

北海道立農試資料 第35号
Misc. Pub. Hokkaido
Prefect. Agric. Exp. Stn.
No.35 p.1-97 May 2005

ISSN 0386-6211

北海道立農業試験場資料 第35号

Miscellaneous Publication of Hokkaido
Prefectural Agricultural Experiment Stations
No. 35, May 2005

良食味と多様なニーズに対応する米の品種開発と 技術改善の新たな取組み（米セミナー収録）

New Breeding and Cultivating Method for Good Taste and Various
Marketing Demands on Rice in Hokkaido
(Record of a Seminar on the Rice Research)

平成 17 年 5 月

北海道立中央農業試験場

Hokkaido Central
Agricultural Experiment Station
(Naganuma, Hokkaido, 069-1395, Japan)

転載・複製について：本刊行物から転載・複製する場合は，北海道立中央農業試験場の許可を得てください。

Reproduction of articles in this publication is not permitted without written consent from Hokkaido Central Agricultural Experiment Station.

序

北海道における稲作の起源は、1692年（元禄5年）の松前藩時代に作左衛門なる人物が、現在の函館市亀田地区で新田を試みたのが始まりと言われている。厳しい自然条件のもとで幾多の失敗を重ねながらも、主食である米への強い執着を原動力として、稲作は開拓の進捗とともに渡島地方から石狩、後志、上川等の道央部へと広がり、作付面積と生産量ともに国内一である今日の本道稲作へと発展を遂げた。

ほぼ4から5年に一度の確率で見舞われる冷害と、「粘気少なく、食味良好ならざるを普通とす」と書かれたように府県米に比べての低品質は、寒冷な気候における本道稲作が負う宿命的なハンディキャップであった。戦後の食料増産時代には、ひたすら冷害克服と収量増加に向けて、耐冷性品種の育成や栽培管理技術の開発に努力が注がれ、1950年代には300kg台であった10a当たり収量が1986年には500kgを超して、全国平均を上回るほどの成果をあげた。

しかしながら、高度経済成長を経て国民が豊かになってきたことに伴う食生活の変化により、ご飯の消費量は1965年当時の1日5杯から現在の3杯にまで減ってきている。この米消費量の減少は、1970年から始まった減反政策などの生産調整に加えて、新食糧法や新たな農業基本法の制定と相まって、市場原理の導入を促進するなど、米の生産と流通・販売を取り巻く環境を大きく変えた。

この間、道では1980年にスタートさせた優良米の早期開発プロジェクトのもとで、「きらら397」を始めとする良食味品種の育成や、蛋白含量を下げる施肥管理技術の開発などを進め、道産米の食味は着実に改善されて来た。一方、1985年に玄米60kgの政府買入価格が18,668円であったのが2003年では13,820円まで下がり、本年2月の米市場では2004年産「ほしのゆめ」が12,600円の過去最低価格で落札されるなど、大幅な米価の下落は稲作農家の経営を著しく圧迫し、離農や担い手不足の問題と合わせて本道稲作の存亡の危機と言っても過言ではない。

このような状況を背景に、新たな米需要の開拓を含めた「売れる米づくり」のための極良食味品種に加えて業務用や酒造用に適した品種の育成と、それらの産地形成に必要な技術開発を目的として、「多様なニーズに対応する品種改良並びに栽培技術の早期確立」を表題とする受託試験が平成16年度から開始されることとなった。試験の設計・実施に先立つ平成15年11月に上川農業試験場において道内の水稻研究者が参集して「米セミナー」を開催し、これまでの研究を総括するとともに今後の課題について論議を行った。

本書は「米セミナー」で発表された多くの話題を取りまとめたものであり、受託試験プロジェクトを進める上での出発点を示している。本書が関係機関および関係各位の参考にごせられるとともに、受託試験プロジェクトが多くの支援・協力を得て早期に成果を挙げて、本道稲作が直面している難局を打開し、その維持・発展に寄与することを切に願うものである。

平成17年 5月

北海道立中央農業試験場長

水 島 俊 一

編 集 委 員 長
天 野 洋 一¹⁾

副 委 員 長
稲 津 脩¹⁾

編 集 委 員

佐々木 忠 雄 ²⁾ (~平成16年 3 月)	前 田 博 ¹⁾ (平成16年 4 月~)
能 代 昌 雄 ³⁾ (~平成16年 3 月)	今 野 一 男 ¹⁾ (平成16年 4 月~)
鳥 倉 英 徳 ¹⁾	
村 上 紀 夫 ⁴⁾ (~平成16年 3 月)	新 橋 登 ¹⁾ (平成16年 4 月~)

本資料は、平成15年11月19日から20日にかけて上川農業試験場において開催された米セミナーで発表された話題および質疑の内容を収録したものである。
著・編者の所属・住所は平成17年 3 月31日現在のものである。

1) 中央農業試験場 〒069-1395 夕張郡長沼町
2) 上川農業試験場 〒078-0397 上川郡比布町
3) 元中央農業試験場 〒003-0862 札幌市
4) 元中央農業試験場 〒069-0361 岩見沢市

「良食味と多様なニーズに対応する米の品種開発と 技術改善の新たな取組み（米セミナー収録）」

天野 洋一，稲津 脩 編

目 次

受託課題「多様なニーズに対応する品種改良並びに栽培技術の早期確立」の立ち上げ	天野 洋一…………… 1
I 育種の素材	
1. 稲育種の現状	佐々木忠雄…………… 3
2. 北海道の系統・品種と系譜	沼尾 吉則…………… 7
3. 糯品種の素材と育種の今後	平山 裕治……………15
II 育種の技術	
1. 大型温室を利用した世代促進技術	田中 一生……………21
2. 耐冷性の素材と育種戦略	木下 雅文……………27
3. バイテク技術の稲育種への適用	木内 均……………31
III 良質米に向けた新たな選抜技術	
1. 米の食味に関するDNAマーカーの開発と利用	佐藤 毅……………35
2. 新たな理化学的測定による食味評価法	五十嵐俊成……………47
3. 炊飯米の外観とその測定法	柳原 哲司……………55
4. もち生地の物性と色の評価	中森 朋子……………61
IV 良食味米および酒米の生産技術	
1. 泥炭地での圃場改善による良食味米生産技術	北川 巖……………67
2. 食味ランキング特A産地形成支援のための肥培管理技術	中辻 敏朗……………73
3. 北海道における酒米の生産技術	丹野 久……………77
V 総合討論	
1. 総合討論とまとめ	
1) 総合討論	稲津 脩(座長)……………85
2) まとめ	菊地 治己……………87
2. 平成米ルネッサンスその開かれた道	稲津 脩……………89
3. 良食味育種へ期待するもの～「水稻良食味育種への熱い思い」～	長内 俊一……………97

受託課題「多様なニーズに対応する品種改良並びに栽培技術の早期確立」の立ち上げ

天 野 洋 一*

米の消費が頭打ちとなり、国内の産地間競争がますます激しさを増している昨今、消費者や市場のニーズに的確に応えた“売れる米”のみが生き残っていくのではとみられている。こうした厳しい状況のなか、生産者の切なる願いを受けて、北海道農協米対策本部は打開策の一つとして、研究機関にその活路を求めてきた。どこにも負けないおいしい米品種やいろんな用途に向けた品種を作り、優れる栽培法を開発して、実際の現場でその生産を確立するというものである。今回の受託課題はこのテーマに真っ向から立ち向かうことで立ち上げられた。一部の研究者の強い思いで立ち上げられたといえ、このプロジェクト研究を成功に導くには、それ相当に研究総力を結集して、正しい道筋を描き、切磋琢磨して研究に取り組むことが求められる。昭和55年から発足した「優良米早期開発試験」プロジェクトにおける結集エネルギーはすばらしいものがあつた。今回もそれに匹敵するエネルギーの結集が必要であろう。正しい道筋を見極め、一丸となって目標に突き進むことで成功に導きたいものである。

北海道の水稲育種では、「優良米早期開発試験」以来、食味の改良に力を注ぎ、「ゆきひかり」「きらら397」「ほしのゆめ」「ななつぼし」等のすばらしい良食味品種を育成し、食味のレベルは府県と匹敵するレベルまで向上させてきた。しかし、「コシヒカリ」クラスの極良食味品種、特A産地の米と比較すると、食味のレベルはまだ及んでいない。そのため、府県との販売競争に勝ち抜くためには、北海道の主要稲作栽培地域に特A産地を形成できる、極良食味品種「コシヒカリ」並み食味特性をもった水稲品種を早期に開発することが求められる。また、新たな米の需要の開拓も「売れる米づくり」には欠かすことができない。それぞれの水稲栽培地域に合った稲作農業を展開できる、業務用米、酒米、加工用途米といった特色ある米をその武器とする米づくりである。これらの育種に立ち向かうには「素材の見極め」、「合理的な選抜」、「膨大な組換え」を意図しなくてはならない。

食味の向上には、関係する形質の一つ一つに対して優

れる素材を探すこと、弛まない選抜を繰り返すことが基本で、特A産地形成のできる良食味品種の育成には、アミロース2%、蛋白1%低下させ、輝度を増し、老化性の改良を果たさなくてはならない。そのための素材、選抜基準を明確にしなくてはならない。業務用米、酒米、加工用途米についても、それぞれの用途に即して品質特性を把握し、その特性を有する素材を見極め、合理的選抜方法に基づき、数多くのなかから選ぶことが必要である。

品種開発とともに、産地形成のできる技術組み立ても現地では待ち望んでいる。開発される技術は無論のこと、その技術をもってそれぞれの地域で試験場と現地が一体となって産地形成を進めていくことも大きな仕事である。

産地形成の技術組み立てに当たっては、酒造原料では心白を有する酒造好適米品種「吟風」を活用し、良質な酒米が生産できる酒米団地の形成のための技術支援を行う。ピラフなどの加工用途米では、「大地の星」を用いて安定した加工適性と同時に多収を低コストで生産できる栽培技術を確立する。低アミロース米の利用では、高蛋白になりやすい地帯での「おぼろづき」の良質米生産の技術開発を行う。さらには、業務用米として求められる安価でかつ良質・多収・安定の米とはどんなものか、どんなものを混米すると食味が向上するのかについても技術開発を進める。

平成15年11月19日～20日、上川農試において米セミナーが開催された。水稲研究者が一同に会した勉強会で、11名の水稲研究者からそれぞれの課題で目指す研究方向と戦略について話題提供いただいた。また、特別講演として、稲津生産システム部長からは今回の取り組みを米の平成のルネッサンス運動と位置づけるというお話、先輩長内俊一氏からは水稲育種にかける熱い思いをお話いただいた。38名の参加があり、2日目に総合討議を行った。討議内容は多岐にわたり、良食味の母材について、耐冷性と食味のドッキング、いもち病圃場抵抗性や食味や耐冷性に対するDNAマーカー活用の可能性、世促技術における選抜の実際、肥培管理技術、その技術の経済評価について論議された。論議は極めて意義深かったと考え

*中央農業試験場 069-1395 夕張郡長沼町

られるが、しかしこの度の勉強会は始まりであり、まだまだ、個別の課題は詰めるところが山積している。今後この種の勉強会を重ねることによってプロジェクト研究を成功に導いていかななくてはならない。今回の報告は米セミナーでの話題提供をまとめたものである。

試験の構成と試験概要と担当する試験場は次のとおりである。

◆「多様なニーズに対応する品種改良並びに栽培技術の早期確立」

1. 食味ランキング特A米生産のための技術開発と多様な米産地の形成支援
 - 1) 極良食味米の開発促進(上川農試)
 - ・「コシヒカリ」クラスの食味、アミロース2%, 蛋白1%低下した品種
 - 2) 業務用良食味米品種の開発(中央農試)
 - ・食味優れ、多収・安定生産できる外食・中食向け品種
 - 3) 道南向け業務用良食味米品種の現地選抜(道南農試)
 - 4) 世代促進による品種開発の支援(道南農試)
 - ・年2～3世代の栽培による世代促進
 - 5) 食味ランキング特A米早期開発のための食味検定(中央農試)
 - 6) 食味ランキング特A産地形成のための肥培管理技術の確立(上川農試, 中央農試)
 - ・成苗密植栽培法, くびれ米要因解析, 総合改善効果(側条施肥, 土壌改良材, ケイ酸追肥, 稲わら処理)の検証
 - 7) 多様な米産地形成のための新たな機械対応技術の検討(中央農試)
 - ・稲株除草機や部分耕ロータリー等の開発, 表層代掻き作業機の改良, 切断排水施工機の改良
 - 8) 米の多様化に伴う産地・流通体制の検討(中央農試)
 - ・米の多様化に伴う機能的なマーケティングの検討, 多様なニーズに対応した生産技術の経済的評価
2. 多様な米品種の開発促進と栽培技術の確立
 - 1) 酒米および加工向け品種の開発促進(中央農試)
 - ・酒造好適米, 冷凍米飯, 安定・多収
 - 2) 高品質酒米生産のための肥培管理技術の確立(中央農試, 上川農試)
 - ・ニーズ調査, 「吟風」一部「空育酒170号」, 施肥法, 表層代掻き, 株内密植
 - 3) 加工用途米生産のための高収益栽培技術の確立(中央農試, 上川農試)
 - ・施肥栽培体系, 総合改善効果(「大地の星」, 蛋白8.0～8.5%, 整粒歩合70%以上, 収量12俵)
 - 4) 泥炭地における低アミロース品種の活用技術の確立(中央農試)
 - ・低アミロース米の食味評価, 適正蛋白の解明, 有効土層の乾燥化技術
 - 5) 北海道米の用途開発のための新規評価法の検討(中央農試)
 - ・混米による食味向上, 新規食味評価法, 糯米の品質評価

I 育種の素材

1. 稲育種の現状

佐々木 忠 雄*

はじめに

北海道の稲作面積は1969年をピークに激減し、2003年は117,178haで戦後最低の水準であるが、全国に対する比率は一貫して6～8%を占めてきた(表I-1-1)。作付面積および生産量ともに、北海道は新潟県と1,2位を争う米の主産地である^{6),8)}。

2004年現在、北海道において、普及奨励されている優良品種は粳14品種、糯2品種の16品種である(表I-1-2)。近年の実需の多様な要望に応じて、酒米、低アミロース米、加工用米などの品種も育成されているが、それらの作付け面積は小さく、主食用・業務用である2,3の基幹品種で作付の約90%を占めている。このような傾向は平成に入り、「きらら397」が普及してから続いており、1995年以降は「きらら397」の作付けは50%を越えている。

北海道で水稻の育種を行っている機関は、特殊行政法人農業研究機構北海道農業研究センター(札幌市)、北海道立中央農業試験場(岩見沢市)、同上川農業試験場(比布町)、同道南農業試験場(大野町)の4箇所他に、民間の北海道グリーンバイオ研究所(長沼町)がある。それぞれ対象地域および試験課題などを分担あるいは共同して事業を推進している⁷⁾。

1) 育種目標別取組み

(1) 極良食味品種

1980年から開始した、道立農試水稻育種プロジェクトチームによる「優良米の早期開発」、「高度良食味品種の開発」(パートⅡ)、「極良食味米品種の早期開発」(パートⅢ)といった従来の育種を、強化・促進する課題により「ゆきひかり」(1984年)「きらら397」(1988年)「ほしのゆめ」(1996年)などが開発され、品種の食味水準は着実に向上してきた。その大きな要因は、食味を理化学的特性として客観的に推定しうる手法が確立されたからでありかつ簡易で迅速に測定する分析機器(アミロースオートアナライザー、蛋白測定用インフラライザー、ア

ミログラフ、RVA、味度計など)が開発され、それらを順次導入し、育種の初期から中期世代の選抜に活用してきたことによる。また、それと併行して、有望な系統については、早い世代から官能試験も実施してきた。

現在、「高品位米品種の開発促進」(2001～2007年)(パートⅣ)および「多様な米ニーズに対応する品種改良並びに栽培技術の早期確立」1. 食味ランキング特A米生産のための技術開発と多様な米産地の形成支援、(受託、2004～2008年)の課題を柱とした新たな食味評価法の育種選抜への導入を図りつつ、「コシヒカリ」級の食味の品種開発を目指している。

具体的目標は、アミロース含有率は17.5%、蛋白含有率は6.1%を併せ持つ品種で、老化性の改善、ご飯のツヤ・照りの向上も図る。

「ほしのゆめ」以降育成された良食味品種は次の3品種である。①「ほしたろう」は中生の早ではあるが比較的熟期が早く、食味は「ほしのゆめ」に近く、かつ多収で、主として「きらら397」の栽培が限界に近い地域で、2003年2,212ha作付けされた。②「ななつぼし」は食味が「ほしのゆめ」並～やや上回り、かつ、「きらら397」並の収量を確保できることから、作付け面積は増加しており、2003年は9,691ha作付けされた。しかし、耐冷性は「強」であるが、「ほしのゆめ」には劣る。③「ふっくりんこ」は晩生なので、道南地域限定で、2004年から一般栽培された。食味が「ほしのゆめ」並～やや上回り、耐冷性の強さは2003年の冷害年でも実証された。深川市周辺への地域拡大の可能性を検討するため、2004、2005年に現地試験を実施することとしている。

2004年、奨励品種決定試験(以下、奨決試験)に供試している系統は、次の4系統である。①空育168号は奨励品種決定本試験(以下、奨本)3年目系統として供試している。ただし各試験機関の場内試験のみで現地試験には供試していない。「きらら397」と同程度の熟期で耐冷性は強く、食味は「ほしのゆめ」並である。過去2カ年の現地試験では、いずれも冷害年となり、耐冷性の優点が評価されたものの、低温で稈長が低くなったため、倒れやすいという欠点は認められなかった。そのことから、

*上川農業試験場 078-0397 上川郡比布町

品種の可能性について継続検討することとした。②上育447号は奨本1年目(現地1年目)系統で、対照品種は「きらら397」で、耐冷性が強く、良食味である。③上育449号は奨励品種決定予備試験(以下、奨予)1年目系統で、対照品種は「ほしのゆめ」で収量性および食味が優る。粒厚は「きらら397」並に厚い。

(2) もち米品種

北海道の糯品種の作付面積および糯米の生産量は年次により大きく変動するが、いずれも佐賀県について第2位を占める。「はくちょうもち」と「風の子もち」の2品種で作付面積および生産量の100%近くを占め、そのうち「はくちょうもち」が8割である。「はくちょうもち」の面積は全国の品種別でも第2位である(2003年)⁹⁾。両品種は、白度は従来のもち品種より、格段に向上したが、産地間にバラツキがあり、なお一層の白度向上が望まれている。また、道産もち米は、硬くなりにくいいため、赤飯やおこわといった主食用に適していて約7割がそれに向けられているが、近年それらの需要は頭打ちの状態にあるため、「もち加工」向けの需要も拡大していく必要がある。「良品質もち米の開発促進(受託, 2001~2005年)」の課題では硬化性の高い品種の開発も目指す。

2004年に奨決試験に供試している系統は次の3系統である。①上育糯446号は奨本2年目(現地2年目)系統で、対照品種は「はくちょうもち」であり、早生で耐冷性が強いが割刈が多い。②上育糯450号は奨予1年目系統で、対照品種は「はくちょうもち」で、もち質が良く、多収で耐冷性が強い。③上育糯451号は奨予1年目系統で、対照品種は「はくちょうもち」であるが、硬化性が高く、従来の道産もち米と用途が異なる。多収で耐冷性が強い。

(3) 多用途向け品種

北海道産米の需要を拡大あるいは開拓するため、道立農試は「新たな価値創出のための高付加価値型稲品種の選抜強化(2003~2008年)」および「2. 多様な米品種の開発促進と栽培技術の確立(受託試験), 1) 酒米及び加工向け品種の開発促進(2004~2008年)」などの課題で取り組んでいる。

① 酒米

「初雫」は、北海道農試(現北海道農業研究センター)が1998年に育成した北海道初の酒造好適米品種である。中央農試が育成し2000年に奨励品種になった「吟風」は、母本に府県の酒米品種「八反錦2号」を用い、大粒・心白を目標に選抜した本格的な酒造好適米品種であるが、やや蛋白含有率が高い。いずれも、製品の酒としての品質は申し分ない。2003年の作付面積は、初雫が23ha、吟風が235haで、「吟風」の作付けが伸びてきたが、耐

冷性がやや強で不十分のため、栽培地域が限定されている。

2004年に奨決試験に供試している空育酒170号は奨本1年目(現地1年目)系統で、「吟風」に比べ、熟期がやや遅いが、両親(「初雫」, 「吟風」)の優点を併せ持ち、耐冷性が強く、多収である。

② 低アミロース米

低アミロース米は、米飯の粘りが強く、冷めても硬くなりにくいいため、ブレンド用や、冷凍米飯、団子や米菓の原料米など加工用としての需要が期待されている^{1),2)}。

登熟条件などにより胚乳(米)に濁りを生ずるので、半もち性あるいは濁胚乳(ダル)とも呼ばれている。

最初に育成された「彩」は晩生で、耐冷性やいもち病抵抗性が不十分であったため、栽培地域が限定されていたが、その特性を改善した「はなぶさ」は熟期が早いいため、作付け面積がかなり拡大した。さらに、2001年に奨励品種になった「あやひめ」は、玄米・精米・米飯の白度が改良された品種で、「はなぶさ」にかわって、2003年は690ha作付けされた。

2003年、奨決試験の3年間を終了した北海道農業研究センター育成の低アミロース系統「北海292号」は「おぼろづき」と命名農林登録された。「おぼろづき」は粒厚が薄く、収量がやや劣る。低アミロース品種群の中では比較的うるち米に近いアミロース含量を示し、食味は良好である。2004年度、その欠点を改善した低アミロース系統「北海300号」が奨決試験1年目として供試されている。

③ その他の用途品種

★冷凍ピラフ用など加工用途品種として「大地の星(旧系統名: 上育438号)」が2003年に育成され、2004年から本格栽培された。2004年の作付け計画は1,800haである。「きらら397」より1割程度多収である。飯米用としては「きらら397」より食味は劣る。後続系統として「北海298号」が、2003年奨決試験に供試されたが、多収性が発揮できず廃棄となった。

★低グルテリン米は府県では「春陽」などの品種があり、腎臓病患者の食事療法としての利用が期待されている^{1),2)}。「北海293号」は2003年、奨本2年目(現地2年目)系統として供試されたが、低グルテリン系統ではあるものの、蛋白総量は低くないため、そのメリットを生かせないとの理由から廃棄された。今後の継続系統が期待される。

★巨大胚米はギャバの生成量が多く、高血圧の予防に効果が期待されるなど健康食品として利用でき、府県では「はいみのり」などがある^{1),2)}。「北海299号」は「ゆ

表 I-1-1 北海道における粳作付け上位品種の変遷

順位	1969年(昭和44年)		1983年(昭和58年)		1993年(平成5年)		2003年(平成15年)	
	品種名	作付比率	品種名	作付比率	品種名	作付比率	品種名	作付比率
1	しおかり	18.0	キタヒカリ	30.9	きらら397	47.5	きらら397	58.5
2	そらち	16.1	ともゆたか	24.3	ゆきひかり	40.2	ほしのゆめ	26.6
3	ひめほなみ	10.5	イシカリ	15.6	空育125号	8.7	ななつぼし	9.0
4	ほうりゅう	8.6	みちこがね	10.9	ほのか224	1.3	あきほ	2.2
5	うりゅう	6.7	はやこがね	6.0	上育393号	0.8	ほしたろう	2.1
北海道稲作 面積対全国	8.1%		6.4%		8.0%		★6.9%	
全国 水陸稲面積	3274000ha		2,273,000		2,139,000		★★1,688,000	

注1) 作付比率: 道内粳品種の作付面積に対する比率を示す。

2) 北海道稲作面積対全国: 全国水陸稲面積に対する北海道の稲作面積(粳・糯合計)の割合を示す。

3) ★: 北海道稲作面積は2003年, 全国水陸稲面積は2002年の数値を用いて算出した。

4) ★★: 2002年(平成14年)の数値を記載した。

表 I-1-2 平成16年度 水稻奨励品種一覧

No.	品種名	認定年	育成場	交配組合せ	早晩性		草型	耐 倒 伏 性	耐冷性 (穂ば らみ期)	いもち病 抵抗性		品質	食味	備考	平成15年 作付面積 (ha)	同 左 比 率 (%)
					出穂	成熟				葉	穂					
1	ゆ き ま る	1993	中央農試	上育397号/空育125号	早中	早晩	穂数	ヤ強	ヤ強-強	ヤ強	中	上下	中上		380	0.4
2	ほしたろう	2000	上川農試	上育418号/空育150号	中早	早晩	穂数	ヤ弱-中	ヤ強-強	ヤ弱	ヤ弱-中	上下	上下		2,212	2.1
3	あ き ほ	1996	中央農試	上育394号/空育133号	中早	早晩	穂数	中	強	ヤ弱	中	上下	中上		2,362	2.2
4	大 地 の 星	2003	上川農試	空育151号/上育418号	早中	中早	偏数	中-ヤ強	極強	強	ヤ強	中上	中中	大粒加工用	—	—
5	ほしのゆめ	1996	上川農試	あきたこまち/道北48号//上育397号	中早	中早	穂数	中-ヤ弱	強	弱	ヤ弱	上下	上下		28,148	26.1
6	きらら 397	1988	上川農試	渡育214号/道北36号	中早	中早	穂数	中-ヤ強	ヤ強	ヤ弱	ヤ弱-中	上下	中上		63,011	58.5
7	ななつぼし	2001	中央農試	ひとめぼれ/空系90242A//空育150号	中早	中早	偏数	ヤ弱	強	ヤ弱	ヤ弱	中上	上下		9,691	9.0
8	ゆきひかり	1984	中央農試	北海230号/巴まきり//空育99号	中早	中早	偏数	中	強	ヤ弱-中	ヤ弱	上下	中中		263	0.2
9	初 雪	1998	上川農試	マツマエ/上116//北海258号	中早	中早	中間	ヤ強	極強	ヤ強	中	中上	—	酒造用	23	0.0
10	吟 風	2000	中央農試	八反錦/上育404号//きらら397	中早	中早	中間	ヤ強-強	ヤ強	強	ヤ強	中上	—	酒造用	235	0.2
11	は な ぶ さ	1998	北農研センター	道北53号/キタアケ	中早	中早	偏数	中-ヤ強	ヤ強-強	ヤ強	中	中上	上下	低アミロース	35	0.0
12	あ や ひ め	2001	上川農試	AC90300/キタアケ	中早	中早	偏数	中-ヤ強	ヤ強-強	強	中	中上	上下	低アミロース	690	0.6
13	彩	1991	上川農試	永系84271/キタアケ	中晩	中中	穂数	中	中	極弱	弱	中中	上下	低アミロース	184	0.2
14	ふっくりんこ	2003	道南農試	空系90242B/上育418号	晩中	晩早	穂数	中-ヤ強	強	ヤ弱	ヤ弱	中上	上下		—	—
15	はくちょうもち	1989	上川農試	上育糯381号/おんねもち	早晩	早中	偏数	ヤ強-強	強	ヤ強	ヤ強	中上	上下	糯	6,790	79.8
16	風の子もち	1995	上川農試	上系85201/北育糯80号	中早	中早	偏数	ヤ強	強-極強	ヤ強	中	中上	上下	糯	1,670	19.6

きひかり」の巨大胚突然変異系統で、胚芽は原品種の約1.4倍、ギャバ生成量は1.5倍程度である。出芽にやや難点があるが、2004年奨決試験2年目(現地試験1年目)として供試している。

★飼料用稲は水田の有効利用として、府県では専用の品種が育成されているが、北海道にはまだ無い。「北海飼301号」が2004年、奨決試験1年目系統として供試されている。

(4) 直播栽培向け品種

水稻の直播栽培の面積は、ここ数年150ha前後で推移し、なかなか拡大しない状況にある。しかし、直播栽培は、低コスト・省力生産技術として期待されるものであり、普及の拡大を図るためには、直播栽培に適した栽培

特性を備え、食味が「ほしのゆめ」並ないし上回る品種の育成が急務である。また、ロットを確保するためにも移植栽培でも良い成績をあげる必要がある。現在、直播栽培に用いられている品種は、移植栽培向けに育成された早生品種の「ゆきまる」や「あきほ」であり、食味は「ほしのゆめ」に及ばない。2004年、一部地域で、「大地の星」が直播で栽培されている。道南の一部では、初霜が遅いことから、「ほしのゆめ」「きらら397」「ななつぼし」などの移植用品種を直播栽培に用いている。

現在、「水稻直播用高品質良食味系統の選抜強化(2004～2008年)」、「水稻直播適性品種の緊急開発(1997～2004年)」、「高度苗立性水稻直播品種の緊急開発(2002～2006年)」課題で取組んでいる。

2004年奨励試験に、上育445号が奨本2年目(現地2年目)系統として供試されている。玄米は腹白が出やすく品質が劣る欠点があるが、早生・多収で、「ほしのゆめ」並の食味である。

(5) 耐冷性・耐病性育種

①耐冷性

最近育成された「ほしたろう」、「あやひめ」、「ななつぼし」、「大地の星」、「ふっくりんこ」などの品種の耐冷性は「きらら397」のそれを上回る「やや強～強」または「強」である。このように品種の耐冷性は向上しているが、それらの作付け面積は多くはない。2003年度は全道の作況指数が71という1993年以来の冷害を受けたが、「きらら397」の作付け割合は1993年度よりも多いという実態にあった。もち品種の「はくちょうもち」および「風の子もち」は、いずれも穂ばらみ期の耐冷性は「強」であるが、開花期の耐冷性が「中」であり、実害をうける場合があった³⁾。

2004年奨励試験に供試している11系統の穂ばらみ期の耐冷性は、「強」または「極強」であり、耐冷性は確実に向上しているものの、北海道稲作の安定性向上のため、開花期の耐冷性を含め、さらに強化を図る必要がある。

近年、いくつかの外国稲に由来す中間母本として耐冷性が極強ないし超極強とされるものが育成されており、今後、これらを利用して実用品種を育成するために、集団の規模を大きくしたり、DNAマーカーなどを利用して効率的な選抜をしていくことが重要である。

②いもち病抵抗性

「きらら397」のいもち病抵抗性は、育成時は「やや強」と評価されたが、現在は「やや弱～中」である。また、「ほしのゆめ」も品種育成時で「中」、現在は「弱～やや弱」である。また、その後育成された品種の抵抗性も同程度である。このように、評価が変化した要因は、道内のいもち病菌の優占レースが変わったためであり、このことに対応するため、最近、葉いもち検定および穂いもち検定のための抵抗性遺伝子型別に強～弱の基準品種を選定し、抵抗性遺伝子型別のグループ内で評価・判定することとした^{4),5)}。今後、正確な評価・判定や選抜

が可能となり、いもち病抵抗性は向上していくものと思われる。

2004年奨励試験に供試している11系統のいもち病抵抗性は、葉いもち抵抗性について「強」が1、「やや強～強」が1、「中～やや強」が1、「中」が3「やや弱」が5系統、穂いもち抵抗性について「強」が1、「やや強」が2、「中」が3、「やや弱～中」が2、「やや弱」が3系統であり、まだまだ不十分な状況にある。

引用文献

- 1) 独立行政法人農業技術研究機構作物研究所・農林水産省農林水産技術会議事務局. “新しい米を創る'03. New Rice for Multi-Use”. 2003.78p
- 2) 独立行政法人農業技術研究機構作物研究所・農林水産省農林水産技術会議事務局. “次世代の稲作を目指して”. 2003.13p
- 3) 独立行政法人農業技術研究機構北海道農業研究センター. “2002年 北海道の夏季天候不順による農作物の被害状況調査報告書”. 北海道農業研究センター研究資料. 63. 19-48(2003).
- 4) 北海道農政部. “葉いもちほ場抵抗性検定のための真性抵抗性遺伝子型別基準品種の策定”. 平成11年度普及奨励ならびに指導参考事項. 58-60(1999).
- 5) 北海道農政部. “穂いもち圃場抵抗性検定のための遺伝子型別基準品種の策定”. 平成15年度普及奨励ならびに指導参考事項. 448-450(2003).
- 6) 北海道農政部農業企画室編. “平成14年度 北海道農業の動向”. 20-21(2003).
- 7) 北海道立農業試験場編. “平成16年度試験研究設計概要集－作物開発部会(稲)－. 平成16年3月”. 108(2004).
- 8) 農林水産省統計部. “平成14年度 作物統計(普通作物・飼料作物・工芸作物). 平成15年10月”. 124-125(2003).
- 9) 柳井慶子. “平成一五年産水稻の品種別作付状況(速報)について”. 米麦改良. 15-27(2003).

