

国際農林業協力

JAICAF

Japan Association for
International Collaboration of
Agriculture and Forestry

特集：新しい技術の利用

ゲノム情報を利用したイネの育種

衛星画像を利用する灌漑計画の作成

気候変動対応型農業と土壌への炭素隔離

東アフリカの農業機械化がもたらす小規模稲作栽培農家の現状と課題

Vol. 38 (2015)

No. 3

公益社団法人

国際農林業協働協会

巻頭言

混乱を増す EU の GMO 政策

藤岡 典夫 …………… 1

特集：新しい技術の利用

ゲノム情報を利用したイネの育種

永井啓祐・黒川裕介・土井一行・芦刈基行…………… 2

衛星画像を利用する灌漑計画の作成

石坂 邦美 …………… 12

気候変動対応型農業と土壌への炭素隔離

松原 英治…………… 21

東アフリカの農業機械化がもたらす小規模稲作栽培農家の現状と課題

西野俊一郎・西川ななみ・松本巖・稲見廣政・高畑恒雄 …………… 27

図書紹介

にっぽんっていいね！—和の経済入門—…………… 38

JAICAF ニュース

掲載記事の投稿について…………… 40



混乱を増す EU の GMO 政策

公益社団法人国際農林業協働協会 専務理事
藤 岡 典 夫

遺伝子組換え体（GMO）の商業栽培はわが国ではゼロであるが、南北アメリカ大陸を中心に世界では広く栽培され、最近ではアジア、アフリカ諸国での栽培も増えている。ただ、アフリカでは数カ国にとどまっている。2002年に南部アフリカで食料危機が発生したとき、米国が食料援助に送ったトウモロコシの中に GMO が含まれていたため、ザンビア政府がこの受け入れを拒否したことが話題になった。その背景の1つに、受け入れた GMO によって在来品種が「汚染」されることで、GMO に拒否感が強い EU の市場を将来にわたって失うことへの怖れがあったともいわれている。

その EU の GMO 規制については、科学的リスク評価を経て問題なければ認可に至る統一的手続きが定められている。ところが、加盟国の多数が世論に押されて認可付与に反対している結果、相当数の認可申請が、肯定的なリスク評価を受け取っているにもかかわらず長期間店晒しとなる事態が生じ、認可プロセスの行き詰まりが明白になってきた。このような対応は米国の強い反発を招いており、WTO ルール上も問題がある。さすがにこれではマズいと、欧州委員会が苦肉の策として最近打ち出したのが、認可済み GMO の

栽培からオプト・アウト（離脱）する権利を加盟国に認める、というものであった。こうすることで EU としての認可手続は迅速化できるだろうとの目論見で、この新しい制度は 2015 年 4 月から施行された。しかし、こうした措置は EU 内の市場統一・規制の調和の方向に反し、物品の域内自由移動を定める EU の条約に照らしても問題が多く、またこれで WTO ルール上の問題が解消するとも思えない。

もう1つ、EU の GMO 規制にとって頭が痛い（かもしれない）ことは、遺伝子の一部を自在に切り貼りできる「ゲノム編集」等の革新的育種技術が近年急速に発展していることに関連する。EU の現行の GMO 規制枠組みは、GM 技術（つまりプロセス）それ自体にリスクありとして GM 技術を用いた作出物すべてに規制の網をかける「プロセス・アプローチ」をとっている。これは、用いた技術というプロセスよりも、結果である製品のリスク次第で規制のあり方を判断する「プロダクト・アプローチ」—米国が採用—と対比される。問題は、こうした新たな育種技術を用いた産品を GMO 規制の対象とすべきかどうかの検討の中で、プロセス・アプローチという EU の現行規制哲学の妥当性に疑問符が投げかけられていることにある。

EU の GMO 政策は、混乱の度を深めつつあるように思われる。

FUJIIOKA Norio: More Troubles Ahead: the Regulation of GMOs in the EU.



ゲノム情報を利用したイネの育種

永井啓祐*・黒川裕介**・土井一行***・芦莉基行****

はじめに

国際連合食糧農業機関（FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations）によると、世界では約8億人が栄養不足の状態にあります。中でも、南アジア（約2.8億人）、サブサハラ（約2.2億人）、東アジア（約1.5億人）の3つの地域が全体の約81%を占めます。世界の食料問題の原因として、①人口増加（食料需要の増大）、②過度の開発による砂漠化（耕地の減少）、③温室効果などによる気候変化（安定生産の崩壊）、④食料とバイオエタノールの競合（食料供給の低下）等を挙げることができます。また、政治、経済、資源、紛争、宗教、民族対立問題など様々な要因が複雑に絡み合い、その解決は一筋縄にはいきません。食料問題の軽減には、様々な分野からのアプローチと融合が必要です。農学的な観点から食料問題軽減に取り組む方法も多岐にわたりますが、本稿では、農業分野の中でも、作物の生産性向上に向けた育種に焦点を当て、とくに、ゲノム科学を応用したイネの分子育種技術を紹介します。具体的にはまず、①イネのゲノム情報から、有用農業形質を司る遺伝子を見い

だし、②遺伝子情報を利用しながら交配を進めて品種育成するといった流れに沿って述べていきます。

1. ゲノム情報から遺伝子を見つける

ゲノムとは1930年に京都大学農学部の本原均教授によって「生物をその生物たらしめるのに必須な最小限の染色体セット」として定義された言葉です。現在では、生物の遺伝情報が染色体のデオキシリボ核酸（DNA）に刻まれていることが知られ、「生物の持つ全ての核酸上の遺伝情報」と解釈されます。生物の表現型は遺伝要因と環境要因によって決まるため、生物の表現型を理解する上で遺伝子を理解する必要があります。様々な生物のゲノムを解読する試みが進んでいます。最初のエポックメイキングな例として、ヒトゲノム解読計画を挙げることができます。1990年にアメリカで開始され、その後国際プロジェクトとなり、2003年に解読が終了しました。人類が自分たちの遺伝情報を解読したこの成果は、歴史に残る事例となりました。植物においても、1996年に双子葉のモデル植物であるシロイヌナズナの全ゲノム配列を解読するプロジェクトが始まり、2000年に解読が終了しました¹⁾。作物においては2004年、イネが日本の農林水産省・農業生物資源研究所を中心とした国際コンソーシアムによって最初に解読されました²⁾。

NAGAI Keisuke, KUROKAWA Yusuke, DOI Kazuyuki and ASHIKARI Motoyuki: Rice Breeding Through the Using of Genomic Information.

さて、ゲノム DNA 配列が明らかになったら、何が分かるのでしょうか？ DNA はデオキシリボース（糖類の一種）、リン酸、塩基（base）から構成されていますが、配列は4つの塩基（A,T,G,C）の並びで表されます。イネの場合、ゲノム DNA は 389Mbp（3億8900万塩基対：389 Million base pairs）の長さがあります。この4種類の塩基の一連の配列の中に遺伝子がありますが、遺伝子とは、DNA から RNA に転写された後、翻訳されてタンパク質になる部分の DNA 配列を指します。実際は膨大な DNA 配列のほとんどの部分は遺伝子ではなく、ほんの一部の塩基配列だけが遺伝子となります（図1）。遺伝子の長さは様々で、数百 bp から数万 bp の長さのものまであります。莫大な DNA 配列を眺めてもどこの塩基からどこの塩基までが遺伝子であるかはわかりません。莫大な量の DNA 配列から遺伝子の部分を探し出すには、遺伝子配列予測ソフトを用いるなど、コンピ

ュータの力を借りる必要があります。最初の頃の遺伝子配列予測ソフトは正確さに欠けていましたが、様々な遺伝子情報が蓄積されたことで改良が加わり、現在では遺伝子に相当する配列をかなり正確に予測することができるようになりました。遺伝子配列予測ソフトは、動物と植物で大きく異なりますし、いくつかの生物種では、その生物特有の遺伝子配列予測ソフトもあります。現在では高精度で遺伝子配列を予測できますが、ソフトで見いだされた遺伝子あくまで予測配列であり、正確な遺伝子配列を知るには、遺伝子の転写産物（mRNA）を解読して（EST 解析や full length cDNA 解析と呼ばれます）、もともとのゲノム DNA 配列と対応させることで、正確な遺伝子配列が明らかになります。

しかし、遺伝子がどこの塩基からどこの塩基までか分かったとしても、それだけではほとんど品種の育成に役立ちません。各遺伝子が、どのような働きをしているかという機能

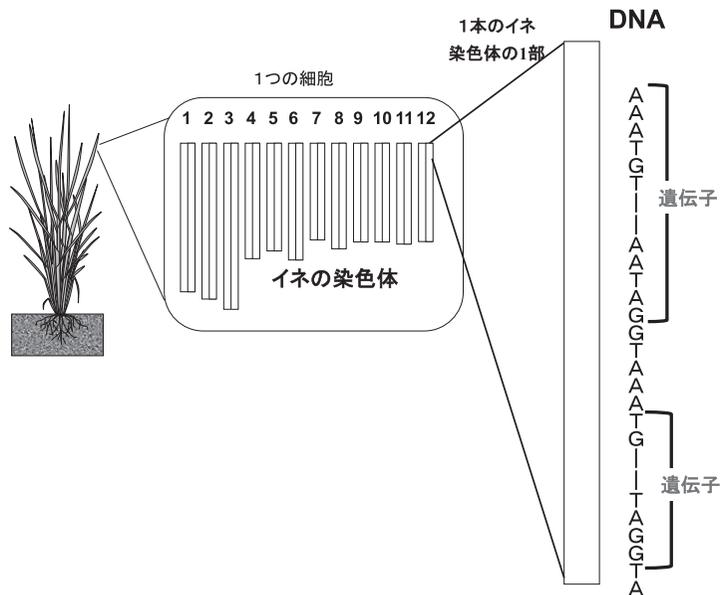


図1 イネの染色体と DNA と遺伝子の関係

を明らかにしなければ意味をなさないためです。酵素なのか？酵素であっても何を触媒する酵素なのか？それとも、たとえばDNAからRNAへの転写（遺伝子発現）を制御するタンパク質（転写因子）なのか？そして、それらが生物の表現型にどのような影響を与えるのか？このように、それぞれの遺伝子がどんな分子的機能を持つかを明らかにしてはじめて意味のあるものになります。イネには3万～4万の遺伝子があると予想されています。それぞれの遺伝子は何らかの機能を有しています。たとえば、染色体1に座乗する8838番目の遺伝子はイネの草丈を制御する遺伝子かもしれないし、染色体6に座乗する133番目の遺伝子はおコメの味に関与する遺伝子かもしれません（図2）。ゲノムDNA配列のどの部分が遺伝子なのかはかなり分かってきましたが、1つ1つの遺伝子の機能については、現在のところまだ多くが不明です。遺伝子の機能を知るには、まず、これまでに蓄積した他の生物種の情報を利用します。データベースには、様々な生物種の膨大な量のDNA情報が登録されています。イネのXと

いう機能不明の遺伝子をデータベースで検索し、類似した配列を探し出します。たとえば、配列比較の結果、イネのX遺伝子がシロイヌナズナの病害抵抗性に関与するX'遺伝子に類似していることが明らかになれば（遺伝子間のホモロジーが高いといいます）、イネのX遺伝子においても同様の病害抵抗性の機能を保持することが期待されます。研究が進み、研究者が成果をデータベースに登録して、データを蓄積すればするほど、類似配列から機能予測がより正確にできるようになります。しかし、正確に遺伝子の機能を知るには、更なる研究が必要です。たとえば、X遺伝子を破壊した植物（突然変異体）と野生型の表現型を比較することによってその機能を知ることができます（Reverse genetics、図3A）。すなわちX遺伝子を様々な手法で破壊（放射線や化学剤、トランスポゾンなどで遺伝子の突然変異を誘発し、望みのイネを選抜する、またはゲノム編集技術などを用いる）し、もともとの品種より、病気に弱くなった表現型が観察されれば、X遺伝子がイネの病害抵抗性遺伝子であることが分かります（た

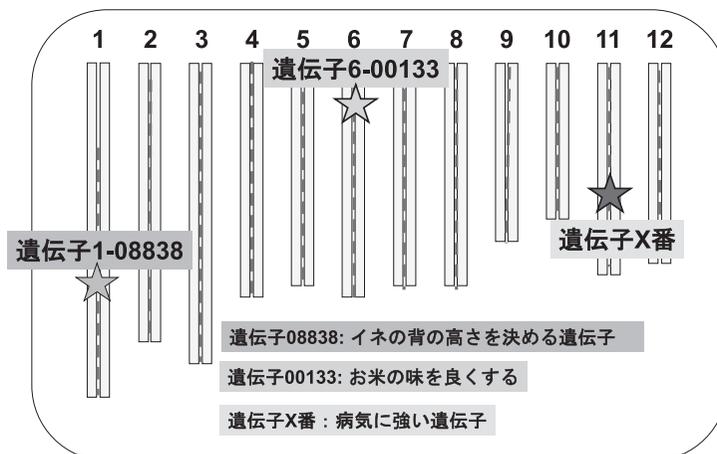


図2 有用な遺伝子を染色体（DNA配列）の中から見つける

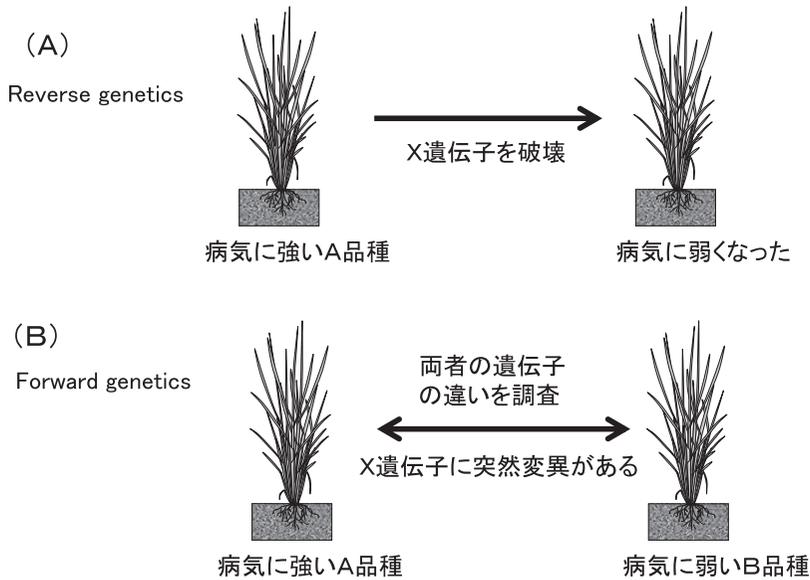


図3 遺伝子の機能を見いだす2つの代表的な手法

だし、成長がただ悪くなったために、病気に弱くなっているような例には気をつける必要があります)。一方、Reverse geneticsとは全く逆の方向でForward geneticsという方法もあります。そもその遺伝学の歴史的にはこちらが王道であり、野生型と突然変異体の表現型の違いを生み出す遺伝子変異を見いだす手法です(図3B)。たとえば、先に病気に強い品種と弱い品種を見つけ、両者の遺伝子を比較することで、遺伝子の変異を見いだします。病気に強い品種と弱い品種でX遺伝子の配列に違いがあれば、X遺伝子が病害抵抗性に関与する遺伝子であることが分かります(図3B)。このようにゲノム情報が明らかになると、遺伝子の同定や機能解析が進み、更なる研究の発展や農業への応用が期待されます。

