

**[成果情報名] 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**

**[要約]** 東南アジアにおける肉牛からの消化管発酵由来メタンの排出量と変換係数は、飼料摂取量、飼料の化学成分と飼料消化率から推定できる。メタン排出量の推定に利用されているメタン変換係数の東南アジア肉牛での値は、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）による既定値よりも高い。

**[キーワード]** 東南アジア、肉牛、消化管発酵由来メタン、粗飼料比率、メタン変換係数

**[所属]** 国際農林水産業研究センター 生産環境・畜産領域

**[分類]** 研究

**[背景・ねらい]**

東南アジアでの牛からの消化管発酵由来メタン排出量の現状把握や抑制技術開発のために、国際農研ではタイおよびベトナムに牛用メタン排出量測定装置を設置し、1990年代後半から測定を行ってきた。IPCC ガイドライン（2006年版）では、メタン排出量算定に利用されるメタン変換係数（摂取したエネルギー当たりの排出されたメタンのエネルギー）の既定値は地域によらず一定としているが、東南アジアへの適用に際しては、その妥当性について検証が必要である。東南アジアで利用可能な肉牛からのメタン排出量推定方法を提案するとともに、メタン変換係数を求める。

**[成果の内容・特徴]**

1. タイおよびベトナムにおいて一般的な肉牛である、タイ在来種雄牛、ブラーマン種雄牛、およびライシン種雄牛（写真 1）におけるメタン排出量、飼料摂取量、飼料成分、消化率および体重（2005~2016年）をデータベース化し（データ数はそれぞれ、121例、171例および40例）、混合モデルによるメタデータ解析を行う。
2. メタン排出量は、乾物摂取量、および飼料の乾物当たり粗脂肪含量から（表 1(1)式）、あるいは、乾物摂取量のみから推定が可能である（表 1(2)式）。これは、摂取した飼料の発酵によってメタンが生じること、脂肪はメタン産生に関与する発酵に抑制的に働くためである。
3. メタン変換係数は乾物摂取量、体重、飼料中の乾物当たり粗タンパク質含量と粗脂肪含量、および、乾物消化率により推定できる（表 1(3)式）。これは、飼料の消化管内における発酵量とこれに影響を与える化学成分がメタン変換率に影響しているためである。
4. 飼料中の粗飼料比率によって牛を低粗飼料群、中粗飼料群および高粗飼料群に分類すると、(3)式から求めたメタン変換係数はそれぞれ 7.3%、7.3%および 8.1%となり、高粗飼料群が低・中粗飼料群よりも高い（図 1）。これらの値は IPCC ガイドライン（2006年版）における穀物を多給されていない牛での既定値（6.5%）よりも高く、規定値を用いた場合、排出量を過小評価する可能性がある。

**[成果の活用面・留意点]**

1. 推定式作成には 2005 年から 2016 年に得られた測定結果を用いた。
2. 本推定式を用いることにより、IPCC ガイドラインの現状の推定方法（Tier1）より高い精度での推定（Tier2）が可能となる。
3. 本推定式は東南アジアの肉牛に限定する。

[具体的データ]



写真 1 メタン排出量測定を実施した牛品種

表 1 メタン排出量およびメタン変換係数の推定式

	最小二乗誤差	R <sup>2</sup>
(1) メタン排出量 (g/日) = 22.67 × 乾物摂取量 (kg/日) - 3.73 × 粗脂肪 (%乾物) + 23.32	18.64	0.783
(2) メタン排出量 (g/日) = 22.71 × 乾物摂取量 (kg/日)	19.36	0.766
(3) メタン変換係数 (%) = - 0.782 × 乾物摂取量 (kg/日) / 体重 (kg) - 0.073 × 粗タンパク質 (%乾物) - 0.436 × 粗脂肪 (%乾物) + 0.049 × 乾物消化率 (%) + 8.654	1.348	0.391

R<sup>2</sup>, 自由度調整済み決定係数; モデルでは牛品種を固定効果ではなく変量効果として扱った。

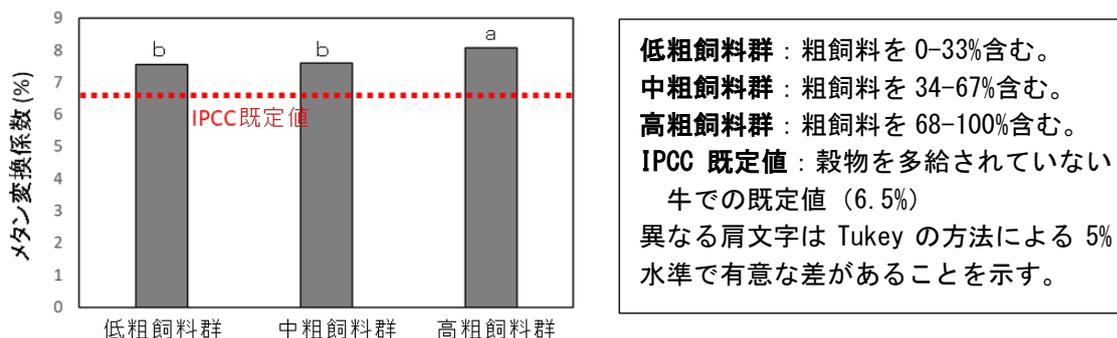


図 1 粗飼料比率（乾物ベース）別のメタン変換係数

[その他]

研究課題：開発途上地域農業の温室効果ガス排出抑制とリスク回避技術の開発

プログラム名：開発途上地域における持続的な資源・環境管理技術の開発

予算区分：交付金 [気候変動対応]

研究期間：2018 年度 (2014~2018 年度)

研究担当者：鈴木知之（農研機構 畜産研究部門）、Sommart K・Phromloungsri A（コンケン大）、  
 Angthong W（反すう家畜飼養標準研究開発センター）、Nguyen VT（カントー大）、  
 Chaokaur A（シルパコン大）、Nitipot P（カラシン大）、蔡義民（農研機構 畜産研究部  
 門）、西田武弘（帯畜大）、寺田文典（東北大）、酒井貴志・川島知之（宮崎大）

発表論文等：Suzuki T et al. (2018) Animal Science Journal, 89:1287-1295

**[成果情報名] キャッサバパルプは肉牛用飼料に適し、成分の季節・工場間変動も小さい**

**[要約]** タイ東北部のキャッサバデンプン抽出工場から排出されるキャッサバパルプの化学成分の工場や季節による変動は比較的小さく、これを飼料中 50%（乾物ベース）まで混合した飼料を肉用牛に給与した場合、良好な増体成績を得られる。

**[キーワード]** キャッサバパルプ、タイ、タイ在来種牛

**[所属]** 国際農林水産業研究センター 生産環境・畜産領域

**[分類]** 技術

**[背景・ねらい]**

タイで生産されるキャッサバは主にデンプン（タピオカ）の原料として利用されており、国内生産量の半分以上は東北部で生産されている。デンプン抽出残渣であるキャッサバパルプは繊維およびデンプンを多く含むため、家畜生産現場で求められている高栄養で比較的安価な飼料原料となりうるが、排出される季節や工場間の成分変動は明らかではない。そこで、牛用飼料としての利用促進のための情報提供に資することを目的とし、タイ東北部で排出されるキャッサバパルプ化学成分の工場間差および季節間差を明らかにする。またエネルギー価を求めるとともに、キャッサバパルプ混合飼料を用いた肉牛の増体成績を示す。

**[成果の内容・特徴]**

1. タイ東北部に位置する 4 つのキャッサバデンプン抽出工場から、雨期（5 月中旬～10 月中旬）、冬期（10 月中旬～2 月中旬）、および夏期（2 月中旬～5 月中旬）の各季節に採取したキャッサバパルプ化学成分平均値を表 1 に示す。リンおよびカリウム含量は工場間差が認められるが、飼料設計に影響するほどの変動はない。また、排出季節による一定の成分変動は認められない。
2. キャッサバパルプの粗タンパク質含量はキャッサバチップに近い（表 1）。タイ在来種牛 4 頭に、基礎飼料あるいは基礎飼料にキャッサバパルプを混合した飼料を維持量給与して求めたキャッサバパルプのエネルギー価は、乾燥ビール粕に近い。
3. キャッサバパルプを乾物ベースで 10、30 あるいは 50% 含み、粗タンパク質含量が 10% 程度となるように、稲ワラ等タイ東北部で利用可能な農業副産物を混合した発酵混合飼料を調製する（それぞれ、低、中あるいは高飼料とする；表 2）。それぞれ 6 頭（計 18 頭）のゼブー系肉用牛（タイ在来種雄牛、試験開始時平均月齢 15 ヶ月）に 5 ヶ月間自由摂取させた場合、キャッサバパルプ混合比率が高くなるほど混合飼料のエネルギー価は高くなり、肉牛の日増体量は高くなる（図）。

**[成果の活用面・留意点]**

1. 本成果はキャッサバパルプを牛用飼料として高度に活用する際の基礎資料となり、廃棄物処理の促進にも資する。
2. キャッサバパルプは変敗しやすいため嫌気環境下で保存する必要がある。
3. キャッサバパルプの飼料利用は、肉牛の日増体量を向上させ、飼育期間を短くすることができるため、生産物当たり消化管発酵由来メタン排出量の抑制に資する。
4. 飼料設計の際には、粗飼料由来繊維含量等の飼料の物理性および養分要求量に配慮する必要がある。

[具体的データ]

表 1 キャッサバパルプの化学成分およびエネルギー価

	キャッサバパルプ		キャッサバ	乾燥
	平均値	標準誤差	チップ <sup>§</sup>	ビール粕 <sup>§</sup>
DM (%)	18.4	3.9	89.8	91.3
粗タンパク質 (%DM)	2.2	0.5	2.3	25.0
粗脂肪 (%DM)	0.4	0.3	0.5	5.7
中性デタージェント繊維 (%DM)	36.0 <sup>†</sup>	5.1	10.1	50.7
非繊維性炭水化物 (%DM)	59.3 <sup>†</sup>	5.4	10.8	83.3
シアン化水素 (ppmDM)	117	55	-	-
カルシウム (%DM)	0.22	0.07	0.10	0.36
リン (%DM)	0.03 <sup>†</sup>	0.01	0.10	0.47
カリウム (%DM)	0.36 <sup>†</sup>	0.14	0.92	0.04
マグネシウム (%DM)	0.09	0.02	0.09	0.23
可消化養分総量 (%DM)	74.4	0.4	79	70
代謝エネルギー (MJ/kgDM)	11.3	0.1	15.3	11.3

DM: 乾物、<sup>†</sup>: 工場間に有意差あり (P<0.05)、<sup>\*</sup>: 工場と季節間交互作用に有意差あり (P<0.05)

<sup>§</sup>: キャッサバチップと乾燥ビール粕の値はインドシナ半島における肉牛飼養標準 (2010) による

表 2 キャッサバパルプ混合比率の異なる発酵混合飼料の飼料構成および化学成分

飼料構成 (%DM)	飼料中のキャッサバパルプ混合比率		
	低	中	高
キャッサバパルプ	10.0	30.0	50.0
稲ワラ	50.0	30.0	10.0
パーム核粕	23.5	23.5	23.5
大豆粕	5.0	5.0	5.0
米ヌカ	10.0	10.0	10.0
尿素	0.5	0.5	0.5
ミネラル・ビタミン類	1.0	1.0	1.0
化学成分			
粗タンパク質 (%DM)	9.9	9.7	9.7
粗脂肪 (%DM)	5.9	5.9	5.9
中性デタージェント繊維 (%DM)	63.2	53.6	45.2
非繊維性炭水化物 (%DM)	10.5	22.9	33.7
代謝エネルギー (MJ/kgDM)	9.6	11.4	12.4

DM: 乾物

[その他]

研究課題：開発途上地域農業の温室効果ガス排出抑制とリスク回避技術の開発

プログラム名：開発途上地域における持続的な資源・環境管理技術の開発

予算区分：交付金 [気候変動対応]、科研費 [基盤研究(B) (海外学術調査)]

研究期間：2018 年度 (2015~2018 年度)

研究担当者：鈴木知之 (農研機構 畜産研究部門)、Keakliang O・Angthong W・Narmseelee R (タイ、反すう家畜飼養標準研究開発センター)、川島知之 (宮崎大)、Kongphitee K・Gunha T・Sommart K (タイ、コンケン大)、Phonbumrung T (タイ、畜産振興局家畜栄養部)

発表論文等：1) Keakliang O et al. (2018) Animal Science Journal, 89:1120-1128

2) Kongphitee K et al. (2018) Asian-Australas. J. Anim. Sci., 31:1431-1441

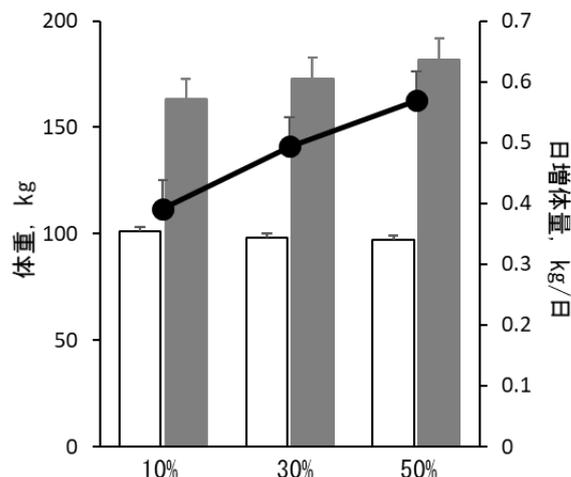


図 1 キャッサバパルプ混合比率の異なる発酵混合飼料を摂取した肉牛の試験開始時体重(□)、終了時体重(■)および日増体量(●)混合比率増加にともない日増体量は直線的に増加 (P<0.05)

**[成果情報名] アジアモンスーン地域の天水稲作における最適播種期予測による収量改善**

**[要約]** 全球スケールの季節予報を統計的にダウンスケーリングした気象予測値をモンスーンアジアの 100 km<sup>2</sup>程度の天水稲作地域に適用できることを明らかにした。これにより、作物生育モデルを使った最適播種期の予測が可能となり、農家の収量を改善できる。

**[キーワード]** 天水稲作、季節予報、最適播種時期、収量改善、意思決定支援システム

**[所属]** 国際農林水産業研究センター 生産環境・畜産領域

**[分類]** 研究

**[背景・ねらい]**

水供給のほとんどを降雨に依存する天水稲作の収量は灌漑稲作の約半分であるが、将来の食料問題に向け、天水稲作での安定かつ高位なコメ生産が必要である。しかし、天水稲作地域の降雨パターンは毎年一定でないため、収量の高位安定化に必要な播種時期の最適化を農民の経験だけで行うことは難しい。この問題を解決するため、稲生育と収量をシミュレーションする作物生育モデルに、数ヶ月～1 年先の気象予測に用いられる季節予報モデルを適用した収量予測技術の開発を行う。作物生育モデルの一つである ORYZA は日別の気象データにより播種時期別の収量を求めることができる。また、季節予報モデルは、アジアモンスーンの発生に深く関わるエルニーニョ・南方振動の予測に優れる SINTEX-F（国立研究開発法人 海洋研究開発機構により開発）を用いた。

**[成果の内容・特徴]**

1. 地球全体を対象とする季節予報モデル(SINTEX-F)からの予測値を、統計的にダウンスケーリングしバイアス補正を行うことにより、100 km<sup>2</sup>程度の複数の天水稲作地域に応用する。これにより、モデルからの予測値（補正值）は現地気象観測値に近似する（図 1）。
2. 稲作物生育モデル（ORYZA）の収量予測精度は、天水稲作で播種時期を変えて栽培する場合でも高い（図 2）。
3. ORYZA の気象データとして、現地気象観測値と補正值を使用する場合の収量を比較する。インドネシア及びフィリピンの天水稲作地域の稲収量は補正值を使って予測ができる（図 3）。
4. インドネシア中部ジャワ州の天水稲作地域で、最適播種時期を予測し奨励施肥法で Ciherang 種を栽培する場合の予測収量と農家圃場の平均収量を比較する。予測情報にしたがって最適時期に播種を行う農家の収量は高く、予測情報が無く最適播種時期を逃した農家の収量は低い（図 4）。なお、対象地での天水稲作の平均収量は 3.42 t ha<sup>-1</sup> (Boling et al. 2008)である。

**[成果の活用面・留意点]**

1. 得られた成果は、天水稲作用の意思決定支援システムである WeRise の予測精度の改善、およびインドネシアで運用中の水稻栽培意思決定システムの機能補完に活用できる。
2. 収量改善には、最適播種時期と共に適切な施肥管理も必要である。
3. 補正值は年一回更新が必要であり、そのためには季節予報の更新費用として 100 km<sup>2</sup>当たり 6 万円程度必要である。継続的なデータ更新のためには、東南アジア等の対象国で入手可能な将来予測値の利用について検討する必要がある。
4. 作物生育モデルは、作物の生育データ、土壌物理化学データ、現地気象データが必要であり、対象とする天水稲作地域でのデータベース構築が必要である。

[具体的データ]

