

2024 年度日本農学会
シンポジウム講演要旨 (web)

国際貢献する日本の農学

日 時：2024(令和 6)年 10 月 5 日 (土) 10 時～17 時 10 分

会 場：東京大学弥生講堂 / オンライン配信

一般社団法人 日本農学会

目 次

開催趣旨	3
イネの分子育種を用いた食料問題緩和へのチャレンジ	4
名古屋大学 生物機能開発利用研究センター 芦荊 基行	
サブサハラアフリカの食料危機に立ち向かう作物科学	9
国際農林水産業研究センター 辻本 泰弘	
脱炭素世界での糖獲得戦略 ー世界と協調して糖を利用していくためにはー	15
東京大学大学院農学生命科学研究科 五十嵐 圭日子	
モンゴル遊牧民伝承に基づく家畜の健康維持と荒廃草原の回復	19
東京大学大学院農学生命科学研究科 浅見 忠男	
エビ類養殖業の現状と研究と技術開発を通じた国際貢献のあり方	23
国際農林水産業研究センター マーシー・ワイルダー	
農地における温室効果ガスの発生量推定と発生削減技術	29
農研機構 農業環境研究部門 秋山 博子	
環境変動対策を支える森林研究 ～長期的な観測から見えてきたこと～	32
森林総合研究所 佐藤 保	
国際農林水産業研究センター（JIRCAS）の国際共同研究	38
国際農林水産業研究センター 小山 修	
講演者プロフィール	43
企画委員会名簿	(裏表紙裏)

開催趣旨

日本はこれまで長年にわたり公的な資金を投入して発展途上国を中心とした農林水産業の発展に貢献してきました。例えば、1954年に開始された政府開発援助(ODA)においては、アジア・アフリカなどの農業基盤の整備、品種改良、現地に適した栽培技術の開発などにおいて日本の農学に関わる研究者・技術者が多数関わって大きな成果を挙げてきました。また、国際農業研究協議グループ(CGIAR)傘下の国際研究機関における研究開発にも多数参画しており、2008年より実施されている「地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム」(SATREPS)を通じた日本と開発途上国との国際共同研究においても成果をあげています。

また、地球規模での環境変動による自然災害や農業への影響が増大しているなかで、IPCC(気候変動に関する政府間パネル)による報告書作成にあたり、日本の農学研究者はモデルを用いた解析手法の開発、それを用いた基礎情報の提供などで重要な役割を果たしています。このように、日本の農学研究者はわが国の農林水産業への貢献に加えて、国際的な面でも様々な貢献をしてきています。

一方、IPCCが2023年第6次報告書で、「人間の影響が大気、海洋及び陸域を温暖化させてきたことには疑う余地がない」と最大級の警告を発しているように、日本はもとより世界規模での温暖化対策は喫緊の課題であります。また、ロシアのウクライナ侵攻で顕在化したように、世界のブロック化による食料や生産資材の供給を含めた国際的なフードサプライチェーンの脆弱性が明らかになっています。しかし、我が国のカロリーベースの食料自給率は2023年度で37%と低い状態が続き、政府の掛け声にも拘わらず今後も上昇する兆しは見えません。

国際的なフードサプライチェーンを安定的に維持することは食料安全保障の観点からも重要です。そして、なによりも、SDGsの目標の一つである世界の飢餓撲滅のために、特に開発途上国における食料の安定生産と農林水産業の発展が求められており、そのために日本の農学研究者が果たすべき役割は一層高まっていると言えます。

本シンポジウムでは、最近の日本の農学の様々な分野における国際貢献の現状や成果を紹介し、今後も増大する国際的課題に農学がどのような役割を果たすべきか、様々な角度から議論を深めたいと考えます。

2024年10月

一般社団法人日本農学会会長

大杉 立

イネの分子育種を用いた食料問題緩和へのチャレンジ

芦 莉 基 行

名古屋大学 生物機能開発利用研究センター

1. 始めに

我々人類が日々食する作物は、もともと地球上に存在していたわけではなく、その祖先野生種に自然発生した突然変異の中から、人類に都合の良い形質を選抜し続け栽培化したものである。人類はその後も人為的に突然変異を誘発したり、交配によって遺伝変異をミックスしたりするなど、様々な品種を生み出した。すなわち、人類は DNA の変異を利用して作物の改良を行って来たわけであり、有用な農業形質を導く遺伝変異を明らかにして、その分子メカニズムを理解することは、今後の作物育種の可能性を広げるものとなる。本講演では、イネの有用農業形質を制御する遺伝子の同定とそれを利用した分子育種について紹介する。

2. 定期的な洪水に適応した作物

植物は一般的に着生した場所で一生を過ごすため、生育場所が過酷な環境に変化しても受け入れなければならない。植物は多種多様な環境に合わせた形態的、生理的な適応を行い、地球各地の様々な地域に生息している。河川や池、湖周辺などの水辺に生育している陸上植物は、生物の生存に不可欠な水分の摂取に関してメリットがある一方、過度の降雨による洪水の影響によって冠水し溺死してしまうリスクを負っている。これは水中における気体の拡散速度が大気中に比べて約 10,000 倍小さく、また水中に溶存する酸素、二酸化炭素の量が空気中に比べ少ないため、呼吸や光合成のために必要な酸素や二酸化炭素などの気体の摂取が大きく制限されることに起因している。このように、冠水ストレスは植物の生育に深刻な影響を与える。南、東南アジアでは、雨季の長期間の降雨によって、時に水深が数 m にも及ぶような洪水が 3~4 ヶ月続く。このような洪水環境では作物栽培は困難である。しかし、このような定期的に洪水が発生する地域に適応した作物があり、それが浮イネである。浮イネは水位の上昇とともに節間(茎)を急速に伸長させ葉先を水面から出すことにより、大気から酸素を摂取して水面下の組織へ送り届けることにより、洪水発生地帯でも生育することができる(図 1)。

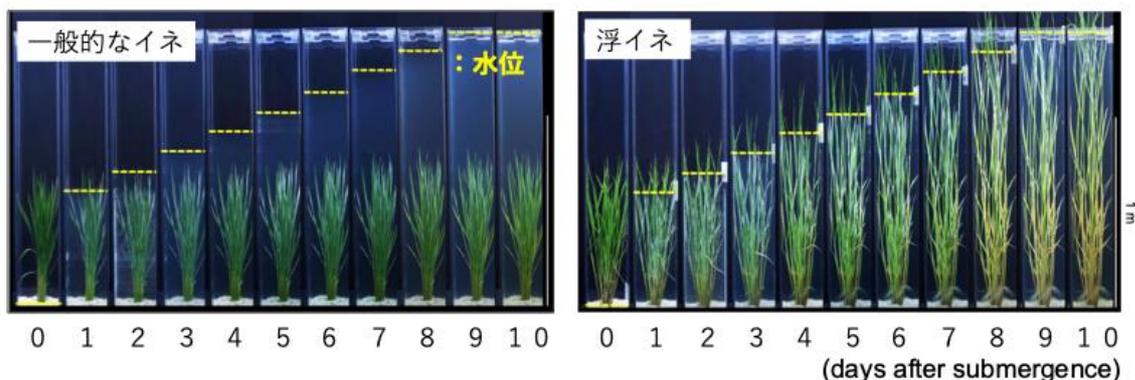


図1 浮イネの冠水依存的な茎伸長

3. 浮イネの冠水依存的な節間伸長の分子機構

浮イネと一般的な栽培イネの交雑集団を用いて、冠水依存的な節間伸長を司る4つの主要な遺伝子座を検出した(Hattori *et al.* 2007) (図 2)。その後、分子遺伝学的手法を用いて、これらの遺伝子を1つ1つ同定し、それぞれの機能解析を進めたところ、ACE1 (Accelerator of Internode Elongation1) は機能未知の短いタンパク質をコードしており、茎伸長を促進する因子であることが明らかになった。調査した約 600 系統の日本型イネ全てで ACE1 に 1bp の挿入が存在し、日本型イネは ACE1 を機能喪失していることが明らかになり、日本のイネは機能型の ACE1 を保持していないことが判明した。一方、DEC1 (Decelerator of Internode Elongation1) は C2H2 ジンクフィンガー型転写因子をコードし、節間伸長を抑制していることが明らかになり、冠水依存的に遺伝子発現が減少することで、節間伸長が促進されることが判明した(Nagai *et al.* 2020)。GA20 酸化酵素 2 (GA20ox2) は GA 生合成経路のうち GA53 から GA20 または GA12 から GA9 を触媒する酵素遺伝子であり、冠水依存的に発現上昇することで活性型 GA の生産を行う(Kuroha *et al.* 2020)。SK1、SK2 は AP2 型の転写因子をコードしており、冠水依存的に節間での遺伝子発現が上昇し、節間伸長を促進することが判明した(Hattori *et al.* 2009, Nagai *et al.* 2022)。このように、浮イネの冠水依存的な節間伸長を制御する遺伝子が同定できると、これらの遺伝子を用いて、一般的なイネを浮イネに改良することが可能となる。

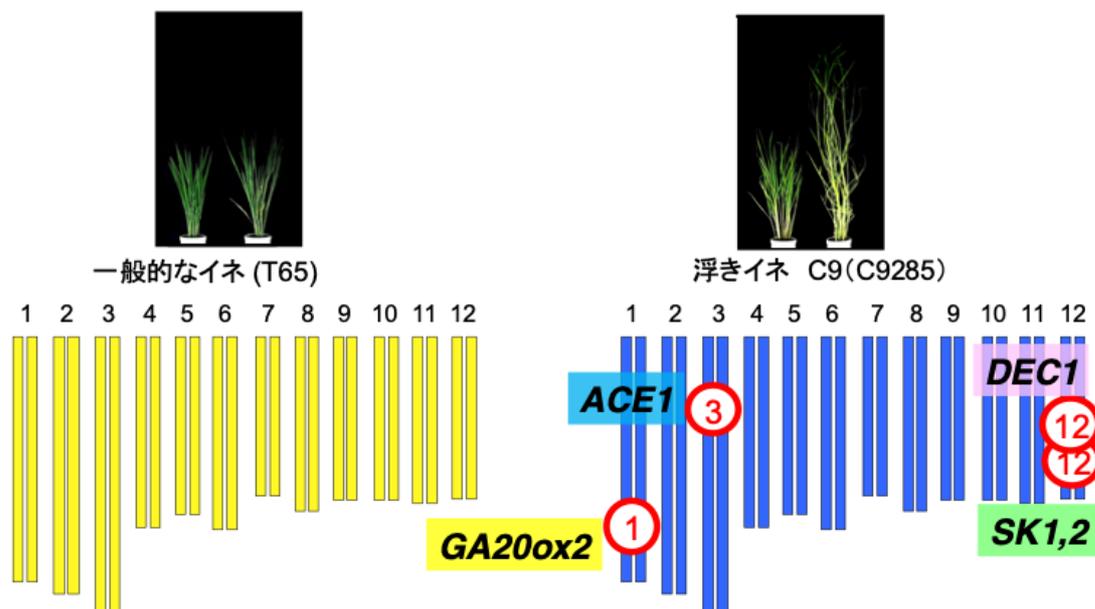


図 2 浮イネの冠水依存的な茎伸長を制御する主要遺伝子

4. 浮イネの遺伝子を用いた分子育種の可能性

遺伝子が同定できると、交配と DNA マーカーを用いたマーカー選抜育種が可能となる。浮イネと日本型品種 (T65) を交雑後、DNA マーカー選抜と戻し交雑を用いて、遺伝子領域を 1 つ T65 に置換した系統、2 つの遺伝子領域を置換した系統、3 つの遺伝子領域を置換した系統を作出した(図 3 Hattori *et al.* 2009 より引用)。このとき、第 12 染色体に座乗している DEC1 と SK 遺伝子を切り離すことが困難で、2 つの遺伝子領域をセットで置換した。その結果、遺伝

子を集積すればするほど冠水依存的な節間伸長をすることが判明した(図 3)。これらの結果は、遺伝子の集積パターンによって、冠水依存的な節間伸長の程度を調整できることを示している。現在、この研究成果を基にした浮イネの品種育成プロジェクトがバングラデシュで始まろうとしている。

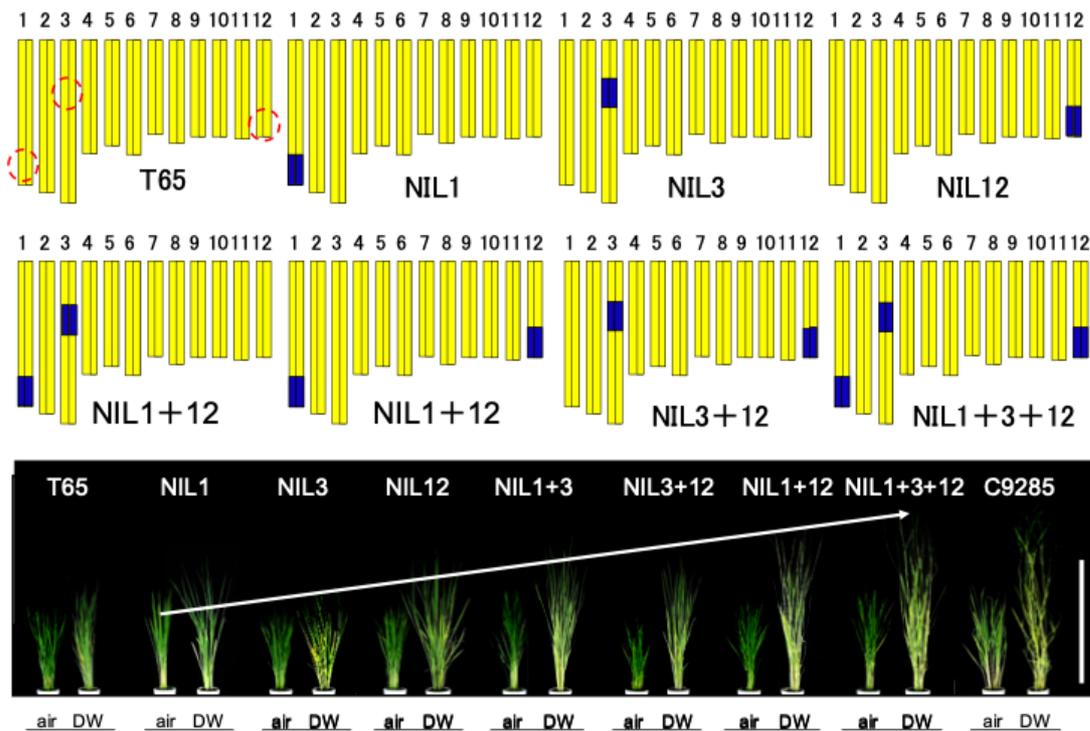


図 3 浮イネの遺伝子を利用した分子育種

5. イネの種子数に関わる遺伝子の探索

イネの収量性に関わる遺伝子の探索に、日本晴と ST12 の 2 品種を供試した。両者の 1 穂粒数を比較すると、

日本晴では約 150 粒の種子が、ST12 では 487 粒の種子が着生する。また 1 次枝梗数も大きく異なり、日本晴の 1 次枝梗数は約 11 本なのに対して、ST12 は約 28 本である。これらの形質を制御する遺伝子座の探索を行ったところ、第 1 染色体に *Gn1a* 遺伝子と第 8 染色体に *WFP* 遺伝子を見いだした(図 4)。その後、それぞれの遺伝子の同定を行ったところ、*Gn1a* はサイトカニンの分解酵素をコードしており、この遺伝子が機能喪失するとサイトカニンが蓄積する。*WFP* は *SPL14* と呼ばれる転写因子をコードし、花序で発現しており、発現量が高くなると 1 次枝梗数を促進することが明らかになった。