2. 遺伝子情報を利用して品種育成する

病気に強いとか、収量が多いとか、育種目

標に関する遺伝子が明らかになれば、育種に利用することが可能となります。たとえば、アフリカのC品種は天候や土壌によく適応しており、食味も人気があるが、特定のある病気に弱いため病気に強くしたい。一方、A品種は病害抵抗性遺伝子Xを保持しているため病気に強い。そこで、A品種のX遺伝子のみをアフリカのC品種に導入すれば、病気に強くなると考えられます(図4)。マーカー選抜育種での遺伝子導入には戻し交配を利用します。戻し交配と遺伝子導入のイメージを図5に示しました。まずC品種とA品種を交配すると(ここではC品種とA品種の染色体の区別がつくよう色を変えています)、F₁個体はC品種とA品種の染色体(DNA)を半分ずつ受け継ぎ、C品種のDNAを50%、A品種のDNAを50%ずつ保持します。このF₁個体にC品種を再び交配します。次のBC₁F₁個体は、C品種のDNAを75%とA品種のDNAを25%保持します。さらに

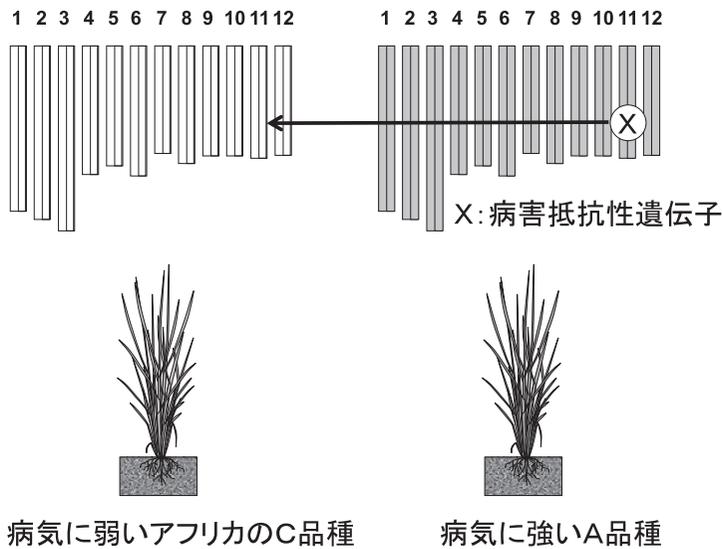


図4 遺伝子を利用した品種改良の概念図

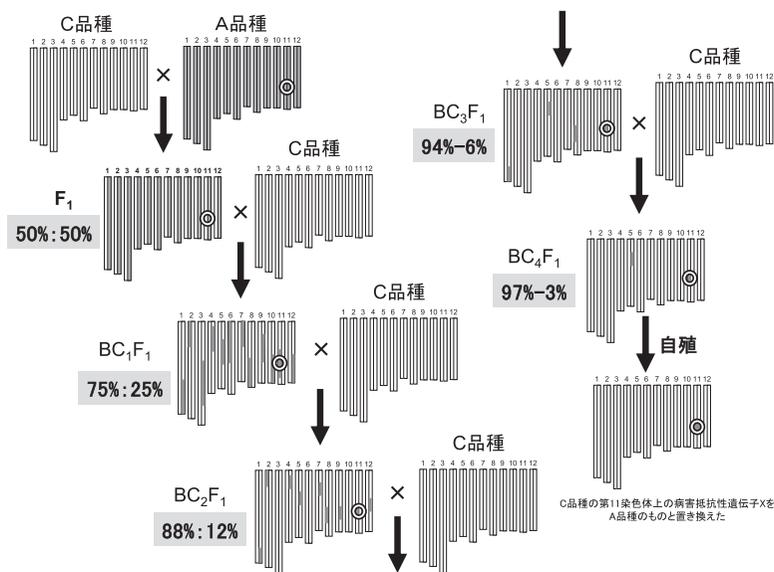


図5 戻し交配法の概略

BC₁F₁ 個体に C 品種を交配して作出された BC₂F₁ 個体は、88% の DNA が C 品種で、12% が A 品種のものとなります。さらに BC₂F₁ 個体に C 品種を交配した BC₃F₁ 個体は 94% が C 品種の DNA を保持し、6% の DNA

が A 品種由来のものになります。このように C 品種を何度も交配することを戻し交配といいます。1 回 C 品種で戻し交配を行うと A 品種の DNA の半分は C 品種の DNA に置き換えられて行きます。戻し交配でどの DNA 部分

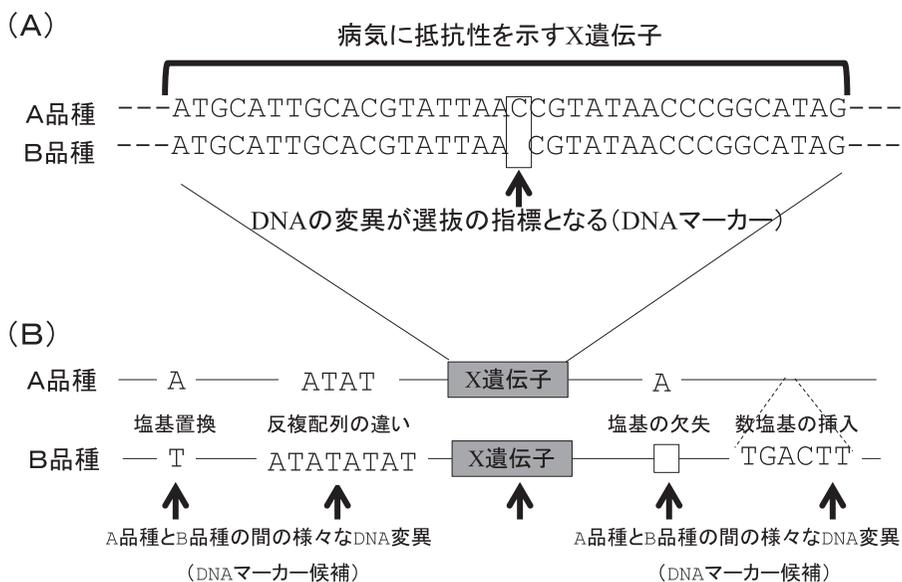


図6 遺伝子を利用したDNAマーカーの概念図

が置き換わったかはDNAの偶然的組換えに依存します。交配すると、どの世代でもいくつもの独立した個体ができるので、それらの個体のDNAを調べ、A品種由来の病気に強いX遺伝子を持っている個体を選抜します。この病気に強いX遺伝子を持っている個体だけにC品種を戻し交配して、A品種の染色体(DNA)に置き換え続けていくと、もともとのC品種の中にA品種のX遺伝子が導入された系統ができます(図5)。

それでは、どうやって交配によって生まれた個体がX遺伝子を保持しているか、保持していないか分かるのでしょうか? A品種は正常な病害抵抗性遺伝子Xを保持していますが、C品種は病害抵抗性遺伝子Xを失活しており、遺伝子の配列に変異が入っています(図6A)。A品種とB品種の間では、病害抵抗性遺伝子の配列が違うので、この配列の違いをマーカー(指標)として交配選抜に利用します。このようにDNAの配列の違い

をマーカーとして選抜に用いる手法をDNAマーカー選抜(ただ単にマーカー選抜や分子マーカー選抜、あるいは育種の現場では病害抵抗性の検定などと同様にDNA検定ということもあります)といいます。しかし、DNAマーカー選抜においては、選抜の目印となるDNAマーカーは必ずしも目標となる遺伝子の配列の違いである必要はありません。X遺伝子を挟み込むようにその周辺のDNA多型(DNA間の違い)を見いだせば、そのDNA多型をDNAマーカーとして目印とすることができます(図6B)。これにより、もし遺伝子の両方の外側に設計したDNAマーカーが両方ともA品種と同じDNA多型を示したならば、両マーカーの間のX遺伝子もA由来であるといった判断が可能となります。DNAマーカー選抜ではDNAの多型を利用しますが、この変異の種類によってマーカー化のしやすさが変わります。育種現場で利用する分子マーカーは簡便かつ低コスト

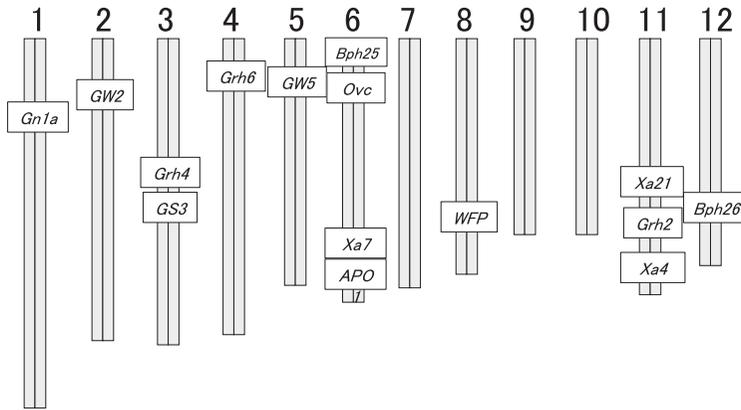


図7 代表的な有用農業形質遺伝子座

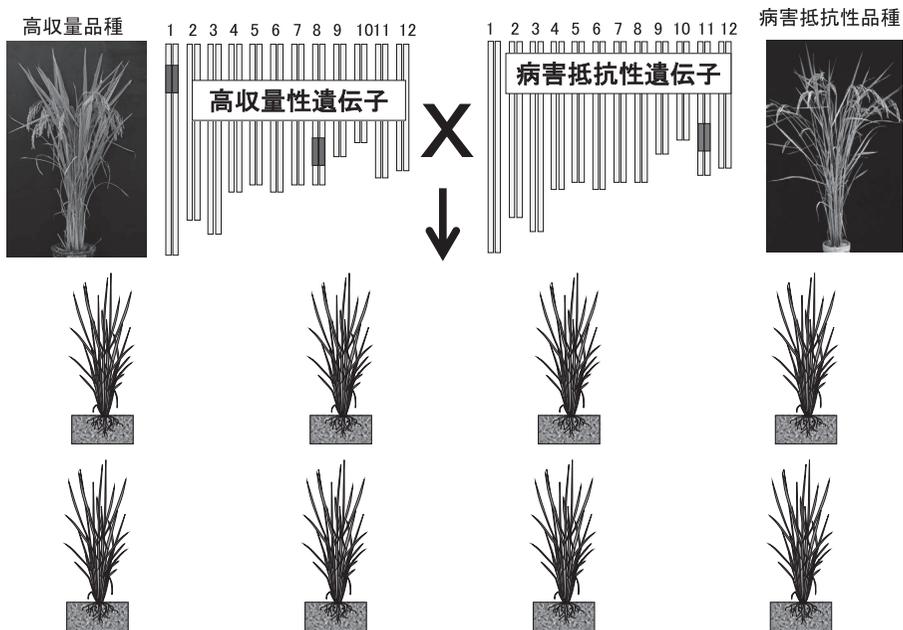


図8 有用農業形質遺伝子座の集積-1

トで検出できるマーカーの方が好ましいため（とくに、途上国など研究室の設備に制限がある場合は、塩基配列を決定しなければ判定できないような分子マーカーより、PCRなどでDNAを増幅しただけで判定できるマーカーの方が利便性は良いことになります）もし遺伝子内に適したDNA変異が検出されな

い場合は、上述のように遺伝子周辺のDNA多型を利用してマーカー化するなど、より利便性の高いマーカー選抜を行うことが重要となります。

先ほど、機能が分かっているイネの遺伝子の割合はわずかといいましたが、それでもこれまでに多くの有用な遺伝子が同定されてき

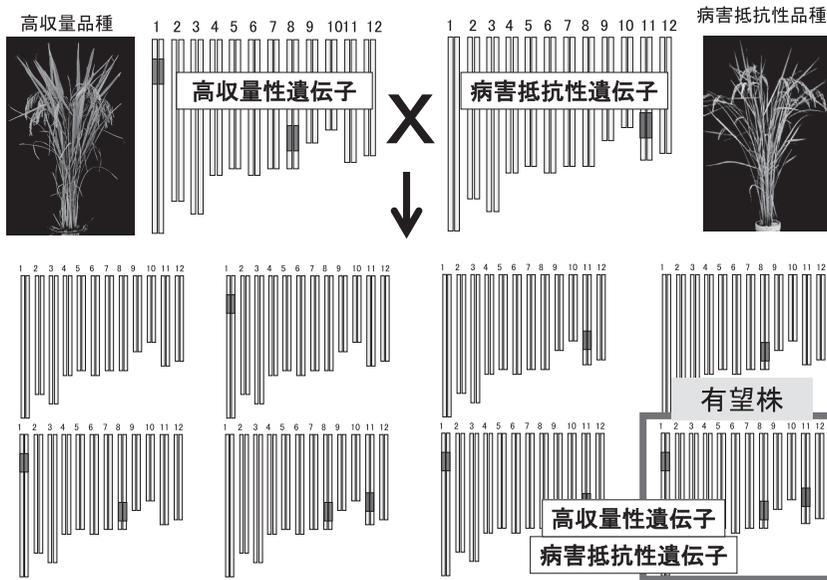


図9 有用農業形質遺伝子座の集積－2

ました。我々のグループでイネの育種に利用している代表的な有用農業形質遺伝子座を図7に示します。これらは「単品」で利用するだけでなく、複数の遺伝子を集積（遺伝子ピラミディング）して、さらに形質を改善することができます。まず、交配によって複数の後代系統を育成します（図8）。大量の後代から、表現型のみで有望系統を見出すことは時間的にも大変ですし、大きな圃場が必要です。そこで、この個体から幼苗期にDNAを抽出してDNAマーカーを用いて遺伝子のパターンを検出することで、複数の優良形質を持った有望株を選抜できます（図9）。この有望株を圃場に植えることで、選抜の効率を上げることができます。沢山の有用農業形質の遺伝子が同定されているので、様々な遺伝子の組み合わせでイネを育成することができます（図10）。

分子マーカー育種は遺伝子が分かっている場合、どんなイネにも応用可能です。我々のグ

ープでは、いくつかの方向性を考え品種開発を試みています。まず1つ目が地域限定のイネ品種の作成です。それぞれの地域で栽培しやすいイネがあること、また好まれるイネの品種も異なるため、すでにその地域で栽培されているイネ品種を改良することで、その土地の気候に合い、農民になじみがあり、受け入れやすいイネを作出しています。具体的には実際に使用されているアフリカやアジアの品種に有用農業形質を司る遺伝子を複数のパターンで集積しています。2つ目がメガバラエティの改良です。国際イネ研究所(IRRI)で作成されたIRシリーズなど、世界の多くの地域で実際に利用されているメガバラエティを国際イネ研究所と共同で改良しています。3つ目が、環境克服型の品種改良です。塩害に強い、冷害に強い、乾燥に強いなどの特性を持つ優良なイネがすでに国内外に存在しますが、それぞれ病気に弱かったり、収量が少なかったりします。そこで、これら一部

