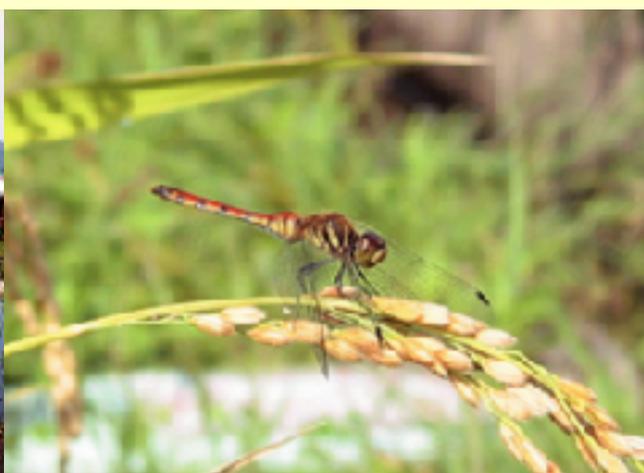


# 新たな用途をめざした稲の研究開発

---



# 目 次

1. 瑞穂の国 水田と米が果たしてきた役割 .....	1
2. 米過剰時代における研究開発 .....	1
<コラム①> インド型と日本型 .....	3
3. 研究開発目標の変化 .....	4
<コラム②> 稲の品種に関する制度（「品種」って何？） .....	4
<コラム③> ハイブリット品種 .....	5
4. 新規用途向け稲研究の成果 .....	5
(1) 飼料用稲 .....	5
①エサ米 .....	5
②稲ホールクロップサイレージ .....	6
(2) 新形質米 .....	7
①低アミロース米 .....	7
②低グルテリン米 .....	7
③発芽玄米用稲 .....	8
④加工用米 .....	9
⑤有色素米、香り米 .....	9
5. 今後の展開 .....	10
(1) 新たな研究開発手法 .....	10
①DNA マーカー育種 .....	10
②遺伝子組換え .....	10
(2) バイオマス利用 .....	12
①生分解性プラスチック .....	12
②バイオアルコール .....	12
③その他の用途 .....	12
(3) 研究の方向 .....	14

## 1. 瑞穂の国

### —水田と米が果たしてきた役割—

わが国に水田稲作が伝わった時期は、アジアの国々の間で最も遅かったとされています。九州で発見されている最古の水田跡は今から2500～2600年前ものです。稲作に関して後発国であったわが国ですが、梅雨時の豊富な降水量と夏季の高温が稲の生育に適していたため、稲作は急速に広がって基幹的な作物となりました。「みずほ(瑞穂)の国」の呼称は、古事記の「豊葦原之秋長五百秋之水穂国」に見られるように、古来からみずみずしい稲穂の実る国という意味で日本国の美称として使われています。

水田稲作の特徴は、水源からの水路の確保、水を貯えるための平地化と畦の設置など、水を制御するための土木工事を必要としたことです。農地開発は奈良時代以降積極的に行われ、各地で力のあるリーダーが、米を作るための水田を通じて水を治め、土地を治めました。さらに、江戸時代になると沖積平野での新田開発が急速に進みました。現在使われている用水路の3分の2は明治以前に開発されたものと言われています。稲作農業は、こうした生産基盤の整備のほか、水の利用に関する利害関係の調整を必要とします。代かき、田植えなど様々な共同作業を通じて、各地のムラとしての機能や独特の地域文化が育まれてきました。

米は律令時代から明治6年の地租改正まで一千五百年にわたって税の中心的役割を果たし、徳川幕府は大名の位を水稲の石高で数量化するなど、わが国の社会・経済における重要な地位を占めました。明治の近代国家体制になると、経済体制は米の経済から貨幣経済へと移行しましたが、それ以降も米は主食として日本経済、国民生活に大きな影響を与えてきました。明治期の米は基本的に自由取引であったため、価格は大きく変動してしばしば社会問題となりました。

明治の半ば以降、産業近代化による都市の発達に伴って人口と一人当たり米消費量が増加しました。その結果、米は国内での増産だけでは需要をまかないきれず、恒常的に輸入されるようになりました。大正の後半から太平洋戦争前まで100万トンを超える輸入・移入が続き、その量が総供給量の2割近くを占める年もありました。さらに、戦争が進むにつれて食糧不足は深刻化し、昭和17年には米を始めと

する主要食糧を国家管理とする食糧管理法が施行されました。

戦後の10年間は食糧逼迫の時代でした。米生産は需要に追いつかず、大量の麦や米が輸入されました。米の増産を図るため、用排水等の基盤整備や大規模な土地改良、化学肥料の増産、干拓事業等の新田開発などが国を挙げて行われました。こうした取り組みの結果、昭和30年以降は米の生産量が明確に上向きしました。米の完全自給を達成したのは昭和40年代の初めです。

農業技術の開発においても、米の安定多収を目指した様々な試験研究が展開されました。早植えを可能にした保温折衷苗代と耐冷性品種「藤坂5号」は、寒冷地の稲作の安定化に大きく寄与しました。耐倒伏性品種の育成と多肥栽培により収量は向上し、除草剤や農業機械の開発・普及は労働生産性を飛躍的に高めました。昭和26年(10a当たり平年収量333kg、10a当たり労働時間204時間)と平成13年(518kg、33時間)を比較すると、50年間で単収は50%以上増加し、労働時間は6分の1以下に短縮しています。全国で普及している田植機稲作システムは、わが国が誇るべき研究成果の結晶です。

## 2. 米過剰時代における研究開発

わが国の米の需要量は、昭和38年の1,341万トンを経済成長のピークとして減少傾向に転じました。国民生活の向上に伴って食生活の多様化が進み、米に替わって肉類や油脂類の消費が増加したためです。これに対して米の生産量は昭和42年産から1,400万トンを超える高水準が続き、大幅な生産過剰となりました。昭和44年には自主流通米制度の導入とともに初の米の生産調整が試行され、昭和46年から本格的な実施が始まりました。(図1)。

米の消費は現在も減少を続けています。平成13年の一人当たり消費量は64kgと、最も多かった昭和37年(118kg)の半分近くになりました。最近では一貫して生産調整規模は拡大し、平成13年産からは全国で水田面積の38%に相当する101万haの生産調整に取り組んでいますが、大幅な生産調整にもかかわらず米の価格は低下し、一方で過剰米処理のための財政負担が増加しています。こうした状況に対処するため、平成14年12月には、水田農業経営の安定発展や水田の利活用の促進等による自給率向上、過剰

米に関連する政策経費の縮減を目指した米政策改革大綱が策定されました。

全国に広がる水田は今日の社会でも多様な機能を持っています。平成13年に日本学術会議から、農林水産大臣の諮問「地球環境・人間生活にかかわる農業及び森林の多面的機能の評価について」に対する答申が出され、農業の多面的役割としての経済的評価が行われました。この中では、急峻な国土の中で各地に広く展開する水田が大きな役割を果たしている治水機能について、洪水防止機能として年間3.5兆円、河川流況安定機能として1.5兆円など高く評価されています。今後も水田の有効利用によって、こうした多面的機能を維持していくことが必要です。

現在、水稲からの転換作物として麦、大豆などの作付けが推進されていますが、生産の増加にともなって品質面で実需者ニーズとのミスマッチが指摘されるようになってきました。今後、水田転作面積の増加が予想される中において、転換作物としての非食用水稲生産の検討は重要な課題です。水稲はわが国の風土に適し、長年にわたる生産基盤と技術の蓄積を持つ作物です。水稲の作況指数はほとんどの年で96～105の範囲に入り、その生産は小麦や大豆に比べて極めて高い安定性があります（図2）。

また、消費量が減少しているとはいえ、依然として供給カロリーのトップを占める米は、わが国における食生活の主役です。米を主食として魚介類、大豆、野菜、畜産物などが組合されたされた日本型食