2. 北海道の系統・品種と系譜

沼 尾 吉 則*

はじめに

北海道の中央部で水稻の作付けが開始されて130年、この間多くの品種の変遷があり、北海道の水稻作付けは大きな変革を遂げてきた。この項では今後の品種育成を見据え、今までの品種等の系譜をたどることとする。

北海道の中央部の水稻は中山久蔵の「赤毛」が最初の栽培品種であり、明治の末には作付品種の8割が「赤毛」であった。「赤毛」から「坊主」「黒毛」「十勝黒毛」「魁」「島田糯」などの変異種が篤農家によって選抜、育成されてきた。「胆振早稲」「白鬚」「井越早生」「萬太郎米」などは「赤毛」とは来歴が異なるが「胆振早稲」から「農林20号」が出来た以外は母材としてはほとんど活用されていない(図I-2-1)。つまり北海道の水稻品種は大部分が「赤毛」や「赤毛」から選ばれた「品種」または府県品種との交配によって出来てきた。北海道在来品種をベースにして、これらの品種同士や北海道の品種に府県品種等を交配して優良性を取り込む形で品種改良が行われてきた。

ここでは、それを参考に府県品種等からの優良形質を取り込んで画期的に道内品種を向上させた10の育成品種群について述べる。なお1987年に北海道農試の西村研究員は北海道の品種改良の系譜^{8),9)}について論じており参考とした。

1) 10の品種群

①富国系：本州品種との交配によって育成された最初の品種である。「富国」や「早生富国」は「中生愛国」と「坊主6号」との組合せで、「中生愛国」は山形県の品種、「坊主6号」は「赤毛」の変異種「坊主」を更に純系分離で選んだ品種である。「富国」は1940年全道の55%作付けされた基幹品種でその血筋は「早生富国」から「石狩白毛」を通して「キタアケ」「しまひかり」と受け継がれ「きらら397」「ほしのゆめ」に続いている。また、「早生富国」は「栄光」を通して「ユーカーラ」「キタヒカリ」「ゆきひかり」と続いており、「ななつぼし」「ふっくりんこ」等々現在の品種のほとんどに受け継がれている。「富国」「早生富国」は「愛国」からの良質性に由来するものと推定される。

②農林20号系：「農林20号」は「胆振早稲」と「農林1号」の組合せ。「胆振早稲」は胆振地方に伝わっていた在来種で来歴不詳⁴⁾。「農林1号」は北陸の良食味品種である。「農林20号」は1941年に優良品種となり、1940年代道内で作付面積が最も多かった。早生良食味であったために、1980年代まで長く作付されることとなった。道南地方で良食味品種として長く作付けされた「巴まさり」や「共和」等の品種に受け継がれ、現在の奨励品種では「ゆきひかり」「あきほ」「ほしたろう」などに受け継がれている。

③栄光系：「栄光」は青森県の自然交雑種「鶴亀」と「早生富国」の組合せである。「栄光」は1941年に優良品種となり、1950年代に多収良質の基幹品種として作付けされた¹⁸⁾。「栄光」の子の「ユーカーラ」を通して「キタヒカリ」「ゆきひかり」などに、また「栄光」の子の「空育12号」を通して「そらち」「しまひかり」「きらら397」「ほしのゆめ」と受け継がれている。

④石狩白毛系：「石狩白毛」は「関山8号」と「早生富国」の組合せである。東北地方在来品種の「関山」に由来し、いもち病抵抗性遺伝子Pi_tを有する特徴がある。「石狩白毛」は1941年に奨励品種に採用され、いもち病に強かったために1950年代まで道央部の泥炭地帯を中心に作付された。「キタアケ」「しまひかり」を通して「きらら397」「ほしのゆめ」に受け継がれている。

⑤ユーカーラ系：中国品種「荔支江」を片親とする「関東53号」の形質に由来する。1962年に「関東53号」と「栄光」の交配で「ユーカーラ」が育成された。「荔支江」由来のいもち病抵抗性を有しており、品質・食味とも良好であったため急激に普及拡大したが、いもち病菌の変化により耐病性が劣ることとなった^{5),10)}。「ユーカーラ」は1960年代の基幹品種として栽培され、一部地域では80年代まで作付された。品質、食味、草姿等々形質が優れていたため交配母本としても広く用いられ、その後の品種育成に大きく貢献した。Pikのいもち病抵抗性遺伝子を有しており、「イシカリ」「キタヒカリ」「ゆきひかり」を通して「彩」「あやひめ」「ほしのゆめ」などに受け継がれている。

⑥ささほなみ系：青森県農試藤坂支場で育成された「藤坂5号」に由来する。「ささほなみ」は1961年に奨励品種となったが、穂揃いと登熟性不良のため品種として

*上川農業試験場 078-0397 上川郡比布町

の栽培面積は少なかった。しかし、直立性、強稈性の母本として大いに活用され「マツマエ」「イシカリ」「ゆうなみ」「ともゆたか」などの1970年代から1980年代の基幹品種が育成された。強稈・多収の品種が多く、最近では「彩」「あやひめ」「ほしのゆめ」などに受け継がれている。

⑦しまひかり系:「しまひかり」は北陸の良食味品種「コシホマレ」と「そらち」の組合せであり、1981年に奨励品種となった。耐冷性が弱かったために作付は極僅かであったが食味が優れていたため母本として活用された。「コシヒカリ」「コシホマレ」の形質に由来し、「きらら397」「上育394号」「ほのか224」等の母本として活用され、更に「ほしのゆめ」「ななつぼし」等々現在の良食味の大部分がこれに由来している。

⑧ほしのゆめ系:「ほしのゆめ」は1996年に奨励品種となり、現在まで基幹品種として作付されている。秋田県の良食味品種「あきたこまち」に由来し、「きらら397」を食味で上回っている。「ほしたろう」はこれに由来し「ふっくりんこ」にも引き継がれている。

⑩国宝ローズ系:米国品種「国宝ローズ」に由来するもので、「ななつぼし」「ふっくりんこ」に引き継がれている。「国宝ローズ」の食味特性の導入に当たっては交配が数多く繰り返されており、後代で食味が「ほしのゆめ」に優る優良系統が多く出て活用されるに至っている。

⑩NM391系:「ニホンマサリ」の低アミロース突然変異の形質に由来する。「NM391」を母本として低アミロース系統「道北43号」を育成し、更に交配選抜を重ねて日本で最初の低アミロース品種「彩」を育成した。また、改良を重ねて「あやひめ」「はなぶさ」を作出した。ダ

ル遺伝子を有している特徴がある。

以上①から⑩までの10の優良導入形質が北海道の重要な稲育種母材となってきた。なお、「ななつぼし」は宮城の「ひとめぼれ」も交配に使われている。「国宝ローズ」とどちらの遺伝子が良食味に関与が大きいかわからないが、「ひとめぼれ」の形質導入は省いた。また、「キタアケ」は「きらら397」「上育394号」や低アミロース品種の母本として活用され、米国品種「Cody」の血が入っているが「Cody」のいもち病真性抵抗性遺伝子は入っていない³⁾ことと明確な導入形質が認められないために省いた。このように府県等品種を用いて優良品種を育成した場合においても、明確に優良な導入形質が認められない場合も多い。

2)年代ごとの品種の系列

1960年代の品種としては「ほうりゅう」「そらち」など19品種が育成された^{2),5)}。それまでに育成された品種と同様、「農林20号」系、「石狩白毛」系、「早生富国」系、「栄光」系の品種・系統を素材として育成されている。「ユーカーラ」「ささはなみ」の2品種が、他の品種とは異なる育種素材を用いて育成された。

1970年代の品種としては「イシカリ」「ゆうなみ」「キタヒカリ」「ともゆたか」など8品種²⁾あり「ユーカーラ」系と「ささはなみ」系の素材を交配親にして多収品種が育成された。したがってこの時代の主要品種には新しい府県導入形質は利用されなかった。

1980年代の品種としては「しまひかり」「みちこがね」「キタアケ」「ゆきひかり」「きらら397」「彩」など14品種^{6),7),11),12)}が北海道立農試の優良米早期開発プロジェ

表 I-2-1 最近(’87年以降)の上川農試の新配付良食味系統の組合せ

上育403	道北36/空育114//北陸118/上育378-A	上育427	★上育418/空育150
上育404	道北36/空育114//北陸118/上育378-A	上育428	■★上系91340/空系90242A
上育407	空育114/上育388	上育431	▲ひとめぼれ/上育414//上育414
上育408	上育382/上育378C//キタアケ	上育432	▲ひとめぼれ/上育414//上育414
上育410	東北130/上育378A//空育114	上育433	AC90300/キタアケ
上育412	▲ゆきひかり/上育397	上育435	★ひとめぼれ/上育414//上育418
上育414	▲上育397/ハヤカゼ	上育436	関東168/2*AC90300
上育415	道北44/みちこがね	上育440	★上育421/上育418
上育416	▲道北46/上育397	上育441	★上育421/上育418
上育418	▲あきたこまち/道北48//上育397	上育443	■★ほしのゆめ/上育424
上育419	▲あきたこまち/道北48//上育397	上育444	★上育418/上育413//上育418
上育421	▲東北143/上育404//道北54	上育445	■★上育428/空育159
上育422	▲道北52/上育413	上育447	■★空育162/ほしのゆめ
上育423	★上系91340/AC91678		
上育424	■★上系91340/空系90242A		

注) ▲は「しまひかり」、★は「ほしのゆめ」、■は「国宝ローズ」の血が入っている系統。

表 I-2-2 最近（'87年以降）の中央農試の新配付良食味系統の組合せ

空育133	ゆきひかり/空育109	空育152	上育404/空育131
空育135	空系56241/空育118	空育153	▲空系63068/空育131
空育136	空系53098/道北36//渡育218	空育154	▲空育141/空育139
空育137	空系53098/道北36//上育388	空育155	▲空系63468/空育139
空育139	▲上育397/空育125	空育156	▲空育140/空育143
空育140	▲空育129/上育397	空育157	■▲空系61060/上育397
空育141	▲上育397/空育114	空育160	★空育150/上育418
空育142	▲上育394/空系58062B	空育161	■▲空育147/空系90242A
空育143	▲空育129/上育397	空育162	■▲空系90242B/上育414
空育144	▲空育131/上育397	空育163	■▲ひとめぼれ/空系90242A//空育150
空育145	空育131/空育128	空育164	道北52/キタアケ
空育146	▲上育397/空育125	空育165	■★空育147/上育418
空育147	■▲空系61436/上育397	空育166	■★空育147/上育418
空育148	▲空育129/上育397	空育167	★空系92200/上育418
空育150	▲上育394/空育133	空育168	■★東北157/空系90242B//上育418
空育151	空育131/空育135	空育169	■▲空系96074/空育162

注) ▲は「しまひかり」、★は「ほしのゆめ」、■は「国宝ローズ」の血が入っている系統。

表 I-2-3 最近（'87年以降）の道南農試の新配付良食味系統の組合せ

渡育224	▲渡育214/空育110//空育114	渡育234	▲渡育224/空育131
渡育225	渡育216/空育114	渡育235	▲渡育224/空育131
渡育226	空育114/イシカリ	渡育236	渡系62156/上育404
渡育227	渡育217/空育114//空育119	渡育237	東北146/上育404
渡育228	▲上育394/ともひかり	渡育238	■▲空系90242B/渡育233
渡育229	▲上育394/ともひかり	渡育239	北海275/渡育231
渡育230	みちこがね/空育126//空育129	渡育240	■★空系90242B/上育418
渡育231	コシヒカリ/キタアケ//空育131	渡育241	■★上育418/空系94299
渡育232	コシヒカリ/キタアケ//空育131	渡育242	★越南168/上育418
渡育233	▲上育394/空育130	渡育243	■▲空育162/渡育235

注) ▲は「しまひかり」、★は「ほしのゆめ」、■は「国宝ローズ」の血が入っている系統。

表 I-2-4 最近（'87年以降）の北農研センターの新配付良食味系統の組合せ

北海262	密陽23/空育107//キタヒカリ	北海282	▲関東155/北海244//きらら397
北海263	密陽23/北海243//ともゆたか	北海283	▲ふ系152/きらら397//きらら397
北海264	九大2004/2*北海241	北海284	▲北陸146/上育393//空育139
北海265	冷水白谷/北海241//はやこがね	北海285	▲東北145/北海267//きらら397
北海266	冷水白谷/北海241//はやこがね	北海287	▲きらら397突然変異
北海267	道北36/北海241	北海288	▲道北53/中母農11//空育139
北海272	奥羽309/北海244//キタヒカリ	北海289	▲あいちのかおり/2*空育139
北海274	ふ系139/空育114	北海291	★上育418//コシヒカリ//空育139
北海275	はやこがね突然変異	北海292	▲空育150/95晩37
北海278	マツマエ/上116//北海258	北海294	★ゆきまる//上育418/東北156
北海279	空育114/北海242//北海241	北海295	★上育418//ひとめぼれ/北海278
北海280	道北53/キタアケ	北海PL9	■▲空育139/中母農11//空育147

注) ▲は「しまひかり」、★は「ほしのゆめ」、■は「国宝ローズ」の血が入っている系統。

クト等により育成された。素材としては「農林20号」系の「巴まさり」と「ユーカラ」系の「キタヒカリ」を最初是用いており「みちこがね」「ともひかり」「ゆきひかり」などを育成している。これらの品種はそれまで導入されていた道内の良食味品種・系統を集積し、それ以前の品種の食味を上回った。その後「しまひかり」系と「キタアケ」を用いて「きらら397」「ほのか224」などを育成し、1970年代の「ユーカラ・ささほなみ」依存育種から脱却している。これらは、「コシヒカリ」の血を引く「コシホマレ」「しまひかり」の良食味を受け継いでそれまで食味が北海道で最も優れていた「ゆきひかり」よりも食味を向上させている。また、低アミロースの「NM391」が優良形質として導入されている。

1990年代の品種としては「あきほ」「ほしのゆめ」「ほしたろう」「ななつぼし」「あやひめ」など10品種⁶⁾があり、「ほしのゆめ」は「きらら397」に「あきたこまち」「道北48号」を交配しており「あきたこまち」の優良形質を導入して食味が向上している。「ななつぼし」「ふっくりんこ」は現在北海道で食味が最も優れるが「ほしのゆめ」に「国宝ローズ」系の優良形質を導入して食味が向上している。

3) 最近の良食味素材

表 I-2-1～表 I-2-4 に上川農試、中央農試、道南農試、北農研センターの食味の良い新配付系統を示した。▲は「しまひかり」の血を引いているものである。★は「ほしのゆめ」の血を引いているもの。■は「国宝ローズ」の血を引いているもの。「ほしのゆめ」が「しまひかり」の血を引いているので、▲は「ほしのゆめ」の血を引いていないで、「しまひかり」血を引いているものとした。

道立農業試験場の3場の新配付系統を見ると「上育410号」「空育137号」以前では「ゆきひかり」や「みちこがね」「キタアケ」などを母本としたものが選抜されている。1980年代以降は特に良食味品種が要望され、奨励品種の「キタヒカリ」から新品種の「みちこがね」「ともひかり」「ゆきひかり」と食味が向上し⁵⁾、「ゆきひかり」が育成されてからは母材として活用されて新配付系統が作出された。

「きらら397」が品種になってからは、「上育394号」「しまひかり」などを母本とした系統が多く選抜され、食味レベルが「ゆきひかり」並みから「きらら397」並みに向上した。

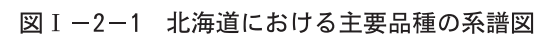
「ほしのゆめ」が品種になってからは「ほしのゆめ」を母本に用いた系統が多く、食味程度も「きらら397」

並みから「ほしのゆめ」並みに向上した。「ほしのゆめ」は食味だけでなく耐冷性も強かったため優良選抜系統が多く選出されたが、それとほぼ同時期に「国宝ローズ」の後代を用いた系統が多くなっている。「国宝ローズ」の後代系統は、食味が優れており、耐冷性も強い系統であったために新配付系統が多く選抜された。現在は「国宝ローズ」の後代系統と「ほしのゆめ」の組合せが多くなっている。また、府県の品種では「ひとめぼれ(東北143号)」や「東北146号」「はたじるし(東北157号)」「越南168号」などの血が新配付系統に入っている。

北農研センターでは「関東」「東北」「北陸」「ふ系」「あいちのかおり」「ひとめぼれ」などの府県品種系統の血を用いた新配付系統が育成されている。また、「北海287号」は「きらら397」の低アミロース突然変異系統で、従来の低アミロース品種系統よりもアミロース含有率が高く粘りが一般粳米に近くなった。「北海287号」に「あきほ」を交配した「おぼろづき」(北海292号)が育成され、母本としても期待されている。その他「北海PL9」は現在の「きらら397」「ほしのゆめ」よりタンパク質含有率が2割程度低い¹⁾ため、低タンパク質の材料として注目されている¹⁾。

北海道の品種改良は「赤毛」および「赤毛」の変異種等をベースとした北海道在来種に多くの府県品種を交配してきた歴史である。そのうちのいくつかは完全に取り込まれて活用され品種改良に役立ってきた。しかし、ある時導入された優良形質も時代の要請に合わなくなって廃棄されていったものもある。府県や外国品種等を用いて画期的な品種をめざして改良を進めてきたものでも、目的の形質が必ず系統品種に導入された訳ではなく、むしろ優良性を北海道で発揮する場合は稀なことが多かった。

優良品種は多くの特性が優れ、かつ致命的な欠点がないため、新規導入形質を取り込む場合、多くの劣悪遺伝子を除く必要があり時間を要することとなる。「コシホマレ」の良食味遺伝子を取り込んで耐冷性の強い実用品種「きらら397」ができるまで(1969年交配、1988年新品種)19年間費やした。「NM391」の低アミロース遺伝子が耐冷性の強い実用品種である「はなぶさ」を育成するまで(1980年交配、1998年新品種)18年間、「あやひめ」を育成するまでは21年間費やしている。「国宝ローズ」の良食味遺伝子を取り込んで実用品種「ななつぼし」が育成されるまで(1981年交配、2001年新品種)20年を費やしている。特にダル遺伝子のような新規形質や外国品種の形質導入は劣悪形質も多く付随してしまうため改良に多くの労力と時間が必要となる。



画期的な優良形質を持った品種を育成する場合、道内の品種系統どうしの交配では非常に難しく、外部からの遺伝子導入を図ってきた。しかし、府県等品種を交配しても優良形質を北海道品種系統に導入できる確立は極めて低いため、優良品種になるまでには多くの労力と長い年月を要することとなるが、今後も外部からの優れた遺伝子を取り込んで北海道品種を改良していく必要がある。

引用文献

- 1) 安東郁男, 清水博之, 黒木 慎, 柳原哲司. “低タンパク質含量イネ系統の特性”. 育種学研究. 4(別2). 153(2002).
- 2) 江部康成. “北海道農業技術研究史1966～1980”. 北農会. 39-48(1982).
- 3) 国広泰史, 江部康成, 和田 定, 新橋 登, 本間 昭, 佐々木多喜雄, 佐々木一男, 沼尾吉則, 森村克美, 丹野 久. “水稻新品種「キタアケ」の育成について”. 北海道立農業試験場集報. 59, 67-80(1989).
- 4) 酒井 勉. “農産物品種物語 みのもりの道”. 日本農業新聞北海道支所. 12-71(1989).
- 5) 佐本四郎. “北海道農業技術研究史”. 北海道農業試験場. 101-135(1967).
- 6) 丹野 久, 沼尾吉則. “北海道農業技術研究史1981～2000”. 北海道農業研究センター, 北海道立農業試験場. 19-24(2002).
- 7) 仲野博之. “北海道における稲育種研究の成果”. 農業技術. 44, 25-29(1989).
- 8) 西村実. “北海道における水稻育種素材の評価と利用〔1〕”. 農業および園芸. 62, 261-264(1987).
- 9) 西村 実. “北海道における水稻育種素材の評価と利用〔2〕”. 農業および園芸. 62, 383-388(1987).
- 10) 星野達三, 柴田和博. “水稻の育種 北海道の稲作”. 北農会. 114-140 (1994).
- 11) 北海道立農試. “優良米の早期開発試験プロジェクトチーム第Ⅰ期(昭和55～61年)の試験研究成果”. 北海道立農業試験場資料. 19, 1-114(1988).
- 12) 北海道立農試. “優良米の早期開発試験プロジェクトチーム第Ⅱ期(昭和62～平成5年)高度良食味米品種の開発試験研究成果”. 北海道立農業試験場資料. 24, 1-77(1995).
- 13) 山本文二郎. “こめの履歴書―品種改良に賭けた人々”. 家の光協会. 260-293(1986).

3. 糯品種の素材と育種の今後

平 山 裕 治*

はじめに

現在、北海道立農業試験場における糯品種育成は中央農業試験場と上川農業試験場が中心となり行われている。中央農試では、「中晩生耐病性品種の育成」において糯品種育成が行われ、2003年より開始された、「新たな価値創出に向けた特徴ある稲系統の選抜強化」において、特徴的な硬化特性を備えたもち米系統の育成を目指している。上川農試では、「超早生耐冷性品種の育成試験」において糯品種育成が行われ、2001年より「良品質もち米の開発促進」において硬化速度の速い糯品種の育成が強化されている。

従来、餅類の代表的な商品である切り餅やあらは餅の硬化性が重要視され、冷却時に速やかに硬化する餅になるもち米が品質的に優れると評価されてきた¹⁾。北海

道もち米は硬くなりにくく(硬化速度が遅い)^{3),5),9)}、府県産に比べ白度が劣る^{5),9)}と言われ、硬化性の向上と白度の向上が主な育種目標であった。現在、早生で耐冷性が強く品質も良い「はくちょうもち」と中生で収量性に優れ、耐冷性が強く品質も良い「風の子もち」の2品種が栽培され、これらの品種の育成により北海道もち米の白度は明らかに向上してきた(表Ⅰ-3-1)。しかし、硬化性の向上はそれほど進んでいない(表Ⅰ-3-2)。現在は上川農試を中心に硬化性の異なる糯品種の開発を目指している。

1)硬化速度の速い糯品種の育成

3つの試みにより開発を目指している。1つは、「こがねもち」のような府県の硬化性の高い品種から硬化性

表Ⅰ-3-1 道内新旧品種および府県糯品種の白度および蛋白含有率

産地	品種名	玄米白度		白米白度		蛋白含有率(%)	
		1998	1999	1998	1999	1998	1999
上川農試	栗柄糯	20.3	25.1	43.2	45.2	7.5	7.6
上川農試	山崎糯	25.0	25.1	46.7	54.0	7.9	8.7
上川農試	目黒米糯	24.0	27.3	49.8	54.0	8.9	8.4
上川農試	小川糯1号	26.3	28.2	50.2	51.8	8.6	8.7
上川農試	北海糯1号	27.0	25.7	48.0	47.2	9.4	10.4
上川農試	栄糯	23.1	25.5	49.6	49.3	7.9	7.8
上川農試	ハシリモチ	26.0	24.4	49.3	48.0	9.2	9.1
上川農試	ユキモチ	—	25.4	—	50.9	—	8.7
上川農試	かむいもち	22.7	24.2	49.8	49.2	8.9	9.2
上川農試	おんねもち	24.9	24.6	50.4	49.7	8.1	9.6
上川農試	たんねもち	24.9	23.9	51.8	49.2	8.0	8.6
上川農試	はくちょうもち	25.2	27.7	52.2	53.5	7.9	8.3
上川農試	風の子もち	25.0	28.4	53.4	53.1	7.4	7.6
上川奨決標肥	はくちょうもち	26.6	26.1	56.1	59.4	7.7	7.3
上川奨決多肥	はくちょうもち	25.9	24.9	55.8	59.0	7.6	7.6
上川奨決標肥	風の子もち	26.2	26.4	56.1	57.4	6.9	6.9
上川奨決多肥	風の子もち	25.0	28.4	53.4	53.1	7.4	7.6
古川農試	こがねもち	—	29.2	—	53.0	—	7.3
古川農試	ヒメノモチ	—	30.2	—	55.5	—	7.0
藤坂支場	ユキモチ	—	29.2	—	53.9	—	6.8
藤坂支場	アネコモチ	—	27.5	—	52.7	—	6.6

注) 白度: Kett白度計C-300で測定。

白米: 1.90mm以上の玄米をトーヨーテスター精米器MC-90Aで90.5%に精白。

蛋白含有率: BRAN LUEBBE社製インフラランザー360で測定。

*中央農業試験場岩見沢試験地 069-0365 岩見沢市上幌向

を導入する方法である。この手法は、従来から取り組まれているが、現在のところ硬化性の飛躍的な向上には到っ

表 I-3-2 府県産もち米と北海道産もち米の分析結果

品種名	産地	年次	白度			蛋白含有率%	RVA				曲がり法		硬化性 (g)
			玄米	白米	餅生地		P.T.	M.V.	B.D.	S.B.	b/a	分類	
はくちょうもち	上川農試	1999	26.1	59.4	—	7.3	84.1	269	—	—	0.17	I	—
はくちょうもち	上川農試	2000	27.9	55.7	49.4	7.6	73.7	238	141	44	1.03	Ⅲ-Ⅳ	225
はくちょうもち	上川農試	2001	24.5	55.7	51.9	6.6	73.0	256	181	51	1.52	Ⅳ	126
風の子もち	上川農試	1999	25.9	58.8	—	6.3	83.8	275	—	—	0.18	I	—
風の子もち	上川農試	2000	28.6	53.8	47.7	7.1	73.7	234	137	44	0.99	Ⅲ-Ⅳ	201
風の子もち	上川農試	2001	24.9	57.5	52.1	6.0	73.5	261	184	52	2.19	V	112
こがねもち	古川農試	1999	29.2	53.0	—	7.3	84.1	247	—	—	0.16	I	—
こがねもち	古川農試	2000	26.8	57.4	51.0	6.7	78.1	197	120	41	0.16	I	410
こがねもち	古川農試	2001	27.8	60.0	53.7	6.6	75.4	248	167	50	0.57	Ⅲ	214
こがねもち	新潟農試	2000	25.2	52.1	46.8	6.4	81.6	212	123	47	0.10	I	481
こがねもち	新潟農試	2001	30.7	60.7	53.7	6.6	78.3	285	186	67	0.16	I	343
ヒメノモチ	古川農試	1999	30.2	55.5	—	7.0	84.9	248	—	—	0.18	I	—
ヒメノモチ	古川農試	2000	32.4	59.0	48.3	6.3	76.7	223	143	44	0.36	Ⅱ	409
ヒメノモチ	古川農試	2001	31.2	56.5	53.3	7.0	74.5	245	163	53	2.11	V	119
ヒヨクモチ	佐賀県	2001	28.0	56.7	51.4	8.2	74.5	227	156	46	1.52	Ⅳ	136

注) RVA: Newport Scientific社製ラピッドビスコアナライザーRVA-3D型で測定。

2001年のRVA測定に使用した粉量は3.5 g, 1999年と2000年は3.0 g。加水量25ml (硫酸銅添加)。

P.T.: 最高粘度到達温度, M.V.: 最高粘度, B.D.: ブレークダウン, S.B.: セットバック

曲がり法: 有坂らの方法による。

硬化性: 柳原の方法による。サン科学社製レオメーターで測定。

ていない。人工気象室において登熟温度の違いによる熱糊化特性の変化について調査したところ、「こがねもち」と「風の子もち」では、硬化特性と相関が高いRVAの最高粘度到達温度にほとんど違いがみられない結果となった(表 I-3-3)。これは、府県で硬化性が高いとされる品種も北海道における低温登熟条件下においては、その硬化特性が発現されず、交配しても遺伝的には硬化性の向上が期待できないとも考えられる。同様な問題は、粳米における低アミロース化においても論じられている。登熟温度が同程度の条件においては、「コシヒカリ」、「ササニシキ」と「農林20号」、「巴まさり」のアミロース含量に違いはなく、東北、北陸の良質品種からは本道既存の良質品種を越える低アミロース品種の育成が期待できない可能性が指摘されてきた²⁾。しかし、その後、

府県品種を交配しアミロースを下げてきた実績から見れば、糯米においてもまだ硬化性が上がる可能性も否定できない。また、餅品質を向上するうえでも、府県糯品種の利用は不可欠と考える。

2つ目は、硬化性を向上させる方法である。農林水産省北海道農業試験場(現、独立行政法人北海道農業研究センター)が1999年に配付した「北海糯290号」は「はくちょうもち」と「ほしのゆめ」の組合せにより硬化性の向上に成功した系統である(表 I-3-4)。登熟温度と硬化特性の間には相関関係があることが報告されており¹⁾、登熟温度が高いと硬化速度が速くなることが知られている(図 I-3-1)。前述のように粳米においては、良食味品種育成のため、低アミロース化を強力に押し進めてきた結果、登熟性も改良されてきた。同時にアミロペクチ

表 I-3-3 登熟温度の違いによる熱糊化特性の変化 (1995~1996年田縁調査)

品種名 系統名	温度処理	最高粘度 (R.V.U.)	最高粘度 到達時間 (分)	最高粘度 到達温度 (℃)	ブレークダウン (R.V.U.)	セットバック (R.V.U.)
こがねもち	高温区	221	3.80	83.7	124	64
	低温区	239	3.61	79.4	145	62
風の子もち	高温区	238	3.80	83.6	131	64
	低温区	237	3.57	78.9	149	67
モチミノリ	高温区	155	3.68	80.2	91	38
	低温区	187	5.00	76.6	116	48

注) 高温区: 昼29℃、夜22℃。低温区: 昼21℃、夜14℃

熱糊化特性は、Newport Scientific社製ラピッドビスコアナライザーRVA-3D型で測定。

ンの鎖長分布にも改良が加えられ、そのため餅硬化性の向上につながったとも考えられる。また、粳品種を交配することにより登熟性が向上するだけでなく、品質や草姿の改善も期待される。ただし、粳種と糯種の交配による糯種の出現頻度は F_2 世代で理論上 $1/4$ である。しかも、草姿による選抜も加えられると圃場から選抜されてくる糯個体頻度はかなり低くなる。実際には、播種前に玄米による糯個体の選抜を行うことにより、この危険性はある程度回避されるが、それでも固定が進まない分離世代では玄米選別作業は不可欠であり、固定するまで硬化性の評価が固まらないことになる。そこで、粳種の利用に当たっては葎培養の利用が有効であると考えた。葎培養により、糯種の出現頻度は $1/2$ になるばかりではなく、早期固定が図られ、早ければ交配の2年後には硬化特性による選抜評価が可能となる。2004年にはこの手法により、「上育糯451号」が配付された。「上育糯451号」は2000年に「北海糯290号」に「上育438号(大地の星)」を交配して育成された系統で、硬化性は「ヒメノモチ」に優る特性をもっている(表I-3-5)。葎培養による利点を最大限に利用した成果といえる。

3つ目として、インディカタイプのアミロペクチン構造を導入するという手法である。インディカタイプのアミロペクチン構造をもつ糯品種は、硬化速度が速いことが明らかとされている⁷⁾。茨城県農業総合センターで育

表I-3-5 「上育糯450号」「上育糯451号」の分析値

系統名品種名	蛋白含有率 %	白度		硬化性	
		玄米	白米	b/a	分類
上育糯450号	7.2	26.1	55.0	6.36	V
上育糯451号	7.2	24.1	52.7	2.45	V
はくちょうもち	7.8	23.4	52.4	6.14	V
風の子もち	7.0	23.1	52.9	9.52	V
ヒメノモチ	—	—	—	3.07	V
こがねもち	6.9	27.7	58.9	0.24	I

注) 白度および硬化性は2003年度調査。蛋白含有率は2002～2003年度の平均値。
水稻新配付系統に関する参考成績書 上育糯450号, 上育糯451号(2004)より抜粋。

成された陸稲系統「関東糯172号」はアフリカ粳品種「IRAT109」を父本として育成され、極めて高い硬化性を示すことが報告されている⁶⁾。「関東糯172号」のアミロペクチンは短鎖が少なく、中鎖が多い、インディカ品種に多く見られる鎖長分布パターンを示している⁷⁾。また、アミロペクチン構造を制御する遺伝子は1つで、その染色体上の位置は、アルカリ崩壊性遺伝子(*alk*)と同じ位置に座乗する⁸⁾ことが明らかとなっており、アルカリ崩壊性を見ればインディカのもつ硬化性遺伝子が導入されているかどうかを容易に判別できるものと考えられる。しかし、「関東糯172号」は食味が劣る等不良形質も多く、その改良には時間がかかるものと思われる。インディカのもつアミロペクチン構造の導入については、アルカリ崩壊性の他に4M尿素溶液に対する糊化性でも判定可能⁷⁾であり、これらの手法により遺伝子の導入を確認しながらバッククロス等で他の不良遺伝子を取り除いていくという方法が効率的であると考えられる。

これらの考えの基に、既に交配、選抜が走り出している。「上育糯451号」のように一部では既に成果が見えてきているものもあり、これらの手法の有効性については、ここ数年で結果が見えるものと期待される。

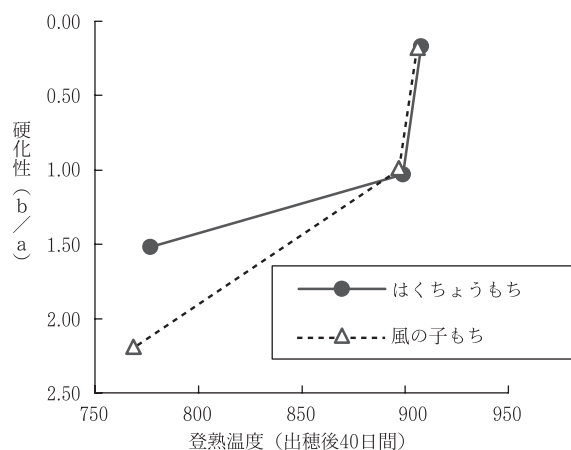
2) 硬化速度の遅い糯品種の育成

1999年に、上川農試において、北海道もち米の実需実態についてアンケート調査を実施した結果、北海道もち米を使用する理由として最も多くあげられたのは低価格であるが、硬くなりにくさ(硬化速度が遅い)や、硬さが良いこともあげられ(図I-3-2)、硬くなりにくいという北海道もち米の特性が評価されていることが分かった。硬化性が遅いという特性は、北海道の気象条件を生かせる特性であり、主食用途に適した特徴である。上川農試では、コンビニエンスストアを中心として、主食用途としての、北海道産もち米の需要が高まるに到り、この硬

表I-3-4 「北海糯290号」の硬化性

系統名品種名	b/a比	分類
北海糯290号	0.75	Ⅲ
はくちょうもち	1.89	Ⅳ

注) 有坂らの方法による
水稻育成系統新配付に関する参考成績書 北海糯290号(1999)より抜粋。



図I-3-1 登熟温度と硬化性の関係

化速度の遅い糯品種の育成に着手した経緯がある。前述した人工気象室を利用して登熟温度の違いによる熟糊化特性の調査を行い、「モチミノリ」のRVAの最高粘度到達温度には明らかな違いを認めた(表 I-3-3)。1994年交配を行い、育成系統が生産力検定本試験まで供試されたが、餅質に有利性が認められず耐冷性も弱いため配付にまでは到らなかった。「モチミノリ」はRVAの最高粘度到達温度が低く、硬化速度の遅い品種として注目したが、最高粘度が低く粘りが弱い欠点があると思われた。また、北農試で配付された「北海糯286号」は白度が高く、軟らかく粘りの強い糯系統として注目された(表 I-3-6)。しかし、玄米形状が長楕円形で粒厚が薄く搗精時に割米を生じることや、紅変米を多発するという欠点のため、現地1年目で中止となった。2003年にはその後代が「上育糯450号」として配付されている。残念ながら硬化特性については、硬化速度が遅いという特徴ははっきりしないが、白度の向上が図られた系統である(表 I-3-5)。「ヒメノモチ」は同様な登熟条件下ではあきらかに「こがねもち」に比べ硬化速度が遅く注目される品種である(表 I-3-2)。「ヒメノモチ」はまた、餅質が良く試験で餅を搗く時などはそのきめの細かさは非常に目を引く品種であった。餅質の改善にも十分に力を発揮するのではないかと期待している。主食用もち米の品種育成については、硬化速度が遅いという特性が重要であるが、白度の向上や餅質の改良も重要なテーマとなる。柔らかさが重視されるもち米はおはぎや大福など和菓子業界が主要な需要先となるため、特に品質には十分な配慮が必要となる。また、飯米用としては、蛋白との関係も示唆され⁴⁾、蛋白含有率の高いもち米は粘りの劣る炊飯米になる傾向が見られた(図 I-3-3)。蛋白は膨化を阻害し¹⁾、餅生地⁹⁾の伸張性にも悪影響を及ぼす¹⁰⁾と考えられている³⁾。また、蛋白含有率と白米白度の関係をみると $r = -0.63^{**}$ の有意な相関がみられ、蛋白含有率の高いもち米の白米白度は劣る傾向が見られ(図 I-3-4)るなど、低蛋白化も必要な選抜指標である。

北海道では1979年からもち米の品質向上と安定生産体

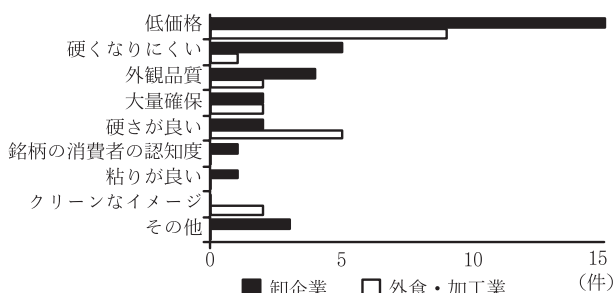


図 I-3-2 北海道もち米を使用する理由 (複数回答)

表 I-3-6 「北海糯286号」の分析値

系統名品種名	蛋白含有率 %	白度		硬化性	
		玄米	白米	b/a	分類
北海糯286号	6.0	29.1	62.4	8.4	V
はくちょうもち	6.3	27.7	58.9	6.9	V

注) 白度は1995～1996年度の平均値。
蛋白含有率および硬化性は1996年度調査。
水稲育成系統新配付に関する参考成績書 北海糯286号 (1997) より抜粋。

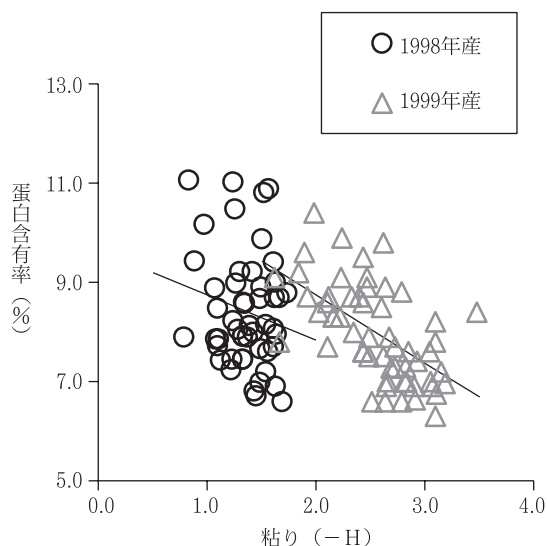


図 I-3-3 蛋白含有率と粘り (-H)

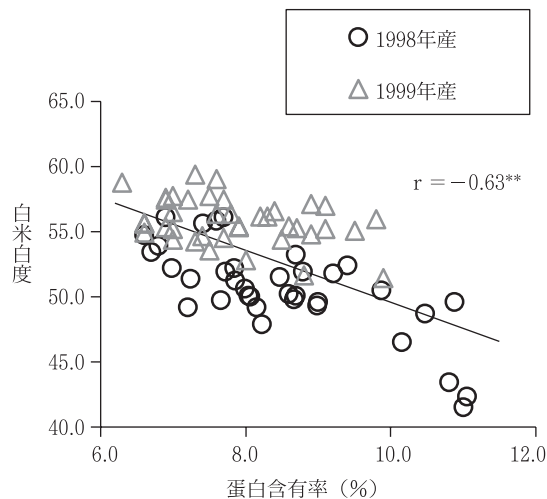


図 I-3-4 蛋白含有率と白米白度の関係

制を確立するため糯米の専作団地化が図られるようになり、上川北部や網走、留萌北部が中心となって指定団地が形成されていった。これらの地帯で中心的に栽培される「はくちょうもち」の耐冷性は“強”であり、決して弱いものではないが、近年の冷害年では、多大な被害を被ることとなった。これらの地帯でさらに安定的に栽培するためには、耐冷性“極強”レベルが求められている。

糯品種育成においては、硬化速度の速いもの、遅いもの
その両方の方向性があるが、白度の向上や餅質の向上そ
して耐冷性の付与は共通の育種目標として重視していかな
ければならない。

引用文献

- 1) 赤間芳洋, 有坂将美. “日本の稲育種”. 榊渕欽也監
修. 農業技術協会. 1992. p.202-208.
- 2) 江部康成. “優良米早期開発の現状”. 北海道立農業
試験場資料. **15**, 6-13 (1982).
- 3) 深井洋一, 松澤恒友. “糯米の理化学的性質と加工
適性”. 日本調理科学会誌. **31**, 4, 262-268(1998).
- 4) 平山裕治. “北海道もち米の実需実態と理化学特性”.
北農. **699**, 355-360(2001)
- 5) 北海道農政部 “北海道もち米の今後の展開方向”.
48p(2000).
- 6) 岡本和之, 根本博. “ラピッド・ビスコ・アナライ
ザーによる陸稲糯品種の餅硬化性の評価と高度の餅
硬化性を持つ陸稲品種「関東糯172号」”. 日作紀.
67(4), 492-497(1998).
- 7) 岡本和之, 小林和幸, 平澤秀雄, 梅本貴之. “アミ
ロペクチン鎖長分布と餅の硬化性の関連”. 日作紀.
70(別1), 152-153(2001).
- 8) 梅本貴之, 矢野昌裕, 佐藤光, 正村純彦, 中村保典.
“イネ胚乳でんぷんのアミロペクチン鎖長とアルカ
リ崩壊性の関連”. 日作紀. **69**(別1), 40-41(2000).
- 9) 柳原哲司. “北海道米の食味向上と用途別品質の高
度化に関する研究”. 北海道立農業試験場報告. **101**
(2002).
- 10) 柳瀬肇, 大坪研一, 橋本勝彦. “もち米の品質と加
工適性に関する研究”. 食総研報. **45**, 1-8(1984)