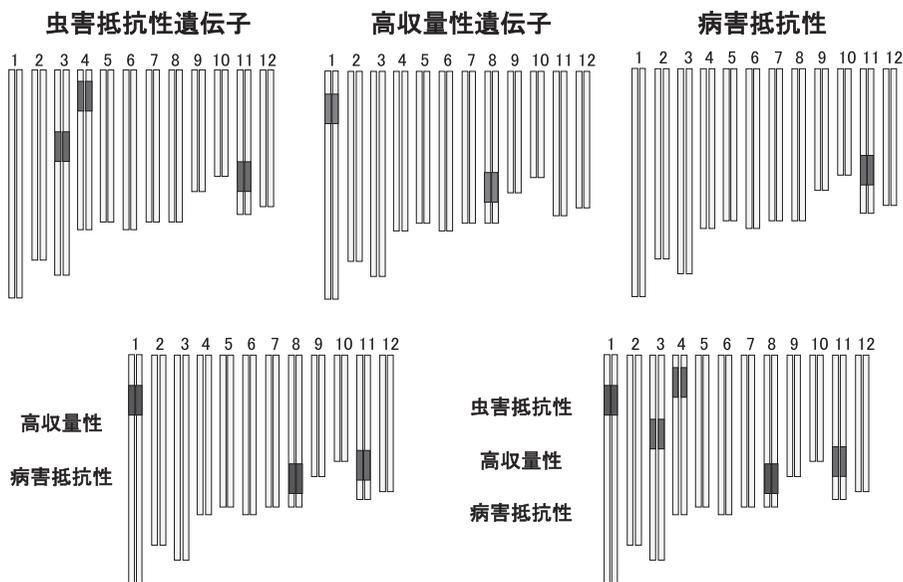


図 10 様々な有用農業形質遺伝子を複数のパターンで集積する

の秀でた能力がある特殊なイネを改良することで、イネの作出が困難であった場所でも栽培できるようなイネ品種の開発を進めています。

なお、分子マーカーによるイネの作出では、複数の遺伝子を集積することがありますが、トレードオフといわれる負の効果に気をつける必要があります。良い遺伝子をたくさん積み込めば必ずしも良いものになるとは限りません。ただ、現在どの遺伝子とどの遺伝子の組み合わせが良くて、また悪いかの情報はほとんどありません。様々なパターンの遺伝子を保持した系統を作出し、実際の圃場で確かめるしか方法はありません。また、イネの生産は様々な環境と土地で行われるわけですが、近くの土地であっても環境が異なったりもします。作出されたイネがある土地では良く生育するが、ある土地では良くないことも多々あることと思われます。作出されたイネの品種群を様々な土地でテストし、その現場

でイネを正確に評価し、その土地にあった有望系統を選抜することが不可欠です。

おわりに—今後の研究と応用への展開—

DNA の解析技術の進展は驚くほど速く、ヒトゲノム研究計画の時代には 1 人のゲノムを解読するのに 1990 年から 2000 年の 10 年間（約 3000 億円）を要しましたが、現在では 1 日で数百人のゲノム DNA 解析が可能で、ゲノム解読の技術革新により、様々な研究が加速しています。遺伝子を同定するのも以前に比べ早く安価になっています。これまで、マーカー選抜は 1 つ 1 つのマーカーごとに選抜していましたが、作出された個体の全ての DNA を一度に調べることができた時代に突入しました。むしろ、DNA 解析の速度が育種材料の供給を上回る時代が来る可能性さえあります。

今後は、世界中のイネから有用な遺伝子を探索する活動がさらに活発化すると予想さ

れ、また、これまでは見過ごしていた効果の小さな有用遺伝子を正確に見つけることが可能になると考えられます。多くの国と協力関係を深め、多くの遺伝資源に研究者や育種家がアクセスできるようにすることがとても重要になります。さらに、ここで紹介した研究手法は、イネのみならず、他の穀類の育種にも応用することが可能な普遍的なものです。作物の生産性に関連した重要遺伝子を同定し、それを積極的に利用する活動を広げることは、人類全体の食料安定供給への突破口になるものと期待できます。

本研究は JICA-JST「SATREPS」、クレスト「二酸化炭素資源化を目指した植物の物質生産力強化と生産物活用のための基盤技術の創出」、JICA「WISH」に支援頂きました。

参考文献

- 1) Arabidopsis Genome Initiative 2000, Analysis of the genome sequence of the flowering plant *Arabidopsis thaliana*, *Nature* 408 (6814) :796-815.
- 2) International Rice Genome Sequencing Project 2005, "The map-based sequence of the rice genome." *Nature* 436 (7052) : 793-800.

(* 名古屋大学生物機能開発利用研究センター 特任助教、** 同大学大学院生命農学研究科、*** 同大学大学院生命農学研究科 准教授、**** 同大学生物機能開発利用研究センター 教授)



衛星画像を利用する灌漑計画の作成

石坂 邦美

はじめに

この報告は、衛星データを積極的に利用することにより現場で行う活動を軽減して、灌漑計画を作成する手法を述べている。この報告の計画作成手法は、農林水産省の補助事業である農業農村復興等調査設計手法効率化検討調査において、治安が確保されない、道路事情等から現地へのアクセスが困難であるなどの状況から、日本人専門家が現地調査に参加できない状況における灌漑計画作成をテーマとする海外技術協力の進め方の検討成果を基にしている。

手法の検討は、ウガンダを対象に高解像度の衛星画像の入手が可能であったドホ稲作灌漑計画地区（Doho Rice Irrigation Scheme）とレイエ貯水池地区（Leye Dam Area）を対象として現場における実証調査を基に行った。ドホ稲作灌漑計画地区は、ウガンダ東部の稲作が盛んな地域に位置し、国内としては灌漑施設の大規模な整備（地区面積約 1000 ha）が進んでいる。また、レイエ貯水池地区は、ウガンダ北部の典型である小規模な溜池（推定容量は 30 万～40 万 m³）を水源として活用する用水利用の促進を図る対象となっている（図 1）。

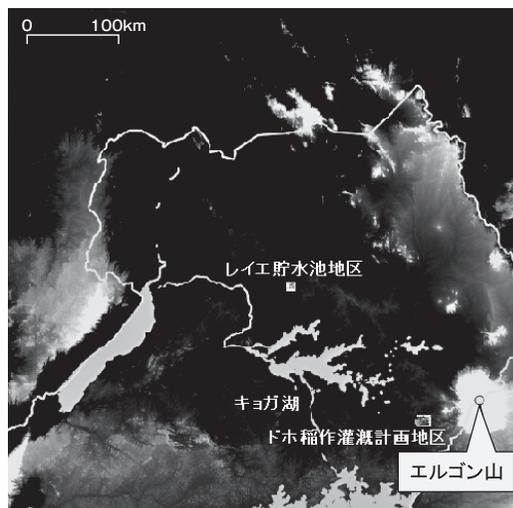


図 1 調査地区位置図（背景は SRTM 画像）。図上表示は調査地区地図と衛星画像。これらは GIS ソフト上で鮮明に拡大可能

手法の検討は、この 2 地区においてカウンタパート（C/P）、ローカルコンサルタント（L/C）等の現地人材による補完的な現場調査（主に踏査）を併用しながら、現場調査を行わなくとも入手可能な衛星データの積極的な利用を図ることにより進めた。

1. 基本的考え方

本手法は、開発途上国（とくに移動制限のあるところ）で計画作成などにかかわる日本人専門家を主たる利用者に設定している。これを受けて、手法は日本人専門家が現場調査に同行できないことを想定し、近年利用が容

易になった衛星データ等の情報を活用して現場を把握し、計画をまとめることに主眼を置いている。

このことから、衛星データに関しては、基礎的な知識で可能なレベル（研究レベルではない）の処理／加工で行える解析等を適用して検討を行った。このため、計画作成の実務での利用を考慮して、正確性などについて理論的な根拠を前提としないことを許容した部分もあるのでご理解を頂きたい。

ただし、計画作成にあたっては、高度な解析等を導入することも可能であり、この場合には、本手法の理解が衛星データ利用に関する基礎知識として有効であると考えられる。

計画作成手法の検討にあたっては、以下を要点として、衛星データを利用して計画作成作業の負担を緩和する視点と手法を適用する際の問題や留意点を明らかにする視点からのアプローチを基本とした。

1) 手法に使用するツール

この手法では、衛星データとそれをコンピュータ上で処理／加工するソフトウェアが必要となる。この処理等を外部に依頼することも可能であるが、計画作成の実務を担う利用者がアプローチを理解する観点からも、「フリーで利用できるツール」を自らが進んで活用することを考慮した。

計画作成の検討には、無償でダウンロードできるツールとして、GIS解析ソフト等はQ-GIS、主に衛星データ処理に利用されるGRASS (Geographic Resources Analysis Support System: 単独利用も可能であるがQ-GISと一体化した機能の利用も可能) およびMultiSpec ©、また、衛星データは画像等に処理できるランドサット衛星データ、標高データは広範囲に地表面高さを与える衛星

DEM (Digital Elevation Model) - SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) と Aster GDEM (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer Global Digital Elevation Model) を使用した。

また、手法の検討に際して、衛星データの空間解像度が地表面の可視化等の状態判定に影響することを考慮して、高解像度 (0.5m と 0.6m) の画像であるWorldView II と QuickBird を購入して使用した。

とくに、既存の高解像度画像 (ベースは衛星データ) はアーカイブデータであり、個々の計画作成においては、入手時期が限られる、必ずしも現状の撮影ではない、高価、利用時の制約が大きいなどが問題になると考えられる。

2) 計画作成の流れ

計画作成手法は、利用者の便宜も勘案して従来から行われている手順をベースとして、衛星データ (画像) と現地人材のインプットを組み込んだものとした (図2)。

この報告の衛星データ (処理画像を含む) は、①従来の紙ベース地図よりも多くの情報を含む画像地図 (等高線を記入した地形図を含む)、②広域かつ均質な衛星データ分類からの営農・土地利用状況等の把握等および③施設状態などを整理して表示するデータベースの3つの項目への利用に焦点をあてた。

なお、計画作成時の事業費算定や効果測定については、衛星データ利用が方法に組み込まれる効果は限定的と考え、今回の手法検討からは除外した。

(1) 地図利用

地図 (地形図) は、従来は紙ベース地図 (通常は5万分の1) が多く用いられ、地区の地形の把握、場所や区域の記入、比較計画の表

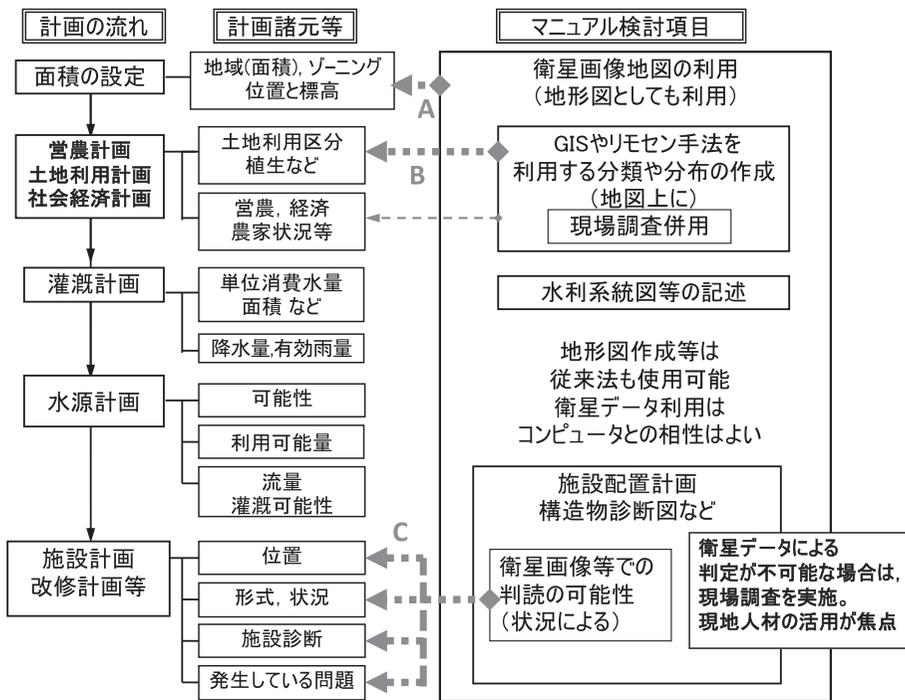


図2 衛星画像を利用する計画作成手法
A：地図利用（全般的）、B：分類、C：データベースが主な関連

示など、計画作成の過程に様々に利用される。

衛星画像地図は、ソフトウェアを介する必要があるが、一般に普及している紙ベース地図と同様の利用に加え、圃場や構造物などの形状をはじめ、実際に「もの」が容易に確認できるなど、図上から読み取れる現地情報量が飛躍的に増加した。

また、地形図は衛星 DEM から作成される等高線を画像地図上に表示して作成し、現場調査に利用した。

作成した衛星画像地図は、現場に入れない日本人専門家のみならず、現場調査を行う現地人材の地区に対する理解も増し、現地調査の携行時にも有効に活用された。

(2) 営農・土地利用等把握

営農・土地利用調査は、聞き取り、アンケート

調査が一般に用いられる主要な情報の入手法であるが、作付現況など目視で確認できるものもある。

この手法では、既存情報も活用し、目視確認を代替（あるいは精度向上）し、従来手法の取りまとめ（あるいは推計）を支援することに衛星データを利用（画像処理をしたものは分類への利用は不適）した。

また、衛星データと従来手法の連携を図るために、作物期間等が衛星データに関連付けられる情報を入手する仕組みとした。

(3) データベース作成

衛星データは上空から見た地表面の情報なので、画像から施設の状態判読を行うこと（具体的には、灌漑施設の現況確認、水路構造物の建設など情報源としての利用）は当初に想

定したとおりの限界がみられた。

この部分に類する計画作成に関し、手法は従来法の図面と同様に、地点、区間あるいは区域にデータを関連させて容易に表示するベース図面として、衛星画像地図等を活用するデータベースの作成に利用することとした。

データベースは、衛星画像と一連のソフトウェアを利用することにより、既存情報とともに現場情報（位置情報も含む）を視覚的に整理する有効かつ効果的な手段となり、社会経済調査と施設調査の項目に関して、とくに効果が大きかった。

これに伴い、施設状態など一部情報の正確な確認は現場踏査を必要とした。現場踏査は衛星画像から判読不能な致命的な部分（たとえば、直接観測できない構造物側壁面）の把握を補完する明確な役割を持つことになった。

さらに、情報が限られる状況で、これまでの蓄積情報（評価は整理後の検討になるが）も計画作成の資料に組込むことは、現地人材による調査の準備等にも有効であった。

2. 衛星データの利用

衛星データは、衛星に搭載されたセンサで捉えられる波長の範囲の頻度（ヒストグラム）からなる。センサは搭載される衛星により種類や特性が異なることから、計画作成に利用する際にその基本的特性を理解することが必要となる。

計画作成に用いた手法では、光学センサで捉えられた衛星データは可視化画像作成などの地図利用、ならびに衛星センサに記録されたデータは分類等に利用して土地利用把握などを行った。地図利用では画像としての「見え方」、加工／分類等では加工する場所（範囲）と時間（タイミング）におけるデータの「均

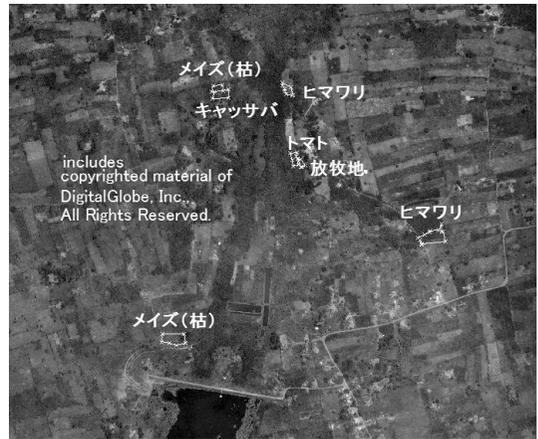


図3 レイエ貯水池地区の踏査結果（見本）。携帯 GPS レシーバと状態目視から作成

質性」をとくに考慮する要素とした。

なお、現場調査で使用する携帯 GPS レシーバにより記録、蓄積したデータ（たとえば、圃場の形状や調査地点、構造物の位置）は GIS 上に表示した衛星画像（データ）との対応付けは問題ない精度で可能であった（図3）。