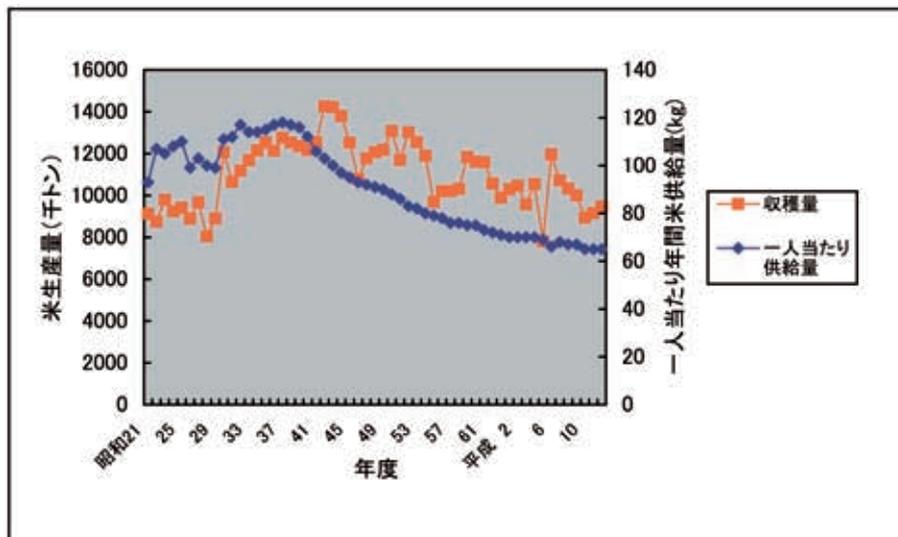


図1 米生産量と一人当たり供給量

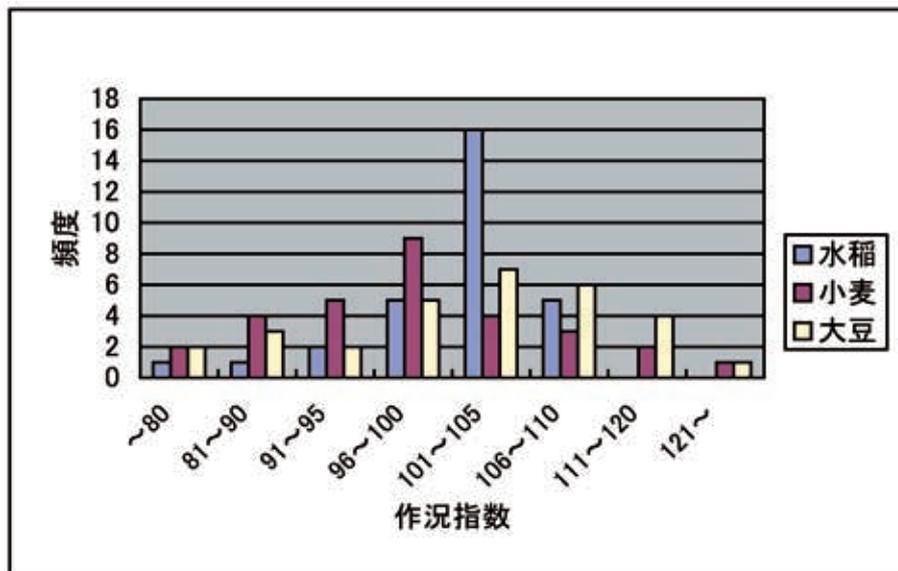


図2 作物別作況指数の分布（昭和47年～平成13年）

生活は、栄養的にタンパク質 (P)、脂質 (F)、炭水化物 (C) が適切なバランスを保ち、理想的な食生活とされていますが、近年では食生活の変化に伴って脂質の摂取過多等の傾向が見られ、栄養バランスの崩れや生活習慣病の増加が懸念されています。わが国における健康的で豊かな食生活を維持する上でも、米は重要な役割を担っています。こうした様々な面から、水稻の需要拡大及び新規用途開発に関する研究が期待されています。

稲の研究は、これまで遺伝育種、作物生理、病虫害防除、土壌肥料、品質など様々な面で作物研究全体をリードしてきました。平成14年に行われたイネゲノム塩基配列の解読終了宣言には、長年にわたる稲研究の蓄積が大きく寄与しています。国際的に見ても、米はアジアを中心に年間4億トン（精米ベース）が消費される重要な穀物です。わが国の稲研

究は、世界の多くの地域に展開する稲作の安定生産に技術面で大きく貢献してきました。最近の例としては、アフリカの飢餓を救うネリカ米 (New Rice for Africa:NERICA) の開発が注目を集めています。慢性的な食料不足が続いているアフリカでは、生活形態の変化に伴い過去20年間で米の消費量が急激に増加しましたが、米を自給できる国はなく、輸入に依存しています。ネリカ米は、病気・乾燥に強いアフリカ稲と高収量のアジア稲との交雑によって生まれたもので、収穫が早く、高タンパクで収量も高いなど多くの優れた特徴をもつ米です。ネリカ米の開発に対し、わが国は技術面、資金面から積極的な支援を行ってきました。今後、世界的には食料需給の逼迫が予想される中であって、わが国の稲研究が果たす国際的役割は一層大きくなると考えられます。

## コラム①

### インド型と日本型

インド型 (*indica*) と日本型 (*japonica*) は、アジアの栽培イネ (*Oryza sativa*) の亜種として、加藤茂苞博士 (1930) により分類されました。インド型はインド亜大陸やインドシナ半島といった熱帯地方に多くみられ、日本型は日本や朝鮮半島といった温帯地方に多くみられます。インド型と日本型の交雑は比較的簡単にできますが、その雑種第1代 ( $F_1$ ) は様々な程度の不稔（種子ができないこと）を示します。これまで複数の研究者がアジアの栽培イネの分類を試みており、このほかに両者の中間的な亜種として、主にインドネシアに分布するジャワ型 (*javanica*、熱帯日本型とも言われます) が見出されていて、現在はこの3つの亜種が存在するという見方で一致しています。

各亜種の大まかな特徴は下表のとおりで、日本型は短粒で米に粘りがあり、インド型は長粒～短粒で粘りがなく、ジャワ型が大粒で粘りが中程度とされます。しかし、各亜種間には連続的変異があることが認められていて、個別の分類は簡単ではありません。

米の新たな用途開発に際しては、これら栽培イネの遺伝的変異を十分に活用することで今まで思いもよらなかった新たな扉を開くことができるかもしれません。

形質	日本型	ジャワ型	インド型
葉身	狭く、濃緑	広く、剛、淡緑	広い～狭い、淡緑
分げつ	中	少ない	多い
草丈	短～中	長い	中～長い
籾の毛茸	長く、密生	長い	短い、疎生
芒	無芒～長い芒	長い(bulu) 無芒(gundil)	無芒が普通
玄米	短く、円い	長く、幅も厚い	長～短、幅狭い、薄い
脱粒性	難	難が多い	易
組織	硬い	硬い	柔らかい
感光性	無～低い	低い	高い～低い、無し
アミロース	10～24%	20～25%	23～31%
糊化温度	低い	低い	多様(低い～中)
フェノール反応	なし	なし	染まる

Lu and Chang(1980)および小島一政他、インドネシアの稲作P.86をもとに作成。

(参考文献：イネに刻まれた人の歴史、池橋宏著、2000年、学会出版センター)

### 3. 研究開発目標の変化

戦後、稲の品種改良は国公立の農業試験場及び国の補助金で運営される指定試験地が主に担ってきました。米の増産時代は、多肥条件でも倒伏せずに高い収量をあげ、耐冷性、耐病性などが優れる安定性の高い品種の育成に重点が置かれていました。しかし、米の生産が需要を上回るようになると、価格の銘柄間格差が拡大し、良食味品種に対する要望が高まりました。「コシヒカリ」（昭和31年、福井県農業試験場（指定試験地））は、このような背景から作付けを伸ばし、現在では水稲作付面積の36%を占めています。品種育成においても食味の向上を目指した品種の開発が活発になり、「キヌヒカリ」（昭和63年、北陸農業試験場）、「ヒノヒカリ」（平成元年、宮崎県総合農業試験場（指定試験地））などの良食味品種が育成されました。また、道県においても独自にブランド米を開発する機運が高まりました。「あきたこまち」（昭和59年、秋田県農業試験場）、「きらら397」（昭和63年、北海道立上川農業試験場）、「はえぬぎ」（平成3年、山形県農業試験場）などは現在広く作付けされている公立試験場育成の品種です。

