

アメリカ体験記

～アメリカのバレイショ事情～

北海道農業研究センター 寒地畑作研究領域 上級研究員

あさの けんじ
浅野 賢治

はじめに

私は農研機構の長期在外研究員制度を利用して、2023年2月から1年間、アメリカのウィスコンシン大学マディソン校に訪問研究員として滞在した。本訪問では、遺伝子情報を活用した育種技術を学ぶこと、世界的な注目を集める2倍体のF₁ハイブリッド品種の開発手法を学ぶことを主目的とした。本稿ではそれらの情報に加え、滞在期間中に見聞きした様々な情報も織り交ぜて報告したい。なお、F₁ハイブリッド品種の詳細は實友氏による過去の記事を参考にして頂きたい⁽¹⁾。

1. 訪問先の概要

ウィスコンシン州は、アイダホ州とワシントン州に次いでアメリカで3番目にバレイショ生産量が多い州である。州都であるマディソン市は、帯広市とほぼ同じ緯度である北緯43°に位置する。ウィスコンシン大学は全米に11あるバレイショ育種を行っている大学の1つである。北海道でも多く栽培されているポテトチップ用品種スノーデンは、ウィスコンシン大学が育成した品種である。私を受け入れてくれたJeffrey B. Endelman博士は、ウィスコンシン大学のバレイショ育種の責任者であると共に、全米の8大学・機関が参加してF₁ハイブリッ

ド品種の育成を進めるPotato 2.0のプログラムディレクターである。また、ゲノミックセレクションやゲノムワイドアソシエーション解析といった全ゲノム上の遺伝子情報を利用した解析のスペシャリストでもある。

2. UW-madisonにおけるバレイショ育種

アメリカではバレイショ品種は主にラセット（茶色でざらざらした厚めの皮）で細長いラセット品種（フレンチフライ用、生食用）、丸形の白肉品種（ポテトチップス用、生食用）、黄皮黄肉品種、赤皮白肉品種の6つのカテゴリーに大別され、さらには有色品種など特殊用途が含まれるSpecialty potatoがある。ウィスコンシン大学ではこれらのうち、主にポテトチップス用、フレンチフライ用、赤皮白肉品種の育種を中心に行い、特にウィスコンシン州で多く生産されるポテトチップス用品種に力を入れている。大学がある州都マディソン市から130km北にあるハンコックと320km北にあるラインランダーに研究圃場をもっており、その2カ所でバレイショ育種を行っている。圃場での最初の評価となる個体二次選抜を1年目とした場合、2年目までの初期選抜はラインランダーのみで行っており、3年目以降はラインラン

ダーとハンコックの2カ所の圃場で行っている。また、5年目以降は全米各地の公的試験機関での評価も行われる。公的試験機関で好成績を収めた材料は、さらに一般生産者による大規模試験を経た後に品種となる。

育種目標や育種の進め方は日本と似ており、育種目標では多収性、病害虫抵抗性、高品質が育種目標となっていた。病害虫抵抗性では、疫病とジャガイモYウイルス(PVY)抵抗性を特に重要視して進めている。一方、ウィスコンシン州ではジャガイモシストセンチュウ類(PCN)が発生していないことから抵抗性は全く意識の外であり、抵抗性のある親を使うことはあるが検定をしていないので育成品種が抵抗性をもっているかは分からないとのことで、その点はPCN抵抗性が必須である日本とは大きな違いである。選抜手法で大きな違いはゲノミックセレクションを利用している点である。ゲノミックセレクションとは、全ゲノム上の数万箇所の遺伝子型と過去に蓄積した農業特性データを利用して統計的な手法により農業特性を予測するモデルを作成し、そのモデルを用いて新たな個体について遺伝子型情報のみで農業特性を予測する手法である。ウィスコンシン大学ではポテトチップス用系統でゲノミックセレクションを活用しており、系統選抜段階で収量性、ポテトチップカラー、比重、熟期の4形質を遺伝子型から予測し、それらの予測値が高い系統を選抜している。

