

国際農林水産業
研究成果情報

－ 2022 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

令和4年度 国際農林水産研究成果情報

プログラム	No.	研究成果情報/ 主要普及成果	分類	プロジェクト	P L	執筆責任者1	執筆責任者2
			研 究 成 果 情 報 名				
環境 (A)	A01	研究成果情報	行政	A1 気候変動総合	A1 泉 太郎	前田 高輝	—
			ベトナム肉牛ふん天日乾燥過程における温室効果ガス排出係数				
	A02	研究成果情報	行政	A1 気候変動総合	A1 泉 太郎	前田 高輝	—
			タイ肉牛生産過程における温室効果ガス排出の包括的評価				
	A03	研究成果情報	行政	A1 気候変動総合	A1 泉 太郎	前田 高輝	—
			東南アジア肉牛反芻胃由来メタン排出推定式				
	A04	研究成果情報	研究	A1 気候変動総合	A1 泉 太郎	レオン 愛	泉 太郎
			三期作を通じた間断かんがいは農家の利益向上と温室効果ガス削減に貢献				
	A05	研究成果情報	研究	A1 気候変動総合	A1 泉 太郎	大倉 芙美	—
			バリ島の水利組合（スバック）の資源配分における価値観の変化をゲーム理論で予測				
	A06	主要普及成果	技術	A2 カーボンリサイクル	A2 小杉 昭彦	小杉 昭彦	鶏家 綾香
			セルラーゼ酵素を使用せずに「微生物の培養だけ」でセルロースを糖化する技術				
	A07	研究成果情報	研究	A4 環境適応型林業	A4 野口 正二	諏訪 練平	—
			フタバガキ科樹種 <i>Shorea leprosula</i> の成長特性の地域個体群間差				
食料 (B)	B01	研究成果情報	研究	B1 レジリエント作物	B1 藤田 泰成	佐々木 和浩	小原 実広
			異なる窒素条件下でのイネの根長に関する新奇遺伝子座				
	B02	研究成果情報	研究	B1 レジリエント作物	B1 藤田 泰成	小原 実広	—
			籾の大型化によってイネの窒素利用効率は向上する				
	B03	研究成果情報	技術	B1 レジリエント作物	B1 藤田 泰成	許 東河	—
			多収・高品質で病害にも強い耐塩性ダイズ新品種「蘇豆27」				
	B04	研究成果情報	研究	B1 レジリエント作物	B1 藤田 泰成	植田 佳明	マティアス ビスバ
			硝酸イオンの吸収がイネにおけるリンの利用を促進する				
	B05	研究成果情報	研究	B2 新需要創造	B2 圓山 恭之進	井関 洸太郎	—
			ヤムイモの収量は個体の性別と開花日に強く影響を受ける				
	B06	研究成果情報	研究	B4 熱帯水産養殖	B4 宮田 勉	豊川 雅哉	—
			ミャンマー南部ミエック近海における食用熱帯カキの産卵期				
	B07	研究成果情報	研究	B5 アフリカ稲作システム	B5 辻本 泰弘	星川 健	—
			アジアの伝統野菜ヒユナの多様性の解明と育種基盤の構築				
情報 (C)	B08	研究成果情報	研究	B5 アフリカ稲作システム	B5 辻本 泰弘	マティアス ビスバ	辻本 泰弘
			ゲノム予測モデルを用いた亜鉛強化米育種のための有望系統の同定				
	B09	研究成果情報	行政	B5 アフリカ稲作システム	B5 辻本 泰弘	白鳥 佐紀子	尾崎 諒介
			マダガスカルにおける水稲収量の増加は農家の栄養改善に有効である				
	B10	研究成果情報	研究	B6 アフリカ畑作システム	B6 中村 智史	小出 淳司	—
			貯水灌漑技術と確率計画モデルを用いた小規模農家の所得変動リスク管理手法				
	B11	研究成果情報	研究	B6 アフリカ畑作システム	B6 中村 智史	サール PS	岩崎 真也
			根圏土壌を添加したリン鉱石添加堆肥は化学肥料と同等にソルガム収量を増加させる				
	B12	研究成果情報	研究	B6 アフリカ畑作システム	B6 中村 智史	廣瀬 千佳子	廣内 慎司
			ため池への流入量を精緻に算出できるカーブナンバー推定モデル				
	C01	研究成果情報	技術	C2 実用化連携	C2 Marcy Nicole Wilder	山中 直樹	—
			高いさび病抵抗性を有するダイズ新品種「Doncella INTA-JIRCAS」を開発				

ベトナム肉牛ふん天日乾燥過程における温室効果ガス排出係数

ベトナム南部の肉牛農家は主に天日によりふんを乾燥処理する。その過程における温室効果ガス排出は単位有機物及び初発単位窒素あたりそれぞれ CH_4 : $0.295 \pm 0.078 \text{ g kg}^{-1} \text{ VS}$ 、 N_2O : $0.132 \pm 0.136 \text{ g N}_2\text{O-N kg}^{-1} \text{ N}_{\text{initial}}$ であり、当該国当該処理区分における温室効果ガス排出係数として活用できる。天日乾燥処理により、ふん中微生物によるメタン代謝が大きく低減し、メタンは乾燥初期にのみ排出される。

キーワード：ベトナム、肉牛ふん、天日乾燥、温室効果ガス、微生物群集

背景・ねらい

家畜排泄物処理過程は主要な温室効果ガス(GHG)排出源の一つである。その排出総量について、先進国では処理区分毎の排出係数が整備されており、IPCC が定める Tier 2 以上の排出量推定が可能である。しかし、東南アジア等の開発途上地域においては整備が進んでおらず、IPCC が提供するデフォルト値を使用した Tier 1 により推定されている。このため、現地の主要な排泄物処理過程を明らかにした上で、その排出係数策定に資するデータの取得が必要である。そこで本研究では、ベトナム南部における肉牛ふんの処理状況について農家調査により明らかにするとともに、主要な処理区分であることが判明した天日乾燥過程における GHG 排出について測定する。得られたデータに基づき排出係数の推定と、GHG 排出に主要な役割を担うふん中微生物群集について詳細に検討を行い、天日乾燥に伴う推移及び GHG 排出との関係等について明らかにする。

成果の内容・特徴

1. ベトナム南部において家畜飼養頭数が多いベンチエ省 20 戸の畜産農家を対象に調査を行った結果、その全てにおいてふん尿は裏庭等において天日乾燥された後、回収業者に売却される（図 1）。乾燥後の肉牛ふんは中部高原地域のコーヒー・コショウ農家及び沿岸地域のドラゴンフルーツ農家等に売却され、土壌改良資材及び肥料として施用される。
2. 現地の気象条件で現地農家の手法を模した 7 日間の肉牛ふん天日乾燥試験を 2 度実施したところ、顕著な重量減少及び乾物率上昇が起こり、乾燥は概ね 3-4 日程度で完了する。（図 2A）
3. 当該処理区分からの GHG 排出についてチャンバー法を用いてメタン(CH_4)、一酸化二窒素(N_2O)排出量を測定したところ、 CH_4 は乾燥初期に検出されるが、 N_2O 排出は殆ど検出されない。（図 2B、2C）
4. 排出係数に活用可能な初発単位有機物量及び単位窒素量あたりのガス排出量を算出した結果、 CH_4 : $0.295 \pm 0.078 \text{ g kg}^{-1} \text{ VS}$ 、 N_2O : $0.132 \pm 0.136 \text{ g N}_2\text{O-N kg}^{-1} \text{ N}_{\text{initial}}$ となり、IPCC デフォルト値を下回る。

5. 天日乾燥によりふん中の微生物群集は大きく影響を受け、その構造が大幅に変化する（図 3A、例えば *Pseudomonadales*、*Clostridiales*）。また、当該微生物群集の機能推定を行うと、乾燥過程初期のメタン生成古細菌の相対的割合が顕著に低下($p < 0.001$)することにより（図 3B）、 CH_4 代謝が大幅に低減するが、これは乾燥過程初期における CH_4 排出量の顕著な減少と合致する（図 2B、2C）。また、同機能推定で得られる硝化・脱窒等の窒素変換に関与する機能群については、天日乾燥による影響は限定的($p = 0.563$)であることから（図 3C）、天日乾燥による硝化活性、脱窒活性及びそれに伴う N_2O 排出への影響も限定的であると考えられ、こちらもガス排出量測定結果と一致する（図 2B、2C）。

成果の活用面・留意点

1. 天日乾燥はメタン排出に極めて抑制的であることから、GHG 排出の観点から優れた手法であるといえる。
2. ベトナム国における GHG 排出推定の根拠となる排出係数の整備に活用できる。
3. 乾燥肉牛ふんのコーヒー・コショウ及びドラゴンフルーツ農家への施用時におけるガス排出等について別途検討が必要である。

その他

予算区分：交付金 [A1 気候変動総合（第 5 期）]

研究期間：2017～2021 年度

研究担当者：前田高輝（生産環境・畜産領域）、Nguyen T V・Nguyen THT・La VK（南ベトナム畜産研）、鈴木知之（農研機構畜産研究部門）、Nguyen DD（タイグエン大）

発表論文等：Nguyen et al. (2022) *PLoS ONE* 17(3): e0264228. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0264228>



図1 ベンチ省肉牛農家における肉牛ふん天日乾燥の様子

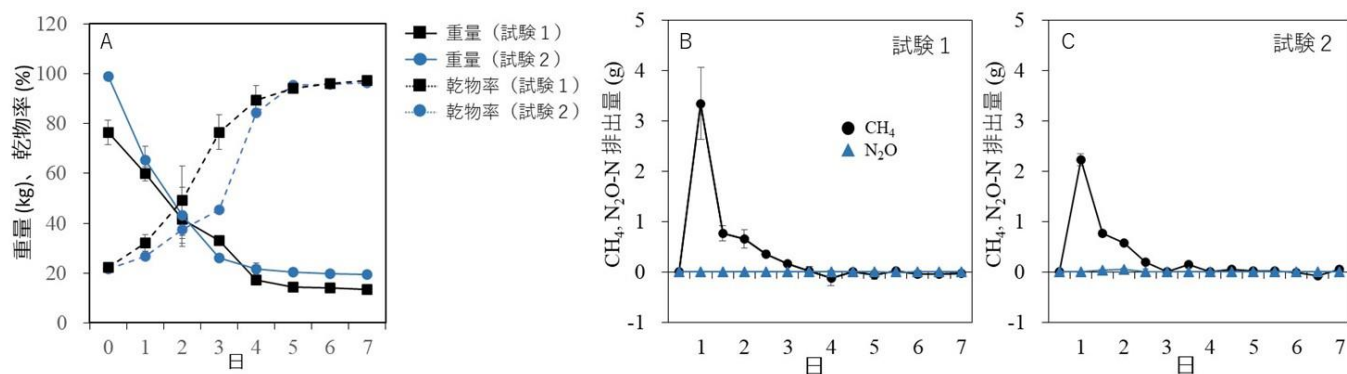


図2 重量及び乾物率の推移(A)、温室効果ガス排出（B:試験1、C:試験2）

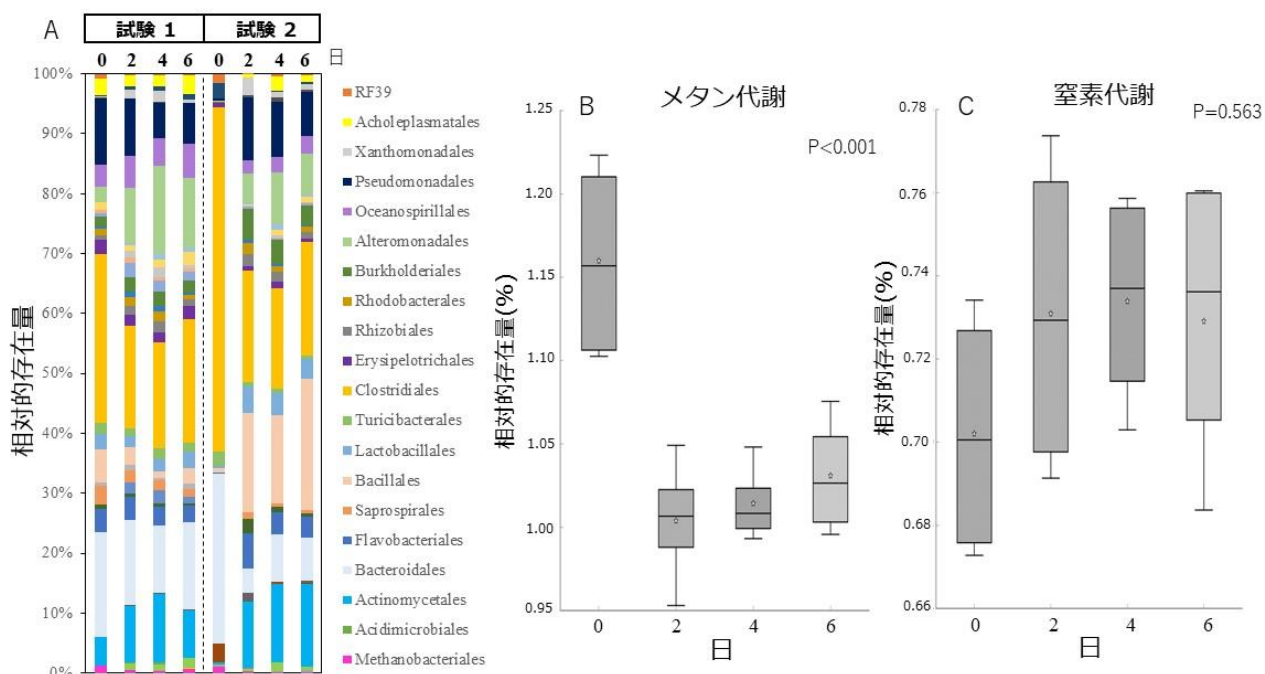


図3 微生物群集及び機能の推移

図は Nguyen et al. (2022) より引用（転載・改変許諾済）

タイ肉牛生産過程における温室効果ガス排出の包括的評価

タイ肉牛飼養過程およびふん尿堆積過程におけるメタン排出はそれぞれ 6.87%GEI（総エネルギー摂取量）、0.68%GEI 程度であり、堆積ふんへの稲わら混合（重量比 5 %）は有機物分解を促進し、メタン排出ピーク及びメタン生成古細菌によるメタン代謝を低減するが、総温室効果ガス排出量に与える影響は限定的である。

キーワード：温室効果ガス、排出係数、反芻胃メタン、ふん尿処理、東南アジア

背景・ねらい

畜産業は主要な温室効果ガス(GHG)排出源の一つであるが、東南アジア諸国における排出量については根拠となるデータが不足している。排出量推定の正確性向上のため、反芻胃由来メタン(CH_4)変換係数 (Y_m 値) や個別ふん尿処理区分からの排出係数等の整備等が必要である。また、反芻胃由来 CH_4 及びふん尿処理については、先進国において別々に測定した事例があるものの、これらを連続した過程として包括的に評価した事例は存在しておらず、データの連続性が課題である。一方で、ふん尿処理由来 GHG については、副資材を活用した有機物分解促進によりその削減が期待できることから、東南アジアにおいて賦存量が多い稲わらの活用による GHG 削減効果等について明らかにする必要がある。そこで本課題では、タイ在来品種肉牛 4 頭を用い、飼養過程からの反芻胃及びふん尿処理由来 GHG 排出について、排出係数整備の観点から包括的に評価するとともに、現地で容易に利用可能な稲わらを副資材として活用した際の GHG 排出及びふん尿中微生物群集及びその機能に及ぼす影響について併せて明らかにする。

成果の内容・特徴

1. タイ在来牛 4 頭について、栄養要求量を満たす水準として体重比乾物摂取量を 2%、また現地における標準的な飼料組成としてパンゴラグラス 70%、濃厚飼料 30%に設定した飼養試験を 2 回実施（それぞれ開始時体重 313.8 ± 20.4 kg、 354.7 ± 21.6 kg）した。ヘッドボックス型チャンバーを用い、6 日間の CH_4 排出について計 3 回にわたり繰り返し測定する。また、排出されるふんについては、別途ガス排出測定用のチャンバーに総重量が 500 kg まで蓄積し、稲わら 25 kg を副資材として混合の上、2 週間に一度切り返しを行い、12 週間にわたりガスクロマトグラフを用いて CH_4 および一酸化二窒素(N_2O)排出量を測定する。
2. 乾物摂取量はそれぞれ 5.4 ± 0.4 kg/日、 5.6 ± 0.4 kg/日、乾物消化率は $55.42 \pm 1.26\%$ 、 $53.68 \pm 3.2\%$ と標準的な水準であり、有機物、粗脂肪等他の飼料成分についても同様となり（データ省略）、現地における

標準的な飼養環境下における CH_4 排出量及び Y_m 値は 6.87%GEI（総エネルギー摂取量）、ふん堆積過程における CH_4 排出は 0.68%GEI である（表 1）。

3. 稲わら混合により顕著な有機物分解促進が起こり、堆積ふんの温度は 65.1 – 66.2°C まで上昇する一方、対照区の最高温度は 43.8 – 47.4°C にとどまる（図 1）。ガス排出についてはばらつきが大きく、 CH_4 排出において稲わら混合による排出ピークの減少が認められるものの、排出総量においては有意な効果は認められない（図 2A）。 N_2O 排出についても同様に、稲わら混合区において排出が低い傾向があるものの、排出総量において有意な差は認められない（図 2B）。
4. 試験期間中ふん尿中微生物群集組成および機能、GHG 排出との関係について 16S rRNA 遺伝子アンプリコンシーケンスデータを用いて解析すると、処理区により明確なグループ分けが認められ、特に堆積初期の CH_4 代謝に大きな低減効果が得られる（図 3）。これは、堆積初期の CH_4 排出量ピークの低減（図 2A）と一致する。

成果の活用面・留意点

1. 現地で不足する畜産業由来 GHG 排出量のベースライン値としてインベントリ等に活用できる。
2. 稲わらの副資材としての活用はふん尿中有機物分解を促進し、 CH_4 生成古細菌の活動低減効果があるため、ふん尿処理手法として有効であるが、現地で一般的な小規模農家に導入する場合の GHG 排出削減効果は限定的となる可能性に留意が必要である。

その他

予算区分：交付金 [A1 気候変動総合（第 5 期）]

研究期間：2017～2021 年度

研究担当者：前田高輝・蔡義民（生産環境・畜産領域）、Angthong W・Kaeokiang O・Kamphayae S（反芻家畜飼養標準研究開発センター）、森昭憲・鈴木知之（農研機構畜産研究部門）、Kitwetcharoen H（コンケン大）

発表論文等：Angthong et al. (2022) *Front. Environ. Sci.* 10:872911. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.872911>

表1：飼料中エネルギーのメタン等への変換（kJ/頭/日）

	試験1	試験2	%
飼料中総エネルギー	90,754.4	99,609.8	100.00
保持エネルギー（生産物）	20,166.6	16,614.9	19.32
牛体維持エネルギー	24,407.6	29,588.3	28.36
反芻胃CH ₄	6,161.2	6,918.6	6.87
尿	1,197.0	1,785.0	1.57
ふん（堆積過程由来CH ₄ を除く）	38,032.4	44,201.0	43.20
ふん堆積過程におけるCH ₄	789.6	501.9	0.68

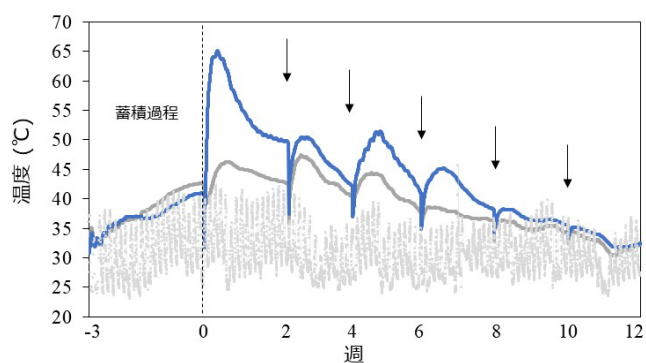
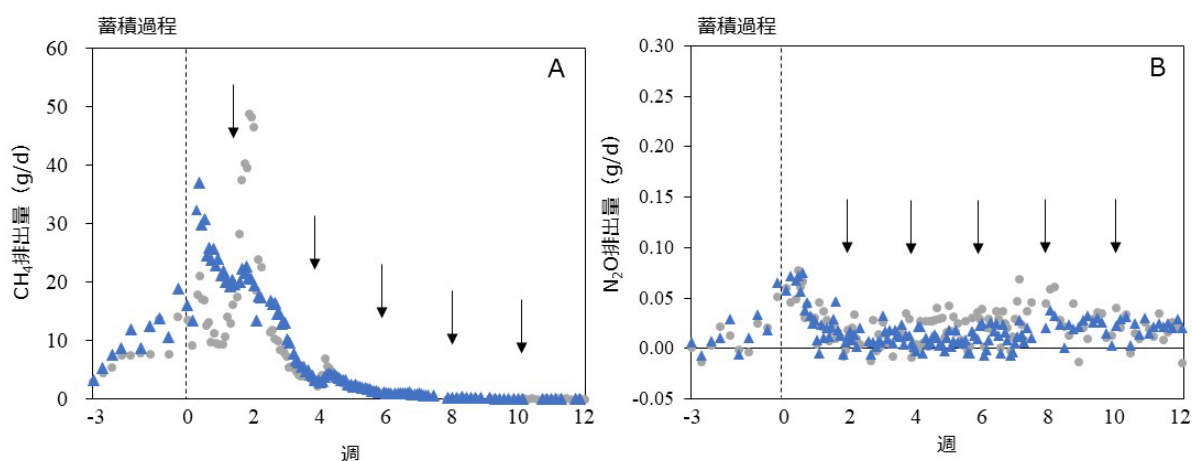


図1 ふん堆積過程における品温推移

青：稲わら混合区、灰色：対照区、淡灰色：気温

図2 ふん堆積過程におけるCH₄（A）、N₂O（B）排出量

△：稲わら混合区、○：対照区、↓：切り返し

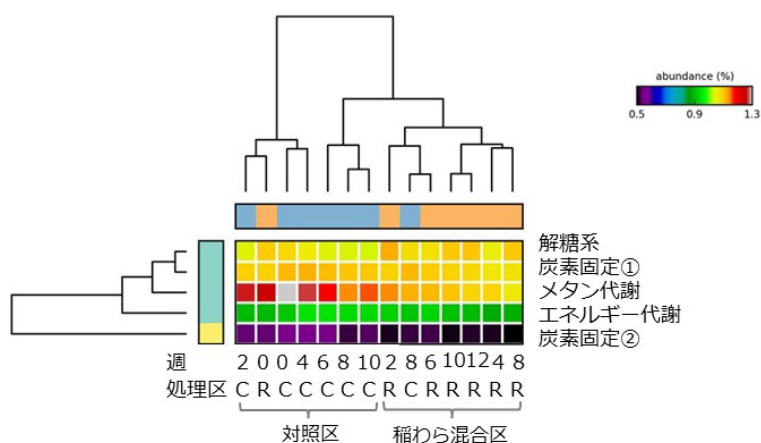


図3 稲わら混合がふん微生物群集の機能に及ぼす影響

R:稲わら混合区、C:対照区

図は Angthong et al. (2022) より引用（転載・改変許諾済）

東南アジア肉牛反芻胃由来メタン排出推定式

東南アジアにおける肉牛反芻胃由来メタン排出量は、乾物摂取量、飼料成分（中性デタージェント繊維）、体重を説明変量に用いた推定式により、現行推定方法よりも高精度で簡易に推定できる。

キーワード：飼料組成、反芻胃メタン排出、予測モデル、東南アジア、グローバル・リサーチ・アライアンス（GRA）

背景・ねらい

家畜の反芻胃は温室効果ガス(GHG)の重要な排出源であるため、その排出量の正確な把握が必要である。個体ごとのメタン(CH₄)排出量の直接的な測定には多大な労力を要するため、飼料給与量等の簡易に測定可能な指標を用いて間接的に推定することが望ましい。現在、各国からの反芻胃由来 CH₄ 総排出の推定には、IPCC が推奨する総エネルギー摂取量(GEI)を基準とした CH₄ 変換係数(Y_m)が画一的に用いられているが、その根拠となるデータは欧米諸国の飼料組成及びウシ品種を用いて得られた値である。飼料組成や気候条件等が欧米諸国と大きく異なる東南アジアにおける推定には適さないため、当該地域のデータを根拠とした独自の CH₄ 変換係数及び予測式等の整備が必要である。これまでにタイ・ベトナムにおいて国際農研が保有するメタン排出測定チャンバーを用いて得られたデータを基にその推定式を整備してきている（平成30年度国際農林水産業研究成果情報 A01「東南アジアにおける肉牛からの消化管発酵由来メタン排出量の推定」）。本課題においては、これをグローバル・リサーチ・アライアンス(GRA)*の枠組みを活用して発展させ、当該地域における CH₄ 測定チャンバーによる既存の CH₄ 排出量測定データ及び飼料給与量等のデータを収集し、これらを基に当該地域における反芻胃由来 CH₄ 排出の最適な推定式を構築する。

*GRA（Global Research Alliance）：農業分野の温室効果ガス排出削減等に関する研究ネットワーク

成果の内容・特徴

1. GRA-LRG global network project の研究の一環として、東南アジア諸国 8ヶ国の研究者に対し CH₄ 排出測定データ及び乾物摂取量や飼料組成データ等の保有状況を調査する。その結果、チャンバーによる測定データはタイ、ベトナム、インドネシアのみが保有する。データ選別の結果、398 データを CH₄ 排出量推定式の作出に用いる。また、参照データセットとして東アジア（日本及び中国）から1998年～2018年までに得られたデータ（総計1,101点）を用いる。
2. 乾物摂取量を基に作成した推定式（表1-式①）について、現在東南アジア各国でインベントリ推定に用いられている IPCC 由来推定式（GEIを基に作成）等と

予測誤差(RMSPE)を比較すると、IPCC Tier 2 (2019)や Global Network Tier 2（グローバル・リサーチ・アライアンスの現行推定方法）の値よりも低いことから、正確性が高い（図1）。また、中性デタージェント繊維や体重を説明変量として加える場合（表1-式②、③）は、推定誤差はさらに小さくできる（図1）。

3. 総データについて粗飼料給与率を3段階（全粗飼料: 119、高粗飼料: 163、低粗飼料: 116）にカテゴリー分けし、それぞれの推定式を作成することで、より正確な推定が可能となる（表2）。特に東南アジアにおいて多くみられる粗飼料多給（50-85%）のモデル式では、既存の推定式と比較して予測誤差が最小となる推定式となる。

成果の活用面・留意点

1. 既存の手法（IPCC Tier 2 等）と比較して精度の高い推定式として、現行の各国 GHG 排出インベントリにおいて活用することが可能である。
2. 推定式作成に用いられた CH₄ 排出量や飼料摂取量等のデータは一部の国（タイ・ベトナム・インドネシア）において実施された試験に限られており、東南アジア全体を代表しない可能性が残されていることに留意する必要がある。

その他

予算区分：交付金プロ [A1 気候変動総合]