一方、昭和50年ころから、米を肉牛などの濃厚飼料として利用する、いわゆるエサ米に関心が高まりました。米の飼料価値の検討とともに、国公立の試験場、大学のほか篤農家で超多収のエサ米の研究や試作が行われました。超多収品種育成のための交

配材料として、多収育種が進んでいた中国、韓国、IRRI（フィリピンの国際稲研究所）の半矮性インド型品種などが世界各地から集められ、遺伝資源としての調査が始まりました。外国品種は耐冷性、耐病性、脱粒性などに問題を持つことが多かったため、こうした形質を改良する必要がありました。

農林水産技術会議事務局では昭和57年度から、国立試験研究機関と指定試験地あわせて33研究室が参加したプロジェクト研究「超多収作物の開発と栽培技術の確立」により、超多収稲品種の開発と栽培技術の確立に関する本格的な研究に着手しました。研究目標として超多収品種開発の期間を3段階に分け、10アールあたり500～650kgの玄米収量を3年で10%、次の5年で30%（当初比）、さらに7年で同じく50%増加させようとするもので、逆七・五・三計画と呼ばれました。

超多収の研究は、平成元年から「需要拡大のための新形質水田作物の開発」に引き継がれました。このプロジェクトは、超多収品種の開発に加えて、米のタンパク質やデンプンの特性の解明、新たな用途に向く品種の育成と加工・利用技術の開発を目的とするものでした。現在は、プロジェクト研究「食料自給率向上のための21世紀の土地利用型農業確立に関する総合研究」の中で、飼料用および新規形質を持つ稲品種の研究を進めています。

民間企業による稲の品種開発も増加しています。超多収を目指したハイブリッドライスや良食味米の

## コラム②

### 稲の品種に関する制度（「品種」って何？）

品種登録：育成者の権利を保護するために設けられている種苗法に基づく登録で、特許と同様の知的所有権の一種です。登録が認められるためには、既存品種と重要な形質で区別できること（区別性）、同一世代で形質が十分類似していること（均一性）、増殖後も形質が安定していること（安定性）等の要件が必要です。

命名登録：農林水産省の新品種として決定し、その普及に資するため、農業関係の試験研究を行う独立行政法人及び指定試験地が育成した特性が優良なものについて命名、登録を行います。命名登録は昭和4年の農林登録制度発足（最初の登録は小麦でした）以来続いており、作物ごとに農林番号が付与されます。水稲農林1号は昭和6年に登録されました。「コシヒカリ」は水稲農林100号、「ササニシキ」は水稲農林150号として登録されています。

奨励品種：主要農産物種子制度に基づく都道府県が普及すべき優良な品種です。奨励品種になると都道府県に原種・原々種の生産が義務づけられます。最も作付けの多い「コシヒカリ」は、40都道府県で奨励品種に採用されています。なお、低アミロース米の「ミルキークイーン」は、茨城県でのみ奨励品種に採用されていますが、全国で3,500haを超える栽培面積があります。

表1 各地域で育成された多収品種

品種名	育成年	育成地	収量 (kg/10a)	標準比率 (%)	標準品種
アケノホシ	昭59	中国農業試験場	630	117	日本晴
アキチカラ	昭61	北陸農業試験場	690	110	トドロキワセ
ホシユタカ	昭62	中国農業試験場	570	106	日本晴
オオチカラ	平元	北陸農業試験場	720	110	サチミノリ
ハバタキ	平元	北陸農業試験場	700	106	サチミノリ
タカナリ	平2	農業研究センター	800	120	むさしこがね
ふくひびき	平5	東北農業試験場	700	108	アキヒカリ

研究のほか、最近では遺伝子組換えの手法を利用した除草剤の影響を受けない稲、低タンパク米などの研究が行われ、外国企業の参入も目立っています。平成14年12月に策定されたバイオテクノロジー戦略大綱では、優良な稲の民間育成品種の普及に向けて、民間育成品種の市場への周知・PR等について検討することとされ、農林水産省において既に具体的な取組みを始めています。

#### 4. 新規用途向け稲研究の成果

##### (1) 飼料用稲

###### ① エサ米

逆七・五・三計画の実施によって育成された品種は表1のとおりです。飼料用の稲の育種では、食用で重要視される食味をチェックする必要がありません。多収性や耐病性などに重点を置いた選抜により、昭和59年からの10年間で「アケノホシ」など多収

の7品種が育成されました。新品種の収量は標準品種に比べて6～20%多く、10アールあたりで570～800kgが得られました。これらのほとんどが外国品種を親に用いた交配から生まれたもので、粒がやや長く、食べると粘りが少ないというインディカの特徴を備えています。多収品種の栽培法に関する研究も行われ、生育段階に応じた施肥が多収を得るため重要であることが明らかになりました。この栽培法によって気象条件が良好な年には800～900kgの収量をあげ、中でも「タカナリ」は研究期間中の最高収量が990kgという極めて高い水準に達しました。しかし、当時はコスト面で採算があわなかったことなどから、新品種が飼料用として普及することはありませんでした。その後、超多収育種の対象は次に述べるホールクロップサイレージに移り、現在ではエサ米専用の超多収品種育成は行われていません。

超多収を狙うアプローチとして、雑種強勢を利用したハイブリッドライス（コラム参照）の研究も行われました。雑種強勢は、かけあわせる両親が遺伝的に近いと大きな効果が得られないため、従来の日本水稲間の組合せでは飛躍的な多収化が困難です。しかし、インディカを片親にした組合せでは雑種不稔が発生したり、耐病性や耐冷性が十分ではないと

### コラム③

#### ハイブリッド品種

ハイブリッド品種とは、遺伝的に異なった2系統（品種）を交配してできた最初の世代、すなわちF<sub>1</sub>（雑種第1代）でできた品種です。両親の相性が良い場合には雑種強勢（生育が旺盛となる等）が発現され、親品種を超える収量が得られます。このため、中国では水稲作付面積の約半分を占め、最近ではインドでも急速に普及しています。

しかし、大きな問題として、ハイブリッド品種の種子生産に多労を要するということがあります。まず、自殖作物（雌しべに自分の花粉がかかって種子ができる作物）であるイネを他殖（他の個体の花粉が雌しべにかかって種子を生産）させるためには、雄性不稔系統（花粉の受精能力をなくした系統。母親として使う。）やF<sub>1</sub>に米を実らせるための稔性回復系統（雄性不稔の特性がF<sub>1</sub>に残っているため米が実らないので、F<sub>1</sub>の花粉の能力を回復させるこの系統を父親に使う。）などを用意する必要があります。また、採種にあたっては花粉が飛散して両親が交配しやすいようにロープを引くなどの手間もかかり、種子生産コストが通常品種の数倍になります。日本では、新城長有博士（1969）が雄性不稔系統を発見してハイブリッド育種システムの可能性を世界に先駆けて実証したものの、このコストの問題から実用化されてきませんでした。最近になってようやく日本でも、民間会社が良食味で多収のハイブリッド品種を育成し、種子のコスト増加分を超える農家収入が得られる可能性が示され、数千haの規模で普及しはじめています。

種子生産の問題に関して世界中の研究者が注目しているアイディアとして、アポミクシス（単為生殖）の利用があります。一旦できたハイブリッド品種を栄養繁殖で増やして種子を生産しようというもので、開発に成功すれば種子生産の手間を大幅に削減できる革新的な技術です。今後の研究の進展に期待したいところです。（参考文献：イネに刻まれた人の歴史、池橋宏著、2000年、学会出版センター）