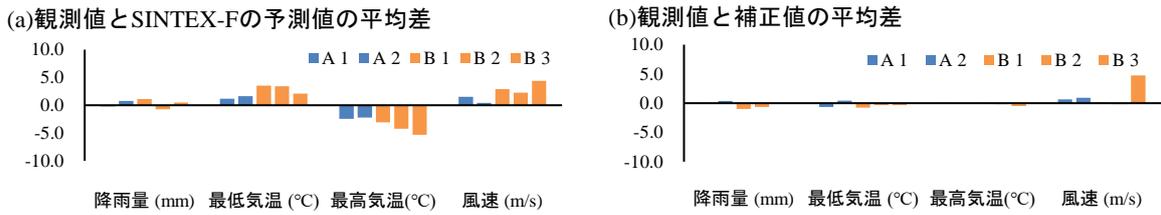


図 1 統計的ダウンスケーリングによる気象データのバイアス補正効果

A1, A2：フィリピンの対象地、B1, B2, B3：インドネシアの対象地。

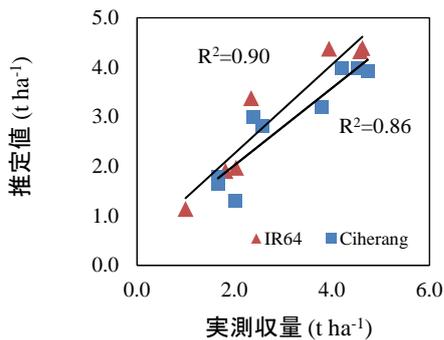


図 2 ORYZA による播種時期別収量予測精度  
赤は IR64 種、青は Ciherang 種、各印は異なる播種期を示す。

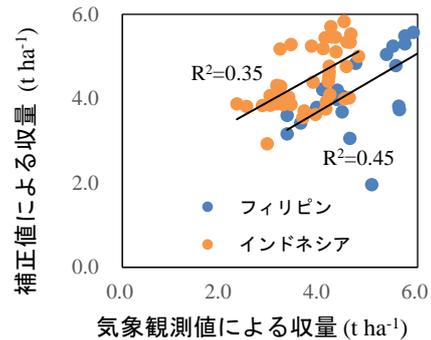


図 3 補正値を作物モデルに用いた場合の予測収量の精度

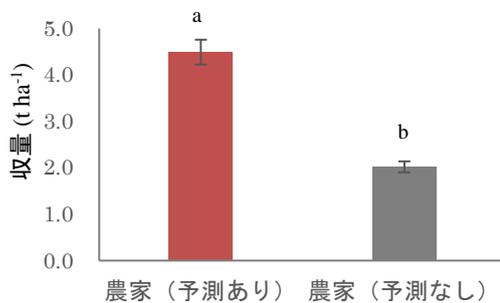


図 4 最適播種期の予測による農家収量の改善

補正値と ORYZA により求められた最適播種期予測があった農家と無かった農家の実測収量を示す。農家（予測あり）と農家（予測なし）を各 5 戸無作為に選出後、前者には播種時期（11 月 6 日～12 月 10 日）と品種を指定、後者には品種のみを指定して栽培。後者は 10 月 10 日～10 月 25 日の期間に播種が行われた。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。

[その他]

研究課題：気候変動に適応した水稻栽培システムの開発

プログラム名：開発途上地域における持続的な資源・環境管理技術の開発

予算区分：拠出金 [IRRI-日本共同研究プロジェクト]、交付金 [気候変動対応]

研究期間：2018 年度（2011～2020 年度）

研究担当者：林慶一、Llorca L・Agbisit R・Bugayong I (IRRI)、石丸努（農研機構）

発表論文等：Hayashi K et al. (2018) Agricultural Systems, 162:66-76

**[成果情報名] スーダンサバンナでは地中レーダーで鉄石固結層の出現深度を測定できる**

**[要約]** 地中レーダーで鉄石固結層の出現深度を精度良く測定できることを世界で初めて明らかにした。スーダンサバンナでは鉄石固結層の出現深度で土壌型や土地生産力を推定できるため、今後地中レーダーで簡単・迅速に土壌型および土地生産力の評価が可能になる。

**[キーワード]** サブサハラアフリカ、半乾燥地、土壌分類、物理探査、非破壊検査法

**[所属]** 国際農林水産業研究センター 生産環境・畜産領域

**[分類]** 研究

**[背景・ねらい]**

最貧国が集中するスーダンサバンナ（西アフリカの年平均降水量が 600~900mm の半乾燥地）で砂漠化と飢餓の問題を解決するためには、土壌を適切に保全しつつ、持続可能な方法で農業生産力を高める必要がある。本地域では、これまで土壌保全、品種改良、栽培管理等に関する研究が実施されてきたものの、土壌中に鉄石固結層（作物生産に寄与しないレンガの様に堅密な層）が分布し数百 m 程度離れただけでも土壌型と土地生産力が変わるという特徴のため、ある調査地点で得られた試験結果の適用範囲が分からず、研究成果を実用的に利用できていない。一方、土壌型と土地生産力の把握には高度な専門知識や多大な労力・時間が必要なことから、大規模な調査を実施することは難しい。以上のように、スーダンサバンナでは迅速に土壌型と土地生産力を把握できる簡便な手法の開発が強く望まれている。

**[成果の内容・特徴]**

1. 乾燥時の鉄石固結層の比誘電率は他の土層より大きいため、鉄石固結層の出現深度は地中レーダーで精度良く測定できる（図 1, 2）。
2. スーダンサバンナで優占する土壌型（2 種類の Plinthosols、Lixisols）は鉄石固結層の出現深度から概ね推定でき（Ikazaki et al. 2018）、また鉄石固結層の出現深度と慣行法（無施肥）で栽培した際のソルガム収量には有意な正の相関が認められる（図 3）。従って、同地域では従来の様に試坑（幅 1.0 m×奥行 1.5 m×深さ 1.3 m 程度の穴）を掘ることなく地中レーダーで簡単かつ迅速に土壌型を把握でき、またソルガムの生産力も推定できる。
3. 試坑を伴う従来の調査では土壌型の情報が点であったのに対し、本手法では迅速に二次元（面的に広がる）の土壌型の情報が得られる。
4. 本手法は誰でも簡単に実施できることから、今後スーダンサバンナで土壌型と土地生産力を踏まえた土壌保全、品種改良、栽培管理等の技術開発が加速され、砂漠化と飢餓の問題が解決に向けて大きく前進すると期待できる。

**[成果の活用面・留意点]**

1. スキャン画像中での鉄石固結層の判読は地中レーダーに付属する簡易なプログラムで簡単に実施できるため、本手法は物理探査や土壌に関する高度な専門知識や経験を要求しない。
2. 本手法は乾季が明瞭で鉄石固結層が分布する他の地域（ブラジルや東アフリカなど）で利用できる。
3. 地中レーダーによる土壌型の把握は、鉄石固結層の出現深度から土壌型を推定できる場合のみ有効であり、全ての土壌型の推定に有効という訳ではない。
4. 地中レーダーによる物理探査は比誘電率が高い水の影響を強く受けるため、本手法は土壌が乾燥しない湿潤な気候下では利用できない。

[具体的データ]

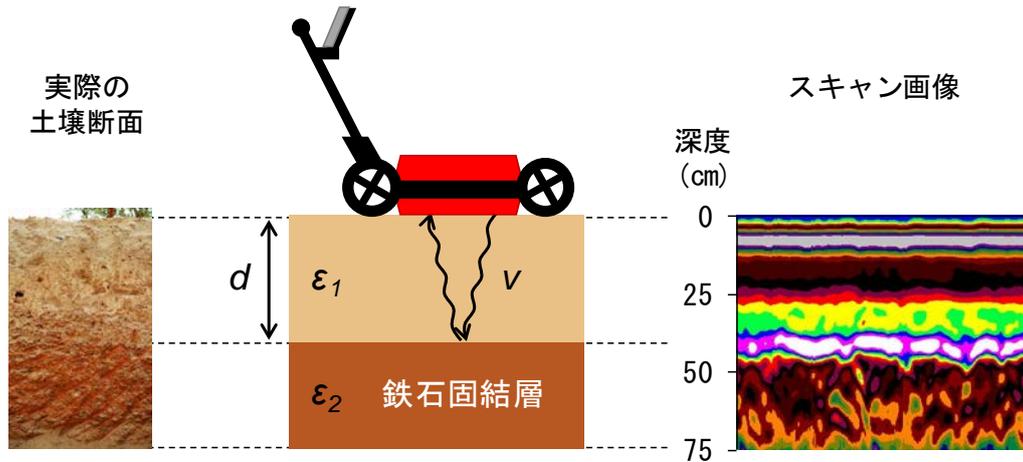


図 1 地中レーダーによる鉄石固結層の検出（模式図）

比誘電率( $\epsilon$ )が大きく異なる土層があった場合、地中レーダーはその境界を検出できる（左図、中図）。境界の深度( $d$ )は電磁波の速度( $v$ )と往復時間から計算される。境界はスキャン画像（右図）の中では強い反射（紫～白）として現れる。本研究では 300 と 800 MHz の 2 アンテナを有するレーダーを用いた。

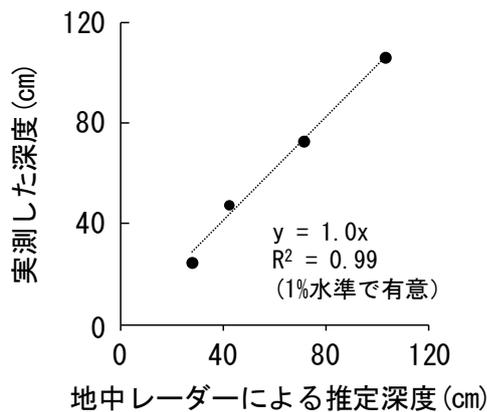


図 2 地中レーダーで推定した鉄石固結層の出現深度と実測値との関係

地中レーダーによる測定は走査方向を変えて 2 反復で行い、その平均値を示した。

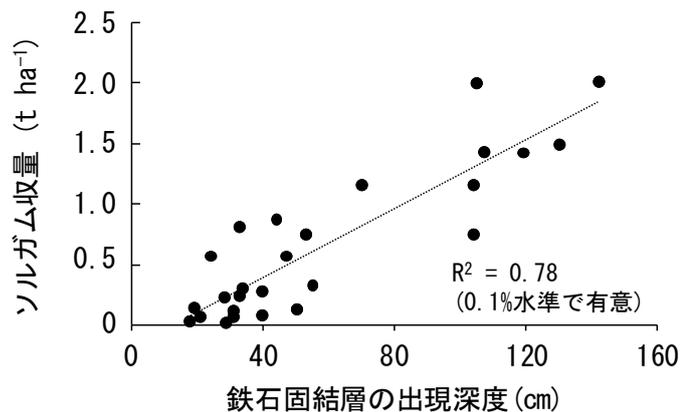


図 3 鉄石固結層の出現深度と慣行法（無施肥）でのソルガム収量との関係

年平均降水量が 800 mm のブルキナファソ環境農業研究所サリア支所での結果を示した。

[その他]

研究課題：サブサハラアフリカの土壌侵食危険地域における集約型流域管理モデルの構築

プログラム名：開発途上地域における持続的な資源・環境管理技術の開発

予算区分：交付金 [アフリカ流域管理]

研究期間：2018 年度（2016～2020 年度）

研究担当者：伊ヶ崎健大、南雲不二男、Simpore S・Barro A（ブルキナファソ環境農業研究所）

発表論文等：Ikazaki K et al. (2018) SSPN, 64: 623-631

**[成果情報名] スーダンサバンナでは間作を除いた保全農業で十分土壌侵食を抑制できる**

**[要約]** スーダンサバンナでは最小耕起と作物残渣マルチの 2 要素からなる保全農業で土壌侵食を抑制でき、「マメ科作物との間作」という要素を加えても更なる土壌侵食抑制効果は得られない。

**[キーワード]** サブサハラアフリカ、半乾燥地、砂漠化、畑作、水食

**[所属]** 国際農林水産業研究センター 生産環境・畜産領域

**[分類]** 技術

**[背景・ねらい]**

西アフリカのスーダンサバンナ（年平均降水量が 600～900 mm の半乾燥地）では、水による土壌侵食（表層土壌が削られる現象で水食と呼ばれる）を主要因とする砂漠化が深刻である。FAO は土壌侵食を抑制する技術として①土壌かく乱の最小化、②有機資材による土壌被覆、③マメ科作物（例えばキマメなど）との輪作／間作の 3 要素をパッケージ化した保全農業を世界的に推進している。しかし、スーダンサバンナでは農民に 3 要素の全てを実施する余裕がないため、保全農業は普及していない。従って、今後保全農業を土壌侵食対策として普及するためには、少しでも農民の負担を軽減すべく、パッケージ化された 3 要素の全てが本当に土壌侵食の抑制に不可欠なのか再検討する必要がある。特にマメ科作物との間作（当地域では輪作より間作が一般的である）は土壌侵食の抑制に貢献しない可能性があることから、その検証は喫緊の課題である。

**[成果の内容・特徴]**

1. 土壌侵食量は、土壌侵食量  $[g] = \text{土砂濃度 } [g L^{-1}] \times \text{降水の流出率 } [\%] \times \text{降水量 } [L]$ 、という式で表現できる。土壌保全技術は土砂濃度あるいは降水の流出率（土壌に浸み込まなかった割合）を下げることで土壌侵食を抑制する。スーダンサバンナで保全農業を実施した場合、土壌侵食は土砂濃度の低下というよりは降水の流出率の低下によって抑制される（図 1）。
2. 降水の流出率の低下は、主に土壌被覆材（マルチ材）として用いたソルガム残渣の直下に発達したシロアリおよびコモリグモの穿孔によって雨水の浸潤速度が高くなること（図 2）、さらにその粗間隙が最小耕起によって維持されることに起因する。
3. 上記 2 の効果が非常に大きいため、最小耕起およびソルガム残渣マルチとともにマメ科作物との間作を実施した場合、間作は土壌侵食の抑制に寄与しない（図 3）。この結果は、最小耕起とソルガム残渣マルチの 2 要素を実施すれば、パッケージ化された 3 要素の保全農業と同様の土壌侵食抑制効果が得られることを示している。従って、スーダンサバンナで土壌侵食を抑制する際には、農民の負担を軽減するためにも、マメ科作物との間作を除いた 2 要素の保全農業が適している。

**[成果の活用面・留意点]**

1. 保全農業を実施する際の農民の負担が軽減されるため、本成果はスーダンサバンナにおける保全農業の今後の普及に可能性を開くものである。
2. 本成果は、気候、土壌、生物相の条件が類似する各国の農業技術普及機関で活用できる。
3. 本研究は保全農業を対象としているため、マメ科作物との間作のみを実施する処理は設けておらず、間作単体の土壌侵食抑制効果については検討していない。従って、本成果はマメ科作物との間作それ自体の土壌侵食抑制効果を完全に否定するものではない。

[具体的データ]

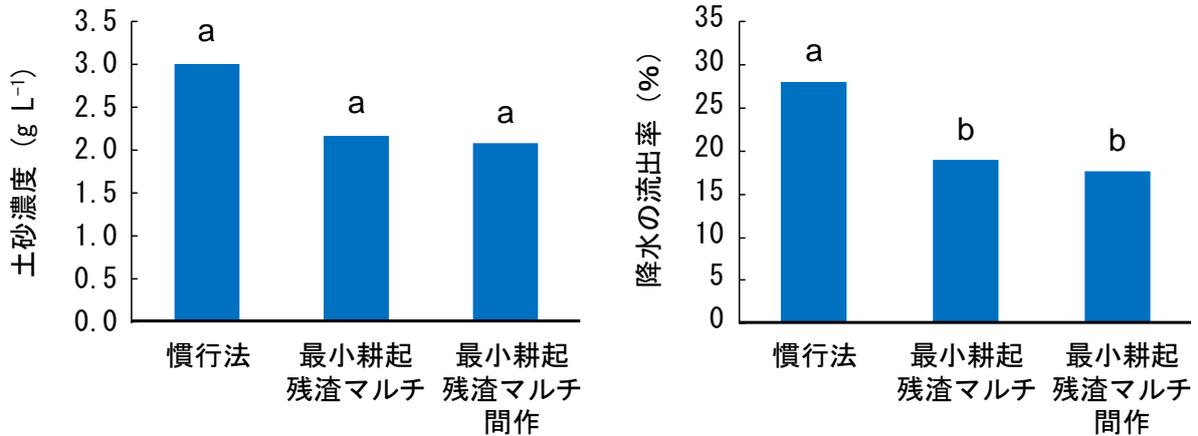


図 1 各処理における土砂濃度（左）と降水の流出率（右）

\*慣行法とは通常耕起、残渣マルチなし、ソルガム単作の組合せを指す。

ブルキナファソ環境農業研究所サリア支所に設置した侵食試験区における 3 年間の試験結果（図 3 も同様）。

異なる文字は群間に有意差があることを示す（P<0.05、チューキーの HSD 検定）。

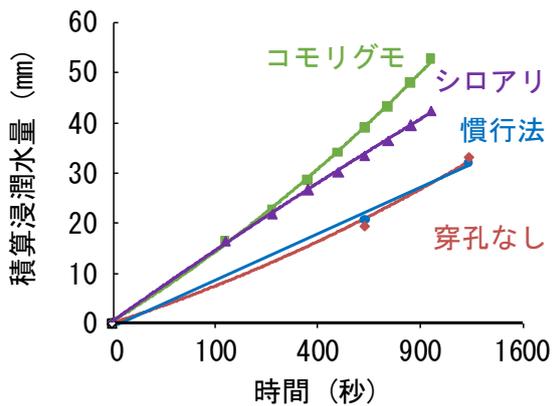


図 2 処理および場所による透水性の違い

コモリグモおよびシロアリはソルガム残渣の直下に発達したそれぞれの穿孔周辺の結果を、また穿孔なしはソルガム残渣が薄く動物による穿孔が見られなかった場所の結果を示す。

