

## 食料自給率の向上は品種改良の成果にかかっている

京都大学大学院農学研究科  
育種学研究室  
谷坂隆俊

### はじめに

近代文明の発展とともに、世界人口は急速な勢いで増えつづけ、現在では67億人を超すまでになっている。食料は大丈夫であろうか。多くの人々は、このような危惧を持ちつつも、いずれ何とかなると考えているようである。しかし、事態はそれほど甘くはない。この事態を早急に回避する方策を講じない限り、食料危機は現実のものとなって人々の生命を脅かすことになるであろう。このような世界情勢の中にあつて、わが国の食料事情はさらに深刻さを増しているように思われる。事実、昨年度のわが国における食料自給率はカロリーベースで39%と、ついに40%を下回った。とりわけ、食料自給率に大きな影響を与える穀物の自給率は、28%と著しく低い。一方、エネルギーをバイオマスに依存しようとする世界的風潮により、穀物輸出国では、輸出向け作物の栽培面積を減らし、自国用のエネルギー生産に適した作物の栽培面積を増大させつつある。また、中国の著しい経済発展は、中国を食料の輸入国に転じさせ、世界における作物市場に大きな変化を与えつつある。地球における作物の生産量には限界がある（超多収品種の育成と栽培地域の拡大が実現しない場合）。したがって、近い将来、穀物輸出国からわが国への輸出量は著しく低下することが予想される。現に、日本の商社は、アメリカ産およびブラジル産ダイズの輸入をめぐる中国やEUと激しい競争を強いられている。

このような海外の事情を考えると、今、わが国が行うべきことは、可能な限り自給できる体制を整えることであろう。食料自給率の向上には、政策的な取り組みが何よりも重要である。しかし、仮に今、政策的に作物栽培を奨励して自給率の向上を図っても、現在の品種を使う限り、その実現はきわめて難しい。耕地面積が限られるわが国においては、何よりも、高い生産力あるいは優れた品質をもった品種の育成が求められるのである。

### 育種の画期的成果の事例

自給率の向上には品種改良が必須の条件である。その理由を説明するために、以下に、①栽培種と野生種の違い、②「緑の革命」をもたらした多収性育種の成果、③北海道で稲作を可能にした適応性育種の成果、さらに④無エルカ酸ナタネ品種を作出した成分（品質）育種の成果について紹介する。

## 1. 栽培種の成立（これによって都市国家が誕生した）

人類が農耕を開始したのは、1万年から1万五千年前と推定されている。脱粒性や休眠性など野生植物が子孫を残す上では重要であるが、栽培には不都合な性質を取り除き、生産性が高く品質の良いものを選びつづけてきた。このような品種改良は、人類が生きていくための最も重要な営みとして、有史以前から今日に至るまで、絶え間なく、行われてきている。今日の優れた品種は人類が長い年月を労して改良を重ねて作り上げた芸術作品である。図1は、現在のイネ品種（IR36、*Oryza sativa* L.）とその祖先種である *Oryza glaberrima* Stued.とを比較したものである。野生種は、粒数が少なく、脱粒性があることが理解されよう。

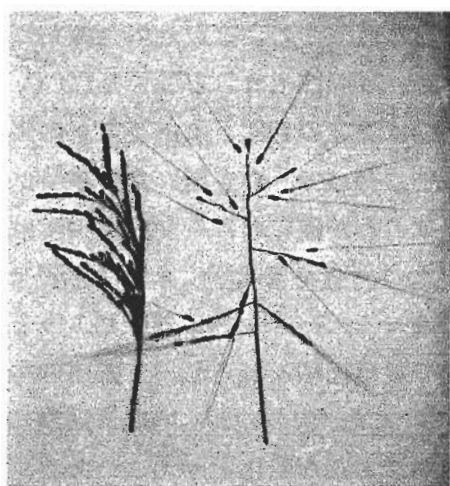


図1. *Oryza sativa* (左) と *Oryza glaberrima* (右)