現場調査に GPS レシーバを携行し、圃場の作付け、施設の配置などの把握のための位置情報を作成した。これにより、データベースの作成が効率的に進められた。

1) 処理方法

衛星により観測された情報は、一定の補正や処理を行った後にデータとして利用される。

衛星データ（画像）を購入する場合は、利用方法に合わせた処理を事前に依頼することも可能であるが、処理費用がかかることは考慮する必要がある。

一方、無償でダウンロードできる衛星データ（利用を明示するなどの条件があるものが多い）は、衛星センサに固有の偏り、日射量由来の観測値ズレなどは通常補正済みで提供されるなど、この手法ではそのまま利用できることが多いが、入手したデータの状態によ

り手法の適用を行うための補正や処理を行う必要がある。

たとえば、ランドサット8のデータは一括されたファイル（拡張子：Tar. Gz）でダウンロードされたが、この検討手法に使用したツールでは、そのまま利用することができなかった。このため、ファイルを各バンドのデータ等に分割、またはバンドデータをさらに処理して利用した。

なお、この手法では、GIS等の使用に汎用性が高く、「フリー」のツールにおいても、表示を始め、読み込み、加工、出力などの処理がほぼ問題なく行える座標付の拡張子 Tiff（または tif）ファイル形式を使用した。

2) 留意点

衛星データを利用する際には、GISの要素である測地系と投影法（準拠楕円体）をセットとして作業を行うこと（単純には地図上の位置が一意に決定されること）がデータ処理の混乱やミスを避ける上で重要であった。

GISで衛星データを扱う場合は、測地系はWGS84（World Geodetic System 1984）を使用することが多いが、投影法ならびに準拠楕円体（単純には投影面の基準）にも留意する必要がある。この手法では、GISで一般的とされる投影法 UTM（Universal Transverse Mercator）座標および準拠楕円体はWGS84（基準WGS84）を採用したが、ウガンダでは、同じ投影法で準拠楕円体はClarke1880（基準Arc1960）を使用している。両者は変換を行わなければ、異なる基準の座標数値は同じでも異なる位置を示すことになる（図4）。

なお、使用している座標系等を理解していれば、ツール上での変換は容易に行える。

また、衛星データ処理においては設定領域と解像度の確認は重要であった。とくに、フ



図4 ベースマップ（WGS84）上の測量データ
左：Arc1960（ウガンダ基準）：上やや左にシフト
右：WGS84（手法の使用基準）：一致

イルの読み込みと処理（出力）時には、設定が反映されることが多いので注意を要する。たとえば、領域が異なる場所（表示単位も場合によっては同様）のデータは同時に表示されない、加工データの解像度が変化しているなどの事象が発生することになる。

このような混乱は作業している設定の確認（とくにデータ処理を行うGRASSで影響が大きい）を行うことで回避できた。

3) 画像化と等高線作成

地図は衛星データを処理して画像化したものを利用した。衛星データの可視化は任意の3バンドを合成（RGB処理）して行える。たとえば、この検討では自然な色彩を表示するカラー画像はGRASSでランドサットのバンド4-3-2を赤-緑-青に割当て作成した。

さらに地図利用では、高所部の倒込みをなくす正射影化（オルソ処理）は高低差のある地形のズレ（歪み）を緩和するために必須であった。この検討では、購入画像はこの処理を含めたが、ダウンロードのデータはオルソ処理済で提供された。

また、可視化する際に解像度の高いパンクロマチックデータ（モノクロ：ランドサット

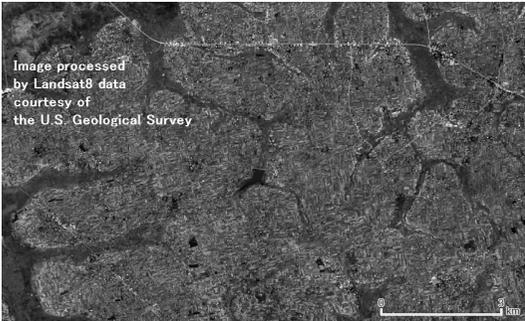


図5 レイエ貯水池地区周辺のランドサット8のパンシャープン画像（解像度：15m）

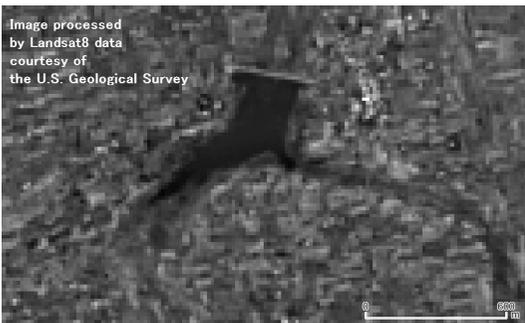


図6 レイエ貯水池地区の拡大表示
上：ランドサット8パンシャープン画像（解像度：15m）
下：QB2（クイックバード2）画像（解像度：0.6m）

8はバンド8で解像度は15 m）を解像度の低い他のバンドデータ（バンド4-3-2は解像度30 m）を作用させて、パンクロマチックの解像度でカラー化した画像を合成する処理（パンシャープン処理）がある。この検討では、この処理を GRASS 上で行い、ラン



図7 レイエ貯水池地区周辺の地形図。SRTMで等高線（間隔：2m）を作図

ドサット画像を視覚的に改善し、高解像度画像と比較した（図5）。

地上の状況の確認を考慮した購入画像は、高解像度0.5 m（検討時の商業利用の最大）であり、計画作成を考慮する現場の状況が臨場感をもって把握できるとともに、計画作成における空間解像度の高い画像の視覚的な優位は確認された（図6）。

地形図として利用する際の衛星画像への等高線の書込みは、衛星 DEM（標高値は1 m 刻み）を利用した。AsterGDEM（解像度約30 m）は高低差が強調される傾向がある一方で、SRTM（解像度約90 m）からは傾向の把握が容易な平滑化が見られる地形図（従来利用の紙ベースの地図に類似）が作成された（図7）。

衛星 DEM から作成した地形図は既存地図（主に5万分の1）との比較において遜色なく、画像の組合せにより地上の状況が把握できるなどの利点を確認された。

ただし、衛星データの特徴として、高さ方向は水平方向に比べて精度が低く、標高差を

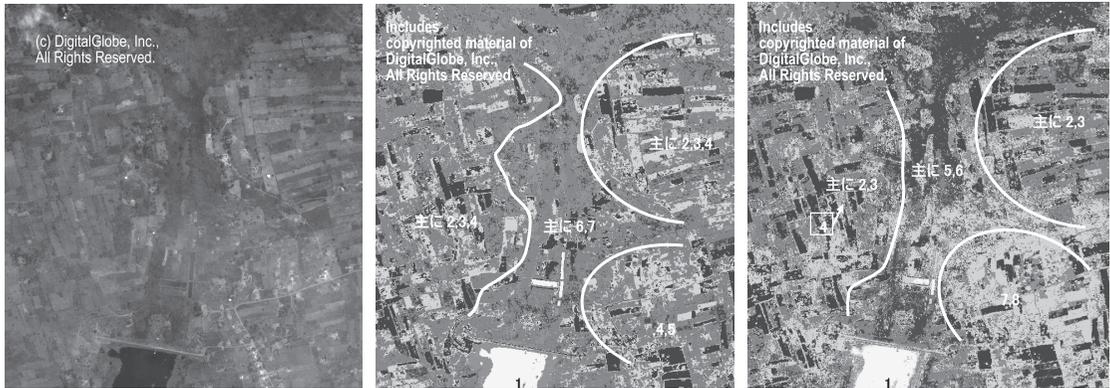


図8 レイエ貯水池地区周辺の衛星データを用いた分類
 左：高解像度画像
 (区画等主に形状などの地物の確認)
 中：教師なし分類
 (分類項目の相違点を反映した判定)
 右：教師付き分類
 (分類項目の特徴を反映した分類)

分類結果	判定	分類結果	判定
1(クリーム色)	水面: 3.1ha (1.7%)	1	水面: 2.7ha (1.5%)
2(青色)	休耕地等: 21.4ha (11.9%)	2	畑: 裸地: 28.5ha (15.8%)
3(橙色)	主に畑: 41.6ha (23.1%)	3	畑: 植生あり: 46.8ha (26.0%)
4(若竹色)	裸地(雲): 35.3ha (19.6%)	4	道路: 2.4ha (1.4%)
5(ピンク色)	混木草地: 36.0ha (20.0%)	5	沼: ほぼ河川: 8.3ha (4.6%)
6(スミレ色)	過湿地等: 10.9ha (6.0%)	6	湿地(ブッシュ): 27.9ha (15.4%)
7(水色)	水辺, 畑: 31.5ha (17.5%)	7	家, 建物など: 13.5ha (7.5%)
		8	木あり, ブッシュ: 50.2ha (27.8%)

水準測量の精度で把握することには無理があり、実施設計等への使用には限界があることも確認した。

なお、Q-GISには画像に座標値を与える機能もあり、既存地図(測量データも含む)を衛星画像に重ねて表示すること(図1の表示参照)もできるので、計画作成における検討の幅を広げることができる。

4) 分類

計画作成を試みる地域においては、現場状況に関する情報も皆無ではないが、それらの情報と併せた解像度の高い画像からの判読は有効な現場調査前の事前情報(初期情報)となった。

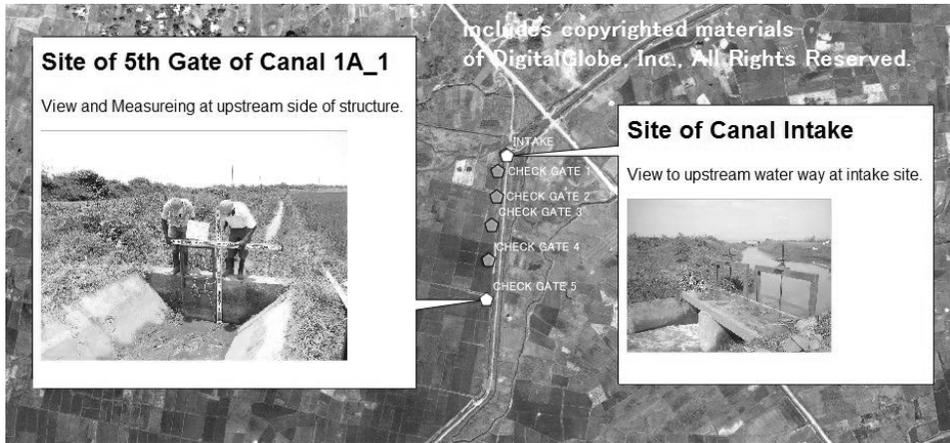
土地利用などの検討において、GIS分野で一般に行われる教師付き(事前に特定地点の要素を判定→確定して対象全体を分類)、または教師なし(全体を分類して現場にあるものを抽出してから個々の要素を判定→対象を

特定)の手法で衛星データを分類した(図8)。

しかしながら、対象が高解像度で分類数が多くなると、圃場の明確な傾向が判定しにくいなど、分類における明確な区分の読取りに困難を生じた。

計画作成の観点からは、既存資料等から現地状況を類推して、判定する項目を絞り込んだ分類処理を複数行い、それらを総合して要素の全体構成を推定する手法が有効であると思われた。

土地利用の「変化」と「確実な状況」の把握は、従来から行っている方法でも困難が大きいが、近年充実した衛星データは情報量を確実に増やすことができるとともに、情報入手のタイミング問題を緩和できる。たとえば、ランドサット8のデータ(2013年5月30日以降16日周期)を時系列的に入手し、営農カレンダーなどと突合して作期を推定した上で作付計画を作成するなどが考えられる。



◇&△は、支線水路 1A-1 におけるゲート施設の位置
 図9 衛星画像上に表示した現地踏査収集資料（ドホ稲作灌漑計画の上流部施設）の例

分類する場合の衛星データの均質性に関して衛星と地表間の大気の状態で変化する状況に対応する大気補正が分類に大きな影響を与えることが知られている。ただし、今回検討した地区の大きさ（1000 ha 程度）では、同一の画像データの範囲内に影響は確認されなかった。

また、営農・土地利用に関する現場状況の把握には、依然としてグランドトゥース（現場踏査）の役割は大きかった。現場踏査データを取得して、画像や衛星データと併せて利用することは、手法の調査の質的向上に大きな役割を果たした。

このための利用可能な衛星データと現場情報との対応付けは、従来法の調査票に位置情報を追加した。これは、情報相互の利用を高める観点からも必要性が大きかった。

5) データベース

衛星データ（画像）に大規模な施設の破損や漏水等による機能不全の状態が見える可能性はあるが、現場状況と高解像度画像（撮影のタイミングもある）との比較からは、致命的な変状（たとえば、水路の側壁のクラック

や目地の開きなど）の判定への利用は無理があり、これを通常の施設計画に適用するには、施設状況等の把握に衛星データ（画像）の有用度が高いとはいえなかった。

したがって、この手法では現地人材による現地状況の確認調査を併用して施設関連の調査成果、情報等の充実を図り、衛星画像は主に計画作成時にこれらを整理表示するベースとして利用した。

この手法では、施設関係の現場調査はストックマネジメント手法の現場作業の一部を採用して、計画地区の状況や施設状態（あるいは問題箇所）の把握に資する目視調査による情報収集を主体とした。このための実証調査においては、施設関係の現場踏査に際して、ストックマネジメントの調査票をベースに携帯 GPS レシーバで入手できる位置情報を付加した様式を作成して、現地人材による調査を試行した。

この部分は現地人材の能力によるところが大きいが、面積規模に応じた現地人材の調査労力（調査期間と調査方法）の軽減が大きな課題となった。このことから、類似構造物

のグループ化などによる調査量の軽減を考慮することの重要性が確認された。

このための対応として、日本人専門家が調査の実施計画を検討し、現地での調査前に模擬的な実施方法を示すなどの関与の効果が大きいことが認められた。さらに、計画作成で行う調査においては、調査の趣旨を明確にして現地人材が内容を理解した上で必要情報を収集することで両者の成果の質に相乗効果が認められた。

GIS ソフトウェアは位置情報を持つデータを整理表示する機能が充実しており、この目的には有効なツールであった。参考に示す衛星画像に表示した現地調査の様子を示すように、既存情報と現場調査からの取得情報等を衛星画像上に表示、あるいは抽出などは効率よく行うことができた(図9)。

おわりに

開発途上国で灌漑計画業務を行う際に、データ所在場所へのアクセスも含め、情報収集への多大な労力を経験することも少なくない。

今回の計画作成手法がこのような場合のデータや情報の追加、補足を可能にする一助になれば幸いである。

一方、情報収集や現場調査においては、現地人材の役割は依然として大きい。

今回の検討においても現地人材の研修という要素を加えた実証調査を行ったが、計画作成は現地人材との協働作業を実現するために、当該国(地域)の現地人材の計画作成レベルの向上の必要性は変わらないと考える。

