

3. ゲノム育種の現在・未来

(株) 植物ゲノムセンター社長 美濃部侑三

(司会) 次に「ゲノム育種の現在・未来」というテーマで、株式会社植物ゲノムセンター社長の美濃部侑三さんから報告をいただきたいと思います。よろしくお願いいたします。

(美濃部) 植物ゲノムセンターの美濃部です。私は当初ゲノムという言葉からまず説明しようと思いましたが、藤巻さんがすでにゲノムは遺伝の本体であると説明されましたので簡単にふれます。1930年に木原先生が定義してから80年近く経過した現在、その本体が解明されてきています。私も農水省の出身ですが、偶然最初に入った研究所の所長が木原先生でした。いわば木原先生の最後の弟子のようなものです。

私は1991年にイネのゲノム解析を命じられまして、大々的な農水省のプロジェクトに参加しました。それまで日本はイネゲノムの研究においてアメリカのコーネル大学などと比べて2~3年は遅れていましたが、莫大な予算と人員を集中しまして、3年間ぐらいで世界のトップレベルに達する成果を上げました。それは主にマッピングの仕事です。マッピングというのは、ゲノム全体のDNAマーカーによるマップを作成する、すなわちDNAの所番地を決めていくという解析です。ちょうどそのころ、藤巻さんが所長で着任した時期でマッピングが実際にどう利用されていくかなかなか見えてこない時期でもありました。その後、私はDNAマーカー選抜育種というプロジェクトをスタートさせました。

民間企業に呼び掛けて国の成果を利用した育種の展開をお願いしましたが、当初は7社ぐらい参画していた遺伝解析はいずれも撤収になってしまいました。ある会社では、あなたがやったらどうかと言われてまして、それを支援する人も現れましたので、この会社を設立しました。

植物ゲノムセンターは、ゲノム解析を中心にして、それを実用品種につなぐことを主たる目的にしております(図1を参照)。扱っている材料はほとんどがイネです。先ほど駒嶺さんの木原研究所ではコムギが6,000種あると話されていましたが、我が社は1,000種ぐらいのイネ品種を保有して、その構造比較や機能性の解析を行っています。こうした結果は、機能性食品の開発や育種に利用するとともに、品種鑑定に活用しています。

ゲノム育種という新しい育種の考え方についてお話させていただきます。メンデルがメジャージーンを解析して、遺伝の仕組みを解明したというのは1850年代でしたが、その後、量的形質とはどうも合わないので、ポリジーンという呼び方が出てきました。しかし、分子レベルから見れば、ポリジーンもメジャージーンも解析していきますと、結局1つの遺伝子に到達するはずだという考え方になります。これまでの選抜方法は、圃場で、その形質を見て選抜するという方法を採用しています。しかし、ゲノム育種では、圃場ではなくて温室の中で葉っぱのDNAを解析して個体選抜します。集団選抜ではなくて個体選抜をす

るという考え方を取り入れました。集団選抜からゲノム全域の DNA マーカーによる個体選抜の変化は画期的で、形質をまったく見ないで幼苗期に選抜するという方法です。問題点としては、新しい品種を DNA レベルでは固定化したと判断しても、圃場実験しないとなかなか本物ができたのかどうか確信できません。つまり、最終的には形質を見て判断します

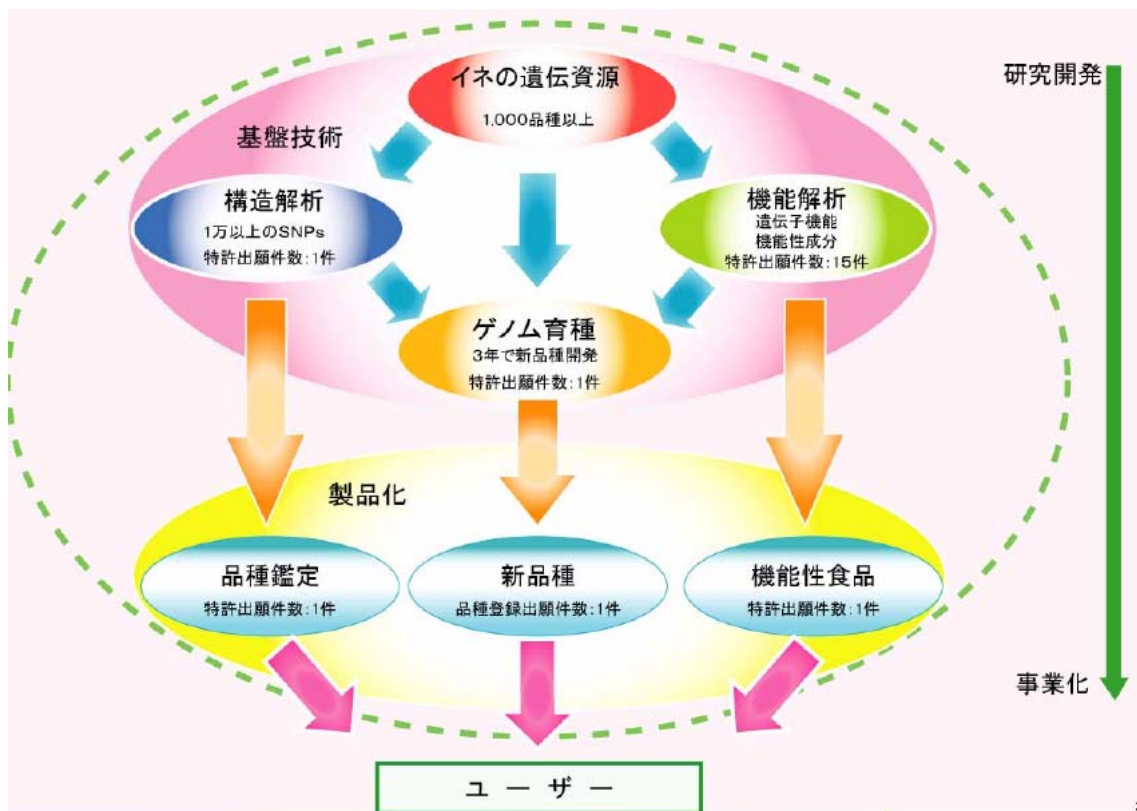


図1 (株) 植物センターの事業内容

が、選抜ではマップを中心にした選抜方法を採用します。したがって、ゲノム育種も通常の交配育種ですが、選抜方法が違いうように理解していただきたいと思います。

イネ育種では、もう1つ大きな問題があります。従来のイネの育種はほとんど近縁交配でして、似たような品種を掛け合わせて新しい品種を作ります。例えば、東北では東北の品種にコシヒカリを掛け合わすとか、北海道は北海道の品種にコシヒカリを掛け合わすという形で実施されています。それら近縁種間のマーカーはほとんどありません。つまり点でのマーカー選抜は出来ますが、ゲノム全域の選抜は出来ません。

