

サブサハラアフリカの食料危機に立ち向かう作物科学

辻本泰弘*

〔キーワード〕：作物生産，アフリカ，リン欠乏，施肥技術，品種改良，超学際研究

1. アフリカにおける作物生産の現状と課題

アフリカは、国連の持続可能な開発目標に掲げられた貧困と飢餓の撲滅から世界で最も立ち遅れた地域である。世界全体では栄養不良（飢餓）人口が大幅に減少している一方で、アフリカでは、その数値が増え続け、2030年には、世界の飢餓人口の半数以上（約3億人）がアフリカに偏在することが予測されている（図1）。この問題を解決するためには、食料の安定供給と多くの人口を支える農村地域の生計向上が必要であり、そのプロセスにおいて、作物生産科学の果たす役割は大きい。

アフリカの作物生産を俯瞰すると、単位面積当たりの穀物収量は、ha 当り 1.7 t と極端に低く、同地域を除く世界の平均収量の半分にも満たない。そのため、爆発的な人口増加に 대응する食料供給は、これまで主に、農地の拡大や域外からの穀物輸入量の増加に依拠してきた。アフリカにおける過去40年間の穀物生産の変化をみると、作付面積は倍増した一方で、収量の増加は1.4倍程度である（図2）。比較して、この間に同等の人口増加率を経験した南・東南アジアでは、平均収量を大幅に押し上げることで（ha 当り 1.7 t から 3.8 t に増加）、食料

需要を満たしてきたことが分かる。人口集密地域の南・東南アジアに比べると、アフリカの一人当たりの耕地可能面積には余裕があったことも事実である。

しかし、近年、アフリカでの農耕地の拡大が、森林伐採や土地劣化など、深刻な環境負荷を引き起こし、その帰結として、持続的な農業生産を脅かしている実態が指摘される。現在、地域別の比較において、アフリカの森林消失面積は世界で最も大きく（図3）、土地利用の変化を含めた農耕地か

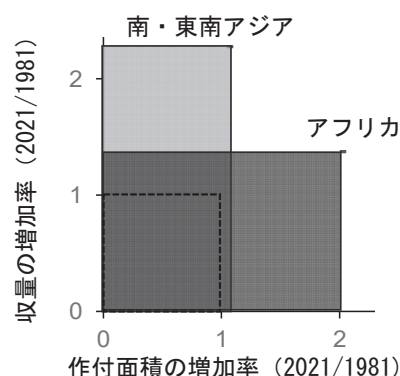


図2 アフリカと南・東南アジアにおける過去40年間の穀物の作付面積および収量の増加率
1981年の値を1とする。
FAO資料より筆者作成。

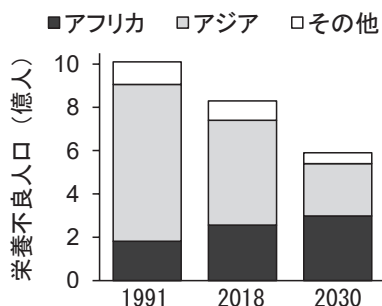


図1 世界の栄養不良（飢餓）人口の推移と予測
FAO資料より筆者作成。

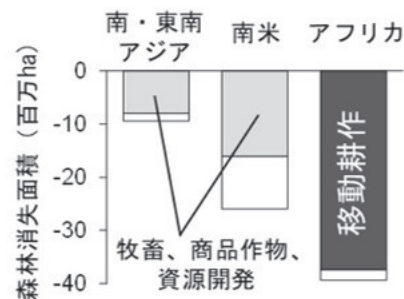


図3 2010年代の森林焼失面積と要因の地域比較
FAO資料およびCurtis et al. (2018)より筆者作成。



図4 上流からの土砂で埋没したマダガスカルの水田
森林消失を含む流域環境の劣化が近年の土砂流入の増加要因として指摘される。

らの温室効果ガス排出量は、アフリカが世界の23%を占める(FAOSTAT)。また、同地域にみられる森林消失の多くが、移動耕作など、小規模農家の農業活動に起因する点も、他地域との大きな違いである。

環境を犠牲にした小規模農家による農地の拡大は、生物多様性の消失や気候変動を加速するのみならず、流域レベルでの土壌侵食や水源涵養機能の低下によって、地域の農業生産の更なる不安定化をまねく(図4)。すなわち、アフリカの作物生産の現状として、「小規模農家の著しく低い生産性⇒非持続的な農地の拡大⇒流域環境の劣化と生産性の更なる低下」という、不安定な農業生産と環境破壊の負の連鎖の構図がみえてくる。このことから、アフリカの持続的な食料安全保障を実現するためには、小規模農家がもつ限られた農地での収量の向上と安定化が極めて重要な課題といえる。