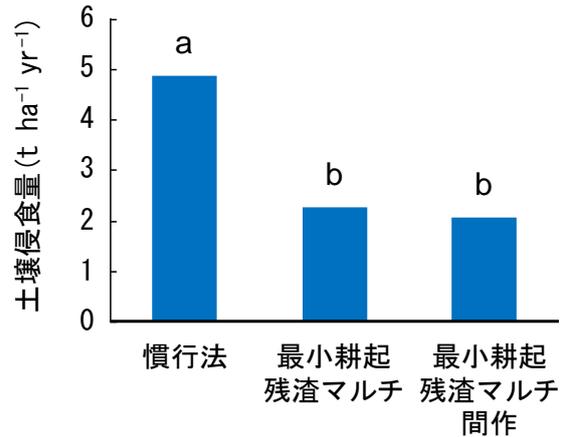


図 3 各処理における土壌侵食量

異なる文字は群間に有意差があることを示す（P<0.05、チューキーの HSD 検定）。

[その他]

研究課題：アフリカサバンナ地帯における持続的生産のための農業技術の確立

プログラム名：開発途上地域における持続的な資源・環境管理技術の開発

予算区分：交付金 [アフリカサバンナ農業]

研究期間：2018 年度（2011～2015 年度）

研究担当者：伊ヶ崎健大、南雲不二男、Simporé S・Barro A（ブルキナファソ環境農業研究所）

発表論文等：Ikazaki K et al. (2018) SSPN, 64: 230-237

**[成果情報名] 畝間灌漑を改良した簡易サージフロー灌漑法は浸透損失を抑制し節水できる**

**[要約]** 畝間への給水を 1 日間隔で 2 回に分けて行う簡易サージフロー灌漑法は、通常の畝間灌漑と比べ、灌漑中に生じる浸透損失を削減できる。この灌漑法は、新たな投資や大幅な労力の増加を伴わずに、圃場への給水量を 19～22%節減できる。

**[キーワード]** 節水灌漑、畝間灌漑、サージフロー灌漑、塩類集積

**[所属]** 国際農林水産業研究センター 農村開発領域

**[分類]** 技術

**[背景・ねらい]**

乾燥地の灌漑農地では、過剰灌漑に伴う多量の水の浸透によって地下水水位が上昇し、灌漑水および地下水に含まれる塩分が作土層に集積することで、農業生産に悪影響が生じている。ソ連時代に大規模な灌漑開発が行われたウズベキスタン共和国（ウ国）では、灌漑農地の約 51%が塩類集積の影響を受けており、深刻な課題となっている。一般的に、地下水水位の上昇抑制には節水灌漑が有効であるが、ウ国では灌漑設備や資金の不足から点滴灌漑や散水灌漑の導入が進んでおらず、広大な圃場で下方浸透の大きい畝間灌漑を行っている。畝間灌漑における節水技術であるサージフロー灌漑法（SF 法）は、段階的な間断給水によって下方浸透を抑制するものであるが、配水管やバルブなどの資材が必要である。そこで、この SF 法の利点を活かしつつ簡素化し、新たな施設や大幅な労力の増加を伴わない節水技術を開発する。

**[成果の内容・特徴]**

1. 通常の畝間灌漑（慣行法）では 1 回、SF 法では 4 回程度に分けて行う給水を、1 日間隔で 2 回に分ける簡易サージフロー法（簡易 SF 法）を考案した（図 1）。簡易 SF 法は給水の切り替えが頻繁でないため、配水管やバルブを必要とせず、用水路から畝間へ直接給水する。
2. 簡易 SF 法で畝間 100 m に給水する場合、1 回目は 0-50 m に給水し、灌漑水が 50 m 地点に達した時点で給水を停止する。翌日の 2 回目では、0-100 m（全区間）へ給水する（図 1）。
3. 畝間に湛水したときの浸透量（畝間湛水試験）は、1 日前に給水した水が浸透した湿潤な畝間では、乾燥状態の畝間よりも浸透性が低下し、60 分間の積算浸透水量が 67%減少する（図 2）。
4. 慣行法に近い給水速度  $1.7 \text{ Ls}^{-1}$  では、1 日前の給水による浸透量の減少により、2 回目の給水時に灌漑水が畝間を早く流れ、畝間末端への到達時間および総灌漑時間が短くなる（図 3）。
5.  $1.7 \text{ Ls}^{-1}$  の給水速度で畝間 100 m に灌漑する場合、簡易 SF 法は慣行法と比べて 19%節水できる。また、畝間を 50 m に短縮すると、節水効果は約 22%に増加する（表 1）。
6.  $5.0 \text{ Ls}^{-1}$  の給水速度で畝間 100 m に灌漑する場合、灌漑水の流速が低下せず、慣行法でも短時間で畝間末端に到達するため、2 回給水する簡易 SF 法では節水効果が得られない（表 1）。

**[成果の活用面・留意点]**

1. 簡易 SF 法は、浸透性の高い圃場で地表灌漑を用いている場合に適用可能である。
2. 簡易 SF 法の適用においては、畝間への給水速度、畝間を流れる灌漑水の流速を考慮し、適用対象とする畝間長を検討する。
3. 灌漑水の流速は畝間の勾配や不陸の影響を受けるため、簡易 SF 法による節水効果を得るには、 $1/500 \sim 1/1000$  程度の勾配を付けた均平な圃場の造成、均一な畝立てが有効である。
4. ウ国では、水利費を面積割で徴収しているため節水意識は高くないが、簡易 SF 法を用いた節水により、地下水水位の上昇を抑制するとともに栽培面積の増加が期待できる。

[具体的データ]

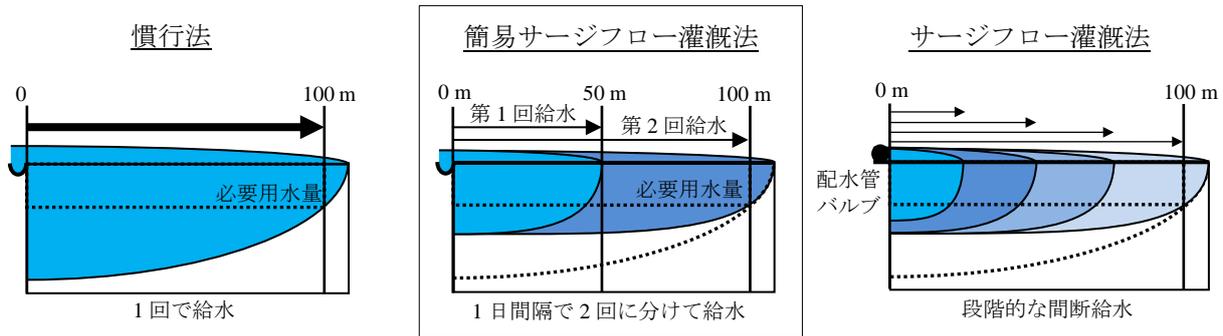


図 1 簡易サージフロー灌漑法と従来法の比較

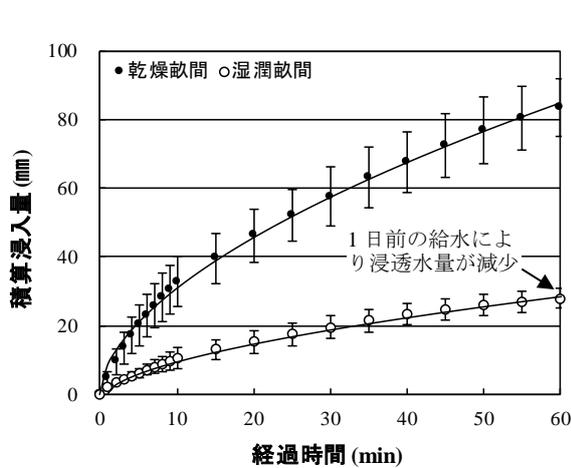


図 2 乾燥及び湿潤状態の畝間への浸透水量

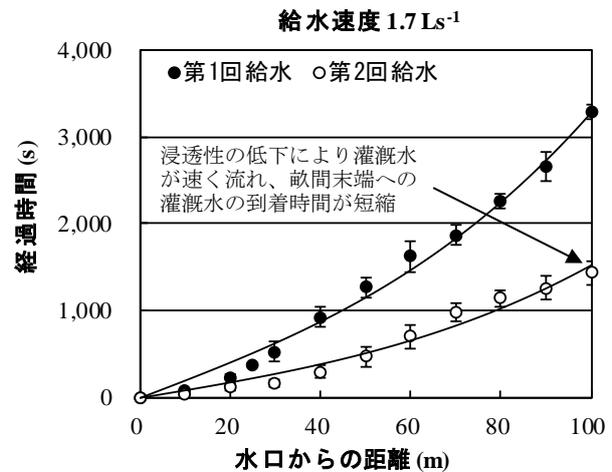


図 3 畝間各地点への灌漑水の到達時間

表 1 簡易サージフロー灌漑法による節水効果と適用効率

給水速度 (Ls <sup>-1</sup> )	畝間長 (m)	必要用水量 [RW] (m <sup>3</sup> )	灌漑処理	灌漑時間 (秒)		給水量 [SW] (m <sup>3</sup> )		節水率 <sup>*)</sup> (%)	適用効率 [RW/SW] (%)
				平均値	標準偏差	平均値	標準偏差		
1.70	100	2.45	慣行法	3,289	88.2	5.59	0.15	-	43.8
	100	2.45	簡易 SF	2,667	229.3	4.53	0.39	19.0	54.1
	50	1.22	慣行法	1,299	152.6	2.21	0.26	-	55.2
	50	1.22	簡易 SF	1,014	57.5	1.72	0.10	22.2	70.9
5.00	100	2.45	慣行法	1,148	95.7	5.74	0.48	-	42.7
	100	2.45	簡易 SF	1,392	99.0	6.96	0.50	-21.3	35.2

<sup>\*)</sup> 同一畝間長への慣行法による給水量に対する簡易 SF 灌漑法で節減した給水量の割合

[その他]

研究課題：アジア・太平洋島嶼水利用制限地域における資源保全管理技術の開発

プログラム名：開発途上地域における持続的な資源・環境管理技術の開発

予算区分：補助金 [農水省・農村振興局]、交付金 [アジア・島嶼資源管理]

研究期間：2018 年度 (2013~2020 年度)

研究担当者：大西純也、池浦弘、Paluashova. G (ウ国灌漑水問題研究所)、Shirokova. Y (ウ国灌漑水問題研究所)、山中勇 (NTC インターナショナル株式会社)、北村義信 (鳥取大学 国際乾燥地研究教育機構)、藤巻晴行 (鳥取大学 乾燥地研究センター)

発表論文等：1) 大西ら (2017) 沙漠研究 27(3):91-101

2) Onishi J et al. (2019) Paddy and Water Environment, 17(2): (ページ未定)

**[成果情報名] 環礁島の地下淡水レンズの汚染源対策は地下水の滞留時間にも配慮すべきである**

**[要約]** マーシャル諸島共和国では、発生源から環境中に排出される窒素負荷量は豚舎において最大である。大規模な豚舎に加え、地下水の滞留時間が長い島の外洋側や南側から汚染源対策を導入することが効果的である。

**[キーワード]** 淡水レンズ、地下水、窒素、発生源対策、環礁島

**[所属]** 国際農林水産業研究センター 生産環境・畜産領域

**[分類]** 研究

**[背景・ねらい]**

最大標高数 m 程度の低平な環礁島により国土が形成される小島嶼開発途上国では、地下に賦存する淡水レンズ（地下の海水の上に浮かぶレンズ状の淡水）を主な水資源として利用することが多い。しかし、環礁島では土壌の透水性が高く、直上の集落からの生活排水や農地や畜舎からの汚水の混入などによる地下水汚染のリスクが高いため、現状の把握とそれに基づく効率的な発生源対策が重要である。マーシャル諸島共和国マジュロ環礁ローラ島（面積：1.8 km<sup>2</sup>、平均標高：約 2~3 m、人口：1,860 人）を対象に（図 1）、淡水レンズ地下水の硝酸性窒素による汚染の状況を把握して、原単位法による家屋、豚舎、畑地からの窒素負荷排出量の試算に基づく汚染リスクの分布を推定し、地下水の滞留時間を考慮した効率的な対策の導入法を提案する。

**[成果の内容・特徴]**

1. 研究対象地域で調査した 73 か所の地下水のうち、家庭井戸 1 地点で硝酸性窒素濃度が WHO（世界保健機関）の飲料水の水質基準値（11 mg L<sup>-1</sup>）を超過している。硝酸性窒素濃度が相対的に高い地下水井は、島の南東側と北西側に存在する（図 2）。
2. 窒素負荷の主な排出源と推定される家屋、豚舎、畑地を対象に、それぞれ既報の原単位（単位量当たりに含まれる窒素量）に悉皆調査で得た人口、豚頭数、畑地面積を乗じて窒素負荷排出量を求めた。島内の窒素負荷排出量は、豚舎>家屋>畑地の順に大きいが、1 発生源あたりの排出負荷量は、豚舎>畑地>家屋の順に大きいと推定される。大規模な豚舎や畑地から対策を順次導入することで、窒素負荷の排出量を効果的に削減できる（表 1）。
3. 石灰岩などカルシウム成分を多く含む地質の分布する地域では、人間や火山活動による影響が大きい場合、地下水中に溶存する非海水起源のカルシウムイオンの濃度は地下水の滞留時間の長さを反映していることから、滞留時間の簡便な指標（ $Inssal-Ca^{2+}$ ）を新たに提案する（図 3）。地下水が全て海水から涵養されている場合は  $Inssal-Ca^{2+}=1$  となり、値が大きいほど非海水起源のカルシウムイオンの割合が高く、滞留時間の長い地下水であると考えられる。
4. 1. で調査した家庭用の井戸における  $Inssal-Ca^{2+}$  は、島の外洋側や南側で高い。これらの地域では地下水の滞留時間が相対的に長い可能性が高く、汚染の長期化に配慮した対策が求められる。

**[成果の活用面・留意点]**

1. 対象地域では、WHO による飲料水の水質基準値を上回る硝酸性窒素濃度が地下水中に検出されていることから、地下への窒素負荷量を削減すべきである。
2. 対象地域における、地表面や地下への窒素負荷量の軽減を検討する基礎データとなり、対策の効率的な実施に寄与する。
3.  $Inssal-Ca^{2+}$  は簡便法であり、島内における地下水の滞留時間はトリチウム（<sup>3</sup>H）、CFCs、SF<sub>6</sub>などを多地点で分析し、結果をもって総合的に判断することが望ましい。

[具体的データ]

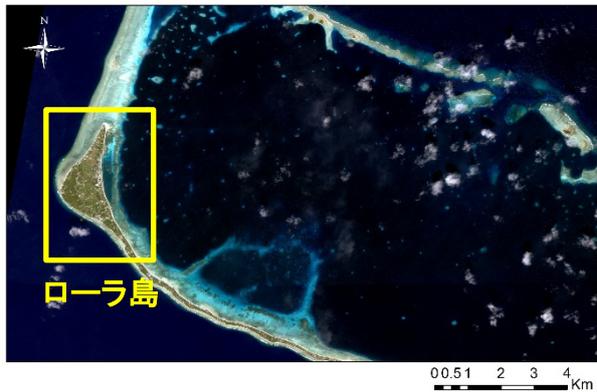


図 1 マーシャル諸島共和国マジュロ環礁ローラ島

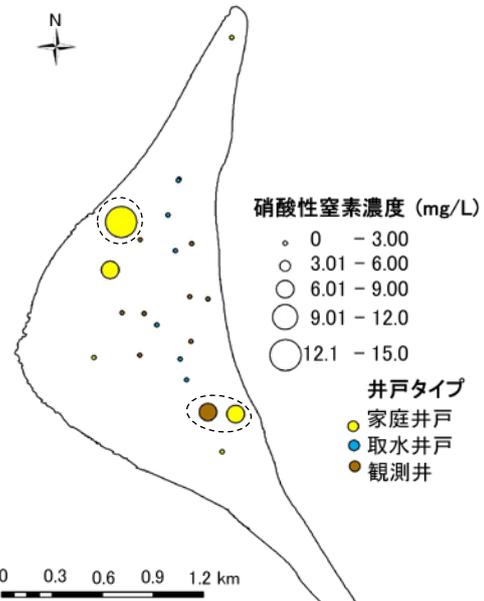


図 2 地下水中に含まれる硝酸性窒素濃度  
(2011 年 2-3 月の調査結果)

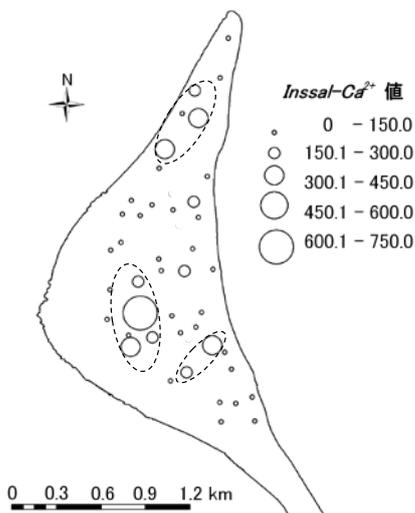


図 3 地下水の Inssal-Ca<sup>2+</sup>値(家庭井戸)

Inssal-Ca<sup>2+</sup>は地下水の滞留時間の長さを表す 1 つの指標で、以下の式で計算できる。

$$Inssal-Ca^{2+} = \frac{[Diss-Ca^{2+}]}{[Diss-Cl^{-}] \times \frac{[Ssal-Ca^{2+}]}{[Ssal-Cl^{-}]}}$$