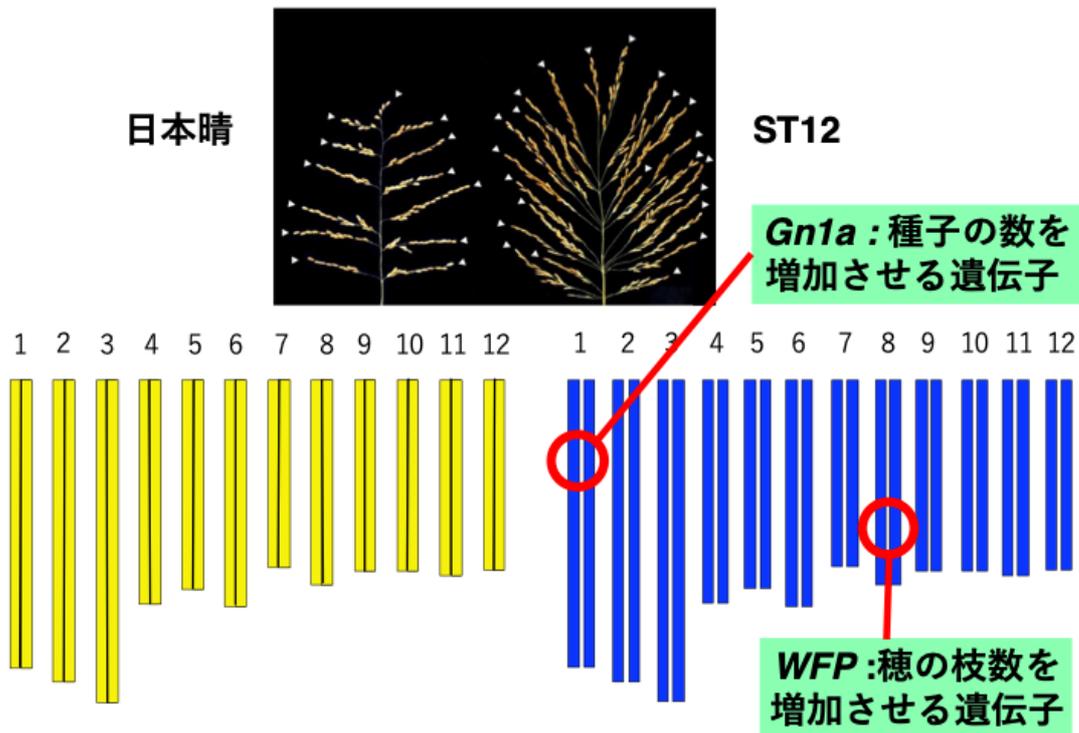


図4 着粒数を制御する遺伝子の同定

6. 浮イネの遺伝子を用いた分子育種の可能性

イネの着粒数に関する遺伝子が同定されたのをきっかけに、これらの遺伝子を利用した分子育種に挑戦を始めた。近年、アフリカでのコメ需要の高まりもあり、アフリカで普及しているNERICA米をテストケースとして用いることとした。NERICA1号にST12を交配したのち、NERICA1号を戻し交雑し、分子マーカーを用いてNERICA1号の遺伝的背景にST12が保持する*Gn1a*遺伝子と*WFP*遺伝子を導入した。その結果、元々のNERICA1号に比べ、*Gn1a*遺伝子と*WFP*遺伝子をそれぞれ導入した系統は、着粒数が増加した(図5)。また両方の遺伝子を導入した系統はさらに増加した。続いて、これらの系統をケニアの圃場で生育し、収量調査を行ったところ、NERICA1号に比べ収穫量が増加した。本講演では、農業形質を制御する遺伝子の同定と分子育種の可能性について紹介する。

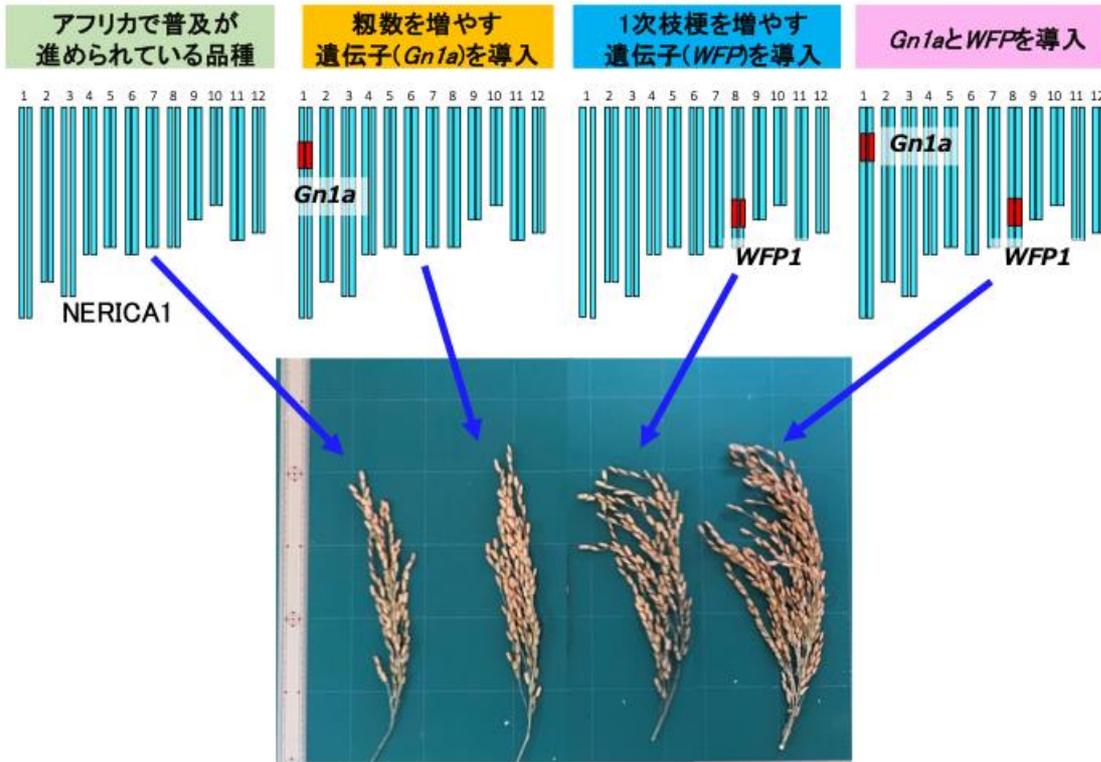


図5 着粒数を制御する遺伝子を利用した分子育種

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

国際農林水産業研究センター

【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、ヘクタール当たり1.7トンと極端に低く、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応える食料供給は、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のに対して、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

（ヘクタール当たり1.7トンから3.8トンに増加）、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らの温室効果ガス排出量は、

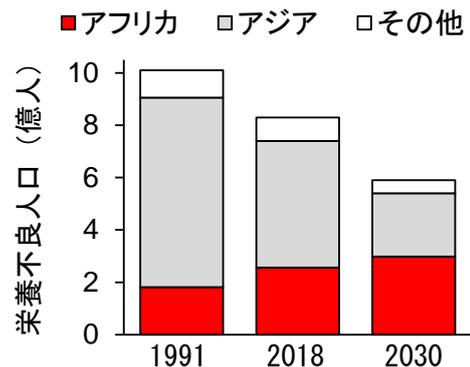


図1. 世界の栄養不良（飢餓）人口の推移と予測（FAO資料より筆者作成）

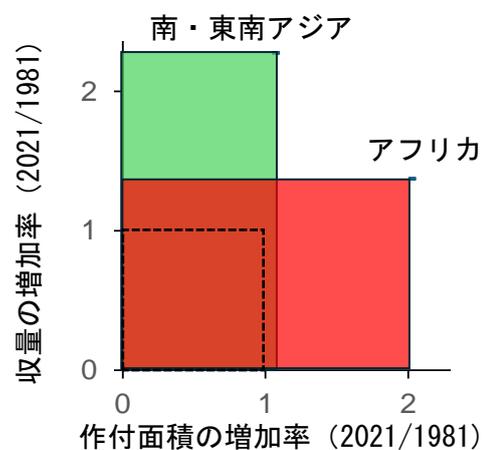


図2. アフリカと南・東南アジアにおける過去40年間の穀物の作付面積および収量の増加率（1981年の値を1として）（FAO資料より筆者作成）

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ヘクタール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、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、それぞれヘクタール当り 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よって水稻のリン施肥応答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。

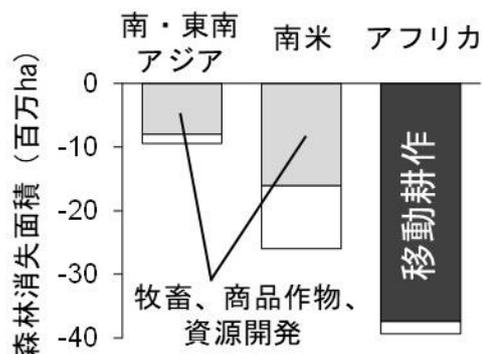


図3. 2010年代の森林消失面積と要因の地域比較 (FAOSTAT; Curtis et al., 2018より筆者作成)。



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の要因として指摘される。

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 トン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

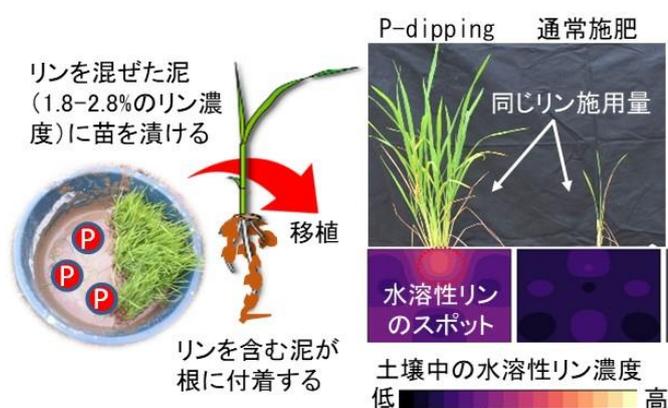


図6. P-dippingの手法と効果

壤でも、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、ヘクタールあたりのコメの平均収量が 3.7 トンから 4.8 トンと約 1.1 トン（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。



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）

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（水稲新品種 *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、計量経済学的手法を用いて、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ら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現の場である」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。

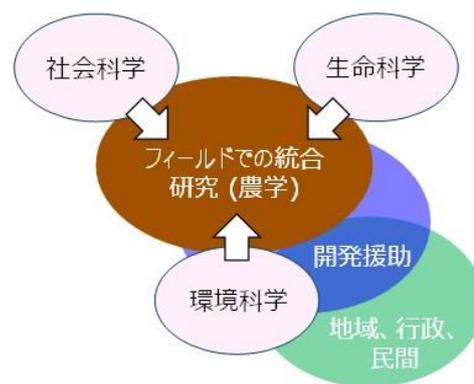


図8. フィールドを中心に様々なステークホルダーと共創する超学際的な農学研究のイメージ図(堀江(2009)をもとに筆者作成)

【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.

脱炭素世界での糖獲得戦略

—世界と協調して糖を利用していくためには—

五十嵐 圭 日子

東京大学 大学院農学生命科学研究科

1. バイオマスを構成する糖

「バイオマス(Biomass)」には、「特定の地域に生息する生物の総量(the total amount of living things in a particular area)」という広義の意味と、「燃料に適した動植物の死骸(dead plant and animal material suitable for using as fuel)」という狭義の意味がある¹⁾が、糖との関係で語られるときは前者を考えるのが適当であろう。ごく最近、地球上に存在するバイオマスの総量が、炭素換算で約550Gt C(Gtは10億トン、Cは炭素換算)であるとされ、そのうちの450Gt C程度が陸上植物であると報告された(図2)²⁾。同じ報告の中では、バイオマスとしてのヒトの総量が0.06Gt Cで、野生哺乳類の総量の10倍近くあり、家畜はさらにその1.5倍にも達するという結果も示されている。すなわち、私たち人間が糖を含む植物を主食、すなわちエネルギー源としていること、さらに蛋白質源として利用している家畜にも飼料として糖を含む穀物が大量に用いられている現状を考えると、地球上に存在する糖を今後どのように利用していくかは、人類の双肩にかかっているとと言える。

その一方で、陸上植物の大部分を占めるのは、グルコースのホモポリマー(単一の構成単位からなる高分子化合物)であるセルロースである。セルロースは植物細胞壁の主成分であり、表1に示すように多くの陸上植物で4割程度を構成していることから、地球上におけるバイオマス150~200Gt C程度を占めることになる。セルロースに次いで多いのが、広葉樹や草本のヘミセルロースの主成分であるキシランの主鎖を構成するキシロース、針葉樹の代表的なヘミセルロースである

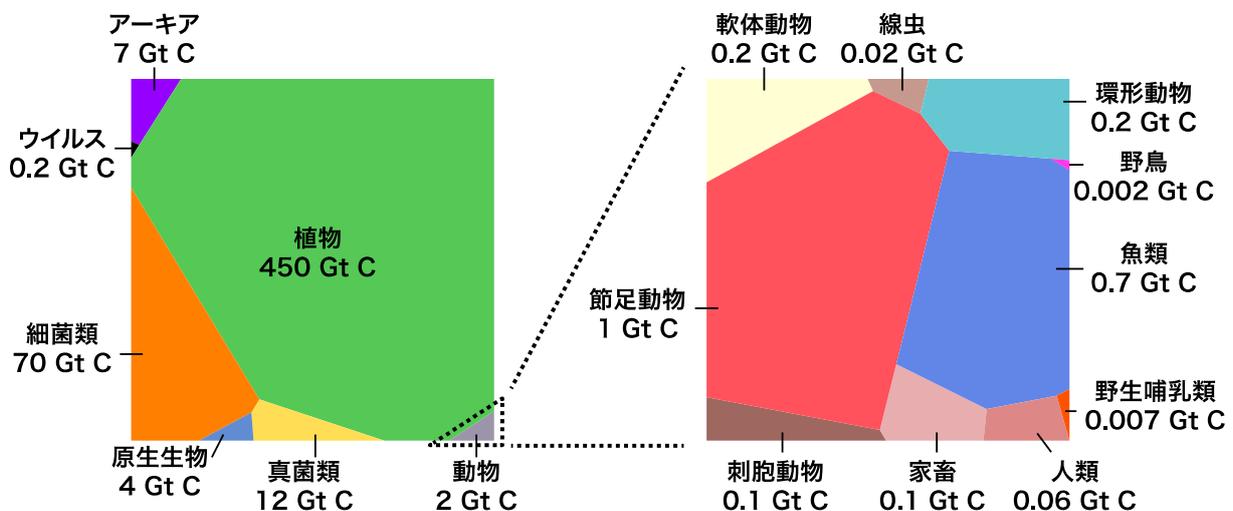


図1 地球上のバイオマスを構成する生物種²⁾

グルコマンナンを構成するマンノースとなる。この中でマンノースは、グルコースと同様炭素を分子内に六個持つ「六炭糖（ヘキソース）」であるため、ヘキソキナーゼによってマンノース6-リン酸にされた後、マンノース6-リン酸イソメラーゼによりフラクトース6-リン酸に変換されて、解糖系で異化される。一方、キシロースは五炭糖（ペントース）で、キシロース→キシロース5-リン酸を経てペントースリン酸経路によって代謝される。このようにヘキソースとペントースでは、生物による代謝経路が明らかに異なるため、バイオマスから得られる糖を人類が利用していくときに、単純にある糖の賦存量だけからではなく、様々な観点から利用の方向性を考えることが重要である。