2. アフリカにおける作物収量の制限要因

アフリカの作物収量を制限する要因として、灌漑排水設備などの生産基盤が弱く、洪水や渇水などの水ストレスを受けやすいこと、また、農業従事者の半数以上が、1 ha未満の農地しかもたない零細農家のため、肥料や農薬などの資源投入力が乏しいことが挙げられる。例えば、アフリカにおける化学肥料としての窒素とリンの耕地面積当たりの平均投入量は、それぞれha当たり9.2 kgと1.5 kgで、その他の地域の10分の1程度にとどまる(Rakotoson et al., 2022)。ロシアのウクライナ侵攻に前後した国際的な肥料価格の高騰は、こうした零細農家の肥料購入をより困難にし、更なる生産性の低下と農地の拡大が危惧されている(Alexander et al, 2023)。

加えて、アフリカでは、作物生育に不可欠なリンや窒素などの栄養素に乏しい風化土壌が広く分布する。さらに、土壌中に豊富に含まれる鉄やアルミニウムがリンを強く吸着するために、リンを施用しても作物に吸収されにくい問題がある。典型的な風化土壌(フェラルソル)が分布するマダガスカル中央高地の水田土壌においても、土壌中の可給態リン含量(作物が吸収し易い形態のリン)が極めて低いことと、土壌のリン吸着程度に応じてリン施肥の効果が大きく左右されることが示されている(Nishigaki et al., 2019;2021)。このことから、地域の作物収量の向上と安定化には、土壌や肥料から供給される限られた養分を効率的に利用しつつ、不安定な水環境やリン吸着能の高い土壌にも対応する生産技術の開発が必要となる。次項では、マダガスカルで進めてきた国際共同研究プロジェクトから、こうした生産課題の克服に貢献しつつある2つの研究事例を紹介したい。

3. マダガスカルのリン欠乏水田での収量改善に繋がる生産技術の開発と普及

マダガスカルの絶対的貧困率 81%、飢餓人口割合 51%はアフリカでも特に高い。その改善には、国の基幹産業である稲作の発展が不可欠である。しかし、前項で述べたように、不安定な水環境、肥料投入量の不足、貧栄養土壌といった問題により、稲の生産性は低い。そこで、我々の研究グループでは、こうした栽培環境でのイネ増収を実現するために、地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム(SATREPS)などの事業を通して、マダガスカルの農業畜産省や大学・研究機関との共同研究に取り組んできた。

【リン欠乏耐性遺伝子を用いた水稻新品種の開発】

1つ目の実践的成果として、イネのリン吸収に関わる *Pup1* 遺伝子座を導入した水稻新品種 *FyVary32**(フィヴァリと発音し、マダガスカル語で「良いお米」の意味をもつ)の開発が挙げられる。*Pup1* 遺伝子座は、リン欠乏土壌でも優れた生育をもつ在来系統カサラスから検出した染色体領域である。2012年には、その原因遺伝子として *PSTOL1* を同定し、同遺伝子がリン欠乏条件での根の生育促進とリン吸収量の改善に機能することを明らかにした(Gamuyao et al., 2012)。



図5 開発品種 FyVary32 の生産農家

これらの基盤成果をもとに、国際稲研究所やアフリカ稲センターと共同で、熱帯の主力水稻品種である IR64 に *Pup1* 遺伝子座を導入した系統群を育成し、2015 年から年 2 作の頻度で、マダガスカルの農家圃場での選抜と世代促進を繰り返した。その後、絞り込まれた有望系統について、3 作 18 地点での生産力試験と 4 地域 400 農家への食味試験を実施した。結果、親品種 IR64 や同国の主力水稻品種である X265 に比べて、優れた生産性や早生性が認められたことから、2021 年 11 月に正式に品種登録に至った。同成果は、マダガスカル農業畜産省や国際協力機構(JICA)の技術協力プロジェクトに引き継がれ、2023 年には約 20 t の認証種子が生産されるなど、種子生産農家や一般農家での利用が進んでいる(図 5)。