Ⅱ 育種の技術

1. 大型温室を利用した世代促進技術

田 中 一 生*

はじめに

北海道では通常コメは1年に1作しか作れない。しかし温暖な西南暖地で冬期間栽培したり、温室を利用すると1年に2回～3回の栽培が可能となる。

従前は北海道でも鹿児島県や沖縄県石垣島において冬期間栽培を行い世代促進を行ってきた。「きらら397」「はしのゆめ」をはじめとする多くの優良品種の開発にはこの世代促進技術を利用してきた³⁾。

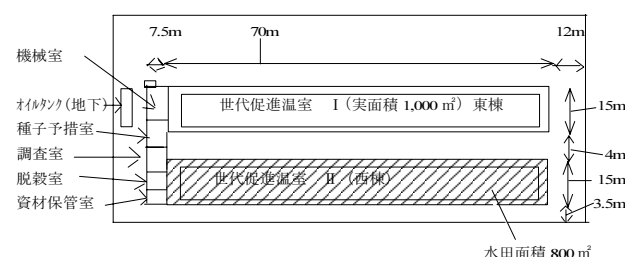
平成13年から道立農試では気候の温暖な道南農試に大型ガラス温室を整備し、世代促進を実施している。以下、この大型温室の概要と、これを利用した世代促進技術の実際と問題点について述べる。

1) 施設内容

施設の概況を図Ⅱ-1-1、図Ⅱ-1-2に示した。外枠面積は1000㎡(縦15m×横70m)、水田面積は800㎡、高さは8mである。同規模の温室が2棟並んでいる。冬期間の温度確保のため、上部を3重の、側部を2重の自動開閉式の断熱ビニールシートを設置し、冬期間は日中の晴天時を除き、常時シートは閉じた状態にしている。暖房施設としてフィンパイプ状のスチームで水田の周りを囲み、地温上昇のため水田の直下に配管し、暖めた不凍液を循環させている。室内の温度差をなくすために、

天井部にエアロミキサーを設置し、空気を攪拌させている。こうすることで厳冬期間も室内温度を20℃～25℃に確保することができる。灌水・薬剤散布用に可動式の大型のブームスプレーヤーを設置している。光の利用効率を上げるために、補光用のハロゲンランプを天井から外し、ビニールシート内部に移設し、側面から照射できるようにした。

また資材保管室、脱穀室、調査室など関連する6つの部屋を併設している。



図Ⅱ-1-2 全体平面図

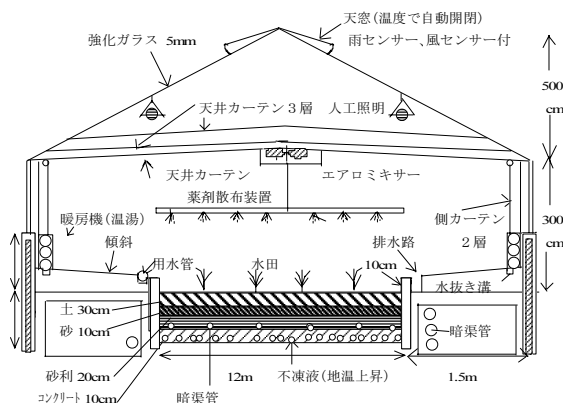
2) 世代促進栽培の実際

表Ⅱ-1-1に大型温室を利用した世代促進栽培体系を示した。年3作を想定している。原則1棟で各作付け(I～Ⅲ期作)を行い、2棟で交互作を実施し、年1/3作休耕させている。

直播栽培は8cm条播で乾田播種し、芽が出揃った後に湛水する折衷直播栽培である。施肥は元肥をN:4～5kg/10aにとどめ、生育の遅れを防ぎ、堆肥を1～2t、徒長防止用にケイ酸カルシウム資材を80kg/10a施用している。播種直後に倒伏防止用に花卉栽培用の支柱ネットを設置し、生育段階に応じネットを上昇させて利用している。

I期作は1区1㎡、50g/㎡播種する。I期作収穫後は、ひこばえが生えてこないように耕起し代掻きを行い湛水して、ガラス温室を閉め切り、高温でひこばえを死滅させる。

II期作は1区2㎡又は5㎡、穂採種用(40g/㎡)、籾採種(100g/㎡)播種する。II期作は夏期作のため、温室内は高温多湿となり、いもち病の好発条件と重なる。

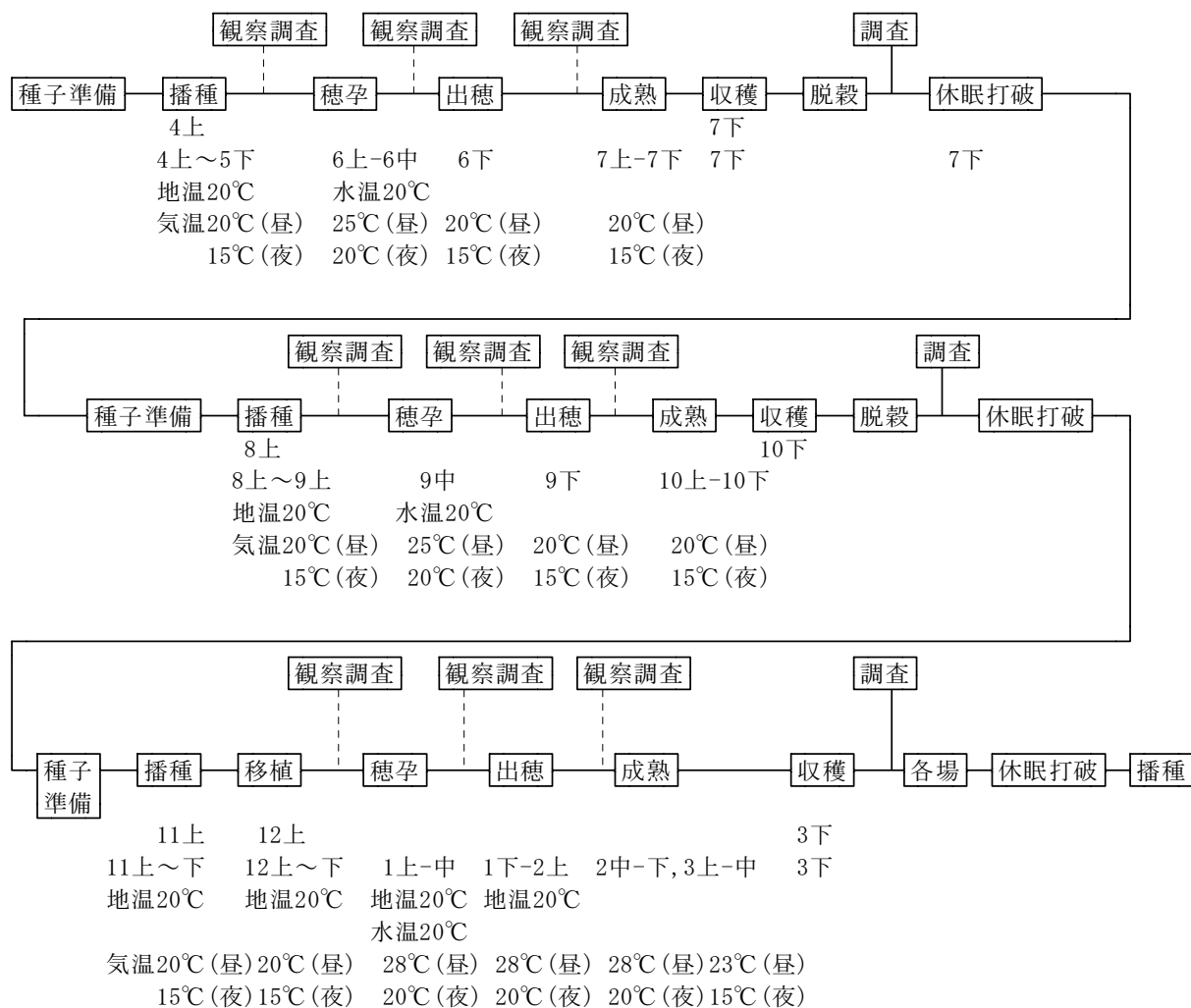


図Ⅱ-1-1 水田温室断面図

*中央農業試験場岩見沢試験地 069-0365 岩見沢市上幌向

表Ⅱ-1-1 栽培体系

作型	世代	期間	栽培方法	収穫方法
I 期作 (春作)	F ₂	4 ~ 8 月	直播栽培 (集団)	全刈り
II 期作 (夏作)	F ₃	8 ~ 11 月	直播栽培 (集団)	全刈り又は穂別採種
III 期作 (冬作)	F ₄	11 ~ 3 月	直播栽培及び 移植栽培 (個体)	全刈り又は穂別採種 個体採種



図Ⅱ-1-3 作業内容及び設定温度

発病するとすぐに蔓延するため、予防と適期防除につとめている。初期の予防剤の散布に加え、初発が認められたら、直ちに防除を行っている。

Ⅲ期作の直播栽培はⅡ期と同様に行う。移植栽培は、穂別系統選抜試験を行っている。栽植密度は36cm×14cmの粗植で、1系統5株植え、手前1株は補植用に5本植えとしている。出穂期にスプレーで止葉にマークし、熟期の判別に利用している。選抜系統は個体別に株縛りを行い収穫する。

図Ⅱ-1-3に作業内容及び設定温度を示した。各作

期の穂ばらみ期間の夜温を20℃まで上昇させ不稔の発生を防いでいる。地温は冬期間も20℃を維持する。また収穫後の乾燥調整を正確にかつ迅速に行っている。これには温室内では湿度が高く乾燥に時間がかかるため、専用の吹き抜け乾燥舎に搬入し、この中で6～7日通風乾燥させ、脱穀し秤量後、50℃で4日間(もしくは60℃で3日間)休眠打破させる。種子は24h種子消毒後、24h吸水させ播種する。播種後4～5日で出芽揃いとなる。

供試材料は道北部向けの早生品種の開発を担当する上川農試と、道央以南向けの中晩生品種の開発を担当する

中央農試の育成材料を用いる。最大、各農試100組み合わせ計200組み合わせの雑種集団を供試できる。

3)栽培予備試験結果

表Ⅱ-1-2に栽植密度試験結果を示した。畝間より株間を広げた方が、穂数は増加傾向にあった。

表Ⅱ-1-2 栽植密度試験結果

栽植密度	稈長	穂長	穂数
(25, 27.5, 30cm)×12cm	69cm	18.6cm	5.3本
〃 ×15cm	70	18.6	6.0
〃 ×20cm	68	18.5	6.8
25cm ×(12, 15, 20cm)	68	18.2	6.1
27.5cm × 〃	70	18.7	6.0
30cm × 〃	69	18.8	5.9

注1) 畝間×株間、供試品種：きらら397, 1株1本植、穂数は一株当たり

注2) 平10.11~11.4, 平11.11~12.4の2カ年平均

直播栽培において、穂別採種を行う場合、1穂の粒数確保が重要である。表Ⅱ-1-3に播種密度試験結果を示した。その結果、1穂粒数確保のためには栽植密度は50g/m²以下が良いことが判った。

4)西南暖地と大型温室との出穂期の比較

表Ⅱ-1-4に温室と鹿児島県の品種別の出穂期の比較を示した。出穂期の品種間差(早晩性)はⅠ期作で大きく、Ⅱ期作でその差が縮まる傾向にあった。鹿児島県ではⅠ期もⅡ期も北海道品種の品種間差が小さく、熟期の

表Ⅱ-1-3 播種密度試験結果

品種	播種量	稈長	穂長	一穂粒数
きらら397	25 g/m ²	54cm	10.5cm	22粒
	50 g/m ²	52	10.3	20
	75 g/m ²	49	9.9	14
	100 g/m ²	51	9.3	16
ゆきまる	25 g/m ²	48	10.9	23
	50 g/m ²	45	10.8	18
	75 g/m ²	45	9.0	15
	100 g/m ²	43	9.4	14

注) 平11.4~7, 平12.7~10.の2カ年平均

差が不明瞭であった。一方温室では品種間差特に、北海道品種と府県品種との差が大きかった。これらのことから府県品種や外国稲のように感光性の強い母材を用いた場合、鹿児島県よりも温室の方が、集団の熟期選抜に有利であることが推定された。また「ほのか224」のように、普通期栽培の早晩性と異なる反応をする品種があることが認められた。

5)世代促進栽培結果

表Ⅱ-1-5に各作期の延べ日数を示した。年次によって振れはあるものの、Ⅰ期作とⅡ期作は平均で約100日の日数を要した。Ⅲ期作は他の作期に比べ、年次の振れが大きく、所要日数も平均で約130日と長かった。Ⅰ~Ⅲ期作合計は約330日を要した。乾燥調整及び播種準備に各作期それぞれ2週間を要するので、さらに42日必要であり、3期作の栽培を行うには372日要することになる。府県では年3作の世代促進栽培が十分可能との報告があるが²⁾、年度内に収穫するためには、Ⅰ期作は3月

表Ⅱ-1-4 道南農試世促温室と鹿児島県の出穂期の比較(平成12年)

品種	早晩性	Ⅰ期作				Ⅱ期作			
		出穂期		同左きらら対比		出穂期		同左きらら対比	
		道南	鹿児島	道南	鹿児島	道南	鹿児島	道南	鹿児島
ゆきまる	早中	5.28	6.18	-8	1	9.18	9.20	-2	-4
ほしのゆめ	中早	6.5	6.17	0	0	9.18	9.25	-2	1
きらら397	中早	6.5	6.17	-	-	9.20	9.24	-	-
ほのか224	晩中	5.28	6.19	-8	2	9.17	9.23	-3	-1
ひとめぼれ	比較	6.28	6.26	23	9	10.1	9.29	11	5
コシヒカリ	比較	7.2	7.2	27	15	10.3	9.28	13	4

表Ⅱ-1-5 道南農試世代促進栽培の各作期の延べ日数

年度	Ⅰ期		Ⅱ期		Ⅲ期		合計 日数
	期間	日数	期間	日数	期間	日数	
平成11年	4/16-7/30	105	8/17-11/29	104	11/15-4/14	150	359
12年	3/29-7/6	99	7/25-10/26	93	11/14-3/26	132	324
13年	4/11-7/19	99	8/9-11/12	95	11/26-3/22	116	310
14年	3/29-7/10	103	7/23-11/14	114	11/26-4/9	134	351
15年	4/9-7/23	105	8/1-11/5	97	11/21-		
平均		102.2		100.6		133	335.8

表Ⅱ-1-6 世代促進栽培結果

1) 集団養成試験

平成14年度 供試集団及び品種	Ⅰ期作				Ⅱ期作				Ⅲ期作				
	播種量	播種面積	出穂期	籾採種	播種量	播種面積	出穂期	籾採種	播種量	播種面積	出穂期	籾採種	穂採種
雑種集団 (57集団)	30 ~50	1	5.29 ~6. 7	339 ~506	200	5	9.22 ~10. 1	795 ~1079	200	5	2.21 ~27	579	1000
ゆきまる	20	0.4	5.27		20	0.4	9.22		20	0.4	2.19		
きらら397	20	0.4	6. 2		20	0.4	9.27		20	0.4	2.26		
ほしのゆめ	20	0.4	6. 4		20	0.4	9.28		20	0.4	2.24		
巴まさり	20	0.4	6. 7		20	0.4	10. 1		20	0.4	3. 4		
あきたこまち	20	0.4	未出		20	0.4	10. 5		20	0.4	4. 1		

注) 播種量(g), 面積 (㎡), 出穂期 (月. 日), 籾採種(g), 穂採種 (本)

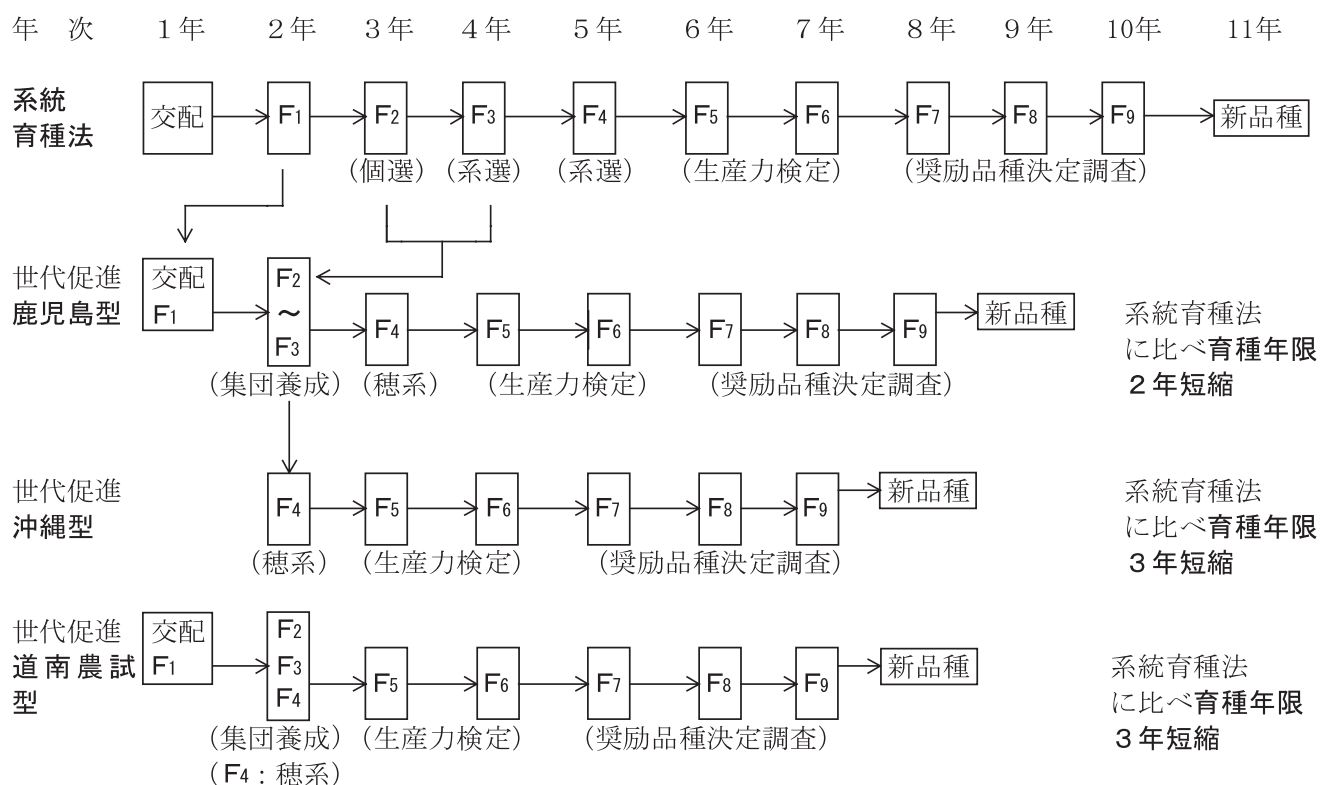
2) 穂別系統選抜試験

平成14年度 供試集団及び品種	Ⅲ期作					
	系統数	出穂期	圃場選抜	室内選抜	個体選抜	穂選抜
雑種集団(3組合せ)	2100	3.17 ~20	50~ 100	5 ~8	12 ~25	206 ~368
ゆきまる		3.10				
きらら397		3.14				
ほしのゆめ		3.12				
巴まさり		3.19				
あきたこまち		4. 4				

注) 出穂期 (月. 日)

中に播種しなければならない。また、1年以内にⅠ～Ⅲ期作を完了するには、Ⅲ期作の期間を短縮する工夫をするか、乾燥調整及び播種準備期間の短縮を工夫しなくてはならない。

表Ⅱ-1-6 に平成14年度の世代促進栽培結果を示した。Ⅰ期作の籾採種量は339 g～506 g、Ⅱ期の籾採種量795 g～1079 gで、ともに十分な採種量である。Ⅲ期作は集団栽培の籾採種は579 g、穂採種1000穂で十分な採種量である。しかし移植栽培(穂別系統選抜試験)では日射量が不足し生育が遅れ、年度内の採種が難しかった。



図Ⅱ-1-4 世代促進を利用した集団育種法と系統育種法の比較

表Ⅱ-1-7 沖縄型世代促進(集団穂抜き選抜):「ほしのゆめ」の選抜経過

年次世代		昭63		平元			平2	平3	平4
		交配	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅	F ₆	F ₇
供試数	系統群数			集団	集団	集団		3	1
	系統数			96g	250g	300g	80	6	4
	系統内個体数		200	96g	250g	300g	7	35	35
選抜数	系統群数	採種	集団	集団	穂別	穂別		1	1
	系統数	粒数	採種	採種	採種	採種	3	1	1
	個体数	250	96g	440g	500穂	80穂	2	4	10
備考			冬期温室	集団養成 鹿児島Ⅰ期	集団養成 鹿児島Ⅱ期	集団養成 沖縄Ⅲ期	穂別系統選抜	生予	生本

表Ⅱ-1-8 沖縄型世代促進(穂別系統選抜):「ほしたろう」の選抜経過

年次世代		平5		平6			平7	平8
		交配	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅	F ₆
供試数	系統群数			集団	集団	56	1	1
	系統数			104g	200g	7	3	4
	系統内個体数		54	104g	200g	7	20	40
選抜数	系統群数	粒種	集団	集団	穂別		1	1
	系統数	粒数	採種	採種	採種	19	1	1
	個体数	276	104g	582g	230穂	3	4	10
備考			冬期温室	集団養成 鹿児島Ⅰ期	集団養成 鹿児島Ⅱ期	穂別系選 沖縄Ⅲ期	生予	生本

6) 道南農試型世代促進法の問題点

図Ⅱ-1-4に世代促進を利用した集団育種法と系統育種法の比較を示した。鹿児島型は系統育種法に比べ育種年限は2年短縮される。沖縄型と道南農試型は同様に3年短縮される。沖縄型の優点として、鹿児島型Ⅱ期作経由より一世代進んでいて、固定度が良いことがあげられるが¹⁾、道南農試型でも、同様な利点がある。沖縄型と道南農試型の違いは、沖縄型が鹿児島型の材料の一部を穂別系統試験として供試するのに対して、道南農試型は同一場所でⅢ期作行い、さらに育種規模が沖縄型の10倍以上ある点にある。表Ⅱ-1-7に「ほしのゆめ」

の、表Ⅱ-1-8に「ほしたろう」の選抜経過を示した。「ほしのゆめ」の穂採種は80穂、「ほしたろう」の穂別系統数は56系統にすぎず、道南農試型では10倍以上の規模で試験が可能である。

しかし、年に3作とする育種年限の短縮はⅢ期作の移植栽培が順調に進んだ場合であり、そのために改善しなければならない点が多い。保温のため3重のビニールシートで覆われ、温室内は低日射条件に置かれるため、分けつ発生が著しく抑制され、穂数確保が難しい問題がある。その結果、次年度生産力検定予備試験に供試する場合、採種量が不足する懸念が残る。改善策として、健苗の育

表Ⅱ-1-9 世代促進集団内の出穂期の変異(平成15年)

試験番号 (J)	交配組合せ		育種目 標	Ⅰ期 (F ₂)				Ⅱ期(F ₃)			備考
	母	父		播種量 (g)	播種面 積 (㎡)	出穂期	採種量	播種量 (g)	播種面 積 (㎡)	出穂期	
22-1	上01交311	上育445号	直播	80	2	6.18	702	200	2	9.29	上01交311
-2									200	2	10. 3
31	ゆきまる			20	0.4	6.14	330	20	0	9.24	
32	ほしのゆめ			20	0.4	6.13	334	20	0	9.25	
33	きらら397			20	0.4	6.13	397	20	0	9.25	
34	彩			20	0.4	6.16	315	20	0	9.26	
35	はくちょうもち			20	0.4	6.12	279	20	0	9.23	

成・補光・地温上昇・側条施肥により，初期分けつの促進を図ることが考えられる。今後改善を要する点である。

表Ⅱ-1-9 に平成15年に温室の世代促進栽培した集団内の出穂期の変異を示した。Ⅰ作で登熟の早い粳と遅い粳とに振り分け，それぞれ等量播種した結果，Ⅱ期の出穂期で4日の差が認められた。これは集団内で熟期の選抜が可能であることを示している。今後は集団内の変異幅を拡大しつつ，熟期による選抜圧をかけ，希望の熟期の材料を得ることも育種上，有効であると考えられる。

参考文献

- 1) 仲野博之，佐々木多喜雄，三分一敬，関口久雄，佐々木一男，相田隆男．“優良米の早期開発試験プロジェクトチーム第Ⅰ期(昭和55年～61年度)の試験研究成果”．道立農試資料．19, 11-18(1988)．
- 2) 酒井寛一，高橋隆平，明峰英夫監修．“植物の集団育種法研究”．養賢堂．1958. 233-238
- 3) 丹野 久，沼尾吉則，佐々木忠雄．“水稻世代促進試験鹿児島41年・沖縄21年の軌跡”．中央農試作物開発部編集．2000. 1-10.

2. 耐冷性の素材と育種戦略

木 下 雅 文*

はじめに

北海道における稲作の過去100年を振り返ってみると、ほぼ4年に1回の割合で冷害が起きている。近年は冷害となっても収量低下は比較的小さいものの、平成5年(全道水稻作況指数⁴⁰⁾や平成15年(同73)のような厳しい冷害年には大きな減収は避けられず、未だ冷害を克服したとは言い難い。平成15年の冷害においては、最近の良食味米生産を目指す中での窒素減肥、穂ばらみ期深水などの栽培管理の励行および作付品種の耐冷性向上などによって、過去の冷害年に比べ被害が軽減されたとの評価がある。しかし、やはり大きな減収を避けられなかったため、今までより一層耐冷性を強化した品種の必要性が改めて認識された年でもあった。

1) 耐冷性検定法と育種

北海道において冷水掛け流しによる耐冷性検定が初めて行われたのは、昭和11年(1936)北海道立農業試験場上川支場である¹¹⁾。以後、検定法は改良が重ねられ、現在では極早生種の穂ばらみ期から晩生種の出穂期まで19℃前後の冷水をかけ流す、中期冷水掛け流し検定法による耐冷性の検定が行われている。この検定は現在、道立の上川、中央、道南の各農試および北海道農業研究センターで行われているため、奨励品種決定試験に供試される系統は複数場で検定が行われ、高い精度で耐冷性の評価がなされている。また、遅延型耐冷性および開花期の障害型耐冷性は上川農試で人工気象室を使った検定を行っている¹⁴⁾。耐冷性素材の選抜法は、大量の材料が扱えるため冷水掛け流し圃場に供試し不稔発生の少ない個体、系統を選抜する方法が採られている。人工気象室はスペースや精度、労力の問題のため現在は奨励品種決定試験供試系統の耐冷性評価のみで、選抜には用いられていない。

2) 耐冷性検定の試み

従来の知見から、障害型冷害の最も危険な時期は穂ばらみ期、次いで開花期であることが知られているが、この二つの耐冷性には一定の関係が認められない^{10),13)}か、相関関係があるものの密接なものではない^{15),4)}との報告がある。また、穂ばらみ期における冷温感受性の期間は

品種により長いものと短いものがあり、この長短は感受性が最高の時の不受精歩合の大小とは必ずしも一致しない^{2),6),7),8),9)}。すなわち、影響を受ける期間が長い品種(U字形)と影響を受ける期間が短い品種(V字形)がある³⁾。さらに、幼穂形成期以後穂ばらみ期前までの、「前歴」期間および穂ばらみ期以後の「後歴」期間の低温は、それ自身では不稔の発生は少ないが、穂ばらみ期又は開花期の低温と重なると不稔を助長させることが知られている¹⁾。また、圃場の一般栽培における不稔率と冷水掛け流し検定による耐冷性の評価が必ずしも一致しない場合がしばしば見受けられ、このことは、穂ばらみ期の耐冷性を評価しただけでは、その品種の生育期間全体での耐冷性を評価したことにはならないことを示している。また、開花期耐冷性検定についても同様である。

以上のことから、品種の耐冷性を考えるときには幼穂形成期から開花期までの長期にわたって耐冷性を知る必要があると考えられる。また、前歴期間、穂ばらみ期、後歴期間、開花期それぞれの冷温の組合せでどのように不稔が変化するかという点についても品種間差がある可能性がある。

平成15年上川農業試験場の人工気象室において後歴処理、開花期処理の組合せで耐冷性はどう変化するか予備的な試験を行った。この試験は処理温度17.5℃、処理期間14～15日間の中期処理で行った。

<試験の種類>

- ・試験①：品種別の後歴(穂ばらみ期以後開花期前まで)、開花期の冷温及びその二時期の冷温の組合せに対する耐冷性に関する試験
- ・試験②：「きらら397」、「はくちょうもち」の穂ばらみ期以後の耐冷性に関する試験

<材料および試験方法>

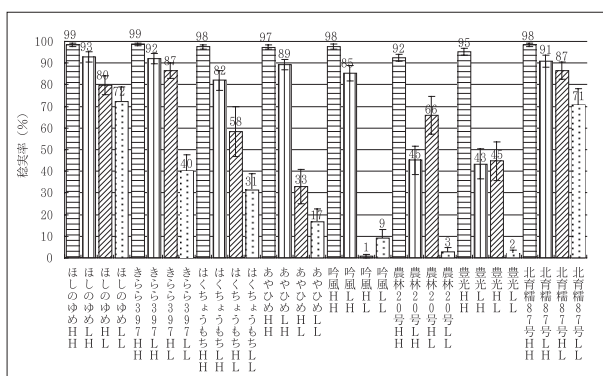
試験①は「はしのゆめ」、「きらら397」、「はくちょうもち」、「あやひめ」、「吟風」、「農林20号」、「豊光」、「北育糯87号」。試験②は「きらら397」、「はくちょうもち」。冷温処理は、人工気象室内で17.5℃、14日間(①)または15日間(②)とし、天井部には遮光率50%の遮光幕を張った。①の後歴処理は、1ポット当たり1穂以上の葉耳間長が+になった日から処理を開始した。対照区は人工気象室内で26℃(9時～17時)/20℃(17時～9時)で栽培し

*上川農業試験場 078-0387 上川郡比布町

た。材料養成は丹野ら¹⁾の方法に従い、長さ15×幅5×高さ10cmのポットを用いた。1ポットは8株栽植し、1ポット当たり窒素成分量で0.13gを施用した。播種は5月12日で処理期間外の材料は人工気象室、ガラス室で養成した。穂ごとに出穂日を札付けし、成熟期に刈り取ったあと、出穂日毎に触手による稔実調査を行った。

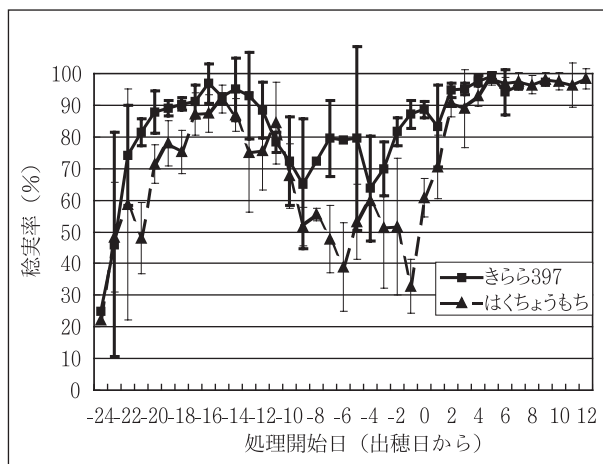
〈結果〉

・試験① 処理終了日から出穂日までが6日～1日のものを後歴期間処理区、処理開始日から出穂日まで3日～0日のものを開花期処理区とし、そのどちらの期間にも冷温処理したものを後歴+開花期処理区とした。「農林20号」、「豊光」は後歴期間のみの冷温に弱い。その他の品種・系統では後歴期間のみの冷温では不稔の発生が少ない。「吟風」は特に開花期の冷温に弱い。「あやひめ」も弱く、「豊光」、「はくちょうもち」はやや弱い。(これは、丹野ら¹⁵⁾、木下ら³⁾の結果と同じ)。「はしのゆめ」、「北育糯87号」は二時期の冷温を組み合わせたときも強い。「きらら397」は後歴+開花期の冷温で稔実率が低下し、「農林20号」、「豊光」では著しく低下した。(図Ⅱ-



図Ⅱ-2-1 各品種系統の後歴、開花期および後歴+開花期冷温処理の稔実率

注) 図中のHHは対照区, HLは開花期処理区, LHは後歴処理区, LLは後歴+開花期処理区を表す。



図Ⅱ-2-2 「きらら397」と「はくちょうもち」の穂ばらみ期以後冷温処理時の稔実率

2-1)

・試験② 図Ⅱ-2-2のように、「はくちょうもち」は穂ばらみ期の耐冷性が「強」、「きらら397」は「やや強」であるが、後歴期間以降、開花期を含めた耐冷性は「はくちょうもち」の方が弱い傾向にあった。

〈考察〉

- ・後歴のみの処理でも稔実率が大きく低下する品種がある(豊光, 農林20号)。
- ・開花期の耐冷性が極端に弱い品種(吟風)があり、穂ばらみ期の耐冷性評価と異なる。
- ・後歴+開花期の冷温処理により、個別の冷温処理よりも稔実率は低下するが、その低下程度には品種により違いがある。
- ・穂ばらみ期以後、開花期を含めた耐冷性は「きらら397」より「はくちょうもち」の方が弱い。

との結果となった。

前述したように冷害年には、一般圃場での不稔率が冷水掛け流し検定の結果と必ずしも合致しない場合があるが、上記の結果は、ある程度この疑問に答えているのではないだろうか。この試験から、品種毎に幼穂形成期～開花期の各時期における冷温に対する耐冷性や、冷温を受ける時期の組合せによる感受性の違いについて知る必要が示されたものと思う。

同様な試験を継続して行い、知見を広げた上で穂ばらみ期以外で耐冷性の強化が必要とされれば、それに対応した選抜法、検定法が必要になるだろう。ただし、選抜法、検定法については、育種現場で利用するためには大量の材料を同時に簡便に処理できることが必要であり、開花期耐冷性の奨励品種決定試験供試系統以外の検定は現段階では難しい。この点は今後検討すべき課題である。

3) 食味と耐冷性の結合

北海道では、平成14年末の政府による米政策改革大綱の策定に伴い「売れる米」作りへの転換が急務となるなかで、「コシヒカリ」並極良食味品種の早期開発が生産者および実需者から要望されている。また同時に、冷害に強く安定生産できる品種を望む声も大きい。このような要望に答えるうえで今までも増して、極良食味と耐冷性の結びつけは非常に重要な育種目標となっている。

良質、良食味と耐冷性の結合については北海道で稲作が始まってから、時にその重み付けは違えども、一貫して求められてきた目標であった。かつて良食味といわれた「早生錦」、「豊光」、「農林20号」などの品種は耐冷性が弱く、良質、良食味と耐冷性の結合は難しい課題といわれてきたが、昭和55年からの「優良米早期開発プロジェ

クト(I～IV期)」における、「ゆきひかり」(耐冷性強)、「ほしのゆめ」(耐冷性強)等の育成により、かなりの進歩を遂げた。現在求められているのは、「大地の星」(耐冷性極強)レベルの耐冷性と“コシヒカリ”級の極良食味の結合である。また、糯米においてはより厳しい気象条件の地域での作付が行われているため、耐冷性「極強」レベルの実用品種の早急な開発が必要である。

平成15年、上川農業試験場で耐冷性「極強」の品種「大地の星」が育成された。他に北海道梗米の耐冷性「極強」品種には、「初雫」「はやゆき」がある。良食味品種では「ほしのゆめ」、その後に育成された「ななつぼし」(中央農試育成)、「ふっくりんこ」(道南農試育成)はいずれも耐冷性「強」である。糯米では「風の子もち」が「極強」,「はくちょうもち」が「強」である。酒造好適米では「吟風」の穂ばらみ期耐冷性が「やや強」であり、開花期耐冷性は「極弱」と判定されている。

耐冷性の強化が最も急がれるのは、道内でも厳しい栽培条件の地域で作付けされている、糯米である。現在最も多く作付けされている早生の「はくちょうもち」の耐冷性は十分とは言えず、早生で耐冷性「極強」レベルの品種育成が緊急の目標となる。良食味品種でも次の目標は耐冷性「極強」レベルである。「大地の星」が育成されたことにより、その実現の可能性は高くなった。酒造好適米については「吟風」は穂ばらみ期、開花期ともに耐冷性に問題があるため、穂ばらみ期耐冷性とともに関花期耐冷性も強化した品種の育成が求められる。さらに、