いった問題が生じました。プロジェクト研究では、雑種不稔緩和遺伝子や雑種強勢発現機構の研究に取り組むとともに、採種システムの基礎となる雄性不稔と稔性回復の遺伝的研究を進めました。同時に、多数の交配による組合せ能力が調査されましたが、収量面で従来型の多収品種を凌駕する水準には至らず、種子生産の低コスト化も解決すべき課題として残りました。ハイブリッド品種の研究はその後も続けられ、最近になって「みつひかり2003」（三井化学㈱、平成14年）などの品種が育成されています。

## ② 稲ホールクロップサイレージ

エサ米に替わって注目されたのがホールクロップサイレージ（発酵粗飼料：WCS）です。WCSは稲が完全に実る前の黄熟期といわれる時期にワラと穂を一緒に収穫し、乳酸発酵させることによって栄養性、嗜好性、貯蔵性の高い飼料とするものです。稲体をすべて利用するため、穀実のみを利用するエサ米よりコスト的に有利ですが、水分を多く含むため長距離の輸送ではコストがかかります。

WCSの飼料的評価や機械作業体系に関する研究

は昭和50年代から行われていましたが、平成3年に三重県農業技術センターでコンバインの刈取り部分とロールベール作成部分を合体させたカッティングロールベアラが開発されて以来関心が高まりました。この機械は、その後が開発された自走式のベールラッパとともに一般に市販されています（写真1）。

WCSは転作作物として積極的に奨励されていることもあって栽培面積が増加しています。平成13年度は全国で2,400haの作付けがあり、その50%以上は九州地域です。農業研究センターと草地試験場（現（独）農業技術研究機構作物研究所と畜産草地研究所）は、平成11年度から、ワラと穂の合計収量が多く、かつ家畜が利用できる栄養分（可消化養分総量：

表2 ホールクロップサイレージ用品種

品種名	育成年	育成地	収量 (t/ha)	栽培適地
ホシアオバ	平13	近畿中国四国農業研究センター	1.7	東北南部以南
クサホナミ	平13	作物研究所	1.9	関東以西
クサノホシ	平13	近畿中国四国農業研究センター	1.9	関東以西
クサユタカ	平14	中央農業総合研究センター北陸	1.7	東北南部以南

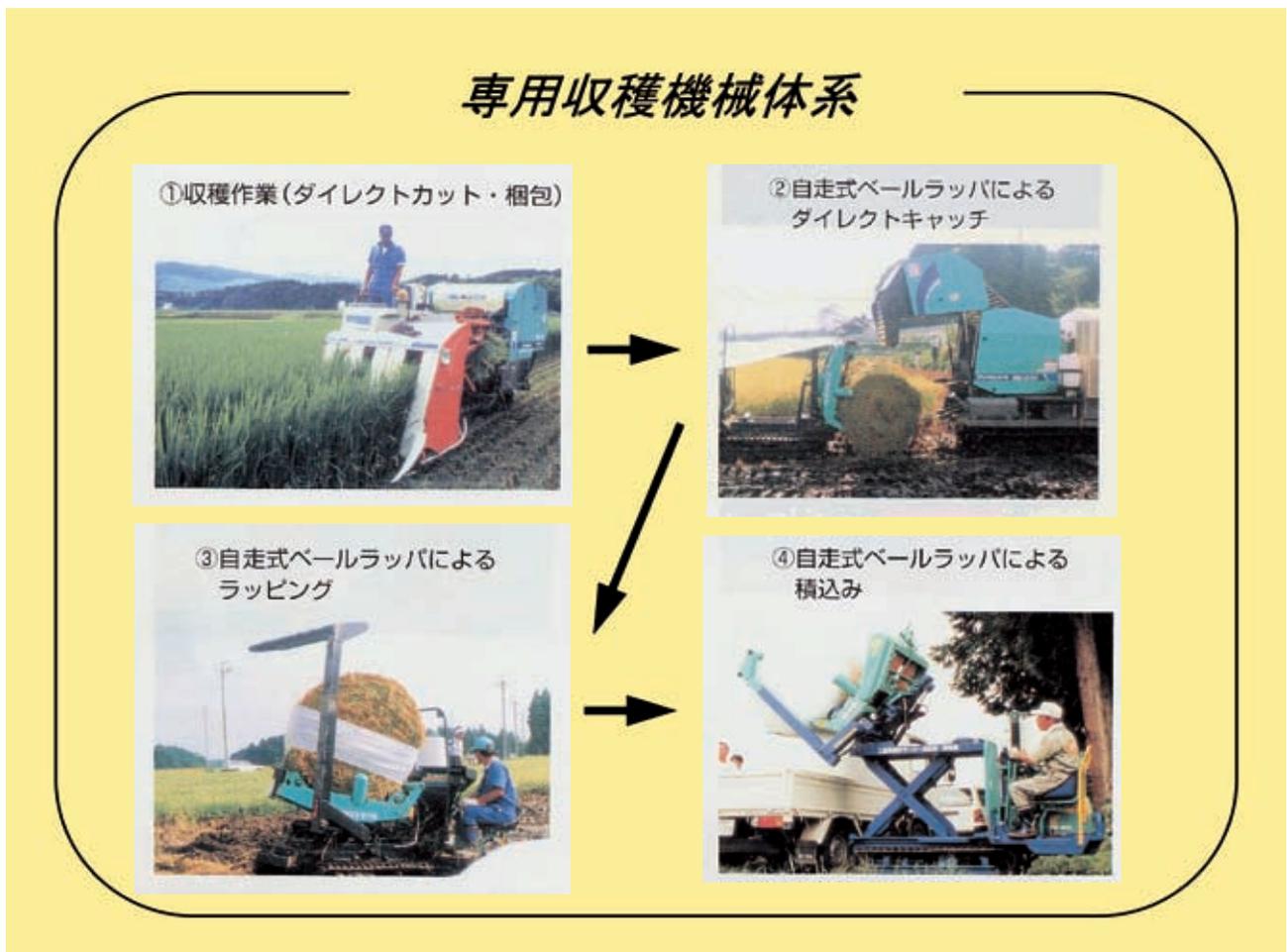


写真1 稲WCSの収穫機械体系（提供：畜産草地研究所）

TDN) が多い稲の品種開発を目指した研究を開始しました。平成17年度に乾物収量で2.0t/10a、TDN収量1.1 t /10 a、平成22年度までにはそれぞれ2.2 t /10 a、1.3 t /10 a を目標としてWCS用稲品種の開発を行っています。これまでに表2に示した4品種が育成され、普及に移されました。

稲をWCSとして利用する際の調整、給餌に関する研究も進められています。稲は茎が中空で付着する乳酸菌が少ないために、乳酸菌よりも酪酸菌や酵母などが増殖しやすく、良質なサイレージ化が難しいという性質を持ちます。この問題を解決するため、WCSの密封初期に急速に増殖して良質なサイレージ化を可能にする乳酸菌「畜草1号」(平成14年特許出願中)を見出しました。また、乳牛への給餌試験の結果から、適切に収穫・調製された稲WCSは嗜好性が良く、粗飼料としては乳牛に一般的に給餌されている輸入チモシー乾草に代替して使える結果が得られています(表3)。

## (2) 新形質米

### ①低アミロース米

米に含まれるデンプンは、タンパク質とともに食味を大きく左右します。デンプンにはグルコース(ブドウ糖)が直鎖状に連なったアミロースと、分岐状の構造を持つアミロペクチンの2種類があり、アミロース含量が低い米は柔らかく粘りが強くなります。アミロース含量がゼロになったものがもち米です。わが国で一般に栽培されてきた米(もち米以外)のアミロース含量は15~20%で、世界的に見るとそ

表3 稲発酵粗飼料の乳牛への給与試験成績

	乾物摂取量(kg/日)		乳量(kg/日)	乳脂肪	乳成分(%)	
	粗飼料	飼料全体			乳成分(%)	無脂固形分
輸入チモシー乾草	5.3	19.5	30.6	3.89	3.22	8.84
稲発酵粗飼料	5.8	19.7	28.2	4.10	3.27	8.89

