



国際農林水産業
研究成果情報

— 2025 年度 —



地球と食料の未来のために



国立研究開発法人
国際農林水産業研究センター

通し番号	ID	プログラム名	分類	プロジェクト略称	執筆責任者	研究成果情報名
1	A01	環境(A)	研究	カーボンリサイクル	鵜家綾香	稲わらから効率的に高濃度糖液をつくる微生物糖化法
2	A02	環境(A)	研究	環境適応型林業	谷尚樹	ゲノム解析に基づくチーク遺伝資源の地域環境適応性と気候変動下での活用戦略
3	A03	環境(A)	研究	環境適応型林業	河合清定	ファルカタの成長は地域個体群で異なり葉の窒素濃度が成長速度の指標になる
4	A04	環境(A)	行政	熱帯島嶼環境保全	濱田耕佑	生産者と消費者双方の取り組みによる窒素負荷削減効果の見える化
5	A05	環境(A)	技術	持続的土地管理	大西純也	浅層暗渠や地中灌漑による土壌塩類化を軽減するための技術マニュアル
6	B01	食料(B)	研究	レジリエント作物	小林安文	キヌアの高塩耐性を支える3つのNa ⁺ 排除輸送体
7	B02	食料(B)	研究	新需要創造	高井俊之 齋藤大樹	ラオス産黒米由来で玄米のフィチン酸含量を高める量的遺伝子座qPA1の検出
8	B03	食料(B)	技術	新需要創造	丸井淳一郎	黄麴・白麴を用いた麴甘酒化による玄米フィチン酸の脱リン酸化・イノシトール生成促進
9	B04	食料(B)	研究	越境性害虫	草野栄一 小堀陽一	ツマジロクサヨトウ防除のための天敵昆虫増殖費推計モデルによる経済性評価
10	B05	食料(B)	研究	熱帯水産養殖	奥津智之	淡水エビ類で初の生殖細胞凍結保存による遺伝資源長期保存技術
11	B06	食料(B)	研究	熱帯水産養殖	齋藤稔	タイ東北部における小型テナガエビ類の生活史特性と資源管理方策
12	B07	食料(B)	技術	熱帯水産養殖	松田竜也	紅藻カギケノリの世代交代を利用した配偶体種苗の生産技術
13	B08	食料(B)	技術	熱帯水産養殖	坂本達也	熱帯カキ養殖の生産拡大に向けた小規模養殖向け中間育成装置
14	B09	食料(B)	技術	アフリカ畑作システム	伊ヶ崎健大 井関洸太郎	スーダンサバンナの土壌型を考慮した収量・純収益を最大化するソルガム栽培法
15	B10	食料(B)	研究	アフリカ畑作システム	井関洸太郎	乾燥と過湿に強いササゲ遺伝資源の発見とその根の形態変化による土壌水分適応
16	B11	食料(B)	技術	アフリカ畑作システム	中村智史 伊ヶ崎健大	ICP全波長スペクトルの深層学習による多項目同時測定可能な土壌診断法
17	B12	食料(B)	研究	アフリカ畑作システム	八下田佳恵 中村智史	農家の目で土壌を診る：土壌肥沃度認識の妥当性と圃場管理への活用
18	B13	食料(B)	研究	アフリカ畑作システム	李根雨	土壌保全技術の採用と農家間普及における社会構造的要因
19	B14	食料(B)	研究	アフリカ稲作システム	浅井英利	リン欠乏水田への家畜ふん堆肥の選択的施用が水稻収量を向上させる
20	B15	食料(B)	研究	アフリカ稲作システム	植田佳明	クエン酸輸送体FRDL1の欠損がもたらすイネの鉄過剰ストレス耐性
21	B16	食料(B)	研究	アフリカ稲作システム	西垣智弘 岡本卓哲	マダガスカル中央高地の水田土壌の有機炭素含量は土壌化学性によって規定される
22	B17	食料(B)	技術	アフリカ稲作システム	廣内慎司	アフリカの灌漑地区に向けた水資源利用効率化技術ガイドライン
23	C01	情報(C)	研究	熱帯作物資源	寶川拓生	小型で安価なマイコンとCO2センサーを用いた簡易光合成測定装置
24	C02	情報(C)	研究	熱帯作物資源	寶川拓生	サトウキビとエリアンサスの属間雑種はサトウキビより葉の水利用効率が優れる
25	C03	情報(C)	研究	熱帯作物資源	寺島義文	日本在来サトウキビ野生種の遺伝的特異性と遺伝資源としての価値
26	C04	情報(C)	研究	熱帯作物資源	國吉大地	倍数性操作によるアジアイネ×アフリカイネ稔性雑種の新たな作出手法

稲わらから効率的に高濃度糖液をつくる微生物糖化法

稲わら糖化の実装には、糖化反応を維持し高濃度糖液を得る糖化法が必要である。Tween 20（界面活性剤）添加は、酵素の非生産的吸着および酵素活性低下を抑え、高固形分条件での糖化安定化に寄与する。また、Tween 20の添加と、稲わらを段階的に追加投入する半連続運転を組み合わせることで、高固形分条件でも外部酵素添加に依存せずに糖化を維持できる。本手法では、稲わら総投入量 250 g L^{-1} に対しグルコース 140 g L^{-1} （理論収率の 70.1%）が得られる。本成果は、高負荷糖化の条件設定とスケール検討の指針となる。

キーワード：稲わら、微生物糖化、高濃度糖液、半連続運転、Tween 20

背景・ねらい

稲わらはアジア各地で大量に発生し、収穫後の処理として野焼きが行われる地域も多い。野焼きは煙・PM2.5等による大気汚染や健康影響、国境を越えて煙害が広がることもあるなど、地域社会にとって重要な環境課題である。一方、稲わらを糖化して得られる糖液は、燃料（バイオエタノール）に加え、有機酸や日用品原料となる化学品の製造にも利用でき、野焼きに代わる新たな処理・利用の選択肢として有望である。しかし実装には薄い糖液ではなく、後段の発酵・精製工程の効率向上のため高濃度糖液を得ることが必要となる。そのため高固形分糖化が不可欠であるが、基質濃度の上昇は粘度増大による混合不良に加え、糖化酵素の吸着や活性低下、阻害因子の蓄積を招き、糖化プロセスを不安定化させる。また外部酵素添加に依存する従来法は、コストと供給制約の面で普及の障壁となる。そこで本研究では、外部酵素添加を前提としない微生物糖化法を基盤に、界面活性剤の活用と稲わらを培養途中に追加投入する方法（半連続運転）を組み合わせた運転設計により、高固形分条件でも糖化を安定的に維持して高濃度糖液を得る条件を体系化する。

成果の内容・特徴

1. Tween 20（界面活性剤）添加は、酵素の非生産的吸着および活性低下を抑制し、高固形分（高負荷）条件下で微生物糖化を安定化する。Tween 20添加条件では糖生成が向上するだけでなく、培養液中のセルラーゼおよび β -グルコシダーゼ活性の保持が改善し、糖化が継続しやすい運転状態の確立に有効である（表1）。
2. セルロース分解菌(*Clostridium thermocellum*)と補助菌（ β -グルコシダーゼ生産菌 *Thermobrachium celere* A9：特許第 7460978 号）の共培養により微生物糖化法は成立するが、高固形分条件では糖化の進行が不安定化しやすい（図1）。
3. 共培養に Tween 20 添加と稲わらの段階的追加投

入による半連続運転を組み合わせることで、糖化停滞が回避され、高濃度糖液を安定的に得られる。初期 150 g L^{-1} の稲わらで糖化を開始し、その後 100 g L^{-1} の稲わらを追加投入する二段投入の条件では、Tween 20 添加区で総量 250 g L^{-1} 条件でもグルコース 140 g L^{-1} （理論収率の 70.1%）が得られるのに対し（図2A）、Tween 20 無添加区では糖化が不安定化し、得られるグルコースは 99.2 g L^{-1} （理論収率 49.5%）にとどまる（図2B）。

成果の活用面・留意点

1. 本法は、国際農研とキングモンクット工科大学トンブリ（タイ）の共同研究で構築した外部酵素添加に依存しない微生物糖化法であり、稲わらなど未利用バイオマスの糖液製造工程の低コスト化とアジア各地での実装検討に活用できる。
2. 追加投入（半連続運転）と条件設定の考え方は、高固形分糖化の運転安定化に有効であり、実証規模でのスケール検討（基質投入、混合・攪拌、運転管理）の指針として利用できる。
3. 培養を伴うため滞留時間の設計や菌の維持・追加の可否を検討する必要がある。加えて、界面活性剤は最小有効量の設定、安価な代替剤（非イオン性界面活性剤：アルコールエトキシレートやアルキルポリグルコシド等）への置換可能性、後段工程への影響を評価する必要がある。

その他

予算区分：交付金プロ [A2 カーボンサイクル]

研究実施期間：2021～2025 年度

研究担当者：Sreyneang, N., Rattiya, W.（キングモンクット工科大学）、鶴家綾香、小杉昭彦（生物資源・利用領域）

発表論文等：国際農研プレスリリース 2022 年 6 月 微生物の培養だけでセルロースを糖化する技術を開発—微生物糖化法で糖化酵素に要するコストをゼロに一

Nhim et al. (2025) *Frontiers in Microbiology* 15:1519060. <https://www.frontiersin.org/journals/microbiology/articles/10.3389/fmicb.2024.1519060/full>

表1 Tween 20（界面活性剤）添加による稲わらを用いた微生物糖化法に及ぼす影響

Tween 20 (% v/v)	培地中に蓄積された グルコース量(g L ⁻¹)	稲わら ^{*1} 中のセルロース成分からの グルコース回収率(%)	セルラーゼ酵素活性 (U/mL)	β-グルコシダーゼ酵素活性 (U/mL)
添加なし	78.8 ± 0.2	65.7 ± 0.2	2.5 ± 0.3	3.0 ± 0.2
0.1	82.5 ± 0.3	68.8 ± 0.3	3.3 ± 0.2	4.5 ± 0.1
0.5	90.8 ± 0.2	75.7 ± 0.2	5.2 ± 0.1	5.3 ± 0.2
1.0	80.8 ± 0.5	67.4 ± 0.5	2.8 ± 0.3	4.5 ± 0.3
1.5	54.8 ± 0.5	45.3 ± 0.5	1.3 ± 0.3	1.1 ± 0.1

^{*1}アルカリ前処理した稲わらを使用（前処理条件は Nhim et al. (2025)を参照）。稲わら固体負荷 150 g L⁻¹ 条件下における *Clostridium thermocellum* と *Thermobrachium celere* A9 の共培養を用いた微生物糖化試験。Tween 20 は容量比 (% v/v)にて添加している。数値は3回の実験の平均値±標準偏差である。

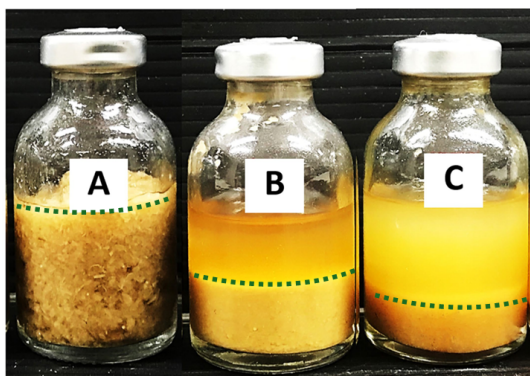


図1 微生物糖化を用いた、150 g L⁻¹の稲わらにおける糖化に対する Tween 20（界面活性剤）添加の影響を示す画像
A. 糖化菌接種なし、B. Tween 20 添加なしの微生物糖化、C. 0.5% Tween 20 添加の微生物糖化の様子を示す。各線は微生物糖化中の基質残量を示す。

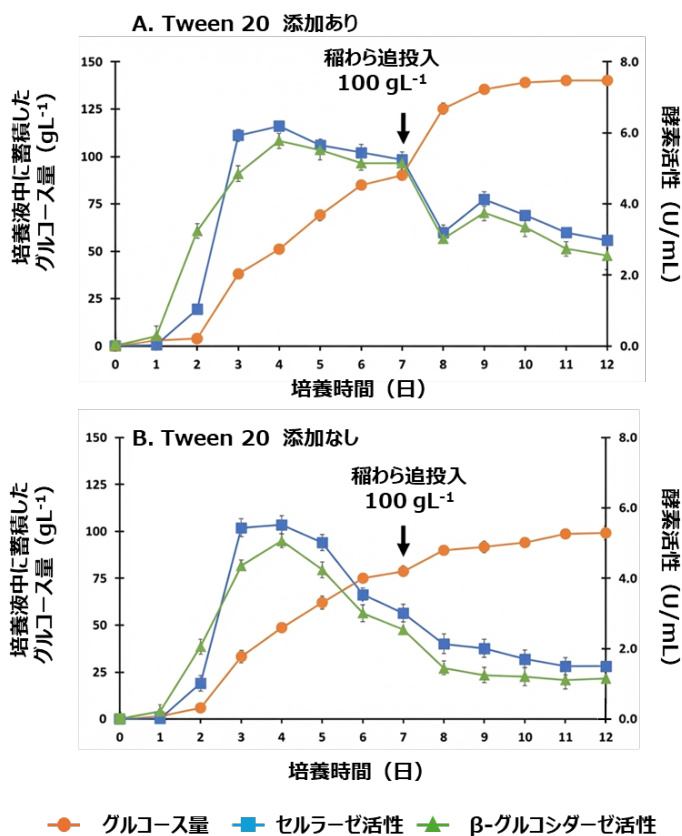


図2 稲わらを用いた半連続運転式微生物糖化初期固体負荷量 150 g L⁻¹で開始し、その後処理済み稲わらを 100 g L⁻¹添加。添加液には 0.5% (v/v)の Tween 20 を含む。A. Tween 20 を添加した場合、B. Tween 20 を添加しない場合、を示す。矢印は稲わら添加時点を示す。データは3回の独立した実験の平均値を示し、エラーバーは標準偏差を示す。

図は Nhim et al. (2025) より CC BY 4.0 に従い転載/改変して作成
© Author(s) 2025 <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ja>

ゲノム解析に基づくチーク遺伝資源の地域環境適応性と気候変動下での活用戦略

熱帯林で深刻化する気候変動への対策技術を開発するためには、熱帯優良樹種チークにおける遺伝的多様性と気候適応性との関係に関する科学的根拠の整理が求められる。気候要因とのゲノム連関解析の結果は、インド南部 Malabar 地域に分布する集団が高温に対して高いレジリエンスを備えることを支持する。将来の気候が Malabar 地域と類似すると予測されるインドネシア・ジャワ島における気候変動に適応した持続的なチーク林業の実現には、同集団の遺伝資源を活用した人工林の改良が有効である。

キーワード：熱帯有用樹種、チーク、ゲノム解析、地域環境適応、気候変動

背景・ねらい

地球規模の気候変動により、気温上昇や降水パターンの変化が森林生態系へ深刻な影響を及ぼしている。樹木は長寿で移動できないため、急速に進行する気候変動の影響を特に強く受けやすく、安定的な木材生産を維持するためには、林業のレジリエンスを高めることが不可欠である。このため、各樹種や地域集団が有する環境適応性を遺伝的に評価し、将来を見据えた植林計画へ早期に反映させることが重要である。

チーク (*Tectona grandis*) は、インドからインドシナにかけて天然分布し、耐久性と木目の美しさから経済価値の高い世界有数の熱帯広葉樹であり、現在では約65か国で植林され、家具材などとして広く利用されている。インドネシアでも、重要な人工林樹種として長年にわたり利用されている。従来、インドネシアのチーク集団はインドから導入されたと考えられてきたが、近年の遺伝解析により、インドネシア集団はインド集団よりも、タイなどインドシナの集団と遺伝的に近縁であることが明らかとなっている。しかし、これらの遺伝的背景の違いが、気温や降水量といった環境条件への適応性とどのように関係しているのかについては、十分に解明されていない。

そこで本研究では、チークの天然分布域およびインドネシアの人工林に由来する集団のゲノム情報を用い、遺伝的多様性と気候環境への適応性との関係を明らかにする。また、得られた知見をもとに、インドネシアにおけるチーク人工林を気候変動に適応した形へと改善し、将来にわたって持続的な木材生産を可能とする植林・施業戦略の構築に資することをねらいとする。

成果の内容・特徴

1. 天然分布域およびインドネシア人工林由来個体のゲノム解析（図1）の結果は、インド集団が他地域集団よりも大きな遺伝的変異を有し、特にインド南部（Malabar）集団が最も強い遺伝的分化を示すことを支持する（図2A）。
2. ゲノム上の塩基多型と気候要因との連関解析は、温度と強く連関するゲノム領域が多数存在し、特に雨

期の平均気温と連関する塩基変異が顕著に多いことを示す。一方、雨量と連関するゲノム領域は少数であり（図2B）、温度変化へのレジリエンスの向上が重要であることを示唆する。

3. 雨季の平均気温と連関するゲノム領域の詳細な解析結果は、インド南部、インド北部で地域環境への高い適応性を示唆する（図3A）。また、気候変動モデルに基づく将来予測は、これら2集団は気候変動への高いレジリエンスを示す（図3B）。
4. 気候変動モデルに基づく将来予測では、インドネシア・ジャワ島の将来の気温および降水量は、インド南部地域の気候条件と類似する。このことから、Malabar 集団の遺伝変異を導入することで、インドネシアにおけるチーク人工林の改良により、将来気候への適応が可能となる。

成果の活用面・留意点

1. 本成果は、将来の気候条件を考慮したチーク植林の産地選定や遺伝資源管理に活用でき、特にインドネシアの人工林を気候変動に適応させるための科学的根拠を提供する。
2. Malabar 集団の遺伝変異を、種子移動や交配育種を通じて導入することにより、将来環境に適応した人工林造成が期待できる。
3. Malabar 遺伝資源の導入にあたっては、現地集団との交雑や遺伝的多様性の維持、病害抵抗性や成長特性への影響などに留意し、段階的な試験植栽や長期的な評価を行う必要がある。

その他

予算区分：交付金プロジェクト [A4 環境適応型林業（第5期）]、外部資金 [SATREPS]

研究実施期間：2021～2025年度

研究担当者：谷尚樹（林業領域）、小沼祐之介、津村義彦（筑波大）Prasetyo E., Widiyatno, Indrioko S., Na'iem M.（ガジャマダ大学）

発表論文等：Onuma et al. (2025) *Forest Science and Technology* 21: 353-373.

<https://doi.org/10.1080/21580103.2025.2519469>

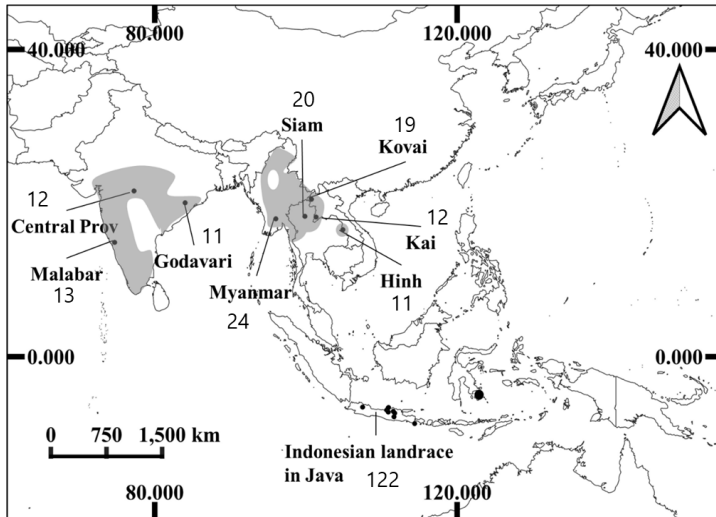


図1 チークの天然分布域とインドネシア国際チーク産地試験林においてサンプルを採取した個体の由来集団の位置とゲノム解析に供試した個体数

黒の網掛はチークの天然分布域を表す、黒丸は国際チーク産地試験林の個体の由来産地の位置、集団名付近の数字はゲノム解析に供試した個体数を表す。

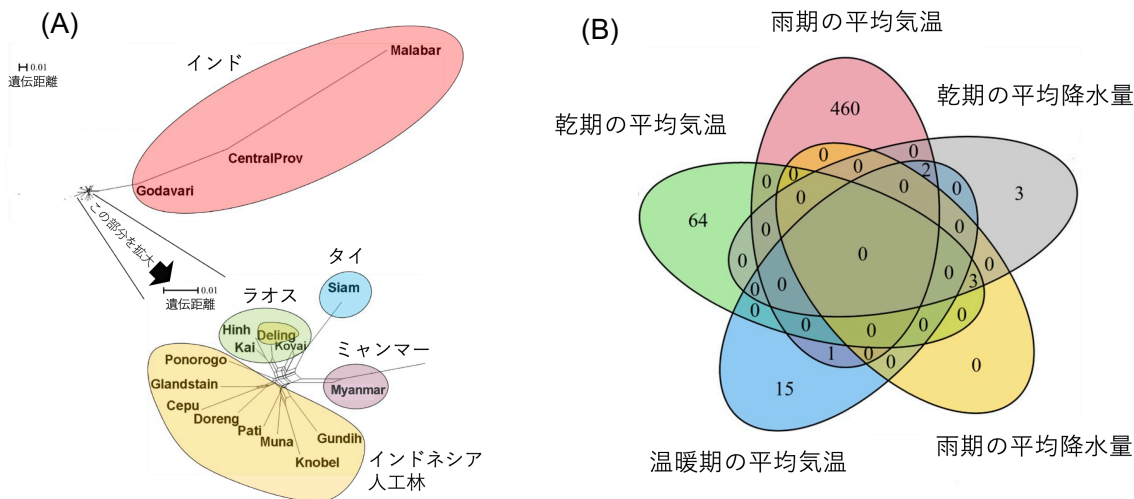


図2 ゲノム解析によるチーク集団間の遺伝的差異と天然分布域の集団における生物気候分類と有意に関連する遺伝子座数

(A) 樹状図上の名称は分析個体の由来する集団名を示し、網掛けはその集団の属する国を示す（Deling はインドネシアに属する）。インド3集団とそれ以外の集団は非常に大きな遺伝的差異が認められる。さらに、インド3集団間の遺伝的差異も大きい。(B) 雨期の平均気温では460個と乾期の平均気温とは64個のゲノム上の塩基変異と関連がみられる。

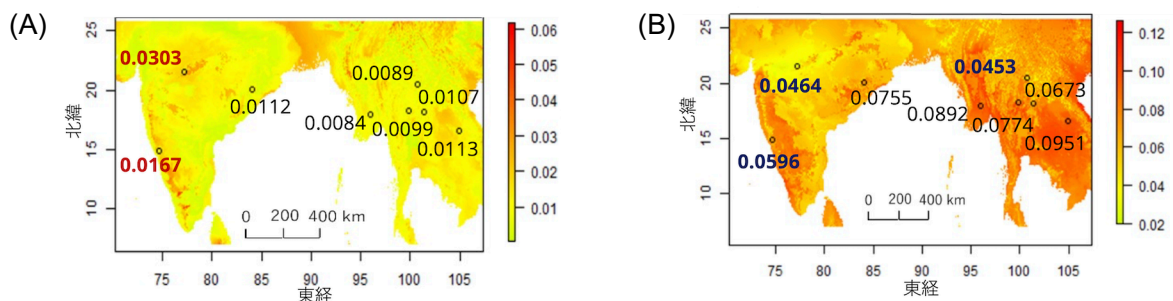


図3 地域の環境への適応の強さと、将来の気候変動へのレジリエンス

(A) 産地付近の数字が大きいほど遺伝変異が地域環境に強く適応していることを示し、インドの2集団では特にこの値が大きい。(B) SSP5-8.5 シナリオで気候変動下において遺伝変異の変化をシミュレーションし、産地付近の数値が小さいほど強いレジリエンスを示す。インド2集団とラオス1集団でこの指標は小さくなるが、ラオスは高標高地であり温度変化が小さいため疑似レジリエンスが示された可能性がある。

ファルカタの成長は地域個体群で異なり葉の窒素濃度が成長速度の指標になる

ファルカタは東南アジアの重要な木材資源である。インドネシアとソロモン諸島の遺伝的に異なる個体群間では成長速度に差がみられ、葉の窒素濃度は光合成速度および成長速度と強く相関する。これらの形質には遺伝的基盤が存在することが示唆され、葉の窒素濃度が高く光合成速度の高い個体を選抜することで、木材生産性の向上に寄与できる。

キーワード：早生樹、ファルカタ、光合成、熱帯林、窒素濃度

背景・ねらい

ファルカタ (*Falcataria falcata*) はインドネシア、ソロモン諸島、パプアニューギニアなどが原産のマメ科の樹木で、世界一成長が速い樹木の一つである。加えて、木材は適度な強度と加工性をもつことから、集成材や合板の原料として需要が高く、近年植林面積が拡大している。しかし、同一の植林地内でも成長速度の個体差が大きいため、木材生産性を向上させるためには、成長の速い個体の選抜と、それらの植林による成長速度の均一化が課題である。そこで、成長のばらつきの原因を解明し、成長速度と関連する簡便な指標を同定できれば、優良個体の選抜にかかる時間を短縮できる。個葉の光合成速度、窒素濃度や葉重量当たりの葉面積(SLA)などの葉の特性は、樹木の物質生産に影響するため、成長速度と関連する場合が多く、指標として有効だと考えられる。しかし、ファルカタについては、遺伝的に異なる地域個体群間での成長特性や葉の形質の違いが不明で検証が必要である。本研究では、インドネシアとソロモン諸島の遺伝的に異なる個体群を用い、ファルカタの相対成長速度と、光合成速度ならびに光合成に関連する葉の特性との関係を検討する。

成果の内容・特徴

1. インドネシアとソロモン諸島の9地点（図1A）から得られたファルカタの種子を同一環境で生育させた場合（図1B）、3週間の直径と樹高の変化から得られる個体重の相対成長速度*に個体群間で大きな差がみられる（図2）。
2. 個体上部の葉では、個葉の最大光合成速度**と窒素濃度に個体群間の差が認められるが、SLAには差がみられない。
3. 各個体群の平均の最大光合成速度は葉の窒素濃度と正に相関する（図3）。

4. 各個体群の平均のSLAは相対成長速度と相関しないが、葉の窒素濃度は相対成長速度と強い正の相関を示す（図4）。
5. 葉の窒素濃度が高く、光合成速度が高い個体群ほど成長が速いため、この特性を指標とすることで、成長速度の速い個体を簡便に選抜することができ、優良個体の選抜にかかる時間の短縮が可能となる。

*相対成長速度：重量当たりの成長速度を表し、値が大きいほど効率よく成長できることを示す。

**最大光合成速度：光や水、温度などの制限がない条件下での光合成速度の最大値を表す。

成果の活用面・留意点

1. ファルカタの成長速度と光合成特性には遺伝的な基盤が存在することが示唆され、育種によって、優れた成長や生理特性を有する品種の開発に活用できる。
2. 葉の窒素濃度を成長の指標とすることで、多様なファルカタの育種集団において、優れた成長特性を有する個体の選抜が加速化する。
3. 環境変動が大きい植林地および成木でも同様の試験を行うことで本成果の妥当性が高まる。

その他

予算区分：交付金プロ [A4 環境適応型林業（第5期）]、外部資金 [SATREPS]

研究実施期間：2021～2025年度

研究担当者：河合清定、田中憲蔵、谷尚樹（林業領域）、Faridah, E., Figyantika, A., Romadini, N. P., Sawitri, Prehaten, D., Widiyatno, Na'iem M.（ガジャマダ大学）、津村義彦（筑波大学）

発表論文等：Faridah et al. (2025) *Trees* 39: 78.

