

低投入持続型農業のためのイネ育種

清水 顕史
生物資源管理学科

私は大学時代、農学部農学科の育種学研究室というところで勉強してきました。今回、「私の環境学」という機会をいただきましたので、これまで学び研究してきたことと環境問題への応用について述べ、今後の研究展望についても記してみたいと思います。

まず最初に、育種(breeding)というのは、品種改良ともいいますが、「生物を、人間にとって都合が良いように遺伝的に改変すること」と定義されている農業技術の一つをいいます。遺伝的な改変と大きく、今問題になっている作物への除草剤耐性遺伝子などの導入が頭に浮かぶかもしれませんが、しかし、改良法の一つとしての遺伝子導入はここ10年の新しい技術で、それよりずっと以前から人類は交配や選抜という生物の遺伝的改変を行ってきました。この従来法による育種は、私たちが無意識の内に”知っている” “遺伝という現象に根ざした技術です。例えば私たちは、犬からは犬が生まれチワワという犬種からはチワワが生まれることを強く期待します。チワワの子犬の容姿が犬種の特徴と大きく異なれば別の犬種との雑種の子だと思ってしまうでしょう。よい成績を残した競争馬は次の世代の親馬として高額で取引されるそうです。速く走る馬の子は速く走るという考えに、私たちは違和感を持ちません。人間の場合でも、親子や血縁関係者の容姿や性質は似るはずだと思っていますから、「他人の空似」とか「鶯が鷹を産む」という言い回しが成り立つのです。遺伝や進化ということが自然科学の対象となり様々な研究がなされるようになるずっと以前から、私たちはこの親から子への性質(形質)の継承を”知って”いました。そして実際に、野生の生物種の中から自分たちに都合がよいものを選び、保護し、近交交配(または自殖交配)を進めることで栽培植物や家畜への品種改良、原始的な育種を行ってきました。遺伝学の研究が始まるずっと前の、恐らく有史以前から行われていたであろう育種技術は、農耕による安定的な食料供給を可能にし、人類の繁栄と文明の発展に大いに寄与したことでしょう。

現代の育種では、生物の持つ遺伝の仕組みをより意識的に利用し効率的な品種育成を行うための研究が進められています。遺伝によって子孫に伝わる情報は遺伝子という単位に分けられ、そしてその実体

はDNA(デオキシリボ核酸)という生体高分子であることが解明されています。遺伝子の情報は生物の形質を決める設計図そのものなのだという認識が得られたことで、子は親に似るという現象にも科学的に明解な説明を与えられるようになりました。目が黒くなるという形質は目を黒くする遺伝子によってもたらされ、目が黒い親から目を黒くする遺伝子が伝わることによって子の目も黒くなる、という説明です。遺伝子の総体をゲノムという言葉で表しますが、ここ最近のゲノム研究は飛躍的な発展をしました。ゲノム研究から得られた様々な情報や科学技術を援用することで、交配や選抜という従来法による育種は、より効率的で計画的な手法として再利用することができるようになりました。

大学の育種学研究室で私は、イネを材料として研究を行ってきました。イネは世界人口の半分以上を支える最重要穀物で日本人にとっても馴染みの深いものですが、2倍体の自殖性植物であるという遺伝育種学の研究に適した性質も持っていました。研究室分属時(1995年)の研究テーマは、「イネの鉄過剰耐性に関する遺伝分析」というものでした。

鉄過剰耐性というのは、水田のような湛水土壤中に特有の栄養障害(=栄養ストレス)の一つで、過剰の鉄を吸収したイネは葉先から褐色の斑点ができ(bronzingという)、更に症状が悪化すると葉身全体が褐変しやがて植物体全体が枯死するなど収量減少の要因になります。日本の稲作で問題になることは少ないですが、東南アジア・アフリカ・南アメリカなどの熱帯・亜熱帯地域の中の広範な面積で起こる栄養ストレスであるため、客土や土壌の改良による問題解決は経済的にも物理的にも困難です。この栄養ストレスに耐性を持つイネを育種することができれば、肥料や土壌改良剤などの投入資源の少ない(つまり低投入型の)持続可能な解決策が実現できるはずです。そのための鉄過剰耐性に関する遺伝解析をはじめることになりました。この研究テーマは、当時の指導教授である池橋宏先生に、私の熱帯地域への農業貢献に対する希望を汲んで頂いた結果立ち上がったものでした。

遺伝解析とは、遺伝マーカーと連鎖を利用して農業上の様々な有用形質を解析する手法をいいます。20世紀初頭には、遺伝子には染色体上の位置(遺伝

子座)があり、遺伝子座の相対的な位置関係は連鎖解析によって連鎖地図にまとめられることが解明されていきました。遺伝マーカーはこの連鎖地図の作成に便利な指標で、特にDNA配列の多型に基づくDNAマーカーが普及することによって全ての遺伝情報を網羅する連鎖地図の作成が可能になりました。農業上の有用形質の遺伝子は連鎖地図のどの位置にあるかが判明することで、育種への応用が容易で確実に行えるようになります。DNAマーカーの技術革新が進み連鎖地図の利便性が高まることによって、遺伝解析は、有用形質を地図に乗せる作業(マッピングという)へと帰結することができるようになりました。