草地試験場(2001)、九州農業試験場(2001)、栃木県酪農試験場(2000)、埼玉県農業総合研究センター畜産支所(2001)の平均(塩谷、2002より)

表4 プロジェクト研究で育成された低アミロース米

品種名	育成年	育成地	アミロース含量(%)
ソフト158	平7	北陸農業試験場	12
ミルクークイーン	平7	農業研究センター	9~12
はなぶさ	平10	北海道農業試験場	8.5~14
スノーパール	平10	東北農業試験場	7~9
柔小町	平12	九州農業試験場	12
シルキーパール	平13	東北農業研究センター	6~8
朝つゆ	平13	中央農業総合研究センター北陸	8

の幅は大きくありません。その中で「コシヒカリ」は最もアミロース含量が低い部類に属します。

昭和50年代からアミロース含量に関する遺伝子の解析と簡易定量法の研究が進んだことを契機として、食味改善のために低アミロース化を目指す研究が本格的に始まりました。わが国で初めての低アミロース米品種は、平成3年に北海道立上川農業試験場が育成した「彩」です。その後、ミルクークイーン、はなぶさ、スノーパールなど低アミロース米品種が次々に育成されてきました(表4)。これらのアミロース含量は一般品種ともち品種との中間的な値(5~15%)を示し、外観も両者の中間的な半透明です(写真2)。低アミロース米は単品として利用されているほか、食味を向上させるブレンド用、冷めてもおいしいという特性を活かした中食用米飯、チルド寿司などにも利用されています。最も作付けが多いミルクークイーンは関東を中心に3,600haで栽培され、一般品種以上の高値で取引されています。

米のアミロース含量は、品種特性だけではなく登熟時の温度によっても影響されます。これまで育成された低アミロース米品種は高温年にアミロース含量が高くなりやすく、年ごとの品質が必ずしも安定しません。この問題を解決するため、登熟温度に影響されない低アミロース米品種の研究を進めています。

### ②低グルテリン米

わが国に20万人以上いるとされる腎臓病患者は、



写真2 低アミロース品種の玄米  
(写真提供：作物研究所)

タンパク質の摂取が制限されるため、低タンパクの食事療法が必要です。腎臓病患者用の米としては、通常6～8%含まれるタンパク質の酵素処理や、とう精(粒の外側から削る)の程度を高めることによって低タンパク化した米が使われていましたが、食味が落ちたり価格が高くなるといった問題がありました。

そこで、米の消化しやすいタンパク質として最も多く含まれるグルテリンに着目し、これが少ない米を開発する研究が行われました。低グルテリン突然変異系統の「NM67」を交配親とした材料から、平成13年に最初の低グルテリン米品種「エルジーシー1」(農業生物資源研究所放射線育種場)と、その子供である「春陽」(農業技術研究機構中央農業総合研究センター北陸研究センター)が育成されました。また、平成14年には低グルテリン米に低アミロース性の特徴を加え、食味を一層改善した「LGCソフト」(近畿中国四国農業研究センター)が育成されています。これらの品種のタンパク質含量は通常の品種と同程度ですが、グルテリン含量は1/2に、易消化性タンパク質全体は2/3に減っています(図3)。低グルテリン米を使った腎臓病患者の臨床試験も実施され、良好な結果が得られています。現在は、低グルテリンの性質に加え、もうひとつの易消化性タンパク質であるグロブリンの含量を低くする研究が進められています。

ここで、低グルテリン米の親に使われた「NM67」

は、農業生物資源研究所放射線育種場でγ線照射により作成された系統です。低アミロース米品種の親にも放射線育種場の突然変異系統「NM397」が利用されています。また、次に述べる巨大胚品種の交配親には九州大学で作成された突然変異系統「EM40」が利用されました。さまざまなお米を作り出そうとした基礎的な研究は、10年以上を経て農業形質が改良された実用品種となり、立派な実を結んでいます。

### ③発芽玄米用稲

γ-アミノ酪酸(GABA)は動植物に広く分布するアミノ酸の一種で、神経伝達物質として重要な役割を果たしているほか、血圧上昇抑制効果などいくつかの薬理効果が知られています。GABAは玄米にはわずかしか含まれていませんが、中国農業試験場(現(独)農業技術研究機構近畿中国四国農業研究センター)は玄米を水に漬けて発芽させると胚芽部分で顕著に増加することを発見し、「γ-アミノ酪酸を富化した食品素材」として発芽玄米の基本特許を取得しました。機能性に富む発芽玄米は最近急速に市場が拡大し、平成13年の売り上げが80億円に達しています。

平成11年にはGABAを効率的に利用する高機能性品種として、「はいみのり」が育成されました。「はいみのり」の胚芽は通常品種の3倍から4倍の大きさで、GABAも4倍程度蓄積されます(写真3、図4)。「はいみのり」は一般品種に比べて出芽苗立ち

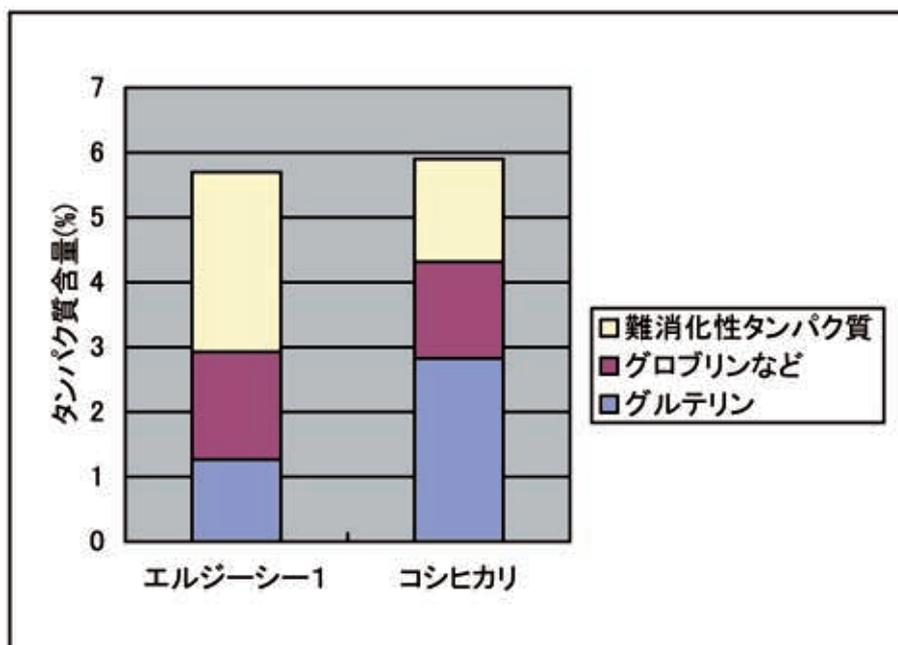


図3 低グルテリン米のタンパク質組成



はいみのり

コシヒカリ

写真3 「はいみのり」と「コシヒカリ」の玄米  
(写真提供：近畿中国四国農業研究センター)

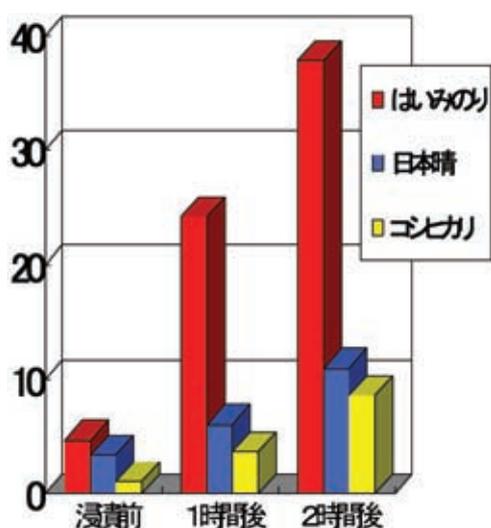


図4  $\gamma$ -アミノ酪酸含量の変化

が悪いため、これをカバーする栽培法の研究も行われ、籾殻成型マットの利用と高密度播種（箱当たり270g）で田植機適応性のある苗が得られることが明らかになりました。「はいみのり」は山口県など数県で作付けが行われています。平成14年には胚芽部分が大きくGABAの含有量も高いもち品種「めばえもち」も育成され、これを使った発芽玄米もちの商品開発が進められています。