<https://doi.org/10.1007/s00468-025-02652-8>

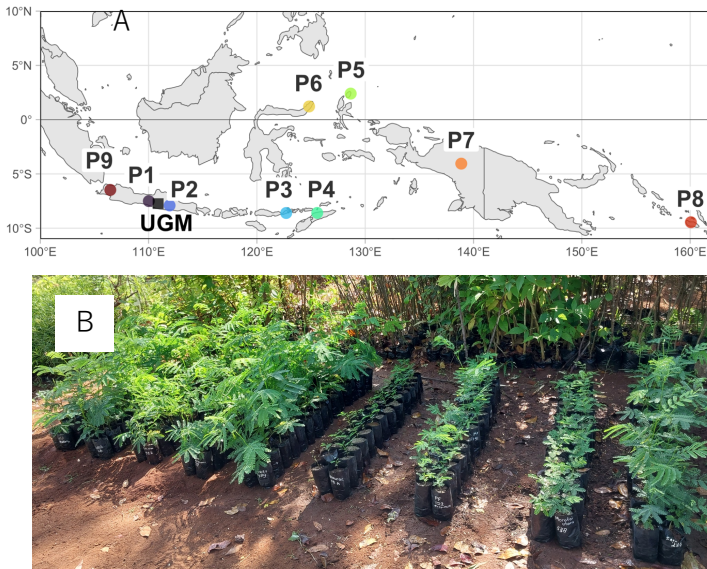


図1 ファルカタの種子の採取地とガジャマダ大学(UGM)の位置 (A)、育苗中のファルカタのポット苗 (B)

(A) 丸はファルカタの種子を採取した地点を、四角は測定を実施したガジャマダ大学の位置を、図中の文字は地域個体群を示す。ジャワ島の3地点(P1、P2、P9)では人工林で、他の地点では天然林で種子を採取した。(B) ガジャマダ大学の演習林で育苗中のファルカタのポット苗。比較のため個体群ごとに並べてある。

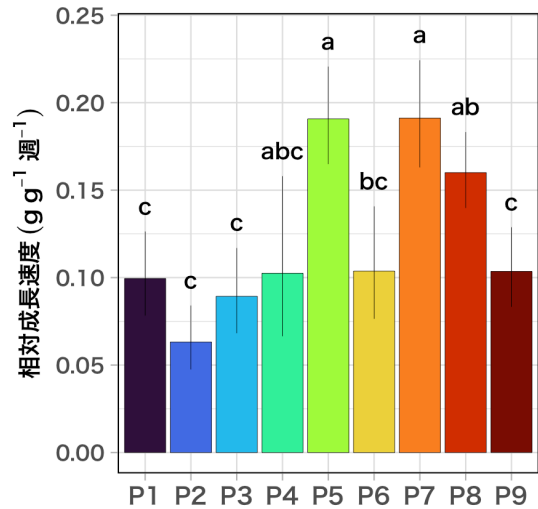


図2 各個体群のファルカタの相対成長速度

異なるアルファベットは Tukey の HSD 検定により有意差があることを示す ($p < 0.05$)。エラーバーは 95%信頼区間 ($n = 29-30$) を、棒グラフの色は図1と同じ個体群を示す。

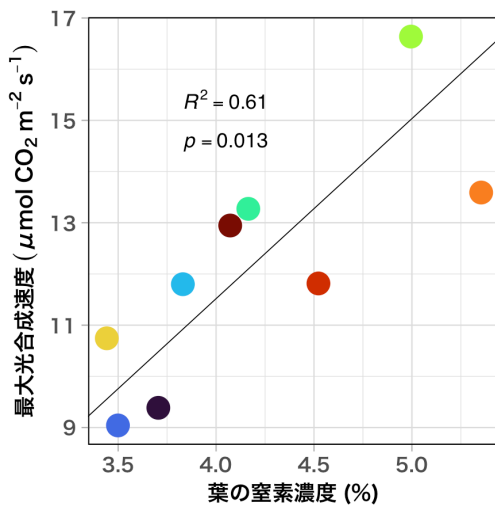


図3 葉の窒素濃度と最大光合成速度の関係

葉の最大光合成速度は葉の窒素濃度と正の相関をもち、窒素濃度が高い個体群ほど光合成能力が高いことが分かる。点の色は図1と同じ個体群を、実線は単回帰分析で求めた回帰直線を表す。各点は5個体の平均値を表す。

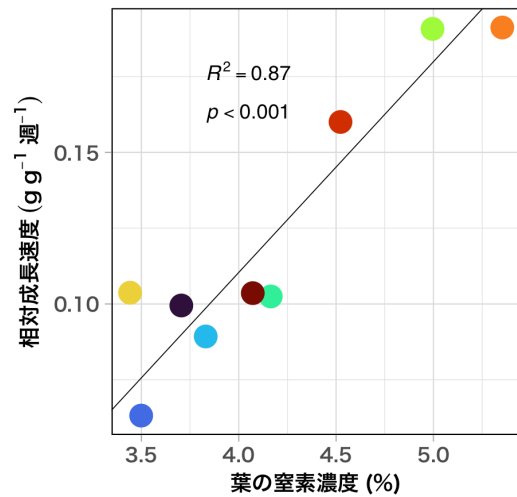


図4 葉の窒素濃度と相対成長速度の関係

相対成長速度は葉の窒素濃度と正の相関をもち、窒素濃度が高い個体群ほど成長が速いことが分かる。点の色は図1と同じ個体群を、実線は単回帰分析で求めた回帰直線を表す。各点について葉の窒素濃度は5個体の平均値を、相対成長速度については、29-30個体の平均値を表す。

図は Faridah et al. (2025) © Springer 2025 より転載/改変して作成（転載/改変許諾済み）

生産者と消費者双方の取り組みによる窒素負荷削減効果の見える化

沖縄県石垣島に食の窒素フットプリントを適用することにより、生産者と消費者の双方の行動が食料システムに起因する島内外の窒素バランス改善に与える影響を評価できる。その前提条件として牛糞堆肥の農地還元促進を生産者の行動とし、植物性たんぱく質中心の食生活や食品ロス削減とその家畜飼料への再利用を消費者の行動と位置付ける。生産者の取り組みでは、島内の化学肥料および窒素負荷量をそれぞれ 20%および 13%削減できる。消費者の取り組みでは、島外地域での窒素投入および負荷量をそれぞれ 19%および 31%削減できる。

キーワード：窒素フットプリント、牛糞堆肥、食品ロス、食の選択、窒素バランス

背景・ねらい

反応性窒素は作物生産に不可欠だが、化学肥料への過度な依存により堆肥などの有機資源利用が進まず、農業由来の窒素負荷を高める一因となっている。また、動物性たんぱく質中心の食生活や食品ロスの増加も、食料システム全体としての窒素負荷を拡大させている。こうした反応性窒素の増加は、すでに地球が安全に許容できる範囲（プラネタリー・バウンダリー）を超えているとされ、地球規模の重要課題として位置付けられている。窒素に起因する環境負荷を軽減するために、生産者と消費者の双方が窒素循環の改善に取り組むことが求められている。しかし、これらの取り組みが地域内外の窒素バランスに与える影響を包括的かつ定量的に評価した研究は限られており、島嶼地域を対象とした食と環境をつなぐ施策などに活かしにくい状況にある。

食の窒素フットプリントは食料システムから環境中に排出される反応性窒素を表し、窒素負荷主因の特定や改善シナリオの検討などに活用ができる。本研究は、沖縄県石垣島に食の窒素フットプリントを適用し、島内外の食料・飼料の流れを対象とした窒素投入量と負荷量を定量的に分析する。さらに生産者・消費者の行動変容による窒素投入量および負荷量の削減ポテンシャルをシナリオ分析で評価する。

成果の内容・特徴

1. 石垣島へ食の窒素フットプリントを適用する。肉牛飼養が盛んな石垣島での計算を精緻化するため、輸入・移入粗飼料や牛糞堆肥の農作物生産への配分を考慮する。島内の食料生産で不足する食料は輸入・移入でまかなうと仮定する。輸入・移入食料の内容は2015年の日本の食生活から決定する。
2. 石垣市や国、県の統計データを用いて現況の窒素フローを求める（図1）。牛糞利用率は既往研究を参考に13%とする。石垣島では2022年現在、島内の窒素投入量は約116万kg N（化学肥料）、負荷量（環境中に排出される窒素）は約176万kg Nであ

り、島外地域（輸入・移入の食料・飼料の生産に関連）の窒素投入量（化学肥料など）は約142万kg N、負荷量は約73万kg Nである。

3. 対策シナリオを設定し、生産者および消費者の窒素投入量と負荷量の削減ポテンシャルを評価する。生産者の取り組みとして、牛糞堆肥の農地還元率を70%に引き上げた場合を検討する。消費者の取り組みとして、植物性たんぱく質中心だった1970年の日本の食生活を取り入れ、さらに食品ロスの削減と飼料利用を進めるシナリオを設定する。
4. 窒素負荷量は、生産者の取り組みにより島内で13%削減され、消費者の取り組みで島外地域で31%削減できる（図2上）。窒素投入量は、生産者の取り組みにより島内で20%削減され、消費者の取り組みにより島外地域で19%削減できる（図2下）。

成果の活用面・留意点

1. 本成果は、窒素負荷の削減を目的とした生産者側の施策のみならず、消費者の行動変容を含めた包括的な環境評価への応用が期待できる。
2. みどりの食料システム戦略やSDGsに沿った取り組みを進める自治体の施策や、フィリピンなど他の熱帯地域への応用、行政・教育・企業などとの連携を通じた普及・啓発活動の強化へ活用できる。
3. 本シナリオの実効性評価には、地場産業への影響や経済性を考慮した多面的な分析が必要である。また、段階的な普及計画の策定を目指し、低環境負荷で持続性の高い食生活モデルの提案や、有機資源の効果的な循環利用法の検討を進める必要がある。

その他

予算区分：交付金プロ [A5 熱帯島嶼環境保全（第5期）]
研究実施期間：2021～2025年度
研究担当者：濱田耕佑（熱帯・島嶼研究拠点）、江口定夫、平野七恵、朝田景（農研機構）
発表論文等：Hamada et al. (2025) *Environmental Research Letters* 20: 114017. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ae0b95>

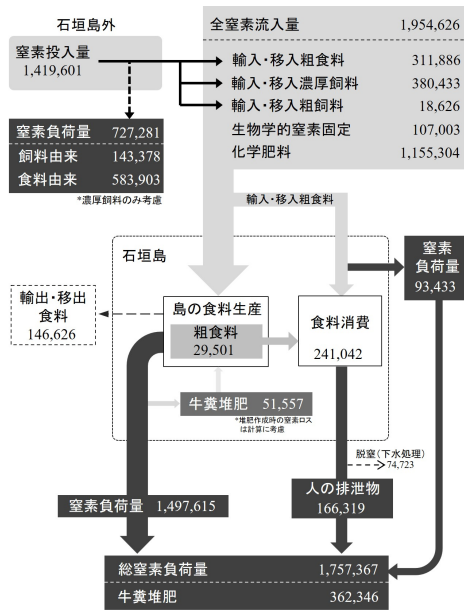


図1 石垣島の食料システムの現況の窒素フロー

単位は kg N である。石垣島外の窒素投入量および負荷量は輸入・移入食料および飼料の生産に伴うものである。輸入は国外から、移入は国内の別地域からの流入を示す。ここで窒素は、反応性窒素のみを示す。[令和5年度国際農林水産業研究成果情報 A09「窒素フットプリントを活用した窒素負荷・化学肥料の削減効果と資源循環の見える化」](#)の計算手法に2022年の石垣市統計資料を適用し計算をする。

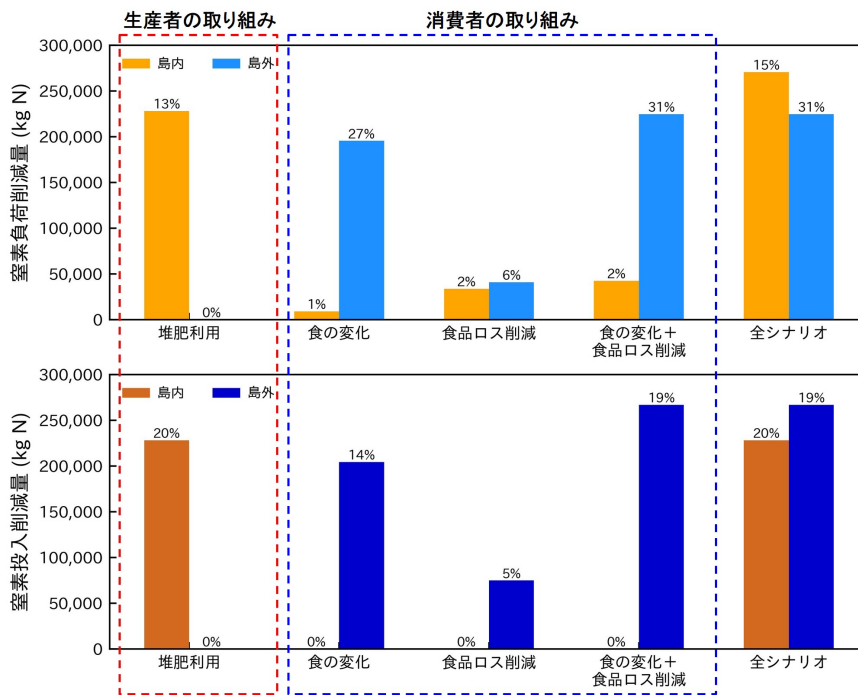


図2 各シナリオの窒素負荷および投入量の削減効果

各シナリオが現況の島内の窒素負荷と投入量（1,757,367 kg N と化学肥料量 1,155,304 kg N；図1）および島外の窒素負荷と投入量（727,281 kg N と 1,419,601 kg N；図1）をどの程度削減できるかを示す。ここで窒素は、反応性窒素のみを示す。

【図中の補足説明】

- 棒グラフ上の% : 現況シナリオを基準とした各対策削減率
- 島内（橙色） : 石垣島内での食料生産から消費における窒素負荷量と投入量
- 島外（青色） : 島外で生産された輸入食品や飼料の生産過程での窒素負荷量と投入量
- 堆肥利用 : 牛糞堆肥の利用拡大により化学肥料投入を削減する取り組み
- 食の変化 : 植物性たんぱく質中心だった1970年の日本の食生活を取り入れるシナリオ
- 食品ロス削減 : 食品ロスの削減と残渣の家畜飼料への再利用
- 食の変化+食品ロス削減 : 1970年の日本の食生活、食品ロスの削減とその飼料利用
- 全シナリオ : 輸入食品の見直しによる食の構成変化、食品ロス削減と残渣の飼料利用、牛糞堆肥の活用による化学肥料代替を全て組み合わせるケース

図は Hamada et al. (2025) より CC BY 4.0 に従い転載/改変して作成
 © Author(s) 2025 <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ja>

浅層暗渠や地中灌漑による土壌塩類化を軽減するための技術マニュアル

インド北部のヒンドゥスターン平野では、灌漑農業に起因した土壌の塩類化が深刻化している。こうした状況を踏まえて作成された「浅層暗渠と地中灌漑による土壌塩類化の軽減技術マニュアル」では、日本で開発されたトラクターアタッチメント「カットソイラー」を用いた浅層暗渠の施工方法と除塩効果、さらに「ウォータードロップチューブ」を活用した地中灌漑の適用方法と節水効果について解説する。また、深刻な排水不良をもたらす土壌のソーダ質化や土壌の塩類化と密接に関連する地下水位の動態についても詳述する。

キーワード：土壌塩類化、浅層暗渠、地中灌漑、地下水、ソーダ質化

背景・ねらい

インド北部のヒンドゥスターン平野では、高塩分濃度の地下水による塩水灌漑と圃場の排水不良による塩分の残留により、土壌の塩類化が深刻な課題となっている。その対策として、排水改良と節水が有効であるが、排水路や暗渠網、点滴灌漑やスプリンクラーの導入には初期投資や維持管理費が必要となる。日本で開発されたトラクターアタッチメント「カットソイラー」による浅層暗渠、「ウォータードロップチューブ」による地中灌漑、畝間灌漑の改良による節水は、一般的な暗渠排水や節水技術（点滴灌漑やスプリンクラー）と比べ、比較的、安価で容易であり、営農活動として実践できる持続的な対策として有望である。これらの技術の利用促進を図るため、技術マニュアルを作成する。

成果の内容・特徴

1. 技術マニュアルは A4 版約 80 ページの冊子で、関係機関および農家からの理解を得やすくするため、写真やイラストを多用しており（図 1）、第 1 章「背景と目的」、第 2 章「土壌の塩類化」、第 3～6 章「浅層暗渠」、第 7 章「節水」で構成される（表 1）。
2. 排水対策として、カットソイラーによる浅層暗渠の構造や施工方法を紹介し、除塩および pH 改良の効果、最適な施工間隔を示す（令和 4 年度国際農林水産業研究成果情報 A11「カットソイラーによる浅層暗渠は土壌塩分を軽減する」、令和 6 年度国際農林水産業研究成果情報 A10「カットソイラー（浅層暗渠）による土壌塩分・pH の改良効果は施工間隔 2.5m で高い」）。
3. 土壌塩類化との因果関係の深い地下水位の季節変動を分析し、カットソイラーによる浅層暗渠の最適な施工時期を示す。
4. カットソイラーによる浅層暗渠の損益分岐点を明らかにし、受け入れ体制を提案する（図 2）。
5. 節水対策として、ウォータードロップチューブによる地中灌漑、畝間灌漑の改良した隔畝間灌漑法（畝間一

つおきに灌水）、簡易サージフロー灌漑法（1 日間隔で 2 回に分けて給水）を紹介し、効果を示す（図 3）。

6. 深刻な排水不良を引き起こす要因である土壌のソーダ質化（ナトリウムイオンの割合が多くなる）を解説し、対策を示す。

成果の活用面・留意点

1. 技術マニュアルは、技術研修や農家セミナーで活用でき、浅層暗渠や地中灌漑等の効果を幅広く周知できる。
2. 技術マニュアルの配布により、政府関係者、地域組織、農家との迅速な情報共有が期待できる。
3. 浅層暗渠と地中灌漑は個別技術であるが、同時に適用することで、より大きな効果が期待できる。
4. 技術マニュアルはインド北部のヒンドゥスターン平野での検証をもとにしており、類似地域への適用が期待できるが、灌漑排水の状況を精査する必要がある。

その他

予算区分：交付金プロ [A6 持続的土地管理] 「A3 アジア・島嶼資源管理」

研究実施期間：2018～2025 年度

研究担当者：Chaudhari, S. K.（インド肥料協会）、Yadav, R. K.、Yadav, G.、Rai, A. K.、Kumar, Suresh、Kumar, Satyendra、Narjary, B.（インド中央塩類土壌研究所）、大西純也、亀岡大真、松井佳世（農村開発領域）、李根雨（社会科学領域）、北川巖（農研機構）

発表論文等：

- 1) Lee G et al (2025) Plos One
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0320775>
- 2) Gajender Y et al. (2024) Journal of Arid Land Studies 34(S), 21-24. https://doi.org/10.14976/jals.34.S_21
- 3) Rajender KY et al. (2024) Journal of Arid Land Studies 34(S), 29-32. https://doi.org/10.14976/jals.34.S_29
- 4) Matsui K and Onishi J (2024) Journal of Arid Land Studies 34(S), 75-78. https://doi.org/10.14976/jals.34.S_75
- 5) Neha et al. (2024) Journal of Arid Land Studies 34(S), 17-20. https://doi.org/10.14976/jals.34.S_17
- 6) 大西ら. (2023) 水土の知 91 (2): 83-86
- 7) Onishi et al (2021) Journal of Soil Salinity and Water Quality 13(2), 157-163

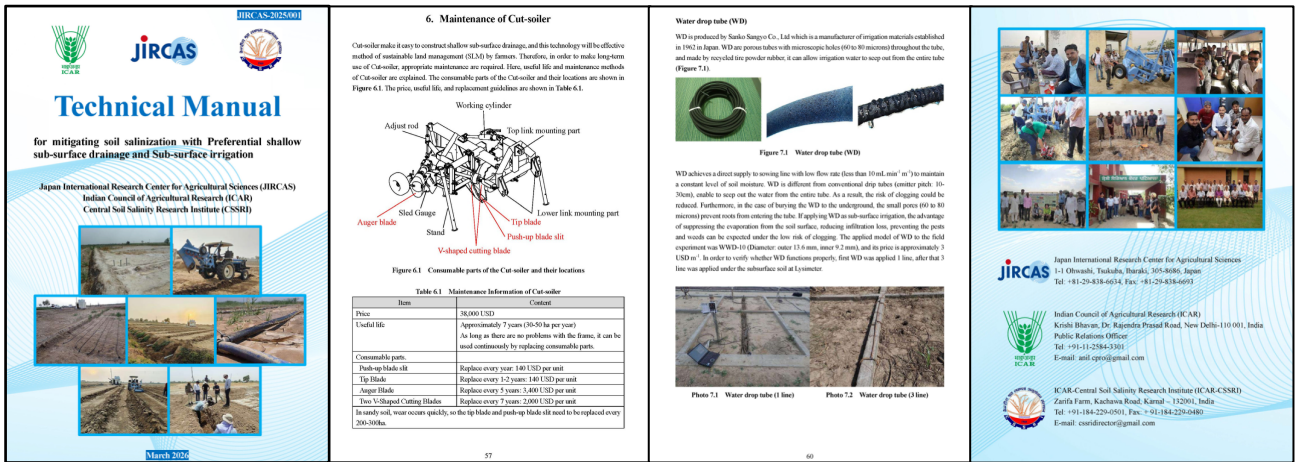


図1 浅層暗渠と地中灌漑による土壌塩類化の軽減技術マニュアル

表1 浅層暗渠と地中灌漑による土壌塩類化の軽減技術マニュアルの内容

章	タイトル	内 容
第1章	序章	灌漑農業と土壌塩類化の状況 国際農研(JIRCAS)と中央塩類土壌研究所(CSSRI)との共同研究の目的
第2章	土壌塩類化	塩類化土壌の分類、ソーダ質土壌の解説、 インドにおける土壌の塩類化、土壌塩類化の要因と対策
第3章	浅層暗渠（カットソイラー）	排水路の種類、カットソイラーによる浅層暗渠の施工方法
第4章	カットソイラーの効果	ライシメーターおよび圃場試験での効果
第5章	カットソイラーの現地適用性	カットソイラーの経済性評価と現地適用手法の提案
第6章	カットソイラーの維持管理	カットソイラーの耐用年数、維持管理方法
第7章	節水	ウォータードロップチューブによる地中灌漑の効果 畝間灌漑の改良（隔畝間灌漑、簡易サージフロー灌漑）による節水

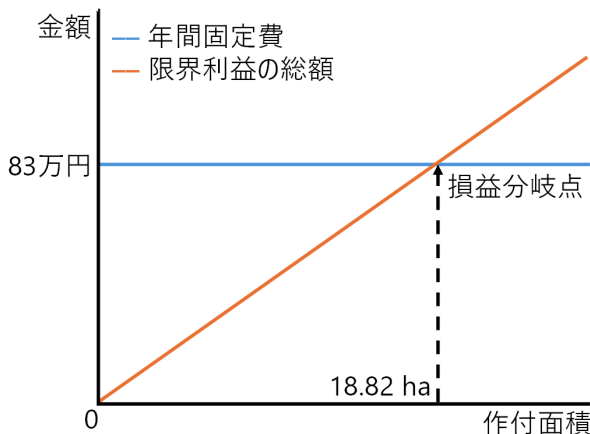


図2 カットソイラー施工の損益分岐点

年間固定費：約 630 万円の購入費に割引率 10%・耐用 15 年の年換算式から 83 万円を算出、1ha 当たり経済効果：約 6 万円の収益増から変動費約 1.5 万円を差し引き、4.4 万円を算出、損益分岐面積：固定費 83 万円を 1ha 当たり経済効果約 4.42 万円で割り、18.82ha を算出。

図2は Lee et al. (2025) より CC BY 4.0 に従い転載/改変して作成

© Author(s) 2025 <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ja>

図3は Onishi et al (2021) © Indian Society of Soil Salinity and Water Quality より転載/改変して作成（転載/改変許諾済み）

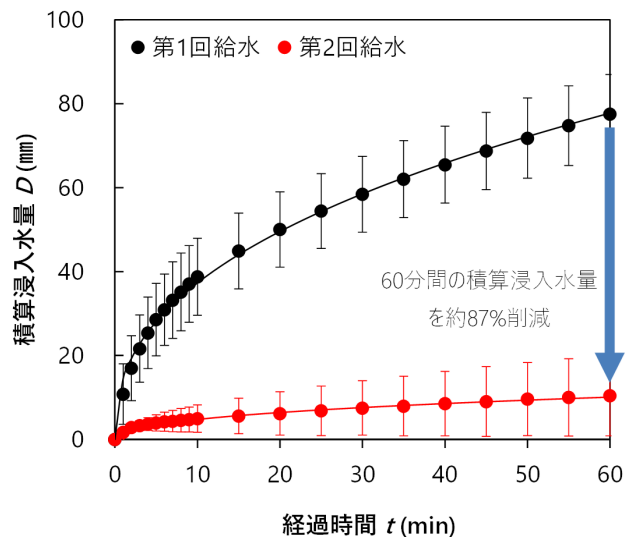


図3 簡易サージフロー灌漑法での畝間浸入水量

簡易サージフロー法による第1回給水にて畝間を湿潤させることで、翌日の第2回給水時における60分間の積算浸入水量が約87%削減される。

キヌアの高塩耐性を支える3つのNa⁺排除輸送体

キヌアは高塩濃度環境でも生育可能な作物であるが、その塩耐性機構は十分に解明されていない。遺伝子型の異なるキヌア系統群間では、地上部におけるNa⁺蓄積量に大きな差が生じる。特に南部高地系統では、海水レベルの塩条件下でも地上部へのNa⁺侵入が強く抑制される。Na⁺輸送体遺伝子の発現が抑制されると地上部へのNa⁺蓄積が増加することから、これら輸送体が地上部へのNa⁺侵入抑制に関与することが示唆される。本成果は、キヌアの高い塩耐性を支える分子基盤を示し、塩害地農業に資する塩耐性作物開発の基礎知見を提供する。

キーワード：キヌア、遺伝子型、ナトリウム、輸送体

背景・ねらい

地球上には約1,700万km²もの塩害地域があり、今後も拡大が予測される。しかし、イネ、ダイズなど主要作物は塩害に弱く、塩害地域での収量減少が懸念される。キヌアは、優れた栄養特性と高塩濃度などの過酷な環境に対する高い適応性を併せもつ作物である。気候変動による地球環境の劣化が危惧される中で、将来、貴重な食料源となることが期待される。キヌアは、南米ボリビアのウユニ塩湖の周辺でも栽培されており、高塩濃度環境でも生育できる。しかし、キヌアのもつ高い塩耐性機構については、これまでよく分かっていない。これまでに、ウユニ塩湖周辺の過酷環境に適応した南部高地系統について高精度なゲノム配列情報を整備し、キヌア集団における多様性を網羅的に比較するゲノム解析基盤として活用できることを示した（令和6年度国際農林水産業研究成果情報 B02「アンデス高地で栽培化された高地型キヌア系統の高精度ゲノム配列情報」）。本研究では、遺伝子型によって分類された栽培地域が異なるキヌアの3種類の系統群（北部高地系統、南部高地系統および低地系統）を用いるとともに、これまで開発してきた分子レベルでの解析技術やゲノム情報を駆使して、キヌアがもつ高い塩耐性を支えるメカニズムを解明する。

成果の内容・特徴

1. 3系統群（各6系統ずつからなる計18系統）のキヌア幼植物はいずれも高い塩耐性をもち、高塩濃度（海水レベルの塩濃度である600mM NaCl）条件下でも生育が維持される（図1）。
2. 塩処理はK⁺蓄積量に影響することが知られているが、高塩濃度で処理したキヌア幼植物では、K⁺の蓄積量は根において顕著に減少する一方、地上部ではほとんど減少しない。キヌアは高塩濃度下においても、生育に必須なK⁺濃度を高く維持する能力を有している。
3. 高塩濃度で処理したキヌア幼植物の子葉におけるNa⁺の蓄積量は、低地系統で最も多く、次いで、北部高地系統、ウユニ塩湖周辺の南部高地系統の順に少なくなる傾向を示す。また、地上部のNa⁺蓄積量の系

統による違いは、キヌアの地上部のNa⁺の取り込み量の違いに起因する（図2）。

4. 3つのキヌアNa⁺輸送体遺伝子（*CqHKT1;1*、*CqHKT1;2* および *CqSOS1* 遺伝子）の発現量は、高塩濃度処理によって大きく変動しないが、3種類の系統群間で顕著に異なる。また、これら遺伝子の発現制御領域の配列には系統群間で違いがある。これらの発現量および発現制御の違いが、系統間にみられるNa⁺蓄積量、ひいては塩耐性の差に関与していると考えられる。
5. *CqHKT1;1*、*CqHKT1;2*あるいは*CqSOS1* 遺伝子の発現が抑制されると、いずれの場合も地上部へのNa⁺蓄積量が増加する（図3）。このことから、これらの輸送体が地上部へのNa⁺侵入抑制に重要であることが示唆される。

成果の活用面・留意点

1. キヌアにおけるNa⁺排除機構の一端を明らかにしたことにより、キヌアのもつ高い塩耐性機構の解明につながる。また、キヌアの塩耐性機構は、塩耐性作物開発の基礎知見となる。
2. キヌア系統間におけるNa⁺排除を担う輸送体遺伝子配列の特異性が発現応答や輸送能などに影響を与える可能性を考慮する必要がある。

その他

予算区分：交付金プロ [B1レジリエント作物（第5期）]、外部資金 [地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム (SATREPS)；ムーンショット型農林水産研究開発事業；科研費 21H02158、22K05374、23KK0113、23K05192、23K18036、JP24H00499、24K08839、25H00935]

研究実施期間：2021～2025年度

研究担当者：小林安文、村田善則、小賀田拓也、永利友佳理（生物資源・利用領域）、藤田泰成（食料プログラム）、杉田亮平（名古屋大学）、藤田美紀（理化学研究所）、安井康夫（京都大学）

発表論文等：Kobayashi et al. (2025) *Front. Plant Sci.* 16: 1597647. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1597647>

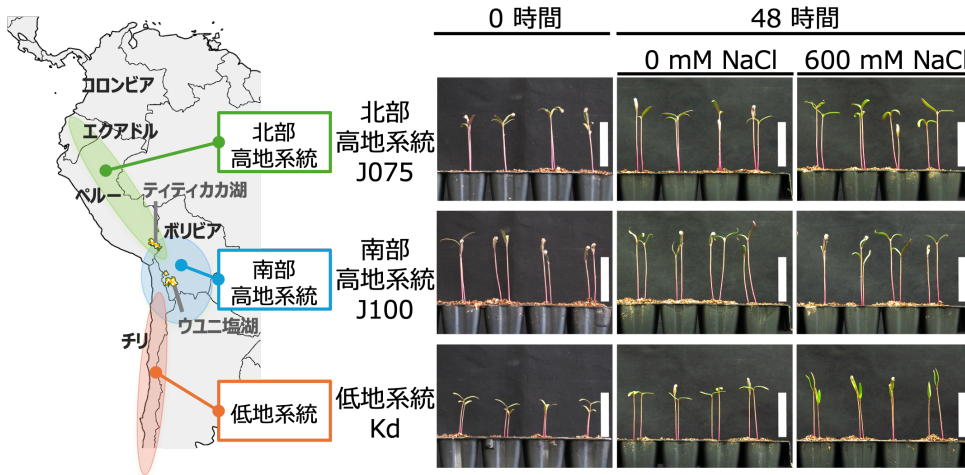


図1 海水レベルの塩濃度条件においてもキヌアの幼植物は生育できる

左は遺伝子型によって分類されるキヌア系統群が栽培されている地域を示す地図。また、各系統群の代表系統幼植物の処理開始時（0時間）および対照区あるいは高塩濃度処理で48時間栽培した時の写真を示す。写真中の白色バーは2 cm。

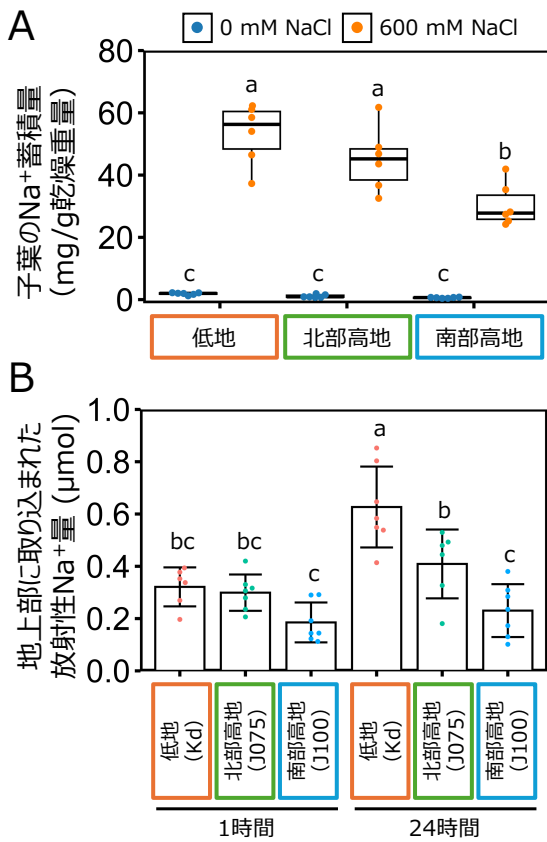


図2 キヌア地上部の Na⁺蓄積量は遺伝子型によって決まる

(A)キヌアの各系統群に属する6系統ずつの対照区または高塩濃度で48時間処理したときの子葉におけるNa⁺蓄積量。各点は各系統の平均Na⁺蓄積量。異なるアルファベットは有意差があることを表す ($n=6$, Tukey HSD 法, $p < 0.05$)。 (B)各系統群を代表する1系統を用い放射性Na⁺を加えた溶液で1または24時間処理したときの幼植物地上部に取り込まれた放射性Na⁺量。異なるアルファベットは有意差があることを表す ($n=6$ または7, エラーバーはSD, Tukey HSD 法, $p < 0.05$)。

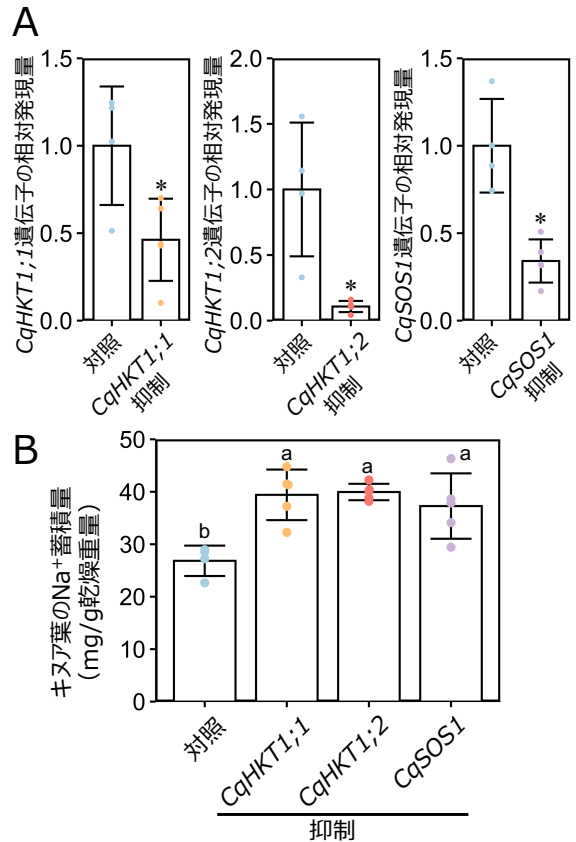


図3 3つのNa⁺輸送体遺伝子がキヌアの地上部のNa⁺分配に関与している

(A)ウイルスベクター法によるNa⁺輸送体遺伝子 *CqHKT1;1*, *CqHKT1;2*あるいは *CqSOS1*の発現抑制レベル。アスタリスクは有意差があることを示す ($n=4$ または 5, エラーバーはSD, Student's *t*-test, $p < 0.05$)。 (B)各遺伝子の発現が抑制されたキヌアを300 mM NaClで3週間生育した際の葉のNa⁺蓄積量。異なるアルファベットは有意差があることを表す ($n=4$ または5, エラーバーはSD, Tukey HSD 法, $p < 0.05$)。

図は Kobayashi et al. (2025) より CC BY 4.0 に従い転載/改変して作成
© Author(s) 2025 <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ja>

ラオス産黒米由来で玄米のフィチン酸含量を高める量的遺伝子座 *qPA1* の検出

ラオス北部などの低肥沃度環境では、初期生育の不良がイネの安定生産を制約している。玄米中のフィチン酸は、発芽・初期生育期における主要なリン供給源であり、低肥沃度環境への適応性と密接に関係する。ラオス産黒米品種 *Kampeng* の高フィチン酸含量に関与する新規の量的遺伝子座 *qPA1* は第1染色体短腕に存在し、*qPA1* が *Kampeng* 型の系統は安定多収の白米品種 *Non* 型と比較してフィチン酸含量が約23%高い。本成果は、低肥沃度環境における初期生育の安定化を通じ、黒米の安定生産に資する育種基盤を提供する。

キーワード：黒米、フィチン酸、*qPA1*、ラオス

背景・ねらい

ラオス北部の山岳地帯では陸稲栽培が中心であるが、土壌肥沃度が低く、平均収量は約 2.0 t ha^{-1} と低水準にとどまっている。この地域では黒米が伝統的に栽培されており、栄養性や健康機能性の観点から地域住民の食生活を支える重要な作物である一方、低肥沃度条件下における生育不良が安定生産の大きな制約となっている。

玄米中のリンの約60~90%はフィチン酸として存在し、ヒトの栄養利用の観点ではミネラル吸収阻害因子として議論される場合がある。しかし、イネにとってフィチン酸は、発芽および初期生育段階における主要なリン供給源であり、特に低リン条件下では初期生育を支える重要な貯蔵形態リンとして機能する。したがって、フィチン酸は作物側の適応性を規定する重要形質であり、低肥沃度環境に適応したイネ品種の育成においては、玄米中のリン貯蔵特性、特にフィチン酸含量に着目した育種戦略が重要である。

本研究では、ラオス産黒米品種 *Kampeng* と安定多収の白米品種 *Non* の交雑後代を用いて、玄米中のフィチン酸含量に関与する量的遺伝子座の探索を行う。さらに、黒米の形質的特徴と収量性の両立を可能とする育種基盤の構築に向け、低肥沃度環境下において良好な初期生育と安定生産を実現する黒米育成の方向性を提示する。

成果の内容・特徴

1. 白米品種 *Non* は黒米品種 *Kampeng* に比較して穂数が多く収量性が高い草型を有する（図1A、B）。一方で、玄米中のフィチン酸含量は *Kampeng* が *Non* よりも有意に高い（図1C）。
2. *Non* と *Kampeng* の交雑由来 F_2 集団を石垣およびビエンチャン（ラオス）の環境で栽培試験に供試した結果、どちらの環境においても第1染色体短腕末端にフィチン酸含量に関与する新規量的遺伝子座 *qPA1*

が安定して検出される（図2A）。

3. 玄米色（黒／白）に関与する量的遺伝子座は、健康機能性成分であるアントシアニンの着色制御遺伝子として既報の *Kala4* 上に検出され、*Kampeng* 型が玄米を黒色化する（図2B）。
4. F_2 集団由来の次世代 F_3 系統のうち、*qPA1* が *Kampeng* 型および *Non* 型にそれぞれ固定した系統を栽培調査した結果、*Kampeng* 型が *Non* 型に比較して玄米中のフィチン酸含量が約23%高い（図3）。

成果の活用面・留意点

1. 戻し交雑育種により、*Kampeng* 型 *qPA1* および *Kala4* を *Non* に導入することで、低肥沃度環境下においても発芽・初期生育時のリン供給能が高く、かつ収量性にも優れた黒米新品種の育成が可能となり、ラオス北部などの低肥沃度環境における安定生産への貢献が期待される。
2. 石垣の環境でも *qPA1* を検出できたことから、*qPA1* によってラオス以外の環境でもフィチン酸含量を増やせる可能性がある。
3. フィチン酸のヒトにおけるミネラル吸収阻害性については、発芽玄米としての利用や、フィチン酸を脱リン酸化してイノシトールへと変換する麴甘酒などの加工・利用技術により低減可能であり、作物側の育種上の利点とヒト側の利用上の懸念は切り分けて考えることができる。

その他

予算区分：交付金プロ [B2 新需要創造]

研究実施期間：2021~2024 年度

研究担当者：高井俊之、浅井英利、アウンゾーウー（生産環境・畜産領域）、丸井淳一郎（生物資源・利用領域）、齋藤大樹（熱帯・島嶼研究拠点）、Vilayheuang, K.、Phongchanmixay, S.（ラオス国立農林研究所）

発表論文等：Takai et al. (2025) *Frontiers in Sustainable Food Systems* 9: 1620644.

