

国際農林業協力

JAICAF

Japan Association for
International Collaboration of
Agriculture and Forestry

特集：農業技術における最新動向

灌漑技術に伴う土壌塩類化と持続的対策の構築

ゲノミクス解析を通じたマダガスカルのイネの改良に向けて

ラオスにおける土壌病害の現状、特にキャベツ根こぶ病事例に
ついて

キャベツ農家の根こぶ病克服記

Vol. 48 (2025)

No. 3

公益社団法人
国際農林業協働協会

巻頭言

技術を適切に普及へつなげる

板垣啓四郎 1

特集：農業技術における最新動向

灌漑農業に伴う土壌塩類化と持続的対策の構築

大西 純也 2

ゲノミクス解析を通したマダガスカルのイネの改良に向けて

植田 佳明 16

ラオスにおける土壌病害の現状、特にキャベツ根こぶ病事例について

新田 直人 24

キャベツ農家の根こぶ病克服記

田部 義美 34

寄稿

農家の「本音」に耳を傾けて ーリベリアの水稻作プロジェクトの現場からー

竹村 光春 41

フィリピンでの低化学農薬・化学肥料栽培技術の普及活動

児玉 広志 49



技術を適切に普及へつなげる

東京農業大学名誉教授

板垣 啓四郎

新しく開発された農業技術もしくはより機能や効果を高めるために改良された既存の技術を、どのように農家のレベルに普及して定着させ、農業生産性の向上、所得の増加につなげていくかは、開発途上国の農業開発にとって重要な課題の1つであることはいうまでもない。その課題に取り組むためこれまでにさまざまな理論的枠組みが提示されてきた。その代表的なものは、かつて1980年代後半から90年代にかけて盛んに論じられていた Farming Systems Research and Extension (以下 FSR/E、農業システム研究・普及) およびその後継で2000年代に入り広く認められてきた Agricultural Knowledge and Innovation System (以下 AKIS、農業知識・イノベーションシステム) である。

FSR/E は、農家の圃場において研究者が農業者ととともに導入の対象となる技術を試行し、双方によるモニタリングと評価を通じそこから課題を発見して解決に向かう。また次の段階で発見された新たな課題を解決するというプロセスを繰り返しながら、技術を着実に定着させていくというアプローチである。一方 AKIS は、農業者、研究者、教育者、普及指導者、民間企業、NGO、政策担当者などのステークホルダーが連携して、それぞれの立場で有する知識や情報を出し合い意見交

換するためのプラットフォームを形成し、そこから農業の持続的発展や生産性向上に寄与する有益な知識を創出、農業者の課題解決につながる方法や技術、政策、制度などのイノベーションを見出していくというアプローチである。

FSR/E および AKIS とともに、農業者を主体において導入する技術がどのようにしたら定着するのか、また農業者の既存知に新しい知識や情報を加えることでどのようなイノベーションを起こすことができるかを、農業者が自ら考え判断することに重点をおいている。いいかえれば、技術と知識の普及が農業者と関係者との間で並走しながらつながっていることにこのアプローチの大きな特徴がある。その一方で、最近では開発途上国の農村においても SNS や生成 AI の利用などデジタル化が急速な勢いで進んでおり、技術と知識、情報へのアクセスが以前にもまして格段に改善されてきている。とはいえ、それらの取捨選択と採用には、農家が自らのファーム・システム全体を俯瞰したうえで経営の改善に活かす方向へ適切に判断する能力が必要であり、そのブラッシュアップには農業者のみならず関係者の能力向上が強く求められる。

技術を普及にどのように適切につなげていったらよいのか、大きな転換期に差し掛かっているように見受けられる。

ITAGAKI Keishiro : Linking Agricultural Technologies to Extension Appropriately.



灌漑農業に伴う土壌塩類化と持続的対策の構築

大西 純也

はじめに

砂漠化とは、乾燥・半乾燥地域および乾燥半湿潤地域における種々の要因（気候変動や人間活動を含む）による土地の劣化であり、その面積は、国連環境計画（UNEP）が約19～36億haと推計している（UNEP 2006）。なお、砂漠化とは、もともと植生に覆われた土地が不毛地になっていく現象であり、砂漠の拡大を意味するものではない。この深刻化する砂漠化への国際的な取り組みとして、1994年6月17日に砂漠化対処条約（UNCCD）が締結された。UNCCDは毎年6月17日を「砂漠化および干ばつと闘う世界デー」とし、2025年は「土地を回復し、機会を解放放つ」をテーマに、土地の回復を通じた雇用創出、食料と水の安全保障の強化、気候変動対策の支援、経済回復への貢献などを強調し、砂漠化への対処を促している。灌漑農業は、必要な時期に人為的に水を供給するため、その生産性は高く、特に、乾燥・半乾燥地域での安定的な農業生産には灌漑が必須となる。しかし、そこでは、不適切な水管理による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。本報では、灌漑農業と乾燥地域、そして、乾燥地域の灌漑農地

で深刻化する土壌の塩類化について概説するとともに、2008年から国際農林水産業研究センター（以下、国際農研）が検証を重ねている土壌塩類化対策について報告する。

1. 灌漑農業

農業に水は必要不可欠であり、降雨によって水を与える天水農業と人為的に水を与える灌漑農業に分けることができる（川島 2008）。天水農業は、自然の降雨に依存するため生産性が低い。一方、灌漑農業は、必要な時期に人為的に水を供給するため生産性が高い。世界の土地面積約130億ha（2017年）の内、農地面積（Cropland）は約15.6億ha（約12%）であり、灌漑農地は約3.4億haで農地面積の約22%程度を占めている。この灌漑農地では世界の作物生産量の約44%、穀物生産量の42%を生産しており、特に、開発途上地域では作物生産量の約49%、穀物生産量の約60%を生産している（Alexandratos and Bruinsma 2012）。世界人口が急増した1961年から2017年までの57年間に、農地面積は13.5億haから15.6億haへと約2.1億ha増加したが、その内、灌漑農地は1.6億haから3.4億haへと約1.8億haも増加しており、増加した農地面積の約86%を占めている。また、灌漑水の使用量も過去50年間（1960～2010年）に $650\text{km}^3\text{y}^{-1}$ （1年間の使用量が 650km^3 ）から $1400\text{km}^3\text{y}^{-1}$

ONISHI Junya : Soil Salinization Due to Irrigation Agriculture and Establishment of Sustainable Measurements.

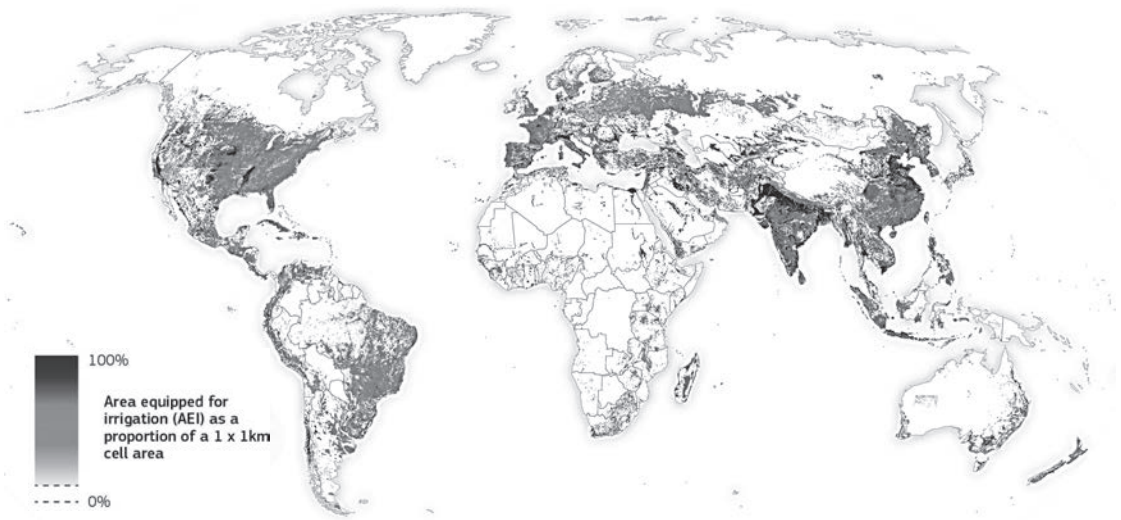


図1 世界の灌漑農地の分布

出典：World Atlas of Desertification, Third edition (JRCEC 2018)

に倍増したと推計されている (Wada and Bierkens 2014)。このことから、灌漑農業の発展が過去 57 年間の大幅な食料増産に大きく貢献したことが明らかである。仮に灌漑しなければ、ナツメヤシ、コメ、ワタ、柑橘類、サトウキビの生産量が、それぞれ、60%、39%、38%、32%、31%減少し、さらに、穀物生産量も 47%減少し、穀物生産量全体の 20%が損失すると試算されている (Siebert and Döll 2010)。したがって、今後も灌漑の拡大と水管理の改善は、世界の食料安全保障を確保する上で非常に重要である。灌漑は世界のほぼすべての国で行われており、灌漑農地は広範囲に分布している (図1)。特に、アジア大陸が約 71%を占めており、特に、人口密度が高く、1人当たりの農地面積が小さいインドおよび中国の割合が高い (Joint Research Centre of European Commission 2018)。また、アラビア半島、イラン、中央アジア、北アフリカ、オーストラリア、北米西部などの乾燥・半乾燥地域においても広く

灌漑が行われている。

2. 乾燥地域

乾燥地域は、降水量が少なく可能蒸発量・可能蒸発散量が多いため、水のひっ迫度が高く、元来、生産性が低い (北村 2016)。しかし、乾燥地域は日射が豊富であることから、水と肥料を十分に与えれば高い生産性が期待できる (藤山 2019)。乾燥地域の農業生産を安定化するには灌漑が必須であり、世界の灌漑農地の約 60%が乾燥地域に分布している (八丁、筒井 1998)。乾燥地域の定義は様々であるが、ここでは、年間の降水量を可能蒸発散量で割った比の値である乾燥度指数 (Aridity Index: AI) を用いる。ミレニアム生態系評価 (Millennium Ecosystem Assessment 2005) および欧州委員会 (European commission: EC) 共同研究センター (Joint Research Centre of European Commission 2018) は、AI が 0.65 より低い地域を乾燥地域として定義している。世界の

表 1 乾燥地の面積と人口

Subtype	Aridity Index	Area		Dominant Broad Biome	Population	
		Size (mill km ²)	Share of Global (%)		Toal (thousand)	Share of Global (%)
Hyper-arid	<0.05	9.8	6.6	desert	101,336	1.7
Arid	0.05-0.20	15.7	10.6	desert	242,780	4.1
Semiarid	0.20-0.50	22.6	15.2	grassland	855,333	14.4
Dry subhumid	0.50-0.65	12.8	8.7	forest	909,972	15.3
Total		60.9	41.1		2,109,421	35.5

出典：Millennium Ecosystem Assessment (MA) (2005)

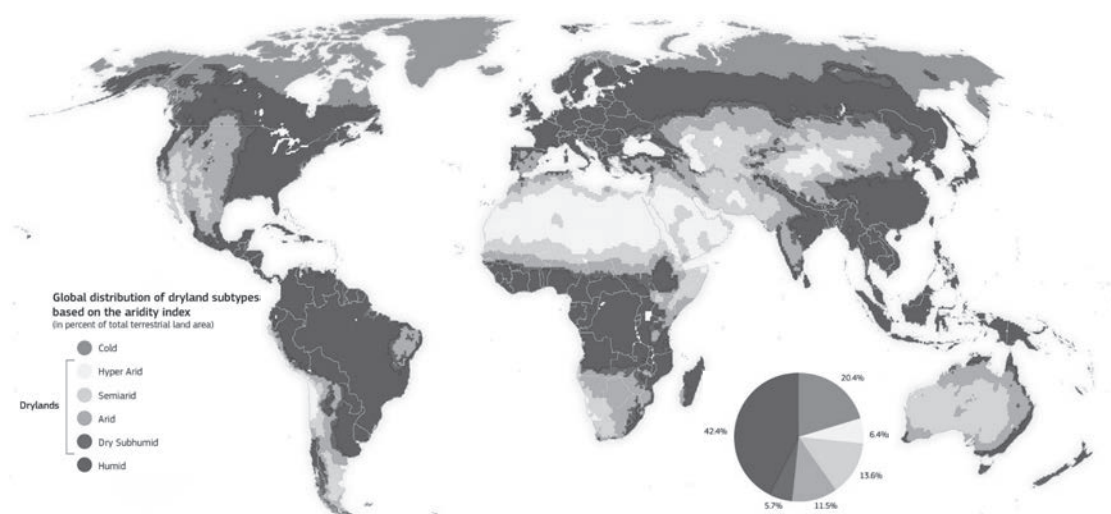


図 2 世界の乾燥地の分布

出典：World Atlas of Desertification, Third edition (JRCEC 2018)

乾燥地域の面積は、地球上の総陸地面積 153 億 ha のうち、約 60.9 億 ha（約 40%）を占めており、2000 年時点で約 21 億人もの人々が生活している（表 1）。

乾燥地域は、乾燥度指数によって、乾燥の激しい順から極乾燥（Hyper-arid）、乾燥（Arid）、半乾燥（Semiarid）、乾燥亜湿潤（Dry sub humid）に分類される。年間降水量の目安は、おおよそ、極乾燥・乾燥地域は 200mm 以下、半乾燥地域は 200～800mm、

乾燥亜湿潤は 800～1500mm に対応する（日本沙漠学会 2009）。世界の乾燥地の分布を図 2 に示す。乾燥地域は、世界の砂漠を取り巻くように広がり、アフリカの開発途上地域に多くみられるが、アメリカ西部やオーストラリアなどの先進国にも分布している（恒川 2014）。

乾燥地の土地利用は、極乾燥から乾燥では放牧地が主体であり、特に極乾燥では、遊牧やオアシス農業などの限られた生活が営まれ

表2 乾燥地における土地利用

Subtype	Rangeland		Cultivated		Urban		Others	
	Area (km ²)	Share of Dryland Subtypes (%)	Area (km ²)	Share of Dryland Subtypes (%)	Area (km ²)	Share of Dryland Subtypes (%)	Area (km ²)	Share of Dryland Subtypes (%)
Hyper-arid	9,497,470	97	55,592	0.6	74,050	1	149,026	2
Arid	13,629,625	87	1,059,648	7	152,447	1	822,075	5
Semiarid	12,170,274	54	7,992,020	35	556,515	2	1,871,146	8
Dry subhumid	4,344,897	34	6,096,558	47	457,851	4	1,971,907	16
Total	39,642,266	65	15,203,818	25	1,240,863	2	4,814,154	8

出典：Millennium Ecosystem Assessment (MA) (2005)

表3 塩類土壌の分類

分 類	EC _e (dS m ⁻¹)	SAR	ESP (%)
非塩類土壌	< 4.0	< 13.0	< 15.0
塩性土壌	≥4.0	< 13.0	< 15.0
ソーダ質土壌	< 4.0	≥13.0	≥15.0
塩性ソーダ質土壌	≥4.0	≥13.0	≥15.0

出典：Soil Salinity, Testing Data Interpretation and Recommendations (Leticia, *et al.* 2015)

ている。また、半乾燥、乾燥亜湿潤へと降水量が増えるに従い、耕地、特に天水農業が増加する（恒川 2014）。

3. 土壌の塩類化（塩類集積）

土壌の塩類化（塩類集積）とは化学的な土壌劣化であり、可溶性の塩が土壌に蓄積することである（USDA 1998）。土壌の塩類化は生産性の低下に関与する主要な非生物的ストレスのひとつであり、ここ数十年で土壌の塩類化が劇的に増加している（Martin *et al.* 2012）。特に、降水量が少なく降水の規則的な土壌への浸透が維持できない乾燥地域における土壌の塩類化が顕著である（Farifteh *et al.* 2006）。また、乾燥地域では、土壌に塩

類が集積する前兆の段階であっても、植物の生長が阻害される（農業農村工学会 2003）。塩類土壌（Salt affected soil）は、集積する塩の量と組成により塩性土壌（Saline soil）とソーダ質土壌（Sodic soil）に分類される（藤山 2019）。土壌溶液（飽和抽出液）の電気伝導度（Electrical Conductivity：EC_e）、土壌溶液（飽和抽出液）のナトリウム吸着比（Sodium Adsorption Ratio：SAR）、交換性ナトリウム率（Exchangeable Sodium Percentage：ESP）による塩類土壌の分類を表3に示す（Leticia *et al.* 2015）。

また、土壌溶液（飽和抽出液）の電気伝導度（EC_e）による塩類化の程度区分を表4に示す（Kenneth *et al.* 2002）。

表4 EC_eによる塩類化程度の区分

塩類化程度	EC _e (dS/m)	作物への影響
無	< 2	塩分の影響はごく僅か
低度	2 - 4	塩分に敏感な作物は収量が制限される
中度	4 - 8	多くの作物の収量が制限される
高度	8 - 16	耐塩性作物のみ収量が制限されない
極度	>16	高耐塩性作物のみ収量が制限されない

出典：Agricultural drainage water management in arid and semi-arid areas, Irrigation and drainage paper No. 61 (FAO 2002)

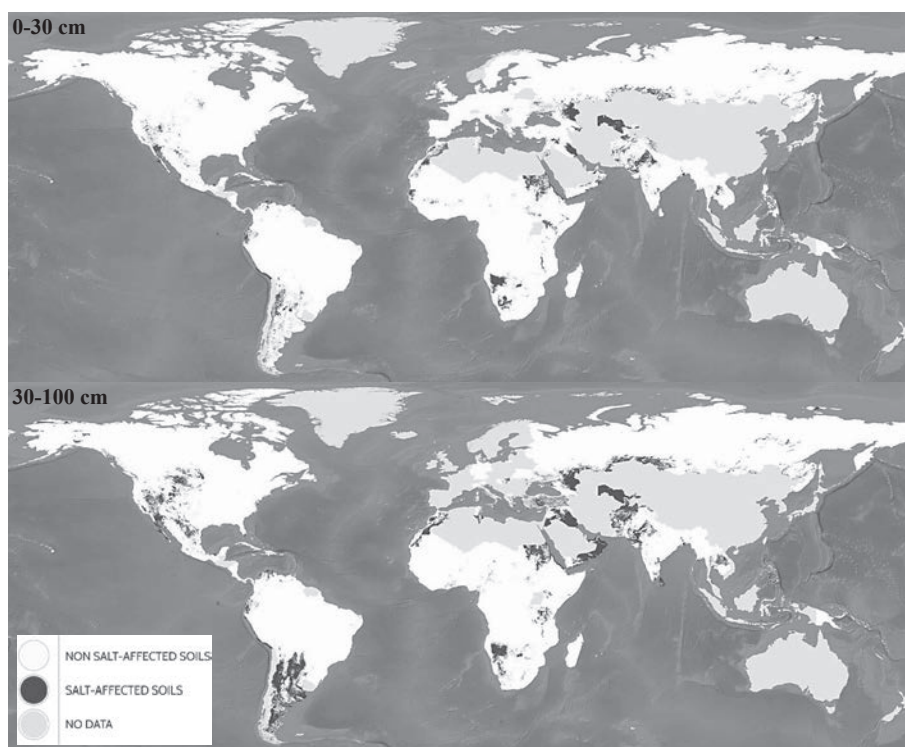


図3 世界の塩類化土壌の分布

出典：Global Map of Salt-Affected Soils (FAO 2021)

塩類化土壌の面積は様々な推計がなされているが、これまで約10億ha程度、地球の陸地面積の約7%に相当するとされてきた。しかし、2024年12月に公表されたFAOの最新の報告「Global status of Salt-Affected Soils」(FAO 2024)によれば、塩類化土壌

の面積は約14億ha、陸地面積の約11%にまでに及んでいると推計されている。2021年にFAOが発表した「Global map of salt-affected soils」(FAO 2021)で示された、世界の塩類化土壌の分布を図3に示す。

土壌の塩類化は、発生の過程によって「一

次的」と「二次的」の2つに分けられる。一次的な塩類化は塩湖、塩性湿地、干潟など自然に生じるものであるのに対し、二次的な塩類化は都市化や農業（灌漑）といった人間活動によって引き起こされるものである（Industry & Investment NSW 2009）。Metternicht らは、世界で生じている一次的塩類化の面積を約 9.6 億 ha、二次的塩類化の面積を約 0.8 億 ha と推計し、二次的塩類化のうち約 58%（約 0.4 億 ha）が灌漑農地で生じているとしている（Metternicht and Zinck 2003）。また、この面積は全灌漑農地の 20% 近くにまで及んでおり、様々な対策が行われているにもかかわらず、増加傾向にあるとしている（Metternicht and Zinck 2003）。灌漑農業に起因した土壌の塩類化が顕著な地域として、中央アジアのアラル海流域（アムダリア川およびシルダリア川流域）、インドのヒンドゥスターン流域、パキスタンのインダス川流域、中国の黄河流域、シリアとイラクのユーフラテス川流域、オーストラリアのマレー・ダーリング川流域、そして、アメリカのサン・ホアキン・バレーなどがある。土壌の塩類化が農業に及ぼす影響は大きく、1 年間に失われる農地面積は、少なく見積もって 16~30 万 ha、大きく見積もって 150 万 ha であり、生産性が低下している農地は 2000~4600 万 ha と推計されている（Squires and Glenn 2009）。土壌の塩類化による収量の低下は経済的な損失も大きく、灌漑農地を約 3.1 億 ha、その内、約 20%（約 0.6 億 ha）において塩類化が生じていると想定した場合、273 億ドルの経済損失が生じると試算されている（Qadir *et al.* 2014）。乾燥地域の灌漑農業で生じている典型的な土壌塩類化の要因は、①塩水による灌漑、②排水不良による塩分の残

留、③地下水位の上昇に伴う塩分の毛管上昇である。これらによって地表面に集積した塩分を定期的にリーチング等で除去しなければ、塩類化がどんどん進行していくこととなる（Devkota *et al.* 2015）。これまで、土壌の塩類化に対し、世界中で様々な対策が講じられており、大きく、塩類化を抑制する予防策と集積した塩分を取り除く除塩策に分類できる。予防策は、節水、排水機能の確保（明渠・暗渠・ポンプ排水などの整備）、マルチングなどがある。除塩策はリーチング、ソーダ質土壌への石膏散布、Dehydration 法などがある（井上 2012）。

4. 国際農研（JIRCAS）の取り組み

上述したとおり、灌漑農業での土壌の塩類化は過剰灌漑や排水不良が主な要因であるため、節水と排水改良が有効な対策となる。しかし、点滴灌漑、スプリンクラー、排水路や暗渠網の整備には、多大な初期投資や維持管理費が必要となるため、農家による導入が困難である。したがって、塩類化土壌を適切かつ持続的に管理していくには、農家が営農活動の一環として取り組める安価で容易、かつ、強靱な塩類化対策を構築していく必要がある。そこで、国際農研は安価で容易な技術とすることを念頭に、2008 年から「日本で開発された営農排水改良技術カットシリーズによる除塩」と「畝間灌漑の改良による節水」について、ウズベキスタン共和国（以下、ウズベキスタン）とインド共和国（以下、インド）の塩類化地域を対象に検証を重ねてきた。ウズベキスタンは、1960 年代（ソ連時代）の大規模灌漑開発によって飛躍的に収量が向上したが、その後、過剰灌漑や排水不良に伴う土壌の塩類化に苦しんでいる。一方、イン