表 1 代表的な広葉樹、針葉樹およびイネ科植物における糖組成

	ブナ ³⁾	トウヒ ⁴⁾	ススキ ^{5,6)}
Cellulose	36.3	44.0	38.2
Hemicellulose	34.7	23.9	24.3
Arabinose	0.72	1.48	1.80
Xylose	25.8	5.98	19.0
Galactose	1.05	2.46	0.40
Glucose	1.91	3.06	0.27
Mannose	1.60	8.62	0.10
Rhamnose	0.63	0.26	0.00

2. セルロース系バイオマスの分画技術

現在、脱炭素社会の構築を目指して、セルロース系バイオマスのからのバイオリファイナリーに関する研究が盛んに行われている。日本国内における原油の需要2億キロリットルのうち、主な用途であるガソリンの需要が約5,000万キロリットル（全需要の約26%、二酸化炭素換算で約117Mt（メガトン）⁷⁾）であるのに対して、化成品の原料となるナフサとして4,400万キロリットル（22%、二酸化炭素換算で約102Mt）も使われており、さらに将来的な自動車の燃費向上や電気自動車の普及等を考えたとき、今後バイオマスの用途が燃料生産からプラスチック原料等の化成品生産（リファイナリー）へと移行していくことが想像される。セルロース系バイオマスのリファイナリーという考え方は、製紙産業や繊維産業に代表されるように決して新しいものではなく、むしろ人間社会で古くから利用されてきた化学プロセスの一つであると言える。しかしながら、現状、バイオマスからのプラスチック生産のほとんどが、抽出した油や糖成分をそのまま、もしくは構成する糖成分を単糖に分解、モノマーに変換し重合させてプラスチックを得ているが、前者の場合は多くが食糧との競合であること、後者では変換過程で経済性とエネルギー効率が低くなるのが問題となっている。そこで、バイオマスを組織構造や分子量の大きさによってカスケード利用ができるよう技術開発をすること、すなわち、未利用バイオマスを酵素等によって変換する際、繊維として残りやすい部分は繊維として利用し、化学的に分解しにくい成分は多糖やオリゴ糖として、そして分解しやすい部分を単糖として利用するための技術開発が求められている。

現状セルロースバイオマスを最も大量に変換している産業は製紙産業であるが、日本製紙連合会の最新報告によると、2024年の紙・板紙の内需量は2,097万トン程度になると予想されている。2000年には3,197万トンの紙・板紙が使われていたことを考えると、今世紀に入ってから我が国における紙の使用量は2/3にまで落ちたことが分かる⁸⁾。一方で、我が国は世界的に見て古紙回収率と利用率が高く、2023年の数字で82%が回収され、67%が利用されており⁹⁾、その差分だけを見ても200万トン、輸出入まで全てを考え合わせると、800万炭素トンを超える未利用バイオマスが存在する。そこからバイオマスプラスチックや代替素材を生産できると、我が国が掲げてい

バイオプラスチック社会普及性を支える バイオマスの変換技術開発

研究機関：東京大学、大阪大学、琉球大学

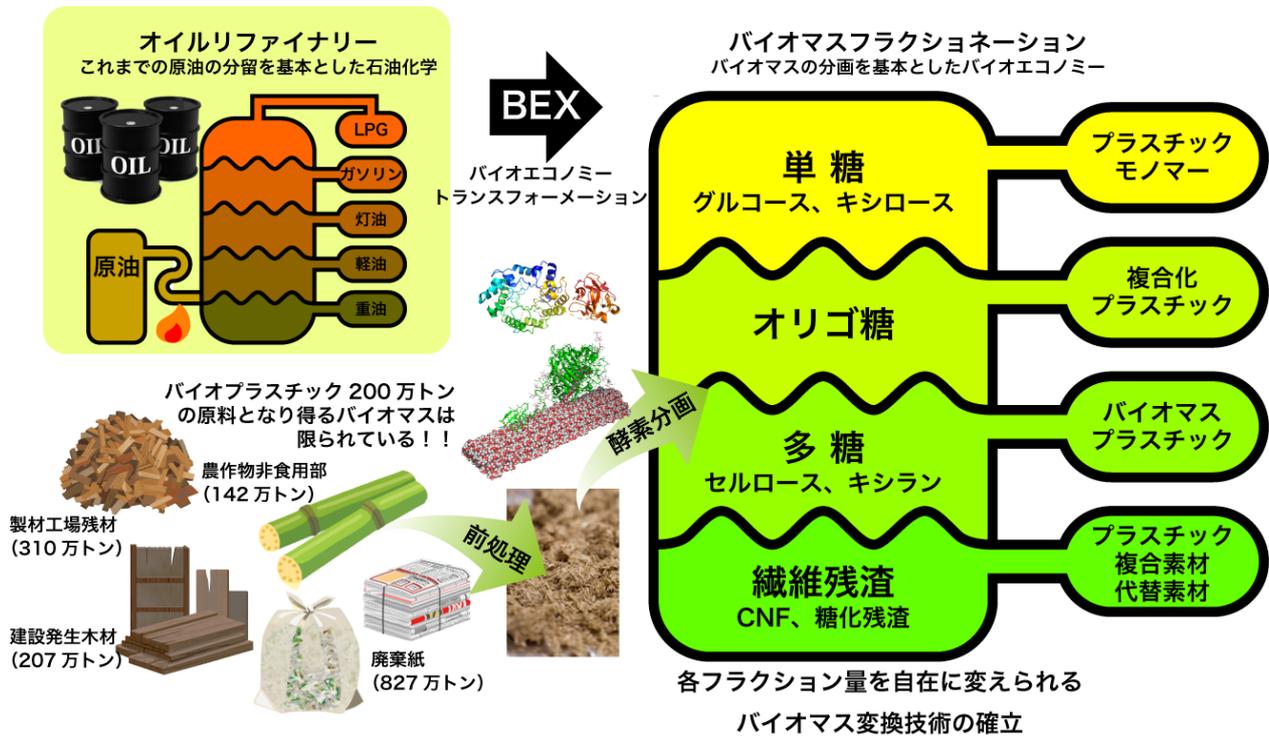


図2 環境再生保全機構（ERCA）環境研究総合推進費で進められているバイオマスフラクショネーション産業に向けたアプローチ

る「2030年までにバイオプラスチック導入約200万トン」という数字に大きく貢献することとなるために、昨今パルプや古紙からのものづくりが大きく注目されることとなっている。

そこで演者らは、廃棄紙や余剰パルプを原料として単糖、オリゴ糖、多糖、繊維残渣を自在の比率で作り分けられる技術開発を行っており、その鍵プロセスとして演者らの研究グループではセルロースやヘミセルロースを加水分解する酵素を使っている。酵素を使ったセルロース系バイオマスの変換技術は、主にバイオエタノールを生産する目的で古くは第二次世界大戦時、さらに1970年代の石油ショックの後も1980年代にかけて盛んに研究が行われたが、石油価格の安定化、化学工業の進展、酵素の生産性や価格などの観点から実用化に至らなかった。一方、1990年代のバイオテクノロジーの進展と2000年代のゲノム情報の利用、さらに硫酸などを用いた化学的糖化の環境へのインパクト等の複合的な必要性から、今世紀に入ってから酵素を用いて糖化することが一般的となっている。しかしながら、セルロース自体は元来安定な化合物であり、酵素の反応効率も硫酸などの協賛と比較すると必ずしも高くないことから、セルロース系バイオマスに含まれる多糖を確実に単糖にまで分解しようとする多量な酵素を使わなければならない、結局セルロース系バイオマスを利用するためのボトルネックが酵素糖化工程に集約されることとなっている。

3. 脱炭素世界での糖獲得戦略

昨今、NEDOが先導する「バイオものづくり」関連の予算のもと、多くの企業がバイオマスからの

ものづくりに取り組み始めており、2015年からバイオエコノミーを進めるべきであると主張してきた演者にとっては喜ばしい状況であると言える。その一方で、大きな落とし穴があると思っているのが、1) 結局日本はどれだけのバイオマスを獲得できるのか、2) バイオマスを糖化するための酵素をどのように供給するのかという点が挙げられる。まず1) であるが、我が国が収集しているデータを色々と見ていると、自国だけでなく他国にどのようなバイオマスがあるのか、すなわち「賦存量」という考え方に関してはきちんとした資料がある気がするが、そのような賦存量に対して「親日度」を乗じなくて良いのかという質問を投げかけたい。これはバイオマスに限らず総ての資源に対して言えることなのだが、そこに資源があるからと言って、私達がアクセスできるのかというのは別問題ということである。すなわち、我が国の糖獲得戦略は、確実に世界情勢と世界地図を見ながら行うべきことであろうと思うわけである。

次に2) であるが、演者の推計ではセルロース系バイオマスの糖化のためには、最低でもバイオマスの1重量% (1/100) に相当する酵素が必要になる。すなわち、今後バイオマスを脱炭素のために使っていくとして、例えば1000万トンのバイオマスを相手にしようとする、10万トンの酵素を用いてうまくいけば400-500万トンの糖が得られる。それを発酵させてなにかしらの物質を作ったとして、数百万トン、これがバイオプラスチックであれば200万トンを動かすためには10万トン程度の酵素が必要ということになるのである。私達が頻繁に使う子囊菌(カビ) *Trichoderma reesei* による酵素生産性を最大の100g/Lに見積もったとしても、100万m³の培養槽が必要になることを政府が理解しているかということなのである。

技術も大切であるが、技術の方向性を決めるためにも戦略はもっと重要である、そのような演者の意見を理解していただけたら幸いである。

引用文献

- 1) <https://dictionary.cambridge.org/ja/dictionary/english/biomass>, Cambridge Advanced Learner's Dictionary & Thesaurus, © Cambridge University Press 2023
- 2) Bar-On, Y. M. et al (2018) *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*, 115 (25) 6506-6511
- 3) Willför, S. et al (2005) *Wood Sci. Technol.* 39, 601-617
- 4) Willför, S. et al (2005) *Wood Sci. Technol.* 39, 245-257
- 5) De Vrije et al (2002) *Int. J. Hydrog. Energy* 27, 1381-1390
- 6) Schäfer, J. et al (2019) *GCB Bioenergy* 11, 191-205
- 7) 2018年度資源・エネルギー統計

モンゴル遊牧民伝承に基づく家畜の健康維持と荒廃草原の回復

浅見 忠 男

東京大学大学院農学生命科学研究科

本シンポジウムでは東京大学、京都大学、東北医科薬科大学、農研機構畜産草地研究所の4機関で協力してモンゴル国にて実行中の地球規模課題対応国際科学技術協力プログラムである SATREPS (Science and Technology Research Partnership for Sustainable Development) における「遊牧民伝承に基づくモンゴル草原植物資源の有効活用による草地回復プロジェクト」に関して背景や4機関並びにモンゴル側研究者の尽力によってこれまで得られた成果に関して紹介する。本プロジェクトでは、遊牧民の間で家畜飼料として伝統的に活用されてきた有用在来草原植物の遺伝的、生理機能的、薬理的な解明及び定着栽培技術の開発・普及を行うことにより、迅速成長植物及び機能性植物による草地の機能改善を図り、荒廃草原の回復及び家畜の健康保全に寄与することを目指している。SATREPS は、科学技術と外交を連携し相互に発展させる「科学技術外交」の一環として、地球規模の課題解決を目指す国際共同研究を推進している。気候変動や食糧問題、自然災害、感染症など、地球規模の課題は年々複雑化するとともに、特に影響を受けやすい開発途上国においては深刻な状況となっているが、これら問題を解決するために国を越えた科学技術イノベーションの創出と研究成果の社会還元、人材の育成と研究能力の向上を目指すプログラムである。SATREPS では、国内研究機関への研究助成のノウハウを有する国立研究開発法人科学技術振興機構 (JST) と、開発途上国への技術協力を実施する独立行政法人国際協力機構 (JICA) が、国際共同研究全体の研究開発マネジメントを協力して行っている。日本国内等、相手国内以外に必要な研究費については JST が委託研究費として支援し、相手国内で必要な経費については JICA の技術協力プロジェクトの枠組みにおいて JICA が支援している。以下、プロジェクトの概要とその主要な成果について発表する。

モンゴル草原は、温帯域に比べて、夏は短く、冬は乾燥し酷寒となる、など極めて特殊な環境下にある。この草原に育つ植物は、温帯域に育つ植物に比べて、成長促進機能やストレス耐性機能など、特殊な長所を発達させて進化してきたことを推測させる数多くの特性を有している。また、このような特殊環境下に生育する植物中には、そのストレスが要因となり温帯域の植物が持たない動物の健康増進に役立つ薬効成分を持つものが数多く存在する。これらのモンゴル草原植物に関する知見は、モンゴル草原に文明を繋いできた遊牧民の間の伝承として伝えられてきた。

一方、人類の産業活動の拡大は、大気中の二酸化炭素濃度を上昇させ、地球温暖化を引き起こしている。これらの気候変動は、異常気象の頻発、砂漠化の進行、水資源の制約、土壌劣化などを誘発し、穀類生産量の低下や家畜製品の質の低下の要因となっており、世界的な食糧供給の不安要因となっている。この地球温暖化による天候不順の波はモンゴルの草原でも認められ、乾燥地域の拡大によるモンゴル草原の荒廃化の原因となっている。また、家畜の頭数は、過去 28 年間で 2300 万頭から 6600 万頭に急増し、この遊牧家畜の増加により「過放牧」と呼ばれる家畜過剰状態が生じつつある。これらの状況は、モンゴル草原の植物群落に過大なダメージを与えつつある。特に冬場の酷寒期の牧草が不足する事態が近年頻発しており、その結果、遊牧の家畜が全滅し、遊牧生活を放棄せざるを得ない状況に追い込まれる遊牧民が増えている。これらの棄牧民は、首都ウランバートルに流入し、都市部貧困層を形成し、都市環境悪化の大きな要因となっており、モ

ンゴルの重大な社会問題となっている。

この状況に対して、モンゴル国政府としての国家レベルの取り組みが期待されるが、未だ整備は遅れているのが現状である。一方、研究機関による試験的な取り組みは大規模ではないが始められている。例えば、モンゴル家畜農業研究所などが中心となって、1haなどの一定面積において家畜の侵入を防ぐ柵を設け、草原に自生している多年草(イネ科、マメ科)の複数種類の種子を混合する形で播種し、荒廃草原の回復効果を調査する、試みなどである。また、過放牧による草原の荒廃化については、比較的長期間、一定地に定着するように行動様式を変えつつある現代の遊牧民に、古来のように1ヶ月以内の短期間で移動住居ゲルの設営地を変えるよう推奨する政策が政府によって進められているが、その推奨に従う遊牧民が少ないこともあり、家畜による草原への負荷の分散化は進まず、草原の荒廃も進行しているのが現状である。