#### ④加工用米

清酒は米の代表的な加工品です。清酒用の酒米としては、大粒でタンパク質含量が少なく心白の出やすい米が適するとされています。「山田錦」などは酒米の代表的品種として知られていますが、晩生で倒伏に弱く、病気にも弱いため、こうした栽培特性の改良を図りながら、各地で地域の特徴ある酒造りを目指した酒米の品種開発が進められています。

米の素材を活かした新たな加工法の研究も行わ



写真4 有色素米の玄米と粉  
左：「紅衣」右：「あきたこまち」  
(写真提供：東北農業研究センター)

れ、湯や水を注ぐだけで簡単にご飯が食べられるアルファ米などの製品が開発されました。米粉でパンを作る研究も以前から行われていましたが、新潟県農業総合研究所が米を小麦粉並みの微細粒にする技術を開発し、第三セクターがプラントを稼働させて生産の動きが全国に広がりました。米粉パンは輸入小麦に替わって地産の米を原料に使えることから、地産地消の取組みとして関心を集め、インターネットにも多くのホームページが開かれています。米粉パン用としては粉状質の米が適するといわれているため、これに向けた品種開発も始まっています。

#### ⑤有色素米、香り米

東南アジアの市場などでは、私たちが見慣れている白い米とともに赤い米や紫黒の米が売られています。赤米はわが国の古代の米であったともいわれ、明治の頃まで日本各地に広く存在していました。最近では各地で村おこしの材料として生産に取組み、酒や味噌などの加工品が作られています。また、有色素米の赤や紫黒の色素は糠（ぬか）層にあるポリフェノールの一種で、抗酸化作用を持つため健康食品として需要が高まっています。

有色素米の品種としては、つくし赤もち（平成7年、福岡県）、ベニロマン（平成8年、九州農業試験場）、朝紫（平成8年、東北農業試験場）、むらさきの舞（平成11年、兵庫県）、紅香（平成13年、新潟県）、紅衣（平成14年、東北農業研究センター）などが育

成されました。赤米は収穫前に脱粒して雑草化しやすい問題がありましたが、最近の育成品種ではそうした欠点も改良されてきています。(写真4)

香り米は、通常の米とは異なる芳香を持つ米です。パキスタンやタイなどの国々に分布しますが、少量ながらわが国でも古くから栽培され、祭事や接待用に使われていました。世界的には「バスマティ370」など高価格で取引される品種があります。わが国の香り米品種には「サリークイーン」(平成3年、農業研究センター)、「はぎのかおり」(平成3年、宮城県)、「キタカオリ」(平成4年、北海道農業試験場)、「リンクス早生」(平成10年、キリンビール(株))などがあります。

## 5. 今後の展開

### (1) 新たな研究開発手法

#### ①DNAマーカー育種

従来の育種では、交配などで変異を拡大した多くの材料から多収性や耐病性など望ましい特性を備えた系統を選抜する方法として、実際に栽培して収量を量ったり、病気の出やすい条件で栽培して発病程度を観察したりしていました。しかし、こうした方法では、試験をするときの土地条件や微気象条件の違いなどで必ずしも安定した結果が得られません。系統の特性を把握するためには、試験区の数を増やし、試験の年数を重ねてデータを蓄積する必要がありました。

DNAマーカー育種は、多収性や耐病性の遺伝子に関係する分子レベルの目印(マーカー)を見出し、マーカーの有無によって目的とする系統を選抜する技術です。DNAの特定塩基配列を認識して切断する酵素を作用させて得られるDNA断片の長さ(restriction fragment length polymorphism: RFLP)などがマーカーとして利用されています(図5)。マーカーによる選抜は、遺伝子レベルで系統の特性が把握できるため、特性検定に必要な圃場面積の節約、育種年限の短縮により育種効率が大幅に向上することが期待されています。

DNAマーカーの技術は、イネゲノム解析研究の成果を利用して急速な進歩を遂げています。これまでにいもち病抵抗性や出穂期制御への応用が可能になったほか、虫害抵抗性、食味、耐冷性、直播適性などに関連するマーカーの探索が

進められています。また、単純反復配列(simple sequence repeats: SSR)や、1塩基の違い(single nucleotide polymorphism: SNP)を利用した効率