ストレス耐性の遺伝解析には、耐性形質の評価も重要な仕事でした。まず鉄過剰害ストレスを再現するために、大学の圃場に面積20m²×深さ40cm程度の穴を掘ってシートを張った簡易プールを作成し、山からとってきた土(酸化鉄を多く含む花崗岩土壌)を詰めたポットを沈めて還元状態にし過剰の二価鉄によるストレス処理を試みました(図1)。



図1 鉄過剰害ストレス処理用ポット試験の様子

この方法で確かにポット中の二価鉄濃度は上昇し、供試したイネは鉄過剰害ストレス特有の症状を見せました。しかし、土壌バクテリアの鉄還元作用に頼って過剰の鉄が生成されるため、気温など環境要因によりストレス強度が変動すること、鉄濃度のポット間差も大きく均一なストレス処理を行うことができないなど問題点も判明しました。

修士に進学してからは、水耕栽培による鉄過剰害のスクリーニングを行いました。1996年から始まった日本の外務省と国際イネ研究所(IRRI)とのシャトルリサーチプロジェクト(第3期)に参加し、故D.Senadhira先生の下で鉄過剰害の研究を続けました。再現性が高く効率のよいスクリーニング法を確立するための工夫を試み、分離集団を評価してQTL解析を行いました。

博士課程へ進学し研究を続けた結果、過剰症に対する耐性や鉄の過剰吸収に関する遺伝子座が検出でき(図2)、最終的には投稿論文としても発表しました。しかし、鉄の過剰害は、イネが持つ根の過剰鉄排除能と吸収された過剰鉄に対する耐性が互いに関係する非常に複雑な形質であることも分かり、耐性遺伝子の探求は頓挫してしまいました。その代わりに、研究の過程で発見したリン欠乏ストレスにตอบสนองする形質やホウ酸過剰に対する耐性遺伝子の研究は、その後も続ける機会を得、成果を上げつつあるところです。

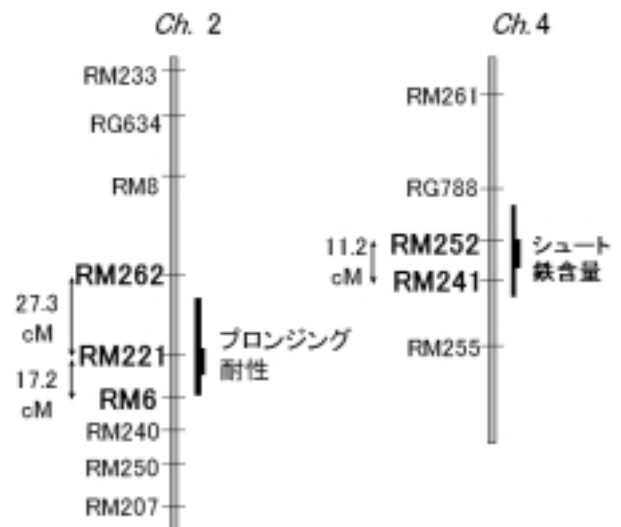


図2 イネの鉄過剰害ストレス耐性のQTL

90年代後半はイネの育種学研究の大きな変革期でもありました。イネはその他の重要な穀物をも含むイネ科グループの中で最もゲノムサイズが小さく、コムギやトウモロコシなどのゲノム研究を進める上でも都合のよい便利なモデル作物であるとの認識が広がっていきました。1997年にイネ塩基配列の完全解読のための国際プロジェクトが設立されると、それまで日本や他のアジア諸国を中心に行われてきたイネの育種研究が世界中で注目され研究されるようになりました。DNAマーカーの利用やQTL解析を通じてゲノム研究に興味を持っていた私は、一度栄養ストレスの研究から離れ、(独)農業生物資源研究所の川崎信二博士の下でゲノム解析の研究を始めました。そこで、生物の高密度連鎖地図作成法、物理地図作成の研究にたずさわって、コンピュータを用いた生物研究も勉強しました。

再び栄養ストレスの研究に戻ったのは平成15年度の日本大学COEプロジェクトの特別研究員としてでした。日大では学生の頃に手を出していたリン欠乏ストレス応答形質の研究を進め、その遺伝子を解明するための研究は現在も続いています。

ストレス耐性品種を育成し、低投入持続型農業を実現するという10年前の希望は、未だ果たせていません。しかし、この間に蓄積したゲノム情報や分子生物学的ツールなど、人間にとってより都合のよい育種を実現するための道具が揃いつつあります。今、携わっている研究を発展させリン利用効率の高いイネを育成できれば、環境を汚染しにくい低投入持続型農業の実現に近づくでしょう。ゲノム情報を利用したDNAマーカー選抜による交配育種は、遺伝資源の中の遺伝子情報を有効利用する新しい育種法であり、生態系への不自然な攪乱の恐れがない遺伝的改良法です。生物遺伝資源側からの環境学への貢献のため、これからも研究を続け成果を出したいと思います。