より高いレベルの耐冷性品種を育成するためには、現在の極強品種を上回る耐冷性を備えた母本の作出も必要である。

4)耐冷性の素材

現在、北海道の奨励品種の中では、「大地の星」および「初雫」の耐冷性が最も強く、「極強」である。ただしこれらは加工用品種であり、良食味品種としては「ほしのゆめ」「ななつぼし」「あきほ」「ふっくりんこ」の「強」が最も強い。糯品種では「風の子もち」が「極強」であるが、近年の検定結果では「強～極強」と判定されることが多い。

過去に育成された系統の中では「北育糯88号」がかなり強く、「極強」の中でも高いレベルにある。上川農試で育成した系統の中にはこれと同等かそれ以上の耐冷性の素材が認められている(表Ⅱ-2-1)。ただし、これらの系統は耐冷性以外には多くの不良形質を持っており、良質、良食味性との結合には時間がかかることが予想される。

5)今後の耐冷性育種の目標と戦略

以上の目標を達成するためにはいくつかのアプローチが考えられる。優良米早期開発プロジェクト(I期)資料の中で佐々木は、耐冷性向上のための育種戦略として、3つの方向性を挙げた¹²⁾。一つは北海道耐冷性品種間の交雑であり、もう一つは早熟耐冷外国稲品種の利用、3

表Ⅱ-2-1 上川農試冷水かけ流し圃場における耐冷性極強系統(上川農試育成)の成績

試験年次		1999		2000		2001		2002		2003		平均		供試年数
品種・系統名交配組合せ		触手 稔実 歩合 (%)	判定	触手 稔実 歩合 (%)	判定	触手 稔実 歩合 (%)	判定	触手 稔実 歩合 (%)	判定	触手 稔実 歩合 (%)	判定	触手 稔実 歩合 (%)	判定	
'90DSW6	Silewah/ゆきひかり//キタアケ	73.6	RR	72.1	RR	33.3	RR			63.8	RR	60.7	RR	4
上系91409	CI107/2*キタアケ	37.6	RR	68.1	RR	17.8	RR			55.1	RR	44.7	RR	4
上系91411	昆明小白谷/2*キタアケ	47.2	RR	72.5	RR	13.9	RR			49.3	RR	45.7	RR	4
'92DSW1505	永系88295-L/道北50号	68.1	RR	82.2	RR	28.4	RR			45.6	RR	56.1	RR	4
'92DSW1524	永系88295-L/道北50号	53.0	RR	78.7	RR	41.3	RR			64.5	RR	59.4	RR	4
'92DSW1540	永系88295-L/道北50号	36.8	RR	81.3	RR	21.5	RR			46.8	RR	46.6	RR	4
上系95082	上系91409/道北50号	39.9	RR	73.9	RR			25.7	RR	48.9	RR	47.1	RR	4
上系99253	ふ系167号/上育418号//上育418号			74.1	RR			39.7	RR	46.2	RR	53.3	RR	3
上系99254	ふ系167号/上育418号//上育418号			65.6	RR			11.5	RR	51.5	RR	42.9	RR	3
永系88223	藤坂中母42号/道北36号	53.2	RR	73.2	RR	23.1	RR	21.1	RR	47.2	RR	43.6	RR	5
北育糯88号	北育糯79号/道北47号	46.9	RR	71.2	RR	11.0	RR	28.4	RR	56.8	RR	42.9	RR	5
初雫				71.3	RR	8.6	RR	10.2	RR	41.2	RR	32.8	RR	4
ほしのゆめ				45.4	R	1.4	R	10.4	R	44.4	RR	25.4	R	4
ゆきひかり		5.9	r	45.2	R	0.0	—	0.5	—	10.3	R	12.4	-	5

注1) 水口区の結果のみ

注2) 判定のRRは極強, Rは強, rはやや強, を表す。—は判定不能。

つ目には突然変異育種による方法である。この時から20年余りが経過したが、これら3つの育種戦略のうち実際に品種に結びつく成果を上げたのは一つ目の北海道耐冷性品種間の交雑であった。外国稲の利用に関しては母本が作出され利用されているが、品種には結びついていない。突然変異による耐冷性の向上は殆ど成果を上げなかった。これは、外国稲、突然変異を利用した育種では、目的形質以外の劣悪形質を取り除くのに大きな苦勞と年月を要することから、品種にまでは結びつきにくかったと考えられる。

今後も、品種開発に当たっては北海道耐冷性品種、系統間の交雑が最も実用的であることは変わらないであろう。「ほしのゆめ」で達成できた(あきたこまち/道北48号(耐冷性やや強~強)//きらら397(同やや強))、耐冷性選抜による作用の異なる耐冷性遺伝子の集積も期待できる。

しかし一方で、遺伝背景が近い組合せからはこれ以上の耐冷性強化が難しくなる可能性もある。そのため、遺伝背景の異なる外国稲などから耐冷性を取り入れた(表Ⅱ-2-1に示した90DSW6のような)母本の利用もより進めていく必要がある。近年、障害型耐冷性に関するDNAマーカーの開発が進められており、その利用により、従来より早期に外国稲由来の強い耐冷性を取り込むことも可能になるであろう。圃場での選抜においては、冷水掛け流しを利用した選抜が最も実用的であるが、これに人工気象室を利用した選抜も加え、幼穂形成期から開花期までいずれの期間においても強い耐冷性を持つ品種を開発できるよう選抜法や検定法の改良に努めていくことが必要である。

引用文献

- 1) Ito, N. "Male Sterility Caused by Cooling Treatment at the Young Microspore in Rice Plants. XV. Effect of moderate cooling before or after the critical stage on the sterility induced by cooling at the critical stage." Proc. Crop Sci. Soc. Japan. **45**, 558-562(1976).
- 2) 柿崎洋一, 木戸三夫. "水稻の穂の生育過程上低温による稔実障害を来し易き時期". 農業及び園芸. **13**, 59-62(1938).
- 3) 角田公正, 和田純二, 金沢俊光, 佐藤享一. "水稻冷害の実験的研究 第25報 幼穂発育期における低温障害の品種間差異". 日作紀. **36**, 525-526(1967).
- 4) 木下雅文, 丹野 久, 木内 均, 平山裕治, 菊地治己. "北海道新旧水稻品種の開花期耐冷性について". 育種・作物学会北海道談話会会報. **40**, 31-32(1999).
- 5) 木下雅文, 丹野 久, 沼尾吉則. "北海道水稻品種の開花期耐冷性評価—年次変動と基準品種の選定—". 育種・作物学会北海道談話会会報. **43**, 23-24(2002).
- 6) 近藤頼巳. "水稻の冷害現象に関する実験的研究 第5報 幼穂期の寡照低温に因る稔実障害の品種間差異". 農業及び園芸. **18**, 809-814(1943).
- 7) 近藤頼巳. "水稻品種の冷害抵抗性について". 農業及び園芸. **19**, 941-942(1944).
- 8) 近藤頼巳. "水稻品種の冷害抵抗性に関する生理学的研究". 農業技術研究所報告. D3, 113-228(1952).
- 9) 近藤頼巳. "水稻品種の冷害抵抗性の研究 [1]". 農業及び園芸. **31**, 905-908(1956).
- 10) 松永和久, 朴 春実, 佐々木武彦. "水稻主要品種の開花期耐冷性". 育種学雑誌. **35**(別1), 156-157(1985).
- 11) 三分一敬 監修. "北海道における作物育種". 北海道協同組合通信社. p 9 (1998).
- 12) 佐々木多喜雄. "水稻の耐冷性育種". 北海道立農業試験場資料. **15**, 121-130(1982).
- 13) 佐竹徹夫, 小池説夫. "イネの開花期冷温処理による不稔—開花期耐冷性の品種間差異および穂孕期耐冷性との関係—". 日作紀. **51**(別1), 115-116(1982).
- 14) 丹野 久, 木内 均, 平山裕治, 菊地治己. "人工気象室を用いた水稻開花期耐冷性の簡易検定法の開発". 日作紀. **69**(1), 43-48(2000).
- 15) 丹野 久, 木下雅文, 木内 均, 平山裕治, 菊地治己. "北海道水稻品種における開花期耐冷性の評価およびその穂ばらみ期耐冷性との関係について". 日作紀. **69**(4), 493-499(2000).

3. バイテク技術の稲育種への適用

木 内 均*

近年、水稻以外の作物において遺伝子組み換え技術を利用した品種開発が世界的に数多く行われるようになってきた。国内においても、それら品種や食品の安全性審査が行われ、多数認可されてきている。この「作物の遺伝子組み換え技術」について概略を記述する。

現在、植物細胞への遺伝子導入の方法としては、アグロバクテリウム法、エレクトロポレーション法、パーティクルガン法の3つがある。

アグロバクテリウム法は土壌細菌のアグロバクテリウムが持つ、自らのDNAを植物のDNAに組み込む能力を利用する方法で、目的遺伝子(DNA)セットを持たせたアグロバクテリウムを葉片などに感染させ、それを培養して形質転換された植物体を得る。

エレクトロポレーション法はプロトプラストと目的遺伝子(DNA)の混合液に電極をセットし、直流パルスを与えることにより細胞膜に微小な穴をあけ、遺伝子を細胞内に導入する。このプロトプラストを培養し、植物体を得る。

パーティクルガン法は金属などの微粒子表面に目的遺伝子(DNA)をコーティングし、空気銃の原理を用いた装置でカルスなどに打ち込む。このカルスなどを培養し、植物体を得る。

上記の方法において遺伝子が導入された細胞を選抜するためには、目的遺伝子にハイグロマイシンやカナマイシンといった抗生物質に対し抵抗性を持つ遺伝子を連結させて導入作業を行い、培地にそれら抗生物質を入れておいて目的遺伝子が導入された細胞のみが生育できるようにして培養を行う。

これらの方法により作出される遺伝子組み換え作物は、その導入形質により、第1世代と第2世代に分けられる(図Ⅱ-3-1)。

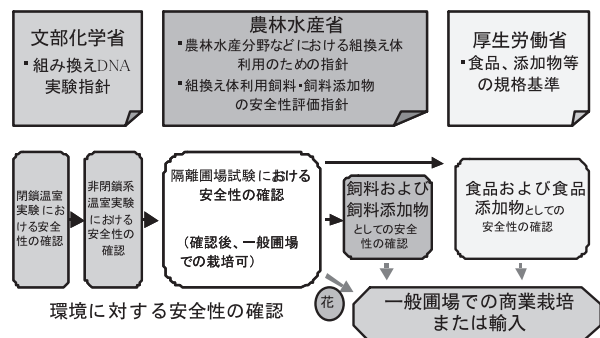
第1世代は除草剤抵抗性、害虫抵抗性、ウイルス抵抗性、耐塩性、耐乾性、低温耐性など、農家での栽培のための形質が中心であり、第2世代は植物ワクチン、ビタミンA補強、ミネラル補強、酵素、抗体など、消費者に向けた機能性物質生産が中心となっている。このことから、第1世代は種苗会社や生産者側の利益重視の印象が強く、消費者から敬遠されることとなった。第2世代に

第1世代	第2世代	
除草剤抵抗性	植物ワクチン	スギ花粉症予防
害虫抵抗性	ビタミンA 補強	酵素
ウイルス抵抗性	ミネラル補強	抗体
耐塩性	コレステロール値低下	糖脂質
耐乾性	高血圧予防	繊維
低温耐性	骨粗しょう症予防	粘着物質
	肥満・動脈硬化予防	医療用タンパク
	感染症予防	その他

図Ⅱ-3-1 遺伝子組み換え形質の変遷

入り、徐々にその有益性が認められるようになってきたが、特に日本国内においては受容されていない。

一方、遺伝子組み換え作物の安全性評価の体制は文部科学省、農林水産省と厚生労働省により整えられてきた(図Ⅱ-3-2)。閉鎖系あるいは非閉鎖系温室における実



図Ⅱ-3-2 遺伝子組み換え安全性評価の流れ

験、研究については文部科学省の「組み換えDNA実験指針」、隔離圃場を用いた研究、栽培試験については農林水産省の「農林水産分野などにおける組換え体利用のための指針」(以下のホームページ参照)

<http://www.s.affrc.go.jp/docs/sentan/guide/guide.htm>,

飼料および飼料添加物については、同省の「組換え体利用飼料・飼料添加物の安全性評価指針」。食品および食品添加物については、厚生労働省の「食品、添加物などの規格基準」

<http://www.mhlw.go.jp/topics/identshi/index.html>によりそれぞれ安全性の評価が定められてきた。

平成12年1月に採択された「生物の多様性に関する条

*上川農業試験場 078-0387 上川郡比布町

約のバイオセーフティーに関するカルタヘナ議定書」に基づき、国内措置法として「遺伝子組み換え生物などの使用などの規制による生物の多様性の確保に関する法律」が平成15年6月18日に交付され、平成16年2月19日から施行された。

http://www.mext.go.jp/a_menu/shinkou/seimei/main.htm

これにより、今まで適用されてきた「組み換えDNA実験指針」は廃止された。

これらの安全性審査を経て、遺伝子組み換え作物あるいはそれらを用いた食品は市場へ出ていくことになる。平成15年5月現在で、安全性が確認され、国内で栽培が可能となっている作物は水稲20件、小豆1件、大豆4件、トウモロコシ19件。この時点で食品としての安全性が確認されているものはジャガイモ5件、大豆4件、テンサイ1件、トウモロコシ12件、ナタネ15件、ワタ7件である(表Ⅱ-3-1)。

<http://www.s.affrc.go.jp/docs/sentan/guide/develop.htm>

その後、平成16年7月までに作物としての安全性の確認としてイネ4件、トウモロコシ7件、ワタ2件、カー

表Ⅱ-3-1 遺伝子組み換え作物安全性評価状況
(平成15年5月現在)

	非閉	隔離	栽培		非閉	隔離	栽培
イネ	0	24	20	イチゴ	0	2	0
アズキ	0	0	1	パパイヤ	0	0	1
コムギ	0	1	0	メロン	0	0	1
ジャガイモ	16(食5)	2	0	カーネーション	0	11	17
ダイズ	0	1	4(食4)	キク	0	0	3
テンサイ	2(食1)	0	0	トレニア	0	0	2
トウモロコシ	0	10	19(食12)	ペチュニア	0	0	1
カリフラワー	0	1	1	ワタ	0	4	10(食7)
キュウリ	0	1	3	タバコ	0	7	0
トマト	0	0	11	アルファルファ	0	6	0
ナタネ	0	0	15(食15)	ベントグラス	0	3	0
ブロッコリ	0	1	1	メシバ	0	2	0
レタス	0	2	0				

ジャガイモ	害虫抵抗性、ウイルス抵抗性:8
ダイズ	除草剤耐性:3、高オレイン酸:1
テンサイ	除草剤耐性:3
トウモロコシ	害虫抵抗性、除草剤耐性:9、除草剤耐性:5、害虫抵抗性:4
ナタネ	除草剤耐性:13、除草剤耐性、雄性不稔性:2
ワタ	害虫抵抗性、除草剤耐性:2、除草剤耐性:5、害虫抵抗性:3 数字は件数を示す

図Ⅱ-3-3 遺伝子組み換え食品の安全性確認状況
(平成16年7月)

ネーション1件が追加され、食品としての安全性の確認としてジャガイモ3件、テンサイ2件、トウモロコシ6件、ワタ3件が追加された(図Ⅱ-3-3)。

イネにおける遺伝子組み換えとしては「酒造用低タンパク、イネグルテリン遺伝子アンチセンス」、「低アレルゲン、イネアレルゲン遺伝子アンチセンス」、「いもち病抵抗性、イネキチナーゼ遺伝子」、「低温耐性、グルタチオンS-トレンスフェラーゼ遺伝子」、「ラクトフェリン生産、ラクトフェリン産出遺伝子」、「トリプトファン生産、アントラニル酸合成酵素αサブユニット改変型遺伝子」、「高光合成、トウモロコシC4型PEPC遺伝子」等が作出され、隔離圃場や一般圃場での栽培安全性の確認が行われている(図Ⅱ-3-4)。

酒造用低タンパク	イネグルテリン遺伝子アンチセンス	1998栽培安全確認
低グルテリン	イネグルテリン遺伝子アンチセンス	1999隔離圃場安全確認
低アレルゲン	イネアレルゲン遺伝子アンチセンス	1995栽培安全確認
いもち病抵抗性	イネキチナーゼ遺伝子	2001隔離圃場安全確認
低温耐性	イネ由来グルタチオンS-トレンスフェラーゼ遺伝子	2003隔離圃場安全確認
ラクトフェリン生産	ラクトフェリン産生遺伝子	2000隔離圃場安全確認
トリプトファン生産	アントラニル酸合成酵素αサブユニット改変型遺伝子	2003隔離圃場安全確認
高光合成	トウモロコシC4型PEPC遺伝子	2003栽培安全確認

図Ⅱ-3-4 イネの遺伝子組み換え安全性確認状況

<http://www.s.affrc.go.jp/docs/sentan/guide/develop.htm>

最近のイネにおける遺伝子組み換えの事例としては、平成15年12月に、より安心感を与える組み換え作物を目指し、可食部で導入遺伝子を働かせない技術を用いた“複合病害抵抗性を付与した組み換えイネ”が作出された。(独立行政法人 農業・生物系特定産業技術研究機構 中央農業総合研究センター 北陸研究センター)
<http://narc.naro.affrc.go.jp/chousei/shiryou/press/press.htm>

また、昨年度は北海道農業研究センターにおいて、情報提供、安全性対策に非常に気を配りつつ“トウモロコシC4型PEPC遺伝子を導入した組み換えイネの開放形利用”の試験が行われ、
<http://cryo.naro.affrc.go.jp/kikaku/info/GMrice/index.htm>

今年度は農業生物資源研究所で“草型を改変した組換えイネの生物多様性影響評価”として隔離圃場における試験が実施されるなど、実用に向けた圃場試験が行われている。

<http://www.nias.affrc.go.jp/gmo/gmotop.html>

平成16年7月31日と9月9日には遺伝子組み換えイネ「高トリプトファン含量イネ」の圃場観察会が作物研究所において行われている。

<http://nics.naro.affrc.go.jp/gm-rice/index.html>

しかし、その一方で「スギ花粉症予防効果ペプチド含有イネの生物多様性影響評価」については、計画説明会などでその内容を説明し周辺への影響が懸念される花粉の飛散も無いことが説明してきたが、「風評による農業などへの影響を懸念する地元の声が強い」という理由により隔離圃場での栽培試験が中止されるという事態も起きている。(平成16年5月26日)

— 追記 —

米セミナー開催以後、遺伝子組み換え問題に関連して情勢が変化した。以下、追記の形で記載する。これら遺伝子組み換え作物や食品の情報は、各省のホームページや関係試験機関による説明会などに加え、直接的には食品への表示により消費者へ伝えられる。この表示については、農水省管轄のJAS法による表示と、厚生労働省管轄の食品衛生法による表示がある。それぞれ、「消費者の選択の資とするため」、「公衆衛生の見地から」と目的が少々異なっているが、現在両者の表示基準をすりあわせている段階である。表示の方法は原材料について「遺伝子組み換え」(義務表示)、「遺伝子組み換え不分別」(義務表示)、「非遺伝子組み換え」(任意表示)となる。この表示は平成13年4月以降、義務づけされている。しかし、実際の流通場面では「遺伝子組み換え」と表示している商品はほとんど見られない。これは消費者の遺伝子組み換え食品に対する不安やイメージによる抵抗感を恐れ、原材料に遺伝子組み換え作物を利用することを極力避けている事が原因の一つであると考えられる。北海道においてもこの不安やイメージによる風評被害を恐れ、平成13年第2回定例道議会知事答弁において「現在、道立農業試験場におきましては、農林水産省プロジェクト研究の中で、将来に向けた基礎技術の習得を目的として、遺伝子導入技術を用いた病害抵抗性等を持つバレイショの研究を行っており、道としては、当面基礎的分野の研究に取り組んで参りたいと考えております。」との発言がなされ、遺伝子組み換えによる品種開発は当面行わない旨が示された。平成16年3月5日には「北海道における遺伝子組換え作物の栽培に関するガイドライン」が策定されている。

そのような状況の中、平成16年9月、空知管内長沼町の西南農場において次年度遺伝子組み換え大豆の栽培を計画して話題になった。地元を中心に対応が検討され、風評被害の恐れと主要農作物大豆栽培の仕切りとして栽

培を中止していくこととした。北海道としてもこのような遺伝子組替え作物の栽培について規制を設けることとしている。

現在、日本国外では大豆総栽培面積の約55%が遺伝子組み換え大豆であり、その中でアメリカでは大豆栽培面積の80%、アルゼンチンでは99%が遺伝子組み換え大豆となっている。トウモロコシでは総栽培面積の11%、ナタネ(カノーラ)では16%、ワタでは21%が遺伝子組み換えとなっている。また、遺伝子組み換え作物栽培農家戸数は18ヶ国700万戸で、そのうち85%以上が発展途上国の農家となっている。農業環境や経済事情などによっては遺伝子組み換え作物が受け入れられている様子がうかがえる。

現状、日本においては遺伝子組み換え作物について消費者の十分な理解は得られていないため、風評被害による生産者へのデメリットが生じる可能性は大きいと言わざるを得ない。その点において、この西南農場の計画は大きな問題として取り上げられている。

しかし、遺伝子組み換え技術は有用な形質導入において革新的な成果を可能にするため、今後北海道としても取り組むことについて検討を深めなくてはならないと考える。その技術を品種開発に利用し、生産者や消費者に利益をもたらす道を開くにはいくつか解決すべき問題がある。

まず第一は消費者の理解を得ること。そのためには積極的に情報を公開し、シンポジウムや討論会などによる、研究、開発側からだけでなく双方向の情報交換を活用した検討を行っていくことが必要である。また一方で、食品への積極的な遺伝子組み換え作物利用の表示も消費者の信頼を得る上では必要と考えられる。

第二には、目的形質の遺伝子および発現機構の解明。これまで解明されてきた遺伝子組み換え第二世代の形質、遺伝子に加え、より消費者利益ひいては生産者利益につながる形質の遺伝子やその発現機構を明らかにし、利用可能な情報を得ていくことが必要である。

第三には設備投資。前述の問題解決がある程度前提となり、投資効果が説明できる環境が必要ではあるが、周辺環境への影響を確実に遮断し、安全、安心に試験、研究できる設備を整え、技術開発、素材開発をしていくことが遺伝子組み換え技術を利用した品種開発の下地には必要である。

以上、遺伝子組み換えについて記述したが、この技術の利用に際しては、消費者の理解を背景として、慎重な対応をとることと、その一方で、伝統的な育種技術と併せた利用による革新的な品種開発に寄与することを期待したい。

Ⅲ. 良質米に向けた新たな選抜技術

1. 米の食味に関するDNAマーカーの開発と利用

佐 藤 毅*

はじめに

現在の北海道米は、府県品種と比較して食味関連形質であるタンパク質およびアミロース含有率が1～2%高い傾向にある。「道水田農業の展開方向」の一つである高品質米生産割合を高めるためには、安定的にそれら含有率が低下した品種を開発する必要がある。これを達成するためには、低タンパク質の母本を利用、食味特性に関する突然変異を誘発、および道が保有する遺伝資源の中から有用素材を探索することも重要である。

平成14、15年の2年間、北海道は冷害に遭遇している。栽培的に深水灌漑等で軽減させる技術があるが、品種の穂ばらみ期および開花期の耐冷性を強化する必要がある。また、いもち病は、水稻の重要病害である。現在の良食味品種は、いもち病に弱い傾向にあり、北海道の標榜するクリーン農業のためにも、いもち病に強い耐病性良食味品種の育成が望まれている。北海道米の高位安定を維持するためには、耐冷性および耐病性の強い品種を開発することが、今後さらに重要な要件となる。

「売れる米」作りには極良食味品種開発に加え、様々なハードルが存在する。これまでの育成方法の精査、継続、材料の積み重ねさらに、新たな評価法を確立し、育成材料の選抜に応用していくことが重要である。そのため、新しい育種選抜技術のツールであるDNAマーカーを有効に育種現場で活用していくことも重要であると考えられ、以下に、その実際と活用例および上川農試での取り組みと今後の計画を記述する。

1) DNAマーカーの実際と農業形質に関するDNAマーカー

イネゲノムの解読は、急速な勢いで進み、約4億3千万の全塩基配列が決定されようとしており、イネにおける遺伝子解析が飛躍的に進むものと期待されている。さらに、近年バイオインフォマティクス(生物情報科学)の分野が発展してきているが、これは、塩基配列などの多様なゲノム情報から遺伝子領域や遺伝子機能を予測するのに有効で、膨大な量のゲノム情報を使いやすい形のデー

タベースにまとめ、様々なタイプのデータベース間を相互にリンクする上で大きな役割を果たす。これによって、目的とする遺伝子の近くの領域を特定し、その塩基配列情報とゲノム情報データベースとをコンピューター上で比較解析することにより、遺伝子の特定が可能となる。このように、イネゲノム研究においては、かつてとは比較にならないほど効率的に遺伝子を解析することが可能となってきた。

一方、1980年代に着手されたDNA多型連鎖地図の開発は、これまで解析するのが難しいとされてきた量的形質等に関する研究を大きく進展させた。同時に、農業上有用な形質と連鎖するDNAマーカーを用いた新たな選抜法、すなわちMarker-Assisted Selection「マーカー選抜育種」の可能性を提供した。DNAマーカーの利点は、表Ⅲ-1-1に示したが、目的形質との密接な連鎖関係が明らかとなったマーカーを品種育成過程における選抜に用いることにより、検定期間が限定されず、効率よく選抜が実現できる。遺伝子型が、表現型によって容易に判別しにくい形質の選抜にはマーカー育種が特に有効である。また、そうした重要形質と連鎖マーカーの蓄積により、複数の形質を同じ手法によって、同時にスクリーニングできるようになる。このような利点から、マーカー育種は次世代の育種法として注目されてきた。特に、作物の中でもイネはそのDNA多型連鎖地図を基盤としたゲノム研究が進み、様々な形質のマーカー開発が開始された。

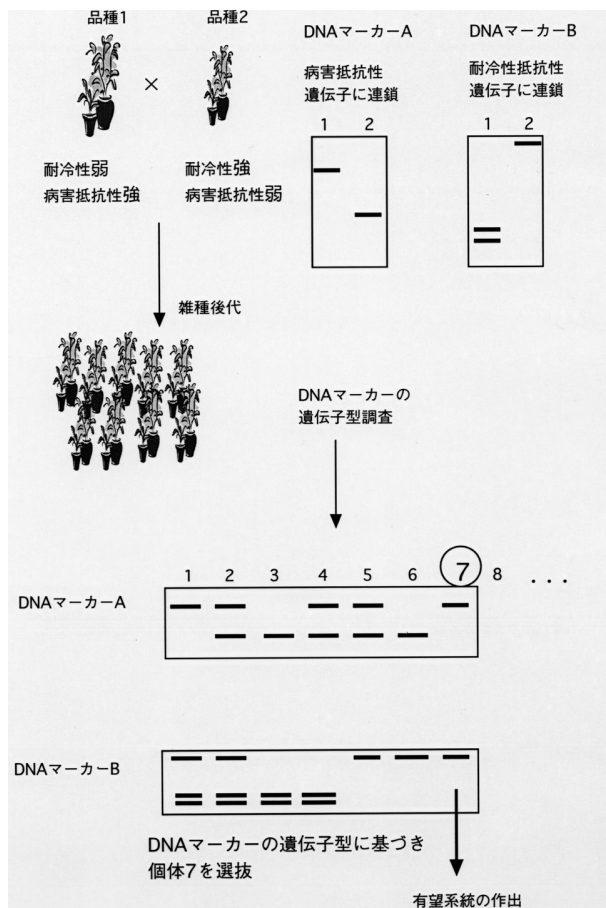
図Ⅲ-1-1には、DNAマーカーを用いた有望個体選抜のモデルを示した。両親の有用形質に関与する遺伝子に強く連鎖するDNAマーカーを同定することによって、その交配後代において有望個体をマーカーによって選抜することが可能である。それは、マーカーと連鎖する遺伝子は後代においても一緒に遺伝する確率が高いためである。これによって検定手法はそのまま、多数のマーカーを用いることにより複数の形質を選抜できることになる²⁶⁾。

一般に、品種や系統間に認められる変異(表現型の違い)の多くは、雑種後代において連続的な変異を生じる。

*上川農業試験場 078-0387 上川郡比布町

表Ⅲ-1-1 DNAマーカー育種の利点

従来育種	項目	MAS
登熟期	登熟期にならないと判定できない形質	幼苗時期に判定
交配自殖後代	優性遺伝子のホモ個体選抜	随時
植物体の育成 病原菌・害虫 の飼育	病害虫抵抗性	幼苗
複数の分離世代が必要	複数遺伝子の導入	1組合せでDNA遺伝子型を調査 不要な遺伝子を取り除くのも容易
制御された環境が必要	遺伝形質の判定	実験室で十分



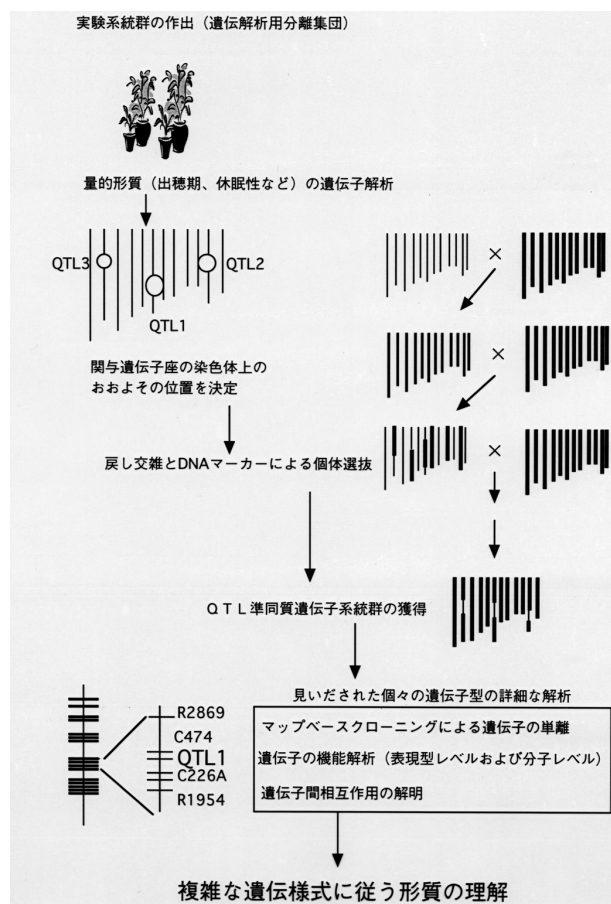
図Ⅲ-1-1 DNAマーカーによる有望個体の選抜 (矢野原図改)

このような形質は量的形質と呼ばれ、例えば、稈長、出穂期あるいは耐冷性などほとんどの作物では重要形質の多くが相当する。これに関しては、分子レベルでの解析

はもちろん従来の遺伝解析では、関与する遺伝子の個数やその存在を明確に実証することはできなかった。近年、ゲノム解析研究のDNAマーカーの蓄積によってゲノム

表Ⅲ-1-2 DNAマーカー育種への取り組み

育種目標	機関名
水稲 直播性	上川農業試験場, 北海道グリーンパイ
いもち病真性抵抗性, 耐冷性	宮城県古川農業試験場
いもち病真性抵抗性	中央農研, 北陸
いもち病圃場抵抗性	愛知県農業総合試験場
耐冷性	青森県農業試験場
食味	北海道農業研究センター
出穂性	福井県農業試験場
耐虫性 (トビイロウンカ)	生物研
多収性	作物研, 多用途研
縞葉枯病抵抗性 (陸稲由来)	生物研
陸稲 いもち病圃場抵抗性	近畿中四国研
	茨城県農業総合センター



図Ⅲ-1-2 DNAマーカー利用した量的形質の遺伝解析と戻し勾配による準同質遺伝子系統の作出 (矢野原図改)

上に存在するこれらの量的形質に関与する複数の遺伝子(Quantitative trait loci: QTL)を検出し²³⁾, おおよその染色体上の位置を決定することが可能となった(図Ⅲ-1-2)これにより複数の導入すべき遺伝子を望ましい品種へ同時に導入することが可能となった²⁷⁾。

また, 表Ⅲ-1-2 には, イネの主要形質に関してDNAマーカーを開発及び利用している研究機関を示した。近年, 「DNAマーカーによる育種」という言葉は浸透したものの, 水稻育種現場において実用化されているマーカーはまだ少ない。しかし, イネ病害抵抗性遺伝子のDNAマーカーに関しては, 抵抗性崩壊が起こりにくく安定した抵抗性を発現する実用遺伝子の識別マーカーの開発されており, 北海道農業研究センターおよび愛知県農業総合試験場の共同研究が挙げられる。これまでに, 抵抗性崩壊がみられない2つの抵抗性遺伝子: イネ縞葉枯病抵抗性遺伝子*Stvb-i*および穂いもち圃場抵抗性遺伝子*Pb1*に関する解析を行い, それぞれに密接に連鎖するマーカーを見出した^{4),8),25)}。これらは実用マーカーとして愛知農総試以外, 上川農業試験場など水稻育種機関でも徐々に利用されるようになってきた。また, 平成14年には, これら両抵抗性マーカーを用いて選抜・育成された愛知SBL(愛知106号)が作出され, 品種登録出願を行っている²²⁾。

いもち病に関しては, 上記の愛知農総試の他に, 宮城県古川農試と北陸農業センターでは, 真性抵抗性遺伝子について, 陸稲を利用した圃場抵抗性については, 「嘉平」を遺伝資源とする抵抗性が茨城県農業総合センター, 「戦捷」を遺伝資源とする抵抗性については愛知農総試山間農業センターで行っている。前者は, 第4染色体, 後者は第4, 11, 12染色体に抵抗性に関与する領域が見出されている(表Ⅲ-1-3)。

耐冷性に関しては, 北農研センター, 青森県農試および古川農試で実施している。遺伝資源としては, 北農研センターが中母農8 (Silewah, インドネシア品種), 11号 (Padi Labou Alumbis, マレーシア品種)および北海PL5号 (Lambayque, ペルー品種)で, 青森藤坂稲昨研究部では, インドネシア品種Pakhe Dhanであり, 古川農試はコシヒカリである。それぞれ, 耐冷性に関与する領域が見つかっている。藤坂では, 戻し交配とマーカー選抜により「ふ系175号」を4回交配した後代より, 耐冷性極強の高アミロース系統である「ふ系212号」を選抜し, 平成16年度新配付している。これまでは, 起源の異なる耐冷性遺伝子を集積することにより育種を進めてきたが, 中間母本のもつ遺伝子に対するDNAマーカーがあれば, 比較的容易に耐冷性遺伝子のピラミディング

表Ⅲ-1-3 DNAマーカーが使える農業形質

農業形質	遺伝子資源	座乗染色体	効果
着粒数	ハバタキ	1	50%増
穂長		5	1cm長
一次枝梗数		6	0.8本
稈長	Kasalath	11	-2cm
縞葉枯病	陸稲関東72号	11	Stvb-I近傍
耐冷性	中母農8号	3,4	
	中母農11号	8	
	北海PL5号	4,10,11	稈実率20%up 集積効果あり
	Pakhe Dhan	6	稈実率10-20% up
	ひとめぼれ	7	稈実率30%up
いもち病真性	<i>Pizt</i>	6	
抵抗性遺伝子	<i>Piz</i>	6	
	<i>Pikm</i>	11	
	<i>Pita2</i>	12	
	<i>Pii</i>	9	遺伝子工学科
圃場抵抗性	戦捷	4,11,12	QTLにより 効果に差
	嘉平	4	
	ST-No1	11	優性遺伝子
トビイロウンカ	<i>O.minuta</i>	12	
	<i>O.officinalis</i>	3	<i>bph11(t)</i> ~関東IL2号
	<i>O.australiensis</i>		<i>Bph10(t)</i> 早生化, 和系154 号~関東
出穂性	Kasalath	6	IL1号

化が可能となるであろう。

また, 耐虫性に関しては, 作物研究所, 九州沖縄農業研究センターにおいて西日本の主力品種である「ヒノヒカリ」に野生稲*Oryza officinalis*の抵抗性遺伝子*Bph11(t)*を導入した「関東IL2号」を育成した。収量性に関しては, インド型品種「ハバタキ」の持つ着粒数や穂長一次枝梗数, 「Kasalath」のもつ稈長について関与する領域が見出されている。

出穂性に関しては「Kasalath×日本晴」の集団を材料に複数の関与遺伝子のマッピングを行い, 少なくとも11個の遺伝子座が関与することが明らかになっている^{18),28)}。さらに戻し交配交配することによってその遺伝子座周辺のみ置換した系統(準同質遺伝子系統)を作出し, 正確なマッピングや遺伝子の機能やその作用力を検討した結果, それらの遺伝子は, 単独で働くとは限らず, 複数の遺伝子が相互作用を及ぼしあって発現している場合が多かった。また, 他のQTLの発現を制御する調節因子であることが分かっている²⁹⁾。コシヒカリのKasalath

の第 6 染色体断片を導入した和系154号～関東IL 1 号が作出された。この系統は出穂日が10日程度早くなり、玄米重は地域によっては減少した。また、耐冷性がやや弱くなり、食味はコシヒカリにやや劣ったため、熟期を変更したことにより多面的に変異が見られ、この領域を直接利用するのは難しく、今後戦略を考慮する必要があると思われる。