<https://doi.org/10.3389/fsufs.2025.1620644>

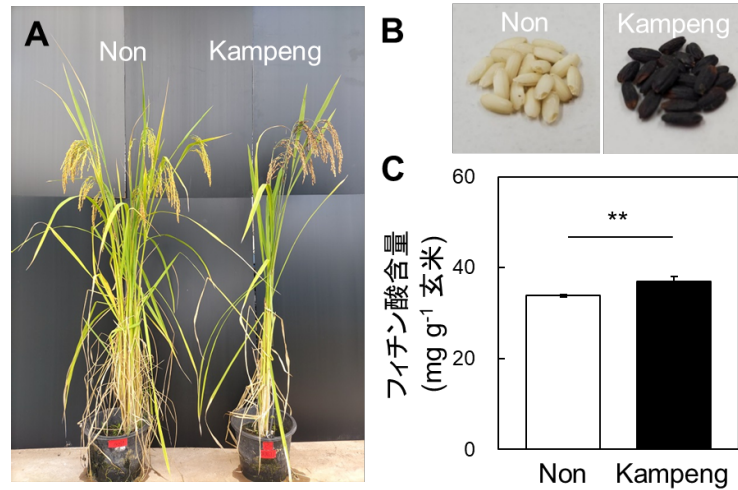


図1 ラオス産白米品種 Non および黒米品種 Kampeng の表現型
 両品種の草型(A)、玄米(B)、および玄米中のフィチン酸含量の比較(C)。
 **は 1%水準で有意であることを示す（*t*検定）。

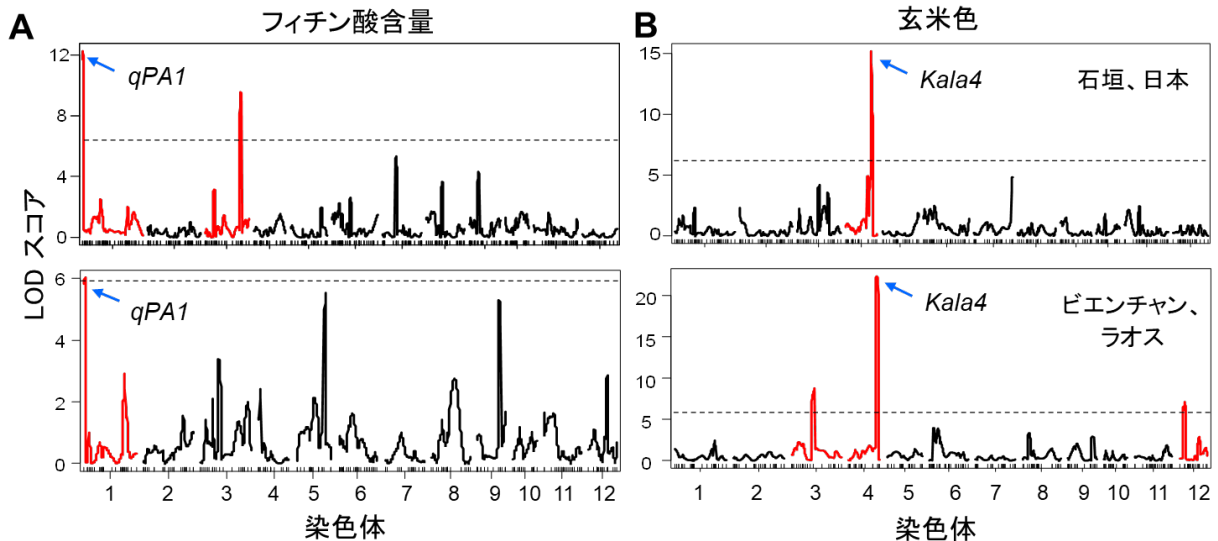


図2 Non と Kampeng の交雑由来 F₂ 集団を用いた玄米中のフィチン酸含量(A)および玄米色(B)の遺伝解析
 上が石垣、下がラオス、ビエンチャンでの栽培試験の解析結果。点線は遺伝解析の閾値であり、閾値を超えた LOD スコアを赤色で示す。

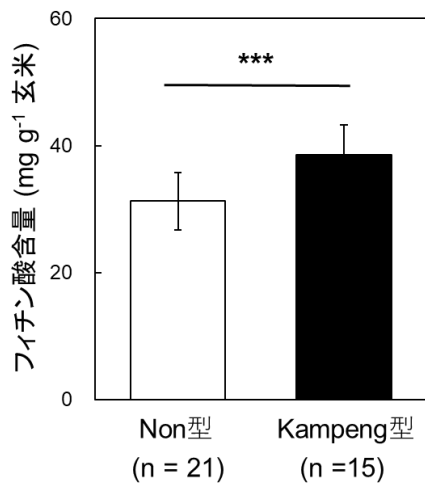


図3 F₂ 集団由来の次世代 F₃ 系統のうち、*qPA1* が Kampeng 型および Non 型にそれぞれ固定した系統間での玄米中のフィチン酸含量の比較
n は系統数。***は 0.1%水準で有意であることを示す（*t*検定）。

図は Takai et al. (2025) より CC BY 4.0 に従い転載/改変して作成
 © Author(s) 2025 <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ja>

黄麹・白麹を用いた麹甘酒化による玄米フィチン酸の脱リン酸化・イノシトール生成促進

玄米は微量栄養素に富む一方、糠層に多いフィチン酸（イノシトール 6 リン酸）がミネラルと結合し利用性を低下させ得る。本成果は、玄米を麹甘酒化することでフィチン酸を段階的に脱リン酸化し、イノシトール生成を促進できる加工条件を示す。黄麹菌由来米麹単独に比べ、白麹菌由来米麹を配合するとフィチン酸分解とイノシトール生成が有意に高まり、併せて白麹菌由来クエン酸による酸性化により、風味設計や保存性向上への応用も期待される。本成果は、玄米の栄養価改善を目的とした発酵加工設計に資する基礎知見を提供する。

キーワード：玄米、麹甘酒、フィチン酸、イノシトール、クエン酸

背景・ねらい

玄米はビタミン B 群やミネラル、食物繊維を豊富に含む食品として注目される一方、糠層に多く含まれるフィチン酸（イノシトール 6 リン酸）はミネラルと結合し、加工方法や摂取条件によっては利用性を低下させる場合がある。そのため、玄米を主原料とする食品では、栄養価を維持・向上させる加工技術の開発が重要となる。

麹甘酒は米麹由来酵素によりデンプンを糖化する発酵食品であり、ブドウ糖、オリゴ糖、アミノ酸や、ビタミン B 群などを含む。一般に黄麹菌(*Aspergillus oryzae*)が用いられるが、クエン酸を産生する白麹菌(*Aspergillus luchuensis*)も利用されており、両菌が産生するフィターゼや酸性ホスファターゼは、玄米中フィチン酸の脱リン酸化に寄与すると考えられる。フィチン酸の完全な脱リン酸化により生成するイノシトール（図 1）は、乳児の発育に重要な成分として粉ミルクへの配合も推奨されるなど、栄養学的にも注目される成分である。

本研究では、玄米麹甘酒製造において黄麹菌および白麹菌由来の米麹を単独または混合で用い、白麹菌由来クエン酸による酸性化の程度を把握するとともに、フィチン酸の脱リン酸化およびイノシトール生成量を定量的に評価する。これにより、玄米の栄養価向上を目的とした麹甘酒加工条件設計に資する基礎的知見を提供することを目的とする。

成果の内容・特徴

1. ヒメノモチ玄米 5g、水 10 mL、乾燥米麹 3g を用い、55°C で 8 時間保温して麹甘酒を調製する場合、黄麹菌由来米麹のみを用いた製品（条件 1）の Brix 糖度および pH は、それぞれ 37.2% および 5.98 となり、クエン酸含量は検出されない（表 1）。
2. 上記の調製条件において、米麹の使用総量を一定（3g）とし、白麹菌由来米麹の配合比が高まるほど（条件 2～5）、麹甘酒の Brix 糖度は低下する（表 1）。一方、クエン酸含量は段階的に増加し、白麹菌のみを用いた場合に最も高い値（0.56%）を示す（表

- 1）。これに伴い、麹甘酒の pH は低下する（表 1）。
3. 黄麹菌由来米麹を熱失活させて用いた発酵前試料 100g 当たりのフィチン酸およびイノシトール含量は、それぞれ 652 mg および 2.15 mg であるのに対し、条件 1 の麹甘酒では 516 mg および 9.26 mg となる（図 2）。
4. 白麹菌由来米麹の配合比を 25% から 75% とした条件 2～4 の麹甘酒では、条件 1 の試料と比較して、フィチン酸分解とイノシトール生成が有意に促進される（図 2）。
5. 白麹菌由来米麹のみを用いた麹甘酒（条件 5）100g 当たりのフィチン酸含量(158mg)およびイノシトール含量(47.9mg)は、条件 4 とほぼ同等となる（図 2）。

成果の活用面・留意点

1. 玄米を原料とする麹甘酒の製造において、白麹菌由来の米麹を配合してフィチン酸分解を促進することで、栄養価の改善を目的とした製法設計が可能となる。
2. 白麹菌の米麹に含まれるクエン酸は麹甘酒を酸性化し、雑菌抑制による保存性向上への寄与が期待される。一方で、酸味により風味設計の幅が広がるため、消費者の嗜好性を踏まえた配合調整が推奨される。
3. 本研究では、市販の乾燥米麹を使用している。麹菌のフィターゼや酸性ホスファターゼ等の酵素活性は菌株ごとに異なるため、本成果を適用する際には、実際に使用する菌株の酵素特性を考慮する必要がある。

その他

予算区分：交付金プロ [B2 新需要創造]、外部資金 [浦上食品・食文化振興財団研究助成]

研究実施期間：2021～2025 年度

研究担当者：丸井淳一郎（生物資源・利用領域）、白石洋平、竹浦澤（株式会社ビオック）、Shompoosang, S.、Varichanan, P.（カセサート大学食品研究・製品開発研究所）、Boulom, S.（ラオス国立大学農学部）

発表論文等：Marui et al. (2025) *Food Science and Technology Research* 31 (2): 147 – 153.

<https://doi.org/10.3136/fstr.FSTR-D-24-00170>

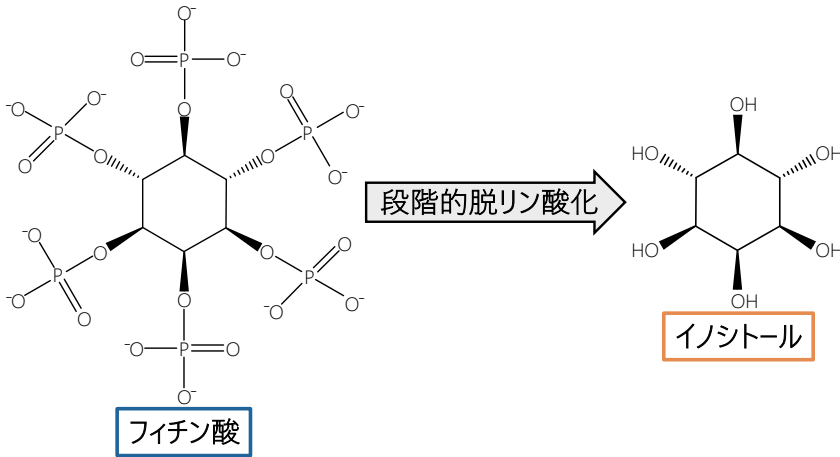


図1 フィチン酸およびその段階的な脱リン酸化で生成するイノシトールの化学構造

フィチン酸（イノシトール6リン酸）は、米麴由来のフィターゼや酸性ホスファターゼ等の作用で段階的に脱リン酸化され、6つ全てのリン酸基の加水分解（完全な脱リン酸化）によりイノシトールが生成する。

表1 黄麴菌と白麴菌の米麴を用いた玄米麴甘酒の Brix 糖度、クエン酸含量、および pH

条件番号	黄麴菌・白麴菌由来 米麴の配合比 (%)		Brix糖度 (%)*	クエン酸 (%)*	pH*
	黄麴菌	白麴菌			
1	100	0	37.2 (0.17)	非検出	5.98 (0.04)
2	75	25	36.7 (0.24)	0.18 (1.6)	4.74 (0.02)
3	50	50	36.0 (0.12)	0.26 (1.4)	4.17 (0.03)
4	25	75	35.6 (0.19)	0.44 (2.2)	3.88 (0.05)
5	0	100	35.4 (0.42)	0.56 (1.6)	3.68 (0.05)

*3 回の測定の平均値であり、括弧内に標準偏差を示す

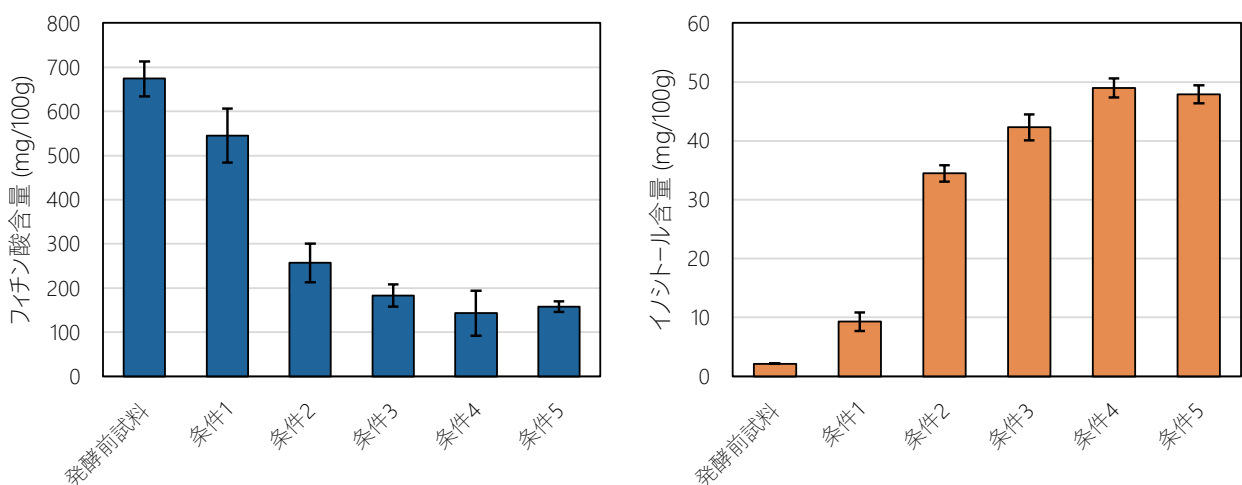


図2 黄麴菌と白麴菌の米麴を用いた玄米麴甘酒のフィチン酸およびイノシトール含量

発酵前試料および、表1に示す条件1～5で調製した玄米麴甘酒から3回の測定で得た平均値を示し、エラーバーは標準偏差を表す。

表1・図2は Marui et al. (2025)より CC BY-NC-SA 4.0 に従い転載/改変して作成
© JSFST 2025 <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.ja>

ツマジロクサヨトウ防除のための天敵昆虫増殖費推計モデルによる経済性評価

タイにおけるツマジロクサヨトウ防除を対象として構築された増殖費推計モデルは、天敵昆虫増殖の経済性を汎用的に評価する手法を提供する。このモデルによる分析では、タマゴバチの増殖費は主要農薬と比べて著しく高いとはいえず、化学的防除の一部を補完・代替する選択肢として位置付けられる。また、放飼面積当たりの増殖費を削減するためには、労働負荷を低減し生産規模を拡大することが有効であると示唆される。

キーワード：ツマジロクサヨトウ、生物的防除、天敵昆虫、トウモロコシ、タイ

背景・ねらい

タイでは、ツマジロクサヨトウ (*Spodoptera frugiperda*) の防除において、化学農薬の多用に伴う殺虫剤抵抗性の発達が懸念されており、総合的病害虫・雑草管理 (IPM) 体系の構築が志向されている。その一環として、農業・協同組合省農業局などが複数種の天敵昆虫を増殖・配布する生物的防除を推進している。

一方、天敵利用は限定的で、化学農薬より高いとされる費用が普及の障害と認識されている。しかし、天敵昆虫の増殖費に関する体系的な知見は十分に蓄積されておらず、先行研究における増殖規模は不均一であったため、費用評価の一般化が困難であった。

そこで本研究では、天敵昆虫の放飼・増殖規模との関係を明示的に考察可能な費用推計モデルを構築し、増殖の経済性を評価する。具体的には、農業局傘下の植物保護研究開発部 (PPRDO) における増殖技術を整理し、各作業に関する情報をもとに、防除対象となるトウモロコシの作付面積から必要資材量および費用を試算する。対象とした天敵昆虫は、卵寄生性のタマゴバチ *Trichogramma pretiosum* と、捕食性のカメムシ類 *Eocanthecona furcellata* および *Sycanus versicolor*、捕食性のハサミムシ *Proreus simulans* の4種である。小規模増殖を想定し、1人の労働者が達成可能な最大生産規模を前提として、各種の増殖費用を推計する。

成果の内容・特徴

1. 天敵昆虫ごとに増殖規模に応じた費用推計モデルを構築し、異なる天敵昆虫間および化学農薬との費用比較を行うことが可能となる。
2. 天敵昆虫の作物圃場への放飼面積の拡大に伴い、固定費の希釈により面積当たりの平均増殖費は低下する（図1）。特に *T. pretiosum*、*E. furcellata*、*S. versicolor* では、固定費・半固定費となる水道光熱費および労働費の占める割合が大きく、規模拡大による費用低減効果が顕著である。労働負荷は生産規模拡大の制約要因であり、その低減が不可欠である。
3. 最大規模の生産を行った場合、*T. pretiosum* の増

殖費は、タイで広く使用されているエマメクチンベンゾエート5%水和性顆粒剤の費用（約9米ドル ha⁻¹）と大きく乖離せず、化学的防除の一部を補完・代替する選択肢となり得る（図1B）。

4. 捕食性天敵3種 (*E. furcellata*、*S. versicolor*、*P. simulans*) の平均増殖費は、増殖期間の長さおよび放飼密度の違いを反映し、*T. pretiosum* より大幅に高い（図1B）。

成果の活用面・留意点

1. 本研究で構築した費用推計モデルは、他の昆虫天敵や他地域・他国における増殖費用推計にも適用可能であり、生物的防除の実装に向けた経済性評価の基盤として活用できる。
2. 本研究で構築したモデルは、標準化された生産期間、単一作業者の最大生産能力、ならびに放飼密度に関する仮定に基づく実験室レベルの推定を目的として簡略化されている。このため、特定の生産条件や分析目的に応じ、モデルの拡張または修正が必要となる。特に、放飼にかかる労力・費用や、主要害虫が発生していない期間における天敵の利用や生産規模について検討が必要である。
3. 本分析は PPRDO から提供されたデータのみに基づいている。結果のさらなる一般化のためには、他機関や異なる条件下で得られたデータとの比較が求められる。
4. 本研究は天敵昆虫の増殖費に焦点を当てているが、天敵昆虫の導入可能性を総合的に評価するためには、防除効果、適切な放飼密度、他の防除手段との組み合わせなどについて、既存の知見を踏まえた上で、更なる検証が必要である。

その他

予算区分：交付金プロ [B3 越境性害虫]、外部資金 [二国間タイ]

研究実施期間：2021～2025年度

研究担当者：草野栄一、小堀陽一（国際農研）

発表論文等：Kusano et al. (2026) *CABI Agric Biosci* 7: 0006. <https://doi.org/10.1079/ab.2026.0006>

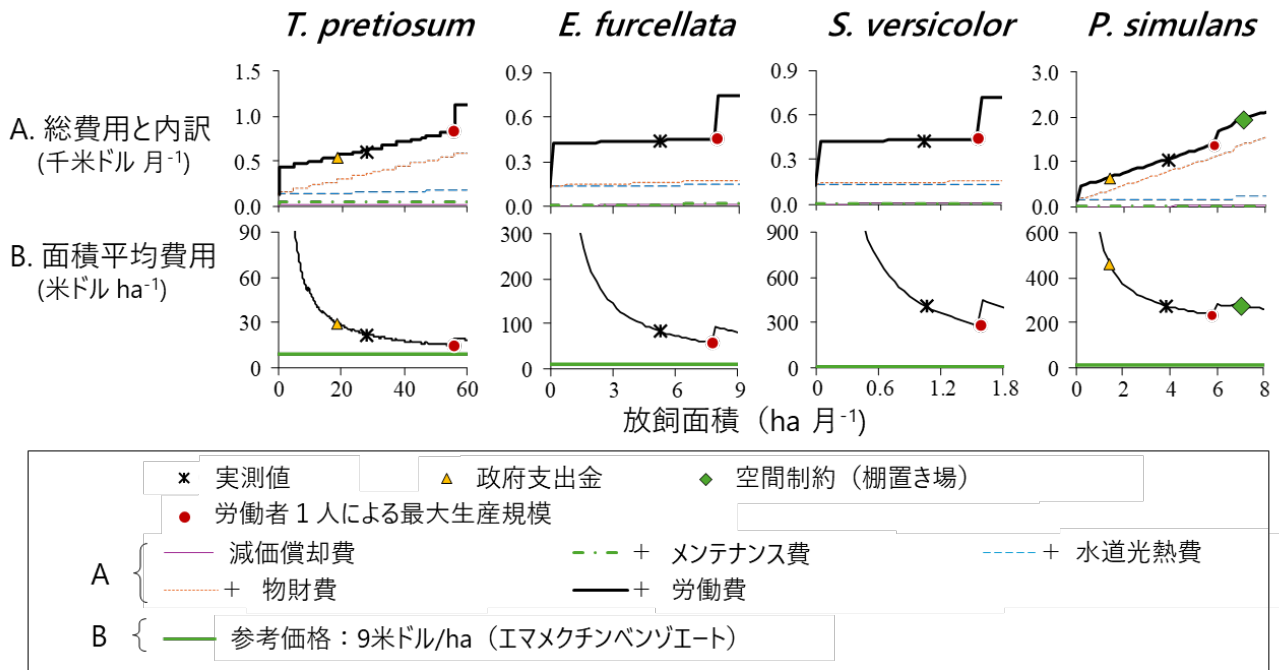


図1 天敵昆虫増殖にかかる総費用および面積当たり平均費用

モデルの推計値（折れ線グラフ）に実測値等を重ねたもの。「実測値」はPPRDOにおける聞き取りの結果。「政府支出金」は天敵昆虫増殖のために取得している補助金の水準。「空間制約（棚置き場）」は昆虫の飼育容器を格納するための棚が、増殖を行う部屋内に収容可能な最大の増殖規模。政府支出金および空間制約の推定値が過度に大きい場合、対応する記号を図中から省略した。放飼面積は、天敵昆虫ごとに生産数と放飼密度に基づき推計。推計された費用には、放飼にかかる物財費が含まれるが、放飼作業に伴う労働費は含まれていない。

表1 労働者1人の最大生産規模における増殖費内訳

項目	<i>T. pretiosum</i>	<i>E. furcellata</i>	<i>S. versicolor</i>	<i>P. simulans</i>
仮定				
放飼面積 (ha 月 ⁻¹)	55.93	7.93	1.59	5.82
放飼密度 (放飼数 ha ⁻¹)	62.5	3,125	3,125	10,000
費用内訳				
総費用 (米ドル 月 ⁻¹)	820	455	437	1,377
個体当たり平均費用 (米ドル 放飼数 ⁻¹)	0.235	0.018	0.088	0.024
面積当たり平均費用 (米ドル ha ⁻¹)				
合計	14.67	57.40	275.73	236.77
物財費	6.71	3.70	10.13	161.42
減価償却費	0.34	1.46	4.35	3.42
メンテナンス費	0.57	0.18	0.89	0.49
労働費	4.81	35.73	178.68	48.72
水道光熱費	2.22	16.33	81.67	22.72

「放飼密度」は、天敵昆虫の作物圃場への面積当たりの放飼数。放飼数：*T. pretiosum*は、*T. pretiosum*に寄生された *Corcyra cephalonica*（メイガの1種）の卵 3,571 個を含むシートの数、捕食性天敵昆虫は昆虫数。1米ドル = 35.29 パーツ（2024 年平均値）。

図表は Kusano et al. (2026) © The Author(s) 2026 より転載/改変して作成

淡水エビ類で初の生殖細胞凍結保存による遺伝資源長期保存技術

配偶子や初期胚の凍結保存が困難な甲殻類において、生殖細胞の凍結保存は全遺伝情報を保存できる有効な手法である。東南アジア原産オニテナガエビ(*Macrobrachium rosenbergii*)の生殖細胞は10%ジメチルスルホキシドを凍結保護剤に用いた超急速凍結法により、凍結融解後も高い回収率および生残率が長期間にわたり維持される。本成果は、淡水性エビ類で生殖細胞凍結保存技術を確立した初の報告であり、オニテナガエビやその他甲殻類の将来的な優良系統の維持や育種基盤の構築に資する。

キーワード：生殖細胞、凍結保存、遺伝的多様性、オニテナガエビ

背景・ねらい

水産養殖の現場では、特定の系統を長期間にわたって継代利用することにより、遺伝的多様性の低下や疾病への感受性増大が問題となっている。将来にわたって安定した養殖生産を維持するためには、現存する遺伝資源を劣化させることなく保存し、必要に応じて活用できる技術基盤の整備が不可欠である。

家畜動物では配偶子や胚の凍結保存が遺伝資源保存の手段として広く利用されているが、甲殻類ではこれらの技術が確立されておらず、生きた個体を継代飼育する方法が現状では唯一の保存手段となっていた。近年、海産のクルマエビ類において、生殖細胞を対象とした凍結保存技術が初めて確立された（令和3年度国際農林水産業研究成果情報 B08「生殖細胞凍結保存技術によりクルマエビ類の遺伝的多様性保全を図る」）。この成果を踏まえ、水産重要種が多く含まれる甲殻類において、種を超えて適用可能な遺伝資源保存技術を拡充していくことは、水産養殖技術全体の持続性向上に資すると期待されている。

東南アジア原産で淡水性のオニテナガエビは、大型で市場価値の高い重要養殖種であるが、限られた系統の継代利用により、将来的な遺伝的多様性の低下が懸念されている。そこで本研究では、オニテナガエビを対象に、生殖細胞を超急速凍結保存する技術を開発し、凍結保護剤や保存条件の最適化を通じて、遺伝資源を省スペースかつ長期的に保存可能とする基盤技術の確立を目的とした。

成果の内容・特徴

- オニテナガエビ生殖細胞は、市販の抗 Vasa 抗体に強い陽性反応を示した。また、細胞径(8–10 μm)のみを指標として本法で対象とする生殖細胞（精原細胞）を効率的に識別できる（図1）。
- 緩慢凍結法および超急速凍結法のいずれにおいても、凍結保護剤として10%ジメチルスルホキシド(DMSO)を用いた場合に、生殖細胞の回収率*および生残率は、

10%グリセロールや10%塩化マグネシウムを用いた場合より高くなる（図2）。

- 長期保存においては、緩慢凍結法と比較して超急速凍結法のほうが生殖細胞の回収率および生残率を高く維持でき、特に10%DMSOとの併用により、液体窒素中で長期安定保存が可能である（図3）。

*回収率：同一精巣由来の同重量小片を用い、非凍結小片から回収された生殖細胞数を分母、凍結小片から回収された生殖細胞数を分子として、その比率を回収率とした。

成果の活用面・留意点

- 本技術により、オニテナガエビの遺伝資源を生きた個体として継代飼育することなく、液体窒素中で省スペースかつ長期的に保存することが可能となる。
- 養殖集団における遺伝的多様性の低下や、疾病・事故による優良系統消失のリスク低減に貢献する。
- 超急速凍結法と10%DMSOの併用は、淡水性オニテナガエビおよび前成果の海産クルマエビで共通して有効であり、甲殻類の生殖細胞に汎用的な凍結保存条件となる可能性がある。
- 本成果は甲殻類では確立例の少ない生殖細胞を用いた遺伝資源保存の基盤技術であるが、現時点では繁殖や個体再生への直接的な利用には至っておらず、今後、生殖細胞移植などの関連技術の開発と統合が必要である。

その他

予算区分：交付金プロ [B4 熱帯水産養殖（第5期）]、外部資金 [SATREPS]

研究実施期間：2018～2023年度

研究担当者：奥津智之（水産領域）、Rakbanjong, N.、Wonglapsuan, M.（プリンスオブソクラ大学）、三輪美砂子（東京海洋大学）、識名信也（国立台湾海洋大学）