【リン欠乏水田での効果的施肥法 P-dipping の開発】

2 つ目の実践的成果として、少量のリン肥料(重過リン酸石灰)と水田土壌を混合した泥を苗の根に

付着させてからイネを移植する施肥法 P-dipping を考案した(図 6)。これは、明治初期に実践されていた「揉付け」という類似技術にヒントを得たものである。まず、ポットでの制御試験により、同技術が、イネ株下の可溶性リン濃度を局所的に高め、従来の施肥法では肥料の効果が得られ難いリン吸着能の高い土壌でも、イネのリン吸収を大幅に改善できることを明らかにした(図 6, Oo et al., 2021)。次に、リン欠乏が顕著なマダガスカルの農家圃場で試験したところ、同技術が、イネのリン吸収だけではなく、生育期間の短縮と初期生育の改善を促し、登熟期の低温不稔や水不足、ならびに生育初期の冠水害など、様々な環境ストレスに対しても有効に働くことが示された(Rakotoarisoa et al., 2020; Oo et al., 2023)。その後、様々な栽培管理条件をもつ約 300 点の農家圃場でも技術の安定的な効果を確認したことから、マダガスカルの農業畜産省普及局や JICA の技術協力プロジェクトとともに、現地の農家 3,000 戸以上に技術を移転した。結果、P-dipping を行うことで、農家の実践下においても、ha あたりのコメの平均収量が 3.7 t から 4.8 t と約 1.1 t (30%) 増加することが実証された。

P-dipping は、少ない肥料(=少額の投資)で安定した増収効果が得られることから、これまで肥料を買えなかった農家にも採用され、農家間の技術伝播も観察されている。また、少量の肥料で済む、すなわち、持ち運びが容易である点も、自動車などの運搬手段をもたない貧困農家にとってのメリットである(図 7)。こうした農家への普及状況を受け

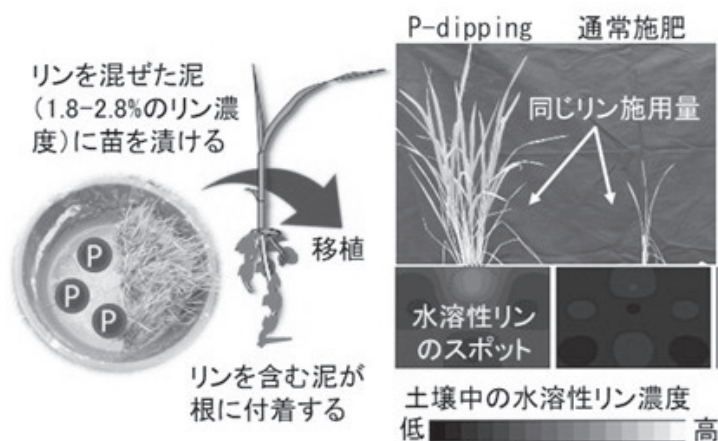


図6 P-dipping の手法と効果



図 7 P-dipping の採用農家(左)と同技術用肥料を購入し、持ち帰る農家(右)

て、マダガスカルの民間肥料会社が、P-dipping 用のリン肥料を海外から追加で調達するなど、新たな民間投資も引き出されている。

2024 年度から、マダガスカル政府の要請を受けて、本稿で紹介した研究成果(水稻新品種 FyVary と P-dipping)を広域に普及することを目的とした JICA の社会実装型技術協力プロジェクトが予定される。また、我々の研究グループでは、計量経済学の手法を用いて、研究対象地域でのコメ増収が農家の所得や栄養改善にも正の効果をもたすことを明らかにしている(Nikiema et al., 2023)。開発した研究成果が広く普及し、イネの生産性が向上することで、貧困や飢餓の問題を抱える農村地域での社会的インパクトに繋がり、日本の農学による国際貢献を強く打ち出せるものと期待している。

4. 国際貢献のための作物科学のアプローチ

前述したとおり、アフリカは、「貧困・飢餓人口の増大」と「環境破壊・気候変動」という農学が貢献すべき 2 つのグローバル課題が最も顕在化した地域である。その解決には、双方の課題を主体的に抱える小規模農家の生計向上が不可欠であり、その手段として、彼らの所得、栄養源となる農業生産の安定化、そして、農業生産を支える耕地生態系の持続的な維持、管理が求められる。水田農業は、人口扶養力が高く、また、水源涵養作用などの多面的機能をもつ、生産性と環境調和性に優れた農業システムである。我が国の研究蓄積も大きいことから、水田農業を軸とした研究展開は、引き続き、アフリカで顕在化するグローバル課題