ゲノム育種では全域にマーカーを設定しやすいように近縁交配をやめてできる限り離れたところで掛け合わせるという方式に切り替えました。北海道と同じような開花期を支配している形質を持つものがインディカにあるかどうかを調べるために、南方系の二期作用に使われているイネのDNAを解析すると、片方はポイントミューテーションしており、もう1つはデリションミューテーションしている。そこで、北海道の極早生品種に近い品種を作るのに、南方系の極早生品種を使うというようなことをやっています。つまり、育

種の戦略自身が変化しています。

先ほども言いましたように、こうした分析は温室でやるため、1つの品種を作るのはわずかなスペースでできます。茨城ですと温室を使えば幸いにして年3回も交配ができるため、育種期間も大幅に短縮することができました。選抜の流れを説明しますと、播種してからだいたい1~2週間で少なくとも複数の葉が出てきます。それを少し切ってDNA解析に回します。また、年々DNA解析の方法は効率化しています(図2を参照)。最初は1個体1個体をすり鉢ですりつぶしてDNAを抽出していましたが、1人1日200個体のDNAを抽出するのが精いっぱいでした。しかし、その後ビーズでつぶす方法を開発しまして、1~2分で200個体のDNAを抽出することが可能になりました。何種類ものマーカーがいっぺんに使えるDNAチップを用いて200カ所ぐらい、いっぺんに解析してしまうということもできます。

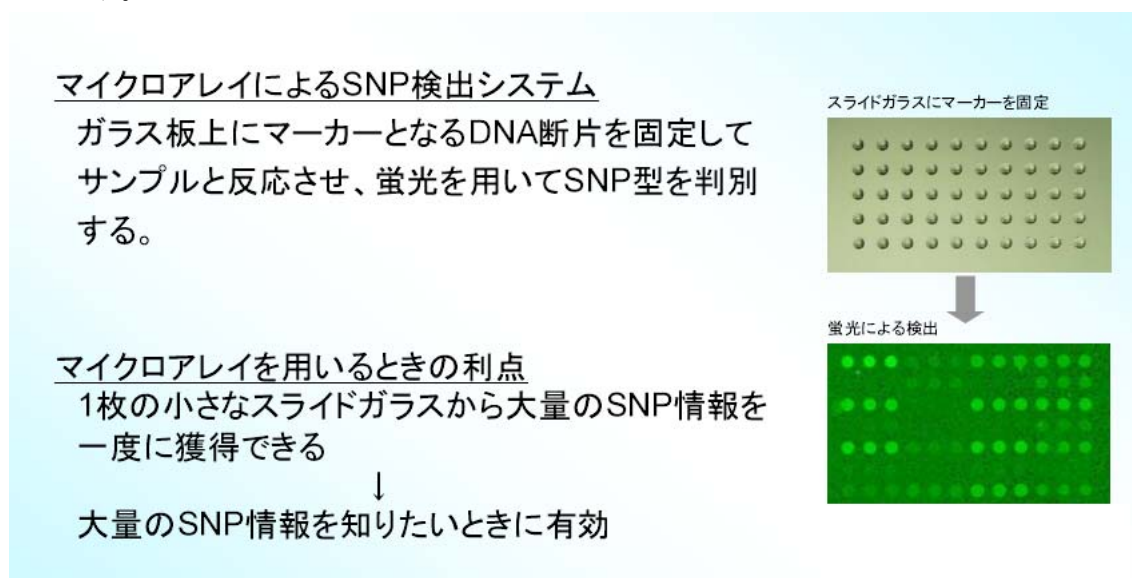


図2 SNPタイピングチップによる選抜

1つ1つの個体を分析していたのを、オリゴアレイを使うことによって、チップ上で解析ということになりました。その結果、解析に2~3カ月かかっていたものを、2日間ぐらいで個体ごとのマップができるようになりました(図3を参照)。このように、手法はどんどん進化しており、いずれはその日のうちにできるという時代が来るかもしれません。従って、DNA解析で全領域のマップを調べて選抜していくという手間の掛かる大変な仕事も時間をかけずにできるようになりました。

次に私どもの会社が行っている仕事を説明していきたいと思います。私どもの会社では、最初は基礎的な研究から始めまして、次に品種改良に利用し、開発した品種の作付けの普及から販売まで手掛けるという、一貫したシステムでこの何年か経営してきました。

特にコシヒカリの耐倒伏性を改善するという目的で、sd1という遺伝子座を導入しました。商品には「恋しぐれ」という名前を付け、主として関東で販売しています。また、関西で

は「庄内のびのび」という名前で販売しています。

この **sd1** という遺伝子座は、台湾の在来品種にもとがありまして、脚が低くてとがっているという意味をもっています。中国にも在来品種がありまして、日本では実際に育種に利用されています十萬石という在来品種があります。アメリカでは突然変異で作られたカ