発表論文等：Okutsu et al. (2025) *Cryobiology* 119: 105242. <https://doi.org/10.1016/j.cryobiol.2025.105242>

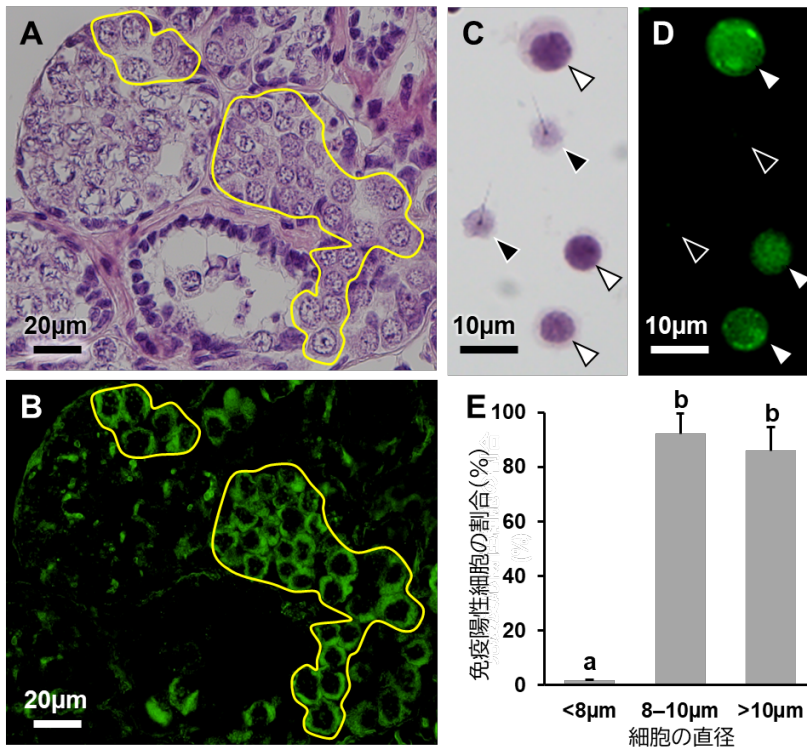


図2 最適な凍結保護剤の検討

凍結保護剤として、10%ジメチルスルホキシド (DMSO)、10%グリセロール、10%塩化マグネシウム(MgCl₂)を用い、同一条件下で比較した結果。各凍結保護剤について、緩慢凍結法および超急速凍結法適用後の生殖細胞の回収率(A)および生残率 (B)。10% DMSO を用いた条件で、いずれの凍結法においても回収率および生残率は最も高い値が得られる。検定には Tukey-Kramer の多重比較を用い、異なるアルファベットは区間に有意差があることを示す ($p < 0.05$)。

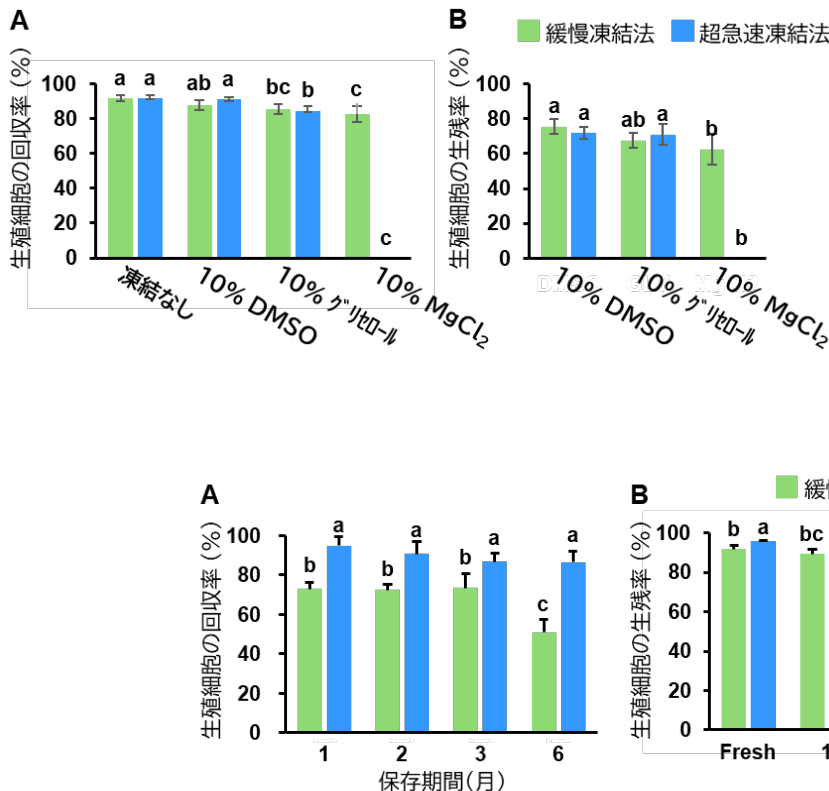


図3 長期凍結保存後における生殖細胞の回収率および生残率

10%DMSO を凍結保護剤に用いた緩慢凍結法および超急速凍結法により液体窒素中で長期保存した生殖細胞の、凍結融解後の回収率 (A) および生残率 (B)。超急速凍結法では、6 か月間の長期保存後においても高い回収率および生残率が維持され、緩慢凍結法と比較して優れた保存成績が得られる。検定には Tukey-Kramer の多重比較を用い、異なるアルファベットは区間に有意差があることを示す ($p < 0.05$)。

図は Okutsu et al. (2025) © The Author(s) 2025 より転載/改変して作成

タイ東北部における小型テナガエビ類の生活史特性と資源管理方策

インドシナ半島内陸部で重要な水産資源である小型テナガエビ類 *Macrobrachium lanchesteri* 種群は、タイ東北部において周年産卵を行うが、産卵は雨季中盤の6～8月に集中し、11～12月には停滞する。9～11月には同年生まれの未成熟個体が漁獲対象資源に加入し、翌年3～5月に孵化後1年未満で初回成熟・産卵に至る。本研究で明らかとなったこれらの生活史特性は、同地域で実施されている禁漁措置の有効性評価および資源管理方策の検討に資する基盤情報となる。

キーワード：甲殻類、産卵、新規加入群、小規模漁業

背景・ねらい

小型テナガエビ類 *Macrobrachium lanchesteri* 種群（図1）は、タイをはじめとするインドシナ半島内陸部において日常的に消費される水産資源であり、オニテナガエビに次いで重要な淡水産甲殻類である。しかし、本種群の生活史に関する知見は限られており、ミャンマーのエーヤワディー川中流域やタイ北部のメコン川流域の個体群において産卵期や雌の成熟サイズが報告されているにとどまる。特に、漁獲対象資源への加入時期やその後の成長過程については不明である。加えて、タイ東北部に分布する個体群については、生活史全般が明らかにされておらず、資源管理に資する情報はほとんど得られていない。そこで本研究では、2022年6月～2023年5月にかけて毎月1回、本種群が周年漁獲されているタイ東北部ウボンラチャタニ県内の三日月湖でエビ籠を用いて本種群を採集した。性別の判別と体サイズ測定を行い、雌個体については成熟状況を記録することで、成長、成熟、産卵および漁獲対象資源への加入時期等の資源生物学的特性を明らかにする。これらの知見に基づき、本資源を持続的に利用するための効果的な資源管理方策を検討する。なお本種群は一生淡水で生活し、その生息地から大きく移動することはない。

成果の内容・特徴

1. 本研究で採集された成熟雌（腹部に卵を抱えている（図1A）、あるいは卵巣が発達している（図1Bの上））の最小サイズは、頭胸甲長4.6mmである（図2の赤い実線）。
2. 成熟雌は年間を通じて出現するものの、その出現割合が高い雨季中盤の6～8月が産卵盛期である（図3の赤い網掛け）。この時期には、発達した卵巣をもち、同時に腹部に卵を抱えている成熟雌の割合も高く（図3の赤い網掛け）、短い間隔で成熟と産卵を繰り返す多回産卵を行っている。
3. 11～12月は成熟雌の出現割合が最も低い産卵の停滞期であるが（図3の青い網掛け）、同時期に雌の肥満度が上昇することから（図4の網掛け）、この期

- 間に雌個体は次回産卵へのエネルギーを蓄えている。
4. 9～11月にかけて最小成熟サイズに達していない未成熟雌が標本中に多数出現する（図2中ほどの灰色の網掛け）。これは同年生まれの個体が漁獲対象資源に加入する過程を捉えたものである。
 5. 頭胸甲長組成と成熟割合の推移から、上述の新規加入群の雌は、翌年3～5月（孵化後1年未満）に初回成熟を迎える（図2下部の赤い網掛け）。
 6. タイ内陸部の公共水面では、種を問わず雨季の6～9月が禁漁期に設定されている（一部小規模漁業を除く）。この禁漁期間は本種群の産卵盛期とも対応しており、現行の禁漁期設定は本種群の資源保護措置としても有効と評価される。
 7. 更なる資源管理方策として、9～11月に漁獲対象資源に加入する小型未成熟エビが翌年春に初回成熟するまでの間、漁獲による減耗を控えるのが有効である。

成果の活用面・留意点

1. 本種群個体群の産卵盛期と新規加入群のサイズおよび加入時期、初回成熟までの期間等の情報は、産卵親エビの保護による加入乱獲の防止や新規加入群の初回成熟前の獲り控えを通じた将来的な産卵親エビ確保に資する。
2. 漁獲対象資源に加入する前の未成熟小型エビの保護には、漁獲努力量の抑制に加え、漁具の目合規制やシエルターとなる生息環境の保全などが有効である。
3. 本研究では、9月に発生した大規模洪水の影響により、親エビが卵を脱落させた可能性がある。この時期の成熟・産卵状況については、追加調査が望まれる。

その他

予算区分：交付金プロ [B4 熱帯水産養殖]
研究実施期間：2022～2025年度
研究担当者：齋藤稔、本田聡（水産領域）、Grudpan, C., Grudpan, J., Jutagate, A., Jutagate, T. (Ubon Ratchathani University)
発表論文等：Saito et al. (2025) *Fisheries Research* 292: 107569. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2025.107569>

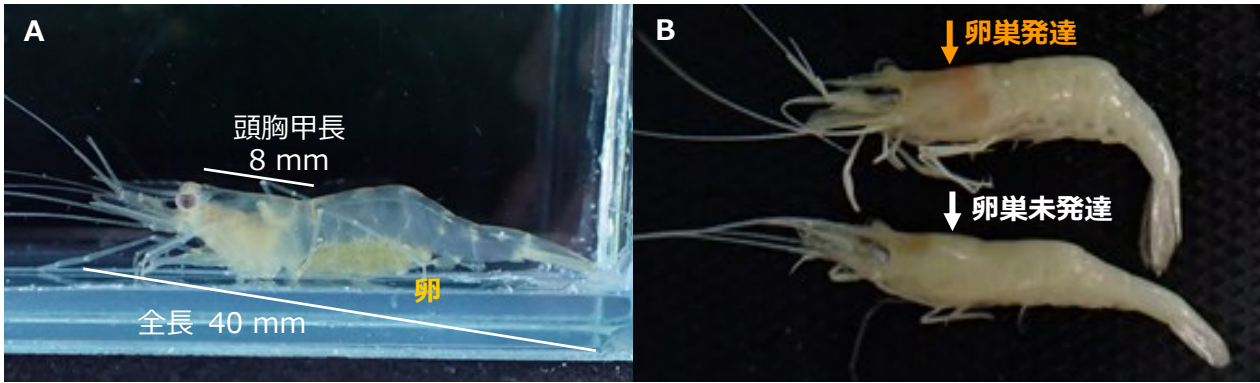


図1 小型テナガエビ類 *Macrobrachium lanchesteri* 種群の雌

A：腹部に卵（薄い黄色）を抱えた生体。B：卵巢の発達度合いが異なる標本。頭胸甲の後部に橙色に透けて見える部分が発達した卵巢。

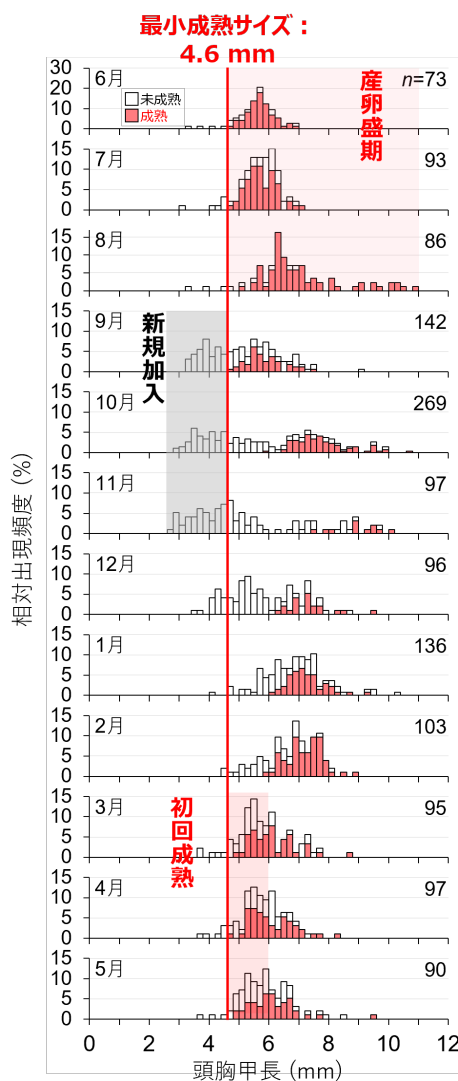


図2 小型テナガエビ類の雌の頭胸甲長組成と成熟状況の経月変化

各網掛けはそれぞれのイベントの発生時期と対象サイズを、また赤い実線は、本研究で確認された成熟雌の最小サイズ（頭胸甲長：4.6 mm）を示す。成熟雌の定義については、図3を参照のこと。

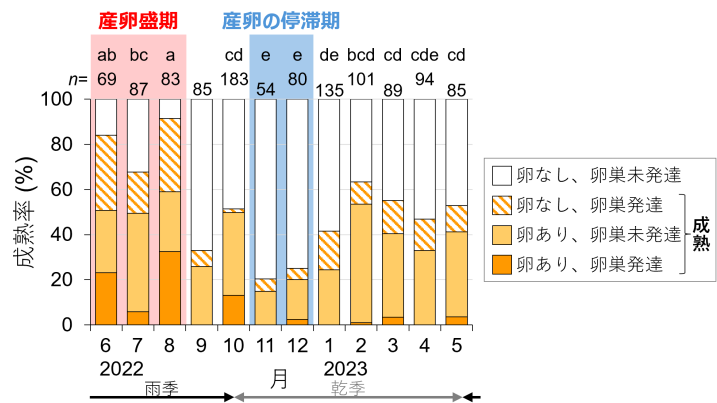


図3 小型テナガエビ類の雌の成熟状況の経月変化

最小成熟サイズ（頭胸甲長：4.6 mm）以上の雌個体を対象に、その成熟状況別の割合の推移を示す。棒グラフ上のアルファベットが月間で異なる場合、成熟雌の割合が有意に異なることを示す（フィッシャーの正確確率検定、 $p < 0.05$ ）。9月には、大規模洪水の影響で親エビが卵を脱落させた可能性があるため、検定の対象外とした。

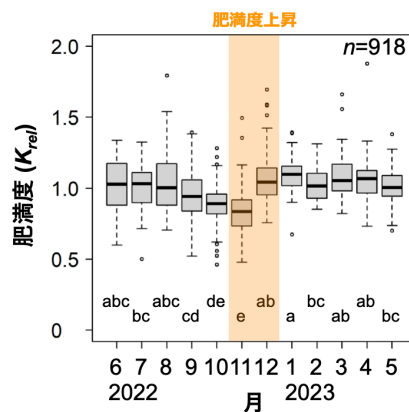


図4 小型テナガエビ類の雌の肥満度の経月変化

卵を抱えていない雌個体の肥満度の推移を示す箱ひげ図。アルファベットが月間で異なる場合、肥満度が有意に異なることを示す（Steel-Dwass検定、 $p < 0.05$ ）。本グラフには最小成熟サイズ未満の個体の肥満度データも含むが、それらを除いた場合も同様の季節的な傾向が認められる。

図は Saito et al. (2025) より CC BY 4.0 に従い転載/改変して作成
© Author(s) 2025 <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ja>

紅藻カギケノリの世代交代を利用した配偶体種苗の生産技術

紅藻カギケノリは、反すう家畜由来のメタンガス削減に資する海藻として注目されているが、その養殖生産の実用化に向けては安定的な種苗供給技術の確立が課題となっている。本研究では、カギケノリの世代交代に着目し、水温(25°C)および明暗周期（明期 8 h: 暗期 16 h）による孢子体の成熟および孢子放出の誘導効果、発芽により得られた配偶体の通気培養による成長促進効果を明らかにする。配偶体は低コストな海面養殖に適した世代であることから、本研究成果はカギケノリ養殖の生産性向上に寄与する。

キーワード：海藻、養殖、プロモホルム、メタンガス

背景・ねらい

反すう動物の呼吸などから排出されるメタンは、農業由来の温室効果ガス排出の主要因の一つであり、その削減は国際的に重要な課題である。紅藻カギケノリは、メタン生成を阻害するプロモホルムを多量に含有するため、ウシなどの家畜へ給与することによりメタンガスを削減する海藻として注目されている。

カギケノリは 2n 世代の孢子体と n 世代の配偶体からなる生活環を有し、両世代で形態や増殖特性が大きく異なる（図 1）。孢子体は微小形態のため海面養殖には不向きだが、実験室での培養や陸上養殖に適している。しかし、陸上養殖は施設の維持管理に多大なコストを要し、生産量も制約を受ける。一方、配偶体は直立茎が十数 cm に伸長するため、陸上養殖に比べ安価で大規模展開可能な海面養殖に適した世代と位置付けられるが、その種苗を人工的に安定生産するための基盤技術は十分に確立されていない。本研究では、カギケノリの世代交代に着目し、配偶体の種となる四分孢子を効率的かつ再現性高く放出させる条件ならびに、発芽後の幼配偶体を効率的に育成する培養条件を明らかにする。本研究により、陸上養殖に依存しない低コストな海面養殖を可能とする種苗供給技術の確立を目指す。

成果の内容・特徴

1. 本種の孢子体は水温 20°C、昼夜等長の明暗周期（明期 12 h: 暗期 12 h）で安定的に維持されるが、これを水温 25°C または短日の明暗周期（明期 8 h: 暗期 16 h）下で維持することで、成熟および四分孢子の放出を誘導できる。一方、これら以外の条件では、孢子体の成熟および孢子の放出は認められない（表 1）。最初の孢子放出までに要する日数の平均は、水温 25°C 条件では 12.3 ± 1.07 日、短日条件（明期 8 h: 暗期 16 h）では 15.7 ± 1.31 日である（図 2 左）。また、これら 2 条件は独立して孢子放出誘導に機能するが、同時に付与することで相乗効果となり、水温を 25°C とした場合、最初の孢子放出までに要す

る日数の平均は昼夜等長条件（明期 12 h: 暗期 12 h）では 12.9 ± 0.79 日に対し短日条件（明期 8 h: 暗期 16 h）では 11.0 ± 0.74 日となり約 2 日短縮される（図 2 右）。

2. 孢子より発芽した配偶体を、通気条件で培養することにより、成長が有意に促進される（図 3 上）。4 週間の日間成長率は、静置条件では $4.72 \pm 0.51\%$ 、通気条件では $6.86 \pm 0.36\%$ である。通気条件下では、配偶体に特徴的な直立茎および側枝の発達が顕著であり、根部の分枝も増加する（図 3 写真）。また、乾重量当たりのプロモホルム含量は静置条件で $15.3 \pm 6.03 \text{ mg g}^{-1}$ 、通気条件で $33.5 \pm 7.26 \text{ mg g}^{-1}$ であり、通気によりプロモホルム含量も向上する（図 3 下）。

成果の活用面・留意点

1. 本成果をもとにすることで、海面養殖用の種苗となるカギケノリ配偶体を安定的かつ大量に生産することが可能となり、カギケノリ養殖の生産性向上への寄与が期待される。
2. 本成果は、温帯域由来（国産）のカギケノリ株を対象として最適条件を検討したものであるため、熱帯域等由来の異なる株については、改めて水温条件や日長条件の最適化研究が必要である。
3. カギケノリを家畜に与えた場合の効果および安全性については、海外ではその検証例があるものの、日本国内においては検証事例が存在しない。そのため、国内での実用化に向けては、給餌試験を通じた安全性の評価およびメタン削減効果検証の実施が必要である。

その他

予算区分：交付金プロ [B4 熱帯水産養殖（第 5 期）、令和 6 年度理事長インセンティブ経費]、外部資金 [科研費 25K09257]

研究実施期間：2024～2025 年度

研究担当者：松田竜也（水産領域）、桑野和可（長崎大学）

発表論文等：Matsuda and Kuwano (2025) *Marine Biotechnology* 27: 115. <https://doi.org/10.1007/s10126-025-10493-2>

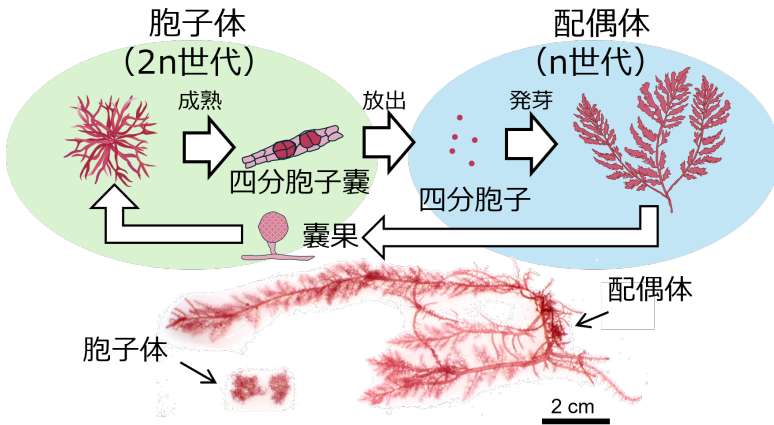


図1 カギケノリ的生活環（世代交代）

紅藻カギケノリは、2n 世代である胞子体と n 世代である配偶体が世代交代する生活環をもつ。胞子体は成熟すると四分胞子嚢を形成し、四分胞子を放出、発芽後配偶体となる。配偶体は有性生殖し、受精により嚢果を形成し、胞子体に発達する。胞子体は微小世代であるため、実験室での培養や陸上養殖には適性があるが、野外での養殖は困難である。一方、配偶体は直立茎を発達させ十数 cm まで成長するため、海面養殖にも適性がある。

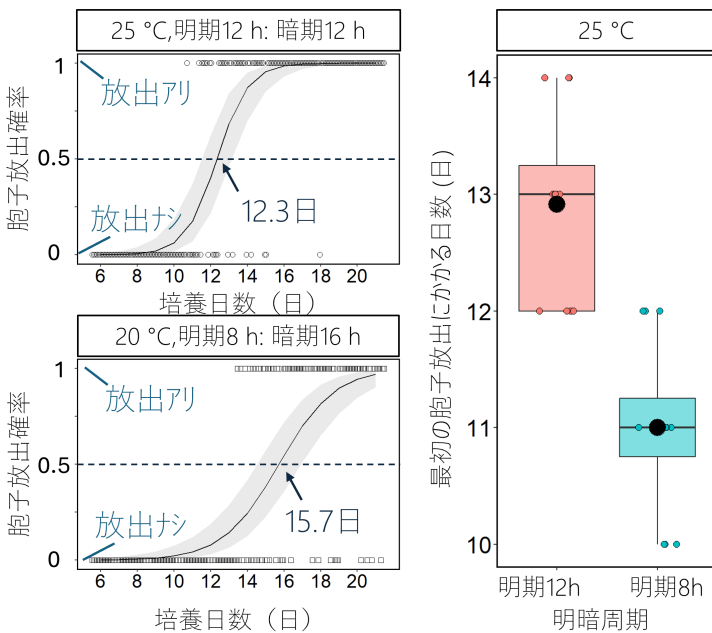


図2 胞子放出における温度と明暗周期の影響

水温(25°C)または明暗周期（明期 8 h: 暗期 16 h）の条件下で胞子体を培養した場合に胞子放出の発生した日を 1、発生しなかった日を 0 としたときの胞子放出確率を示す（左図）。矢印で示した日数は二項ロジスティック回帰で推定された 50%胞子放出日数を表す。灰色の領域は 95%信頼区間を表す。また、25°C かつ異なる明暗周期下で培養した場合に最初に胞子放出が確認されるまでに要した日数を箱ひげ図で示す（右図）。●は平均を示す。(n = 12)

表1 カギケノリ胞子体の胞子放出条件

温度	明暗周期	胞子放出
20 °C	12:12 h L:D	×
25 °C	12:12 h L:D	○
30 °C	12:12 h L:D	×
20 °C	14:10 h L:D	×
20 °C	12:12 h L:D	×
20 °C	10:14 h L:D	×
20 °C	8:16 h L:D	○

異なる温度および明暗周期下でカギケノリ胞子体を 21 日間培養した場合の胞子放出の有無(○×)を示す。L:D は明期(L)と暗期(D)を示し、12:12 h L:D は明期 12 h: 暗期 12 h を示す。

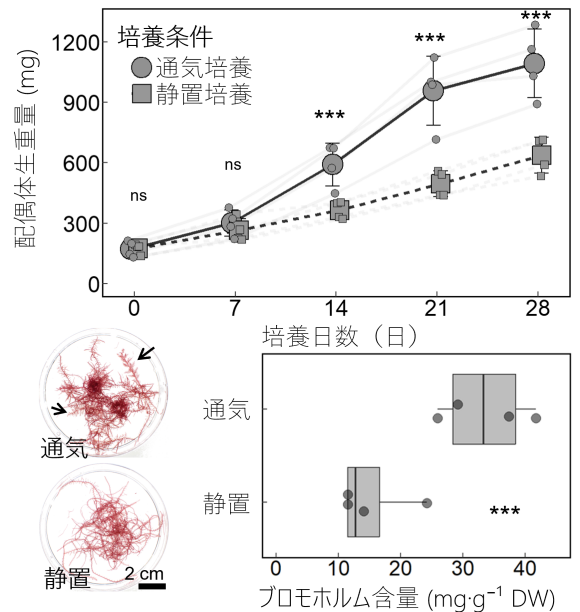


図3 配偶体の効率的な育成方法

配偶体を通気または静置条件下で培養した時の成長曲線（上グラフ）、28 日後の形態（下写真）および乾重量当たりのプロモホルム含量（下グラフ）を示す。成長曲線は 7 日ごとの生重量を平均で表した。写真は代表的な藻体を表し、矢印は側枝を含む直立茎の発達を示す。それぞれの生重量およびプロモホルム含量は一般化線形化モデルと比較した。ns は $p > 0.05$ で有意差のないことを、***は $p < 0.001$ で有意であることを表す (n = 4)。

図は Matsuda and Kuwano (2025) より CC BY 4.0 に従い転載/改変して作成
© Author(s) 2025 <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ja>

熱帯カキ養殖の生産拡大に向けた小規模養殖向け中間育成装置

熱帯マングローブ汽水域における稚ガキの養殖効率向上を目的として開発した簡易構造の中間育成装置は、安価な市販資材により構築され、養殖業者自身による組み立てが可能であるため、現場への設置・導入が容易である。マレーシアの養殖場での飼育試験では、対照となる網カゴでの飼育に比べ、摂餌効率は向上し、また、貝殻の伸長が促進される。熱帯の汽水域では付着物が多く発生するため定期清掃が必要になるが、装置の構造を簡素化したことで維持管理も容易となり、小規模養殖業者への普及が期待される。

キーワード：熱帯カキ、中間育成装置、マングローブ汽水域、成長促進、小規模養殖

背景・ねらい

熱帯域のカキ養殖では稚貝の初期死亡率が高く、このことが産業拡大を阻む主要な課題となっている。また、陸上飼育や大型のFLUPSYシステム（中間育成を目的とする筏型のアップウエリング装置）は導入コストが高く、小規模養殖業者には利用が難しいという問題がある。こうした状況を踏まえ、現場で簡便に運用でき、かつ小規模養殖業者でも導入可能な低コスト・小型の中間育成装置の開発が求められている。

本研究では、熱帯のマングローブ汽水域に適したカキ稚貝用中間育成装置を開発し、稚貝の生残率向上と成長促進を実現することで、地域水産業の規模拡大に寄与することを目的とする。本研究で開発する装置は簡易構造を採用し、現場での組立や清掃が容易で低コストに導入できることをねらいとする。また、装置の運用により飼育槽内の水質を安定させ、給餌効率と成長を向上させることで、本垂下への移行までの短期育成を実現する。

成果の内容・特徴

1. 開発された中間育成装置は、水中ポンプにより槽内の下層水を上方へ排出することで、「アップウエリング」と呼ばれる上向きの流れを形成し、換水率を高く保つ構造となっている。この仕組みにより稚貝の生残および成長に適した環境が維持される。装置は安価な市販資材を用いた設計で、養殖業者による自作が可能であり、簡素な構造であることから現場での組立や清掃も容易で、普及性と持続性に優れる（図1、2）。
2. 水中ポンプによる強制換水と補助エアレーションの組み合わせにより、餌となる植物プランクトンの供給が確保され、溶存酸素濃度が安定する。この環境下では、稚貝の摂餌効率が有意（ t 検定、 $p < 0.05$ ）に向上する（図3）。
3. 2週間の飼育試験では、同装置を用いた場合には通常の網カゴを用いた飼育と比較して殻長18mmを超える個体の割合が有意（カイニ乗検定、 $p < 0.01$ ）に多く、同装置は貝殻の成長を促進する効果をもつこと

が強く示される（図4、図5）。

4. 同装置は構造が簡素であるため、現場での設置作業や維持管理が容易であり、養殖作業の労力軽減に寄与する。今後、熱帯汽水域における小規模養殖業者への普及が期待され、熱帯汽水域におけるカキ養殖の生産拡大とカキ養殖産業の持続的発展に寄与する技術として有望である。

成果の活用面・留意点

1. 開発した中間育成装置は、小型で簡易構造のため小規模養殖業者が導入しやすく、作製および運用における作業負担を軽減する。
2. 導入コストが低いため、初期投資を抑えつつ稚貝の育成工程を安定化でき、稚貝の購入費用の低減と養殖工程の安定化を通じて所得向上に寄与する。
3. 本装置は稼働に電源を必要とする。単一台では太陽光発電による自立電源化も将来的に可能と見込まれるが、多台数で運用する場合には、現地の電源インフラや日照条件などに左右される。
4. 将来的にはIoTやセンサー技術を組み合わせた自動監視・制御システムの導入により、管理負担をさらに軽減し、スマート養殖への展開が期待される。これにより、持続的な水産資源利用と環境調和型養殖の実現が可能となる。

その他

予算区分：交付金プロ [B4 熱帯水産養殖]

究実施期間：2021～2025年度

研究担当者：坂本達也（水産領域）

発表論文等：Yurimoto T., et al. (2025) Improvement of the Nursery Upweller for Young Oysters in Tropical Mangrove Estuaries. *Aquatic Sciences and Engineering*, 40(4): 262–271. <https://doi.org/10.26650/ASE.2025.1738425>