最後に、この報告の基になった農林水産省補助事業「農業農村復興等調査設計手法効率

化検討調査」で行ったウガンダ実証調査ならびに研修等にご協力を頂いた現地関係者の方々にお礼を申し上げます。

参考文献

衛星データや GIS 等の処理ソフトウェアは以下の 1) から 4) のサイトで入手あるいは詳細確認が可能である。

- 1) ランドサット、SRTM 等のデータの概要や詳細説明およびダウンロード(登録が必要)は URL : <http://landsat.usgs.gov/erthexplorer.index.php>
- 2) Q-GIS (日本語) の説明およびダウンロードは URL : <http://qgis.org/ja/site/>
- 3) GRASS の HP : 説明およびダウンロードは URL: <https://grass.osgeo.org/>
- 4) MultiSpec © の HP : 説明およびダウンロードは URL : <https://engeneering.purdue.edu/~bichl/MultiSpec/>
- 5) NTC インターナショナル 2015, 農業農村復興等調査設計手法効率化検討調査成果 農業水利施設計画における画像利用と現地人材活用関係の導入マニュアル, 36P
- 6) NTC インターナショナル 2015, 農業農村復興等調査設計手法効率化検討調査成果 Manual of Introductive Uses of Satellite Data & Locally Participating Human Resources in Irrigation Project Preparation, 29P
- 7) NTC インターナショナル 2015, 農業農村復興等調査設計手法効率化検討調査成果 衛星画像・GIS 利用マニュアル, 108P

(NTC インターナショナル株式会社 技術
部顧問)



気候変動対応型農業と土壌への炭素隔離

松原英治

はじめに

地球温暖化に伴う気候変動が認識されたのは1980年代である。1988年には、気候変動に関する政府間パネル(IPCC)が設立された。IPCCは1990年から2014年までに5次の評価報告書を発行し、地球温暖化の原因となる人為的な温室効果ガス(GHG)の排出増による気候変動の現状と将来のシナリオを提示してきた。1990年代に入り、気候変動に対応する具体的な動きが始まった。1992年6月、リオデジャネイロで開かれた地球サミットで気候変動に関する国際連合枠組条約(UNFCCC)が採択され、150カ国以上が署名した。

1997年に京都で開催されたUNFCCC第3回締約国会議において、先進各国について法的拘束力のある排出削減目標値の設定、ならびに各国の数値目標を達成するための補助的手段として、市場原理を活用する京都メカニズムの導入が合意された。これが京都議定書である。京都メカニズムは共同実施、クリーン開発メカニズム(CDM)、排出量取引からなっており、CO₂に換算したGHG排出削減量が、炭素クレジットとして市場取引されることとなった。

農業は、気候変動の影響を最も受けやすい分野で、とくに農業が主要産業で、国民の多くが農村地域に居住し、かつ貧困な農家の割合が高い途上国は、気候変動に対し最も脆弱である。一方で、農業分野はGHG排出源となっており、IPCC評価報告書では、2004年の世界の総排出量の30.9%が農業由来(農業13.5%、林業17.4%)とされている⁵⁾。京都メカニズムのうちCDMは、途上国で排出削減事業を実施し、途上国を含む事業参加者間で炭素収益を配分するシステムのため、途上国の農業分野での活用が期待された。中でも技術的に簡易なうえ、安価で大量の炭素蓄積が可能な土地(土壌および植生)への隔離による炭素クレジットは、途上国の農家に追加収入をもたらすものとして期待が大きかった。しかし、植生(植林)はCDM事業の対象とされたが、土壌への炭素隔離は除外された。しかも植林地の炭素は、森林伐採、焼却により大気中に戻るため非永続的とされ、植林の炭素クレジットは主要な炭素市場から排除された。民間の炭素オフセットを目的とするボランタリー市場では植林の炭素クレジットのシェアが高いが、この市場の取扱量は世界総量の0.1%未満に過ぎない¹³⁾。

土壌中の有機炭素(SOC)は、土壌肥沃度と強い相関関係にある。途上国では、長年にわたる収奪的な農業により、土壌侵食、地力低下が進み、SOC比率が低下しているため、

MATSUBARA Eiji: Climate-smart Agriculture and Carbon sequestration to Soil.

持続的な農地管理 (sustainable agricultural land management : SALM) による肥沃度向上は SOC 比率の向上も意味する。SALM の具体策では、1975 年に EU が持続的な農業システムの維持増進等を目的として導入した「条件不利地域に対する直接支払い制度」があげられる。1985 年に EU は、景観保全、生物多様性の保護等に対する営農活動に環境支払いを導入した⁶⁾。わが国も、1999 年に制定された食料・農業・農村基本法において、農業の自然循環機能の維持増進を図るため、農薬および肥料の適正な使用の確保等による地力増進に必要な施策を講ずるとし、環境保全型農業の推進を宣言した。農林水産省は 1999 年、持続性の高い農業生産方式の導入促進に関する法律 (持続農業法) を制定し、持続性の高い農業生産方式の導入計画を都道府県から認定された農業者に対して支援措置を講じている。持続性の高い農業生産方式には、SALM と同様、土づくり技術 (堆肥等の有機質資材の施用) を含む。

途上国での SALM の促進について、国際連合食糧農業機関 (FAO) は 2010 年に気候変動対応型農業 (Climate-smart agriculture : CSA) として、土づくり等を通じた肥沃度向上と土壌への炭素隔離を提唱した。これは、食料安全保障と気候問題への同時対応により、持続可能な開発の 3 要素 (経済、社会、環境) を統合するもので、以下の 3 点を柱としている²⁾。

- 持続可能な農業の生産性と所得の増加
- 気候変動に対する適応と回復力の構築
- 可能な場合、GHG 排出量の削減または隔離

ここでは、途上国における SALM または CSA と土壌への炭素隔離に係る支援のあり方について検討する。

1. ケニア農業炭素プロジェクト (KACP)

KACP は、SALM により初めて炭素クレジットを取得した事業である¹⁴⁾。KACP は 2008 年よりスウェーデンの NGO である Vi Agroforestry (ViA) がケニア西部の旧 Nyanza 州および旧西部州内の 4 万 5000 ha、6 万戸の農家を対象に、SALM とアグロフォレストリー (AF) を実施している。KACP に対し、世界銀行の BioCarbon Fund (BCF) やスウェーデン国際開発協力庁 (SIDA) 等が支援している。KACP では、土壌保全、地力回復、堆肥投入、作物残渣利用、AF の導入により、作物の収量増と土壌・植生への炭素隔離を図っている。KACP の SALM による炭素隔離の方法論は、ボランティア排出削減プログラムの 1 つである VCS により 2011 年に認証され、ボランティア市場で炭素が取引可能となった。

KACP が高く評価されるのは、多数の農家に SALM を普及し、SOC から炭素クレジットを取得したことである。まず、SALM の普及が可能だった点について、国際 AF 研究センター (ICRAF) によるケニア西部での 20 年以上の SALM や AF の活動による基礎があったことがあげられる¹⁾。この後、東アフリカでのコミュニティ開発に 30 年以上の経験を有する ViA が入り、SALM を事業化した。ViA のフィールドアドバイザーは、コミュニティの長の主催する全員参加の村落集会 (バラザ) などを通じて、事業の説明や技術の普及を図った。KACP では最初の 4 年間で、フィールドアドバイザー 1 人当たり年間平均 600 戸、最終的には 2400 ~ 3000 戸の農家に対し、SALM を指導する計画であった。各地区で選出された地元のファシリテーターと研修指導農家は、ViA により集中的に

訓練された。受益農家はグループとして組織・登録され、ViA と SALM 活動の契約を行った。フィールドアドバイザー数は 28 人、農家グループ数は約 3000 であった。KACP による SALM への支援活動は、参加農家の 90% 以上が SALM を適用するまで継続される計画である¹¹⁾。KACP では、これまで SALM により農家の農産物（主にトウモロコシ）収量を 15～20% 増加させた¹⁴⁾。

炭素クレジット取得では、事業による SOC 増加量の推定が重要である。炭素クレジット量は、VCS 方法論の定める信頼区間 95%、誤差率 15% の精度を満足させる必要があった。SOC 量の推定は、活動ベースラインとモニタリング調査 (ABMS) と呼ばれる方法により、SALM の採用や収量等に係る調査結果を、SOC の推移を予測する Roth-C モデルに入力する方法で行われた。ABMS では、ViA が直接行う標準農家のモニタリング (PFM) と農家グループモニタリング (FGM) の 2 つで構成されている。PFM は KACP 対象地域内で任意に選定された 15 戸の圃場で SALM の効果を確認するもので、ここで得られたデータで KACP 全体を代表させた。FGM は、指示された必要データを農家自身が定期的に KACP 担当者へ報告するものである。FGM には樹木の調査結果（樹種、本数）も含まれ、植林 CDM 方法論により樹木への炭素隔離量が算定された。FGM データは、炭素収入の農家別配分の決定にも使用された¹¹⁾。KACP のモニタリング方法は土壌サンプリング・分析が不要なため、24% の経費削減が可能だったが⁷⁾、精度を満足させるには不確実性が高かったため、炭素隔離量の 60% が割引かれた。

事業資金として、SIDA は KACP 事業費の

38%、ViA は 32% を負担し、農家負担分 30% の一部は炭素収入が充当される計画だった¹⁾。KACP では、受益面積 4 万 5000 ha に対し、年間 1.37 tCO₂/ha、事業期間 20 年で 123 万 tCO₂ の炭素隔離を計画していた。炭素価格の見込み額は 4 US ドル / tCO₂ であった⁷⁾。事業対象である 3 県 (Kisumu、Slaya、Bungoma) のうち Slaya 県の活動が最も活発であった。Slaya 県人口の 35% が 1.25 US ドル / 日以下で生活する貧困県で、平均土地所有面積 1.03 ha / 戸ではトウモロコシ、マメ類、サツマイモ等が主に生産されていた¹⁾。KACP は炭素収入の総額や農家への配分額を明らかにせず、炭素収入をあてにしない参加を奨励したので、炭素収入への期待は高くなかった。しかもモニタリングは 3 年ごとに実施するため、炭素収入は 3 年に 1 度しか得られない。炭素収入が不明確だったので、事業参加をためらう地区もあった。農家は早期の収益を期待するので、SALM による作物収量の増への関心は高かった。

炭素クレジットは算定値の 60% 減とされたので、計画上の 20 年間の炭素隔離量は 49 万 500 tCO₂ となる。土地の所有権は、次世代に引き継がれるが文書化されておらず、しかも個人に帰属しない共有地の割合は高い。割引後の炭素収入の 30% は ViA、残り 70% は農家だが、農家の炭素収入は 20 年間で 23 US ドル / 戸（炭素単価を 4 US ドル / tCO₂ とした場合）、年間 1 US ドル / 戸程度にしかならない。これは、Slaya 県での 5 人家族の 1 日分の食事代に過ぎなかった¹⁾。干ばつ時には女性は水汲みに時間を割かれ、SALM 活動は犠牲にされた。2014 年に KACP が実際に得た炭素クレジットは、参加農家 1505 戸による 3 年間で 2 万 4788 tCO₂ に過ぎなかった。

しかも SALM の中断により SOC は容易に低下するため、土壌への炭素隔離は非永続的で、炭素市場はこのような炭素クレジットを受け入れないか買いたたく危険性が高い。

UNFCCC の専門家などは、KACP を農家の収益拡大につながる、土壌への炭素隔離による最初の炭素クレジットとして高く評価しながらも、時間がかかること、農家にとって収量増が主要目的で、炭素収入は付加的なものにすぎないと認識している³⁾。KACP に批判的な意見として、① 1 戸当たり年間 1 US ドル程度の炭素収入はあまりにも低い、② 取引費用に 103 万 US ドルを費やすならば、他事業に振り向けたほうが効果的、③ 炭素隔離量は不確実で、かつ土壌調査なしの隔離量は信頼できない、④ 規則遵守の炭素市場は土壌炭素クレジットを受け付けない、等が表明されている⁴⁾。

2. わが国の途上国での炭素隔離プロジェクト

日本では 2000 年以降、民間企業を中心に、植林 CDM 事業が進められてきたが、UNFCCC の CDM 理事会に登録されたのは、JICA の支援を受けたベトナムの事業と、国際農林水産業研究センター (JIRCAS) によるパラグアイの事業だけであり、炭素クレジットを取得したのは、JIRCAS の事業に限られる。一方、日本が関与している土壌への炭素隔離事業は存在しない。京都議定書第 1 約束期間 (2008 ~ 2012 年) の終了する 2012 年における、駆け込み的な炭素クレジットの大量発行による供給増、リーマンショックやギリシャ危機以降のヨーロッパ経済の低迷による需要減のため、炭素価格は急落し、その後回復せず、現在でも 1 US ドル / tCO₂ 未満である。このような収益性の低さから、将来

日本が土壌への炭素隔離事業に関与する可能性はほとんどない。

土壌への炭素隔離の試験は、JIRCAS がタイ、ベトナム、エチオピア、パラグアイで実施してきた。タイでは 1976 年以降、Lopburi 農業研究開発センターにおいて、緑肥、マルチ、堆肥等を畑地に施用する試験により、土壌炭素変化係数が IPCC のデフォルト値を上回るという成果を得た¹⁰⁾。また、ベトナムでは Cuu Long Delta 稲研究所の試験水田を対象として、稲わら堆肥の長期連用試験を 12 年間実施し、対照区に比べ稲わら堆肥区でのコメ収量の増を確認した¹²⁾。さらに、稲わら堆肥区での SOC の増加傾向も把握しており、今後、炭素隔離モデルが提案される見込みである。

エチオピアとパラグアイでは農家圃場を対象に SOC の調査が行われた。エチオピアでは、Tigray (ティグライ) 州の Keiya tekli 村 (約 5000 ha、6000 人) を対象として、村全体を等間隔の 50 のグリッドで分割し、グリッド中心点で 3 ヶ月ごとに深さ 30 cm まで 10 cm ごとに土壌サンプリングを行い、SOC を計測した⁹⁾。この結果、囲い込みされた共有地が最も SOC 率が高く、農家圃場の SOC 率が最も低かった。現在、選定した農家圃場と地元の大学の試験地で緑肥投入による炭素隔離効果を計測中である。パラグアイでは、植林 CDM 事業対象地域において、地力回復手段として緑肥を導入したことから、集落のリーダー農家等 17 戸の圃場で 2004 年から 2009 年まで SOC を計測した⁸⁾。これによると、緑肥の投入を継続することにより、緑肥施用前に比べて SOC 率は 5 年で 2.4 倍となった。

タイやベトナムの例のように、国の研究機

関の圃場で試験を行うのであれば、SALM による土壌への炭素隔離の経年変化を計測可能である。しかし、農家圃場を対象とするのであれば、各農家がどのような営農や緑肥栽培を行ってきたか記録するのは難しく、試験結果は不確実となる。もし土壌への炭素隔離量を把握したいなら、KACP のように、受益農家の圃場では土壌調査は行わず、作物収量の調査結果から Roth-C モデルで炭素隔離量を推定する手法を採用するのはやむを得ない。

おわりに

—今後の CSA と土壌への炭素隔離—

FAO の CSA は、先進国で取り組まれてきた環境保全型農業と同様で、地域資源を可能な限り活用した土づくりを重視し、結果的に土壌への炭素隔離を増進するものである。KACP はその実践例である。ただし、炭素クレジット化を目指す KACP の活動には批判も多い。何より、土壌調査なしに Roth-C モデルで広域の炭素蓄積量を評価する不確実さ、高額な取引費用、僅かな炭素収入、隔離された炭素の非永続性、農家の SOC への関心の低さは、この炭素クレジット事業につき込まれる援助資金が無駄なことを暗示している。