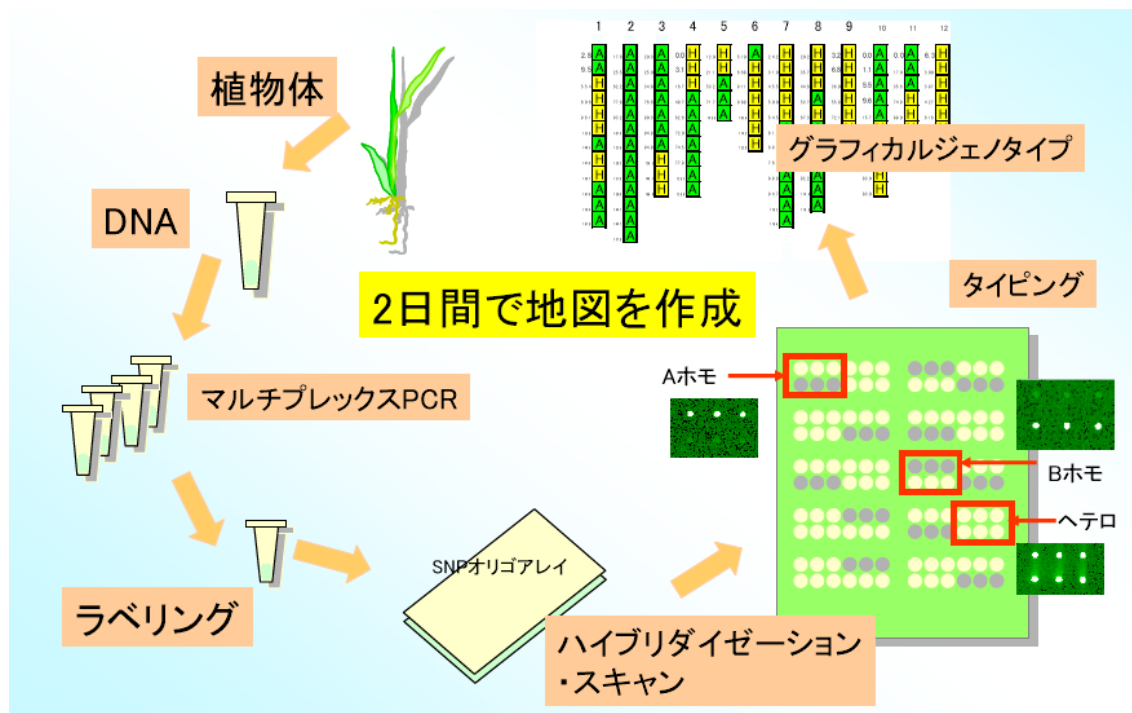


図3 選抜の流れ

ルローズがあります。これらは第1染色体上のいずれも **sd1** 座の変異で、これを使った品種として有名なのは、国際イネ研究所の **IR** 系統です。**IR8** というのは、キヌヒカリを育成する最初の段階で利用されている系統です。私どもは **IR24** を使っております。我が国におきましても、在来種十萬石が生産されたころは、超多収で注目されました。短稈化は、実は多収の系統にも属します。実際の草丈は、この穂の首のところから根元までの長さ、稈長と呼びますが、この長さを短くするのです(写真1)。この **sd1** は、たまたまこの稈長の3番目が伸びるときに強く働くジベレリン合成酵素を制御しています。

ゲノム選抜ということは、1つのバックグラウンドとなる系統に、有用な遺伝子を入れていくときに有力な手法です。(図4を参照)。このグリーンで示しているところはヘテロの領域です。これは **F1** の話ですけれども、このコシヒカリを戻し交配していきます(図5を参照)。通常は戻し交配をやって置き換わる率は2分の1と、ある育種の教科書に書いてありますが、これは間違いでして正規分布しています(図6を参照)。これは実際の例です。どのぐらい入れ替わったかというのを、大ざっぱに推察しています。明らかに正規分布しており、最大80%台、低いところでは20%ぐらいの置き換わりということですが、平均すると50%近くになります。**sd1** の遺伝子座がコシヒカリに置き換わってしまったものは取り

除きますので、さらに正規分布は左にシフトします。戻し交配の 4 代目ぐらいになりますとこういう個体が選抜できます。(図 7 を参照)。ヘテロの位置が sd1 遺伝子座でして、ほとんど、ほかの領域を含んでいないので、これを最終的に固定化しました。固定化後、自殖しまして、その中から、ホモになっているかどうかを DNA 解析して選抜するという方法