研究期間：2019～2021年度

研究担当者：前田高輝（生産環境・畜産領域）、鈴木知之（農研機構畜産研究部門）、Tee TP、Liang JB（マレーシアブトラ大）他37名

発表論文等：Tee et al. (2022) *Anim. Feed Sci. Technol.* 294: 115474. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2022.115474>

表1 反芻胃メタン排出量 ($\text{g d}^{-1} \text{ animal}^{-1}$) 推定式及び予測誤差、全データ (n=398)

推定式		RMSPE(%)
DMI	$20.15 (4.42) + 19.59 (0.90) \times \text{DMI}$	16.9
DMI, NDF	$36.03 (4.91) + 18.77 (0.86) \times \text{DMI} - 0.34 (0.05) \times \text{NDF}$	15.2
DMI, NDF, BW	$26.63 (4.82) + 15.20 (1.04) \times \text{DMI} - 0.29 (0.05) \times \text{NDF} + 0.08 (0.015) \times \text{BW}$	14.2
IPCC (2019) Tier 2	$[0.07 \times \text{GEI}] \div 0.05565$	19.9
Global Network Tier 2	$[0.061 \times \text{GEI}] \div 0.05565$	27.4
Suzuki et al. (2018)	$8.91 + 22.71 \times \text{DMI}$	16.8
van Lingen et al. (2019)	$54.2 + 12.6 \times \text{DMI}$	19.0

DMI: 乾物摂取量、NDF: 中性デタージェント繊維、BW: 体重、GEI: 総エネルギー摂取量、RMSPE: 二乗平均平方根予測誤差、カッコ内数字: 標準誤差

表2 反芻胃メタン排出量 ($\text{g d}^{-1} \text{ animal}^{-1}$) 推定式及び予測誤差、粗飼料多給 (50-85%, n=163)

推定式		RMSPE(%)
DMI	$14.27 (6.00) + 19.75 (1.27) \times \text{DMI}$	14.7
DMI, NDF	$34.32 (6.78) + 19.81 (1.14) \times \text{DMI} - 0.43 (0.09) \times \text{NDF}$	13.3
CP, EE, NDF, BW	$63.33 (9.89) - 2.19 (0.54) \times \text{CP} + 2.74 (0.86) \times \text{EE} - 0.36 (0.11) \times \text{NDF} + 0.28 (0.02) \times \text{BW}$	16.3
IPCC (2019) Tier 2	$[0.07 \times \text{GEI}] \div 0.05565$	15.1
Global Network Tier 2	$[0.061 \times \text{GEI}] \div 0.05565$	21.5
Suzuki et al. (2018)	$8.91 + 22.71 \times \text{DMI}$	16.5
van Lingen et al. (2019)	$54.2 + 12.6 \times \text{DMI}$	17.4

DMI: 乾物摂取量、NDF: 中性デタージェント繊維、CP: 粗タンパク、EE: 粗脂肪、BW: 体重、GEI: 総エネルギー摂取量、RMSPE: 二乗平均平方根予測誤差、カッコ内数字: 標準誤差

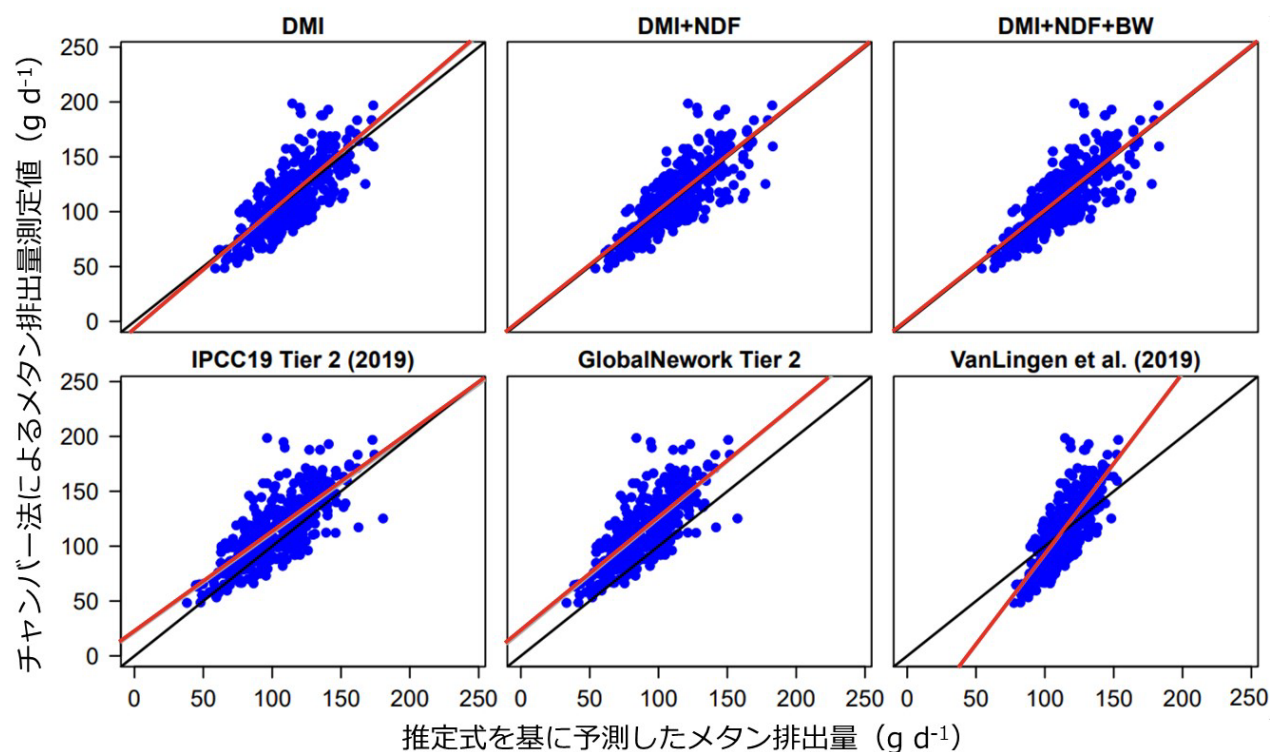


図1 モデル毎の推定式を基に予測したメタン排出量予測値の適合度

上段: 本成果推定式 (表参照)、下段: 既存推定式によるプロット

適合回帰直線: 赤、完全適合線 ($y = x$): 黒

図は Tee et al. (2022) より引用 (転載・改変許諾済)

三期作を通じた間断かんがいは農家の利益向上と温室効果ガス削減に貢献

三期作（通年）を通じた調査は作期による栽培管理、生産費用、収量や販売価格の違いを考慮した評価を可能にする。これらを考慮した評価によると、ベトナム・メコンデルタにおいて、間断かんがい(AWD)三期作実施農家は AWD 導入により利益を6%上げながら、温室効果ガス排出量を38%削減できる。農家の利益を向上しつつ、気候変動緩和・適応に貢献するコベネフィットな技術としてアジアモンスーン地域への展開が期待される。

キーワード：間断かんがい(AWD)、ライフサイクルアセスメント、気候変動緩和・適応、コベネフィット、利益

背景・ねらい

ベトナム南部に位置するメコンデルタは、三期作栽培が行われるようになり、コメの作付面積が拡大している。作付面積の拡大は、食料需要に応える有効な手段だが、土壌由来のメタンをはじめとする温室効果ガス(GHG)排出と水需要への対応策が求められている。

水田では、土壌内部が酸素のない嫌気的な環境になるため、嫌気性微生物の働きによりメタンが生成され、大気に放出される。間断かんがい(AWD)は、水田の土壌が乾燥するまでかんがいせず、乾燥後かんがいを繰り返す水管理である（図1）。これにより、土壌に酸素が供給され、従来（常時湛水）に比べ、節水を可能にしながらメタンを削減できる技術としてアジアモンスーン地域で注目されている。

一作（夏秋：早期雨季）のデータによれば、AWD 実施農家は収量を維持しつつライフサイクル温室効果ガス(LC-GHG: Life-Cycle Greenhouse gas)を削減できる（令和2年度国際農林水産業研究成果情報 A02「間断かんがい技術(AWD)によるライフサイクル温室効果ガス削減効果」）。しかし、農家の利益や GHG 排出への影響を包括的に考慮した評価はほとんど行われておらず、AWD を三期作（通年）実施するメリットは明らかにされていない。そこで、本研究では、ベトナム・メコンデルタに位置するアンジャン省の農家調査データを用い、通年の AWD 実施による農家利益と LC-GHG へのインパクト評価を行う。

成果の内容・特徴

1. ライフサイクルアセスメント(LCA: Life Cycle Assessment)手法を用い、農業資材及び機械の製造から水田の整地、コメの栽培・収穫・稲わら処理までの各段階で発生する GHG の総排出量を LC-GHG として評価する。農家の利益は、各生産管理で発生する農業資材、農機具、燃料、賃金などを含む生産費と売り上げに関するデータを用いる（図2）。
2. 2019～2020年の1年間に計3回調査を実施し、各調査につき AWD 実施・未実施農家それぞれ100戸、合計600戸を対象に聞き取り調査を行い分析の基礎

データとする。調査時期は、夏秋作（栽培期間4～8月）、秋冬作（後期雨季：7～11月）、冬春作（乾季：11～4月）収穫後である。農家が複数圃場を所有する場合、圃場毎に調査を行う（全圃場数1105）。

3. 売上（販売価格×収量）が生産費用の増加を上回るため、AWD を実施した農家の利益は、未実施農家に比べ、三期作を通して6%増益する（図3）。
4. AWD 実施農家では、三期作を通して LC-GHG が、38%削減可能になる（図4）。
5. AWD 実施農家は未実施農家に比べ、利益が得られる一方で、LC-GHG の削減が可能になる。

成果の活用面・留意点

1. 水田稲作からの土壌由来メタン排出削減が課題となっている中、本研究結果は、三期作を通じた AWD 実施効果を裏付ける資料として用いることができる。
2. 三期作を通じた AWD の実施は、農家の増益と農業からの環境負荷軽減を両立するコベネフィットな農業システムであり、アジアモンスーン地域における気候変動の有望な緩和策及び適応策として期待される。
3. 本研究は、ベトナムアンジャン省での1年間の調査に基づく結果である。調査の継続、及びアジアモンスーン地域の多地点での調査により、通年実施によるメリットを示すことができれば、AWD の更なる普及につながることを期待される。
4. LC-GHG 算出の際、土壌由来のメタンや一酸化二窒素は、IPCC ガイドライン(2019)に示された手法を用いて推定することができるが、圃場データを用いるのが望ましい。

その他

予算区分：交付金 [A1 気候変動総合（第5期）]

研究期間：2019～2022年度

研究担当者：レオン愛（社会科学領域）、泉太郎（農村開発領域）

発表論文等：Leon and Izumi. (2022) *Journal of Cleaner Production* 354: 131621. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131621>

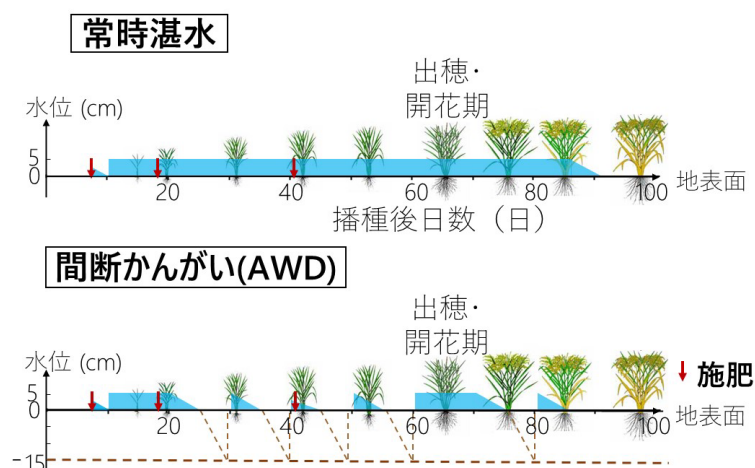


図1 常時湛水と間断かんがい(AWD)における一作期中の水管理（例）

AWDでは、播種後10～20日目までの10日間、施肥時期と開花期を除き、落水により水田の土壌を地表面から15cm程度水位を下げ、5cm程度湛水する作業が一作期中に数回繰り返される。

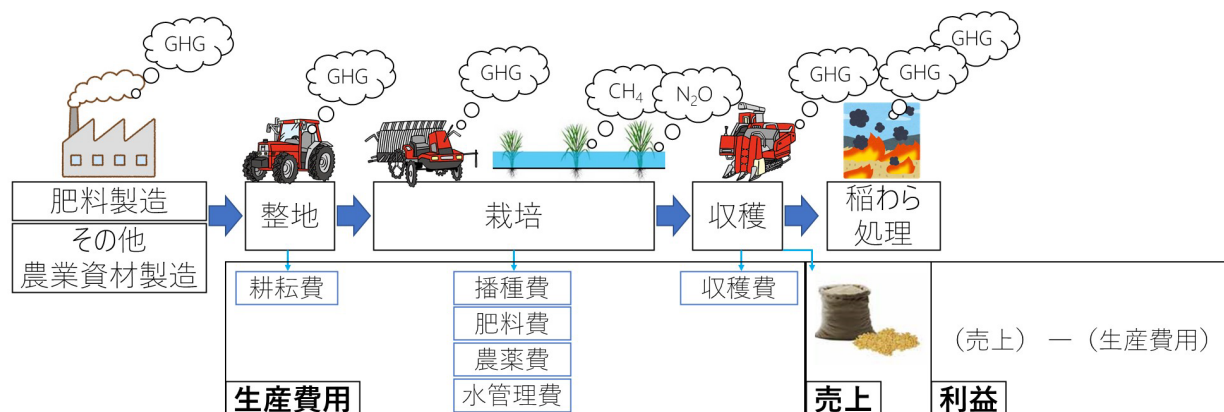


図2 コメ生産のライフサイクル温室効果ガスと農家利益の計算

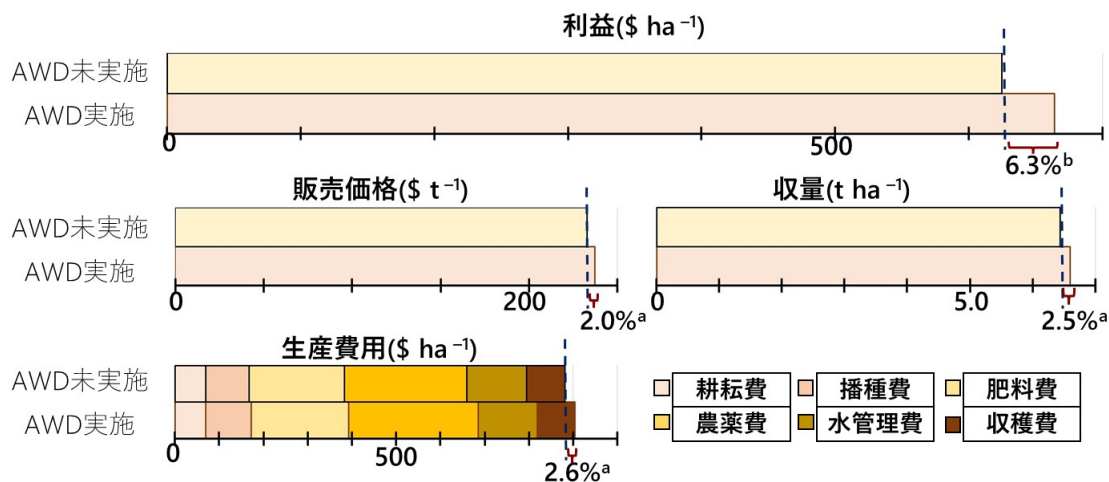


図3 間断かんがい(AWD)未実施農家とAWD実施農家の利益・販売価格・収量・生産費用

a: $p < 0.05$; b: $p < 0.056$; n=501 (AWD未実施農家)、n=535 (AWD実施農家)、n: 圃場数(欠損値を含むサンプルを除く)

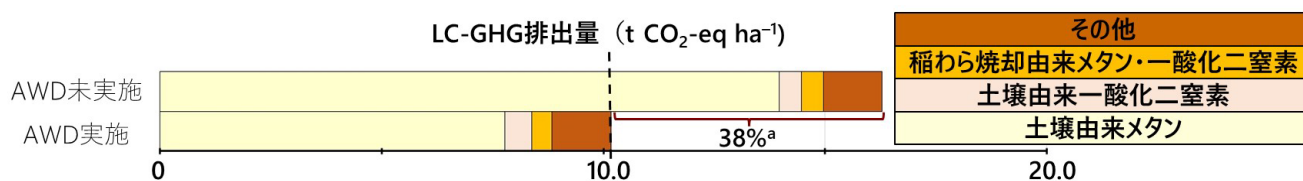


図4 間断かんがい(AWD)未実施農家とAWD実施農家のLC-GHG排出量

a: $p < 0.05$; n=470 (AWD未実施農家)、n=515 (AWD実施農家)、n: 圃場数(欠損値を含むサンプルを除く)

図3・4はLeon and Izumi (2022) より引用（転載・改変許諾済）

バリ島の水利組合（スバック）の資源配分における価値観の変化をゲーム理論で予測

バリ島の水利組合（スバック）を対象に、エージェントベースモデルとゲーム理論を組み合わせた手法により資源利用における価値観を分析すると、協力関係の維持に価値が置かれている現在の資源配分が、労働資源の減少の進行に伴う価値観の変化によって、非協力的な資源配分になると予測される。

キーワード：バリ島、資源管理、灌漑排水、エージェントベースモデル、ゲーム理論

背景・ねらい

水田灌漑において、気候変動の影響による降雨パターンの変化や農業人口の減少といった社会情勢の変化に適応して、持続的・効率的に資源を利用するためには、水利組合が果たす役割が重要である。水利組合では、水を巡って争いながらも、限りある資源を活用するためのルールに従った資源配分が行われる。持続的な資源管理を行うためには、水利組合にある資源利用のルールと資源利用における価値観を明らかにし、水争いの構造を理解することが重要である。インドネシアのバリ島にある水利組合（スバック）は、協力して水資源を配分することで知られる一方、社会情勢が変化中、収穫労働資源が減少し、水利用に影響を与えている。

そこで本研究では、水利組合が資源利用ルールに従いつつ取水行動を変えることで環境条件の変化に適応する様子を再現できるエージェントベースモデルと、水利組合の収穫労働資源の利用・配分戦略を評価できるゲーム理論を組み合わせることで、資源争いの分析手法を開発する。

成果の内容・特徴

1. エージェントベースモデルを用いて、対象とした灌漑地区の用水路系統や資源利用における水利組合間の相互作用などの環境を再現する。そこに、属性の異なる水利組合が、資源利用ルールに従って資源を利用し、収穫量を最大とするようにイネを栽培する水配分システムを再現する。入力を水・労働資源とし、出力を、資源の利用量を反映する作付け体系、作期ごとの収量と年間の収穫量とする（図1）。
2. ゲーム理論の一つである非協力ゲームを適用し、収穫労働者の配分順が、現在と同様に上流を優先とする戦略を「協力」、資本力ある方が優先される戦略を「非協力」とする。水資源の配分戦略は「協力」のみとする。地区内の水利組合を上流群と下流群に分け、2つの群の収穫労働資源の戦略の組み合わせを変えて収穫量（利得）をシミュレーションし、利得表を用いて分析する。また、社会情勢の変化に伴って予測さ

れる収穫労働者の不足に関して、総収穫労働者数が「十分」、「少ない」、「とても少ない」の3種類のシナリオを用いる（図1の緑枠内）。

3. 総収穫労働者数が「十分」の場合、上流群の合計収穫量はいずれの戦略でも同じであるが、下流群の合計収穫量は、「非協力」の戦略を選択する時により多くなる（図2）。現在選択されている戦略の組み合わせはこの結果と異なり、上流群と下流群がともに「協力」であり、スバックが収量の最大化ではなく、取水調整を行う協力関係の維持に価値を置いていることが示唆される。
4. 総収穫労働者数が「少ない」又は「とても少ない」シナリオでは、複数の水利組合が同時に収穫を行えず、上流群と下流群はともに「非協力」の戦略を選択する。合計収穫量は最大になるが、スバック間の協力関係は弱くなることが予測される（図3の赤枠内）。これは、社会情勢の変化が進み、収穫労働資源が不足すると、非協力的な労働資源の利用に対する価値が高まることを示唆する。また、この現象は、他の限られた資源の効率的な配分にも影響を与えと考えられる。

成果の活用面・留意点

1. 本モデルを活用することで、収穫労働者数の減少に対する対策などの事前評価が可能となる。
2. 本モデルは、環境や社会情勢の変化に適応する新たな資源利用ルール作りの支援ツールとして活用できる。
3. 収穫労働者の減少といった社会情勢に伴い資源利用ルール自体も変化する可能性があるが、本研究では考慮していない。

その他

予算区分：交付金 [A1 気候変動総合（第5期）]、外部資金 [科研費 20K22602, 20KK0242]
研究期間：2020～2022年度
研究担当者：大倉芙美（農村開発領域）、Budiasa IW（ウタヤナ大学）、加藤亮（東京農工大）
発表論文等：Okura et al. (2022) *Agricultural Water Management* 274: 107951. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107951>.

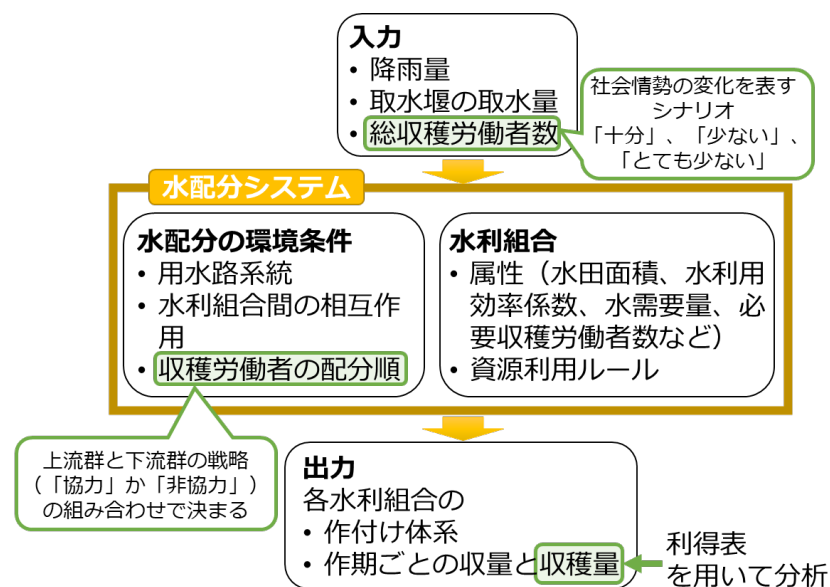


図1 モデルの概要

水配分システムはエージェントベースモデルでモデル化した。緑枠は非協力ゲームの適用に関連する部分を示す。

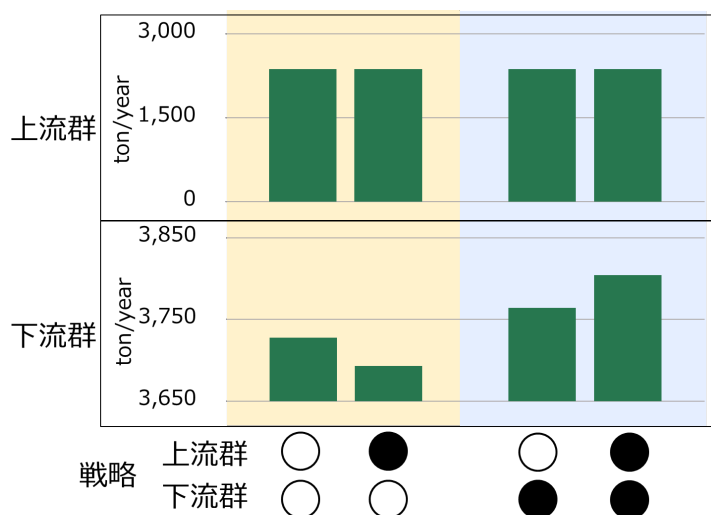


図2 総収穫労働者数が「十分」の場合の各群の合計収穫量

総収穫労働者数が「十分」の場合、上流群の合計収穫量はいずれの労働資源配分の戦略でも同じである一方、下流群の合計収穫量は、「非協力」の戦略を選択する時に最大になる。

注) ○ は協力、● は非協力を表す。

現在 ↓ 予測される 将来	戦略	上流群	○	●	○	●
		下流群	○	○	●	●
	十分	— *	—	—	★	
	総収穫 労働者数	少ない	★	—	★	●★
		とても少ない	★	—	—	●★

* 現在選択されている戦略の組み合わせ

● 最も起り得る戦略の組み合わせ（ナッシュ均衡）

★ 合計収穫量が（最も）多い戦略の組み合わせ（パレート最適）

注) ○ は協力、● は非協力を表す。

図3 総収穫労働者数の各シナリオにおける非協力ゲームの結果

総収穫労働者数が「少ない」または「とても少ない」の場合、上流群と下流群がともに「非協力」の労働資源配分の戦略の組み合わせが、ナッシュ均衡かつパレート最適である。

図は Okura et al. (2022) より引用（転載・改変許諾済）

セルラーゼ酵素を使用せずに「微生物の培養だけ」でセルロースを糖化する技術

新たに同定した好熱嫌気性細菌 *Thermobrachium celere* A9 菌は、セルロースが糖化されたセロビオースをグルコースに加水分解するβ-グルコシダーゼを菌体外に生産する。セルロース高分解菌 *Clostridium thermocellum* と共培養することで、セルラーゼ酵素を使用することなくセルロースバイオマスを経ルコースに変換できるため、効率的で安価なセルロース糖化技術となる。

キーワード：微生物糖化、β-グルコシダーゼ、*Thermobrachium celere*、*Clostridium thermocellum*、セルロース

背景・ねらい

大規模農業生産により副次的に生じる膨大な量の農産廃棄物や、我々の生活から廃棄される繊維や古紙などのセルロースバイオマスは、自然界での分解が難しく、これらのセルロースバイオマスの廃棄や焼却によって発生する温室効果ガス排出量は、世界全体で3億トン以上になると言われる。一方、セルロースバイオマスは地球上で最も豊富な資源とされており、有効な利用が求められている。その分解・糖化には、これまでカビによって生産されるセルラーゼ酵素を大量に使用することが必要であった。しかし、セルラーゼ酵素はリサイクルが難しく、その購入コストも高いため、低コスト化が求められていた。

成果の内容・特徴

1. 好熱嫌気性セルロース高分解菌 *Clostridium thermocellum*（以降、「セルロース高分解菌」とセルロースが糖化されてできたセロビオースを加水分解する酵素「β-グルコシダーゼ」を菌体外に生産する菌を共培養することで、セルロースからグルコースを直接生産することができる「微生物糖化法」を開発する。
2. 人工基質であるエクセリンを用いたスクリーニングにより、排水汚泥から「β-グルコシダーゼ」を菌体外に生産する好熱嫌気性 *Thermobrachium celere* A9 菌（NITE P-03454）（以降、「A9 菌」）が単離される（図1）。
3. セルロース高分解菌は、糖化してできたセロビオースをそのまま利用し、菌体外にはβ-グルコシダーゼ活性がないため、セロビオースとして培養液中に残る。一方、新たに同定した A9 菌は、セルロースを糖化することはできないが（図 2A△・▲）、菌体外に強力なβ-グルコシダーゼを生産する非常に珍しい細菌である（図 2A○）。菌体外に生産されたβ-グルコシダーゼは、セルロース高分解菌がセルロースを糖化してできたセロビオースを経ルコースへ変換する（図 2A●）。
4. グルコースはセルロース高分解菌による利用優先度が低い（図 2A■）。A9 菌もグルコースの利用優先度が低く、セロビオースを好んで利用する。

