精製し、NMR 解析を実施した結果、目的とする β 1,6 結合を持つ二糖が選択的に合成されていることが確認され、アクセプターに対してドナーを 30 当量添加した条件では、48%という良好な収率を達成した。また、

BtOGA の糖受容体 (アクセプター) 認識メカニズムを詳細に理解するため、様々な構造を持つ単糖およびその誘導体をアクセプターとして用いた合成試験を体系的に行った。その結果、遊離の GalNAc のようにアノマー位が無置換の基質では二糖生成物が全く検出されなかったのに対し、アノマー位にベンジル基や *p*-nitrophenyl (*p*NP) 基のような芳香環をもつ基質では良好に糖転移が進行し、脂肪族置換基では収率が著しく低下したことから、アノマー位における芳香族基の存在が効果的な受容体認識に必須であることが実証された。さらに、ガラクトース (Gal) とその芳香族誘導体では生成物が得られたのに対し、グルコース (Glc) やマンノース (Man) 誘導体ではほとんど反応が進行しなかったことから、Gal および GalNAc に共通する特徴である、4 位の水酸基がアキシアル (軸方向) に配向している構造が酵素の認識に不可欠であることも証明された。加水分解試験の結果、合成条件である pH 7.0 では本来の最適 pH 領域に比べて二糖の加水分解速度が著しく低下することに加え、ドナーの分解に伴って系内に大量に副生する遊離の GlcNAc が *BtOGA* の加水分解活性を強力に競争阻害していることが、生成物の安定化に寄与していることが判明した。さらに、触媒活性残基を失活させた変異体 (D243N) を作製して結晶構造の解析 (PDB コード: 9LR5) に成功し、立体構造を用いた分子ドッキングシミュレーションを行ったところ、受容体の *p*NP 基のベンゼン環が活性ポケットの裂け目に位置するチロシン残基 (Y137 および Y550) の芳香環と近接して π - π スタッキング相互作用を形成していること、そして受容体認識に必須であった 4 位のアキシアル水酸基がヒスチジン残基 (H433) のイミダゾール基と強力な水素結合を形成して基質を固定していることが明らかになり、受容体特異性が立体構造の観点からも裏付けられた。

本研究の応用として、従来の糖化学合成で必須であった複雑な保護・脱保護工程を一切排除した、水中かつ保護基フリーなワンポット化学酵素合成法も開発した。

本研究は腸内細菌 *B. thetaiotaomicron* 由来の GH84 加水分解酵素である *BtOGA* が、活性化ドナーを認識して優れた β 1,6 選択的糖転移活性を示すことを初めて実証し、水中での縮合剤反応と酵素反応を直結させることで保護基を必要としないムチン型コア 6 二糖のシンプルな合成プロセスを確立した。この成果は、今後のコア 2 やコア 4 といったさらに複雑な多糖鎖構造の合成応用へ拡張可能であり、腸内共生細菌と宿主のムチン代謝に関わる生物学的・医学的研究の発展に大きく貢献するものと期待される。

論文情報

Okuno R, Nakada S, Tonomura K, Aso Y, Takeshita D, Ohnuma T, Tanaka T. β 1,6-Selective Enzymatic *N*-

Acetylglucosamination Catalyzed by the Family GH84 *N*-Acetyl- β -D-glucosaminidase from *Bacteroides*

thetaiotaomicron and its Glycosyl Acceptor Specificity. Chem Asian J. 2025 20(14):e202500142. doi: 10.1002/asia.202500142. (IF=3.2)

Selected as a Journal Cover



1-8 「イネ由来キシラナーゼ阻害タンパク質 OsXIP とイネ立枯れ病菌 *Rhizopus oryzae* 由来 GH11 キシラナーゼ RXyn2 の結合に伴う分子配置」
大沼 貴之 近畿大学アグリ技術革新研究所

研究概要

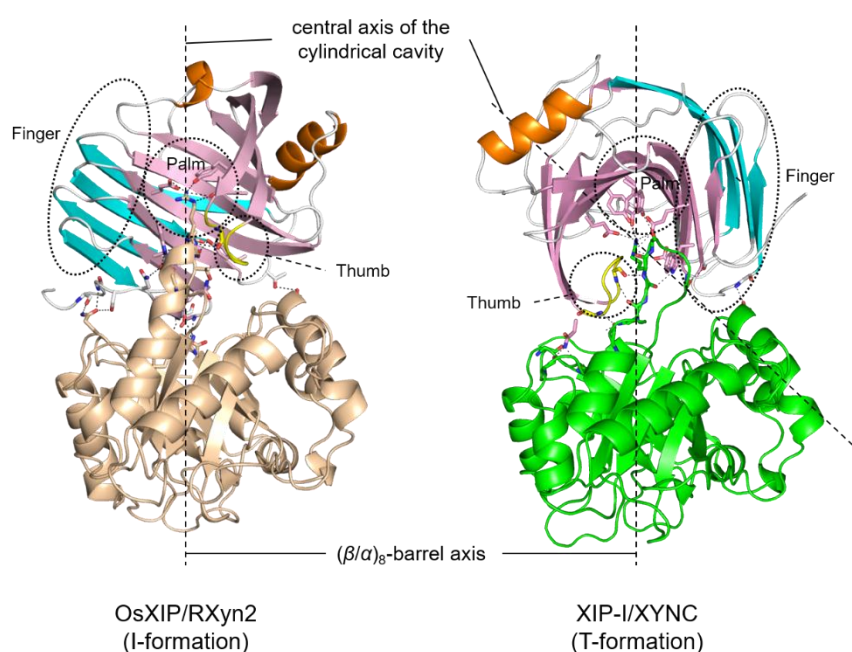
植物は移動による回避行動がとれないために、病原菌の感染に対して、生体防御タンパク質 (Pathogenesis-related protein) を用いた防御システムを備えている。生体防御タンパク質には、病原菌細胞壁の主成分であるキチンやグルカン等多糖の分解をもたらすために分泌される糖質加水分解酵素 (キシナーゼ、グルカナーゼ等) がある。同酵素の攻撃を受けた病原菌は溶菌され、感染が抑制される。我々はこの生体防御を植物の「攻めの抵抗性」と呼んでいる。一方病原菌への直接的作用による積極的な防御に加え、植物は病原菌が分泌する植物細胞壁分解酵素 (ペクチナーゼ、セルラーゼ、キシラナーゼ等) に対して、酵素活性を阻害する特異的阻害タンパク質の分泌による防御 (「守りの抵抗性」と呼んでいる) も行っている。

キシラナーゼ阻害タンパク質は、植物病原菌のキシラナーゼの加水分解活性を抑制する植物由来のタンパク質阻害剤である。これまでに、コムギ (*Triticum aestivum*) から、構造的に異なる 3 種類の阻害タンパク質、すなわちコムギキシラナーゼ阻害タンパク質タイプ (TAXI タイプ)、GH18 キチナーゼ様キシラナーゼ阻害タンパク質タイプ (XIP タイプ)、およびタウマチン様キシラナーゼ阻害タンパク質タイプ (TLXI タイプ) が同定されている。TAXI 型および TLXI 型は、真菌および細菌由来の GH11 キシラナーゼに対してのみ阻害活性を示すのに対し、XIP 型は、真菌由来の GH10 および GH11 キシラナーゼの両方を阻害するが、細菌由来のキシラナーゼに対しては阻害活性を示さないことが報告されている。XIP-I は、小麦粉から同定された最初の XIP 型阻害タンパク質であり、アスペルギルス・アワモリ (*Aspergillus awamori* var. *Awamori*) およびトリコデルマ・ヴィリデ (*Trichoderma viride*) 由来の GH11 酵素の活性を阻害する。また、*Aspergillus nidulans* 由来の GH10 キシラナーゼ (XLNC) や *Talaromyces funiculosus* 由来の GH11 キシラナーゼ (XYNC) など、さまざまな植物病原菌のキシラナーゼの活性を阻害することも報告されている。

本研究では、XIP 型キシラナーゼ阻害タンパク質を用いた植物病原菌に対するイネの生体防衛戦略を分子レベルの解像度で理解するために、イネ立枯れ病菌菌である *Rhizopus oryzae* (*R. oryzae*) 由来の GH10 および GH11 キシラナーゼ (RXyn1 および RXyn2) に対する OsXIP の阻害活性と相互作用能を評価し、さらに OsXIP および OsXIP/RXyn2 複合体の立体構造を決定することで、その阻害機構を解明した。

OsXIP の RXyn1 と RXyn2 に対する阻害活性を調べたところ、同タンパク質は GH11 の RXyn2 のみと結合し、そのキシラナーゼ活性を阻害した。コムギ XIP-I は、GH10 と 11 と安定な 1:1 複合体を形成して両酵素の活性を阻害することから、XIP には阻害特異性が異なるサブファミリーが存在することが示された。OsXIP と RXyn2 の複合体の立体構造を決定した結果、OsXIP の RXyn2 結合部位は (β/α)₈ バレル構造の下面にあり、 α -helix 4 と β -

strand 5 の間のループ (L α 4 β 5) が RXyn2 の基質結合クレフトに入り込み、基質結合サブサイト-3~-1 を塞いでいることがわかった。特に L α 4 β 5 上の Arg155 と RXyn2 の二つの酸性触媒基の間の塩橋の形成が、酵素活性の阻害に重要であることが示された。一方 RXyn2 の OsXIP 結合部位は Finger 領域の側面および Palm と Thumb 領域で形成されていた。興味深いことに OsXIP/RXyn2 複合体と XIP-I と *Talaromyces funiculosus* の GH11 である XYNC の複合体 (XIP-I/XYNC 複合体) を比較すると、両者の結合様式は明確に異なっていた (下図)。OsXIP/RXyn2 複合体では OsXIP の (β/α) $_8$ バレル構造の中心軸と、RXyn2 の基質結合クレフトに形成されている cylindrical cavity の中心が一直線上になるように両タンパク質が配置されていた (I-formation)。一方、XIP-I/XYNC 複合体ではそれぞれが直行するよう XIP-I と XYNC が配置され結合していた (T-formation)。この結果は OsXIP は XIP-I と異なる様式で GH11 キシラナーゼに結合し、その活性を阻害していることを示している。このことから、植物は多様な GH11 キシラナーゼに結合し阻害できるよう XIP の構造を変化させ、対応していることが示唆された。



OsXIP/RXyn2 複合体と XIP-I/XYNC 複合体の立体構造

論文情報

Ohnuma T, Tanaka J, Ozaki H, Mitsui K, Tsujitsugu D, Okugawa M, Takeda T, Ihara M, Fukamizo T, Takeshita D. Molecular arrangements that accompany binding of rice xylanase inhibitor protein OsXIP and the *Rhizopus oryzae* GH11 xylanase RXyn2. *J Biol Chem.* 2025 301(8):110385.
doi: 10.1016/j.jbc.2025.110385. (IF=4.1)

1-9 「静電気と顕微鏡技術を併用したメロンうどんこ病菌の農薬感受性に対する評価法の確立」

野々村 照雄 近畿大学農学部・アグリ技術革新研究所

研究概要

メロンうどんこ病菌日本分離菌株の単一菌叢に市販の殺菌剤を噴霧処理した後、静電気技術を利用して分生子（孢子）を回収することで、うどんこ病菌が殺菌剤に対して耐性を獲得しているか否かを量的に評価した。

メロンうどんこ病菌 (*Podosphaera xanthii*) は子の菌類に属するカビであり、メロンの葉、茎などに侵入・感染する植物病原菌である。さらに、本菌が宿主植物に感染すると「うどんこ病」を発症し、激しく感染すると良質な果実ができなくなり、かつ収穫量にも大きな影響を与えることから、農業上、重要な植物病原菌の一つとされている。一般的に、本病を防除するためには、化学農薬（殺菌剤）が使用されているが、国内外では、メチルベンゾイミダゾールカーバメート（ベノミルとチオファネートメチル）、脱メチル化阻害剤（フェナリモル、トリフォリン、トリアジメフォン、トリフルミゾール、ミクロブタニル、プロピコナゾール）、QoI 殺菌剤（アゾキシストロビン、クレソキシムメチル、トリフロキシストロビン）、コハク酸脱水素酵素阻害剤（ボスカリド）、シアノメチレンチアゾリジン（フルチアニル）、ベンゾイルピリジン（ピリオフェノン）などの殺菌剤に対する耐性菌の出現も報告されていることから、化学農薬のみに依存しない新たな防除法の開発が必要とされる。

筆者は、今まで罹病メロン葉からうどんこ病菌を単離した後、形態的、生理学および遺伝学的特徴に基づいて *Podosphaera xanthii* KMP-6N（以下、KMP-6N）と同定し、高解像能デジタル顕微鏡（以下、デジタル顕微鏡）を用いてメロン葉上での KMP-6N の感染挙動を解析してきた。また、うどんこ病菌による感染拡大を未然に防止するためには、うどんこ病菌の分生子放出様式を観察・解析する必要性があることから、静電気技術を利用して単一菌叢あたりの生涯分生子放出数を詳細に測定・解析してきた。ここで述べる静電気技術とは、導体（銅板）にマイナスの電荷を供給すると、帯電した導体によって絶縁体（絶縁板や絶縁性フィルム）は誘電分極（プラスとマイナスの二極化）し、その絶縁体の周りに不均一な静電場が形成される。その静電場内に分生子が入ると、クーロン力（引力、引き付ける力）によって誘電分極した絶縁体の表面に分生子が引きつけられる。メロンうどんこ病菌は宿主植物（メロン）に感染した後、菌叢（コロニー）を形成し、その菌叢内には、「分生子柄」と呼ばれる感染構造体が形成される。その分生子柄上には子孫分生子がつくられ、その分生子を放出・飛散させることで感染が拡大される（二次感染）。上記の静電気技術を利用して、メロンうどんこ病菌の単一菌叢から生涯放出される分生子数を計測したところ、平均 12.6×10^4 個（約 744 時間）の分生子を放出することが明らかとなった。

本研究では、KMP-6N の単一菌叢に 37 種類の市販の登録農薬（36 種類の化学農薬と 1 種類の生物農薬）を供試し、静電気技術を利用したうどんこ病菌の農薬感受性に対する新

たな評価法の確立を検討した。まず、メロン (*Cucumis melo* L. 品種‘アールスフェバリット’) の葉上にマイクロマニピュレーターに装着した微小ガラス針を用いて、KMP-6N の単一分生子を接種した後、7 日間培養して単一菌叢を形成させた。次に、使用濃度に希釈した登録農薬を菌叢全体に噴霧し、3日間、実験温室で培養した後、静電気分生子回収装置 (静電気板) を用いて単一菌叢から放出される分生子を静電捕集し、その回収された分生子の数をデジタル顕微鏡下で計測するとともに、回収 24 時間後に分生子の発芽率を計測した (表)。その結果、ペンチオピラドを含む 21 種類の農薬をそれぞれ噴霧処理した単一菌叢からは、分生子は静電回収されなかった。一方、16 種類の農薬をそれぞれ噴霧処理した単一菌叢からは分生子が静電回収され、これらの農薬に対して耐性を獲得している可能性が示唆された。特に、チオファネートメチルを含む 12 種類の農薬を処理された菌叢では、平均 50 個以上の分生子が静電回収され、その内 4 種類の化学農薬で発芽率が 20%以上を示した。このことから、KMP-6N の菌叢から回収される分生子数は、殺菌剤に含まれる化学成分の効果によって異なることが明らかになるとともに、KMP-6N は 4 種類の化学農薬 (チオファネートメチル、クレソキシムメチル、フェナリモルおよびトリフォリン) に対して強い耐性を獲得していることが明らかとなった。一方で、4 種類の化学農薬 (イソフェタミド、アゾキシストロビン、メパニピリムおよびポリオキシシン) で完全な菌叢生育抑制効果が確認されたが、3 種類の農薬 (クレソキシムメチル、ミクロブタン

表. 静電気技術を用いて農薬で処理されたメロンうどんこ病菌の単一菌叢から回収された分生子の数と発芽率、菌叢面積の測定

化学成分	処理濃度 ($\mu\text{g/mL}$)	単一菌叢から回収 された分生子数 (個)		分生子発芽率 (%)		菌叢面積 (mm^2)	
チオファネートメチル	466.6	710.4 $\pm$ 45.5	b	36.3 $\pm$ 9.2	c	17.3 $\pm$ 2.1	b
クレソキシムメチル	221	648.2 $\pm$ 37.5	b	55.4 $\pm$ 6.9	b	20.4 $\pm$ 2.8	ab
フェナリモル	12	684.0 $\pm$ 47.6	b	40.5 $\pm$ 5.3	c	11.6 $\pm$ 1.9	c
トリフォリン	90	428.0 $\pm$ 29.1	c	22.3 $\pm$ 2.4	d	11.4 $\pm$ 1.3	c
ポリオキシシン	100	0	e	測定不可		9.3 $\pm$ 2.4	d
イソピラザム	187	16.0 $\pm$ 6.3	d	0	e	11.6 $\pm$ 2.8	c
対照区 (水)	0	2010.2 $\pm$ 69.2	a	80.6 $\pm$ 3.3	a	27.9 $\pm$ 5.5	a

すべてのデータは10回の反復実験の平均と標準偏差で示された。
異なるアルファベットは有意差を示した ($p < 0.05$, チューキー法)。

ルおよび *Bacillus subtilis*) で対照区 (水処理) と同等な菌叢生育効果が確認された。

次に、クレソキシムメチル (221 $\mu\text{g/mL}$) を予め処理したメロン葉上に KMP-6N の分生子を接種したところ、接種後 3~5 時間で分生子が発芽し、接種後 6~8 時間で付着器が形成された。また、接種後 24 時間には、分生子から菌糸が形成され始め、その後、菌糸は葉上で伸長し続け、菌叢を形成した。接種後 5~6 日には、菌糸上に分生子柄が形成され始め、最終的に完全な分生子柄を形成した。その分生子柄上には新たな成熟分生子がつけられた。

最後に、農薬処理された KMP-6N の単一菌叢内の分生子柄形態を顕微鏡観察するために、生体染色を行った。その結果、その分生子柄の形態的特徴から 5 種類のタイプに分けられた(図)。例えば、ピリオフェノン処理では、70%以上で隔壁形成が見られない細長い形態を示す分生子柄、炭酸水素ナトリウムやノニルフェノールスルホン酸銅処理では、75%以上で細胞膜の分離が見られる分生子柄、また、炭酸水素カリウムやドデシルベンゼンスルホン酸ビスエチレンジアミン銅錯塩(II)処理では、72%以上で細胞膜の萎縮や顆粒状になった細胞をもつ分生子柄、さらに、イソピラザムやペンチオピラド処理では、48%以上で分生子柄の形態を維持しながらも、細胞内の細胞膜が完全に崩壊した分生子柄が観察された。このように、処理し

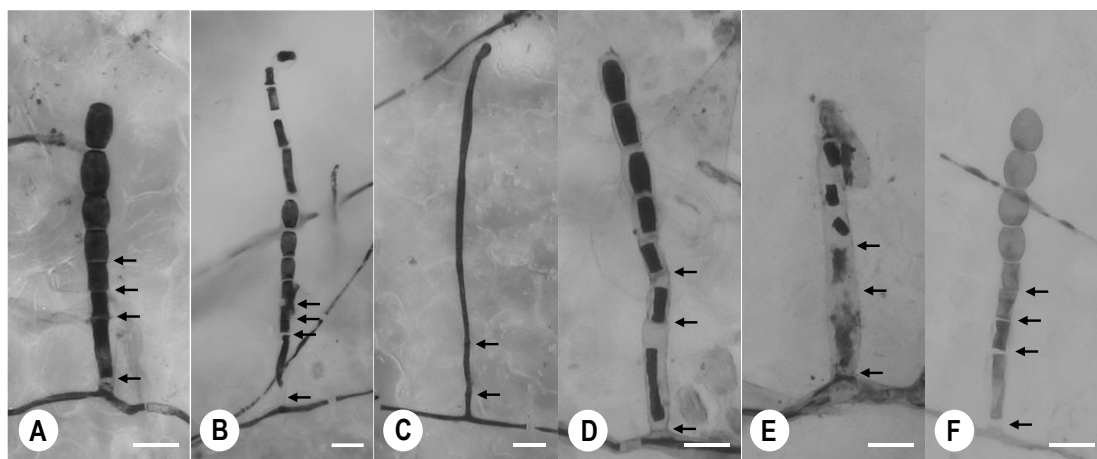


図. 農薬を処理されたメロンうどんこ病菌の単一菌叢内で観察された正常(A)および異常な(B~F)分生子柄の形態

A: 楕円形の胞子をもつ正常な分生子柄

B: 下半分で楕円形の胞子をもち、上半分で細長く、細胞膜の分離が見られた分生子柄

C: 隔壁が見られない線状の分生子柄

D: 細胞膜の分離が見られた分生子柄

E: 細胞膜の萎縮と顆粒状の細胞をもつ分生子柄

F: 細胞膜が完全に崩壊した分生子柄

スケールバーは、30μmを示す。

た農薬に対して KMP-6N の分生子柄は、異なる形態を示すことが明らかとなった。

以上のことから、本研究で得られた成果は、静電気技術を用いて単一菌叢から放出される分生子を回収した後、その数を計測・解析することによって、農薬耐性を示すうどんこ病菌に対する新たな評価法として期待される。さらに、従来のうどんこ病菌に対する農薬検定法に、本技術を加えることにより、より精度の高い農薬感受性検定を行うことが可能となる。今後は、遺伝子工学的手法を用いて、KMP-6N の農薬耐性機構を分子レベルで解析し、その標的遺伝子の変異部位などについて明らかにしていく予定である。

論文情報

Yamauchi, H., Yamamoto, S., Tamatani, N., Ando, S., Yamamoto, K., and Nonomura, T. Innovative assessment of the fungicide sensitivity of the melon powdery mildew fungus, *Podosphaera xanthii*, on host leaves using electrostatic and digital microscopy techniques.