Diss : 地下水中の溶存成分、Ssal : 海水起源成分、Cl<sup>-</sup> : 塩化物イオン、Ca<sup>2+</sup> : カルシウムイオン

表 1 家屋、豚舎、畑地からの窒素負荷排出量と全体に占める割合

	家屋*	豚舎*	畑地*
窒素排出量の合計 (N g/日)	16,000	18,000	9,200
1発生源から排出される平均窒素負荷量 (N g/日)	70	210	120
1発生源から排出される最大窒素負荷量 (N g/日)	310	5,100	2,200
人為的な窒素排出負荷量に占める割合 (%)	37	42	21

\* 窒素負荷発生源の単位：家屋は 1 軒、豚舎は 1 軒または 1 事業所、畑地は 1 筆

[その他]

研究課題：島嶼における環境保全型農業生産技術の開発

プログラム名：開発途上地域における持続的な資源・環境管理技術の開発

予算区分：交付金 [島嶼環境保全]

研究期間：2018 年度 (2011~2015 年度)

研究担当者：飯泉佳子、大森圭祐、新田直人 ((公社) 国際農林業協働協会)

発表論文等：飯泉ら (2018) 日本水文科学会誌 48(2):81-93

**[成果情報名] 支柱栽培したヤムイモ地上部バイオマスの非破壊推定**

**[要約]** 支柱栽培したヤムイモの地上部バイオマスを非破壊的に推定する簡便・安価な手法を開発した。これにより、ヤムイモの生育調査を大幅に省力化することができるだけでなく、農家圃場における生育診断指標として利用できる。

**[キーワード]** 西アフリカ、ヤムイモ、バイオマス、非破壊計測

**[所属]** 国際農林水産業研究センター 生物資源・利用領域

**[分類]** 研究

**[背景・ねらい]**

世界のヤムイモの 90%以上は西アフリカで栽培され、現地では食料としてだけでなく、換金作物や祭事用として利用される重要作物である。特にホワイトゴニアヤム(*Dioscorea rotundata*)は生産量が最も多く、ナイジェリアにある国際熱帯農業研究所(IITA)を中心に品種改良が行われているが、実用的な品種育成は他の作物に比べて遅れている。この理由の一つとして、ヤムに関する栽培生理学的な知見が少ないことが挙げられる。ヤムは栽植密度が低く、栽培期間も長いために多くの系統を用いた栽培試験には広い圃場と多くの労働力が必要である。さらに、イモによる栄養繁殖であるため、一度に多くの栽培個体を得ることが難しい。これらの理由により破壊調査を伴う研究は避けられる傾向にあり、生長特性などの基本的な情報が十分に得られていない。そこで、市販の安価な分光反射測定装置を用いてヤムの地上部バイオマスを非破壊で推定する手法を開発する。これにより、ヤムイモの生育調査を大幅に省力化することができるだけでなく、農家圃場における生育診断が可能になる。

**[成果の内容・特徴]**

1. 支柱栽培を行うヤム植物体の後方に板を設置し、小型の分光反射測定器(GreenSeeker, Nikon Trimble)を支持棒に沿って植物と平行に走査することで、非破壊で 1 個体ごとの正規化植生指数 (NDVI: 植生の量や活性度を表す指数) を取得できる (図 1)。
2. 1 回の測定が約 30 秒程度と迅速な測定が可能である。
3. 得られた NDVI の値から異なる品種群、および異なる生育段階に対して同一の回帰式 ( $NDVI \times 297.6 + 4.7$ ) を用いてヤム地上部乾物重の推定が可能である ( $R^2=0.70$ ) (図 2)。
4. 1 個体の乾物重が 150g を超える場合や葉の着生が不均一である場合、推定値が過小評価となる傾向があるため、植物体の生育状態に応じて NDVI の他に別途測定した草丈の値および画像解析から算出した横方向からの投影面積を組み込んだ重回帰式 ( $NDVI \times 120.9 + 205.9 \times \text{投影面積} - 38.4 \times \text{草丈} + 40.0$ ) を用いることで、推定精度が向上する (図 3)。

**[成果の活用面・留意点]**

1. 非破壊かつ短時間でヤム地上部乾物重の推定ができるため、大規模の遺伝資源集団や交雑集団への適応が可能である。
2. 非破壊手法であるため、同一の個体について生長量の変化を経時的に追跡することができ、個体別に詳細な生長特性を知ることができる。
3. 生育中期の NDVI と最終的なイモ収量に相関がみられるため、本手法は収量の早期予測に応用できると期待されるが、NDVI と収量の関係については品種や気象の影響を今後明らかにする必要がある。

[具体的データ]

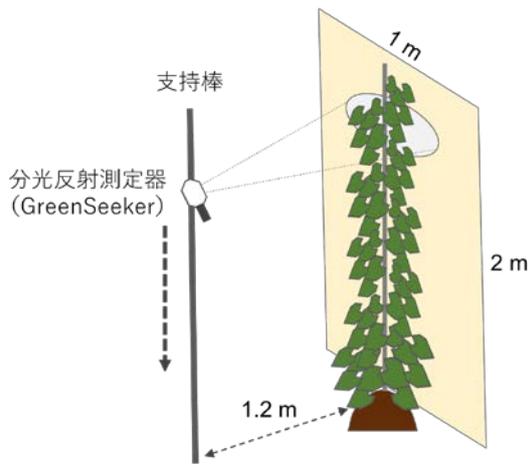


図 1 支柱栽培ヤムの分光反射測定手法  
草丈は背後のパネルに記載した目盛りを使って目測する。

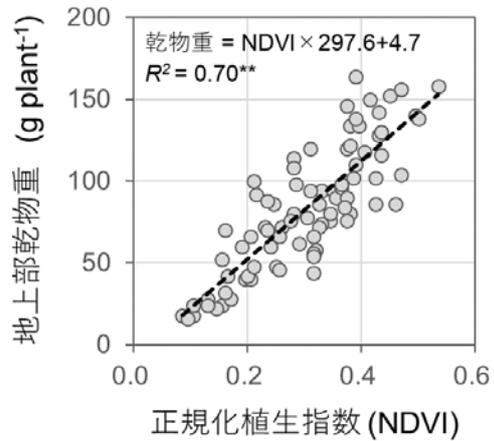


図 2 NDVI によるヤム地上部乾物重の推定  
ヤム 30 品種(各 3 個体、n=90)のデータ。  
\*\*は 1%水準で有意であることを示す。

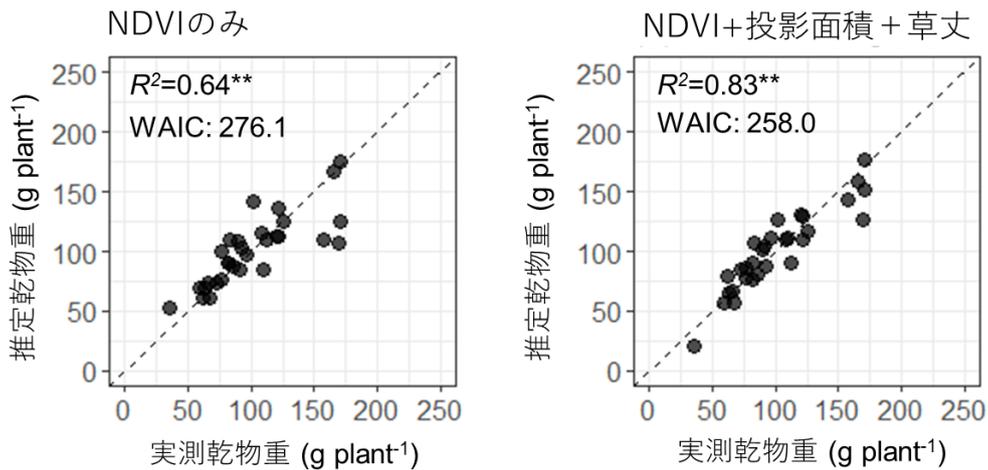


図 3 横からの投影面積と草丈の値を加えることによる推定精度の改善  
モデルの比較には同一品種で種イモサイズが異なる個体(n=30)を使用した。  
WAIC（情報基準量）は値が低いほどモデルの予測精度が高いことを示す。  
\*\*は 1%水準で有意であることを示す。

[その他]

研究課題：アフリカの食料問題解決のためのイネ、畑作物等の安定生産技術の開発

プログラム名：熱帯等の不良環境における農産物の安定生産技術の開発

予算区分：交付金 [アフリカ食料]

研究期間：2018 年度（2016～2020 年度）

研究担当者：井関洸太郎、松本亮（国際熱帯農業研究所）

発表論文等：Iseki K and Matsumoto R (2018) Plant Prod Sci, DOI: 10.1080/1343943X.2018.1540278

**[成果情報名] アフリカ小農支援のための農業経営計画モデル**

**[要約]** アフリカ小農の技術普及や生計向上を目的として、小農の技術水準、生計戦略などを反映した農業経営計画モデルを構築し、所得を最大化する作付体系や技術導入規模を特定する。

**[キーワード]** 線形計画法、最適作付体系、技術導入規模、所得増大効果、プログラム

**[所属]** 国際農林水産業研究センター 社会科学領域

**[分類]** 技術

---

**[背景・ねらい]**

サハラ以南アフリカの農業経営は、経営面積数ヘクタール(ha)の小規模家族経営（小農）が大多数であり、食料安全保障や所得向上を妨げる問題に数多く直面している。個別の問題解決に向けた技術開発や政策研究が進展する一方で、小農が実際に導入可能な経営改善策の解明は進んでおらず、現場の技術普及や生計向上の具体的道筋は判然としていない。そこで現地の普及員等が利用可能なアフリカ小農支援のための農業経営計画モデルを構築し、適用を図る。

**[成果の内容・特徴]**

1. 構築された農業経営計画モデルは、営農条件（経営面積、自家労働者数、労賃など）、経営指標（作付様式、栽培技術、収量、価格、経営費、労働時間など）、自給条件（自給作物の種類、自家消費量）、農外活動（水汲み、薪取り、狩猟・採集、農外就労など）を入力情報とし、アフリカ小農の (1) 食嗜好に応じた自給用作付面積の確保、(2) 干ばつや価格下落等のリスク対応策である混作や間作の反映、(3) 農外所得の確保、農業部門との労働配分に基づく所得最大化を条件として、線形計画法による計算を行い、農家所得全体を向上させる最適作付体系や技術導入規模を特定する（図 1）。これにより、アフリカ小農の食生活、リスク分散経営、農外活動の必要性に応じた現実的な経営改善策が解明可能となる。
2. 同モデルにより、アフリカ農業の地域性や規模に応じた最適作付体系の分析が可能である。モザンビーク国ナカラ回廊における分析例では、干ばつや農産物価格の下落が発生しやすいとされる東部ほど多品目の混作体系が優位となる。また、経営面積 1ha 以上の層で商品価値の高いラッカセイ、ダイズ、サツマイモなどの作付拡大が優位となる（表 1）。
3. 現状の土地生産性では、1ha 未満の層で食料自給に困難が生じる。よって食料自給を条件とした場合、このモデルを用いて導かれた作付体系の最適化による所得増大効果が 1ha 以上の層で顕著に現れ、1ha 以上 2ha 未満の層で東部 24%、中部 22%、西部 13%、2ha 以上の層では順に 40%、54%、57%となる（図 2）。
4. 同モデルを簡単な操作で瞬時に実行できるプログラム BFM<sub>e</sub>（英語）および BFM<sub>mz</sub>（ポルトガル語）を、BFM（大石 2008）をもとに開発し、提供している。これにより、現地の普及員などが、最適作付計画の立案などを容易に行うことができる。また、最適な技術導入規模の特定により、現地の普及組織が技術普及方針などを決定することができる。

**[成果の活用面・留意点]**

1. 同モデルは、実測値の代替として作物収量予測モデルなど他のモデルと組み合わせることができる。また、耕畜連携などを目的とした経営計画や技術評価に活用することができる。
2. BFM<sub>e</sub> と BFM<sub>mz</sub> は Excel で起動する。操作マニュアルとともに Web サイト上で入手できる。
3. モザンビーク北部のサンプルデータが利用可能であり、さらに利用者の目的に応じて自由に修正・更新できる。また、他地域で収集されたデータを利用することも可能である。

[具体的データ]

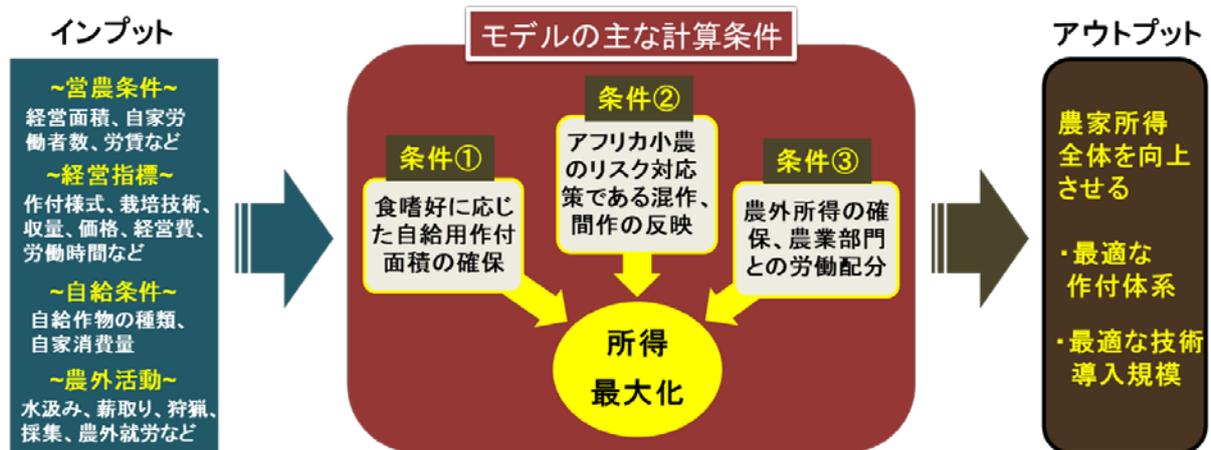


図 1 アフリカ小農特有の条件を反映した農業経営計画モデル

表 1 ナカラ回廊各地域の規模別最適作付体系

		規模別最適面積 (ha)		
		I	II	III
<b>経営全体</b>		<b>0.68</b>	<b>1.44</b>	<b>3.05</b>
<b>東部</b>	キャッサバ+トウモロコシ+ササゲ混作	0.63	0.67	0
	キャッサバ+トウモロコシ+ササゲ+ラッカセイ混作	0	0.69	2.92
	サツマイモ単作	0.05	0.08	0.13
<b>経営全体</b>		<b>0.67</b>	<b>1.44</b>	<b>3.60</b>
<b>中部</b>	トウモロコシ単作	0.29	0.48	0.54
	ソルガム単作	0.03	0.42	0.47
	ソルガム+キマメ混作	0.32	0	0
	ダイズ+キマメ混作	0	0.54	2.59
	コム単作	0.03	0.04	0.02
<b>経営全体</b>		<b>0.71</b>	<b>1.49</b>	<b>3.90</b>
<b>西部</b>	トウモロコシ+インゲン混作	0.65	0.85	0.95
	サツマイモ単作	0.06	0.64	2.95

I、II、III：順に経営面積 1ha 未満の層、1ha 以上 2ha 未満の層、2ha 以上の層。無作為抽出農家（東部 205 戸、中部 233 戸、西部 207 戸）の調査を通じて明らかとなった各地域の代表的栽培作物、作付様式による最適解であり、調査農家の全ほ場（1,324 ほ場）の観測、収穫物秤量等の実測、および全農外活動の実績に基づく。

[その他]

研究課題：アフリカの食料問題解決のためのイネ、畑作物等の安定生産技術の開発

プログラム名：熱帯等の不良環境における農産物の安定生産技術の開発

予算区分：交付金 [アフリカ食料]、受託 [JICA・ナカラ回廊]

研究期間：2018 年度（2013～2018 年度）

研究担当者：小出淳司、山田隆一（東京農業大学）、大石亘（筑波大学）、Nhantumbo A・Salegua V・Sumila C（モザンビーク国立農業研究所）

発表論文等：1) 小出ら（2018）農林業問題研究 54(2):53-59、2) 小出ら（2018）農業経営研究 56(3):1-11、3) 「営農計画策定支援プログラム BFM<sub>e</sub>」 [https://39you.net/xlp/bfm\\_e.html](https://39you.net/xlp/bfm_e.html)、4) 「営農計画策定支援プログラム BFM<sub>mz</sub>」 [https://39you.net/xlp/bfm\\_mz.html](https://39you.net/xlp/bfm_mz.html)

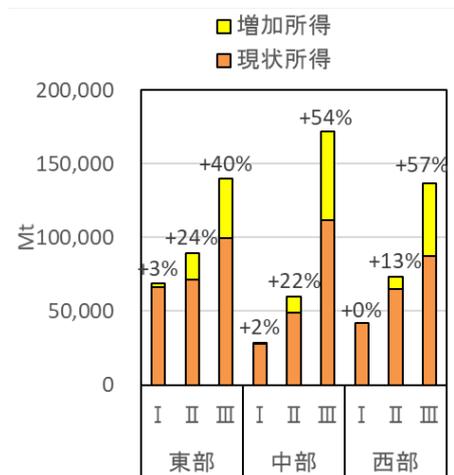


図 2 作付体系の最適化による所得増大効果

I、II、III：表 1 と同様  
Mt：メティカル（モザンビークの通貨）  
棒グラフ上部の数値：現状所得に対する増加所得の割合（%）

**[成果情報名] ゲノムワイド関連解析によるイネの側根形成に関与する遺伝子座の特定**

**[要約]** ゲノムワイド関連解析により検出された遺伝子座 *qTIPS-11* はイネ生育初期の側根形成に関与する。推定される原因遺伝子はグリコシル加水分解酵素遺伝子である。この機能型対立遺伝子は、より多くの側根を持つ直播適性に優れたインド型イネ品種の開発に利用できる。