援助国等からの支援を得るために、CSA による土壌への炭素隔離を国の適切な緩和行動 (NAMA) として国家計画に位置づけることは有意義である。しかし NAMA で精度の高い炭素隔離量の推定が求められるなら、価値を生まないモニタリング等の活動に多額の援助資金が回されかねない。CSA 事業を実施する場合の評価方法として、SALM による受益農家の収量増を重視し、土壌への炭素隔離量の推定は精度を求めず、簡易モデルによる計算のみとすべきである。簡易モデル

の設定にあたっては、タイやベトナムにおける JIRCAS の事例のように、途上国の農業研究機関に試験区を設け、土づくり技術の長期連用による経年変化を計測するのが望ましい。今後の CSA では、炭素隔離は提唱するものの、隔離量の評価は徹底した低コスト化を図り、できるだけ多くの資金を既存の農家組織を活用した SALM の普及へ投入すべきであろう。

参考文献

- 1) Atela J. O. 2012, The politics of agricultural carbon finance: the case of the Kenya agricultural carbon project, STEPS working paper 49, STEPS Centre, University of Sussex, Brighton.
- 2) FAO 2013, Climate-smart agriculture sourcebook.
- 3) Hooda N. 2014, Kenyan soil carbon project points to the future, World Bank, <http://blogs.worldbank.org/>
- 4) IATP 2011, Soil carbon sequestration for carbon markets: the wrong approach to agriculture, <http://www.iatp.org/> (Accessed April 10, 2015)
- 5) IPCC 2007, Climate Change 2007 Synthesis Report.
- 6) 石井圭一 2007, EU の直接支払制度の現状と課題—政策デザインの多様化と分権に向かって—, 農林金融 60 (6) : 27-37, 農林中金総合研究所.
- 7) Lager B. 2011, Kenya agricultural carbon project, (セミナー「持続的な農業を支援するための多様な手法について」, 農林水産政策研究所)
- 8) 松原英治・廣内慎司・渡辺守・池浦弘

- 2011, クリーン開発メカニズムの仕組みを活用した農村開発手法の開発 報告書—パラグアイ第5年次, 国際農林水産業研究センター.
- 9) 松原英治・廣内慎司・鬼木俊次・田淵隆一・渡辺守・川島知之 2012, 熱帯半乾燥地域における低炭素型農村社会の構築手法の確立 報告書—エチオピア, 国際農林水産業研究センター.
- 10) Sugino T., Nobuntou W., Srisombut N., Rujikun P., Luanmanee S., and Punlai N. 2013, Effects of long-term organic material applications and green manure crop cultivation on soil organic carbon in rain fed area of Thailand, *International Soil and Water Conservation Research* 1 (3) : 29-36.
- 11) Tennigkeit T., Solymosi K., Seebauer M, and Lager B. 2013, Carbon intensification and poverty reduction in Kenya: lessons from Kenya agricultural carbon project, *Field Actions Science Reports: special issue 7-2013/ Livelihoods*, Institut Veolia Environnement, Paris.
- 12) Watanabe T., Luu H.M., Nguyen N.H., Ito O., and Inubushi K. 2013, Combined effects of the continual application of composted rice straw and chemical fertilizer on rice yield under a double rice cropping system in the Mekong delta, Vietnam, *JARQ* 47 (4) : 397-404
- 13) World Bank 2013, Mapping carbon pricing initiatives - developments and prospects 2013, Carbon Finance at the World Bank.
- 14) World Bank 2014, Kenyans earn first ever carbon credits from sustainable farming, <http://www.worldbank.org/en/news/press-release/2014/01/21/kenyans-earn-first-ever-carbon-credits-from-sustainable-farming>
- (JAICAF 技術参与)



東アフリカの農業機械化がもたらす 小規模稲作栽培農家の現状と課題

西野俊一郎*・西川ななみ**・松本巖***・稲見廣政***・高畑恒雄***

はじめに

耕うん機自体は新しい機械ではない。日本では1970年代まで数を増やし、その後普及する乗用の4輪トラクタに取って代わられた²⁾。一方、東南アジアでは日本の農業機械メーカーの海外法人が製造・販売する農業機械が農家に活用されている。そして、東アフリカの¹⁾小規模稲作農家に対する調査の結果、現地では機械化による新しい稲作栽培技術の風が吹いてきているように感じられる。

サブサハラ・アフリカにおける農業機械化にあたって一般的にいわれる課題は、①啓発活動が十分になされておらず、その利便性が理解されていない、②初期費用が高い、③スペアパーツの供給が十分でない、④メンテナンスできる環境が整っていない等が挙げられる。とくに初期費用は、馬力の小さい耕うん機でさえ、中国製で2000ドル前後、日本メーカー製¹⁾で5000ドル前後の費用がかかり、小規模農家にとって大変高価である。そのた

め、機械化が普及する環境として、対象国民の所得が増え、かつ、農村金融の発達がなければ難しいといわれてきた。また、高価な農業機械を共同購入するという選択肢もあるが、維持管理できない、すなわち責任の所在が曖昧になり、スペアパーツ不足という課題と相まって、故障後は誰も直さずに放置してしまうという状況も多くみられる。

公益社団法人国際農林業協働協会(JAICAF)は、東アフリカにおける農業機械化の現状を調査するため、ウガンダ、タンザニア、エチオピアそしてケニアにおいて、農業機械化の実態調査や農業機械実証試験を実施した。本活動は、農林水産省補助事業「サブサハラ・アフリカにおけるアグリビジネス展開・促進実証モデル事業」として、2013～2015年度の期間で実施されており、農家の所得向上とわが国の農業機械メーカー等に資する情報整備を目的としている。なお、機械化試験・調査の対象は、各国の小規模稲作農家を対象としている。また、本事業で稲作に特化した理由は、わが国の農業の強みである稲作と稲作に特化した農業機械化を活かすためであるが、その背景にはサブサハラ・アフリカにおいてコメ需要が拡大している状況がある。

図1は、ウガンダ、タンザニア、ケニアにおけるコメの①生産量と消費量、②輸出量と輸入量、③生産面積と単収を示している。消

NISHINO Shunichiro, NISHIKAWA Nanami, MATSUMOTO Iwao, INAMI Hiromasa and TAKAHATA Tsuneo: New Impact of Agricultural Mechanization for Small-scale Rice Farmers in East Africa.

¹⁾ここでは、東南アジアに工場を有するインドネシアヤンマー製やタイクボタ製の耕うん機のことを指し、わが国国内で使用されてきた耕うん機とは異なる。

費量について、どの国も右肩上がりでも拡大しており、とくにウガンダとケニアでは生産が消費に追いついていない。タンザニアは他の2カ国に比べ生産面積が大きく、両国を含む周辺国に輸出を可能としているが、上述のとおり周辺国は消費が拡大し続けており、十分に賄えているといえない状況にある。また、ケニアは生産面積が小さく、その半分をムエア灌漑スキームで占めており、今後の生産面積の拡大次第ともいえる。なお、単収はケニア以外の2カ国では2t未満であり、面積拡大だけでなく、今後の単収増加も望まれる。

このような状況において、人力作業がまだまだ多い小規模稲作農家が面積拡大に取り組むと、適期の耕作、植付け、収穫等に労働力が足りずに実施が困難となり、思うように生産が拡大できない。解決には労働生産性、すなわち作業効率の改善に繋がる機械化が自ずと求められるようになる。

本稿では、ウガンダとタンザニアの小規模稲作栽培農家に及ぼす機械化、とくに耕うん機導入の及ぼす労働生産性の向上に焦点をあてて論ずることとしたい。

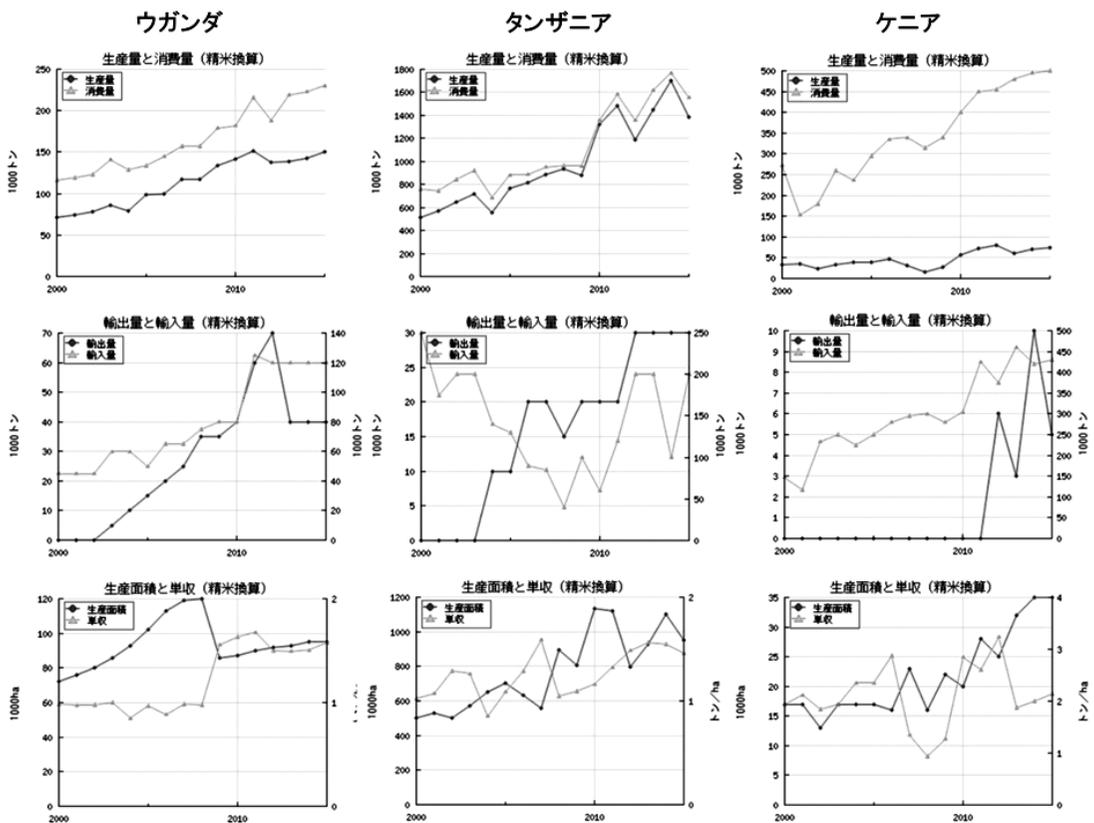


図1 ウガンダ、タンザニア、ケニアにおけるコメの生産量と消費量（上段）、輸出量と輸入量（中段）、生産面積と単収（下段）

出典：世界の食料統計（九州大学伊東研究室）¹⁾

1. 労働生産性および費用の比較

1) 実証試験概要

小規模稲作農家を対象とした試験では、主に人力中心である慣行農業と機械化農業の労働生産性と費用を比較した。対象国では、開発された灌漑スキームでの灌漑稲作だけでなく、豊富な雨量に頼った天水稲作も行われており、陸稲および水稲両方の作業で試験を実施した。

陸稲の試験では、ウガンダの首都カンパラから北 50 km に位置する国立作物資源研究所 (NaCRRRI) およびその周辺で耕うん機の実証試験を行った (図 2)。陸稲作の作業のうち、耕起、除草、収穫、脱穀、精米において、基本的に人力と比較して労働生産性と費用の比較を試みた。使用した農業機械は、はつ土板プラウとディスクプラウを用いる“牽



写真1 ウガンダで用いた牽引式耕うん機(上)とタンザニアで用いたロータリー着脱可能な耕うん機(下)。牽引式はロータリーが使えないが、パーツが少なくメンテナンスが容易かつ軽量で価格も安いという利点がある。また、ハンドルが長いのも特長である

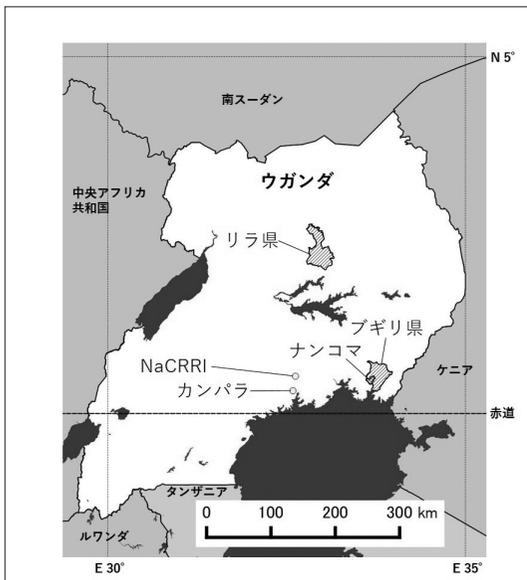


図2 ウガンダにおける事業活動地

出典：GADM (<http://www.gadm.org/>)、RCMRD GeoPortal の Africa Water Bodies (http://geoportal.rcmr.org/layers/servir%3Aafrica_water_bodies) を用いて作成

引式耕うん機” (写真1)、耕うん機の作業機としての播種機、除草機、刈取機、脱穀機、風選機である。なお、精米試験も実施したが人力とは比較せず性能評価に留まった。

水稲の試験では、タンザニアのキリマンジャロ山の麓、ローアモシ灌漑スキーム内で耕うん機の実証試験を行った。灌漑稲作の作業のうち、耕起、代掻き、均平、収穫、脱穀、精米において同様のデータを取得するとともに、減水深と雑草量も測定した。使用した機械は、ロータリーの脱着可能な耕うん機 (写真1) により、①ロータリー試験と②プラウ (和犁) とレーキの組み合わせ試験を行った。また、均平には均平板をけん引した。なお、

同様の試験をケニアのムエア灌漑スキーム内でも実施中である。

2) 耕うん機が労働生産性に及ぼす効果

その結果、陸稲作における労働生産性は、作業全体で人力と比べて機械化で約 25 倍、耕起作業だけで約 19 倍であった。具体的には、1 ha の圃場を耕す場合、人力だと（実際は 5 ～ 10 人程度で行うが）1 人で約 435 時間かかるところ、はつ土板プラウとディスクプラウを着けた耕うん機では 22 時間 46 分で済んだ。一方、水稲作における労働生産性は、1 ha の圃場を耕起・代掻き・均平すると、人力だと 1 人で約 519 時間、①ロータリー区で約 35.81 時間、②プラウ区でも約 36.97 時間であった。つまり、ロータリー区と人力区を比較すると約 14 倍となる。もちろん、本試験は作業時間だけで比較したものなので、実際には農業機械作業の準備時間等も加算される。

3) 耕うん機運用の費用

東アフリカの人口増加率は年間 2.81%¹ であり（世界平均で 1.18%、日本は - 0.12%）、アフリカ農村部には労働人口が余っているとみられがちだが、実際のところは農村から都市部に若者が急激に流出しており、また、若者は人力作業を好まない傾向があることから、農村部では季節労働力が不足する状況が多く見受けられる（これは東南アジア、たとえばカンボジアやミャンマー等遅れてきた ASEAN 国家でも同様である）。ウガンダにおける試験の一貫として農作業人夫にインタビューを行ったところ、近隣国の難民や移住労働者が大半であった。

そのような中、農村で多くの労働力を求め

る場合は農作業人夫が発生し、当該試験を実施した当時、ウガンダでは 6000Ush（約 240 円）/人日、タンザニアでは 7000Tsh（約 420 円）/人日かかった。1 日の作業時間は 5 時間程であったため、ウガンダの 435 時間を 87 日、タンザニアの 519 時間を約 104 日として、耕起（代かき・均平）の人力費用は下記のように計算できる。