ドは、「緑の革命」によって1970年代に食料自給を達成したが、灌漑水源である地下水が塩水化しており、塩水灌漑による土壌の塩類化に苦しんでいる。次項より、国際農研が現地での研究活動を通じて得た知見を報告する。

5. カットシリーズ

カットシリーズとは、水田を高度利用するための排水改良技術として日本で開発されたトラクターのアタッチメントである。本機をトラクターに装着して牽引・走行するだけで、迅速かつ低コストで圃場の排水性を改良できる。また、特別な維持管理を必要としないことから、開発途上地域での持続的な排水改良技術として有望である。ウズベキスタンでは冬場を実施されるリーチングによる除塩効果が向上する排水対策への要望が強かったこと

から、無材で暗渠孔が構築できる穿孔暗渠機「カットドレーン」を適用した。一方、インドでは、収穫後の作物残渣を焼却することによる大気汚染が深刻化していることから、作物残渣を有効活用できる有材補助暗渠機「カットソイラー」を適用した。なお、カットドレーンは粘性土に適した工法であるが、カットソイラーは全ての土性に適用できる工法である。

1) 穿孔暗渠機「カットドレーン」

カットドレーンは、従来の心土破碎や弾丸暗渠よりも深い70cm程度までの任意の深さに、ブロック状に切断した縦長の土塊を持ち上げて隙間を作り、その隙間に10cm角の土塊を横移動させ、溝の直下横に10cm角の通水空洞を作る斬新な工法である（北川ら2020）（図4）。

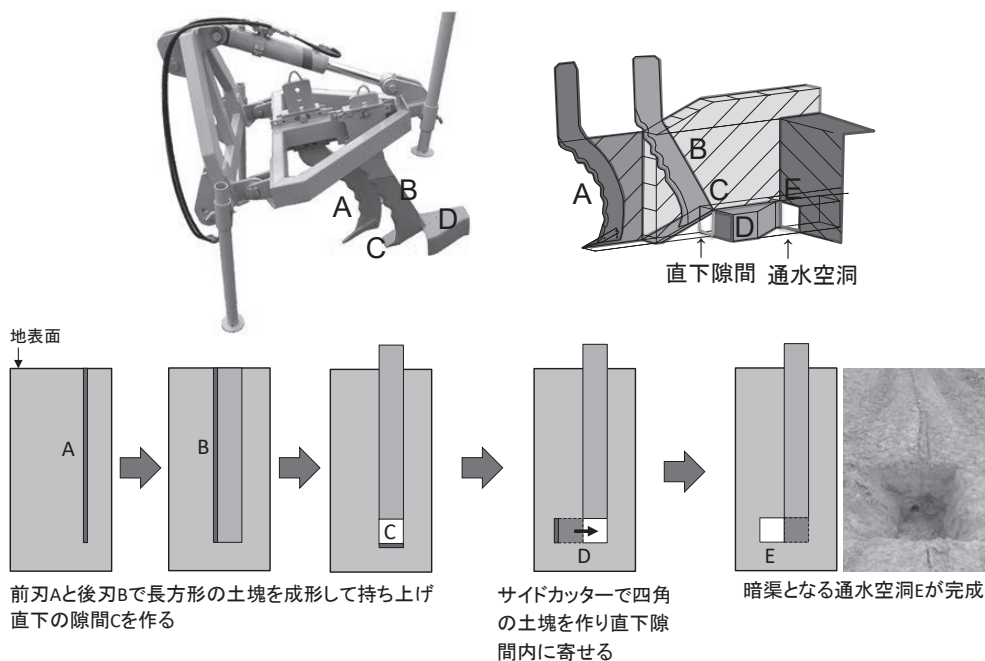


図4 カットドレーンによる暗渠造成法

出所：株式会社北海コーキ「カットドレーンカタログ」（2021）を基に筆者作成

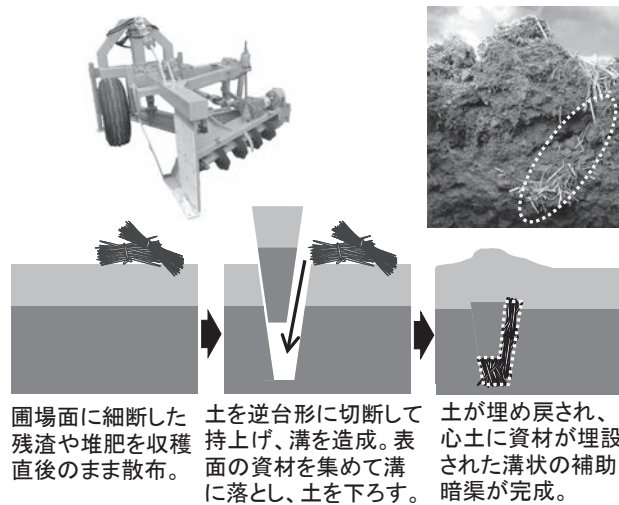


図5 カットソイラーによる暗渠造成法

出所：株式会社北海コーキ「カットソイラーカタログ」(2017)を基に筆者作成

ウズベキスタンの塩類化地域において、ワタ・コムギの栽培圃場に2015～2016年にかけてカットドレーンを5.0m間隔で施工した。カットドレーンにて圃場内に暗渠網を整備することによって、塩分が溶出したリーチング水を多く捕捉し、確実に圃場外に排水させることが期待できる。施工後、冬場のリーチング時に圃場に流入した塩分量が約 3 t ha^{-1} であったことに対し、カットドレーンの排水口から流出した塩分量は約 17 t ha^{-1} となり、約 14 t ha^{-1} の塩分を圃場から排出することができた (Okuda *et al.* 2020)。この除塩効果により、2017年のワタ収量が約20%の向上した (Okuda *et al.* 2018)。本工法は粘性土に適しており、それ以外の土性では、通水空洞が早期に崩壊する恐れがある。試験圃場の土性は壤土であったが、施工後の圃場状態から推察すると、その排水改良効果は概ね2年程度であったものと思われる。したがって、排水機能を維持するには、カットドレーンの排水口からの排水量が減少してきた際に、再

度、カットドレーンを施工する必要がある。

2) 有材補助暗渠機「カットソイラー」

従来の有材補助暗渠では、事前に土中に埋設する疎水材を準備し、施工時に人力や機械で施工機に積込む必要があった。しかし、カットソイラーでは、それらの作業が不要で、圃場面に散在しているイネ・ムギ藁などの収穫残渣をトラクターによる牽引・走行にて土中に埋設し、暗渠孔を構築する独自の工法である (北川ら 2020)。カットソイラーは、土を逆台形状に切断して持ち上げて深さ40～60cmまでに隙間をつくり、その隙間に地表面の残渣を120cmの幅で掻き寄せ、落とし込むことで暗渠孔を造成する (図5)。

灌漑農業に伴う土壌の塩類化が顕著な、インドのハリアナ州に設定した試験圃場において、2018年5月にカットソイラーを2.5、5.0、7.5、10.0m間隔で施工し、施工直後と施工から約3年が経過した2021年4月の土壌塩分 (EC_e) を測定した。その結果、 EC_e は施工

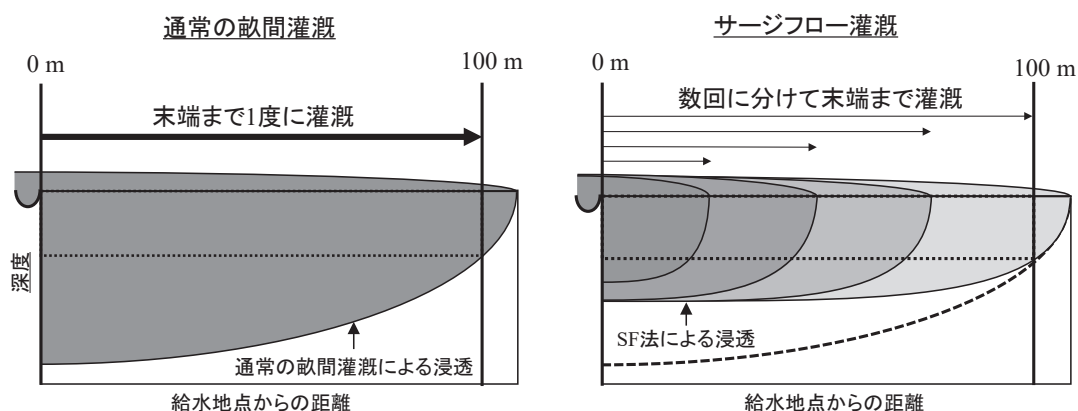


図6 サージフロー灌漑法（SF法）の概念

出所：筆者作成

間隔 2.5m で 52.4% 減少し、最も大きな効果が得られた。また、2018 年と 2020 年の雨季作（トウジンビエ、6～9 月）の収量は、どちらの年も施工間隔 2.5m の収量が最大となり、2020 年の収量は、2018 年と比べ約 102% 向上した。インドはウズベキスタンと異なり、定期的なリーチングを行っていないが、カットソイラーによる暗渠網を整備することにより、雨季（6～9 月）の降雨時に圃場内の塩分が圃場外に排出されたものと推察される。また、乾季（10～3 月）に、上層土壌への塩分集積が生じたとしても、圃場から塩分が除去されていることから、土壌塩分は施工前の水準にまでは戻らないものと考えられる。

6. 畝間灌漑の改良による節水

乾燥・半乾燥地の開発途上地域では、広く畝間灌漑が行われている。しかし、灌漑管理が粗放であるため、過剰灌漑の傾向があり、その結果、多大な塩分流入と地下水位の上昇が生じている。この状況を改善するには、畝間灌漑をベースに、多大な費用と労力を要しない節水手法を構築していく必要がある。こ

こでは、これまで国際農研が検討してきた畝間灌漑をベースとした節水手法を報告する。

1) 簡易サージフロー灌漑法

畝間灌漑などの地表灌漑をベースとした節水手法のひとつにサージフロー灌漑法がある（以下、SF 法）。SF 法は、灌漑水が湿潤土壌よりも乾燥土壌において速く浸透するという原理を基に、断続的な給水によって、畝間における根圏以深への浸透を抑制する手法である（図6）。

これは、畝間灌漑の欠点である「灌漑水の前進速度が遅い」、「表面水の過剰な流亡」の改善を図るため、1979 年に Stringham と Keller が SF 法を提案した（Walker 1989）。SF 法は比較的、安価で容易な手法であるものの、圃場内に給水管や切り替えバルブを設置する必要があり、依然として、農家による導入のハードルが高い。このことから、SF 法の利点を活かしつつも極めて簡素化し、通常 4 回程度に分けて給水する SF 法を、1 日間隔で 2 回の給水に減らす、簡易 SF 法を考案した（大西ら 2017）（図7）。

この簡易 SF 法をウズベキスタンのワタ圃

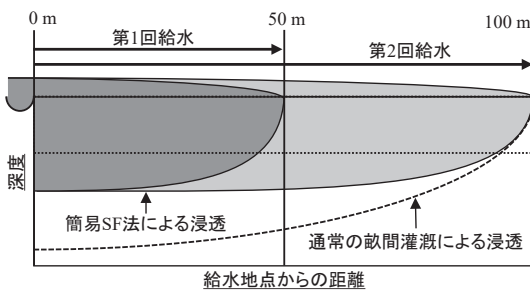


図7 簡易サージフロー灌漑法（簡易 SF 法）の概念

出所：筆者作成

場に 2011～2012 年と 2017 年にかけて適用した結果を表5に示す。

極めて簡素化した簡易 SF 法であっても、標準的な給水速度 0.45Ls^{-1} および 1.70Ls^{-1} であれば、事前通水（第1回給水）によって、畝間における浸透性の低下と平滑化が生じ、畝間 100m への通水において約 11～19%、畝間 50m への通水において約 22% 節水することができた。一方、畝間への給水速度が 5.00Ls^{-1} と多量の場合、事前通水（第1回給水）の段階であっても、灌漑水の前進に勢いがあり、短時間で畝間末端に到達したことから、節水には至らなかった。インドの試験圃場では、畝間 30m に簡易 SF 法を適用したが、

流入量が 2.9Ls^{-1} と多く、灌漑水の前進速度に減衰が生じなかったため、節水には至らなかった。しかし、畝間における鉛直方向への浸透量は、事前通水によって約 87% も減少したことから、第2回給水時には、鉛直方向よりも横方向への浸透が増加し、より多くの水分が畝に供給されたものと思われる。以上から、簡易 SF 法を適用して節水を図るには、畝間への流入量、畝間勾配、灌漑水の減勢状況を考慮し、最適な畝間長を設定する必要がある。

2) 隔畝間灌漑法

畝間灌漑での節水法として、もうひとつ、隔畝間灌漑（Skip Furrow Irrigation : SFI）法について報告する。SFI 法は畝間ひとつおきに給水することで給水量を削減する手法である（図8）。

SFI 法の利点は、通常の畝間灌漑と比べ、表層土壌の湿潤域が大幅に減少するため、蒸発散量の低減と下方浸透を抑制する効果が期待できる。また、水資源が限られた地域では、通常の畝間灌漑よりも広い範囲への給水が可能となる。さらに、表層土壌に乾燥域が残る

表5 簡易サージフロー灌漑法（簡易 SF）による節水

流入量 (Ls^{-1})	勾配	畝間長 (m)	灌漑 処理	灌漑時間 (s)	給水量 (m^3)	節水率 ^{*)} (%)
0.45	1/800	100	慣行法	6,768	3.05	－
			簡易 SF	6,026	2.71	11
1.70	1/1000	100	慣行法	3,289	5.59	－
			簡易 SF	2,667	4.53	19
		50	慣行法	1,299	2.21	－
			簡易 SF	1,014	1.72	22
5.00	1/1000	100	慣行法	1,148	5.74	－
			簡易 SF	1,392	6.96	－21

*) 同一畝間長において SFI にて節減した給水量の割合

出所：試験結果より筆者作成

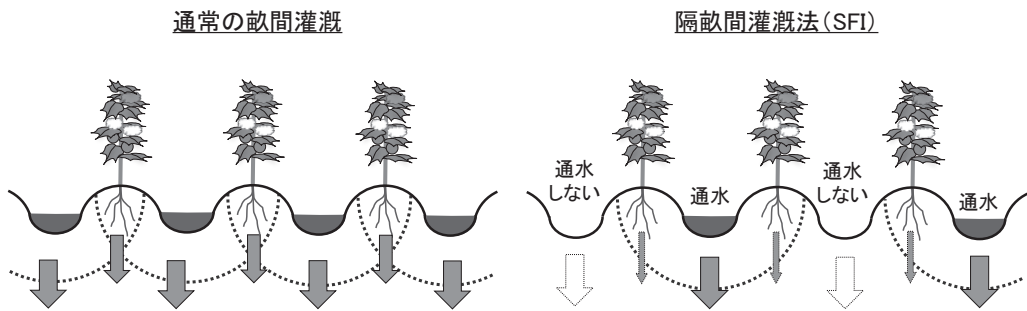


図8 隔畝間灌漑法 (SFI) の概念

出所：筆者作成

表6 隔畝間灌漑法 (SFI) による節水

勾配	年	畝間長 (m)	灌漑 処理	灌漑時間 (s)	給水量 (m ³)	節水率 ^{*)} (%)
1/1000	2014	50	慣行法	2,900	20.4	—
			SFI	2,200	9.6	53
	2015	50	慣行法	2,480	16.3	—
			SFI	1,740	9.3	43

*) 同一畝間長において SFI にて節減した給水量の割合
出所：試験結果より筆者作成

ため、灌漑直後に降雨があっても、その乾燥域が降雨で供給される水分を保持することができる。この SFI 法をウズベキスタンのワタ圃場に 2014～15 年にかけて適用した結果を表6に示す。そもそも、現地の圃場では過剰灌漑の傾向があったこと、冬場のリーチングで供給された水分が下層土壌に蓄えられていたことなどから、大幅な減収を伴わずに約 40～50% 節水することができた。SFI 法は確実な節水手法であるが、数年間にわたる SFI 法の適用やリーチング時の不十分な水分補填などによって、圃場内に保持された水分が不十分である場合、減収が生じる恐れがある。このため、SFI 法の継続的な適用には、生育状況に応じた補助的な灌漑が必要となる可能性がある。

簡易 SF 法および SFI 法は畝間灌漑をベースとした、比較的、容易な節水手法ではある

が、通常の灌漑と比べ、畝間の開閉や給水の制御といった追加作業が生じ、少なからず農家負担が増加する。このため、少しでも導入を容易にするには、図9に示すサイフォンホースによる給水が推奨される。しかし、サイフォンホースの導入には、用水路が圃場面よりも高い位置にあることが条件となる。このため、簡易 SF 法および SFI 法の導入には、圃場条件についても慎重に精査する必要がある。

7. 今後の展望

トラクター走行のみで容易に暗渠網が整備できる「カットシリーズ」は、開発途上地域での持続的な排水改良技術として有望である。現在、インドでは地中土壌のソーダ質化 (Sub-surface sodicity) が深刻化しており、その対策が急務となっている。カットソイ

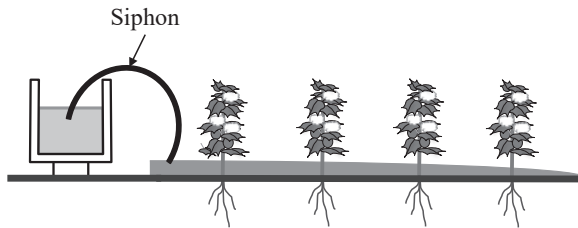


図9 サイフォンホースによる給水管理

出所：筆者作成

ラーは、深さ 40～60cm への資材投入が可能
なことから、ソーダ質土壌の改良剤として使
用される石膏を地中に投入する有効な技術に
なり得る。しかし、現行のカットソイラーは
サイズが大きく、ややコストも高いため、開
発途上地域での幅広い普及には、小型化とコ
ストダウンを図る必要がある。

簡易 SF 法および SFI は、新たな施設を整
備する必要がなく、わずかな労力で容易に適
用できることから、開発途上地域の農家が節
水の第一歩として取り組める有望な手法であ
る。一方で、今後、さらなる節水を実現して
いくには、畝間灌漑の改良から、さらに一歩
踏み出し、地中灌漑や循環灌漑の活用を検討
する必要がある。このような一歩進んだ節水
技術と「カットシリーズ」による排水改良を
一体的に施工することができれば、より、安
価で容易、かつ強靱な灌漑排水技術となり、
乾燥・半乾燥地域の灌漑農地、特に開発途上
地域での安定的な農業生産に貢献できるもの
と考えられる。

おわりに

本稿で報告した、ウズベキスタンでの成果
は「技術マニュアル」(https://www.jircas.go.jp/ja/publication/manual_guideline_60)、
インドでの成果は「カットソイラーユーザ
ーズガイド」(https://www.jircas.go.jp/ja/publication/manual_guideline/jircas-2022-001) にとりまとめた。深刻化する砂漠
化に対処し、乾燥地域での持続的な農業生産
を実現していくには、当事者である農家の果
たす役割が大きい。農家による持続的な対策
が検討される中で、国際農研の活動が一助と
なれば幸いである。

引用・参考文献

- Alexandratos, N. and Bruinsma, J. (2012) :
World agriculture towards 2030/2050, the
2012 Revision, ESA Working Paper No. 12-
03, FAO, Rome : 1-147.
Devkota, M., Martius, C., Gupta R.K.,

- Devkota, K.P., McDonald, A. J., and Lamers, J. P. A (2015) : Managing soil salinity with permanent bed planting in irrigated production systems in Central Asia. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 202 : 90-97, DOI : <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.12.006>
- Farifteha, J., Farshada, A., and Georgeb, R.J. (2006) : Assessing salt-affected soils using remote sensing, solute modelling, and geophysics, *Geoderma*, 130 : 191-206, DOI : <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2005.02.003>
- Food and Agriculture Organization of United Nations (FAO) (2021). Global map of salt-affected soils. <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/cb7247en> (アクセス日 : 2025 年 9 月 29 日).
- Food and Agriculture Organization of United Nations (FAO) (2024). Global status of salt-affected soils Main report. DOI : <https://doi.org/10.4060/cd3044en>
- 藤山英保 (2019) : 持続可能な乾燥地農業のために, - 土壌塩類化防止と塩類土壌修復 -, 博報堂出版 : 27-68.
- 八丁信正, 筒井暉 (1998) : 乾燥地域における塩害とその対策. *農業土木学会誌*, 第 66 巻第 8 号 : 801-805.
- Industry & Investment NSW (State of New South Wales through Department of Industry and Investment) (2009) : Irrigation salinity, causes and impacts, Primefact 937 : 1-4.
- 井上光弘 (2012) : 塩類化の現状と除塩技術. *地盤工学会誌* 60 (1) : 12-15.
- Joint Research Centre of European Commission (JRCEC) (2018) : World Atlas of Desertification, Third Edition, Rethinking land degradation and sustainable land management : 1-248.
- 川島博之 (2008) : 水資源と世界の食料生産. 財団法人日本水土総合研究所. ARDEC. http://www.jiic.or.jp/files/04public/02ardec/ardec38/key_notel.htm (アクセス日 : 2025 年 9 月 29 日).
- Kenneth, K. T., and Neeltje, C. K. (2002) : Agricultural drainage water management in arid and semi-arid areas, *Irrigation and drainage paper No. 61*, FAO, Rome : 183.
- 北川巖, 奥田幸夫, 大森圭祐, 大西純也, 中川進平 (2020) : 営農排水改良技術「カットシリーズ」の海外展開への取組み. *水との知* 88 (12) : 27-30. 農業農村工学会.
- 北村義信 (2016) : 乾燥地の水をめぐる知識とノウハウ, 食料・農業・環境を守る水利用・水管理学. 博報堂出版 : 1-19, 171-187.
- Leticia, S. S., Uttam, S., and David, E. K. (2015) : Soil Salinity, Testing Data Interpretation and Recommendations, UGA Cooperative Extension Circular 1019 : 1-6.
- Martin, C. R., Glover-Cutter, K., James, C., and Baldwin Dombrowski E. J (2012) : Identification and characterization of a salt stress-inducible zinc finger protein from *Festuca arundinacea*, *BMC Research Notes* 2012, DOI : <https://doi.org/10.1186/1756-0500-5-66>
- Metternicht, G.I., and Zinck, J.A. (2003) : Remote sensing of soil salinity, potentials