このような状況下、2019年から始まった本プロジェクトでは、モンゴル草原に自生する植物(以下、モンゴル草原植物)の特性を最新の分子生物学、分子生理学、分子育種学、天然物化学、ケミカルバイオロジーなどの知識によって明らかとし、その知見によって、モンゴル草原植物の生産性と価値の増大を含む高機能性植物の生育条件の確定を中心とする環境農学を基礎とした植物育成システムを構築し、その社会実装として、モンゴル荒廃草原の緑地回復と、その成果に伴うモンゴル牧畜産業の活性化を目指している。特に、研究チームによるこれまでの荒廃地の復元プロジェクトで明らかとなっている「荒廃地の第一次投入植物は、1年草が適している」という知見に基づき、モンゴル草原でこれまで試されてこなかった1年草による荒廃草原の回復を目指す。この1年草は荒廃地への投入においては強い効力を持つが、継続的に草原の回復状態を維持し遊牧家畜の健康保全を進めるためには、それに続いて多年草と高機能性牧草(家畜の健康回復機能を保持する牧草)を播種することが有効と考えられるため、次のステップとして、これらの草原への播種を進める。さらに、得られる植物種子と植物育成システムをモンゴル草原全体に普及させることによって、モンゴル遊牧民だけでなくモンゴル社会を活性化することを最終的な目的としている。

本プロジェクトは以下の3つの大きな課題と各々小課題を掲げて上記目的達成を目指している。

1. 貧栄養状態における高バイオマス生産性植物の探索ならびに生理作用・原因遺伝子の解析
(京都大学・中野、東京大学・浅見、農研機構・蛭名、モンゴル国立大学・Dr.B.Davaasuren)
 - 1-1. 高バイオマス生産性変異体探索とその生理解析
 - 1-2. 高バイオマス生産性モンゴル植物の有用形質解析と新規遺伝子の同定・機能解析
 - 1-3. モンゴル草原植物由来有用遺伝子の知財化
2. モンゴル草原植物由来の新規機能性化合物の同定ならびにモンゴル有用牧草としての活用
(東北医科薬科大学・佐々木、モンゴル国立大学・Dr. J.Batkhuu, IVM・Dr. Ts.Byambajav)
 - 2-1 新規モンゴル機能性化合物含有植物の選定
 - 2-2モンゴル草原機能性植物由来の機能性化合物の単離・同定
 - 2-3 モンゴル草原植物中薬効成分の登録提言
 - 2-4 モンゴルへの植物化学基盤技術の移転
3. 牧民伝承に基づく迅速成長植物および機能性植物の栽培技術の開発
(東京大学・大黒、モンゴル生命科学大学・Dr. J.Undarmaa)
 - 3-1 牧民伝承に基づく迅速成長植物・機能性植物のデータベース構築

3-2 候補植物の生育条件の検討

3-3 迅速成長植物および機能性植物の栽培技術の確立

3-4 種子生産技術の確立と栽培技術の普及促進

プロジェクト開始の予備段階として、開始前に東京大学大黒教授・京都大学中野教授を中心として、中国、モンゴルなどの北東アジアの荒廃草原を対象に、主として生態学的なアプローチによる、草地の状態診断や環境収容力の評価(診断)、緑化技術の開発(治療)、技術の普及(予防)に関する一連の取り組みを進めてきた。これら研究の過程で、成長が著しく早い植物としてクロリス(*Chloris virgata*)に着目し、クロリスがイネやコムギの栽培品種と比較して、非常に強い環境ストレス耐性を持っていることを明らかにした(図1)。このクロリスの強い生命力と1年草としての特性を生かし、モンゴル草原の荒廃地の緑化回復の第一段階の初期植物として、導入することを目指した。また東北医科薬科大学の佐々木教授を中心としたグループでは、現地遊牧民が有していた伝承に基づく家畜の食性観察に基づいてモンゴル草原に分布する各牧草植物に含まれている機能性成分や毒性成分を調べることを行い報告してきている。プロジェクトではこの研究体制を強化し、クロリスを導入した緑化回復中の土地への混植に適した植物の候補を挙げることで、並びに家畜動物の健康状態の維持と生産拡大に結び付く素材を探索・発見することを目的とした。これにより放牧地において家畜の健全状態の維持や罹患動物に対して摂取が勧められる植物、毒性があるため避けるべき植物を判別することができ、また牧草地の生態系を維持するための指針を提供できる。すなわち現地遊牧民が有していた伝承に科学的見解を付与し、持続可能な遊牧を展開するための確かな情報を還元することを狙っている。

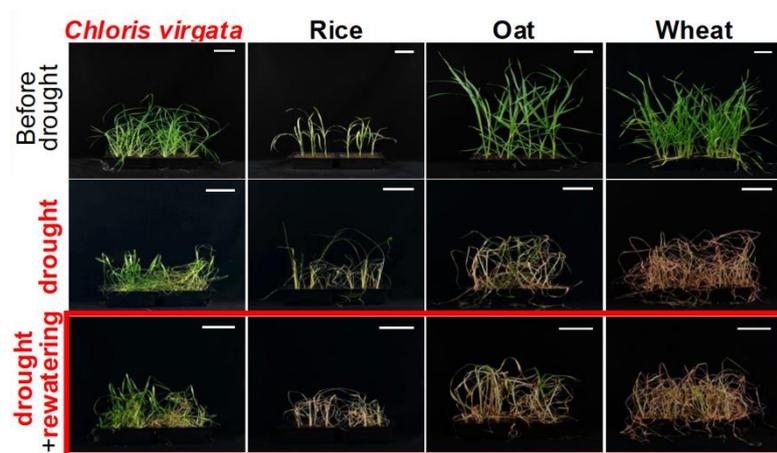
プロジェクトを開始して5年目を迎えることになったが、途中コロナ感染の影響のために計画より遅れた部分があったために計画を1年延長して来年度までの実施となった。しかしながらこの間の遅れにもかかわらず今年度の野外調査により概ね順調に進展していることを確認できた。研究題目1では迅速成長性を示す対象牧草である *Chloris virgata* についての基礎的な生理学・遺伝学的・栄養学的な追究を行い有用遺伝子等の情報を得て、その機能解析が進んだ。さらに迅速成長性を示す植物を複数種見出すことができた。また遊牧民の伝承・観察に基づいた草原植物収集の結果、モンゴル草原では迅速成長性や環境ストレス耐性という特性を併せ持つ植物が多数生育していることが明らかとなってきた。またこれら特性は通常の植物とは異なる植物ホルモン機能発現制御機構を持つためであるとの科学的にみても独創性・新規性の高い知見が得られており、更に植物ホルモン制御という観点からの解析を深めつつある。また研究題目2に関しては、民間伝承から高機能性が予測できる対象牧草について、含有成分の化学構造解析と植物自体の家畜健康保全活性に関する薬理学的解析を実施した。特にモンゴル側での動物を用いた試験が順調に進み、野生植物の効果が確認されつつある。新規に購入した機器を活用した血液成分の詳細なデータの解析により、供給した植物製剤サプリの有効性を示すとの薬理学的な解析結果も得られている。これら研究進展により日本側の基礎研究成果とモンゴルでの伝承を有効に結びつけることの成功例になると期待できる。加えて多様な動物用サプリメントの試作も行っており、その効果を検証中である。研究題目3では迅速成長植物および機能性植物の発芽・成長特性について、柵内試験を実施し、対照区(播種しない試験地)と比較しバイオマス生産性の有意な向上を確認することができた。この成果は条件を設定することでモンゴル草原回復が可能であること

を示している。また地理システムや人工衛星を用いた草地の評価も行った。遊牧民伝承については、現地研究者の多大な貢献により多くの情報がえられており、現在 WEB で公開すべく準備を進めている状況である。

これまでモンゴル草原植物の家畜への有用性について生理学的、薬理的な研究はごく限られていたが、本課題はこの点を重視して基礎研究成果に基づくモンゴル荒廃草原の価値を高めることを目的とした点に特徴がある。現時点において、草原植物に関する生物学的ならびに化学的な基礎知見が得られており、この実装への可能性も確認できていることから、本プロジェクトの狙い通りの成果が得られている。本プロジェクトにおいては、遺伝子解析や活性物質の研究で得られる知見を、モンゴル牧草の増産化や家畜の健康保持へ還元することを目標としているが、一方で、モンゴル草原植物より単離を目指す植物成長速度促進遺伝子や植物バイオマス増産遺伝子、活性化合物は、温帯植物を中心に研究を進められてきた植物分子生物学に、新しい研究局面を提示し、科学技術の発展に大きく寄与する面も持つと考えている。



発見したクロリス群生地(モンゴル国立大学・バトフー教授提供)



強い乾燥耐性をもつクロリス (京都大学・中野教授提供)

参考文献

月刊「畜産技術」1月号～4月号

エビ類養殖業の現状と研究と技術開発を通じた国際貢献のあり方

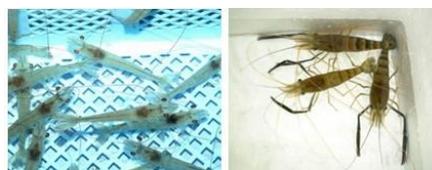
マーシー・ワイルダー

国立研究開発法人 国際農林水産業研究センター

1. はじめに

2022年に、世界的に魚介類・海藻類による養殖生産漁が漁業・捕獲量を超え、223万トン以上となり、初めて人類が消費しているシーフードの半分以上が養殖生産に由来する実態となった (Jory, 2024)。その中で、世界的に大きな産業となっているエビ養殖業による年間生産量は600万トン以上に達成し、その市場規模は400億米ドルを超えているようになった (FAO, 2024a)。エビ類は、養殖種の中で単価の高い商品であり、全体の養殖生産量はトンで8%位であるが、全市場規模の15%以上の価値を占めていると言える。このような背景に、エビ養殖業が発展途上地域において生活水準の向上につながり、多くの恩恵をもたらしてきた。アジアの発展途上地域に関して言えば、関連産業(加工や流通)も含め、数百万人がエビ養殖で生計を立てていることもあり、重要な収入源になっていることが明確である。

有用エビ類の中で、20種ほど養殖されているが、海産のバナメイエビ (*Litopenaeus vannamei*) (図1)、ウシエビ (*Penaeus monodon*)、クルマエビ (*Marsupenaeus japonicus*) および淡水性のオニテナガエビ (*Macrobrachium rosenbergii*) (図1) がよく知られている。特に世界生産量の8割を占めるバナメイエビ養殖の発展に伴い、巨大化した産業となったと言える。図2では、1970年~2020年にかけてのエビ養殖生産量と種別の推移を示す。



バナメイエビ オニテナガエビ
図1. 筆者が研究に用いた主なエビ類

しかし、その産業実態は不安定であり、生産の持続性を妨げる要因として、病害の発生による突発的な大量斃死、環境への悪影響、および種苗の不安定供給等が挙げられる。このため、持続性のあるエビ養殖技術を開発し、主要生産地である途上国のみならず、先進国においても実現すべきと考える研究者・事業者・団体等が多く存在する。以下、筆者が取り組んできた開発研究、その他の事例を紹介する。

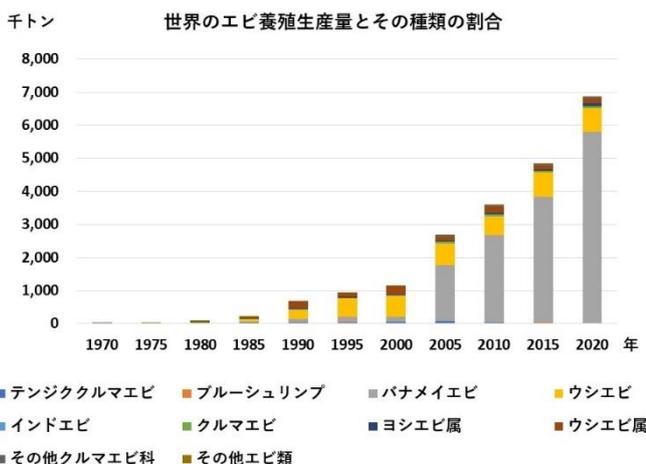


図2. 世界のエビ養殖生産量の割合 (FAO, 2024, FishStat [Global aquaculture production quantity] (1950年~2021年)に基づき作成、ワイルダー、2024から転載)。

2. 淡水性のオニテナガエビの浸透圧調節機構解明とベトナムにおける種苗生産技術開発とエビ・稲ファーミングシステム

1990年代の早期頃、集約的手法といよりも粗放的や伝統的なエビ養殖形態が注目されていた。その当時、国際農研が国際貢献（Official Development Assistance: ODA）予算による「ベトナム・メコンデルタにおける農林水複合体システム（combined farming systems）」を Can Tho University、Cuu Long Delta Rice Research Institute と共同で実施していた。メコンデルタでは、養殖業者の生活水準を向上させるために伝統的な手法による淡水性オニテナガエビの水田養殖が振興されていたが、天然の稚エビを川から採取することで種苗を賄っていたことから、安定的な種苗供給が困難な状況にあった。そこで、メコンデルタプロジェクト研究の一環として、カントー大学（図3）と共同で、健全な人工種苗を大量生産するための塩分調整・水質管理、飼料作成・給餌方法を総合的に管理する「改良型非循環式グリーンウォーターシステム」を開発し、省立普及組織などとの連携の下メコンデルタ地域で広く技術移転を行った（Wilder and Phuong, 2007）。



図3. ベトナム・カントー大学で研究中

そのため、基礎・応用研究を行うと同時に、現場における調査を進めてきた。オニテナガエビは産卵時には、汽水域へ移動しながら卵を抱卵し、卵内で胚発生が進む。産卵直後の卵内ではイオン制御酵素である Na/K-ATPase 活性が体形成が進むにつれて急激に上昇し、ふ化に至る（Wilder et al., 2001）。稚エビは、最初に汽水に相当する 12 ppt の塩分濃度が必要であるが、ふ化 15 日後には 6 ppt においても生存する能力を獲得する。上記結果と飼育水管理・飼料作成を統合し、自前で実施可能な種苗生産技術を完成させた。グリーンウォーターの条件設定であるが、自然に存在する微細藻類を増やす（即ち、水を交換せずに、ティラピアをバケツで飼育する）方法を開発し、マニュアル化した。また、クロレラを特殊なメッシュで選別し、これに相当する細胞濃度になるように、稚エビの飼育水の微細藻類濃度を調整した。飼料については、種苗生産業務に通常用いられるアルテミアは高コストのため、代替品として手作りのカスタード飼料を開発した（Hien et al., 2005）。この技術開発と移転の結果、オニテナガエビ専用の孵化場が 90 か所以上に設置され、種苗の年間生産量は 1990 年代に比べ 2003 年では 80 倍ほど増加し、年間 8 千万尾の生産に至った。また、その当時年間 2,500 トンであった淡水エビの生産量はその後、10,000 トンを上廻るようになった。以上の様に、当時ベトナム政府が推奨していた「淡水エビ養殖面積の拡大」（政府令第 224/1999/QD-TTg 号）とも相まって、メコンデルタ地域を中心に淡水エビ養殖産業の発展に貢献することができた。また、調査結果によると、稲作のみと比べると、貧困農家が水田でオニテナガエビを養殖することで、収入を 2~3 場合ほど増大させることが可能であることが判明した（Wilder and Phuong, 2007）。

図 4 に典型的なエビ・稲ファーム、図 5 に本研究の成果が導入されたオニテナガエビのふ化場の例を示す。



図 4. 典型的なエビ・稲ファーム：Tra Vinh 省の実験用地。



図 5. Tien Giang 省水産養殖普及センターが管理するオニテナガエビのふ化場。

3. バナメイエビ閉鎖系陸上養殖システムの開発と国内展開

2000 年代に入り、エビの集約的養殖において、感染症の伝搬、環境への悪インパクト、種苗の不安定供給といった問題が懸念されるようになり、陸上養殖がこういった問題の解決策になると提唱されていた。その当時、欧米などでもエビの陸上養殖が試験的に推奨されていたが、施設の建設費用や生産原価が高額であり、技術的にも懐疑的に思われる面もあった。そのため、発展途上地域というよりも、先進国を中心に技術開発が進められるようになった。その当時、国際農研として陸上養殖は環境保全かつ安定的な養殖生産を実現するための手段であるという発想で、開発研究を開始した。以下、筆者が現在までに参画している国内におけるエビ陸上養殖事業を紹介する。