5. セロビオースは、一般的に微生物の生産するセルラーゼ酵素の働きにブレーキをかける役割を持つ。一方、グルコースはブレーキとならない。本方法の場合、A9 菌が生産するβ-グルコシダーゼによりセロビオースがグルコースに分解されてしまうため、セルロース高分解菌の生産するセルラーゼ酵素にブレーキが掛けられず、そのまま働き続ける。その結果、セルロースは高効率に分解されると同時に、グルコースが培養液中に蓄積される（図 2B）。
6. 「微生物糖化法」は、セルラーゼ酵素を使用せず、微生物の培養だけでセルロースを経ルコースに糖化する画期的な技術である。

成果の活用面・留意点

1. 微生物糖化法により蓄積されるグルコースは非常に使いやすい糖の一つで、エタノール、油脂、有機酸、アミノ酸、プラスチック原料へ容易に変換できる。
2. 微生物は何度でも繰り返し培養でき、増殖の際に自らセルロース分解に必要な酵素を生産するため、セルラーゼ酵素の購入が不要となる。これによってバイオマス糖化の低コスト化が図られる。
3. セルロースバイオマスの種類によっては、水熱爆砕やアルカリ処理など前処理が必要となる。

その他

予算区分：交付金 [A2 カーボンサイクル（第5期）、C2 アジアバイオマス（第4期）]
研究期間：2017～2022 年度
研究担当者：小杉 昭彦・鶴家 綾香（生物資源・利用領域）、Nhim S・Waeonukul R・Baramree S・Ratanakhanokchai a K・Tachaapaikoon C・Pason P（キングモンクット工科大学）
発表論文等：Nhim et al. (2022) *Applied Microbiology and Biotechnology* 106: 2133–2145. <https://doi.org/10.1007/s00253-022-11818-0>
JIRCAS ホームページプレスリリース記事 2022 年 6 月 2 日 <https://www.jircas.go.jp/ja/release/2022/press202203>
特許：特願 2021-074485 号

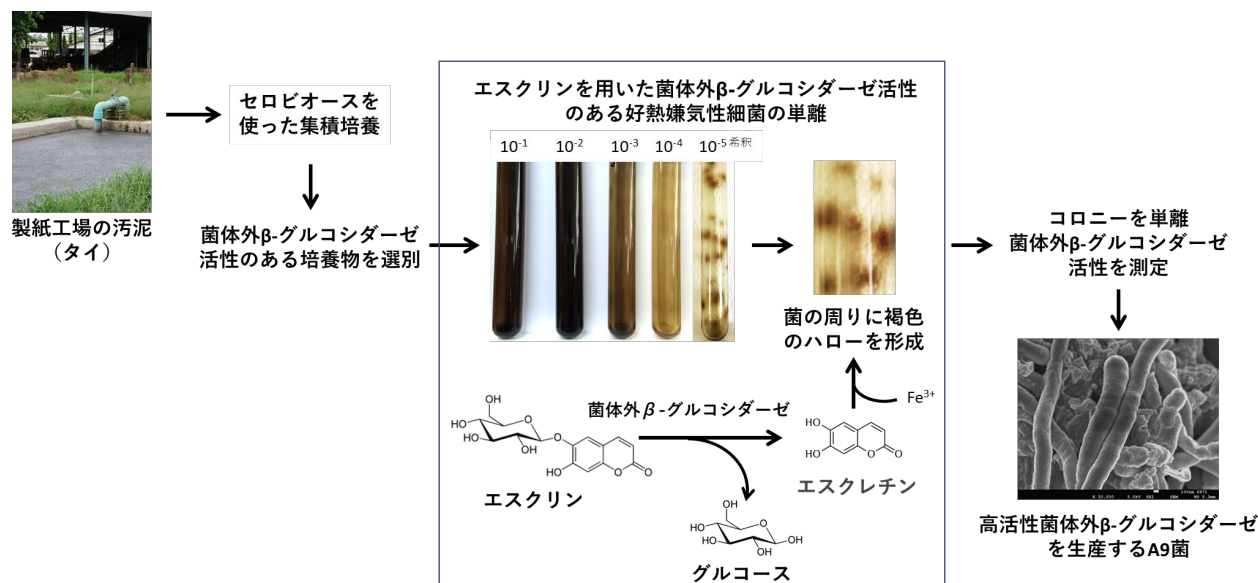


図1 エクスクリンを用いた菌体外β-グルコシダーゼを生産する好熱嫌気性細菌（A9菌）の単離

菌体外β-グルコシダーゼを生産する菌は、培地中のエクスクリンが分解され、エスクリチンとなり、鉄イオンと結合し暗褐色のエスクリチン鉄となり、生産菌の周囲に褐色のハローを形成する。

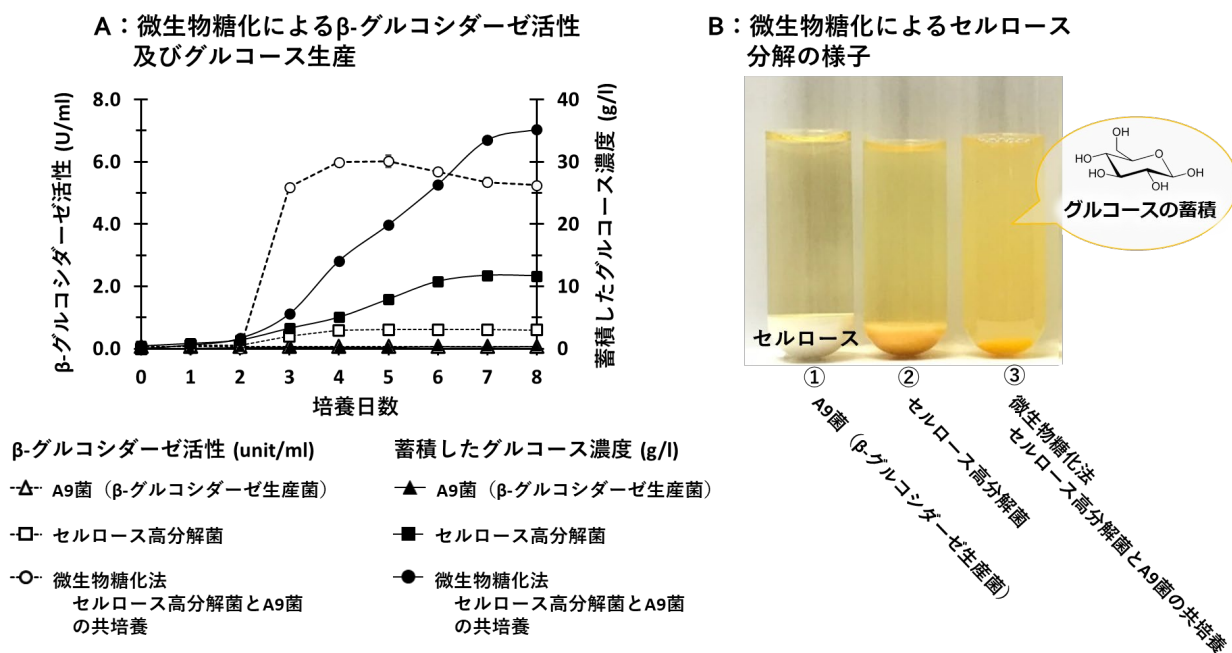


図2 「微生物糖化法」によるセルロースからのグルコース生産(A)とセルロース糖化(B)

A9菌は、セルロースを糖化することはできない（図A▲・△、△は▲に重なっている）。セルロース高分解菌は（図A□）、セルロースは分解できるが、グルコースの生産は少量となる（図A■）。一方、セルロース高分解菌とA9菌の共培養（微生物糖化法）では、セルロース糖化により生産されるセロビオースをA9菌の菌体外β-グルコシダーゼ（図A○）により、グルコースにする（図A●）。微生物糖化法によるグルコースの蓄積（図B③）。

図は Nhima et al. (2022) より引用（転載・改変許諾済）

フタバガキ科樹種 *Shorea leprosula* の成長特性の地域個体群間差

異なる産地の個体を共通の環境で栽培して特性を評価するコモンガーデン試験により、東南アジア地域の有力な林業樹種の一つである *Shorea leprosula* の伸長成長とカイガラムシ耐性の地域個体群間差が検出できる。得られる知見は、*S. leprosula* の植栽木としての優良個体を探索する際の手がかりとなる。

キーワード：マレーシア、コモンガーデン試験、カイガラムシ、熱帯林、フタバガキ科

背景・ねらい

過度な森林伐採により、東南アジア諸国におけるフタバガキ科樹種が優占する熱帯林の劣化・減少が問題となっている。更に、気候変動の熱帯林への影響が顕在化してきており、より多様な遺伝資源の特性把握による、フタバガキ科樹種の持続可能な造林技術の確立が急務である。フタバガキ科樹種の一つである *Shorea leprosula* は、マレーシア半島でも広範囲に分布し、実生の選択と樹木の改良に十分な遺伝的多様性を持ち、有力な林業樹種の一つと考えられる。その一方で、天然林において害虫被害をもたらすカイガラムシの気候変動による増加が懸念されており、詳細データの収集が重要となってきている。そこで本研究では、マレー半島の異なる森林保護区から得た *S. leprosula* の苗を用いたコモンガーデン試験^{*}において、遺伝的に異なる個体群間における成長特性の差異の検出と、単一樹種の植林において頻繁に問題となるカイガラムシ被害に対する抵抗性評価を行う。

^{*}異なる産地の個体を共通の環境で栽培する試験。

成果の内容・特徴

1. ゲノムワイド関連研究を通じて、フタバガキの複雑な量的形質の遺伝的基盤を解明するためのコモンガーデンがマレーシア森林研究所(FRIM)に設置された（図1A）。このコモンガーデンにおいて、マレー半島の異なる地域の森林保護区9地域個体群から得たフタバガキ科樹種 *Shorea leprosula* の苗（図1B）を乱塊法により40反復で育成する（図1C）。
2. 樹高の相対成長率は、個体群P7において最も高く、ボンフェローニ調整済みの多重比較の結果、個体群P2、P4およびP9に対して有意な差があり（図2、 $p < 0.05$ ）、個体群P1、P3、P5、P6およびP8に対して有意な差は認められない（ $p > 0.05$ ）。
3. カイガラムシ(*Pedroniopsis* sp.)の付着数が調べられた結果（図3A）、個体群P7において最も低く、ボンフェローニ調整済みの多重比較の結果、個体群P3およびP9に対して有意な差があり（ $p < 0.05$ ）、個体群

P1、P2、P4、P5、P6 および P8 に対して有意な差は認められない（ $p > 0.05$ ）。

4. 9地域個体群から得たフタバガキ科樹種について、P7は他の8樹種とは異なる林業樹種としての優れた形質を持つことがわかり、このことは植栽木としての優良個体を探索する際の手がかりとなる。

成果の活用面・留意点

1. 本成果は、地域個体群間差を考慮した植栽計画の立案や植栽木としての *S. leprosula* の優良個体を探索する際の手がかりとなる。
2. コモンガーデンはゲノムワイド関連研究のためのプラットフォームとしての活用が期待されるとともに、今後は *S. leprosula* の個体レベルでの遺伝的な差異と表現型との対応関係を詳細に調べる必要がある。

その他

予算区分：交付金 [A4 環境適応型林業（第5期）]

研究期間：2021～2022年度

研究担当者：諏訪鍊平（林業領域）、Ng CH・Ng KKS・Lee SL・Lee CT・Tnah LH（マレーシア森林研究所）

発表論文等：Ng et al. (2022) Growth performance and scale insect infestation of *Shorea leprosula* in a common garden experimental plot. *Journal of Forestry Research*. <https://doi.org/10.1007/s11676-022-01510-4>

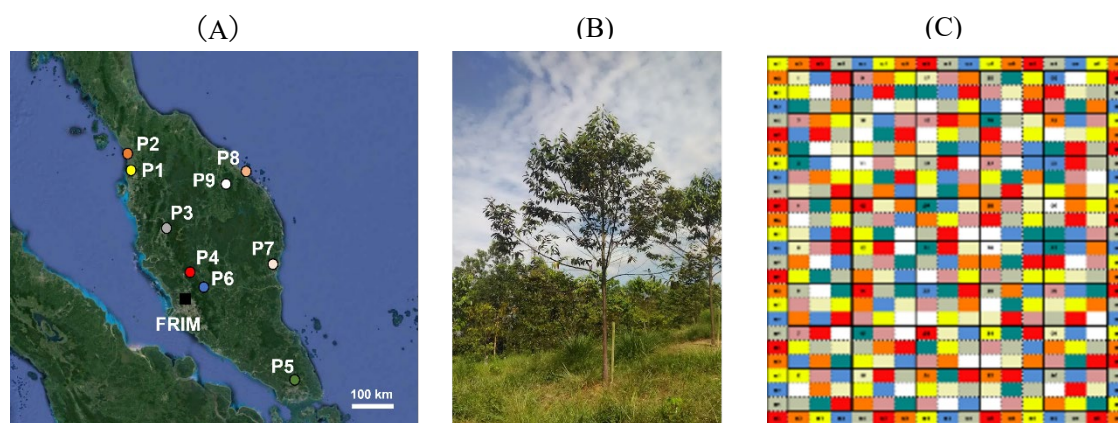


図1 マレー半島における *Shorea leprosula* 苗の採取地とマレーシア森林研究所(FRIM)（A）、コモンガーデンに植栽された *S. leprosula*（B）およびコモンガーデン試験における乱塊法（C）

（A）丸の印は *S. leprosula* の苗を採取した森林保護区を、四角の印はコモンガーデン試験を実施したマレーシア森林研究所(FRIM)の位置を、図中の数字は各採取地の地域個体群 ID を示す。（B）植栽3年後の *S. leprosula* 個体。（C）異なる色は異なる地域個体群の苗が植栽されたことを意味する。

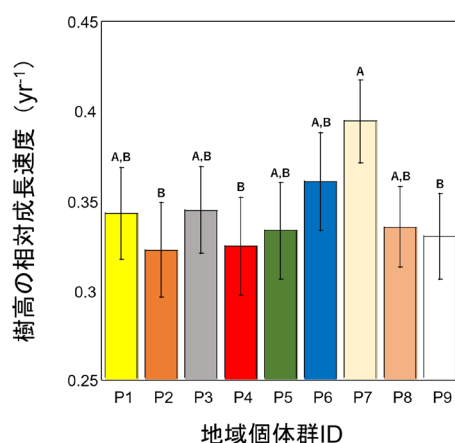


図2 各地域個体群の樹高の相対成長速度

異なるアルファベットは有意差があることを示す（ $p < 0.05$ ）。

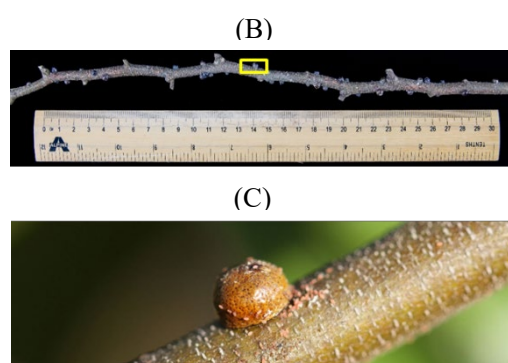
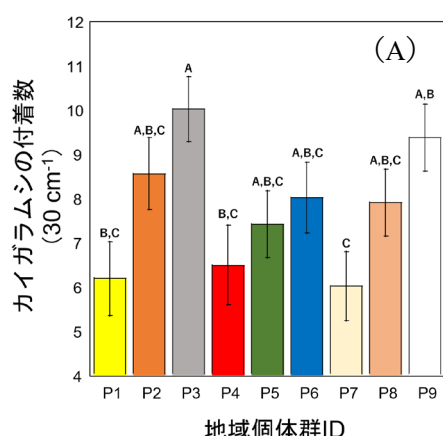


図3 各地域個体群の枝に付着したカイガラムシの個体数（A）、カイガラムシが付着した枝の例（B）およびカイガラムシが付着している拡大図（C）

（A）各個体につき、30 cm の枝を3本採取してカイガラムシの付着数を数え、その平均値を各地域個体群について示す。

（B）カイガラムシが付着した枝の例。黄色のボックスは、1個体のカイガラムシ（*Pedroniopsis* sp.）が付着した場所を示す。

図は Ng et al. (2022) より転載/改変して作成
クリエイティブ・コモンズ・ライセンス (CC-BY 4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ja>

葉脈の構造は熱帯林樹木の葉の丈夫さと光合成能力に関係している

熱帯林樹木の葉脈構造は、葉を光に透かせば判別でき、その構造は葉の丈夫さと光合成能力に関係している。葉を光に透かした際に、葉脈網が明瞭な樹木は葉が丈夫で明るい環境で光合成が高く、不明瞭な樹木は暗い環境での光合成に有利であったことから、葉脈構造は、樹木の機能的特性の簡便な指標としての利用が期待される。

キーワード：熱帯林業、植栽環境、葉の丈夫さ、食害、光合成

背景・ねらい

東南アジアの熱帯雨林は、活発な光合成活動によって二酸化炭素を吸収し、気候変動の緩和に不可欠であるが、森林の回復速度を超えた過剰な伐採などにより劣化が進み、植林による資源回復が求められている。劣化した森林の環境は元の森林と異なるため、植栽を成功させるためには植栽地の環境に適した樹種を選択する必要がある。これまでは樹種特性を十分把握しないまま植林が行われ生育不良や枯死がおこっている。一方熱帯雨林の多様な樹種の特性を1種ずつ検証することは困難である。そこで、観察が容易な葉に着目し、葉の形態から樹木の特性を簡便に把握する手法の開発を行う。

成果の内容・特徴

1. 本研究では、葉脈の構造に着目する。樹木の葉は大きく2種類の葉脈構造に分類でき、葉を光に透かした際に、葉脈網が明瞭に見える葉は異圧葉と呼ばれ、不明瞭な葉は等圧葉と呼ばれる。前者は葉脈の周りに透明な繊維質の組織（維管束鞘延長部）があるため光が透過するが、後者はこの組織を欠く（図1）。
2. マレーシアの熱帯雨林で、100 樹種以上の葉の丈夫さと光合成を森林の高さ方向と、葉脈構造に着目して調べる。葉の丈夫さと光合成は樹種に関係なく樹高とともに増加し、葉脈の構造が関係する（図2）。樹高が高く強い光を受ける環境では、異圧葉のほうが等圧葉に比べて丈夫で光合成も高い。
3. 高木になる樹種は異圧葉を持つ割合が高く、低木種は等圧葉を持つ割合が高い。異圧葉は、繊維質の組織を持つため丈夫でかつ、葉内に光が十分透過するため葉全体の光合成が高くなると考えられ、明るく葉の防御力が求められる環境で有利な樹木といえる。一方、等圧葉は、繊維質の組織の代わりに葉緑体を持つ細胞を隙間無く配置し、弱い光を効率的に利用できるため、暗い環境での光合成が有利になる特徴を持つ。

成果の活用面・留意点

1. 葉脈の構造は、熱帯雨林の多様な樹種の中から丈夫で食害に強い樹種や、暗い環境に強い樹種を選ぶ際の簡便な指標としての利用が期待できる。
2. 樹木の環境への適応能力は葉脈の構造だけでは決まらないことに留意が必要である。例えば、寒さや乾燥への耐性は木材の比重など他の形質が関係している可能性が高いため、どのような形質が指標として利用できるのか多面的に明らかにし、葉脈構造と組み合わせることで植林による資源回復のためにより精度の高い樹種選択の判定に利用できるよう改良が必要である。

その他

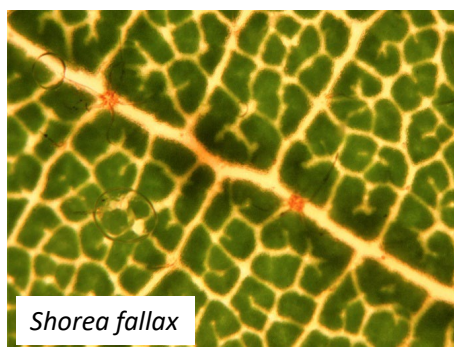
予算区分：交付金 [A4 環境適応型林業（第5期）]

研究期間：2021～2022 年度

研究担当者：田中憲蔵（林業領域）、Mohizah M（マレーシアサラワク森林局）、市栄智明（高知大）

発表論文等：Kenzo et al. (2022) *Frontiers Forest Global Change* 5:1002472. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2022.1002472>

葉脈が明瞭（異圧葉）



葉脈が不明瞭（等圧葉）



葉の断面の比較

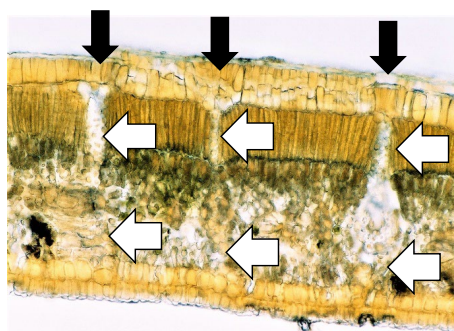


図1 葉を光に透かした際の見え方と葉脈の構造

広葉樹は光に透かしたときに葉脈が明瞭な樹種（異圧葉、左）と不明瞭な樹種（等圧葉、右）に分かれる。異圧葉は維管束（黒矢印）の周りに透明な繊維質の組織からなる維管束延長部（白矢印）があるため光が透過し、葉脈の網目が明瞭である。

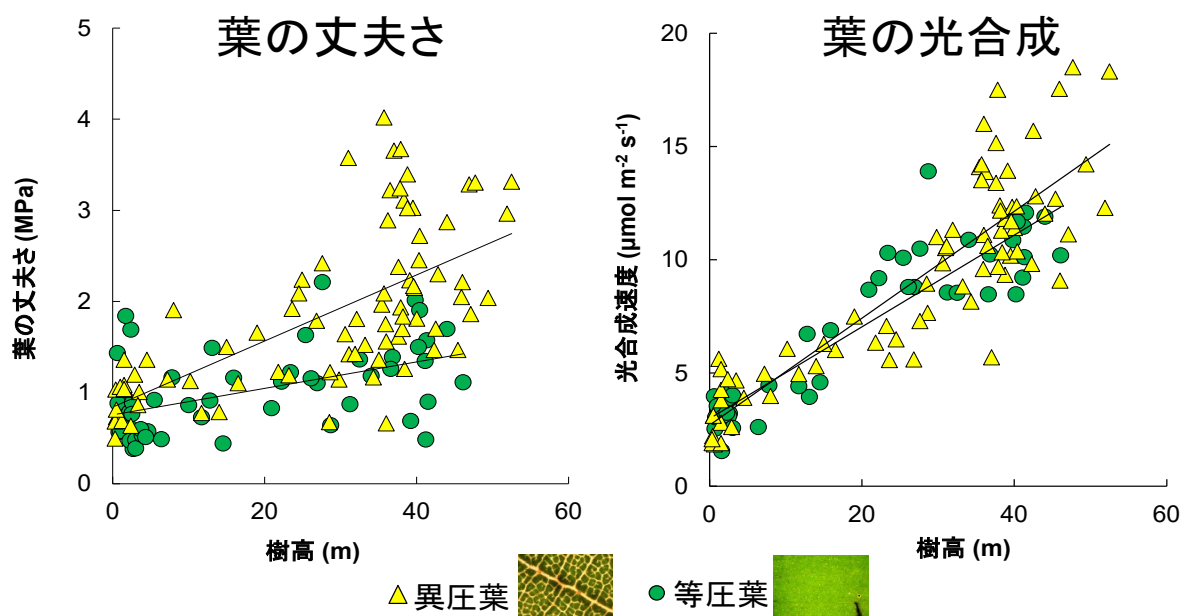


図2 熱帯林における葉の丈夫さ（左）と光合成（右）の高さ方向の変化

葉の丈夫さと光合成は樹高とともに増加する。強い光を浴び強風にさらされる樹高が40m前後の高木では、異圧葉樹種の方が、等圧葉樹種に比べて葉が丈夫で光合成も高い傾向を示す。

図は Kenzo et al. (2022) より転載/改変して作成

クリエイティブ・コモンズ・ライセンス (CC-BY 4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ja>

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

サトウキビと根が深く発達する近縁属植物エリアンサスとの属間交配を利用して作出した属間雑種 F_1 は、サトウキビより全乾物重や土壌深層の根量が多い。また、サトウキビより全窒素吸収量や窒素利用効率が高く、窒素溶脱量が少ない。この属間雑種を品種開発に利用することで、環境負荷を低減するサトウキビ品種の作出が期待できる。

キーワード：エリアンサス、環境保全、サトウキビ、属間雑種、窒素溶脱、ライシメーター

背景・ねらい

熱帯・亜熱帯の島嶼・沿岸地域では、農地と自然環境や人間生活の場との距離が近接しており、肥料を起源とする農地からの栄養塩類の流亡による富栄養化が問題となっている。サトウキビ（*Saccharum* spp.）は、それら地域の主要な作物の一つとして栽培されているが、農地からの硝酸態窒素の溶脱が問題となっており、本作物の窒素利用効率を向上させ、窒素溶脱量を低減させることが環境保全に必要である。本作物の窒素利用に関し、施肥方法等の営農的対策に関する研究が進められてきたが、育種的試みは少ない。サトウキビの近縁属植物エリアンサス（*Erianthus arundinaceus*）は、サトウキビより根系発達が旺盛で、硝酸態窒素を好んで吸収する特性がある。したがって、エリアンサスとの属間交配を通して作出されるサトウキビは根系が改良され、窒素利用特性が改善される可能性がある。

本研究では、地下からの浸透水を観測できる沖縄県石垣市の熱帯・島嶼研究拠点のライシメーターを用いて、サトウキビとエリアンサスの属間雑種 F_1 系統および親系統を夏植え栽培し（図1）、窒素施肥後の硝酸態窒素溶脱および作物体の窒素吸収量、根の分布を調査し、属間交配による窒素利用効率の改良可能性を明らかにする。

成果の内容・特徴

1. 属間雑種 F_1 およびエリアンサスはサトウキビに比べ、土壌深層部の根量が多い（図2）。
2. 浸透水の硝酸態窒素濃度は各施肥日から2か月程でピークが出現する。特に、2回目の施肥後の硝酸態窒素濃度はエリアンサスおよび属間雑種 F_1 に比べ、サトウキビでのみ顕著である（図3）。
3. 生育期間で積算した窒素溶脱量は、サトウキビで最も高く、属間雑種 F_1 （ $P = 0.056$ ；対サトウキビ）やエリアンサス（ $P < 0.001$ ；対サトウキビ）で低い（表1）。
4. 属間雑種 F_1 およびエリアンサスはサトウキビに比べ全乾物重が有意に高い（表1）。また、地上部重/根重