**[キーワード]** イネ、ゲノムワイド関連解析、根端、側根、直播

**[所属]** 国際農林水産業研究センター 生産環境・畜産領域、熱帯・島嶼研究拠点

**[分類]** 研究

**[背景・ねらい]**

近年、イネにおいては移植栽培から直播栽培への移行が生じている。イネの直播栽培においては苗立ち性に優れること、すなわち、播種後速やかに健全な苗に生長する特性が重要である。しかし、近代インド型イネ品種は移植栽培を前提に育成され、苗立ち性には必ずしも優れていない。苗立ち性には、生育の極初期においては種子の大きさおよび種子のアミラーゼ活性など、種子から幼苗への養分移動に関する形質が関与するが、その後の生育段階においては根による栄養および水分の吸収が重要となる。栄養および水分の吸収は主に側根が担うことから、苗立ち性を向上させる上では生育初期により多くの側根を発達させることが鍵となる。本研究は、生育初期における側根形成に関与する遺伝子座および候補遺伝子を同定し、直播栽培への適性が高いインド型イネ品種の開発に資することを目的に実施する。

**[成果の内容・特徴]**

1. 284 系統のインド型イネを含む 307 系統を対象としたゲノムワイド関連解析により検出されたイネ生育初期（播種後 2 週間）の根端の数（デジタル画像解析により算出）を決定する DNA 多型は 11 番染色体上に存在する（図 1A、B）。この遺伝子座を *qTIPS-11* と名付ける。
2. イネ系統の根端の数は *qTIPS-11* の対立遺伝子の違いにより異なる（図 1C）。
3. イネにおいては、根端の殆どは側根の根端であることから、*qTIPS-11* は側根の形成に関与する遺伝子座であると考えられる。*qTIPS-11* に側根の形成を促進する効果を持つ対立遺伝子（機能型対立遺伝子）を保持する系統のうち、71.6%（131/183）は日本型イネ系統である。また、インド型イネ系統の 97.4%（633/650）は *qTIPS-11* に側根の形成を促進する効果を持たない対立遺伝子（機能欠失型対立遺伝子）を持つ。
4. *qTIPS-11* の推定される原因遺伝子はグルコシル加水分解酵素遺伝子（*TIPS-11-9*; Os11g44950）である（図 2A）。*TIPS-11-9* の機能を喪失した T-DNA 挿入突然変異体の根端の数は、野生型の根端の数よりも 25%少ない。
5. 機能型対立遺伝子の *TIPS-11-9* はオーキシン応答因子（auxin responsive factor: ARF）を持ち、その発現はオーキシンにより誘導される。一方、機能欠失型対立遺伝子の *TIPS-11-9* は ARF を持たず、その発現はオーキシンにより誘導されない（図 2A、B）。オーキシンは側根の形成および発達を促進することが知られており、*TIPS-11-9* のオーキシン応答性の差異が側根および根端の数の差の要因であると考えられる。

**[成果の活用面・留意点]**

1. イネ生育初期の側根の数を増加させる効果を持つ *TIPS-11-9* の機能型対立遺伝子は、直播栽培適性に優れたインド型イネ品種の開発に役に立つことが期待される。
2. *qTIPS-11* が、生育初期だけでなく生育全般に及ぼす効果を明らかにする必要がある。

[具体的データ]

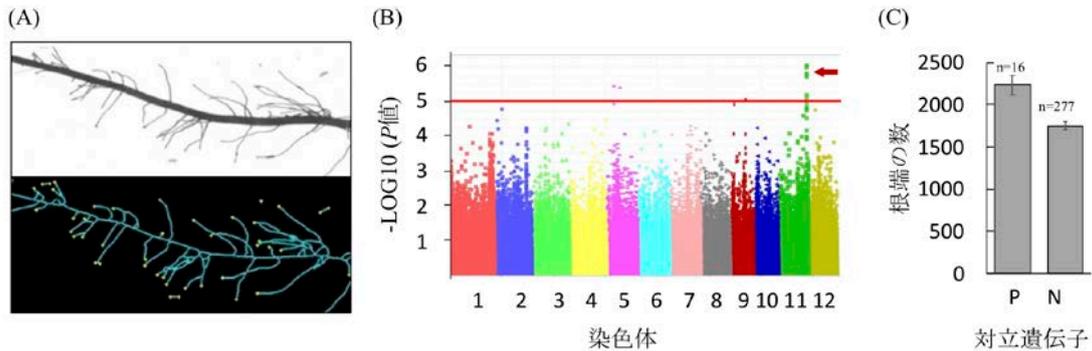


図 1 ゲノムワイド関連解析によるイネの側根形成に関与する遺伝子座の特定

(A) 根のデジタル画像解析の例。上：根の画像、下：デジタル画像解析。線の先端が根端として認識される。(B) イネの根端の数に関連する DNA 多型を示すマンハッタンプロット（横軸：染色体番号、縦軸：表現型に及ぼす DNA 多型の効果）。(C) *qTIPS-11* の対立遺伝子（横軸）と根端の数（縦軸）との関係。P：機能型対立遺伝子を保持するグループ、N：機能欠失型対立遺伝子を保持するグループ。

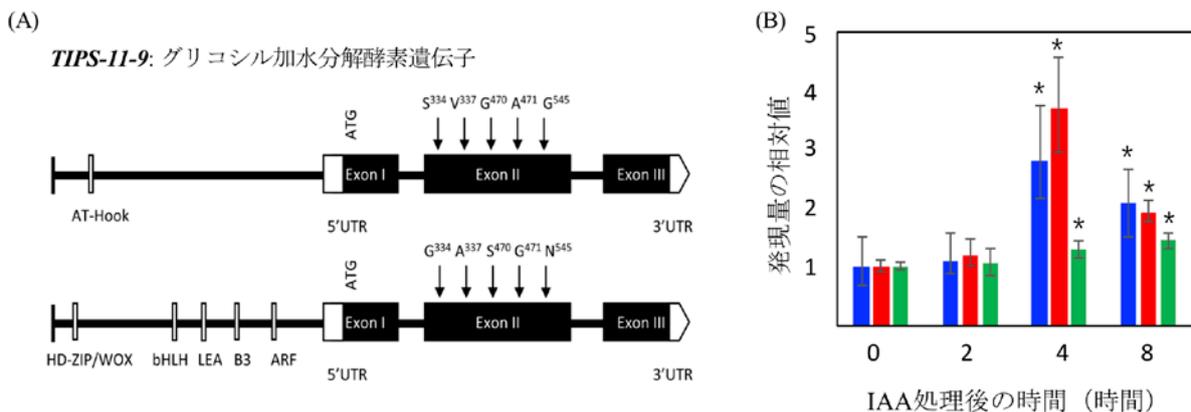


図 2 側根形成に関与する遺伝子の候補 *TIPS-11-9* の特徴付け

(A) *TIPS-11-9* の 2 つの対立遺伝子。上：機能欠失型対立遺伝子、下：機能型対立遺伝子。機能型対立遺伝子にはオーキシン応答因子（auxin responsive factor: ARF）が存在する。(B) *TIPS-11-9* の発現のオーキシン応答。青：Milyang 30（機能型）、赤：キタアケ（機能型）、緑：Cauvery（機能欠失型）。横軸はオーキシン（IAA）の処理時間。

[その他]

研究課題：不良環境に適応可能な作物開発技術の開発

プログラム名：熱帯等の不良環境における農産物の安定生産技術の開発

予算区分：交付金 [不良環境耐性作物開発]

研究期間：2018 年度（2016～2018 年度）

研究担当者：Wissuwa M、Wang F、石崎琢磨、Tanaka JP、Kretzschmar T（国際稲研究所）

発表論文等：Wang F et al. (2018) Plant Cell Environ., 41(12):2731-2743

DOI: 10.1111/pce.13400

**[成果情報名] ダイズ重要形質の遺伝解析のための野生ダイズの染色体断片置換系統群**

**[要約]** 栽培ダイズ品種の遺伝的背景を持ち、染色体の一部のみが野生ダイズに置換された染色体断片置換系統群を開発し、それらの系統を用いて種子重や開花期 QTL のゲノム上の座乗領域を明らかにできる。開発した野生ダイズの染色体断片置換系統は重要形質の遺伝解析に利用できる。

**[キーワード]** 野生ダイズ、染色体断片置換系統、重要形質、QTL

**[所属]** 国際農林水産業研究センター 生物資源・利用領域

**[分類]** 研究

**[背景・ねらい]**

野生ダイズ(*Glycine soja* Sieb. & Zucc.)は栽培ダイズの祖先種であり、東アジアに分布している。野生ダイズの DNA レベルの遺伝的変異は栽培ダイズより多いため、野生ダイズが栽培ダイズの種子品質、収量、ストレス耐性などの重要な農業形質を改良するために有用な遺伝資源であると考えられている。これまでにさまざまなダイズ遺伝資源を解析することにより、近畿地方の野生ダイズ系統「JWS156-1」が高い耐塩性を示すことを報告している。さらに、その耐塩性に関わる遺伝子を同定することによって、DNA マーカーを開発し、耐塩性品種の育種に利用している。しかし、多くの重要な農業形質の遺伝様式は極めて複雑であり、遺伝背景や生育環境によって、それらの形質発現は大きく影響を受けるため、野生ダイズが持っている有用遺伝子を直接評価することは困難である。本研究では、栽培ダイズ「Jackson」の遺伝的背景をもち、染色体の一部のみが野生ダイズ「JWS156-1」に置換された染色体断片置換系統群(CSSLs)を作成し、遺伝背景をそろえた条件でのダイズ重要農業形質の遺伝解析を試みる。これらの系統群を利用することにより、野生ダイズの中に埋もれている有用遺伝子の発掘が加速できると期待される。

**[成果の内容・特徴]**

1. 栽培ダイズ品種「Jackson」と野生ダイズ系統「JWS156-1」を交配したのち、栽培ダイズを反復親として3回連続戻し交配並びに自殖を行い、計120のBC<sub>3</sub>F<sub>5</sub>系統を作成する。計235個のDNAマーカーを用いて解析した結果によると、開発した野生ダイズCSSLsは、平均して7%のゲノム領域が野生ダイズに由来し、93%のゲノム領域が栽培ダイズに由来するゲノムをもつ(図1)。
2. 開発した野生ダイズCSSLsを3年間栽培して百粒重を調査し、QTL(量的形質遺伝子座)解析をした結果は、百粒重に関する計9個のQTLが第8、9、12、13、14、16、17および20染色体に座乗することを示す。そのうち、第12染色体の約1,348 kbの領域に3年連続で検出された*qSW12.1*は、効果が大きい安定した新規QTLである(図2)。
3. ダイズ収量と適応性に関わる開花期QTLを同定するために、開発した野生ダイズCSSLsを2年間圃場で栽培し、QTL解析を行った結果は、開花期と関連する計4個のQTLが第7、12および19染色体に座乗することを示す。そのうち、第12染色体上に座乗*qFT12.1*は、開花期に関わる新規遺伝子を含む領域であると推定される(図3)。

**[成果の活用面・留意点]**

1. 開発した野生ダイズCSSLsは、野生ダイズと栽培ダイズの間で差異がある他の重要な農業形質(生育、環境ストレス耐性、病害虫抵抗性など)の遺伝解析への利用が期待される。
2. 各CSSLsは目標とする野生ダイズ置換領域以外の領域に野生ダイズゲノムやヘテロ接合領域がまだ残っているため、さらに戻し交配と選抜を行う必要がある。

[具体的データ]

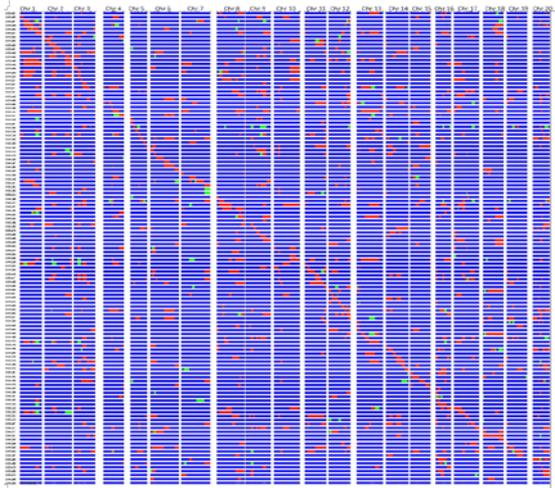


図1 栽培ダイズ品種「Jackson」と野生ダイズ系統「JWS156-1」交雑に由来する120のBC<sub>3</sub>F<sub>5</sub>染色体断片置換系統群(CSSLs)の遺伝子型

赤：「JWS156-1」ホモ接合体。青：「Jackson」ホモ接合体。緑：ヘテロ接合体。図は Liu D et al. (2018a) を改変 (Copyright: Japanese Society of Breeding)。

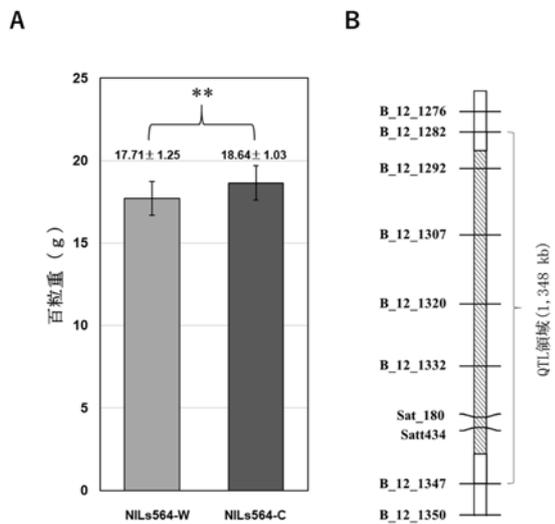


図2 野生ダイズ CSSLs を用いて検出された新規百粒重 QTL *qSW12.1*

A: 粒重 QTL 準同質遺伝子系統が示した *qSW12.1* の効果。B: *qSW12.1* の染色体上の座乗領域。NILs564-W: 野生ダイズ「JWS156-1」型、NILs564-C: 栽培ダイズ「Jackson」型。\*\*:  $p < 0.01$ 。図は Liu D et al. (2018a) を改変 (Copyright: Japanese Society of Breeding)。

[その他]

研究課題：不良環境に適応可能な作物開発技術の開発

プログラム名：熱帯等の不良環境における農産物の安定生産技術の開発

予算区分：交付金 [不良環境耐性作物開発]

研究期間：2018 年度 (2016~2018 年度)

研究担当者：許東河、藤田泰成、Liu D.