上述のように、バナメイエビは現在、世界の養殖生産量の約 8 割を占めている。その当時、国際農研としてバナメイ陸上養殖をまず国内で確立することで、将来、開発途上地域における国際貢献に繋がると考え、IMT エンジニアリング（株）、（独）水産総合研究センター・増養殖研究所（当時）、株式会社ヒガシマルと共に産学官連携コンソーシアムを形成し、2004 年～2009 年度にかけて、生物系特定産業技術研究支援センターの研究支援を受けた（ワイルダーら、2008）。

バナメイエビは海産エビの一種であるが、淡水化養殖に適している種類であると考え、飼育水のミネラルのバランスに着目した。甲殻類は、成長するため脱皮することが必要であり、脱皮時には新しい甲殻を形成し、カルシウムを餌と周りの水から取り組む必要がある。それに加えて、陸上養殖に必須である高密度かつ閉鎖的な条件下で溶存酸素を適切な範囲（6～9 ppm）で維持する必要がある。そこで、実験室レベルで基礎生理学的データを得て、エビ生産プラントにおける低塩分・高硬度の育成条件の設定（Jayasankar et al., 2009）に反映させ日本初の閉鎖循環型養殖システムを利用した「屋内型エビ生産システム（ISPS）」（特許第 4635172 号、2010 年 12 月登録）の開発に至った。2007 年に第 1 号エビプラントを新潟県妙高市に設立し、淡水に近い条件での海産のバ

ナメイエビ養殖の商業生産を開始し、2022 に静岡県磐田市に第 2 号のエビプラントを設立した。このプラントでは 80 トンの年間生産が可能である。

現在、日本でバナメイエビの陸上養殖事業が急速に増えている状態にあるが、ほとんどの場合、海外由来の稚エビに依存している。この意味では、国内における稚エビ生産の仕組みを確立することが重要であると考えており、筆者の研究チームは現在バナメイエビの親エビ成熟制御技術および種苗生産技術開発を実施している。そこで、長年バナメイエビ種苗生産業を営んでいるアジアの主なエビ生産国との共同研究・技術協力を推奨することで、新たなエビエビ養殖を通じての国際貢献のあり方が生まれる可能性もある。但し、タイやベトナムといった国々において、近年養殖技術が高いレベルに進展しており、日本国から国際貢献を行うよりも、むしろ相手側とタイアップすることで、新しい国際的な協力体制が可能になると考える。筆者の研究チームは、すでにタイ国の民間企業と共同研究を実施済みであり、今後の進め方について検討中にある。

4. 現在のあるべきエビ養殖の国際貢献方法を考えて

上述のように、1990 年代において、伝統的・粗放的養殖形態が重要視されていたが、年々エビの需要が伸びており、それに伴い技術の向上や企業の進出が相次いでいる。そのため、現在のエビ養殖の姿がかなり変わってきたと言える。筆者は、前述の通り 1994 年より約 9 年間ベトナムのカントー大学と共同研究を実施し、その間当該プロジェクトのみならず、メコンデルタにおける海産エビの養殖現場を視察することが出来た。例えば、当時ベトナムの最南端に位置する Cau Mau 省でのマングローブ林保全型養殖を視察する機会があった。即ち、ベトナム、オーストラリア、デンマーク政府による粗放的養殖システムを推奨するプロジェクトの一環として、周辺の貧困農家が木材を効率的に収穫しながら、国営のマングローブ林の中でクルマエビ属の *Penaeus merguensis* (バナナエビ) を養殖することが許可されていた (担当者による筆者への私信)。このプロジェクトが成功して、2005 年では、10 万トン、5.1 億ドルの市場となった。粗放的な手法であるため、飼料の投入は必要となく、生産量は低い (250-300 kg/ha) が、生産コストも低い (1 キロのエビを生産するのに、1.5 米ドル以下)。実際の現場を訪ねた際には、まさにエビ養殖業を通じた国際貢献の良い例であると実感していた (図 6)。



図 6. 2000 年代初期の Cau Mau 省エビ養殖プロジェクトの様子および対象種のバナナエビ (筆者撮影)。写真にある水門を満潮の時に開くと、天然由来のバナナエビ稚エビが養殖区域に入り、一定の期間で養殖する仕組みが設定された。

そこで、Cau Mau 省では現在どうなっているか調べたところ、近年もベトナムのマスメディアに取り上げられており、例えば Vietnam Plus というオンラインニュースでは、2024 年 6 月 1 日にこう記載されている：「最南端の Cau Mau 省は最近、2050 年を見据え、2021 年から 2030 年にかけてのエビ産業発展計画を承認し、メコンデルタおよびベトナム全体で最大規模にすることを目指している。省人民委員会によると、この計画では、先進技術を活用した生産モデルを推進し、エビの生産性・品質を向上させ、付加価値を付けたエビ製品の競争力を強化するとともに、環境保全を実現し、地元の農家および営利目的を持つ企業に利益をもたらすという。そして同省では、エビの輸出額が 2025 年までに 14 億米ドル、2030 年までに約 16 億 5000 万ドル、2050 年までに 60 億ドルになると見込んでいる」。

以上の例は一つに過ぎないが、エビ養殖は本当に大規模かつハイテクな産業になりつつあると言える。確かに 1990 年代では、粗放的・伝統的な手法を駆使することで、零細農家・漁業者を救える手段となっていたが、現在はエビ養殖の恩恵をより多くの人々にもたらすために、最新の技術・研究を取り入れることが大前提となっている。冒頭に記した「病害の発生による突発的な大量斃死、環境への悪影響、および種苗の不安定供給」を解決するには、開発研究は欠かせない。そして、エビ養殖の合理化・持続性を図るためには、陸上養殖のさらなる発展は重要な鍵であると業界は見ている。以上のようなことを鑑み、エビ養殖を通じた国際貢献の新しいあり方が見えたのではないかと考える。

引用文献

- FAO (2024a). Fishery and Aquaculture Statistics – Yearbook 2021. FAO Yearbook of Fishery and Aquaculture Statistics. Rome. <https://doi.org/10.4060/cc9523en>
- FAO (2024b). Fisheries and Aquaculture. FishStat [Global aquaculture production quantity] (1950-2021). https://www.fao.org/fishery/statistics-query/en/aquaculture/aquaculture_quantity
- Hien, T.T.T., Hai, N.T., Phuong, N.T., Ogata, H.Y., and Wilder, M.N. (2005). The effects of dietary lipid sources and lecithin on the production of giant freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) larvae in the Mekong Delta region of Vietnam. *Fisheries Science*, 71: 279-286.
- Jayasankar, V., Jasmani, S., Nomura, T., Nohara, S., and Wilder, M.N. (2009). Low salinity rearing of the Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*: Acclimation, survival and growth of postlarvae and juveniles. *Japan Agricultural Research Quarterly (JARQ)*, 43: 345-350.
- Jory, D. (2024). Aquaculture officially overtakes fisheries in global seafood production. *Responsible Seafood Advocate* (10 June 2024); <https://www.globalseafood.org>

- Vietnam Plus (2004). Ca Mau envisions largest shrimp industry hub of Vietnam (1 June 2024); <https://en.vietnamplus.vn/ca-mau-envisions-largest-shrimp-industry-hub-of-vietnam-post287819.vnp>
- Wilder, M.N., Huong, D.T.T., Okuno, A., Atmomarsono, M., and Yang, W-J. (2001). Ouabain-sensitive Na/K-ATPase activity increases during embryogenesis in the giant freshwater prawn, *Macrobrachium rosenbergii*. *Fisheries Science*, 67: 182-184.
- Wilder, M.N., and Phuong, N.T. (2007). ベトナム・メコンデルタにおける淡水エビ養殖業の発展：改良養殖技術の開発と普及および経営評価。ベトナムの社会と文化、第7号。風響社（東京）、pp. 201-217.
- マーシー・ワイルダー、野原節雄、奥村卓二、福崎竜生。「安全な国産エビ（バナメイ）生産技術のシステム化」(2008). 生物系産業創出のための異分野融合研究支援事業（2008年度終了課題）研究成果. ページ 1-4.
- マーシー・ワイルダー(2024). バナメイエビの養殖技術開発とその事業化を目指す「Shrimp Tech JIRCAS 株式会社」JATAFF Journal、12 巻、8 月号：ページ 41-46.

農地における温室効果ガスの発生量推定と発生削減技術

秋山博子

農業・食品産業技術総合研究機構 農業環境研究部門

1. 農地土壌と温室効果ガス

主要な温室効果ガスには、二酸化炭素(CO₂)、メタン(CH₄)および一酸化二窒素(N₂O)がある。CO₂の主な発生源は化石燃料であるが、土地利用の変化(森林の減少等)も重要な発生源となっている。農地土壌は、土壌炭素蓄積量の増加によりCO₂の吸収源となる可能性がある一方で、CH₄およびN₂Oの排出源ともなっている。CH₄はCO₂の27倍の温室効果をもつ温室効果ガスであり、世界の人為的CH₄発生量の約1割は水田が発生源となっている。またN₂OはCO₂の273倍の温室効果をもつ温室効果ガスであり、またオゾン層の破壊の原因物質でもある。世界の人為的N₂O発生量の約半分を農業が占めており、農業は最大の人為的発生源となっている。

2. 水田から発生するCH₄とその削減

水田土壌のような嫌氣的(酸素がない)条件では、メタン生成古細菌が稲わらや根からの分泌物などの有機物を分解してCH₄が生成される。生成されたCH₄の一部はメタン酸化菌によって酸化され、一部は大気中に放出される。水田土壌の表面には酸化的な層があり、CH₄酸化が行われている。また、イネの根には地上部から根へ酸素を送るための通気組織がある。このため、イネの根の表面も酸化的であり、CH₄酸化が行われている。

メタン生成は嫌気条件でおこるため、湛水期間を短縮して水田を酸化的に経過させる期間が長くなれば、CH₄排出量を削減できる。日本の多くの地域で昔から慣行的に行われている「中干し」は田植えから約1か月後に一時的に湛水を中断する作業であり、中干しによるコメの増収効果が認められている。中干し期間は1~2週間程度が一般的だが、中干し期間を地域の慣行よりも約1週間延長すると、CH₄排出量を平均で3割程度削減できることが明らかになっている(Itoh et al., 2011)。この技術は「長期中干し」「中干し期間の延長」として普及が進んでいる。また、稲わらを春にすき込むと湛水によって還元的分解されてCH₄が生成しますが、秋にすき込むと冬の間稲わらの好氣的分解が進むため、CH₄の排出量を平均で5割程度削減できることが明らかになっている(Kajiura et al., 2018)。

3. 農地から発生するN₂Oとその削減

工業的窒素固定(ハーバーボッシュ法)が1910年代に工業化され、化学窒素肥料は農業生産の飛躍的な増大をもたらしたが、同時に窒素循環に大きな影響を及ぼしてきた。現在では、工業的窒素固定により人為的に固定された窒素量は自然固定窒素量に匹敵し、地球規模での窒素循環量は、工業的窒素固定が発明される以前の約2倍になったと考えられている。人為的に固定された大量の窒素は、水質汚染や大気中のN₂O濃度の増大といったさまざまな環境

問題を引き起こしている。

農耕地において、 N_2O は主に化学肥料および有機肥料の施用により発生している。化学肥料の使用量の 9 割以上はアンモニア態および尿素が占めている。尿素は土壤に施用された後、速やかに加水分解されてアンモニウムイオン (NH_4^+) となる。土壤に供給された NH_4^+ は好気的条件下において微生物の働きにより硝酸イオン (NO_3^-) となり (硝化)、 NO_3^- はさらに嫌気的条件下において窒素ガス (N_2) へと変換される (脱窒)。この硝化と脱窒の両方の過程において N_2O が生成している。農地からの N_2O 発生削減のためにはまずは窒素施肥量の適正化が重要であるが、農業生産において窒素肥料は不可欠であり、人口増大に伴い農業生産および肥料生産も増加すると予測されており、世界全体の窒素施肥量の削減は容易ではないと考えられる。一方、これまでの研究により、硝化抑制剤入り肥料および被覆肥料により、慣行の肥料と比較して N_2O 発生量を平均で 3 割程度削減可能であることが明らかになっている (Akiyama et al., 2010)。硝化抑制剤入り肥料とは、アンモニア態の肥料に硝化抑制剤を添加した肥料であり、また、被覆肥料とは肥料成分を樹脂などでコーティングすることにより肥料成分がゆっくりと溶出する肥料であり、いずれもすでに市販されている肥料である。

4. 温室効果ガスインベントリ

気候変動枠組条約 (UNFCCC; United Nations Framework Convention on Climate Change) に基づき、日本を含む加盟国は国別の温室効果ガス排出・吸収目録 (インベントリ) を報告する必要がある。このインベントリの作成に際しては気候変動に関する政府間パネル (IPCC; Intergovernmental Panel on Climate Change) のガイドラインに従って算出することとなっている。

2006 年版 IPCC ガイドラインが発行されてから 10 年以上が経過し、研究の進捗を反映したより正確な温室効果ガスインベントリ算定のため、2019 年版改良 IPCC ガイドラインが発行された。筆者は本ガイドラインの執筆者の一人として、世界の水田における CH_4 排出量算定法 (Wang et al., 2018) および N_2O 排出係数 (Akiyama et al., 2006)、草地における放牧家畜排泄物から発生する N_2O 排出係数 (Cai and Akiyama, 2016) および窒素の流亡に伴う間接 N_2O 発生排出係数 (農地由来窒素の硝酸流亡により地下水および河川に流出した硝酸から発生する N_2O ; Tian et al., 2019) についてデフォルトの算定法ならびに排出係数を提示した。

一方、IPCC ガイドラインにおいては、各排出源の算出方法についてデータの入手可能度からいくつかの段階 (Tier) が設定されており、各国の状況に応じて算出方法を選べるようになっている。すなわち、データがない、または、充分でない場合には、IPCC がデフォルト値として定めた排出係数を用いて排出量を算出できる (Tier 1)。また各国の状況に応じた独自のデータに基づいた算出方法がある場合には、十分な説明を加えて報告すること (Tier 2 または 3) が推奨されている。例えば、化学肥料の施用による N_2O の排出係数は、IPCC のデフォルト値では施用窒素量の 1% とされている。しかし、国により気候、作物、圃場管理の方法などが異なることから、各国の状況に応じた測定データをもとに排出係数を算出することが望ましいといえる。

日本温室効果ガスインベントリ報告書 (環境省、2024) の農業分野の算定においては、可能な限り日本の気候や土壤の状況を反映した算定を行っている。筆者らは窒素施用からの N_2O 排出係数 (Akiyama et al., 2006) および硝化抑制剤による N_2O 削減係数を算定 (Akiyama et al.,