またゲノミックセレクションを利用することで優れた親系統を予測出来ることから、系統選抜でゲノミックセレクションにより選抜した系統を交配に利用することに

より、育種サイクルを早く回し遺伝的改良を早く進めることを狙っている。さらにはリンダイトという薬剤により秋に選抜した系統の休眠を打破し、冬に温室で交配し交雑種子を得、翌春にはジベレリンで種子休眠を打破・播種し、実生選抜を行っている。北農研では系統選抜段階の系統を交配利用することは稀で、生産力検定予備試験や生産力検定試験段階から交配に利用することが多い。また、秋に選抜した系統は通常は翌夏に交配を行い、実生の播種はさらに翌春となる。そのためウィスコンシン大学に比べると育種サイクルを回すのが遅く、その結果長期間で見ると遺伝的改良スピードが遅くなると考えられた。

3. PVY抵抗性遺伝子に対する新しいDNAマーカーの開発

ウィスコンシン大学ではPVYに対する抵抗性は、これまでは*Solanum tuberosum* Group Andigenaに由来する抵抗性遺伝子 Ry_{adg} を利用してきた。しかしながら、 Ry_{adg} ではウイルスに感染していないのに感染したような症状(疑似病斑)を示すことがあり、近年はあまり利用していないとのことで、代わりに*S. chacoense*に由来しコナフブキやパールスターチの育成に利用されている抵抗性遺伝子 Ry_{chc} の利用を進めているとのことであった。

ウィスコンシン大学では疫病抵抗性やPVY抵抗性、熟期などの選抜に、蛍光色素を利用し、低コストで迅速かつ正確に遺伝子型を識別できるKASPマーカーを積極的に利用している。これまでに Ry_{chc} に対するKASPマーカーは開発されていなかったため、私は Ry_{chc} に対するKASPマ-

カーの開発に取り組んだ。

始めに近年明らかにされた Ry_{chc} の遺伝子本体の配列と Ry_{chc} をもたない25品種の全ゲノムの配列を比較することにより Ry_{chc} のみがもつ遺伝子配列を選抜しそれを利用してKASPマーカ―を設計した。次に設計したKASPマーカ―を用いて育成集団において Ry_{chc} の有無を判定し、過去に開発されたPCRマーカ―による判定結果と一致するかを検証した。その結果、両者の結果は完全に一致し、開発したKASPマーカ―が Ry_{chc} の有無を高精度で識別できることが分かった(図1)⁽²⁾。開発したKASPマーカ―を用いてウィスコンシン大学のラセット品種育成を目指す材料を評価し、抵抗性遺伝子をもつ系統を選抜することができた。

従来のマーカ―では Ry_{chc} の有無しか分からなかったが、今回開発したKASPマーカ―ではアリルdosage(ゲノム中にいくつ Ry_{chc} 遺伝子をもつか)を識別することが可能である。このアリルdosage識別能は、後述する2倍体ハイブリッド品種の親

品種を育成する際に重要になる。開発したKASPマーカ―は、現在もウィスコンシン大学の育種に利用されている。

4. 2倍体ハイブリッド品種成の取り組み

ウィスコンシン大学における2倍体ハイブリッド品種の育成は2018年から開始され、ポテトチップス用と赤皮品種の開発を進めている。ハイブリッド品種の育成には、2倍体における自家不和合性を打破する必要があるが、自家不和合性の打破には世界中で利用されている Sli 遺伝子が利用されている。 Sli を有する野生種に栽培品種 $S. tuberosum$ の半数体を交配した BC_1F_2 や BC_2F_2 世代を Sli の導入親として、それらと栽培品種の半数体を交配した集団から選抜を進めている⁽³⁾。 Sli の有無の判定や熟期、疫病やPVYに対する抵抗性、塊茎の形の選抜をKASPマーカ―で行っている。