比が低く、根へ多くの乾物を分配する。さらに、深根性指標である根の深さ指数が高い。

5. 全窒素吸収量は、サトウキビに比べ、エリアンサスで高い傾向であり（ $P = 0.111$ ）、属間雑種 F_1 では有意に高い（ $P < 0.05$ ）（表1）。
6. 全乾物重を全窒素吸収量で除した窒素利用効率は、サトウキビに比べ属間雑種 F_1 およびエリアンサスで有意に高い（ $P < 0.01$ ；対サトウキビ）（表1）。

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 F_1 は、窒素溶脱低減に資するサトウキビ品種育成に利用できる。
2. サトウキビとエリアンサスとの属間雑種 F_1 は、窒素利用効率が高いため、窒素肥料削減に資するサトウキビ品種育成に利用できる可能性がある。これは「みどりの食料システム戦略」の化学肥料の使用量削減に貢献する。
3. 供試した属間雑種 F_1 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、サトウキビ品種との戻し交配を通じた糖含率の改良が必要である。
4. 属間雑種 F_1 の高い窒素利用効率は、サトウキビ親と比較して根系が良く発達することを要因とする可能性がある。他方、硝酸態窒素の吸収特性も窒素利用効率に関係する可能性があることから、今後重窒素トレーサー法を用いた施用試験により検討していく必要がある。

その他

予算区分：交付金 [A5 熱帯島嶼環境保全（第5期）]

研究期間：2020～2021年度

研究担当者：寶川拓生・岡本健・寺島義文・安西俊彦（熱帯・島嶼研究拠点）

発表論文等：Takaragawa et al. (2022) *Plant Production Science*, 25, 298–310. <https://doi.org/10.1080/1343943X.2022.2097098>



図1 ライシメーターにおける栽培試験の様子

2020年9月から2021年5月にかけてライシメーターでサトウキビ（NiF8）、エリアンサス（JIRCAS1）、属間雑種F₁（J08-12）の3系統を4反復で栽培した。



図2 収穫時の根量比較

数値は土壌深層部の根量を表し、全系統間で有意な差が認められた。

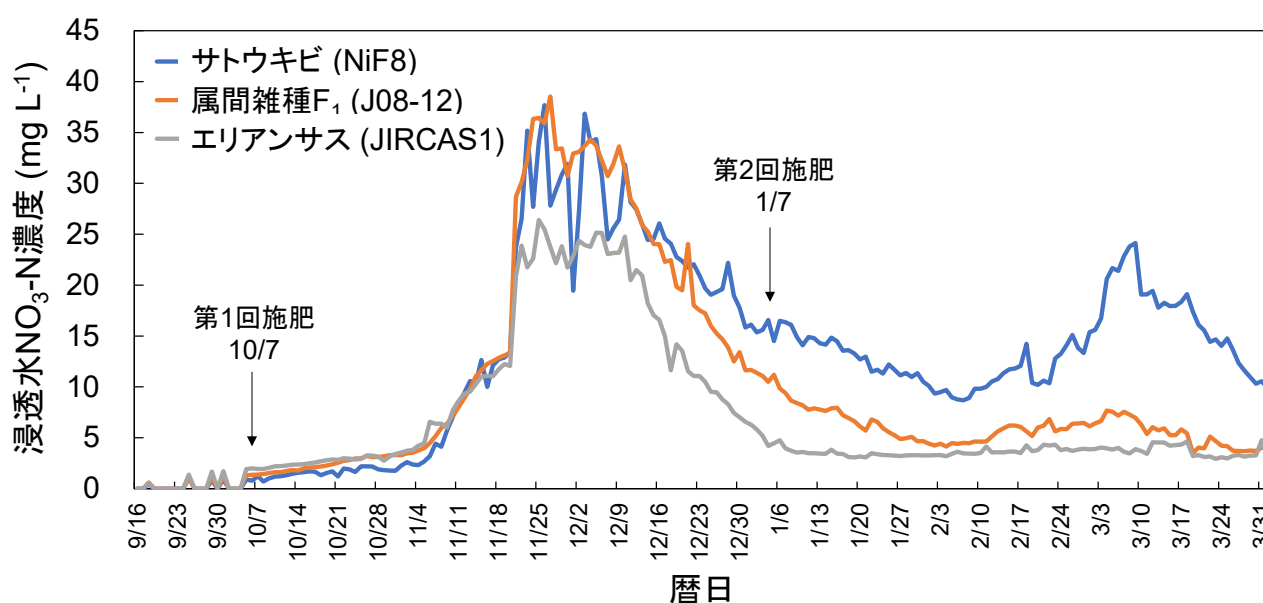


図3 各系統栽培下における地下浸透水中の硝酸態窒素濃度の推移

調査は2020年9月から2021年3月にかけて行った。矢印は各施肥日を表す。

表1 各系統の窒素利用特性および乾物分配特性

系統	硝酸態窒素 溶脱量 (kg ha ⁻¹)	全乾物重 (ton ha ⁻¹)	地上部重 / 根重比	根の 深さ指数 (cm)	全窒素吸収量 (kg ha ⁻¹)	窒素 利用効率 (g gN ⁻¹)
サトウキビ (NiF8)	42.6 b	17.0 a	30.7 c	24.8 a	104.5 a	163.5 a
属間雑種F ₁ (J08-12)	32.4 b	27.6 b	24.8 b	31.6 b	136.3 b	202.4 b
エリアンサス (JIRCAS1)	17.8 a	26.4 b	6.4 a	35.7 b	128.3 ab	206.7 b

地上部重/根重比は、地上部乾物重を根の乾物重で除した比を表し、根への乾物分配が多いと値が低くなる。根の深さ指数は深根性指標で値が大きいほど深根であることを示す。窒素利用効率は、全乾物重を全窒素吸収量で除して算出した。異なるアルファベットは5%水準で有意な系統間差があることを示す（Tukey法、n=4）。

図表は Takaragawa et al. (2022) より引用（転載・改変許諾済）

河川水中の栄養塩類濃度は土地利用などの流域特性から機械学習で予測できる

機械学習手法を用いて、熱帯島嶼の河川水に含まれる栄養塩類（窒素、リン、ケイ素）の濃度は、土地利用などの流域特性を説明変数として高い精度で予測できる。また、同手法により算出される各流域特性の重要度から、栄養塩類に対して特に寄与の大きい流域特性を同定できる。本成果は、陸域から流入する栄養塩類の量を適正に管理し、健全な沿岸生態系を保全するための施策立案に活用できる。

キーワード：沿岸生態系、環境負荷、熱帯島嶼、ランダムフォレスト、流域管理

背景・ねらい

熱帯島嶼の周辺には、サンゴ礁など生物多様性が高く、観光・漁業資源としても重要な沿岸生態系が発達している。一方、近年の気候変動に伴う海洋環境の変化（海水温の上昇、海洋酸性化など）に加えて、陸域での農業生産や土地開発などに起因する過剰な栄養塩（窒素、リン）の流入による、沿岸域の水質悪化や生態系への悪影響が懸念されている。さらに、主要な植物プランクトンである珪藻の生育に必要なケイ素に対して窒素やリンが過剰に供給されると、珪藻以外の植物プランクトンが増え、漁業被害を引き起こす赤潮などの発生に繋がる可能性も指摘されている。

そこで本研究では、熱帯島嶼の一つである石垣島（沖縄県）内の複数の河川において定期的に水質調査を実施し（図1）、河川水中の栄養塩類（窒素、リン、ケイ素）濃度を測定する。そしてこれらの栄養塩類濃度と流域の土地利用や地質などの特性との関係について機械学習手法を用いて解析することにより、それらの流域特性が各栄養塩類濃度に対してどのように影響を及ぼしているかを評価する。

成果の内容・特徴

1. 水質調査結果をもとに、機械学習手法の一つであるランダムフォレスト(RF)を用いて、流域特性（土地利用および表層地質の各タイプの面積割合、人口密度）を説明変数として各栄養塩類濃度を予測するモデルが得られる。
2. 水質調査から得られた実測値に対するモデル予測値の回帰直線の決定係数(R^2)は、学習データで 0.87 ~ 0.96、検証データで 0.69 ~ 0.88 と高く、実測値とのずれを表す PBIAS（実測値の平均値に対する実測値と予測値との差の平均値の割合）も同じく -0.33 ~ 0.36%、-1.30 ~ -0.06% と小さい。したがって、RF モデルは栄養塩類濃度を高い精度で予測できることが分かる（図2）。
3. RF モデルにおける各流域特性の重要度、ならびに栄養塩類濃度と各流域特性との相関係数から、栄養塩類に対して特に寄与の大きい流域特性が同定でき

る。窒素およびリンに対しては、特にサトウキビ畑や畜舎など農業に関連する土地利用の寄与が大きく、それらの面積割合が大きい河川ほど濃度が高いことが分かる（図3）。石垣島ではサトウキビ栽培および肉牛の飼育が盛んに行われていることから、これらの農業生産活動が河川の栄養塩濃度に強い影響を与えていると考えられる。

4. 一方、ケイ素に対しては、特に森林（広葉樹林）の寄与が大きく、その面積割合が大きい河川ほど濃度が高いことが分かる（図3）。

成果の活用面・留意点

1. 本研究で作成した RF モデルは、対象とする流域の土地利用や地質などのデータがあれば比較的簡便な操作で予測値を算出できることから、栄養塩負荷に関して監視・対策が必要な流域の選定など、沿岸域の水質・生態系保全のための施策立案に活用できる。
2. 本 RF モデルは、今後の土地利用管理の変化に伴う栄養塩類濃度の変化の予測にも応用できる可能性があるが、その結果の妥当性については、流域における水や物質の移動、反応に係る各プロセスを数式化した分布型流出モデルによる計算結果等と比較、検証する必要がある。

その他

予算区分：交付金プロ [A5 熱帯島嶼環境保全]

研究期間：2020～2022 年度

研究担当者：菊地哲郎（生産環境・畜産領域）、安西俊彦（熱帯・島嶼研究拠点）

発表論文等：Kikuchi et al. (2023) *Environmental Pollution* 316: 120599. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120599>.

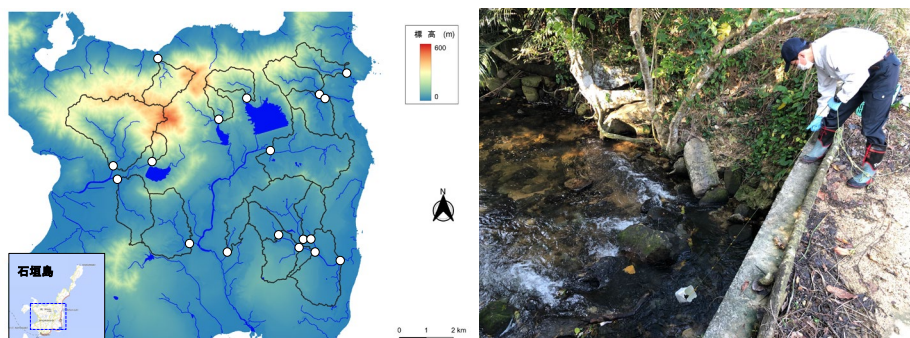


図1 調査対象地域の地図
(左) および水質調査の様子(右)

地図上の○は調査地点を、黒の実線で囲まれた領域は各調査地点における河川流域を示す。調査は、約2ヶ月に1回の頻度で1年間実施。

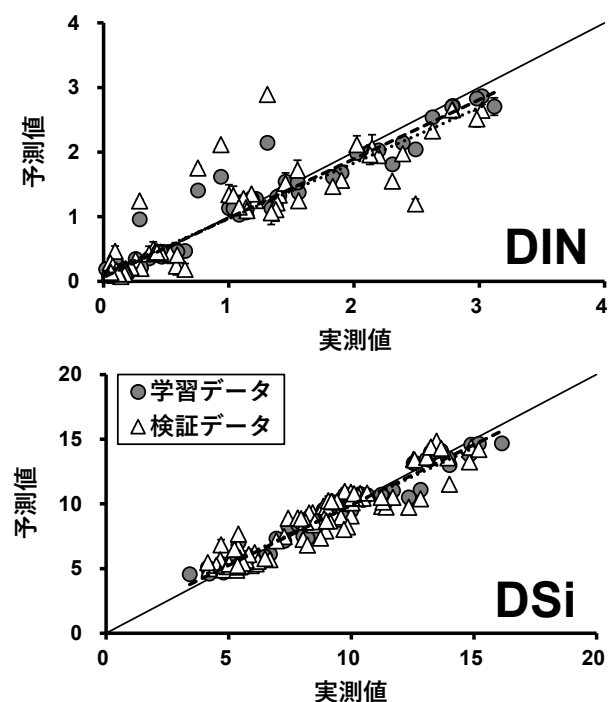


図2 各栄養塩類濃度（単位はいずれも mg/L）の実測値と RF モデルによる予測値との関係

DIN：溶存無機態窒素、TP：全リン、DSi：溶存態ケイ素。全データセットをランダムに5等分し、そのうちの4つを統合したものを学習データ、残りの1つを検証データとして、学習データ（計5通りの組み合わせのそれぞれ）についてのモデルを作成する。この操作を3回繰り返し、得られた計15個のモデルによる計算値の平均値を予測値とする。実線は実測値＝予測値、破線は学習データについての回帰直線、点線は検証データについての回帰直線。

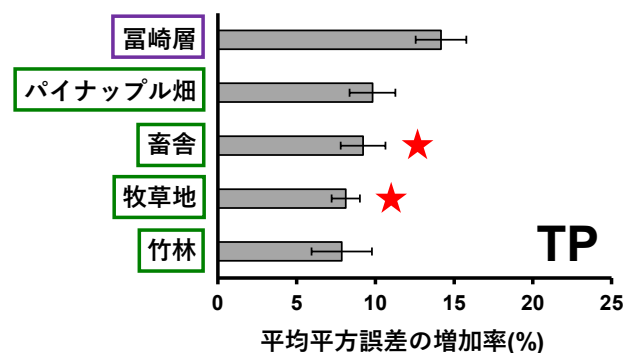
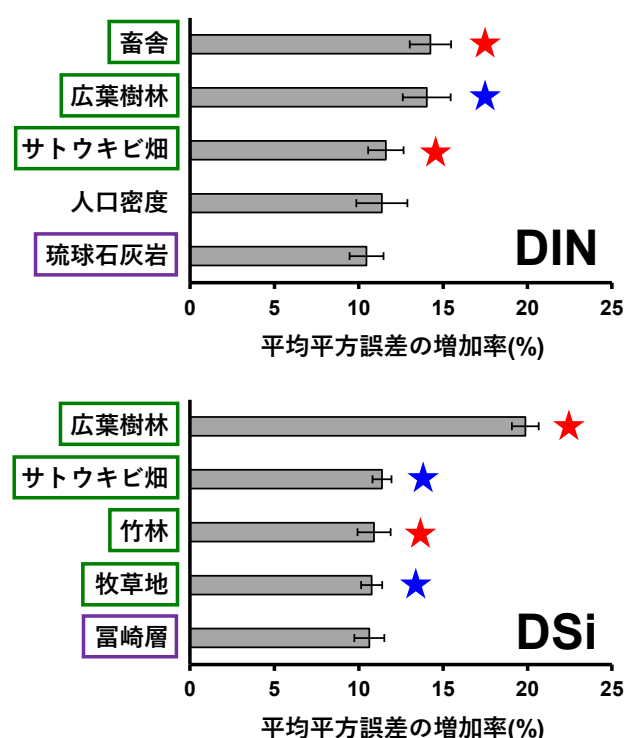


図3 各栄養塩類濃度に対する各流域特性の重要度（上位5特性のみ表示）

当該特性の値をランダムに入れ替えた場合の予測値の平均平方誤差の増加率が大きい特性ほど、栄養塩濃度に対する重要度が大きいと判断される。□は土地利用、□は表層地質。★は当該水質と強い正の相関（スピアマンの順位相関係数(r_s)が0.7以上）がある特性、★は当該水質と強い負の相関（ r_s が-0.7以下）がある特性をそれぞれ表す。

図は Kikuchi et al. (2023)より引用（転載・改変許諾済）

カットソイラーによる浅層暗渠は土壌塩分を軽減する

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」による浅層暗渠は、排水不良に伴う土壌塩類化の軽減に貢献する。インド北部のヒンドゥスターン平野において、同手法は土壌塩分を施工から4ヵ月後に8%、1年4ヵ月後に32%減少させる。

キーワード：土壌塩類化、排水改良、浅層暗渠、カットソイラー

背景・ねらい

インド北部のヒンドゥスターン平野では、地下水を水源とした管井戸灌漑の導入により、農業生産が飛躍的に向上した。しかし、高塩分濃度の地下水を用いた灌漑と圃場の排水不良に伴う塩分の残留によって土壌の塩類化が深刻化しており、砂漠化の一因となっている。圃場に集積した塩分を除去するには、排水路や暗渠排水を整備する必要があるが、初期投資や維持管理費が必要となるため、農家による実施が困難な状況にある。そこで、本研究では、農家に取り組める持続的な排水対策を構築するため、日本で開発されたトラクターアタッチメントである「カットソイラー」による浅層暗渠を現地に施工し、その除塩効果を検証する。本技術は、カットソイラーを装着したトラクターによる牽引・走行のみで、安価で容易に浅層暗渠を施工できることから、開発途上地域の農家が営農活動の一環として実践できる塩類化対策として有望である。

成果の内容・特徴

1. 従来、有材暗渠の造成には、土中に埋設する疎水材を事前に準備し、人力や機械で施工機に積込む必要がある。カットソイラーによる浅層暗渠の施工では、それらの作業が不要で、圃場面に散在している稲・麦ワラなどの収穫残渣を、カットソイラーを装着したトラクターによる走行のみで土中に埋設することができ、安価で容易に暗渠孔を構築することができる。
2. カットソイラーによる浅層暗渠の施工方法は、土を逆台形状に切断して持ち上げて深さ40-60 cmまでに隙間をつくり、その隙間に地表面の残渣を120 cmの幅で掻き寄せて落とし込み、暗渠孔を造成する（図1）。
3. カットソイラーにて造成される浅層暗渠（深さ約60cm）により、土壌塩分（EC_e：飽和土壌から抽出した溶液の電気伝導度）は未施工区と比べ、4ヵ月後に約8%（有意差無し）、1年4ヵ月後に32%（ $p=0.047$ ）減少する（図2）。
4. 収量は未施工区と比べ、造成直後の乾季作（11～

3月：カラシナ）において4%（有意差無し）、その後の雨季作（6～9月：トウジンビエ）において約23%（ $p=0.048$ ）向上する（図3）

成果の活用面・留意点

1. カットソイラーによる浅層暗渠の施工方法を冊子として紹介することで、インド国中央塩類土壌研究所（CSSRI）の塩類化対策への利用が期待される。
2. 圃場内および圃場周辺の排水路状況により、カットソイラーによる浅層暗渠の施工方法が異なるため、事前に排水路の整備状況を確認しておく必要がある。
3. カットソイラーは輸送用の車輪を備えていないため、長距離移動の際には、トラックに積み込む必要がある。
4. カットソイラーの耐用年数は、年間30-50hの施工で約7年間を想定している。なお、フレームに支障がなければ、消耗品の交換により継続利用が可能。

その他

予算区分：交付金「A6 持続的土地管理（第5期）」

研究期間：2018～2022年度

研究担当者：大西純也・幸田和久・松井佳世（農村開発領域）、安西俊彦・岡本健（熱帯・島嶼研究拠点）、李根雨（社会科学領域）、渡辺武（企画連携部）、大森圭祐（情報広報室）、北川巖（農研機構）、Chaudhari SK（インド農業研究委員会）、Yadav RK・Yadav G・Neha・Rai AK・Kumar S・Narjary B・Sharma PC.（インド中央塩類土壌研究所）

発表論文等：

- 1) 安西ら. (2021) 水土の知 90 (2): 31-35.
- 2) Onishi et al. (2021) *Journal of Soil Salinity and Water Quality* 13(2), 157-163.
- 3) Onishi et al. (2022) *Journal of Arid Land Studies* 32 (S), 83-87. https://doi.org/10.14976/jals.32.S_83
- 4) Anzai et al. (2022) *Journal of Arid Land Studies* 32(S), 107-111. https://doi.org/10.14976/jals.32.S_107
- 5) Okamoto et al. (2022) *Journal of Arid Land Studies* 32(S), 221-226. https://doi.org/10.14976/jals.32.S_221
- 6) Neha et al. (2022) *Journal of Arid Land Studies* 32(S), 117-122. https://doi.org/10.14976/jals.32.S_117

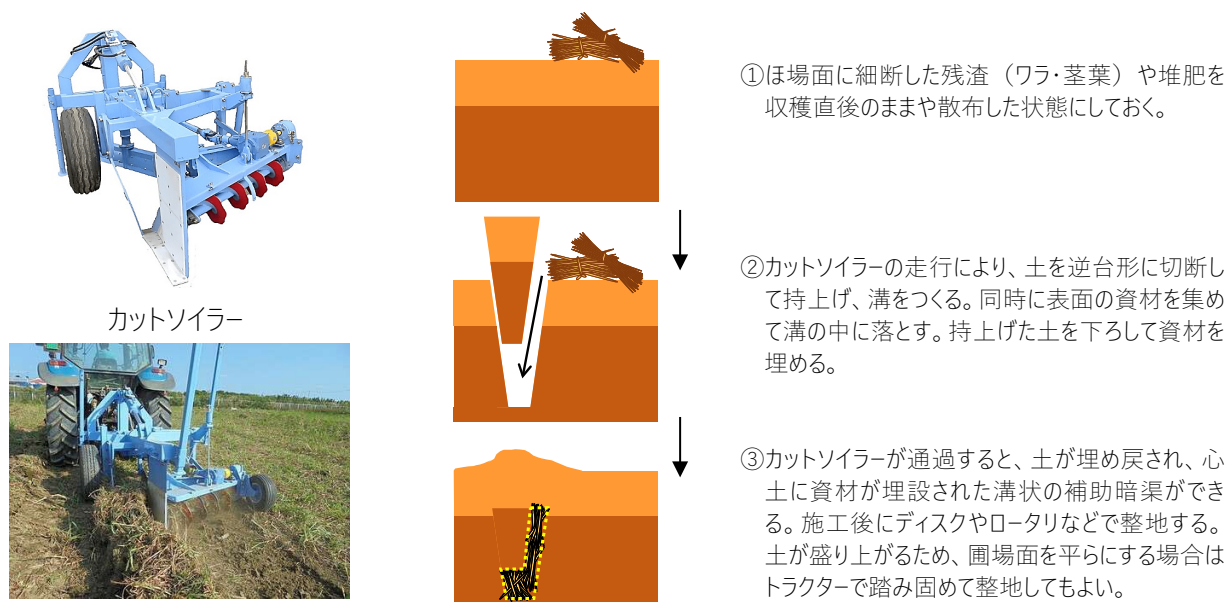


図1 カットソイラーによる浅層暗渠の施工方法

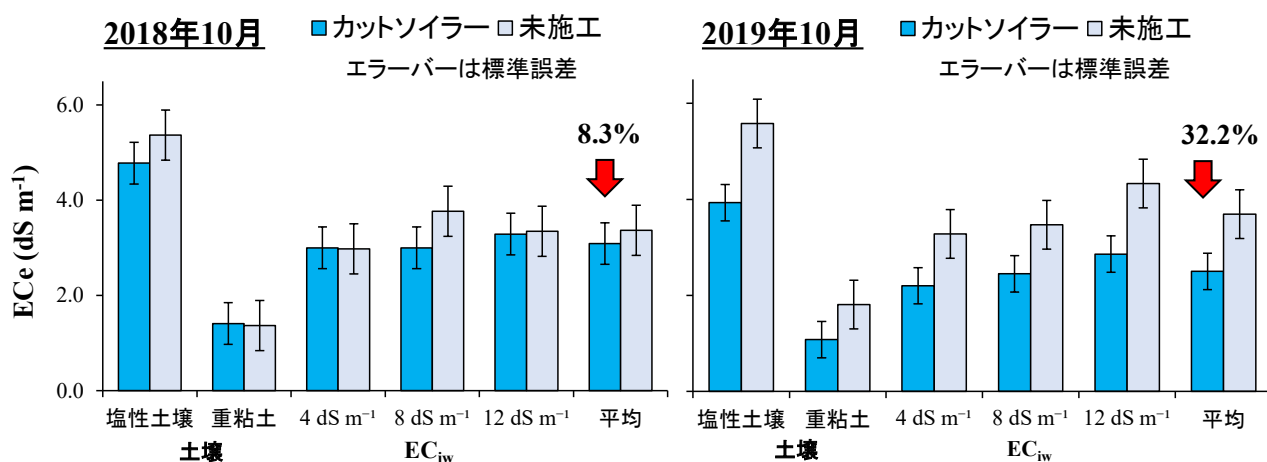


図2 土壌塩分の変化

EC_{iw} は、灌漑水の電気伝導度

平均は、カットソイラー施工区および未施工区、それぞれ12試験区の平均

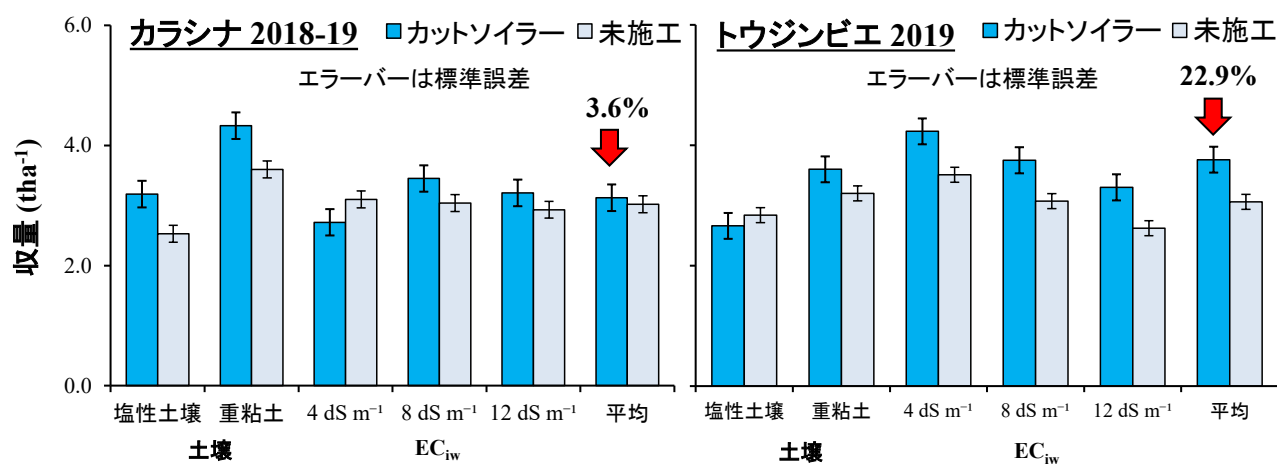


図3 乾季作（カラシナ）および雨季作（トウジンビエ）の収量

EC_{iw} は灌漑水の電気伝導度

平均は、カットソイラー施工区および未施工区、それぞれ12試験区の平均

図1は農村工学研究所:2015年成果情報、図2、3はNeha et al. (2022) より引用（転載・改変許諾済）

異なる窒素条件下でイネの根を伸長させる新奇遺伝子座

インド型イネ品種 IR64 の遺伝的背景をもつ染色体挿入系統 YTH187 はイネの根を伸長させる新奇遺伝子座を有する。*qRL4.1-YP5* は低濃度硝酸、*qRL8.1-YP5* は高濃度窒素特異的に根を伸長させる。*qRL5.3-YP5* と *qRL6.5-YP5* は低濃度と高濃度の両窒素条件で根を伸長させる。