発表論文等：1) Liu D et al. (2018) Breeding Science, 68(4):442-448

2) Liu D et al. (2018) Molecular Breeding, 38:45

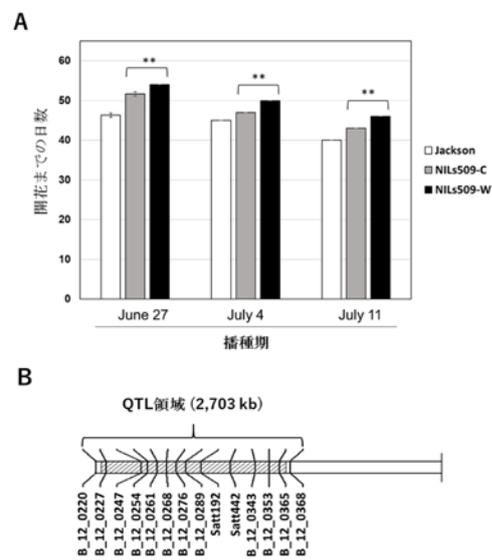


図3 野生ダイズ CSSLs を用いて検出された開花期 QTL *qFT12.1*

A: 開花期 QTL 準同質遺伝子系統を異なる日長環境下において栽培することにより示した *qFT12.1* の効果。B: *qFT12.1* の染色体上の座乗領域。NILs509-W: 野生ダイズ「JWS156-1」型、NILs509-C: 栽培ダイズ「Jackson」型。\*\*:  $p < 0.01$ 。図は Liu D et al. (2018b) を改変 (Copyright: Springer Science + Business Media B.V.)。

**[成果情報名] 人工気象器を用いたダイズの省スペース・低コスト高速世代促進技術**

**[要約]** 閉鎖環境栽培で昼間に不足しがちな CO<sub>2</sub>を補充できる人工気象器を用い、未熟種子を利用して、適切な光・温度条件のもとでダイズを栽培することにより、年間 5 世代の交配を伴う世代促進が可能である。

**[キーワード]** ダイズ、世代促進、交配、人工気象器、二酸化炭素

**[所属]** 国際農林水産業研究センター 生物資源・利用領域

**[分類]** 研究

**[背景・ねらい]**

ダイズは油やタンパク源として、世界的に重要な作物である。近年の気候変動下における食料および栄養の安定供給を実現するために、収量性の高いダイズや干ばつなどのストレスに対して強いダイズの開発が期待されている。これらの品種開発において、交配による有用遺伝子の集積や背景遺伝子の除去、次世代種子の増殖が必須である。しかしながら、ダイズの開花や交配効率は生育環境の影響を受けやすいため、圃場や温室では作業時期が限られており、交配効率の安定性も低い。また、ダイズは生育期間が長く、栽培スペースも大きいため、種子の準備に多大な労力と時間を必要とする。本研究では、コンパクトな人工気象器において、交配が可能な健全な生育を維持しつつ栽培期間を大幅に短縮できるダイズの世代促進技術の開発を行う。

**[成果の内容・特徴]**

- 人工気象器内で、光・温度条件を調整（明期 30℃ 14 時間/暗期 25℃ 10 時間）することにより、ダイズ（エンレイ）の開花までの期間（圃場では 33-59 日）を、25 日に短縮することができる。さらに、未熟種子の利用により、開花から登熟までの期間（圃場では 65-92 日）を、45 日に短縮することができる。これにより、1 世代に要するダイズの栽培期間（圃場では 102-132 日）が 70 日に短縮される。これまで、圃場や温室において年に 1~2 回しか世代を回すことができなかったが、本法により、年に 5 回世代促進することが可能になる（図 1）。
- 人工気象器内の CO<sub>2</sub>濃度は、ダイズの光合成が活発になる昼間（明期）では、CO<sub>2</sub>濃度が 200 ppm 程度まで低下する（図 2）。大気濃度（400 ppm）を下回らないように CO<sub>2</sub>を補充することにより（図 2）、CO<sub>2</sub>補充無条件に比べて、開花期のダイズのバイオマスが約 2 倍以上増加し（図 3A）、健全な花数が約 3 倍増加する（図 3）。
- 人工気象器で栽培したダイズの花（図 4）は、交配に適しており、交配効率（交配を行った蕾総数に対して、結莢かつ交配が成功した蕾数の割合）は、約 75%である（図 4）。
- 栽培地域や草型が異なるダイズ品種（Williams 82 や BR 16）においても、人工気象器において、CO<sub>2</sub>補充および光・温度条件を調整（明期 30℃ 10 時間/暗期 25℃ 14 時間）することにより、良好な生育を維持し、開花までの日数を短縮することができる。
- 植物の栽培で広く利用されている人工気象器および一般的な蛍光灯（最大光量 220 μmol/m<sup>2</sup>/s 程度）を利用した本技術は、低コストで汎用性が高い。

**[成果の活用面・留意点]**

- 省スペースかつ低コストで、季節や天候に左右されないダイズの世代促進技術は、従来の育種の加速化に加えて、次世代分子育種技術を含む多様な作物開発の加速化に利用できる。
- 本研究で示した 3 品種の条件をもとに、品種特性に合わせて光・温度条件を調整することにより、多くのダイズ品種に本技術が適用できると考えられる。

[具体的データ]



図 1 開発した技術により年 5 回のダイズの世代促進が可能になる

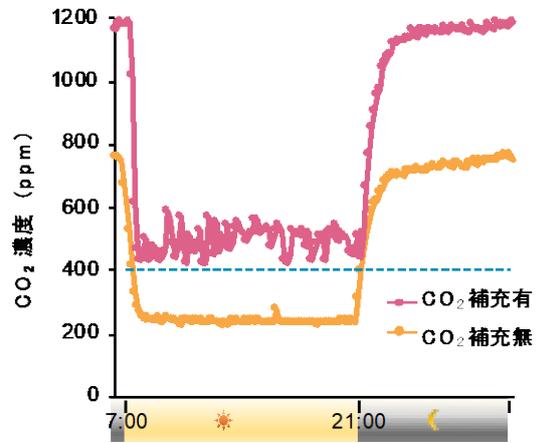


図 2 ダイズ栽培時における人工気象器内の CO<sub>2</sub> 濃度は、昼間（明期）に著しく低下する  
播種後 50 日目のダイズ栽培条件における、人工気象器内の CO<sub>2</sub> 濃度の日周変動（10 分間隔で測定）を示す。

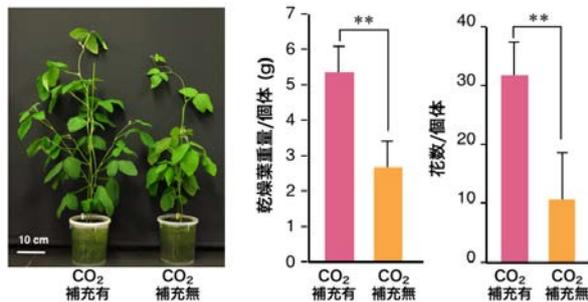


図 3 人工気象器内への CO<sub>2</sub> の補充によりダイズの生育が向上し、花数が増加する

写真は播種後 31 日目のダイズの生育の様子。グラフは播種後 31 日目の個体あたりの乾燥葉重量と、開花開始後 5 日間の健全な花数を示す。

(n = 4, Bar = SD, \*\*p < 0.01)

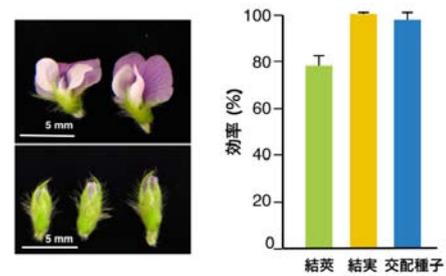


図 4 CO<sub>2</sub> 補充人工気象器栽培ダイズの花は交配に適している

写真は CO<sub>2</sub> を補充した人工気象器で栽培したダイズの花（上段）と蕾（下段）の様子。グラフは交配した蕾の結莢率、結莢後の結実率、採取種子の交配成功率を示す。(n = 36, Bar = SD)

図は Nagatoshi and Fujita (2019)を改変 (Copyright: Oxford University Press)。

[その他]

研究課題：不良環境に適応可能な作物開発技術の開発

プログラム名：熱帯等の不良環境における農産物の安定生産技術の開発

予算区分：交付金 [不良環境耐性作物開発]

研究期間：2018 年度（2016～2020 年度）

研究担当者：永利友佳理、藤田泰成

発表論文等：Nagatoshi Y and Fujita Y (2019) Plant Cell Physiol, 60:77-84

**[成果情報名] サトウキビの新しい育種素材となるサトウキビとエリアンサスの属間雑種の作出**

**[要約]** サトウキビ普及品種とその近縁遺伝資源エリアンサスを交配して作出した属間雑種は、エリアンサスの染色体数が系統毎に異なり、農業特性に多様な変異がある。サトウキビ育種での遺伝的基盤拡大や新規特性の導入に向けた新しい育種素材として利用できる。

**[キーワード]** サトウキビ、エリアンサス、属間交配、属間雑種、育種素材

**[所属]** 国際農林水産業研究センター 熱帯・島嶼研究拠点

**[分類]** 研究

**[背景・ねらい]**

サトウキビは、世界の食料・エネルギー生産にとって重要な作物であるが、育種による生産性改良の停滞が問題となっており、未利用の遺伝資源を利用した遺伝的基盤の拡大や新規特性の導入が必要となっている。サトウキビの近縁属遺伝資源であるエリアンサス(*Erianthus arundinaceus*)は、バイオマス生産性が高く、干ばつ等の不良な環境への適応性に優れるため、サトウキビの更なる改良に向けた遺伝資源として期待できる。そこで、サトウキビ改良の新たな可能性を拓くため、世界的にも報告例が少ないサトウキビ普及品種(*Saccharum spp hybrid*)とエリアンサスの属間雑種を作出し、その効果的な育種利用の基盤となる細胞遺伝学的特性や農業特性を明らかにする。

**[成果の内容・特徴]**

1. サトウキビ普及品種(2n=110)とエリアンサス(2n=60)の属間交配で獲得した実生個体から 5S rDNA マーカーで 39 系統、形態形質で 2 系統の属間雑種を選定した (図 1)。
2. 属間雑種には両親それぞれの半数の染色体が遺伝し、サトウキビの染色体数はほぼ安定 (53~55 本) であるが、エリアンサスの染色体数は系統毎に大きな変異があり (18~29 本)、5SrDNA 遺伝子が座乗するエリアンサス染色体の脱落により、5SrDNA マーカーではスクリーニングされない属間雑種がある (図 1、図 2a)。
3. 属間雑種集団には、同じ茎の芽子 (各節の芽) で増殖した栄養系個体間でエリアンサス染色体数が安定している系統と変異が見られる系統が出現する (図 2b)。
4. 属間雑種の DNA 量とエリアンサス染色体数には高い正の相関関係が有り、DNA 量からエリアンサス染色体数を大まかに推定できる ( $R^2=0.85^{**}$ ) (図 3)。
5. 属間雑種の多くは両親より生育が劣る雑種弱勢を示し、ショ糖含率や繊維分の集団平均は両親の中間程度となるが、集団内の変異は大きく、母本としたサトウキビと同程度の乾物重やショ糖含率となる系統も存在する (図 1、表 1)。
6. 属間雑種のエリアンサス染色体数と乾物重や茎径には正の相関関係があり、エリアンサスの染色体数が多い系統ほど生育が優れる傾向がある (表 1)。

**[成果の活用面・留意点]**

1. 作出した属間雑種は、サトウキビの遺伝的基盤の拡大、生産性や不良環境適応性などの更なる改良に向けた新しい育種素材として活用できる。また、属間雑種の細胞遺伝学的特性や農業特性の情報は、育種利用のための基礎情報として利用できる。
2. 属間雑種のスクリーニングでは、5SrDNA マーカーのみではスクリーニングできない系統が出現するため、他の DNA マーカーを組み合わせる必要がある。
3. 属間雑種の一部の系統では、栄養系個体間でエリアンサス染色体数が異なるため、DNA 量測定によるエリアンサス染色体数のモニタリングを行うなど系統の維持に注意が必要である。

[具体的データ]

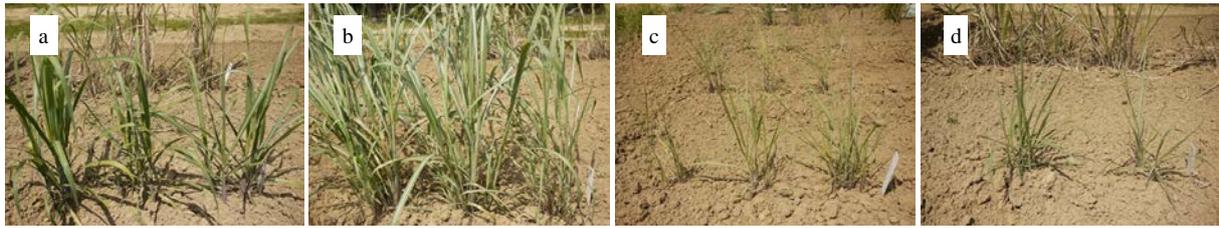


図 1 属間雑種の生育

a : 母本としたサトウキビ NiF8、b : サトウキビと同程度の生育を示す属間雑種 J11-1、c : 雑種弱勢を示す属間雑種 J11-14、d : 5SrDNA マーカーではスクリーニングされなかったが他の雑種と同様に弱勢を示すため選定した属間雑種 J09-2。熱帯・島嶼研究拠点圃場にて 2013 年 5 月 8 日撮影。

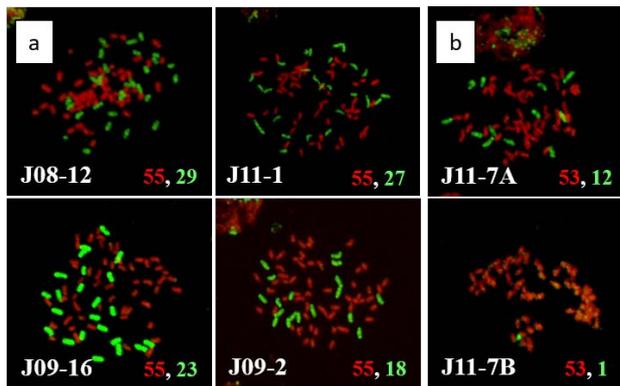


図 2 属間雑種の染色体組成

a : 系統間の染色体数の変異、b : J11-7 の栄養系個体間 (A、B) の染色体数の変異。J08-12、J11-1、J09-16、J11-7 は 5S rDNA マーカー、J09-2 は形態形質で選定。赤色の染色体はサトウキビ、緑色の染色体はエリアンサス由来染色体。右下の数字は、赤はサトウキビ、緑色はエリアンサスの染色体数。

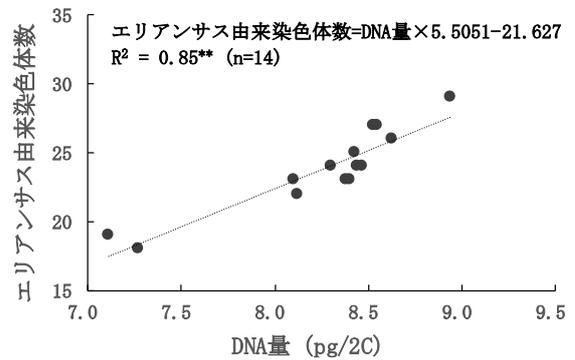


図 3 DNA 量とエリアンサス由来染色体数

属間雑種系統間の DNA 量とエリアンサス染色体数の関係。栄養系個体間でエリアンサス由来染色体数が安定している属間雑種系統 14 系統のデータを利用。

表 1 属間雑種の農業特性（新植栽培）

形質	NiF8	JW4	属間雑種				エリアンサス染色体数との相関係数 (n=14) <sup>2)</sup>
	サトウキビ (母本)	エリアンサス (父本)	平均 (n=32)	最小 (n=32)	最大 (n=32)	CV <sub>g</sub> (n=23) <sup>1)</sup>	
乾物重 (g/株)	1621.9	1419.3	591.0	40.3	1713.2	68.6	0.773*
茎数 (本/株)	6.4	43.4	10.8	1.0	22.1	40.2	0.336
茎長 (cm)	119.5	64.8	67.6	15.0	125.8	39.5	0.457
茎径 (mm)	21.8	10.7	12.1	5.9	16.6	17.4	0.697*
ショ糖含率 (%)	17.8	3.1	8.5	2.3	18.0	20.4	0.418
繊維分 (%)	10.2	23.4	16.7	8.0	22.4	15.1	-0.409

熱帯・島嶼研究拠点での結果。1 ヶ月程度育苗した苗を 2012 年 5 月 22 日に植付け、2013 年 2 月 18~22 日に収穫。1 区 5 株、属間雑種 23 系統は 3 反復、6 系統は 2 反復、3 系統は 1 反復で評価。1) 遺伝的変動係数 (CV<sub>g</sub>) は 3 反復で試験した 23 系統のデータを利用。2) 栄養系個体間でエリアンサス由来染色体数が安定している 14 系統のデータを利用。\*は 5%水準以上で有意。

[その他]

研究課題：不良環境でのバイオマス生産性が優れる新規資源作物とその利用技術の開発

プログラム名：熱帯等の不良環境における農産物の安定生産技術の開発

予算区分：交付金 [高バイオマス資源作物]、受託 [沖縄県・糖業の高度化事業]

研究期間：2018 年度 (2011~2020 年度)

研究担当者：寺島義文、高木洋子、Babil P (東京農業大学)、近江戸伸子 (神戸大学)、蝦名真澄 (農研機構)、伊禮信 (沖縄県農業研究センター)、林久喜 (筑波大学)

発表論文等：Babil P et al. (2018) Scientific Reports, 9:1748

**[成果情報名] アフリカにおけるサバクトビバッタの時空間的分布パターン**

**[要約]** アフリカで大発生するサバクトビバッタの幼虫および成虫は、夜間は大型の植物上に群がり不活発になる。成虫は温度依存的に逃避行動を変化させ、低温時には不活発になり逃避能力が低下する。この行動特性を応用することで殺虫剤の使用量を軽減できる可能性がある。

**[キーワード]** 生息場所選択、発生予察、時空間的分布、気温

**[所属]** 国際農林水産業研究センター 生産環境・畜産領域

**[分類]** 研究

**[背景・ねらい]**

サバクトビバッタ(*Schistocerca gregaria*)は、普段は単独性の孤独相と呼ばれる状態で点在して生活しているが、生息密度が高まると群れで生活する群生相に相変異する。群生相化した集団は長距離移動し、アフリカで農作物に深刻な被害を及ぼしている。本バッタに対しては、殺虫剤の直接散布が主な防除技術として活用されている。不活発な時間帯をターゲットにすることで効率よく防除できると考えられるが、生息地において、どこでどのように活動しているかは詳しくわかっていないため、効率よく殺虫剤を散布できていないという問題がある。発生地であるモーリタニアにおいて、野外における群生相の幼虫と成虫それぞれの時空間的分布パターンを理解することにより、効率の良い殺虫剤の散布方法の開発が期待できる。

**[成果の内容・特徴]**

1. 幼虫は、日中は集団で移動しているが、日暮れ前にいくつかの集団に分かれ、一番大型の植物に最も多く群がり（図 1、2）、移動せずに一夜を過ごす。
2. 成虫は、日中は集団形成し、飛翔と摂食を繰り返しながら移動しているが、夜間は大型の植物上に群がる（図 3）。
3. 成虫は気温と留まっている植物のタイプに応じて観察者が成虫に接近した時の逃避行動を変化させる（図 4）。高温時（23.4～26.5℃）には、大型の木本植物（>2m）でも中型の草むら（<1.5m）でも飛翔して逃げる。早朝の気温が低温時（7.9～14.0℃）には、留まっている植物が大型の木本植物の場合はその場に留まり、中型の草むらの場合は、地面に落下し、速やかに植物の中に逃げ込む。
4. 以上より、幼虫と成虫は共に夜間は大型の植物に群がり、成虫の逃避行動は温度依存的で、低温時に逃避能力は低下する。