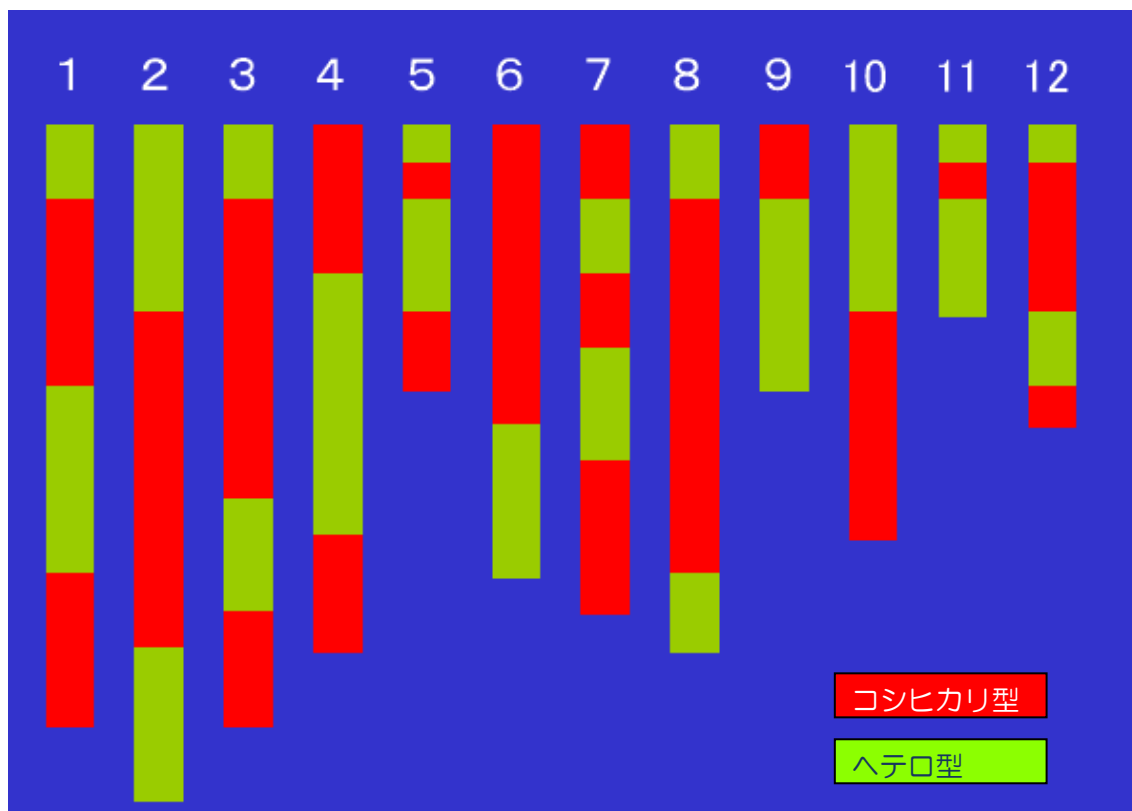


図 4 ゲノム全域を対象とした選抜

をやりましたので、1 回の自殖で固定化された個体が選別できました。

厳密にいきますと、この段階ではまだ全体の 99% ぐらいが置き換わっている状態です、さらに自殖個体、3,000 個体ぐらいの中から、99.9% ぐらい置換された個体を選抜しました。同じジャポニカといっても、ほとんど遺伝子は共通していますので、99.9% になってもあまり大きな違いは認められません。

今の話から分かりますように、最初にコシヒカリに IR24 の花粉を掛けまして、その後はコシヒカリの花粉を戻し交配するというやり方で 4 代目か 5 代目ぐらいには完成されたものが作れました (図 8 を参照)。

その間、実に 2 年弱という短い期間です。この品種を平成 17 年に 1 ヘクタールを筑波山のふもとで栽培しました。風が吹いた翌日に圃場に行きますと、コシヒカリはほとんどが倒伏していましたが、我が社の新品種 (正式名称はコシヒカリつくば SD1 号という命名登録) は、倒伏しませんでした (写真 1)。やや葉が青いという点で、コシヒカリと少し違う性質があります。また、重さ、粒の大きさがやや違うことが分かってきました。農産物、