なお、上川農試が行っている直播性に関するDNAマーカーについては 2 章において触れる

以下に平成15年度中央農試農産工学部で開発されたいもち病真性抵抗性遺伝子*Pii*に関するDNAマーカー開発²⁰⁾および品種「Modan」のもつイネ縞葉枯病抵抗性マーカーと愛知総農試と北農研センターにおける穂いもち圃場抵抗性マーカー開発の実際について記する。

(1) いもち病真性抵抗性遺伝子*Pii*に関するDNAマーカー開発

現在、北海道では、いもち病圃場抵抗性は、真性抵抗性遺伝子別に判定している。北海道品種が持つ真性抵抗性遺伝子は、*Pia*、*Pii*、*Pik*であり、1990年代以降*Pii*を侵すレースが主体となり、そのレースが優占する水田とそうでない水田では、圃場抵抗性の評価が大きく異なる事例が見られた。そのため、品種・系統が*Pii*を保有するか否かは早期に判別しなければならない。

イネいもち病抵抗性遺伝子*Pii*は、¹⁴⁾が報告しているように、第 6 染色体に座乗する*Piz*とは連鎖関係になく、またRGN vol.12(1995)では、座乗染色体の記載がされていない。Inukaiらは、*Pi3(t)*と*Pii*が連鎖していること¹²⁾、さらに、第 9 染色体に座乗する*Pi5(t)*と*Pi3(t)*が連鎖していることを報告している¹³⁾。

そこで、公開されたばかりのイネゲノム塩基配列データを活用することにより、*Pii*遺伝子の座乗染色体を決定し、さらにその位置の絞り込みを試みた。また、*Pii*遺伝子と密接に連鎖したDNAマーカーを作出したので報告する。

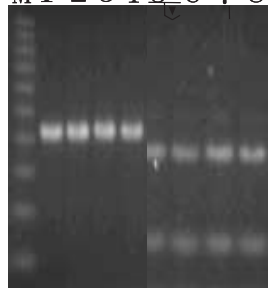
材料：北海道および本州品種・系統131種類を温室にて育成した幼苗からCTAB法によりDNAを抽出した。

方法：①RAPDプライマーによるPCR産物。②塩基配列の決定。③Web上に公開された情報による相同性検索と遺伝子座の決定。④相同性のあるクローンの情報を基にしたプライマーの設計とその近傍のクローンのSSR探索。⑤品種間のSSR近傍領域の比較。

結果：梶ら(2001)は、*Pii*遺伝子と5.9cMで連鎖しているRAPDマーカーを報告している。そこで、梶らの報告にしたがってプライマーCA05を用いて、*Pii*を持つ「石狩白毛」、「藤坂 5 号」および「ほしのゆめ」を鋳型

にPCRを行い1.6kbの特異増幅断片を得た。増幅産物1,660bpの全塩基配列を決定し、DDBJによる相同性検索を行ったところ、第 9 染色体のBACクローンAP005811の配列に98.3%の相同性でヒットした。この相同領域近傍の塩基配列情報をもとにCAPSマーカーを作製した。すなわち、プライマーCA05H-04とCA05H-05で増幅したPCR産物を制限酵素*Pvu* II で処理したところ*Pii*を持つ品種でのみ断片が消化された。図Ⅲ-1-3 には、各抵抗性遺伝子をもつ品種のCAPSマーカーによる判別を示した。

M1 2 3 4 5 6 7 8



- 1: 日本晴(+)
- 2: はくちょうもち(*Pia*)
- 3: ヒメノモチ(*Pik*)
- 4: あやひめ(*Pia,k*)
- 5: 石狩白毛(*Pii*)
- 6: つがるロマン(*Pia,i*)
- 7: きらら397(*Pii,k*)
- 8: ほしのゆめ(*Pia,i,k*)

図Ⅲ-1-3 CAPSマーカーによる各品種の遺伝子型

さらに、北海道および本州品種・系統131種類を用いてCAPS(Cleaved Amplified Polymorphic Sequence)分析を行った。その結果、*Pii*を持つ品種と持たない品種が完全に区別することでき、DNAマーカーによる遺伝子の有無の判別が可能となった(表Ⅲ-1-4)。

表Ⅲ-1-4 抵抗性遺伝子別のCAPS分析

真性抵抗性遺伝子型	供試した品種および系統数	CAPSマーカー* 05+04 <i>Pvu</i> II
+	8	0
<i>Pia</i>	26	0
<i>Pik</i>	10	0
<i>Pia,k</i>	20	0
<i>Pii</i>	20	20
<i>Pia,i</i>	23	23
<i>Pii,k</i>	3	3
<i>Pia,i,k</i>	21	21

* 数字は増幅断片が*Pvu*IIで消化されたもの

AP005811近傍のBACクローンの配列からSSRを検索し、それを挟み込むようにプライマーを設計し、*Pii*を持つ品種と持たない品種間の多型を調査した。その結果、*Pii*遺伝子の領域は、第 9 染色体の26.7～34.4cM、約1,800 kbに絞り込むことができた。

このようにイネゲノム情報を有効に活用することによって目的とする形質の染色体上の座乗位置が、短期間に決

定することができた。全染色体を網羅するイネゲノム塩基配列データは、育種現場とゲノム研究を有機的に連結し、品種改良の新たなツールとなることが期待される。また、DNAマーカーの一つであるCAPSマーカーの優点として以下のことが挙げられる。

- (1) DNA精製度の影響が少ないため、簡易抽出法によるDNAでも使用できる。
- (2) 再現性が高い。
- (3) ホモ型とヘテロ型との区別が可能である。

平成15年研究参考事項「穂いもち圃場抵抗性検定のための遺伝子型別基準品種の選定」(中央農試)による穂いもち圃場抵抗性検定では、*Pii*および*Pik*の保有によって4つにグルーピングして基準品種を選定している。*Pik*遺伝子に連鎖しているマーカーについては、やや精度に欠けるものの、岩手県農業技術センターで開発されている。

また、*Pik-m*、*Piz-t*、*Pib*および*Pita-2*に関しては、宮城県古川農業試験場でCAPSマーカーが開発されている。Fjellstromら³⁾は、*Pik-s*および*Pik-m*についてマイクロサテライトマーカーであるRM224に0.2cMで連鎖していることを、また、林と芦川¹¹⁾は、RFLPマーカーのR1506に密接に連鎖していることを報告している。しかし、*Pik*に関しては遺伝子識別に利用可能なマーカーはまだ報告されていない。これらマーカー(*Pii*、*Pik*)を利用することにより、種子の段階でその遺伝子が推定でき、多くの育成段階の系統について圃場抵抗性の検定を効率化することができ、さらに、北海道品種・系統を用いたマルチラインの育成にも有効な手法となる。

(2) インド型品種「Modan」のもつ病害抵抗性マーカー

① イネ縞葉枯病抵抗性マーカー

北海道においては最近ほとんど発生は見られないが、本州においては1960年代に大発生したイネ縞葉枯病は、イネ縞葉枯ウイルス(RSV)によるウイルス病害のひとつである。1960年代以降、抵抗性品種の導入および継続的な抵抗性品種の作付けにより縞葉枯病の発病は抑制された状況にある。現在普及している抵抗性品種の多くに導入されている抵抗性遺伝子は、インド型イネ品種「Modan」に由来する*Stvb-i*であり、その抵抗性は、導入以後30年を経た現在も崩壊せず、安定した抵抗性を維持している。

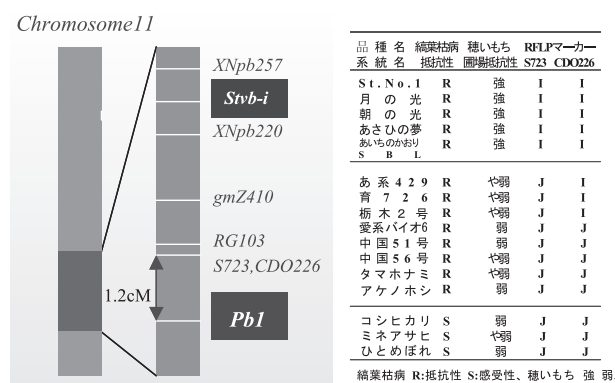
イネ縞葉枯病抵抗性マーカーST10は、この*Stvb-i*遺伝子と0.0cMで連鎖している¹⁰⁾。当初はRFLPマーカーであったが、STS化し、それぞれ20bpの長さの2種のプライマーからなるPCRマーカーに改良した⁸⁾。その後の解析によって、ST10座は抵抗性遺伝子存在領域約120

kb内に存在することが判明した⁹⁾。このため、ST10による、*Stvb-i*を有する縞葉枯病抵抗性イネ個体の選抜精度は高い。

② 穂いもち圃場抵抗性マーカー

クリーン農業を標榜する北海道においては、今後、薬剤回数の減少できるいもち病抵抗性品種開発は急務である。*Pb1*遺伝子は「Modan」に由来し、穂いもち病には罹病するが、穂いもちに対し高度な圃場抵抗性を発現する。*Pb1*は*Stvb-i*遺伝子と同じ第11染色体に座乗し、両者の遺伝距離は5.2cMとされる⁶⁾。*Pb1*を導入した水稻品種は現在までに20年以上作付けが続いているが、*Stvb-i*同様これまでのところ抵抗性崩壊は報告されず、安定した穂いもち抵抗性を保っている⁵⁾。

*Pb1*と最も近接するマーカーとして報告されているのはS723で、その遺伝距離は1.2cMある⁴⁾であるが(図Ⅲ-1-4)、選抜精度は高く、圃場における生物検定の精度に比べると穂いもち抵抗性系統の選抜には非常に有効と考えられる。また、通常1年に一度しかできない穂いもち抵抗性検定がこのマーカーを使うことにより、*Pb1*による穂いもち抵抗性導入を目的とした連続戻し交雑育種においてBCnF1個体の遺伝子型を的確に識別可能で、抵抗性育種効率を飛躍的に向上させることが可能となる。S723を含めた周辺の塩基配列をもとに、B1、B2およびB4という3つのPCRマーカーを開発し²⁵⁾、現在上川農試稲作科でも利用している。



図Ⅲ-1-4 *pb1*の染色体上座乗位置と密接に連鎖するRFLPマーカー (藤井原図)

愛知農総試では両マーカーの利用による育種選抜が続けられ、両マーカーを利用することによりコシヒカリに*Stvb-i*と*Pb1*を導入した水稻新品種「コシヒカリ愛知SBL」を作出し²²⁾、2002年に種苗法に基づく品種登録出願を行った。

愛知農総試ではマーカーの導入後、縞葉枯病の生物検定は導入以前と比較すると50分の1程度の規模に縮小し

ている。縞葉枯病の生物検定にはRSV保毒ヒメトビウソカの大量飼育が必要で、生物検定のみならず保毒虫の維持管理にも多大な労力と神経の集中を必要としたが、その飼育規模も大幅に縮小された。このように、マーカーという革新技術の導入によって、水稻病害抵抗性育種システムが根本的に革新されたといえるであろう。

両マーカーは、愛知農総試の他、上川農業試験場をはじめとする複数の機関で既に選抜に利用されているが、*Stvb-i*や*PbI*による抵抗性が崩壊した報告はないが、抵抗性を打破する病原体の変異を否定できないため、マーカー選抜にのみ依存することは危険であると思われるため、これら遺伝子の活用には、細心の注意が必要である。

抵抗性育種の過程で、*PbI*遺伝子の有無の識別にDNAマーカーを用いるメリットとしては、上記の他に、①ほ場検定では困難な、出穂前の戻し交雑個体の*PbI*の有無を識別可能で、交配前に抵抗性個体の選定が完了し、戻し交雑が効率化される。②DNA操作を習得することで、誰でも*PbI*遺伝子の正確な検定が可能となる。③遺伝子組換え作物ではないので作出された品種のPublic Acceptance (PA)が容易である。

2) 食味形質に関するDNAマーカー

現在、水稻良食味品種を育成するために、一般に育種現場で用いられている食味検定には、官能検査法があり、炊飯米の外観、味、粘り、硬さおよび総合評価で判定されている。この方法は、食味を総合的に評価する最も基準的な方法であり、項目別に評価が得られるという利点もあるが、多くのサンプル量とパネラー、試験時間を必要とする問題もある。一方、物理的な測定値(テクスチュログラム特性値、アミログラム測定値)や化学分析値(タンパク質含有率、アミロース含有率等)と食味官能試験との関係、各種の食味関連測定装置(味度メーターなど)など多くの研究結果が報告されている^{19),21)}。しかし、複雑な要因がからむ炊飯米の食味を完全に推定するにはいたっていない。

近年、DNAマーカーを用いた選抜が実用化されつつあるが、食味の優れた系統を効率的に選抜するマーカーが作出されれば、育種期間の短縮、労働力および圃場面積の縮減のみならず、良食味系統の確実な選抜が可能となる。これまでに解析された例を表Ⅲ-1-5に示した。その手法は、アミロース含有率、コンシステンシー、アルカリ崩壊度が、主体であり、

また、デンプン合成に係わるWx遺伝子~granula-bo und starch synthase(GBSS)($Wx^a > Wx^b \sim 1$ 塩基置換による活性の差)について研究例があるが¹⁷⁾、これは、

寒冷地の北海道米の食味向上には今後考慮していかなければならない。すなわち、米の食味を左右する要因の一つに胚乳中のデンプンとタンパク質の量と質が関与しており、寒い気象条件においても安定的に低アミロース米を生産することが重要である。これまで北海道でアミロースを低下させるために低アミロース遺伝子、いわゆるダル*du*遺伝子を活用して品種育成をしてきた。この遺伝子を持つ品種は、従来のうるち品種よりも温度反応性が高く、これがアミロース含有率を変動させる要因であった。アミロース含量の低い品種(AGTTATA)と高い品種(AGGTATA)ではGBSSのスプラサイトに一塩基多型があり、これが穀粒発育中の温度感受性に関係している²⁾。含有率の低い品種に見られる配列が温度感受性が高いので、北海道米の食味向上には、GBSSのリーダー

表Ⅲ-1-5 食味関連形質に関するDNAマーカー

組合せ：コシヒカリ×アキヒカリ (福井農試)				
形質	染色体	マーカー	相加効果	寄与率(%)
粘り	2	C370	0.5	18.0
	2	C1137	0.4	11.5
	6	R2171	0.4	9.5
炊飯光沢	2	R1906	0.3	8.3
	2	MS-23	0.4	7.2
	2	M235	0.4	15.8
	2	C1137	0.4	11.0
	6	R2171	0.3	7.1
アミロース含量	2	MRG4470	-1.6	19.5
	6	MRG1615	-1.3	8.8
粘弾性	2	C1137	0.2	14.3
到穂日数	3	C721	2.8	19.2
	6	MRG1523	4.7	28.2

Wx

組合せ：コシヒカリ×アキヒカリ (福井農試)				
形質	染色体	マーカー	相加効果	寄与率(%)
Amylose Content	3	R1927	0.71	1.6
	4	C1110	-0.9	2.35
	5	C624	-0.92	1.9
	6	R2869	-4.4	80.7
Alkali Spreading Score	3	C25	0.2	2.3
	6	G200	1.06	69.4
	6	R2869	-0.36	8.1
Gel consistency	1	C122	5.34	9.5
	2	R712	6.11	12.37
	2	G1314B	4.47	7.36
	6	L688	-7.65	15.41
	6	C556	-4.99	8.65

Wx *alk*

イントロンのスプラサイトがAGGTATAを持ちアミロース含有率の低い系統を選抜することも必要であろう。今後は、アミロース合成酵素(GBSS)の活性を左右する遺

伝子にDNAマーカーを導入し、アミロースの登熟温度変動性を少なくする育種法を検討する。

また、出穂性も食味には重要であり、これに関しては前述している(Kasalathの持つQTLを利用したコシヒカリの早生化～関東IL1号、晩生化)。

○良食味育種への取り組み

食味関連形質のDNAマーカー開発に早期から取り組んでいる福井農試育種研究グループの成果は以下の通りである(表Ⅲ-1-5)。

1)コシヒカリ／アキヒカリの倍加半数体系統を用いたQTL解析では、コシヒカリの対立遺伝子が食味官能試験における「粘り」を増加させるQTLを第2染色体の長腕末端のMS-10、C370およびC1137近傍に検出した。

2)コシヒカリの対立遺伝子が「アミロース含量」を低下させるQTLを同染色体中央のMRG4470近傍に検出している。

3)コシヒカリを遺伝的背景とするNILでは第2染色体MS-10およびC370がアキヒカリの場合食味評価値が有意に劣ることを明らかにした。

4)アキヒカリの準同質遺伝子系統および良食味品種さきひかり／日本晴の正逆交雑の近交系系統を養成中である。

5)上記の材料を解析することにより今後は、コシヒカリの「粘り」「アミロース含量」に関与する遺伝子型の一と作用力が明らかとなる。それによって食味の優れた系統を効率的に選抜するDNAマーカーが選定される。

表Ⅲ-1-5には、Zefeらの試験結果を記載した。アミロース含量、アルカリ崩壊度、ゲルコンシステンシーニQTLが検出されたが、Wx遺伝子座の近傍に大きな作用力が見出されている。他論文^{1),24),31)}でも、上記のアミロース含量(AC)、アルカリ崩壊度(ASS)、ゲルコンシステンシー(GC)が主体であり、同様の位置にQTLが検出されている。また、福岡県農試では、米のアミロース含有率の量的遺伝子座(QTL)が、「あそみのり」と「IR24」の日印交雑による組換え自殖系統群を用いて染色体5の中央付近に存在することを推定した。この情報をもとに、DNAマーカー利用による新しい水稻良食味品種を育成するための効率的選抜技術を開発するため、九州大学で開発した「あそみのり」と「IR24」の染色体部分置換系統を用いて、アミロース含有率に関与するQTLの存在を明らかにし、DNAマーカーを選定中である。

さらに、「DNAマーカーによる効率的な新品種育成システム」のプロジェクトの中で食味ユニットとして作物研究所の多用途稲育種、稲育種、稲栽培整理、米品質制

御研究室および福井農試水稻育種チームがそれぞれ参画し、食味の優れた系統を効率的に選抜するマーカーの作出を目指している。その中の材料に国宝ローズ遺伝子を持つ空育162号や北海P19号が活用されようとしている。この材料は、低アミロースや低タンパク質を目指したDNAマーカー開発に利用するため、そのマーカーは北海道においてもそのまま育種現場で活用できる可能性があり、今後の開発に期待したい。

3)DNAマーカーによる農業形質の効率的選抜と今後の計画

(1) 上川農試の現状

①直播用品種の育成

北海道地域の生活の基盤を守るため、また、環境保全のためにも現状の稲作面積は維持していかなければならない。複合経営や作業集積を推進する上でも、今後の北海道稲作を担う技術の一つとして、最も省力化と低コスト化が可能となる稲作技術体系である直播栽培が必要とされる。そのためには、生産費の削減、生産量の向上、および高品質で販売ロット確保のために移植栽培も可能な直播良食味品種の育成が望まれる。現在、上育445号を育成中であるが、直播は早生種のため、知名度が劣り、大量集荷が難しく、収量、食味が劣る傾向にある。早生で上記と同様に良食味の系統育成を目指しており、現在の系統の食味は、ほしのゆめ並に向上してきたが、重要な形質である高度苗立ち性に関しては、外国稲およびそのDNAマーカーを活用している(北海道グリーンバイオ研究所と共同研究)。

○直播適性に関するDNAマーカーを利用した育種法の開発

1. 目的：直播関連形質の低温苗立ち性・発芽性のQTL解析が進展し、平成13年度にはSSRマーカーの作出(図Ⅲ-1-5)に至り、品種育成への利用がより現実的なものとなってきた。

そこで本課題では、「ほしのゆめ」に低温苗立ち性を導入した準同質遺伝子系統の育成、品種育成に有用な新配付系統への低温苗立ち性QTL導入系統の作出およびこれにより作出される準同質遺伝子系統とQTL導入系統を利用した品種育成を行うものである。

2. 方法

1)「ほしのゆめ」BC3F1において目的領域および背景領域のマーカー遺伝子型を確認し、そのBC4F2について目的領域を持つ個体を目的領域に近接する3マーカー(AC97627, AC98695, AP0615)⁷⁾でそれぞれH, H, A型(H:ヘテロ, A:「ほしのゆめ」型)を選抜し

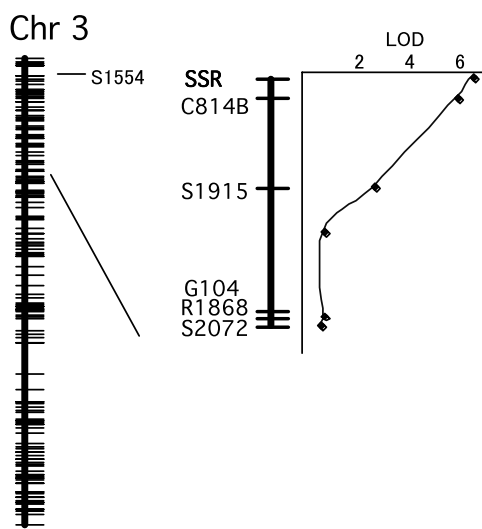
て系統とし、各農業形質を調査した。

2) 前年夏に圃場採種した「ほしのゆめ」 BC_3F_2 (BC_3F_1 で3マーカーがHHA型の自殖後代)を用い、水田に於いて5月23日播種の湛水直播および平均水温15℃設定の冷水掛け流しにより苗立ち性検定を行った。

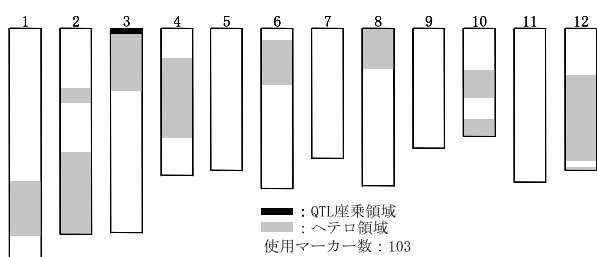
3) 配付系統上育440号、新品種上育438号(以下、「大地の星」)の BC_1F_2 (BC_1F_1 で3マーカーがHHA型の自殖後代)をシャーレによる発芽性検定試験に供試した。

4) 「大地の星」 BC_2F_2 を3マーカーでHHA型を選抜し、温室で農業形質調査を行った。

5) 上育440号、「大地の星」の BC_3F_1 について3マーカーでHHA型を選抜し、交配、得られた BC_4F_1 の選抜を同様に行った。



図Ⅲ-1-5 発芽に関するDNAマーカーの位置



図Ⅲ-1-6 HS12(BC_3F_1)のグラフ遺伝子型

3. 結果の概要

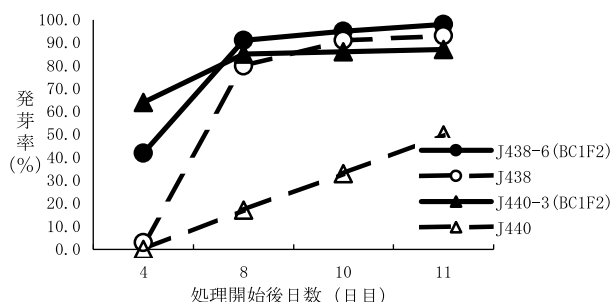
1) SSRマーカーなどで BC_3F_1 の遺伝子型を調査した結果、背景領域が十分に置換された系統は選抜できなかった(図Ⅲ-1-6)。 BC_4F_2 の農業形質調査の結果、一部の系統に反復親と大きな差が認められた。

2) 苗立ち検定の結果、各試験4反復設定した比較品種(「ほしのゆめ」, 「Italica Livorno」および「緑育PL1」)

の発芽率の傾向が既往の評価と一致せず、検定条件が不十分であったと判断された。供試系統について、前年の発芽性の結果と対照させても、傾向は一致しなかった。

3) 上育440号、「大地の星」の BC_1F_2 の発芽性検定の結果、導入形質の効果が確認された(図Ⅲ-1-7)。

4) 「大地の星」 BC_2F_2 系統の農業形質調査の結果、出穂以外の形質は反復親との差が認められ、全DNA領域の置換が不十分であると推察された(表Ⅲ-1-6)。



図Ⅲ-1-7 上育系統 BC_1F_2 のシャーレ内での発芽勢

②いもち病抵抗品種の育成

穂いもち圃場抵抗性真性遺伝子*Pb1*を保有する品種を交配し、PCRマーカーによって選抜し、生産力予備試験および葉いもち、穂いもち圃場抵抗性検定試験を行っている。平成15年度は14系統、平成16年度は、25系統供試した。系統は全てマーカーB1で*Pb1*保有しているかかはの確認済みである。表Ⅲ-1-7に平成15年度の圃場抵抗性程度を示した。14系統全て遺伝子導入元である「ほしのゆめ」のや弱より強く、「中」が5系統、「や強」が8系統で、「強」が1系統であり、遺伝子導入効果は見られた。平成16年度の結果は、病穂率が「ほしのゆめ」並みの系統は1系統あったが、他はかなり低い傾向にあった。穂いもち病における防除価が90%を越えた系統は、5系統あり、80%を越えた系統は、5系統あった。

育成した系統において*Pb1*の導入効果は認められ、今後は、検定圃場(無防除圃場)でのその系統の収量を含めた防除価を検討するとともに、反復を増やしてその効果を明確にしていかなければならない。また、悪性の随伴形質として食味を下げる因子が同時に取り込まれていないか食味試験を実施する必要がある。さらに、すでに圃場抵抗性を持つ品種系統に導入することによってこの抵抗性遺伝子がどのような効果をもつのかを見極めていきたい。IRRIからの導入材料に葉いもち病に対して高度な抵抗性を持つ系統があり、その遺伝子に対するDNAマーカーの作出、これら系統の穂いもち病に対する抵抗性、さらに組み合わせることによる両者に強い系統を作出することも考慮していく。

表Ⅲ-1-6 「大地の星」BC₂F₂の農業形質

品 種・系 統 名	出穂期 (月・日)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/株)	成熟期 (月・日)	籾重 (kg/a)	粗玄米重 (kg/a)	精玄米重 (kg/a)	標準 比率	玄米 品質
J438-5-3	8.12	68.8	14.3	23.5	10.6	95.2	78.9	77.8	142	中中
J438-6-2	8.13	67.0	16.5	13.0	10.8	62.5	51.9	51.6	94	中中
上育438号	8.12	61.7	13.6	17.9	10.8	69.4	57.1	54.9	100	中上

表Ⅲ-1-7 平成15年度 穂いもち圃場抵抗性検定

試験名	系統名	平均発病指数	判定
J190	12-6-1-1-10	2.3	や強
J191	12-6-1-1-13	2.2	や強
J192	40-9-2-1-1	1.7	強
J193	40-9-2-1-14	3.2	中
J194	40-9-2-2-4	3.5	中
J195	40-9-2-2-13	3.0	中
J196	40-9-2-2-14	2.7	や強
J197	41-5-2-3-4	3.2	中
J198	41-5-2-3-6	2.7	や強
J199	41-5-2-3-8	2.8	や強
J200	41-5-2-3-14	2.2	や強
J201	49-7-2-7-1	2.5	や強
J202	49-7-2-7-10	2.2	や強
J203	49-7-2-7-14	3.0	中
	ほしのゆめ	3.7	や弱

○今後の計画

様々な解析ツールが整ったことによって、稲において目的遺伝子に極めて密接に連鎖するマーカーを開発することが可能となってきた。そこで、北海道の稲育種において重要な農業形質に関与するDNAマーカーを活用して効率的に作業を進めていくための基礎および適用試験を行う。

目的形質：

1. いもち病：穂いもち圃場抵抗性真性遺伝子*PbI*を保有する品種を交配し、PCRマーカーによって選抜し、育種効率を図る。

2. 耐冷性：異なる遺伝資源を材料にPCRマーカーを活用し、遺伝子集積の可能性を検討する。

3. 食味関連形質：粘り、アミロース含有率等に関するDNAマーカー活用の可能性を検討する。

材料：「月の光」の交配後代(穂いもち)、耐冷性解析系統、良食味系統交配後代等

解析：

1. 月の光由来のいもち病真性圃場抵抗性遺伝子*PbI*の選抜

・この形質については、生産力予備試験レベルの系統が育成されている。

・マーカーによって*PbI*領域を保有するか調査する。

・上記系統の穂いもち圃場検定を行い、マーカーによる選抜の有効性を検討する。

・有望系統のバッククロスおよび選抜、さらにSSRマーカーによる背景領域の調査する。

2. 各種耐冷性母本に関わるQTL領域のPCRベースマーカー利用

・初雫、中母農8、11号のもつ耐冷性領域が明らかになっている。

・中母農8、11号の交配後代は、養成中。

・上記材料を系統にして、SSRマーカーで遺伝子型を調査し、耐冷性を検定する。

・上記によってマーカー選抜の有効性を検討する。

3. 良食味関連形質(粘り等、北陸農試でコシヒカリに関するSSRマーカー開発)

・北海道良食味品種、系統で利用可能か検討する。

・アミロース含有率、炊飯光沢、粘弾性に関するマーカーも同様に調査する。

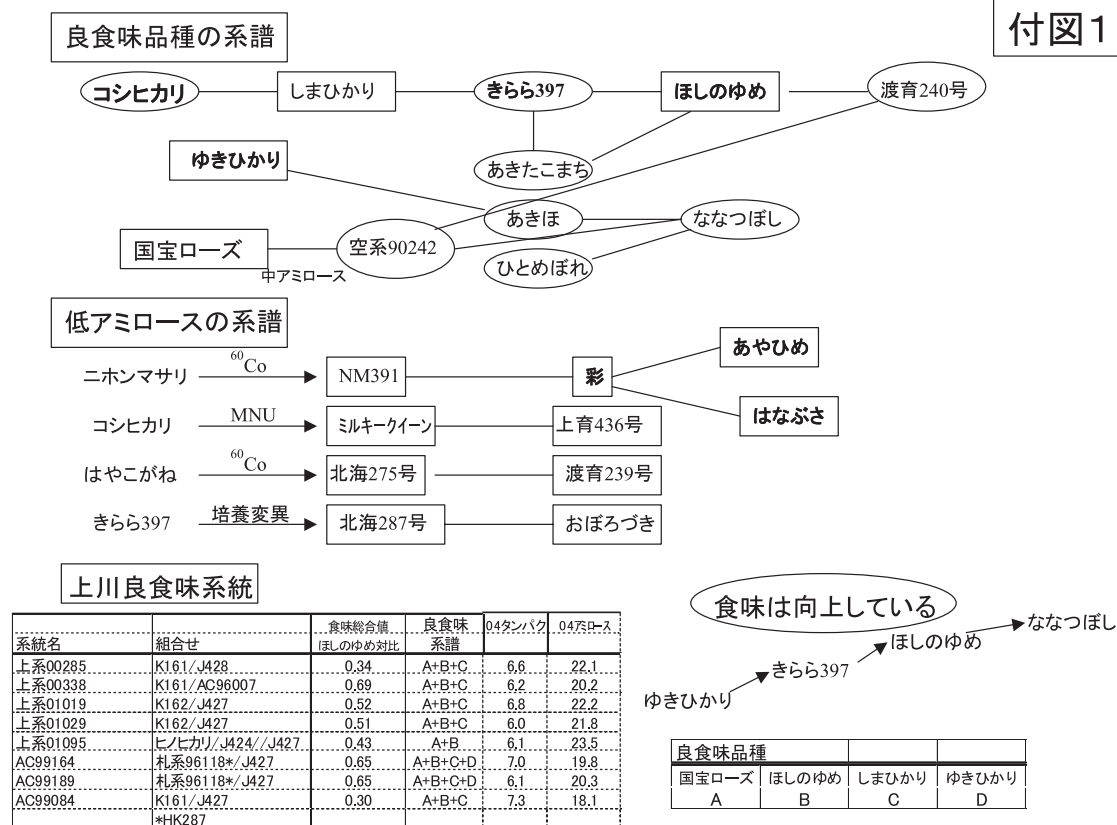
・前述の試験で低アミロース、低タンパクのQTLを見出しつつあるのでその情報を活用する。

選抜後代の形質を評価し、遺伝的背景の調査することによって、有望系統の育成していく。その育種選抜作業の中で、DNAマーカー活用の可能性を検討する。

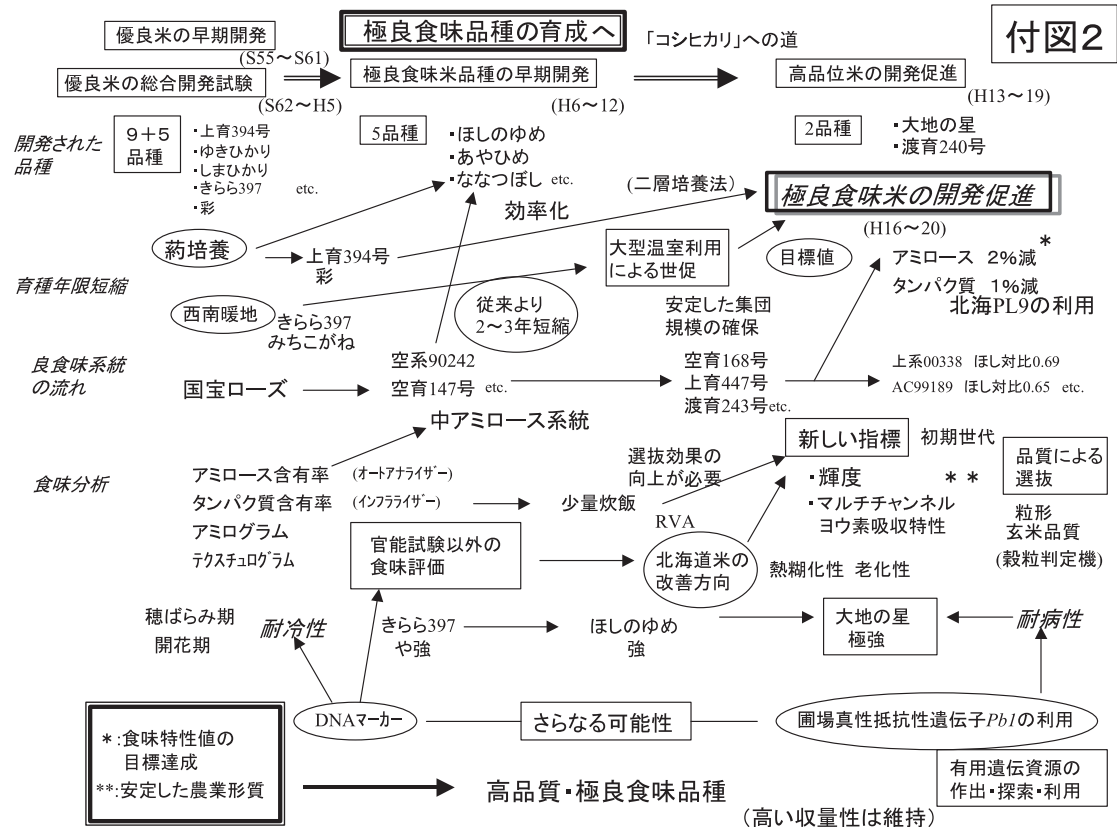
おわりに

北海道産米のイメージアップに貢献した「きらら397」、良食味品種「ほしのゆめ」、さらに良食味品種「なつぽし」に続く本州産米に匹敵する極良食味品種育成を進めていくためには、これまでの育種の積み重ね(付図Ⅲ-1-1参照)と新しい戦略(理化学分析、DNAマーカー等)が必要である。また、確固たる北海道産米の地位を築くためには、安定した良食味高品質米を毎年生産しなければならず、そのためには多収性を維持しながら高度耐冷性を持つ「コシヒカリ」並みの極良食味品種を開発する必要がある(育種戦略：付図Ⅲ-1-2参照)。すなわち、蒔培養や道南農業試験場大型温室を利用した世代短縮を活用しを世代短縮し、材料として「国宝ローズ」由来のいわゆる中アミロース系統や北海PL9のような低タンパク系統の利用、そして新しい食味指標を活用していかなければならない。

付図1



付図Ⅲ-1-1



付図Ⅲ-1-2

ここまで述べてきたDNAマーカーの有効性について杉浦ら²²⁾が耐病性(稲縞枯病, いもち病)について報告している。それによるとDNAマーカーを用いることにより外的要因の影響を受けることなく, 精度の高い抵抗性個体の選抜が可能となった。また, 共優性マーカーを用いることにより抵抗生ホモ個体を確実に選抜でき有望系統の早期固定につながった。作出した準同質遺伝子系統「コシヒカリ愛知SBL」は両者に対して抵抗性を有し, 他の形質はコシヒカリと同等であったため, DNAマーカーを取り入れた育種法により育種年限の短縮・効率化並びに確実な抵抗性の導入が両立でき, 有効性を実証している。今後, 上川農試においても同じ遺伝子を活用して育成を進めていく予定であるが, 農薬のいらぬいもち病抵抗性を持つ系統を作出し, クリーン農業の一助になることを期待する。また, 開発された良食味マーカーは北海道の材料での有効性を積極的に検討し, 将来的には自前の開発を見据えた材料養成も必要であると考ええる。

米飯の「食味」は複合形質であり, 現時点では, 育種現場にすぐに活用できるマーカーはほとんどない。しかし, 量的形質も「収量」と同様にその構成要素に分解し, それぞれの形質に対して材料を養成することによって, それに関与する領域を同定し, マーカーを付与することは可能であろう。育成早期にそれらの形質を判定し, 選抜ができれば良食味育種は加速されると思われる。

さらに, 効率的に品種育成を行うためには, 生産者・実需者の協力のもと, 各場の育成者のみならず, 栽培・環境部門さらに遺伝資源・生物工学部門と有機的に連携して事業を進めていくことは必要不可欠である。

引用文献

- 1) Bao, J.S., Sun, M., Corke, H. "Analysis of the genetic behavior of some starch properties in indica rice (*Oryza sativa* L.), thermal properties, gel texture, swelling volume". *Theor. Appl. Genet.* **104**, 408-413(2002).
- 2) Bligh, H.F.J., Larkin, P.D., Roach, P.S., Jones, C.A., Fu, H., Park, W.D. "Use of alternate splice site on granule-bound starch synthase mRNA from low-amylose rice varieties". *Plant Molecular Biology.* **38**, 407-415(1998).
- 3) Fjellstrom, R., Conaway-Bormans, C.A., McClung, A.M., Marchetti, M.A., Shank, A.R., Park, W.D. "Development of DNA markers suitable for marker assisted selection of three Pi gene conferring resistance to multiple *Pyricularia grisea* pathotypes". *Crop Sci.* **44**, 1790-1798(2004).
- 4) Fujii, K., Hayano-Saito, Y., Saito, K., Sugiura, N., Hayashi, N., Tsuji, T., Izawa, T., Iwasaki, M. "Identification of RFLP marker tightly linked to the panicle blast resistance gene, Pbl, in rice". *Breeding Science.* **50**, 183-188(2000).
- 5) 藤井 潔, 遠山孝通, 杉浦直樹, 坂 紀邦, 井澤敏彦, 井上正勝, 朱宮昭男. "イネ縞葉枯ウイルス抵抗性の日本型イネ品種月の光と姉妹系統に見いだされた穂いもち抵抗性の性質と家系分析". *育種学研究.* **1**, 69-76(1999).
- 6) 藤井 潔, 早野由里子, 杉浦直樹, 林 長生, 坂 紀邦, 遠山孝通, 井澤敏彦, 朱宮昭男. "イネ縞葉枯病抵抗性品種が有する穂いもち抵抗性の遺伝子分析". *育種学研究.* **1**, 203-210(1999).
- 7) Fujino, K., Sekiguchi, H., Sato, T., Kiuchi, H., Nonoue, Y., Takeuchi, Y., Ando, T., Lin, S.Y., Yano, M. "Mapping of quantitative trait loci controlling low-temperature germinability in rice (*Oryza sativa* L.)". *Theor. Appl. Genet.* **108**, 794-799(2004).
- 8) 早野由里子, 斎藤浩二, 藤井 潔, 遠山孝通, 杉浦直樹, 辻 孝子, 井澤敏彦, 岩崎真人. "イネ縞葉枯病抵抗性遺伝子Stvb-iを検出するSCARマーカー". *育種学研究.* **2**, 67-72(2000).
- 9) 早野由里子. "イネ縞葉枯ウイルスのゲノム構造およびイネ縞葉枯病抵抗性遺伝子に関する研究". 北海道農業研究センター研究報告. **175**, 1-45(2002).
- 10) Hayano-Saito, Y. et al. "Localization of the rice stripe disease gene, Stvb1, by graphical genotyping and analysis with molecular markers". *Theor. Appl. Genet.* **96**, 1044-1049(1998).
- 11) 林敬子, 芦川育夫. "SNPマーカーによるイネ真性抵抗性遺伝子Pi-z, Piz-t, Pit, Pik-mの包括的なマッピング". *育種学研究.* **6**(別1), 95(2004).
- 12) Inukai, T., Nelson, R.J., Zeiger, R.S., Sarkarung, S., Mackill, D.J., Takamure, I., Kinoshita, T. "Allelism of blast resistance genes in near-isogenic lines of rice". *Phytopathology.* **87**, 1278-1283(1994).
- 13) Inukai, T., Zeiger, R.S., Sarkarung, S., Bronson, M., Dung, L.V., Kinoshita, T., Nelson, R.J. "Development of pre-isogenic lines for rice blast-resistance by marker-aided selection from a recombinant inbred population". *Theor. Appl. Genet.* **93**, 560-567(1996).