2010)している。また、日本の農耕地における有機物施用からの N₂O 排出係数を算定している (Akiyama et al., 2023)。

5. おわりに

2020 年には、「長期中干し」が農林水産省環境保全型農業直接支払い交付金の全国共通取組に採用され、さらに 2023 年には「中干し期間の延長」が J-クレジット方法論に採用されるなど、農業分野における温室効果ガスの削減の取り組みが進んでいる。そのほかにも多くの温室効果ガス削減の可能性のある技術が研究されており、将来的に農業分野からの温室効果ガスの削減が進んでいくことが期待される。

引用文献

- Akiyama, H., Sano, T., Nishina, K., Sudo, S., Oura, N., Fujimori, M., Uezono, I., Yano, S., Ohkoshi, S., Fujita, Y., Shiratori, Y., Tsuji, M., Hasukawa, H., Suzue, Y., Yamada, Y., Mizukami, H., Matsumoto, T., and Yagi, K. 2023. N₂O emission factors for organic amendments in Japan from measurement campaign and systematic review. *Sci. Total Environ.*, 864, 161088.
- Akiyama, H., Yan, X., and Yagi, K. 2006. Estimations of emission factors for fertilizer-induced direct N₂O emissions from agricultural soils in Japan: Summary of available data. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 52, 774–787.
- Akiyama, H., Yan, X., and Yagi, K. 2010. Evaluation of effectiveness of enhanced-efficiency fertilizers as mitigation options for N₂O and NO emissions from agricultural soils: meta-analysis. *Glob. Change Biol.*, 16, 1837–1846.
- Cai, Y., and Akiyama, H. 2016. Nitrogen loss factors of nitrogen trace gas emissions and leaching from excreta patches in grassland ecosystems: A summary of available data. *Sci. Total Environ.*, 572, 185–195.
- Itoh, M., Sudo, S., Mori, S., Saito, H., Yoshida, T., Shiratori, Y., Suga, S., Yoshikawa, N., Suzue, Y., Mizukami, H., Mochida, T., Yagi, K. 2011. Mitigation of methane emissions from paddy fields by prolonging midseason drainage, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 141(3-4) 359-372.
- Kajiura M., Minamikawa K., Tokida T., Shirato Y., Wagai R. 2018. Methane and nitrous oxide emissions from paddy fields in Japan: An assessment of controlling factor using an intensive regional data set, *Agriculture Ecosystems & Environment*, 252 51-60.
- Tian, L., Cai, Y., and Akiyama, H. 2019. A review of indirect N₂O emission factors from agricultural nitrogen leaching and runoff to update of the default IPCC values. *Environ. Pollut.*, 245, 300–306.
- Wang J., Akiyama H., Yagi K., Yan X. 2018. Controlling variables and emission factors of methane from global rice fields, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 18(14) 10419-10431.

環境変動対策を支える森林研究

～長期的な観測から見えてきたこと～

佐藤保

(国研)森林研究・整備機構 森林総合研究所

1. はじめに ～森林を取り巻く現状～

森林の重要な機能の一つとして、温室効果ガスの一つである二酸化炭素を吸収する機能が挙げられるであろう。日本は過去 50 年以上にわたり森林面積(国土の 68%に相当)の変化がほとんど生じず、スギやヒノキなどの針葉樹人工林の材積は増加傾向にある中で、吸収源としての機能は、わが国の温暖化対策に大きな役割を果たしてきた。しかし、世界に目を向けてみると森林を取り巻く状況は、日本とは異なることが見えてくる。

国際連合食糧農業機関(FAO)は定期的に世界各国の森林・林業に関する統計情報を取りまとめ、世界森林資源評価(Forest Resources Assessment: FRA)というレポートにまとめている。2020年に発行されたFRA2020¹⁾によると、アジアの一部や北米・欧州で森林面積の増加が認められるものの、依然、世界的に森林面積の減少は続いていることが示されている。

森林減少を引き起こす要因としては、農地や放牧地などの森林以外の土地利用への転換が挙げられる。森林から農地に転換された土地では、当然ながら森林が吸収していた量の炭素は存在しない。また、森林減少が生じている多くの国や地域では、地元住民の生活が森林に依存しているのも事実であり、調理などの燃料源として森林からの薪の採取が恒常的に行われている。薪の採取圧が強くなると、小～中径木が無くなり、林内の樹木がまばらな状態になる。このような状態を「森林劣化」と呼ぶが、森林劣化も森林減少と同様に温室効果ガスの排出源となることが指摘されている⁶⁾。

2. REDD+という考え方

吸収源としての森林の減少は、温室効果ガスを削減するという目標に対してマイナスに働くことは明らかであろう。2006年に英国の経済学者のNicholas Stern博士が発表した「気候変動の経済学」(通称スターン・レビュー)の中で、森林減少の抑制は他の気候変動緩和策に比べて比較的安価に行え、費用効果が高い可能性を示した。ほぼ同時期に国連気候変動枠組条約(UNFCCC)の第11回締結国会議(COP11)にて、パプアニューギニア政府とコスタリカ政府により、途上国において森林減少を回避することで温室効

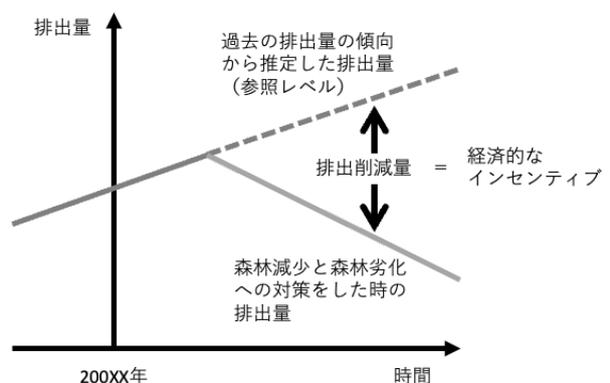


図1 REDD+の基本的な考え方

森林総合研究所 REDD 研究開発センターの資料をもとに作成

果ガスの排出量を削減する取組にインセンティブを与える仕組みの提案があり、その対応が開始された。後にこの対応は、「途上国における森林減少・劣化の抑制による温室効果ガス排出の削減」として UNFCCC COP13 で合意され、森林保全、森林の持続可能な管理、森林炭素貯留量拡大の役割も加えて英語表記での頭文字をとって REDD+(プラス)¹とされた。

REDD+の仕組みは、図 1 に示したように、何も対策をしなかった場合の森林減少や森林劣化起源の排出量の推移を参照レベルとし、REDD+活動による対策をした場合の排出量との差分を削減量として経済的なインセンティブを与えるということである。そして REDD+では、その活動による排出削減量をいかに正確に算定するかが重要であり、計測 (Measuring)、報告 (Reporting)、および検証 (Verifying) というシステム (MRV システム) が求められる。

森林総合研究所では、2010 年に REDD 研究開発センター (現在は、REDD プラス・海外森林防災研究開発センター) を設立し、REDD+の実践に必要な手法の開発を進めてきたが、演者は東南アジアおよび南米での MRV システムの開発を担当してきた。その過程で森林総合研究所が国内外で取り組んできた観測試験地での長期にわたる森林動態および炭素収支に関する研究経験が方法論開発に生きてきたのである。

3. 基盤となる森林の長期観測

ここで改めて、森林動態や炭素収支を進める上でなぜ長期観測が重要なのか整理してみたい。森林の炭素蓄積量を正確に知るには、種組成や成長量などを詳細に把握する必要があるが、稀に発生する強風や火災などの攪乱がそれらに与える影響とそこからの回復過程を無視することはできない。したがって、森林の状態ならびに炭素蓄積量を、その変化まで含めて正確に把握するためには、より長期にわたる観測が必要となる。

日本国内では、中静・山本⁴⁾が大面積かつ長期間の継続研究の必要性を指摘し、以降、多くの長期観測試験地が設定されてきた。試験地はヘクタール規模の大きさであり、試験地の区画内の一定サイズ以上の樹木個体全てを対象に樹種名や胸高直径 (DBH) を記録する。この調査を毎木調査と呼ぶが、この調査を 2~5 年の周期で繰り返し行うことで、森林構造や種組成の変化を把握できるのである。森林総合研究所でも 1980 年代後半から国内の森林を対象に長期観測試験地を設定し、データと共に測定手法の技術や知識も蓄積してきた。そして

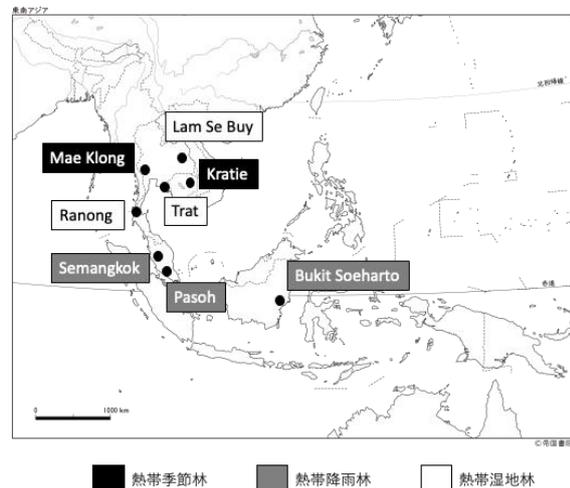


図2 東南アジアに設定された長期観測試験地
帝国書院ウェブサイト「白地図」より作成

¹ 英語表記で以下の通りとなり、下線部の文字をつなげて REDD となり、波線部が + (プラス) となる。

Reducing emissions from deforestation and forest degradation and the role of conservation, sustainable management of forests and enhancement of forest carbon stocks in developing countries

1990年代中盤からは、その技術と知識を活用する形で、東南アジア諸国において現地の研究機関と共同で長期観測のための試験地が複数設定され(図2)、現在に至っている。

4. 森林の長期観測から見えてきたこと

ここでは、攪乱後の変化を追った2つの試験地での長期観測の事例で見てみたい。

1) Pasoh 試験地 ～伐採後の変化を見る～

Pasoh 試験地はマレーシア首都クアラルンプールから約 110km 東南に位置する Pasoh Forest Reserve 内に設定されており、マレー半島の典型的な低地フタバガキ林 (lowland dipterocarp forest) である。Pasoh Forest Reserve では、日本とマレーシアの研究者が 1960 年代後半の IBP (国際生物学事業計画) のもと調査研究を実施してきた歴史があるが、1994 年に長期観測用の 6ha 試験地を新たに設定し、DBH5cm 以上のすべての木本樹種を定期的に毎木調査している⁵⁾。Pasoh 試験地では IBP による調査研究時代に地上部現存量計算用のアロメトリ式作成のために 0.2ha の規模で皆伐を行った部分を含んでいる。伐採後 25 年経過した 1996 年に皆伐跡地の種組成を周辺の未伐採の林分のもものと比較したところ、休眠性の種子を持つ種や先駆性の種が多く、皆伐前にあった 82 種のうち、59 種が消失しており、*Koompassia malaccensis* や *Dipterocarpus cornutus* などの未伐採林分での優占種の頻度は低く⁵⁾、その傾向は伐採後 49 年経過した 2020 年時点でも変わらなかった。伐採後にほぼ 50 年経過した皆伐跡地は、現地では未伐採林分と区別がつかないほどの回復しているように見えるのだが、種組成の視点からは変化しており、過去の攪乱の履歴を把握する重要性をこの観測結果は示している。

2) Bukit Soeharto 試験地 ～複数の攪乱の影響を見る～

Bukit Soeharto 試験地は、伐採と火事による攪乱の回復過程を観測するために、インドネシア・東カリマンタン州のムラワルマン大学の演習林でもある The Bukit Soeharto Research and Education Forest (BSREF) 内の低地フタバガキ林に設定されている。試験地は、9 つの 1ha プロットから構成されており、そのうちの 6 つでは二つの異なる方法 (弱度択伐と強度択伐) での伐採が行われ、残りの 3 つは対照区とするために伐採は行っていない (非択伐区)。伐採は 1997 年 10 月に実施したが、1998 年 2～3 月の火事で攪乱を受けている。いずれのセットでも DBH10cm 以上の樹木個体を定期的に毎木調査している⁹⁾。

火災と択伐という複数の攪乱を受けた本試験地では、火災攪乱から 2 年経過した 2000 年まで立木本数の低下が続き、その後急激な増加を示していた (図3右)。この本数増加は主に *Macaranga* 属や *Mallotus* 属などの先駆性樹種で占められていた。一般に先駆性樹種は材密度も低く、相対的に寿命が短い傾向にあり、2008 年頃をピークに本数は減少傾向を示している。一方で地上部現存量の攪乱後の回復傾向は、択伐による攪乱の有無により大きく異なっている。すなわち択伐を実施した区画では地上部現存量の増加は見られるものの、非択伐区との差はほとんど縮まらなかった (図3左)。これは非択伐区では、状態の良い森林に優占する遷移後期種が残っていたことに対し、択伐した区画では、材密度の低い (= 重量の軽い) 先駆性樹種で占められていたことによる。このように本数ベースでは攪乱前と同程度まで回復したように見えても地上部現存量はほとんど回復おらず、劣化した状態で

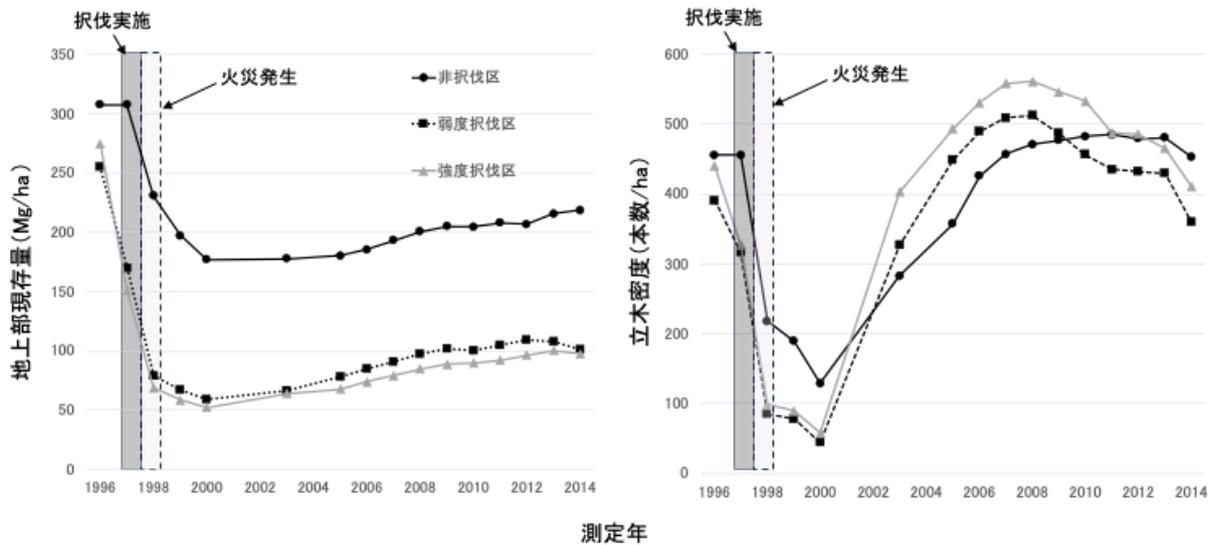


図3 Bukit Soeharto 試験地における地上部現存量(左)と立木密度(右)の年々変動

Toma et al.⁹⁾をもとに作図

あることがこの観測事例からわかる。攪乱前の1997年と攪乱後15年経過した2012年の時点での試験地内で記録された種数を比較したところ、種数自体は2012年の方が増加していたが、その約半数は攪乱後に侵入・定着した種であり、攪乱前に記録された種の約6割は15年の間に消失していたことが記録されている(藤間・私信)。攪乱を受けると森林は地上部現存量や種組成の視点からも劣化してしまいが、年数が経過すれば回復することも事実である。しかし、その回復過程は、この結果が示すように攪乱の強度により異なっている。攪乱直後のごく短い期間での観測結果のみでは、回復過程に誤った評価をしてしまう可能性があり、その意味でも長期観測は重要であることをこの試験地の結果は示している。