Journal of Plant Pathology, (IF=2.3)

Published online: <https://doi.org/10.1007/s42161-025-01916-z>

1-10 「青色光および赤色光がイチゴうどんこ病菌の分生子放出、分生子柄形態および菌叢形成に及ぼす影響」

野々村 照雄 近畿大学農学部・アグリ技術革新研究所

研究概要

本研究では、青色光および赤色光がイチゴうどんこ病菌日本分離菌株の分生子（孢子）放出、分生子柄形態および菌叢形成に及ぼす影響について検討した。

イチゴうどんこ病菌 (*Podosphaera aphanis*) は、イチゴの葉、葉柄、果実、花托、ランナーおよび花などに感染する植物病原菌である。また、イチゴうどんこ病が植物 (*Fragaria* spp.) に激しく発生すると良質な果実ができなくなり、かつ収穫量にも大きな影響を与えるため、農業上、重要な植物病害の一つとされている。一般的に、本病を防除するためには、化学農薬（殺菌剤）が使用されているが、国内外では、チオファネート（チオファネートメチル）のようなメチルベンゾイミダゾールカーバメート（MBC 殺菌剤）、メトキシアクリレート（アゾキシストロビン）のようなミトコンドリア電子伝達系の複合体 III タンパク質阻害剤（QoI 殺菌剤）、そしてピペラジン（トリフォリン）、ピリミジン（フェナリモールとヌアリモール）、トリアゾール（ビテルタノール、ミクロブタニル、ペンコナゾール、テトラコナゾール、トリアジメフォン、トリアジメノール）のようなステロール脱メチル化阻害剤（DMI 剤）に対する耐性菌の出現も報告されていることから、化学農薬のみに依存しない新たな防除手段の確立が求められている。

筆者は、今まで罹病イチゴ葉からうどんこ病菌を単離した後、形態的、生理学的および遺伝学的特徴に基づいて *Podosphaera aphanis* KSP-7N（以下、KSP-7N）と同定し、高解像能デジタル顕微鏡（以下、デジタル顕微鏡）を用いてイチゴ葉上での KSP-7N の感染挙動を解析してきた。また、うどんこ病菌による感染拡大を未然に防止するためには、うどんこ病菌の分生子放出様式を観察・解析することが必須であるため、静電気技術（静電ドラム）を利用して単一菌叢あたりの生涯分生子放出数を詳細に測定・解析してきた。その結果、静電気技術を利用して、イチゴうどんこ病菌の単一菌叢から生涯放出される分生子数を計測したところ、平均 6.7×10^4 個（約 816 時間）の分生子を放出することが明らかとなった。イチゴうどんこ病菌は宿主植物（イチゴ）に感染した後、菌叢（コロニー）を形成し、その菌叢内には、「分生子柄」と呼ばれる感染構造体が形成される。その分生子柄上には子孫分生子がつくられ、その分生子を放出・飛散させることで感染が拡大される（二次感染）。

本研究では、イチゴうどんこ病菌日本分離菌株（KSP-7N）の単一菌叢にある特定の光波長[青色光、赤色光、青色光と赤色光の混合色光（以下、混合色光）、白色光および太陽光]を照射した後、菌叢生育と分生子柄からの分生子放出に及ぼす影響について検討した。まず、播種後 60 日目の健全なイチゴ幼苗 (*Fragaria* × *ananassa* Duchesne ex Rozier 品種‘さがほのか’)の葉上にマイクロマニピュレーターに装着された微小ガラス針を用いて、KSP-7N の単一分生子を接種した後、人工気象器内で 14 日間培養して単一菌叢を形成させた。次に、静電気分生子回収装置（静電気板）を用いて、接種後 14 日目の菌叢から、一旦、単一

菌叢から放出される子孫分生子を回収（静電捕集）した後、青色光（14.1～17.1 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ）、赤色光（13.1～18.4 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ）、混合色光（14.4～18.0 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ）、白色光（22.2 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ）照射下および太陽光（190.6～400.4 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ）と暗所下（0 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ）で 2 日間培養した。培養後、静電気板を用いて分生子を回収し、再度、回収された分生子数を計測するとともに、単一菌叢を生体染色して光学顕微鏡下で KSP-7N の分生子柄上に連なっている分生子数を計測した。その結果、青色光、混合色光、白色光および太陽光下では、多くの分生子が静電回収されたが、赤色光と暗所下では、ほとんど静電回収されなかった。また、赤色光と暗所下で静電回収された分生子発芽率は、他の光照射下での分生子発芽率に比べ、顕著に低かった。一方で、分生子の静電回収後、分生子柄上に連なった分生子の数を計測したところ、青色光照射では分生子柄上に 6 個程度の分生子が、赤色光照射では最大 15 個の分生子が、混合色光では 10 個程度の分生子が連なっていた。次に、青色光または赤色光照射下で培養した KSP-7N の菌叢から微小操作技術で単一分生子柄をそれぞれ回収した後、イチゴ葉に接種した。その結果、青色光照射下から回収した分生子柄上の分生子からは発芽が観察されなかったが、赤色光照射下から回収した分生子柄からは分生子発芽が観察され、さらに新たな分生子柄をもつ菌叢が形成された（図）。このことから、赤色光照射下では、分生子柄上の分生子は発芽能力をもった状態で、子孫分生子を放出することなく、連なっていることが明らかとなった。

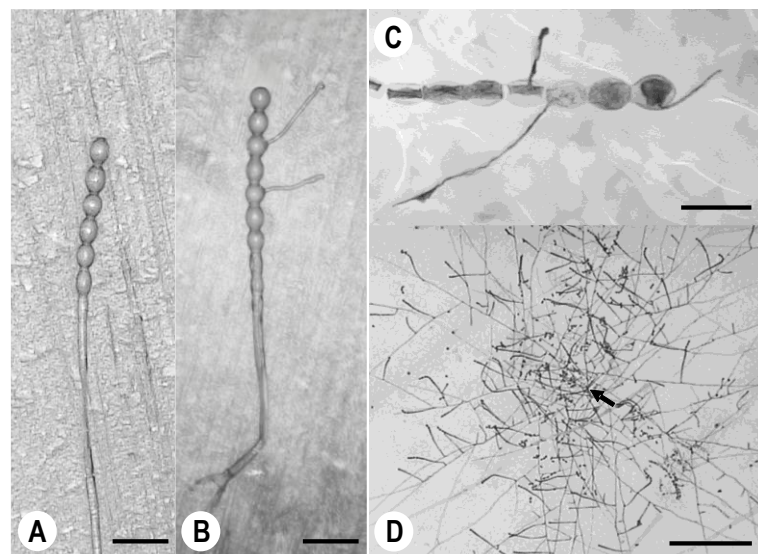


図. 青色光および赤色光照射されたイチゴうどんこ病菌の分生子柄からの分生子発芽と菌叢形成

- A: 青色光照射された単一分生子柄を疎水膜（パラフィルム）上に接種したデジタル顕微鏡写真
 - B: 赤色光照射された単一分生子柄を疎水膜（パラフィルム）上に接種したデジタル顕微鏡写真
 - C: 赤色光照射された単一分生子柄がイチゴ葉上で発芽した光学顕微鏡写真
 - D: 赤色光照射された単一分生子柄がイチゴ葉上で菌叢を形成させた光学顕微鏡写真
- スケールバーは、60 μm (AとB)、40 μm (C) および 600 μm (D) を示す。

次に、KSP-7N の単一分生子をイチゴ葉上に接種した後、各光波長条件下で連続照射された。その後、KSP-7N の分生子発芽率、菌糸長、菌叢面積、正常な分生子柄数および静電

回収された分生子数が測定された(表)。まず、各光波長条件下では、KSP-7N 分生子は、それぞれ接種 4~5 時間後に発芽し、接種 6~8 時間後に付着器を形成した。また、接種 24 時間後に分生子発芽率を測定したところ、各光波長条件下で約 30~40%であり、有意差検定の結果、ほとんど相違(有意差)はなかった。次に、接種3日後に菌糸長を測定したところ、青色光、混合色光照射下および太陽光下よりも、赤色光照射下と暗所下の方が、短かった。次に、接種 10 日後に単一菌叢内での正常な分生子柄の数と静電回収された分生子の数を測定したところ、青色光、混合色光照射下および太陽光下よりも、赤色光照射下と暗所下の方が、正常な分生子柄の数と静電回収された分生子の数は少なかった。また、青色光、赤色光および混合色光照射された単一菌叢から静電回収された分生子の発芽率を計測したところ、約 2%程度であり、白色光照射下と太陽光下(約 20%の分生子発芽率)に比べ、顕著に低かった。最後に、接種 14 日後に菌叢面積を測定したところ、青色光、混合色光照射下および太陽光下よりも、赤色光照射下と暗所下の方が小さかった。このことから、青色光照射に比べ、赤色光照射で KSP-7N の生育に対して高い抑制効果を示すことが明らかとされた。

表. 青色光および赤色光がイチゴうどんこ病菌の菌叢形成に及ぼす影響

光照射条件	分生子発芽率 (%) ¹⁾	菌糸長 (mm) ²⁾	菌叢面積 (mm ²) ³⁾	正常な分生子柄数(本) ⁴⁾	単一菌叢から回収された分生子数(個) ⁵⁾	分生子発芽率 (%) ⁶⁾
青色光	35.7±3.7 a	0.83±0.25 a	16.4±3.7 a	455.3±89.5 ab	817.6±59.6 a	2.1±1.0 b
赤色光	40.3±4.2 a	0.25±0.10 b	1.0±0.2 c	74.2± 9.7 c	26.2± 9.2 c	1.4±1.2 b
混合色光 (青色光+赤色光)	38.3±3.3 a	0.75±0.19 a	14.4±2.1 ab	422.8±77.8 ab	759.4±57.7 ab	2.4±1.4 b
白色光	31.0±4.8 a	0.65±0.10 a	11.0±2.1 b	363.0±33.6 b	658.8±51.5 b	20.2±2.3 a
太陽光	33.6±2.9 a	0.75±0.12 a	17.5±3.4 a	485.2±73.1 a	819.6±92.9 a	19.0±5.2 a
暗所	32.7±4.3 a	0.24±0.02 b	1.3±0.3 c	51.8±18.1 c	16.2± 5.7 c	0 c

1) 分生子接種24時間後に算出された。1回の実験で100個の分生子を使用し、5回の反復実験の平均と標準偏差で示された。

2) 分生子接種3日後に測定された。20個の菌叢の平均と標準偏差で示された。

3) 分生子接種14日後に測定された。10個の菌叢の平均と標準偏差で示された。

4) 分生子接種後10日目の菌叢で測定された。10個の菌叢内の分生子柄数の平均と標準偏差で示された。

5) 分生子接種後10日目の菌叢で測定された。10個の菌叢で回収された分生子数の平均と標準偏差で示された。

6) 分生子回収24時間後に算出された。10回の菌叢を使用し、10回の反復実験の平均と標準偏差で示された。

異なるアルファベットは有意差を示した($p < 0.05$ 、チューキー法)。

本研究により、青色光と赤色光照射間でイチゴうどんこ病菌日本分離菌株(KSP-7N)の分生子柄形態や分生子柄から放出される子孫分生子の数に顕著な相違が見られたことから、本菌はある特定の光波長に対して影響を受けるとともに、光感応性をもっていることが明らかとなった。一方で、赤色光を照射されたイチゴ植物体は、アントシアニン合成や植物病原菌(例えば、灰色カビ病菌)に対する防御効果を促進することが報告されている。本研究では、KSP-7Nの菌叢生育と分生子放出が、赤色光照射下で顕著に抑制されることを明らかにした。以上のことから、本研究成果は、赤色光が夜間に一定期間、イチゴ植物体に適用されることにより、イチゴ果実の品質や収穫量を向上させるとともに、新たなうどんこ病の防除法の確立に繋がるものと期待される。

論文情報

Miyashita, M., Hayashi, E., Kibe, H., Shibata, K., Kurokawa, M., Ishii, S., and Nonomura, T. Effects of blue and red light on conidial release, conidiophore morphology, and colony development in strawberry powdery mildew.

Phytoparasitica, 54(15), (IF=1.6)

<https://doi.org/10.1007/s12600-025-01346-8>

1-11 「深海由来微生物 *Serinicoccus marinus* KDM482 が生産する新規 amino-naphthoic acid 二量体」

福田 隆志 近畿大学農学部・アグリ技術革新研究所

研究概要

深海由来微生物から継続的な有用物質の探索研究において、我々は *Serinicoccus marinus* KDM482 の培養液から seriniquinone (SQ) を単離した。SQ の構造は中心のチオフェン環に 2 つのベンゾキノン基が結合した対称体である (Fig. 1)。この特徴的な骨格を構築する *S. marinus* KDM482 の生合酵素への興味に基づき、培地に 3-amino-2-naphthoic acid (3-A-2-N) を添加した新規化合物の創製実験を行った。その結果、3-A-2-N の二量体である新規化合物 1 および 2 が創製された (Fig. 1)。

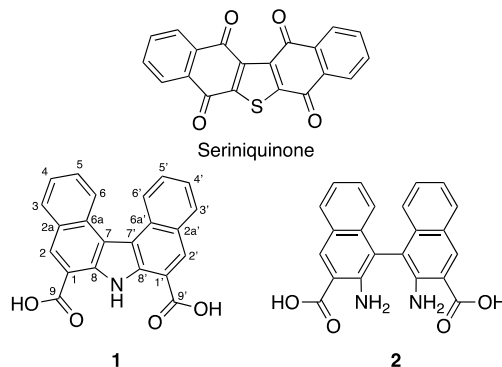


Fig.1 Structures of seriniquinone and new compounds 1 and 2.

背景

これまでに陸上の動物、植物、微生物、さらに近年になり一部海洋生物などから新しい有用天然物が発見されてきた歴史がある。これらの構造的にも多様な天然物は、全合成や生合成研究、生物活性の評価、作用機序の解明など、広範な研究に寄与してきた。さらに最近ではクロマトグラフィーや分光技術の進歩により、新規骨格を持つ代謝物の単離と構造の解明が大幅に容易になった。しかし実際は、新規化合物の発見数は徐々に低下している。すなわち、構造的にユニークな天然物を特定するには、新しい生物資源と革新的なアプローチの研究が不可欠と考えられる。このような背景のもと、最近になり海洋微生物が多様な二次代謝物の魅力的な供給源として注目された。陸上とは大きく異なる海洋環境の物理化学的条件により、海洋微生物は構造的にも生物学的にも特徴的な化合物を産生すると期待されている。その中でも特に深海は、暗闇、高水圧、そして貧栄養を特徴としており、このような特殊な環境に生息する深海微生物は、独自の代謝能力を進化させたと考えられている。したがって、これらの深海微生物が持つ酵素は、新規化合物の創製のための貴重な生体触媒ツールとなると推察される。そこで、特異的な構造を有する二次代謝産物を生産する微生物を探索し、それらが有する酵素を利用した新規化合物の創製研究を行った。その結果、*S. marinus* KDM482 の酵素群を用いることで試薬である 3-amino-2-naphthoic acid (3-A-2-N) の新規二量体化合物の創製に成功した。

結果および考察

KDM482 株の菌学

KDM482 株は、2022 年に静岡県駿河湾の水深 300 m で採集された深海生物より分離された。この株は寒天培地上で、黄色のしっとりとした形態を示す (図 2)。本菌株は 16 S rRNA 遺伝子解析により、*Serinicoccus marinus* と同定された (Fig. 2)。



Serinicoccus marinus KDM482 was isolated from a deep-sea organisms collected in Suruga bay in 2022.

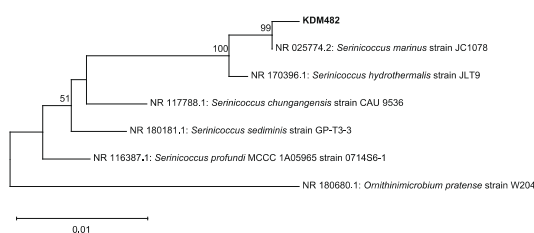


Fig. 2 Image depicting the deep-sea-derived *G. S. marinus* KDM482 growing on a nutrient agar surface and Neighbor-joining tree of 16S rRNA gene sequence of strain KDM482.

Bootstrap values above 50% (based on 1,000 replicates) are shown next to the branches. *Ornithinimicrobium pratense* strain W204 is used as an outgroup. The scale bar represents 1.0% estimated divergence.

新規 3-A-2-N の二量体 (1 および 2) の創製と単離精製

KDM482 株を種培養後、生産培地 (天然海水中 1.0% 可溶性デンプン、0.4% 酵母エキス、0.2% ペプトン、0.1% CaCO_3 、0.004% $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 、0.01% KBr、0.01% 3-A-2-N) 300 ml を入れた 2 L 三角フラスコ (8 本) にそれぞれ植菌した。27°C、180 rpm で 15 日間振盪培養した後、アセトンで抽出した。溶媒を留去後、HCl を加え pH 3 に調整し、さらに酢酸エチルを用いて抽出を行った。得られた抽出物 (369 mg) は InertSepTMSI (5 g/20 mL) を用いて、100% CHCl_3 、25 : 1、10 : 1、5 : 1、1 : 1 (v/v) CHCl_3 -MeOH および 100% MeOH (各 20 mL) で段階的に溶出させた。得られた画分 3 (CHCl_3 : MeOH = 25 : 1 溶出画分、60.7 mg) を HPLC を用いて精製し、保持時間 30.0 分および 16.4 分のピークを繰り返し集めて濃縮することで、化合物 1 (0.7 mg) および 2 (2.1 mg) を得た。

新規化合物 1 および 2 の構造決定

化合物 1 の物理化学的性質を Table 1 にまとめた。UV スペクトルでは、250、281、381 および 400 nm に吸収極大を示した。IR スペクトルでは、3374 および 1676 cm^{-1} にカルボン酸の吸収が見られた。

化合物 1 は緑色の粉末として得られた。高分解能 ESI-MS 測定により、化合物 1 の分子式は $\text{C}_{22}\text{H}_{13}\text{NO}_4$ ($[\text{M} + \text{H}]^+ m/z$ 356.0918、計算値 $[\text{M} + \text{H}]^+ 356.0923$) と決定され、不飽和度は 16 であった (Table 1)。 ^{13}C NMR スペクトルでは 11 本のシグナルが示され、分子式より対称構造であることが示唆された。またそれらシグナルは対称構造を考慮し、10 つつの sp^2 メチン炭素、10 個の sp^2 四級炭素、2 つのカルボニル炭素 (C-9 および C-9') に分類された。また化合物 1 の ^1H NMR スペクトルでは、5 種類のオレフィンメチンシグナル、1 つの NH シグナルおよび 1 種類の OH のシグナルが観測された (Table 2)。すべてのプロトンお

Table 1 Physico-chemical properties of compounds 1 and 2

	1	2
Appearance	Colorless amorphous	Pale yellow amorphous
Molecular formula	$\text{C}_{22}\text{H}_{13}\text{NO}_4$	$\text{C}_{22}\text{H}_{16}\text{N}_2\text{O}_4$
Molecular weight	355	372
HR ESI MS m/z	$(\text{M} + \text{H})^+$	$(\text{M} + \text{H})^+$
Calcd	356.0923 (for $\text{C}_{22}\text{H}_{14}\text{NO}_4$)	373.1188 (for $\text{C}_{22}\text{H}_{17}\text{N}_2\text{O}_4$)
Found	356.0918	373.1193
MeOH		
UV λ_{max} nm	250, 281, 381, 400	254, 292, 410
IR ν_{max} (KBr) cm^{-1}	3374, 2920, 2851, 1676	3466, 2916, 2849, 1688

よび炭素原子の結合は、HMQC データによって決定された (Table 2)。また ^1H - ^1H COSY および HMBC データの解析により、Fig. 3 に示す相関が確認された。分子式および本化合物が対称体であることを考慮し化合物 1 を Fig. 1 に示す構造と推定した。

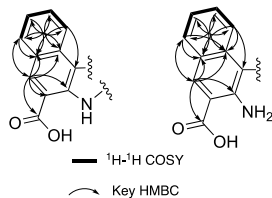


Fig. 3 ^1H - ^1H COSY and key HMBC correlations of compounds 1 and 2.

Table 2 NMR spectroscopic data for 1 and 2 in DMSO- d_6

position	1		2	
	δ_c^a	δ_H^b mult (J in Hz)	δ_c^a	δ_H^b mult (J in Hz)
1,1'	115.1, C		115.2 C	
2,2'	131.3, CH	8.75, s	134.3, CH	8.67, s
2a,2a'	128.8, C		125.9, C	
3,3'	131.6, CH	8.35, d (8.0)	130.7, CH	7.93, d (8.0)
4,4'	124.5, CH	7.63, t (7.5)	122.3, CH	7.16, t (7.5)
5,5'	128.9, CH	7.88, t (7.5)	129.5, CH	7.22, t (7.5)
6,6'	124.6, CH	9.07, d (8.5)	123.6, CH	6.69, d (8.5)
6a,6a'	130.9, C		136.4, C	
7,7'	117.5, C		112.4, C	
8,8'	135.1, C		145.2, C	
8,8'-NH		12.29, brs		
8,8'-NH ₂				4.14, brs
9,9'-COOH	168.4, C	13.80, brs	170.2, C	12.00, brs

Assignments made by interpretation of COSY, HSQC and HMBC NMR data.
^a125 MHz. ^b500 MHz.