*Oryza sativa* の品種はインド型品種IR36である。この品種は一時期1,200万haをカバーしたスーパー品種である。

(神戸大学石井尊生準教授より写真を提供)

栽培種の誕生は、食料供給を安定化させることによって定住化を促し、やがて都市国家を誕生させることになった。したがって、古代文明の発祥地はいずれも大作物（イネ、コムギ、トウモロコシ、ジャガイモ、ダイズ）の発祥地（栽培種が誕生した地）である。すなわち、食料のあるところに文明は育ち、ないところには文明は育まれない。食料の大半を海外に依存するわが国にとって肝に銘じておかねばならぬ事実であろう。

## 2. 多収性育種（半矮性イネ、コムギ品種の育成と緑の革命）

第二次世界大戦後の急速な世界人口の増加は、熱帯アジアを中心に深刻な食料不足をもたらした。国際イネ研究所（フィリピン、図2）の Beachell 博士は、台湾の在来品種‘低脚烏尖’の半矮性（草丈が低い、籾の数や大きさは減少しない）に注目し、当時のフィリピンの優良品種‘Peta’（長稈品種）との交雑により、ミラクルライスと称される半矮性品種‘IR8’を作出した(1966年)。この‘IR8’は‘Peta’と比べて草丈が約35%低く、化学肥料の大量投入によっても倒伏せず、2倍の収量増を実現した。コムギにおいても同様の半矮性育種が国際トウモロコシ・コムギ改良センター（メキシコ）で行われ（図2）、これらの品種を導入したインド、パキスタンでは生産量が一挙に倍増した(1960年代後半以降)。

このような2大食用作物における生産量の画期的増加は「緑の革命」と呼ばれ、1,000万人もの人々が餓死から救われた。コムギの半矮性品種を育成した Borlaug 博士にノーベル平和賞（1970年）、「IR8」の育成者 Beachell 博士に日本国際賞（1983年）が授与されたことはその成果がいかに大きなことであったかを物語っている。

「緑の革命」については、その影の部分指摘する声がある。貧困な農家に化学肥料の使用を強要することになり、農家経済を圧迫したという声である。しかし、1,000万人の命が救われたこと、また、「緑の革命」で使用されたコムギの半矮性遺伝子 *Rht1* および *Rht1* (日本のコムギ品種農林10号に由来)、イネの半矮性遺伝子 *sd1* (日本を除く) が世界の小麦作と稲作に画期的な収量増と安定をもたらししたことは紛れもない事実である。もし、これらの半矮性遺伝子が使われなかったなら、現在の地球には30億人程度しか生きていないのではないかと推定される。



図2. 国際トウモロコシ・コムギ改良センター (左) と 国際イネ研究所 (右)  
写真左の右側の人物がノーベル平和賞を受賞したBorlaug博士である。コムギとイネの高さが低いことに注意。それ以前の品種は成人並みの草丈であった。

### 3. 適応性育種（北海道における稲作の実現）

冷涼な地、北海道で稲作が行われようになったのは、つい最近（1888年）のことである。温暖な低緯度地方に起原するイネが冷涼かつ高緯度に位置する北海道で栽培できるようになったのは、耐冷性の付与ではなく、日長の影響を受けない品種を育成したからである。これは、意外にも知られていない事実である。イネは、元来、短日植物であり、商業栽培上の花芽分化期（7月上～中旬）の日長は短日でなければならない。しかし、北緯42～45°に位置する北海道におけるこの時期の日長はイネにとって長日条件（15～16時間）である。長日条件下でも花芽分化できる品種、すなわち日長に対して中性の品種の育成が北海道での商業稲作を可能にしたのである。この例をみるまでもなく、開花(出穂)期は品種の地域適応性に関わる重要な形質であり、多くの遺伝研究がなされている。研究の進んだイネにおいては、現在までに、30以上の関与遺伝子座が同定されており、その一部については生理・生化学的機能が明らかにされている。