滞在中に系統選抜および個体二次選抜に相当する段階の試験の収穫に立ち会った。2倍体集団では塊茎の外観には問題がなく、形の綺麗な系統が多く見られた。品質評価試験には立ち会えなかったが、ポテトチップスの品質は4倍体品種と同等のレベルに達しているとのことであった。収量性に関しては、集団全体でみると2倍体では塊茎が小玉で低収である傾向が見られるが、組合せによっては大玉で多収の系統も得られていた(図2)。植付株数が異なるため厳密な比較はできないが、2倍体の育成系統と4倍体の育成系統の中で最も多収だった系統は2倍体の物であり、2倍体だから低収とは言いきれないようである。以上のことから、2倍体でも4倍体並の収量を実現することは可能であり、2倍体でも

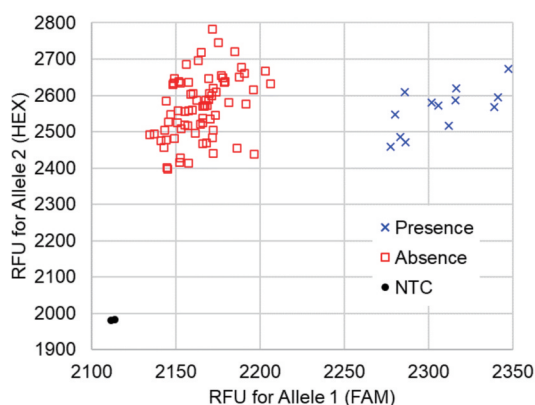


図1 Ry_{chc} のKASPマーカ―による判定結果

PCR反応後の電気泳動が不要で簡便に遺伝子型を判定できる。 Ry_{chc} をもつ個体(青の×)ととたない個体(赤の□)が別のクラスターに分かれる。



図2 2倍体集団の収穫

(左) 系統選抜の収穫。(右) 個体2次選抜の収穫。
 どちらの試験区でも全体の傾向としては小玉であるが、組合せによっては大玉で多収の系統も見られた。
 外観品質については2倍体でも4倍体同等の品質であった。

遺伝子型によっては多収性品種を育成出来ることを実感出来た。

ハイブリッド品種の普及方法についてはアメリカでも検討を進めている段階ではあるが、4倍体品種を置き換えられる様な品種育成を目指している。現行システムではミニチューバー生産にウイルスフリー苗を用いているが、その代わりに真正種子(TPS)を利用し、TPSから育てた苗を植え付けて収穫したミニチューバーを従来の種イモ生産体系と同じ流れで増殖することを考えている。しかしながら、TPSから育てた苗を圃場に移植することができれば、増殖率が高いというTPSの利点を最大限に発揮できるため、苗の移植試験も進めている。野菜のプランターによる移植試験と収穫に立ち会ったが、移植後に人手による補助が必要な上、生育も悪く相当の改良が必要な段階である。

以上より、2倍体でも4倍体並の収量性を実現可能な上、純系化することより新たな有用遺伝子も戻し交雑により迅速に導入出来ることから、2倍体ハイブリッド品種はバレイショ育種を加速させる新たな育種

法としてわが国でも着手するべきであると考えてる。また、ハイブリッド品種の開発にあたり、これまで選抜の対象となつてこなかった花の数や苗立ち性の評価や苗の移植方法の検討、自殖に伴う不稔性の回避方法など新たに取り組むべき課題が多数あることが明らかとなった。

5. アメリカで見聞きしたバレイショ事情

滞在中は主にマディソン市内の4つのスーパーマーケットとマディソン中心部で毎週末開催されるファーマーズマーケットで食材を購入していた。マディソンではどこのスーパーも少なくともラセット品種、黄皮黄肉品種、赤皮白肉品種の3種類は必ず販売されていた(図3)。アメリカでも地域によって人気がある品種が異なるとのことで、ウィスコンシン州ではこの3カテゴリーが常に販売されていたが、別の地域では状況が異なるようである。なお、品種名は不明であるが、ラセット種でも購入時期により若干食味が異なったことから、いくつかの品種が単にラセット品種として売られているのであろう。価格は1ポンド(約