産地銘柄の選定会議にコシヒカリ群として出しましたが、その点が指摘されて1年目は

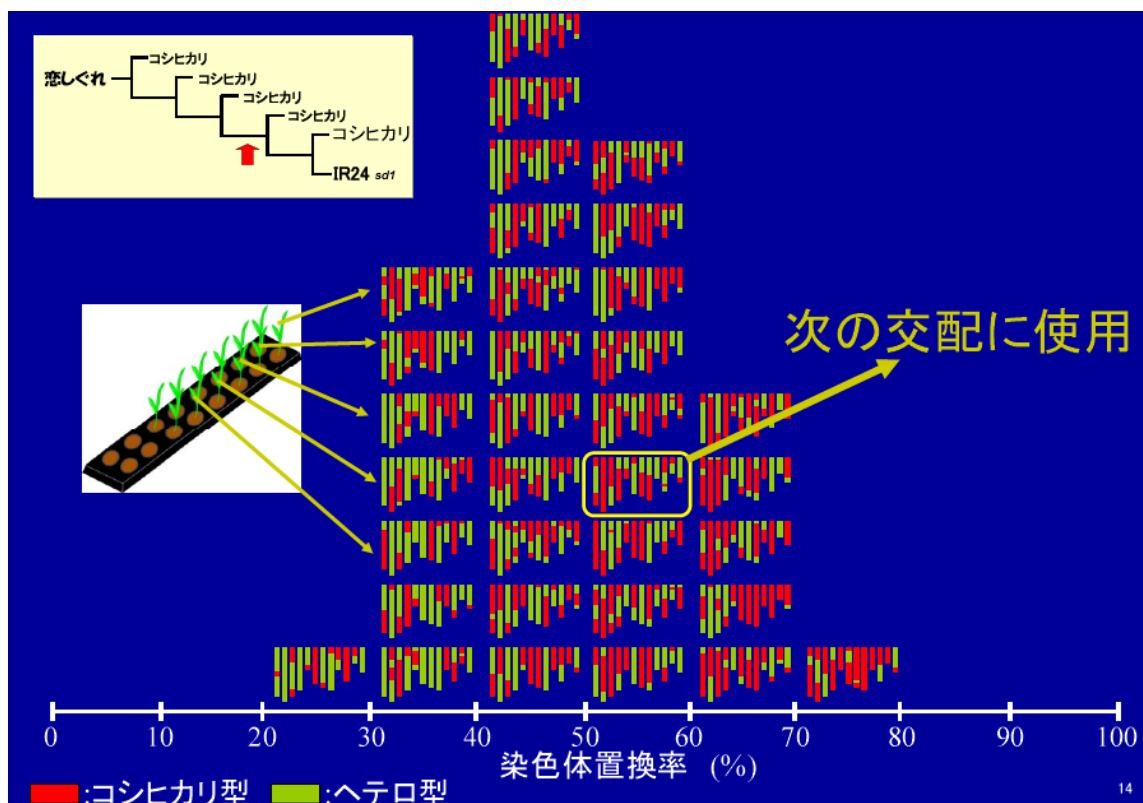


図5 BC1F1世代での染色体置換率の分布

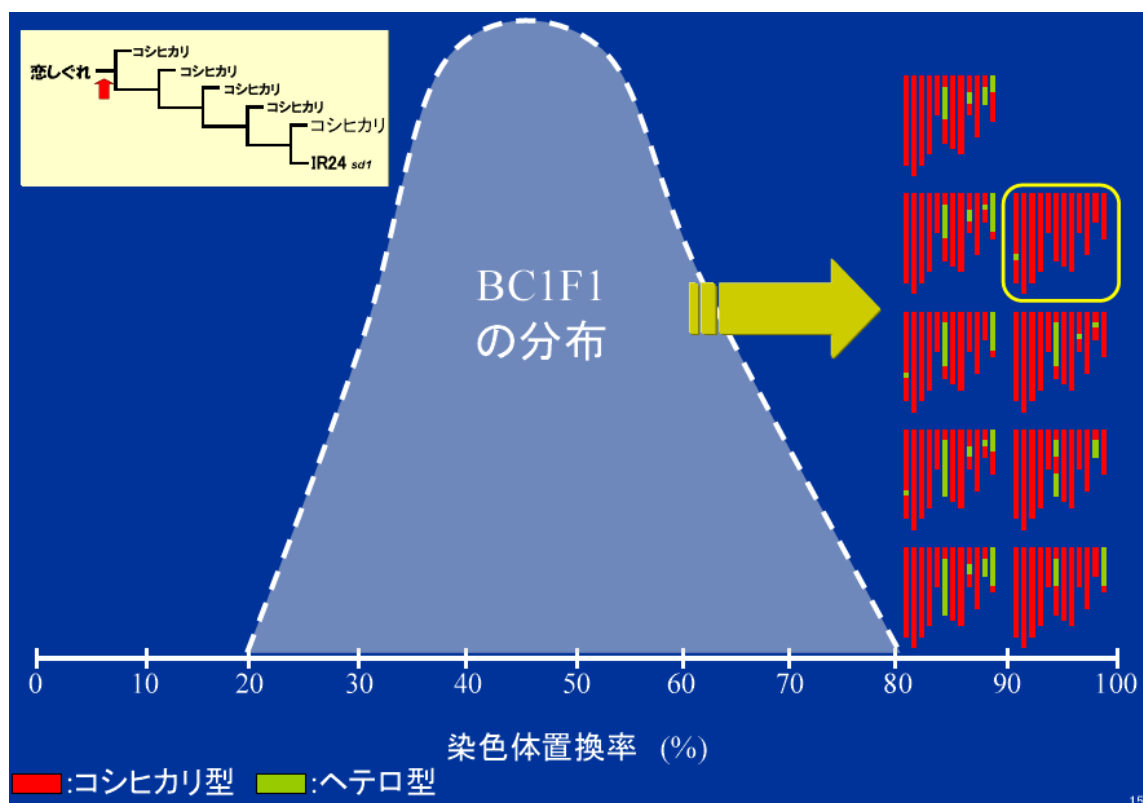


図6 BC4F1世代での染色体置換率の分布

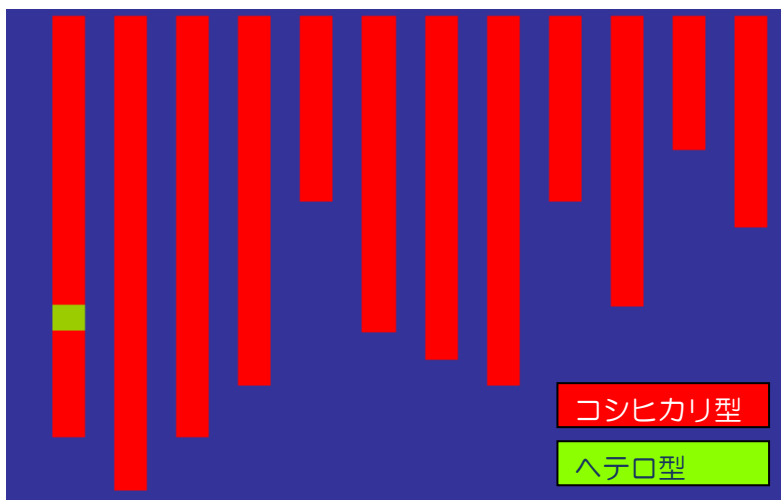


図7 BC4F1世代での選抜個体

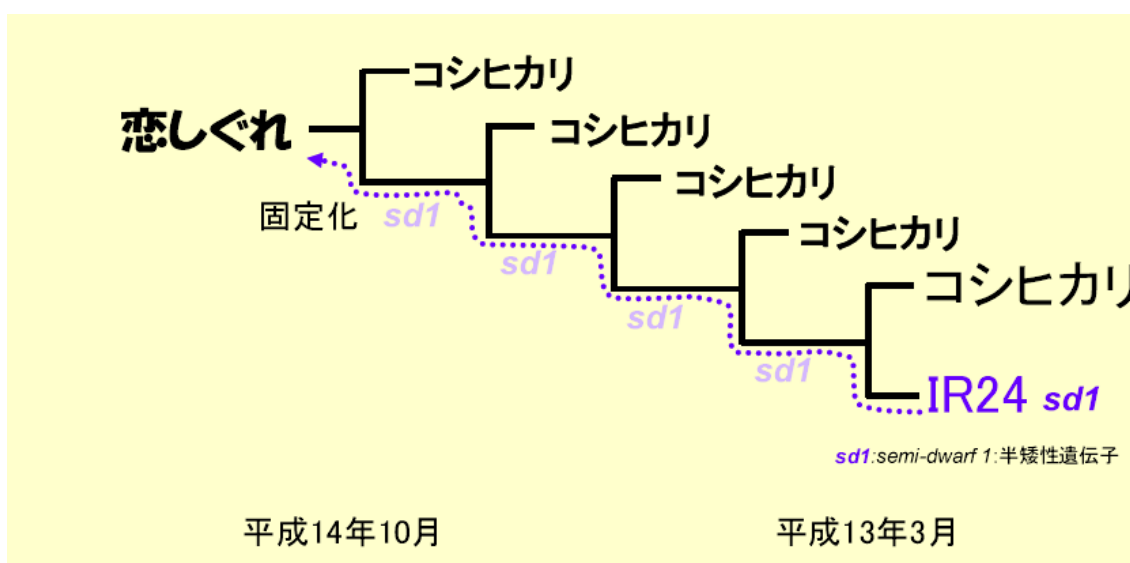


図8 育成系譜

却下されました。2年目は名称からコシヒカリを除いて、つくばSD1号で申請し、茨城県と山形県で産地銘柄として認められました。

北関東ではコシヒカリがどんどん小粒化するということが問題になっていまして、その粒が大きいというのは農業上重要な形質です。平成19年は山形県の庄内で1,000ヘクタール、ライセンス契約で栽培しています。おそらく民間品種では1,000ヘクタールの栽培面積を上回った最初の例になります。平成20年産につきましては、まだ決定していませんが、昨年を上回るとは確実です。庄内以外でも、つくば、茨城県を中心としまして150ヘク