#### 4. 成分育種（食用油用無エルカ酸ナタネ ‘Canola’ の育成）

在来ナタネ品種の油にはマウスの心筋などに病的悪化をもたらす作用があるエルカ酸が大量に含まれている（全脂肪酸に対する割合が40%前後）。オレイン酸からエルカ酸への合成を進める遺伝子を交雑によってその機能を有しない遺伝子に置換し、開発されたものが無エルカ酸ナタネ ‘Canola’ である。在来ナタネは、さらに家畜の甲状腺を肥大させる作用をもつグルコシノレートを含むが、‘Canola’ は、このグルコシノレートも含まない。一方、工業用油にはエルカ酸は都合のよい脂肪酸である。このため、在来ナタネよりエルカ酸を大量に含む（65%）品種が育成されている。このように、同じ作物種であっても、品種改良は用途別に行われている。

### 食料自給率の向上に向けたわが国の育種目標

日本の食料自給率を向上させるためには、①イネにおいては、単位面積当たり収量を一層向上させること、②コムギにおいては、種子貯蔵タンパク質の改変によって製パン性・製麺性を改善すること、③ダイズおよびトウモロコシにおいては生産性の安定と多収化を図ることなどが、重要な育種目標となる。ここでは、イネ、コムギ、ダイズの育種目標について説明する。

#### 1. イネにおける単面積当たり収量の向上

イネは、主要作物の中で唯一自給可能な作物である。しかし、仮に、コムギやトウモロコシ、ダイズが輸入できなくなった場合、イネでその穴埋めができるであろうか。答えは「ノー」である。近年のイネ育種は、食味などの品質の向上に力点が置かれており、多収性にはほとんど目が向けられていない。しかし、劇的な変化をみせつつある世界の農業事情を考えると、超多収イネの開発は緊急の課題であると考えられる。戦後間もなく始まったイネ品種の半矮性化（主に半矮性遺伝子 *sd9* を利用）は、わが国の食料事情を大幅に好転させた。しかし、半矮性遺伝子は、耐肥性や耐倒伏性などを付与することによって画期

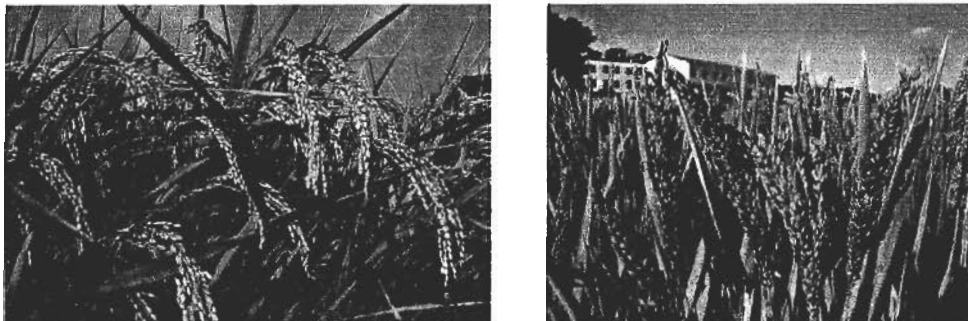


図3. 日本のイネ品種ヒノヒカリ（左）と中国の超多収イネ品種

中国品種は「実るほど頭を垂れる稲穂かな」が当てはまらない。いずれも日本型イネである。

的収量増をもたらしたが、バイオマスの大きさにも関与するため、これ以上の収量増を阻害する要因にもなっている。すなわち、わが国の半矮性イネ品種の収穫指数（収穫部の収量／全バイオマス × 100）は上限の約60%に達しており、これ以上のアップが見込めないからである。近年、隣国中国では、従来のイネのイメージを払拭し、直立型の穂をもつ、超多収の日本型品種の育成に成功している（図3）。わが国品種の実に2倍近くの収量である。わが国においても、従来の半矮性を機軸とする育種から脱却し、新しい多収イネのイメージ作りと、それに向けた遺伝資源の探索を急がねばならない。