- and constraints, *Remote Sensing of Environment* 85 : 1-20.
- Millennium Ecosystem Assessment (MA) (2005) : Chapter 22 Dryland Systems, *Ecosystems and Human Well-being, Current State and Trends* : 623-662.
- 日本沙漠学会(2009) : 沙漠の事典. 丸善出版 : 1-10.
- 農業農村工学会 (2003) : 農業土木標準用語事典. 農業農村工学会 : 62.
- Okuda, Y., Onishi, J., Shirokova, I, Y., Kitagawa, I., Kitamura, Y., Fujimaki, H. (2020) : Water and Salt Balance in Agricultural Lands under Leaching with Shallow Subsurface Drainage Used in Combination with Cut-Drains, *Water* 2020, 12, 3207.
- Okuda, Y., Onishi, J., Shirokova, I, Y., Kitagawa, I., Kitamura, Y., Fujimaki, H. (2018) : Salt removal technology by shallow subsurface drainage in combination with a cut-drain, *Journal of Arid Land Studies*, 28 (S) : 127-130.
- 大西純也, 池浦弘, 山中勇, 北村義信, 藤巻晴行 (2017) : 乾燥地の灌漑農地における簡易 Surge Flow 灌漑法による節水効果－ウズベキスタン共和国での適用事例－. *沙漠研究*, 27-3 : 91-101. 日本沙漠学会.
- Qadir, M., Quill  rou, E., Nangia, V., Murtaza, G., Singh, M., Thomas, R.J., Drechsel, P., and Noble, A. D. (2014) : Economics of salt-induced land degradation and restoration, *Natural Resources Forum*, 38 : 282-295. DOI : <https://doi.org/10.1111/1477-8947.12054>
- Siebert, S. and Döll P. (2010) : Quantifying blue and green virtual water contents in global crop production as well as potential production losses without irrigation, *Journal of Hydrology*, 384 : 198-217.
- Squires, V.R. and Glenn, E.P. (2009) : *Salination Desertification and Soil Erosion, The Role of Food Agriculture Forestry and Fisheries in Human Nutrition Vol. 3, EOLSS* : 102-123.
- 恒川篤史 (2014) : 乾燥地を救う知恵と技術 砂漠化・土地劣化・干ばつ問題への対処法. 丸善出版 : 8-27.
- UNEP (2006) : *Global Deserts Outlook*.
- United States Department of Agriculture (USDA) (1998) : *Soil Quality Resource Concerns, Salinization, USDA Natural Resources Conservation Service* : 1-2.
- Wada, Y. and Bierkens, M. F. P. (2014) : Sustainability of global water use : past reconstruction and future projections, *Environmental Research Letters* 9 : 1-17.
- Walker, W.R (1989) : *Guidelines for designing and evaluating surface irrigation systems, FAO Irrigation and drainage paper*, 45.
- (国際農林水産業研究センター
農村開発領域 主任研究員／
プロジェクトリーダー)



ゲノミクス解析を通したマダガスカルの イネの改良に向けて

植田 佳明

はじめに

近年の目覚ましい技術発展により、農学の研究手法は大きく変化してきた。特に、ゲノム情報を活用して作物の遺伝子の機能解明や育種の加速化などを進める「ゲノミクス」は2000年代以降急激に発展した農学の研究分野の一つである。モデル植物であるシロイヌナズナ (*Arabidopsis thaliana*) のゲノムが2000年に解読された (AGI 2000) のを皮切りに、イネ (*Oryza sativa*) ゲノムが2005年に (IRGSP 2005)、ダイズ (*Glycine max*) ゲノムが2010年に (Schmutz *et al.* 2010)、コムギ (*Triticum aestivum*) ゲノムが2018年に解読される (IWGSC 2018) など、主要作物のゲノムが次々に解読されてきた。作物の中で最も複雑なゲノムを持つとされるサトウキビ (*Saccharum spp.*) においても、最近ゲノムが解読され (Healey *et al.* 2024)、世界の主要作物のほとんどでゲノム情報が取得されたと言える。文献データベースであるPubMedで、“Agriculture”というワードを含む論文のうち、遺伝子 (“Gene”) もしくはゲノミクス (“Genomics”) という言葉を含む論文は年々その割合を増しており (図1)、農業における遺伝子・ゲノミクスの重要性が増しつつあることが窺える。本稿では、作物

におけるゲノミクス解析の現状を紹介するとともに、筆者らが研究対象とするマダガスカル共和国 (以下、マダガスカル) のイネにおけるゲノミクス解析の実践および人材育成について紹介し、国際農林業協力におけるゲノミクス解析の応用可能性と将来性について考えたい。

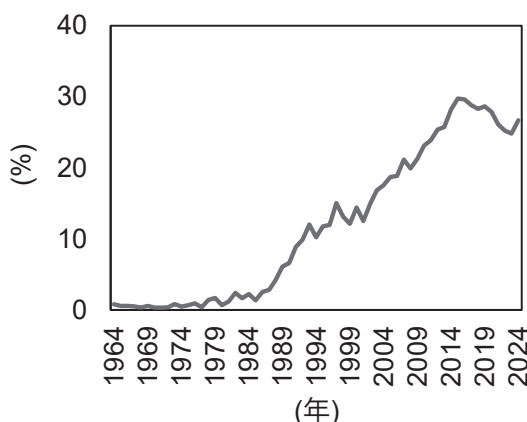


図1 農学研究におけるゲノミクス分野の重要性
論文検索サイトであるPubMed (アクセス日2025年6月24日) において、“Agriculture”という語句を含む論文における、“Genomics”もしくは“Gene”という語句の出現割合を、1964～2024年の各年において計算し、筆者が作図した。

1. 農林業研究におけるゲノミクス解析

1) ゲノミクスとは

ゲノミクスとは、遺伝子やゲノムについて研究する分野と定義される。言い換えると、ある生物の持つ遺伝情報の取得、遺伝子の機能の解析、およびゲノム情報を活用した研究

全般を指すと言える。ゲノムの解読には、遺伝情報の伝達を担う A、T、G、C の 4 つの塩基から構成される DNA の配列を解析する必要がある。1970 年代に登場し、現在も使われているサンガー法では、ラジオアイソトープや蛍光色素と電気泳動を組み合わせた手法により DNA 配列情報が取得される。ヒトやシロイヌナズナなど、初期のゲノム解析においてはこの手法が活用されていたものの、この手法で得られる情報量には限りがあった。しかし 2005 年以降、DNA 配列取得能力の飛躍的に向上した「次世代シーケンス」と呼ばれる技術を活用した機器が実用的に使われるようになり、DNA の配列情報を取得するのに必要なコストは急激に減少した(図 2)。参考までに、ヒトの全ゲノムを取得するのに必要なコストは、2000 年にはおよそ 1 億ドルであったのに対し、2006 年では 1200 万ドル、2016 年には 1500 ドルにまで減少した。現在では 600 ドル以下であると試算されており、今世紀に入ってから、この分野が急激に発展したことが窺える。

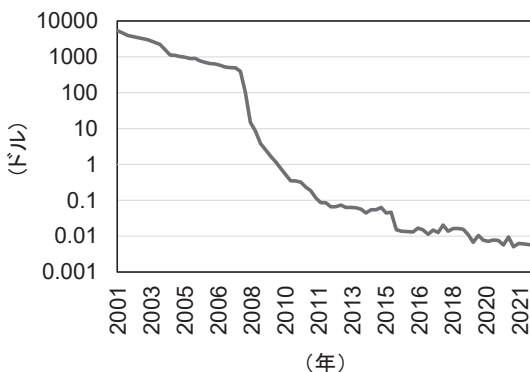


図 2 DNA 配列の取得にかかるコストの推移
100 万塩基対の DNA 配列を解読するのに必要なコストの試算。データは National Human Genome Research Institute ウェブサイトより取得し(アクセス日 2025 年 6 月 25 日)、筆者が作図した。

2) 農林業研究におけるゲノミクスの貢献

DNA の配列解析技術の向上、およびそのコストの減少は農林業研究において何を意味するであろうか。1 つ目の意義は、研究対象とする作物のゲノム配列を容易に取得できるようになったという点である。これまで多くの場合、ゲノム配列の解析は少数の基準系統に限定されていたが、その解析コストの低下によって、各国や地域のローカル作物品種におけるゲノム情報が比較的容易に取得可能になっている。イネにおいては 2018 年に、世界各地から集められた 3000 品種のゲノム情報が取得されており(Wang *et al.* 2018)、データベース上で幅広く公開されている。個々人のゲノム配列に基づいて、特定の病気への予防的処置や副作用の少ない薬剤の選択などを行うテーラーメイド医療のように、ローカル作物品種のゲノム情報の取得により、いわばテーラーメイド育種が可能になると考えられる。これは、実際に植物が発現する形質を指標にする古典的な選抜育種と対照的に、植物のゲノム構成を合理的にデザインすることにより望ましい形質を狙って発現させる、という手法である。このような手法は、特に複数の形質を同時に改良する場合に育種を加速化できることが示唆されている(Zeng *et al.* 2017)。

ゲノミクス関連技術の向上が農林業研究においてもたらす 2 つ目の意義は、多検体の解析が可能になったという点である。生物の形質は多くの場合、DNA を鋳型にした mRNA の発現、そして mRNA の情報を利用したタンパク質の合成を伴って発現する。mRNA の種類および量は多くの場合、温度や土壤栄養などの環境要因によって大きく変化し、植物の形質に影響することから、その定量的把

握は植物の状態を理解するのに重要である。RNA シーケンスと呼ばれるゲノミクス解析は、ある条件において植物細胞が持つ mRNA の種類と量を網羅的に推定する実験手法である。ゲノミクス解析技術の向上とコストの低下によって、多数のサンプルにおける遺伝子発現を RNA シーケンスにより網羅的に調べることが可能になり、様々な環境ストレス耐性メカニズムの解明が行われてきた。

2. マダガスカルのイネの改良に向けたゲノミクス解析の実践

本項では、筆者らがマダガスカルのイネを対象として実践するゲノミクス解析の詳細について、最近の研究成果を交えつつ解説する。

1) “インフィルトレーション法”を用いた開発途上地域での作物の遺伝子発現解析

mRNA の発現は、植物の状態を把握するのに重要な指標であり、環境ストレス応答やその耐性メカニズムを探る重要な要因となることは上述のとおりである。しかし、その解析には技術的なハードルが存在するのも事実である。大きな問題は、遺伝子発現解析に使用される mRNA が不安定であり、一般的にはその解析に超低温条件が必要とされることである。しかし、開発途上地域では多くの場合、超低温槽などの高額な機器や、ドライアイスや液体窒素などの凍結剤が入手困難である。そのため、開発途上地域で特異的に発生する環境ストレスについては、その耐性メカニズムに関する研究が停滞している。

筆者は、この現状を打開すべく、超低温槽や凍結剤を利用せずに、開発途上地域の圃場で取得された植物サンプルの遺伝子発現解析を実施するための手法を検討した。RNA を

分解する RNA 分解酵素は、高濃度の硫酸アンモニウム塩の存在下でその活性が低下することが知られており、動物細胞においてはその有効性が示されている (Lader 2001)。この原理に基づいて、生物サンプル中の RNA を安定に保つ核酸安定化試薬が各メーカーから販売されているが、これらの試薬の植物組織への最適な適用手法についてはこれまで体系的な研究がなされておらず、植物サンプルを核酸安定化試薬に単に浸漬する方法がこれまで用いられていた。筆者は、研究対象地であるマダガスカルの主要作物であるイネを用いて、この核酸安定化試薬の最適な処理条件を検討した。日本国内におけるイネの葉身を用いた実験で、①液体窒素で凍結したサンプル、②核酸安定化溶液に浸漬したサンプル、そして、③シリンジを用いた加圧と減圧により細胞間隙に核酸安定化溶液を浸透させ (図 3A)、その後、 -20°C で 5 日間保存したサンプル (③-1)、または、 4°C で 5 日間保存したサンプル (③-2) を用いて、RNA シーケンスを行うことにより、遺伝子発現全体の傾向を解析した。その結果、②の条件と比較して、③-2 の条件の方が、①の凍結サンプルの遺伝子発現傾向と類似度が高く、凍結剤を用いない遺伝子発現解析の手法としてより適切であることが示唆された (図 3B)。このようにして、加圧と減圧の反復により核酸安定化溶液を細胞間隙に浸透させ、凍結剤を使用せずに葉サンプル中の RNA を安定に保つ、“インフィルトレーション法”を確立した。

筆者はこの手法を応用し、マダガスカル北西部に位置する Majunga (マジュンガ) の農家圃場において、植物の生育度の異なる 4 つの圃場からイネの葉サンプルを取得し、インフィルトレーション法を応用して遺伝子発

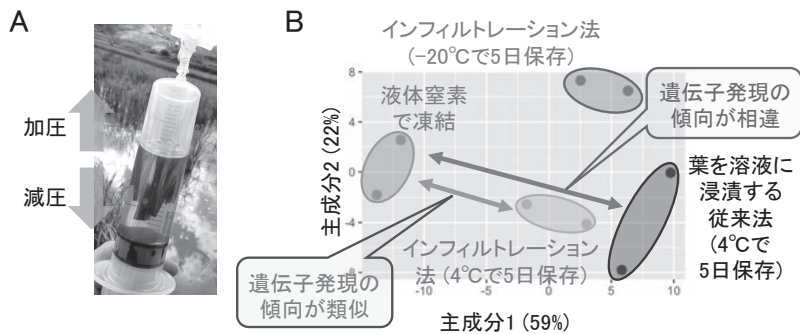


図3 凍結剤を必要としない遺伝子発現解析に向けたインフィルトレーション法の確立

(A) インフィルトレーション法の概要。界面活性剤で洗浄した葉を核酸安定化溶液とともにシリンジに入れ、加圧と減圧を繰り返し細胞間隙に溶液を浸透させる。(B) 異なる条件で保存したサンプルを用いてRNA シーケンスによる網羅的な遺伝子発現解析を行い、得られた発現データをもとに主成分分析を行った。それぞれのドットが各サンプルを表す。ドットが近くにプロットされている場合に遺伝子発現の傾向が類似していると解釈される。

出所：筆者作成

現解析を行った。その結果、葉の黄化症状や分げつの抑制の見られる圃場では、鉄欠乏応答性遺伝子 (*YSL2*) およびリン欠乏応答性遺伝子 (*SPX1*, *MGD3*) の発現が他の圃場に比べてそれぞれ顕著に高く、これらの栄養の欠乏が生育不良の原因であることが示唆された (図4)。このようにインフィルトレーション法を応用することで、圃場の植物の栄養診断が可能になり、生育改善のヒントが得られることが示唆された (Ueda 2024)。

このようにして取得されたRNA サンプルを用いて、より複雑な処理を必要とするRNA シーケンスなどのゲノミクス解析を実施するためには、解析基盤の整った先進国にサンプルを安定に輸送する必要がある。抽出後のRNA の輸送法についても検討を行った結果、抽出後のRNA 溶液を冷蔵条件で輸送した場合、顕著な分解が発生するのに対し、RNA 抽出に一般的に使用される二酸化ケイ素膜にRNA を結合させ、水を含まない状態

で輸送すると、顕著なRNA の分解が発生しないことが明らかとなった。このように、インフィルトレーション法と二酸化ケイ素膜を活用して取得・輸送したRNA は、RNA シーケンスなどのゲノミクス解析に十分な品質であることも確かめており、開発途上地域の植物サンプルを用いたゲノミクス解析を実施するための技術的基盤が整ったと言える。筆者らは現在、インフィルトレーション法と二酸化ケイ素膜を活用したRNA 解析技術を応用し、主に開発途上地域の水田で発生する、鉄過剰ストレスの耐性メカニズムの解明に取り組んでいる。インフィルトレーション法を応用し、耐性レベルの対照的なイネ系統の比較解析を進めることで、マダガスカル鉄過剰ストレス圃場で有効な耐性メカニズムの同定につながることを期待される。

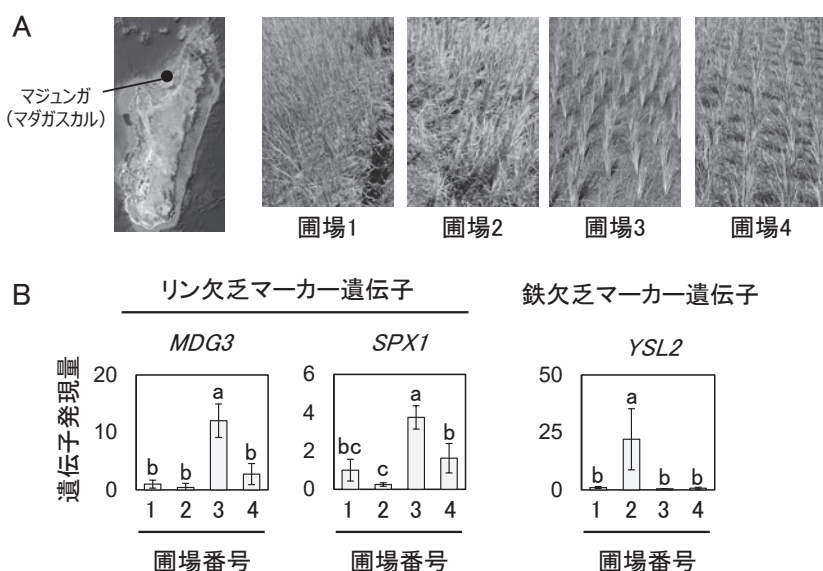


図4 インフィルトレーション法を用いたマダガスカルの農家圃場における遺伝子発現解析

(A) マジュンガ (マダガスカル) 位置図および調査地の農家圃場と各圃場における植物の生育の様子。圃場2では葉の黄化が、圃場3では分げつの抑制が見られる。(B) 各圃場における栄養応答性遺伝子の発現。いずれの遺伝子も、リン (*MGD3*, *SPX1*) もしくは鉄 (*YSL2*) の欠乏により発現が上昇する。3 ~ 4 サンプルの平均値と標準偏差を示す。異なるアルファベットは値が有意に異なることを示す。

出所：筆者作成

2) 全ゲノムシーケンスによるマダガスカルのイネ品種の多型解析

これまで、世界各地のイネ品種のゲノム配列の解析により、栽培イネの持つ遺伝的多様性が明らかにされてきた。ゲノム解析が行われたイネ品種は既に 3000 を超えるが、国際イネ研究所 (IRRI) のジーンバンク¹に保存されているイネ系統の数が 13 万を超えることから窺えるように、世界の大部分の品種、特に、特定の地域で栽培されている品種についてはこれまでのゲノム解析の対象となっていない場合が多く、その情報の拡充が求められている。

¹ <https://www.irri.org/international-rice-genebank> (アクセス日 2025 年 6 月 24 日)

イネはマダガスカルの主要作物であり、これまでマダガスカルの政府機関やアフリカ稲センターなどの研究機関が育種を進めてきた。しかし、マダガスカルをはじめとするサブサハラアフリカで頻発する、リンや窒素などの土壤栄養欠乏への耐性や、種子中のミネラル含量にはまだ改善の余地があるほか、気候変動や生産体系の変化に対応するため、さらなる育種が求められている。筆者らは、育種基盤を整えるため、マダガスカルで育てられている主要水稻品種である X265 (別名 Mailaka) および FOFIFA160、また、主要陸稲品種のひとつである NERICA-4 について、全ゲノムシーケンスを行った。解読したゲノム情報を活用し、育種に活用可能な

DNA マーカーを開発した。交配集団の遺伝子型と形質の調査の結果、有用形質を持つ供与系統である Liu He Xi He の、*qHD7.1* 遺伝子座と *qLFT5* 遺伝子座が、X265 背景において、マダガスカル の圃場における早期出穂と収量性の向上に有効であることが示された (Pariasca-Tanaka *et al.* 2025)。

一般的にゲノム配列情報は複雑であり、その活用には専門的知識を必要とするが、取得されたデータをデータベース (European Variation Archive)² 上で公開することによ

り、マダガスカル現地の研究者・育種家がゲノム情報にアクセスしやすい環境を整備した(図5)。この他にも現在、マダガスカルの水稲品種 Tsipala や、マダガスカルの鉄過剰圃場で耐性を発揮するインドネシア由来の系統 KA-28 などのゲノム解析も進めている。このような解析を通して、生理学的・農学的形質の解析のみでは明らかにならなかった、様々な作物品種の発揮する形質を支える要因が明らかになるとともに、ゲノムデザインを通じた形質改良へのヒントが得られることが期待される。

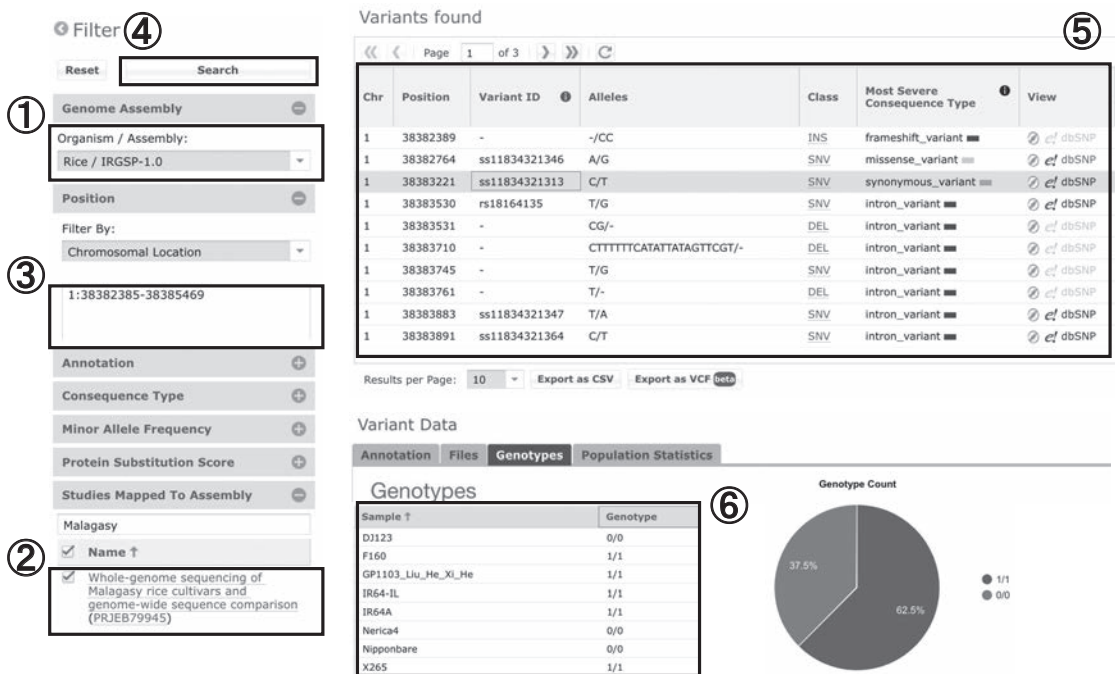


図5 マダガスカルの主要イネ品種のゲノム配列のデータベース上での公開

取得したゲノム配列を公開した European Variation Archive データベース。植物種を指定 (①) したのち、データ源を指定 (②) する。そして、ゲノム上の注目する領域を指定 (③) したのち、Search ボタンを押す (④) と、指定した領域中のどの部分においてどのような DNA の配列の多様性が見られるか (⑤)、およびどの品種がどの配列を持つか (⑥) に関する情報が、複雑なコマンドを使用することなく取得される。

出所：筆者作成

² <https://www.ebi.ac.uk/eva/> (公開日 2024 年 9 月 19 日)

おわりに

ゲノミクス解析は今後ますます低価格化かつ大規模化し、開発途上地域を含め、農学研究におけるその重要性が増すと考えられる。これまで主に施設の整った先進国で行われることの多かったこのようなゲノミクス解析が開発途上地域で実施可能になることは何を意味するであろうか。まずは、開発途上地域でのみ見られる、ユニークなサンプルの解析が可能になる点が挙げられる。前述の鉄過剰ストレスの例のように、開発途上地域で特異的に発生するストレスや病気などに対する耐性メカニズムの解明にゲノミクス解析が有用であると考えられる。また、ゲノミクス解析の特徴として、多くの場合、一度データを取得すればその解析においてほとんどコストが発生しないことが挙げられる。前述の 3000 品種のイネのゲノムのように、ゲノミクスデータは既に公開されている場合もあり、独自にデータを取得することなく、既存データを用いてメタ解析を実施することも可能である。このように、開発途上地域の植物を対象としたゲノミクス解析は、実験基盤が整っていない開発途上地域の研究者でも最先端の研究が行える分野であり、今後現地で発展させていくべき研究分野の一つであるかもしれない。現在のボトルネックは、そのような解析を進める人材の不足であると考えられる。筆者は、上述の遺伝子発現解析およびゲノム解析を、マダガスカル現地の学生および研究員と共同で進めており、技術移転を図りつつある（写真）。既に、次世代シーケンス解析を受託する Inqaba Biotech などのアフリカの企業も存在しており、今後アフリカなどの開発途上地域におけるゲノミクス解析はますます進展

することが予想される。農学研究の手法が転換期を迎えるなか、海外の遺伝資源や現地圃場の植物のゲノミクス解析を進めるとともに、現地のゲノミクス解析人材の育成にあたることで、この分野における国際協力を推進し、さらなる作物の改良と基盤的知見の拡充が図られることを期待したい。

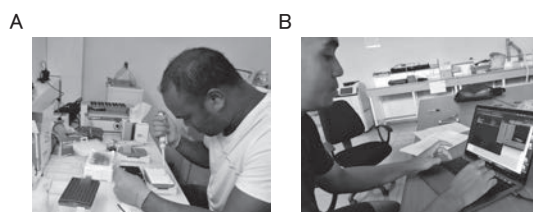


写真 マダガスカルの現地スタッフへのゲノミクスおよび遺伝子解析技術の移転の様子
(A) 遺伝子発現解析の指導の様子。(B) ゲノム配列解析の指導の様子。

出所：筆者撮影

引用文献

- Arabidopsis Genome Initiative (AGI). (2000). Analysis of the genome sequence of the flowering plant *Arabidopsis thaliana*. Nature, 408 : 796–815.
- Healey, A.L., Garsmeur, O., Lovell, J.T., Shengquiang, S., Sreedasyam, A., Jenkins, J., Plott, C.B., Piperidis, N., Pompidor, N., Llaca, V., Metcalfe, C.J., Doležel, J., Čápal, P., Carlson, J.W., Hoarau, Y., Hervouet, C., Zini, C., Dievart, A., Lipzen, A., Williams, M., Boston, L.B., Webber, J., Keymanesh, K., Tejomurthula, S., Rajasekar, S., Suchecki, R., Furtado, A., May, G., Parakkal, P., Simmons, B.A., Barry, K., Henry, R.J., Grimwood, J., Aitken, K.S., and Schmutz, J., D'Hont, A. 2024. The complex polyploid genome architecture of sugarcane. Nature, 628 : 804–810.