キーワード：イネ、アンモニア態窒素、硝酸態窒素、根長、量的形質遺伝子座

背景・ねらい

環境への窒素の影響を軽減するには、窒素利用が向上した品種の開発が期待されている。窒素利用（吸収）を促進させるには、イネの根を伸長させ、根系を大きくする改良が、戦略の一つとしてあげられる。そこで、イネの根の長さに関わる遺伝子座を同定し、系統選抜に必要な DNA マーカーの開発が期待されている。イネが利用できる窒素は、栽培環境で異なっている。灌漑水が利用できる還元的な湛水条件（灌漑水田）では、アンモニア態が主な供給窒素源である。一方、乾燥条件になりやすく酸化的な天水田や陸稲栽培では、硝酸態窒素が供給窒素源となる場合がある。そのため、利用可能な栽培条件を推定するには、アンモニア態窒素と硝酸態窒素を単独で供給窒素源とした実験条件を設定することが必要である。しかし、それぞれの供給窒素源を区別した条件で、遺伝子座を同定した例は無い。加えて、開発した技術を熱帯地域で普及するには、遺伝的背景品種が重要となる。国際稲研究所で開発されたインド型品種 IR64 は、熱帯地域で広く栽培されているとともに、新品種作出の親品種としても広く用いられている。IR64 の遺伝的背景で根の長さに関わる遺伝子座は、インド型イネの品種改良に貢献できると考えられる。

成果の内容・特徴

1. IR64 の遺伝的背景で、無窒素条件で根長の長い IR69093-41-2-3-2(YP5)に由来する染色体断片が挿入された系統 YTH187 は、アンモニア態窒素として NH_4Cl 、硝酸態窒素として KNO_3 を $5\mu\text{M}$ もしくは $500\mu\text{M}$ に調整した 4 つの水耕栽培条件において、IR64 よりも有意に長い根長を有する（図 1 と 2）。
2. YTH187 が持つ根長を長くする遺伝座の中で、*qRL4.1-YP5*（寄与率 $R^2=0.1$ ）は、第 4 染色体上の分子マーカーである RM3534 と RM6909 の間に位置し、 $5\mu\text{M}$ 硝酸態窒素区のみで根を伸長させる（図 3）。この結果から、硝酸態窒素特異的に効果があり、酸化的で低肥沃な天水田および陸稲において、効果がある可能性がある。
3. *qRL8.1-YP5* ($R^2=0.09-0.16$) は、第 8 染色体上の

RM8271 と RM3395 の間に位置し、 $500\mu\text{M}$ の NH_4Cl もしくは KNO_3 を添加した栽培条件で、根を伸長させる。この結果から、窒素施肥レベルの高い灌漑水田や天水田・陸稲栽培で効果がある可能性がある。

4. *qRL5.3-YP5* ($R^2=0.10-0.11$) は第 5 染色体の RM1089 と RM4691 の間に位置し全ての栽培条件で、根を伸長させる。*qRL6.5-YP5* ($R^2=0.12-0.22$) は、第 6 染色体上の RM5509 と RM1370 の間に位置し、低濃度と高濃度の両窒素条件で、根を伸長させる。この結果から、2 つの遺伝子座は、幅広い栽培条件で効果がある可能性がある。

成果の活用面・留意点

1. *qRL4.1-YP5*, *qRL5.3-YP5*, *qRL6.5-YP5*, *qRL8.1-YP5* の DNA マーカー情報は、根の形態改良による窒素吸収の効率化のためのマーカー選抜に活用できる。
2. IR64 の遺伝的背景で効果が認められたので、多くの熱帯地域で栽培されている、インド型品種群の改良に貢献できる。
3. 圃場での根量、窒素吸収量および生産性への影響は、それぞれの遺伝子座を単独で持つ準同質遺伝子系統を育成して検証する必要がある。

その他

予算区分：交付金 [B1 レジリエント作物（第 5 期）、B2 不良環境耐性作物開発（第 4 期）]

研究期間：2018～2022 年度

研究担当者：佐々木和浩・小原実広（生物資源・利用領域）

発表論文等：Sasaki and Obara (2022) *Soil Science and Plant Nutrition* 68(4): 454–462. <https://doi.org/10.1080/00380768.2022.2088030>

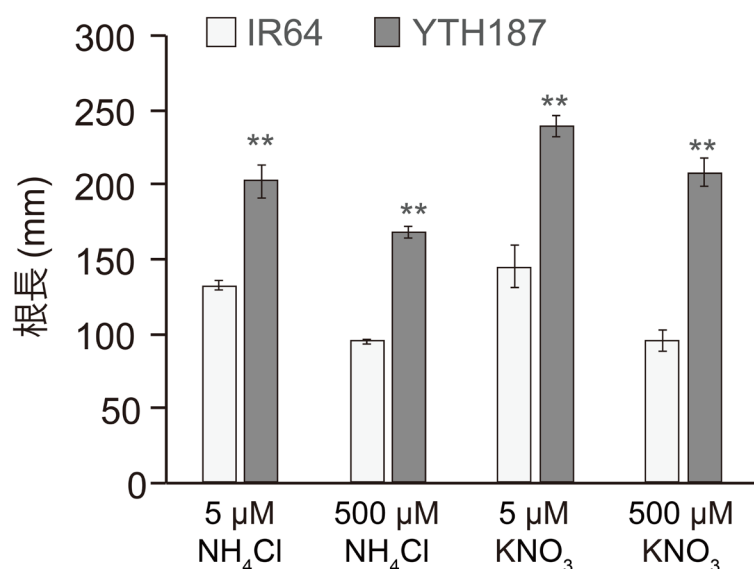


図1 YTH187 と IR64 の根長

それぞれの処理区で8日間栽培した IR64 と YTH187 の根長。

**：t検定により1%レベルで有意差があることを示す（n=4）。



図2 YTH187 と IR64 の根長

500μM の硝酸態窒素存在下で8日間栽培した IR64（上）と YTH187（下）。

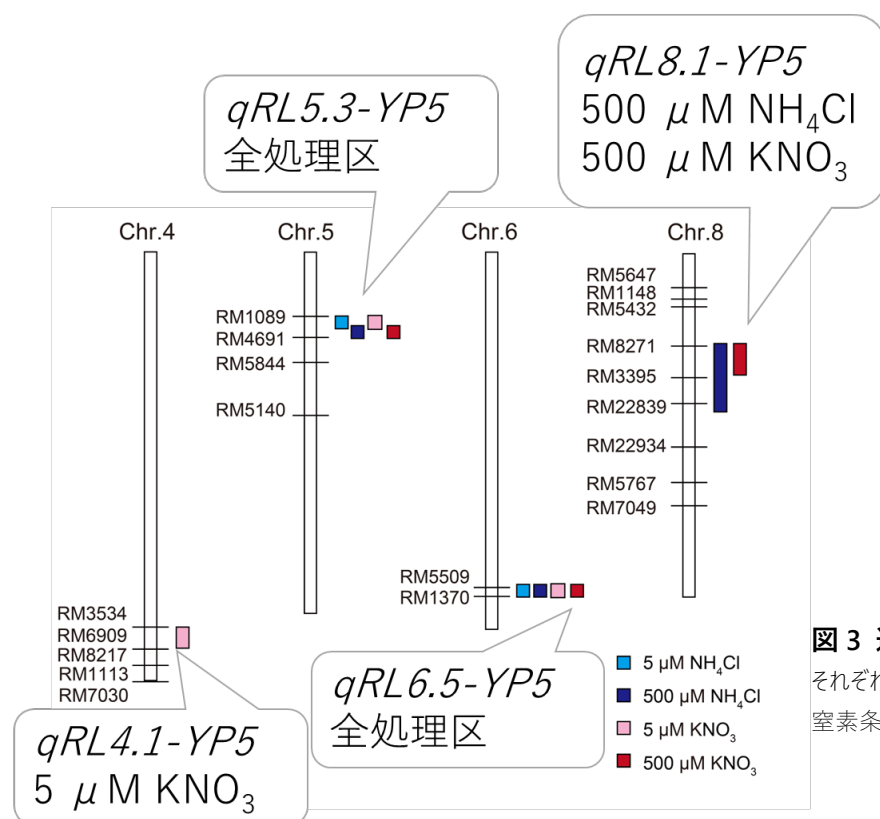


図3 遺伝子座の座乗位置と検出条件

それぞれの遺伝子が存在する領域と検出された窒素条件。バーの範囲が遺伝子座領域を示す。

図は Sasaki and Obara (2022) より引用（転載・改変許諾済）

籾の大型化によってイネの窒素利用効率は向上する

籾の大型化に関わる *GS3* 遺伝子をノトヒカリに導入して大型化した系統では、窒素利用効率が有意に増加する。*GS3* 遺伝子を用いることで、イネの窒素利用効率が向上し、窒素肥料の使用量を減らすことができると期待される。

キーワード：イネ、収量、大型化、窒素利用効率、*GS3* 遺伝子

背景・ねらい

緑の革命は、大量の窒素肥料の投入により作物の増収を可能にしたが、深刻な環境汚染を招いた。また、このような生産体系は、窒素肥料価格の高騰に脆弱である。そのため、持続的な食料生産供給には、大量の窒素肥料に依存した生産体系からの脱却が必要であり、革新的な育種技術の開発が急務となっている。これまでに、大型の日本型イネ品種である秋田63号は、多収であり、吸収窒素量あたりの収量を示す窒素利用効率（PNUE）が高いこと、籾を大型化させる *GS3* 遺伝子を有することを明らかにしている。そこで本研究では、*GS3* 遺伝子を持たない品種ノトヒカリに *GS3* 遺伝子を導入して大型化した準同質遺伝子系統（LG-ノトヒカリ）を作出し、収量、収量構成要素、施肥窒素肥料あたりの収量を示す窒素利用効率（NUE）および PNUE をノトヒカリと比較することにより、*GS3* 遺伝子を用いた大型化による NUE と PNUE への効果を明らかにし、イネの窒素利用効率を向上させる育種技術を開発する。

成果の内容・特徴

1. ノトヒカリに比較して、LG-ノトヒカリの籾は長く、幅も広いことから、*GS3* 遺伝子は *GS3* 遺伝子を持たないノトヒカリの籾の長さや幅を大きくする（図1）。これらの *GS3* 遺伝子による大型化は施肥条件によらず認められる。
2. ノトヒカリに比較して、LG-ノトヒカリの籾収量は、4.8 g N/m² 施肥区（1 m² 当たりの窒素施肥量が 4.8 g の区）で 34.9%、9.6 g N/m² 施肥区で 18.9% 有意に高いが、無施肥区では同程度である。収量構成要素の一つである千粒重は、LG-ノトヒカリが無施肥区で 26.0%、4.8 g N/m² 施肥区で 14.5%、9.6 g N/m² 施肥区で 23.8% 有意に高い。一方、他の収量構成要素、総籾数と種子稔性はそれぞれの施肥条件において同程度である（表1）。
3. 籾収量は、4.8 g N/m² 施肥区の LG-ノトヒカリでは 456 g/m²、9.6 g N/m² 施肥区のノトヒカリでは 450 g/m² と同程度である（表1）。

4. ノトヒカリに比較して、LG-ノトヒカリの NUE は 4.8 g N/m² 施肥区では 146%、9.6 g N/m² 施肥区では 36.4% 有意に高い（図2）。
5. 収穫期の地上部窒素量と玄米収量は、ノトヒカリおよび LG-ノトヒカリにおいて相関が認められる。平行線検定の結果、ノトヒカリと LG-ノトヒカリの回帰直線は異なると判定されることから、LG-ノトヒカリの PNUE は高い（図3）。

成果の活用面・留意点

1. *GS3* 遺伝子を用いた籾の大型化は、イネの窒素利用効率を向上させることから、減窒素を実現するイネ品種の育成に活用できる。
2. 籾の大型化による窒素利用効率の向上効果は、原品種の籾サイズによって異なる可能性がある。
3. 籾の大型化による玄米品質は、原品種の籾サイズや環境等によって低下する可能性がある。

その他

予算区分：交付金 [B1 レジリエント作物（第5期）]、外部資金 [科研費 16H06379]
研究期間：2016～2022 年度
研究担当者：小原実広（生物資源・利用領域）、尹棟敬・石山敬貴・牧野周（東北大学大学院）
発表論文等：Yoon et al. (2022) *Plant Direct* 6(7): e417. <https://doi.org/10.1002/pld3.417>



図1 ノヒカリと大型化遺伝子 *GS3*を導入した LG-ノヒカリの籾

平均的な籾 10 粒を示す。籾は 2020 年、宮城県青葉山圃場で肥料を与えずに栽培したイネより調整。スケールバーは 1 cm を示す。

表1 異なる施肥条件で栽培したノヒカリと LG-ノヒカリの収量と収量構成要素

窒素の施肥量 (g N/m ²)	系統	籾収量 (g/m ²)	総籾数 (10 ³ /m ²)	種子稔性 (%)	千粒重 (g)
0	ノヒカリ	269±4 a	15.0±0.2 a	76.2±1.4 a	24.6±0.5 a
	LG-ノヒカリ	287±9 a	15.0±0.2 a	74.4±1.8 a	31.0±1.5 b
4.8	ノヒカリ	338±17 a	21.0±0.6 a	80.3±1.4 a	25.6±0.4 a
	LG-ノヒカリ	456±26 b	22.0±0.8 a	79.8±1.1 a	29.3±0.6 b
9.6	ノヒカリ	450±31 a	30.1±0.8 a	76.7±1.4 a	23.1±0.6 a
	LG-ノヒカリ	535±21 b	28.3±0.8 a	81.8±1.9 a	28.6±0.5 b

国際農研八幡台圃場（茨城県つくば市）で栽培したイネ系統の各施肥条件における平均値と標準誤差を示す。各施肥条件におけるノヒカリと LG-ノヒカリを *t* 検定（*n*=10）し、異なるアルファベットは有意性（*P*<0.05）を示す。g N/m² は、1 m² 当たりの窒素施肥量を示す。

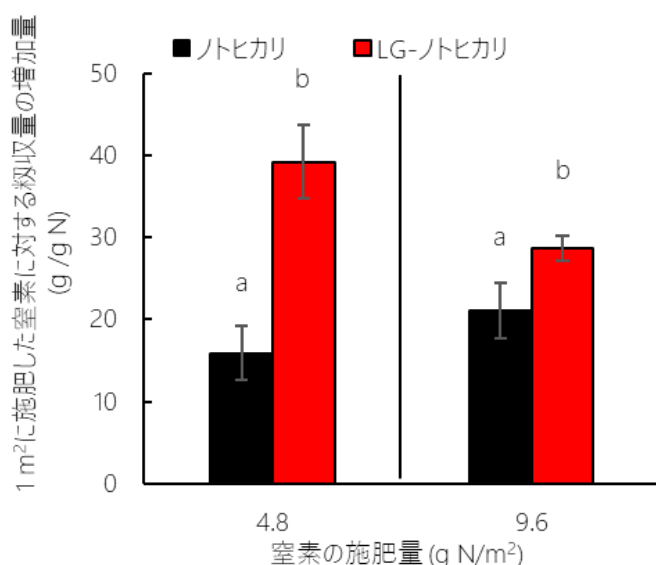


図2 ノヒカリと LG-ノヒカリの与えられた窒素肥料に対する利用効率(NUE)の比較

国際農研八幡台圃場（茨城県つくば市）で栽培した系統の各施肥条件における平均値と標準誤差を示す。各施肥条件におけるノヒカリと LG-ノヒカリを *t* 検定（*n*=10）し、カラム上の異なるアルファベットは有意性（*P*<0.05）を示す。

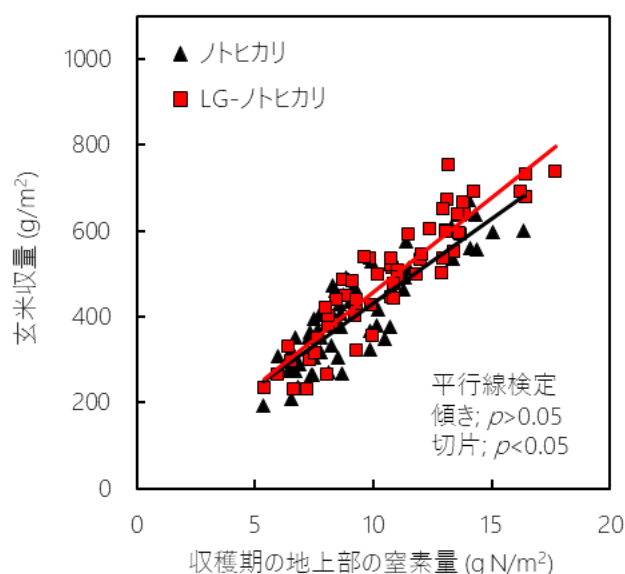


図3 ノヒカリと LG-ノヒカリの収穫期までに吸収した窒素の利用効率 (PNUE)の比較

東北大学川渡圃場（宮城県大崎市）で栽培したイネの収穫期の地上部窒素量と玄米収量のプロットを示す。

図は Yoon et al. (2022) より引用（転載・改変許諾済）

多収・高品質で病害にも強い耐塩性ダイズ新品種「蘇豆 27」

耐塩性遺伝子 *Ncl* を導入したダイズ新品種「蘇豆 27（sudou27）」は、耐塩性が高く、多収性、高品質、病害抵抗性を備えた優良品種である。塩害地域におけるダイズ生産の安定化が期待される。

キーワード：ダイズ、新品種、「蘇豆 27」、耐塩性

背景・ねらい

世界の陸地に分布する塩類土壌面積は、約 8.3 億 ha と推計されており（FAO）、その約 53% がアジア大陸に分布している。中でも、特に海岸沿岸部では、河口への海水遡上や地下水への塩水侵入により農地で塩害が発生し、作物の生産性は低くなる。そのため、耐塩性かつ多収性・高品質を備えた作物品種の開発が強く求められている。我々は、これまでにブラジルのダイズ品種から耐塩性遺伝子 *Ncl* を見出し、*Ncl* 保有系統が塩害圃場でも高い子実収量を維持できることを示してきたが、その実用化が期待されている（平成 27 年度国際農林水産業研究成果情報 B4「[ダイズ耐塩性遺伝子 *Ncl* の単離とその利用による耐塩性の向上](#)」）。世界の不良環境地域におけるダイズ生産の安定化を目指した研究の一環として、中国やベトナム、インドを対象に、耐塩性遺伝子を応用する優良ダイズ品種の開発を進めている。「蘇豆 27（sudou27）」は、このような背景のもとで、国際農研が、中国江蘇農業科学院・工芸作物研究所との共同研究を行い、耐塩性遺伝子 *Ncl* を導入したダイズの新品種である。

成果の内容・特徴

1. 「蘇豆 27」は、中国のダイズ中間母本系統「1138-2」を母、耐塩性遺伝子 *Ncl* を持つ系統「NILs72-T」を父とする人工交配で得られた雑種後代をもとに、世代促進と優良系統選抜によって開発された新品種である（図 1）。この品種は、中国江蘇省新品種審査委員会により優良品性が認められ、令和 4 年 8 月 29 日、中国で品種登録済である。
2. 「蘇豆 27」は、中国江蘇省北部地域の主要なダイズ栽培品種で新品種審査試験の対照品種である「徐豆 13（xudou13）」と比較して、子実収量は 6.9% 高く（平均収量 3.14 t/ha）、種子脂質含量は 1.4% 高い（平均脂質含量 22.4%）多収で高品質な品種である（表 1）。
3. 最も塩害耐性が低い幼苗期の栽培土壌に 120 mM NaCl 溶液を浸した 3 週間の耐塩性評価試験では、「徐豆 13」よりも高い耐塩性を示す（図 2）。

4. ダイズモザイクウイルス（Soybean Mosaic Virus、SMV）感染によるダイズモザイク病の抵抗性を有すると認められる（表 1）。

成果の活用面・留意点

1. 「蘇豆 27」は、中国江蘇省北部地域での夏播きに適したダイズ品種である。
2. 種子脂質含量が高いため（脂質含量は 22.4%）、食料油用のダイズ品種として適する。
3. 対照品種「徐豆 13」と比べ、生育期は 3.5 日程長いので、次の作物の播種を遅らせる可能性がある。
4. 中国江蘇省北部地域では「徐豆 13」の後継品種の一つとして 2023 年度（令和 5 年度）に 200～330 ヘクタールでの作付けが計画されている。
5. 新品種育成の成功により、基礎研究の成果である耐塩性遺伝子 *Ncl* を応用したダイズの育成に活路が開かれ、農地の塩害問題を抱える地域でのダイズ生産の安定化が期待される。

その他

予算区分：交付金プロ [B1 レジリエント作物（第 5 期）、B2 不良環境耐性作物開発（第 4 期）、B3 畑作安定供給（第 3 期）]

研究期間：2014～2022 年度

研究担当者：許東河（生物資源・利用領域）、陳華涛・崔曉燕・張紅梅・劉曉慶・王瓊・陳新・顧和平（中国江蘇農業科学院工芸作物研究所）

発表論文等：（中国）主要農作物品種審査認定証「蘇審豆 20220012」、国際農研プレスリリース（2022）：<https://www.jircas.go.jp/ja/release/2022/press202207>、Do et al. (2016), Scientific Reports, DOI: 10.1038/srep19147

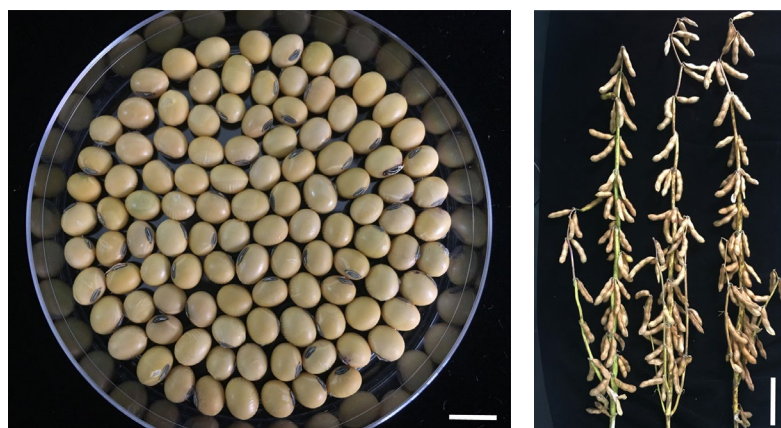


図1 ダイズ新品種「蘇豆 27」の種子（左、スケールバーは1 cm）と成熟期の個体（右、スケールバーは10 cm）

表1「蘇豆 27」の特性

	新品種審査試験（注a） （2019～2020、6試験地点）						生産力試験（注b） （2021、7試験地点）	
	子実収量 （t/ha）	生育期間 （日）	百粒重 （g）	種子品質		ダイズモザイク病 抵抗性（注c）		子実収量 （t/ha）
				脂質含量 （%）	タンパク質含量 （%）	レース SC-3	レース SC-7	
蘇豆27	3.27	104.5	17.0	22.4	38.7	中度 抵抗性	中度 抵抗性	3.14
徐豆13 （注d）	3.14	101.0	25.6	21.0	40.3	中度 罹病性	中度 罹病性	2.94

(a) 新品種審査試験：6 試験地点で2 年間実施する。各品種の試験区面積は9.6 m²、3 反復、子実収量およびその他形質を評価する。

(b) 生産力試験：新品種審査試験に合格した新品種候補系統に対して生産力試験を行う。7 試験地点で1 年間実施する。各品種の試験区面積は150 m²、2 反復、主に子実収量を評価する。

(c) ダイズモザイク病抵抗性：中国の抵抗性評価は6 段階（高度抵抗性、抵抗性、中度抵抗性、中度罹病性、罹病性、高度罹病性）に分類される。

(d) 徐豆13：中国江蘇省北部地域の主要なダイズ栽培品種で新品種審査試験の対照品種である。



図2 「蘇豆 27」の耐塩性の評価

左：土壌に120 mM NaCl 溶液を浸し、幼苗期（第一本葉期）から3 週間生育した様子。右：耐塩指数の評価結果。耐塩指数は5 段階に分類：1（個体枯死）～5（生育正常）。**はt 検定で1%水準で有意、バーは標準誤差。

図は国際農研プレスリリース（2022）：<https://www.jircas.go.jp/ja/release/2022/press202207> より引用

表は新品種審査試験（2019～2020）及び生産力試験（2021）の成績書より引用

硝酸イオンの吸収がイネにおけるリンの利用を促進する

低リン水耕条件のイネでは、アンモニウムイオンのみを窒素源とするより硝酸イオンも同時に窒素源として用いた方がリン利用効率が高い。また、リン利用効率が高いイネ系統は硝酸イオンをより多く吸収する傾向が見られる。イネにおける硝酸イオンの利用能力の増強や硝酸イオンを多く含む施肥により、圃場におけるリン利用効率を向上させる可能性がある。

キーワード：イネ、リン利用効率、窒素利用、硝酸イオン

背景・ねらい

植物の三大栄養素のひとつであるリンは将来的に枯渇が懸念されている。また、昨今の肥料価格高騰も重なり、特に食料需要の高い開発途上地域においてはリン施肥が不足しがちである。これらの地域で特に重要な作物であるイネの安定生産には、施肥したリンの吸収（リン吸収効率）、および吸収したリンあたりのバイオマス生産能力（リン利用効率）を改善したイネの作出が喫緊の課題となっている。しかし、イネのリン利用効率には多数の遺伝的要因が関わっており、その仕組みは未解明のままである。一方で、リン利用効率の高いイネ系統において、窒素含有化合物の含量が高く、窒素代謝とリン利用の関連が示唆されている。そこで本研究では、主要な窒素源のうち、硝酸イオンとアンモニウムイオンの吸収がイネのリン利用効率に与える影響に焦点を当て、窒素利用とリン利用効率との関係を明らかにする。

成果の内容・特徴

1. 低リン水耕条件では、アンモニウムイオンのみを窒素源とする場合と比較して、硝酸イオンを添加した場合、イネの根におけるリン濃度が有意に低く、リン利用効率が高い（図1）。
2. 過去にリン利用効率が調べられている5つのイネ系統を比較すると、リン利用効率が高い系統(Mudgo, Yodanya, DJ123)では、リン利用効率が低い系統(IR64, Taichung)に比べて、窒素源として硝酸イオンへの依存度が高く、かつ、イネにおいて硝酸イオンの吸収に主に寄与すると考えられる *NRT1.1B* 遺伝子の発現量が高い（図2）。一方、リン利用効率が高い系統では、アンモニウムイオンの吸収に寄与する主な輸送体のひとつである *AMT1;1* 遺伝子の発現量が有意に低い（図2）。
3. 低リン条件下での水耕栽培における硝酸イオンの吸収効率と圃場における根のリン吸収効率の相関は高い（図3）。