化

化合物 2 の構造も同様に解析しその構造を Fig. 1 に示すように推定した。

さらに推定した構造を確かめる目的で化合物 1 の TMS ジアゾメタンを用いたメチル化反応を行った。その結果、MS 解析より 2 つのメチル基の導入が確認され、化合物 1 が構造中に 2 つのカルボン酸を有していることが証明された。この結果は、本推定構造をよく支持していた。

新規化合物 1 および 2 の生物活性

3-A-2-N、化合物 1 および 2 の Malme-3M 細胞および Jurkat 細胞に対する抗がん活性を MTT 試薬を用いて評価した。3-A-2-N は 1600 μM で抗がん活性を示さなかった。また化合物 1 は、それぞれ 165 および 287 μM の IC₅₀ 値で弱いながら抗がん活性を示した。一方で、化合物 2 は 300 μM で両細胞に対して抗がん活性を示さなかった。

考察

本研究では、深海生物由来 *S. marinus* KDM482 の酵素群を用いて 3-A-2-N の二量体を簡便かつ安全に創製することに成功した。それら化合物は、単量体である 3-A-2-N が有していなかった抗がん活性を新たに有することが明らかとなった。

最近の研究により、深海微生物の中に D-アミノ酸を積極的に利用している種がいることが判明した (Kubota T., *et al*, *Front. Microbiol.* 7: 511, 2016)。アミノ酸は、さまざまな生体反応を司る酵素の部品であり、これまで知られている酵素は 20 種の L-アミノ酸によって構成されている。ところがこの報告により、深海域では D-アミノ酸を構成アミノ酸とするこれまでに全く知られていない酵素が存在している可能性が示唆された。よって今回のような研究は、深海微生物が有するポテンシャル (酵素や遺伝子) を明らかとし、深海微生物の新たな医療技術やバイオテクノロジー開発へ応用されると期待される。

[論文情報]

Mai Sakaguchi, Katsuki Kikuchi, Ryota Okamura, Akito Taniguchi, Kenichiro Nagai, Reiko Seki, Masashi Ando, Teruyoshi Tanaka, Takashi Fukuda. *J. Antibiot.* **78**: 573-576 (2025)
<https://doi.org/10.1038/s41429-025-00845-4>

1-12 「セントポーリアにおけるアントシアニン着色の不安定性の原因となる単一の MYB 遺伝子の転写選択性」

細川 宗孝 近畿大学アグリ技術革新研究所

研究概要

セントポーリア（アフリカスミレ）の花弁に見られる着色の不安定性と、白縞模様（pinwheel）の形成メカニズムを分子レベルで解明した。これまで白縞模様は細胞層の遺伝的構成が異なる「周縁キメラ」によるものと考えられてきたが、本研究により、実際には単一の MYB 転写因子遺伝子である *SiMYB2* のエピジェネティックな制御と、それに伴う転写選択性が原因であることが明らかになった。組織培養による再生個体の分析や全ゲノムバイサルファイトシーケンスを用いたメチル化解析により、非着色部では *SiMYB2* の第 2 エキソンが高度にメチル化されており、非機能的な短鎖型の転写産物（*SiMYB2-Short*）が優先的に生成されることが判明した。一方、着色部ではメチル化が低く、機能的な長鎖型（*SiMYB2-Long*）が発現し、アントシアニン合成を活性化する。本研究は、花弁の模様形成において、細胞層ごとにエピジェネティックな状態が異なる「エピジェネティック周縁キメラ」という新しい概念を提案するものである。

結果と考察

組織培養による着色パターンの変異と不安定性 ピンク色の花弁を持つ系統‘Kilauea’ Pink (KP) の葉から組織培養を行ったところ、96.6%は親と同様のピンク個体であったが、1.0%に白色個体 (KW)、0.4%に白縞個体 (KWS) が出現した（図 1）。興味深いことに、白色個体として開花した株が、栽培を続けるうちに白縞や完全なピンク色の花を咲かせる「先祖返り」現象が確認された。この表現型の可逆性は、着色パターンが不可逆的な塩基配列の変化（遺伝子突然変異）ではなく、可逆的なエピジェネティックな制御を受けていることを強く示唆している。

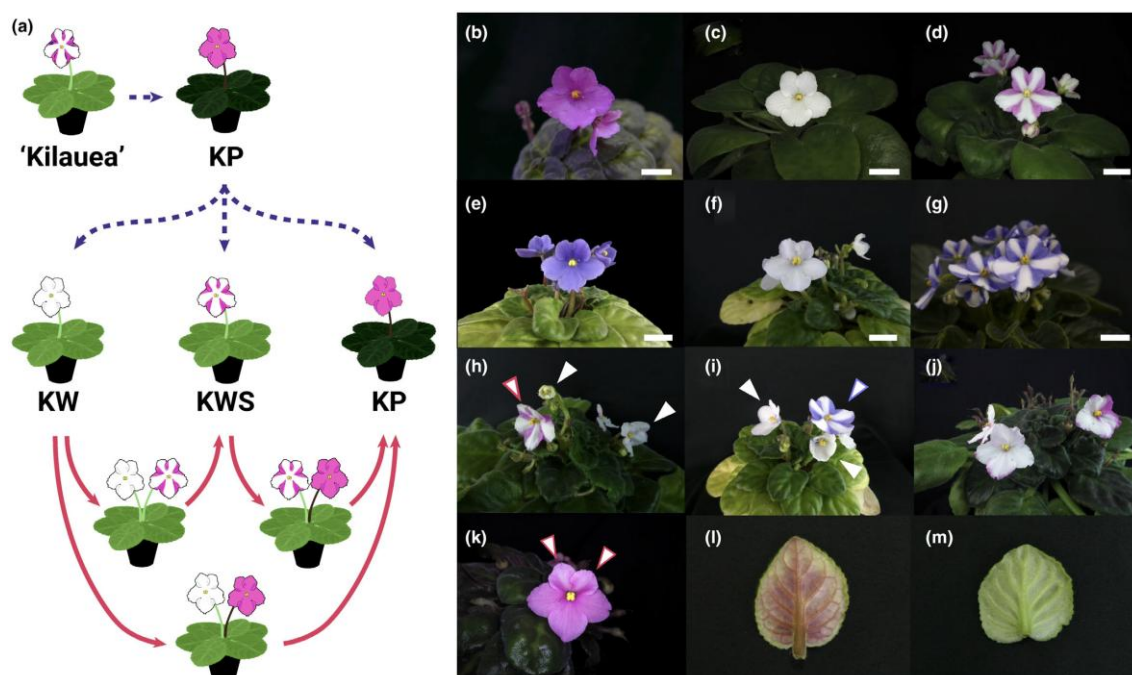


図 1. セントポーリア‘Kilauea’における組織培養および栽培中の花色変異

(a)キラウエアで見られる花模様の可逆性。組織培養を経て様々な模様が生じ、失われる。周縁キメラであると報告されてきたが、周縁キメラでは説明は不可能。(b)～(m) 本実験で用いた単色品種と模様品種。一部の品種では生育中に模様が失われたり(h, i の矢印)、出現したり(k の矢印)、という現象が見られる。葉裏のアントシアニン着色は花の着色と連動するため、着色遺伝子のスイッチは花で特異的に発現するものではなく、植物体全体のスイッチングであろうと考えられた。

アントシアニン合成を制御するエピアレル *SiMYB2* の同定

着色部 (KP) と非着色部 (KW) の花弁を用いた RNA-seq 解析の結果、アントシアニン合成系遺伝子群 (*SiCHS*, *SiDFR*, *SiANS* など) の発現が KW で著しく低下していることが分かった。これらの上流で制御を担う転写因子を探索したところ、MYB 転写因子である *SiMYB2* が、非着色部でむしろ高い発現を示すという特異な挙動を示した。全ゲノムバイサルファイトシーケンス (WGBS) によるメチル化解析の結果、*SiMYB2* の第 2 エキソン領域において、非着色部 (KW) は着色部 (KP) よりも高い DNA メチル化 (特に CHG および CHH コンテキスト) を示した (データ略)。このことから、*SiMYB2* が着色の不安定性を支配する「エピプレル (エピジェネティックな対立遺伝子)」であることが特定された。

転写選択性とトランスポゾンの関与

詳細な解析により、*SiMYB2* 遺伝子座からは 2 種類の転写産物が選択的に生成されていることが判明した。*SiMYB2*-Long は第 1、2、4 エキソンからなり、機能的な MYB ドメインを

持ち、着色部で優先的に発現する。一方で、*SiMYB2-Short*はトランスポゾン様配列に由来する第3エクソンと第4エクソンからなり、MYBドメインの一部を欠く非機能的なタンパク質をコードする。非着色部で特異的に発現する。タバコを用いた一過的発現解析（一過的アッセイ）により、*SiMYB2-Long*はアントシアニン合成を強く活性化するが、*SiMYB2-Short*にはその機能がないことが証明された。安定して着色する品種では第3エクソンを含む約2.5kbの領域がなく、*SiMYB2-Short*が生成されないことが明らかになった。この領域には末端逆向き反復配列（TIR）を持つトランスポゾン様配列が含まれており、この配列の挿入がセントポーリアに「着色の不安定性」という新しい園芸的形質をもたらしたと考えられる。

縞模様形成の新モデル：エピジェネティック周縁キメラ

本研究の結果に基づき、白縞模様の形成に関する新しいモデルを提案した。着色個体：全ての細胞層で *SiMYB2* が脱メチル化されており、*SiMYB2-Long* が発現している。非着色個体：全ての細胞層で *SiMYB2* が高度にメチル化されており、非機能的な *SiMYB2-Short* のみが発現している。白縞個体：表皮（L1層）では脱メチル化状態が維持されて着色するが、内部組織（L2層以下）ではメチル化によって着色が抑制されている。この状態が「エピジェネティックな周縁キメラ」として維持されることで、安定した縞模様が形成されるのではないだろうか（図2）。

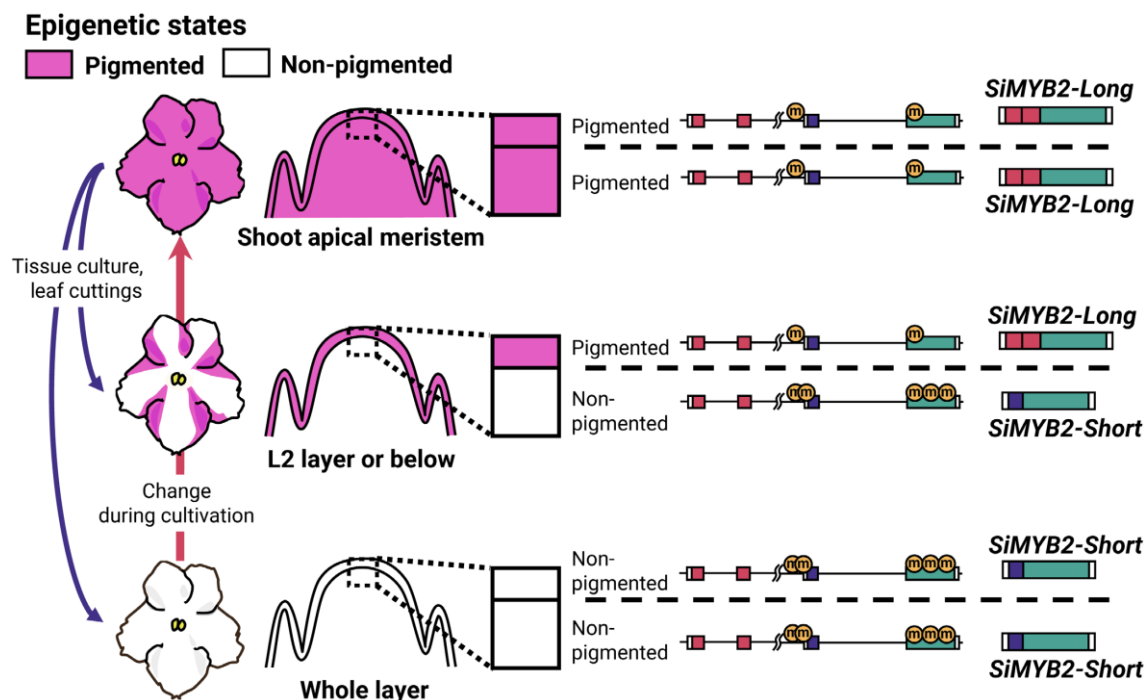


図2. セントポーリアにおける模様形成が周縁キメラのような挙動をする原因の考察

L1層とL2層でエピジェネティックな状態が異なり、“エピジェネティックな周縁キメラ”を作っているのではないかと推定される。L1層とL2層の間でエピジェネティック状態を制御する何らかのコミュニケーションがあるかどうかなどは今後の課題。

今後に向けて

本研究は、長年謎であったセントポーリアの着色パターンの不安定性が、トランスポゾンの挿入を受けた単一の MYB 遺伝子のエピジェネティックな制御によるものであることを解明した。ただし、これは一つの謎解きに過ぎない。

花卉は園芸植物の中でも人間の感性を反映した遺産であると言える。人間が古来よりどのような美しさを求めてきたのか、花卉園芸学はその疑問に答える必要がある。そのような美しさを制御する遺伝子を一つずつ解明できる材料としてセントポーリアをモデル植物化してきた。現在、多くの解析すべき対象が維持されてきており、ATIRI において“Flower domestication”の拠点形成を目指したい。

論文情報

Kurata, D., Tsuzaki, T., Tatsuzawa, F., Shirasawa, K., Hirakawa, H., and Hosokawa, M.**

Unstable anthocyanin pigmentation in *Streptocarpus* sect. *Saintpaulia* (African violet) is due to transcriptional selectivity of a single *MYB* gene.

New Phytologist (2025) 247: 1426–1444. (IF = 9.4)

<https://doi.org/10.1111/nph.70286>

1-13 「ピレスリン生合成阻害剤の構造活性相関」

松田 一彦 近畿大学アグリ技術革新研究所

研究概要

除虫菊が生産する天然殺虫剤ピレスリン(図1)は、生分解性で、ヒトに対する毒性が極めて低いことから、近年需要が増大している。この状況をふまえて本殺虫剤を増産するには、生合成経路の調節機構を深く理解することが必須である。

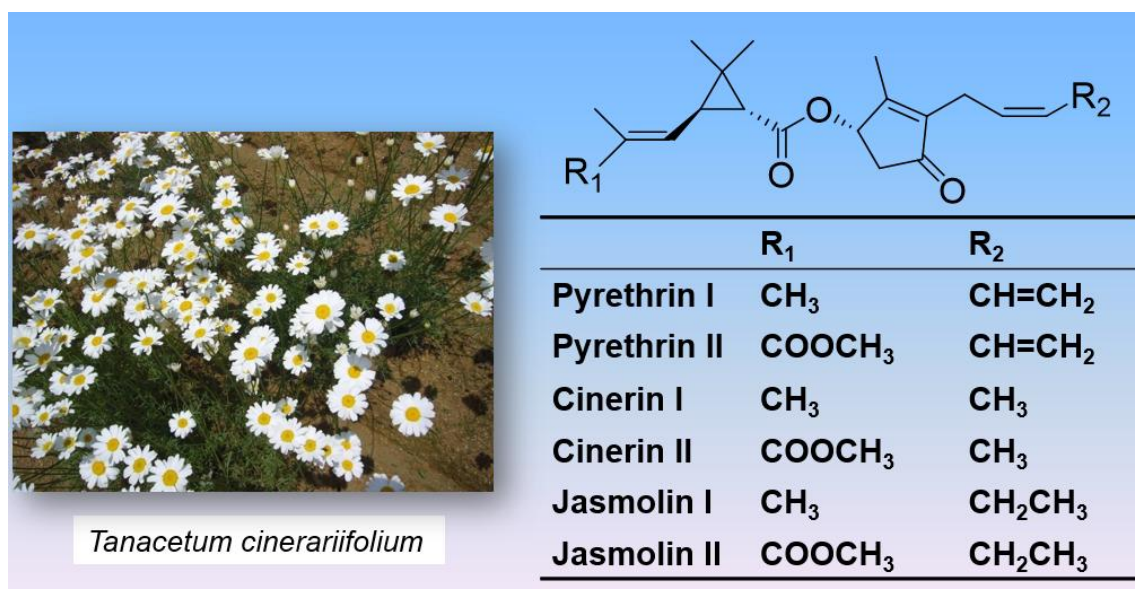


図1. 6種の類縁体からなる天然殺虫剤ピレスリン。

ピレスリンは非メバロン酸経路で生合成されるモノテルペンカルボン酸‘菊酸’の CoA エステルとオキシリピン経路で生合成されるケトアルコール‘レスロロン’とが GDSL エステラーゼ・リパーゼに属する TcGLIP により基質として利用され、生成する。この生合成最終段階を担う TcGLIP の触媒速度決定機構や基質認識機構を解明するため、本酵素を不可逆阻害する(図2)ホスホン酸エステル類を合成した(図3)。TcGLIP 阻害活性と当該阻害剤との関係を検討した結果、リン原子の絶対配置によらず、レスロロン側鎖に共役ジエン構造が存在すると活性がとりわけ高くなることが明らかになった。



図2. パラニトロフェニル基をもつホスホン酸エステルによる TcGLIP の不可逆阻害

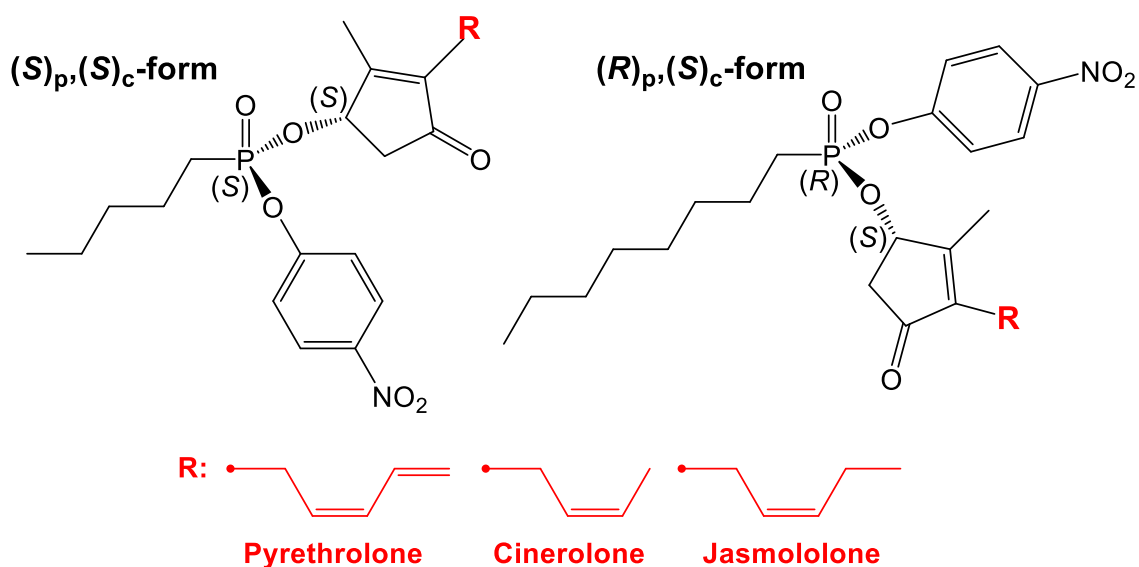


図 3. *n*-ペンチル基または *n*-オクチル基をもつ TcGLIP 阻害剤の合成

これらの阻害剤が不可逆阻害した状態の TcGLIP のモデルを構築したところ、当該共役ジエン構造は本酵素の触媒部位入口付近に存在する数種の芳香族アミノ酸と相互作用することが推測された。そこで、これらのアミノ酸をアラニンに置換したところ、TcGLIP のピレスリン合成活性は著しく低下した。

以上の研究により得られた情報は、さらに高活性な阻害剤の設計に有用と考えられる。なお、阻害剤を改良した成果については、助成金研究成果報告書で詳述する。

論文情報

Kurosawa T., Matsuo N., Takemoto K., Murai A., Ihara M., Tanabe Y., and Matsuda K. Synthesis and structure-activity relationship of phosphonate esters with (*S*)-cinerolone and (*S*)-jasmololone as irreversible inhibitors of the GDSL esterase/lipase TcGLIP to study pyrethrin biosynthesis. ACS Omega 10(19):19436–19443 (2025). doi: 10.1021/acsomega.4c11003. (IF=5.2)

1-14 「黒潮・親潮混合域における銀化ニホンウナギの日周鉛直移動に対する低温環境の影響」

渡邊 俊 近畿大学アグリ技術革新研究所

研究概要

ポップアップタグ(PSAT)を装着したニホンウナギの産卵回遊を追跡し、黒潮・親潮混合域における低水温環境が日周鉛直移動に及ぼす影響を調べた。

本研究では、黒潮域におけるニホンウナギの産卵回遊行動の解明を目的とした調査船「淡青丸」(JAMSTEC)の航海(航海番号:KT-10-29、期間:2010年12月11日~22日、図1)において、銀化(川から海へ移動するために形態変化)したニホンウナギ10個体にポップアップタグ(X-Tag, Microwave Telemetry 社製;全長12.2 cm, 直径3.3 cm, 空中重量45 g)を装着し、放流した。