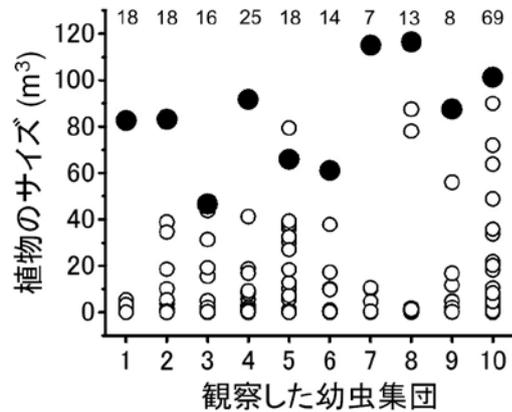
**[成果の活用面・留意点]**

1. 現状では、殺虫剤の散布はバッタが広範囲に分布し、活発に動く日中に行われているが、バッタが大型の植物上で集団を形成し、不活発になる日暮れから明朝にかけて防除活動を行うことで殺虫剤の使用量を削減できる可能性がある。
2. バッタのもつ、大型の植物に群がる習性は、人為的な誘引技術を開発する際に活用できる。
3. 幼虫も温度依存的に逃避行動を変化させるかを調査する必要がある。
4. この情報は木本植物が点在する植生地域で活用できる。

[具体的データ]



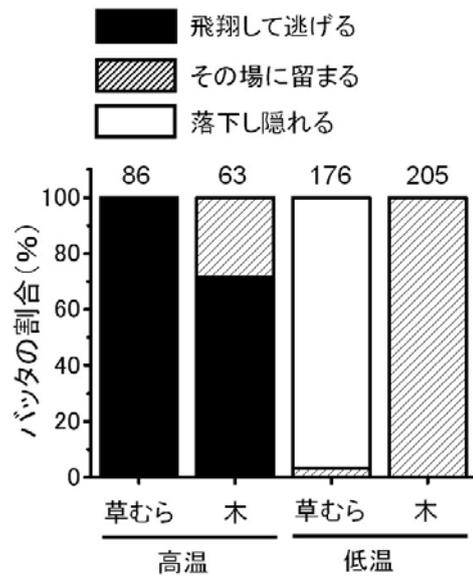
**図 1 幼虫集団による生息場所選択**  
 様々な大きさの植物が生えているが、幼虫は日暮れ前に、いくつかの集団に分かれ、一番大型の植物（矢印）に最も多く群がる。



**図 2 夜間に幼虫が群がった植物のサイズ**  
 異なる 10 の幼虫集団を観察した。一つの集団の中で、最も多く幼虫が群がった植物（黒丸）から半径 20m 以内の他の個々の植物（白丸）のサイズ（幅×奥行×高さ）を測定した。  
 図中の数字は観察した植物の数。



**図 3 成虫集団による生息場所選択**  
 夜間は幼虫と同様に大型の木本植物上に集団形成する。



**図 4 成虫の逃避行動に及ぼす植物と気温の影響**  
 図中の数字は観察したバッタの数。

[その他]

研究課題：国境を越えて発生する病害虫に対する防除技術の開発

プログラム名：熱帯等の不良環境における農産物の安定生産技術の開発

予算区分：交付金 [病害虫防除]

研究期間：2018 年度（2016～2020 年度）

研究担当者：前野浩太郎、Sid'Ahmed Ould Mohamed（モーリタニア国立バッタ防除センター）

発表論文等：1) Maeno KO and Ould Baba Ebbe MA (2018) Insects, 9(3):1-13

2) Maeno KO et al. (2018) Journal of Arid Environments, 158:47-50

**[成果情報名] 穂ばらみ期の地上分光計測データから収穫前にコメの収量が予測できる**

**[要約]** 穂ばらみ期の水稻群落上で分光計測を行うことで、収穫 1 カ月前に収量を予測することが可能である。さらに早い生育ステージ（幼穂形成期）でも低い精度で収量を予測できるが、開花後の成熟期に入ると予測は困難になる。収量の推定には、分光データのうち窒素とバイオマスに関連したレッドエッジ（700–760 nm）と近赤外（810–820 nm）の波長が重要である。

**[キーワード]** 水稻収量予測、分光計測、PLS 回帰、生育ステージ

**[所属]** 国際農林水産業研究センター 社会科学領域

**[分類]** 研究

**[背景・ねらい]**

リモートセンシングは、水稻の生育診断や収量予測に有効な技術である。近年、ドローンをはじめとする無人航空機（UAV）の登場で、水稻の生育を低空から高頻度で観測することが可能になったが、収量の予測に適した観測時期やセンサ（波長域等）は明らかではない。そこで、将来的なドローンへの活用を目指し、地上において、異なる生育ステージの水稻の群落上で分光計測を行い、水稻の収量予測に最適なセンシング時期（生育ステージ）と分光波長域を明らかにする。

**[成果の内容・特徴]**

1. ラオス国立農林業研究所稲研究センターにおいて、異なる生育ステージ（図 1、T1: 幼穂形成期、T2: 穂ばらみ期、T3: 乳熟期）の水稻栽培試験圃場で地上分光計測を行い、分光データと水稻収量（籾収量）の回帰分析による収量の推定精度を比較する。回帰分析には、多波長連続波長（400–930 nm、531 波長）の共線性の影響を受けない部分的最小二乗（PLS）回帰分析を用いる。
2. 3 つの生育ステージのうち、穂ばらみ期に最も高い推定精度（ $R^2 = 0.843$ ）とモデルの再現性（ $RPD > 2.43$ ）が確認されたことから、穂ばらみ期の地上分光計測により実用的な精度での収量予測が可能である（図 2）。
3. 幼穂形成期では、 $RPD$  値が 1.316 を示し、低い精度（ $R^2 = 0.479$ ）ではあるが、収量の予測が可能である。稲の葉身が黄色く変色する乳熟期以降は、収量の予測は困難である（図 2）。
4. 植物体の生長がピークに達する穂ばらみ期（図 1）の PLS 回帰分析から、レッドエッジ（700–760 nm）と近赤外（810–820 nm）の波長域が収量予測に重要な波長として選択された（図 3）。これらの波長域は、植物体のバイオマスと窒素含有量に深い関連性があることが知られており、稲の栄養状況の推定に活用できる。

**[成果の活用面・留意点]**

1. 穂ばらみ期に収量の予測が可能となることで、地域の農林事務所または市場関係者は、収穫時期 1 ヶ月前にその年のコメの生産量を把握し、コメの買取価格や流通の計画を検討できる。
2. 精度は低い幼穂形成期に収量の推定ができることで、生産農家は稲の栄養状況を把握し、追肥の必要性を判断する参考情報として活用できる。
3. レッドエッジと近赤外の波長を計測できるカメラを UAV に搭載することで、広域的な収量予測への展開が期待できる。
4. 本研究ではラオスの複数の栽培品種（6 品種×3 反復）を用いており、得られた成果は品種を超えて適用できる。ただし、他の地域の栽培品種（特に草高などの形質情報が大きく異なるもの）については同様の結果が得られるか検証する必要がある。

[具体的データ]

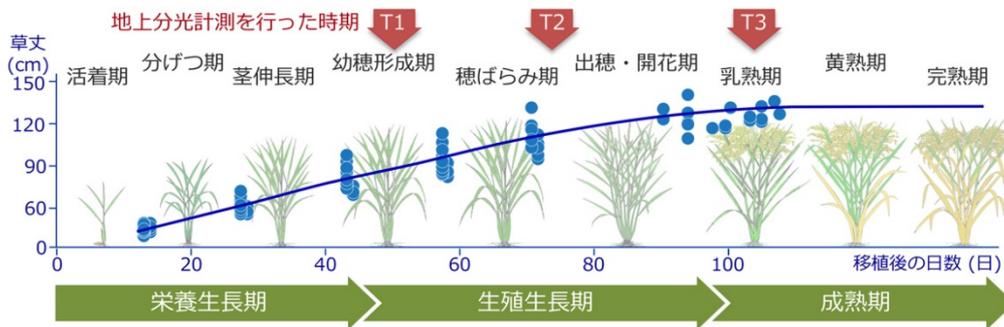


図 1 水稲の草丈と地上分光計測時の生育ステージ (T1, T2, T3)

稲画像データの出典：<http://www.knowledgebank.irri.org/decision-tools/growth-stages-and-important-management-factors>

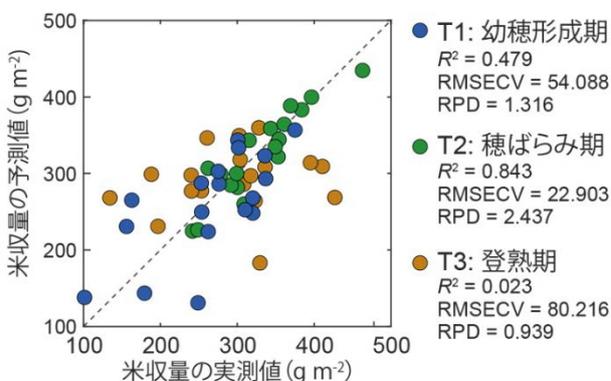


図 2 米収量の実測値と PLS 回帰分析による予測値の関係

**RMSECV:** Leave-one-out 法を用いたクロスバリデーションによる二乗平均平方根誤差

**RPD:** 回帰モデルの再現性の判定指標。判定基準は、(1) RPD < 1.15 : 推定不可能、(2) 1.16–1.40 : 弱い相関あり、(3) 1.41–1.70 : 低い精度でスクリーニング可能、(4) 1.71–2.42 : スクリーニング可能、(5) > 2.43 : 実用的な精度で推定可能

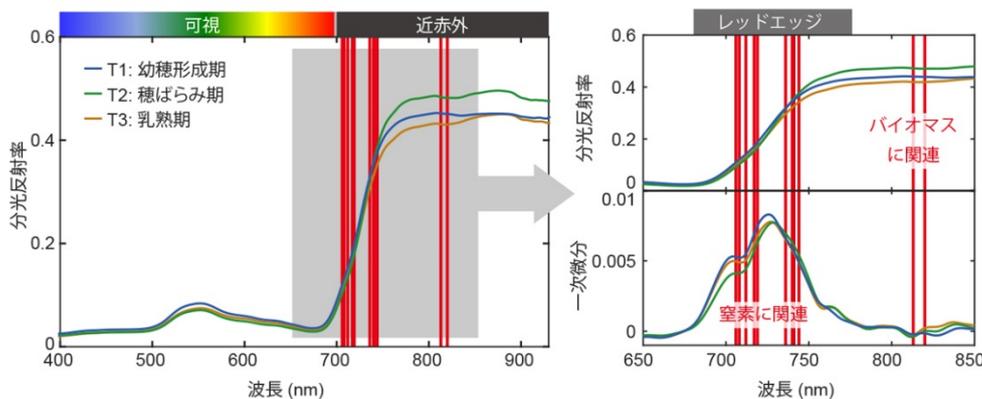


図 3 地上分光データと穂ばらみ期 (T2) の PLS 回帰分析で選択された波長 (赤線)

[その他]

研究課題：持続的農村発展のための食料資源の高付加価値化を通じたフードバリューチェーン形成

プログラム名：開発途上地域の地域資源等の活用と高付加価値化技術の開発

予算区分：交付金 [フードバリューチェーン]

研究期間：2018 年度 (2016~2020 年度)

研究担当者：川村健介、池浦弘、Phongchanmaixay S 他 (ラオス国立農林業研究所)

発表論文等：Kawamura K et al. (2018) Remote Sensing, 10(8):1249. doi:10.3390/RS10081249

**[成果情報名] 新規アルカリ好熱嫌気性菌 *Herbivorax saccincola* A7 はバイオマス分解能に優れる**

**[要約]** リグノセルロース系バイオマスを原料とする堆肥から分離した新種の好熱嫌気性細菌 *H. saccincola* A7 はアルカリ環境を好み、セルロースとヘミセルロースを分解できる。本菌は、近縁菌には無いキシロースやキシロオリゴ糖の代謝酵素を持つことから、リグノセルロース系バイオマスの効率分解に適している。

**[キーワード]** バイオマス、キシラン分解、ゲノム解析、キシロース代謝

**[所属]** 国際農林水産業研究センター 生物資源・利用領域

**[分類]** 研究

---

**[背景・ねらい]**

リグノセルロース系バイオマスを燃料や化成品原料に変換するには、環境負荷の小さい前処理技術とともに、高効率で低コストな生物学的分解技術の開発が求められる。これまで知られている好熱嫌気性セルロース分解菌 *Clostridium thermocellum* や *C. clariflavum* などは、バイオマスに含まれるセルロースを高効率分解し、利用できるが、バイオマスにセルロースと同程度含まれるヘミセルロースは利用することができない。そこで、セルロースとヘミセルロースを効率的に分解し、利用できる新たな微生物を探索・分離し、特性や作用機序に基づいてバイオマス分解における有用性を示すことで、ヘミセルロースの主成分であるキシランの含有量が高い難分解性のバイオマスの高効率分解プロセスの構築に利用する。

**[成果の内容・特徴]**

1. サトウキビバガスや稲わらなどを原料とする石垣島の堆肥から好熱嫌気性細菌を分離し、16S rRNA 系統樹解析によって *Herbivorax saccincola* A7 (以下、A7 と表記) と同定した (図 1A)。A7 は既知のセルロース高分解菌である *C. thermocellum* や *C. clariflavum* と近縁である (図 1B)。
2. A7 はアルカリ性 (pH9.0) の至適生育 pH を持ち (表 1)、発酵生産物の有機酸が pH を低下させる影響を受けにくく、バイオマス分解能を長期間維持できる。また高温、アルカリ環境のため雑菌が繁殖しにくい条件でバイオマス分解が可能である。
3. A7 はキシランを炭素源として生育することができる (表 1)。
4. A7 は 3.76 Mb のゲノムサイズで 3,346 個のタンパク質をコードする遺伝子を持つ (表 1)。
5. A7 と近縁のセルロース分解好熱性嫌気性細菌との比較ゲノム解析の結果、セルロース分解に重要なセルロソーム (セルラーゼ/ヘミセルラーゼの酵素複合体) 構造や糖質分解酵素の数や種類に大きな相違は認められなかったが、A7 は糖質分解酵素に対するキシラン分解酵素の比率が他の近縁種に比べて高い (表 1)。
6. A7 は他の近縁種には認められないキシランの分解物であるキシロースやキシロオリゴ糖の輸送タンパク質やキシロース代謝経路を保有しており (図 2)、キシランを多く含むバイオマス分解に適した有用微生物と考えられる。

**[成果の活用面・留意点]**

1. A7 は強いキシラン分解・資化能を有していることから、キシラン含有が高い空果房やパーム幹などパーム油製造で排出される農作物残渣やトウモロコシ茎葉の分解に有用である (特許出願番号 PCT/JP2017/021784)。
2. A7 はドイツ細胞バンク (DSMZ) 及び理化学研究所バイオリソースセンター微生物材料開発室 (JCM) から入手できる。

[具体的データ]

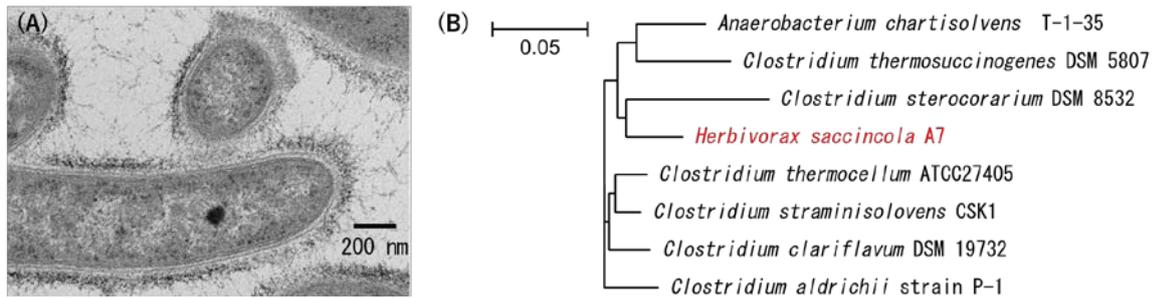


図 1 *H. saccincola* A7 の (A) 透過型電子顕微鏡写真と (B) 系統樹

写真の右下黒線はスケールを示す (200 nm)。

系統樹の左上黒線は相違塩基の比率を示す (0.05)。

表 1 *H. saccincola* A7 と近縁菌種における生理学的特徴と比較ゲノム解析

特徴	<i>H. saccincola</i> A7	<i>C. clariflavum</i> DSM 19732	<i>C. thermocellum</i> ATCC27405
至適生育 pH	9.0	7.5	7.0
キシラン資化能	あり	なし	なし
ゲノムサイズ [Mb]	3.76	4.90	3.84
遺伝子数 *1 [個]	3,346	3,906	3,204
糖質分解酵素 *2 [個]	38	47	42
キシラン分解酵素 [個]	8 (21%) *3	6 (12%) *3	1 (2%) *3