5. REDD+への応用

先に述べたように REDD プロジェクトでは、対象とする区域(例えば国や州レベル)内の森林由来の温室効果ガス排出量を把握する必要がある。そのための一つの方法として、ある一定期間内の森林炭素蓄積量の差分を排出量として推定する方法がある。森林炭素蓄積量は、活動係数(区域内の森林面積)に排出係数(単位面積辺りの炭素蓄積量)を乗じることで得られるが、衛星データなどを利用して得られる活動係数に対して、排出係数を求めるには地上データを用いた計算が必要となる。具体的には一定面積の調査区画を複数個設定し、毎木調査の結果から炭素蓄積量を求めることになるが、攪乱の強度(=劣化の程度)などを考慮してタイプ分けすることで計算結果の精度を上げることができる²⁾。また、REDD プロジェクトによる対策の効果を示すために、1回限りの調査ではなく、複数回にわたる計測が必要である。一方でプロジェクトを実施する途上国内の技術者には、このような地上調査に対して十分な知識と経験が不足していることが少なからずある。例えば、熱帯林の樹種には、根の一部が板状に発達する板根を持つ種もあり、通常とは異なる測定をする必要がある(図4)。そこで、REDD 研究開発センターでは、このような場合の直径の測定方法やプロット設定に関するルールをわかりやすくまとめた技術マニュアル「REDD-plus

Cookbook Annex」⁸⁾を作成した。マニュアル内に示したルールの多くは、長期観測で得られた(成功だけでなく失敗も含む)経験から導かれたものである。ペルーの南部アンデス地方では、このマニュアルに基づいて地上調査と森林炭素蓄積量が計算される³⁾とともに、ペルー国内の森林資源調査の担当者の資質向上にも寄与している。

余談ではあるが、REDD 研究開発センターでは地上部現存量を計算するためのアロメトリ式の作成も進めてきたが、我々のチームがパラグアイ共和国で開発したアロメトリ式⁷⁾は、パラグアイ政府が国連気候変動枠組条約に提出した森林参照排出レベル(FREL)の設定に用いられており、同国の REDD 活動に大きく貢献している。



図4 Pasoh 試験地での直径測定の様子

通常、樹木の直径は高さ1.3m の位置で測定するが(写真左)、板根が発達している場合(写真右)は梯子などを用いてより高い位置で測定する必要がある。

6. おわりに

本稿では、半島マレーシアとインドネシアの試験地の結果を通して、長期観測が重要であることを述べてきた。一方で長期に観測をすることで、試験地は伐採や火災、あるいは強風などの攪乱に遭遇する機会も多くなる。これら攪乱は森林の世代交代を促す役目を果たすことから、森林動態の解明には大きなヒントを与えてくれる。また、攪乱は森林減少のみならず、森林劣化とそれに伴う炭素蓄積量の減少を引き起こす要因ともなる。攪乱の程度によっては、試験地の維持自体が困難になる場合もあり、時として研究者の悩みの種にもなる。

しかし、長期観測による攪乱からの回復過程の把握は、森林劣化の評価にも適用でき、REDD プロジェクトに代表されるような持続的森林管理の促進に繋がるものであり、その重要性は増してくるだろう。長期観測を維持するためには、相手国の理解や協力が不可欠であり、そのためにも得られた知識や経験の共有を進めることは重要である。また、長期観測の基盤を維持するためには、人材や研究資金の確保が不可欠である。本稿では、森林の長期観測の一端を樹木種に着目して紹介したものであるが、森林にはさまざまな生物が生息しており、長期観測でしか解明し得ないことがまだまだ沢山ある。本稿が森林の長期観測に対して国内の若い世代の方々が興味を持つ端緒となれば幸いである。

引用文献

- 1) FAO (2020) Global Forest Resources Assessment 2020: Main report. Rome.
- 2) Gibbs, H. K. et al. (2007). Monitoring and estimating tropical forest carbon stocks: making REDD a reality. *Environmental Research Letters* 2, 045023.
- 3) Miyamoto, K. et al. (2018) Variation in tree community composition and carbon stock under natural and human disturbances in Andean forests, Peru. *Forests* 9, 390.
- 4) 中静透・山本進一 (1987) 自然攪乱と森林群集の安定性. 日本生態学会誌 37, 19-30.
- 5) Niiyama, K. et al. (2003) Regeneration of a clear-cut plot in a lowland dipterocarp forest in Pasoh Forest Reserve, Peninsular Malaysia. In T. Okuda, N. Manokaran, Y. Matsumoto, K. Niiyama, S.C. Thomas, P.S. Ashton (Eds.), Pasoh: Ecology of a Lowland Rain Forest in Southeast Asia, Springer, Tokyo, pp. 559–568.
- 6) Pearson, T. R. H. et al. (2017) Greenhouse gas emissions from tropical forest degradation: an underestimated source. *Carbon Balance and Management* 12(1), 3.
- 7) Sato, T. et al. (2015) Development of allometric equations for tree biomass in forest ecosystems in Paraguay. *JARQ* 49(3), 281-291.
- 8) Sato, T., Miyamoto, K. (2016) REDD-plus Cookbook Annex Volume 1. Ground-Based Inventory. FFPRI. Tsukuba.
https://redd.ffpri.affrc.go.jp/pub_db/publications/cookbook_annex/index_ja.html
- 9) Toma, T. et al. (2017) Sixteen years changes in tree density and aboveground biomass of a logged and burned dipterocarp forest in East Kalimantan, Indonesia. *Biodiversitas* 18(3), 1159-1167.

国際農林水産業研究センター（JIRCAS）の国際共同研究

小山 修

国際農林水産業研究センター

1. はじめに

本シンポジウムのテーマである「国際貢献」には多くの態様がある。農学という学問分野あるいは農学に携わる組織や個人による国際貢献だけを見ても、様々な活動内容が考えられる。そもそも、国境を跨いだ国際的な活動は、外国や外国人に何らかの影響を及ぼし、その影響が肯定的なものであれば、「貢献」になる。最近では、実際に国境を跨いで移動しなくとも、情報・知識、物資、資金などが動くことで影響を与えることができる。農学の分野で言えば、基礎研究で科学的知見を発見することでも、あるいは、我が国が食料を自給することでも、世界の食料安全保障に間接的に貢献できると考えている人がいるかも知れない。現在の世界は、密接につながっており、多種多様な国際貢献が考えられ、実際に行われている。

本講演では、国際農林水産業研究センター（略称：国際農研。以下、JIRCAS という。）による半世紀以上にわたる開発途上地域での国際共同研究の活動経験をもとに、複雑化・深刻化する様々な地球規模課題の解決に、日本の農学・農学研究者、特に JIRCAS が今後どのような貢献をしていくべきなのかを展望する。

2. 国際貢献と国際共同研究

一般に話題にされる国際貢献は、政府開発援助（ODA）による国際協力事業のような国家が関与する活動や、NGO（非政府機関）による草の根の開発事業などである。農林水産業あるいは広義の農業は、世界の多くの国、特に開発途上地域諸国の重要産業であり、農学関係者がそれらの活動に参画する機会は多い。特に、人材の育成や能力開発は、開発の重要な要素であり、現地での研究・教育インフラ整備事業などだけでなく、我が国での技術研修、留学生の受け入れなどの活動がなされている。事実、世界の津々浦々で我が国での教育や研修を経験した農業指導者、研究者に遭遇する。米国やオランダはこの分野の国際貢献で世界をリードしている。当然 JIRCAS もこれらの開発協力事業に職員を派遣し、現在も ODA 事業や NGO 活動に参画しているが、主な活動は国際共同研究を通じたものである。

経済のグローバル化による市場メカニズムを通じた経済発展が浸透し、政府主導の技術開発・普及事業の役割や規模が変化してきている。我が国の ODA も 2000 年代初頭をピークに減少し、農林水産分野でも従来型の技術協力案件は減少している。このようななかで、共同研究を通じた国際協力の比重が徐々に高まりつつあり、その役割が期待されている。

国際共同研究の定義はないが、国境を超えて研究者が一緒に研究する活動と言ってもよく、研究の対象が外国現場の問題解決であるかどうかを問わない。近年では、農学分野でさえも、実際に国境を跨ぐことなしに、情報通信の力によって研究を進めることが可能となっている。JIRCAS の国際共同研究では、主に開発途上国の研究者と対等な立場で研究する。研究資材や旅費は JIRCAS の負担割合が大きいのが、異なる経験を持つ研究者双方が学びあい、意見を戦わせることによって、新たな知見・成果が創出されるという利点がある。

3. JIRCAS の使命

JIRCAS の前身は、1970 年に設置された農林省（当時）熱帯農業研究センター（TARC）で、熱帯・亜熱帯地域の食糧増産等の農業振興に必要な技術開発などを目的にしていた。我が国が経済発展するなかで増加しつつあった国際協力事業を支援する役割をもっていた。1993 年の改組では、中国、南米、中央アジアなど非熱帯の開発途上地域を新たな対象地域に加え、研究分野に水産業が追加された。社会科学を含む全方位の研究課題を単一の組織で対応する体制が整えられ、組織名が現在のものになった。当時の農林水産省には数多くの国立研究所があり、それらをまとめる国際センターとしての役割を託されていた。

その後、独法化されて、個別法「国際農林水産業研究センター法」が制定された。その第 3 条（目的）は、「熱帯又は亜熱帯に属する地域その他開発途上にある海外の地域における農林水産業に関する技術上の試験及び研究等を行うことにより、これらの地域における農林水産業に関する技術の向上に寄与する。」というものであり、農林水産省傘下の国の研究機関でありながら、国際貢献（寄与）を目的とする稀有な組織であった。

現行の第 5 期中長期目標（2021～25 年度）では、JIRCAS の使命として「我が国を代表する国際農林水産業分野における研究機関として、食料・農業・農村基本計画等の政策の実現に向け、我が国を含む世界の農林水産業技術の向上を図り、持続可能な農林水産業の発展に寄与する」と明示されている。この文言は、JIRCAS が従来の開発途上地域の問題解決型研究中心の活動から、我が国を含む「世界」の農林水産業を視野に入れた地球規模の活動に移行しつつあることを示している。

当然、時代とともに要請される技術の種類も内容も変化していく。緑の革命などの食糧大増産の時代、過剰生産を背景にした先進国間の輸出競争の時代、地球環境問題への認識が深まった時代、経済危機によって食料価格が乱高下した時代など、時代の要請を受けて農林水産業分野の技術開発が解決すべき課題そのものも変化してきた。

国の施策を実施する「独立行政法人」の一形態である国立研究開発法人としての JIRCAS は、時々の世界の農林水産業を巡る情勢に対応して、我が国の政策目標のための研究活動を展開する立場にある。現在、2つの重点業務として、地球規模の食料・環境問題の解決を目指すための研究開発の効果的・集中的な実施と、それらの情報を多角的に収集・分析して、広く発信するための機能強化が掲げられおり、2021 年に策定された食料・農林水産業の生産力向上と持続性の両立をイノベーションで実現するための中長期的な視点での政策方針「みどりの食料システム戦略」などに沿った取組を進めている。

4. JIRCAS の共同研究の特色

上記のような使命を果たすため、JIRCAS の研究推進の体制が歴史的に整備されてきた。効果的な活動を確保するため、他の研究組織にないような特色が備わっている。

(1) 現場主義と俯瞰研究・基礎研究

世界では気象・土壌・社会経済など多くの条件によって多様な農林水産業が展開されている。その多様な業の存立のための技術は、現地の条件に適合したものでなくてはならない。現地研究者とともに農業現場の問題の本質を理解し、科学的知識・手法を駆使して適切な解決策を提案する。現地の空気を吸い、水をのみ、食事し、会話することが研究の原点になっている。当初は、現地に 2～3 年程度長期滞在する共同研究が基本になっていた。交通・通信技

術の発達とともに、滞在の日数は減少する傾向にあるが、基本的な精神は不変である。

一方、現場研究の成果をより大きなインパクトとしていくためには、より広範囲のより普遍的な事象を的確に把握することが不可欠である。より広域の地理情報、社会経済情報の的確な把握と分析、より基礎的な生物の生理・生態メカニズムや気象・水文の物理メカニズムの理解と解明などが重要となる。JIRCAS では、それらを担う多彩な人材を集めるとともに、自由な発想で外部との連携や外部資金プロジェクトへの参加を通じて、基礎から応用・実証につながる研究が可能となっており、虫の眼と鳥の眼、そして人工衛星の眼を使って成果の普遍化を目指している。本講演で紹介されるマダガスカルのイネ品種の開発は、基礎的な遺伝子解析が現場の問題解決につながっている好例である。

(2) 学際・総合研究

複雑化する地球規模課題への対応や、現場での実際的な問題解決につながる活動を志向するためには、専門分野間の連携・協力を伴った研究、学際的研究が必要である。1993 年の改組当初から、この問題意識があり、社会科学等を含む「総合研究」を企画・運営するための部署や専門職が設置された。一定の期間を区切って研究の進捗を管理するプロジェクト形式の活動が主流となると、専門分野の研究蓄積や研究の継続・深化と学際的なプロジェクト運営の両立が問題となった。このため、国際農業研究機関などで試行されていた専門領域の活動の管理とプロジェクト活動の管理を分離するマトリックス(行列)制が導入された。

JIRCAS のマトリックス制は、図1に示すように、7 つの専門領域に研究職員を所属させて専門研究を維持発展させるとともに、各職員が自らの専門知識・能力が求められる研究プロジェクトにエフォート(時間)を配分して、プロジェクト目標に貢献するという仕組みである。この制度によって、学際的なプロジェクトの企画と管理が容易となり、職員は複数の研究プロジェクトに参画できる。当然、このような制度をトップダウンのみで運用することは困難であり、プロジェクト企画の段階から、達成目標に必要な研究分野、JIRCAS だけでなく外国の相手側研究機関や国内の大学等の連携機関からの参画研究者の専門分野などを想定した、ボトムアップによる緻密な計画立案が必要となる。このような JIRCAS の内部プロセスは、科学的研究成果と成果の社会実装が同時に求められる地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム(SATREPS)等の大型外部競争資金への応募に際しても貴重な経験となっている。

(3) 理念と開発目標

JIRCAS は、国の機関として国の政策を実現に資する研究を実施するが、世界の農林水産業技術の向上への貢献について詳細な政策が存在しているわけではない。世界の農林水産業を巡る国際情勢や外交、科学技術を含む国内の関連政策の動向、5 年ごとに国から指示される中長期目標等を踏まえて、JIRCAS 自らが、組織目標や活動計画を定めていく必要がある。JIRCAS は、国立研究開発法人となった 2015 年に国際農研の運営基本理念(JIRCAS ビジョン)を策定した。「最新の科学的知見を駆使して、食料不安・栄養不良や持続的な資源環境管理など、地球規模の困難な問題の解決のため、最適な技術を提案する」こと、「我が国を代表する国際農林水産業分野の研究機関として、国際的な科学的議論を主導し、我が国の食料安全保障と国際社会の繁栄と安定に貢献する」という 2 点を掲げている。

その後も、持続的開発のための目標(SDGs)や国連食料システムサミット(UNFSS)での議論などがあったが、JIRCAS の研究活動は、このような理念、国際開発目標との整合性も強く意識して行われている。国際共同研究は、相手側機関・研究者との共同作業であり、ビジョンの共