## 2. コムギにおける製パン性の改善

わが国は、世界有数のコムギ消費国であるにもかかわらず、消費量の大部分（約85%）を海外に依存している。このため、早急に自給率の向上を図る必要があるが、国内産コムギの製パン性、食品加工特性は輸入コムギと比べて劣る（図4参照）ため、わが国での栽培に適した高品質の食パン用コムギ品種、中華麺用コムギ品種の開発が急務である。コムギの加工特性



図4. アジアコムギの製パン性

NM84, NM344は製パン性がよい品種、NM131とNM216は製パン性が悪い品種。製パン性不良品種はボリュームが小さく、焼き色も悪い（白色）。

は、コムギ特有のタンパク質であるグルテンの性質を強く受ける。このため、グルテン物性を支配する遺伝要因を解明するための研究が盛んに行われ、これまでに、種子貯蔵タンパク質グルテニン（とくに高分子量グルテニンサブユニット）の組成がグルテン物性に大きく関与していることが明らかにされている。（独）農業・食品産業技術総合研究機構では、優れた欧米品種と同じ高分子量グルテニンサブユニット組成をもつパン用品種の開発に臨んでおり、すでにくつきの優れた品種を育成している。グルテン物性には、高分子量グルテニンサブユニットのほか低分子量グルテニンサブユニットも関係していると考えられており、これら低分子量サブユニットの効果が明らかになれば、さらに優れた品種の開発が可能になると思われる。一方、麺用コムギ品種の開発は、製麺特性と各種種子貯蔵成分との関係が明らかにされておらず、なお多くの基礎的研究が必要である。

### 3. ダイズにおける生産性の安定化と多収化

ダイズの購入をめぐる国際競争の激化は、その消費の 96%を海外に依存するわが国に深刻な影を落としつつある。これに呼応するように、ダイズの自給率の向上を目指して、国のプロジェクト研究「ダイズゲノム・プロジェクト」が本年 4 月から始まった。現在のわが国におけるダイズの単位面積当たり収量は約 160kg/10a (年によってかなり変動する) であるが、この値は科学的育種 (遺伝学に基づく育種) が始まった 20 世紀初頭の値と比べて約 1.2 倍程度であり、ほとんど増加していない (イネやコムギの単位面積当たり収量はここ 100 年間で 3 倍近くにまで上昇した)。これは、ダイズ特有の特性、すなわち、肥料反応性がイネやコムギに比べてきわめて低く、多肥が直接収量に結びつかないことに起因すると思われる。したがって、ダイズの多収性育種では、収量関連形質の改良よりも、増収を阻害する要因を取り除く方が効率的である。阻害要因を取り除いた育種の代表的な事例として、米国の除草剤抵抗性 GM ダイズ品種の育成 (1995 年に栽培開始) があげられる。この GM ダイズは、非選択性除草剤グリホサートに対する抵抗性をもつため、雑草害が著しく軽減され、多収をもたらした (250kg/10a : 1970 年の 1.4 倍、1985 年の 1.2 倍)。わが国においても、除草剤抵抗性の GM ダイズの栽培が求められるが、その栽培にはなお解決しなければならない問題が多くあり、大規模栽培はしばらくの間実現しそうもない。

わが国におけるダイズ栽培の最大の問題点の一つは、冠水障害の多発である (図 5 参照)。わが国のダイズ栽培は、土地利用型農業の活性化という国策のもとに、大半 (80%) が水田転換畑で行われており、また、播種期が梅雨期と重なることから、発芽時に冠水障害が多発し、これが減収の一因となっている。このため、冠水に対する抵抗性の付与は、きわめて重要な育種課題である。発芽時冠水抵抗性に関する遺伝研究は、10 年ほど前から開始され、現在、いくつかの抵抗性遺伝子の存在が明らかにされつつある。これらの遺伝子の機能が確認されれば、冠水障害に強いダイズ品種の育成も夢ではない。冠水障害のみならず他の減収要因 (病気、害虫など) に対して抵抗性をもった品種を開発することができれば、わが国のダイズ栽培の安定化と、減収抑止による多収化が、間違いなく実現する。