タール程度を栽培しています。現在の主要産地は山形県と茨城、新潟、そして宮城、福島と広がっています。

コシヒカリを短稈化したという技術は、簡単に他の品種の短稈化にも応用できます。これはミルキークイーンを短稈化した例です。すでに品種登録を出願しています。ここでも粒が大きいことが注目されています。また、酒米の山田錦や五百万石は背は高いけれども、



写真1 茨城県つくば市での栽培風景

それほど倒伏性は高くありません。しかし、背が高いために脱粒性が大きいので、短稈化することによって脱粒性も少なくなるので短稈化を進めています。1つの遺伝形質に注目して、交配する相手を変えれば、2年ぐらいで新しい品種が作れます。

次に、北海道の開花期に合わせたコシヒカリを作ろうと計画しています。北海道の品種の特徴は開花期にあります。コシヒカリの開花期は9月になりますので、稔性がありません。北海道の品種の多くは8月初旬に開花しますので、1カ月ぐらいコシヒカリの開花期を早くできれば、十分に北海道でも栽培できることになります。最初に我々が取り組んだのは、北海道のイネの開花期を決定している遺伝子を解析することでした。それは第4染色体上にあることが想定されていましたが、実際には想定された位置とはちょっと違いました。しかし、最終的にある遺伝子の点異変が起こっていることが分かりました。Italice Livorno という品種は、同じ遺伝子座が欠落していました(図9を参照)。

それから我々が使った広陸矮4号、G4という名前で通常呼んでいますが、この品種は中国湖南省の二期作用の品種で、これもその遺伝子座が欠落していました。この遺伝子が欠

落することによって開花期が早くなると想定して解析していきますと、1つの対立遺伝子と変わらない解析方法ができるわけです。全部のマーカーを使って解析して、遺伝子座がある場所を見つけました（図10を参照）。