- International Rice Genome Sequencing Project (IRGSP), and Sasaki, T. (2005). The map-based sequence of the rice genome. *Nature*, 436 : 793–800.
- International Wheat Genome Sequencing Consortium (IWGSC), *et al.* (2018). Shifting the limits in wheat research and breeding using a fully annotated reference genome. *Science*, 361 : eaar7191.
- Lader, E.S. (2001). Methods and reagents for preserving RNA in cell and tissue samples. US Patent, 6,204,375 B1.
- Pariasca-Tanaka, J., Ueda, Y., Kondo, K., Prodhon, M.A., Rajonandrina, T., Ranaivo, H.N., Rakotondramanana, M.F., Saito, H., Lam, D.T., and Wissuwa, M. (2025). Genome-wide sequence comparison and development of InDel and SNP markers to facilitate localized rice breeding. *Current Plant Biology*, 42 : 100469.
- Schmutz, J., Cannon, S.B., Schlueter, J., Ma, J., Mitros, T., Nelson, W., Hyten, D.L., Song, Q., Thelen, J.J., Cheng, J., Xu, D., Hellsten, U., May, G.D., Yu, Y., Sakurai, T., Umezawa, T., Bhattacharyya, M.K., Sandhu, D., Valliyodan, B., Lindquist, E., Peto, M., Grant, D., Shu, S., Goodstein, D., Barry, K., Futrell-Griggs, M., Abernathy, B., Du, J., Tian, Z., Zhu, L., Gill, N., Joshi, T., Libault, M., Sethuraman, A., Zhang, X.-C., Shinozaki, K., Nguyen, H.T., Wing, R.A., Cregan, P., Specht, J., Grimwood, J., Rokhsar, D., Stacey, G., Shoemaker, R.C., and Jackson, S.A. (2010). Genome sequence of the palaeopolyploid soybean. *Nature*, 463 : 178–183.
- Ueda, Y. (2024). Development of an infiltration-based RNA preservation method for cryogen-free storage of leaves for gene expression analyses in field-grown plants. *Plant Methods*, 20 : 187.
- Wang, W., Mauleon, R., Hu, Z., Chebotarov, D., Tai, S., Wu, Z., Li, M., Zheng, T., Fuentes, R.R., Zhang, F., Mansueto, L., Copetti, D., Sanciangco, M., Palis, K.C., Xu, J., Sun, C., Fu, B., Zhang, H., Gao, Y., Zhao, X., Shen, F., Cui, X., Yu, H., Li, Z., Chen, M., Detras, J., Zhou, Y., Zhang, X., Zhao, Y., Kudrna, D., Wang, C., Li, R., Jia, B., Lu, J., He, X., Dong, Z., Xu, J., Li, Y., Wang, M., Shi, J., Li, J., Zhang, D., Lee, S., Hu, W., Poliakov, A., Dubchak, I., Ulat, V.J., Borja, F.N., Mendoza, J.R., Ali, J., Li, J., Gao, Q., Niu, Y., Yue, Z., Naredo, M.E.B., Taleg, J., Wang, X., Li, J., Fang, X., Yin, Y., Glaszmann, J.-C., Zhang, J., Li, J., Hamilton, R.S., Wing, R.A., Ruan, J., Zhang, G., Wei, C., Alexandrov, N., McNally, K.L., Li, Z., and Leung, H. (2018). Genomic variation in 3,010 diverse accessions of Asian cultivated rice. *Nature*, 557 : 43–49.
- Zeng, D., Tian, Z., Rao, Y., Dong, G., Yang, Y., Huang, L., Leng, Y., Xu, J., Sun, C., Zhang, G., Hu, J., Zhu, L., Gao, Z., Hu, X., Guo, L., Xiong, G., Wang, Y., Li, J., and Qian, Q. (2017). Rational design of high-yield and superior-quality rice. *Nature Plants*, 3 : 17031.

(国際農林水産業研究センター
生産環境・畜産領域 主任研究員)



ラオスにおける土壌病害の現状、 特にキャベツ根こぶ病事例について

新田 直人

はじめに

独立行政法人国際協力機構（JICA）は、ラオス人民民主共和国（以後、ラオス）において「フードバリューチェーン（FVC）強化プロジェクト」(2022年4月～2025年4月)を実施した。その目的は、ラオス国内外のニーズに合致した生産・流通・加工・販売からなるFVCの強化のためのマスタープラン作成を支援することにより、農業の商業化を促進することであった。

プロジェクトでは、調査の効率化のために調査対象地域と調査対象品目を選定し、品目ごとの現状、課題、ならびに課題解決のための対策案を立案するためのパイロットプロジェクトを立ち上げた。調査対象地域には、首都ビエンチャン、チャンパサック県およびセコン県が選定された（図1）。

筆者は生産・加工の担当としてプロジェクトに参画し、首都ビエンチャンでは小ネギを、チャンパサック県ではキャベツを、そしてセコン県ではバナナならびにドリアンを担当した。そのうち、小ネギ、キャベツ、バナナの畑を訪問すると、いずれも土壌病害が発生しており、特にキャベツでは根こぶ病による被害が深刻だった。ここでは、キャベツ根こぶ



図1 調査対象地域の位置
出所：JICA（2025）を元に筆者作成

病を中心に、バナナ、小ネギそしてジャガイモの土壌病害の事例を生産技術的な観点から報告する。

1. キャベツ根こぶ病

1) 同病との遭遇

チャンパサック県はラオス南部の中心的な県であり、同県と隣接するセコン県に跨る標高約1300mのボロベン高原では冷涼多雨の気象条件を利用してキャベツ栽培が盛んである。同県で初めてキャベツ畑を訪問したのは

NITTA Naoto : Current Status of Soil-borne Diseases in Lao PDR, with Special Reference to the Case of Cabbage Clubroot Disease.

2022年6月29日のことだった。調査対象品目を選定することを目的として、ボロベン高原にあるパクソン郡の生産現場の視察に訪れた。丘陵地帯のおよそ50aの広大な畑に結球し始めたキャベツが広がっていた。

しかし、近寄ると、キャベツの大きさが揃いで、下葉がやや萎凋した個体があった。目を転じると、多くのキャベツが激しく萎凋している所もあった(写真1)。引き抜くと根は著しく変形しており(写真2)、土壤伝染性病害であることは確かであった。圃場全体を達観して発病率をおよそ60%と推定した。プロジェクトカウンターパート機関の1つである農林省(MAF)植物検疫所(PPC)へ病害診断を依頼したところ、後日キャベツ根こぶ病であると判明した。

このとき、農家が、これは何か?と私に尋ねた。私は土壤病害であることを伝えた。そして、傍にいた郡農業普及員に、対策として輪作を指導しているのか?と尋ねたが、彼は何も答えなかった。農家も普及員もこれが不可思議で恐ろしいこと以外には何も知らなかったのである。

2) キャベツ根こぶ病の病原

キャベツ根こぶ病の病原はアブラナ科植物を宿主とする根こぶ病菌(*Plasmodiophora brassicae*)であり、原生動物界ネコブカビ門ネコブカビ綱に属する原生動物に分類されている(松元ら2017)。この病菌に罹病した植物は根が異常に肥大するために養水分の吸収が阻害され、生育が遅延し、時には枯死する。発病により農業生産においては著しい減収となるだけでなく、腐敗したこぶから大量の休眠孢子が土壤中に放出され、休眠孢子の濃度を高め、より発病しやすい状態となる。



写真1 病害発生圃場の様子
(2023年6月29日、Kongtoun村 Paksong 郡 Champasak 県にて筆者撮影)



写真2 病害発生圃場で見られた罹病個体の根
(2023年6月29日、Kongtoun村 Paksong 郡 Champasak 県にて筆者撮影)

また休眠孢子は20年以上土壤中で生存するため一旦発病すると防除が困難である。そのため野菜栽培では病害の発生を抑制することが困難な場合はアブラナ科以外の作目への変更などが行われることも珍しくない。

3) ボロベン高原でのキャベツ根こぶ病の被害状況

その後も生産現場の視察やパイロットプロジェクトに協力してくれる農家の探索のため

にキャベツ農家を訪問する機会があった。訪問時の聞き取り調査結果を表1に示す。チャンパサック県10農家とセコン県3農家が含まれている。全ての農家の圃場で根こぶ病症状があり、発病株率が60%を超えると栽培

を放棄する農家が現れていた。また、ある農家によれば4～5年前から症状が現れているという。さらに、セコン県 Thong Set 村では村全体がキャベツ栽培を放棄したとも聞いた。これらの情報を総合すると、この病害が

表1 アブラナ科栽培農家への根こぶ病に関する聞き取り調査*結果

番号	農地の所在	面積	作物	発病株率**	農家の報告	専門家の観察
1	Houayxan 村 Paksong 郡 Champasak 県	1 ha	キャベツ (コーヒー若木との混植)	10%	根が塊になって枯死。	大きさが不揃い
2	Kongtoun 村 Paksong 郡 Champasak 県	0.5ha	キャベツ	60%	根が塊になって枯死。	発病株率が不均一
3	Lakkhao 村 Thateng 郡 Sekong 県	1 ha	キャベツ	70%	—	激しい病徴
4	Lakkhao 村 Thateng 郡 Sekong 県	1 ha	キャベツ	—	根が腐敗。	—
5	Houayset 村 Pakson 郡 Champasak 県	1 ha	キャベツ	30%	栽培を年3作、10年間続けている。	—
6	Kongtoun 村 Pakson 郡 Champasak 県	—	ハクサイ	100%	—	全個体が発病
7	Kongtoun 村 Paksong 郡 Champasak 県	—	キャベツ	20% (2022年時)	—	—
8	Houayset 村 Pakson 郡 Champasak 県	1.2ha	キャベツ	60-70% (2022年時)	2023年に栽培を放棄した。	—
9	Houayset 村 Pakson 郡 Champasak 県	1.2ha	キャベツ	60-70% (2022年時)	2023年に栽培を放棄した。	—
10	Houayset 村 Pakson 郡 Champasak 県	2-3 ha	キャベツ	40%	—	—
11	Houayset 村 Pakson 郡 Champasak 県	1.5ha	キャベツ	50%	—	—
12	Lakkhao 村 Thateng 郡 Sekong 県	1 ha	キャベツ	80% (2022年時)	2023年に栽培を放棄した。	—
13	Kongtoun 村 Paksong 郡 Champasak 県	—	キャベツ	30% (2022年時)	—	—

* : 調査は2022年6月～2024年5月に行った。

** : 専門家または農家による遠観調査。

出所：JICA（2025）を元に筆者作成

2017年頃からボロベン高原に急速に蔓延し、栽培を放棄する農家もあることが分かった。ボロベン高原のキャベツ産地が崩壊の危機を迎えていると危惧された。

4) 一般的な対策

キャベツ根こぶ病対策として、以下に掲げる手法が一般的である。

- ① 土壌 pH の適正化：根こぶ病は酸性土壌で繁殖する。石灰を用いて土壌 pH を 6.5 以上に上げることで、病害の重症度を軽減できる。
- ② 排水の適正化：病原菌は湿潤な環境を好むため、高畝などの方法を用いて土壌の排水性を改善することで、病原菌を抑制できる。
- ③ 輪作：アブラナ科作物の連作を避けて、アブラナ科以外を組み合わせた輪作を行う。
- ④ 抵抗性品種：根こぶ病に耐性のあるキャベツ品種を植える。
- ⑤ 病原体汚染土の移動阻止：根こぶ病感染

地域で使用した全ての機器、道具、履物は、他の場所に移動する前に徹底的に洗浄する、または、持ち出さない。

- ⑥ 殺菌剤：日本ではキャベツの育苗用、本畑用に数種類が登録されている。
- ⑦ 太陽熱土壌消毒：夏季に畝表面を透明ビニルフィルムで 1 ヶ月程度被覆することにより、深さ 20cm 程度の作土層の地温を太陽熱によって毎日 40℃ 以上に上げる。土壌中の病原菌、センチュウ、土壌昆虫、雑草種子を死滅させる。
- ⑧ おとり作物：アブラナ科の根こぶ病菌に感染はするものの、こぶを形成せずに土壌中の病原菌を減らす効果のある植物のことで、葉ダイコンやエンバクなどがある。
- ⑨ 生物的防除：トリコデルマ属菌や枯草菌などの有益な微生物を圃場に導入することで、病原菌の抑制に役立つ。

ところが、ラオスでは様々な制約から、対策は限定的である（表 2）。

表 2 キャベツ根こぶ病に対する一般的な対策とラオスでその導入・実施を阻む要因

技術	ラオスで技術の導入・実施を阻む要因
① 土壌 pH の適正化	土壌 pH 測定委託先が少ない。 中和するための石灰が高価。
② 排水の適正化	排水路確保や高畝の必要性が知られていない。
③ 輪作	キャベツ農家には連作で高収入を得た過去の記憶があり、発想の転換が困難。 アブラナ科以外で販路確保が容易な作物が知られていない。
④ 抵抗性品種の導入	抵抗性品種が流通していない。
⑤ 病原体汚染土の移動阻止	必要性がほとんど認識されていない。 具体的対策（農機具洗浄設備の設置、来客用長靴の用意、履物の消毒など）が知られていない。
⑥ 殺菌剤	ラオスでは未登録
⑦ 太陽熱土壌消毒	普及していない。
⑧ おとり作物	普及していない。
⑨ 微生物的防除	普及していない。

出所：JICA（2025）を元に筆者作成

表3 キャベツ根こぶ病対策栽培試験における各種処理法

処理	具体的な手法
石灰施用	土壌 pH を測定し、深さ 20cm の表土が pH6.5 となる石灰量を算出して施用した。
抵抗性品種	タキイ種苗株式会社の協力を得て、同社育成の抵抗性品種 CR900 の種子を試験用としてラオスへ輸入し、実験に供試した。
微生物施用	PPC が、彼らの仕様書に従って、枯草菌の培養液ならびにトリコデルマ菌の培養液の混合物を作製し、施用した。
太陽熱土壌消毒法	現地慣行法による施肥・畝立ての後透明ビニールシートで畝を被覆し、22 日間処理した。

出所：JICA（2025）を元に筆者作成

5) 対策の検討

これら対策手法の中から、普及する可能性が比較的高いと思われる基本的技術として、石灰施用、抵抗性品種、微生物施用、ならびに太陽熱土壌消毒法を選定し、それらの効果を圃場実験で検討した。各々の処理法を表3に示す。

その結果、いずれの処理によっても発病株

率が対照区の 37% を下回り（表4）、有効であることが示された。また、実験の都合上、輪作は試験しなかったが、それが有効であることは議論の余地がない。

本病害のような難防除土壌伝染性病害の場合、総合防除、つまり様々な対策の組合せが重要である。普及に当たっては、農家が取り組むことのできる複数の対策を選択して組み合わせるよう指導することが求められる。

以上の点を踏まえて、プロジェクトでは技術マニュアルを作成した。

6) キャベツ根こぶ病対策に関連する他の活動

タキイ種苗株式会社が供給するキャベツの根こぶ耐病性品種は、その後 OUDOM AGRICULTURAL TECHNIQUES CO., Ltd によって販売名「BCR DEFENDER」として品種登録された。

太陽熱土壌消毒法はラオスにおいてもすぐに実施できる技術である。ベトナムの JICA プロジェクト「北部地域における安全作物バリューチェーン強化プロジェクト」（2022 年

表4 キャベツ根こぶ病対策検討のための栽培試験結果

処理	移植株数 (a)	収穫時の 発病株**数 (b)	発病率 (b/a × 100%)	収穫された 健全株数	収穫された 株総重量 (kg)
対照	144	53	37	45	40.9
石灰施用	144	36	25	74	60.0
石灰施用 + 抵抗性品種*	144	29	20	28*	17.0*
石灰 + 微生物施用	144	24	17	84	79.0
石灰施用 + 太陽熱土壌消毒法	144	19	13	96	102.5

*：タキイ種苗の抵抗性品種。晩生品種であるが、実験の都合上、中生品種の収穫期に収穫したため株数、重量ともに低い。

**：収穫時に根こぶの有無によって判定した。

出所：JICA（2025）を元に筆者作成

5月～2026年5月)では、筆者の指導下で、太陽熱土壌消毒法マニュアルがベトナム語で作成された。本マニュアルのラオス語への翻訳とラオスでの利用を、カウンターパートであり、また、このマニュアルの版權を有するベトナム国農業農村開発省国家農業改良普及センターに要請したところ、快諾が得られた。その後、ラオス語へ翻訳され、ラオスのプロジェクトで共有された。

バイオコントロール普及のためには、簡単に安価な微生物の培養方法を確立する必要がある。すでにPPCがラオス語で培養法・施用法のマニュアルを作成しており、今後が期待される。

2. その他の土壌病害

1) バナナのパナマ病

セコン県では調査対象作物としてバナナが選択された。他県への移出や将来の輸出を視野に入れた判断であった。

セコン県のあるバナナ圃場を訪問すると、所々に葉枯れが目立つ個体があった(写真3)。

PPCに調査を依頼したところ、土壌伝染性の植物病原糸状菌である *Fusarium oxysporum f.sp. cubense* レース1が検出された。このフザリウム病は一般にパナマ病と言われる。調査のため面談した3農家のうち2農家は、9割もの株が罹病してすでにバナナ栽培を放棄していた。何らかの対策を打たなければ、生産地が崩壊する可能性さえ懸念された。

パナマ病は、バナナ生産における最大の障害である。1950年代に発生したレース1による被害は、抵抗性品種Cavendishを用いることで回避されてきたが、1990年代にはこのCavendishを犯すレース4が発生し、2000年代には病原性がさらに強いレースTR4が出現した。主に栽培されているバナナがCavendish品種のみであることも災いし、世界規模で被害が拡大している。ラオスでもその被害が各地で報告されている(Chittarath *et al.* 2022)。

パナマ病の完全な防除法は未だ確立しておらず、汚染された植物体・土壌の除去や、その移動の阻止が最も有効であるとされている



写真3 バナナの枯れた葉（左）と果実（右）
(2022年11月10日、セコン県にて筆者撮影)

表5 バナナ・パナマ病発症試験*

処理	輪作** + 微生物施用***	輪作**	微生物施用***	無処理
移植苗数	36	36	36	36
発病苗数	0	0	3	1
発症率 (%)	0	0	8	3

* : 2024 年 5 月上旬に組織培養苗を移植した。以後、毎月発症経過を観察。このデータは 2024 年 9 月現在。

** : 輪作は石灰施用を含み、工程は、石灰施用→ラッカセイ栽培→石灰施用→トウモロコシ栽培→石灰施用。

*** : PPC が、独自の仕様書に従って、枯草菌の培養液ならびにトリコデルマ菌の培養液の混合物を作製し、施用した。

出所：JICA（2025）を元に筆者作成

る。PPC もその考え方に沿って次の処理を推奨している。

- 病原菌に感染していない健全なバナナ苗を使用する、または組織培養苗を使用すること。
- 感染した圃場から別の圃場へ苗や土壌を移動させたりしないこと。
- バナナ栽培で使用する機械、靴、衣類、生産設備は、消毒剤またはハイター系漂白剤（3%）で洗浄すること。
- トリコデルマ属菌などの有益な微生物を利用すること（微生物施用）。
- 輪作または混作を行うこと。

そこで、プロジェクトでは栽培試験を行って、発症遅延もしくは病状の軽減に寄与する処理法を検討した。輪作区、微生物施用区、輪作+微生物施用区ならびに無処理（対照）区を設けた。

2024 年 9 月現在の結果を表 5 に示す。輪作区ならびに輪作+微生物施用区では罹病株が現れていないことから発病が遅延していると期待される。しかし、バナナの栽培期間は約 15 年と長いため、引き続き経過観察が必要である。

2) 小ネギ軟腐病

小ネギはラオスの伝統的な野菜の 1 つである（写真 4）。鱗茎を移植すると、急速に生育して 1 ヶ月程度で収穫できる。しかし、雨季の栽培は乾季作に比較して難しいとされている。筆者は 2012 年から 3 年間ラオス・サバナケート県で農業指導を行ったが、農家も普及員も小ネギ雨季栽培の問題点を明確に説明できた者はいなかった。