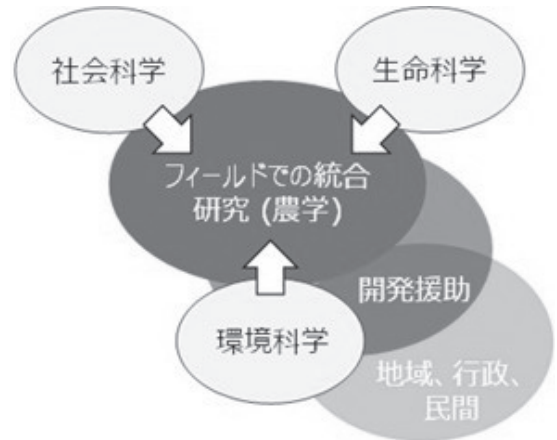


図 8 フィールドを中心に様々なステークホルダーと共創する超学際的な農学研究のイメージ図
堀江 (2009) をもとに筆者作成。

への貢献を果たす重要な切り口になると考えている。アフリカのコメ消費量は急速に拡大(過去 30 年で 3 倍以上に増加)しており、そのニーズも十分に大きい。

一方で、農業は、地域の社会・自然条件に即した環境依存型の産業である。そのため、技術や知見を単純に移転するのではなく、対象地域にみられる諸条件を様々な専門分野から観測する学際的なフィールド研究の実践が肝要である。堀江 (2009) は、「農学とは、社会科学(社会、経済、生活)、生命科学(生物、遺伝子)、環境科学(土地、資源、生態系)の 3 つの要素を包括する統合的な実学であり、フィールドこそがその体现の場である」と述べている。さらに、研究成果をシームレスに社会に還元するためには、生産現場での学際的な取り組みにとどまらず、地域住民、行政、開発援助機関、民間企業など、様々なステークホルダーと共創する超学際研究(transdisciplinary research)が重要と感じている(図 8)。前項で述べたマダガスカルでの実践例は、地域の農家、相手国政府、JICA、民間肥料会社と連携した成果の一つである。こうした超学際研究の実践例を増やすこと、また、そのリーダーシップを発揮する人材を育成することで、日本の農学による国際貢献のプレゼンスがより一層高められるのではないだろうか。筆者自身もその実践者の一人として尽力したい。

【引用文献】

- Alexander, P., Arneth, A., Henry, R. et al. 2023. High energy and fertilizer prices are more damaging than food export curtailment from Ukraine and Russia for food prices, health and the environment. *Nat. Food* 4, 84-95.
- Curtis, P.G., Slay, C.M., Harris, N.L., et al. 2018. Classifying drivers of global forest loss. *Science* 361 (6407), 1108-1111.
- Gamuyao, R., Chin, J. H., Pariasca-Tanaka, J et al., 2012. The protein kinase Pstol1 from traditional rice confers tolerance of phosphorus deficiency. *Nature* 488, 535-539.
- 堀江武 2009. 「作物学のアイデンティティを考える」農学研究における還元的アプローチと統合的アプローチ, 日本作物学会紀事 78(3), 399-406.
- Nikiema, R.A., Shiratori, S., Rafalimanantsoa, J. et al. 2023. How are higher rice yields associated with dietary outcomes of smallholder farm households of Madagascar? *Food Security* 15, 823-828.
- Nishigaki, T., Tsujimoto, Y., Rinasoa, S. et al. 2019. Phosphorus uptake of rice plants is affected by phosphorus forms and physicochemical properties of tropical weathered soils. *Plant Soil* 435, 27-38.
- Nishigaki, T., Tsujimoto, Y., Rakotoson, T. et al. 2021. Soil phosphorus retention can predict responses of phosphorus uptake and yield of rice plants to P fertilizer application in flooded weathered soils in the central highlands of Madagascar. *Geoderma* 402, 115326.
- Oo, A.Z., Tsujimoto, Y., Rakotoarisoa, N. et al. 2020. P-dipping of rice seedlings increases applied P use efficiency in high P-fixing soils. *Sci. Rep.* 10, 11919.
- Oo, A.Z., Tsujimoto, Y., Rakotoarisoa, N. et al. 2023. Localized phosphorus application via P-dipping doubles applied P use efficiency and avoids weather-induced stresses for rice production on P-deficient lowlands. *Eur. J. Agron.* 149, 126901.
- Rakotoarisoa, N., Tsujimoto, Y., Oo, A.Z. 2020. Dipping rice seedlings in P-enriched slurry increases grain yield and shortens days to heading on P-deficient lowlands in the central highlands of Madagascar. *Field Crops Res.* 254, 107806.
- Rakotoson, T., Tsujimoto, Y., Nishigaki, T. 2023. Phosphorus management strategies to increase lowland rice yields in sub-Saharan Africa: A review. *Field Crops Res.* 275, 108370.