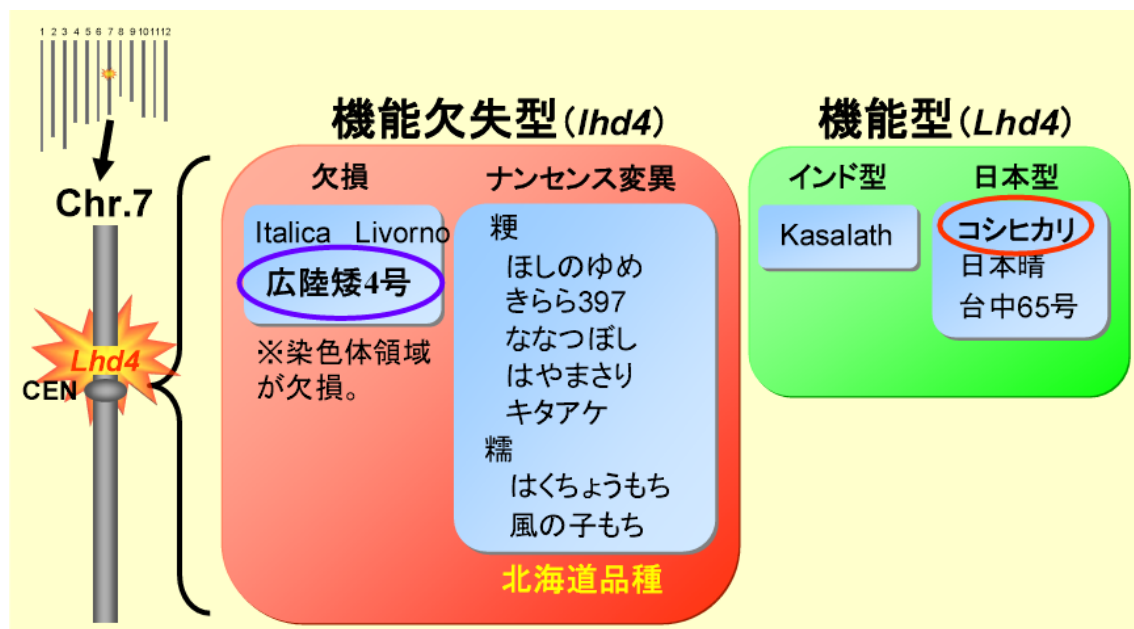


図9 出穂抑制遺伝子 *Lhd4*

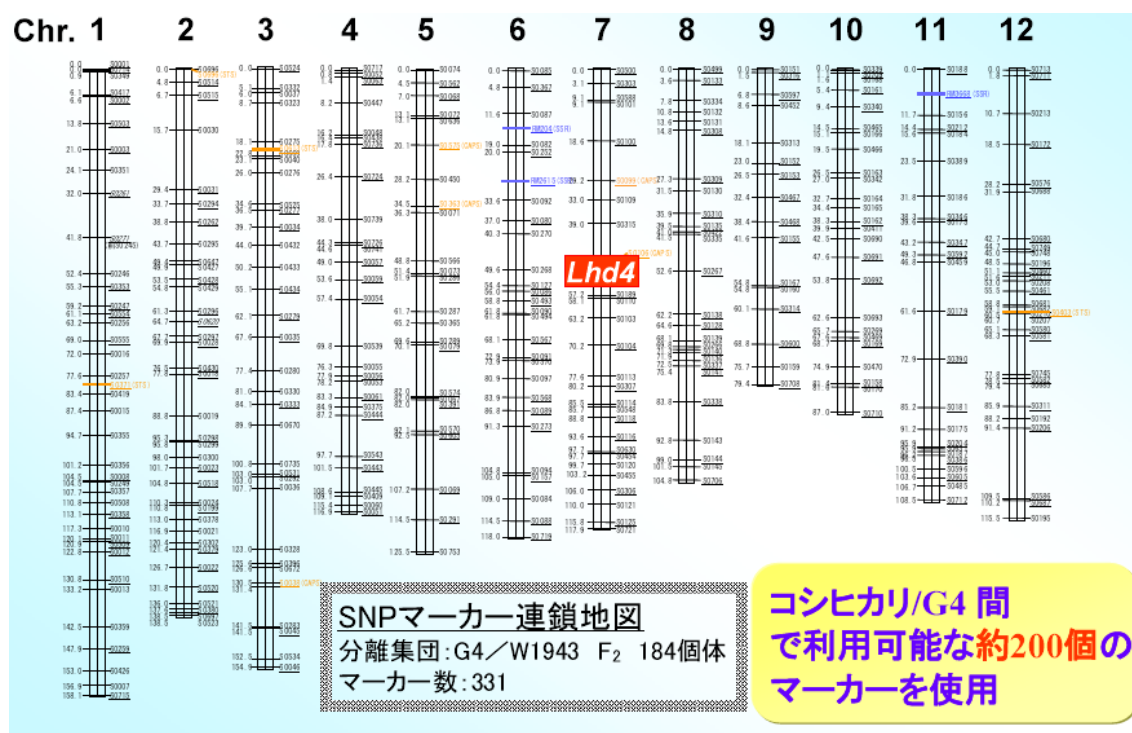


図10 選抜に使用した DNA マーカー

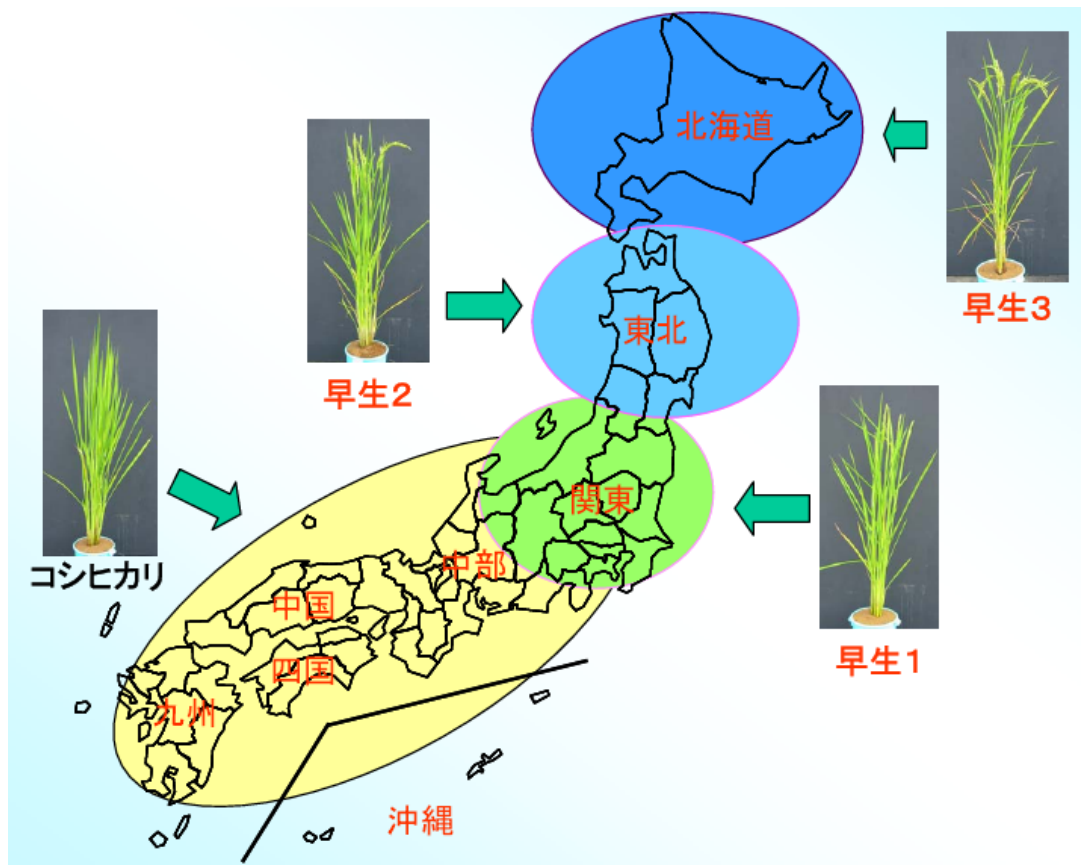


図 11 出穂期調節による栽培地域の拡大

このG 4の遺伝子座をコシヒカリと比較しますと、多くの開花期に関係する遺伝子座が認められました。特にこのLhd4とHd5というのは、開花期を早める方向に働いています。この遺伝子座（ポリジーン）を一つ一つコシヒカリの中に入れていきますと、メジャージーンとしての働きをするようになります。冒頭に言いましたように、ポリジーンも分解してみればメジャージーンになってしまうということです。Lhd4という北海道の性質を示しているのがこの遺伝子座でして、2つの遺伝子座を集積させますと、3週間開花期が早くなりました（図 11 を参照）。開花期をマップ上で表記していきますと、北海道から沖縄、台湾まで栽培できる品種が作れることがわかります。沖縄の石垣島で栽培できる優良品種も開花期だけを変化させて作ることができます。

最後に、主要穀物の育種における民間会社の役割についてお話をします。バリューチェーンという言葉は、研究の流れがどう変わってきて、どういう価値に結び付いていくのか、ビジネスにつながっていくのかということを表示しています。最初は、日本の農水省を中心にしまして、世界規模でのイネの塩基配列の解析が進み、2004年ごろには大部分の配列が決定しました。そのデータベースは直ちに公開されましたので、国際的な企業はそのデータを基に品種育成をやる可能性がある、あるいはほかの目的で使うかもしれない。その