①ウ国人力費用：

$$87 \text{ 日} \times 240 \text{ 円} = 2 \text{ 万 } 880 \text{ 円 /ha}$$

②タ国人力費用：

$$104 \text{ 日} \times 420 \text{ 円} = 4 \text{ 万 } 3680 \text{ 円 /ha}$$

次に、耕うん機作業の費用について推定する。かりに耕うん機一式の導入費用を 50 万円とし、減価償却として耐用時間を 2000 時間とすると、作業 1 時間当たり 250 円となる。修理代を同額と仮定して 250 円とする。耕うん機による作業費用は以下の式で導くこととする。

$$\{(\text{使用費 } 250 \text{ 円 / 時} + \text{修理費 } 250 \text{ 円 / 時}) \times \text{作業時間 /ha}\} + \text{燃料代 /ha} + \text{オペレーター代 /ha}$$

各項目は以下のとおり（費用は当時のレートで換算した）。

①作業時間（1 日 5 時間と仮定）：

ウ国陸稲；

$$22 \text{ 時間 } 46 \text{ 分} \rightarrow \text{約 } 22.77 \text{ 時間} \rightarrow \text{約 } 4.6 \text{ 日}$$

タ国水稲（ロータリー）；

$$\text{約 } 35.81 \text{ 時間} \rightarrow \text{約 } 7.2 \text{ 日}$$

タ国水稲（プラウ）；

$$\text{約 } 36.97 \text{ 時間} \rightarrow \text{約 } 7.4 \text{ 日}$$

②燃料代：

ウ国陸稲；

$$15.95 \text{ ㍓} \rightarrow \text{約 } 2105 \text{ 円 /ha}$$

¹2010 ～ 2015 年における年平均人口変化率³⁾。

タ国水稻（ロータリー）；

5.09 ℓ → 約 733 円 /ha

タ国水稻（プラウ）；

5.03 ℓ → 約 724 円 /ha

③オペレーター代；

ウ国陸稲；

1975 円 / 日 × 4.6 日 → 9085 円 /ha

タ国水稻（ロータリー）；

633 円 / 日 × 7.2 日 → 4558 円 /ha

タ国水稻（プラウ）；

633 円 / 日 × 7.4 日 → 4684 円 /ha

したがって、各々の作業費用は以下のとおりとなる。

①ウ国陸稲；

500 円 × 22.77 時間 + 2105 円 + 9085 円
= 2 万 2575 円

②タ国水稻（ロータリー）；

500 円 × 35.81 時間 + 733 円 + 4558 円
= 2 万 3196 円

③タ国水稻（プラウ）；

500 円 × 36.97 時間 + 724 円 + 4684 円
= 2 万 3893 円

4) 労働生産性と費用から見た耕うん機導入の利点

以上の結果をどのように判断するかであるが、機械化の作業費用については、オペレーター代に左右されるものの、1 ha を耕うん機で耕起（代かき・均平）するのに2万円程度必要と見られ、一方、人力の費用は人夫代に左右されてしまい、一様に比較は難しいが、ウガンダで2万円 /ha、タンザニアで4万円 /ha 程度である。

また、人力のみで農作業をする場合には時間がかかり、必要な人夫が集められなければ栽培適期を逃す。これは収量やコメの品質に影響を与えるため、自ずと耕作面積が限られ

ることとなり、実際には人力では1～2 ha の耕地が限界とみられている。耕起（代かき・均平）だけでみても、労働生産性が14～19 倍となる耕うん機による機械化は、費用面からみても農家が扱える耕地面積の拡大に貢献できるといえる。とくに土地拡大が容易な陸稲農家の環境下で期待できるとみられる。

一方、稲作農家の収益からみた場合は水稻作でより効果がある。聞き取り結果によると、ウガンダの陸稲の場合、粃1 kg を1000 Ush で販売、単収1 t/ha の収穫とすると、粃で100 万 Ush（約4万円）/ha となる。タンザニアの水稻の場合、700 Tsh で販売、単収4 t/ha とすると280 万 Tsh（約18万円）/ha となる。水稻栽培では、耕うん機にかかる費用は、収益から比較すると小さい。

もちろん、ウガンダ陸稲農家でも、単収2 t/ha 以上を可能とし、または種子販売として1500 Ush 以上で販売する農家を調査で確認している。その場合は300 万 Ush（約12万円）以上、収益を伸ばすことも可能とみられる。なお、種子、肥料の投入、その他作業に係る費用については調査結果ではばらつきが大きく、投入が全く無い農家もあり、当然単収も低い結果となっていた。実際のところは、ウガンダでは基本的に天水利用の稲作が主であるため、リスク分散のために、単収を上げ過ぎることに固執しないほうが良いともいわれる。陸稲作では、栽培面積の拡大と適切な投入こそが、耕うん機導入の前提条件であるといえる。

2. 耕うん機を様々な用途で利用することで収益拡大に繋がる

前述したとおり、本事業では機械化の労働生産性に着目した試験を実施したが、耕うん

機は耕起（代かき・均平）だけに利用すると稼働時期が耕起時期に限られてしまうものの、播種機や除草機といった作業機や動力を繋いでトウモロコシ脱粒機や揚水ポンプを利用したり、トレーラをけん引して運搬作業に利用できるといった多様性も重要である。実際には、耕うん機所有農家はハイヤリングサービスとして周辺農家向けに営業していた。調査結果を通じて、2つの事例を紹介したい。

1) ウガンダ東部の事例

ウガンダ Bugiri (ブギリ) 県 Nankoma (ナンコマ) 地区 (準郡) では、当該調査が開始された時点で、ベルギーの NGO、VECO の生産強化プロジェクトの一環として、農家が耕うん機を購入するための資金援助を受けていた。耕うん機は同プロジェクト対象の1つであるが、耕うん機と作業機一式 (はつ土板プラウ、2連ディスクプラウ、トレーラ、カゴ車輪) で 2000 万 Ush (約 80 万円) を VECO が購入し、同地区の農協組織、Nankoma ACE (Area Co-operative Enterprise) に供与、購入希望農家は、半額の 1000 万 Ush を支払うことで ACE から購入でき、購入に当てられた金は ACE 内のファンドとして活用されることとなっていた。購入希望農家は前金 200 万 Ush を払うことで、所有・使用が許され、残りは半年に 200 万 Ush ずつ返済する仕組みであった。

Bugiri 県は首都カンパラから東方に 300 km 程の土地で、陸稲栽培は少なく、主にトウモロコシを栽培している。耕うん機所有農家も、自身の畑の耕作だけでなく、賃耕や運搬のサービス等を行い、稼働率を上げていた。とくに、トウモロコシ栽培が盛んな同県では、トウモロコシ脱粒機 (メイズシェラー、写真 2) を活用した脱粒サービスが盛んであり、



写真2 耕うん機の動力を利用したメイズシェラー (上) と揚水ポンプ利用 (下)

トウモロコシ栽培が広く行われているサブサハラ・アフリカ地域で有力な活用事例と見ている。

アタッチメントのメイズシェラーは日本メーカー製耕うん機に付いてくるオリジナル作業機ではなく、現地で製造・販売されている作業機である。耕うん機を接続した場合の処理能力は、乾燥したトウモロコシ (種子 + 穂軸) 100 kg 入を 1 袋として 15 袋 / 時であり、その際のサービス料は 1500 Ush / 袋とされる。

トウモロコシが豊作の場合、収穫シーズンの労働時間は、毎日午前午後あわせて 8 時間とのこと。かりに 1 シーズンで 1 ヶ月稼働し続けたとすると、(15 袋 / 時 × 8 時間 × 30 日 × 1500 Ush = 540 万 Ush (約 21 万 6000 円)) となり、ウガンダは雨季が 2 回あるため、条

件が良ければ40万円もの収益を得る可能性がある。当初のインタビューでは随分と稼げるという回答をしていたが、実際には、干ばつの影響で収穫量が減る年もあり、思うように稼げないと回答も変わっていった。一方、所有者の住居は年々見栄えが良くなっており、数字からでは見えにくい恩恵があるようだ。

運搬については、サービス料の基準はまちまちで、たとえば0.5マイル(約800m)で500Ush/袋、また、12マイル(約19.3km)で2000Ush/袋の運搬料を得ていた。総輸送量を検証すると、10袋/回(1袋=約100kg)として、シーズン中は約3回/週は行うようだ。シーズン1ヵ月のうちに、最短距離の金額だと、3回×4週×10袋/回×500Ush/袋=6万Ush(約2400円)となるが、最長距離の金額だと、4倍の24万Ush(9600円)の収益が得られることとなる。また、シーズンオフは建築用の砂やレンガを運搬している。

2) ウガンダ北部の事例

ウガンダにおける事業活動では、2014年度から、Lira(リラ)県の陸稲農家P氏に日本メーカー製耕うん機および作業機のセットを貸し出すことで、機械化農業を実践してもらい、機械化前後の農家の農作業や収支構造を調査した。当初、P氏は約9km離れたUplandの圃場を2ヵ所、約5km離れたLowlandの圃場を1ヵ所所有しており、耕うん機の移動能力を活用して、とくにUplandで作業を行っていた。P氏は種用として販売できるため、調査当時、米による収益は500万Ush(約20万円)と見込まれていた。

また、リラ県の農家に対し、耕うん機による賃耕、さらには播種機(写真3)による播種サービスによって収益を得ていた。稲作だ



写真3 播種サービスで用いた播種機。他社製アタッチメントを工夫して活用

けでなく、ヒマワリ等、他の作目に対しても行われた。試験期間のうち8~9月にかけて、賃耕および播種サービスを行い、修理代やオペレーター費用を除いた収益として96万Ush(4万円相当)を稼いだことが分かった。顧客は出発点から20km以上離れていることもあった。サービス料は燃料代も含めて徴収しており、1回で1万5000~18万Ushは得ていた模様。

以上の活動から、耕うん機を購入した場合の初期投資額およびメンテナンス等を含めた支出と、収益を計算した結果、2~3年で黒字化に転向すると見ている。そのため、P氏はレンタルではなく、元々耕うん機を所有していた企業から中古耕うん機を購入することを決定した。また、P氏の協力でリラ県周辺でデモンストレーション(実演)を4回実施したところ、すぐにでも現金購入したいという農家が名乗りでた。また、機械化農業を見たことの無い農家も多く、P氏のような条件の農家であれば、リラ県周辺での耕うん機市場は拡大していくとみられる。

一方、課題が無いわけではなく、調査の結

果、①陸稲農家の単収がいまだに低い、②耕うん機普及にあたっての研修の必要性があること等が判明した。

リラ県稲作農家にインタビューを行ったところ単収については1 t/haに満たない陸稲農家も多く、栽培技術が未熟の場合、土地を拡大してもP氏のような黒字化は難しい。また、研修については、圃場での耕うん機の使い方だけでは不十分と考える。長距離の移動が発生することから、道路走行時のリスク回避に関する教習が必須といえる。とくに耕うん機は車と異なり、急停止や急旋回が難しい。しかも耕うん機利用者は、運搬で過積載しがちの傾向がある。

なお、農業機械化では一般的に、スペアパーツの不足、メンテナンスおよび修理の課題がある、本事業開始初期における同型機の販売代理店は現地企業であり、サービスについては時間的、質的に酷いものであったが、現在は日本に本社を持つ中古車販売・サービスの会社が代理店となり、購入者の要望に応えるようサービスシステムを構築中である。

3. ブランドと信頼性による日本メーカー製の普及

2014年以降はタンザニアで農業機械化調査・試験を実施してきた。同国ではSAGCOT(タンザニア南部農業成長回廊)により、中心的都市ダルエスサラームから南西にムベヤ州までの国道に沿った地域で農業開発を推し進めている。とくにムベヤ州はタンザニアにおける一大コメ産地であり、近代的な灌漑スキームもあれば、伝統的な灌漑技術に頼った小規模な灌漑水田が多く存在している(図3)。

タンザニアの農業省では、農業機械の導入台数についての統計情報を整備しているが、

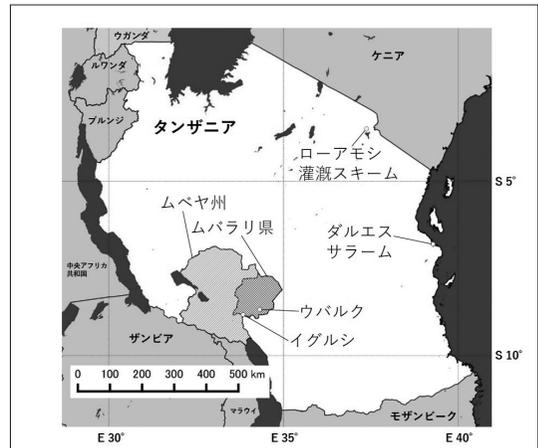


図3 タンザニアにおける事業活動地
出典：図2に同じ

ムベヤ州、とくにその中のムバラリ県における耕うん機導入台数は1000を超える(その他の土地では耕うん機は程んど導入されておらず、JICAのコメ振興支援計画プロジェクト:TANRICE 2の活動地である北部のローアモシ灌漑スキームやアルーシャぐらいである)。

事業では、耕うん機普及の実態を調査するため、ムベヤ州およびムバラリ県を調査した結果、驚くことに、そのほとんどが日本メーカー製の耕うん機であった。同機の販売代理店はFarm Equip社であるが、ムバラリ県内の販売店では、最近では100台/年を超えるペースで売れ、納入が間に合わない一方で、純正品のスペアパーツの多くが棚に陳列されていた。

ちょうど収穫後の時期に差し掛かったムバラリ県の町中を移動すると、中心部広場には同型機とそのオペレーターが集まり、運搬業務の待機中であった。また、周辺道路では100 kgもの籾袋を5~10袋程度積んだ耕うん機がかなりの速度で走り回っていた(写真4)。同地でのコメ収穫後の運搬は耕うん機



写真4 ムバラリ県内を疾走する運搬中の耕うん機

が主導権を握っているようであった。

ムバラリ県の耕うん機運搬の実態を見るために、灌漑スキームに近い市街地として、Igurushi（イグルシ）で8件、およびUbaruku（ウバルク）で9件の運搬業を営む日本メーカー製耕うん機利用者にGPSを装着してもらい、移動実態を調査した。また、17件を含む耕うん機所有者に、耕うん機購入方法や営農についてインタビューを行った。その結果は以下のとおりである。

1) GPS 測定結果

調査時期は収穫物の運搬時期であったが、両地域とも8日間中に5～6日間働いていた。時間は1日当たり9～10時間程であった。荷物の積み下ろしといった作業途中の待機が多く、実際の移動時間は3～4時間であった。ウバルク側の方が多少長く働いていた。

移動距離については、平均移動距離はイグルシ側で約30 km/日、ウバルク側で約45 km/日移動していた。ウバルクでは比較的大きな近代的灌漑スキームがあるため移動距離のばら付きは小さく、イグルシは小さな灌漑地のある遠方まで移動することが増えたため

か、移動距離が大きいケースがあり、中には1日で100 km以上も移動する場合もあり、その経路は、同日のうちに離れた2地域から町の中心部まで移動していた（図2）。本調査では17台の移動を測定したが、かりに年間100台のペースで3年間販売が続いたとして、300台の耕うん機が、1回10袋（100 kg × 10 = 1 t）の運搬を50日間続けたとすると、1万5000tの物を圃場から集積する能力があると推定できる。ムバラリ県における近代的および伝統的稲作灌漑地は約4万haとされており²、運搬だけでみても耕うん機の需要が拡大するとみられる。