4. これらの結果は、硝酸イオンの利用により、リン利用に重要な2つの要因である、根圏からのリン吸収効率と、リン利用効率の両方が上昇することを示唆する。また、硝酸イオンの利用が根圏リンを可溶化し、リン吸収効率を高めるという、過去に提唱された仮説を支持し、リン利用の新たな側面を示唆する。

成果の活用面・留意点

1. 本成果は、低リン条件においてリンの利用を促進する効果的な窒素施肥条件の探索に活用されう。
2. 本成果は水耕栽培により得られた結果であるため、今後の土耕試験において、異なる窒素施肥条件によるリン利用効率への効果を検証する必要がある。
3. 育種の標的となる遺伝子については今後の研究により解明する必要がある。

その他

予算区分：交付金 [B1 レジリエント作物（第5期）、B2 不良環境耐性作物開発（第4期）]

研究期間：2020～2022年度

研究担当者：植田佳明、マティアス・ビスバ（生産環境・畜産領域）

発表論文等：Ueda and Wissuwa (2022) *Plant and Soil* 481: 547-561. <https://doi.org/10.1007/s11104-022-05655-3>

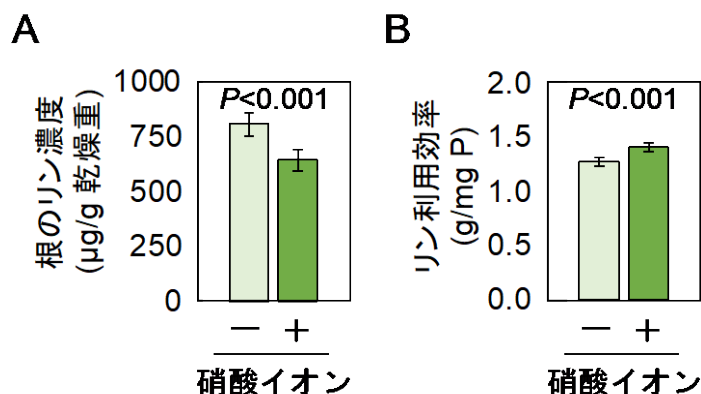


図1 根のリン濃度とリン利用効率に硝酸イオンが与える影響

低リン条件の水耕栽培（イネ品種：Taichung）において、窒素源としてアンモニウムイオンのみを使用した場合（−）と硝酸アンモニウムを添加した場合（+）の根のリン濃度(A)と、リンあたりのバイオマスで表されるリン利用効率(B)の平均値と標準偏差（ $n=4$ ）を示す。また、スチューデントの両側 t 検定によりグループ間の有意差を検定した結果を示す。

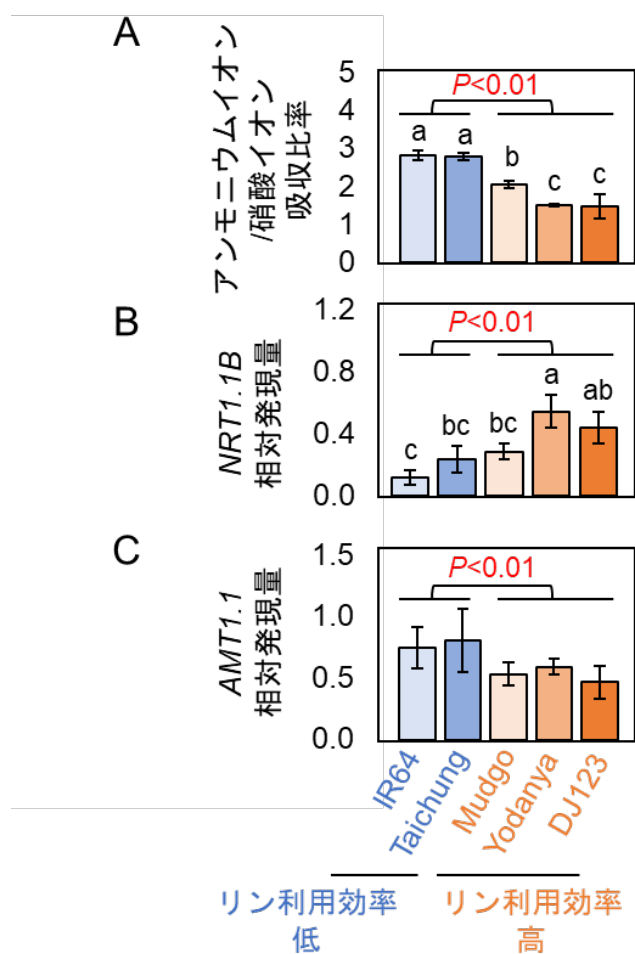


図2 リン利用効率の異なるイネ系統における窒素利用パターンの比較

低リン条件の水耕栽培における窒素の利用パターン。(A) 根におけるアンモニウムイオンと硝酸イオンの吸収比。(B,C) *NRT1.1B* (B)および *AMT1.1* (C)の発現量。平均値と標準偏差（ $n=4$ ）を示す。一元配置分散分析を行った後、Tukey-Kramer 検定により系統間の値を比較した。アルファベットが異なる場合は有意水準 $P < 0.05$ で平均値が異なる。加えて、リン利用効率の高いグループと低いグループの間でウィルコクソンの順位和検定を行い、その P 値を赤字で示す。

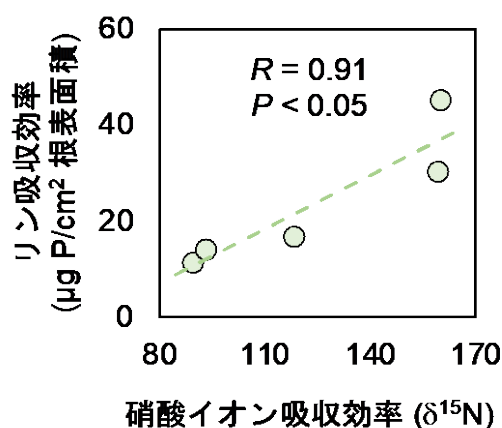


図3 硝酸イオンの吸収効率とリン吸収効率の相関関係

低リン条件の水耕栽培における硝酸イオンの吸収効率（横軸）と、低リン圃場におけるリン吸収効率（縦軸）を、5つのイネ品種において比較して得られたピアソンの相関係数 (R)。両側 t 検定により相関関係の有意性を検定した結果 (P 値)を示す。

図は Ueda and Wissuwa (2022) より引用（転載・改変許諾済）

ヤムイモの収量は個体の性別と開花日に強く影響を受ける

ヤムイモは雄株と雌株に分かれるが、開花日がイモ肥大期よりも早い場合には遅い場合と比べてイモ収量が高くなり、さらにその増加程度は雄株よりも雌株で大きい。雌株や開花日が早い系統を交配親に用いるとともに、そのような系統を選抜することで、収量改善に向けた品種育成を効率的に進めることができる。

キーワード：ホホワイトギニアヤム、雌雄異株、花性、開花日、イモ収量

背景・ねらい

ホホワイトギニアヤム（以下ヤム）は西アフリカの沿岸部で広く栽培され、この地域における食料供給を担う主要作物である。人口増加に伴い生産量が増える一方、単位面積当たりの収量は半世紀にわたって停滞している。ヤムは雌雄異株の植物であり（図1）、古くから雄株と雌株でイモ収量が異なることが経験的に知られているが、体系的な研究は少なく、品種育成においては個体の性別は考慮されていない。個体の性別とイモ収量の関係を明らかにすることができれば、収量改善に向けた品種育成に貢献できると思われる。性別とイモ収量の関係が不明瞭である主要因として、遺伝的に同一の個体であっても観察される花の性別（雄株か雌株か：花性表現型）が環境によって変化することが挙げられる。本研究では、国際農研が開発した花性の遺伝子型を判定するDNAマーカー（平成29年度国際農林水産業研究成果情報B02「ギニアヤムのゲノム情報の解読および性別判別マーカーの開発」）を利用し、花性の遺伝子型と表現型の効果を分けて評価することで個体の性別とイモ収量の関係を明らかにする。

成果の内容・特徴

1. 遺伝的背景の類似した200系統のヤム交雑集団（F₁クローン個体）を、4年間（2015-2018）にわたって同じ場所、同じ方法で栽培することで、イモ収量に対する花性の影響を評価する際に遺伝的背景や環境の影響を最小限にすることができる。
2. 雄遺伝子型の個体はほぼ雄株になるが、雌遺伝子型の個体も半数程度が雄株になる（図2）。収量変動に対する寄与は花性遺伝子型の単一効果よりも花性表現型の効果を加えた方が大きい（表1）。
3. 花性表現型の雌雄にかかわらず、開花日が早いほどイモ収量が高い（図3）。これは花芽の形成・発達とイモ肥大の間のエネルギー競合がないためと考えられる。
4. 同じ開花日の個体で比較すると、雌株が雄株よりもイモ収量が最大で18%程度高いが、開花日が遅くなるとその差は小さくなる（図3）。

成果の活用面・留意点

1. 雌株や開花日が早い系統を交配親に用いるとともに、そのような系統を選抜することで、収量改善に向けた品種育成を効率的に進めることができる。
2. 雄株であっても開花が早い系統を用いることで収量の増加が期待できる。
3. ただし、開花が早すぎると地上部生育とのエネルギー競合が生じ、収量を確保するための十分なバイオマスが得られなくなる可能性がある。

その他

予算区分：交付金 [B2 新需要創造（第5期）、B1 アフリカ食料（第4期）]

研究期間：2015～2022 年度

研究担当者：井関洸太郎（生物資源・利用領域）、Matsumoto R・Olaleye O・Asfaw A（国際熱帯農業研究所）、清水元樹（岩手生物工学研究センター）

発表論文等：Iseki et al. (2022) *Frontiers in Plant Science* 13: 837951. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.837951>



図1 ヤムイモの花性表現型

雄株の雄花序（左）と雌株の雌花序（右）。両性株は1つの花序に雌花と雄花の両方を持つ（中央）。

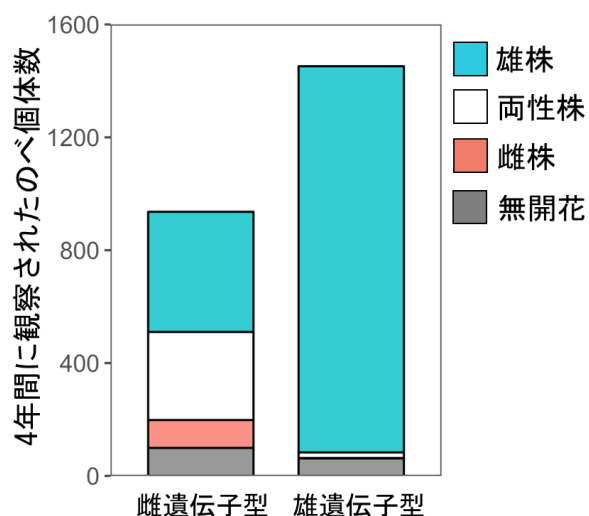


図2 雌遺伝子型および雄遺伝子型の個体における花性表現型の観察結果

200系統、各3個体、4年からのべ2400個体の花性表現型。雌遺伝子型であっても半数程度が雄株となる。

表1 イモ収量に対する花性表現型および花性遺伝子型の効果

要因	寄与率 (%)
花性遺伝子型	0.1 *
花性遺伝子型×花性表現型	3.2 **

花性遺伝子型を上位階層としたイモ収量に対する階層分散分析の結果。寄与率は収量の全体の変動に対して、当該要因によって説明できる割合。**、*はそれぞれ1%、5%水準で有意であることを示す。

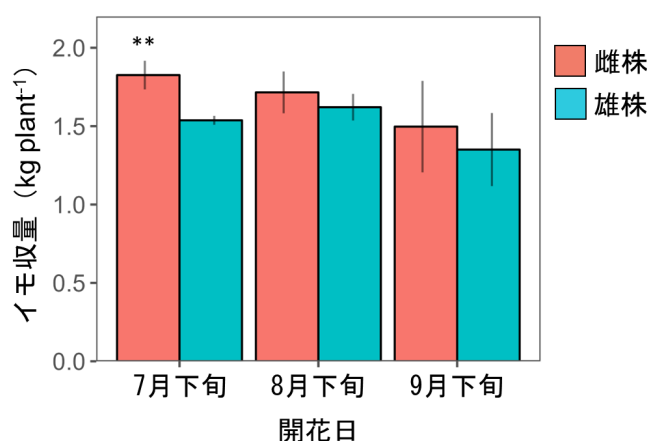


図3 雌株と雄株における開花日とイモ収量の関係

開花日が同一の個体で比較すると、開花が早い場合において雌株の収量が雄株よりも有意に高い。雌遺伝子型の雌株と雄遺伝子型の雄株の比較。**は1%水準で有意差あり。

図は Iseki et al. (2022) より転載/改変して作成
クリエイティブ・コモンズ・ライセンス (CC-BY 4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ja>

ミャンマー南部ミエック近海における食用熱帯カキの産卵期

ミャンマー南部に位置するミエックの近海では、食用熱帯カキは周年成熟しているが、10～11月と4～5月に主な産卵期がある。食用熱帯カキの天然採苗をこれらの時期に行うことで、採苗の効率化が期待できる。

キーワード：食用熱帯カキ、生殖サイクル、天然採苗、ミャンマー

背景・ねらい

ミャンマーにおけるカキ養殖研究は1970年代に開始されたものの、商業的なカキ養殖技術はまだ確立されていない。カキ養殖に用いる種貝の確保は、天然採苗の場合、沿岸域における稚貝の天然発生量に依存する。これは現地の気候や沿岸環境、カキの性成熟と密接に関係するため、対象とする地域の環境と養殖対象種の産卵期間の関係を明らかにする必要がある。冬季と夏季の水温が大きく変化する温帯域では、水温が上昇する夏季に年1回産卵する種が多いが、1年中高水温である熱帯域では周年産卵することが多い。しかし産卵個体の割合には季節変化がある。主な産卵期は年1回、2回、3回などが報告されており、同じ種でも地域によって時期が異なることがある。産卵には塩分が関係するとの報告があり、年2回の雨季と乾季の移行期に主な産卵期がある例も複数知られている。本研究ではミャンマー南部に位置するミエック近海（図1）に生息する食用熱帯カキ（*Crassostrea belcheri*）（図2）の養殖産業化を目指し、本種の天然成員を定期的に入手して性成熟サイクルを組織学的に検討することで、適切な天然採苗時期を特定する。

成果の内容・特徴

1. 現地の気候は明瞭な乾季と雨季がある熱帯モンスーン気候で、雨季の降水量が著しく多く、2018年8月の月間降水量は1400 mm以上に達する。調査期間では2017年は9～10月、2018年は6～9月に月間降水量が400 mmを上回り、その時期が雨季と見られる（図3a）。
2. 2017～2018年にほぼ毎月、ミャンマー南部に位置するミエック市の市場から入手した12～20個体の食用熱帯カキの生殖腺組織切片を光学顕微鏡で観察して成熟段階を調べた。多数の卵細胞または精子が生殖腺内に見られる成熟期～放出期に達する個体は周年観察されるが、その盛期は主に10～11月と4～5月である（図3b,c）。
3. ミエック近海の食用熱帯カキは乾季から雨季、および雨季から乾季への移行期に主に産卵する。

成果の活用面・留意点

1. ミエック近海に生息する食用熱帯カキの産卵盛期は乾季から雨季、雨季から乾季への移行期の年2回ある。同時期に海域に採苗器を設置することで天然採苗の効率化が期待できる。
2. 生殖サイクルと現地の気象情報との関係から、気象情報に基づく熱帯カキの産卵期推定が可能であり、海域への採苗器の投入時期も推定可能である。
3. 雨季は淡水流入による低塩分化などで、雨季前に加入した稚貝の生残や成長が妨げられる。漁業者による食用熱帯カキの効率的な天然採苗が実施可能になるためには、年2回の産卵盛期後の生残率や成長速度についても研究を進める必要がある。

その他

予算区分：交付金 [B4 熱帯水産養殖（第5期）、C5 熱帯水産資源（第4期）]

研究期間：2017～2022年度

研究担当者：豊川雅哉・坂本達也（水産領域）、Khin-May-Chit-Maung（ミエック大）、齊藤肇（水産領域）

発表論文等：Khin-May-Chit-Maung et al. (2023) *JARQ* 57 (3)

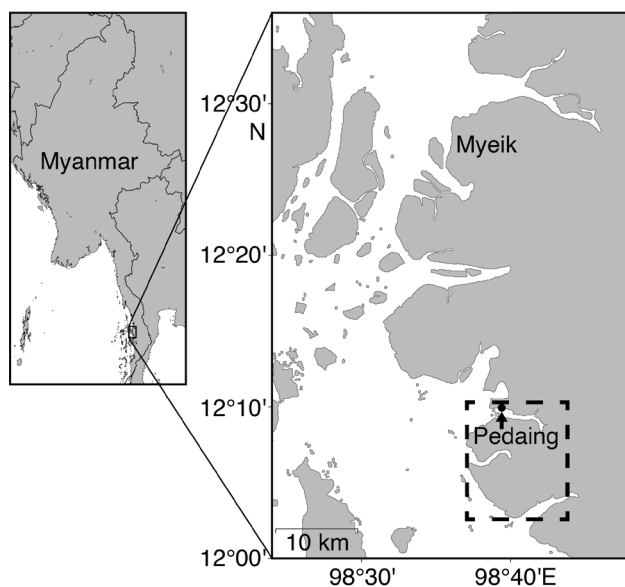


図1 研究対象地域

研究対象としたミエックはミャンマー最南部沿岸に位置する。ミエックの南側にあるペダイン村では近隣のマングローブ水路（概ね点線で囲まれた範囲）から食用熱帯カキを漁獲しており、これらのカキはミエック市内で周年売られている。

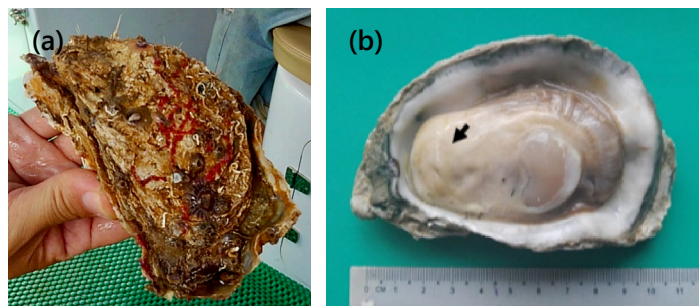


図2 食用熱帯カキの外観(a)と殻の内部(b)

矢印は生殖腺の位置を示す。

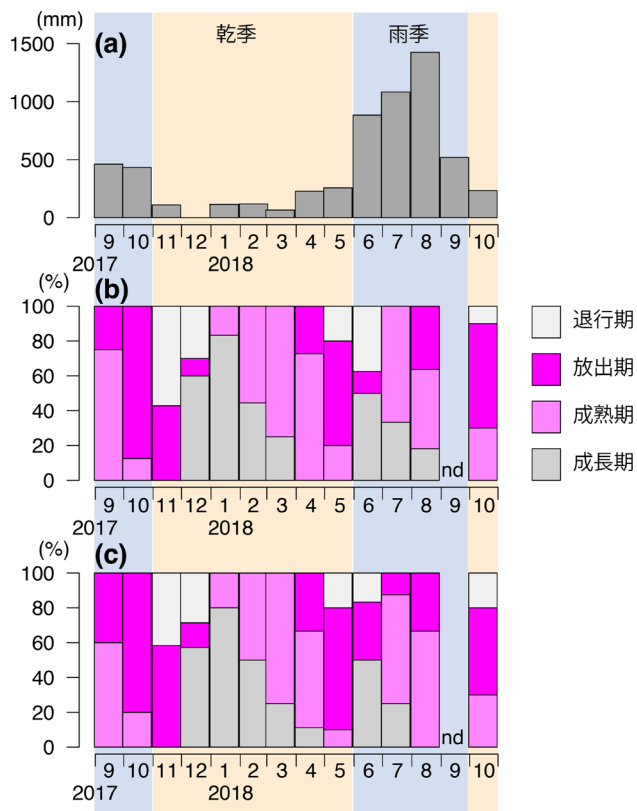


図3 ミエックの月別降水量 (a) と食用熱帯カキの性成熟サイクルグラフ (b, 雌; c, 雄)

雨季の長さは年によってやや異なる。放出期（放卵・放精中）の生殖腺の割合は雨季と乾季の移行期である10月と5月に高い。nd: 欠測月。

図は Khin-May-Chit-Maung et al. (2023) より引用（転載・改変許諾済）

アジアの伝統野菜ヒユナの多様性の解明と育種基盤の構築

アジアで伝統的な葉物野菜として利用されるヒユナの遺伝的多様性を解析し、品種育成に有用な5,638個の一塩基多型マーカーとコアコレクションを作出した。これらの成果を利用することにより、栄養価・食味・収量などが改善された新しいヒユナ品種の開発が期待される。

キーワード：ヒユナ、伝統野菜、遺伝資源、遺伝的多様性、一塩基多型

背景・ねらい

アジア地域の伝統的な葉物野菜として利用されるヒユナ（*Amaranthus tricolor* L.）などの在来種は、孤児作物と呼ばれ、開発途上地域における貧困層の栄養を下支えしており、かつ少ないながらも農家の現金収入となっているが、先進国での需要の低さから、育種研究は進んでおらず、積極的な品種改良も十分に行われていない。

そこで本研究では、開発途上地域の健康増進や所得向上に貢献するための育種の基盤構築を目的に、ヒユナ遺伝資源の遺伝的多様性を解明し、品種育種に有用な一塩基多型マーカーとコアコレクション*の作出を試みる。

*コアコレクション：保存遺伝資源の中から選定した代表的な品種・系統セットであり、遺伝的多様性を維持しながら遺伝資源のサイズを全体の30%以下に縮小した集団である。

成果の内容・特徴

1. 世界蔬菜センター（台湾）と米国農務省のジーンバンクで保存されているヒユナ遺伝資源465系統（図1）を用いて、ゲノム全体にわたる一塩基多型に基づいて系統樹解析、集団構造解析及び主座標分析を実施することにより、遺伝的多様性を評価する。
2. 合計10,509個の一塩基多型が見出され、同定された440系統において欠損のない5,638個の一塩基多型データ（マーカーセット）は、有用形質同定のための遺伝子マーカーとして利用可能である。
3. 一塩基多型データを用いた集団構造解析及び主座標分析により、ヒユナ遺伝資源377系統は4つの亜集団（Q1～Q4）と中間型に分類される（図2）。Q1とQ2は、それぞれインドとバングラデシュを起源とする遺伝資源を多く含み、Q3は東アジア、特に中国を起源とする遺伝資源を多く含む（図3）。
4. 本研究で同定された一塩基多型データを用いて、ヒユナ遺伝資源の遺伝的多様性を網羅する105系統のコアコレクションを作出した。

成果の活用面・留意点

1. 本研究で作出されたコアコレクションは、世界蔬菜センター（<https://avrdc.org>）から入手可能である。
2. 本研究で得られた一塩基多型情報・マーカーとコアコレクションを利用したマーカー選抜育種により、栄養価・食味・収量などの向上に向けた育種技術および新品種の開発が期待される。

その他

予算区分：交付金 [B5 アフリカ稲作システム（第5期）]、外部資金 [科研費 19KK0151]
研究期間：2019～2022 年度
研究担当者：星川健（生物資源・利用領域）、吉岡洋輔（筑波大学）、白澤健太（かずさDNA研究所）
発表論文等：Hoshikawa et al. (2022) *Scientia Horticulturae* 307: 111428



図1 世界蔬菜センターで栽培されているヒユナ遺伝資源の一例

葉の色、形状、背丈など、多様な表現型を示す。世界蔬菜センターでは、465種のヒユナ遺伝資源が栽培されている。

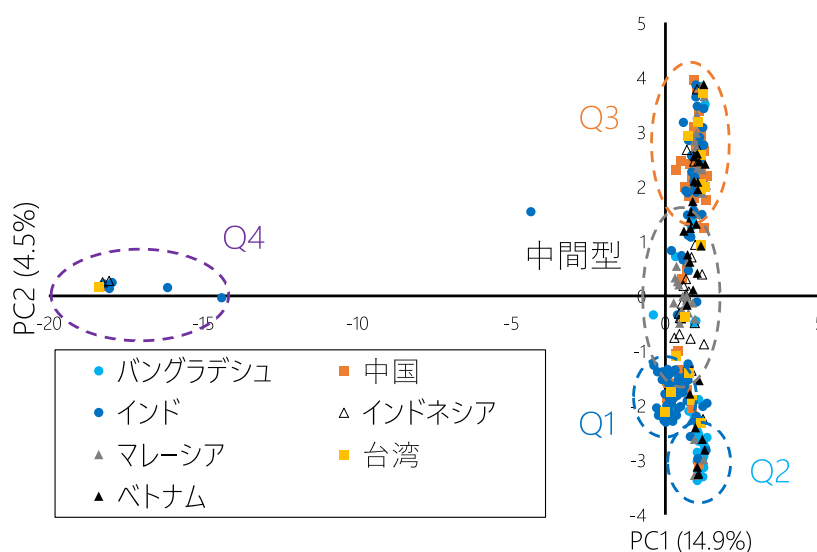


図2 ゲノム全体の一塩基多型に基づくヒユナ遺伝資源の主座標分析

集団構造解析により見出された亜集団 (Q1-Q4, 中間型) と各国の地理的情報によりクラスタリングされる。

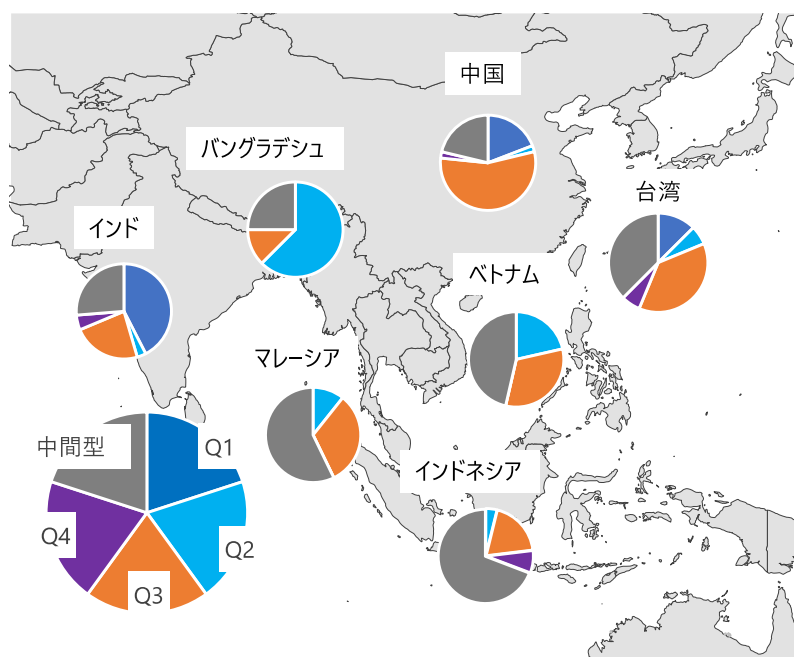


図3 一塩基多型データを用いたヒユナ遺伝資源の分類と地理的分布

各国・地域における亜集団 (Q1-Q4, 中間型) の割合と地理的分布。円グラフは、各国・地域の亜集団 (Q1-Q4, 中間型) の系統割合を示す。

図は Hoshikawa et al. (2022) より引用（転載・改変許諾済）

ゲノム予測モデルを用いた亜鉛強化米育種のための有望系統の同定

マダガスカル農家圃場での観測値と一塩基多型情報をもとに構築されたゲノム予測モデルにより、国際稲研究所のジーンバンクに保存された 3,024 系統の玄米の亜鉛含量は系統間で 17.1~40.2 mg kg⁻¹ の変異を持つと推定される。同モデルで 3,024 系統から選抜されたアウス種 IRIS313-9368 はマダガスカルの多様な生産圃場で安定して高い亜鉛含量を示すことから、亜鉛強化米育種への利用が期待できる。