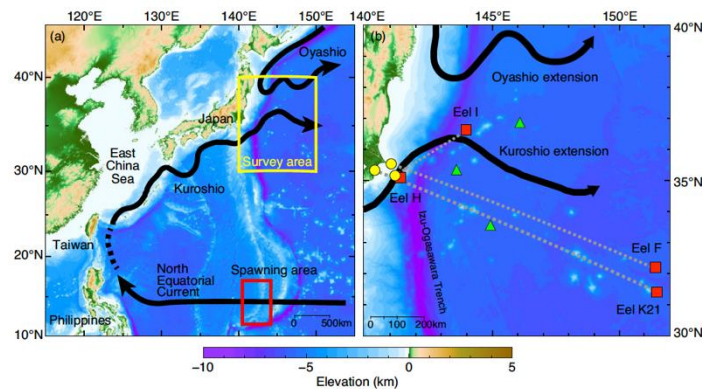


図1 ニホンウナギの追跡海域

(a) ニホンウナギの仔魚は、産卵場(赤枠)から北赤道海流および黒潮によって運ばれ、東アジアの成育場へと到達する。

(b) 調査海域とニホンウナギの放流地点(●)および各PSATの浮上位置(■)。

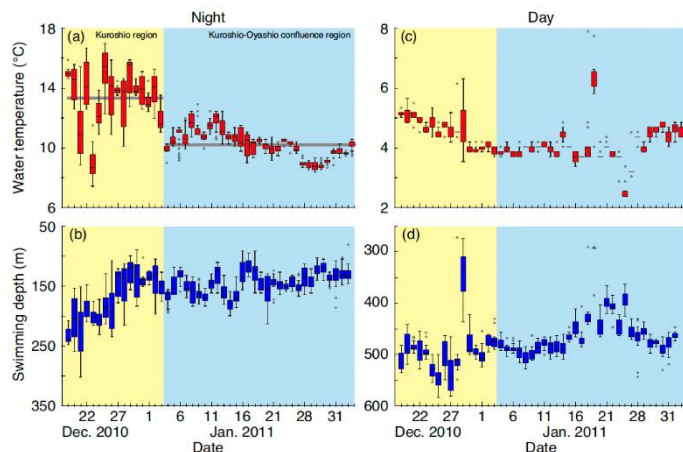


図2 夜間(a, b)および昼間(c, d)におけるEel-Iの経験水温(a, c)と遊泳水深(b, d) 黄色は黒潮域、水色は黒潮・親潮混合域を示し、この範囲は夜間の経験水温に基づいて区分した。パネルaの灰色の水平線は、それぞれの海域における平均経験水温を示す。

放流した10個体中3個体から追跡データが得られ、そのうち2個体(Eel-F, Eel-I)では明瞭な日周鉛直移動が確認された。Eel-Iは黒潮・親潮混合域へ移動すると、それまでよりも浅い水深を利用ようになった(図2)。また、遊泳水深と経験水温との間には負の相関が

認められ、水温が低下するほど浅い水深を選択する傾向が示された。

さらに、日周鉛直移動は水温だけでなく、太陽高度、月齢、月高度などの光環境とも密接に関連していた。低水温環境では、上昇開始時刻は早まり、下降開始時刻は遅くなる傾向が認められ、水温は遊泳水深だけでなく、日周鉛直移動のタイミングにも影響を及ぼすことが示唆された。

以上の結果から、光刺激はニホンウナギの潜行を誘発し、水温刺激は浮上を促すことで、これら2つの環境要因への応答によって日周鉛直移動が調節されるという仮説(図3)を提案するに至った。昼間は明るさによる捕食リスクを避けるために深く潜り、夜間は低水温による代謝や生理機能への負荷を軽減するため、より暖かい浅い水深を利用する。その結果、捕食リスクと生理的不利益とのトレードオフによって最適な遊泳水深が決定されることが考えられた。

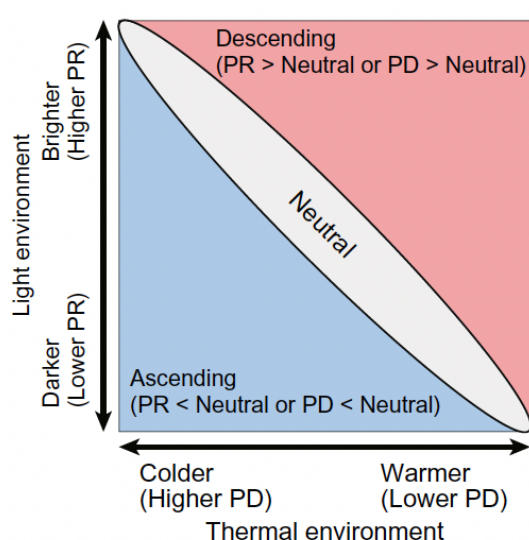


図3 ニホンウナギの鉛直移動行動に関する仮説モデル

上昇・下降の行動は、捕食リスク(PR)と生理的不利益(PD)のトレードオフによって決定される。ニホンウナギは、PRとPDの双方を最小化できる遊泳水深(灰色の楕円)を維持していると考えられる。太陽や月の位置、あるいは異なる水塊への移動によって光環境や水温が変化すると、中立状態を維持するために下降(赤色領域)または上昇(青色領域)の行動を選択すると考えられる。

本研究は、ニホンウナギの産卵回遊時の日周鉛直移動が固定的な行動ではなく、水温や光環境など周囲の海洋環境に応じて柔軟に変化することを示した初めての事例である。特に、黒潮・親潮混合域のような寒冷環境では、低水温を回避するために浅い水深を利用することが明らかとなり、水温が日周鉛直移動を規定する重要な環境要因であることが示された。

論文情報

Higuchi, T., Watanabe, S., Manabe, R., Miller, M. J., Aarestrup, Kim., Aoyama, J., Feunteun, E., and Tsukamoto K. Cold environment influences on diel vertical migration of silver-phase Japanese eels in the Kuroshio-Oyashio confluence region.

Environmental Biology of Fishes 108:2161–2179. (IF=1.5)

<https://doi.org/10.1007/s10641-025-01750-3>

1-15 「大学関係者が関与する CSA に対する大学生の評価と支払意思額」

大石 卓史 近畿大学農学部・アグリ技術革新研究所・社会連携推進センター

研究概要

本研究では、大学関係者が関与する CSA に対する大学生の評価や支払意思額（以降、WTP (Willingness to Pay) と呼ぶ）を明らかにすることで、大学・地域連携への CSA の導入可能性について検証した。

一連の分析には、インターネット方式のアンケート調査において得られた回答データを用いた。アンケート調査の対象は、調査会社のパネルに登録している一都三県（東京都、神奈川県、千葉県、埼玉県）在住の大学生とし、性別（男、女）についてそれぞれ均等割付を行い、計 400 名の回答データを入手した。また、大学関係者が関与する CSA に対する大学生の WTP の分析については、表明選好アプローチの 1 つである CVM (Contingent Valuation Method: 仮想評価法) による分析を行った。

分析の結果、CSA の認知や経験は低い水準にとどまったものの、大学関係者が関与する CSA に対して前向きな評価をした回答者が多数を占めた。

また、CVM の分析からは、居住地や通学頻度、農業への関心、CSA の具体的な活動内容等が大学関係者が関与する CSA に対する支払行動を特徴付ける結果が得られ、また、WTP の推定結果は我が国で行われている CSA の価格設定と同程度の水準となった。これら一連の結果は、大学・地域連携への CSA の導入可能性を示唆するものといえるが、CSA の活動内容は多様であることから、今後は、他のステイクホルダー（大学の教職員や連携地域の行政・農業関係者等）の意向や大学関係者が関与する CSA に適した活動内容や運営方法等について、さらに検証を深めることが重要といえる。

表3 CSA の認知（単一回答）

	実数	%
よく知っていた	21	5.3%
少し知っていた	41	10.3%
聞いたことはあった	61	15.3%
知らなかった（このアンケートで初めて知った）	277	69.3%
合計	400	100.0%

表5 大学関係者が関与する CSA に対する評価
（単一回答）

	実数	%
とてもよい取り組みである	69	17.3%
よい取り組みである	276	69.0%
よい取り組みではない	37	9.3%
まったくよい取り組みではない	18	4.5%
合計	400	100.0%

表6 大学関係者が関与するCSAをよい取り組みであると評価する理由（複数回答・限定質問）

	実数	%
自分が所属している組織(大学)による取り組みだから	95	27.5%
農学や農業を学ぶことにつながるから	115	33.3%
買い物に行かなくても、通学した際に農産物を受け取ることができるから	120	34.8%
「顔の見える農業者」から農産物を受け取ることができるから	84	24.3%
新鮮な農産物、旬の農産物、有機農産物、珍しい農産物等を受け取ることができるから	78	22.6%
豊作の際には、より多くの農産物を受け取ることができるから	52	15.1%
産地や農業者との交流ができるから	68	19.7%
農業体験や農作業に参加ができるから	43	12.5%
産地や農業者を応援できるから	98	28.4%
前払いにより豊作不作にかかわらず、農業者の経営が安定するから	65	18.8%
地域農業の振興やコミュニティの形成につながるから	63	18.3%
日本国内でCSAの取り組みが増えると思うから	55	15.9%
その他	4	1.2%
対象数	345	—

- 1) 「大学関係者が関与するCSAに対する評価」の質問で「とてもよい取り組みである」、「よい取り組みである」のいずれかを選択した回答者が対象。

表8 支払行動関数の推定結果

説明変数 ¹⁾	係数	標準誤差	t値	p値
CONST ²⁾	11.88	1.13	10.54	0.00
TOKYO	0.59	0.26	2.29	0.02
COM2	0.17	0.09	1.81	0.07
INT	0.43	0.11	3.94	0.00
FOOD2	0.85	0.27	3.18	0.00
ACT1	0.75	0.28	2.63	0.01
BID	-1.71	0.13	-12.80	0.00
サンプル数				226
対数尤度				-325.45
AIC				664.90

表9 WTPの推定結果

1期分(農産物の受け渡し計6回)	WTP中央値(単位:円)	6,785
	WTP平均値(単位:円)	11,511
農産物の受け渡し1回あたり	WTP中央値(単位:円)	1,131
	WTP平均値(単位:円)	1,919

論文情報

大石卓史*(2025):「大学関係者が関与するCSAに対する大学生の評価と支払意思額」『環境情報科学学術研究論文集』Vol.39, pp.46-51.

https://doi.org/10.11492/ceispapers.ceis39.0_46

1-16 「女性看護学生における食習慣と葉酸摂取量の関連」

竹森 久美子 近畿大学アグリ技術革新研究所

研究概要

本研究では、女性看護学生における食習慣と葉酸摂取量の関連を明らかにすることを目的として、食物摂取頻度調査 (Food Frequency Questionnaire: FFQ) を用いて葉酸摂取量を推定し、食習慣との関連を検討した。葉酸は水溶性ビタミン B 群の一種であり、妊娠可能年齢の女性にとって周産期ケアにおける主要な栄養素として位置づけられている。葉酸不足は胎児の神経管閉鎖障害や母体の巨赤芽球性貧血を引き起こす可能性があるため、日常的な摂取が推奨されている。

本研究には女性看護学生 296 名が参加した。野菜摂取頻度について「よく食べる」と回答した学生は、「ときどき」「まれに」「ほとんど食べない」と回答した学生と比較して、葉酸摂取量が有意に高かった ($p < 0.05$)。同様に、大豆製品および果物の摂取頻度が高い学生も、摂取頻度が低い学生より葉酸摂取量が有意に高かった ($p < 0.05$)。さらに、食習慣調査の結果から、朝食欠食は夕食欠食と比較して葉酸摂取量が有意に低いことが示された ($p < 0.05$)。

これらの結果から、女性看護学生における葉酸摂取量の向上には、朝食の欠食を避けること、そして野菜・大豆製品・果物の摂取頻度を高めることが重要であると示唆された。看護学生は将来、栄養指導に関わる可能性が高い職種であるため、自身の食習慣改善は健康教育の質向上にも寄与すると考えられる。

研究の意義

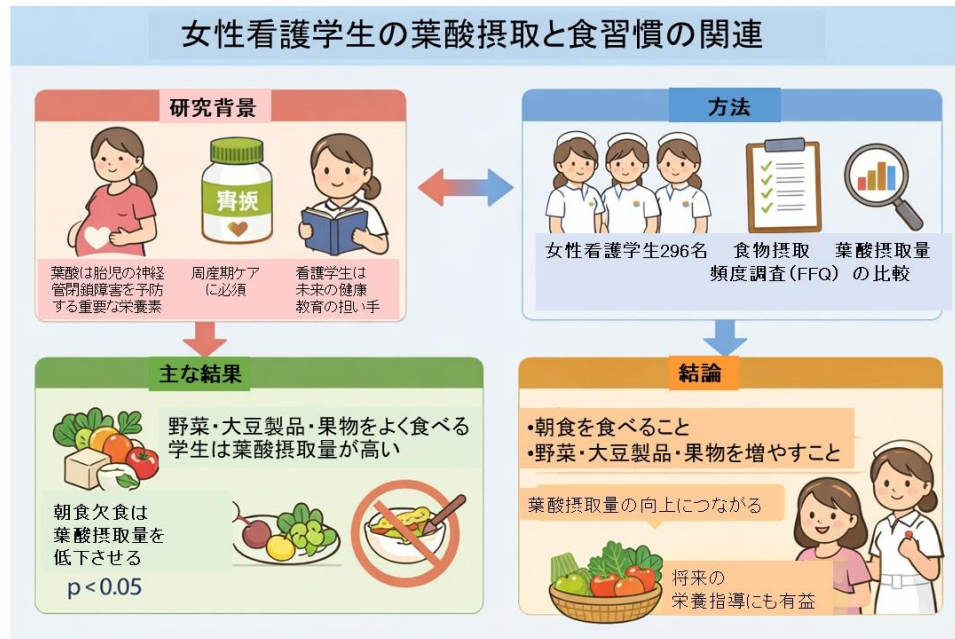
本研究は、妊娠可能年齢の女性における葉酸摂取の重要性を、看護学生という特定集団を対象に検証した点に意義がある。看護学生は将来的に患者指導を担う立場であり、適切な食習慣の理解と実践は、周産期ケアや栄養指導の質向上に寄与する。さらに、葉酸摂取量の向上に資する具体的な食習慣 (朝食摂取、野菜・大豆製品・果物の摂取) を示したことは、教育現場における食育プログラムの改善にも応用可能である。

結論

女性看護学生における葉酸摂取量は、野菜・大豆製品・果物の摂取頻度および朝食欠食と強く関連していた。葉酸摂取量の向上には、日常的な食習慣の改善が不可欠であり、特に朝食の摂取と植物性食品の積極的な摂取が推奨される。

論文情報

Kakii M, Matsuo T and Takemori K. Relationship between diet (consciousness and attitude) and folic acid intake of female nursing students. Trace Nutrients Research 42, 36-40. https://doi.org/10.51029/jtnrs.42.0_36



1-17 「mRNA 核外輸送に関わる mRNA 輸送体の機能解析」

増田 誠司 近畿大学農学部・アグリ技術革新研究所

研究概要

遺伝子発現において、mRNA の転写と核内プロセッシングだけでなく、その後続く mRNA 核外輸送の過程も重要である。これまで核外輸送に関する因子として NXF1 や DBP5 が同定されている。これらに加えて mRNA の核内プロセッシングと核外輸送をリンクする輸送体として RNA ヘリカーゼ UAP56 と URH49 が同定されている。これらは、それぞれアポ-TREX 複合体とアポ-AREX 複合体として知られる異なる複合体を形成して mRNA の核外輸送に働く。一方で、UAP56 と URH49 およびこれらの複合体が核内プロセッシングにどのように関与しているかについては情報に乏しい。

本研究は、UAP56 と URH49 が核外輸送に先立つスプライシング過程において、mRNA スプライシングに関与することを明らかにした。さらに、UAP56 と URH49 はスプライシング制御において全体的に冗長性を示したが、一部の mRNA 種のスプライシングに対して選択的に働くことを示した。これらの結果は、2 種類の mRNA 輸送体が、それぞれの複合体を通してあらかじめ輸送する mRNA を選別することによって遺伝子発現の精密な制御に寄与している可能性を示した。

背景

転写から mRNA 核外輸送へ至る共通の経路は、進化的に保存された TREX 複合体によって媒介される。ヒトにおいて TREX 複合体は、THO サブ複合体、ALY および UAP56 から構成されている。一方、UAP56 の近縁パラログである URH49 は、TREX 複合体とは異なる因子 CIP29 と NAREX サブ複合体から構成されるアポ AREX 複合体を形成している。

それぞれのアポ複合体は、ATP の結合に伴って ATP-TREX (UAP56 あるいは URH49) 複合体にリモデリングされる。さらに ATP-TREX 複合体は、mRNA 輸送受容体 NXF1-NXT1 ヘテロダイマーのプラットフォームとして機能する。したがってどちらのアポ複合体が mRNA に結合するかによって核外輸送経路が異なる。いずれのアポ複合体も冗長的に mRNA を核外輸送するが、一部の mRNA サブセットについてはどちらかの複合体が選択的に mRNA を核外輸送する。

このように、2つのアポ複合体が mRNA 核外輸送経路の重要な部分を形成しているが、これらが mRNA を認識する機構については不明であった。本研究は、mRNA 輸送体が mRNA 認識機構について解析した。

結果

1. UAP56 と URH49 の核内プロセッシングにおける機能

UAP56 と URH49 が核内プロセッシングにおいて果たす潜在的な役割を解明するため、

UAP56 または URH49 をノックダウンした U2OS 細胞のトランスクリプトームを解析した。トランスクリプトームの変化を解析したところ、UAP56 あるいは URH49 のいずれかのヘリカーゼの枯渇は、代表的な5種類の選択的スプライシングすべてに影響を与えていた。このことから、UAP56 と URH49 は核外輸送を制御する機能に加えてスプライシングも制御していることが示唆された。加えて、UAP56 と URH49 枯渇時に、スプライシング不全によってイントロン保持を生じる mRNA の種類は一部異なっていた。したがって、UAP56 と URH49 が異なるイントロンのスプライシングを個別に制御していると考えられた。

2. UAP56 と URH49 によるそれぞれのアポ複合体を介したスプライシングの制御

UAP56 と URH49 によるスプライシング制御がそれぞれのアポ複合体を介している可能性を調べるため、それぞれのアポ複合体構成因子のノックダウンを行い、UAP56 と URH49 のノックダウンによって選択的にスプライシング変化が生じている mRNA の変化を観察した。すると、アポ TREX 複合体の構成因子のノックダウンは、UAP56 のノックダウンと同様の表現系を示した。一方、アポ AREX 複合体の構成因子のノックダウンは、URH49 のノックダウンと同様の表現系を示した。これらの結果から、UAP56 と URH49 は、スプライシングの制御において全体的に冗長性を示すが一部の mRNA については選択制を示すこと、さらにその選択性はそれぞれのアポ複合体を介して発揮されることを示した。

結語

本研究により、UAP56 と URH49 は、核外輸送の制御だけでなく、mRNA スプライシングも制御していることを示す結果を得た。また、核外輸送に先立つ mRNA スプライシング過程において、mRNA 結合の選択性を示す結果を得たことから、核外輸送の選択性がスプライシング段階で制御されている可能性を示した。

論文情報

- (1) Horii K , Ono K , Masuda S , Morishima M (2026) Physiological doses of eicosapentaenoic acid suppress high-fat diet-induced atrial fibrillation in mice independent of lipid lowering, J Physiol Sci, 76, 100070
- (2) Wagatsuma T, Yamamoto A, Nishimura Y, Kawami M, Ito J, Hirayama T, Masuda T, Nakagawa N, Uchida Y, Kambe T (2026) Zinc-MTF1-metallothionein axis plays critical roles in the defense against ferroptosis in human cells, Free Radic Biol Med. 245, 390-404
- (3) Fouad IM, Choi J, Huang Q, Kim M, Masuda S, Hejna JA, Mineharu Y, Koizumi Y, Tezuka T, Youssefian S (2025) RNF213-Dependent EGFR and

HER2 Activation Regulates Specific Downstream Signaling Pathways in
Human Cancer Cells, *Genes Cells*, 30, e70033

1-18 「日本人若年女性訓練パネルにおけるプリンおよびピリミジン系 5'-リボヌクレオチドがグルタミン酸の検知閾値とうま味強度に及ぼす作用」

近藤 高史 近畿大学農学部・近畿大学アグリ技術革新研究所

研究概要

L-グルタミン酸のうま味は、プリン系 5'-リボヌクレオチドであるイノシン酸 (IMP) やグアニル酸 (GMP) を添加することで相乗的に増強されることが知られている。一方、アデニル酸 (AMP)、シチジル酸 (CMP)、ウリジル酸 (UMP) といったその他の 5'-リボヌクレオチドによる相乗効果については、これまで十分に検討されてこなかった。近年、CMP が一部の米国人被験者においてグルタミン酸のネガティブモジュレーターとして作用する可能性が報告され、注目を集めている。

そこで本研究では、日本人若年女性の訓練パネルを対象に、5 種類の 5'-リボヌクレオチドを L-グルタミン酸カリウム (MPG) に添加した際の MPG 検知閾値への影響を検証した。さらに追加実験として、うま味強度の変化についても評価した。その結果、プリン系 5'-リボヌクレオチド (IMP、GMP、AMP) はいずれも MPG の検知閾値を大きく低下させ、うま味強度を増強した。UMP も弱いながら検知閾値を有意に低下させ、わずかではあるがうま味強度を増加させた。一方、CMP は MPG の検知閾値にも、うま味強度にも影響しなかった。これら 5'-リボヌクレオチドの効果の強さは $GMP \cong IMP > AMP > UMP$ の順であった。