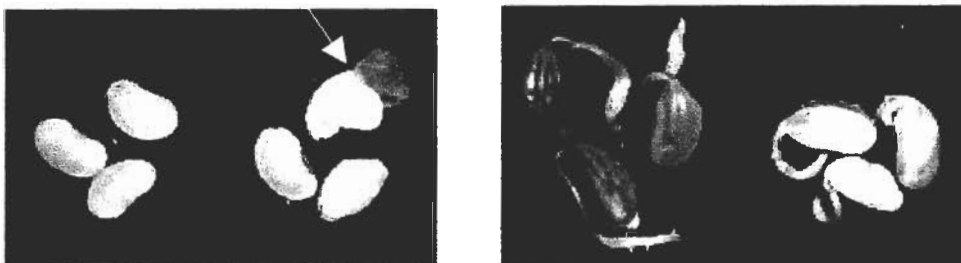


図 5. ダイズの冠水障害 (発芽時) の例

左 : 種皮離脱、右 : 子葉障害

## 先端技術を利用した育種

### 1. 育種選抜技術の改善 (DNA マーカー選抜)

収量や品質など農業上重要な形質の多くは、複数の遺伝子の支配を受け、しかも栽培環境の影響を強く受ける。このため、これら形質に関する優良個体の選抜は多くの経験をもった育種家にとっても容易なことではない。近年、有用形質 (遺伝子) と密接に連鎖する DNA マーカーを選抜指標とするマーカー選抜 (MAS: marker-assisted selection) が行われるようになってきた。RFLP(制限酵素断片長多型)、SSR (単純反復配列多型)、CAPS、cDNA クローンなどの DNA マーカーのうち、育種の場合においてはコストが低く、近縁品種間でも多型頻度の高い SSR マーカーの利用が便利である (図 6)。DNA マーカーは、病害抵抗性、虫害抵抗性、耐冷性、耐塩性のような各種ストレスに対する抵抗性や耐性、種子の貯蔵タンパク質、脂肪、炭水化物の成分改変、多くの遺伝子が関与する収量およびその構成要素の改変など、個々の形質の評価 (検定)・選抜に経費、労力、年次等のコストがかさむ育種においてきわめて有効である。有用遺伝子に関する DNA マーカーの探索は、植物育種学における重要な課題である。