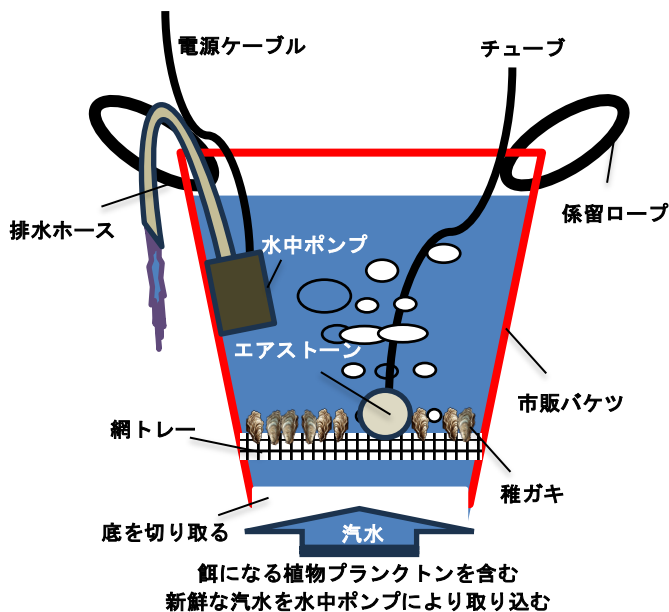


図1 アップウエリングによる中間育成装置の模式図
市販資材を用いた低コスト設計で、簡素化により定期清掃が可能となり、マングローブ汽水域にも適応させた。

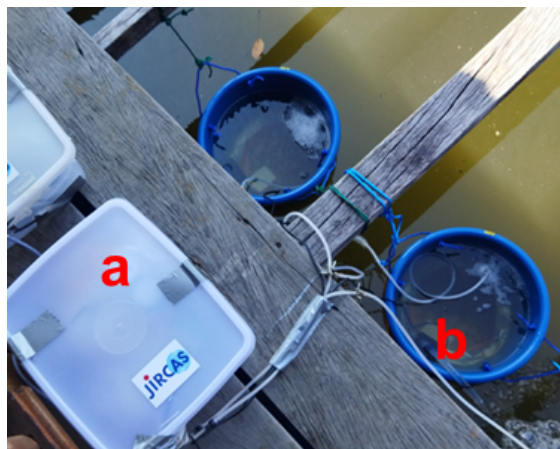


図2 中間育成装置の試験運転
a: 防水ボックスには電源コード、送気ポンプ、水中ポンプの動作を管理するタイマーが収容される。b: 装置本体の底部にはカキ稚貝を収容した網トレイが設置される。

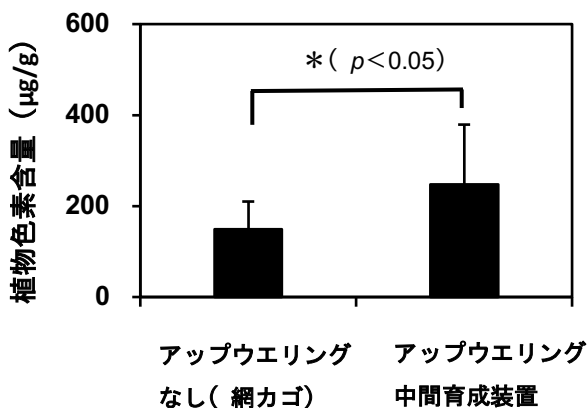


図3 中腸腺植物色素濃度の比較
値が高いほど摂餌量が多いことを示し、2群間で有意な差 (t 検定、 $p < 0.05$) が認められる。

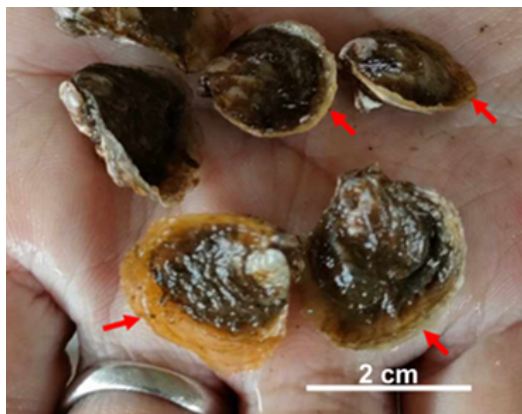


図4 中間育成装置で2週間飼育したカキの稚貝
対照区では新しい殻の形成が明瞭には確認されなかったが、装置を使用した試験区では、縁辺部に新たな殻の形成（矢印の色の薄い部分）が認められる。

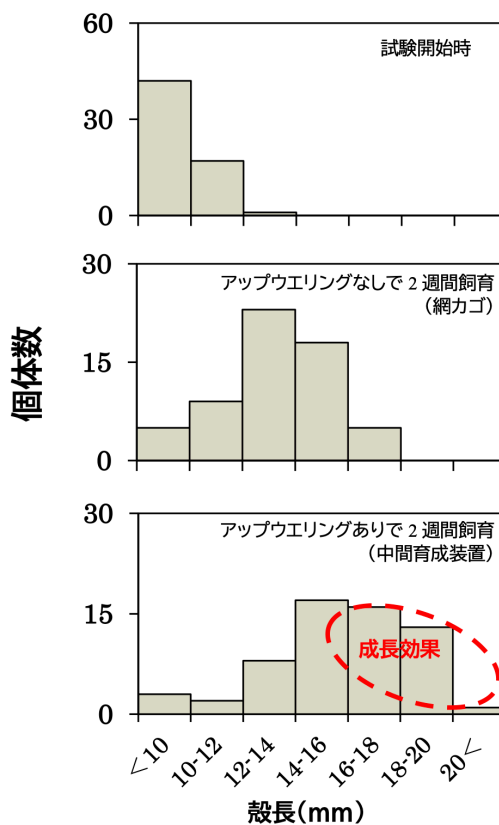


図5 供試稚貝の殻長組成の比較
約2週間の試験飼育の結果、中間育成装置を導入した試験区では有意（カイニ乗検定、 $p < 0.01$ ）な成長効果が確認される。

図は Yurimoto et al. (2025) より CC BY-NC 4.0 に従い転載/改変して作成
© Author(s) 2025 <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.ja>

スーダンサバンナの土壌型を考慮した収量・純収益を最大化するソルガム栽培法

サブサハラアフリカ最大のソルガム生産地であるスーダンサバンナでは、土壌型がソルガム収量に大きく影響するが、各国の栽培指針では未だ土壌型が考慮されていない。当該地域で優占する3つの土壌型ごとに、ソルガムの収量と施肥による純収益（施肥で増加する収益と費用の差）を最大化する窒素施肥量、播種密度、品種の組み合わせを「最適な栽培法」として示し、これにより土壌型に応じた栽培指針の見直しが可能となる。最適な栽培法の経済的頑健性も土壌型で異なり、土壌型によっては施肥が経済的な損失をもたらす可能性がある。

キーワード：ソルガム、栽培指針、土壌型、有効土層厚、経済的頑健性

背景・ねらい

サブサハラアフリカ(SSA)で急激に増加する食料需要を満たすためには、SSAでの農業生産性の向上が不可欠である。国連食糧農業機関(FAO)の統計によれば、1980年から2020年にかけて当該地域の人口は3倍に増加しているのに対して、SSAの半乾燥地の主穀であるソルガムの単位面積当たりの生産性は20%しか増加しておらず、依然として低迷している。この問題に対処するため、SSA最大のソルガム生産地であるスーダンサバンナが広がる各国では栽培指針の再整備が進んでいるが、未だソルガムの収量を左右する（令和5年度国際農林水産業研究成果情報 B12「有効土層の薄い土壌型プリンソルにおけるソルガムの特異な施肥応答」）土壌型の違いは考慮されていない。

そこで本研究では、スーダンサバンナで優占する3つの土壌型、作物が根を伸ばせる土層（有効土層）が約100 cmと厚く水分保持能が高いリキシソル(LX)、約50 cmのプリンソル(PT)、約25 cmと薄く水分保持能が低いプリンソル(PX)において、ソルガムの収量と施肥による純収益を最大化する窒素施肥量、播種密度、品種*の組み合わせ（最適な栽培法）を明らかにする。窒素のみを対象とするのは、当該地域の主要な収量制限要因が窒素施肥量のためである。

* ブルキナファソの代表的改良品種である Kapelga と Sarioso14 を対象とした。

成果の内容・特徴

1. 最適な窒素施肥量、播種密度、品種の組み合わせは、LXでは74 kg ha⁻¹、5.6 株 m⁻²、Sarioso14、PTでは74 kg ha⁻¹、8.3 株 m⁻²、Kapelga、PXでは37 kg ha⁻¹、3.1 株 m⁻²、Kapelgaである（表1）。各国の栽培指針では、窒素施肥量は土壌型によらず30 kg ha⁻¹程度に設定されているが、LXやPTでは窒素施肥量を増やすことで収量および純収益を向上できる（図1）。
2. 価格が大きく変動した2010年から2022年までのブ

ルキナファソにおける肥料価格**および農家の販売価格***（図2）に基づいて、最適な栽培法での施肥による純収益を算出すると、純収益の平均値は有効土層の厚さを反映してLX>PT>PXである（図3）。

3. 最適な栽培法の経済的頑健性も土壌型で異なり、LXやPTでは肥料価格が高騰しても施肥による純収益はプラスを維持できるが、有効土層が薄いPXでは施肥による純収益がマイナスになり得る（図3）。

** 世界銀行グループのデータベースに基づく。

*** FAOの報告書に基づく。

成果の活用面・留意点

1. 本研究成果により、スーダンサバンナが広がる各国において、従来のソルガム栽培指針をより施肥効率の良いものへと改良できる。
2. 本研究でのソルガムの収量および施肥による純収益は、播種2週間後に基肥（窒素量で14 kg ha⁻¹、リン酸量で23 kg P₂O₅ ha⁻¹、カリウム量で14 kg K₂O ha⁻¹）、4週間後に1回目の追肥（窒素量で11.5 kg ha⁻¹もしくは30 kg ha⁻¹）、6週間後に2回目の追肥（1回目の追肥と同量）を行った結果であり、同じ窒素施肥量でも施用する回数や時期が異なる場合、同様の結果が得られるとは限らない。
3. 本研究では肥料価格および農家のソルガム販売価格が大きく変動した2010年から2022年までの価格に基づき施肥による純収益を算出したが、価格の変動がこれを超える場合には、再評価が必要である。

その他

予算区分：交付金プロ [B6 アフリカ畑作システム（第5期）、A2 アフリカ流域管理（第4期）]
 研究実施期間：2016～2025年度
 研究担当者：伊ヶ崎健大（生産環境・畜産領域）、井関洸太朗（生物資源・利用領域）、南雲不二男（現 JICA）、Simporé, S., Barro, A.（ブルキナファソ環境農業研究所）
 発表論文等：Ikazaki et al. (2025) *Soil Sci. Plant Nutri.* 71(6): 724–735. <https://doi.org/10.1080/00380768.2025.2522832>

表1 各土壌型で窒素施肥量、播種密度、品種がソルガムの収量および施肥による純収益に与える影響

	ソルガムの収量 (kg ha ⁻¹)			純収益 (10 ³ FCFA ha ⁻¹)		
	LX	PT	PX	LX	PT	PX
A: 窒素施用量¹⁾						
37 kg/ha	1098 a	619 a	691	55 a	3 a	25
74 kg/ha	1660 b	1049 c	857	136 b	60 b	33
111 kg/ha	1724 b	820 b	782	126 b	-4 a	-3
B: 播種密度						
3.1 株/m ²	1332 a	696 a	784	80 a	-2 a	24
5.6 株/m ²	1661 b	828 ab	762	136 b	19 ab	17
8.3 株/m ²	1490 ab	975 b	774	101 ab	43 b	14
C: 品種²⁾						
Kapelga	1453	870	853 b	100	28	34 b
Sariso14	1535	800	691 a	112	12	2 a

スーダンサバンナを代表する地質、地形、土壌が分布するブルキナファソ中部での2年間（平均的な降水量の年と少雨の年）の試験結果。LXは有効土層厚が約100cmのリキシソル、PTは約50cmのプリンソル、PXは約25cmのプリンソルを示す。数字は各処理の平均値を示し、例えばKapelgaの行の数字は、Kapelgaを植えた全処理区の平均値を示す。異なるアルファベットは、ある土壌型と項目(A, B, C)の中で、収量もしくは施肥による純収益の平均値に有意差があることを示す($p < 0.05$, TukeyのHSD検定)。有意差がない場合にはアルファベットを省略した。A, B, Cの要因間に交互作用はない。1) すべての処理区でリン酸(23 kg ha⁻¹)とカリウム(14 kg ha⁻¹)も基肥で施用した。2) LXでは、平均的な降水量の年にKapelgaに比べてSariso14は収量も施肥による収益も有意に高かったこと($p < 0.05$)、また少雨年より平均的な降水量の年の方が頻度が高いことから、最適な品種をSariso14とした。一方、PTでは収量も施肥による純収益もSariso14とKapelgaの間で有意差が認められないが、Kapelgaの方がSariso14に比べて食味および保存性が優れていることから、最適な品種をKapelgaとした。1 FCFA = 0.28円（2025年12月のレート）。

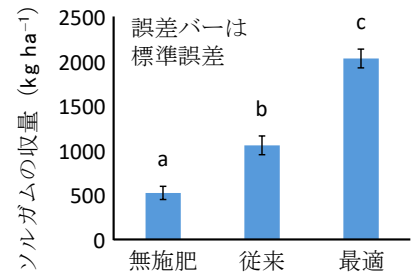


図1 LXでの最適な栽培法による収量変化

窒素施肥量、播種密度、品種の組み合わせは無施肥 (0 kg ha⁻¹, 3.1 株 m⁻², Kapelga)、従来 (37 kg ha⁻¹, 3.1 株 m⁻², Kapelga)、最適 (74 kg ha⁻¹, 5.6 株 m⁻², Sariso14) である。異なるアルファベットは、群間に有意差があることを示す ($p < 0.05$, TukeyのHSD検定)。無施肥に比べ、従来の栽培指針では収量は2.0倍に、最適な栽培法では3.9倍になる。

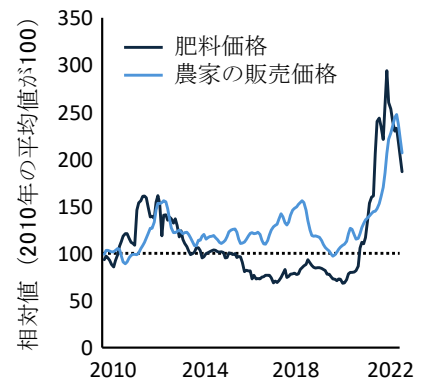


図2 2010年から2022年までのブルキナファソにおける肥料価格と農家のソルガム販売価格

肥料価格は世界銀行グループのデータベースに基づき、農家のソルガム販売価格はFAOの報告書に基づく。

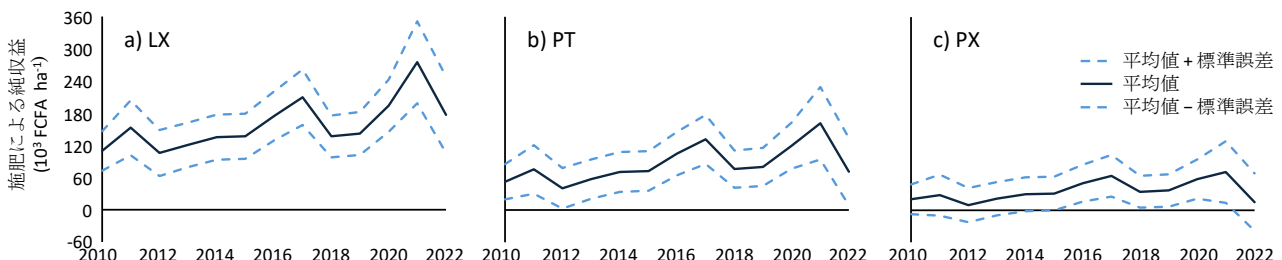


図3 2010年から2022年まで各土壌型で最適な栽培法を採用した場合の施肥による純収益

LX, PT, PXは表1と同様である。LXやPTでは、価格の変動が大きかった2010年から2022年の期間でも、平均値から1標準誤差を引いた値が常に正である。一方で、有効土層厚が薄いPXでは、肥料価格が高騰すると平均値から1標準誤差を引いた値はマイナスになっており、施肥により経済的な損失が生じる可能性がある。

表1および図2, 3はIkazaki et al. (2025) よりCC BY 4.0に従い転載/改変して作成
© Author(s) 2025 <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ja>

乾燥と過湿に強いササゲ遺伝資源の発見とその根の形態変化による土壌水分適応

西アフリカの主要なマメ科作物であるササゲの栽培種と祖先野生種を含む 99 系統の特性評価により、土壌の乾燥ストレスと過湿ストレスの両条件下で耐性を示す 10 系統を明らかにした。これらの系統は過湿条件下で根の通気組織を増やして酸素不足を回避し、乾燥では水の通り道となる通導組織の比率を高めるといった柔軟な根の形態変化を示した。同定した系統群は今後、気候変動による極端な水分変動に強いササゲ品種開発への活用が期待される。

キーワード：乾燥ストレス、過湿ストレス、ササゲ、祖先野生種、遺伝資源

背景・ねらい

西アフリカの乾燥サバンナでは、降雨に依存した小規模農業が中心で、気候変動の影響を強く受ける。近年は降雨の変動が拡大し、干ばつによる減収に加えて、極端な降雨後の滞水・土壌過湿が畑作でも起こりやすくなっている。土壌過湿により、ササゲなどのマメ科作物では根域の酸素不足による生育低下が新たなリスクとして顕在化しており（令和5年度国際農林水産業研究成果情報 B14「スーダンサバンナの栽培データを用いて気候変動がササゲ栽培に及ぼす影響を推定」）、幅広い土壌水分条件に適応できる品種の開発が急務である。しかし、乾燥と過湿では必要とされる耐性機構が異なるため、両耐性の同時付与は難しいとされてきた。一方、自然界では土壌水分が極端に変動する場面があり、祖先野生種には水環境の変動に追従する適応性が残っていると考えられる。

本研究では、国際熱帯農業研究所(IITA)との連携のもと、栽培種と祖先野生種*を含むササゲ遺伝資源 99 系統を対象に、乾燥・過湿の両条件下で複数の生育・生理指標を組み合わせて耐性を包括的に評価し、両ストレスに強い遺伝資源の探索と、その基盤となる根の形態応答の解明を目的とする。

*祖先野生種：ササゲの栽培種が成立する過程において、直接的な進化的起源となった野生種。栽培種と交雑が可能であるため、育種材料としての活用が期待されている。

成果の内容・特徴

1. 幅広い環境から採取されたササゲ祖先野生種 45 系統に、栽培ササゲのコア・コレクションを中心とした 54 系統を加えた計 99 系統を対象に、乾燥条件下では SPAD 値**とクロロフィル蛍光、過湿条件下では SPAD 値と地上部生長量を用いて総合的に評価した。その結果、両ストレスに強い 10 系統が明らかとなり（図 1）、うち 9 系統は祖先野生種であった。これは栽培種では希なストレス耐性を祖先野生種が保持することを示す。

2. 過湿条件下では根の通気組織の形成率が増加して根域の酸素不足を回避し、乾燥条件下では通導組織（中心柱）の割合が増加して地上部への水供給を効率化する（図 2）。これらの形態的变化はストレス耐性に寄与する要因と考えられ、乾燥と過湿が食料生産上のリスクとなる将来気候下で有望な選抜対象になり得る。
3. 本研究は、乾燥と過湿の各ストレスに対する応答を多面的に把握することで、乾燥・過湿の相反するストレスへの耐性を効率的に検出できることを示す。

**SPAD 値：葉緑素計 SPAD-502 により得られる相対的な葉緑素含量の指標。

成果の活用面・留意点

1. 選抜した 10 系統は、乾燥と過湿の極端に異なる土壌水分環境に適応する品種開発の材料として利用できる。通気組織の形成や通導組織の割合変化などの根の柔軟な形態応答は主要な適応メカニズムとして育種目標に活用できる。
2. 複数指標によるストレス耐性評価は他の作物にも適用できる可能性がある。ただし、相対値による耐性評価の区分は用いる集団により変動し得る。
3. 祖先野生種を品種改良に利用する際には、導入形質によって栽培種がもつ収量などの主要農業形質が損なわれないように留意する必要がある。

その他

予算区分：交付金プロ [B6 アフリカ畑作システム（第 5 期）、B1 アフリカ食料（第 4 期）]、外部資金 [日本学術振興会科学研究費助成事業]

研究実施期間：2017～2025 年度

研究担当者：井関光太郎（生物資源・利用領域）、Olaleye, O.（国際熱帯農業研究所）

発表論文等：Iseki and Olaleye(2025) *Frontiers in Plant Science* 16: 1573313.

<https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1573313>

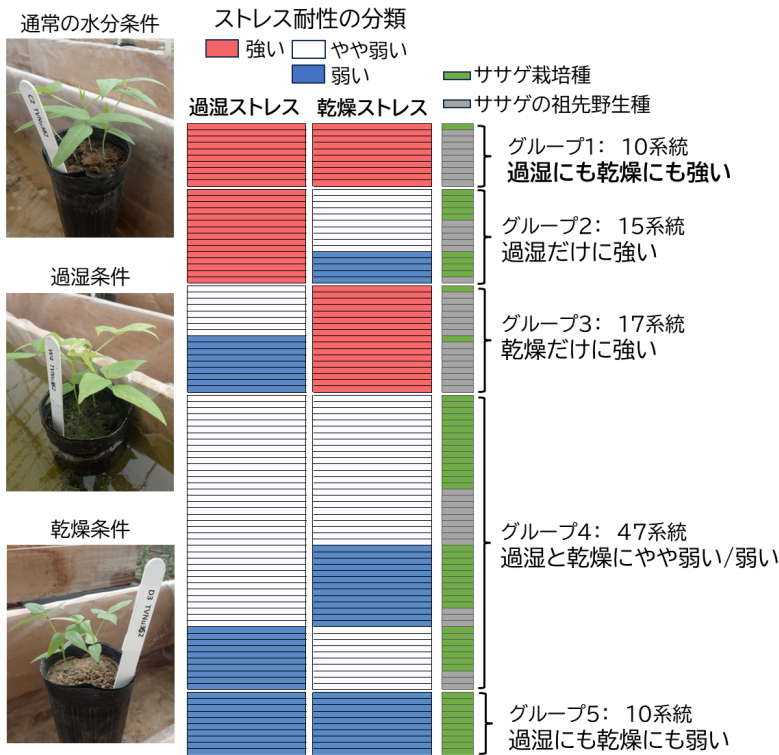


図1 ササゲ遺伝資源 99 系統における過湿および乾燥ストレス耐性

高さ 20 cm のポットを用い、各ササゲ系統を通常の水分条件（2 cm の底面灌水、体積含水率 20～25%）で 2 週間栽培した後、過湿処理区は 18 cm の深さまでポットを水に浸漬し（体積含水率 40～50%）、乾燥処理区は灌水停止した（体積含水率 10% 以下）。処理から 3 週間後の過湿および乾燥ストレスに対する応答の違いに基づき、99 系統を 5 つのグループに分類した。赤色、白色、青色はそれぞれストレス耐性が「強い」、「やや弱い」、「弱い」ことを示す。ストレス耐性区分は各評価指標の対象区との相対値をもとに、用いた全ての評価指標が全体平均より高い系統を「強い」と分類した。栽培種は緑色、祖先野生種はグレーで示す。

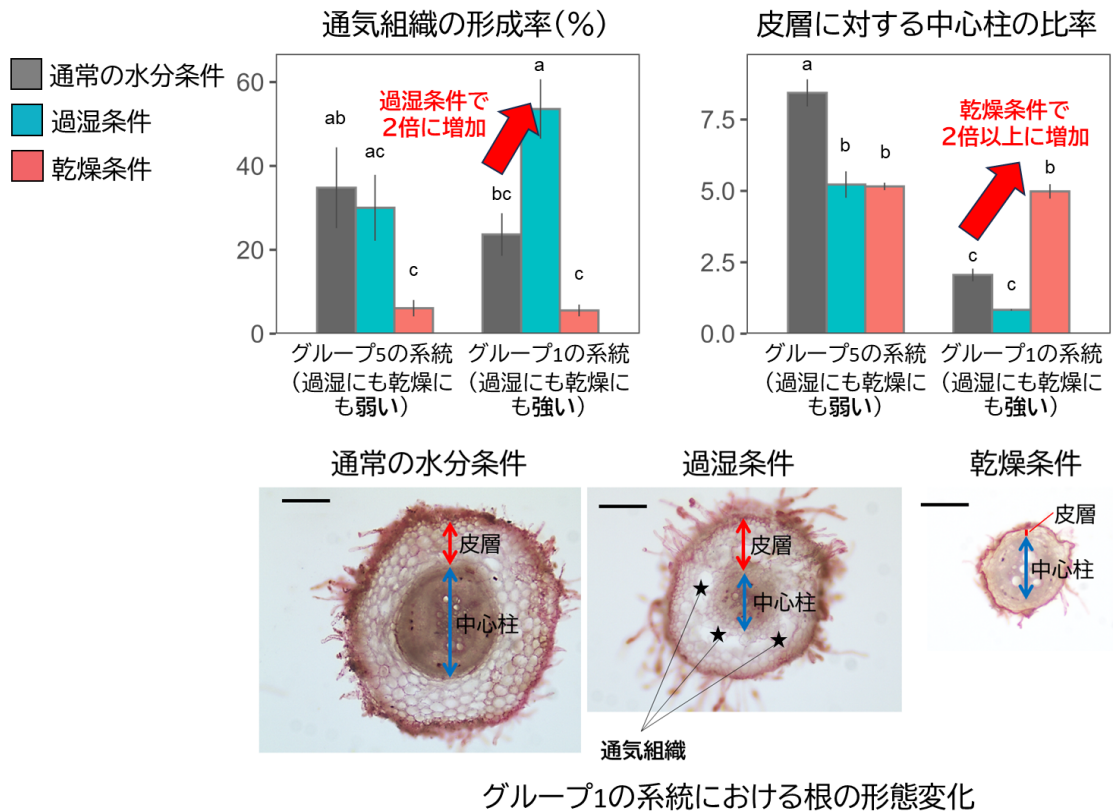


図2 過湿条件および乾燥条件に対する耐性系統（祖先野生種、グループ1）と感受性系統（栽培種、グループ5）における根の形態変化

左上のグラフは通気組織の形成率、右上は皮層／中心柱比の平均値および標準誤差を示す。異なるアルファベットは Tukey の多重比較検定において平均値が 5% 水準で有意に異なることを示す。下段は植物の基部から 4～5cm の区間における根の横断面の画像であり、赤い両矢印は皮層、青い両矢印は中心柱を示す。黒い星印は皮層の通気組織を示す（スケールバーは 200 μm）。耐性系統では、過湿条件下で通気組織の形成率が増加し、乾燥条件では中心柱の割合が増加する。

図は Iseki and Olaley (2025) より CC BY 4.0 に従い転載/改変して作成

© Author(s) 2025 <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ja>

国立研究開発法人 国際農林水産業研究センター



ICP 全波長スペクトルの深層学習による多項目同時測定可能な土壌診断法

現在の土壌診断は費用が高く、特に開発途上地域では土壌診断に基づく技術適用が困難な状況である。これを解決するため、これまでに国際農研が取得したアフリカ・アジアを中心とした約 2,000 試料の土壌分析結果と、ICP（誘導結合型プラズマ発光分光分析装置）で得られる全波長スペクトルを深層学習し、土壌診断結果の精度を検証する。本法では1つの抽出液で主要な12の土壌診断項目を高精度に評価でき、分析に要する機器や試薬、分析時間を大幅に削減できるため、迅速かつ安価な土壌診断が可能となる。

キーワード：土壌診断、ICP、深層学習

背景・ねらい

世界的な食料需要の増大と気候変動の進行により、限られた資源のもとで生産性と環境保全を両立させる持続可能な農業の実現が強く求められている。とりわけ農耕地の健全性の維持・向上には、土壌状態を把握し、それに基づいた施肥・管理を行うことが不可欠である。しかし農業の現場、特に開発途上地域では、高価で時間を要する従来の土壌分析を十分に実施できないことが多く、低コストで利用可能な土壌診断技術へのニーズが極めて高い。

これに対する代替技術として、近赤外・中赤外分光などの光学センサーを用いた非破壊型の土壌診断法が研究されているが、同時に評価可能な成分が限られるなど、実用上の制約が残されている。

そこで本研究では、ICP（誘導結合型プラズマ発光分光分析装置）の全波長スペクトルを深層学習によって解析することにより、多項目を同時に推定可能な、迅速かつ低コストの新規土壌診断技術を開発する。

成果の内容・特徴

1. アフリカ・アジアを中心とする7か国から得られた1,941試料を従来の分析法で分析し、その結果を深層学習の教師データとする。
2. 分析項目は pH (H₂O、KCl)、電気伝導度 (EC)、有効態 P 含量 (Bray-1)、交換性 Ca、Mg、K、Na 含量、交換性 Al 含量、陽イオン交換容量 (CEC)、全炭素含量、全窒素含量、粒径組成（粘土含量、砂含量）の計12項目である。
3. ICP では、取得される全波長データから通常目的の元素に応じた波長のみが選択され、その指定波長に対する標準試料の発光強度から検量線を作成し、目的元素の濃度を定量する。本研究では、pH7 の 1 M 酢酸アンモニウムによる土壌抽出液について、全波長データから 234 波長を代表する 2,574 ピクセルの強度値を取得し、自然対数化した後、深層学習に供試する。
4. 得られた土壌分析値および ICP 波長データをランダムに 80% を学習用データ、20% を評価用データとし、順

伝搬型ニューラルネットワーク (FFNN) による学習を実施する。また、得られた予測精度について、土壌診断における利用可能性を、Malley および Chang の指標で評価する。

5. 本法では対象とした12項目を高精度で予測できる。多くは決定係数が0.9を超え、最も予測精度の低い全炭素でも0.812である。一般的にICPでは測定できないpHやCEC等も高い精度で予測され（図1）、12項目全てにおいて、土壌診断に利用できる精度で予測できる（表1）。

成果の活用面・留意点

1. 本法で土壌診断を実施する場合、必要な機器は主にICPのみであり、試薬は酢酸アンモニウムのみである（図2）。
2. 本法は簡易法であることから、より高い測定精度が必要な場合には、従来法を用いる必要がある。また、保水性などの物理性項目の予測には適用できない可能性がある。
3. 本法の教師データはアフリカ・アジアを中心とする7か国から得られたものであり、それらと類似した土壌条件を有する国では本法を適用できるものの、それ以外の国で適用する際には、対象とする地域で別途予測モデルを構築する必要がある。
4. 本研究では研究資材の制限により、データ量を制限した予測を実施した。より多くの学習データを用い、畳み込みニューラルネットワーク (CNN: convolutional neural network) などの手法を利用することで、さらに精度を高められる可能性がある。

その他

予算区分：交付金プロ [B6 アフリカ畑作システム]

研究実施期間：2021～2025 年度

研究担当者：中村智史、伊ヶ崎健大（生産環境・畜産領域）、今矢明宏（現・森林総合研究所）

発表論文等：Nakamura et al. (2025) *Scientific Reports* 15: 37753. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-24274-3>

特許情報：特願 2021-92618 号

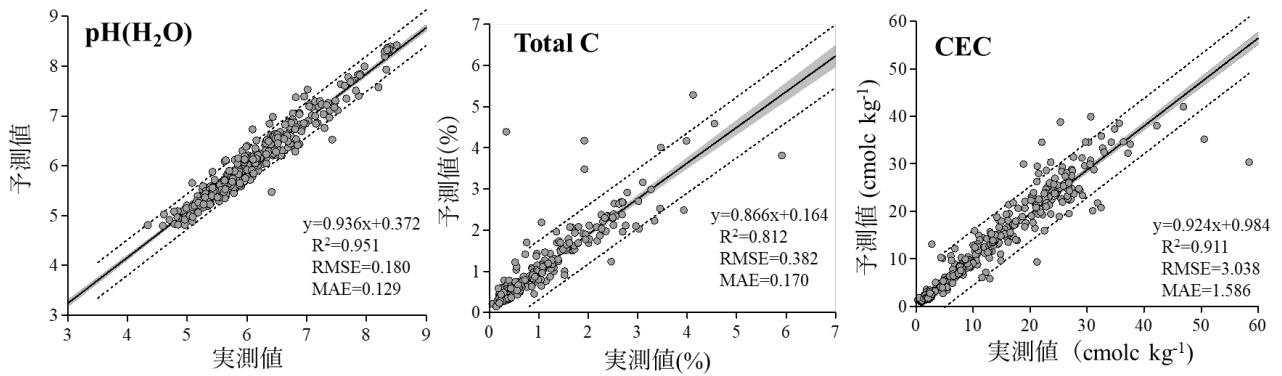


図1 本法によって得られた予測値と実測値の関係の一例

RMSE (Root Mean Squared Error:平均二乗平方根誤差)、MAE(Mean Absolute Error:平均絶対誤差)

ICPは元素分析装置であり、一般的には無機元素の定量に用いられる。従来法ではICPで測定できないpHや全炭素含量(Total C)、CEC等の分析項目についても一定の精度で予測が可能である。