以上より、CMP および UMP の作用については、米国人被験者を対象とした先行研究とは異なる結果が得られた。すなわち、少なくとも日本人若年女性の訓練パネルにおいては、「CMP がグルタミン酸のネガティブモジュレーターとして作用する」という仮説は支持されなかった。

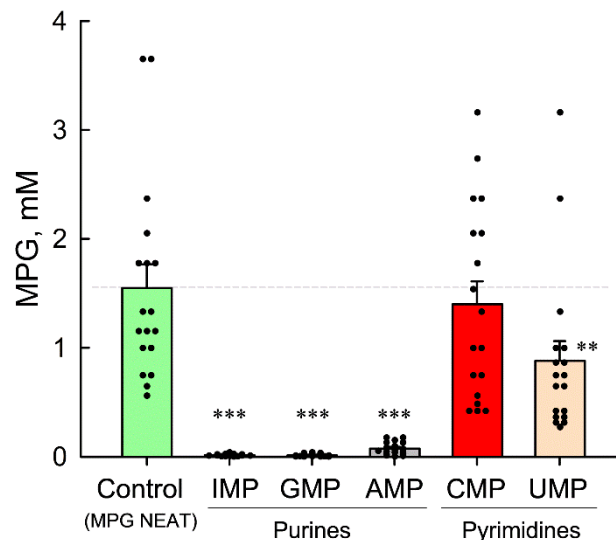


図1 5'-リボヌクレオチド添加による MPG 検知閾値の変化 (平均値 ± SEM)。

ドットは各被験者のデータを示す。破線はコントロール条件 (MPG 単独) における平均検知閾値 (1.55 mM) を示す。プリン系リボヌクレオチド (IMP、GMP、AMP) は、コントロール

ルと比較して MPG 検知閾値を著しく低下させた ($P < 0.001$)。一方、CMP は MPG 検知閾値を変化させなかったが、UMP は MPG 検知閾値を弱いながらも有意に低下させた ($P < 0.01$)。 $P < 0.01$ 、 $*P < 0.001$ はコントロールとの比較における統計的有意差を示す。

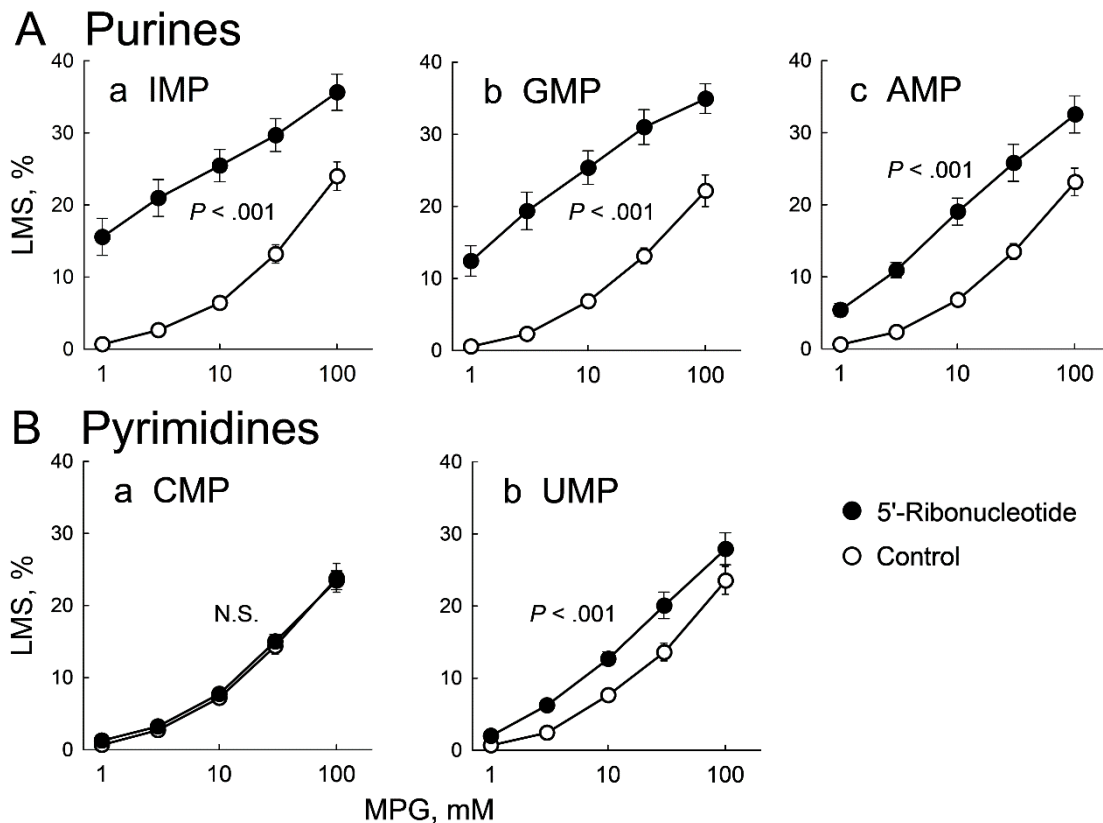


図2 5'-リボヌクレオチド添加によるうま味強度の増加(平均値±SEM)。

A) はコントロールおよび3 mM プリン系 5'-リボヌクレオチド添加条件、B)はコントロールおよび3 mM ピリミジン系 5'-リボヌクレオチド添加条件を示す。N.S.は、実験群間に有意差がないことを示す(2元配置分散分析)。

論文情報

Tanaka, K., Itoh, T., and Kondoh, T.

Effects of purine and pyrimidine 5'-ribonucleotides on glutamate detection threshold and umami intensity in Japanese young female trained participants.

Chemical Senses (2025) 50: bjaf043 (IF=1.9).

<https://doi.org/10.1093/chemse/bjaf043>.

1-19 「三毛猫の毛色を決める遺伝子をついに発見」

佐渡 敬 近畿大学農学部・アグリ技術革新研究所

研究概要

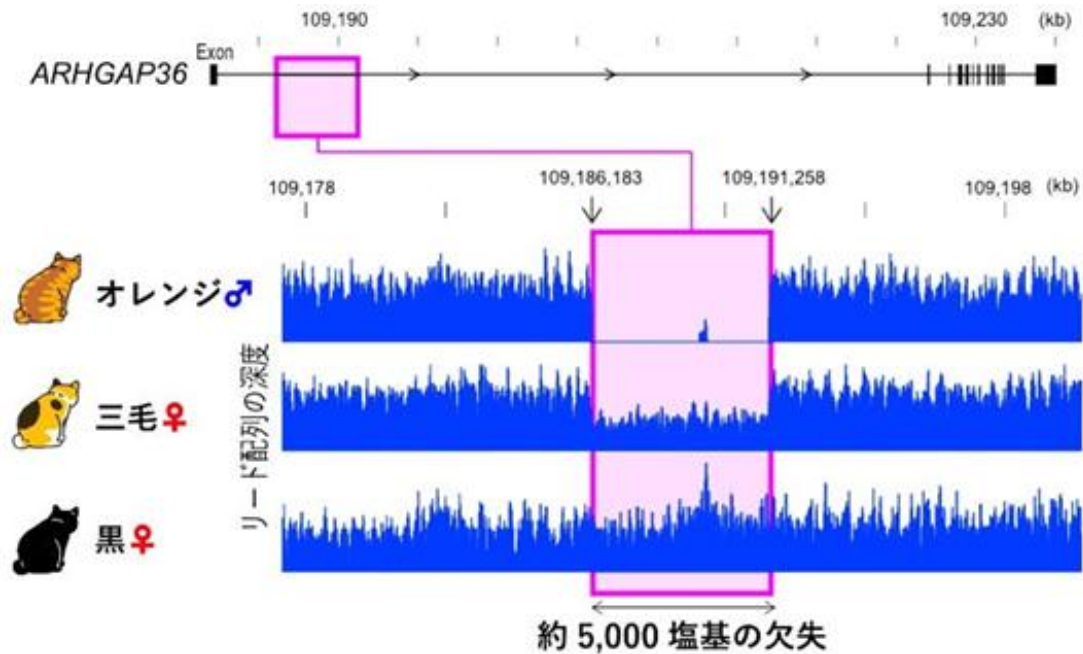
三毛猫やサビ猫がほぼ全てメスであること、猫のオレンジ/黒の毛色を決める「オレンジ遺伝子」が性染色体である X 染色体上にあることは、120 年以上前から知られていました。1961 年、英国の Mary Lyon 博士は、メスの初期胚の細胞において、2本ある X 染色体のうち 1 本がランダムに不活性化され、その後その細胞が増殖して体の各部位を占めるようになるという仮説を提唱しました。また、これにより三毛猫やサビ猫の斑状の毛色を説明できることを示唆しました。この仕組みは X 染色体のランダム不活性化として知られ、教科書にも掲載されています。しかし、「具体的にオレンジ遺伝子の実体は不明で、どのような仕組みで毛色を決めているのか、実際に不活性化されるのか」については、これまで明らかにされていませんでした。

九州大学生体防御医学研究所（研究当時）の佐々木裕之特別主幹教授（現：高等研究院）、同大学大学院歯学研究院の松田美穂准教授、および、国立遺伝学研究所の藤英博特命准教授、国際基督教大学の歐陽允健助教、東京大学の鷗木元香准教授らの研究グループに佐渡 敬も共同研究として参画し、その研究成果としてオレンジ遺伝子の正体が「ARHGAP36」であることが明らかになりました。

本研究グループは福岡市内の動物病院の協力を得て、様々な毛色を持つ 18 匹の猫から DNA を収集し、これらの猫のゲノム DNA の配列を解析しました。その結果、オレンジ毛をもつ猫は X 染色体上の ARHGAP36 遺伝子内に約 5,000 塩基の欠失を有することが明らかになりました（図参照）。さらに 50 匹以上の猫で検証したところ、この欠失の有無とオレンジ毛の有無が完全に一致しました。珍しいオスの三毛猫にもこの欠失がありました。この欠失領域には動物種を超えて高く保存された配列が含まれ、ヒトゲノムのデータベースを参照したところ、この配列が遺伝子発現を制御する領域である可能性が示唆されました。また、この欠失は海外のオレンジ毛を持つ猫にも見られるため、世界中に最も広まっているオレンジ毛の表現型の起源はひとつである可能性が高いことも分かりました。

次に、三毛猫のオレンジ・黒・白の各色の毛が生えた皮膚における全遺伝子の発現量を調べたところ、オレンジ毛の皮膚では ARHGAP36 の発現が上昇し、同時にメラニン合成に関わる遺伝子群の発現は抑えられていました。このことから、約 5,000 塩基の欠失によって ARHGAP36 の発現制御が変化し、その影響でメラニン合成遺伝子群の発現が抑えられ、黒色のユーメラニンからオレンジ色のフェオメラニンへの合成に切り替わると考えられました。さらに、ゲノム上の DNA メチル化状態を調べたところ、ARHGAP36 領域内の制御配列はオス猫ではほぼメチル化されていないのに対して、メス猫では高度にメチル化されていました。この結果から、メス猫では ARHGAP36 が X 染色体の不活性化に伴うメチル化を受けていることが強く示唆されました。また、ヒトやマウスの遺伝子発現解析の結果から、ARHGAP36 は猫以外の哺乳動物でも X 染色体の不活性化を受けることが確認されました。以上の結果から、オレン

ジ遺伝子の正体は ARHGAP36 であると本研究グループは結論づけました。



論文情報

Toh H, Au Yeung WK, Unoki M, Matsumoto Y, Miki Y, Matsumura Y, Baba Y, Sado T, Nakamura Y, Matsuda M, Sasaki H. A deletion at the X-linked ARHGAP36 gene locus is associated with the orange coloration of tortoiseshell and calico cats. *Curr Biol.* 2025 Jun 23;35(12):2816-2825.e3. doi: 10.1016/j.cub.2025.03.075. Epub 2025 May 15. PMID: 40378840.

2-1 令和7(2025)年度 近畿大学アグリ技術革新研究所助成金研究成果報告書
「各種大豆加工食品の生理機能性評価」
森山達哉 近畿大学農学部・アグリ技術革新研究所

研究概要

世界的な食料不足や環境問題、先進国における肥満・生活習慣病の増加といった相反する課題の解決に、大豆は高い栄養価と健康機能性を持つ食材として注目されている。申請者らはこれまでに、大豆タンパク質やサポニン、ポリフェノールなどの成分による脂質代謝調節や抗肥満効果などを明らかにしてきた。しかし実際の食生活では、大豆は加工食品として摂取されており、その加工形態による機能性の違いは十分に検討されていない。そこで本研究では、多様な大豆加工食品の生理機能性とアレルギー特性を比較し、それぞれの特徴を明らかにすることを目的とした。

1. 背景と目的

世界人口の増加や気候変動などの影響により、近い将来、世界規模での深刻な食料不足が懸念されている。特に、タンパク質の需要と供給のバランスが崩れ、食料タンパク質の不足危機(プロテインクライシス)に直面する可能性が示されている。また、環境への負荷が大きい食料生産活動は、持続可能性の観点から制限されつつある。一方、先進国においては、過食・飽食や運動不足に起因する肥満や生活習慣病の増加が深刻な社会課題となっている。

このように、相反する課題を同時に抱える現代社会において、「大豆」はこれらの2つの課題の解決に資する重要な食材として注目されている。大豆は、アミノ酸スコアが高く(100)、良質なタンパク質と油脂を豊富に含む。また、優れた加工特性を持ち、発酵食品を含む多様な加工食品に利用されている。近年では、エクストルーダーなどの先進的なフードテック技術を用いて生産される「大豆ミート」など、畜肉様タンパク質素材としても世界的に関心が高まっている。さらに、大豆には多様な生活習慣病の予防に資する成分が含まれており、健康的な食生活を支える素材としても有用である。このような観点から「大豆は世界を救う」とさえ言われている。

一方、大豆はその豊富なタンパク質含量から、アレルギー性も高いことが知られている。そこで私たちはこれまでに、この有益な作物である大豆の安全で有効な利用に資するために、大豆の生理機能性とアレルギー性に関する研究を続けてきた。

大豆の生理機能性に関しては、我々も含む国内外において、大豆タンパク質、大豆ペプチド、イソフラボンなどを中心とした多くの研究が行われており、コレステロール低下作用などの脂質代謝改善効果や、更年期障害の緩和効果などが報告されている。私たちもこれまでに、以下のような研究成果を得てきた(参考文献(1)~(6)):

- (1). 大豆中の特定タンパク質による脂質代謝調節機構およびその定量系の構築
- (2). 大豆サポニンによる抗肥満効果の解明
- (3). 黒大豆種皮微粉末(ポリフェノール含有)による抗肥満効果

- (4). 黒大豆ポリフェノールによるニコチン誘発性血管破壊の抑制
- (5). 大豆イソフラボンによる同様の血管保護効果
- (6). 大豆のアレルゲン性評価

これらの研究では、大豆中の特定成分に焦点を当て、その個別の機能性を評価してきた。しかしながら、実際のヒトの食行動においては、大豆は生食には適さず、多様な加工食品として摂取されており、その加工形態の違いが生理機能性に与える影響については、十分に検討されていないのが現状である。

そこで本研究では、フードテック等の先端技術によって開発された新規な加工食品も含め、さまざまな加工形態の大豆食品についてその生理機能性とアレルゲン性を比較・検討する。これにより、食品としての大豆の機能性とアレルゲン性を「加工形態ごとに再定義」し、より安全で効果的な健康志向型食品の開発や食習慣の提案につなげることを目的とした。なお、研究は現在も進行中であり、論文投稿も控えているため、一部のデータのみの記載とする。

<研究組織>

森山達哉 教授 農学部応用生命化学科 研究主導と、主に脂質代謝評価を担当
財満信宏 教授 農学部応用生命化学科 血管への影響評価と、評価系の構築
竹森久美子教授 農学部食品栄養学科 血圧への影響評価系の構築
森島真幸 准教授 農学部食品栄養学科 心機能への影響評価系の構築

2. 実験方法

2.1 アレルゲン性評価

大豆または大豆加工食品に含まれるアレルゲンレベルの評価には、主要な大豆アレルゲンに対する抗体を用いた ELISA 法またはウエスタンブロッティング法にて半定量を行った。また、市販の大豆アレルギー患者血清を用いた IgE 結合性に関しても同様に IgE-ELISA または IgE イムノブロッティング法にて検証した。主要大豆アレルゲンに対する抗体は、当研究室にて作成したものを中心に使用した。

2.2 電気泳動とウエスタンブロッティング

サンプル中のタンパク質パターンの分析には還元条件下での SDS-PAGE を行い、CBB 染色法にてタンパク質を検出した。ウエスタンブロッティングでは、泳動後のゲルを PVDF 膜へ転写後、抗体を用いて実施した。抗体の検出には化学発光法を用いた。

2.3 マウスを用いた生理活性試験

C57BL/6J マウス等に各種大豆サンプル含有飼料を経口投与し、一定期間飼育後、解剖し、各種臓器重量の測定、血清パラメータの測定、臓器における各種機能性分子の検出などを行った。アディポサイトカイン類の定量のためには、血清または脂肪組織抽出液を用いて市販の ELISA キットを用いて測定した。(動物実験委員会:承認番号 KAAG-2023-002 他)。

3. 結果と考察

3.1 豆乳と発酵豆乳のアレルゲン性と生理機能性の比較

発酵豆乳は、近年注目されている大豆加工食品であり、乳酸菌による発酵により大豆に含まれるイソフラボン配糖体が加水分解され、吸収効率の高いアグリコン型へと変換されている。そこで、この発酵豆乳のアレルゲン性と生理機能性を発酵前の通常の豆乳と比較した。まず、アレルゲン性に関して、主要な大豆アレルゲンコンポーネントの存在レベルをウェスタンブロッティングにて半定量した。その結果、多くのアレルゲンコンポーネントにおいて、発酵豆乳の方が有意に低減していることが判明した（図 1）。

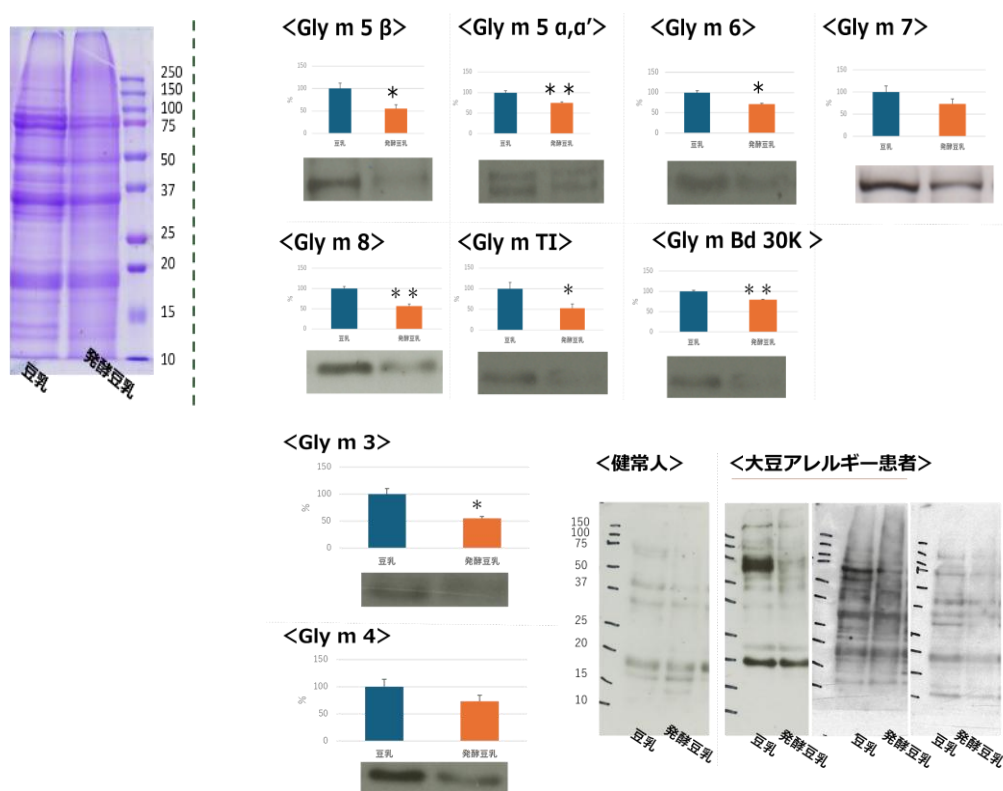


図 1. 豆乳と発酵豆乳のタンパク質パターン及び各種アレルゲンレベルの比較

また、3 名の大豆アレルギー患者血清を用いた IgE イムノブロッティングの結果からも、発酵豆乳の方が、IgE 結合性タンパク質（アレルゲン候補）が少ない傾向が見られた（図 1）。

次に、通常の無調整豆乳（豆乳）と、乳酸菌で発酵させた無調整豆乳（発酵豆乳）について主要栄養素を揃えて試験飼料を作成し、肥満モデルマウス（C57BL/6J）へ与え、これらの生理機能性を比較検討した（n=8）。なお、対照群としては、大豆成分を含まない飼料を与えた。解析項目は、体重、摂餌量、飼料効率、臓器重量、血清 脂質等の血清パラメータ、脂肪細胞由来アディポサイトカイン類、腸内細菌叢などを測定した。その結果、豆乳群に対して、発酵豆乳群において体重や脂肪組織重量、血清 TBARS 等は有意に低値を示した（図 2）。その他の多くの項目では、発酵豆乳において低値傾向を示した。