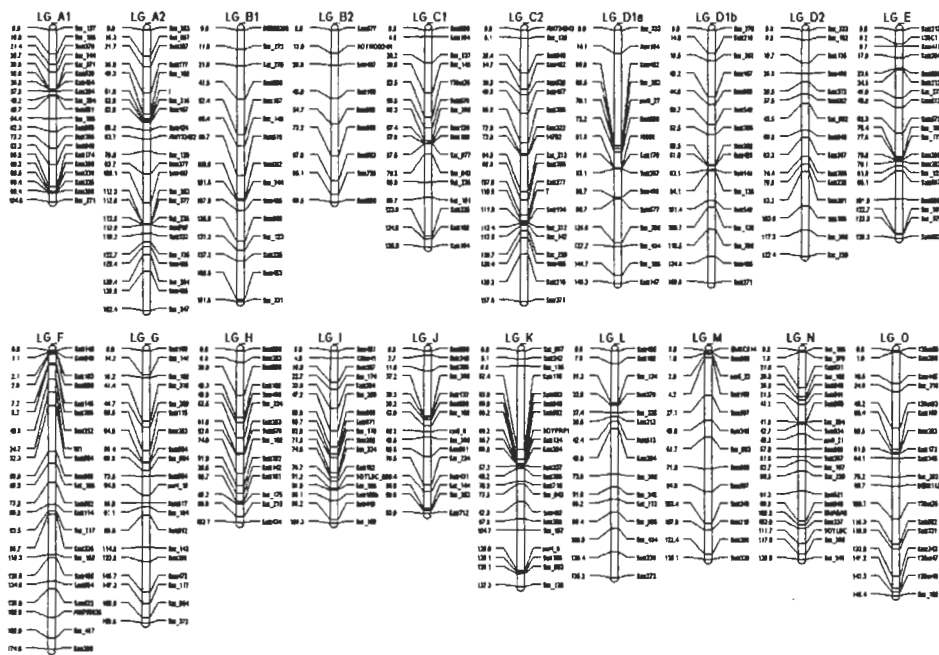


図 6. ダイズのSSRマーカー連鎖地図

ダイズ品種Pekingとタマホマレとの交雑に由来する組換え近交系を用いて作成した (Tanisaka et al. 2004)。

MASとは、目的とする遺伝子がどの位置にあるかを決定した後、近くのマーカーを利用して目的の遺伝子をもつ個体を選抜することである。

## 2. 遺伝子組換え

既述のように除草剤抵抗性 GM ダイズ品種は、米国およびブラジルにおけるダイズの生産性の向上に直結した。この例をみるまでもなく、遺伝子組換え技術は画期的な育種法として世界各地で繁用されるようになってきている。イネやコムギのような自殖性作物の品種は、通常、遺伝的に固定したものでなければならず、そのためには 10 回以上の自殖を繰り返す必要がある。このため、新品種の育成には、交雑開始後約 15 年の歳月が必要である。これに対して、遺伝子組換え技術によって、1 個の目的遺伝子を導入しようとする場合、理論的には 3 世代目で遺伝的に固定した植物個体(純系)を得ることができるため、育種年限が大幅に短縮される。また、植物の遠縁品種間、種間、属間には生殖的隔離機構が働き、雑種種子の獲得は困難であるが、遺伝子組換え技術では、目的とする遺伝子 (DNA の断片) を直接細胞内に導入するため、生殖的隔離とは関係なく、植物以外の遺伝子も利用できる。農業生産上もっとも高いインパクトを与えているのは、除草剤抵抗性作物 (ダイズ、ナタネ、トウモロコシ、ワタ) であり、世界におけるそれらの作付面積は 700 万 ha にも達している。

### おわりに

ここまで、品種改良、すなわち育種が人類の生存基盤を支える重要な営為であることを、具体例をあげながら述べてきた。品種改良は、何億人もの命に関わる重要な事柄であるが、その重要性を認識する日本人は意外に少ない。演者は、高校を出たばかりの大学生を対象にして、「品種改良とバイオサイエンス」とうテーマの講義を担当しているが、講義の後、書かせた感想文を見て、毎年のように驚いている。「品種改良は悪だと高校で習ったけど、今日の講義を聴いて考え方が変わった」、「品種改良はすべて遺伝子組換え技術を使っているのかと思っていた」、「緑の革命は失敗だったと高校で習った」など、育種学を専門とする演者にとってショッキングな感想文が 1 割程度 (30/330) も出てくるのである。飽食の時代に生まれ育った世代には仕方のないことかも知れないが、戦後の食料不足を経験した人々が少なくなっていく将来、品種改良や農業を理解する人々が減少していくことを心配する。初等・中等教育に携わる教育者の正しい理解を望みたい。

作物は種々の形で利用されており、そのままの形で食用とされるもの、加工されて姿を変え成分のみが利用されるものなど、多種多彩である。そのままの形で食用とされるものは品種の効果が見えやすいが、加工されて利用されるものは品種の効果が見えにくい。しかし、品種が変われば中身 (成分) も大きく変わることが一般的である。加工・利用に携わる研究者にも品種の効果の重要性をぜひ認識していただきたい。

世界人口はいまなおとどまるどころを知らず伸び続け、さらに地球温暖化の進行により、農業生産のポテンシャルが急速に下がりつつある。食料は大丈夫であろうか。地球人口の抑制と温暖化の防止はもちろんもっとも大切なことではある。しかし、不幸にして、食料不足になってしまったら — この事態を避けるために品種改良が続けられているのである。