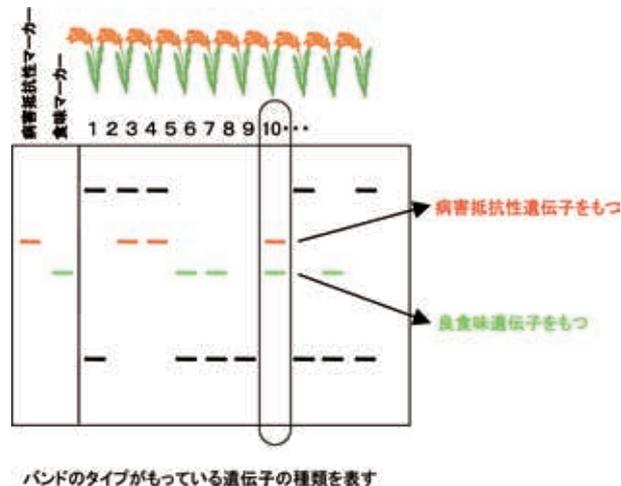


図5 DNAマーカーによる選抜

的で高精度なマーカー開発の研究も行われています(図5)。

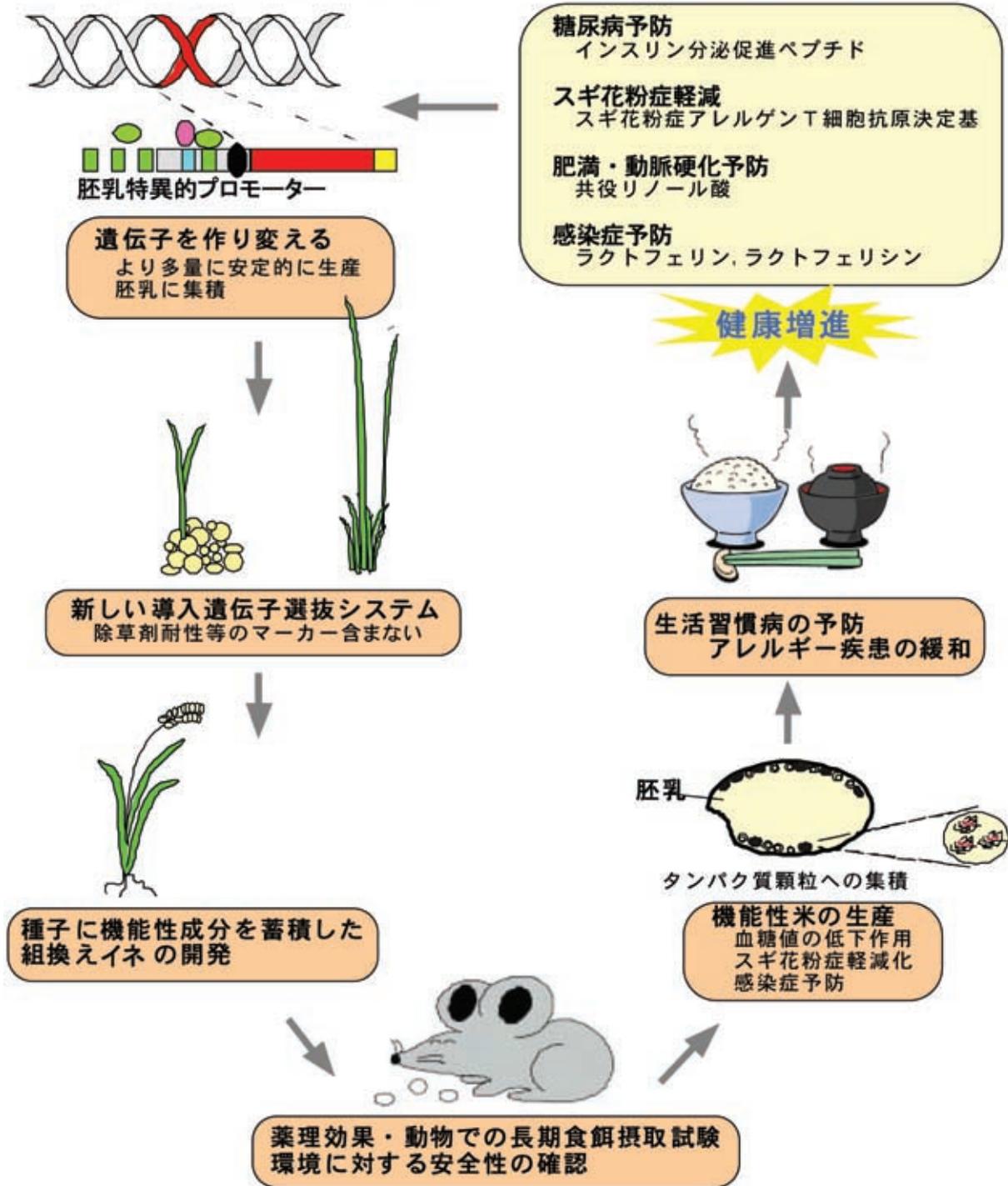
#### ②遺伝子組換え

これまで紹介した新品種は、従来からの交配育種や突然変異育種によって得られた研究成果です。現在でもこれらの技術が新品種開発の主流であることには変わりありませんが、薬培養、プロトプラスト培養など新たな技術で育成された品種も増えています。また、近年は遺伝子を直接操作する遺伝子組換え技術が急速に発展しています。遺伝子組換え技術は、ある生物から特定の有用遺伝子を取り出し、目的とする他の生物に組み込むことにより新しい形質を付与する技術です。この技術の特徴としては、目的とする遺伝子だけを組み込むことによって、効率的に作物の改良を行うことができる点にあります。稲に関しては除草剤耐性、病虫害抵抗性のほか、必須アミノ酸であるトリプトファンを多く含み飼料価値の高い稲、米アレルギー原因物質を除去した稲、スギ花粉症を緩和する稲などの研究が進んでいます(図6)。

わが国では、これまで遺伝子組換えによって育成された稲の品種が実用栽培された例はありませんが、世界的には大豆、トウモロコシなどで遺伝子組換え作物の栽培が増加しており、その種子販売高は10億ドルを超えるとされています。この技術は将来の地球規模での食糧問題の解決、農薬、肥料等の削

# 健康機能性米の開発

長年の生活習慣が原因で起こる糖尿病、肥満等生活習慣病及びアレルギー疾患や感染症を毎日の食生活を通して改善できる健康機能性作物を開発する。



NIA5 独立行政法人 農業生物資源研究所

図6 遺伝子組換えによる機能性の付与

減を通じた持続的農業の発展、新産業の創出など多くの分野での貢献が期待されています。平成14年12月に国際コンソーシアムによるイネゲノム解読終了宣言が出されるなど、技術的基盤は急速に整備されてきました。

組換え体の安全性に関しては、経済協力開発機構(OECD)で合意されている安全評価のための基本的考え方に沿った遺伝子組換え技術の利用に関する安全性評価指針が、実験段階、環境に対する安全性、食品の安全性などの各分野で定められ、これらに基づいて研究開発が行われています。今後とも十分な安全性の確認と国民的理解の下に、情報公開を徹底しながら研究を進めていくことが重要です。

## (2) バイオマス利用

近年、生活基盤の多くを化石資源に大幅に依存するようになった結果、地球温暖化や廃棄物など様々な環境問題が深刻化しています。こうした問題に対応するため、平成14年12月には、内閣府、文部科学省、農林水産省など関係省庁の下で、地球温暖化の防止、循環型社会の形成、農林漁業、農山漁村の活性化に向けた「バイオマス・ニッポン総合戦略」がとりまとめられました。ここでは、バイオマスのエネルギーとしての利用、生分解性プラスチック原料としての利用などに向けた具体的目標が設定されています。

日本の国土全体に広がる水田は、一面ではわが国に広く整備されたバイオマス生産装置でもあります。稲のバイオマス利用としての可能性を考えていくことは、今後の重要な検討課題です。

### ①生分解性プラスチック

私たちの身の回りでは大量のプラスチックが使われていますが、石油を原料とするこれまでのプラスチックは難分解性で、焼却すると高温を発生し焼却炉の損傷を招くなど廃棄物処理が問題になっています。このため、生分解性プラスチックに対する関心が高まっており、平成21年の生分解性プラスチック市場は全プラスチックの1割に達すると予測されています(科学技術庁「第6回技術予測調査」)。土の中で分解する性質は被覆用、結束用などの農業用資材として特に有利な点であり、今後の普及が期待されています。

生分解性プラスチックには、農作物あるいはその

残さなどを原料としたポリ乳酸から加工される製品と、コーンスターチなどのデンプンをエステル化した製品があります。これらは自然界の微生物などの働きによって分解され、最終的には水と二酸化炭素になります。米国ではコーンスターチからポリ乳酸を製造する年産14万トン規模のプラントが稼働しています。わが国でも食品残さを原料とした年産2万トン規模のプラントが平成14年から北九州市エコタウンで稼働しました。

生分解性プラスチックの普及に当たっての課題は、石油原料のプラスチックに比べてコストが高いことです。稲を原料とする場合には、稲ワラ、籾殻を含めた植物体全体を総合的に利用してコストを低下させる工夫が必要です。今後実用化を図るためには、稲の多収化・低コスト化とともに、稲ワラや籾殻に含まれるセルロースを糖に分解する処理技術の開発、材料の輸送・収集システム、高能力発酵微生物の開発などの課題に取り組む必要があります。

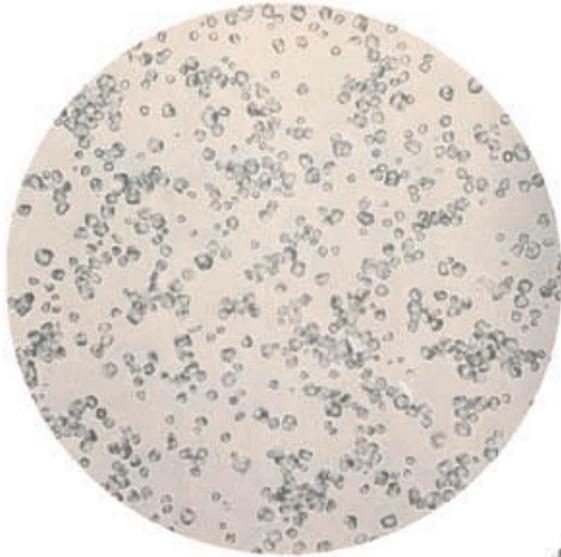
### ②バイオアルコール

バイオアルコールには、バイオマス原料を粉碎後にガス化してメタノールを合成する方法と、原料をグルコースなどの単糖に分解した後に微生物発酵させてエタノールを作成する方法があります。このうち、エタノール化技術は既に実用化されており、アメリカにおけるトウモロコシを使ったバイオエタノールの生産量は500万klに上っています。わが国では平成14年に国内初のメタノール生産プラント「農林グリーン1号」が平成14年に長崎県で稼働しました。これは、農業技術研究機構が長崎総合科学大学、三菱重工(株)と共同で開発したものです。また、日輝、月島機械(株)などでも木材チップなど農林産廃棄物を利用したエタノール生産の実証プラントを立ち上げています。