ため、日本でも民間企業を育成することが重要であることを主張してきました。そのため、有用遺伝子を解析してライセンス化するという目的でこの会社を設立しました。しかし、有用遺伝子を単離しても、誰にこの遺伝子の権利をライセンスしたらビジネスになるのかと追求されました。それならば、遺伝子座の解析を基に新しい育種法を開発して、品種まで作ってしまおうというビジネスモデルを作りました。しかし、たぶんコメの種はそう簡単には売れそうもないので、最初は農業法人に栽培していただいて、それを買い取って、おコメ屋さんを組織化して販売しようという組織作りを行いました。1年間営業展開して、東京では120社以上の特約店を組織することができました。東京で販売組織を作るのは大変難しいことらしいのですが、新しい品種が魅力となり多くの販売店に集まって頂きました。大阪でも200店舗近いおコメ屋さんが1つの問屋さんの下に集まって活発な販売をやっています。

ただ、ここから先はなかなか難しいということが次第に分かってきましたので、種子の権利をライセンス事業として農業法人等に出すようなビジネスモデルに昨年から変えました。その結果、現在私どもが生産している3分の2以上はライセンス契約になっていますし、平成20年産からは大部分ライセンス契約でやっていきたいと思っています。

コメは日本国内では様々な規制がありますが、この研究開発事業を展開する中で規制緩和が急速に進んでいます。農水省は民間育成品種の普及に関して積極的な声援は送ってくれていると思います。ただし、奨励品種制度ができて以来、民間品種は1度も奨励品種になっていないというように、旧態依然とした制度もあります。こうした問題については、現在、様々な対策が検討されていますので、我々のような技術を中心としたビジネスも非常にやりやすくなっていくと思っているところです。

どうも長い間のご清聴ありがとうございます。

(司会) 美濃部さん、どうもありがとうございました。何か質疑、質問があればどうぞ。

(樋口) 東京農業大学で植物栄養に関する研究をやっております樋口と申します。この出穂期調整の話、すごく面白いと思いました。北海道向きにするためには1カ月近くも出穂期を早めるということでしたが、こうした時に実際にその早い出穂期に間に合うように、炭素、窒素の蓄積が十分に行われて収量構成要素が確保されるのかどうかお聞かせ下さい。また、耐冷性等々の問題についても、同じ手法で積み上げていけるのかどうかいかがでしょうか。

(美濃部) 新しい品種を作る時には様々な心配があります。育種家は、短稈化したら耐冷性が弱くなるとか、開花期を早めたら食味が落ちるとか、そういった心配を持ちます。ただ、どこまで外来DNAの領域を縮めたらその欠点が排除できるかということに関するチェックを、1年ぐらいでできますので、不可能ではないと思います。例えば、コシヒカリとい

う品種は、各地で育種、交配に使われています。その性質の良い点は、耐冷性がとても強いということです。そのため、北海道でも夏の穂ばらみ期に温度さえ低くならなければ、結構暖かいものですから、温度の低くなる時期に合わせて開花期を調整すれば十分いけると思います。

まだ、2週間しか早くなっていませんが、すでに4年ほど栽培試験をやりまして、北海道の上川で玄米形質等については何の問題もなく、稔性も強いことが確認されています。ただし、北海道は食味だけは検査してくれないので、どうなっているかわかりません。現在、東北北部の青森、秋田で同じ品種を栽培して、現地の奨励品種と匹敵する食味だと評価されています。ですから、我々はこの品種で十分北海道でもはいけると思っていますが、さらに1週間ぐらい開花期を短くした品種を昨年栽培試験していただきました。まだ結果はでていません。おっしゃる通り、開花期を早くさせることによって、植物は小さくなってきます。ですから、開花期の早いものについては、耐倒伏性はいれていません。そのため、耐倒伏性はやや弱く、粒はやや小さくなります、

それから、一番我々が苦手になっているのは、栽培法の確立です。この品種に合わせた適切な栽培方法を作ることが大切です。

(樋口) 開花期がこんなに早くなっても、収量にそれほど影響がないということは、現在使われているそのイネの光合成器官のその生産能力には、まだまだ十分余力があると考えてもよいのでしょうか。

(美濃部) 極早生品種を、例えば関東の方で栽培すると全然だめです。十分成長しないうちに開花してしまいますので、収量はずっと少なくなります。施肥方法の改善で調節できると言われていますが、僕らは成功していません。北の方で開花期が8月の初めから中旬という、関東と変わらないわけですから、北で極早生といっても、実は本州の開花期とそんなに変わらないという時期だと思えます。

(太治) すみません、東京農業大学のバイオサイエンス学科の太治と申します。非常に面白い発表を聞かせていただき、ありがとうございます。今回育成された品種は、耐倒伏性や開花期を早めるという点で農家に対してメリットがありますが、消費者としてのメリットはどこにありますか。また、コシヒカリ以上のうま味を出そうとした場合のアイディアは何かございませんか。

(美濃部) アイディアはありませんが、現在、流通は品種の交代を求めていると私は認識しています。コシヒカリもできて30年以上経ちますし、ひとめぼれも16年、はえぬきも15年、きららもかなり経過しています。このように、いずれも10年前の品種ですので、そろそろ新しい品種が欲しいとは思っています。そのため、私たちが開発した新しい品種は

非常に業界を活気づけております。また、粒が大きいというのは、官能試験のときにはポイントが1つぐらい上になります。食味計で測った値でなくて、粒が大きいということは外観の評価を高めるという点で重要です。

また、農産物検定制度で乳白があると悪いおコメという評価になりランクが下がります。しかし、ある県の試験場で乳白を出したコメを調べたところ、低アミロースだということが分かりました。すなわち、アミロース含量が低くなると乳白が出てしまいます。コシヒカリをしのぐ良食米にミルキークイーンがありましたが、規格外になってしまいます。現在の制度下でコシヒカリより素晴らしいおコメを作るというのは、農産物検定制度を変えない限り難しいという、おかしなことになっています。

(司会) よろしいでしょうか。ここで少し休憩を取りたいと思います。