表1 各項目の予測精度と土壌診断としての精度

分析項目	単位	決定係数 R ²	土壌診断結果の精度	
			Malley's index	Chang's index
pH (H ₂ O)		0.951	A	A
pH (KCl)		0.959	A	A
EC	mS m ⁻¹	0.960	A	A
Bray1-P	mg kg ⁻¹	0.963	A	A
Ex. Al	cmolc kg ⁻¹	0.964	A	A
Ex. Ca		0.995	A	A
Ex. Mg		0.983	A	A
Ex. K		0.993	A	A
Ex. Na		0.946	B	A
CEC		0.911	B	A
Total N	%	0.956	A	A
Total C		0.812	C	A
Clay		0.844	C	A
Sand		0.870	D	A

Malley et al. 2004 の分類

A:優秀(Excellent)、B:成功(Successful)、C:概ね成功(Moderately Successful)、D:概ね有用(Moderately Useful)、E:スクリーニング(Screening)

Chang et al. 2001 の分類

A:成功(Successful)、B:可能性あり(Possibility)、C:有用でない(Not Useful)

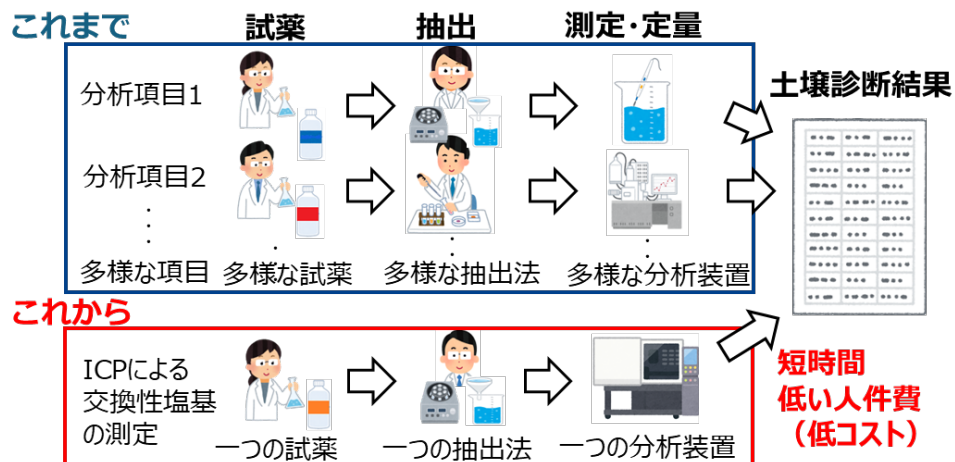


図2 土壌診断の現在と今後

図表は Nakamura et al. (2025)より CC BY 4.0 に従い転載/改変して作成
© Author(s) 2025 <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ja>

農家の目で土壌を診る：土壌肥沃度認識の妥当性と圃場管理への活用

ガーナ北部の小規模農家は、土色や土性、雑草種などの経験的指標に基づき土壌肥沃度を評価している。農家の肥沃度認識は pH、全窒素などの土壌理化学性と高い整合性をもつ。この肥沃度認識は、作物選択や有機資材施用の意思決定に反映される傾向にある。本成果は、ガーナ北部の土に関する農家知識の妥当性を定量的に評価したものであり、農家知識を活用した現地適応型の圃場管理・普及指針の構築に資する。

キーワード：農家知識、ガーナ、土壌肥沃度、作物選択

背景・ねらい

サブサハラアフリカでは土壌肥沃度の空間的変動が大きく、化学肥料購入余力の低い小規模農家（以下、「農家」という。）にとって、限られた資源を効率的に活用するための作物選択や有機資材施用は重要である。従来の土壌診断は手法が複雑で高コストなため普及が進んでいない。一方、農家は経験に基づき土壌の色や土性、雑草種などを指標として肥沃度を評価し、作物選択などの圃場管理に反映させている。このため、農家による土壌肥沃度認識を理解することは、その土地に合った持続的土壌肥沃度管理の推進につながる。

本研究では、サブサハラアフリカの中でもサバンナ地帯に位置するガーナ北部の畑作を対象に、4地域60農村において、計300圃場の土壌試料採取と対応する農家への聞き取り調査を実施し、農家の土壌肥沃度認識と土壌理化学性との整合性を評価する。また、農家の土壌肥沃度認識が作物選択や有機資材施用に与える影響を明らかにする。

成果の内容・特徴

1. 農家は主要な土壌肥沃度指標として、土色、土性、雑草の種類を利用している（図1）。300圃場の土壌は、肥沃、普通、少し低肥沃、低肥沃に分類され、各分類ごとの圃場数は21、222、48、9圃場である。
2. 農家の土壌肥沃度認識において、肥沃度が高い土壌ほど、pH、電気伝導度(EC)、全炭素、全窒素、有効態リン酸、交換性陽イオン、交換性陽イオン容量(CEC)の値が高い（表1）。例えば、肥沃度が高いほど全窒素量の平均値は有意に高く、肥沃(1.08 g kg⁻¹) > 普通(0.65) > 少し低肥沃(0.50) > 低肥沃(0.39)の順に低下する。
3. 作物選択では、主食作物であるトウモロコシは肥沃度にかかわらず広く栽培される傾向がある一方、農家が「低肥沃」と認識する圃場では換金作物であるラッカセイ・ダイズ・ヤムは栽培されないなど、肥沃度認識に

応じた作物選択が行われている（図2）。

4. ガーナ北部において、有機資材利用の割合は全体の7%と低いものの、有機資材を施用する場合は、肥沃もしくは低肥沃と認識する圃場に施用される傾向がある。肥沃度区別にみると、肥沃圃場の29%、低肥沃圃場の56%に施用されている。一方、普通圃場では4%、少し低肥沃圃場では2%にとどまり、施用割合は低い（表2）。一般に、農家が肥沃度の低い圃場の改善を目的として有機資材を施用することは広く報告されている。しかし、この地域では利用可能な有機資材量が制限されているため、肥沃度の高い圃場に資源を集約し施肥が必要となる作物を栽培するなど、資材制約下で利益の最大化を図る戦略も併せて取られていることが示唆される。

成果の活用面・留意点

1. 普及関係者が農業技術普及において、農家の土壌肥沃度認識を活用することで、現地条件に適した作物配置や施肥指針の提案が可能となり、肥料効率の向上や収量改善につながる。
2. 特に、農家の土壌肥沃度評価をもとに換金作物の栽培適地や有機資材施用適地を提案することで、収益性や技術効果の向上が期待される。
3. 本研究成果の他地域への適用には、環境や資材利用状況の違いを考慮する必要がある。
4. 有機資材に関する技術普及の際には、現状の低い採用率を踏まえ、新たな施用法の開発や資材確保の仕組みづくりが求められる。

その他

予算区分：交付金プロ [B6 アフリカ畑作システム]

研究実施期間：2021～2025年度

研究担当者：八下田佳恵（社会科学領域）、中村智史

（生産環境・畜産領域）、小出淳司（社会科学領域）、村

中聡（情報広報室）

発表論文等：Yageta et al. (2025) Geoderma Regional 41:

e00972. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2025.e00972>

表1 農家の肥沃土認識別の土壌理化学

	n (total 300)	pH(H ₂ O)	pH(KCl)	EC mS/m	全窒素 g/kg	全炭素 g/kg	有効態P mgP/kg	交換性Ca cmolc/kg	交換性K cmolc/kg	交換性Mg cmolc/kg	交換性Na cmolc/kg
肥沃	21	6.90 a	6.12 a	11.84 a	1.08 a	14.30 a	115.38 a	9.21 a	0.53 a	1.79 a	0.03
普通	222	6.52 b	5.62 b	5.66 b	0.65 b	8.42 b	15.69 b	4.22 b	0.22 b	1.10 b	0.02
少し低肥沃	48	6.43 b	5.50 b	4.26 b	0.50 c	6.35 c	9.78 b	2.81 b	0.17 b	0.84 c	0.02
低肥沃	9	6.04 c	5.33 b	3.96 b	0.39 c	4.12 c	16.65 b	1.86 b	0.19 b	0.49 c	0.01
平均		6.47	5.64	6.43	0.66	8.30	39.38	4.53	0.28	1.06	0.02

	n (total 300)	CEC cmolc/kg	砂 %	シルト %	粘土 %
肥沃	21	8.40 a	77.6	11.8	10.6 a
普通	222	6.00 b	77.8	13.2	9.0 ab
少し低肥沃	48	4.30 c	80.1	12.7	7.1 c
低肥沃	9	2.50 c	82.4	11.7	5.9 bc
平均		5.30	79.5	12.4	8.2

アルファベットはボンフェローニ法による多重比較の結果(p<0.05)。



図1 色や土性の異なる土壌

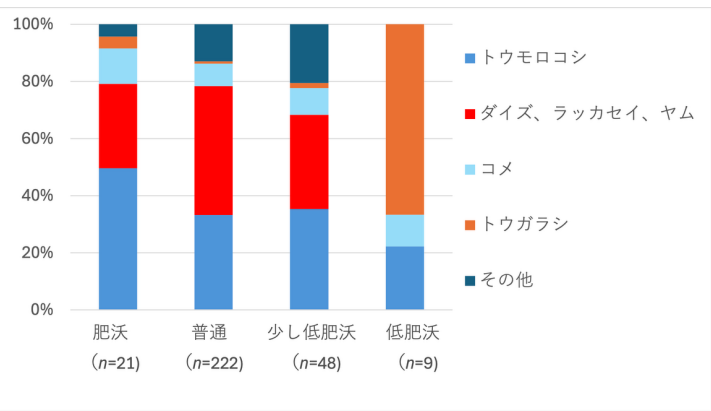


図2 農家の肥沃度認識別の栽培作物

表2 農家の肥沃度認識別の有機資

	農家による土壌肥沃度認識				全圃場あたりの施用率
	肥沃 (n=21)	普通 (n=222)	少し低肥沃 (n=48)	低肥沃 (n=9)	
各土壌肥沃度認識ごとの有機資材施用率	29%	4%	2%	56%	7%
有機資材別の施用率※					
家畜糞	19%	2%	0%	44%	4%
作物残渣	0%	1%	2%	33%	2%
コンポスト	10%	1%	0%	11%	2%

有機資材別は、圃場の重複があるため、低肥沃の総和が全体と合致しない。

図表は Yageta et al. (2025) より CC BY 4.0 に従い転載/改変して作成
© Author(s) 2025 <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ja>

土壌保全技術の採用と農家間普及における社会構造的要因

西アフリカでは、農業普及員の不足などにより土壌保全技術の普及が停滞している。ブルキナファソ農家の分析結果は、土壌保全技術（ザイ・石堤・有機質肥料）の普及が性別による行動差、地縁、宗教的結束等の社会構造に大きく左右されることを示唆する。信頼関係や社会的つながりの活用に加え、労働集約的技術における性別差への配慮を組み込むことが、より包摂的な普及戦略として有効である。これらの知見は、普及員不足の地域における持続的な技術普及モデルの構築に貢献する。

キーワード：西アフリカ、ブルキナファソ、土壌保全技術、農家間普及

背景・ねらい

西アフリカのブルキナファソでは、降雨の不安定化や過耕作が進み、土壌劣化が深刻な問題となっている。これらの課題に対処するため、農家はザイ（掘り穴による雨水の収集・貯留技術）（図1A）、石堤（列状に配置した石材で土壌流出を抑える技術）（図1B）、有機肥料（図1C）といった伝統的な土壌保全技術を実践している。しかし、その普及は限定的である。

普及が広がらない要因の一つは、公的普及制度における農業普及員の慢性的不足である。その補完策として、農家が隣人に技術を伝える「農家間普及」が注目されているが、その成立条件や技術ごとの伝播経路に関する実証的知見が不足している。

以上を踏まえ、本研究では農家間普及の実態を包括的に把握し、「誰が、誰に、どのような関係性で、どの技術を伝えるのか」という社会的構造と、技術固有の要件が普及に及ぼす影響を定量的に明らかにすることを目的とする。

成果の内容・特徴

1. ザイの採用特性として、耕地面積や村の地元出身者比率が採用を促進する一方、村落内で同じ宗教を信仰する人々の割合を示す宗教的同質性は抑制要因となる（表1A）。また、農家間の普及においては、地元出身の世帯主や最終学歴の高い農家が隣人に伝える傾向が確認される（表1D）。これは資源条件や地域的つながりが普及の成否を左右することを示すものである。
2. 石堤の採用特性として、男性世帯主が採用しやすく（表1B）、宗教的同質性の高い村で農家間普及が活発である（表1E）。労働負担の大きい技術であるため、労働力の確保や、共同作業を容易にする社会的結束が普及を支えていることが示唆される。
3. 有機質肥料の採用特性として、村の地元出身者比率が採用を促すが（表1C）、普及行動には有意な偏りがみられない（表1F）。技術の性質上、特定の

社会的条件に依存せず情報が流れている可能性を示唆している。

4. 行動経済学のリスク選好ゲームで測定された世帯主のリスク回避度は、いずれの技術の採用・普及とも有意な関連を示さず、この結果は、技術採用が個人のリスク選好よりも、社会的制約や役割分担に強く影響されていることを示唆する（表1）。
5. 本研究の成果は、人的・財政的制約の大きい地域において、公的普及制度を補完する現実的な技術普及設計の科学的根拠を提供する。

成果の活用面・留意点

1. 本研究で明らかになった社会的・地域的条件を踏まえることで、地域の信頼ネットワークに基づく普及戦略を設計できる。具体的には、ザイでは高学歴層や地元出身者、石堤では宗教的結束の強いコミュニティが、技術普及のハブとして有効である。
2. 労働集約的な技術における男性世帯主の採用傾向を考慮し、女性農家が普及過程から取り残されないよう、技術特性に応じた支援パッケージ（ザイ・石堤・有機質肥料）を地域特性と組み合わせることで、普及員不足地域においても持続的な普及モデルの構築が可能である。本成果は、ブルキナファソ以外の開発途上地域にも応用可能である。
3. 留意点として、降水量や土壌条件などの環境要因の影響は十分に検証されていない。今後は、環境要因を組み合わせることで、社会条件と自然条件を統合した普及設計への展開が期待される。

その他

予算区分：交付金プロ [B6 アフリカ畑作（第5期）]
研究実施期間：2022～2024年度
研究担当者：李根雨（社会科学領域）、伊ヶ崎健大（生産環境・畜産領域）、村岡里恵（社会科学領域）
発表論文等：Lee et al. (2026) Land Degradation & Development, 37(2), 704-19. <https://doi.org/10.1002/ldr.70136>



図1 ザイ・石堤・有機質肥料の施工例

本図は、ブルキナファソで広く用いられている3つの土壌保全技術（ザイ、石堤、有機質肥料）の施工例を示している。ザイは掘り穴によって雨水を集め・貯留する技術、石堤は石材を列状に配置して土壌流出を抑制する技術、有機質肥料は堆肥を施用して土壌肥沃度を高める技術であり、いずれも乾燥や土地劣化への対策として活用されている。

表1 土壌保全技術の採用および農家間普及の決定要因

	採用有無			農家間普及有無		
	A. ザイ	B. 石堤	C. 有機	D. ザイ	E. 石堤	F. 有機
世帯属性						
世帯主が男性	0.02 (0.04)	0.25*** (0.08)	0.04 (0.06)	-0.04 (0.06)	-0.06 (0.04)	-0.02 (0.03)
地元出身の世帯主	-0.06 (0.05)	-0.09 (0.05)	-0.06 (0.04)	0.12* (0.06)	0.04 (0.06)	0.03 (0.03)
世帯主の最終学歴	-0.01 (0.02)	0.01 (0.02)	-0.002 (0.02)	0.04** (0.02)	0.02 (0.01)	0.01 (0.01)
世帯主のリスク回避度	0.002 (0.01)	0.01 (0.01)	-0.001 (0.01)	-0.01 (0.01)	-0.001 (0.004)	-0.0004 (0.003)
耕地面積（対数値）	0.08** (0.04)	0.06 (0.04)	0.01 (0.03)	0.01 (0.05)	-0.01 (0.05)	-0.01 (0.02)
村落属性						
地元出身世帯の比率	0.77** (0.26)	-0.29 (0.38)	0.77** (0.32)	-0.14 (0.42)	0.16 (0.35)	0.10 (0.15)
宗教的同質性	-0.72*** (0.26)	-0.34 (0.27)	-0.18 (0.20)	0.17 (0.28)	1.40*** (0.46)	0.01 (0.14)
地区固定効果	YES	YES	YES	YES	YES	YES
Pseudo R ²	0.02	0.04	0.08	0.18	0.002	0.08
サンプル・サイズ	650	650	650	227	195	466

「有機」は有機質肥料の略である。列(1)～(3)は全サンプル 650 戸を対象に、各技術の採用有無を被説明変数として推定した結果を示している。一方、列(4)～(6)は当該技術をすでに採用している世帯のみを対象とし、農家間における技術普及の有無を被説明変数としている。本表の数値はロジットモデルの限界効果（採用または普及確率の変化量）を表し、各列は独立した推計であるため列間の統計的比較は行わない。統計的有意性は、* $p < 0.10$ 、** $p < 0.05$ 、*** $p < 0.01$ で示す。

図および表は Lee et al. (2025) より CC BY 4.0 に従い転載/改変して作成
 © The Author(s) 2025 <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ja>

リン欠乏水田への家畜ふん堆肥の選択的施用が水稻収量を向上させる

サブサハラアフリカの小規模農家にとって、自給可能な家畜ふん堆肥(FYM)を有効に活用する稲作技術の確立が重要である。FYMはリン欠乏水田で特に高い増収効果を示し、窒素肥料と併用することで最大 3.1 t ha^{-1} の水稻増収が得られる。本成果は、土壌のリン欠乏程度に応じた FYM 活用により、化学肥料への依存を抑えつつ、効率的なコメ増産につながることを示す。

キーワード：リン欠乏、家畜ふん堆肥、イネ、アフリカ

背景・ねらい

貧栄養土壌が広がるサブサハラアフリカでは、コメの需要が急増する一方で、単収は、 2.3 t ha^{-1} と依然として低い(FAOSTAT, 2025)。化学肥料による増収は可能だが、肥料価格の高騰により小規模農家の経済的負担は大きく、農家が自給できる家畜ふん堆肥(FYM)を効率的に活用して、収量を改善することが重要となる。

アフリカの強風化土壌では、リン欠乏が主要な生産阻害要因の一つとなる。土壌中のリンが鉄やアルミニウムに強く吸着されるため、リンが存在していても、作物は吸収できない。近年、FYMなどの有機物施用は、吸着リンを可溶化し、作物のリン吸収を促すことが示されており、リン欠乏条件下での増収効果が期待される。しかし、土壌のリン欠乏と FYM の増収効果との関係に着目し、農家圃場で体系的に検証した研究例は乏しく、FYM を効率的に利用するための科学的検証が必要となる。

そこで本研究では、リン欠乏水田が広がるマダガスカル中央高地において、可給態リン量が異なる4か所の農家圃場を対象に、FYMの施用効果を検証する。さらに、サブサハラアフリカの農家圃場で水稻への FYM の施用効果を検証した研究例を土壌のリン欠乏程度の影響から再解析することで、リン欠乏水田での FYM の有効性を広域的に検証する。

成果の内容・特徴

- マダガスカルの農家圃場において、慣行の施用水準に基づき、FYMを毎年、 10 t ha^{-1} （生鮮重）施用することで、水稻の増収効果が大きくなる。その程度は、非リン欠乏水田に比べて、リン欠乏水田で有意に大きい。FYM連用による増収効果は非リン欠乏水田では1年目 0.1 t ha^{-1} 、4年目 0.6 t ha^{-1} にとどまるのに対し、リン欠乏水田では1年目 0.5 t ha^{-1} 、4年目には 2.0 t ha^{-1} に達する（図1破線）。
- FYMの連用効果は、窒素肥料（尿素）と組み合わせることでより大きくなる。リン欠乏水田で FYM と窒素肥料を4年間連用すると、その増収効果は 3.1 t ha^{-1} となり、非リン欠乏水田に FYM のみを連用したときに得られる増収効果 0.5 t ha^{-1} に比べて有意に大きい

（図1・実線）。

- FYMの施用による4年間の増収効果の平均値は、リン欠乏水田が 1.5 t ha^{-1} で、非リン欠乏水田の 0.4 t ha^{-1} に比べて有意に大きい（図2）。リン欠乏水田では、化学肥料（窒素とリン）施用による平均増収量は 2.0 t ha^{-1} であり、FYMの増収効果はその77%に相当し、化学肥料へ依存せず、リン欠乏条件下での収量改善が可能であることを示す。
- 文献調査をもとに、サブサハラアフリカの6か国（マダガスカル、ケニア、ナイジェリア、コートジボワール、ガーナ、タンザニア）、計13地点で実施された圃場試験を分析した場合も同様の傾向がみられる。すなわち、FYMの施用による水稻の平均増収効果は、リン欠乏水田が 2.3 t ha^{-1} で、非リン欠乏水田の 0.7 t ha^{-1} に比べて有意に大きい（図3）。

成果の活用面・留意点

- 本研究は、土壌の可給態リン量に応じて FYM の増収効果が異なることを示し、リン欠乏水田への FYM の選択的施用の有効性を裏付ける。これにより、サブサハラアフリカに広く分布するリン欠乏水田において、化学肥料への依存を低減しつつ、自給可能な FYM を活用したコメ増産が期待できる。
- 効果をより安定して発揮させるためには FYM の施用量や原料組成、また腐熟の程度が増収効果に及ぼす影響について検証が必要である。
- 長期間にわたる連用効果や、FYM の施用を停止した後の残効効果については、継続的な検証が必要である。

その他

予算区分：交付金プロ [B5 アフリカ稲作システム]、外部資金 [地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム(SATREPS)]
研究実施期間：2017～2024年度
研究担当者：浅井英利、辻本泰弘、西垣智弘（生産環境・畜産領域）、Andriamananjara, A., Rakotonindrina, H.（アタナナリボ大学）
発表論文等：Asai et al. (2025) *Field Crop Research* 23: 590–601. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2025.109932>

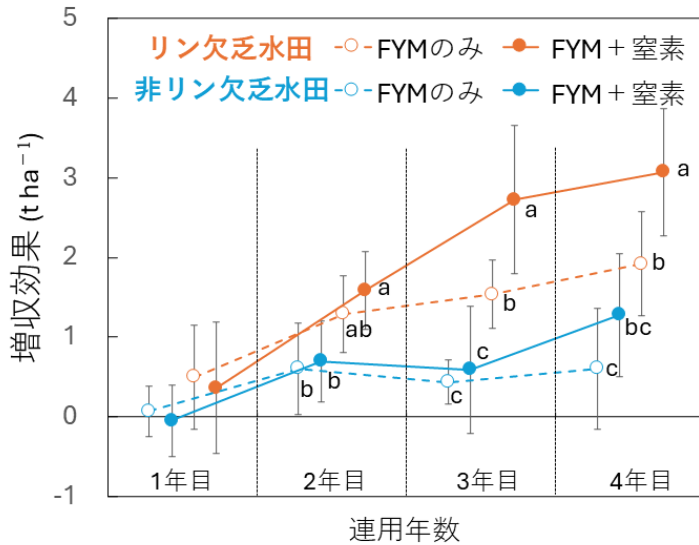


図1 家畜ふん堆肥(FYM)の連用効果

リン欠乏水田（2地点）と非リン欠乏水田（2地点）の平均値を示す。Dobermann (2000) の基準に従って、可給態リン含量（Bray-II法）が 12 mg P kg^{-1} 以下をリン欠乏水田に分類（リン欠乏水田： $6\sim 8 \text{ mg P kg}^{-1}$ 、非リン欠乏水田： $15\sim 23 \text{ mg P kg}^{-1}$ ）。増収効果は無施肥区との収量差として算出。FYMは牛糞、植物残渣、稲わらを原料とし、全ての地点で同一のものを施用。窒素施肥処理では、1ha当たり尿素として窒素80kgを施用した。異なるアルファベットは、Tukey法により5%水準で有意差があることを示す。

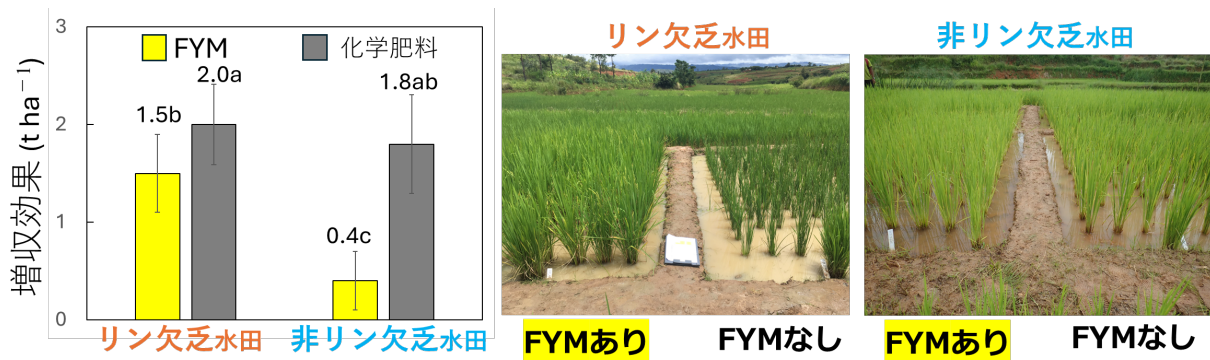


図2 家畜ふん堆肥(FYM)と化学肥料によるイネの増収効果

図（左）はリン欠乏水田（2地点）と非リン欠乏水田（2地点）での4作期平均の増収効果を示す。増収効果は無施肥区との収量差として算出。化学肥料は、各作期に1ha当たり窒素80kg、リン酸50kgを施肥。誤差バーは標準偏差を示す。異なるアルファベットは、Tukey法により5%水準で有意差があることを示す。写真（右）は、化学肥料を施用しない条件下での移植後70日の生育状況（FYM施用の有無の比較）を示す。

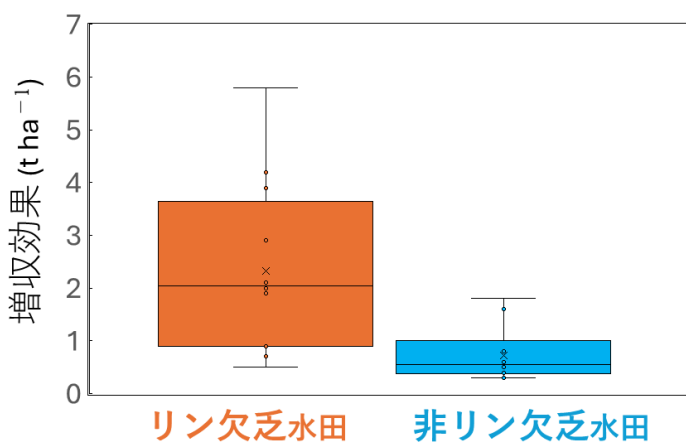


図3 サブサハラアフリカにおける家畜ふん堆肥(FYM)の増収効果

サブサハラアフリカで実施された圃場試験13例（リン欠乏水田8例、非リン欠乏水田5例）の増収効果を示す。全試験で化学肥料は施用されておらず、FYM施用区と無施用区の収量差から増収効果を算出。可給態リンの土壌分析値に基づき、Dobermann (2000) の基準に従って、リン欠乏水田、非リン欠乏水田に分類。家畜ふん堆肥の材料、成分、施用量は試験ごとに異なる。t検定により、リン欠乏水田と非リン欠乏水田の間に1%水準で有意差を確認。

図は Asai et al. (2025) © Elsevier B.V. 2025 より転載・改変して作成（転載/改変許諾済み）

クエン酸輸送体 FRDL1 の欠損がもたらすイネの鉄過剰ストレス耐性

イネ地上部への鉄蓄積の抑制により、アフリカや東南アジアで発生する鉄過剰ストレスへの耐性が上昇することが知られているが、関連するメカニズムは明らかになっていない。水稻根の導管で主に発現するクエン酸輸送体 FRDL1 の欠損により、鉄過剰条件において根から地上部への鉄の輸送が制限され、葉身における鉄の蓄積と褐変症状の形成が抑えられる。根における FRDL1 の働きを制御することで、鉄過剰ストレス耐性が向上したイネの育種素材開発が期待される。

キーワード：イネ、鉄過剰ストレス、クエン酸、褐変症状

背景・ねらい

鉄は植物の必須元素であるがその過剰な供給は植物の生育に悪影響を及ぼす。アフリカや東南アジアの水田では、鉄過剰ストレスが幅広く発生しており、地域の水稲収量の阻害要因となっている。これまでに、鉄過剰ストレス圃場において耐性を発揮する系統の中に、地上部への鉄蓄積を抑制するものが知られている。しかし、鉄過剰ストレス条件で地上部への鉄蓄積の抑制に関わる遺伝子や分子メカニズムは明らかになっていない。

本研究では、根で吸収された鉄が主にクエン酸によりキレート*されて地上部に移行することに着目し、クエン酸輸送体の機能が欠損した系統の評価を行う。また、クエン酸輸送体の欠損が鉄過剰ストレス耐性を変化させる生理的メカニズムを明らかにするとともに、鉄過剰ストレス耐性の向上を目指した育種への応用可能性を検討する。

*キレート：金属イオンと結合することで、金属イオンを安定化させたり輸送しやすい形態に変化させたりすること。

成果の内容・特徴

1. 根の導管で主に発現するクエン酸輸送体 FRDL1 が欠損した系統（以下、*frdl1* 変異体）では、過剰な二価鉄（300 mg Fe L⁻¹に相当する FeSO₄）を与えた条件で、葉の褐変症状の形成の程度の指標である褐変症状スコアが野生型と比べて有意に低下する。一方、根の表皮細胞で発現し、根圏へのクエン酸の放出に関わる輸送体 FRDL4 の変異体では野生型と同程度の葉の褐変症状を形成する（図 1）。
2. *frdl1* 変異体では、過剰な二価鉄（300 mg Fe L⁻¹に相当する FeSO₄）を与えた場合に、野生型と比べて根の鉄濃度には変化がないのに対し、葉の鉄濃度が

43%減少する。一方、同量の鉄をキレート鉄（三価鉄-EDTA）として与えた場合にはこのような系統間差はみられない（図 2）。

3. 鉄過剰ストレス耐性の低い感受性品種 Ciherang と、日本晴背景の *frdl1* 変異体の交雑後代（F₂ 世代）を過剰な二価鉄（300 mg Fe L⁻¹に相当する FeSO₄）を鉄源とする水耕溶液で 8 日間栽培し、葉の褐変症状と葉身の鉄濃度を比較すると、機能型の FRDL1 をもつ個体群と比べて、変異型の FRDL1 をもつ個体群の葉身の鉄濃度が有意に低下し、褐変症状の形成が抑えられる（図 3）。
4. これらのことから、FRDL1 の欠損は、根導管のクエン酸存在量を低下させ、根から地上部への鉄輸送を制限することで、鉄過剰ストレス耐性を向上させるメカニズムが示唆される（図 4）。

成果の活用面・留意点

1. 根における FRDL1 の機能を制御することで、イネの鉄過剰ストレス耐性を改善できる可能性がある。
2. FRDL1 は穂への鉄の転流にも関わるため、同機能の制御が籾の稔実性に負の影響を及ぼす可能性がある。そのため、根特異的に *FRDL1* の発現の調節に関わる因子を特定し、それを活用した育種を進めていくことが重要である。

その他

予算区分：交付金プロ [B5 アフリカ稲作システム]
研究実施期間：2022～2025 年度
研究担当者：植田佳明（生産環境・畜産領域）
発表論文等：Ueda (2025) *Plant Biol.* <https://doi.org/10.1111/plb.70107>

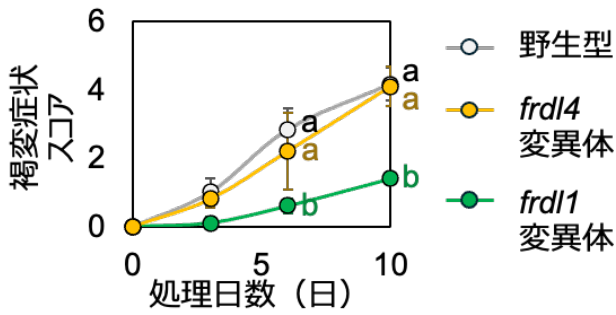


図1 異なる遺伝子型における、鉄過剰ストレスに伴う葉の褐変症状の形成

過剰な二価鉄 (FeSO_4) を鉄源とする鉄過剰条件の水耕溶液を処理し、褐変症状の形成の程度を数値化した。高い値ほど褐変症状の程度が高いことを示す。異なるアルファベットは $p < 0.05$ 水準で系統間差が有意であることを示す。