キーワード：アウスイネ、ゲノム予測、亜鉛強化米、マダガスカル、微量栄養素不足

背景・ねらい

世界人口の約 17% が十分な量の亜鉛を摂取できていない亜鉛欠乏症にあるとされる。この問題はサブサハラアフリカ地域において最も深刻であり、亜鉛欠乏が子どもの発育阻害の主要因の一つになっている。作物の可食部における亜鉛含量の向上は、栄養摂取源の多くを自家生産に依存し、多様な食品への市場アクセスが制限される地域での亜鉛欠乏症の解決に有効な手段と考えられている。

亜鉛含量の高い作物を育種開発するためには、世界中に保存されている膨大な遺伝資源の中から可食部の亜鉛含量が高い品種を育種素材として選抜利用する必要がある。選抜の効率化において、労力のかかる圃場での観測を経ずに、一塩基多型情報*を用いてその値を推定するゲノム予測**の活用が期待できる。一方で、可食部の亜鉛含量は、遺伝的要因のみならず、栽培環境によっても大きく変動することから、ターゲットとする地域で観測されたデータにもとづくモデルを利用することが望ましい。

そこで、本研究では、一塩基多型情報が公開された国際稲研究所ジーンバンクの 3,024 系統を用いて、マダガスカル農家圃場で得られた観測値から構築した玄米亜鉛含量の推定モデルの精度を検証し、同モデルから対象地域でのコメの亜鉛含量向上に利用できる育種素材を選抜することを目的とする。

*一塩基多型情報：A,T,G,C の 4 文字により構成される DNA 配列情報の系統間差異のうち、挿入や欠損を伴わず一文字の置き換えにより発生するものをゲノム全体で網羅した情報

**ゲノム予測：教師データとゲノム全体の遺伝子情報を用いることにより、実験を行うことなく各系統の形質値を予測すること

成果の内容・特徴

- 253 系統の教師データで構築されたゲノム予測モデルにより、国際稲研究所ジーンバンクに保存された 3,024 系統の玄米の亜鉛含量は 17.1 mg kg⁻¹ から 40.2 mg kg⁻¹ の変異をもつと推定される（図 1）。
- イネの亜種別の亜鉛含量の平均推定値を比較する

と、アウス種（30.3 mg kg⁻¹）が最も高く、インディカ種（23.2 mg kg⁻¹）やジャポニカ種（26.7 mg kg⁻¹）に比べて 13~31% 大きい値をもつ（図 1）。

- 同モデルを用いることで、一塩基多型情報のみで、未知系統（n=61）の亜鉛含量が決定係数 R²=0.55 の十分に高い精度で推定できる（図 2）。
- 同モデルをもとに 3,024 系統の中で高亜鉛含量をもつ育種素材としてアウス種の IRIS313-9368 が選抜される。マダガスカル農家圃場 5 地点で観測された同系統の亜鉛含量の平均値（42.5 mg kg⁻¹）は、熱帯の主要な多収品種である IR64（21.7 mg kg⁻¹）およびマダガスカルの主要な多収水稻品種 X265（18.6 mg kg⁻¹）に比べて極めて高い値をもつ（図 3）。

成果の活用面・留意点

- 本研究で構築されたゲノム予測モデルおよび知見を用いることで、各地の栽培環境に適した亜鉛強化米育種を加速することができる。
- より多くのアウス種を教師データに含めることにより、モデル精度の向上と有望な育種素材の探索の効率化が期待できる。
- 教師データとした 253 系統のうちの 21 系統の分析から、精白米の亜鉛含量は玄米に比べて約 18% 低い値をもつと推定される。

その他

予算区分：交付金 [B5 アフリカ稲作システム（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)]

研究期間：2017~2022 年度

研究担当者：田中ファン、マティアス・ビスバ（生産環境・畜産領域）、Rakotondramanana M（マダガスカル国立農村開発応用研究センター）、田中凌慧（東京大）、Stangoulis J（フリンダース大）、Grenier C（フランス農業開発研究国際協力センター）

発表論文等：Rakotondramanana et al. (2022) *Theoretical and Applied Genetics* 135: 2265–2278. <https://doi.org/10.1007/s00122-022-04110-2>

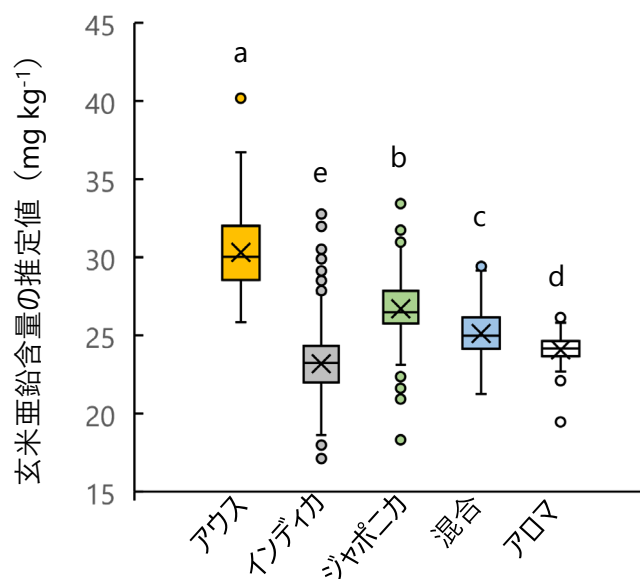


図1 構築したゲノム予測モデルで推定された 3,024 系統の玄米中の亜鉛含量の亜種別の箱ひげ図

アウス種（n=201）、インディカ種（n=1789）、ジャポニカ種（n=855）、混合亜種（n=103）、アロマ種（n=76）。図中の異なるアルファベットは Tukey の多重比較検定により 5%水準で有意。箱ひげ図中の X 印が亜種集団毎の平均値を示す。亜種は、国際稲研究所ジーンバンクの分類に基づいた。

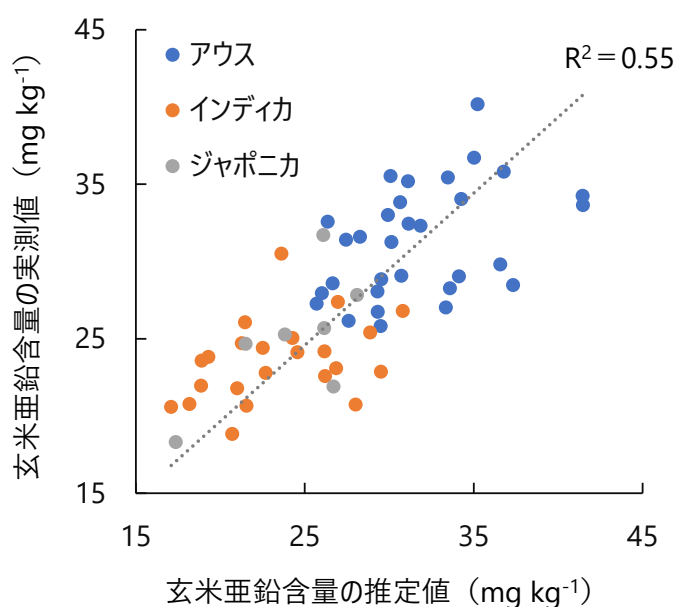


図2 構築したゲノム予測モデルによる未知系統（n=61）の玄米の亜鉛含量の推定値と実測値との関係

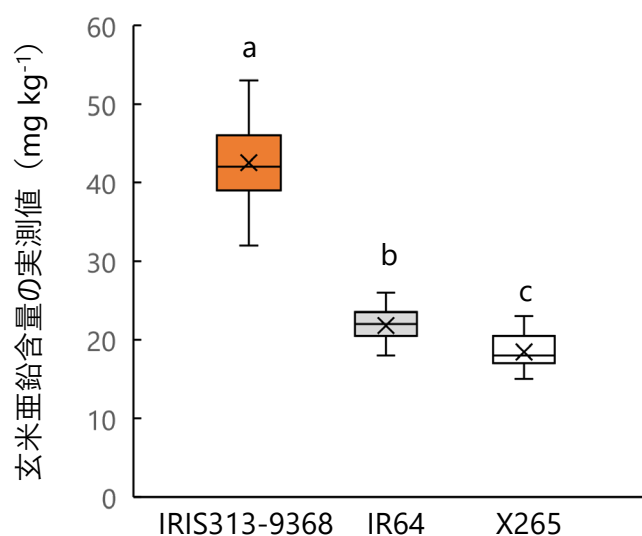


図3 ゲノム予測モデルにより亜鉛含量が高いと予測された IRIS313-9368、熱帯地域の主力多収水稻品種である IR64、およびマダガスカルの主力多収水稻品種である X265 の玄米の亜鉛含量の箱ひげ図

マダガスカルの 5 地点の農家圃場で得られた実測値を箱ひげ図で示した（n=30）。図中の異なるアルファベットは Tukey の多重比較検定により 5%水準で有意。

図は Rakotondramanana et al. (2022) より引用（転載・改変許諾済）

マダガスカルにおける水稻収量の増加は農家の栄養改善に有効である

マダガスカル農村地域において、水稻収量が増えると、農家はコメの自家消費量だけでなくコメを販売した現金収入による栄養価の高い食品（野菜、果物、肉・魚）の購入量も増加させる。これらの消費および市場での購買行動の多様化により、主要穀物の生産性向上が、エネルギー摂取量だけでなくビタミン A、亜鉛、鉄分などの微量栄養素の摂取量の増加、すなわち栄養の量と質の両面において栄養改善に貢献することが示唆される。

キーワード：栄養改善、マダガスカル、コメ、生産性、市場

背景・ねらい

サブサハラアフリカは世界で最も飢餓人口割合が高く、微量栄養素不足も深刻な地域である。その背景には、作物の生産性が極めて低いことが挙げられている。主要穀物の生産性向上は農家のエネルギー摂取量や現金収入の増加をもたらすことが期待される一方、主要穀物を生産し消費するだけではビタミン A などの微量栄養素を十分に供給できないため、主要穀物の生産性向上がどのように農家の栄養改善につながるのかを定量的に示すことが求められている。そこで、サブサハラアフリカでコメの生産量および消費量が多いマダガスカル農村地域を対象に、2018～2020 年までの3年間、600 家計の生産・消費などをモニタリングし、得られたデータを計量経済学的手法を用いて分析することで、水稻の収量が微量栄養素も含めた栄養供給に与える経路や影響の強弱を検証する。

成果の内容・特徴

1. 水稻収量に対するエネルギー、亜鉛、鉄分、ビタミン A の弾力性は有意に正の値をもつ。すなわち、水稻収量が増えることで、対象地域で不足するこれらの栄養素の供給量が増加する（図 1）。例えば、水稻収量がヘクタール当たり約 1 トン増加した場合、平均世帯で一人当たりのエネルギー摂取量が 212.4 kcal（水稻収量が 1% 増加した場合 0.33 % 増加、すなわち弾力性：0.33、以下同じ）、亜鉛摂取量が 0.7 mg（弾力性：0.23）、鉄分摂取量が 3.1 mg（弾力性：0.70）、ビタミン A 摂取量が 21.3 μ g RAE（弾力性：0.30）増加すると推定される。
2. 水稻収量が増えることで、コメ消費量（弾力性：0.20）だけでなく、コメを販売することで得られる現金収入（弾力性：0.41）も増える（表 1）。
3. 現金収入が増えることで、市場での野菜、果物、肉・魚の購入量が増加する（図 2）。
4. コメを販売するかどうか（Yes/No）に対して、収量は有意に正の影響がある（表 2）。一方、収量と、住居から主要道路までの距離を掛け合わせた変数（交差項）は、有意に負の影響がある（表 2）。市場ア

kses（主要道路までの距離と関連）の良さがコメの販売を促進しており、市場が果たす役割の重要性が示唆される。

5. 以上より、水稻の生産性向上が自家消費量を増加させる（図 3 赤線）ことに加え、市場経路（図 3 青線）を通じて栄養価の高い食品を購入することがわかる。よって、水稻の生産性向上は量（エネルギー供給量）と質（微量栄養素を含む栄養バランス）の両面で農家の栄養改善に有効である。

成果の活用面・留意点

1. これらの成果はサブサハラアフリカの農村地域で栽培される主食作物の生産性向上を介した栄養改善策の立案や活動の科学的論拠としての活用が期待される。
2. サブサハラアフリカの農村地域においての主要作物の生産性向上を目的とした技術的な介入は、貧困農家の栄養改善、ひいては SDGs の目標 2「飢餓をゼロに」に貢献することが期待される。
3. 消費だけでなく市場を通じた購買行動の多様化が生じたことによる結果であり、技術導入とあわせて農家の市場アクセスを確保する必要がある。

その他

予算区分：交付金 [B5 アフリカ稲作システム（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)]

研究期間：2017～2022 年度

研究担当者：白鳥佐紀子（情報広報室）、尾崎諒介（社会科学領域）、Relwendé Apollinaire Nikiema・櫻井武司（東京大学）、Jules Rafalimanantsoa（マダガスカル国立栄養局）

発表論文等：Nikiema et al. (2023) *Food Secur.*

<https://doi.org/10.1007/s12571-022-01333-5>

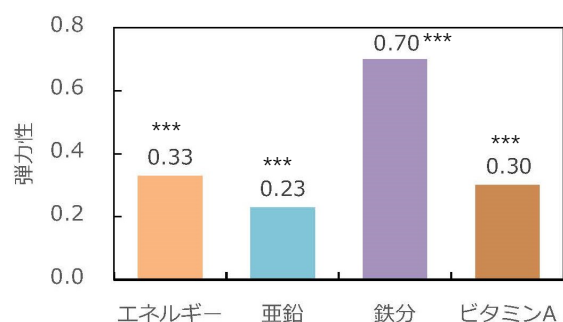


図1 水稲収量の増加が栄養素供給量に与える影響（弾力性）

***は 1%水準で有意差あり。

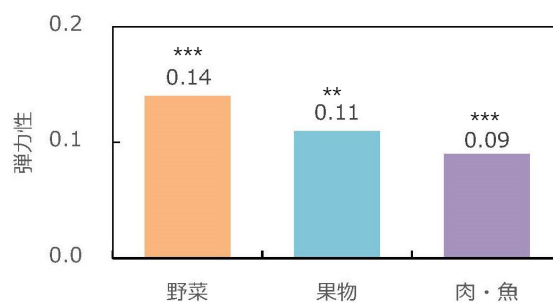


図2 コメ販売による現金収入が市場での食品購入額に与える影響（弾力性）

は 5%水準で有意差あり。*は 1%水準で有意差あり。

表1 水稲収量の増加がコメ消費・コメ販売による現金収入に与える影響（弾力性）

消費	現金収入
0.20***	0.41***

***は 1%水準で有意差あり。

表2 収量、あるいは主要道路までの距離（対数）を掛け合わせた変数（交差項）が販売活動（Yes/No）に与える影響

収量	収量×距離（対数）
0.16***	-0.08***

***は 1%水準で有意差あり。

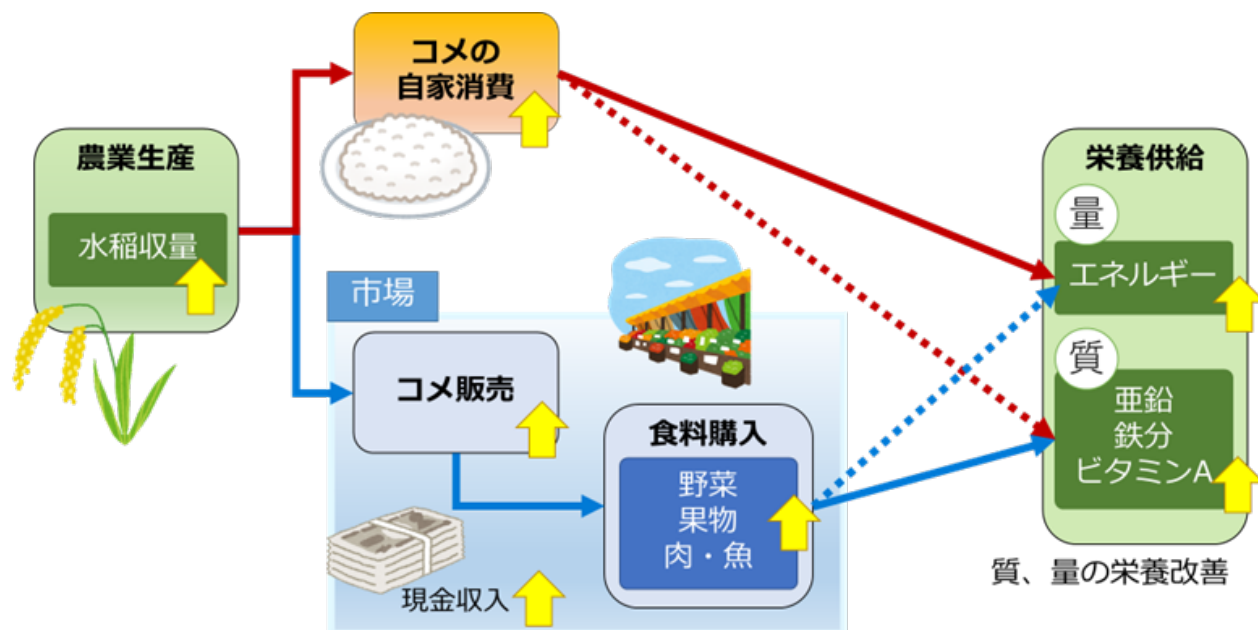


図3 農業生産から農家の栄養供給へのリンク

経路（赤）：コメの生産性向上がコメの自家消費量を増加させ、主に「量」的な栄養改善に貢献

経路（青）：コメの生産性向上が市場販売・現金収入を増加させ、他の栄養価の高い食品を市場で購入することで主に「質」的な栄養改善に貢献

実線の矢印は大きく貢献した経路、破線の矢印は副次的に貢献した経路を示す。

図表は Nikiema et al. (2023)より転載/改変して作成

クリエイティブ・コモンズ・ライセンス (CC-BY 4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ja>

貯水灌漑技術と確率計画モデルを用いた小規模農家の所得変動リスク管理手法

アフリカの小規模農家の多くは、不安定な天水作物生産に生計を依存しており、所得が変動しやすいが、ため池等を活用した灌漑の導入によって、生産性、収益性の安定化が期待できる。ガーナ北部を対象として構築した、ため池の利用条件、農家の経営条件、各種作物の収量、価格、費用の変動などを反映した確率的営農計画モデルを用いることで、農家が所得変動リスクに対処するための最適な貯水灌漑・作付を計画できる。

キーワード：ガーナ北部、リスク、ため池、作付体系、投資

背景・ねらい

アフリカの小規模農家の多くは、不安定な天水作物生産に生計を依存しており、収量・価格変動等に起因する所得変動リスク（以下、リスク）への対応に迫られている。対応策の一つとして、ため池等を利用した灌漑の導入が注目されているものの、その有効性に関する実証研究は限られており、農家のリスク管理に適した灌漑計画も明らかでない。本研究は、ガーナ北部を対象として、5年間の農家参加型実証試験・調査の結果をもとに、新しい貯水灌漑技術（既存のため池で雨季にあふれる越流水を、新設された小規模ため池に貯留し、灌漑に利用する技術）を用いたイネ、葉野菜の栽培と既存の天水作物の栽培を組み合わせた確率的な営農計画モデルを構築し、農家のリスク選好に応じた最適な貯水灌漑・作付計画を策定する。

成果の内容・特徴

1. 構築されたモデルは、農家の経営条件に加え、貯水灌漑技術の導入における水利条件や社会条件を考慮し、各種作物の収量、価格、費用などの変動に依拠した確率計画法による計算を行うことで、農家のリスク許容度を勘案しつつ、所得向上・安定化に最も効果的な貯水利用・作付体系を特定する（図1）。同モデルでは、リスクの度合いを所得の標準偏差により評価する。
2. モデル分析から得られた結果は以下の通りである。
 - (1) リスク最小型
従来の天水農業と同水準の所得を維持したままリスクを最小化するためには、高収益・高リスクのトウガラシ作を減らし、新たな貯水灌漑技術を用いてイネ、葉野菜を栽培する。
 - (2) 従来リスク許容型
従来の天水農業と同等のリスクを許容できる場合、主食のトウモロコシの作付を自給可能な水準まで減らし、貯水を最大限利用して灌漑稲作と葉野菜栽培を拡大することで、期待所得が6割ほど増加する。
 - (3) 期待所得最大型
灌漑稲作と葉野菜栽培を拡大した状態で、天水稲

作をコメの自給が可能な水準まで減らし、トウガラシ作を拡大すると、期待所得が最大化される。この場合、期待所得は従来の天水農業に比べ倍増する一方、リスクも増す。ただしこのリスクは、所得が下振れした場合でも従来の天水農業の所得を上回る可能性が高い（図2）。

3. 「リスク最小型」は期待所得の増加が限定的であるため、貯水灌漑にかかる投資額の回収が困難である。「期待所得最大型」は4年程度、「従来リスク許容型」は8-12年程度で投資額の回収が可能である（図3）。

成果の活用面・留意点

1. 現地の作付計画の立案等が容易に行えるガーナ向けの営農計画策定支援プログラム BFMgh を作成し、国際農研の Web サイトに公開している。サンプルデータとして、ガーナ北部の貯水灌漑作物や天水栽培作物のデータを利用できる。
2. 確率的営農計画モデルは、貯水灌漑技術以外の開発技術を対象として、リスクを考慮した技術導入計画を策定する研究にも応用できる。
3. ガーナ北部を対象として得られた成果であり、その他の地域において貯水灌漑技術を利用する場合は、現地の水利条件等を十分に考慮する必要がある。
4. ガーナ北部では、農業用ため池であっても、一部を生活用水として利用する意向を持った住民がいるため、水利用競合の可能性に注意が必要である。

その他

予算区分：交付金 [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 [農水省補助金]

研究期間：2015～2022年度

研究担当者：小出淳司（社会科学領域）、横山繁樹（企画連携部）、廣内慎司・岡直子（農村開発領域）、廣瀬千佳子（元農村開発領域）、柳原誠司（生物資源・利用領域）、小田正人（元生産環境・畜産領域）、大石亘（筑波大学）

発表論文等：1) Koide et al. (2021) *Agric. Syst.* 191: 103149. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103149>

2) 「営農計画策定支援プログラム BFMgh」(2022) https://www.wjircas.go.jp/ja/database/farm_management_model_for_shfa

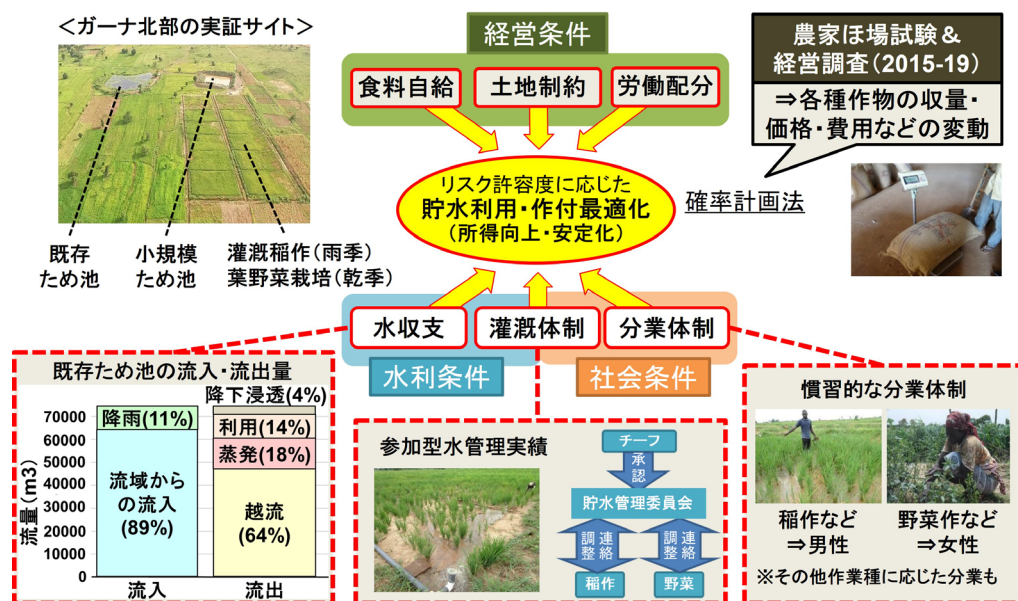


図1 構築された確率的営農計画モデルの概略図

貯水利用については、既存ため池からの越流水を貯留できるように新設された小規模ため池の貯水量の範囲内で、灌漑作物への水配分が最適化される。小規模ため池の貯水量は、既存ため池からの越流水の流入、湖面降雨、蒸発等により規定される。

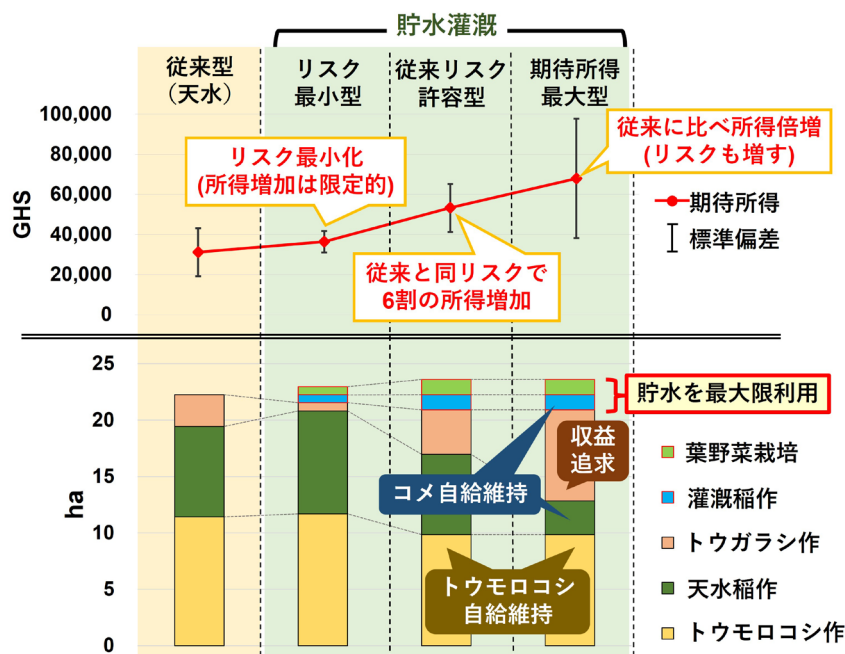


図2 リスク許容度に応じた最適作付計画(下)とその所得向上・安定化効果(上)