- 14) 伊勢ら. “イネのいもち病抵抗性遺伝子の連鎖分析”. 育種学雑誌(別冊 2). 388-389(1992).
- 15) 梶 亮太, 小川紹文, 西村 実, 深浦壮一, 平林秀介, 福岡律子. “いもち病および白葉枯病抵抗性遺伝子の解析. イネ・ゲノムの効率的解析手法及び遺伝子分子地図の利用技術の開発”. 農林水産技術会議事務局研究成果. **371**, 107-110(2001).
- 16) 櫛渕欽也監修. “美味しいお米, 第 2 巻 米の美味しさの化学”. 農林水産技術情報協会. 87-90(1996).
- 17) Larkin,P.D., Park,W.D. "Transcript accumulation and utilization of alternate and non-consensus splice sites in rice granule-bound starch synthase are temperature-sensitive and controlled by a single-nucleotide polymorphism". *Plant Molecular Biology*. **40**, 419-727(1999).
- 18) Lin,S.Y., Sasaki,T., Yano,M. "Mapping quantitative trait loci controlling seed dormancy and heading date in rice, *Oryza sativa L.* using backcross inbred lines". *Theor.Appl.Genet.* **96**, 997-1003(1998).
- 19) 大坪研一. “米の品質評価”. 農業機械学会誌. **57**, 93-98(1995).
- 20) 佐藤 毅, 竹内 徹. “イネゲノム塩基配列データを利用したイネいもち病抵抗性遺伝子Piiの座乗染色体の決定”. 育種学研究. 5(別 1), 108(2003).
- 21) 佐藤弘一, 斉藤真一, 平 俊雄. “味度メーターおよびラピッド・ビスコ・アナライザーを利用した水稻良食味系統選抜”. 日作紀. 72(4), 390-394(2003).
- 22) 杉浦直樹ら. “水稻病害抵抗性付与のための連続戻し交雑育種におけるDNAマーカーの有効性の実証”. 育種学研究. **6**, 143-148(2004).
- 23) Tanksley,S.D. "Mapping polygenes". *Annu.rev. Genet.* **27**, 205-233(1993).
- 24) Tan,T.F., Li,J.X., Yu,S.B., Xing,Y.Z., Xu,C.G., Zhang,Qifa. "The three important traits for cooking and eating quality of rice grains are controlling by a single locus in an elite hybrid, Shanyou 63". *Theor.Appl.Genet.* **99**, 642-648 (1999).
- 25) 遠山孝通, 早野由里子, 杉浦直樹, 藤井 潔, 岩崎真人, 井澤敏彦, 中前 均. “水稻穂いもち抵抗性遺伝子Pb 1(t)と連鎖するPCRマーカーの開発”. 愛知県総農試研報. **30**, 27-34(1998).
- 26) 矢野昌裕. “作物育種の新戦略”. 農業技術. 51(9), 385-389(1996).
- 27) 矢野昌裕, 佐々木卓治. “イネのゲノム生物学の幕開け”. 化学と生物. **36**, 639-645(1998).
- 28) Yano,M., Harushima,Y., Nagamura,Y., Kurata, N., Minobe,Y., Sasaki,T. "Identification of quantitative trait loci controlling heading date in rice using a high-density linkage map". *Theor.Appl.Genet.* **95**, 1025-1032(1997).
- 29) Yano,M., Kojima,S., Takahashi,Y., Lin,H., Sasaki,T. "Hd1,a major photoperiod sensitivity quantitative trait locus in rice, is closely related to the Arabidopsis flowering time gene CONSTANS". *Plant Cell*. **12**, 2473-2483(2000).
- 30) Zefu,Li., Wan,J., Xia,J., Yano,M. "Mapping of quantitative trait loci controlling physico-chemical properties of rice(*Oryza sativa L.*)". *Breeding Science*. **53**, 209-215(2003).
- 31) Zhou,P.H., Tan,Y.H., He,Y.Q., Xu,C.G., Zhang, Q. "Simultaneous improvement for four quality traits of Zhenshan 97, an elite parent of hybrid rice, by molecular marker-assisted selection". *Theor.Appl.Genet.* **106**, 326-331(2002).

2. 新たな理化学的測定による食味評価法

五十嵐 俊 成*

1) 北海道産米の良食味育種の現状と課題

米の食味は、硬さや粘りなど米飯の物理的特性が大きく影響している³⁴⁾。この物理的特性は米胚乳中のアミロース含有率とタンパク質含有率が多いほど劣る。このため、水稻の良食味米育種では主にアミロース含有率とタンパク質含有率の低い系統を選抜している。特に、北海道産米のアミロース含有率は府県産米よりも高く、これを低下させることにより良食味化を図ることが提唱され、北海道は1980年(昭和55年)から「優良米の早期開発試験」を開始し、これまでに「きらら397」³⁰⁾、「ほしのゆめ」³²⁾、「ななつぼし」⁴³⁾など良食味品種を開発してきた。また、北海道立農試では全国に先駆け、アミロース含有率の測定を簡易迅速に行うため、オートアナライザーを導入し¹⁰⁾、これにより、低アミロース遺伝子を導入した「彩」^{20),38)}、「あやひめ」が育成された。

これらの品種開発により北海道産米の食味は確実に向上してきた。しかし、産地間差や年次間の食味の差が大きく、特に、土壌条件に伴うタンパク質含有率の変動が大きく、品種だけでは改善出来ない問題も抱えており、依然として本州産良食味品種に比べ食味が劣っている。

近年、食生活の変化に伴い、家庭内における米の消費量は年々低下している。一方、業務用米や加工炊飯などの需要が伸びており、求められる米の性質は多様化している¹⁹⁾。

業務用米に求められる品質は、一般的な食味計の食味値では73.6～81.0、アミロース含有率18.6～19.9%、タンパク質含有率6.8～7.4%、白米白度39.5～42.3%、整粒歩合93.9～100.0%、水分14.0～15.1%である。また、中食などの実需者からは炊飯後冷めても硬くなりにくい性質の米が求められている⁸⁾。これらに対応するため、更なる品質の向上と求められる米の特性を評価する新しい育種選抜手法の開発が重要となっている。

2) 新しい食味評価法の開発

米の食味は、タンパク質含有率との関連性^{26),15),22)}が指摘されているが、ここでは、米の主成分である澱粉について述べる。米粒の80%が澱粉で構成されていることから、食味に及ぼす澱粉の影響は大きいと思われるが、

これまで、アミロース含有率の測定とアミログラムなど糊化特性が調べられてきただけで、澱粉の分子構造と食味の関係については明らかではなかった。オートアナライザーを活用したアミロース含有率の測定は、Williamsら⁴⁰⁾の方法をJulianoが¹⁷⁾改良して稲津¹¹⁾が応用した方法でアミロースとヨウ素の複合体を620nmの単一波長の吸光値の測定で行われている¹²⁾。この方法ではヨウ素と α -1, 4-グルカンが結合したヨウ素複合体を比色定量するため、アミロペクチンの最長鎖画分のヨウ素吸収も含まれた測定値であり、見かけのアミロース含有率である³⁶⁾。すなわち、ヨウ素親和力の高いアミロペクチンはアミロペクチンの側鎖にアミロース様の長い枝を持っており³⁷⁾、これまでの見かけのアミロース含有率ではこれらアミロペクチン側鎖の影響を受けており、真のアミロース含有率は米飯のテクスチャーとは小さな影響しか示さず、むしろ炊飯米のテクスチャーはアミロペクチンの構造と関係があると考えられている²⁹⁾。アミロース含有率がほぼ等しい米についてRVAによるブレイクダウンとアミロペクチン鎖長分布の関係を見た結果、アミロペクチン長鎖画分とブレイクダウンには負の相関関係が、アミロペクチン短鎖画分とは正の相関関係が認められており、アミロース含有率よりもアミロペクチンの構造が熱糊化特性と密接な関係が認められている。そこで、アミロース含有率は1980年代までは米の食味を決定する最も重要な要因として研究されてきたが、米品質の研究はアミロースからアミロペクチンへ180°の転換が図られている⁴¹⁾。近年、澱粉の分子構造解析手法^{6),21),5)}の発達により、澱粉の分子構造と食味特性^{1),35)}、熱糊化性^{3),25)}、登熟温度¹³⁾についての解析が行われており、アミロース含有率が低く、アミロペクチンの長鎖長区分(B2+B3)の値が高く、平均単位鎖長の小さい米ほど、軟らかく、粘りのあるご飯となること³⁵⁾、アミロペクチンの側鎖の最長鎖画分(LC)と米飯の咀嚼特性に関係が認められている²³⁾。

すなわち、アミロペクチンのLCが多い品種ほど米飯は硬く、付着性と粘着力が弱くなり、RVAにおけるブレイクダウンと負の相関関係が認められ、澱粉粒の崩壊性にLCが関与していることが指摘されている²³⁾。

澱粉は糊化直後から老化が始まり、時間が経つに伴い品質が低下する。炊飯後の米飯も同様な時間経過をたど

*上川農業試験場 078-0387 上川郡比布町

り、老化の進行は「かたさの増加」、「粘りの減少」などの物性面の変化として現れ、食味上好まれないものになる。いずれにしても、澱粉の糊化と老化は、アミロース含有率とアミロペクチン鎖長分布が関連している。

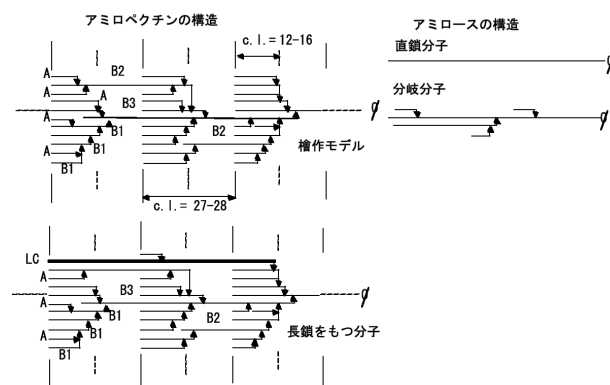
北海道産米は炊飯直後の食味は良いが、冷めた後固くなりやすく老化しやすいとの指摘がある。このため、老化しにくい米の育種が必要である。澱粉の老化度の測定は、一般的には澱粉分解酵素を使ったBAP法¹⁸⁾で測定されるが、試料を脱水乾燥後粉末化させる必要があること、手法が大変煩雑であること、再現性を得るには熟練を要するなどの問題点があり、総じて大変に面倒である。井川ら⁹⁾は冷蔵24時間後までの初期老化について、白濁程度の評価、X線回折、示差走査熱量測定(DSC測定)、BAP法による糊化度測定の3つの測定法で評価し、いずれの測定法間においても高い相関関係があることを示した。ただし、白濁程度は正確さに問題があること、X線回折はデータの定量化と使用する装置から簡便とは言えないため、冷蔵期間の早期から試料の差を検出でき、直接測定が可能である点から米飯の初期老化の評価にはDSC測定が適するとしている。DSCによる老化度の測定の場合にも脱水乾燥後粉末化させた試料が必要となる。これらに対し、佐原ら³¹⁾は伝導型微少熱量計を用いて炊飯米の熱測定を試みた結果、老化に起因すると考えられる発熱ピークを観察している。伝導型微少熱量計による熱測定においては、実験操作が簡便であり、炊きあげた米飯に何ら手を加えることなくそのままの状態、等温条件下における熱収支の経時変化を直接測定して、老化に関わるエンタルピー変化(老化熱)を取り出すことが可能であるため、老化の程度およびその経時変化の直接測定が期待されている。

3) 米粉のヨウ素吸収マルチスペクトル解析による新食味評価法の開発

うるち米の澱粉は、一般におよそ20%のアミロースと80%のアミロペクチンから構成されている。アミロースはグルコースが α -1, 4-結合で結合した基本的に直鎖の多糖であるが、少ないながらも分岐した分子と直鎖の分子の混合物である。米のアミロースは平均重合度が約1000, 1分子あたり平均1~3本の分岐をもち、分岐分子の割合は25~50%である。アミロペクチンは α -1, 4-結合で結合したグルコース鎖に別の糖鎖が α -1, 6-結合で結合した分岐構造である。

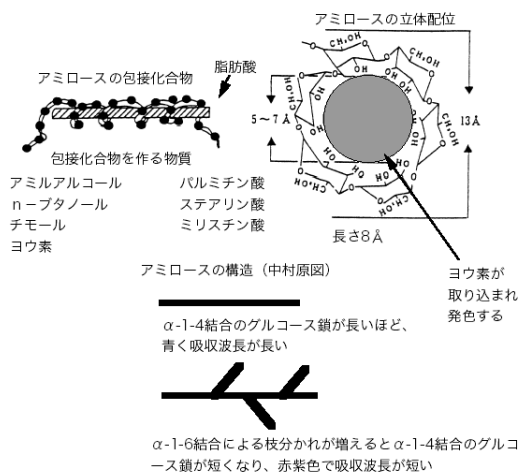
アミロペクチンを構成する単位鎖はグルコース残基が6~60程度つながったものである。アミロペクチンは単位鎖が房状に集まり、この房と房をつなぐ別の単位鎖に

よりいくつも繋がって大きな構造(クラスター構造)をしている。クラスターをまたがっている鎖をB鎖と呼んでいる。クラスター内で他のクラスターと結合していない単位鎖をA鎖と呼んでいる。また、B鎖はまたがっているクラスターの数に応じて、B1, B2, B3(クラスター3個にまたがる)と呼ばれている(図Ⅲ-2-1)³⁶⁾。

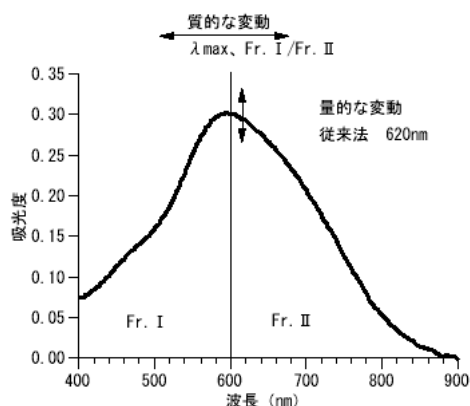


図Ⅲ-2-1 アミロペクチンの構造

澱粉をヨウ素-ヨウ化カリウム溶液で染色した場合、アミロースはグルコース6個で一順する直径13~13.76 Åのラセン構造の中にヨウ素イオンがポリヨウ素イオンとして収納されて青色を呈する(図Ⅲ-2-2)。これに対し、アミロペクチンはヨウ素との複合体をほとんど形成しないため、染色溶液は茶色の呈色を示す。米粉のヨウ素吸収曲線は図Ⅲ-2-3に示したような曲線を描くが、従来は620nmの吸光度でアミロース含有率を測定していた。一方、アミロースとアミロペクチンでは α -1, 4-グルカンの重合度が異なるため、その最大吸収波長が異なることが知られている。従ってヨウ素吸収曲線を得ることにより、最大吸収波長およびFr. I /Fr. II比などの測定を行えば、従来の量的な変動と同時に質的な変動を捉えることが可能と考えられる。



図Ⅲ-2-2 澱粉の構造とヨウ素デンプン反応



図Ⅲ-2-3 ヨウ素吸収曲線の概念図

注) Fr. I=400~600nmの吸光度の積算値

Fr. II=600~900nmの吸光度の積算値

Fr. I / II=(400~600nmの吸光度の積算値)/(600~900nmの吸光度の積算値)

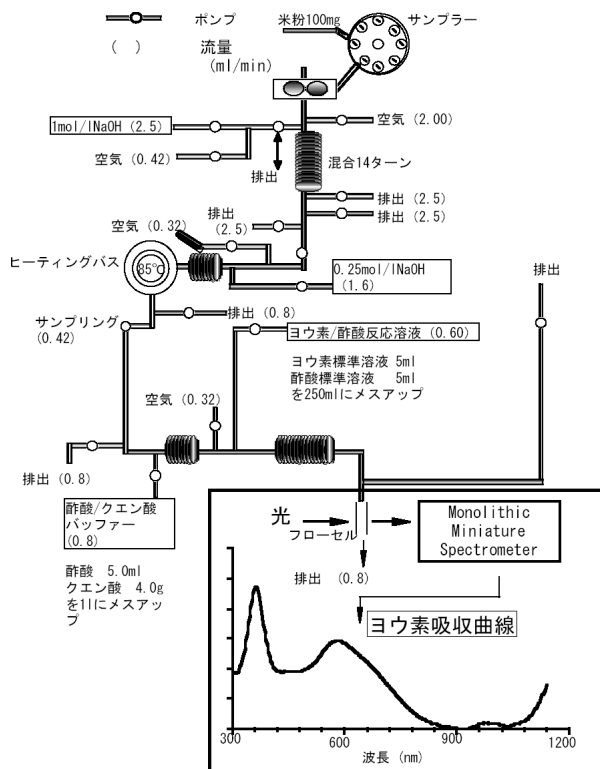
λmax=最大吸収波長 (nm)

オートアナライザー法は、試料調製が簡便で測定精度の再現性が高く、測定が迅速であるが、アミロースとアミロペクチンという性質の異なる成分の合成された吸収スペクトルであるため、従来の620nmの吸光度の測定ではアミロペクチンのヨウ素吸収の影響を受ける。最近、白石³³⁾は測定波長をアミロペクチンの影響を受けない770nmの測定が望ましいことを提唱しているが、770nmの吸光度は小さいため、試料濃度を高める必要があり、実際にはアミロペクチンの吸収を除去することには限界があるとしている。一方、井ノ内¹⁴⁾は玄米のヨウ素吸収曲線の最大吸収波長と酵素クロマト法によるアミロース含有率との関係式から簡易な米のアミロース含有率の測定方法を開発している。また、山下⁴²⁾は二波長測定法によるアミロース・アミロペクチンの測定を提案している。しかし、これらの方法は有用な方法であるが分析方法が自動化されていないため、育種現場での導入が進んでいない。

そこで、この装置を活用し、育種現場で実用的かつ簡



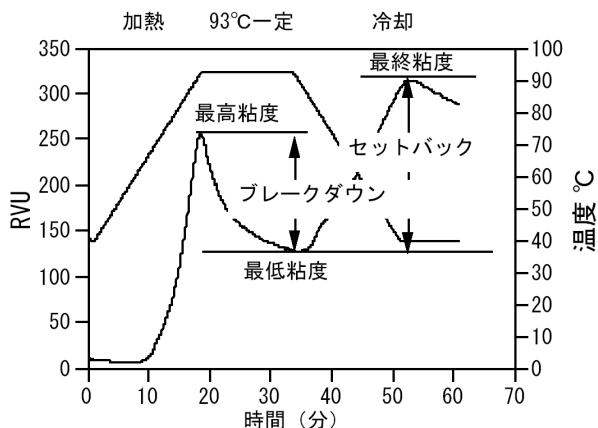
写真Ⅲ-2-1 マルチチャンネルオートアナライザー



図Ⅲ-2-4 オートアナライザーを用いたヨウ素吸収曲線の分析プロセス

便な分析手法を確立するため、マルチチャンネル検出器を備えたオートアナライザー(AAⅡ/MMS)を開発した(写真Ⅲ-2-1, 図Ⅲ-2-4)。現在、アミロース含有率を測定専用のオートアナライザーは国内で60台以上導入されており、ほとんどの農業試験場で活用されている。そこで、従来のアミロース分析用オートアナライザーに310nm~1100nmまで256波長を瞬時に測定できるドイツZEISS社製Monolithic Miniature Spectrometerを接続し、1時間に20点のヨウ素吸収曲線の自動測定と分析項目の出力プログラムを開発した。この装置は、従来の検出器と置き換えるだけで利用できるため、分析機器の新規投資が少なく済むと考えられる。この装置を活用して、ヨウ素澱粉複合体吸収曲線(IAS)の特性解析を行い、アミロース含有率、熱糊化性、老化性および食味官能総合値との関連性を検討した。尚、ここでは炊飯米が冷めた後、硬くなる現象を便宜的に老化性と表記した。また、RVA(ラピッド・ビスコ・アナライザー)で測定したセットバックを糊化後に冷却したあとの硬くなりやすさの指標とした(図Ⅲ-2-5)。

最大吸収波長(λmax)は、アミロースの分子量が70,000以上で差は小さく約598であった。一般に米のアミロースの分子量は162,000前後、数平均重合度が1,000前後であり、米粉を測定する場合、最大吸収波長に及ぼすアミ



図Ⅲ-2-5 熱糊化特性と食味の関係

	食味良 ←	食味不良 →
最高粘度	大 (大きすぎても不良)	小
ブレークダウン	大	小
最終粘度	小	大
セットバック	小	大

ローズの分子量の影響は少ないと考えられた(表Ⅲ-2-1)。一方, 最大吸収波長は, アミロースとアミロペクチンの割合に応じて変動し, 最大吸収波長はアミロース含有率が高いほど長くなった(図Ⅲ-2-6)。このため, 最

表Ⅲ-2-1 $\lambda_{\max}$ に及ぼすアミロースの分子量の影響

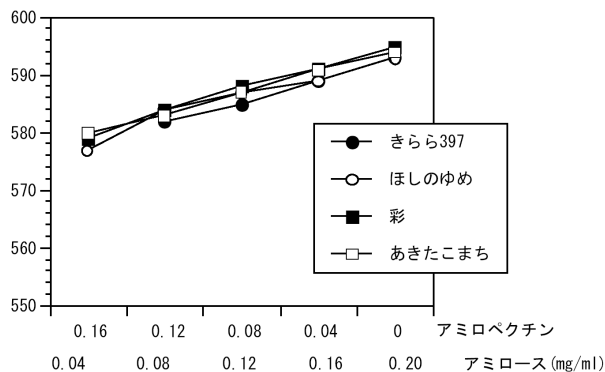
	分子量 M.W.	$\overline{DPn}^*$	$\lambda_{\max}$ (nm)
AS-30	22,680	140	580
AS-70	69,660	430	597
AS-110	84,240	520	598
AS-320	372,600	2300	598
AS-1000	712,800	4400	597

*: 数平均重合度

大吸収波長を測定することにより, アミロース含有率とアミロペクチン含有率の測定が可能である。次に, アミロース含有率の検量線を従来の単一波長(620nm)と400~900nmの吸光度の積算値, 522nmと778nmの吸光度の差, および595,713,716nmの3波長で作成した重回帰式で比較検討した。いずれの検量線も実用レベルの精度で

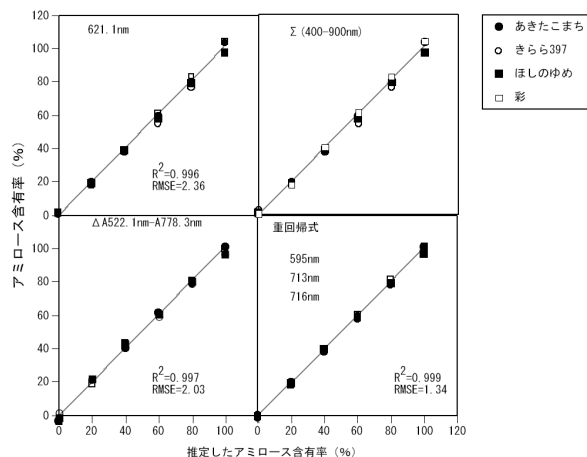
表Ⅲ-2-2 熱糊化性の推定結果の比較

説明変数	項目	最高粘度	最低粘度	ブレークダウン	最終粘度
アミロース含有率	R^2	0.893	0.248	0.930	0.550
	RMSE	12.3	4.3	10.4	11.2
AA II/MMS	R^2	0.916	0.669	0.935	0.897
	RMSE	11.5	3.0	10.6	5.7
アミロース含有率	標準回帰	5.52	25.96	1.98	24.35
$\lambda_{\max}$	係数	-0.07	-0.64	0.02	-0.53
Σ (400-900nm)		-6.41	-24.95	-2.96	-23.19

図Ⅲ-2-6 アミロースとアミロペクチン濃度が $\lambda_{\max}$ に及ぼす影響

注) 各品種のデンプンからアミロースとアミロペクチンを分別し, 再び混合したサンプルを試料とした。

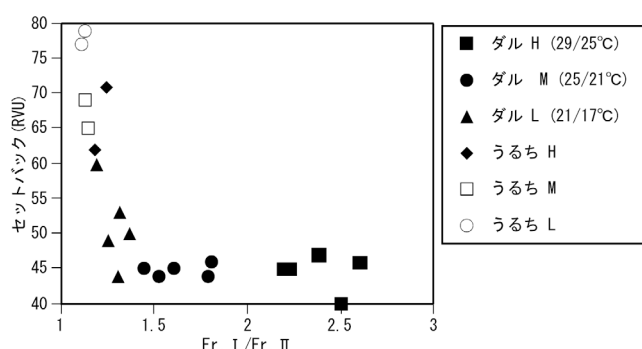
あり, 単一波長よりも2波長や重回帰式を用いた方法は精度が高く測定できる(図Ⅲ-2-7)。さらに, 本法から



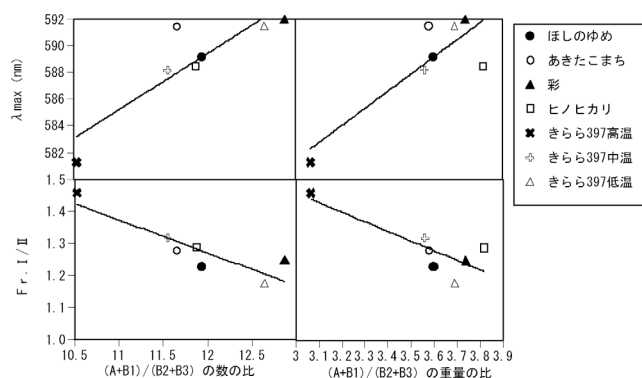
図Ⅲ-2-7 アミロースとアミロペクチンを混合したときのアミロース含有率の検量線ヨウ素吸収曲線の概念図

得られた見かけのアミロース含有率, 400~900nmの吸光度の積算値, $\lambda_{\max}$ の3項目を説明変数としてRVAによる熱糊化特性の推定式を比較した結果, 見かけのアミロース含有率のみで推定するよりも, いずれの項目も

推定精度が向上し、特に、最低粘度、最終粘度の推定精度が著しく向上した(表Ⅲ-2-2)。RVAによる熱糊化老化曲線は澱粉の糊化と老化を評価でき、セットバック(最終粘度-最低粘度)は糊が冷却後に硬くなる程度を示し、この数値が高いほど老化しやすい(図Ⅲ-2-5)。しかし、この測定には時間がかかる。そこで、これらは澱粉の老化性を推定する簡便な指標を得るため、Fr. I / Fr. II 比とセットバックの関係をみた。この結果、Fr. I / Fr. II 比が1.5以下ではセットバックは大きく変動するが、1.5以上では変動が少なかった(図Ⅲ-2-8)。したがって、老化しにくい米の選抜指標値として最大吸収波長およびFr. I / Fr. II 比が有効と判断した。また、最大吸収波長およびFr. I / Fr. II 比は、アミロペクチン単位鎖の短鎖(A+B1)と長鎖(B2+B3)の比と相関関係が認められた(図Ⅲ-2-9)。従って、ヨウ素吸収曲線の波長解析による最大吸収波長およびFr. I / Fr. II 比は澱粉の鎖長分布を反映した指標と言える。



図Ⅲ-2-8 Fr. I / Fr. II とセットバックの関係



図Ⅲ-2-9 アミロペクチン単位鎖の短鎖と長鎖の比と Fr. I / Fr. II および λ_{max} の関係

注) アミロペクチン単位鎖の分析は花城らの蛍光標識とゲルろ過HPLC法で行った。

以上のことから、本方法は従来の方法と全く同じ操作で、ヨウ素吸収曲線の測定を自動化した初めての方法であり、育種現場における利用が期待される。今後、北海道産米に求められる「さめても柔らかく、粘りがあり、

老化しにくい性質」を選抜するために活用できる。

4) 澱粉の構造と生合成

澱粉の生合成は胚乳細胞中のアミロプラスト内で行われるが、合成は(1)基質であるADPグルコースの合成、(2)初発反応、(3) α -1, 4直鎖の伸長、(4) α -1, 6分枝の形成、および、(5)形成されたアミロペクチン前駆体の α -1, 6鎖のトリミングと結晶構造の形成、の5つのステップが考えられる。それぞれのステップに異なる酵素が関与し、かつ、それぞれの酵素に複数のアイソザイムが存在することが報告されている。即ち、(1)澱粉合成の主要な基質と考えられているADP-Glucoseの合成にはADPグルコースピロホスホラーゼ(ADP-Glucose pyrophosphorylase: AGPase)、 α -1, 4直鎖の合成に関わる澱粉粒結合型澱粉合成酵素(Granule-bound starch synthase: GBSS)と2種の可溶性澱粉合成酵素(Soluble starch synthase: SSS)、 α -1, 6分枝及び α -1, 4グルカンリセプターとしての非還元末端の形成に関わる枝作り酵素(Branching enzyme: BE)、或いはBEとSSSによって形成された多数の α -1, 6分枝を持つプレアミロペクチンとも呼ぶべき分子を枝切りしトリミングすることによって完成された結晶構造を持つアミロペクチン分子に導くと考えられる枝切り酵素(Debranching enzyme; DBE)など、植物の澱粉合成には多様な酵素の関与が明らかにされている。これらの酵素に関わる突然変異体はその酵素の機能と澱粉生合成に果たす役割、或いは形成された澱粉の澱粉化学的特性を明らかにする上で極めて有効である。イネでも、上述のようにGBSSをコードする遺伝子の変異体waxyや、GBSSの発現制御に関わると考えられる低アミロース変異体dull、3種存在するBEの内、胚乳特異的BEであるBE IIbをコードする遺伝子の変異体amylose-extender、枝切り酵素の1種isoamylaseに関する変異体sugary 1、あるいは、BE Iと共にGBSSやBE IIb、さらにDBEやAGPaseなど澱粉生合成に関わる複数の酵素類の発現に影響を与えるfloury 2変異体など、さらに、shrunk 1及びshrunk 2の両変異体はいずれもAGPaseの活性を著しく減少させることから、この両変異体の遺伝子はAGPaseあるいはADPグルコースの合成に関わりがあるものと考えられ、現在、解析が進められている。

5) 稲の澱粉変異体の作成と良食味化の可能性

澱粉合成酵素の発見以来、植物生理・生化学の分野で急速に解明が進められてきたが、その遺伝的調節機構に関してはまだ不明な部分が多い。これまでに

sugary⁴⁾や shrunken, brittle, waxy, dull²⁷⁾, amylose-extender²⁴⁾など多様な変異体が発見され、これらは成分育種に大きく貢献するとともに、澱粉生合成の遺伝的調節機構の解明に多くの情報を提供してきた^{2),39),16)}。

イネでは、胚乳成分に関する突然変異として古くからモチ突然変異(wx)が知られ利用されてきたが、近年有効な突然変異誘起法の開発や選抜法の改良により、様々な変異体の存在が確認された。これらの変異体はコメ品質改良の育種素材として利用されるとともに、これらの変異体を用いてイネ胚乳澱粉の生合成・集積の遺伝的調節機構の解明が進められている。

突然変異誘発法は変異原物質を用いて同一品種を処理することで比較的容易に同質遺伝子系統を作製することができることから、X線やγ線等の放射線、あるいはエチルメタンスルホン酸(EMS)等の化学変異原物質を用いた物理・化学的処理、また最近では細胞培養やトランスポゾンなど生物学的処理によって胚乳成分に関する突然変異の誘発が行われている。

九州大学ではイネの開花受精直後の1細胞期受精胚にメチルニトロソウレア(N-metyl-N-nitrosourea: MNU)を用いて処理する受精卵処理法によって、アミロースを欠くモチ突然変異体(waxy: wx)に加え、胚乳澱粉中のアミロース含量を変更する変異体、糖含量や可溶性多糖(WSP)含量を変更する変異体など、胚乳貯蔵澱粉に関与する様々な変異体を得ている。本法は、1細胞期処理のためM1植物がキメラとならず、変異体の発見が容易なので、このような胚乳成分に関する変異体の作出に有効である。

北海道産米の食味向上には、寒い気象条件に於いても安定的に低アミロース米を生産することが重要であるが、Park²⁸⁾らはイネのアミロース含量が18%以上の品種では、GBSSのリーダーイントロン5'スプライスサイトにAGGTATAの配列があり、アミロース含量の低い品種にはAGTTATAの配列があって、この単一塩基多型がGBSSの前mRNAプロセッシングの効率を減じていること。このG-T多型が穀粒発育中の温度感受性の差に関係していることを見いだした。AGTTATA配列を持つ品種では、18℃において25℃や32℃より、成熟GBSS転写物の蓄積が増加した。リーダーイントロン5'スプライスサイトの選択もまた温度によって影響を受けることが明らかにしている。北海道産米は登熟温度によりアミロース含有率の変動が大きい。これはアミロース合成酵素GBSSの発現量が登熟温度で変動することが要因として考えられる。この温度反応性は品種により異なり、粳品種では温度反応性は小さく、dull遺伝子をもつ品種は