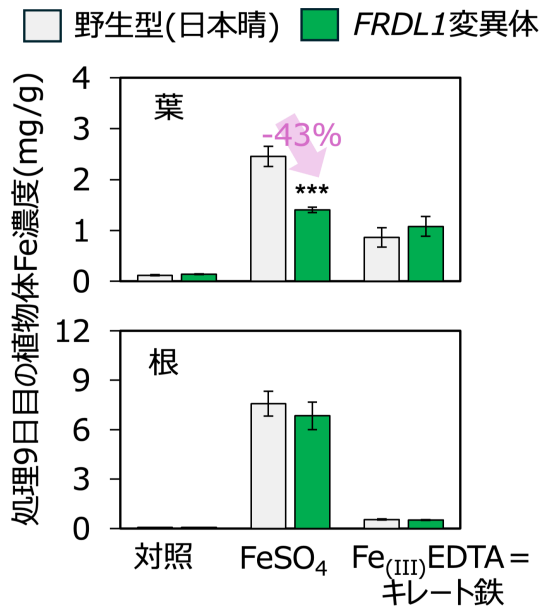


図2 異なる鉄条件における組織中の鉄濃度

対照区、対照区に加えて過剰な鉄を硫酸鉄 (FeSO_4) の形で含む FeSO_4 区、また、対照区に加えて過剰な鉄を三価鉄-EDTA の形で含む Fe -EDTA 区での処理の後、葉身（上）と根（下）における鉄濃度を測定した。アスタリスク(***)は、 $p < 0.001$ 水準で FeSO_4 区における鉄濃度が野生型と *frdl1* 変異体で有意に異なることを示す。

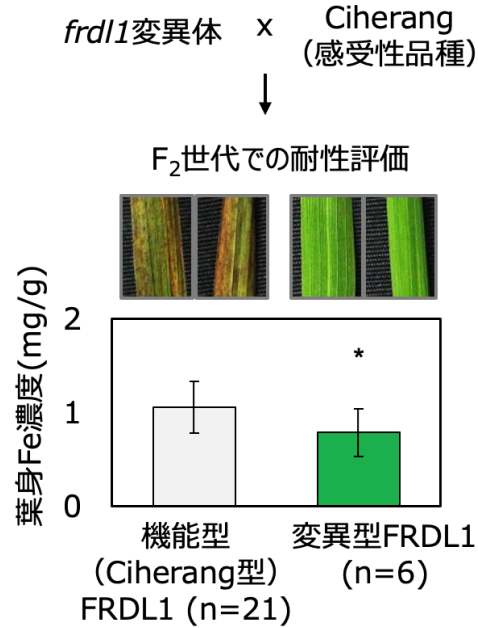


図3 FRDL1の変異が感受性品種 Ciherang との交配集団において及ぼす影響

frdl1 変異体と Ciherang の交配に由来する F₂ 集団の葉の褐変症状と葉身の鉄濃度を評価した。写真は、各遺伝子型の代表的な個体の葉の褐変症状の様子を示す。アスタリスク(*)は、 $p < 0.05$ 水準で鉄濃度が、機能型の FRDL1 をもつグループと変異型 FRDL1 をもつグループの間で有意に異なることを示す。

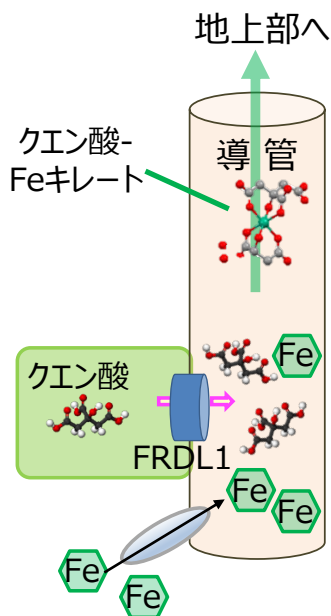


図4 FRDL1 の欠損が鉄過剰ストレス耐性に及ぼす影響の想定メカニズム

FRDL1によりクエン酸が細胞内から根の導管に放出される。導管液には植物が吸収した鉄が含まれており、それをクエン酸がキレートすることで効率的に地上部へ送られる。FRDL1の欠損により、導管のクエン酸濃度が低下し、キレートされる鉄の割合が低下することにより、鉄の地上部への輸送が減少する。キレート鉄を供給した場合には、導管中のクエン酸がなくても地上部へ鉄が輸送されるため、*frdl1* 変異体の効果は見られない。

図は Ueda (2025) © The Author 2025 より CC BY 4.0 に基づき転載/改変して作成 © Author(s) 2025 <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ja>

マダガスカル中央高地の水田土壌の有機炭素含量は土壌化学性によって規定される

マダガスカル中央高地における熱帯水田土壌を対象とした構造方程式モデルによる初の大規模比較研究の結果は、反応性の高いアルミニウム（活性 Al）と鉄（活性 Fe）の総量が土壌有機炭素(SOC)含量を強く規定し、活性 Al 優占土壌では活性 Al のみが、活性 Fe 優占土壌では活性 Al と活性 Fe の両方が SOC 安定化に寄与することを示す。さらに、土壌 pH が高くなるほど SOC が減少する。これらの成果は、熱帯・亜熱帯地域に分布する水田土壌の炭素蓄積能の評価や、pH 矯正や有機物投入による土壌改良指針の策定に貢献する。

キーワード：炭素隔離、気候変動、水田、サブサハラアフリカ

背景・ねらい

土壌は大気中の二酸化炭素を吸収する陸域最大の炭素貯蔵庫である。そのため、土壌に蓄積した有機炭素(SOC)が長く安定して存在するメカニズムを理解することは、地球温暖化対策に重要である。これまで、SOC 貯留には土壌の細粒質画分の総量が重要な要因であると考えられてきたが、熱帯の畑地土壌では、酸性シュウ酸塩溶液で抽出される反応性の高いアルミニウム（活性 Al）および鉄（活性 Fe）が多いほど SOC が安定的に蓄積することが明らかとなってきた。一方、水田土壌は、季節的な湛水と落水によって酸化還元が繰り返されるため Fe や Al などの無機元素の挙動が複雑であることから、畑地土壌に比べて SOC の安定化機構の理解が遅れている。また、熱帯・亜熱帯地域、特にサブサハラアフリカでは、SOC の安定化機構に関する実測データが乏しく、土壌母材の異なる水田を横断的に比較した研究は極めて少ない。

そこで本研究では、マダガスカル中央高地の 6 地域・306 水田圃場から採取した土壌を対象とし、SOC の安定性を規定する要因を構造方程式モデルによって解析する。火山の影響を強く受けている火山性土壌から、活性 Al と活性 Fe の含量が低い非火山性土壌まで土壌母材が異なる土壌が横断的に含まれており、サブサハラアフリカの熱帯水田土壌における初の大規模比較研究である。

成果の内容・特徴

1. 対象とした水田土壌の SOC 含量は、0.3～13.4%と幅広く、土壌の細粒質画分の総量である粘土+シルト含量($r = 0.61$)よりも、反応性の高い活性 Al と活性 Fe の総量($r = 0.90$)と高い正の相関を示す（図 1）。
2. 活性 Fe より活性 Al が多い活性 Al 優占土壌（主に火山性土壌）では、活性 Al のみが SOC の安定化に寄与する（図 2 上段）。一方で、活性 Al よりも活性 Fe が多い活性 Fe 優占土壌（主に非火山性土壌）では、活性 Al と活性 Fe の両方が SOC の安定化に寄

与する（図 2 下段）。すなわち、活性 Al と活性 Fe の相対的バランスが熱帯水田土壌における SOC の安定化の決定因子となっていることを初めて実証した。

3. 活性 Al 優占土壌と活性 Fe 優占土壌のいずれにおいても、SOC 含量は土壌 pH と負の相関を持つ（図 2）。すなわち、土壌 pH が上昇すると水田の SOC 含量が低下する。

成果の活用面・留意点

1. マダガスカル中央高地における水田土壌の SOC の安定化には、火山の影響の有無や、土壌 pH、活性 Al と活性 Fe の総量および存在比といった地球化学的要因が重要であることを明確に示し、熱帯・亜熱帯地域の水田土壌がもつ炭素隔離ポテンシャルの予測精度向上に活用できる。
2. 土壌改良に伴う人為的な pH 上昇は SOC 含量の低下を引き起こす可能性があることから、熱帯の酸性土壌において pH 矯正と SOC 貯留を両立するための有機物投入などを組み込んだ肥培管理設計に活用できる。
3. 本研究の成果は、マダガスカル中央高地と同様の母材・気候帯・水管理体系をもつ熱帯・亜熱帯地域の水田土壌に適用可能である。
4. 一方で、湛水期間の長い 3 期作水田や、氾濫原のような堆積物によって土壌の特性が変わりやすい水田などでは、追加データによる検証が不可欠である。

その他

予算区分：外部資金 [地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム(SATREPS)]

研究実施期間：2017～2022 年度

研究担当者：西垣智弘、辻本泰弘、岡本卓哲、アウンゾーウ（生産環境・畜産領域）、Lyu, H.（東京農工大学）、

Rakotonindrina, H., Andriamananjara, A., Razafimbelo, T.（アンタナナリボ大学）、Rakotoarisoa, N.M.（FOFIFA）

発表論文等：Nishigaki et al. (2025) *Environmental Research* 284: 122277. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2025.122277>

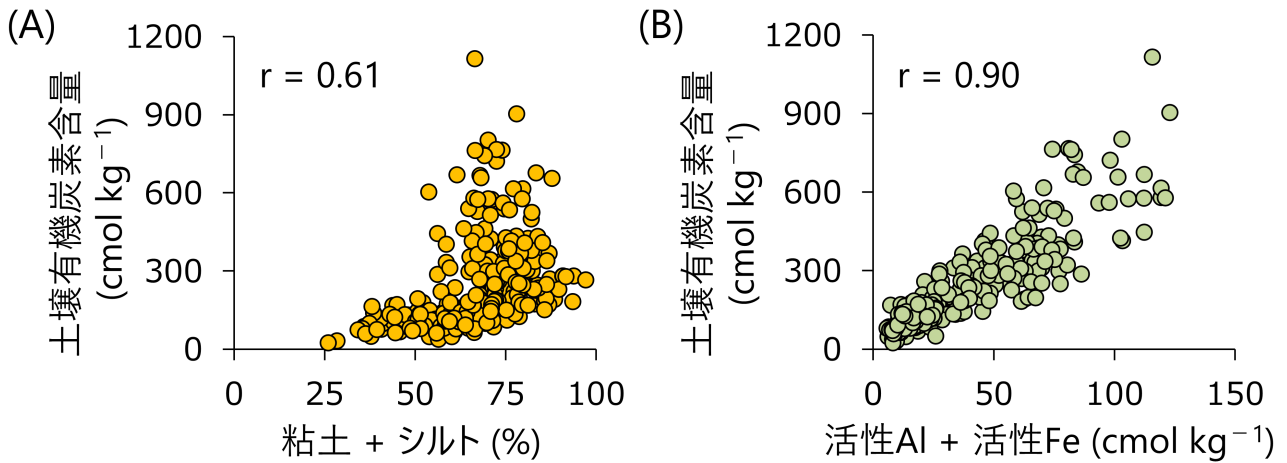


図1 土壤有機炭素含量と粘土+シルト含量 (A)および活性Al+活性Fe含量 (B)の関係

図中のrは相関係数を示す。土壤有機炭素含量 (cmol kg⁻¹)は、炭素の原子量 (12.01 g mol⁻¹) / 1,000 を乗ずることで、単位を%に換算できる。

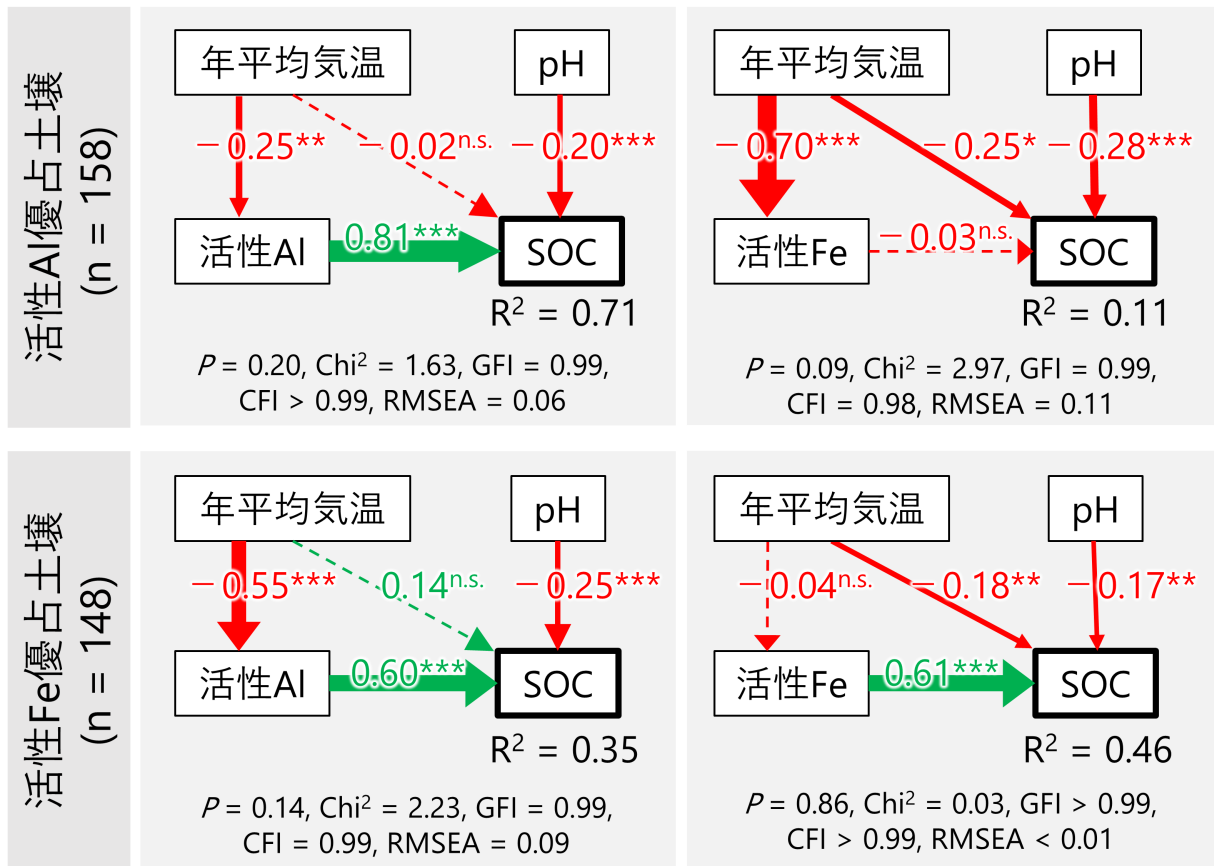


図2 活性Al優占土壤（上段）および活性Fe優占土壤（下段）における土壤有機炭素(SOC)含量の変動に関する構造方程式モデル

赤矢印は負の効果、緑矢印は正の効果を示す。矢印上の数値は標準化パス係数を示し、有意水準は以下で表す：*** $P < 0.001$ 、** $P < 0.01$ 、* $P < 0.05$ 、n.s.（非有意）。矢印が実線の場合は有意な効果、破線の場合は非有意な効果を示し、矢印の太さは相関の強さに比例する。 R^2 はSOCについてモデルが説明する分散の割合を示す。モデル適合指標には P 値、カイ二乗値 (Chi^2)、適合度指数(GFI)、比較適合指数(CFI)、近似誤差平方根(RMSEA)が含まれる。

図は Nishigaki et al. (2025) © Elsevier B.V. 2025 より転載/改変して作成（転載/改変許諾済み）

アフリカの灌漑地区に向けた水資源利用効率化技術ガイドライン

アフリカの灌漑地区では水利施設の機能劣化や不適切な水管理により計画面積どおりに水配分がなされない事例が散見される。本ガイドラインはタンザニア・ガーナの灌漑地区を対象にその要因を分析し、実証可能な対策を現地で検証したものをとりまとめる。水利施設では分水工と水路の漏水対策や流況改善、圃場においては浸透抑制・排水改善、水管理、節水栽培、循環灌漑を示す。これらの一部技術をローアモシ地区に適用することで、計画灌漑面積の152%まで灌漑面積を拡大できる可能性がある。

キーワード：灌漑、水管理、土水路、水路表面被覆、圃場漏水

背景・ねらい

サブサハラアフリカでは、コメの生産量が消費量を下回り、輸入依存が年々拡大している。コメ増産には灌漑地区での生産向上が重要であるが、水利施設の機能劣化や不適切な水管理により計画面積に灌漑できない事例がある。本ガイドラインは、水資源利用の効率化に資する新たな対策を提示し、選択肢を拡大することを目的として作成した。

成果の内容・特徴

1. アフリカでは特に末端水路では、土水路が多い。土水路は漏水が大きく、ローアモシ地区では営農開始後で 43 mm h^{-1} （図1）である。土水路漏水対策として複数の対策を提案する（図2:C,D）。これら対策により、漏水量が減少し、下流への追加的な用水補給が可能となる。
2. コンクリート水路は経年劣化とともに水路表面が粗くなり水の流れが悪化する。劣化した水路に、農家などが家屋に利用している樹脂塗料を塗布（図2:Bでは白色塗料）することにより水の流れが改善（36～46%（図3））され、実証試験と同一水路断面の場合、流量が56～84%増加（水深0.6mの場合）する。
3. 圃場内での漏水を抑制することで灌漑面積の増加が見込まれる。漏水量が多い圃場において、漏水抑制対策を実施した結果、日減水深（圃場水位の日変化）が5mm減少する（図4）ことができた。漏水抑制方法としてケンブリッジローラーをけん引（図2:E）する方法、表土をはぎ取り、直接耕盤を締め固める方法について記載している。
4. 分水工の更新、カットドレーンなどを用いて圃場の排水を改良する方法、灌漑水路の流水を用いた小水力発電によるポンプ灌漑、ソーラー発電を用いた循環（地中）灌漑（図2:F～I）、間断灌漑(AWD)による節水栽培、水管理改善として、適正な水配分を実施することで灌漑用水が有効利用できる（図5）としている。
5. 本ガイドライン記載の一部技術（圃場漏水対策、土水路漏水対策、表面被覆工、適正な水配分、分

水工更新）をローアモシ地区の2019年状況（実灌漑面積972ha）に適用すると、灌漑面積が2,273ha（計画灌漑面積1,500ha）に対して152%に拡大できる可能性がある（図6）。

6. 本ガイドラインは、英語、日本語、スワヒリ語で作成されており、国際農研のウェブサイトからダウンロードが可能である（<https://doi.org/10.64096/jircas2025.003>）。

成果の活用面・留意点

1. 本ガイドラインで示した技術の多くは初期投資が必要である。このため、技術を採用するにあたり農業関連融資制度の整備が望ましい。
2. 本ガイドラインに示した技術は、農家や土木技術者による実施が可能である。また他の灌漑地区でも適用可能である。しかし、土壌、気象などにより効果の値は変化することから、技術導入前に試験施工を行うことが望ましい。
3. 水利施設関連対策や圃場漏水対策は、対策を実施した水路などに隣接した圃場の農家や、漏水対策を実施した農家だけに直接裨益するものではなく、灌漑地区全体の水利用効率が改善されるものである。このため、対策導入にあたっては、灌漑地区（もしくは灌漑ブロック）農家の同意が必要である。

その他

予算区分：交付金プロ [B5 アフリカ稲作システム]、外部資金 [アフリカ水資源利用効率化]・[アフリカ稲作振興支援]
研究実施期間：2017～2024年度
研究担当者：廣内慎司、大西純也、山田雅一、進藤惣治、降旗英樹、石島光男、宇野健一（農村開発領域）、柳原誠司（理事）、廣瀬千佳子、内村求（元農村開発領域）、横山繁樹（元社会科学領域）
発表論文等：廣内慎司ら（2022）水土の知 90（6）
https://doi.org/10.11408/jjsidre.90.6_415
横山茂樹（2022）農業経営研究 59（4）
https://doi.org/10.11300/fmsj.59.4_69
Hirouchi, T. et al. For the promotion of rice cultivation in Africa: recommended technology guideline (2025)
<https://doi.org/10.64096/jircas2025.003>
廣内慎司ら（2025）水土の知 93（6）

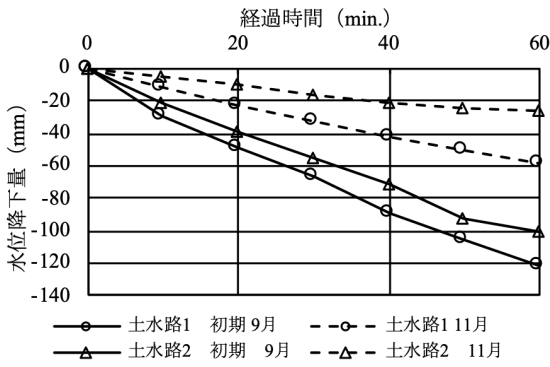


図1 土水路漏水調査結果

土水路漏水の現況例（ローアモシ地区）、漏水量は、比較的乾燥状態にある営農開始前では102~121 mm h⁻¹、ブロック全体が湿潤状態となる営農開始後で27~59 mm h⁻¹である。

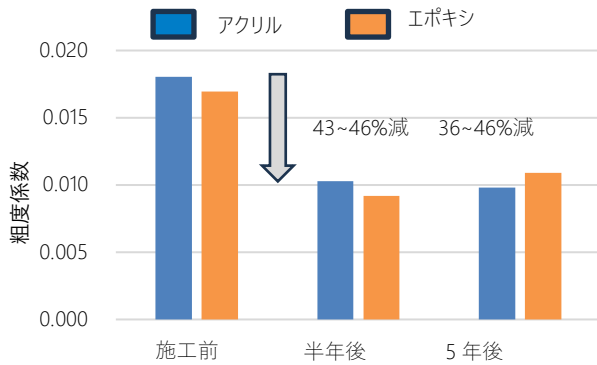


図3 表面被覆工の効果

コンクリート水路にエポキシ樹脂およびアクリル樹脂を塗布、塗布前後の粗度（流れやすさ）を計測、塗布後粗度が43~46%低下、5年後も効果が継続(36~46%)。

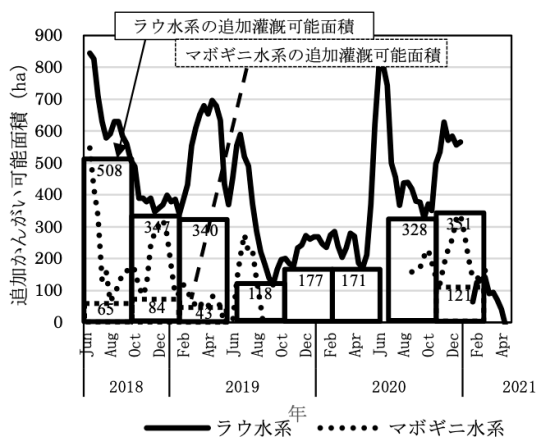


図5 追加灌漑可能面積

月別水系別の灌漑水量から必要灌漑水量（実灌漑面積、単位灌漑用水量(11.3 mm/d)から求める）を差し引きすることで求めた、追加的に灌漑が可能であった面積。



図2 ガイドライン記載の対策

水路表面被覆工（A：施工前、B：施工後）、土水路漏水対策（C：ビニールシート、D：ビニールパイプ）、E：圃場漏水対策、F：地下灌漑、G：浅層暗渠、H：小水力発電、I：分水工更新。

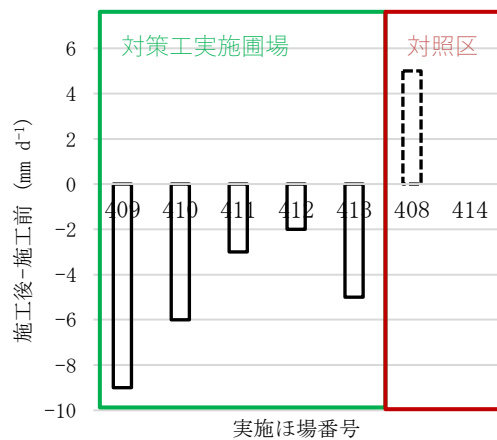


図4 破碎転圧工法を実施した圃場の日減水深

破碎転圧実施後減水深-実施前減水深、計測初日の減水深を除く、408・414は対照区。圃場漏水対策を実施することで日減水深が平均5 mm減少した。

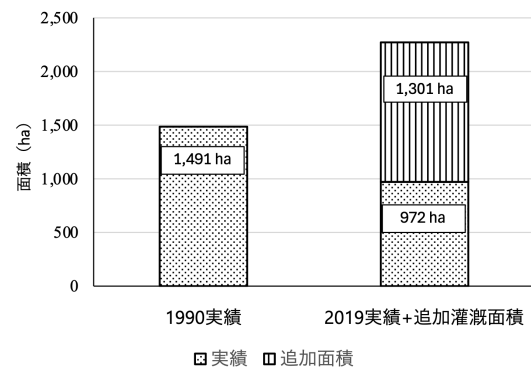


図6 対策工実施による追加灌漑可能面積

1990年の実績灌漑面積（1,491 ha：計画灌漑面積 1,500 haに近い灌漑実績があった年）、2019年の実灌漑面積(972 ha)、2019年の取水実績から対策工を実施することで追加的に灌漑ができたと推定される面積(1,301 ha)。

図1は廣内ら（2022）© 農業農村工学会より転載/改変して作成

図2は Hirouchi et al. (2025) より CC BY 4.0 に従い転載/改変して作成 © Author(s) 2025

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ja>

図3、図4、図5は廣内ら（2025）© 農業農村工学会より転載/改変して作成

小型で安価なマイコンとCO₂センサーを用いた簡易光合成測定装置

光合成は植物の生育の最も基本的なプロセスであり、個葉の光合成速度は植物科学の多くの場面で活用される生育指標である。一方で、一般に用いられる光合成測定装置は、高精度な測定システムを備えるため、大型で高価となり、導入のハードルが高い。開発した光合成測定装置は、マイクロコンピュータ（マイコン）で制御する二酸化炭素（CO₂）センサー系と、アクリル製の同化箱（葉を封入する箱）から構成される。小型かつ安価で自作可能な本測定装置は、CO₂吸収量に基づく光合成速度の測定において、市販標準機と同等の精度を示す。

キーワード：光合成速度、二酸化炭素、プログラミング、閉鎖型測定装置、マイコン

背景・ねらい

葉の光合成速度は植物科学分野の多くの場面で活用される生育評価指標である。同化箱法はその測定法の一つであり、約40年前に市販の携帯型測定装置が販売された。現在、それらの後継機は測定精度・速度が優れる等のメリットがあるため主流である。一方で、高価（数百万～1千万円超、社会情勢や為替変動の影響を受けさらに高騰）であることが光合成測定を幅広いユーザー（研究者、生産者、教育関係者等）による利用を阻む一番の懸念事項である。近年は、小型で安価な環境センサー類が多く普及しており、マイクロコンピュータ（マイコン）等のIoTデバイスに組み込んだ温室環境計測・制御システム等、農業分野での利用・普及も著しい。これらを光合成測定システムの構築に応用する。

安価なCO₂センサーを自作した同化箱に組み込んで小型マイコンで制御・記録する閉鎖型光合成測定システム（以下、デモ機）を試作する。試作したデモ機を国際農研 熱帯・島嶼研究拠点の温湿度制御室内および野外圃場にて世界的な市販標準機と比較し、測定性能を評価する。

成果の内容・特徴

1. 自作したデモ機は、マイコンにより各センサーを制御する測定系と、葉を封入する同化箱から構成される。同化箱はアクリルガラス、ゴムマット等で自作される。同化箱内にはCO₂センサー、ファン、熱電対が設置され（図1a）、これらを箱外部のマイコン（M5Stack）に接続し制御する（図1b）。
2. デモ機は、約3万円の材料費で安価に自作可能である。
3. サトウキビの葉を用いてデモ機の測定性能を標準機と比較したところ、温湿度制御室で人工光源を用いて光量を変動させた場合（図2a）、野外の自然光下で多品種を測定した場合（図2b）のいずれにおいても測定値間の有意な相関関係が認められる。

4. デモ機の光合成速度測定値を目的変数、標準機の測定値を説明変数とした単回帰式の回帰精度を表す二乗平均平方根誤差（RMSE）、相対二乗平均平方根誤差（RRMSE）は多品種を扱った屋外のデータで温湿度制御下に比べ高いものの、いずれの条件においても十分に値が低く、デモ機の測定精度が高いことを示す。

成果の活用面・留意点

1. 光合成測定が安価かつ容易になることで、予算に制限のある多くの研究者にとって光合成研究が身近なものとなり、関連する分野の研究が活発化される。
2. 本成果は標準機と同等の性能を保証するものではなく、デモ機と標準機は用途によって使い分けことが望ましい。
3. デモ機作成に用いた工具類、人件費、ノートパソコン費は材料費に含まれていない。
4. 測定系のプログラミングコードはソフトウェアの更新に伴い改定の必要が生じることがある。
5. 安価なCO₂センサーは、性能や耐久性にバラツキがある可能性も考えられるため、大気CO₂条件や既知のCO₂濃度条件下で適宜性能を確認する必要がある。
6. 遺伝資源や雑種集団などの多検体評価（高効率フェノタイピング）に応用するためには、データ記録システムの改良（例、有線から無線）、測定システムの改良（例、閉鎖型から開放型）が必要である。

その他

予算区分：交付金プロ [C4 熱帯作物資源]、令和4年度理事長インセンティブ経費 [個葉の水利用効率を安価に測定する手法に関する基礎研究]

研究実施期間：2022～2023年度

研究担当者：竇川拓生（熱帯・島嶼研究拠点）、旭朝生・光岡宗司・平良英三・川満芳信（琉球大学農学部）

発表論文等：Takaragawa et al. (2025) *Photosynthesis Research* 163: 52. <https://doi.org/10.1007/s11120-025-01170-5>

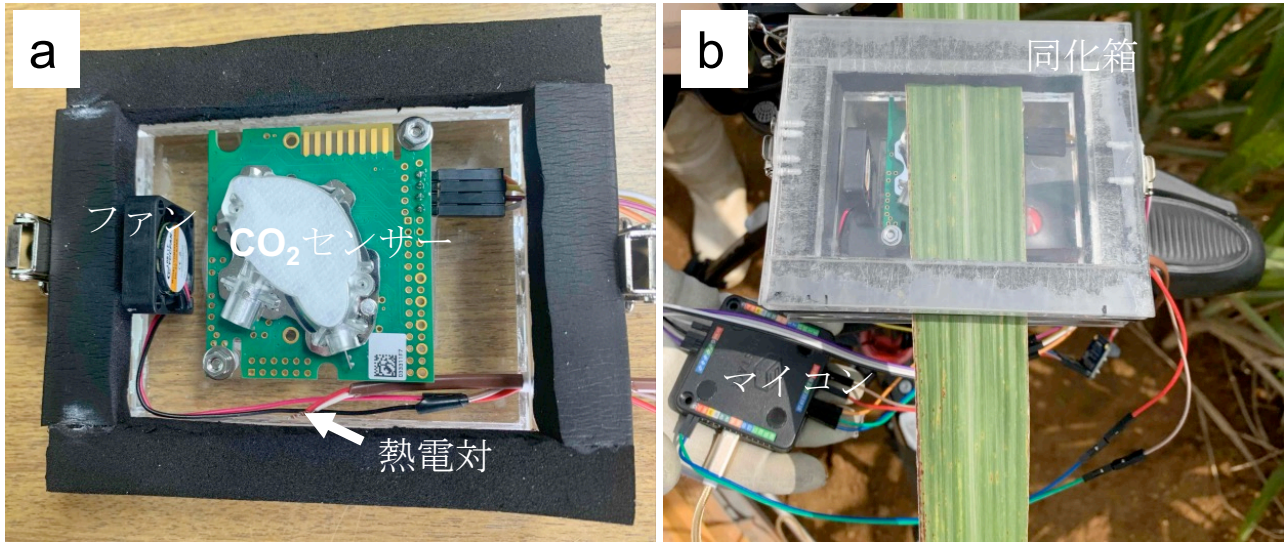


図1 デモ機の外観

デモ機の同化箱内部 (a) および測定時 (b) を示す。同化箱内部に CO₂ センサー、ファン、熱電対を設置し、これらをジャンパー線で外部のマイコンに接続して駆動する。