首都ビエンチャンでは、小ネギの雨季生産量が減少しており、移入・輸入されている現状を改善したいとの要請を受けて、小ネギの雨季栽培の問題点を明らかにすることを目的



写真 4 ラオス小ネギ。ラオスでの英名は spring onion
(2019 年 8 月 23 日、サワナケート県にて筆者撮影)



写真5 発病後枯死したために多数の欠株を出した小ネギ畝（左）と罹病小ネギの根（右）
（2023年8月9日、首都ビエンチャン Hadsayfong 郡の小ネギ圃場にて筆者撮影）

としてパイロットプロジェクトが開始された。その結果、主たる原因が細菌（エルビニア）性軟腐病であることが明らかとなった（写真5）。土壌病害である。

本病原菌は畑に常在しており、多くの野菜を宿主とし、その根の周りで増殖して、宿主の感受性が高まると、傷口、気孔、水孔などから侵入して組織の中で増殖して軟化腐敗させ、悪臭を放つ。

パイロットプロジェクトでは屋根掛け栽培を試みたところ、病害発生率は低下したものの、屋根掛けハウスがシロアリや強風による被害を受けた。そのため、適切な農薬使用がもっとも実用的な対策であると思われた。

3) ジャガイモ青枯れ病

2023年5月30日にチャンパサック県のキャベツ畑視察のために向かう途中で、広さ数アールのジャガイモ畑を通りかかったところ、全個体の下葉が激しく枯れあがっており、生長点付近の僅かな葉のみが緑色であった（写真6）。その場にいたPPC研究員が茎を切断して水に漬けたところ菌泥を確認し、



写真6 頂芽付近の僅かな葉を残して葉が枯れあがったジャガイモ株
（2023年5月30日、チャンパサック県にて筆者撮影）

ジャガイモ青枯れ病であると診断した。これは *Ralstonia solanacearum* という細菌による難防除土壌伝染性病害である。

ちなみに、ジャガイモは新しい塊茎（イモ）が地表付近に形成されるため、土寄せして遮光し塊茎の緑化を防止するが、この畑では土寄せされていない。筆者は土寄せしないジャガイモ栽培をチャンパサック県内の他所でも確認したことがある。ジャガイモ栽培が比較的近年に導入された作物であって、基本的な

栽培法が知られていない可能性がある。

3. 病害虫診断ソフトの導入

キャベツ根こぶ病はチャンパサック県およびセコン県に跨るボロベン高原で確認された。バナナ・パナマ病はセコン県で確認されたが、Chittarath *et al.* (2022) によればラオス各地で確認されている。小ネギ軟腐病は首都ビエンチャンで確認されたが、筆者の経験によれば、サワナケート県の小ネギ農家も雨季栽培が困難であると証言していたことから、ラオス各地で問題になっていると考えられる。ジャガイモ青枯れ病もチャンパサック県で確認された。これらはいずれも難防除土壌伝染性病害である。

ラオスでは、土壌伝染性病害に限らず、多くの病虫害が農家や普及員に正しく理解されていない。そのため、病虫害が発生しても普及員や農家は診断ができず、対策の検討も難しい。診断こそが病虫害管理の効率化に向けての第一歩である。

そこで、プロジェクトでは、日本農薬株式会社と連携して、同社 AI 病害虫診断アプリ「AcroSeeker™」のラオス語版「AcroSeeker™」を作成し、2024 年 10 月にリリースした。本アプリでは、葉に現れた病斑や虫をスマートフォンのカメラで撮影すると、AI が瞬時に診断し、病虫害名とその生態や対処法を表示する。2025 年 7 月現在の対象作物はキャベツ、イネ、そしてトマトである。このラオス語版アプリの開発では、PPC が中心的役割を担った。

おわりに

ラオスの土壌病害に関する 4 つの事例を概観した。病害ごとに対策は様々であるが、共

通する基本的な予防策は輪作である。ところが、これが容易でない。

キャベツを例にとると、農家は年 3～4 回のキャベツ栽培を 10～20 年続けているという。ある普及員によると、キャベツ農家は集荷業者と契約しているため連作せざるを得ないという。また、輪作が許される状況であるとしても、農家が輪作体系に合致する新たな作物を選定し、その栽培法を習得し、販路を確保・拡大し、最終的にキャベツ畑と同じ栽培面積にまで拡大することは容易でない。

この問題の解決には、生産者、加工者、国内・国外流通業者、販売業者、消費者から構成される FVC 関係者の理解と協力が必要と思われる。その関係者が、国内消費動向や輸出動向を勘案しながら、地域の栽培条件に合致する作物候補を挙げ、販売先候補と繋ぐのである。プロジェクトでは、この関係者の集いとして産官学連携プラットフォームを立ち上げた。プロジェクトは今年春に終了したが、このプラットフォームが自発的に継続されることを祈るばかりである。

参考文献

Chittarath, K., Nguyen, C. H., Bailey, W. C., Zheng, S., Mostert, D., Viljoen, A., Tazuba, A. F., Ocimati, W., Kearsley, E., Chi, T. Y., Tho, N. T., Hung, N. T., Dita, M., Shah, T., Karanja, M., Mahuku, G., and Blomme, G. (2022): Geographical Distribution and Genetic Diversity of the Banana Fusarium Wilt Fungus in Laos and Vietnam. *J. of Fungi*, 8 (46). <https://doi.org/10.3390/jof8010046>

柏 毅・有江力 (2015) : バナナパナマ病の分子診断法に関する最近の話題. 植物防疫,

第 69 巻第 6 号.

独立行政法人国際協力機構 (JICA)・日本工
営株式会社 (2025): ラオス国フードバ
リチェーン強化プロジェクト ファイ
ナルレポート.

松元哲・畠山勝徳・高下新二・宮崎俊夫・近
藤友宏 (2017): 2 つの根こぶ病抵抗性遺

伝子 (Crr1, Crr2) を有するハクサイ中
晩生 F1 品種 'CR 寒次郎' の育成. 農研機
構研究報告 野菜花き研究部門, 第 1 号:
23~34.

(公益社団法人 国際農林業協働協会
技術参与)



キャベツ農家の根こぶ病克服記

田部 義美

はじめに

私がキャベツ農家になったのは今から40年前のことである。当時勤務していた広島市青少年野外活動センターを退職し、島根県奥出雲町にある妻の実家で義父の下、就農することとなった。畑は標高400mで中国山脈の山間部に位置し、土質は花崗岩が風化して出来た真砂土である。ここは農林水産省の国営開発事業で農地造成された畑で、工事費を安価で仕上げるため改良山成工法（有機質に富んだ山の表層部を谷へ埋め表層部の下部分を破碎して耕土とする）が選択された。一見すると宅地造成地のようで、耕土は深さ20cmでとても硬く、トラクターの耕運爪を年間2セット消耗するほどであった。当地域には特別大きな産業は無いが、米作地帯で仁多米こしひかりや、日本刀の素材となる玉鋼の生産は有名である。そしてこの度「たたら製鉄を再適用した奥出雲地域の持続可能な水管理及び農林畜産システム」で、中国地方では初めてとなる世界農業遺産に認定された。稲作を中心とした農業界全体の発展を大いに期待するところである。

就農当時の日本の農業には活気があり、「白菜御殿」とか「キャベツ御殿」など高所得農

家が各地で続出していると噂されるほどであった。義父も当然ながら大儲けを夢見て3.5haほどのキャベツ単作に精を出していた。実際に当時の市場価格は高値で推移していて、平成5年には1日の売り上げが100万円になる日があったのは驚きであった。新しく造成した畑であったため、化学肥料をしっかりと投入すれば自然と立派なキャベツが収穫出来ていた。ところが、見事に揃って成長していたキャベツに異変が起きたのは就農7年目のころである。畑のあちらこちらでキャベツが萎れ始めた。成長が止まり、Sサイズにも届かないキャベツが目立つようになって来た。これがキャベツの根こぶ病というもので、引き抜いて見ると文字通りの姿であった（写真1）。義父は同業者に助言を求めたり、公的機関へ問い合わせもしていたが、キャベツ農家の宿命と結論づけていた。その後、次第に根こぶ病の被害は拡大し、全作付面積の3割ほどが収穫不可能となっていた。そんな状況の中、就農10年目で経営を継承することとなった。平成7年のことである。その頃の日本では、野菜価格の高騰から一転、市場価格が大暴落し始めた。バブルの崩壊、O-157による生鮮野菜への風評被害、規制緩和により地方への大型店の進出で安値合戦の開始など、最悪な状態で根こぶ病との戦いが始まった。以下、私が実践してきた取り組みを紹介させて頂くに当たり、私見が多分に含まれてい

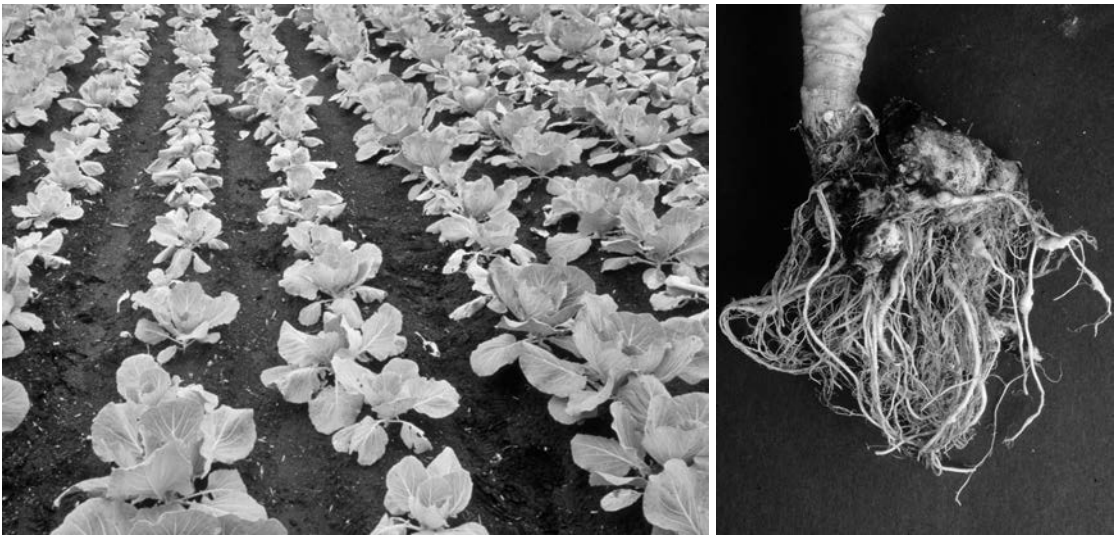


写真1 キャベツ根こぶ病の被害状況（左）と病徴（右）

写真提供：島根県農業技術センター

ることをご承知頂きたい。

1. 根こぶ病の菌密度を上げない

一生懸命管理をしても、収穫までたどり着けないキャベツを毎日見ることはとても苦痛であった。絶対にこの状況を克服するという強い意志はあったが、秘策など思い浮かぶはずも無かった。畑の作付を中断して病原菌の密度を上げない方法もあったのだが、経営の継承の中に多額な負債もあったのでそれは出来なかった。とりあえず安価で耕種的な対策を地道に継続することにした。

1) トラクターを毎回洗浄する

畑の土を他の畑へ持ち込むと根こぶ病が蔓延するのは当然である。そこで、1つの圃場で作業を終えたトラクター、管理機、長靴などはその都度水洗いし土の移動が無いよう努めた。私の農場5haの中に圃場が18区画あるため、この水洗い作業はとても大変な労力

であった。根こぶ菌は長靴底に付着して日本全国どこへでも移動すると言われている。そして土壌中では8年ほど生息可能とも。水洗いしたぐらいでは病原菌の移動を防ぐことは出来ないが、基本的なことは大切であるとの信念から、およそ8年継続したと記憶している。

2) 輪作体系

義父がキャベツ単作で根こぶ病が多発していたので、輪作は必ず取り入れるべきと考えていた。農業収益を落とさずに、もう一つの経営の柱となってくれる作物を探すためあらゆる品目を試作した結果、大根を採用することとした。根こぶ病対策として「おとり大根」の記事を目にしたことがある。「おとり大根」は根こぶ病対策専用の大根で、病原菌が根部に入り込み、トラクターで耕転後、大根の腐敗と同時に死滅するらしい。一般の大根にもその効果があることを期待して大根を栽培す

ることにした。同じ畑でキャベツの連作が無いよう、1年目はキャベツ、次の年は大根、3年目は作付を休むかキャベツへ戻るというようにローテーションを組んだ。これは今でも継続している。輪作として大根を初めて市場出荷した時の市場価格は衝撃的であった。北海道や青森産の大根が1本160円であったのに対し、私の大根は40円。期待とは裏腹にまさかの40円だった。その安値の原因は色々あったが、前述の通り畑の耕土が20cmであるため長さ不足であり、しかも硬くて礫の多い土の中で肥大しているため、大根の肌に無数の茶色の傷が付き、下部は山芋状のいびつな形状となっていた。輪作体系を確立させるためには大根の評価を高めることは必須で、新たに大根栽培の模索が始まった。

大根に対する知識も経験も乏しかったが、熟考の末に全国から集まる大根を市場で研究することを思い付いた。土曜日は市場出荷が休みとなるので、毎週金曜日には市場の駐車場で車中泊した。夜な夜な各産地の大根の箱を開け、じっくり観察しながらイメージトレーニングに没頭した。肌の白さ、ひげ根の太さや位置、大根の形状、茎の太さや色、洗った土の色など勉強の素材はたくさんあった。時には運搬しているトラックの運転手とも話し込んで、産地の情報をたくさん収集した。寒い時季には毛布を、暑い時季には着替えを助手席に乗せて、コンビニで仕入れた缶ビールとソーセージ1本が夕食となった。週末が楽しみとなり、約8年続けた。併せて、早朝から始まる競りではバイヤーとの顔合わせができて貴重な時間となった。各産地の大根をじっくり観察することにより栽培の様々なアイデアが浮かんできて色々と実践してみた。これを繰り返している内に私の大

根に対する評価も上がって行った。そしてとうとう平成28年には、1本の価格が全国最高値となった(10月2日付日本農業新聞)。10kg 8本入り1箱が税込3240円(1本405円)で、これはもちろん当農園の最高記録である。ちなみに2番目に高かったのは令和5年の10kg 8本入り1箱が税込2916円(1本364円)である。おそらくこの価格はその日の全国最高値と思われる。1本40円でスタートした大根が10倍にまで評価を伸ばすことが出来たのはエンバクの効果が多大であると思う(写真2)。

大根の前作にエンバクを栽培し、鋤き込んだ後に大根を播種している。これによりカタネグサレセンチュウの被害が軽減し有機物のおかげで土壌中の微生物のバランスが良くなったことが好影響を与えているのだろーと思われる。根こぶ病対策としての大根が経営のもう一つの柱にまで成長し、お客様からとろけるように美味しいという評価を頂くようになったので「とろけるだいこん」の商標を取得した。



写真2 大根の前作として栽培するエンバク。本年4月に播種し、6月4日に写真を撮影。旺盛に生育している。この後鋤き込んだ。

3) 排水を良くする

キャベツの根こぶ病菌は湿度の高い場所を好む。畝立てした際にキャベツの根元が過湿にならないように配慮している。キャベツ、大根は全てマルチ（キャベツは生分解性マルチ、大根はシルバーマルチ）栽培を行っているので、雨水が必要以上に畝の中へ染み込まない。畝間は除草を兼ねて管理機による土寄せを行う。こうすることによって畝間に深い溝が出来るため、余分な水は速やかに圃場外へ排水出来る。そして畝の端は一本一本鋤で再度溝を切り、水が滞留しないよう心がけている（写真3）。マルチ栽培は経費的に負担がとても大きいですが、肥料の流亡も無く、初期生育が断然良くなるので真砂土での野菜栽培ではマルチは欠かせない存在である。

4) 硬盤に配慮する

以前はトラクターで肥料散布を行っていた。施肥機と肥料はかなりの重量である。それが原因で硬盤が出来、排水不良となることを回避するために背負い式サンパーによる肥料散布に切り替えた。キャベツの根域も広が



写真3 溝切。畝の両端では溝を切って排水を促している。

り、大根の先端も美しい形状となって来た。身体への負担は大きいですが効果的と思われる。

2. 根こぶ病の菌密度を下げる

1) ライ麦栽培…前作として

キャベツの根こぶ病対策としてライ麦を栽培することは広く知られている。根こぶ菌がライ麦の根の中へ閉じ込められて死滅し、圃場内の菌密度が低下するという仕組みのようだ。当農園ではキャベツ作付予定の畑へ前年の9月に播種して、年明け後5月末に鋤込みするという前作としてのライ麦栽培を行っている。キャベツ定植1ヵ月前から70cmに成長したライ麦を4回ほど耕耘するが、定植前には土と十分馴染むのでその後の準備作業には支障は無い。

10a当りの播種量は6～8kgで前作の残肥のみでの栽培である。ライ麦出穂直後のタイミングで鋤き込んでいるが地上部重で10a当り5tとなる。当農園では全面積においてライ麦、エンバクの栽培と鋤込みを繰り返しているため、土壤改良に大きな効果が現れている。就農当初の畑の土は白色であったが、今では濃い茶褐色へと変化して来た（写真4）。土は膨潤となり保水力も格段に高まっている。以前は大雨で畑の土が流され大きな溝があちこちに出来ていたが、今ではほとんど無くなった。

2) ライ麦栽培…後作として

ライ麦はキャベツの前作として栽培するのが一般的である。キャベツの作型は色々あるが、越冬キャベツの場合、圃場での生育期間が最も長いので、根こぶ病の菌密度が増加するという懸念がある。

そこで私は越冬キャベツ収穫後の春、菌密

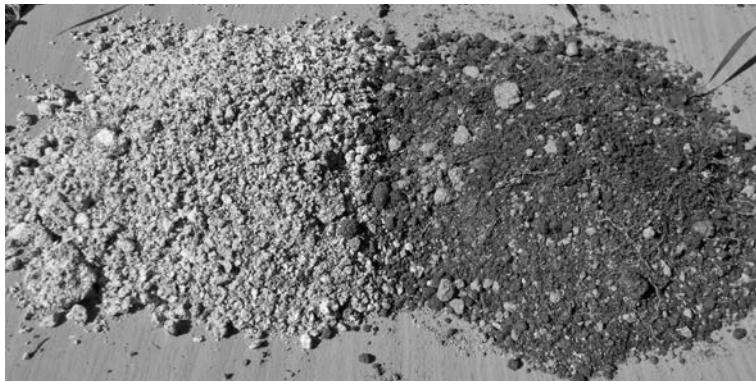


写真4 畑土壌の色の比較。畑脇の土壌（左）と畑内部の土壌（右）。畑脇の土壌は就農当時と同じく白色である。畑の土壌は濃い茶褐色である。



写真5 キャベツ後作として本年4月に播種したライ麦の生育状況。旺盛な生育である。6月4日撮影。

度を下げる目的で後作としてのライ麦を栽培している。ライ麦の播種適期は9月であるがこの場合の播種は3月～4月となる。残肥があるため9月播種と遜色無く期待通りに育つ（写真5）。ちなみに前作の無い畑へライ麦を播種すると分けつも無く地上部重は全く望めない。地中の窒素分が流亡しているためで、追肥すれば正常に育つと思われる。春播種したライ麦は夏に鋤き込み、9月にはエンバクを播種してその翌年に大根播種というロー

テーションになる。緑肥を2作した後の大根の肌は一段と美しくなり真砂土という不利な条件を克服出来る。

3. 根こぶ病菌を圃場へ持ち込まない

義父が3.5haのキャベツ栽培を開始した当時は個人の栽培面積としては県内最大であったようだ。そのため様々な団体の視察を受け入れていた。町、県、JA、企業や近隣の農家も自由に畑へ出入りし、来訪者で畑が賑わっていたことも度々であった。その頃の根こぶ病の発生は道路沿いの畑かあるいは畑へ一歩踏み入れた場所に多く見られた。やはり病菌は人が持ち込むようなので対策することとした。

1) イノシシ対策のフェンス設置

私が就農した頃は見られなかったイノシシ被害が年々増え続け、畑の畦畔を破壊したり、大根をかじったり、キャベツを踏み潰したりと看過出来ない状態となっていく。そこで畑の周囲1.5kmを高さ1.2mのフェンスで取り囲むこととした（写真6）。私有地である



写真6 田部農園圃場へ通じる道路を遮断したイノシシ除けフェンス。施錠してあるので人の出入りも遮断出来る。



写真7 元気に生育中のキャベツ。6月4日撮影。根こぶ病の被害株は見られない。

ため畑の出入口に通じる道路側も施錠が可能で、人の出入りも遮断することが出来た。イノシシ対策と同時に人を介した根こぶ病菌の持ち込みを遮断出来たことは根こぶ病克服に大きく貢献出来ていると思う。

2) 人の出入りを制限

多くの人が自由に畑へ出入りしていたが私は視察の受け入れを断ることとした。その対応に批判も多かったが畑を守るため事情を説明し理解をお願いした。町、県、JA、企業の方々にも理解と協力を要請したためその後の来訪者はほとんど無くなった。

3) 来訪者には対策を依頼

時には畑への来訪者もある。その際は必ず靴カバーをしてもらい、靴による根こぶ病の持ち込み防止に協力を頂いている。食育のイベントで大勢の子供達が収穫体験で農場へ来る場合もある。その場合はバスや車に乗り込む際に殺菌剤で靴裏消毒をしてから来訪して頂くよう要請している。



写真8 収穫された大根。6月12日撮影。大根によって輪作体系が確立できた。市場の評価を高めるため一層の努力が必要である。

おわりに

キャベツの根こぶ病が多発していた農場を受け継いでからおよそ10年で、根こぶ病による悲惨な状態のキャベツが畑から姿を消した。就農当初は5軒の農家が同じ敷地内で営農していたが、早い段階で離農し我が家1軒となったことや、畑を他者から隔離出来たことなど根こぶ病克服のための有利な条件が

揃っていたことも幸いした。根こぶ病を克服して20年が経過するが、畑で元気に成長するキャベツ達の姿はとても美しく実に心地良いものである。

根こぶ病対策として石灰を多用し土壌をほぼ中性にする方法もあるようだ。しかし、輪作として取り入れた大根は弱酸性を好むと言われていたのでその方法を試したことは無い。現在、全国に普及している方法は根こぶ病抵抗性品種と殺菌剤の組み合わせである。これによって全国のキャベツ農家は安定した出荷が可能になり、需要をしっかりと支えることが出来ている。私の畑は真砂土であり土壌中の微生物がとりわけ少ない状況で、そこへ強い殺菌剤を入れると有益な微生物がさらに減少し、病気の多発や野菜達の生育不良が心配されるため、根こぶ病の殺菌剤は使用していない。品質的に気に入っているキャベツは別にあるので、根こぶ病抵抗性品種は栽培していない。結果として、私が選択した耕種的な方法の組み合わせが根こぶ病克服に繋がっているが、別の良い結果にも繋がっている。近年、消費者が野菜に求める品質として甘さや柔らかさがある。化学合成物質を多用して育てた野菜は、①にがみ・しぶみなどの雑味が増える、②青臭さが増す、③野菜の肉質が堅くなる、④スーパーなどの陳列棚での日持ちが悪くなる…。これらは私の個人的な感覚レベルの話だが、緑肥を栽培することに