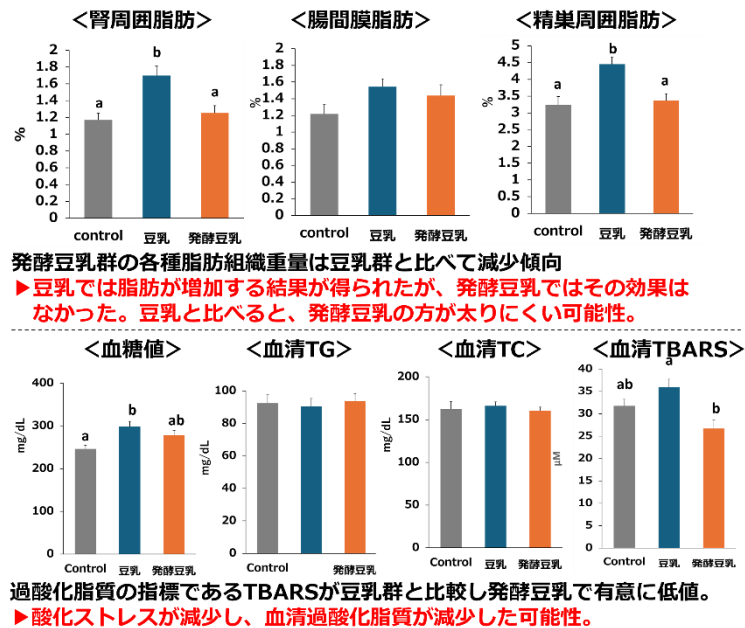


図 2. 豆乳と発酵豆乳を与えたマウスにおける各種生理的パラメータの比較

また、脂肪細胞から分泌されるアディポサイトカイン類のうち、インスリン抵抗性や炎症に関与することが示唆されているレジスチンに注目し、血清及び脂肪組織中での存在量をサンドイッチELISAにて測定した。その結果、コントロール群や豆乳群と比較して、発酵豆乳群において有意に低値を示した(図3)。

腸内細菌叢への影響を解析したところ、発酵豆乳においてサテラ属、ラクトバチルス属、バクテロイデス属が増加した(図4)。バクテロイデス属は短鎖脂肪酸産生菌として脂肪燃焼効果を有することが示唆されており、いわゆる痩せ菌とされる。発酵豆乳において体重増加抑制効果が示唆されたが、その要因としてこれらの腸内細菌叢の変化が関与している可能性も示唆される。

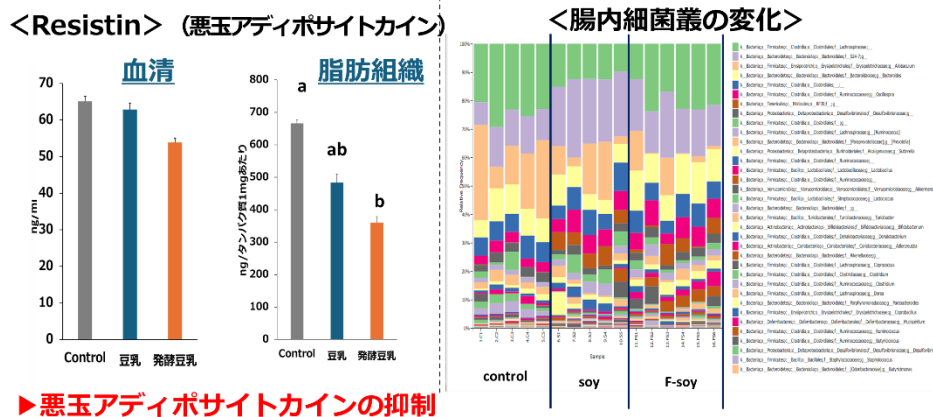


図 3. 豆乳と発酵豆乳を与えたマウスにおけるレジスチン量の比較と腸内細菌叢の解析

■糞便を用いた腸内細菌の解析

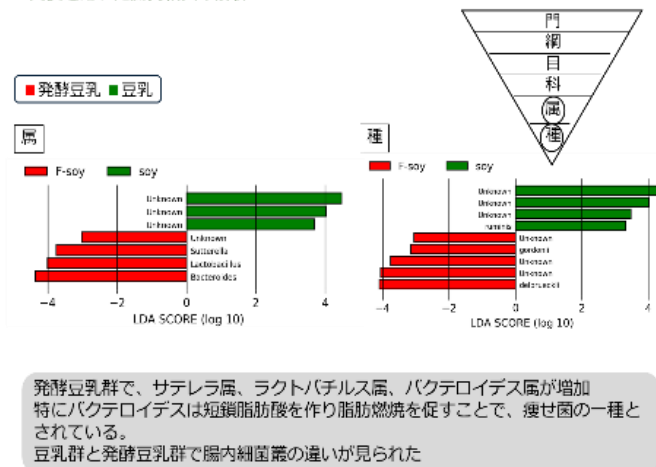


図 4. 豆乳と発酵豆乳を与えたマウスにおける腸内細菌叢の解析（属と種レベル）

3.2 新規発酵食品である「豆麴」の生理機能性の評価

豆麴を与えたマウスにおける生理機能性評価を行った。現在、論文再投稿中であるため、データの掲載は割愛します。

3.3 豆乳、大豆ミート、凍り豆腐の生理機能性の比較

本研究内容も、現在論文準備中であるため、データの掲載は割愛します。

3.4 大豆ミートの経皮感作能及びアレルギー特性評価

本研究内容も、現在論文準備中であるため、データの掲載は割愛します。

参考文献(本研究の背景となった研究)

- (1) 大豆中の β -コングリシニンが脂質代謝を調節しうることや、その定量系の構築に関する研究
 - 1). Shimada R., Yano E., Zaima N., **Moriyama T.**, Commercial ELISA kits for soy protein determination: Characterization and compatibility, *Food Science and Technology Research*, **29** (6), p.553-558 (2023).
 - 2). **Moriyama T.**, Yano E., Zaima N., Miyazaki K., Shiotsuki K., Sato A., Sawaguchi M: Development of Pretreatment Protocols for Determination of Soybean β -Conglycinin in Processed Soybean Foods Using Commercial ELISA Kits, *J Nutri Sci and Vitaminol*, **66**, 270-277, (2020).
 - 3). Nishimura M, Katsuyama-Kagami H, Takahashi Y, **Moriyama T**, Hajika M, Nishihira J: Effects of a Single Intake of Processed Food Containing β -conglycinin-rich Soybeans (Nanahomare) on Postprandial Serum Triglycerides in Healthy Subjects -A Randomized, Double-blinded, Placebo-controlled, Crossover Trial. *Jpn Pharmacol Ther*, **48**, 61-68, (2020).
 - 4). **Moriyama T.**, Machidori M., Ozasa S., Maebuchi M., Urade R., Takahashi K., Ogawa T., and Maruyama N., A Novel Enzyme-Linked Immunosorbent Assay for Quantification of Soybean β -Conglycinin, a Major Soybean Storage Protein, in Soybean and Soybean Food Products. *J. Nutr. Sci. Vitaminol.* **51**,

34-39 (2005).

- 5). **Moriyama T.**, Kishimoto K., Nagai K., Urade R., Ogawa T., Utsumi S., Maruyama N., and Maebuchi M., Soybean β -conglycinin diet suppresses serum triglyceride levels in normal and genetically obese mice by induction of β -oxidation, downregulation of fatty acid synthase, and inhibition of triglyceride absorption. *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **68**, 352-359 (2004).

(2) 大豆中のある種のサポニンが抗肥満効果を発揮することに関する研究

- 1). Iwamoto, K., Kamo, S., Takada, Y., Ieda, A., Yamashita, T., Sato, T., Zaima, N., **Moriyama, T.**: Soyasapogenols reduce cellular triglyceride levels in 3T3-L1 mouse adipocyte cells by accelerating triglyceride lipolysis. *Biochemical and Biophysics Reports*. **16**, 44-49, (2018).
- 2). Kamo, S., Takada, Y., Yamashita, T., Sato, T., Yano, E., Zaima N. and **Moriyama T.**: Group B soyasaponin aglycone suppresses body weight gain and fat levels in high fat-fed mice. *J. Nutr. Sci. and Vitaminol.* **64**, 223-229, (2018).

(3) 黒大豆ポリフェノールを含む黒大豆種皮微粉末が、抗肥満効果を発揮することに関する研究

- 1). Moriyasu, Y., Fukumoto, C., Wada, M., Yano, E., Murase, H., Mizuno, M., Zaima, N., **Moriyama, T.**: Validation of Antiobesity Effects of Black Soybean Seed Coat Powder Suitable as a Food Material: Comparisons with Conventional Yellow Soybean Seed Coat Powder. *Foods*. **10**(4):841, (2021).

(4) 黒大豆ポリフェノールがニコチン誘発性血管破壊を抑制することに関する研究

- 1). Hoshino, K., Kugo, H., Miyamoto, C., Hashimoto, K., Murase, H., Mizuno, M., **Moriyama, T.**, Zaima N: The seed coat extract of black soybean decreases nicotine-induced vascular fiber degradation by suppressing matrix metalloproteinase 2 expression. *J. Nutr. Sci. Vitaminol.* **66**, 75-81, (2020).

(5) 大豆イソフラボンがニコチン誘発性または閉経誘発性血管破壊を抑制することに関する研究

- 1). Miyamoto, K., Hasuike, S., Kugo, H., Sukketsiri, W., **Moriyama, T.**, Zaima, N: Administration of isoflavone attenuates ovariectomy-induced degeneration of aortic wall. *J. Oleo Sci.* **71**, 889-896, (2022)
- 2). Sukketsiri, W., Hoshino, K., Kugo, H., Nakamura, T., Sasoh, T., **Moriyama, T.**, Zaima, N: Isoflavone ameliorated oxidative stress and vascular damages in nicotine-administrated mice. *J. Oleo Sci.* **68**, 1241-1249, (2019).

(6) 大豆または大豆加工食品のアレルゲン性評価(経皮感作能含む)

- 1). Shimada R., Harada Y. Yano E., Zaima N., **Moriyama T.**, Soybean Allergen Detection for Hypoallergenicity Validation of Natto-A Fermented Soybean Food, *ACS Food Sci. Technol.*, **4**, 4, 860-870 (2024).
- 2). Fukuzumi, A., Tokumasu, N., Matsuo, A., Yano, E., Zaima, N., **Moriyama, T.**: Detection and Characterization of the Soybean Allergen Gly m 7 in Soybean and Processed Soybean Foods., *Allergies*, **1**(4), 233-246, (2021).
- 3). Matsuo A, Matsushita K, Fukuzumi A, Tokumasu N, Yano E, Zaima N and **Moriyama T** Comparison of Various Soybean Allergen Levels in Genetically and Non-Genetically Modified Soybeans, *Foods*, **9**, 522, (2020).
- 4). Murakami, H., Ogawa, T., Takafuta, A., Yano, E., Zaima, N., and **Moriyama, T.**: Percutaneous sensitization to soybean proteins is attenuated by oral tolerance. *J. Nutr. Sci. and Vitaminol.* **64**, 683-686. (2018).
- 5). Murakami, H., Ogawa, T., Takafuta, A., Yano, E., Zaima, N., and **Moriyama, T.**: Identification of the 7S and 11S globulins as percutaneously sensitizing soybean allergens as demonstrated through epidermal application of crude soybean extract. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* **82**, 1408-1416, (2018).

2-2 令和7(2025)年度 近畿大学アグリ技術革新研究所助成金研究成果報告書

「カーボンネガティブアグリ技術：天然殺虫剤への再訪がもたらす未知との遭遇」

松田一彦 近畿大学農学部・アグリ技術革新研究所

学内共同研究者：細川 宗孝 農学部農業生産科学科

学外共同研究者：篠山 治恵 福井県立大学

研究概要

ピレスリンは、キク科の多年生植物・除虫菊が花に蓄積する天然殺虫剤である。ピレスリンは生分解性で安全性に優れていることから、2033年には需要が現時点の2倍程度に伸びると予想されている。現在、栽培方法の工夫によって除虫菊におけるピレトリンの生産量を増やす試みがなされているものの、係る需要を満たすには画期的な増産技術の開発が必要である。ピレスリンの供給は年一回開花する除虫菊の生育に依存していることから、やがて需要に追い

本研究では、ピレスリン増産を目指し、律速生合成酵素の触媒効率と基質認識機構、未同定の生合成調節因子の解明を行うとともに、四季咲き除虫菊の開発などを旨とする。

成果

(1) 生合成律速酵素の触媒効率・基質認識機構解明に向けて

ピレスリンは6種の類縁体からなるエステル化合物であり、菊酸(Chrysanthemic acid)と呼ばれる酸部とレスロロンと呼ばれるアルコール部(ピレスロロン, シネロロン, ジャスモロロン)とが結びついて生成する(図1)。菊酸はMEP経路あるいは非メバロン酸経路で生成するのに対して、レスロロンはリノレン酸を原料としてオキシリピン経路生成される。オキシリピン経路の一部は植物ホルモンの一種ジャスモン酸と共有する。このようなピレスリンの最終段階はアシル基転移反応により行われる。この反応を触媒するのがGDSLエステラーゼ・リパーゼの一種TcGLIPである(図2)。TcGLIPは基質の構造を厳密に認識し、6種の類縁体の生産量と組成比を調節すが、その分子基盤は不明である。

TcGLIPの触媒効率や基質認識機構を解明する方法の一つとして酵素-基質複合体の構造を解明することである。そのために、活性中心のセリンをアラニンに置換して反応の進行を止める方法があるが、セリンをアラニンに置換すると、反応中間体であるChrysanthemoyl化されたTcGLIPの構造が得られないばかりか、後続するレスロロンの求核アシル置換反応もおこらないので、反応機構や基質認識機構を厳密に理解することは不可能である。そこで、本研究ではホスホン酸エステル型TcGLIP阻害剤を設計した。本阻害剤は、活性中心のセリンの水酸基をホスホニル化し、不可逆阻害する(図3)。これまでにアルキル基、レスロロニル基及びパラニトロフェニル基をもつ阻害剤を合成し(図4)、リン原子の配置がSの場合にはアルキル基の炭素長が5で阻害活性が最大となるのに対して、リン原子の配置がRの場合にはアルキル基の炭素長が8で本活性が最大になることを見出している。また、レスロロニル基については、共役ジエン構造の存在が阻害活性を高めることも明らかにしている。しかし、アルキル基の構造は菊酸の構造を模倣しているとは言えず、阻害剤の改良が必要であった。

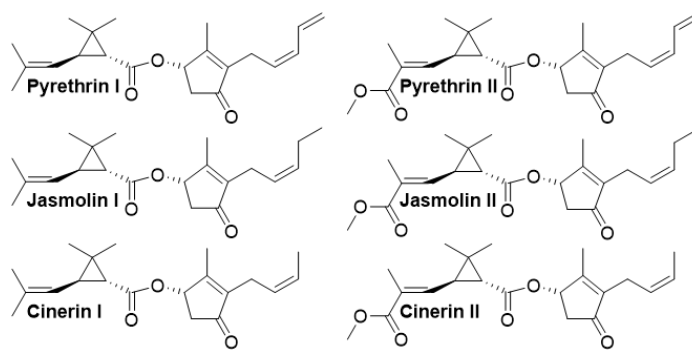


図 1. 除虫菊と 6 種のピレスリン.

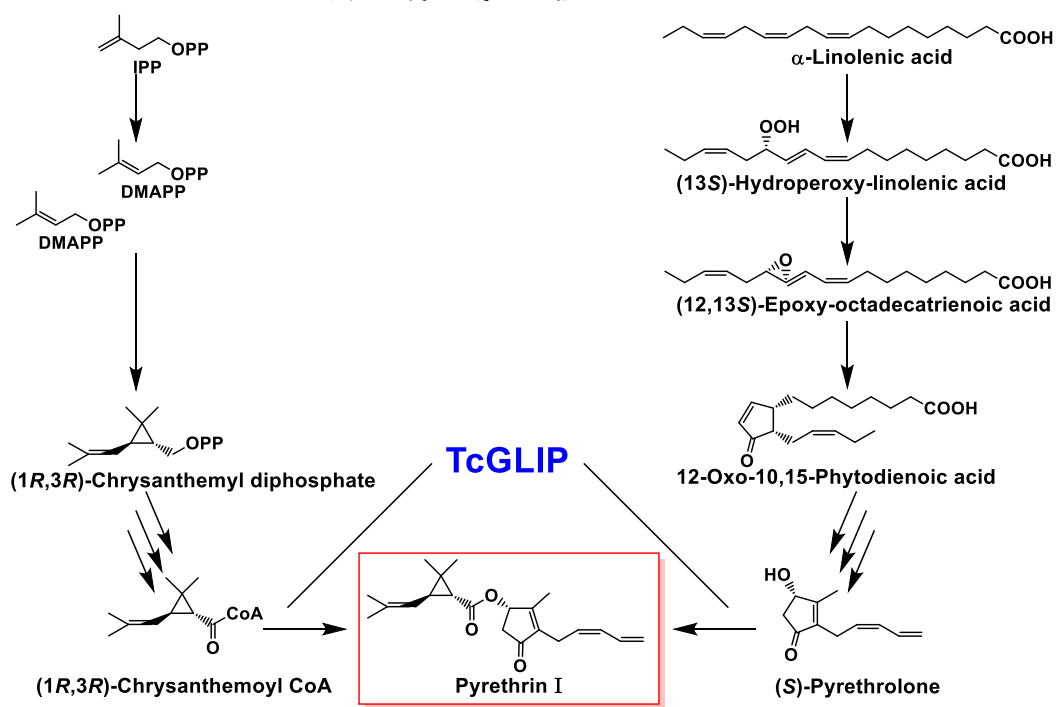


図 2. ピレスリンの生合成経路

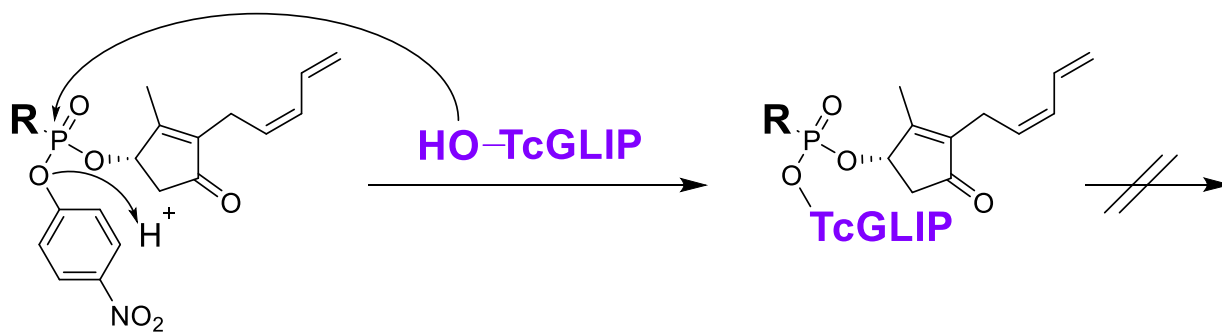


図 3. ホスホン酸エステルによる TcGLIP の不可逆阻害.

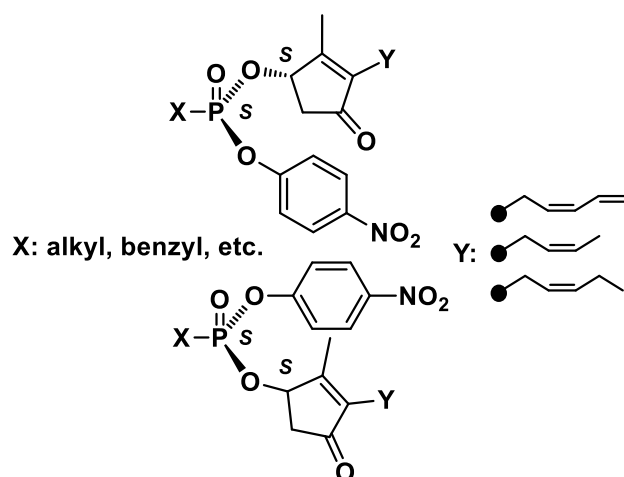


図 4. これまでに合成した TcGLIP 阻害剤.

そこで、アルキル基を菊酸に近い構造をもつ阻害剤の合成を試みた。図 5 のスキームで合成することで 4 つの立体異性体の混合物を取得し、それぞれの異性体をキラルカラムで分離した。これらの阻害剤の立体配置を解明するため、結晶化を試みたが良好な結晶が得られなかったため、結晶スポンジ法を適用し、一化合物の立体配置を決定した。4 種の立体異性体の全てについて TcGLIP 阻害活性を測定したところ、従来の阻害剤よりも高い阻害活性を示すのに対して、他の異性体はそれよりもはるかに劣る阻害活性を示すことが明らかになった。

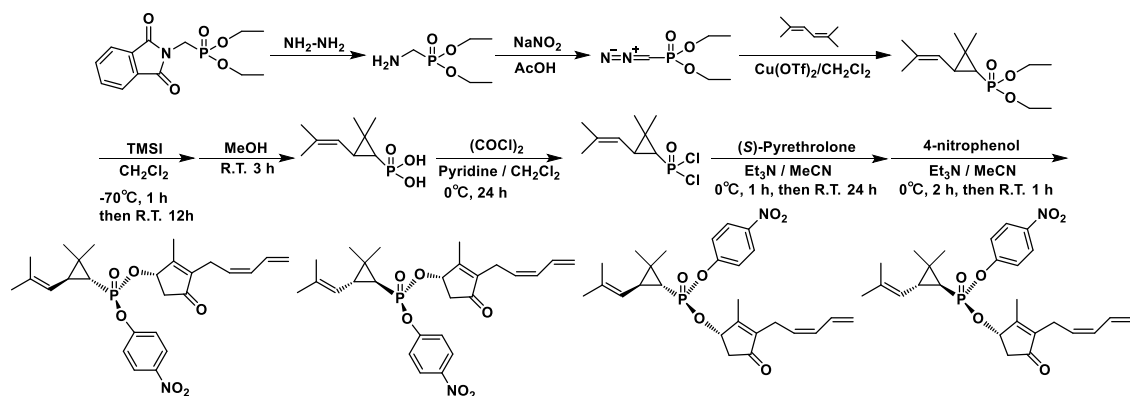


図 5. 新規 TcGLIP 阻害剤の合成.