有共通が不可欠だからである。共通のビジョンがあって初めて共同研究のベクトルが一致し、Win-Win の成果が創出される。

このために考えられたのが、図1のプログラム・プロジェクト制である。各プログラムが長期的な視野から国際開発目標と統合的な研究の出口を明確に示して、地球規模課題に対応したプロジェクトを企画し、成果を創出する。現行では、気候変動対応や持続的資源管理を出口とする環境プログラム、食料システム変革や食料・栄養安全保障を出口とする食料プログラム、国際的な科学的議論・連携やそのための情報収集・分析を出口とする情報プログラムの3つが設置されている。例えば、環境プログラムの重要な研究プロジェクトある「BNI システム」は、BNI（生物的硝化抑制）能を強化した作物の開発を実施しているが、育種、植物生理、肥培管理、化学、LCA（ライフサイクル分析）などの学際的専門家チームが構成され、主たる出口を窒素循環・施肥効率の改善、温室効果ガス削減などとして、世界的な成果を創出している。

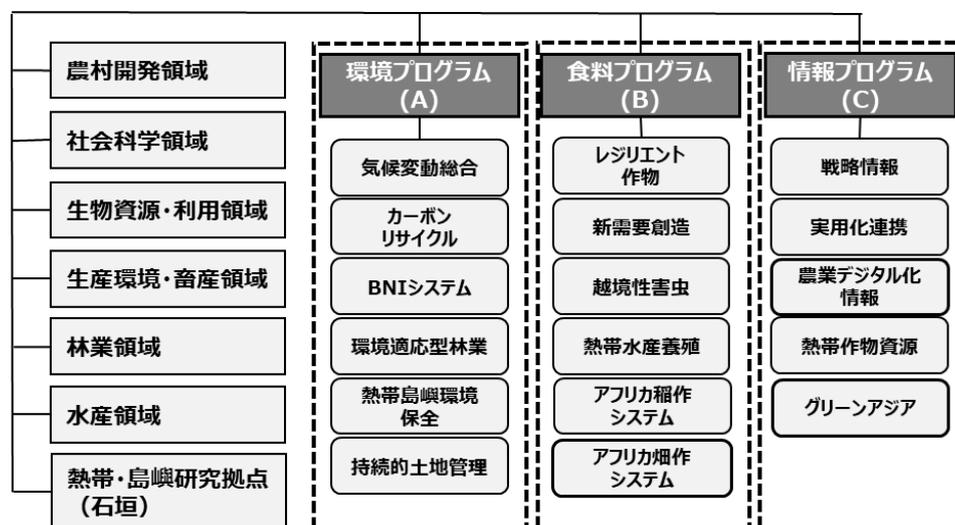


図1 JIRCAS の研究推進体制（マトリックス制とプログラム・プロジェクト制）

5. これからの JIRCAS

上述のように、JIRCAS は、急速に変化し続ける世界の農林水産業を巡る情勢や国内政策の要請に対応しつつ、研究対象や研究体制を時代に合わせることで半世紀以上にわたる歴史を刻んできた。この間、2008年の緑資源機構の海外農業開発事業の承継を除けば、統合や再編を経験することなく単一組織として継続し、国際的にも一定の知名度と評価を獲得している。一方で、アジア近隣各国の研究水準は向上し、設立当初と比べようもない。我が国は、かつてのようなODA 大国でもなく、高所得国でもなくなりつつある。

公的部門による、あるいは公的資金による国際共同研究には、より普遍的な科学的知見の創出のほか、ルール作りや安全の監視などのための研究、依然として内部経済化が進まない（収益につながらない）環境保全や自然資源管理に関連する研究、最貧国（条件不利地域）での現場問題の解決研究などの分野で、依然として重要で、代替不可能な役割が残されている。しかし、国際共同研究は、国内の大学、研究機関でも多く実施されるようになり、もはやJIRCAS の専有物ではなくなっている。それでは、どのような可能性が待っているのか。強いてあげれば、現在の活動の継続に加えて、以下の2つの新たな道筋が想定される。

第一は、人類が共通して解決策を模索すべき「地球規模課題」への貢献である。小さい組織とはいえ、JIRCASほど国際経験のある広範な分野の専門家を擁する機関は存在しない。諸外国を見ても JIRCAS ほど多様な対等な国際共同研究を長年実施している機関は存在しない。多くは、資金提供中心であったり、自国本意の海外研究であったりする。これまでの信頼と研究蓄積を活用して、他国の政府機関や国際機関とも差別化可能な新たな共同研究方式の創出も可能であろう。関連して、JIRCAS は、我が国を代表して、地球規模課題に関与し、科学技術による解決策の提示に関する国際的議論に参加すべき立場にある。我が国が培ってきた研究蓄積や経験を国際的に活用するという貢献が可能である。

第二は、民間研究との連携の強化である。もとより農学は、応用の学問、実学であり、その対象は農林水産業とその関連産業である。世界の食料システムの高度化が進行すると、民間部門の役割が増大する。JIRCAS の共同研究においても、生産者以外の民間部門との連携が当然のようになってきている。公的な普及部門が縮小するなか、民間の力なしに、研究成果を社会実装することが困難な状況にある。現地で活動している内外の民間企業との連携に加えて、我が国発の国際的ベンチャーの育成、我が国企業の国際展開に関与していくことが考えられる。一方で、グローバル経済化が深化するなか民間ビジネスでは、農林水産物貿易の市場競争、遺伝資源や産業知財を含む投入資源の確保競争が熾烈を極めており、農学という学問分野の国際貢献でも、当然のことながら、国際間の競争という側面を無視することはできない。JIRCAS には、我が国を代表する公的研究機関という立場と現場での研究成果の社会実装を効果的に推進するという立場を両立することが求められる。

7. おわりに

学問分野での国際貢献、地球規模課題への貢献は、施しても慈善でもなく、我々一人一人の地球市民の役割分担、責任分担と捉える必要がある。長期的には地球益こそが真の国益でもある。その点では、JIRCAS という稀有な特色のある機関の存在やその長年にわたる活動は、SATREPS プログラムなどとともに我が国が世界に誇れる数少ない事例であろう。農学分野の国際貢献において、JIRCAS が果たしてきた役割は非常に大きく、今後の活動に対する期待も大きいと感じる。しかし、JIRCAS がもつ特色や優位性を活かして他の機関と差別化できる国際貢献を継続していくためには、さらなる人材の確保、育成と研究システムの最適化、高度化を進めて行く必要がある。JIRCAS が「地球と食料の未来のために」という合い言葉を胸に、人類共通課題に立ち向かう国際貢献の日本のトップランナーとして走り続けることを願っている。

(参考文献)

国際農林水産業研究センター(2020)『国際農研創立 50 周年記念誌－国際農林水産業研究 50 年－』

小山修(2021)「国際農林水産業研究センター」『日本農学アカデミー会報』36:12-15.

小山修(2024)「地球規模課題に貢献するということ」『JATAFF ジャーナル』12(8):p1-2.

小山修(2024)「農業の未来と日本の農業経済学」『農業経済研究』96(2):104-114.

講演者プロフィール

敬称略・講演順

【芦刈 基行（あしかり もとゆき）】

大分県出身。九州大学大学院農学研究科，遺伝子資源工学専攻。農学博士。2000年6月～名古屋大学・生物分子応答研究センター助手、助教、准教授を経て、2007年8月～教授。専門分野：植物分子遺伝学。主な著書：1.Nagai et al. Nature, 584: 109–114. (2020)、2.Kuroha et al. Science. 361: 181-186 (2018)など。

【辻本 泰弘（つじもと やすひろ）】

大阪府出身。2010年3月、京都大学大学院農学研究科博士課程修了、農学博士。2010年4月 国際農林水産業研究センター 研究員、主任研究員を経て、2021年4月よりプロジェクトリーダー。2021年4月より名古屋大学農学国際教育研究センター 客員教員。2023年4月より東京大学大学院農学生命科学研究科 連携教員。2016年6月～2022年9月 地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム(SATREPS)生物資源領域「肥沃度センシング技術と養分欠乏耐性システムの開発を統合したアフリカ稲作における養分利用効率の飛躍的向上」研究代表。2024年6月～ 地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム(SATREPS)生物資源領域「ゼロハンガーとゼロエミッションに同時貢献する水田を中心とした食料生産システムの創出」研究代表。

【五十嵐 圭日子（いがらし きよひこ）】

山口県出身。1999年東京大学大学院農学生命科学研究科生物材料科学専攻博士課程修了。博士(農学)。1998年～2002年 日本学術振興会特別研究員(DC・PD)2002年より東京大学大学院農学生命科学研究科 助手、助教、准教授、を経て、2021年より東京大学大学院農学生命科学研究科 教授。2016年～2019年 VTTフィンランド技術研究センター 客員教授。2022年～総長特任補佐、2024年～産学協創推進本部 副本部長。主な受賞：令和5年度 日本応用糖質科学会賞、第62回 日本木材学会賞、第12回 日本学術振興会賞受賞など。主な学会活動：日本木材学会 理事、日本応用糖質科学会 評議員、セルロース学会 理事他。環境省、内閣府の多くのプロジェクトにかかわる。

【浅見 忠男（あさみ ただお）】

神奈川県出身。1987年東京大学大学院農学研究科農芸化学専攻博士課程修了(農学博士)。同年日本特殊農薬製造(株)(現バイエルクロップサイエンス(株))入社、1991年理化学研究所入所を経て、2006年より東京大学大学院農学生命科学研究科応用生命化学専攻教授。2013年から5年間サウジアラビアキングアブドラジズ大学卓越教授、2024年より東京大学大学院農学生命科学研究科特任研究員ならびに横浜市立大学木原生物学研究所客員教授、インポディアムコンサルタント。専門分野は生物制御化学、植物ホルモン学、植物生理学。所属学

会は日本農芸化学会、植物化学調節学会、日本農薬学会、日本植物生理学会、日本植物バイオテクノロジー学会、国際寄生植物学会、国際植物成長調節物質会議。主な著書:新しい植物ホルモンの科学(講談社サイエンス、2016年)、新版農薬の科学(朝倉書店、2019年)、天然物化学(コロナ社、2019年)など。

【Marcy Wilder (マーシー・ワイルダー)】

アメリカ合衆国マサチューセッツ州ボストン市出身。1993年東京大学大学院農学系研究科水産専攻博士課程修了(博士、農学)。1994年農林水産省入省、国際農林水産業研究センター企画調整部・水産部に配属。現在は国立研究開発法人 国際農林水産業研究センター水産領域・プロジェクトリーダー。現職に加え、東京大学大学院農学生命科学研究科農学国際専攻教授(連携教員)および ShrimpTech JIRCAS 株式会社代表取締役社長。日本水産学会、日本比較内分泌学会、日本女性科学者の会に所属。最新の編著書: Wilder, M.N., Kang, B.J., Higano, J. (2023). Vitellogenesis & Yolk Proteins, Crustaceans and Molluscs, In: Volume 6: Comparative Reproduction, The Encyclopedia of Reproduction, 3rd Edition (Elsevier, Amsterdam)。受賞: 令和5年度日本農学賞並びに令和5年度読売農学賞(2023年)、令和2年度日本水産学会賞(2021年)、第4回食の新潟国際賞・佐野藤三郎特別賞(2016年)、第7回産学官連携功労者表彰(農林水産大臣賞)(2009年)。

【秋山 博子 (あきやま ひろこ)】

岡山県出身。1995年東京農工大学大学院修士課程(農学専攻)修了、博士(農学)。農林水産省四国農業試験場、農業環境技術研究所を経て農研機構農業環境研究部門気候変動緩和策研究領域革新的循環機能開発グループ長。土壌肥料学会。農林水産省食料・農業・農村政策審議会企画部会地球環境小委員会委員、農林水産省環境保全型農業直接支払交付金における地域特認取組に係る技術検討会委員、環境省温室効果ガス排出量算定委員会農業分科会委員(座長 2022~)、2019年 IPCC 改良ガイドライン執筆者。

【佐藤 保 (さとう たもつ)】

栃木県出身。1990年宇都宮大学農学部林学科卒業。博士(農学)。1990年森林総合研究所に入所。同研究所九州支所、環境省地球環境局研究調査室室長補佐、森林総合研究所森林植生研究領域研究室長、同領域長、生物多様性・気候変動研究拠点長、企画部国際戦略科長を経て、2024年より研究ディレクター(生物多様性・生物機能研究担当)となる。また、2017年より東京大学大学院農学生命科学研究科農学国際専攻連携教員(教授)も務めている。専門は森林生態学。研究テーマは、照葉樹林の攪乱後の森林動態、熱帯林の炭素動態、熱帯林での炭素蓄積量推定手法の開発など。主な著書:「針広混交林を目指す 市町村森林経営管理の施策」(全国林業改良普及協会)、「森のバランス—植物と土壌の相互作用」(東海大学出版会)(分担執筆)、「日本樹木誌1」(日本林業調査会)(分担執筆)など。

【小山 修（こやま おさむ）】

埼玉県出身。1979年東京大学教養学部教養学科(人文地理分科)卒業。1979年農林水産省構造改善局入省、経済局、食品流通局勤務、1986年国連食糧農業機関(イタリア国)商品貿易部計量経済専門官、1993年国際農林水産業研究センター主任研究官・国際研究情報官、2002年同国際情報部長、2006年同研究戦略調査室長、2015年同理事、2021年同理事長。専門分野:国際食料需給の計量経済分析、農林水産業分野の国際研究戦略。現在、日本熱帯農業学会副会長、日本農学アカデミー理事。日本農業経済学会、日本地理学会、日本農業経営学会、日本国際地域開発学会に所属。主な著書:『世界は飢えるか』(農文協、共著)ほか。

2024 年度日本農学会企画委員会

【日本農学会役員】

会 長	大杉 立
副会長	金子 豊二
	小崎 隆
監 事	佐藤 秀一
	羽藤 堅治

【日本農学会常任委員】

企画担当	山本 清龍 (日本造園学会)
	古橋 元 (日本フードシステム学会)
庶務担当	葛山 智久 (日本農芸化学会)
	松脇 貴志 (日本繁殖生物学会)
会計担当	松田 二子 (日本畜産学会)
	建石 邦夫 (日本農作業学会)

【日本農学会企画委員】

岩田 洋佳	(日本育種学会)
山本 和貴	(日本応用糖質科学会)
青木 直大	(日本作物学会)
陣川 雅樹	(日本森林学会)
小山 寛喜	(日本水産学会)
神谷 岳洋	(日本土壌肥料学会)
上吉原 裕亮	(日本熱帯農業学会)
喜田 聡	(日本農芸化学会)

複写される方に

本誌に掲載された著作物を複写したい方は、著作権者からの複写権の委託を受けている次の団体から許諾を受けてください。

一般社団法人 学術著作権協会

〒107-0052 東京都港区赤坂 9-6-41 乃木坂ビル 3F

TEL: 03-3475-5618 FAX: 03-3475-5619

Notice about photocopying

In order to photocopy any work from this publication you or your organization must obtain permission from the following organization which has been delegated for copyright for clearance by the copyright owner of this publication.

Japan Academic Association for Copyright Clearance, Inc

Phone : 81-3-3475-5618 Fax : 81-3-3475-5619

2024年10月1日

発行者 大杉 立

発行所 一般社団法人日本農学会

〒113-8657 東京都文京区弥生 1-1-1