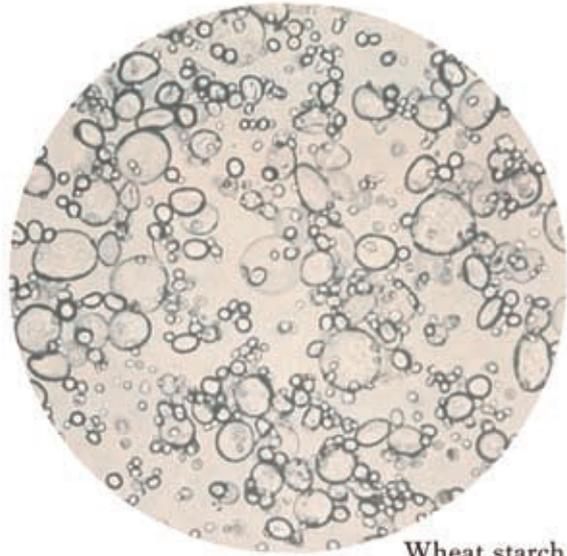
稲のバイオエネルギー利用に当たっての課題も低コスト化にあります。生分解性プラスチックの場合と同様に、稲に適した糖化・抽出技術の開発、材料の輸送・収集のシステム化などによる効率性の向上が必要です。

### ③その他の用途

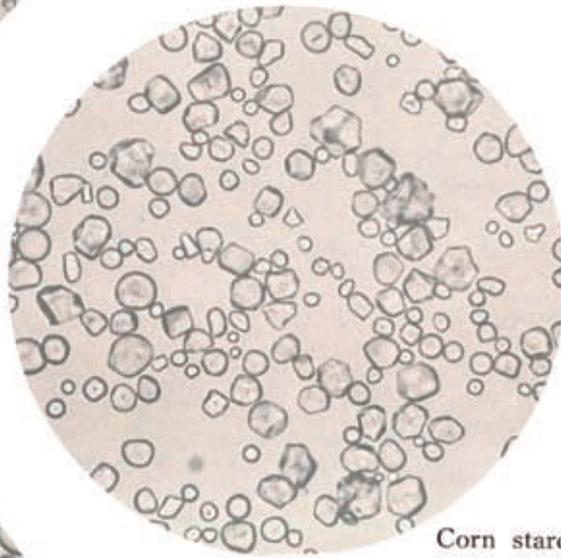
米デンプンはわが国で年間1300トン生産されています。その8～9割がカスタードクリーム等の食用、1～2割が工業用です。米デンプンの直径は2～8 $\mu$ mと、コーンスターチ(6～21 $\mu$ m)、バレイショ



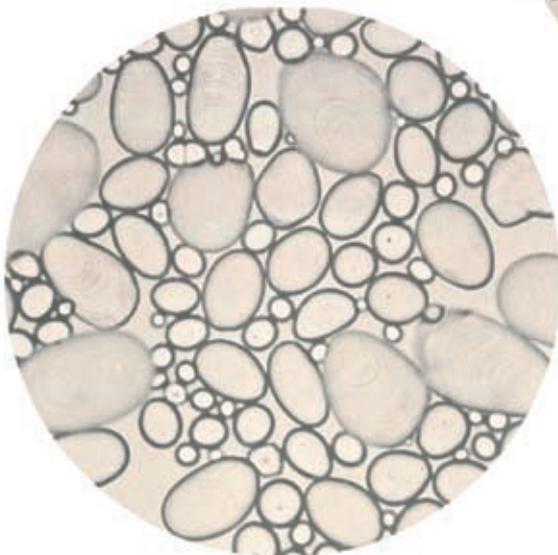
Rice starch (米)  
×300



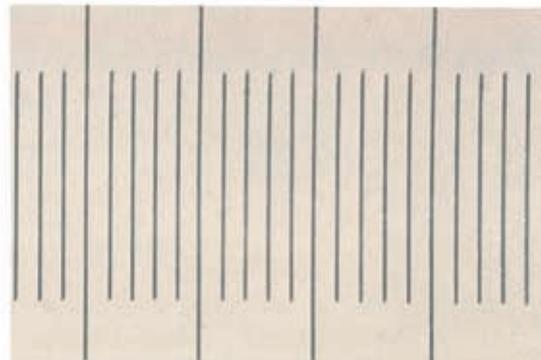
Wheat starch (小麦)  
×300



Corn starch (トウモロコシ)  
×300



Potato starch (ジャガイモ)  
×300



スケール  
×300  
1目盛10ミクロン

写真5 主要作物のデンプン粒子 (写真提供：島田化学工業株式会社)

デンプン(5~100 $\mu$ m)に比べて粒子が小さいため、この特徴を活かして写真用印画紙、壁紙用のり、製薬錠剤、化粧品等に利用されています(写真5)。

精米加工により年間90万トン発生する米ぬかは、製油用(36%)をはじめ、キノコ培地、飼料、漬物用として利用されています。米ぬかには成長促進や酸化防止効果を持つ $\gamma$ -オリザノール、ビタミンB群の一種であるイノシトールなどの有用物質が含まれ、工業化による生産が行われています。

### (3) 研究の方向

将来的に米の需要が減少傾向で推移していくと予測される中であって、今後の研究開発では米や稲の需要拡大と水田の総合利用に向けた取組みが重要になっています。

需要拡大としては、これまでの研究蓄積を踏まえ機能性を一層高めた品種、食生活の多様化に対応して特徴ある食味や色を持つ品種等の新形質米の開発を進める必要があります。最近では、米ぬかに含まれるトコトリエノール(不飽和ビタミンB)などの新たな機能が明らかにされ、発芽玄米の製造工程で米アレルギーの原因物質が顕著に減少するなどの需要拡大を促す知見が得られています。また、脱脂

ぬかのセラミックス化など、新たな製品開発の動きも見られています。今後はさらに、米の機能性成分の検索による新規用途の拡大、米デンプンの粒子や糊化特性(デンプンに水を加えて攪拌しながら温度を上昇させたときの粘性の変化)等の特徴を活かした新たな加工法、製品開発など様々な角度からの課題の検討が必要です。

飼料生産としての水田の利用は、耕畜連携による持続型農業を志向する視点からも期待が大きく、稲のWCSは有望な材料です。品種育成では、稲ワラを含めた全体収量とTDN収量が多いことに加えて、農薬散布を減らすための病虫害抵抗性の強化を図り、併せて低コスト生産のための直播栽培技術、効率的な給餌技術の開発を進めることが重要です。

一方、水田の総合利用の面からは、ニーズにマッチした麦、大豆、飼料作物など地域条件に適した作物生産を支える技術開発が必要です。また、水田を利用した放牧や稲以外の作物生産を含めたバイオマス利用の可能性を検討していく必要があります。

(執筆担当：研究開発企画官 佐々木昭博)  
研究調査官 森田 敏)

## 本レポートについてのご意見・ご感想を募集します

今後のレポート作成の参考とするため、皆様から幅広いご意見・ご感想をE-mail、ファックス、郵便などによりうけたまわっていますので、下記宛までお寄せ下さい。

住所：〒100-8950 東京都千代田区霞が関1 - 2 - 1  
農林水産省 農林水産技術会議事務局 技術政策課企画調整班  
(担当) 森澤、石橋

電話：03-3501-4609(直通)  
03-3507-8794( F A X )

E m a i l : w w w @ s . a f f r c . g o . j p

本レポートは下記からもご覧いただけます。

< URL > <http://www.s.affrc.go.jp/docs.report.htm>

農林水産研究開発レポート 6  
「新たな用途をめざした稲の研究開発」  
2003年3月31日 発行

監 修 農林水産省 農林水産技術会議  
編集・発行 農林水産省 農林水産技術会議事務局  
〒100-8950 東京都千代田区霞ヶ関1 - 2 - 1  
TEL 03-3502-8111(代) FAX 03-3507-8794  
<http://www.saffrc.go.jp>