2. 除虫菊の四季咲き化の試み: 開花抑制遺伝子の破壊

ピレスリンは除虫菊の花部(子房)に著量蓄積されるため、乾燥花から抽出されている。除虫菊は、年一回、日本では 5 月に、オーストラリアでは 11 月に開花する。即ち、ピレスリンの生産はこの年 1 回の花の量に依存している。そこで、除虫菊の開花抑制遺伝子 *FTL* をゲノム編集で破壊しようと試みた。モデル植物とは異なり、除虫菊における遺伝子組換え技術は未発達であったが、除虫菊へのゲノム編集用遺伝子を導入した。カルスからの分化過程ではビトリフィケーションがおこったが、条件を工夫し、茎が伸長するようになった(図 6)。現在、再生体でのゲノム編集の有無について検討している。



図 6. 除虫菊でのゲノム編集の試み.

3. 除虫菊の四季咲き化: ウイロイド感染の試み

本試験では、除虫菊の試験を行う前に CSVd のキクに対する効果を検証したいと考え、以下のような実験を行うこととした。秋ギク 3 品種‘セイヒラリー’、‘セイヨーク’、‘セイノーマンサニー’を用いた。苗はイノチオ精興園株式会社(広島県, 日本)より譲渡を受けた。

栄養成長段階の苗を用いて、9 品種すべてを 2025 年 7 月 11 日に黒色ビニール製 9 号ポットへ定植した。1 ポットあたり 5 株を植え付け、各品種につき 10 ポットを供試した。人工環境制御下において、気温は $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ に設置した育成棚上で栽培した。9 号ポットは処理区ごとに 1 つずつ $35 \times 55 \text{ cm}$ のプラスチックトレイに分けて設置した。CSVd の汁液伝搬を防ぐため、各処理区は別のトレイに分けて配置した。培養土はくみあいニッピ(日本肥糧株式会社, 群馬県, 日本)を使用した。灌水は 1 トレーあたり 1 リットルを 1 日おきに行い、施肥はハイポネックス(株式会社ハイポネックスジャパン, 大阪府, 日本)を 50 倍希釈し週に 1 回与えた。

一部の品種では挿し木を行った。挿し木は 2025 年 9 月から 11 月にかけて適宜実施し、得られた挿し穂由来の個体も観察対象に含めた。なお挿し木の実施は品種ごとに異なり、処理区の設定とは独立して行った。定植後から各栽培条件で実験を開始するまでの期間は、光条件を弱光 (PPFD: $90.2 \mu \text{ mol/m}^2/\text{s}$ (照明機種: Helios Green LED PRO HGP-10 (Helios, 東京, 日本))) とし、日長は短日条件 (明期 12 h/暗期 12 h) とした。花芽分化促進処理も同施設内で行い、光条件を強光 (PPFD: $290.6 \mu \text{ mol/m}^2/\text{s}$ (照明機種: Helios Green LED PRO HGP-10 (Helios, 東京, 日本))) とし、日長は短日条件 (明期 12 h/暗期 12 h) とした。光源はトレイの底面から 35cm、トレイの直上に設置した。

CSVd 接種は発根促進後に実施し、*Agrobacterium tumefaciens* strain LBA4404 を使用しアグロバクテリウム法を行った。感染液を以下の手順で調整し、感染液を 1 mL シリンジ (NN-2525R; Terumo Corporation, 東京, 日本) で最上位展開葉から数えて 5 番目の葉の背面気孔から 200 μL ずつ注入した。接種は、2025 年 7 月 25 日、8 月 1 日および 8 月 2 日の計 3 回実施した。接種後の CSVd 感染の有無は RT-PCR 法により確認した。感染が確認された植物体は挿し木によって繁殖させ、長日胸腔実験に用いた。

‘セイヒラリー’、‘セイヨーク’、‘セイノーマンサニー’の感染後の再挿し木株は花芽発達促進のために短日強光 (明期 12h/暗期 12h, PPFD: $290.6 \mu \text{ mol/m}^2/\text{s}$) 下で 14 日間、‘セイノーマンサニー’のみ 2 回目の挿し木処理から 7 日間の花芽発達処理を行ったところ CSVd 感染

の有無に関わらず柳芽様の苗条が発生した。処理区に移行した後、CSVd 感染の有無に伴い柳芽様の花蕾に変化が見られた。CSVd 感染の有無により花蕾の数や発達状況に違いが見られた。’セイヒラリー’では、発蕾数は強光下で CSVd 感染区が非感染区より多くなったが、弱光区では非感染区が CSVd 感染より発蕾数が多くなった。’セインーマンサニー’では、強光区・弱光区両区において、CSVd 感染区での発蕾数が非感染区のそれより多くなった(表 1)。

表 1 再挿し木株の‘セイヒラリー’、‘セイヨーク’、‘セインーマンサニー’における処理区別 45 日後の花蕾発達状況

品種名	処理区	45 日後の花蕾発達状況		
		進行(開花者)*1	停止(抑制者)*2	総花蕾数
セイヒラリー	第 1 区 (CSVd 感染・長日弱光)	25(0)	0(0)	25
	第 2 区 (非感染・長日弱光)	2(0)	26(26)	28
	第 3 区 (CSVd 感染・長日強光)	35(0)	0(0)	35
	第 4 区 (非感染・長日強光)	0(0)	17(15)	17
セイヨーク	第 1 区 (CSVd 感染・長日弱光)	0(0)	0(0)	0
	第 2 区 (非感染・長日弱光)	0(0)	0(0)	0
	第 3 区 (CSVd 感染・長日強光)	0(0)	6(6)	6
	第 4 区 (非感染・長日強光)	0(0)	3(3)	3
セインーマンサニー	第 1 区 (CSVd 感染・長日弱光)	13(0)	24(21)	37
	第 2 区 (非感染・長日弱光)	5(0)	17(17)	22
	第 3 区 (CSVd 感染・長日強光)	22(0)	7(7)	29
	第 4 区 (非感染・長日強光)	0(0)	15(15)	15

*1 成長進行と認められた花蕾のうち開花した花蕾数を()内に記載した。

*2 成長停止と認められた花蕾のうち抑制芽の花蕾数を()内に記載した。

注) 前処理終了後に 4 処理区へ移行させた日を 0 日目とし、45 日後の花蕾発達状況を確認した。

本表の発蕾数は株数ではなく、各株に形成された蕾の総数を集計したものである。

調査対象株数は第 1 区・第 2 区(n=15)、第 3 区・第 4 区(n=10)である。

環境感応性品種の生育後感染株では CSVd 感染区と非感染区で花蕾形成数に大きな差が認められ、非感染区では花芽発達の停止が観察された。本来これらの品種は本研究の長日条件下では開花しないと考えられるが、感染区では花芽分化およびその後の発達が進行した。この現象の背景には糖シグナルが関与し、FT 様遺伝子の発現制御を介して花成が誘導

された可能性がある。栽培キクでは AFT および FTL3 が光周性花成を制御することが報告されていることから、CSVd 感染がフロリゲンとアンチフロリゲンのバランスに影響を与え、花芽分化および花芽発達過程の双方を調節した可能性が考えられる。

除虫菊においては CSVd の感染の前例がない。予備実験として除虫菊に CSVd を感染させたところ、感染することは確認され、濃度も上昇することが確認された。この感染株の開花動向については、現在も継続観察中である。

2-3 令和7(2025)年度 近畿大学アグリ技術革新研究所助成金研究成果報告書

「深海由来微生物 *Gordonia alkanivorans* KDM2412 を用いた新規 seriniquinone 硫酸エステル体の作製」

福田 隆志 近畿大学農学部・アグリ技術革新研究所

研究概要

Seriniquinone (SQ) は、2014 年に希少海洋バクテリア *Serinicoccus marinus* CNJ927 培養液中より発見された海洋天然物である。本化合物は、薬剤抵抗性が高いメラノーマ細胞に対し強力かつ選択的な抗がん活性を示す。またその作用メカニズムは、薬剤耐性を誘発する分子 dermcidin (DCD) に直接結合し、その働きを制御していることが明らかとなっている。そのため SQ は、がんの薬剤耐性を克服するような画期的な新薬につながると注目され、現在その薬剤開発が進められている。我々は、駿河湾の水深 300 m から採捕されたアカゴチ (*Bembras japonica*) のエラより分離された深海生物由来微生物 *Gordonia alkanivorans* KDM2412 が持つ天然酵素を利用して SQ の誘導体化反応実験を行い、新規 SQ 硫酸エステル体 (1) の作製に成功した (Fig. 1)。本硫酸エステル体は、SQ と比べほぼ同等の強力な抗メラノーマ活性 (0.24 mM) を示しつつ、DMSO への溶解性が格段に向上 (約 80 倍) する結果となった。本結果は、今後の新規抗がん剤開発の一助となることが期待される。

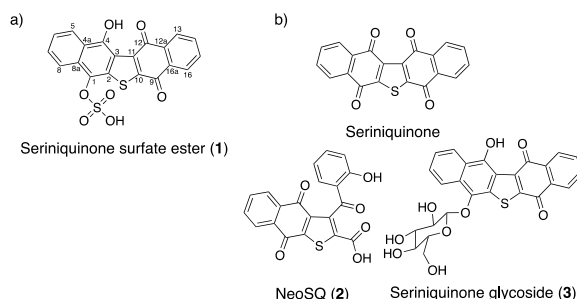


Fig. 1 Structures of compounds 1, 2, 3 and seriniquinone.

a) First natural compound identified as seriniquinone related compound.

b) Seriniquinone and new compounds previously discovered as seriniquinone related compounds.

背景

近年、がん治療は従来の化学療法に加え、分子標的薬、免疫療法、ゲノム医療の登場により飛躍的に進歩した。しかし、これらの治療法にはそれぞれ長所と短所があり、克服すべき課題は依然として多く残されている。さらに近年、がんにおける薬剤耐性が問題となっており、新たな標的分子の提供や薬剤耐性を克服するリード化合物の発見が望まれている。そのような中 2012 年にタンパク質 dermcidin (DCD) が抗がん剤に対する薬剤耐性を誘導し、がんの転移に役割を果たしていることが報告された (Schitteck B., *J. Innate. Immun.* 4:349, 2012)。DCD は 2001 年にヒトの汗から発見された抗菌ペプチドである。これまでに DCD の発現は、皮膚がん、乳がん、卵巣がん、肺がんにおいて確認されている。また最も高い薬剤耐性を有する黒色腫細胞では、酸化ストレスが DCD の RNA 発現を誘導することが示されている。これらの知見を総合すると、さまざまながんの生存と薬剤耐性に DCD が関与していることは明らかであった。

このような背景のもと新しい抗メラノーマ薬の探索研究が行われ、海洋放線菌 *S. marinus* CNJ927 の培養液から SQ が発見された (Trzoss L., *et al*, *PNAS* 111:14687,

2014) (Fig. 1)。この化合物は、薬剤耐性の高いメラノーマ細胞に対して選択的かつ強力な抗癌活性を示した。作用機序解析の結果、SQ は DCD に直接結合し、その機能を制御することが明らかになった。この知見は、SQ が癌における薬剤耐性を克服する画期的な薬となる可能性を示唆していた。しかし一方で、SQ の溶媒への溶解性が低いため、創薬開発には溶解性を向上させた SQ 誘導体の創出が必要不可欠であると考えられた。以前我々は、海洋微生物を用いた生物学的変換により、SQ 誘導体としてジヒドロナフトチオフェン誘導体である NeoSQ (2) (Ishida K. *et al. J. Antibiot.* **75**: 9–15 (2022)) および SQ 配糖体 (3) (Okamura R. *et al. J. Antibiot.* **77**: (2024)) を報告した。その後も我々は、微生物変換による SQ 誘導体創製研究を継続し、今回深海由来細菌 KDM2412 が有する酵素群が SQ を新規 SQ 硫酸エステル体 (1) に変換することを発見した。

結果

KDM2412 株の選択

深海を含む海洋由来微生物 (1820 株) を SQ の構造変換を指標にスクリーニングした結果、KDM2412 株が選択された。KDM2412 株を SQ 添加培地で培養すると、HPLC 上で SQ のピーク (16.2 分) は培養期間に従い徐々に減少し、代わりに 13.2 分に新たなピークが現れた (Fig. 2)。一方、SQ を添加しない場合はこの新たなピークは検出されなかった。

KDM2412 株の菌学

KDM2412 株は、2024 年に静岡県駿河湾の水深 300 m で採集された深海魚アカゴチ (*Bembras japonica*) のエラより分離された。本株は、寒天培地上で橙色のコロニーを形成する (Fig. 3)。16 S rRNA 遺伝子解析により、KDM2412 株は

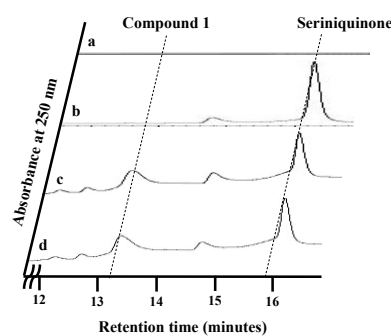


Fig. 2 An analysis of production of compound 1 by HPLC; column, Ascentis Express 90 AC18 (5 × 2.1 mm, 2 μm); flow rate, 0.18 ml min⁻¹; mobile phase, a 15-minute linear gradient from 5% CH₃CN to 95% CH₃CN and 5-minute 95% CH₃CN with 0.05% H₃PO₄; detection, UV at 250 nm.

a 7 days-culture broth of KDM2412 strain without seriniquinone.
b 0 day-culture broth of KDM2412 strain with seriniquinone.
c 7 days-culture broth of KDM2412 strain with seriniquinone.
d 10 days-culture broth of KDM2412 strain with seriniquinone.

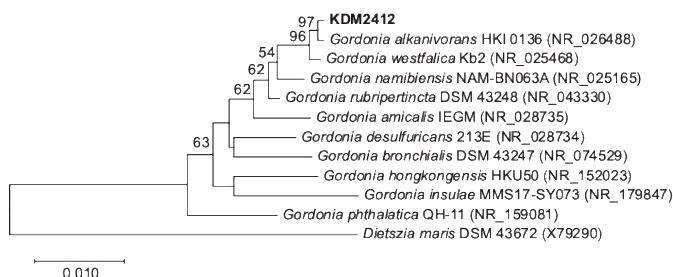


Fig. 3 Image depicting the deep-sea-derived *G. alkanivorans* KDM 2412 growing on a nutrient agar surface and Neighbor-joining tree of 16S rRNA gene sequence of strain KDM2412.

Bootstrap values above 50% are shown next to the branches. *Oceanobacillus iheyensis* HTE831^T (NR_075027) is used as an outgroup. The scale bar represents 0.5% estimated divergence.

Gordonia alkanivorans と同定された (Fig. 3)。

新規 SQ 硫酸エステル体(1)の作製と単離精製

KDM2412 株を種培養後、生産培地(天然海水中 1.0% 可溶性デンプン、0.4% 酵母エキス、0.2% ペプトン、0.1% CaCO_3 、0.004% $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 、0.01% KBr) 100 mL を入れた 300 mL 三角フラスコに植菌し、同時に SQ (1 mg) を培養液に加え、27°C、180 rpm で 10 日間振盪培養を行った。得られた三角フラスコ 20 本分の培養液(2 L)にアセトンを加え 2 時間攪拌後、減圧下で溶媒を留去した。得られたアセトン抽出液に酢酸エチル(2 L)を加え再度抽出を行い粗抽出物(156.5 mg)を得た。粗抽出物を少量の CHCl_3 に溶解し、InertSepTMSI (5 g/20 mL) を用いて、100% CHCl_3 、25 : 1、10 : 1、5 : 1、1 : 1 (v/v) CHCl_3 -MeOH および 100% MeOH (各 20 mL) で段階的に溶出させた。得られた画分 4 (CHCl_3 : MeOH = 5 : 1, 10 mg) を HPLC を用いて以下の条件下で精製した(溶媒、30-60% 水性 CH_3CN 、流速 1.0 ml/分、30 分間、検出 254 nm)。保持時間 11.5 分のピークを繰り返し集めて濃縮し、化合物 1 (1.4 mg) を得た。

新規 SQ 硫酸エステル体(1)の構造決定

化合物 1 の物理化学的性質を Table 1 にまとめた。UV スペクトルでは、220、257、288、335 nm に吸収極大を示した。IR スペクトルでは、3423 および 1655 cm^{-1} に吸収が見られ、水酸基およびカルボニル基の存在が示唆された。化合物 1 は青緑色の粉末として得られた。高分解能 ESI-MS 測定により、化合物 1 の分子式は $\text{C}_{20}\text{H}_{10}\text{O}_7\text{S}_2$ ($[\text{M} + \text{H}]^+ m/z$ 426.9928、計算値 $[\text{M} + \text{H}]^+ 426.9946$) と決定され、不飽和度は 16 であった (Table 1)。

^{13}C NMR スペクトルでは 20 本のシグナルが示され、これらは 8 つの sp^2 メチン炭素、10 個の sp^4 四級炭素、2 つのカルボニル炭素 (C-9 および C-12) に分類された。化合物 1 の ^1H NMR スペクトルでは、8 つのオレフィン性メチンシグナルおよび 1 つの交換性のシグナルが示された。すべてのプロトンおよび炭素原子の結合は、HMQC データによって決定された (Table 2)。また ^1H - ^1H COSY および HMBC データの解析により

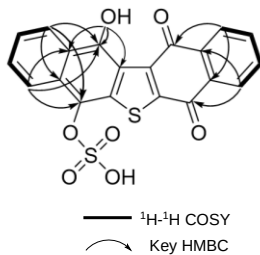


Fig. 4 ^1H - ^1H COSY and key HMBC correlations of compound 1.

Table 1 Physicochemical properties of 1

	1
Appearance	Blue-green powder
Molecular formula	$\text{C}_{20}\text{H}_{10}\text{O}_7\text{S}_2$
Molecular weight	426
HR ESI MS m/z	$(\text{M} + \text{H})^+$
Calcd	426.9946 (for $\text{C}_{20}\text{H}_{10}\text{O}_7\text{S}_2$)
Found	426.9928
MeOH	
UV λ max nm	335, 288, 257, 220
KBr	
IR λ max cm^{-1}	3423, 3009, 2922, 1655, 1584, 1261

Table 2 NMR spectroscopic data for 1 in pyridine- d_5

	1	
position	δ_c^a	δ_H^b mult (J in Hz)
1	137.7, C	
2	120.2, C ^c	
3	123.5, C, overlapping	
4	151.0, C	
4a	124.1, C, overlapping	
5	24.3, CH, overlapping	8.77, d (8.5)
6	125.3, CH	7.51, t (7.6)
7	128.2, CH	7.59, t, overlapping
8	124.8, CH	9.21, d (8.5)
8a	130.6, C	
9	179.6, C ^d	
10	132.9, C ^c	
11	137.1, C ^c	
12	183.2, C ^d	
12a	133.8, C ^e	
13	128.6, CH ^f	8.26, d (6.6)
14	134.9, CH ^g	7.69, t (7.3)
15	135.2, CH ^g	7.67, t (7.3)
16	127.1, CH ^f	8.17, d (6.6)
16a	133.4, C ^e	
4-OH		13.00, s

Assignments made by interpretation of COSY, HSQC and HMBC NMR data.

^a125 MHz. ^b500 MHz.

^{c,d,e,f,g} Exchangeable.