図2 試作したデモ機と標準機で測定したサトウキビ葉の光合成速度の比較

A_i (デモ機) および A (標準機) はそれぞれデモ機および標準機（光透過チャンバー）で測定した光合成速度を示す（a：温湿度制御室で単一システムを用いて測定光量を変化させて得たデータ（ $n=50$ ）、b：野外環境で多品種を用いて得たデータ（ $n=45$ ））。点線は A_i を目的変数、 A を説明変数とした単回帰式を示す。 r は相関係数、***は相関が0.1%水準で有意であることを示す。 $RMSE$ 、 $RRMSE$ はそれぞれ二乗平均平方根誤差、相対二乗平均平方根誤差を示し、値が低いと回帰式の精度が高い。赤色の実線は $y=x$ を表す。

図は Takaragawa et al. (2025) © The Author(s) 2025 より転載/改変して作成

サトウキビとエリアンサスの属間雑種はサトウキビより葉の水利用効率が優れる

サトウキビ近縁属エリアンサスは、耐乾性指標である葉身の水利用効率（光合成速度÷気孔コンダクタンス）が土壤水分条件にかかわらずサトウキビより高い。また、エリアンサスはサトウキビに比べ葉の裏面の気孔密度が低い。サトウキビとエリアンサスの属間雑種 F₁ 系統 J16-77 の葉身特性はエリアンサスに類似し、サトウキビより水利用効率が高く、葉の裏面の気孔密度も低い。一方、乾物分配についてはサトウキビに類似し、茎への分配が多い。今後、戻し交配により糖度を改良することで、高糖度と耐乾性を併せ持つ品種の育成が期待される。

キーワード：エリアンサス、サトウキビ、属間交配、耐乾性、水利用効率

背景・ねらい

サトウキビ (*Saccharum* spp.) の近縁属遺伝資源エリアンサス (*Erianthus arundinaceus*) は、属間交配によるサトウキビの耐乾性改良への貢献が期待されている。これまでに、エリアンサスの耐乾性関連形質として、優れた根系形成能（令和4年度国際農林水産業研究成果情報 A09「サトウキビとエリアンサスの属間雑種はサトウキビより窒素利用効率が優れる」）、葉身のガス交換特性、代謝物変動（令和6年度国際農林水産業研究成果情報 C05「エリアンサスの高い水利用効率と関連する葉身代謝物の蓄積」）が報告されてきた。葉のガス交換特性のうち、光合成速度を蒸散指標の気孔コンダクタンスで除した水利用効率は耐乾性指標の一つと考えられる。これまでに、サトウキビとエリアンサスの属間雑種の根系形成能については報告があるが、葉身特性（ガス交換特性、形態特性）については報告がなく、属間交配によるサトウキビの葉身特性の改良可能性は明らかでない。

国際農研 熱帯・島嶼研究拠点のガラス温室において、ポット条件で乾燥区、湿潤区を設け、サトウキビ品種 (NiF8)、エリアンサス系統 (JW630) およびこれらを親とする属間雑種 F₁ 系統 (J16-77 [NiF8 × JW630]) の葉身ガス交換特性および形態特性、乾物分配特性を調査し、属間交配によるこれら特性の改良可能性を検証する。

成果の内容・特徴

1. 強光条件では有意ではないものの、サトウキビに比べて、エリアンサスは土壤水分条件にかかわらず水利用効率が低い（図1）。
2. 水利用効率の系統間差は、ガス交換測定時の光強度が強光条件（光合成光量子束密度 2,000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ）に比べて弱光条件（同 500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ）で、顕著になる（図1）。
3. エリアンサスはサトウキビに比べ葉の裏面の気孔密度が低く、気孔密度の表裏比が高く、維管束間距離が

長い（表1）。これらの差は遺伝的要因が大きい。

4. サトウキビは茎への乾物分配が大きく、エリアンサスでは葉および根への分配が多い（図2）。
5. 属間雑種の水利用効率および気孔密度は、エリアンサス親と同等か近い値を示す（図1、表1）。一方、属間雑種は茎への乾物分配が大きく、乾物分配はサトウキビ親に近い傾向を示す（図2）。
6. 属間交配により、耐乾性に関連する葉身特性をエリアンサス親から、収量性に関連する茎への乾物分配特性をサトウキビ親から受け継ぎ、両親の特徴を備えた雑種を作出可能である。

成果の活用面・留意点

1. サトウキビとエリアンサスとの属間雑種 F₁ は、地上部の有用な形質を有し、サトウキビの耐乾性改良に貢献する。
2. 根域制限のあるポット条件で生育初期に焦点を当てた結果であるため、特に根系形成能については実際の圃場条件での結果も確認する必要がある。
3. 供試した属間雑種 F₁ は収穫期の糖度が低いため、製糖用品種として活用するためには、サトウキビ品種の戻し交配による糖含率の改良が必要である。
4. エリアンサスは遺伝的に異なる系統群の存在が知られており、本研究と異なる生理・形態を示す系統が存在する可能性がある。
5. 今後、葉身特性（ガス交換特性、形態特性）を指標とした耐乾性系統の選抜が可能か、雑種集団を用いて検証することで、耐乾性関連の遺伝マーカー開発による耐乾性育種の効率化が期待できる。

その他

予算区分：交付金プロ [C4 熱帯作物資源]
研究実施期間：2021～2023 年度
研究担当者：竇川拓生、寺島義文、岡本健（熱帯・島嶼研究拠点）
発表論文等：Takaragawa et al. (2025) *Frontiers in Plant Science* 16: 1649112. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1649112>

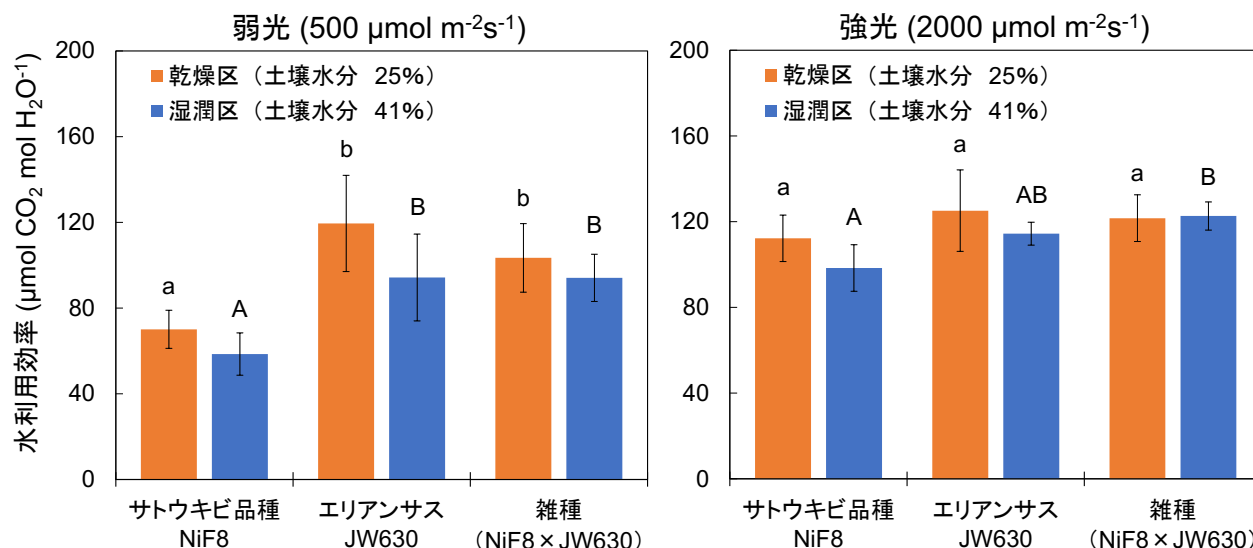


図1 土壌水分と測定光量がサトウキビ、エリアンサスおよび属間雑種 F₁ の水利用効率に与える影響

土壌乾燥処理中の2021年9月26日に、弱光（光合成光子束密度 500 μmol m⁻² s⁻¹；図左）および強光（同 2,000 μmol m⁻² s⁻¹；図右）条件で測定した結果を示す。橙色および青色バーはそれぞれ乾燥区（土壌体積含水率 25%）、湿潤区（同 41%）のデータを表す。エラーバーは標準偏差を表す(n=4)。異なるアルファベットは、同一光強度×同一土壌水分条件内における供試系統間差を示す（Tukey 法、P < 0.05、n=4）。

表1 サトウキビ、エリアンサスおよび属間雑種 F₁ の葉身形態特性

処理区	系統	気孔密度 (no. mm ⁻²)		表/裏比	維管束間距離 (μm)
		表面	裏面		
湿潤区	サトウキビ品種 NiF8	93 a	178 b	0.52 a	123 a
	エリアンサス JW630	98 a	135 a	0.73 c	140 b
	雑種 (NiF8 × JW630)	99 a	148 a	0.67 b	152 b
乾燥区	サトウキビ品種 NiF8	94 A	177 C	0.53 A	129 A
	エリアンサス JW630	100 AB	138 A	0.72 B	147 B
	雑種 (NiF8 × JW630)	106 B	160 B	0.66 B	154 B

異なるアルファベットは各処理区内の有意な系統間差を示す（Tukey 法、P < 0.05、n=4）。

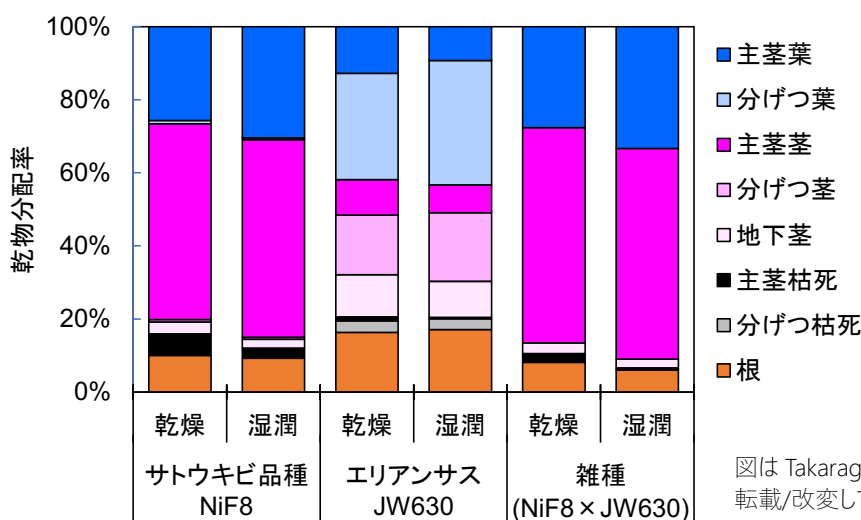


図2 サトウキビ、エリアンサスおよび属間雑種 F₁ の乾物分配特性

乾物分配率は全乾物重に対する各部位の乾物重の百分率を示す。青色系は葉（分けつ、主茎）、ピンク色系は莖（分けつ、主茎、地下莖）、黒色系は枯死部（分けつ、主茎）、橙色は根を示す。サトウキビと属間雑種は莖への乾物分配率が高いなど乾物分配特性が類似している。

図は Takaragawa et al. (2025) より CC BY 4.0 に従い 転載/改変して作成
© Author(s) 2025
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ja>

日本在来サトウキビ野生種の遺伝的特異性と遺伝資源としての価値

日本のサトウキビ野生種遺伝資源は、北東アジア型に分類され、インドやタイなどの大陸アジア型やインドネシアなどの島嶼アジア型と遺伝的に異なる。世界のサトウキビ製糖品種の遺伝的背景には、大陸アジア型や島嶼アジア型野生種のゲノムは含まれているが、北東アジア型のゲノムはほとんど含まれておらず、わずかに日本および中国の品種で確認されるのみである。そのため、幅広い遺伝的多様性の利用が求められているサトウキビ育種において、日本のサトウキビ野生種や製糖品種は世界的に重要な遺伝資源となる。

キーワード：サトウキビ、野生種、ゲノム、遺伝的多様性

背景・ねらい

サトウキビ (*Saccharum L.*)は、砂糖やバイオエタノール生産に加え、バイオ化学製品やバガス（繊維）を利用した電力生産にも利用される世界の食料・エネルギー生産、脱石油社会の実現に向けた重要作物である。一方で、気候変動による生産の不安定化が懸念される中、栽培品種や育種素材の遺伝的多様性の狭さに起因する育種改良の停滞が課題となっている。この打破に向けて、未利用野生遺伝資源の育種利用による遺伝的多様性の拡大と有用特性の導入が不可欠となっている。

サトウキビ野生種 (*Saccharum spontaneum L.*)は、アジアの熱帯・亜熱帯域の大陸、島嶼地域に広く分布し、様々な有用形質をもつ野生遺伝資源であり、現在世界中で利用されている製糖品種は、サトウキビ栽培起源種 (*S. officinarum*)と野生種との種間雑種である。サトウキビ育種における遺伝的多様性の拡大や有用特性の導入に向けて、これまで育種に利用されていない野生種の探索・利用が重要であるが、これまで世界の製糖品種の遺伝的背景にどのような野生種が貢献してきたかに関する詳細な情報がないことが課題であった。

そこで本研究では、世界各地域で収集されたサトウキビ野生種を含むサトウキビ遺伝資源の遺伝的多様性を解析するとともに、現在、世界中で利用されている製糖品種の遺伝的背景に各地域の野生種のゲノムがどの程度含まれているかを明らかにすることで、将来のサトウキビ育種の遺伝的多様性拡大に貢献する未利用野生遺伝資源の基盤情報を提供する。

成果の内容・特徴

1. 本解析の対象は、日本を含む世界各地域のサトウキビ野生種 135 系統（日本在来野生種は S8、S15、JW49、JW548 の 4 系統）、*S. robustum* 45 系統、*S. barberi* 15 系統、*S. sinense* 6 系統、*S. maximum* 8 系統、および製糖品種 96 品種（日本育成品種は NiF8、Ni9、NiTn18、NiN24、NiH25、Ni27、Ni28 の 7 品種）等、合計 390 品種・系統で構成される。
2. 世界のサトウキビ野生種は、インドやタイなどに分布す

る「大陸アジア型」、インドネシアやオセアニアに分布する「島嶼アジア型」、日本や中国、台湾に分布する「北東アジア型」に分類できる（図 1、2）。

3. 日本のサトウキビ野生種として沖縄で収集された JW49 は、*S. officinarum* のゲノムをもつため、サトウキビと野生種との種間雑種である可能性が高い（図 1）。
4. 世界で栽培されている近代サトウキビ品種の遺伝的背景には、大陸アジア型や島嶼アジア型野生種のゲノムが多く含まれているが、北東アジア型野生種のゲノムはほとんど含まれておらず、わずかに日本および中国の品種で確認されるのみである（図 3）。
5. 北東アジア型に分類される日本在来の野生種およびそれらゲノムをもつ日本育成品種は、今後のサトウキビの遺伝的多様性の拡大、新たな有用特性の導入に向けた重要な遺伝資源となる。

成果の活用面・留意点

1. 本成果は、世界の製糖品種の成立にどのような野生種が貢献してきたかを明らかにした世界初の成果であり、世界のサトウキビ育種において、日本在来野生種や日本育成品種の遺伝資源としての重要性を示す基盤情報として利用できる。
2. 今回の解析に供試していない日本在来野生種遺伝資源については、北東アジア型に分類されるかどうか遺伝子型の確認が必要である。
3. 本研究は、フランス農業開発研究国際協力センターが中心となる国際研究グループにより実施した。

その他

予算区分：交付金プロ [C4 熱帯作物資源]
研究実施期間：2022～2025 年度
研究担当者：寺島義文（熱帯・島嶼研究拠点）
発表論文等：Garsmeur et al. (2025) *Cell* 188(25): 7252-266. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2025.09.017>

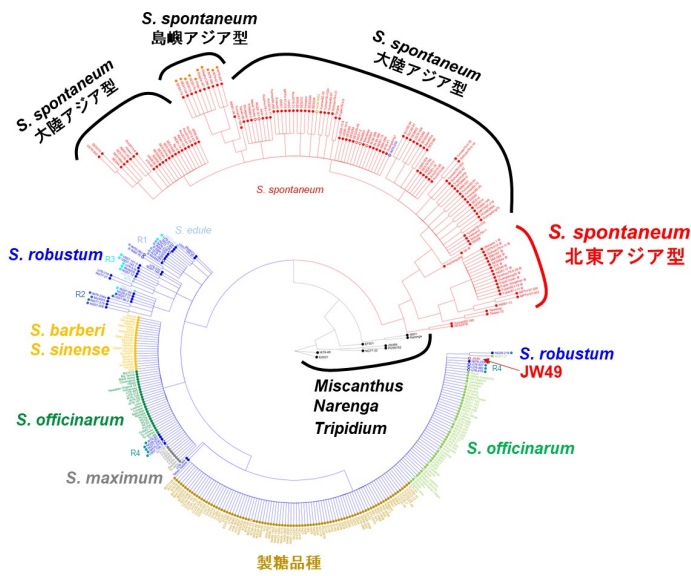


図1 世界のサトウキビ野生種およびサトウキビ遺伝資源のミトコンドリアゲノム情報を利用した分子系統樹

全ての品種・系統のミトコンドリアゲノムは、GetOrganelleを用いて単一の環状配列としてアセンブルし、系統樹の推定はMrBayesを用いて実施した。

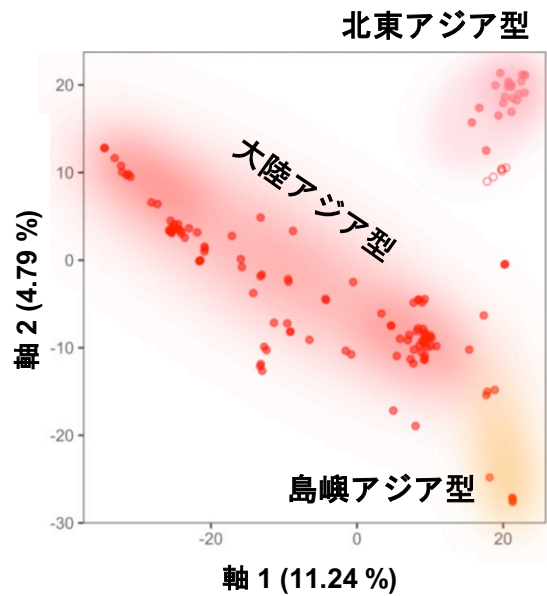


図2 世界のサトウキビ野生種遺伝資源の核ゲノムの一塩基多型情報を利用した主座標分析結果

主座標分析は、データ間の距離を可視化するための分析手法であり、プロット間の距離が遠いほど遺伝的に異なることを示す。軸1は系統間の距離を最も良く説明する軸、軸2は、軸1と直交し、次に系統間の距離を良く説明する軸であり、括弧内の値は寄与率を示す。

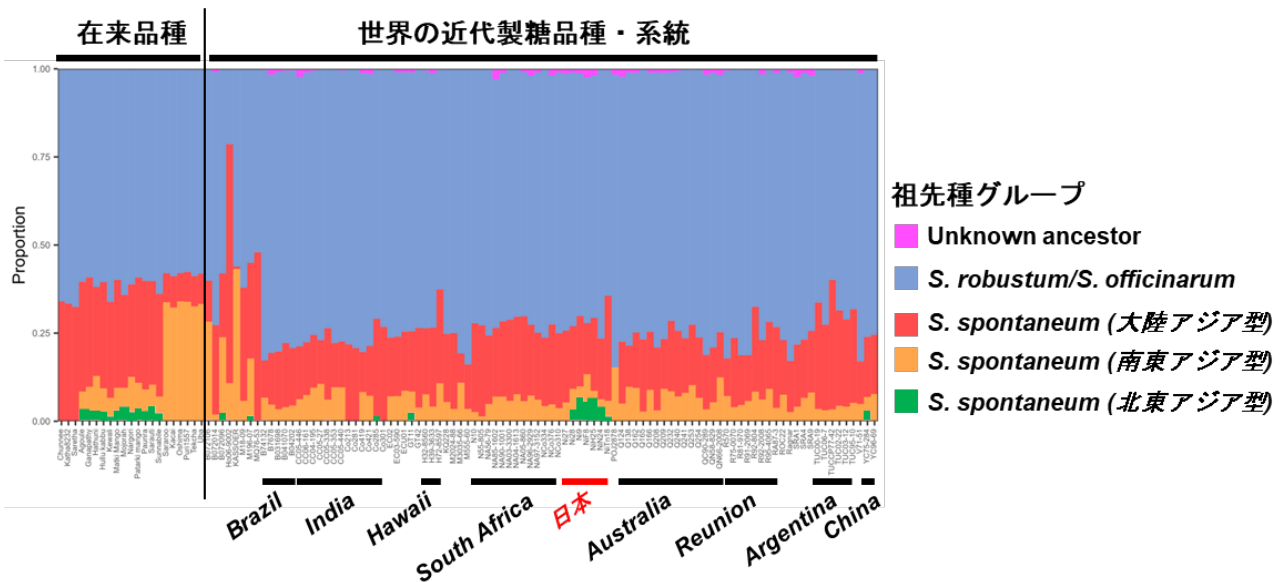


図3 世界のサトウキビ製糖品種に含まれる祖先種ゲノムの割合

種特異的なDNA配列断片を利用した集団構造解析により各祖先種グループのゲノム割合を推定した。Unknown ancestorは、これまで知られていない未知の祖先種のゲノムが含まれる割合を示す。在来品種とは、近代品種が開発される以前に栽培されていた *S. barberi* および *S. sinense* に分類される伝統的品種を指す。

図は Garsmeur et al. (2025) より CC BY 4.0 に従い転載/改変して作成
© Author(s) 2025 <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ja>

倍数性操作によるアジアイネ×アフリカイネ稔性雑種の新たな作出手法

アフリカイネはアジアイネとは異なる独自の病害抵抗性やストレス耐性をもつが、両種間のF₁雑種は花粉不稔となるため、種子が得られず、育種利用は限定的である。アジアイネとアフリカイネをそれぞれ4倍体化して交雑すると、得られる4倍体F₁雑種は部分的に花粉機能をもつ。4倍体の花粉を培養して2倍体に戻し、さらにその花粉を培養して得られる倍加半数体は、通常のイネ品種と同程度の花粉稔性を示し、両種の遺伝子を均等に受け継ぐ。本手法を用いることで、両種の優れた形質を併せもつ品種を育成できる可能性が広がる。

キーワード：アフリカイネ、雑種不稔性、4倍体、薬培養

背景・ねらい

世界には2種類のイネ栽培種、アジアイネ(*Oryza sativa*)とアフリカイネ(*O. glaberrima*)があり、世界中で栽培されているイネはほぼ全てアジアイネに属する。もう一つの栽培イネ種であるアフリカイネは、西アフリカを中心とした地域で独自に栽培化された種であり、病害抵抗性や環境ストレス耐性、雑草との競合に強いといった特徴を示す。これらの形質は、気候変動や低投入型農業への対応が求められる地域において、新たな育種資源として注目されている。

しかし、アジアイネとアフリカイネ種間のF₁雑種*は強度の雑種不稔性を示し、花粉が稔性を持たないため、自家受粉による種子生産ができない。このため、従来は戻し交雑によってアフリカイネの遺伝子を部分的に導入する手法が用いられてきたが、その結果得られる系統では、アフリカイネ由来ゲノムの割合は限定的である。

本研究では、アジアイネとアフリカイネ種間雑種の倍数性**を操作することで、花粉不稔の克服に取り組むとともに、両種間の中間的な遺伝構成をもつ稔性雑種が育成可能であることを明らかにする。

*F₁雑種：2つの種や系統、品種を交配して育成された一番初めの世代の雑種。

**倍数性：生物の生存に必須となる一揃いの遺伝子セット(ゲノム)を何セットもっているのかを表す性質。イネは2セットもつ2倍体だが、薬剤処理(コルヒチン施用)することで、ゲノムを4セットもつ4倍体の状態に移行させることができる。

成果の内容・特徴

1. 初めにアジアイネとアフリカイネの4倍体を、コルヒチン施用により獲得。それらの交配で得た4倍体F₁種間雑種の花粉(染色体数は2倍体相当)を培養することで、花粉稔性が部分的に回復した2倍体種間雑種が得られる。さらに、2倍体種間雑種の花粉をもう一度培養することで、2倍体の倍加半数体を獲得する(図1)。これらの植物体は花粉稔性最大88.4%、

種子稔性は最大89.8%に達し、親系統と同等の高い稔性を示す(図1)。倍加半数体におけるアジアイネ型アレル***とアフリカイネ型アレルの構成割合は個体ごとに異なるが、その中で特に2系統(DH#124、DH#201)は、両種のゲノムをほぼ均等に受け継いだ中間的な遺伝構成を有する(図1)。

2. 4倍体化による花粉不稔の緩和と、その後の2倍体化を組み合わせることで、これまで育成が困難であったアジアイネとアフリカイネの中間的な遺伝構成をもちながら稔性を示す種間雑種の作出が可能であることを示す(図2)。

***アレル：DNA配列のタイプの違いのこと。DNA配列にはアジアイネ型とアフリカイネ型があり、それぞれをアジアイネ型アレル、アフリカイネ型アレルと呼ぶ。

成果の活用面・留意点

1. 本手法により作出された種間雑種は、種間の戻し交雑により育成された従来雑種(ネリカ系統等)と比べてアフリカイネ由来ゲノムを高い割合で保持しており、雑草競合性、病害抵抗性、環境ストレス耐性など、複数遺伝子が関与する有用形質を受け継いでいる可能性がある。
2. 今後は、これらの雑種材料について農業形質の詳細な評価を行うとともに、有用形質に関与する遺伝子の同定を進めることで、雑草競合性や低肥沃な土壌での栽培適性などのアフリカイネ由来の複雑な形質を付与した新しいアジアイネ品種の育成への展開が期待される。

その他

予算区分：交付金プロ[C4熱帯作物資源(第5期)]

研究実施期間：2021~2025年度

研究担当者：國吉大地(熱帯・島嶼研究拠点)、貴島祐治(北海道大学)

発表論文等：Kuniyoshi and Kishima (2025) Theoretical and Applied Genetics 138: article number 161.

<https://doi.org/10.1007/s00122-025-04901-3>

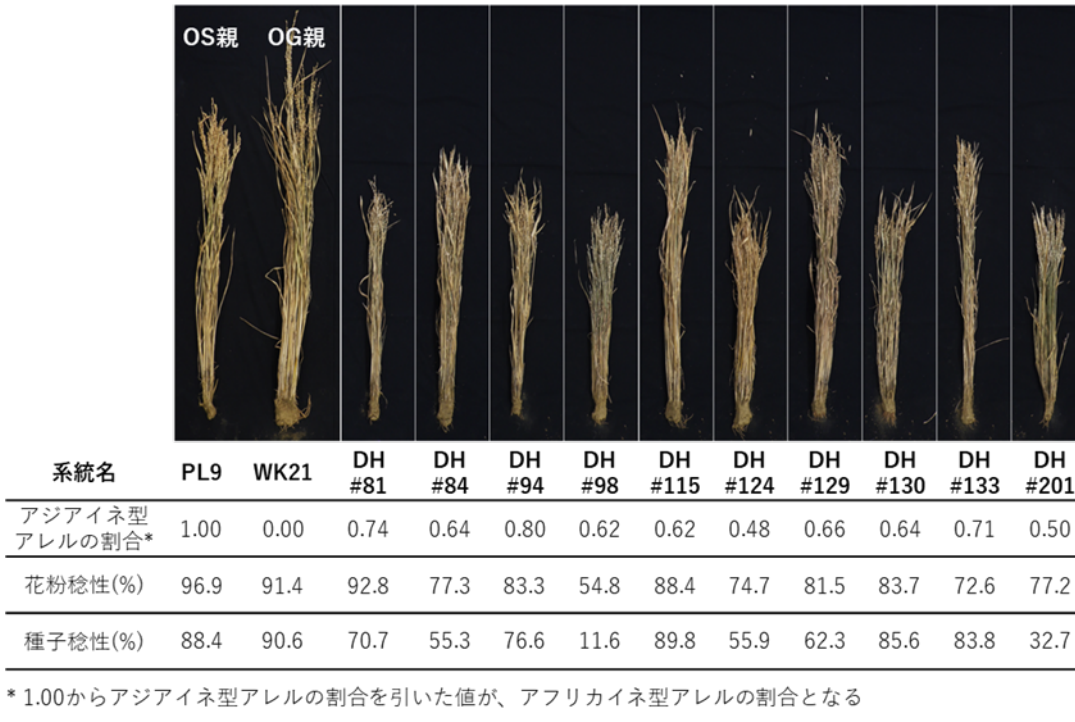


図1 本研究により作出された2倍体雑種系統のゲノム構成および稔性

PL9は *O. sativa*(OS)親系統、WK21は *O. glaberrima*(OG)親系統。DHシリーズは今回作出した2倍体雑種系統（全22個体の中から抜粋）。2倍体雑種系統は両種の遺伝子を受け継ぐとともに、花粉・種子稔性をもつ。

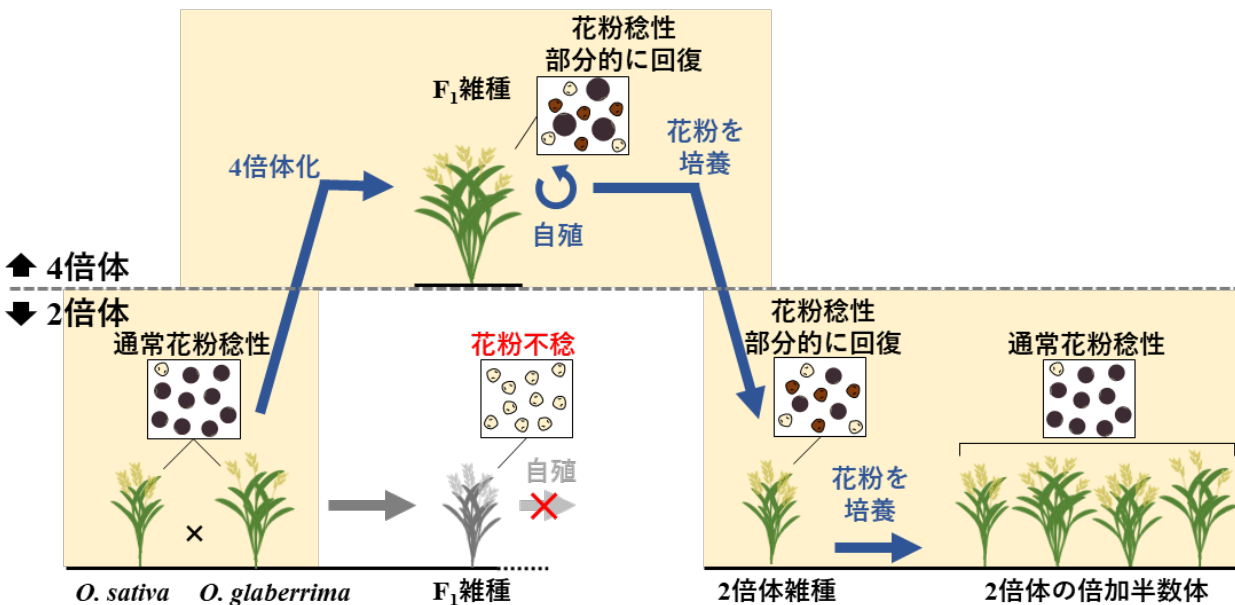


図2 4倍体化と2倍体化を介した稔性雑種育成の流れ

本研究で確立された、アジアイネとアフリカイネ種間の稔性雑種の育成手法。両種間のF₁雑種は花粉不稔となるため後代雑種が得られない。しかし、4倍体化することで一時的に花粉不稔を軽減し、4倍体の花粉を培養してもう一度2倍体に戻すことにより、花粉稔性が回復して種子が実るようになった2倍体雑種を育成することが可能となる。

図は Kuniyoshi and Kishima (2025)より CC BY 4.0 に従い転載/改変して作成
 © Author(s) 2025 <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed/ja>

国立研究開発法人

国際農林水産業研究センター

〒305-8686

茨城県つくば市大わし 1-1

TEL : 029-838-6313

FAX : 029-838-6316

熱帯・島嶼研究拠点

〒907-0002

沖縄県石垣市字真栄里川良原 1091-1

TEL : 0980-82-2306

FAX : 0980-82-0614

公式 Web ページ

<https://www.jircas.go.jp/>