より減農薬・減化学肥料が可能になるのは明らかで、食味の良い野菜栽培には緑肥は欠かせない存在である。

長年悩まされ続けた根こぶ病ではあるが、私の農業経営を当初から支え続けてくれているキャベツに敬意を込めて「出雲の女神」という商標を取得した。根こぶ病と向き合う中で畑の土は大きく改善し、キャベツと大根という二本柱が出来た。「出雲の女神」と「とろけるだいこん」はスーパーや地元の直売所で集客力のある商品となりつつある。根こぶ病はある日突然再発するという恐さがあるが、根こぶ病対策の基本を忘れず今後もキャベツ・大根と共に生きて行く覚悟である。



筆者近影

(田部農園園主)



農家の「本音」に耳を傾けて —リベリアの水稻作プロジェクトの現場から—

竹村 光春

はじめに

本稿では、2025 年 5 月に終了したりベリア共和国（以下、リベリア）における農業セクター初の独立行政法人国際協力機構（JICA）技術協力プロジェクト「小規模農家コメ生産向上プロジェクト（2021 年 5 月～2025 年 5 月）」を通じて得られた貴重な経験を、自戒の念を込めて共有したい。

国際協力の現場では、想定外の事態に直面することが少なくない。また、業務期間中に一定の成果が得られたとしても、プロジェクト終了後にそれらの成果が持続しない例も散見される。こうした経験は、国際協力に携わる者にとって、少なからず共通するものではないだろうか。

筆者は 2000 年代半ばに青年海外協力隊に参加して以来、約 20 年にわたり農業・農村開発分野の国際協力に携わる機会を得てきた。その中でも本プロジェクトでは、これまで以上に想定外の課題に直面し、方向性の検討や事業運営に苦慮することとなった。そして最終的には、プロジェクト目標の変更を伴いながらも、何とかプロジェクトを完遂するに至った。

TAKEMURA Mitsuharu : Approaches to Gaining Insights into Farmers' Realities —Lessons Learned from the Rice Technical Cooperation Project in Liberia—

このような対応に至るまでの経緯や実情、さらには実際の活動内容を記録として残すことは、今後の関連事業の実施において有用な教訓となり得ると考える。また、報告書とは異なる媒体を通じて広く関係者と共有することにより、稲作振興に携わる読者にとって、少しでも参考になれば幸甚である。

1. プロジェクトの背景

コメを主食とするリベリアは、世界でも有数のコメ消費国の一つである（国民一人当たりの年間消費量は約 100kg に達する）。一方、過去 60 年以上にわたり、同国のコメの生産性は 1 t/ha 前後と低水準に止まっており、自給率はおよそ 3 割に過ぎない。そのため、他の多くのアフリカ諸国と同様、国内消費量の大部分を輸入に依存しているのが現状である。

こうした状況を踏まえ、国家目標であるコメ自給率の向上に資するプロジェクトの形成を目的として、2019 年に事前現地調査が実施された。さらに翌 2020 年には、生産性向上を目的とする技術協力プロジェクトがリベリア政府より要請され、それを受けて基本計画策定調査が行われた。後者の調査には筆者も参加していたが、新型コロナウイルス感染症（COVID-19）の拡大により、現地での調査は叶わず、主にオンラインによるヒアリングを通じた情報収集が中心となった。

これら事前現地調査や基本計画策定調査を通じ、リベリアにおけるコメの主食としての重要性、未成熟な栽培技術や資機材への限られたアクセスに起因する低生産性、脆弱な普及体制、輸入米に対する国産米の市場競争力の低さなどの課題が明確となった。その結果、自給率向上に向けては、生産面（面積拡大と単収向上）と市場面（コスト削減と品質向上）の両側面からの取り組みが不可欠であることが確認された。

さらに、基本計画策定調査では、形成されるプロジェクトの主要な取り組みの方向性として、以下の4点が提示された。すなわち、1）増大する需要に応えるコメ増産体制の構築、2）販売戦略の立案、3）陸稲作から水稲作への転換推進、4）栄養改善を含む持続可能な営農体系の構築、である。このうち特に、栽培技術の確立とその普及を通じて生産性向上を目指す「1）増産体制の構築」に焦点を当て、近隣のシェラレオネやガーナにおける類似プロジェクトの知見も活かしつつ、プロジェクトを実施することが妥当であると結論付けられた。なお、これらの計画立案は当然ながら、「農家が水稲作に従事していること」、あるいは「水稲の増産に意欲があること」を前提としていた。しかしながら事業開始後、こうした前提とは異なる現実が次々と明らかとなり、プロジェクト期間を通じて解を模索し続けることとなった。

2. プロジェクトが直面したリベリアにおける水稲作の実態

プロジェクトの活動は、COVID-19の影響が続く中で開始された。まず一般的な技術協力プロジェクトと同様、現地カウンターパート（農業省）職員の協力を得ながら、稲作農

家・農家グループへの聞き取り調査を中心としたベースライン調査を実施した。序盤にCOVID-19の拡大に伴う渡航停止期間を挟んだものの、調査を通じ対象地域における水稲作農家グループの基礎情報が整理され、生産性や実践されている栽培技術については、事前の想定通りであることが確認された。

しかし、並行して現地踏査を進める中で、次第にいくつかの違和感も生じ始めた。たとえば、水稲作に従事している個人農家が容易に見つからない、基本的な生産量や水環境に関する情報を農家が言い淀む、農家の説明と水田の視察結果に乖離がある、水田への道中に轍が見られない、水田内にイネの刈り株が残っていない、かつて開発された水田と思しき土地が活用されていない——といった事例がいくつも見られたのである。もっとも、調査が行われたのは水稲の栽培が本格化する前の時期であったこともあり、この時点では「農家は水稲作に従事している」という当初の前提を維持せざるを得ず、実態を十分に把握するには至らなかった。

こうした違和感が明確に表れたのは、当地の栽培技術をより詳細に把握し、導入すべき栽培技術の検討を目的として、水稲作農家グループとともに栽培試行を実施した際のことである。3つの農家グループの協力を得て進めたこの試行の初期段階では、いずれのグループも熱心に取り組んでいた。しかしその後、うち2グループが栽培途中で水稲作を放棄するという、予期せぬ事態に見舞われた。こうした栽培活動において、農家から何らかの不満が表明されることはあっても、栽培そのものを途中で放棄されるという経験を持つ関係者は、決して多くはないだろう。

プロジェクトの背景に立ち返れば、リベリ

アではコメが主食でありながら、その自給率は低水準にとどまっており、国家としてコメの増産に取り組むことは、きわめて自然な政策判断であると言える。しかしながら、実際の生産主体である農家が水稲作に積極的に取り組んでいない可能性があるとするれば、たとえ所期の目的に沿って計画通りに活動を遂行したとしても、それが持続的な成果には結びつかないのではないかと——そうした疑問や懸念が、栽培試行を通じて改めて浮かび上がってきたのである。実際、プロジェクトがその後実施した追加の実地調査によって、プロジェクト対象州の州都から半径 30km 圏内に所在する 50 の農家グループのうち、実に 86% がすでに水稲作を放棄していたことが明らかとなった。

3. 農家の本音に迫ろうとする試み

水稲作が直面する構造的課題を踏まえ、プロジェクトでは従来の前提を問い直すとともに、持続可能かつ現実的な新たな方向性を検

討するための基礎的作業として、プロジェクト対象地域の農家や消費者の視点から、草の根レベルの水稲作および国産米の実態をより深く掘り下げる試みに取り組んだ。この試みは、単なる情報収集に止まらず、以下の 3 種のワークショップを通じ、農家の意識や行動の背後にある意思決定のロジックを浮き彫りにすることを目的としていた(表 1)。さらに、聞き取り調査を併せて実施することで、作物別の労働投入量や収益性、水稲生産および投入に係る重み付けなどについても理解を深め、ワークショップで得られた情報の解像度を高めていった。このような多面的アプローチにより、農家の水稲作に対する姿勢や報酬観、収入多様化の実態といった「本音」に迫ることが可能となり、プロジェクトの実施方針や活動内容を検討する上で、実証的な知見を得るに至った。

表 1 3種のワークショップの概要

ワークショップ	内容
コメ生産に関する年表作り (タイムライン作成)	ファシリテーターが参加者より、10 年刻みで各年代におけるコメおよびその他作物の生産状況、入手・販売方法などを質問形式で引き出し、その回答を付箋に記録し、模造紙上に時系列で貼り付けていく手法を採用。これにより、各コミュニティにおける水稲作の変遷や、生産・流通の構造的変化を可視化した。
収入源の変遷に関する ランキング作り	イラスト化した 15 種類の活動(食用・換金作物生産、農外就労、仕送り等)の中から、参加者に「過去(内戦前)」、「現在」、「将来(10 年後)」のそれぞれの時点において、上位 3 つの主たる収入源を選択してもらう形式を採用。これにより、生活構造や労働選好の時間的変化をランキング形式で表現し、現在ならびに将来展望において水稲作がどの程度期待されているかを明らかにすることを試みた。
労働と報酬に関する模擬交渉	当地の平均的な規模のグループ(約 40 名)をモデルとし、1 ha の水田で、週 1 回の頻度で 5 ヶ月間(計 20 回)、水稲作に従事するという設定の下、報酬条件(現金給付、現物支給、支払タイミング)、水稲の生産性、提供される食料や資材等の変数を調整しながら、どのような条件下で、参加者に水稲生産が「受容可能」と判断されるか模索した。

出所：筆者作成

1) コメ生産に関する年表作り（タイムライン作成）

年表作りを通じて明らかとなったのは、以下のような水稲作および農業全体の変遷である。

（1）内戦（1989～2003 年）以前

この時期、食料作物の中心は陸稲であり、多くの農家世帯ではコメの自給が達成されていたため、輸入米に依存する必要はほとんどなかった。現金収入は主に、ゴムのプランテーションでの労働や余剰となった陸稲、オイルパーム、カカオなどの販売によって得られていた。一方水稲作は、1970 年代後半から 1980 年代前半に世界銀行の支援を受け、一時的に水田開発・栽培が行われたものの、その後はごく一部の農家による限定的な活動に止まっていた。

（2）内戦終結後（2003 年以降）

内戦の終結後、国産米の本格的な生産が再開される前に、食料支援などを通じて大量の輸入米が流入した。加えて、政府による米価の引き上げ提案に対する反対運動（1979 年）が、内戦の引き金の一つと見なされていたことから、米価の上昇は政治的に極めてデリケートな問題となった。こうした背景のもと、2008 年には輸入米を無関税とする大統領令が発出され、その後もこの措置は継続されている。ゼロ関税政策により、輸入米は一層安価かつ容易に入手可能となった。その結果、農家の間でも「コメは作るもの」であると同時に「買うもの」という意識が定着していった。また、現金の必要性が高まる中、ゴム産業の低迷も影響し、農家はより換金性の高い作物の生産を志向するようになった。

（3）2010 年代後半以降

こうした意識の変化が見られる中、2010

年代後半には、国連世界食糧計画（WFP）による「Food Assistance for Assets」プログラムの一環として、農家グループを対象とした水田開発支援が食料や日当（金銭）の提供とともに実施された。これにより、内戦以前と同様に、一時的な水稲作の盛り上がりが見られた。このような状況のもと、本プロジェクトの事前現地調査および基本計画策定調査は行われたのである。

2) 収入源の変遷に関するランキング作り

収入源ランキングの結果からは、水稲作が農家にとって必ずしも重要な位置を占めていないという実態が改めて浮き彫りとなった（表 2）。

過去（内戦以前）においては、陸稲作が主要な収入源の一つとして位置付けられていたが、現在ではその地位は失われており、将来的にも収入源としての期待は抱かれていない。また水稲作については、過去・現在・将来のいずれの時点においても、収入源として挙げた参加者は一人も存在しなかった。現在の主要な収入源は、キャッサバや野菜などの換金作物や、農産加工品であり、将来的にはカカオやオイルパームといった樹木作物に加え、小規模な商取引がより重要な収入手段として位置付けられると予想されている。このように、水稲に対する収入源としての期待の低さは、「年表作り」のワークショップで示された意識の変遷と一致しており、コメに対する相対的な関心の低下、ならびに換金作物としての競争力の乏しさが、農家の意識に明確に反映されていると言える。

こうした水稲の位置付けの低さは、その収益性の低さによっても説明できる。聞き取り調査の結果によれば、水稲は栽培作物の中で

表2 収入源の変遷に関するランキング結果 (%)

収入源	過去	現在	将来
水稻	0	0	0
陸稲	31.3	1.6	0
キャッサバ	10.9	12.9	2.6
野菜	7.8	14.5	7.7
カカオ	7.8	0	12.8
ゴム	4.7	6.5	5.1
ゴムプランテーション勤務	1.6	1.6	0
オイルパーム	10.9	9.7	20.5
サトウキビ	12.5	17.7	2.6
畜産	1.6	8.1	5.1
木炭製造	0	14.5	2.6
バイクタクシー	0	1.6	0
小商い	1.6	6.5	30.8
給与所得者（被雇用者）	9.4	0	7.7
送金	0	1.6	2.6
その他	0	3.2	0

注：3ヵ所で実施したワークショップの参加者計 32 名（男性：12 名、女性：20 名）の回答
出所：筆者作成

表3 主要作物の単位面積当たり労働投入量（人日/ha）

作物	労働投入量
水稻	358
陸稲	289
キャッサバ	239
ナス	203
トウガラシ	191
オクラ	178
オイルパーム	168
ゴム	191

注：農家サンプル数 105
出典：JICA（2025）



写真 ワークショップ（年表作りと収入源ランキング）

出所：筆者提供

も最も多くの労働投入を要し（1 ha 当たり 358 人日）、他の作物と比較しても労働負担が明らかに大きい（表3）。また、生産コストの面では、国産米 1 kg 当たりの生産コス

トが 1 米ドルに達するのに対し、輸入米の小売り価格は 1 kg 当たり 0.8 米ドルと安価であり、価格競争力を欠いている。プロジェクトが実施した消費者の支払い意思額調査によ

ると、国産の赤米であれば、生産コストと同等の価格であっても購入の意思が示されており、国産米振興の可能性がまったくないとは言えない。しかしながら、現時点では水稲は他の作物に比べて生産性でも劣り、結果として最も収益性の低い作物となっているのが実情である。

3) 労働と報酬に関する模擬交渉

労働と報酬に対する農家の意識を探るための模擬交渉型ワークショップの結果からは、水稲作に対する農家の経済的合理性に基づいた行動傾向が明らかとなった。

まず、グループでの水稲作から得られる収穫物をグループ内で均等に分配するという前提において、現在の平均的な生産性（1 t/ha 前後）では、大多数の参加者が水稲作への従事を選ばず、農業・農外を問わず他の収入機会を選択する傾向が見られた。さらに、肥料や改良技術の導入により生産性が2倍（一人当たり20日分の日当に相当）に向上したと仮定するシナリオにおいても、参加者の多くが依然として他の選択肢を選ぶ結果となった。実際、プロジェクトによる実地調査でも、生産性が倍増したグループであっても水稲作を継続せず、開発された水田を放棄していたケースが確認されている。こうした傾向は、生産性が現行の3倍（約3 t/ha）に達したシナリオでようやく、参加者の過半が水稲作を選択肢として受容するという結果からも裏付けられる。また、収穫物の分配が行われない別のシナリオにおいては、作業日における食事の提供に加え、少なくとも日当相当の現物（食料や資材）の提供が保証されることが、農家の参加意思を左右する要因となった。この条件を満たした場合に限り、参加者の過半

が水稲作への参加意向を示す結果となった。すなわち、水稲作が他の労働機会と競合可能な選択肢として成立するためには、非常に高い生産性、あるいはそれに見合った報酬水準が不可欠であることが明らかとなった。

これらの結果から、農家は生産費や労働投入量といった数値情報を厳密に把握している訳ではないものの、自身の労働に対して得られる対価が「割に合うかどうか」を、実体験に基づいて概ね正確に評価していることが読み取れる。換言すれば、複数の収入手段が存在する環境下において、農家は無意識のうちに自然な判断として、労働報酬の適正化を図る行動を取っていると考えられる。

4) プロジェクトの新たな方向性

これまでの結果から、グループによる水稲作を持続的に継続するためには、現行水準を大きく上回る相当高い収量の達成が必要であることが明らかとなった。これは、農家が自身の労働に見合う対価を重視している傾向からも裏付けられる。理論上、高収量の達成は技術導入や投入財の活用により実現可能ではあるが、水稲生産および投入に係る重み付けの結果からも、肥料などの資材に対する自己負担について、多くの農家が消極的であり、グループとしての労働や金銭的投入を増やしてまで生産性を追求する意欲は乏しいことが確認された。そのため、高収量を前提とした目標設定は、現実的かつ妥当なものと言い難い。加えて、水稲作の収益性は他の作物に比して著しく低く、農家世帯の主たる収入源は、野菜やカカオ、オイルパームといった換金作物である。国産米は輸入米に対して価格競争力を欠いており、同等の労働投入であれば、収益性の高い作物を選好することは、経済的

合理性に適っている。したがって、農家が水稲作に対して強い転換動機を持つことは期待し難い状況にある。

このような状況下においても、多くの農家がグループの一員として、水田開発を伴う外部機関による支援事業に参加していた。その背景には、事業参加によって得られる食料や日当といった短期的な対価の存在があった。すなわち、水稲作そのものに対する意欲は必ずしも高くなくとも、外部支援から得られる報酬を目的として事業には参加する、そのような行動様式が広く一般化してしまっていたのである。もちろん、水稲作の中止後も、貯蓄活動などを主目的としてグループ活動を継続している事例も見られた。しかしながら、大多数のグループでは実質的な活動が行われず、次なる支援の「受け皿」としてのみ機能する存在へと変質していた。このような状況は、支援が途絶えれば活動を停止し、再開されれば再び活動を装う——いわば「ゾンビ」のようなグループと形容することも可能であろう。

こうした構造的な要因を踏まえ、プロジェクトでは当初掲げていた「生産性の向上」という目標を見直し、「持続可能な生産」への軌道修正を図ることとなった。具体的には、農家が水稲作に取り組みやすい環境の整備に重点を置き、省力化技術（直播、ランダム移植、マット苗など）の導入に力を注ぐ方針を採った。加えて、外部支援機関より供与されたまま未活用となっていた精米機の組立と活用を通じて、水稲作の担い手となるグループの活動を活性化する取り組み（本誌 Vol. 48, No. 2 参照）も実施した。これらの技術や機材の利活用に研修・普及活動を組み合わせることで、水稲作の持続可能性の改善を目指し

たのである。

おわりに

本稿では、リベリアの水稲作が直面する構造的課題と、それに対する農家の「本音」に迫る試みについて振り返ってきた。農家が水稲作に消極的な姿勢を見せていたにもかかわらず、プロジェクトが前向きに事業を継続できたのは、そうした姿勢を一方的に非難するのではなく、それを農家の生存戦略の一環として理解し、経済的合理性が確保される状況においては、彼らが誠実に作業へ取り組む人々であると再認識できたことが大きい。このような認識に至ることができたのは、所期の目的や技術的アプローチに固執せず、状況に応じて柔軟かつ多面的な対応を取り入れる体制と要員構成が整っていたためである。

一方で、結果のみを見れば、あたかも想定外の事態にも柔軟に対応したかのように映るかもしれないが、実際は試行錯誤の連続であり、その場その場で即興的な判断が求められる場面も少なくなかった。プロジェクト目標を見直した後も、すべてが順調に進んだとは言い難く、たとえば省力化技術の導入はすべての農家の関心を十分に喚起したわけではなかった。また、水稲作に意欲的な農家グループの発掘は、プロジェクト終了まで継続的な課題として残り続けた。こうした中で常に最適な選択ができたとは言いきれない。しかしながら、「生産性の向上」という一点に固執して事業を進めていたとすれば、プロジェクトの持続可能性は一層損なわれていたであろう。

執筆時点のリベリアでは、1980 年前後や 2010 年代後半に続き、再び水稲作振興に対する外部支援の波が押し寄せつつあり、水稲

作バブルの兆しが見え始めている。本プロジェクトは、幸か不幸か、こうした大規模支援の狭間の時期に開始されたため、外部支援による水稲作の一時的な活性化と、その後の停滞の両方を目の当たりにする機会を得ることができた。仮に、現在と同様の支援環境下で本プロジェクトが始まっていたならば、目の前に現れたであろう熱心さを装う農家の姿に疑問を抱くことなく、「生産性向上」を唯一の目標として突き進んでいた可能性が高い。そして数年後、外部支援の終了とともに放棄水田が広がる現実を前にして、ようやく当地の実情に気づくという、取り返しのない事態に陥っていたかもしれない。

本プロジェクトを通じて明らかになったのは、単なる農業技術の導入や生産性の向上だけでは、水稲作が持続的に定着することは困難であるという、厳しくもごく当たり前の現実である。農家の選択は、収益性や労働報酬といった観点から見ればきわめて合理的であり、その行動様式を無視したまま介入を行っても、持続的な成果を期待することはできない。むしろ、農家の現実的な選好や行動様式に寄り添い、無理なく取り組める環境を整備すること、あるいは複数の選択肢を提示することこそが、リベリアに対する今後の支援の鍵となるだろう。草の根レベルでの「本音」に真摯に向き合い、それに基づいた施策を構

築していくことの重要性を、改めて認識させられたプロジェクトであった。アフリカ稲作振興のための共同体（Coalition for African Rice Development：CARD）の支援対象国として、今後リベリアのような国が加わる可能性も十分に想定される。そうした国々において、本プロジェクトで得られた教訓を活かすことは、今後の支援にとってきわめて意義深い取り組みとなるはずである。

多くの困難に直面しながら進められた本プロジェクトの実情を、本稿を通じて共有してきた。もし本稿に対し、いささかでも共感や関心をお寄せいただけたのであれば、筆者にとってこの上ない喜びであり、本稿執筆の所期の目的もまた、達成されたと言えるであろう。

参考文献

- 独立行政法人国際協力機構（2020）：リベリア国小規模農家コメ生産向上プロジェクト基本計画策定調査報告書。
- 独立行政法人国際協力機構（2025）：リベリア国小規模農家コメ生産向上プロジェクト事業完了報告書。

（株式会社レックス・インターナショナル
コンサルタント）



フィリピンでの低化学農薬・化学肥料栽培技術の普及活動

児玉 広志

はじめに

公益社団法人国際農業者交流協会（JAEC）は、独立行政法人国際協力機構（JICA）の草の根技術協力事業および外務省の NGO 連携無償資金協力事業の下で、フィリピンにおいて、2007～2025 年にかけて、Safe Vegetables from Rich Soil（SAVERS）と名付けた低化学農薬・化学肥料栽培の普及を推進した。筆者は、2010～2013 年に同国農業省の専門家として事業をサポート、2023～2025 年には現地シニアプロジェクトコーディネーターとして事業に関与した。本稿では、SAVERS の普及活動について簡単に紹介するとともに、筆者が見つけた課題およびその解決方法を論じる。

KODAMA Hiroshi : Extension Activities of a Low-chemical Farming Technology in the Philippines.