移動速度については、平均速度は待機等の停止時間も含めるため、最高速度の平均から考察した。両地域ともに約35～40 km/h程であった。イグルシ側はばらつきが大きく、一方、ウバルク側ではばらつきが小さく、近代的スキームが近く、道路インフラの影響で速度が均一化された、または移動や安全対策の技術普及が進んでいる可能性が考えられる。

2) インタビュー結果

耕うん機購入では地域信用組合であるSACCOSのローンを利用が多く、およそ1000万～1500万Tsh（約60万～90万円）であった。購入以前は人力、牛耕、中国製耕

² タンザニア国農業省農業機械局の資料から2013年の統計情報を入手した。

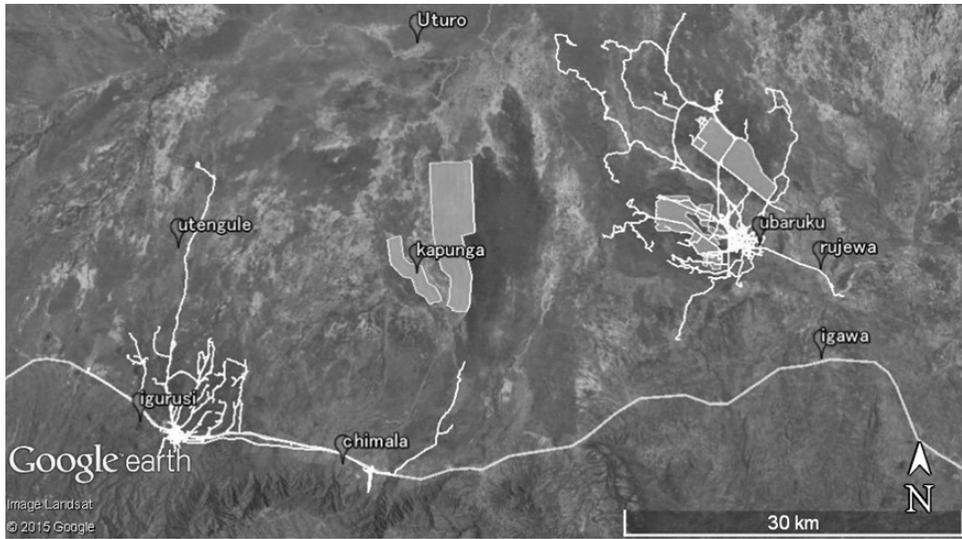


図4 17台の耕うん機を対象とした運搬等の移動結果。GPSを用いて8日間測定した(左：イグルシ周辺8台、右：ウバルク周辺9台)。囲んだ枠線は近代的灌漑スキームを示す

うん機と様々であった。日本メーカー製は高価であるものの性能の良さを理解しており、耐久性の良さを重視していた。ローンを利用する場合、すぐに故障してしまうとローンを返済できないという声もあった。スペアパーツについては販売店で純正品を取り扱っているものの、Vベルトやクラッチケーブルの在庫を望む声が多かった。

耕うん機による耕起と代かきのサービスについては、それぞれ12万Tsh/ha程度(約7500円)で行っており、運搬はコメ1袋(約100kg)5000Tsh、または距離に応じて要交渉であった。

一般に、東南アジアの工場で生産し、コストを抑えていても、日本メーカー製耕うん機は中国製耕うん機と価格が2倍以上開いている。一方で、日本メーカー製耕うん機は耐久性の高さや操縦の容易さが強みとされる。

ムベヤ州ムバラリ県では日本メーカー製耕うん機の良い評判が広がったことにより、需

要が拡大し、現在に至ったと考えられる。その影響は大きく、最近の販売店で扱われる商品は、インド製や中国製であっても、日本メーカー製の同型機に大変良く似た商品を販売している。

おわりに

ウガンダ、タンザニア、ケニア、エチオピアといった東アフリカ諸国の小規模稲作栽培農家における機械化の現状は、日本はもとより、東南アジア各国の機械化の現状と比べてもまだまだ進んでいない。農家が稲作栽培そのものに慣れていないことが一番大きな理由である。そして機械そのものの使い方に慣れておらず、力任せに扱って壊してしまう。その意味からは、稲作栽培と、機械の操作に慣れるためには、しばらく時間がかかるとみられる。また、日本の農機具メーカーや代理店のサブサハラ・アフリカへの取組みもこれからといったところである。

しかし、一方において東アフリカ諸国におけるコメの消費の伸びは急激であり、生産が追いつかないことから農家はコメを作れば儲かる環境にある。担い手である若者は人力による農作業を嫌がり、仕事があろうがなかろうが、都会へ出てしまう。しかし、若者は機械の作業なら嫌がらないといった現状がある。観点を換えれば、機械化の普及・促進は待ったなしであり、わが国の官民あげての協力が望まれる。

本稿では、稲作機械化の第一段階として、小型農業機械である耕うん機の活用の現状と課題を中心に述べた。しかし、たとえばタンザニアでは、大型コンバインや大型トラクタの賃耕サービスを受けることが、小規模稲作農家の間で、かなりのスピードで進んでいる状況を目にする。こういった状況が、機械化の発展にとってチグハグなもので、いずれ廃れてしまうものなのか、タンザニアの稲作の文脈ではある種必然の流れなのか、農村の経済・社会の発展の歴史から、もう少し掘り下げて検討してみる価値があると思われる。少なくともアジアモンスーン地域の日本や東南アジアの水田における稲作機械化の発展段階

とは異なる道を歩む可能性があることは考慮すべきである。

稲作機械化にとってもう1つ重要なポストハーベストについては、紙数の制限上今回は取り上げることができなかったが、大型コンバインだけではなく収穫後処理における農業機械は日本の農機具メーカーにとって現地展開の可能性を秘めており、別途稿を起こしたいと考えている。

引用・参考文献

- 1) 九州大学伊東研究室, 世界の食料統計, <http://worldfood.apionet.or.jp/graph/index.html> (アクセス日:2015年9月16日)
- 2) 前田耕一 1994, 農業機械化発展史—行政施策の展開にみる—, 農業機械化発展史刊行会, 500p.
- 3) UN DESA, The 2015 Revision of World Population Prospects, <http://esa.un.org/unpd/wpp/> (アクセス日:2015年10月13日)

(*JAICAF 業務グループ、**VSOC 事業部、***JAICAF 技術参与)



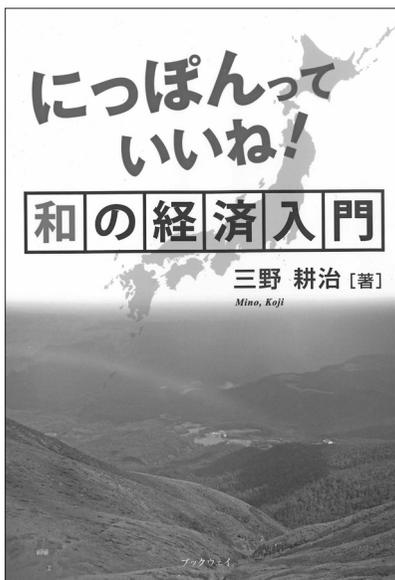
につぼんっていいね！ —和の経済入門—

[著] 三野耕治／ブックウェイ
2014年 254頁
2000円（税別）

少しポップなタイトルと堅い副題を見て、その中身を推察できる方はあまり多くはないだろう。本書は当協会専務理事を務め、本年6月に退任した三野耕治が昨年上梓したものである。著者は約30年間農林水産省に奉職し、内10年近く地域農政に携わってきた。その実績や経験を踏まえて数年来業界誌や学術誌にシリーズあるいは単発的に発表してきた記事を再構成するとともに、加筆・修正を加えて取りまとめられたものである。

手にとって、まずその目次を読むと、各章立てに一貫性がないように見受けられる。前述したとおり、さまざまに発表してきた記事をまとめたものだから仕方ないのか、と少し落胆しながらも読み進めると、これが意外と面白い（内輪褒めしていると思うなかれ）！

本書は、以下の4章から構成されている。



PROLOGUE はじめに

第1章 現場に学ぶ

第2章 先人に学ぶ

第3章 全体をとらえる

第4章 目覚めよ！につぼん

EPILOGUE おわりに～しなやかな社会にむけて～

AFTERWORD あとがき

PROLOGUE（はじめに）を読めば著者が何をいわんとするかがおおた想像できるものだが、本書の各章のコンセプトにやはり一貫性を欠いているような印象を受けた。まず第1章は、著者が地域農政の現場に携わって出会ってきた市井の方々だが、環境や社会のあり方を強く意識した活動を続けながら地域で暮らす、著者が強い感銘を受けたであろう人間たちが紹介

されている。

第2章では、わが国の自然信仰と循環思想の中で継承されてきた経験的技術が先般ユネスコ

の無形文化遺産に登録されて世界的に注目されるようになった「日本の食文化」や「発酵文化」、特殊な能力を持つわけでもなく天気が予測できる在野の気象予報士（寒試し）、あるいは日本人の起源にもつながる「鎮守の森」といった、古くて新しい情報が報告されている。

一方、第3章では要素還元主義の限界に直面する昨今、複雑に細分化されてきた農業を総合的技術への昇華を試みる新しい方法論がこれまでの農学者の反省や代替医療から学べるものなど、よりアカデミックな内容に変貌している。とくにわが国では他の先進国と比較して後れを取っていると思われる機能水（電解水や磁化水、脱気水、遠赤外線処理水、ミネラル水等医療、農業、食品産業で利用されている技術）や根と微生物の関係、農業や発酵に大きく関与するとされる常磁性の話には引き込まれた。

そして第4章では、わが国の食と農を再構築するにあたり、第3章で述べられたアカデミックな研究だけではなく、我々の暮らす社会・環境全体を捉えるコンセプトが大事であると著者は述べている。その際、第1章で紹介された地域で活動する市井の方々と科学技術とのネットワークが有効であるとし、第2章で紹介されたわが国の先人たちが残した「タテ（時間）」とネットワークという「ヨコ（場）」を意識することによって個々の立場を超えた視点が獲得できる。そのことによって、世界から消えることのない争いを超えた調和の世界が実現できる可能性が開けると述べている。

冒頭で「一貫性を欠く」と指摘したが、ここで本書のキーワードを考察したい。わが国には農業に携わる匠が実に多く存在し、また各地に点在していることが第1章で著者が関わってきた方々の紹介記事から理解される。しかし、どんなに優れた匠であっても、その技術を継承する、伝える努力がなされなければ埋没してしまうだろう。これを他者や他の地域に、あるいは国レベルといった公にすることで匠の存在や努力はより多くの人にもたらされる。この方々のネットワーク化の重要性を第1章は表現していると感じた。さらにこのネットワークをより強固なものにするため、わが国で古くから伝わる技術や経験則、先人のいい残した言葉や行動がアクセントとなり、第3章では匠の技術や先人の経験則は偶然の産物ではなく、科学的にも証明できる技術であることを「証拠固め」のように紹介されている。これらを踏まえて第4章に本書のキーワードが散りばめられているが、人と人の交流、技術と技術の交流、そして人と技術の交流がこれからの農業を含む社会全体に必要なことであり、その多くのヒントがわが国に存在し、また蓄積されていることを本書は再確認させてくれた。

本書は著者の体験をまとめた、一部自分史的特徴も持ち合わせているが、その貴重な経験を自分個人にとどめることなく、同じ境遇の人や次代の人に伝える、いわばネットワークツールとしての参考図書ともいえる良書である。

(JAICAF 業務グループ 小林裕三)

JAICAF 会員制度のご案内

当協会は、開発途上国などに対する農林業協力の効果的な推進に役立てるため、海外農林業協力に関する資料・情報収集、調査・研究および関係機関への協力・支援等を行う機関です。本協会の趣旨にご賛同いただける個人、法人の入会をお待ちしております。

1. 会員へは、当協会刊行の資料を区分に応じてお送り致します。
また、本協会所蔵資料の利用等ができます。

2. 会員区分と会費の額は以下の通りです。 (平成 26 年 4 月 1 日現在)

賛助会員の区分	会費の額・1口
正会員	50,000 円/年
法人賛助会員	10,000 円/年
個人賛助会員	10,000 円/年

※ 刊行物の海外発送をご希望の場合は一律 3,000 円増し（年間）となります。

3. サービス内容
平成 26 年度会員向け配布刊行物（予定）
『国際農林業協力』（年 4 回）
『世界の農林水産』（年 4 回）
その他刊行物（報告書等）（不定期）

ほか、
JAICAF および FAO 寄託図書館での各種サービス
シンポジウム・セミナーや会員優先の勉強会開催などのご案内

※ 一部刊行物はインターネットwebサイトに全文または概要を掲載します。
なお、これらの条件は予告なしに変更になることがあります。

- ◎ 個人で入会を希望される方は、裏面「入会申込書」をご利用下さい。
Eメールでも受け付けています。
e-mail : member@jaicaf.or.jp
- ◎ 法人でのご入会の際は上記E-mailアドレスへご連絡下さい。
折り返し手続をご連絡させていただきます。不明な点も遠慮なくおたずね下さい。

平成 年 月 日

個人賛助会員入会申込書

公益社団法人 国際農林業協働協会
会長 西 牧 隆 壯 殿

住 所 〒

T E L

ふり がな
氏 名

印

公益社団法人 国際農林業協働協会の個人賛助会員として平成 年より入会
したいので申し込みます。

個人賛助会員（10,000 円／年）

- (注) 1. 海外発送をご希望の場合は、一律 3,000 円増しとなります。
2. 銀行振込は次の「公益社団法人 国際農林業協働協会」普通預金口座に
お願いいたします。
3. ご入会される時は、必ず本申込書をご提出願います。

みずほ銀行東京営業部	No. 1803822
三井住友銀行東京公務部	No. 5969
郵便振替	00130 — 3 — 740735

「国際農林業協力」誌編集委員（五十音順）

- 安藤和哉（一般社団法人海外林業コンサルタント協会 総務部長）
池上彰英（明治大学農学部 教授）
板垣啓四郎（東京農業大学国際食料情報学部 教授）
勝俣誠（元明治学院大学国際学部 教授）
狩野良昭（元独立行政法人国際協力機構農村開発部 課題アドバイザー）
紙谷貢（元財団法人食料・農業政策研究センター 理事長）
原田幸治（一般社団法人海外農業開発コンサルタント協会 企画部長）
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. 38 No. 3 通巻第 180 号

発行月日 平成 27 年 11 月 30 日

発行所 公益社団法人 国際農林業協働協会

発行責任者 専務理事 藤岡典夫

編集責任者 業務グループ調査役 小林裕三

〒107-0052 東京都港区赤坂 8 丁目 10 番 39 号 赤坂KSAビル 3F

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

ホームページアドレス <http://www.jaicaf.or.jp/>

印刷所 日本印刷株式会社

International Cooperation of Agriculture and Forestry

Vol. 38, No.3

Contents

- More Troubles Ahead: the Regulation of GMOs in the EU.
FUJIOKA Norio
- Use of New Technology in Agriculture
- Rice Breeding Through the Using of Genomic Information.
NAGAI Keisuke, KUROKAWA Yusuke, DOI Kazuyuki and ASHIKARI Motoyuki
- Preparation of Irrigation Planning in Utilizing Satellite Data.
ISHIZAKA Kuniyoshi
- Climate-smart Agriculture and Carbon sequestration to Soil.
MATSUBARA Eiji
- New Impact of Agricultural Mechanization for Small-scale Rice Farmers in East Africa.
NISHINO Shunichiro, NISHIKAWA Nanami, MATSUMOTO Iwao,
INAMI Hiromasa and TAKAHATA Tsuneo