454グラム)で0.7~1.5ドル程度で赤皮品種がやや高値で販売されていた。この他に小イモを水洗いしてパック詰めし、そのまま容器ごと電子レンジで加熱後に添付されたシーズニングで味付けして食べられるものや、小イモで細長いFingering potato、黄肉で良食味が人気のYukon Gold等もスーパーマーケットで販売されていた(図3)。ファーマーズマーケットでは、特色を出すためか紫皮や赤皮、まだら模様の品種なども販売されていた。

スーパーマーケットで販売されていたバレイショは何度か購入したが、殆ど全ての塊茎に打撲が見られたり、緑化したものが販売されていたりするなど品質はそれほどよくない印象を受けた。電子レンジ調理可能な小イモもなるべく緑化していないものを選んで購入したが、食べてみるとかなりのえぐみを感じるものがあった。但し、打撲については2023年春から初夏に購入したものではかなりの頻度で発生していたが、秋以降に購入したものではあまり見られなかったことから、収穫年の差や品種の違いが大きい可能性もある。

アメリカのバレイショ料理で最も印象に

残っているのは、やはりフレンチフライである。ハンバーガーには山盛りのフレンチフライが添えられ、白身魚のフライにもフレンチフライが添えられていた(いわゆるフィッシュアンドチップス)。中でも興味深かったのは冷凍品を使わないことをモットーとするFive Guysと言うハンバーガーチェーンである。フレンチフライも冷凍品ではなく生イモをその場でカットし揚げて提供しており、店内には袋詰めされたアイダホ産の生塊茎が山積みされていた(図4)。日本でも同じようなスタイルの店舗が出てくると国内のフレンチフライ用品種の消費拡大に繋がるかもしれない。また、フレンチフライに使用されるラセット品種は、かなり大玉で細長くシュースtringカットのフレンチフライに非常に適した形をしていた。ホッカイコガネと比べてもかなり細長く、ラセット品種育成のための交配集団では日本の品種にはないくらいの細長い系統が多く出現しており(図5)、日本でのフレンチフライ用品種の交配組合せを考え直す必要があると強く感じた。



図3 スーパーマーケットでの販売

(左) ラセット品種と赤皮品種。(右) 電子レンジ調理向け小イモ。
ラセット品種は1ポンド1.29ドル、小イモは1.5ポンドで3.99ドルと高値で販売されていた。



図4 Five Guysのフレンチフライ

(左) ハンバーガーとフレンチフライ。(右) 店内に積まれたアイダホ産バレイショ。
なおバレイショの左にあるピーナッツは無料で食べ放題であった。



図5 育成中のラセット系統

かなり大玉で細長く、目が頂部から基部まで分布している。

終わりに

日米間で育種目標や基本的な選抜の進め方は共通点が多いものの、アメリカではゲノミックセレクションなどを利用して、育種サイクルを早く回すことにより遺伝的改良を早めることに尽力するなど、ゲノム情報の活用を積極的に進めていることに圧倒された。日本に同じ手法をそのまま導入するのは予算面、人員面で難しい点もあるが、

アメリカのやり方を参考にして育種サイクルを早く回すことには取り組んで行きたい。2倍体 F_1 ハイブリッド品種については、アメリカでもまだ実用化しておらず、トライアンドエラーを繰り返している状況である。今回学んだことを活かして、日本でも2倍体 F_1 ハイブリッド品種育成を進めていきたい。

引用文献

- (1) 實友玲奈 (2021) 迫りくる F_1 バレイショの時代 いも類振興情報 147号、35-40
- (2) Asano and Endelman(2024)Development of KASP markers for the *potato virus Y* resistance gene *Ry_{chc}* using whole-genome resequencing data. Am. J. Pot. Res. (101) , 114-121
- (3) Song and Endelman(2023)Using haplotype and QTL analysis to fix favorable alleles in diploid potato breeding. The Plant Genome 16:e20339.