¹ 平均の標高が 908m であるベンゲット州（<https://en-ph.topographic-map.com/map-sq2v18/Benguet/>）は温帯地域での栽培に適している野菜の栽培が盛んである。

² 一例は Carino（2007）

³ 一例は Lu（2011）

⁴ 農林水産省のホームページでも紹介されている「健康な土づくり」技術マニュアル（青森県「攻めの農林水産業」推進本部 2000）では、土づくりを、「土壌の環境を改善し、作物が必要とする養分や水分をバランス良く十分に供給できるような能力すなわち地力を高め、土壌の作物生産能力を維持していくこと」と定義している。農業における土づくりの重要性は多数の農業関係者が指摘している。

1. SAVERS とは

SAVERS は、主に土づくりを通じて、低化学農薬・化学肥料栽培で高品質の農作物の安定した収穫を目指す方法である。この方法は、自身も長野県佐久穂町で長年高原野菜を栽培してきた横森正樹技術普及リーダーの、炭・木酢液・たい肥を利用した低化学農薬・化学肥料栽培技術を基にしている。JAEC の事業では、初めに、フィリピンのサラダボウルと呼ばれるベンゲット州（Benguet 州）の高原野菜地帯¹に横森氏の技術を導入し、ベンゲット州での試験栽培を経てフィリピンで適合する技術に作り上げていった。

JAEC が事業を開始した 2007 年当時のベンゲット州では農薬の過剰使用が問題になっていた。当時、過剰使用された化学農薬が環境（土、水）汚染を引き起こし、野菜に残留し、農家の健康も害しているとの指摘が相次ぎ²、残留農薬に関する調査³も行われた。横森氏が実践し、フィリピンでも適用し始めた低化学農薬・化学肥料栽培は、化学農薬の過剰使用問題を解決する一助にもなると考えられ、この技術は Safe Vegetables from Rich Soil（SAVERS、豊かな土からの安全な野菜）技術と名付けられた。

2. SAVERS で推奨している利用方法

SAVERS はその名前の通り、土づくり⁴を重視した栽培法である。すなわち、炭・木酢

液・たい肥の施用による土づくりを通して安定的な作物生産を目指す技術である。このため、有機農業を排除するものではないが、農業者には減化学肥料・減化学農薬栽培を薦めている。また、「SAVERS 農法」という技術パッケージを農家に押し付けるのではなく、以下の SAVERS の諸技術を紹介、自分に合う技術を農家を選んでもらっていた。

土壌施用による温室効果ガス削減効果が注目されている炭は、日本でも古来⁵、燃料として利用されており、農業分野でも、土の保水性・透水性の改良、肥料成分の保持⁶、土の微生物バイオマスの増大⁷といった効果がある。江戸時代から土壌改良剤として利用⁸されており、現在は木炭が政府によって土壌改良資材⁹に指定されている。SAVERS では、苗の定植前に炭を土壌 100 m²あたり 20～30kg 施用するように勧めている。また、ひと手間かけるやり方として、炭と有用微生物の増殖を促す木酢液を 2：1 の割合で混ぜたものを施用する方法も紹介している。

炭を製造する際の副産物として得られる木

酢液も、日本では古くから水溶液が土や作物に施用されてきた¹⁰。濃度の高い木酢水溶液は害虫に対する忌避効果や抗菌効果¹¹があると言われている。このため、SAVERS では、ネマトーダ等の土壌病虫害のコントロールのために 10～20 倍に希釈した木酢液の作物の根元への灌注を勧めている。木酢液には他にも、土壌中の有用微生物の増殖、植物の芽・根の成長促進効果等が認められており¹²、SAVERS でもこれらの効果を見込んだ木酢液の施用方法を普及している。その中でも、農家には特に、木酢水溶液を農薬に混ぜることで農薬の施用量を慣行の量の半分にする方法が、慣行の農薬量の効き目と変わらないとして、受け入れられている。この方法では、木酢液は農薬の展着剂的な効果があるのではないかと推察されている¹³。SAVERS を紹介するセミナーでは、慣行の希釈倍数の倍に希釈した農薬に 100 分の 1 の木酢水溶液を混ぜる方法を紹介している。しかし、木酢液の効果は利用している木酢液の内容などで異なる上、木酢液もベンゲット州で購入すると 1 L あたり 67 または 100 ペソ¹⁴するため、農家には、木酢液の希釈倍数を色々に変えてみて、自分に合う希釈度を見つけることを勧めた。

SAVERS セミナーには有機農業を実践している農家も参加することが多い。このため、これらの農家には、トウガラシ等を木酢液に漬けてこれらの有効成分が抽出された後にこれらの希釈液を散布する方法を紹介した。

たい肥は、フィリピン農業省などがその製造と利用に関する情報を広めている。SAVERS セミナーでの講義でも、たい肥の重要性を強調するとともに、たい肥作りの一例として、土の微生物バイオマスを増やす炭

⁵ 日本では少なくとも旧石器時代には木炭が生産されていたと推定されている（樋口 1993）。

⁶ 日本バイオ炭普及会 2019

⁷ Lehmann *et al.* 2011

⁸ 宮崎 1697

⁹ 地力増進法施行令（昭和 59 年 10 月 1 日政令第 299 号）は木炭を土壌改良資材として指定している。

¹⁰ 昭和 10 年代には木酢液が稲の成長促進に効果があることが見出されていた（岸本 1991）。

¹¹ 木嶋 2008

¹² 日本木酢液協会 HP

¹³ 日本木酢液協会 HP

¹⁴ ベンゲット州を含む地域の 2024 年 11 月から適用された最低賃金は 470 フィリピンペソ/日（WAGE ORDER NO. CAR23, Nov. 13, 2024, Department of Labor and Employment, Republic of the Philippines）。2024 年度の JICA 精算レートは 1 フィリピンペソ = 2.54～2.74 円であった。

と、悪臭抑制効果¹⁵と微生物の増殖効果¹⁶のある木酢液も利用した製造方法を紹介した。

3. SAVERS の普及方法

JAEC は、2007 年から、JICA の草の根技術協力事業と外務省の日本 NGO 連携無償資金協力スキームの下で、フィリピンで炭と木酢液を利用した農作物栽培の普及を推進したが、初期は、JAEC 自身による試験栽培に加え、この技術に興味のある農家に炭と木酢液を利用した野菜等の試験栽培をしてもらい、ベンゲット州でも有効であることを確かめた。これらの試験栽培の結果を町の農政課と共有し、その効果を認めてもらった上で、彼らと共同で普及に取り組み、SAVERS を実践する農家を増やしていった。

JAEC はさらにセミナーなどを通じて SAVERS の普及に努めた。SAVERS 技術の普及活動はベンゲット州の特定の町で始めたが、当初より、農業省の理解を得るためにマニラの農業省本省でのセミナーも積極的に実施した。その後、普及地域をベンゲット州全体と他州に広げた。他の多くの州で SAVERS の研修を実施、2025 年の事業終了までに実施した研修の回数は 100 回以上になる。さらに、研修などで木酢施設の設置方法

を教えるとともに、農業省の地方組織や町役場といった、その地域の SAVERS 普及拠点と木酢液・炭の供給元になりそうな組織には JAEC が獲得したファンドを利用して、相手方と共同でこれらの製造装置（本稿では「木酢施設」と呼ぶ）を建設した。2019 年までの事業で JAEC のファンドで建設した木酢施設は 19、農家組織などが自分のファンドで建設した施設は 91 ヵ所にのぼる。

研修ではまた、炭・木酢液の利用方法を紹介するとともに、農家の試験栽培の結果も纏めた冊子も紹介し、これらの資材の投入方法を参考に自分の畑での資材の投入量を決めてもらった。その後、フィリピン政府農業省の地方試験場等でも栽培試験を実施した¹⁷。農業省はさらに、SAVERS の紹介ビデオ¹⁸を作成するなど、その普及に努めた。なお、農業省の試験場での試験で木酢液は稲やマンゴーといった低地の作物にも効果があることが分かったが、この結果が高原地帯のベンゲット州のみならずフィリピンの低地でも SAVERS が受け入れられる一因となった。

4. 炭と木酢液の製造装置（木酢施設）

前述の木酢施設は、幾つかのタイプが建設されているが、フィリピンで設置された 3 つのタイプの木酢施設の例を示す(写真)。まず、JAEC がセミナーでその建設方法を紹介した木酢装置は、ドラム缶を燃焼装置に利用して燃焼装置から出る煙を水で冷やして粗木酢液¹⁹を得る、簡易なタイプである（写真左端および図）。日本でもドラム缶を利用して炭と木酢液を製造する施設の建設方法が紹介されている²⁰。しかし、フィリピンで紹介したドラム缶タイプの木酢施設は、日本で一般的なものと異なる。比較的涼しく、農閑期である

¹⁵ 澁谷等 2014

¹⁶ 寺下 1960

¹⁷ その一例として Pugay *et al.* (2018) がある。

¹⁸ その一例として Agricultural, Training Institute Cordillera Administrative Region (2022) がある。

¹⁹ SAVERS では、粗木酢液を 6 ヶ月以上静置し、粗木酢液の 6 割を占める有効木酢液を分離して栽培に利用することを勧めている。この木酢液は精製木酢液とほぼ同等なので、本稿では「精製木酢液」と称する。

²⁰ その一例として杉浦・広若 (2024) がある。



写真 フィリピンで建設された木酢施設（左から水冷式ドラム缶型施設、空冷式ドラム缶型施設、木酢施設を岩で囲ったもの）

出所：JAEC（2021）

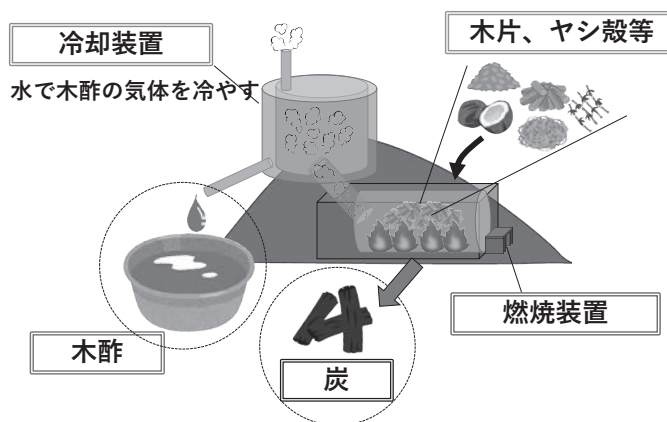


図 水冷式ドラム缶型施設

出所：JAEC（2021）を筆者改変

冬に炭と木酢液を製造するのが一般的な日本では、焼却装置から伸ばした煙突に煙が通る間に、外気温によって、つまり空冷式で、温度が下がり十分な量の木酢液が得られる。これに対して、常夏の国のフィリピンでは気温が高いため、外気による冷却では十分な量の木酢液が得られにくい。このため、若干コストはかかるが燃焼装置から出たパイプを冷却装置と呼ぶステンレスのタンクに通す方法を奨励している²¹。このタンクは2層になって

おり、内側を煙が通り、外側に水を流して内側の煙を冷やして、つまり水冷式で、木酢液を得る。2024年当時ベンゲット州で、燃焼装置になるドラム缶は2800ペソ程度なのに対し冷却装置は3万8000ペソ程度であった。JAECが材料費を提供して設置した木酢施設のうち、燃焼装置であるドラム缶は数年で取り換える必要があるが、ステンレス製の冷却装置は10年以上利用可能なため、木酢施設を設置した組織は数年に1度ドラム缶を買い直すだけで良い。

JAECでは、この他に、設置希望者が既にドラム缶式の燃焼装置を利用して炭と木酢液を製造しているなど、継続利用の可能性が高

²¹セミナーでは、Japan Agricultural Exchange Council（2021）のp.15～17にある設計図を紹介し、後述の日本NGO連携無償資金協力での活動でもこの設計図に従って木酢施設を設置している。

い場合には、本格的な装置として、火山岩等を利用した燃焼施設（写真右端）とステンレスの冷却装置で出来た木酢施設を設置した。この施設の燃焼装置の内部は大きく、一回当たり多くの木酢液が製造できる²²。また、燃焼装置も長年の使用に耐える²³。

農家が自分のファンドでドラム缶式の木酢施設を建設する場合、ベンゲット州の2024年12月の最低賃金が470ペソであることから、ベンゲット州の自作農の農家にとって、冷却装置付きの木酢施設は、たとえ自分で設置するにしても、高い買い物である。このため、農家の自己資金で設置した木酢施設の中には冷却装置がない空冷式の装置もあった（写真中央）。SAVERSセミナーではこのような空冷式の施設も紹介している。

ある農家は、まずは空冷式の木酢施設、つまり燃焼装置と木酢液収集パイプを設置、その後木酢液と炭を製造・利用しながら資金を貯めて冷却装置を設置したとのこと。後述の別の農家の木酢施設建設・運用の収支の計算結果を鑑みると、この農家の木酢施設の改良方法は経済的にも説明可能である。

2021年から始まったプロジェクトでは、このプロジェクトが始まる前に設置された木酢施設の稼働状況の調査は出来なかったが、筆者はベンゲット州で、少なくとも、3つの町営と4つの農家設置・運営の木酢施設が稼働しているのを確認している。今後も、これらの木酢施設や2021年からの事業で設置さ

れた木酢施設の見学、これらの施設で製造される木酢液・炭の利用を通じてこれらの効果を実感し、自分で木酢施設を設置する農家が出てくることを期待している。

5. 木酢施設の経済

ドラム缶型木酢施設の1回の利用で得られる木酢液と炭の量は、施設によって、材料によって大きく異なるが、その一例として、他農家の研修も受け入れている農家からの聞き取り結果は次のようになる。

- ・1回の利用で10Lの粗木酢液が取れ、そこから6Lの精製木酢が採取できる。
- ・精製木酢液は67ペソ/Lの価値がある。
（この施設は木酢液を自分の畑への施用と研修生への配布で使い切ってしまう、販売していないので、他の施設の売値を準用）

→精製木酢液の価値は $6\text{L} \times 67\text{ペソ/L} = 402\text{ペソ}$

- ・炭（料理用の塊の炭）は15kg程度入る袋に半分程度入る量が採れる。
- ・炭は260ペソ/袋²⁴で売れる。

→炭の価値は $0.5\text{袋} \times 260\text{ペソ/袋} = 130\text{ペソ}$

以上により1回の利用で計532ペソの価値を創造する。

また、この施設は月平均で3回稼働しているので、年間の価値は $532\text{ペソ} \times 3\text{回/月} \times 12\text{ヵ月} = 1\text{万}9152\text{ペソ}$ となる。

- ・その他、炭・木酢液製造時には自分の畑の果樹の選定枝や周りで伐採した木を材料に利用している。

彼のような個人農家が自分の労賃を考えず、施設の材料も燃焼装置用のドラム缶、冷却装置とパイプ以外は自分で調達、木酢液製

²²ドラム缶の焼却装置を有する施設は1回の製造で6L程度しか木酢が採取出来ないのに対し、火山岩製の焼却装置を有するツブライ町の施設は、1回の製造で60~70Lの木酢が製造される。

²³2012年に設置されたツブライ町の木酢施設の燃焼装置は2025年3月時点で問題なく稼働していた。

²⁴2024年2月実施のバンガシナン州での調査結果。

造時の材料も自分の土地やその周辺から調達する場合、毎年ドラム缶の燃焼装置を換えても 2800 ペソのドラム缶代は十分支払える。また、前述の農家のように、まずはドラム缶の燃焼施設を設置、その後冷却装置を設置する場合、木酢液が空冷式の冷却装置の半分しか採取できなかったとしても、1 回の製造で 130（炭）+ 201（木酢液）= 331 ペソ、年間で $331 \times 3 \times 12 = 1$ 万 1916 ペソの価値を創造できる。つまり、4 年間木酢液を製造し続ければ燃焼装置を取り換えて水冷式の冷却装置を設置することが可能になる。ただし、炭・木酢液製造時の材料を購入するとその分減価償却に振り向けられる利益が減少する。このため、木酢施設の設置に興味がある農家には、なるべく自分で木酢施設を製造し、材料も自分の畑や近くの畑の果樹の剪定枝、畑の周りの木、ココナツの殻などの無料で手に入るものを利用するように勧めている。

6. フィリピンでの普及事業の成果

本稿では、①SAVERS 技術の実践者の増加、②フィリピン側での SAVERS 関連技術の研究の進展、③フィリピン農業省、州・町政府による SAVERS の普及、④多くの木酢施設の設置、といった成果を紹介してきた。しかし、フィリピンでの SAVERS 普及活動の最大の成果は、SAVERS 技術の実践に欠かせない木酢液が流通するようになったことである。筆者の知るところ、ベンゲット州では、3 町で販売されており、そのうちの Buguias 町と Tublay 町では、JAEC の活動

がほぼ停止していた²⁵2022 年でも 1.5L と 1L の木酢液ボトルがそれぞれ 307 本と 429 本販売されている。これは、その地域に、一定の木酢液の利用者、すなわち SAVERS 実践農家がいる証である。また、木酢液が流通しており、町の農政課に SAVERS 技術を習得した普及員がいるので、農家は SAVERS 技術を容易に試すことも出来る。2025 年 3 月の JAEC 事業終了時でも、これら 2 つの町では、JAEC の財政的な支援なしに定期的に炭・木酢液を製造し、木酢液を販売していた。

7. 2021～2025 年の日本 NGO 連携無償資金協力

2021 年から始まったプロジェクトでは、ベンゲット州を含む 10 州で、ATI (Agricultural Training Institute) という、農業技術の普及を推進する機関をカウンターパートとして、SAVERS 技術の普及活動を行った。これは、フィリピン農業省が SAVERS 技術を認知し、国としてその普及を推進する意思を示した、ということである。

このプロジェクトの内容は、ベンゲット州と他の 9 つの州では異なる。SAVERS がある程度知られており、木酢液が入手可能な、SAVERS 先進州であるベンゲット州では、12 回実施した 1 日のセミナー²⁶の中で SAVERS 技術を紹介し、併せて近隣の木酢施設を紹介した。これに対し他州では、まず、SAVERS 技術普及の中心となる場所を特定し、木酢施設を建設した。SAVERS 技術に特化したセミナーも 24 回実施したが、多くの場合、SAVERS セミナーの前日に木酢施設を建設、次の日に SAVERS セミナーを実施するという 2 日間の活動とし、1 日目の施設建設に 2 日目のセミナー参加者の一部を招

²⁵ COVID19 とフィリピン政府のプロトコルの影響で 2022 年は普及活動がほとんど行えなかった。

²⁶ ベンゲット州のセミナーでは SAVERS 技術に加え野菜の流通改善に関する講義も行った。

集した。また、2日目のセミナーに並行して前日に建設した木酢施設を利用した最初の炭・木酢液づくりを行い、セミナー参加者がその様子を見学できるようにした。これによって参加者が、1日目の実習で施設の建設方法を習得し、2日目にSAVERSの特徴、炭と木酢液の製造方法および利用方法を学習するとともに、炭と木酢液の製造方法も体感できるようになった。

また、SAVERS先進州のベンゲット州に他の9州の州政府農政課職員など今後の州内での普及の中心として期待される者を集めて、州内のSAVERS先進地の見学と座学を組み合わせた先進地研修を合計4回実施した。この研修には木酢施設の設置も含まれている。前述のSAVERSセミナーに並行して建設したものも合わせ、今回のプロジェクトで建設した木酢施設は全部で10州の23ヵ所にのぼる。

先進地研修の参加者の一部は、前述のベンゲット州以外でのSAVERSセミナーで講師として活躍した。また、2023年の研修に参加したパンガシナン州の農家が自分の農場に木酢施設を設置、得られた炭と木酢液を利用して作物を栽培するとともに、自分の農場での研修で研修参加者にも炭と木酢液の利用方法を教えるようになった。この情報を得たため、2024年の研修では彼に講師として登場してもらった。研修参加者に、「この講師は昨年の研修では研修を受ける方であった。彼は1年で先進地研修の講師になった。」と紹介すると、大きな反響があった。なお、パンガシナン州では、ある民間の農業研修施設も、JAECの技術支援を得ながら木酢施設を建設し、得られた木酢液を施設で栽培している作物に施用するとともに木酢施設の設置および

木酢液の利用方法を研修で教えている。

2023年11月の筆者の着任後、セミナーのSAVERSに関する講義の内容を充実させた。もともとセミナーでは、農家に「木酢液を〇〇倍に薄めて作物に散布すると良い。」といった説明をしていたが、その説明のみで農家が自分の噴霧器を利用して木酢液を利用できるようになるのか疑問に思った。つまり、農家が利用方法を理解でき、試験的に利用する木酢液が農家の手元にある必要がある。そこで、2024年から次のように改良した。

ベンゲット州と他の幾つかの州のSAVERSセミナーでは、農家が利用している16Lの噴霧器を利用した木酢液と農薬の混合液の作り方を実演した。16Lの背負い式噴霧器が一般的に使われているフィリピンでは、多くの農薬の施用量を、16Lの背負い式の噴霧器に農薬原液を大匙何杯入れること、と記している。前述のように、セミナーでは、20倍の木酢水溶液の土壌への灌注と100倍の木酢水溶液（農薬との混合液）の散布を紹介している。16Lの20分の1は800ml、100分の1は160mlである。フィリピンの普通の農家は計量カップを持っていないが、たまたま農村部でよく売られているサーデインの缶には約160mlの木酢液が入る。よって、16Lの噴霧器用に、土壌灌注の際にはサーデイン缶5杯分（800ml）、農薬と混ぜて散布する際にはサーデイン缶1杯分（160ml）を用意する方法を紹介した。これらの方法を説明した冊子とともに、参加者の前で木酢液と農薬を希釈して見せた。さらに、各参加者に、自分の畑での試験用に、木酢液のボトルを1本ずつサンプルで配布した。あるセミナーで、6本の講義の中で何が一番有用であったか、と尋ねたところ、回答した27名のうち14名が

SAVERS と、4 名が木酢液等の施用方法の実演²⁷と返答した。

ベンゲット州外で実施された幾つかの SAVERS セミナーでは、時間等の都合で実演のセッションを加えられなかったが、既存のセッションの中で 16L の噴霧器での利用方法を説明するとともに、木酢液のボトルを参加者に配布した。木酢液 1 L は、100 倍に薄めて 16L の噴霧器に入れる場合、6 回の噴霧に利用できる²⁸が、1 作を通じて農薬散布が 6 回未満で済む野菜も多い。よって、農家は畑の一部で 1 作に亘って木酢液と農薬の混合水溶液を散布し、得られた野菜の品質を確かめることが可能である。参加者に、サンプルとして供与した木酢液で 1 作試して、効果を見出したら次作はセミナーの前日に設置された木酢施設で生産された木酢液を購入するように勧めた。一方で木酢施設を管理する組織には、参加者の前で、多くの参加者が木酢液を欲すると思うので、木酢液を定期的に生産するように要請した。