Fig. 4 に示す相関をそれぞれ確認し、さらに 分子式 および SQG の既知のデータと比較し、化合物Ⅰの構造を図 1 に示す SQ の硫酸エステル体と決定した。

新規 SQ 硫酸エステル体(Ⅰ)の生物活性(その1)

化合物Ⅰの Malme-3M 細胞および Jurkat 細胞に対する細胞毒性を MTT 試薬を用いて測定した。化合物Ⅰは、0.24 μ M の IC₅₀ 値で Malme-3M 細胞に対し抗がん活性を示した。一方で、化合物Ⅰは Jurkat 細胞に対し 10 μ M では抗がん活性を示さなかった。また DMSO に対す溶解性は SQ と比べ約 80 倍向上した。

Table 3 Summary of biological activity of compounds

Compound	IC ₅₀ (μ M)		
	Malme-3M	Jurkat	Solubility ^a
Seriniquinone	0.86	> 10	0.1
Ⅰ	0.24	> 10	8.0

^a Solubility = mg / DMSO (1 ml)

新規 SQ 硫酸エステル体(Ⅰ)の生物活性(その2)

化合物Ⅰの Malme-3M 細胞に対するアポトーシス誘導活性を、セルアナライザーを用いて評価した。その結果、化合物Ⅰは濃度依存的に後期アポトーシスを誘導することが明らかとなった (Fig.5)。

考察

本研究では 1820 株の海洋微生物をスクリーニングに供与し、深海生物由来細菌 *G. alkanivorans* が SQ の構造を硫酸エステル体に変換したことを報告した。この構造改変体は、SQ と同等の活性を維持し、その溶解度は SQ の約 80 倍向上した。

これまでも複数の SQ 誘導体が有機合成されている。しかしそれら誘導体の構造はすべてベンゼン環に側鎖が結合した構造である。一方で化合物Ⅰは、ハイドロキノン部分に硫酸エステル基が結合した構造であり、これまで報告された誘導体とはその構造が異なる。我々の知る限り、ハイドロキノン部位に側鎖を導入した SQ 誘導体は、以前に我々が報告した SQ 配糖体(2)に続き 2 例目の報告であった。

硫酸エステル修飾は、水溶性の向上や生理機能の活性化に寄与すると考えられている。今回、深海微生物由来の天然酵素を用いることで、簡便かつ位置選択的に硫酸残基を付加することに成功した。本反応は有機合成では困難と考えられるため、誘導体作製において深海微生物由来の酵素を用いる利点の一つと考えられる。今後の展開として、本酵素群の解析を進めることで難溶性のキノン系天然物に対する溶解性向上に役立つことが期待される。

以上のように海洋微生物を用いた化合物の構造変換は、有機合成では困難な新しい誘導体を作成するための優れた方法の一つである。

[論文情報]; 現在論文作成中

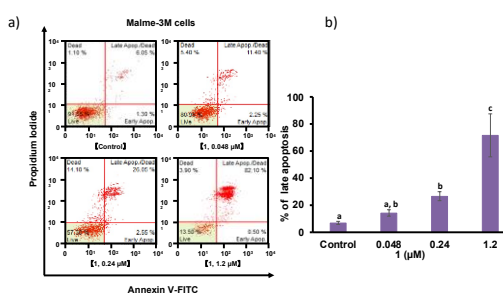


Fig. 5 Compound 1 induced cell apoptosis in Malme-3M cells.

a) The representative apoptotic cell population of 1-treated Malme-3M cells was measured by flow cytometry.
b) Quantitative analysis of the total apoptotic rate of 1-treated Malme-3M cells. Significant differences from the control are marked with asterisks. * $p < 0.05$.

2-4 令和7(2025)年度 近畿大学アグリ技術革新研究所助成金研究成果報告

「大学・地域連携における CSA(地域支援型農業)の有効性の検証と実践モデルの考案」

大石 卓史 近畿大学農学部・アグリ技術革新研究所・社会連携推進センター

<概要>

農業関連分野で近年注目を集めている大学と地域の連携(以降、大学・地域連携と呼ぶ)における新たな活動として CSA(Community Supported Agriculture:地域支援型農業)に着目し、CSA の有効性の検証や実践モデルの考案等を行った。具体的には、近畿大学農学部と奈良県曽爾村が連携して行っている CSA(名称:そののわ CSA)を主たる対象とし、また、アクションリサーチの手法を取り入れつつ、これらの検証や考案を行った。

<結果・成果>

①大学・地域連携における CSA の有効性の検証

そののわ CSA の活動の実践(曽爾村産農産物の共同購入、産地ツアー、援農、その他関連活動等)と関連する調査(会員やスタッフ向けのアンケート調査等)を行うことで、大学・地域連携における CSA の有効性の検証を行った。

(1)そののわ CSA の活動の実践

【実施結果 2025 年前期分】

■曽爾村産農産物の共同購入

・近畿大学農学部 会員数と購入サイズ

[会員数] 11 名(学生 1 名、教員 6 名、職員 4 名)

[購入サイズ] 小サイズ 8 名(6,000 円(税込))、大サイズ 3 名(10,000 円(税込))

※この他に、大サイズ 1 セット、小サイズ 1 セットを農業経営経済学研究室の学生スタッフが共同購入

・農業経営経済学研究室 運営担当スタッフ 15 名(大学院生 1 名、学部生 14 名)

・農産物の受け渡し(計 5 回)

[日程] 第 1 回 5 月 9 日(金)、第 2 回 5 月 23 日(金)、第 3 回 6 月 6 日(金)、
第 4 回 6 月 20 日(金)、第 5 回 7 月 11 日(金)

[場所] 近畿大学奈良キャンパス つながる館「いおり」

■その他

・6 月 11 日(水)、6 月 16 日(月)に、曽爾村にて、桑の実の収穫支援を実施

・6 月 16 日(月)に、曽爾村にて、そののわマルシェの開催支援を実施

・7 月 16 日(水)に、近畿大学農学部内でマルシェを開催

※CSA 会員以外の大学関係者が農産物や加工品等を購入できる機会をつくった

- ・7月30日(水)に、曾爾村にて、そののわマルシェの開催支援を実施
- ・そののわ CSA の PR 用の看板や動画を制作

【実施結果 2025 年後期分】

■曾爾村産農産物の共同購入

- ・近畿大学農学部会員数と購入サイズ

[会員数] 10 名(学生 0 名、教員 5 名、職員 5 名)

[購入サイズ] 小サイズ 4 名(6,000 円(税込))、大サイズ 6 名(10,000 円(税込))

※この他に、大サイズ 1 セット、小サイズ 1 セットを農業経営経済学研究室の学生スタッフが共同購入

- ・農業経営経済学研究室 運営担当スタッフ 14 名(大学院生 1 名、学部生 13 名)
- ・農産物の受け渡し(計 5 回)

[日程] 第 1 回 10 月 3 日(金)、第 2 回 10 月 17 日(金)、第 3 回 10 月 31 日(金)、
第 4 回 11 月 14 日(金)、第 5 回 11 月 28 日(金)

[場所] 近畿大学奈良キャンパス つながる館「いおり」

■その他

- ・10 月 12 日(日)に、曾爾村バスツアーを開催
- ・曾爾村産の加工品の共同購入を実施(後期第 5 回の農産物受け渡し時に加工品も受け渡し)
- ・そののわ CSA 協力農家の紹介を行う「FARM to YOU (Vol.1~4)」を制作し、会員らに配布

(2) 有効性の検証

【会員：農産物の総合評価（全体的な満足度）】

2025 年度（前期・後期）を通じて、農産物の総合評価（全体的な満足度）は高い結果となった（図 1）。

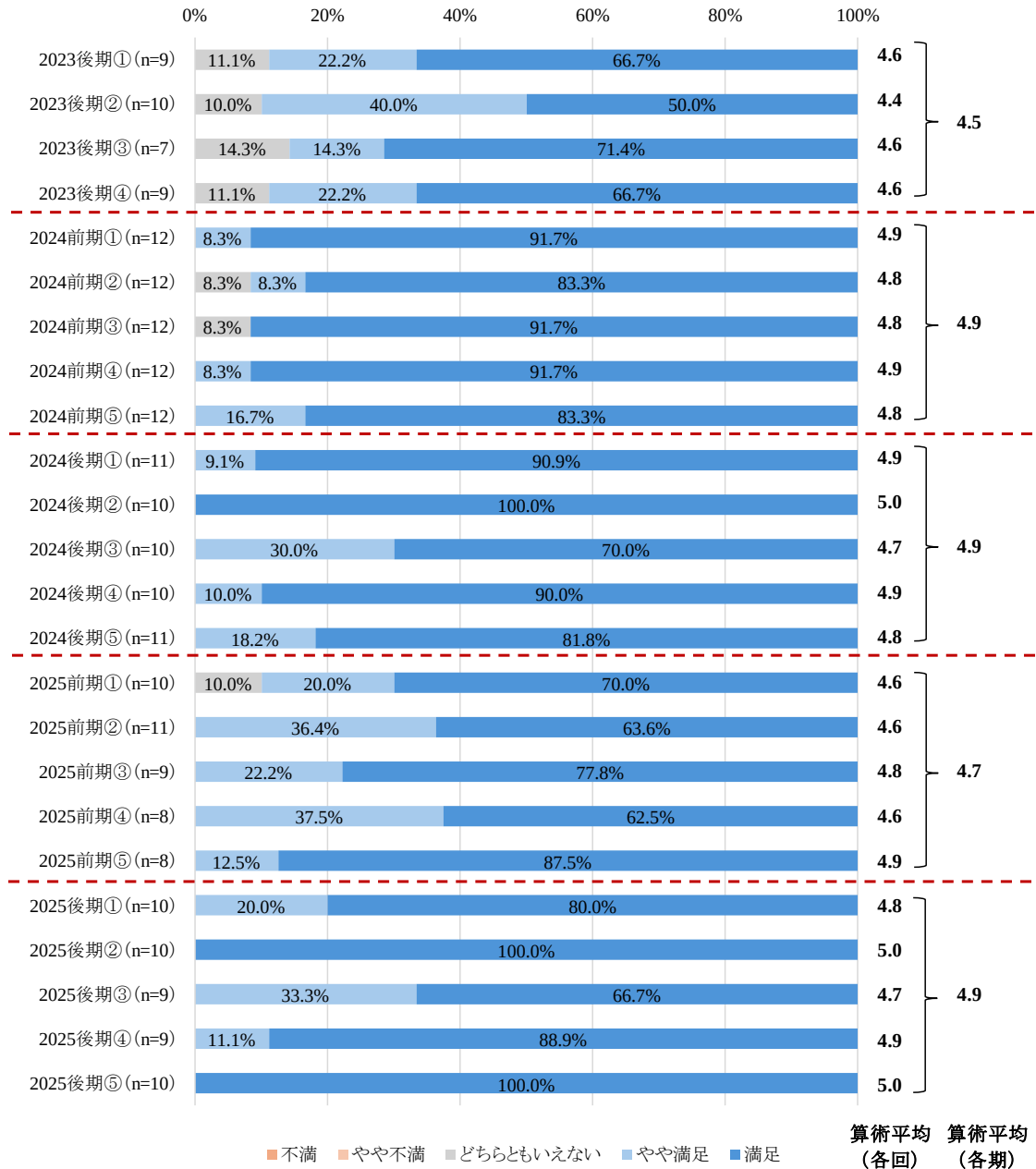


図 1：農産物の総合評価の推移（会員）

注 1：「満足」5 点、「やや満足」4 点、「どちらともいえない」3 点、「やや不満」2 点、「不満」1 点で評点化し、算術平均値を算出した。

注 2：過年度の結果もあわせて掲載している。

【会員：「そののわ CSA」による効果】

2025 年度（前期・後期）を通じて、農業・農産物や曽爾村、CSA に対する理解や関心が高まったとした意見が多くなった（図 2）。このことから、会員に対して一定程度良い影響を与えたものと考えられる。

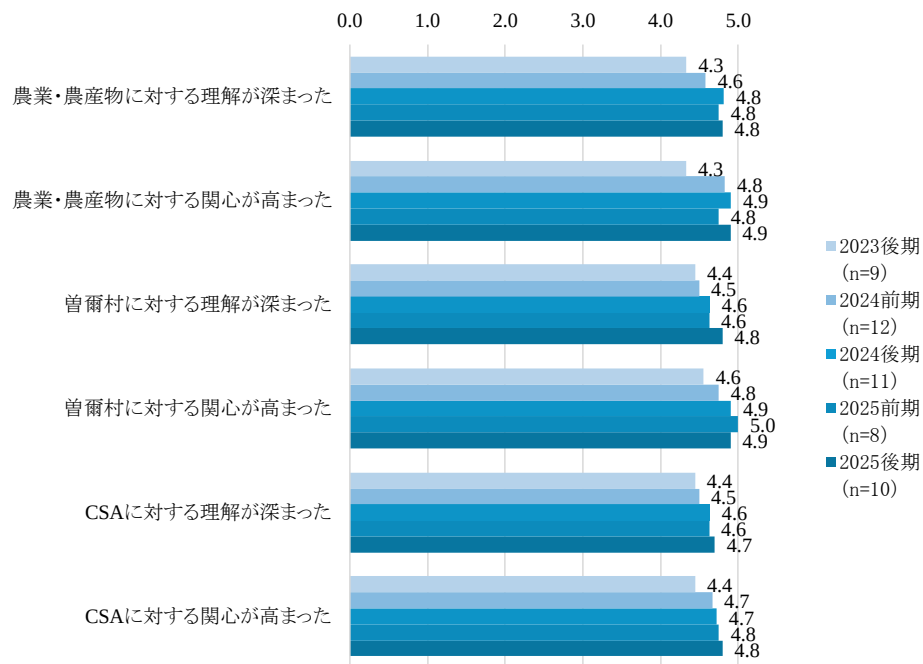


図 2：「そののわ CSA」による効果の推移（会員）

注 1：「あてはまる」5 点、「ややあてはまる」4 点、「どちらともいえない」3 点、「あまりあてはまらない」2 点、「あてはまらない」1 点で評点化し、算術平均値を算出した。

注 2：過年度の結果もあわせて掲載している。

【学生スタッフ：「そののわ CSA」による効果】

2025 年度（前期・後期）を通じて、農業・農産物や曾爾村、CSA に対する理解や関心が高まったとした意見が多くなった（図 3）。このことから、学生スタッフに対しても一定程度良い影響を与えたものと考えられる。

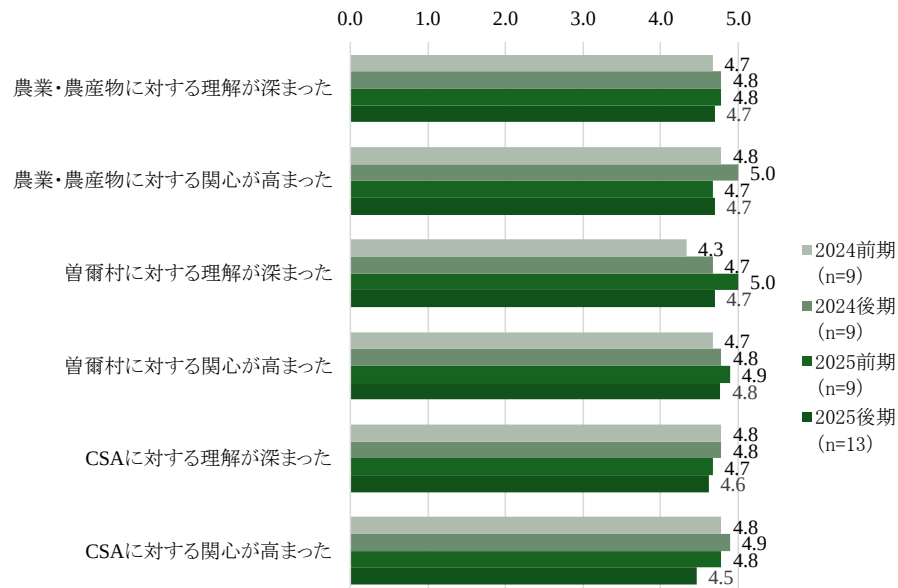


図 3：「そののわ CSA」による効果の推移（学生スタッフ）

注 1：「あてはまる」5 点、「ややあてはまる」4 点、「どちらともいえない」3 点、「あまりあてはまらない」2 点、「あてはまらない」1 点で評点化し、算術平均値を算出した。

注 2：過年度の結果もあわせて掲載している。

②大学・地域連携における CSA の効果的な実践モデルの考案

①の結果等を受けて、大学・地域連携における CSA の効果的な実践モデルの考案を行った。大学・地域連携への CSA の導入には複数のパターンが想定されるが、そののわ CSA のように大学サイドが消費者の立場で関わる場合、地域サイドの農業者を如何に確保するかが重要となる。そののわ CSA の場合、曾爾村農林業公社が曾爾村内の農業者のとりまとめを行う立場にあるため、曾爾村農林業公社の協力を得ることで、曾爾村内の農業者とも効果的に連携することが可能となる。このように、大学・地域連携における CSA においては、大学サイドでの組織化はもちろんのこと、地域サイドでの関係者の組織化や両者の間での有機的な連携体制の構築が重要となると考えられる。

3-1 【社会連携事業の報告】

大石 卓史 近畿大学農学部・アグリ技術革新研究所・社会連携推進センター

1) 奈良県曽爾村との連携活動

近畿大学と奈良県曽爾村による連携活動、中でも、「そののわ CSA」の名称で行っている CSA (Community Supported Agriculture: 地域支援型農業) の活動と関連付けながら、①曽爾村訪問ツアーの開催、②奈良キャンパスでのマルシェ開催、③関連する学生コンテストへの参加、④関連する社会科学的な調査・研究等を行った。

① 曽爾村訪問ツアーの開催

2025 年 7 月 30 日及び 10 月 12 日に曽爾村訪問ツアーを開催し、そののわ CSA に農産物を提供されている農家の圃場での援農活動や曽爾村行事の見学、曽爾村関係者との各種の意見交換等を行った。



曽爾村訪問ツアーの様子(2025 年 7 月 30 日(左)、2025 年 10 月 12 日(右))

② 奈良キャンパスでのマルシェ開催

2025 年 7 月 16 日に奈良キャンパスで曽爾村関係者と合同でマルシェを開催し、曽爾村産農産物・加工品の販売や、近畿大学農学部と奈良県曽爾村の連携活動の紹介等を行った。



奈良キャンパスでのマルシェの様子(2025 年 7 月 16 日)

③関連する学生コンテストへの参加

近畿農政局主催の「第2回みどり戦略学生チャレンジ近畿大会(大学・専門学校の部)」に参加(農業経営経済学研究室の学生有志にて)し、特別賞を受賞した。

学生コンテストでの受賞情報

第2回みどり戦略学生チャレンジ近畿大会(大学・専門学校の部)近畿農政局長賞
取組タイトル:「CSAの実践による大学・地域連携の推進と持続可能な消費の拡大 ～奈良県曽爾村と近畿大学農学部によるCSA「そののわCSA」を対象として～」
受賞者:近畿大学 農学部 農業生産科学科 農業経営経済学研究室

④関連する社会科学的な調査・研究

本テーマに関連する社会科学的な調査・研究を行った。

学会での受賞情報

2025年度 農村計画学会 実践賞
タイトル:大学・地域連携へのCSA(Community Supported Agriculture)の導入可能性の検証と実践
受賞者:大石卓史

論文情報

大石卓史*(2025):「大学関係者が関与するCSAに対する大学生の評価と支払意思額」『環境情報科学学術研究論文集』Vol.39, pp.46-51.
https://doi.org/10.11492/ceispapers.ceis39.0_46

発表情報

大石卓史(2025):「大学・地域連携へのCSA(Community Supported Agriculture)の導入可能性の検証 ―農学部の学生・教職員を対象としたアンケート調査に基づいて―」『農村計画学会2025年度全国大会』山形県。

河邊優作・大石卓史・松尾大志・古川璃来(2025):「大学・地域連携におけるCSA(Community Supported Agriculture)の実践が大学関係者に与える影響 ―近畿大学農学部と奈良県曽爾村による「そののわCSA」の取り組みを対象として―」『農村計画学会2025年度全国大会』山形県。

大石卓史(2025):「大学関係者が関与するCSAに対する大学生の評価と支払意思額」『2025年度環境情報科学研究発表大会』東京都。

これらの活動を通じて、下記の各種メディアにも取り上げられた。

- 1) 日本農業新聞(2025/5/13)「CSAで関係人口・担い手確保 生消との橋渡し役に 近畿大学×奈良県曽爾村」
- 2) 毎日新聞(2025/5/14)「近大に新鮮野菜お届け 曽爾村と CSA 連携 今年第 1 段の定期便」
- 3) 朝日新聞(2025/6/7)「近大生が橋渡し「農村振興の新しい形」」
- 4) 笑福亭晃瓶のほっかほかラジオ(KBS 京都ラジオ)(2025/6/25)「消費者が生産者の営農を支える「地域支援型農業(CSA)」について」

以 上

3-2 第13回奈良まほろば産学官連携懇話会の報告

日時：令和7年8月29日（金） 13:05～17:00

場所：近畿大学農学部 新教室棟211教室

以下のプログラムで開催された。

13:00	開会挨拶 近畿大学 副学長・アグリ技術革新研究所 所長 江口 充
13:05	1. 奈良県産業振興総合センターにおける発酵醸造食品の開発 (奈良県産業振興総合センター 総括研究員大橋 正孝)
	2. 身近な植物病害、うどんこ病を防除したい ～メロンうどんこ病を例として～ (近畿大学 農学部 農業生産科学科 教授 野々村 照雄)
	3. ニホンウナギの性成熟実験：トンネルラボ構想 (近畿大学農学部 水産学科 准教授 渡邊 俊)
	4. 超好熱菌由来チミジル酸代謝酵素を利用した PCR の効率化 (奈良女子大学 生活環境学部 食物栄養学科 准教授 福井 健二)
	5. 奈良県オリジナル酒造好適米「なら酒1504」の開発経緯 (奈良県農業研究開発センター 総括研究員 小林 幹生)
15:15	企業紹介
	1. ドネードウガトー
	2. Total Beauty 春
	3. 株式会社 リリオンテ
16:00	特別講演 スギの歴史、生態と林業～日本を代表する樹木の横顔～ (近畿大学 農学部 教授 正木 隆)
17:00	開会挨拶 近畿大学農学部 学部長補佐 川崎 努

おおよそ41名程度の参加者があり、前半にはPCR技術、発酵技術2演題、ウナギの養殖技術とバラエティーに富んだ講演内容があった。中には完成に至るまで相当の年月を要した研究の紹介があり、どの講演も感銘を受ける内容で、活発な質疑応答があった。また、企業紹介では、特徴のある製品の紹介があり、サンプルも配布され、熱意が感じられた。

最後に本学農学部環境管理学科教授で日本林学会会長の正木 隆教授のスギに関する特別講演があり、基礎から農政に至るまでスギに関する背景と重厚な研究の歴史が紹介された。