ガーナ北部の実証サイトにおける小規模ため池(貯水量:5000m³)を用いた灌漑農家30戸を対象としたモデル分析の結果。リスクは所得の標準偏差(図中のバー)に準拠している。GHS: ガーナセディ(現地通貨)

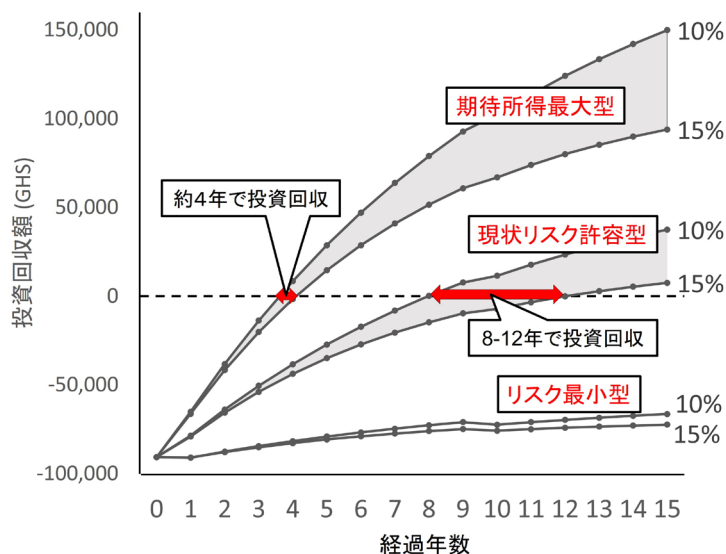


図3 最適作付計画と割引率(10-15%)に応じた投資回収額の推移

投資回収額: それぞれの最適作付計画によって将来得られる所得の現在価値から、貯水灌漑の投資額95,624GHSを差し引いた金額(正味現在価値)。ゼロとの交点が、投資額の回収に要する年数である(図中の赤い矢印)。割引率によって多少前後する。

GHS: ガーナセディ(現地通貨)

図3は Koide et al. (2021) より引用(転載・改変許諾済)

根圏土壌を加えたリン鉱石添加堆肥は化学肥料と同等にソルガム収量を増加させる

サブサハラアフリカの農業生産性を制限している土壌の低いリン肥沃度の改善に向けた新規有機肥料として、ソルガム残渣にリン鉱石と根圏土壌を加えて堆肥化するとリン鉱石土壌添加堆肥が得られる。このリン鉱石土壌添加堆肥は、ソルガム栽培土壌の生物性を高め、既存の化学肥料と同等の増収効果をもたらす。

キーワード：リン鉱石可溶化微生物、リン鉱石添加堆肥、有効態リン、ソルガム、土壌肥沃度

背景・ねらい

サブサハラアフリカの土壌はリン酸肥沃度が低く、農業生産を制限している。そのため、リン肥料の投入が必要であるが、輸入に依存しているためその利用は限られており、特に近年の価格高騰により一層困難な状況になっている。これまでの試験から、ソルガムの残渣を堆肥化する際に、安価なブルキナファソ産低品位リン鉱石を加えることで堆肥中の有効態リン含量が高まり、さらに根圏土壌を添加することで、堆肥中のリン酸塩可溶化微生物量およびリン酸可溶化酵素量が増加することが明らかになっている（令和2年度国際農林水産業研究成果情報 A11「リン鉱石富化堆肥中の有効態リン含量に及ぼす根圏土壌添加の効果」）。

本研究では、こうして製造されるリン鉱石土壌添加堆肥(S-PrCo)の施用効果を、現地圃場におけるソルガム栽培試験を通じて、根圏土壌を添加しない既往のリン鉱石添加堆肥(PrCo)および輸入化学肥料の施用の場合と比較する。さらに、土壌の生物性への影響について評価する。

成果の内容・特徴

1. ソルガムの残渣を 100kg、リン鉱石とソルガムの根圏土壌をそれぞれ 10kg、発酵促進のための窒素源として尿素を 460g 用意し、ビニールシート上に 5 分の 1 量ずつを交互に積み上げ、その後、含水率を 65%程度に調整、2 週間ごとに混合しながら 180 日間発酵させることで、S-PrCo が作成できる（図 1）。
2. ブルキナファソの主要自給作物であるソルガムの作物残渣のみで製造する残渣堆肥(Co)、PrCo、S-PrCo、および化学肥料の施用区を設定してソルガムの栽培試験を実施し、S-PrCo の施肥効果を評価する。
3. 乾物収量（穀実、茎・葉・穂）は、S-PrCo 区では Co 区や PrCo 区と比較して有意に大きく、化学肥料区と同等の増収効果を示す（図 2）。
4. S-PrCo 区では、化学肥料区と比較して、根圏土壌中の細菌、アーバスキュラー菌根菌、酸性ホスファターゼ(*aphA*)、およびホスホナターゼ、グルコースデヒドロゲナーゼ(*gcd*)、リン酸特異的トランスポーター(*pstS*)など、リン酸塩の可溶化、代謝、吸収に関連する多くの微生物

量や酵素量が増加する（図 3）。また、PrCo と比較した場合でも、*aphA*、*gcd* および *pstS* が大幅に増加する。

5. 以上の結果より、S-PrCo による大きな増収効果は、施用による土壌中の有効態リン含量の増加だけではなく、土壌の生物性を向上させ栽培期間中のリンの可溶化と吸収が促進されるためと考えられる。

成果の活用面・留意点

1. リン酸塩可溶化微生物が豊富な根圏土壌が添加された S-PrCo は、サブサハラアフリカのリン欠乏土壌において、土壌の生物性を改善し作物生産を増加させる。
2. S-PrCo の施用は、土壌 pH の矯正効果などの土壌化学性の向上効果も認められる。
3. 本研究の成果は、農家にとって、化学肥料価格の上昇と土壌劣化に対する新たな選択肢となることが期待される。
4. 本研究ではブルキナファソ産の低品位リン鉱石を使用し、ブルキナファソにおいて検証されたものであり、他地域における施用効果については留意が必要である。

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)]

研究期間：2017～2022 年度

研究担当者：サール PS・中村智史（生産環境・畜産領域）、岩崎真也（農村開発領域）、Tibiri EB・Zongo AN・Compao re E・Tiendrebeogo F・Traore M（ブルキナファソ環境農業研究所：INERA）、Sagnon A・Barro N・Bonkougou IJO（ジョゼフ・キ＝ゼルボ大学）

発表論文等：1) Sagnon et al. (2022) *Scientific Reports*, <https://doi.org/10.1038/s41598-022-18318-1>

2) Sarr et al. (2020) *Frontiers in Environmental Science*, doi:10.3389/fenvs.2020.559195



図1.リン鉱石土壌添加堆肥利用の概念図

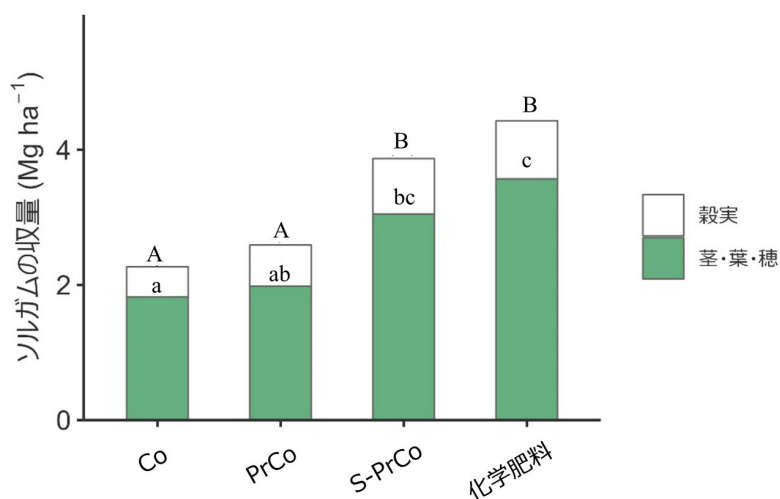


図2.リン鉱石土壌添加堆肥の施肥効果

Co: 残渣堆肥、PrCo:リン鉱石添加堆肥、S-PrCo:リン鉱石土壌添加堆肥、化学肥料: 市販のNPK 肥料
異なるアルファベット大文字は全乾物収量（穀実および茎・葉・穂の合計）における処理間、小文字は穀実収量における処理

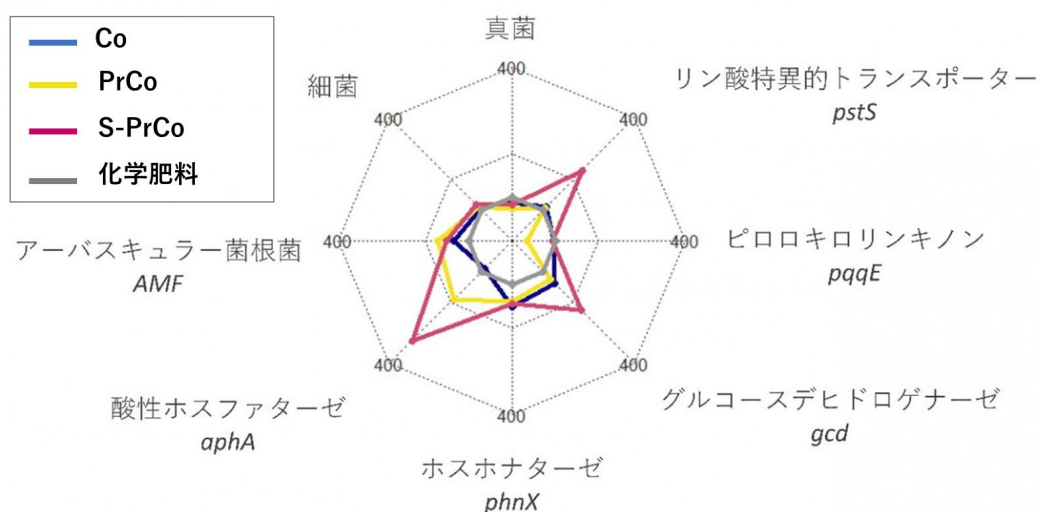


図3 ソルガム生育期間における根圏土壌中の有効微生物量

Co: 残渣堆肥、PrCo:リン鉱石添加堆肥、S-PrCo:リン鉱石土壌添加堆肥、化学肥料: 市販のNPK 肥料
輸入化学肥料を施用した場合（図中灰色）を100%とした相対値（%）で表示。アーバスキュラー菌根菌（AMF）、グルコースデヒドロゲナーゼ（*gcd*）、およびリン酸特異的のトランスポーター生産菌（*pstS*）は生育初期にあたる播種後52日目の値を示す。その他の項目に関しては播種後、52日、93日、115日の平均値を示す。

図は Sarr et al. (2022) より引用（転載・改変許諾済）

ため池への流入量を精緻に算出できるカーブナンバー推定モデル

ため池からの越流水をかんがい利用するには、降雨によりため池に流入する水量（流出量）を推計する必要がある。流域性状等から選択されるカーブナンバー（CN）の値に基づいて流出量を推計するカーブナンバー法において、回帰分析を用いて CN 値を推定するモデルを適用することにより、流出量の精緻な算出が可能になる。

キーワード：ガーナ北部、ため池、流出量、カーブナンバー

背景・ねらい

ガーナ国の北部州では、主に乾期における生活用水等の確保を目的としたため池（図1）が多く存在する。雨期になるとため池からは水があふれ、あふれた水（越流水）は下流で使われることなく河川に流失している。一方、サブサハラアフリカでは、95%の農家が天水に依存した農業を行っており、越流水をかんがい利用することができれば、農業生産性が向上することが期待される。ため池の越流水をかんがい利用するためには、降雨により流域から流出する水量（流出量）、ため池の貯水量の変化、発生する越流水の量を把握する必要がある。カーブナンバー法は、流域性状等から選択されるカーブナンバー（CN）の値、降雨量、流域面積を用いて流域からの流出量を計算する方法である（図2）が、ため池で観測する実測流出量に対して計算精度が低い。このため本研究では、ガーナ国北部州にあるため池を対象に、実測した流出量と降雨量データを用いた重回帰分析を行い、より精緻かつ実用的に流出量を算出できる CN 値の推定モデルを提案する。

成果の内容・特徴

1. 標準的な、流域性状等から CN の値を選び計算流出量を算出する方法（図3、標準 CN）では、降雨毎の実測流出量を表せず（NSE^{注1} = -4.46）、期間合計の実測流出量との差が大きい（図3）。
2. 実測流出量に近づけるため、降雨ごとに実測流出量から逆算した CN 値を目的変数に、日降雨量、旱天日数（降雨日と降雨日の間の無降雨日数）、1 時間最大降雨量を説明変数とし、重回帰分析により CN 値を推定するモデルを考案した。
3. 考案したモデルのうち、日降雨量（対数）、旱天日数、1 時間最大降雨量を用いて CN 値を推定する方法（方法(1)）は最も再現性が良く、平均^{注2}で NSE=0.74 であった。
4. 方法(1)の要素である時間単位の降雨データの入手が困難な地区では、日降雨量（対数）と旱天日数のみを用いて CN 値を推定する方法（方法(2)）が推奨される（NSE = 0.51）。

5. 方法(1)、方法(2)は、期間合計の実測流出量と計算流出量との差も小さい（図3）。
6. これらの方法で推定した CN 値を用いて降雨ごとの流出量を算出し、算出した流出量と水収支式からため池の貯水量の変化をもとめることにより、ため池の水位が 2.1m を超えると生じる越流水の量（図4）を計算できる。方法（1）を 2017 年に適用すると、ため池から 5,890m³ の越流水が発生していたと計算できる（図5）。
7. 本研究で考案したカーブナンバー推定モデルは、降水量データのみで流出量の推計が可能であり、データの入手が困難な途上国地域で活用できる。

注1：NSE（Nash-Sutcliffe efficiency）は -∞ から 1 までの値をとり、1 に近いほどモデルの適合性が高い。

注2：観測された 3 年分の降雨量と流出高のデータのうち、2 年分のデータを用いて回帰係数を求め、残り 1 年分のデータを用いて NSE を求めている。

成果の活用面・留意点

1. 越流水を稲作かんがい利用する方法は「小規模ため池を利用した補給かんがい稲作マニュアル」として国際農研 HP に掲載している。
2. 本研究の結果は、ガーナ国北部州に多数存在するため池の 1 つを対象にしてモデル計算を行ったもので、他のため池で適用するにあたっては、回帰係数を求めなおす必要がある。

その他

予算区分：交付金 [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 [農水省補助金]

研究期間：2015～2022 年度

研究担当者：廣瀬千佳子（元農村開発領域）、廣内慎司・山田雅一・岡直子・降旗英樹（農村開発領域）、堀野治彦（大阪公立大学）

発表論文等：廣瀬ら（2022）農業農村工学会論文集 90(1). https://doi.org/10.11408/jsidre.90.11_29

「小規模ため池を利用した補給かんがい稲作マニュアル」（2017）
https://www.jircas.go.jp/ja/publication/manual_guideline/irrigation_manual_ja



図1 ため池全景

①CNの選択 ($0 < CN < 100$)

土地利用、土地表面状況などに応じたCNを選択



②単位流出量の算出

降水量とCNの値を用いて単位面積当たり流出量を計算



③流出量の算出

単位面積当たり流出量に流域面積を掛けて流出量を計算

図2 カーブナンバー法による流出量算定方法

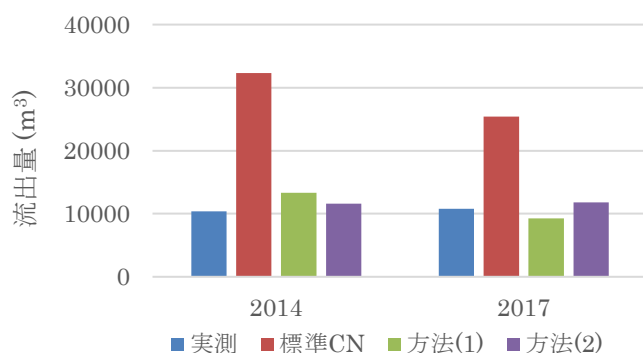


図3 実測流出量と計算流出量

方法(1) $y = -13.38 \ln x_1 - 0.362 x_2 + 0.407 x_3 + 116.741$ 方法(2) $y = -8.718 \ln x_1 - 0.448 x_2 + 109.305$

ここで、

 y : 推定CN値, x_1 : 日降雨量 (mm), x_2 : 旱天日数 (d), x_3 : 1時間最大降雨量 (mm)

計算期間: 貯水開始から水があふれだすまで。

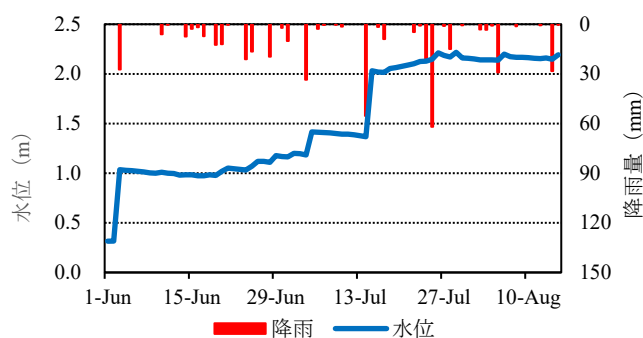


図4 ため池の水位と日降雨量（2017）

ため池の水位が2.1mを超えると、越流が生じる。

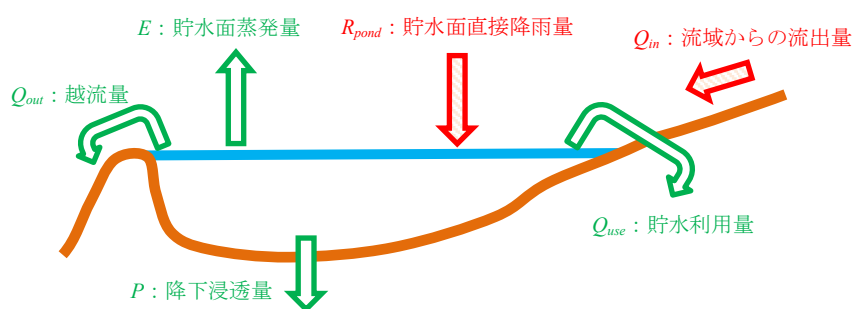


図5 ため池の水収支構成要素、水収支式および方法(1)を用いて計算したため池の年間水収支（2017年）

 Q_{in} : 21,229 m³、 R_{pond} : 3,950 m³ E : 9,017 m³、 P : 6,063 m³ Q_{use} : 4,035 m³、 Q_{out} : 5,890 m³ ΔS : 174 m³

$$\text{水収支式} \quad \Delta S = Q_{in} + R_{pond} - E - P - Q_{use} - Q_{out}$$

ここで、 ΔS : ため池の貯水量変化 (m³/d), Q_{in} : 流域からの流出量 (m³/d), R_{pond} : 貯水面直接降雨量 (m³/d), E : 貯水面蒸発量 (m³/d), P : 降下浸透量 (m³/d), Q_{use} : 貯水利用量 (生活用水量および家畜飲水量) (m³/d), Q_{out} : 越流量 (m³/d)

図4, 5は廣瀬ら(2022)より引用(転載・改変許諾済)

高いさび病抵抗性を有するダイズ新品種「Doncella INTA-JIRCAS」を開発

アルゼンチン国立農牧技術院(INTA)と国際農研が共同開発し、アルゼンチンで登録したダイズ新品種「Doncella INTA-JIRCAS」は、ダイズさび病に対する3つの抵抗性遺伝子の導入により、高いさび病抵抗性を有する。

キーワード：ダイズ、ダイズさび病、抵抗性品種、遺伝子集積、マーカー選抜育種

背景・ねらい

ダイズさび病は、ダイズの落葉を早め、収穫量を減少させるダイズ病害である。南米では、2001年にパラグアイで最初に確認されて以降、ブラジルやアルゼンチンなどの主要なダイズ生産地域に蔓延し、国際市場への安定的供給を行う上で重大な阻害要因となっている。現地農家は殺菌剤を使ってダイズさび病の防除を行っているが、さび病菌の殺菌剤耐性が増大したことにより、防除コストや環境負荷の増大が懸念されている。一方、宿主となるダイズには、これまでダイズさび病に抵抗性を示す8種の遺伝子(*Rpp*)が同定されている。また、これらの遺伝子を集積して導入したダイズは、病原性の異なる多くのさび病菌種に対して抵抗性となるだけでなく、抵抗性の程度も高くなることが明らかになっている。国際農研が育成した抵抗性遺伝子集積系統を用いて、アルゼンチンに適応した高いさび病抵抗性を有するダイズ品種を開発し、同国におけるダイズ生産の安定化に貢献する。

成果の内容・特徴

1. 新品種「Doncella INTA-JIRCAS」は、国際農研が育成した3つの抵抗性遺伝子(*Rpp2*, *Rpp4*, *Rpp5*)を有するさび病抵抗性系統「No6-12-1」を一回親*、アルゼンチン国立農牧技術院(INTA)の品種「ALIM5.09」を反復親**とし、DNAマーカー選抜を利用した戻し交配育種によって開発された品種であり、アルゼンチン国において令和4年4月25日付で登録されている（品種登録番号：4304）。
2. 圃場における罹病度（病斑面積率）は、反復親・対照品種であるALIM5.09や対照品種であるINTA Paraná 629、INTA Paraná 5500では30%を超えるのに対し、新品種では1%以下である（図1）。また、人為接種により感染させた場合でも、高い抵抗性を示し、孢子形成が見られない。
3. 新品種は、ALIM5.09と伸育性、花色（胚軸色）、毛じ色（茎および莢）、葉形、種皮色、臍の色、草丈、種子脂質含有率、種子粗タンパク含有率、ダイズ茎かいよう病抵抗性、除草剤抵抗性について同等の特性を有する（表1）。

4. 栽培地や栽培年の環境の変化によって収量は変化するが、新品種は2017–2018年のParana試験場の環境下で対照品種ALIM5.09よりも有意に高い傾向にある（表1）。

*一回親：戻し交配育種において、最初の交配のみに使用される親を指す。新品種に取り込ませたい特性を持つ。

**反復親：戻し交配育種において、戻し交配に連続して使用される親を指す。特性を取り込ませたい品種。

成果の活用面・留意点

1. 新品種ではさび病感染もさび病孢子の生産も抑えられているため、大幅に殺菌剤使用を削減できる可能性がある。
2. アルゼンチンのミシオネス州では、2020年度からグリホサート類の特定地域における使用を禁止する法律が施行され、普及率97%以上を占める除草剤耐性組換えダイズ品種の優位性が低下するため、非組み換えである本新品種が普及する可能性がある。
3. 新品種を長く活用するには、抵抗性を打破する新たなさび病菌の出現を抑える必要があるため、適切な量と頻度で殺菌剤を併用することが望ましい。

その他

予算区分：交付金 [C2 実用化連携（第5期）、B4 病害虫防除（第4期）、B3 畑作安定供給（第3期）]

研究期間：2012～2022年度

研究担当者：山中直樹（生物資源・利用領域）、DE LUCIA Adrián（アルゼンチン国立農牧技術院）、HECK Mónica（アルゼンチン国立農牧技術院）

発表論文等：アルゼンチン農牧水産省 国立種子研究所（IN ASE） 品種登録番号4304、登録日：2022年4月25日

Kato et al. (2022) *Tropical Plant Pathology* 47: 599–607. <https://doi.org/10.1007/s40858-022-00516-x>

Yamanaka and Hossain (2019) *Plant Breeding* 138: 686–695. <https://doi.org/10.1111/pbr.12720>

	新品種	対照品種 1 (反復親)	対照品種 2	対照品種 3
品種名	Doncella INTA-JIRCAS	ALIM5.09	INTA Paraná 629	INTA Paraná 5500
さび病罹病度 (%±SD)	1%以下	37.3±1.1	46.2±4.0	50.8±1.1
孢子生産レベル	0	3	3	3
さび病菌感染葉の 写真				

図1 ダイズ新品種および対照品種のダイズさび病の罹病度および抵抗性

新品種：Doncella INTA-JIRCAS と登録出願の対照品種：ALIM5.09（反復親）、INTA Paraná 629、INTA Paraná 550 のダイズさび病罹病度（病斑面積率%）と抵抗性（病斑上の孢子生産レベル 0-3）。アルゼンチン INTA-Cerro Azul 農業試験場圃場における試験結果。

表1 ダイズ新品種および対照品種の主要特性

	新品種	対照品種 1 (反復親)	対照品種 2	対照品種 3
	Doncella INTA-JIRCAS	ALIM5.09	INTA Paraná 629	INTA Paraná 5500
伸育性	無限	無限	無限	無限
花色（胚軸色）	紫	紫	紫	紫
毛じ色（茎・莢）	白	白	白	白
葉形	楕円	楕円	楕円	長楕円
種皮色	黄	黄	黄	黄
臍の色	黄	黄	薄茶	黒
生育期間	104 日	107 日	119 日	121 日
草丈	69.4 cm	69.1 cm	93.8 cm	87.5 cm
100粒重	18.5 g	21.1 g	15.2 g	11.9 g
種子脂質含有率 ¹⁾	23.1%	22.6%	23.5%	23.4%
種子粗タンパク含有率 ¹⁾	40.5%	40.9%	35.6%	34.0%
ダイズ茎かいよう病抵抗性	中抵抗性	中抵抗性	抵抗性	抵抗性
ダイズさび病抵抗性	抵抗性	感受性	感受性	感受性
除草剤抵抗性	感受性	感受性	感受性	抵抗性
収量（t/ha） ²⁾				
2018－2019 Cerro Azul試験場	1.7667	1.7778	1.8326	1.8289
2018－2019 Parana試験場	3.9286	4.0715	4.5631	3.8447
2018－2019 Marcos Juarez試験場	3.5929	3.8782	4.0828	3.0326
2017－2018 Cerro Azul試験場	2.7370	2.9699	2.8815	2.6359
2017－2018 Parana試験場	2.5236	1.6240	2.1481	2.0371

¹⁾ 種子粗タンパク質・脂質含有率は Marcos Juarez 試験場と Parana 試験場で収穫された種子で計測した平均値を示す。

²⁾ 2 年 3 箇所合計 5 つの収量データの有意水準(5%)は上から 0.2686、0.5281、0.5043、0.7936、0.4001 (t/ha)。

図表は品種の登録出願書より改変して引用

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/>