セミナーでの木酢液利用の実演と木酢液のサンプル配布の効果は、木酢液が流通しているベンゲット州で認められた。前述のように、ブギアスとツブライ町役場で木酢液を販売しているが、両町役場での木酢液の合計販売数量が 2022 年と 2023 年の 736 ボトル、711 ボ

トルから、セミナーの内容を改良した 2024 年は 1304 ボトルへと、約 1.8 倍に増大した。セミナー参加農家の一部が実際に木酢液を利用してその効果を確かめて購買するようになったと思われる。

8. SAVERS 技術の普及上の課題

筆者がフィリピンで SAVERS の普及を進める中で、以下の SAVERS の普及における課題が見えてきた。

- 炭施用の普及の遅れ
- 炭・木酢液の原料となる木材やココナツ殻などの未利用バイオマスの入手の困難さ
- 燃焼装置の寿命の短さ

本節ではこれらの課題とプロジェクト期間に実施した課題解決のための試みについて説明するとともに、今後のフィリピンでの炭・木酢液を利用した農法の普及に向けた課題解決の方法について論じる。

1) 炭普及の遅れ

JAEC では炭と木酢液の両方の施用を推奨しているが、木酢液の施用に比べて炭の施用が普及していない。その 1 つの理由として、既存の木酢施設では十分に炭を供給できないことが挙げられる。つまり、木酢施設で製造される炭でカバーできる面積が、木酢液がカバーできる面積よりも一桁小さい²⁹。木酢液と炭の施用量の目安と前述の農家の木酢施設の生産量から割り出した、木酢施設の 1 回の稼働で得られる炭と木酢液（1 回の製造で 6 L の木酢液、7.5kg の塊の炭と 0.75kg の細かい炭が得られると仮定）で散布可能な野菜畑の面積は以下の通り。

木酢液

1 回あたり生産量：6 L/回

²⁷ このセミナーでは、他に JAEC のフィリピンでの活動、日本の先進的な野菜農家の生産・販売戦略、野菜の低温流通に必要な収穫後の調製作業、野菜の計画生産についての講義を実施した。

²⁸ $160\text{ml} \times 6 = 960\text{ml}$ (16 L の噴霧器に必要な木酢液の量) × 6 回 = 960 ml

²⁹ 他の理由として、炭施用の際の農家の手間を挙げる者もいるが、少なくともベンゲット州では多くの畑で年に 2 回は畑を耕して畝を作り直しているため、その前に細かい炭を撒いて耕うん時に土に入れば最低限の手間で済む。

1 作 100㎡あたり散布必要量：

$$0.16\text{L} \times 6 \text{ 散布} = 0.96\text{L}$$

よって、1 作あたり散布可能面積：

$$(6\text{L} \div 0.96\text{L}) \times 100\text{㎡} = 625\text{㎡}$$

* 1 回の製造で 6L の精製木酢液を生産、16L の噴霧器に入れた 160ml の木酢液と農薬の混合水溶液を 100㎡の野菜畑に散布、1 作に 6 回混合水溶液を散布する、と仮定

炭 1（全ての炭を土壌に施用する場合）

1 回あたり生産量：

$$7.5\text{kg} + 0.75\text{kg} = 8.25\text{kg/回}$$

1 作 1 ㎡あたり散布必要量：0.25kg

よって、1 作あたり散布可能面積：

$$8.25\text{kg} \div 0.25\text{kg} = 33\text{㎡}$$

* 1 回の製造で 7.5kg の塊の炭と 0.75kg の細かい炭を生産、野菜の作付け前に 1 ㎡の農地に炭を 0.250kg（250kg/1000㎡）施用すると仮定

炭 2（細かい炭のみを土壌に施用する場合）

1 回あたり生産量：0.75kg

1 作 1 ㎡あたり散布必要量：0.25kg

よって、1 作あたり散布可能面積：

$$0.75\text{kg} \div 0.25\text{kg} = 3 \text{ ㎡}$$

* 1 回の製造で 0.75kg の細かい炭を生産、野菜の作付け前に 1 ㎡の農地に細かい炭を 0.250kg（250kg/1000㎡）施用すると仮定

生産された全ての炭を施用しても木酢液の約 19 分の 1（625：33）の面積しか施用できない（炭 1）。筆者がインタビューした木酢施設生産者は大きな炭を燃料として利用または販売しており、細かい炭のみが土壌に施用されるので、その場合は、木酢液の約 208 分の 1（625：3）の面積しか施用できない（炭 2）。つまり、農家が木酢施設から同じ面積

に施用する木酢液と炭を購入しようとしても炭は直ぐに売り切れてしまう。実際に、木酢液を販売している 2 町では炭を定番商品として売っていない。

この不足分を補うには、他から炭を持ってくるしかない。炭の供給元として民間の炭焼き施設に注目した。フィリピンの農村部では調理に炭が利用されており、その需要に応えるために民間の炭焼き施設が存在している。高地にあるベンゲット州では民間の炭焼き施設が確認できなかったが、他のプロジェクト実施 9 州（全ての州が低地を含んでいる）の県農政課の職員などに訊いたところ、全ての州で民間の炭焼き業者が存在することが判明した。つまり、ルソン島の低地の農村地域ではいまだ炭焼きが盛んである。なお、9 州の県農政課の職員などに、炭焼き施設で木酢液を採取しているか訊いたところ、木酢液を採取している施設を聞いたことがない、とのことであった。

パンガシナン州のある炭焼き業者から 2024 年 2 月に聞き取りを行ったところ、その地域の炭焼き業者は乾季（通常 11～5 月）のみに炭焼きを行っている、とのこと。主に伐採した木から炭を製造し、塊の炭は燃料用に販売、細かい炭は利用していない、とのことであった。また、炭焼きの副産物として木酢液が出来、ベンゲット州では販売されている、ということは知らなかった。その後、この施設から細かい炭を 1 袋（平均 27kg/袋）100 ペソで入手、ベンゲット州でのセミナーで施用のデモンストレーションを実施、農家に数 kg 配布したところ、農家から好評であった。「自分のトラックで取りに行っても細かい炭を買いたい」という農家の声もあった。

この業者のインタビュー時点での炭焼きの

収支を p.53 で示した農家からの聞き取り結果も参照して試算したところ、細かい炭を土壌施用用に売るとともに、冷却装置を設置して木酢液を回収・販売したら、1 回当たりの炭焼きで現在の 4 倍の収入になることが分かった。

A. 現在 = 塊の炭の販売金額

12 袋 × 260 ペソ/袋 = 3120 ペソ (①)

B. 将来的な販売金額 = ① + 木酢液の販売金額 (②) + 細かい炭の販売金額 (③)

・ 1 袋あたりの炭の重量は約 15kg (p.53 聞き取り)、すなわち 12 袋の炭の重量は計 180kg。炭 7.5kg から 6 L、すなわち、炭 1 kg から 0.8L の木酢液が取れる。木酢液を農業用に販売する場合、1 L の木酢液を 67 ペソで販売出来ると試算。

② : $180\text{kg} \times 0.8\text{L/kg} \times 67 \text{ ペソ/L}$

= 9648 ペソ

・ 炭の約 1 割程度の細かい炭が副産物として生み出される。すなわち塊の炭 12 袋製造時に得られる細かい炭の重量は計 18kg。細かい炭 1 袋 (約 27kg) が 100 ペソで販売可能であると仮定。

③ : $18\text{kg} \div 27\text{kg} \times 100 \text{ ペソ} \div 67 \text{ ペソ}$

合計 (① + ② + ③) = 1 万 2835 ペソ (9715

ペソの収入増 : 現在の収入のおよそ 4 倍)

パンガシナン州でも細かい炭と木酢液の普及を進めており、州内での需要も見込まれる。

ベンゲット州で利用する場合、パンガシナン州からベンゲット州に炭を運搬³⁰ する必要があるが、サラダボウルベンゲット州からパンガシナン州を通して首都マニラに野菜を運ぶ一部のトラックは帰り荷を積んでいない。これらのトラックに炭を積み込めば輸送費はかなり抑えられると考えられる。

上記の土壌施用に適した炭の供給源の探索と並行して炭利用の普及活動も推進した。先進地研修では、従来の SAVERS の講義を、炭の効果に関する講義と木酢液とたい肥の効果に関する講義に分け、炭の効果、施用方法を詳しく説明した。さらに、炭の施用量も「細かい炭を両手ですくった量 (約 250g) を 1 m² に施用」と分かりやすく説明した。ベンゲット州のセミナーでも炭の施用量を具体的に説明しつつ、各参加者に 5 kg 程度 (約 20m² 分) の細かい炭を配布した。

もみ殻燐炭も利用可能である。フィリピンの平地ではコメを栽培しており、もみ殻を炭化して燐炭を作っている。ほとんどコメを栽培していないベンゲット州にも、もみ殻燐炭を販売している業者がいる。このため、炭に興味を持った農家が、まずはもみ殻燐炭を利用し、さらに、現在未利用の炭焼き小屋の細かい炭も利用するようになることが期待される。

2) 炭・木酢の原料となる木材等の入手の困難性

これはベンゲット州で顕著な問題である。フィリピンでも森林伐採が厳しく制限されるようになっている³¹。熱帯の低地³²に位置する州ではココナツ殻などの有機農業廃棄物も豊富で、木の生育も速い。一方、高地に位置するベンゲット州ではココナツ殻等の有機農

³⁰ この炭焼き施設のあるサンカルロス市からベンゲット州の州都のラ・トリニダード市まで車で 3 時間弱かかる。

³¹ Executive Order No. 23 (President of the Philippines 2011) の発出後、Department of Environment and Natural Resources によって森林資源保護に関する様々な指令が出されている。

³² ここではココナツやマンゴーといった熱帯作物を栽培している地域を「低地」と呼んでいる。

業廃棄物が少なく、木の生育も遅い。このため、森林伐採の制限が強まる中、ベンゲット州では過去建設された町営の2つの木酢施設が主に原料の不足によって閉鎖されている。これらの町でセミナーを実施した際に、「過去、町の施設で製造された木酢液を利用していたが、施設が閉鎖されたために木酢液利用を止めてしまった」という数人の農家に会った。

現在運営されている2つの町営の製造施設は、主に町所有の林で育てた木を原料に利用している。このため、通常は原料に不自由することはない。しかし、今後木酢液を利用する農家が多くなり、消費量が増大すると、原料不足のために製造が消費に追いつかない事態も考えられる。

ベンゲット州での炭・木酢液の原料不足を解決するために、JAECは、2024年に試験的に、ベンゲット州のラ・トリニダード町でココナツ殻を無料で入手、野菜を運んだ帰り荷で4時間かけてこれをブギアス町に運び、これを原料に炭・木酢液を製造してもらった。ココナツ殻を原料にしても木酢液製造には問題がなかったとのことであった。

フィリピンでも高原地帯のベンゲット州ではココナツは栽培されていないが、観光地で人口も多いバギオ市およびラ・トリニダード町ではココナツが大量に消費されており、ココナツを取り出した殻が無料で入手できる。

一方、ブギアス町の一部の農家はバギオ市やラ・トリニダード町の市場まで野菜を自分のトラックで運んで、その帰りは積み荷なしで帰ってきている。このため、今後仮に需要が急増しても、ブギアス町が木酢液購入農家に要請してバギオ市およびラ・トリニダード町からの帰り荷にココナツ殻を運んできてもらうように手配することは可能である。また、原料不足のために一度運営を止めた施設も、この方法で原料を調達すれば運営再開は可能である。

3) 短命な木酢施設

前述のJAECのファンドで建設した木酢施設では、燃焼装置を鋼製のドラム缶で製作していた。ドラム缶は炭焼きに利用しても、メンテナンスをしっかりとすれば10年以上持つ³³と言われている。JAECが設置して自分たちで利用していた木酢施設も3年利用して問題なかった。

しかしながら、かなり多くの木酢施設設置者から、ドラム缶が利用開始後数ヶ月で壊れてしまった、との報告を受けた。幾つかの組織からは、「ドラムが焼き切れてしまった」との説明を受けた。これは、ドラム缶に入れた木質の材料を早く焼き終わってしまおうとして燃焼装置に空気を大量に送り込み、燃焼装置内を高温にしすぎている可能性がある³⁴。他に燃焼装置への水の浸入による腐食もドラムの損傷の原因として考えられる。

ベンゲット州内のある木酢施設はステンレス製の燃焼装置を持っており、3年利用しても問題なく利用できている、との情報を得た。ステンレスは腐食に対する耐性が強く、ある程度的高温にも耐えられる³⁵ので、ステンレス製の木酢施設の耐用年数が長いと考えら

³³大矢（2002）

³⁴日本でもドラム缶式窯で炭焼きすると熱でドラム缶が変形するとの報告がある（市村）。

³⁵SAVERSで利用を推奨している黒炭は400～700℃で製造される（林政部経営課特用林産対策室）。一方、一般的に利用されているSUS304は800℃までの耐熱性がある（フィリアル株式会社2024）ので、黒炭の製造温度の範囲内の高温に耐えられる。

れる³⁶。

銅製のドラム缶（中古）が2800ペソなのに対しステンレスの燃焼装置は1万8000ペソである。このため、当時、JAEC内では、最低賃金が1日あたり470ペソ³⁷といったフィリピンの地方部で農家にとって高価なステンレス製の燃焼装置を受領した組織が更新時に同じ装置を買えるか、という懸念があった。しかし、地方政府や農民組織の木酢施設の寿命が延びれば、それらの施設がより長い間「ショーケース」として機能し、結果として木酢液または炭の作物栽培への利用を通して木酢施設に興味を持つ農民の数も増えると思われる。このため、プロジェクト終了の直前の2025年2～3月にかけて、ステンレス製の燃焼装置を製造して、要請があった15組織に配布、配布したものを銅製のドラム缶の代わりに使ってもらうようにした。ステンレス製の燃焼装置の配布と並行して、「燃焼装置内を高温にしないように」という注意事項を含んだ施設の使い方のバナーをJAECの費用で製造した全ての木酢施設に配布した。さらに、各組織には、興味を持った農民に「ドラム缶製の燃焼施設もある」と説明するように要請した。興味を持った農民が木酢施設の設置を検討する際に、ドラム製とステンレス製を比べ、自分を買える材料を選ぶと期待できる。

³⁶ 日本でもドラム缶式窯が直ぐ変形するのでステンレス製の窯に替えたとの報告がある（倉敷ケーブルテレビ）。

³⁷ ベンゲット州を含む地域の2024年11月から適用された最低賃金（Department of Labor and Employment 2024）。

³⁸ J-クレジットの制度管理者である日本政府が承認した方法（J-クレジット制度事務局 HP）に従って製造、施用されたものに限る。

³⁹ JETRO

おわりに

JAECは2025年3月をもってプロジェクトを終了した。しかし、少なくともベンゲット州では3つの木酢施設で製造された木酢液が市場に流通しており、パンガシナン州でも2つの木酢施設で木酢液を製造、これらの施設の研修生にも木酢液製造・利用の仕方が教えられている。JAECの公的活動資金で建設された木酢施設の多くは事業終了後もショーケースとして機能すると期待できる。これらのことから、木酢液の生産・施用は事業終了後も続けられると考えられる。

一方、バイオチャー（炭）の農地への施用が日本政府の「J-クレジット制度」でカーボンクレジットの対象として認められ³⁸、この制度に基づいた炭の施用が始まっている。フィリピンでも、もみ殻からの炭生成によるカーボンクレジットの実証実験が計画されている³⁹。今後、フィリピンで炭の生産・施用がカーボンクレジットとして認められるためには、JCM（二国間クレジット制度）などの制度下での方法論が確立される必要があるが、SAVERSの普及を通じて炭の施用を経験した農業省、州政府などが方法論確立のための試験に積極的に参加することが期待できる。また、土づくりの一環として炭の施用が普及されたことから、方法論が確立された後でも、農家は「カーボンクレジットの取得」のためではなく「土づくり」のためにも炭の施用に積極的に取り組むことが期待される。

日本でも2021年にみどりの食料システム戦略が策定されるなど、農業分野でも世界的にSDGsや環境を重視する動きが加速している。このような状況の中で、フィリピンでは、

今後も低化学農薬・化学肥料栽培を目指すSAVERSの各技術が重要視され続けられる。

引用・参考文献

- Agricultural, Training Institute Cordillera Administrative Region (2022) : Mokusaku Production. <https://www.youtube.com/watch?v=INGNip25cQA> (アクセス日 2025 年 11 月 16 日).
- 青森県「攻めの農林水産業」推進本部 (2000) : 「健康な土づくり」技術マニュアル. https://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/hozen_type/h_sehi_kizyun/aomori01.html (アクセス日 2025 年 11 月 16 日).
- Carino, D. (2007) : Benguet leaders urged to ban toxic chemicals. Philippines Daily Inquiries, August 20, 2007.
- 地力増進法施行令 (昭和 59 年 10 月 1 日政令第 299 号).
- Department of Labor and Employment (2024) : WAGE ORDER NO. CAR. 23, Nov. 13, 2024. Republic of the Philippines.
- フィリール株式会社 (2024) : SUS 304 ステンレスの温度限界！知っておくべき耐熱データ. <https://stainless-steel-milling.com/sus-304-stainless-temperature-limits-heat-resistant-data/> (アクセス日 2025 年 11 月 16 日).
- 樋口清之 (1993) : 新装版日本木炭史. 講談社学術文庫.
- 市村正也 : ドラム缶を使った炭焼き. みたけ 500 万人の木曽川水トラスト HP. <https://mitake500npn.coocan.jp/archives/drum.pdf> (アクセス日 2025 年 11 月 16 日).
- Japan Agricultural Exchange Council (2021) : SAVERS Technology Farmers Practices in Benguet. Japan Agricultural Exchange Council.
- J クレジット制度事務局 : バイオ炭の農地施用, AG-004 (Ver. 2.4). https://japancredit.go.jp/pdf/methodology/AG-004_v24.pdf (アクセス日 2025 年 11 月 16 日).
- JETRO : 水田メタンガス削減及び穀穀バイオ炭生成によるカーボンクレジット実証事業. 「グローバルサウス未来志向型共創等事業 (大型実証 ASEAN 加盟国)」における採択事業者について, https://www.jetro.go.jp/ext_images/services/global_south/kekka-gsl/pdf/05.pdf (アクセス日 2025 年 11 月 16 日).
- 木嶋利男 (2008) : 使い方のポイント①濃度によって生物への作用が大きく変わる. 減農薬の宝庫 木酢・竹酢・モミ酢とことん活用読本, 農山漁村文化協会, P32-33.
- 岸本定吉監修 (1991) : 木酢・炭で減農薬使い方と作り方. 農山漁村文化協会.
- 倉敷ケーブルテレビ : ドラム缶炭窯の製作. 倉敷ケーブルテレビ HP. http://www3.kct.ne.jp/~mamoru_y/sumigama.html (アクセス日 2025 年 11 月 16 日).
- Lehmann, J., Rillig, M. C., Thies, J., Masiello, C. A., Hockaday, W. C. and David Crowley, D. (2011) : Biochar effects on soil biota – A review. Soil Biology and Biochemistry, Volume 43, Issue 9, September 2011, Pages 1812-1836.
- Lu, J. L. (2011) : Farmers` Exposure to Pesticides and Pesticide Residues in Soils and Crops in Benguet Philippines. Philippine Journal of Crop Science, December 2011, 36 (3) 19-27.

- 宮崎安貞 (1697) : 農業全書.
- 日本バイオ炭普及会 (2019) : 土壌改良用バイオ炭の施用目安. <https://biochar.jp/wp-content/uploads/2019/09/seyoumeyasu.pdf> (アクセス日 2025 年 11 月 16 日).
- 日本木酢液協会 : 農業への利用の可能性について, 日本木酢液協会 HP. <https://www.nihonmokusaku.jp/youto-gutairei/riyokanousei/> (アクセス日 2025 年 11 月 16 日).
- 大矢 (2002) : ドラム缶窯による炭やき法. 長野県林業センター技術情報, No.111, P8-9.
- President of the Philippines (2011) : Declaring a moratorium on the cutting and harvesting of trees in natural and residual forests and creating the Anti-Illegal Logging Task Force. Executive Order No. 23.
- Pugay, E. B., Suriso, M. A., and Dimapilis, E. F. (2018) : Utilization of wood vinegar 'MOKUSAKU' technology as pesticide and fertilizer for selected high value fruit bearing trees and plantation crops in Calabarzon. Terminal Report Submitted to the Office of the Bureau of Agricultural Research, Quezon City.
- 林政部経営課特用林産対策室 : 木炭の種類. 林野庁 HP. <https://www.rinya.maff.go.jp/j/tokuyou/mokutan/syurui.html> (アクセス日 2025 年 11 月 16 日).
- 澁谷栄, 山内繁, 桐越和子, 谷田貝光克 (2014) : 木酢液類の化学的消臭効果. 日本木材学会誌, Vol.60, NO. 5, p.261-268.
- 杉浦銀二・広若剛士 (2024) : すぐにできるドラム缶炭やき術. 創森社.
- 寺下隆喜代 (1960) : 土壌微生物のフロラに及ぼす木酢液の影響. 日本林学会誌, 42(2), P52-60.
- (元公益社団法人国際農業者交流協会
現地シニアプロジェクトコーディネーター)

「国際農林業協力」誌編集委員（五十音順）

池 上 彰 英	（明治大学農学部 教授）
板 垣 啓四郎	（東京農業大学 名誉教授）
勝 俣 誠	（明治学院大学 名誉教授）
北 中 真 人	（元一般財団法人ササカワ・アフリカ財団 顧問）
熊 谷 徹	（一般社団法人海外農業開発コンサルタンツ協会 企画部長）
高 原 繁	（公益財団法人国際緑化推進センター 専務理事）
西 牧 隆 壯	（公益社団法人国際農林業協働協会 顧問）
藤 家 梓	（元千葉県農業総合研究センター センター長）

国際農林業協力 Vol.48 No.3 通巻第 216 号

発行月日 令和 7 年 12 月 26 日

発 行 所 公益社団法人 国際農林業協働協会

編集発行責任者 専務理事 西山明彦

〒101-0047 東京都千代田区内神田 1 丁目 5 番 13 号

内神田 TK ビル 4 階（北）

TEL (03)5772-7880 FAX (03)5772-7680

ウェブサイト www.jaicaf.or.jp

印刷所 NPC 日本印刷株式会社

International Cooperation of Agriculture and Forestry

Vol. 48, No.3

Contents

Linking Agricultural Technologies to Extension Appropriately.

ITAGAKI Keishiro

Recent Trends in Agricultural Techniques

Soil Salinization Due to Irrigation Agriculture and Establishment of Sustainable Measurements.

ONISHI Junya

Towards Genomics-Based Improvement of Rice in Madagascar.

UEDA Yoshiaki

Current Status of Soil-borne Diseases in Lao PDR, with Special Reference to the Case of Cabbage Clubroot Disease.

NITTA Naoto

Cabbage Farmer's Story of Overcoming Clubroot Disease.

TANABE Yoshimi

Approaches to Gaining Insights into Farmers' Realities

—Lessons Learned from the Rice Technical Cooperation Project in Liberia—.

TAKEMURA Mitsuharu

Extension Activities of a Low-chemical Farming Technology in the Philippines.

KODAMA Hiroshi