温度反応性が大きい。このことから、前者はGBSSのリーダーイントロン5'スプライスサイトにAGGTATAの配列があり、後者はAGTTATAの配列があって、この単一塩基多型がGBSSの前mRNAプロセッシングの効率を減じているのではないかと推察している。このことから、北海道産米を選抜するに当たり、GBSSのリーダーイントロン5'スプライスサイトにAGGTATAの配列があり、アミロース含有率の低い系統を選抜する必要があるものと考えられる。

6) まとめ

以上のことから、突然変異育種を活用して、澱粉の変異体を作成して、北海道の気象条件でも冷めても柔らかく、粘りがあって、口当たりも良く、味の良い品種が出来る可能性があり、これら変異体の選抜には、新しく開発した分析方法が役に立つかも知れない。これからの育種の益々の発展に期待したい。

引用文献

- 1) 朝岡正子, 高橋慶一, 中平 健, 井ノ内直良, 不破英次. "新形質米胚乳澱粉の構造特性—1990, 91年産うるち米について—". 応用糖質科学. **41**(1), 17-23 (1994).
- 2) Buleon, A., Colonna, P., Planchot, V., and Ball, S. "Starch granules structure and biosynthesis" J. Biol. Macromol., **23**, 85-112(1998).
- 3) Fitzgerald, M. A., Martin, M., Ward, R. M. Park, W. D. and Shead, H. J. "Viscosity of rice flour A Rheological and Biological study". J. Agric. Food Chem, **51**, 2295-2299 (2003).
- 4) Fujita, N., Kubo, A., Suh, D.S., Wong, K.S., Jane, J.L., Ozawa, K., Takaiwa, F., Inaba, Y., Nakamura, Y. "Antisense inhibition of isoamylase alters the structure of amylopectin and the physicochemical properties of starch in rice endosperm". Plant. Cell. Physiol. **44**(6), 607-18 (2003).
- 5) Hanashiro, I., Tagawa, M., Shibahara, S., Iwata, K., takeda, Y. "Examination of molar-based distribution of A, B and C Chains of amylopectin by fluorescent labeling with 2-aminopyridine". Carbohydr. Res. **337**, 1208-1212 (2002).
- 6) Hizukuri, S. "Relationship between the distribution of the chain length of amylopectin

- and the crystalline structure of starch granules". *Carbohydr. Res.* **141**, 295-306 (1985).
- 7) Hizukuri, S. "Polymodal distribution of the chain lengths of amylopectins, and its significance". *Carbohydr. Res.* **147**, 342-347(1986).
- 8) 五十嵐俊成. "業務用米の実需者ニーズと産地対応—北海道産米を中心に—". *フードシステム研究*, **11**, 18-29(2004).
- 9) 井川佳子, 菊池智恵美, 兼平咲江, 村川由起子, 井尻 哲. "米飯における初期老化の評価方法". *応用糖質科学*. **49**, 29-33 (2002).
- 10) 稲津 脩. "北海道立農業試験場資料". **15**, 57-61 (1981).
- 11) 稲津 脩. "北海道における水稲・小麦の良質品種早期開発—プロジェクト研究合同セミナー集録—". *北海道立農業試験場資料*. **15**, 49-64 (1982).
- 12) 稲津 脩. "北海道産米の食味向上による品質改善に関する研究" *北海道立農業試験場報告*. **66**, 1-89 (1988).
- 13) Inouchi, N., Ando, H., Asaoka, M. "The effect of environmental temperature on distribution of unit chains of rice amylopectin". *Starch*. **52**, 8-12 (2000).
- 14) 井ノ内直良, 池内南美, 高美正, 朝岡正子, 不破英次. "米のアミロース含量簡易測定法の検討". *応用糖質科学*. **43**, 1-5 (1996).
- 15) 石間紀男, 平 宏和, 平 春枝, 御子柴穆. "米の食味におよぼす窒素施肥および精白中の蛋白質含量率の影響". *食糧研究所研究報告*. **29**, 9-15 (1974).
- 16) James, M. G., Robertson, D. S., and Myers, A. M. "Characterization of the Maize Gene *sugary1*, a Determinant of Starch Composition in Kernels". *Plant Cell*. **7**, 417-429 (1995).
- 17) Juliano, B. O. "A simplified assay for milled-rice amylose". *Cereal. Sci. Today*. **16**, 334-338 (1971).
- 18) 貝沼圭二, 松永暁子, 板川正秀, 小林昭一. " β -アミラーゼ-プルランナーゼ(BAP)系を用いた澱粉の糊化度, 老化度の新測定法". **28**, 235-240 (1981).
- 19) 上川農業試験場. "業務用米の実需者ニーズと品質に係る実態調査". *北海道農業試験会議資料*. 1-34 (2000).
- 20) 菊地治己, 国広泰史. "水稲新品種「彩」". *農業技術*. **46**, 472 (1991).
- 21) Koizumi, K., Fukuda, M. and Hizukuri, S. "Estimation of the distributions of chain length of amylopectins by high-performance liquid chromatography with pulsed amperometric detection". *J. Chromatogr.* **585**, 233-268 (1991).
- 22) 松田裕之. "精米中のタンパク質含有率からみた米の食味向上に関する研究". *山形県農事特別研究報告*. **24**, 1-29 (2002).
- 23) 水上浩之, 竹田靖史. "新形質米米飯の咀嚼特性と澱粉の分子構造との関係". *応用糖質科学*. **47**, 61-65 (2000).
- 24) Nishi, A., Nakamura, Y., Tanaka, N., and Satoh, H. "Biochemical and genetic analysis of the effects of amylose-extender mutation in rice endosperm". *Plant. Physiology*. **127**, 459-472 (2001).
- 25) Noda, T., Nishiba, Y. Sato, T., and Suda, I. "Properties of starches from several low-amylose rice cultivars". *Cereal. Chem.* **80**(2), 193-197 (2003).
- 26) 農林水産技術会議事務局. "米の食味改善に関する特別研究資料". (1970).
- 27) Okuno, K., Fuwa, H. and Yano, M. "A new mutant gene lowering amylose content in endosperm starch of rice, *oryza sativa* L". *Jpn. J. Breed.* **33**, 387-394 (1983).
- 28) Patric D.Larkin and William D.Park. "Transcript accumulation and utilization of alternate and non-consensus splice sites in rice granule-bound starch synthase are temperature-sensitive and controlled by a single-nucleotide polymorphism". *Plant. Molecular. Biology*. **40**, 719-727(1999).
- 29) Radhika Reddy, K., Zakiuddin Ali, S., and Bhattacharya, K.R. "Fine structure of rice-starch amylopectin and relation to the texture of cooked rice". *Carbohydr.Polym.* **22**, 267-275 (1993).
- 30) 佐々木多喜雄, 佐々木一男, 柳川忠男. "水稲新品種「きらら397」の育成について". *北海道立農試集報*. **60**, 1-18 (1990).
- 31) 佐原秀子, 貝沼やす子, 原田茂治. "炊飯米の老化熱測定を試み". *静岡県立大学短期大学部 研究紀要*. **13**, 1-4(1999).
- 32) 新橋 登, 前田 博, 國廣泰史ら. "水稲新品種「ほしのゆめ」の育成". *北海道立農試集報*. **84**, 1-12 (2003).

- 33) 白石真貴夫. “イネ胚乳澱粉のアミロース含有率に関する育種学的研究”. 大分県農業技術センター研究報告. **24**, 91-134(1994).
- 34) 竹生新治郎. “コメの味 食の科学”. **1**, 79-86 (1971).
- 35) 高橋節子, 杉浦智子, 内藤文子, 渋谷直人, 貝沼圭二. “米の食味と米澱粉の構造”. 応用糖質科学. **45** (1), 99-106 (1998).
- 36) 竹田靖史. “でん粉と食品”. **19**, 1-9 (1994).
- 37) Takeda, Y., Hizukuri, S. and Juliano, B.O. "Structures of rice amylopectins with low and high affinities for iodine". Carbohydr. Res. **168**, 79-89(1987).
- 38) 丹野 久, 國廣泰史, 江部康成. “水稻新品種「彩」の育成について”. 北海道立農試集報. **72**, 37-53 (1997).
- 39) TL, Wang., T, Bogracheva., and C, Hedley., "Review article. Starch : as simple as A, B, C". J. Exp. Bot. **49**, 481-502(1998).
- 40) Williams, V. R., Wu, W-T., Tsai, H. Y., and Bates, H. G. "Varietal differences in amylose content of rice starch". J. Agric. Food Chem., **6**, 47-48 (1958)
- 41) Xian-Zhong, H., and Bruce R, H., "Amylopectin fine structure and rice starch paste breakdown". J.Cereal.Sci. **34**, 279-284 (2001).
- 42) 山下純隆, 馬場紀子, 森山弘信. “2 波長測定法による米のアミロース及びアミロペクチンの定量”. 福岡農総研報. **A-13**, 13-16 (1994).
- 43) 吉村 徹, 丹野 久, 菅原圭一ら. “水稻新品種「ななつぼし」の育成”. 北海道立農試集報. **83**, 1-10 (2002).

3. 炊飯米の外観とその測定法

柳 原 哲 司*

はじめに

ご飯の食味は主に、外観、香り、味、粘り、硬さといった要素で総合的に構成されるといわれており、全国で広く実施されている食味官能試験ではこれらの項目毎に評点を付ける方法が採用されてきた³⁾。すなわち、おいしいご飯とは「外観、香り、味が良く、程良い粘りとやわらかさ」を備えたご飯と表現することができる。

一方北海道が1980年代以降、良食味米品種選抜法として導入してきた食味関連測定項目は、アミロース含量、蛋白質含有率、アミログラム特性および米飯粒のテクスチャーである⁴⁾が、これらはいずれもご飯の食味構成要素の中で主に「粘り」と「やわらかさ」の向上をターゲットとしたものであった。その結果、1990年代以降に開発された北海道米品種は、それ以前の品種に比較して格段に「粘り」と「やわらかさ」が向上し、近年では府県良食味銘柄と同レベルの評価も得ている²⁾。しかし、今後北海道米の食味をさらにワンステップ向上させるためには、新たな食味構成要素の向上に視点を移す必要がある。筆者らは、その新たな要素として炊飯米の「外観」を取り上げることとした。

米の食味を構成する評価項目の中で、炊飯米の外観についてはその重要性が指摘されながら^{3),4),5)}も機器分析による客観的な数値化が難しく、これまでは官能試験による相対評価に頼るしかなかった。また近年需要が伸びている、外食や中食産業で使用される米の場合には、炊飯米の外観は直接商品性と結びつく場合が多く、家庭で消費される一般米以上にその重要性が高いと思われる。

そこで筆者らは、炊飯米外観の客観的機器評価法として、近年パソコンレベルでの利用が可能となった画像解析を応用することを試みた⁶⁾。画像解析を応用した機器測定の特徴として、①感覚の個人差を排除できる、②照明など測定条件の統一が容易になる、③同一基準での数値評価が可能となることなどがあげられ、従来の官能評価に比較して、より高精度で効率の高い評価が期待できるためである。

本稿では、この評価法開発に関わる技術的な検討結果と将来的な応用の可能性について述べる。

1) 画像解析による炊飯米外観測定法の開発

(1) 測定装置の概要

炊飯米外観測定システムは大きく①少量炊飯シャーレ、②少量炊飯装置、③炊飯米画像取り込みシステム、④画像解析・データ処理装置(PC)から構成される(図Ⅲ-3-1)。

少量炊飯シャーレは直径75mmのステンレス製で、フタ部分には内部の水蒸気を効率良く透過するフィルターがはめ込まれている。また、シャーレ内部は測定時にライティングの反射を防ぐため黒色のコーティングが施してある。このシャーレを用いると、15g程度の白米による少量炊飯が可能で、通常の炊飯釜とほぼ同様の炊き上がりが得られる。

少量炊飯装置は、一度に24個のシャーレが収納可能で、温度プログラマーにより炊飯条件が自由に設定できる。

炊飯米画像取り込みシステムは、CCDカメラ、リングライト、照度計、ターンテーブルが一体化されており、少量炊飯された炊飯米表面の画像を一定の照度条件で連続的にデジタル画像として取り込める仕組みとなっている。



図Ⅲ-1-1 炊飯米外観測定システムの概要

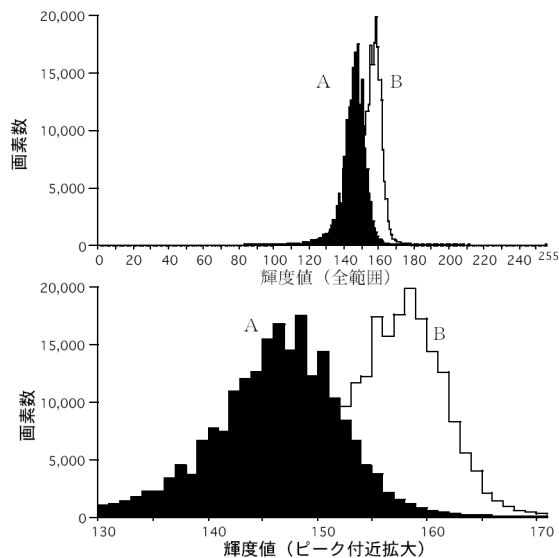
(2) 測定システムの開発

①炊飯米外観測定パラメータの検討

炊飯米の外観は北海道で実施されている官能評価項目に従い、「白さ」と「つや」の2項目に分けて評価することとした。まず、炊飯米の「白さ」が画像解析から得られるどのような測定値と関連があるかを把握するために、官能評価による炊飯米の白さが明らかに異なると評価された2種類の米、AおよびB両試料(Aに比較して

*上川農業試験場 078-0387 上川郡比布町

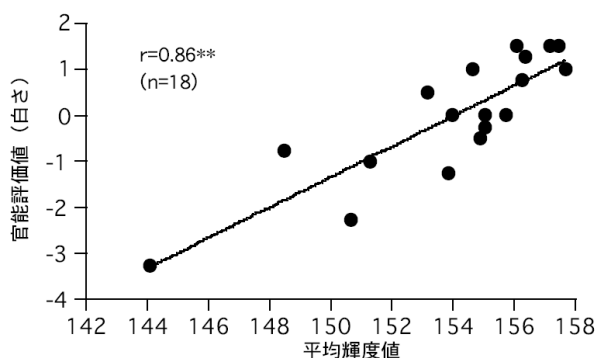
B試料は明らかに「白い」と評価される)のデジタル画像を用いて輝度成分の比較をおこなった。両画像はともに全220,800画素から構成されたモノクロ濃淡画像であり、図Ⅲ-3-2にAB両画像の輝度毎のヒストグラム(=輝度分布)を示した。



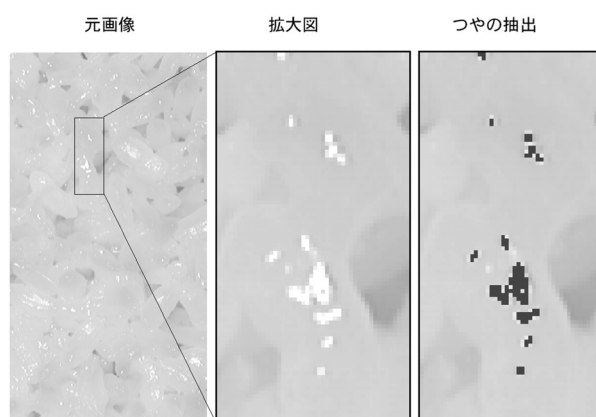
図Ⅲ-3-2 試料A, B炊飯米の輝度分布の比較³⁾

図Ⅲ-3-2上には、0~255の全輝度範囲での輝度分布を示した。両試料とも輝度値150付近に明瞭なピークを持つことがわかった。このことは、それぞれの炊飯米画像は極めて均質な輝度をもつ画素で構成されていることを示しており、このピーク位置が両画像の全体的な明るさを端的に示すと考えられることから、この違いが炊飯米の白さの違いとして知覚されるものと推測された。そこで両画像の輝度分布の違いをより詳細に比較するため、ピーク付近を拡大したのが図Ⅲ-3-2下である。両試料を比較すると、ピークはAよりB方が高位置にあり、より高輝度の画素で構成されていることが示されている。この分布の違いを数値として示すために、全画素の平均値(平均輝度)を求めるとAは144、Bは156と計算され、官能評価の結果と対応する結果となった。そこで、品種および産地・圃場の異なる18点の評価用試料を用い、同様の手法により平均輝度値を求め、官能評価値との関係を示したのが図Ⅲ-3-3である。両者は $r=0.86$ と有意な(1%水準)高い相関関係を示し、平均輝度値が高い米は白いと評価されることが示された。以上から、平均輝度値は炊飯米の白さを測定するためのパラメータとして採用した。

次に、「つや」を示す測定パラメータの検討をおこなった。検討にあたり、まず人が炊飯米のつやとして認識している部位の輝度的な特徴を明らかにしようとした。図



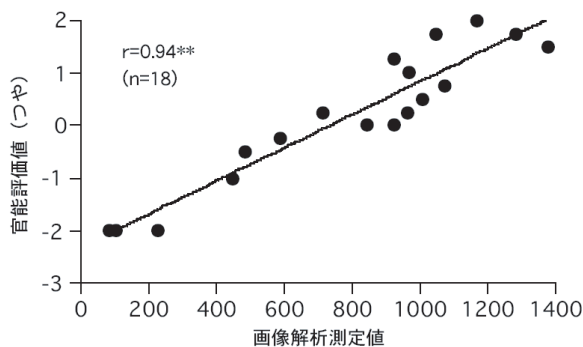
図Ⅲ-3-3 平均輝度と官能評価による米飯白さの関係³⁾



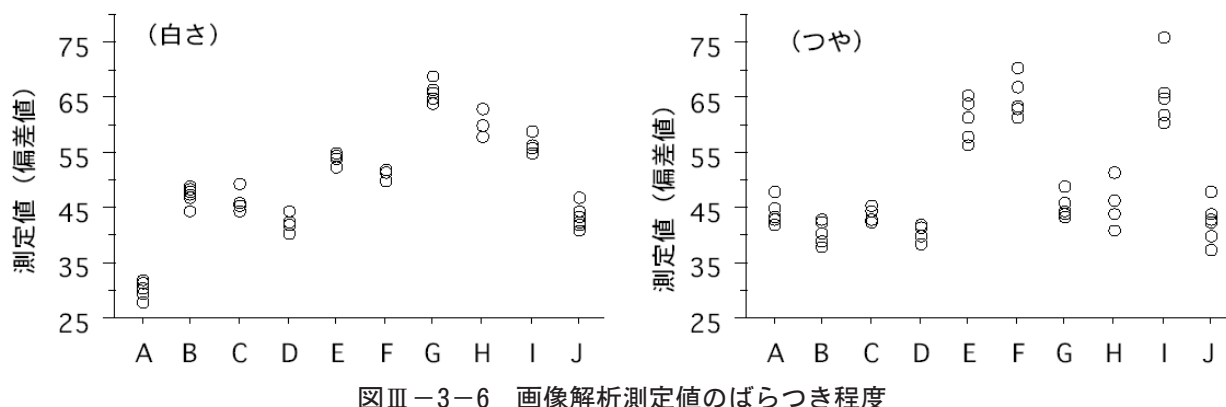
図Ⅲ-3-4 つや部分の拡大と抽出³⁾

Ⅲ-3-4に示されたように、炊飯米画像上でつやと認識できる部位を順次拡大していくと、炊飯米の「つや」とは、画像上で一定以上の高い輝度をもつ画素の集合部位であることが確認できた。そのため適当な閾値を設定し、つやとして認識される部分の画素だけを、画像全体から抽出することが可能となり、その面積(画素数)を比較するとつやの多少が測定できると予想された。

先と同様に18点の評価用試料を用い、画像解析により



図Ⅲ-3-5 画像解析測定値と官能評価によるつやの関係³⁾



図Ⅲ-3-6 画像解析測定値のばらつき程度

抽出した高輝度部分の画素数と、官能評価との関係を検討した結果、図Ⅲ-3-5に示したように「つや」の測定値は官能評価と良好な整合性を示し、画像解析により炊飯米の「つや」を客観的に数値化できることが示された。

(3) 測定精度と効率

本システムでの測定値のばらつき程度を検討するために、炊飯米の外観が異なると推定された10品種(A～J、北海道米、府県品種各5点)について、各品種6反復の少量炊飯を行い、画像解析測定値を得た。項目間の比較を容易にするため、測定値を各項目毎の偏差値に変換し、図Ⅲ-3-6に示した。

「白さ」測定値の反復間のばらつきは小さく、様々な試料間の比較を高い精度で測定できると考えられた。また、「つや」測定値の反復間のばらつきは平均輝度値よりも若干大きかったが、試料間の比較には十分用いることができると考えられた。

次に本測定システムを用いて多数の試料を効率良く測定するためのプロトコルを作成した。加水量、温度上昇パターン、炊飯後放置時間等について検討を加え、表

表Ⅲ-3-1 標準測定プロトコルの設定

測定セクション	測定過程	測定条件
炊飯シャーレ	精米	
	秤量・洗米	15g, 2回洗米
	加水・浸漬	1.6倍量, 10分
	加熱炊飯	105℃, 40分
	放置	20分
自動測定用ターンテーブル	画像取り込み	20回積算, 4角度 しぼり解放, 7.0lux
専用解析ソフト	画像解析	

Ⅲ-3-1のような標準測定プロトコルを作成した。これに従えば1日100点以上の測定が可能である。

また、外観測定後の炊飯米試料はそのまま食味官能試験やテクスチャー分析に用いることも可能であることから、育成材料の効率的な食味評価技術としても有効な手法となりうる。

2) 炊飯米外観測定の応用事例

(1) 北海道品種の測定事例

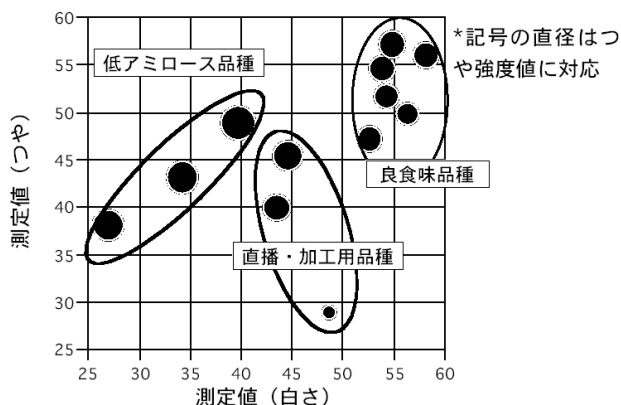
2001年産北海道米品種について、本システムによる炊飯米の外観評価を試みた。供試試料は表Ⅲ-3-2に示した163点(11品種、16地点)である。炊飯米外観の測定方法は標準測定プロトコルに従った。また、「つや」として抽出した画素数に加えて、つや抽出部分の平均輝度値をつや強度値として求め、プロットの大きさの違いとして示した。

表Ⅲ-3-2 供試品種一定
(2001年中央農試奨励地試験資料より)

供試品種名	品種用途	地点数		供試点数
		標肥区	多肥区	
ほしのゆめ	うるち良食米	16	5	21
きらら397		15	5	20
ほしたろう		15	5	20
ななつぼし		16	5	21
あきほ		13	4	17
ゆきまる	低アミロース (飯米用)	14	4	18
はなぶさ		14	5	19
あやひめ		16	4	20
北海288号*		1	0	1
きたいぶき	他用途	1	0	1
吟風		1	0	1
上育438号*		3	0	3

*「北海288号」および「上育438号」は奨励試験供試系試験である。

図Ⅲ-3-7に北海道における品種別の炊飯米外観測定結果を示した。



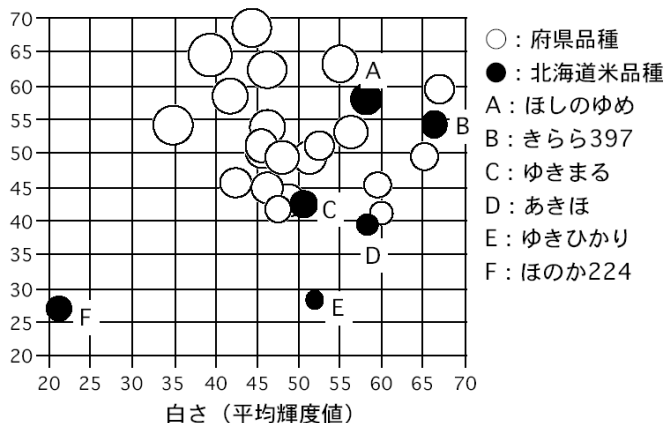
図Ⅲ-3-7 北海道米品種の炊飯米外観評価
(2001年中央農試奨励地試験・標肥区)

北海道米品種の炊飯米外観は、品種の特性により大きく3つに分けることができた。良食味品種群(「ほしのゆめ」、「ほしたろう」、「きらら397」、「ななつぼし」、「あきほ」、「ゆきまる」)は相対的に白くつやがあると評価される位置に分布し、つや強度はほぼ同様の値であった。低アミロース品種群(「あやひめ」、「はなぶさ」、「北海288号」)は「白さ」が特に低く、「つや」もやや低めであるが、つや強度が高い特徴を示し、炊飯米の外観上はうるち米品種と明確に区分されることが確認された。

(2) 府県品種との比較

図Ⅲ-3-8は北海道米の炊飯米外観の特徴を府県良食味品種と比較した結果である。図の横軸には「白さ」の測定値、縦軸には「つや」の測定値を配置して、各品種の外観的特徴を2次元平面にプロットした。また、プロットした点の大きさはつやの強度を示しており、同一の位置であれば点の大きいほどつや部分の明るさが強いことを示している。

北海道品種の炊飯米外観は、府県良食味品種と比較して、白さの点では優るが、つやに関する特性値が低い傾

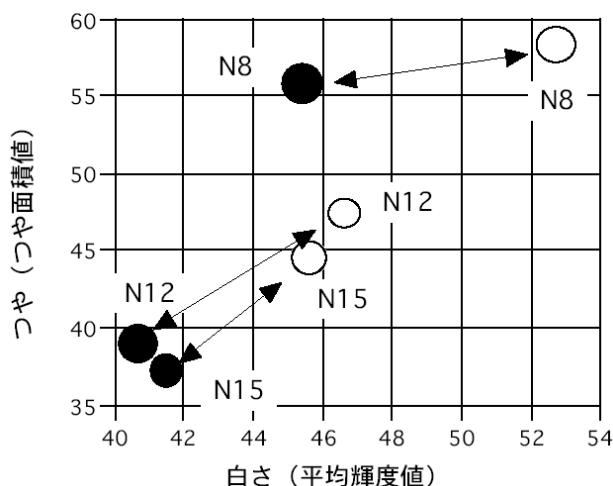


図Ⅲ-3-8 北海道米および府県品種の炊飯米外観の比較
注) 記号の直径はつや強度に対応

向にあり、それが官能評価で劣る要因となっていることが明らかとなった。このように、本測定装置では、官能評価における優劣が推定できるだけではなく、炊飯米外観の質的な差異や現在不足している特性について明らかにできる優点があり、稲育種に利用することにより、白くてつやのある次世代良食味品種の開発に役立てることができる。

(3) 施肥条件と炊飯米外観の関係

次に水稲生産現場における窒素施肥量と未熟粒の混入が炊飯米の外観に及ぼす影響について検討した。図Ⅲ-3-9は、同一圃場において窒素施肥量を3段階に変化させ(8, 12, 15kg/10a, 8kgが標準施肥量)たときの炊飯米の外観を検討した結果である。測定は各窒素施肥量区の試料を整粒(○)と未熟粒(●)に分けておこなった。



図Ⅲ-3-9 施肥量、玄米品質と炊飯米外観の関係
○: 整粒, ●: 未熟粒, 数字はN施肥量
注) 記号の直径はつや強度値に対応

炊飯米の白さ、つやとも整粒・未熟粒にかかわらず、窒素施肥量が増加するに従い値が低下し、外観が劣る事が示された。また、整粒に比較して未熟粒の炊飯米の値は明らかに低く、未熟粒の混入が炊飯米の外観低下に大きな影響をおよぼすことが、あらためて数値として確認された。

以上から、過剰な窒素施肥は炊飯米の外観に悪影響を与え、未熟粒の混入も炊飯米の外観を低下させる大きな要因であることが確認された。このように本装置による外観測定を、各生産現場毎に行うことにより、それぞれの地域での有効な品質向上技術の選定などに活用できると考えられる。

(4) 今後の利用場面と可能性

この評価技術は現在のところ実用化に向けて検討中であり、少量炊飯から測定までを含めた一体型測定装置の

開発が進められており、次のような利用場面が想定される。①良食味米品種開発現場での選抜検定法としての利用、②米生産地域では、栽培法による品質変動の評価として、③米飯加工・流通場面においては、炊飯、保存状態による炊飯米外観の品質管理指標として利用、また、④ブレンドによる炊飯米品質の評価指標として。これら生産から消費に至る様々な場面で利用されることにより、北海道米品質の高位・均質化を通じた利用拡大に役立つことが期待される。

※本試験は、静岡製機株式会社ならびに株式会社藤原製作所との共同研究により実施したものであり、本稿執筆に当たり両社担当各位のご協力に謝意を表します。

引用文献

- 1) 北海道立中央農業試験場. “優良米の開発試験プロジェクトチーム第Ⅰ期(昭和55～61年度)の試験研究成果”. 北海道立農業試験場資料, **19**, 63-76(1988).
- 2) 日本穀物検定協会. “米の食味ランキング”. 1-30(2000).
- 3) 農林省食糧研究所. “米の食味試験, 食糧—その科学と技術”. **4**, 13-28(1961).
- 4) 竹部新治郎. “米の味”. 食の科学, **1**, 79-86(1971).
- 5) 竹部新治郎. “米の食味”. 全国米穀協会, 1987, p. 1-77.
- 6) 柳原哲司. “画像解析による炊飯米の外観評価”. 日食工誌, **47**, 516-522(2000).

4. もち生地の物性と色の評価

中 森 朋 子*

はじめに

もち米の品質については「外観」「食味」「物性」の3つが重要である。このうち、「外観」と「食味」についてはどのような用途においても、「白さ」と「味の良さ」に対する要望が高い。一方、「物性」は加工適性と深く関係し、用途によって求められる品質が異なる。すなわち、硬化性の遅いもの、速いもの、それぞれに適した用途があり、利用形態により異なる評価を受ける。現在、北海道もち米の主要品種である「はくちょうもち」は硬化性が「遅い」という特徴をもち、硬化・成形を行わない主食用途(おこわ、大福、おはぎ等)に適している。主食用途としての地位を確保し販路を拡大するためには、もち生地がよりやわらかく、白くきめ細やかな良食味のもち米を安定供給する必要がある。一方、硬化性の速いもち米は切り餅・米菓等に適しており、国内におけるもち米需要の中で占める割合は大きい。このことから、販売戦略上、硬化性の高いもち米品種の育成についても期待されている。

もち生地の物性評価を行うには、安定したもち生地の調製が必要となる。近年、ミキサー式の家庭用餅つき機が進歩し再現性の高いもち生地が得られることから、試験研究に広く利用されている。しかし、家庭用餅つき機では精米数百gが必要であり、育種における試料量の少ない初期・中期世代の選抜には適用できない。そこで、ラピッド・ビスコ・アナライザー(以下、RVAと省略)を用いたデンプンの熱糊化特性による物性評価が導入された。これは、最高粘度を示す温度(ピーク温度)ともち生地の硬化性に高い正の相関があり、1回の測定にもち米粉3~4gで十分であること^{4,7,8)}から非常に有効である。しかし、もち米の加工適性を評価するにあたって、粒から調製したもち生地の評価や、工場と同様の調製方法である杵搗き式のもち生地についての評価要望が実需者から強くあり、少量かつ杵搗きによるもち生地調製が必要となった。

そこで、必要試料量を精米10g以下を目標として杵搗きによるもち生地の調製法を考案し、もち生地品質のうち「外観(色)」と「物性」の数値化を検討した。

1)試験方法

①もち生地少量調製法の検討

供試材料:「はくちょうもち」(2000年上川農試, 2002年中央農試産)

もち搗き:試験用小型もち搗き機(杵搗き)

検討項目:浸漬時間, 蒸煮時間, 注水量, 搗き時間

水分測定:135℃乾燥法

蒸煮方法:100mL 用円筒缶(採土管)に10×10cmのナイロンネット(日本理化学機器 38-GG)を装着した小型蒸籠を作成し、もち精米8.0gを小型蒸籠に計り取り水温20℃で浸漬した。浸漬後30分間水切りを行い、電気式深型グリル鍋(象印 EP-JY45)を用いて蒸煮した。すなわち、鍋に直径26.5×高さ4cmステンレスリングおよび直径27cmステンレス金網を設置し、蒸留水1.5Lを目盛り210で充分沸騰させた後、目盛り140で弱い沸騰状態を保持し、金網上に小型蒸籠を置き蒸煮を行った。

②テクスチャーアナライザーによるもち生地の物性評価
供試材料:「はくちょうもち」(2001年上川農試および風連・名寄現地圃場産),「こがねもち」(2000年新潟県産)
測定機器:Stable Micro Systems 社製テクスチャーアナライザー(TA-XT2i)。

測定条件:直径2mmの円筒型プローブを用いた貫入・引上げ試験, 測定スピード2mm/秒, 貫入距離3mm, トリガー(試料検知荷重)10g, データの取込み100pps。

③もち米品質がもち生地品質(色・物性)に及ぼす影響

供試材料:「はくちょうもち」(上川農試および風連・名寄現地圃場産, 2001年:39点, 2002年:29点), 府県産米(2000年:3点, 2001年:4点)

色測定:色彩色差計(カラーアナライザー東京電色TC-1800MKⅡ) 物性測定:試験②と同じ

もち生地の調製:試験①により確立した方法に準じて、試験用小型もち搗き機によりもち生地进行調製した。

2)結果と考察

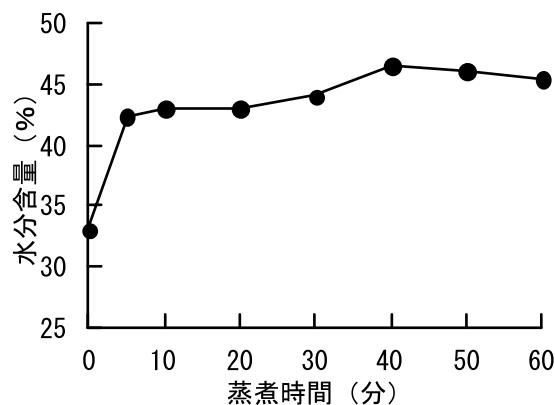
①もち生地少量調製法の検討

もち米では、浸漬米の水分含量と糊化程度に密接な関係があること¹⁾から、再現性の高い安定したもち生地調製を行うためには、もち米を均一に充分吸水させることが重要と考えられる。浸漬時間と浸漬米の水分含量との関係を調べたところ、浸漬16~24時間では水分含量は36

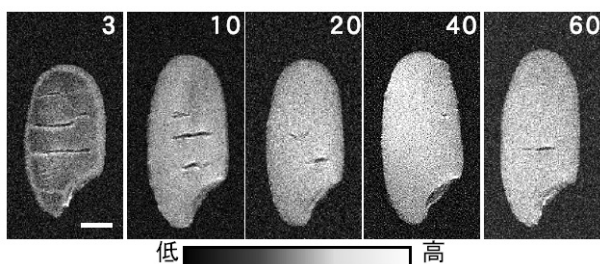
*中央農業試験場 069-1395 夕張郡長沼町

～38%とほぼ平衡に達していた。従って、前処理手順の作業性を考慮して、浸漬時間は16～24時間の範囲で行うこととした。

図Ⅲ-4-1に蒸煮時間と蒸米の水分含量の関係を示した。蒸米の水分含量は蒸煮10分で43%と急速に上昇した。その後、水分含量の上昇は緩やかであり、最高水分含量は蒸煮時間40分の47%であった。蒸米の糊化程度を把握するため、Magnetic Resonance Imaging(磁気共鳴イメージング、以下MRIと省略)により、蒸米内部の水分分布を観察した。MRIによる蒸米中央部の縦断画像を図Ⅲ-4-2に示した。蒸煮開始後3分では米粒表面および内部の空洞に沿ってプロトン信号が高い領域、すなわち、水分の高い領域が観察された。蒸煮時間10分では、空洞は存在するが水分の高い領域が米粒内部に広がり、水分の低い領域はわずかとなった。蒸煮時間20分以降では米粒内部のプロトン信号はより高くなり、水分が米粒内部全体に行き渡っている様子が観察された。また、空洞は米粒が膨潤することにより縮小した。これらのことから、もち米が蒸煮によって米粒内部まで糊化するには、20～40分必要と考えられた。有坂ら¹⁾によると、蒸煮時間と糊化程度の関係について、蒸煮時間10分の間に糊化が急速に進み、その後は緩慢に進むことが報告されている。また、あえて適切な蒸煮時間を設定するなら