\*1 タンパク質の情報をもつ遺伝子の総数を示している。

\*2 セルロース、キシラン、マンナン、キシログルカンなどの糖質を分解する酵素の保有数。

\*3 括弧内の百分率は糖質分解酵素の中でのキシラン分解酵素の比率を示している。

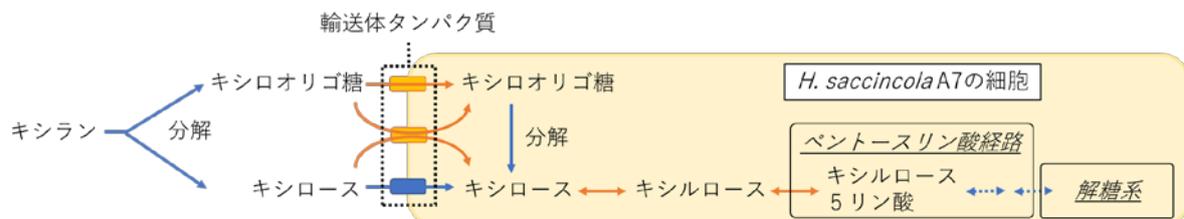


図 2 *H. saccincola* A7 の持つユニークなキシロオリゴ糖とキシロース代謝経路

橙色は A7 のみに保有されているもの、青色は近縁菌種にも共通して存在する代謝経路を示す。

[その他]

研究課題：東南アジア未利用バイオマス資源からの糖質生産技術とその高度利用技術の開発

プログラム名：開発途上地域の地域資源等の活用と高付加価値化技術の開発

予算区分：交付金 [アジアバイオマス]

研究期間：2018 年度 (2016~2020 年度)

研究担当者：藍川晋平、小杉昭彦

発表論文等：1) Aikawa S et al. (2018) Systematic and Applied Microbiology, 41(4):261-269

2) 小杉ら (2017) 特許出願番号 PCT/JP2017/021784

3) 塩基配列データベース、国立生物工学情報センター (NCBI)、PRJNA384108

**[成果情報名] キノボリウオの水田養魚は種苗の低密度放流により無給餌でも成立する**

**[要約]** ラオス山村域では、農民の動物タンパク質摂取不足を改善するために養魚振興が求められている。山村域の小規模農家が実施可能な水田養魚において、在来種であるキノボリウオを用いた場合、養魚種苗の低密度放流により無給餌でも高水準の生産性が見込まれ、さらに給餌することで生産性は向上する。

**[キーワード]** ラオス、在来魚、キノボリウオ、水田養魚、生物量増加指数(BGI: Biomass Gain Index)

**[所属]** 国際農林水産業研究センター 水産領域

**[分類]** 研究

**[背景・ねらい]**

ラオスでは、近年の人口増加に伴い食用魚需要が急速に高まっているが、山村域では住民への動物タンパク質供給量の不足が強く懸念されている。また、現在の主流な養魚種であるティラピア、コイ等は外来種であり、域内の生物多様性保全の観点から今以上の振興はリスクを伴う。経済的に恵まれない山村域の小規模農民が新規の池や生簀を造成することなく、既存の農業水塊を養魚に利用する技術開発の一環として、美味で市場価値も高い在来種のキノボリウオ (*Anabas testudineus*、図 1) を対象に水田を用いた養魚試験を行い、養魚の生産性向上に寄与する要因の抽出と、それらの要因の寄与度を評価する。

**[成果の内容・特徴]**

1. ラオス国ビエンチャン県 2 村（ナムアン及びナポー村）での 4 ヶ年のキノボリウオ水田養魚試験を通じ（図 1）、養魚生産性の指標となる BGI (Biomass Gain Index；生物量増加指数=収獲魚総重量/放流種苗総重量) への寄与要因として想定された、給餌条件（給餌の有無）、種苗の放流密度（尾/m<sup>2</sup>）、養魚期間（日）および放流時の種苗重量（g/尾）、の 4 変数の全ての組合せによる線形回帰分析モデルを比較した結果、養魚期間は要因として選択されず、給餌の有無、放流密度および養魚期間が BGI への寄与要因として選択される（図 2）。
2. 養魚生産性（BGI）に寄与する要因として抽出される上記 3 要因 [放流密度（SD）、養魚期間（SP）、給餌の有無（F）] を変数とした線形モデル ( $BGI = -27.9 \cdot SD - 0.53 \cdot SP + 6.07 \cdot F + 108.9$ ,  $R^2 = 0.96$ ) の各変数の回帰係数より、養魚生産に最も大きく寄与する要因は種苗の放流密度であり（図 3）、低放流密度であれば無給餌であっても一定水準の BGI（約 20）が期待できる。
3. 養魚期間の BGI に対する寄与は小さく、生産性に顕著な影響を及ぼさないが、給餌の有無は BGI に対して寄与する要因と推定され、給餌することで BGI は向上する（図 3）。
4. 以上の結果に基づき、キノボリウオの水田養魚を実施する際には、1 尾/m<sup>2</sup>未満の低密度で養魚種苗を放流することで、給餌条件では最大 40 程度（放流種苗総重量 1kg とした場合、収獲重量 40kg）の BGI が期待できるが、無給餌でも 20 程度の BGI が見込まれることから、給餌しなくともキノボリウオの水田養魚は成立する（図 4）。

**[成果の活用面・留意点]**

1. 種苗の放流密度 0.5~1 尾/m<sup>2</sup>、収獲時魚体重を 50g/尾とした場合、ナムアン村では最大で約 250~500kg/ha/年の養魚生産量が見込まれる。
2. ラオス国内の養魚可能な常時湛水田を 84,000ha（上記村の常時湛水水田率 12%より推定）とすると、約 21,000~42,000t/年の生産量が見込めるが、同国では種苗生産施設や技術者が著しく不足しているため、広汎な養魚振興にはインフラ整備・技術者育成が必要である。

[具体的データ]



図 1 養魚水田（上）と収穫されたキノボリウオ（下、体長約 18 cm）

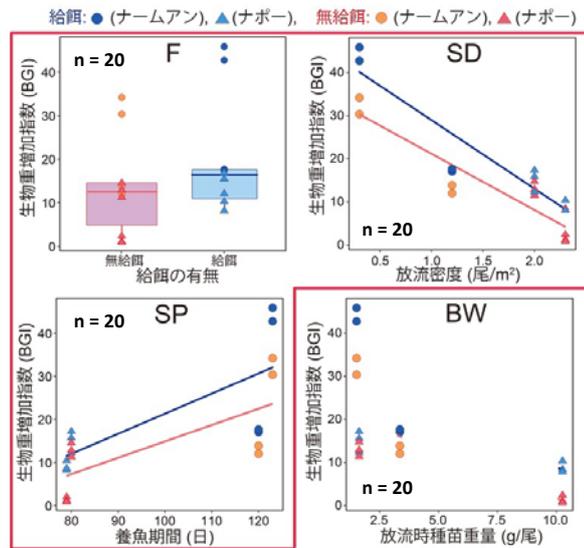


図 2 養魚生産性（BGI）に影響すると想定された要因

[F: 給餌の有無、SD: 放流密度、SP: 養魚期間、BW: 放流時種苗重量] と BGI の関係[線形回帰分析により、F、SD、SP (赤枠) が寄与要因として統計的に選択された。]

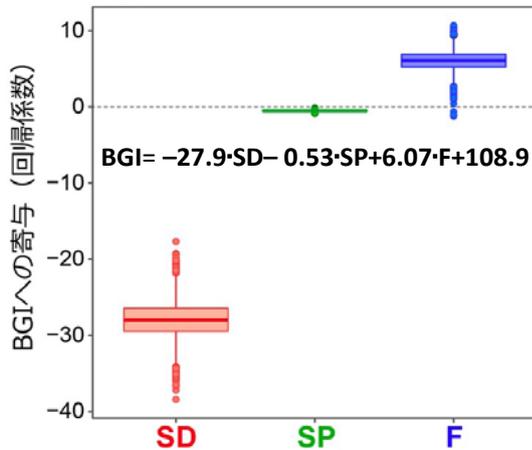


図 3 放流密度、養魚期間、給餌の有無が養魚生産性（BGI）に与える影響の評価 (SD:放流密度、SP:養魚期間、F:給餌 or 無給餌)

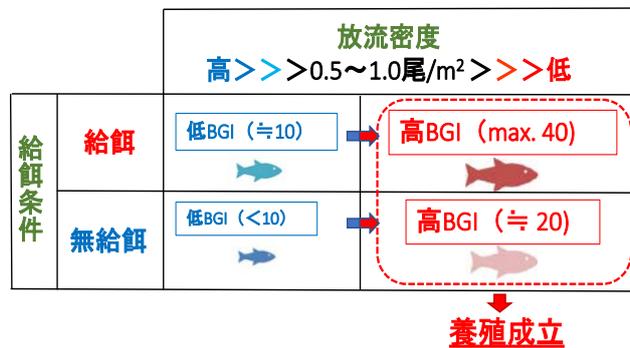


図 4 放流密度および給餌の有無が養魚生産性（BGI）に与える影響のイメージ図

[その他]

研究課題：インドシナ中山間農村における資源の多目的活用・高付加価値化と持続的生産性の向上

プログラム名：開発途上地域の地域資源等の活用と高付加価値化技術の開発

予算区分：交付金 [農山村資源活用]

研究期間：2018 年度（2016～2020 年度）

研究担当者：森岡伸介、川村健介、Vongvichith B（ラオス水生生物資源研究センター）

発表論文等：Vongvichith B et al. (2018) JARQ 52(4):359-366

**[成果情報名] 養魚ため池の貯留水を雨季水稻と乾季畑作に利用することで収益増が期待される**

**[要約]** ラオス中部の中山間農村では、養魚用ため池の貯留水の活用により、雨季初期に水が不足する圃場の初期灌漑と乾季には畑作を行うための補給灌漑が可能になる。養魚に必要な最低水量を維持することで、ため池を養魚と灌漑に併用できる。また 4 月上旬に貯留水を抜く慣行法よりも、乾季畑作の灌漑に合わせて 2 月に水を抜く方が利益の増加が見込まれる。

**[キーワード]** 養魚用ため池、貯留水、雨期水稻作、乾季畑作

**[所属]** 国際農林水産業研究センター 農村開発領域

**[分類]** 研究

**[背景・ねらい]**

ラオス中部・ビエンチャン県北西部 N 村の水稻作は水供給を天水に依存しており、特に水田域末端の圃場（図 1）では雨季初期（水稻移植期）の水不足により移植が遅れるため水稻の収量が低い（平成 27 年度国際農林水産業研究成果情報 C1）。また、乾期には水供給が無いため、水田域の多くで作物栽培が行われていない。この水田域の水源である 2 河川には 6 基の養魚用ため池が存在するが、流出口が高い位置にあるために水稻の移植時期にも約 8,600m<sup>3</sup>の水が未利用のまま貯留されている（図 2）。一方、水田で作付けが行われていない 4 月には養魚の収穫のために貯留水が放流されている。現状では未利用のこの貯留水を有効利用した水田域の用水計画を策定し、雨季水稻の適期移植のための初期灌漑と、乾期の畑作のための補給灌漑の可能性を検討する。

**[成果の内容・特徴]**

1. ため池の貯留水は、水田域の末端圃場（図 1）における水稻移植前の灌漑（初期灌漑：7 月上旬）と水田域上流側の圃場におけるダイズ作の補給灌漑（12 月～2 月、計 4 回）に使用する。
2. 養魚を行いつつ貯留水を灌漑利用し、従来通り 4 月上旬に水を抜く場合（Case 1）、養殖を行いつつ灌漑利用し、乾季畑作の灌漑に合わせて 2 月に水を抜く場合（Case 2）、養魚を行わずに全ての貯留水を灌漑に利用する場合（Case 3）の 3 例の用水計画について水収支計算を行い、灌漑可能面積を計算する（図 3）。Case 1 と Case 2 では、灌漑時にも養魚に必要な最低水深（深さ 50 cm）を維持できる貯留水を残して取水するよう計画する。
3. 雨季の初期灌漑の可能面積は、Case 1 と 2 が 10.40 ha、Case 3 が 10.95 ha であり、ため池の貯留水を利用することにより末端圃場（14.1 ha）の約 75% で適期移植が可能になる。また乾季のダイズ作の灌漑可能面積は Case 1 で 3.17 ha、Case 2 で 3.37 ha、Case 3 で 3.52 ha となる（表 1）。
4. Case 2 では養魚期間の短縮を補うための給餌代、Case 3 では養魚の休業補償費を見込む。灌漑で得られる米とダイズの販売収入、養魚による収入と支出を試算すると、Case 1～3 で現状（灌漑の未実施）から収益増が見込める（表 1）。動物性タンパク質の供給源確保の点から養魚の維持（Case 1, 2）が望ましい（表 1）。

**[成果の活用面・留意点]**

1. ため池を養魚と灌漑に併用し、Case 2 の用水管理を行うことにより、ラオス中山間地の農村において貴重なタンパク源である養魚を行いつつ、農業生産性を向上することが期待できる。
2. 本成果は、N 村と同様に雨季の水稻作と養魚を行っているラオス中北部の農山村に適用できるが、灌漑可能面積は対象地の水資源、土地利用の状況などを考慮し算定する必要がある。
3. 動力ポンプやサイフォンなどの揚水機材が必要となる場合は資材の調達および燃料などの費用負担が必要になる。

[具体的データ]

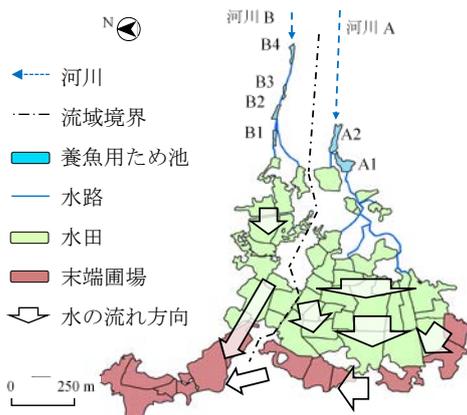


図 1 N 村の河川 A と B の流域概要

水田下流側の末端圃場(14.1 ha)では、雨季初期における水の不足により水稻の移植が遅れる。



図 2 養魚ため池 (B2) の様子

ため池の流出口の位置が高く、貯留水の多くが流出せずに残っている。

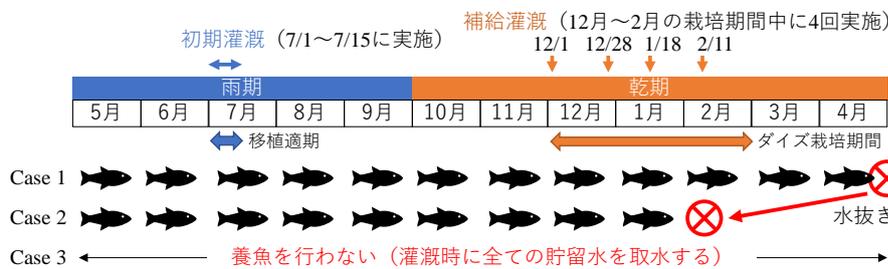


図 3 養魚ため池を利用した用水計画

・ Case 1, 2 では、灌漑時に魚の生存に必要な最低水深 (50 cm) を維持する。

・ Case 1 では 4 月にポンプで水を抜き、魚を収穫する。

・ Case 2 では 4 回目の補給灌漑に合わせてポンプで水を抜き、魚を収穫する。

表 1 灌漑可能面積および灌漑の実施により見込まれる現状からの増収の試算

用水計画	灌漑可能面積 (ha)		米		ダイズ生産量 <sup>2)</sup> (ton d)	灌漑により得られる利益 <sup>3)</sup> (1,000 KIP)		
	初期灌漑 a	補給灌漑 b	収量 (ton ha <sup>-1</sup> )	増収量 <sup>1)</sup> (ton) c (a×(3.9-2.2) ton ha <sup>-1</sup> )		総収入 e (c×2,500 KIP kg <sup>-1</sup> + d×8,000 KIP kg <sup>-1</sup> )	補填費 f	純利益 e-f
現状	灌漑を行っていない		2.2	0	0	-	-	0
Case 1	10.40	3.17	3.9	17.68	4.44	79,704	0	79,704
Case 2	10.40	3.37	3.9	17.68	4.72	81,944	720	81,224
Case 3	10.95	3.52	3.9	18.62	4.92	85,850	6,108	79,742

(注 1) Ikeura *et al.* 2016 を参照し、末端圃場にて適期移植により米収量が 2.2 ton ha<sup>-1</sup> から 3.9 ton ha<sup>-1</sup> に増加、(注 2) 灌漑によりラオスのダイズの平均単収(1.4 ton ha<sup>-1</sup>)が収穫できるものとする。(注 3) 米とダイズの単価は 2015 年の聞き取りによる。また、Case 2 では給餌費を、Case 3 では休業補償として養魚で見込まれる純利益を貯水池所有者に補填する。10,000 KIP は 133 円 (2018 年 12 月 6 日時点)。

[その他]

研究課題：インドシナ農山村における農家経済の持続的安定性の確立と自立度向上

プログラム名：開発途上地域の地域資源等の活用と高付加価値化技術の開発

予算区分：交付金 [インドシナ農山村]

研究期間：2018 年度 (2014~2016 年度)

研究担当者：安西俊彦、池浦弘、Amphone C・Khaykeo K・Somphone I (ラオス大学)、藤巻晴行 (鳥取大学)

発表論文等：1) Anzai T *et al.* (2018) Paddy and Water Environment, DOI:10.1007/s10333-018-00685-z

2) 安西ら (2017) 日本雨水水資源化システム学会誌 23(1):51-58,

3) 池浦ら (2017) 農業農村工学会論文集 304(85-1):II\_25-II\_33