図Ⅲ-4-1 蒸煮時間と蒸米水分含量の関係

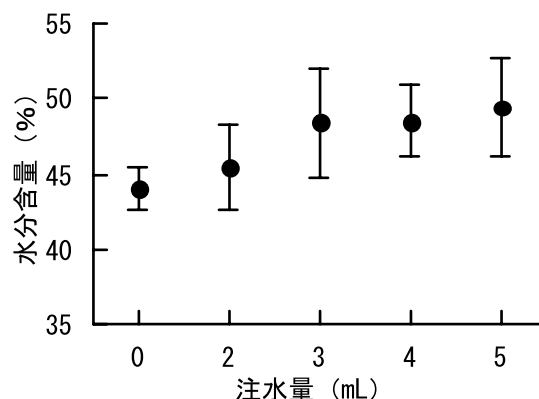


図Ⅲ-4-2 MRIによる蒸煮過程における米粒内の水分分布観察

画像中の白抜き数字は蒸煮時間(分)を、バーは1mmを、グレースケールは水分含量の高低を示す。

ば30分程度が妥当としており、本試験においても糊化に必要な時間を確保し安定的に蒸煮を行うため、蒸煮時間は30分間とした。

試験用小型もち搗き機では、調製試料が少量であることからもち搗き過程での放熱が速く、生地水分の過剰な蒸発が認められた。そこで、蒸米の適性水分とされる45～47%⁵⁾よりやや高い範囲の水分含量となる蒸煮方法を検討した。すなわち、蒸煮時間30分のうち20分経過後、試料に対して5℃の冷水を注入し、再度10分間蒸煮を行った。図Ⅲ-4-3に注水量と蒸米の水分含量の関係を示した。注水量3～5 mLでの蒸米の水分含量は48～49%と注水量0 mLの44%より約4ポイントの上昇が認められ、試験用小型もち搗き機に適應すると考えられた。従って、蒸煮過程における注水量は、上記のうち中間的な量であり、かつ精米重量の0.5倍量である4 mLを使用することとした。



図Ⅲ-4-3 注水量による蒸米水分含量の変化

5反復の平均値、バーは標準偏差を示す。

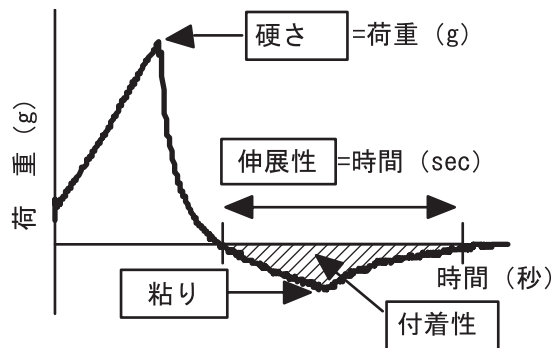
前述で定めた蒸煮方法に従って調製した蒸米に対して、試験用小型もち搗き機におけるもち搗き時間の検討を行ったところ、搗き時間4分では粒の残存が明瞭であり不適当であった。搗き時間6分では粒々感は減少したが、8分ではより粒の残存は少なく、生地として適正であると考えられたことから、搗き時間は8分とすることとした。

②もち生地物性の評価法

もち生地の硬化性は、新潟食研法³⁾による生地つり下げ時の曲がり度合い、あるいはレオメーターによる針侵入抵抗^{4,8)}により評価してきた。新潟食研法では、測定試料ごとに均一な棒状の生地を加工するため、試料量は400 g程度必要となることから、本試験における少量もち生地の評価には用いることができない。そこで、レオメーターによる針侵入抵抗を応用し、新たに導入したテクスチャーアナライザー(以下、TAと省略)を用いて物

性評価を検討した。TAはプローブと呼ばれる試料接地部位について様々な形状に変更可能であること、また、測定条件について測定スピードあるいは圧縮率、貫入距離を任意に設定可能であり、圧縮あるいは貫入・引上げ試験により、テクスチャーを主体とした多くの物性評価を行うことが可能な物性測定機器である。

図Ⅲ-4-4に測定スピード2mm/秒で直径2mmの円筒型プローブをもち生地にて3mm貫入させた貫入・引上げ試験で得られる測定曲線を示した。正の最大荷重(g)を「硬さ」、負の最大荷重(g)を「粘り」、負領域にかかる時間(s)を「伸展性」、負領域の仕事量(g・s)を「付着性」と定義し、硬さを含むもち生地の物性測定値を得た。



図Ⅲ-4-4 もち生地の植物性測定曲線と測定項目

TAによる物性評価の適用性を検証するため、官能で物性が異なると評価された「はくちょうもち」2点、および「はくちょうもち」と明らかに物性が異なる府県産もち米の「こがねもち」について、試験用小型もち搗き

機によりもち生地を調製し物性測定値を得た。表Ⅲ-4-1に測定平均値と標準偏差を示した。冷蔵24時間後の「硬さ」について、「こがねもち」は492gであり「はくちょうもち」の82g、102gと比較して明らかに硬かった。「こがねもち」は実需者から硬化性が速いと評価されており、硬化性の品種間差が明確に示された。また、産地の異なる「はくちょうもち」では、冷蔵2時間後の「付着性」および「伸展性」について差が認められ、同一品種における産地間差について評価可能であった。測定値のばらつきは、「はくちょうもち」ではいずれの測定値においても標準偏差の値は小さかったが、24時間冷蔵後の「こがねもち」ではやや測定値がばらつく傾向にあった。これは「こがねもち」では生地の硬化が進んでおりプローブの貫入途中で亀裂や破断が生じ、最圧縮時点で最大荷重を示さないことがあったためと考えられた。これらのことから、TAを用いることにより高い精度で物性を評価でき、品種間差、処理間差について検討できるものと考えられた。

杵搗き型である試験用小型もち搗き機と、ミキサー型である家庭用餅つき機で調製したもち生地の物性について比較した。試験用小型もち搗き機では、家庭用餅つき機と比較していずれの測定項目においても値は小さく、絶対値としては異なるがその傾向は変わらなかった(表Ⅲ-4-2)。調製法の違いによりもち生地の物性は大きく異なり、ミキサー型で調製した場合、杵搗き型と比較して硬化の進行が早く、湯溶け、焼きダレの著しい生地となることが報告されている^{2,6)}。本試験においてももち生地の物性の絶対値が異なる理由として、従来の報告同様、調製法の違いが生地の物性に反映されたものと考えられる。

表Ⅲ-4-1 もち生地の物性の反復測定におけるばらつき

冷蔵時間	品種	産地	(g) 硬さ	標準 偏差	変動係数 (%)	(g) 粘り	標準 偏差	(s) 伸展性	標準 偏差	(g・s) 付着性	標準 偏差
2時間	はくちょうもち	A	37	2.0	5.0	12	0.2	4.42	0.40	31	3.2
	はくちょうもち	B	39	1.8	3.8	12	0.6	3.74	0.26	26	1.2
	こがねもち	—	53	3.5	5.7	15	1.0	3.30	0.27	27	2.3
24時間	はくちょうもち	A	82	2.7	2.5	17	1.2	1.99	0.10	19	1.6
	はくちょうもち	B	102	1.1	1.0	21	1.2	1.96	0.15	22	2.0
	こがねもち	—	492	49.3	9.1	96	5.1	1.44	0.12	84	10.0

5反復の平均値

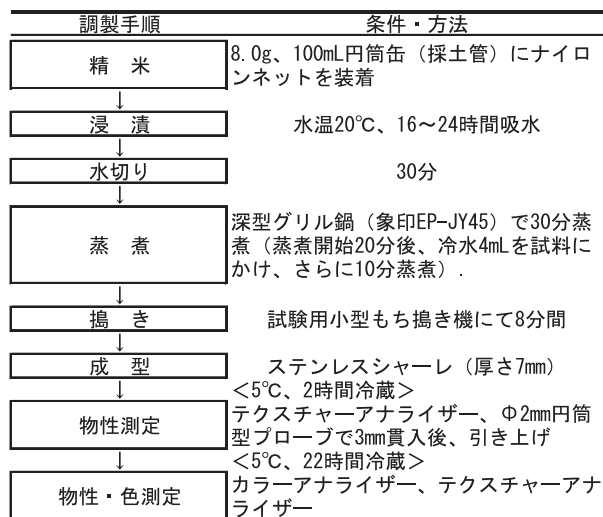
表Ⅲ-4-2 調製法の異なるもち生地の物性測定値の比較

試料	試験用小型もち搗き機					家庭用餅つき機				
	硬さ ²	粘り ²	伸展性 ²	付着性 ²	硬さ ²⁴	硬さ	粘り	伸展性	付着性	硬さ ²⁴
A	38	11	4.46	30	91	40	22	6.85	83	199
B	39	12	3.74	26	102	47	23	4.60	64	237
C	37	12	4.42	31	82	36	22	6.65	81	169

植物性の肩数字は冷蔵後の時間を示す。家庭用餅つき機については20℃、2時間後の測定値。物性の単位は表1に同じ。

どちらの調製法を用いても試料間の比較は充分できるが、絶対値は大きく異なることから、測定値を示す際には調製法を明記する必要があると考えられた。

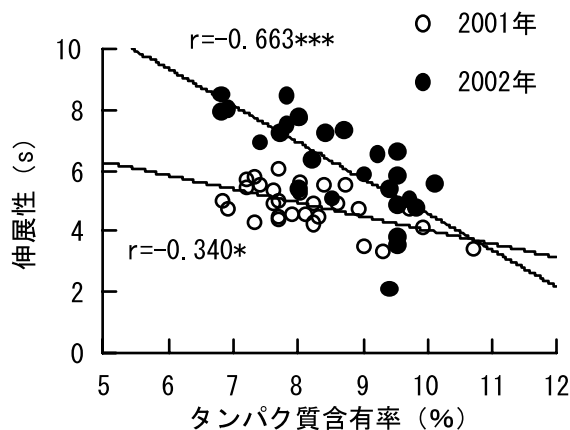
図Ⅲ-4-5にもち生地品質評価のための手順を示した。浸漬から測定・評価まで1点につき3日を要するが、図Ⅲ-4-5に示した手順に従って連続的に作業を行うことにより、5日間で300点程度の試料について、もち生地の分析評価が可能である。



図Ⅲ-4-5 もち生地品質（色・物性）の評価手順

③もち生地の物性に影響を及ぼす要因

もち米の加工適性を評価するにあたって重要となる生地物性のうち、「硬さ」および「伸展性」についてタンパク質含有率との関係を検討した。「伸展性」については2～9秒の変動があり、5秒を下回ると著しく伸びの劣る生地となった。冷蔵2時間後の「伸展性」は、2カ年ともに負の相関(2001年 $r = -0.340^*$ 、2002年 $r = -0.663^{***}$)が認められ、2001年ではタンパク質含有率

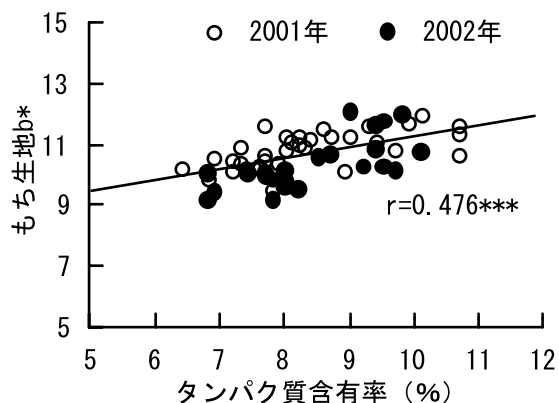


図Ⅲ-4-6 タンパク質含有率ともち生地の「伸展性」の関係（5℃、2時間冷蔵）

8%以上、2002年では9%以上で5秒より低かった(図Ⅲ-4-6)。タンパク質含有率が高まると、もち独特の「生地が伸びる」という物性が低下するものと考えられた。一方、「硬さ」は冷蔵時間に関わらずタンパク質含有率との相関は認められなかった。柳瀬ら⁹⁾によると、タンパク質含有率はもち生地の加熱圧扁時の膨化伸展性と高い負の相関が認められている。つまり、過剰な蛋白は米菓製造時の加工適性を落とすだけでなく、テクスチャーの面からも評価を下げるものと考えられた。

④もち生地の色に影響を及ぼす要因

北海道もち米の問題点として、もち米の白度が低く加工した際、生地の色が悪いということが指摘されている。白度低下要因を探るため、色彩色差計を用いてもち生地の色を評価したところ、 L^* (明度)、 a^* (赤味)、 b^* (黄味)のうち b^* についてタンパク質含有率と正の相関($r = 0.476^{***}$)が認められた(図Ⅲ-4-7)。つまり、タンパク質含有率が高いほど生地 b^* は高くなり、黄味が強くなる傾向にあることが明らかとなった。



図Ⅲ-4-7 タンパク質含有率ともち生地の色(b^*)との関係

2001年 $n = 39$ 、2002年 $n = 29$

比較のため、府県産もち米によるもち生地の L^* および b^* を表Ⅲ-4-3に示した。もち生地の白さに定評のある「こがねもち」の生地 L^* は76.5～78.0であり、「はくちょうもち」の平均値75.3(2001年)および73.5(2002

表Ⅲ-4-3 府県産もち米におけるもち生地の L^* 、 b^*

生産年次	産地	品種	生地 L^*	生地 b^*
2000	N	こがねもち	76.5	9.1
2000	M	こがねもち	77.0	10.3
2000	M	ヒメノモチ	74.8	9.4
2001	N	こがねもち	78.0	7.9
2001	M	こがねもち	76.5	9.3
2001	M	ヒメノモチ	75.8	8.7
2001	S	ヒヨクモチ	76.2	10.5

年)より明らかに高かった。また、生地 b^* は府県産もち米の方が「はくちょうもち」より低い傾向にあった。

年次によって異なる場合もあるが、もち精米の白度とタンパク質含有率には負の相関が認められる。白度と色彩色差計の測定値について、精米白度は精米 L^* と高い正の相関があるだけでなく、 b^* とも負の相関がある。もち生地の外観品質を落とす要因の一つとして、高蛋白質による b^* 値の上昇が示された。従って、低蛋白栽培によってもち米のタンパク質含有率を下げることににより、加工後のもち生地の黄味を抑えることができ、外観品質の安定化がはかられるものと考えられた。

一方、明度を示す生地 L^* とタンパク質含有率に相関は認められなかった。深井ら⁴⁾においても、7品種14試料のもち米について検討したところ、タンパク質含有率ともち米の玄米、精米、餅生地の明度との間に相関関係は認められなかったことを報告している。生地 L^* については年次間差が大きいことから、タンパク質以外の成分や気象的要因の影響が強いものと考えられた。

3) まとめ

北海道におけるもち米の栽培技術、品質向上に関する研究は、うるち米と比較して非常に少ない。本研究ではもち米品質のうち、もち生地の「物性」および「色」を数値化し評価することを目的として検討を行った。

現在の主要品種を用いて検討したところ、タンパク質含有率を低下させることにより、物性についてより伸びる生地になること、また、もち生地の黄味が抑制され外観品質が向上することが明らかとなった。つまり、低蛋白栽培技術の有用性が示され、このような栽培技術は北海道もち米の品質向上・安定化に寄与するものと考えられる。しかし、切り餅や米菓製造の際に重要視される硬化性については、登熟期間中の気温や品種間差による影響が大きいことが示唆され、栽培技術による改善は難しいものと考えられた。従って、北海道において硬化性の高いもち米を生産するためには、新品種の育成が必要で

ある。今回、精米 8 g でもち生地の調製が可能である品質評価技術を考案・開発し、もち生地の品質分析に用いる試料の少量化を確立した。本法をRVAによる初期世代からの選抜に加えて中期世代に用いることにより、目的とするもち生地品質を有する良品もち系統を効率よく選抜することに有効であると考えられる。

引用文献

- 1) 有坂将美, 吉井洋一, 今井誠一. “糯米菓製造工程における澱粉の糊化, 老化, 崩壊”. 日食工誌. **38**, 86-93(1993).
- 2) 江川和徳, 吉井洋一, 谷地田武男. “餅の品質に関する研究, 第1報 餅の調理性関連要因の検討”. 新潟食品研報. **22**, 29-34(1987).
- 3) 江川和徳, 吉井洋一. “産地・品種を異にした糯米による餅の硬化性”. 新潟食品研報. **25**, 29-33(1990).
- 4) 深井洋一, 松澤恒友. “糯米の理化学的性質と加工適性, 糯米の加工適性に関する研究 第1報”. 調理科学. **31**, 262-268(1998).
- 5) 小林和幸, 松井崇晃, 重山博信, 石崎和彦, 阿部聖一. “切り餅の食味官能試験法について”. 日作紀. **71**(2), 250-255(2002).
- 6) 永島伸浩. “餅に関する食品学的研究”. 澱粉科学. **39**(1), 23-31(1992).
- 7) 岡本和之, 根本 博. “ラピッド・ビスコ・アナライザーによる陸稲糯品種の餅硬化性の評価と高度の餅硬化性を持つ陸稲品種「関東糯172号」”. 日作紀. **67**(4), 492-497(1998).
- 8) 柳原哲司. “北海道米の食味向上と用途別品質の高度化に関する研究”. 道立試験場報告. **101**, (2002).
- 9) 柳瀬 肇, 大坪研一, 橋本勝彦. “もち米の品質と加工適性に関する研究, 第6報 もち生地の湯溶けならびに膨化伸展性の銘柄間差異”. 食総研報. **45**, 1-8(1984).

Ⅳ 良食味米および酒米の生産技術

1. 泥炭地での圃場改善による良食味米生産技術

北 川 巖*

はじめに

米政策改革大綱により市場の需要にあった米生産が一層求められる中で、北海道の稲作は今後もさらに激化する産地間競争を勝ち抜くため、より一層の品質向上が、とりわけ良食味であることが求められている。

米の食味は米粒中の蛋白含有率やアミロース含有率が高いと低下することが明らかにされている^{8),10),23),29),30)}。これら知見に基づいて食味の変動要因解析^{2),9),16),22)}や対策技術開発^{7),15),38),40)}がこれまで精力的に取り組まれてきた。その成果は現在の北海道における高品質米の生産に結びついている。

しかしながら、北海道の稲作地帯は気象条件や土壌条件などに大きな差異があり、このことは、米粒中の蛋白含有率やアミロース含有率が地域間で大きいことを示唆している。その中でも、排水性に劣る土壌は約88%もの面積を占めており、さらに、泥炭地水田が約20%の面積を占めている。この泥炭地水田における米粒中の蛋白含有率は依然として高い傾向にあり^{2),8),22)}、これまでの対策技術によっても十分な改善にまで至らないことが指摘されている¹⁶⁾。そのため、泥炭地水田では高蛋白米を低蛋白化し、より一層、食味水準の向上を進めなければ販売が難しくなる。そのため、この泥炭地水田ならびに排水不良な湿田で生産される米の蛋白含有率を低下させることが北海道の稲作において大きな課題として残されている。

これらのことから、泥炭地水田での米生産においては、特定用途を目標とした一定品質の確保と、さらに食味向上をめざした栽培技術の強化と共に、は場条件を根本から克服する技術開発が必要と考える。

1) 北海道における低蛋白化生産技術の進展

高蛋白米となりやすい泥炭地水田においても良食味米生産を行なうためには、土層内の窒素評価と窒素制御技術の開発が必要である。ここでは、これまでの低蛋白米生産のためのは場改善に係る技術の進展状況について検

討し、今後の残された問題点と技術開発目標を整理する。

(1) 良食味米生産技術と土壌肥沃度の対応

土壌と食味の関係は以前から指摘され、北海道でも乾田は湿田より食味が良く、これが米粒中の蛋白含有率の差に起因することが指摘されていた²²⁾。また、稲津(1988)は土壌タイプによる米の食味に関する成分の変動について詳細に検討を行ない、泥炭土ではアミログラム最高粘度やテクスチログラムが最も低く、食味が最も悪いことを示した。さらに、泥炭土では生育後半における土壌窒素供給力が旺盛なため、この期間の窒素吸収が他の土壌よりも盛んで米粒中の蛋白含有率が高まやすく食味特性に対して不利になることを明らかにした⁸⁾。これにより、泥炭地水田の食味向上の必要性と困難性が浮き彫りになった。

これらの知見に対応するため、北海道では40℃－1週間湛水静置法による培養窒素に基づく「水田土壌の窒素診断とこれに基づく施肥対応」¹²⁾、これに続く「空知管内における低蛋白米生産のための稲体および土壌の窒素指標」³⁹⁾ならびに「気象・土壌情報を活用した水稻生育予測および窒素施肥対応」¹³⁾により施肥管理による低蛋白米生産の支援体制が整い「低蛋白米生産を目指した水田土壌窒素診断の手引き」⁴⁾として広く普及に移されている。

米粒中の窒素吸収量は70～80%が土壌由来の窒素で構成され、低蛋白米の生産には生育後期に吸収される土壌窒素の制御が必要である⁹⁾。下層からの窒素吸収は水稻根域深が30～40cmにまで達する幼穂形成期ころから登熟期に旺盛になり、蛋白含有率を高める要因として下層土の窒素供給量の重要性が指摘されている²⁴⁾。そのため、土壌診断技術に基づく施肥対応の活用だけでは泥炭土に代表される下層からの窒素供給が旺盛な土壌での良食味米生産は困難である。その一方で、下層に泥炭が存在する場合でも、泥炭の窒素供給力低下により蛋白低下が可能であることも示唆されている¹⁾。

また、低蛋白米生産のための土壌化学性の影響についてはケイ酸に対する検討もなされてきた。「低蛋白米生産のための稲体および土壌のケイ酸指標」³²⁾により、低

*中央農業試験場 069-1395 夕張郡長沼町

蛋白米の稲体でケイ酸吸収量／窒素吸収量比が高いことが示された。この成果から成熟期茎葉中のケイ酸含有率および土壤中の可給態ケイ酸含量が示されると共に、水田土壤中のケイ酸含量の指標が示され(表Ⅳ-1-1)、土地改良等のほ場条件改善による土壤中のケイ酸を増強技術の発展に寄与した²⁵⁾。

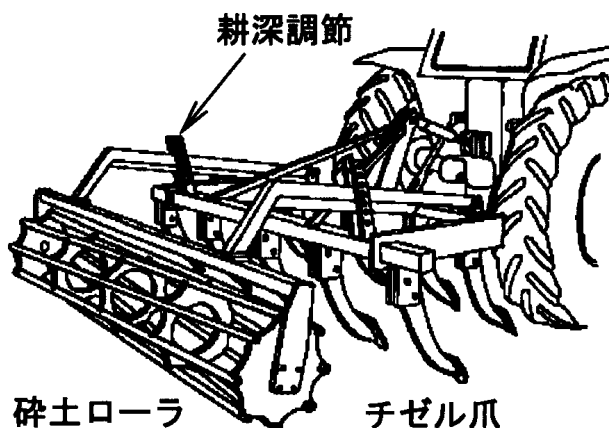
(2) 土壌管理およびほ場管理技術

①土壌管理

これまで、生育後半の土壌窒素供給力が米粒中の蛋白含有率に大きく影響することを示した。この土壌窒素供給力を制御するため土壌管理法の改善による取り組みも

表Ⅳ-1-1 低蛋白質米(80 g kg⁻¹以下)生産のためのケイ酸指標 (宮森1996)

区分	不足域	やや不足域	適正域
成熟期茎葉中 ケイ酸含有率 (g kg ⁻¹)	<100	100~130	130<
土壤中可給態 ケイ酸含有率 (mg kg ⁻¹)	<100	100~160	160<



図Ⅳ-1-1 チゼルプラウの外観 (大下ら2000)

進められてきた。

「気象・土壌情報を活用した水稻生育予測および窒素施肥対応」¹³⁾においては乾土効果を積算降水量と日平均気温からなる水熱係数を用いてモデル化し、40℃-1週間湛水静置法による培養窒素と併せて窒素供給量を推定し施肥設計への対応が提案されている。

その一方で乾土効果により土壌窒素を早期に発現させる方法についても検討されている。一般的には排水対策による融雪後の早期の乾燥化が必要であり、そのための耕起法として、水田作土の乾燥化のための耕起管理にはチゼルプラウ(図Ⅳ-1-1)による簡易耕がほ場の乾燥促進に効果があることが示されている。その特徴として碎土の土塊径が大きいこと、降雨後の表層と下層両方の土壌水分の低下が早い。また、作業性が高くロータリ耕起の2倍の作業効率を有し、良好な土壌条件で多くのほ場の耕起作業が行なえる²⁷⁾。乾燥促進の要因は、従来のロータリ又は水田プラウ耕起に比べ不耕起に近いので土塊が荒く土壌の保水性を高めない耕起であるためと考えられる。一方、耕うんによる土壌物理性への影響としてTriplettら(1968)は、耕うんされた土壌では水の取り入れが多いが、降雨による土壌クラストによりその割合が急に落ち込むため、不耕起状態の方が侵入は多いと指摘している³¹⁾。

このようなことから、作土の乾土効果を高めるには耕起法の改善による土壌管理のみでは充分でなく、暗きょや明きょの整備などを組み合わせることが重要と考えられる。

これまでの耕起作業機に関する試験研究の取り組みはロータリでは刃の形状設定による耕うん性能¹⁸⁾や耕うん時の土塊形成過程の性能向上²⁸⁾ロータリ刃の耕うん抵抗軽減¹⁷⁾が中心に検討されてきた。そのため、耕起のための性能向上は行なわれているが、ほ場乾燥化のた

表Ⅳ-1-2 浅耕が水稻の初期成育、成熟期窒素吸収量、精玄米重およびタンパク質含有率に及ぼす影響 (中央・上川農試 2004)

土壌	窒素施肥法	初期成育	窒素吸収量 (成熟期)	精玄米重	タンパク質含有率
泥炭土	側条のみ	同等から、やや抑制する	同等	やや減収する	同等
	全層+側条 全層のみ	やや向上し、経年に 伴い効果が高まる	減少し、経年に伴い より減少傾向	同等から、やや減収 する	低下し、2年目以降 より低下傾向
グライ土	側条のみ	同等から、やや抑制する	減少する	減収する	同等
	全層+側条 全層のみ	同等からやや向上、 経年で抑制傾向	減少し、経年に伴い 顕著に減少する	減収し、経年に伴い 顕著に減収する	低下する。経年効果 は判然としない
褐色低地土	全層のみ	—	—	やや減収、経年に伴 いより減収傾向	低下する

浅耕年数は、泥炭土・グライ土の側条のみは2年以内、全層+側条および全層のみは4年以内、褐色低地土は1~2年

めの土壌物理性を考慮したロータリ刃形状設定にまでは至っていない。また、各種の簡易耕についても作物生産に関する土壌理化学性改善よりも、エネルギー投入軽減などの省力的耕起法や耕うんの高速化の考え方^{19),20)}が優先的である。そのため、良食味米生産のための耕起及び土壌管理機械については新たな観点での北海道独自技術の組み立てが必要である。

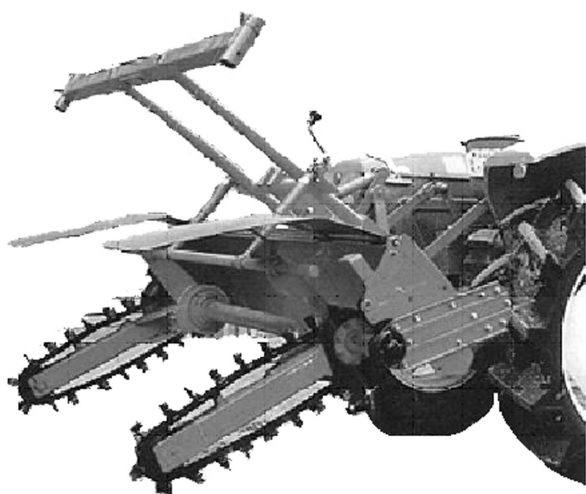
その一方で、良食味米生産のための耕起法として「浅耕代かきによる泥炭地産米の低蛋白化技術³⁸⁾」が提案され耕起による低蛋白化技術の道筋が開けてきた(表Ⅳ-1-2)。

②ほ場管理

ほ場管理は、排水性改善のための管理が主である。ほ場排水性の管理は溝切り又は溝掘り、心土破碎が代表である。これらの中で、近年の営農によるほ場排水性の改善としては溝掘り機を用いた額縁明渠の効果が示されている。額縁明渠はほ場表面の排水をほ場の外周に給排水明きよを構築することでほ場内の排水を迅速に排除でき、土壌の乾燥化に寄与することが明らかにされた²⁷⁾。

しかし、試験研究機関による水田の新たなほ場管理工法およびその作業機の開発例は少ない。主に機械メーカーによる製品で類似の汎用的作業機が多く、特定の効果を追求した営農管理作業機は少ない。その中で、新たな方法として汎用的な作業機であるロータリをトレンチに改良した細溝暗きよの掘削機¹¹⁾の開発例もある(写真Ⅳ-1-1)。

現在のほ場管理技術である溝切り又は溝掘り、心土破碎にはそれぞれ短所もある。溝切りおよび溝掘り機はほ場の外周又は10～20m程度の間隔で深さ10～30cm程度の溝を掘り、ほ場内小排水路を構築するものであるが、ほ場全体の余剰水を均一に排除することは困難である。



写真Ⅳ-1-1 ロータリを改造した細溝暗渠施工
(亀井・西田, 1988)

加えて、排水路への落水部を人力で溝掘することもあり煩雑である。他方、心土破碎は排水管理が必要な過湿条件での施工に適さず、特に表面滞水時には実施できない。また、破碎間隔が90cm程度と広く、表層の乾燥化にはさらに間隔の狭い破碎溝が必要である。

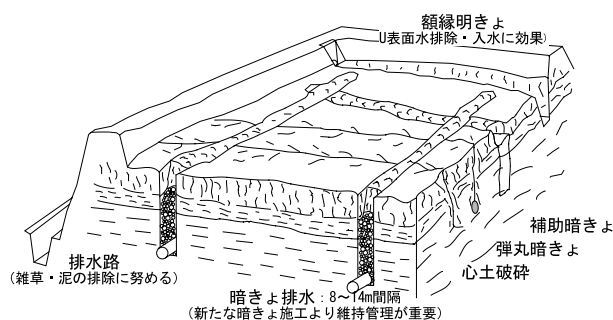
心土破碎より効果的なトレンチャーや有材心破施工機等を用いたモミガラ心破や有材心破の効果については水田の乾田化に寄与することが示されている²¹⁾。最近では各種の作業機が市販されているが、これらの有材心破にはモミガラ等の多量の資材確保と多大な労力が必要で、実際に営農管理の中で行なわれている事例は少ない。このため、普及にあたっては請負施工やコントラクター等による共同作業が前提となる。しかしながら、この労力と費用を考えると、事業等による暗きよ排水による排水性改善にまかせる傾向になってしまうのが現状である。

営農による迅速簡易施工による排水性改善法については北海道開拓時に泥炭地ほ場に対する切断排水法の提案³¹⁾や明渠掘削機等の適用性の検討がなされていた³⁹⁾。しかし、これ以降の進展がなくこの分野の発展が課題である。建設分野では既存構造物の補助機能を付加する目的に無資材の簡易排水技術が多くなっている。

③排水改良技術

水田の排水性改善のための主要技術として暗きよ排水があげられる。北海道の水田に対する暗きよ排水は古くから事業により行なわれている。暗きよ排水の研究の中では国外の施工機の適用性、土壌物理性不良土壌の要因と対策工法、組み合わせ暗きよの有効性などの検討がなされている³⁹⁾。

近年では水田の排水改良工法として細溝砂心破による水田の透排水機能の向上技術¹⁴⁾や無材暗きよの施工技術³⁶⁾が提案されている。また、暗きよ排水の基本技術として木材チップや火山礫等の新疎水材や暗きよ資材の改善、資材使用量を低減するスリムバケットや一貫施工機の開発など進展してきており北海道暗きよ排水設計指針により新たな整備水準の暗きよ排水が設定された^{5),34),35)}。



図Ⅳ-1-2 既存の排水改良法の概要

この暗きょ排水や砂心破などの新工法によるほ場乾燥化が食味改善にも寄与するものと思われる。

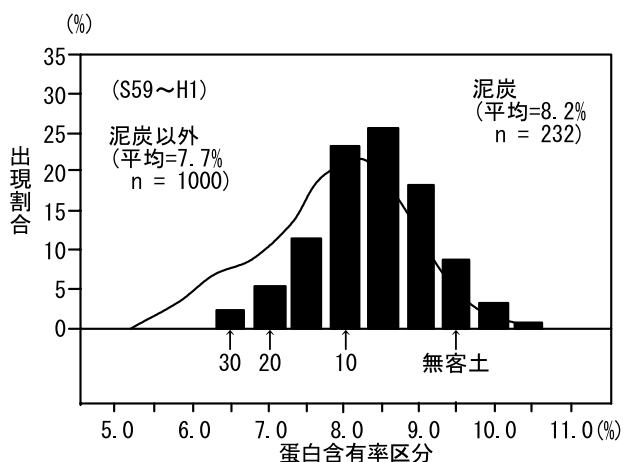
しかしながら、現地で行なわれている排水管理は暗きょ排水にのみに頼り過ぎている傾向がみられる。暗きょ排水の技術向上によっても営農による排水管理が充分でなければその効果を発揮することはできない。このことから、ほ場排水性向上の技術は耕起作業、溝切り又は溝掘り、心土破碎等の営農管理の組み合わせにより改善するしか方法はない(図IV-1-2)。これをなくして良食味米生産を実現することは困難である。

以上のことから、良食味米生産に向けたほ場条件の確保のためには、現有の営農機械を用いた新たな排水性向上技術の開発が必要と考える。

(3) ほ場整備技術

米の食味向上に必要な施肥・土壌・ほ場管理を行なうためにはその前提となるほ場整備技術の導入が不可欠である。北海道の稲作はほ場整備が行なわれたことにより可能となったが、以前のは場整備の目標は「稲作を可能とするほ場整備」から「収量確保と機械作業に対応」、「転作作物生産への対応」へと変化してきた²⁶⁾。その後、「良食味米生産への対応」への働きかけもなされたが、当時は米の品質による販売価格差の設定がなされていない状況であったため事業化には至らなかった。

現在のは場整備は主に機械作業性の向上による省力化を実現する大区画水田の取り組みが多く、農産物の品質向上のための整備の検討は始められたばかりである。数少ない作物生産に配慮したほ場整備技術としては、一度も下層土を踏圧することなくほ場整備が行なえる反転均平工法があげられる。これは整備コスト低減が計れると共に、作物生育を良好に維持できる工法であることから導入されている⁶⁾。



図IV-1-3 道内泥炭水田における蛋白含有率の分布と稲作部圃場の位置 (柳原ら 1991)

本題の泥炭土水田における良食味米生産のためのほ場整備技術の研究では稲津ら⁷⁾により客土の食味向上効果が示されている。これを裏付けるものとして、柳原ら⁴⁰⁾は客土の山土中に多く含まれているケイ酸により本田のケイ酸含量を増強でき、かつ客土による無機質表層の増加により泥炭地水田においても米粒中の蛋白含有率が低下することを示した(図IV-1-3)。さらに、「鉄・ケイ酸レベルの向上による水田地力の増進技術」¹⁵⁾では暗赤色土の山土客土による鉄の増強と、客土資源がない地域での酸化鉄およびシリカ投入による土壌中の遊離酸化鉄および可給態ケイ酸を増強する技術が提案されている(表IV-1-3, 図IV-1-4)。いずれの技術も良食味米生産に結びつく成果である。これらを支援する調査の「石狩川流域における客土資源の分布と汎用田に対する利用指針」³⁷⁾では、客土土取り場の理化学性の分布傾向が示され、ケイ酸や鉄に富む土取り場が存在する地域を明らかにした(図IV-1-5)。食味区分による価格設定が設けられた現在では、これら研究成果を活用した事業化が可能になったことで、研究機関と行政との連携による実用化に向けた取り組みが必要となる。

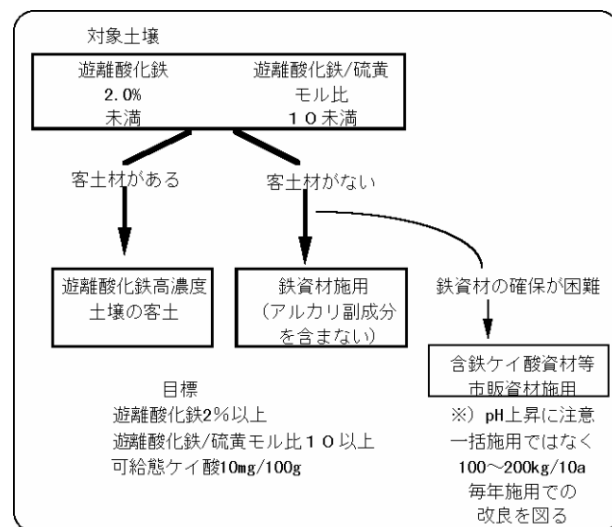
2) 残された問題点

泥炭地における米粒中の蛋白含有率低下による食味向上は土壌診断に基づく施肥管理が前提となる。しかしながら、肥培管理によっても制御できない窒素供給の制御

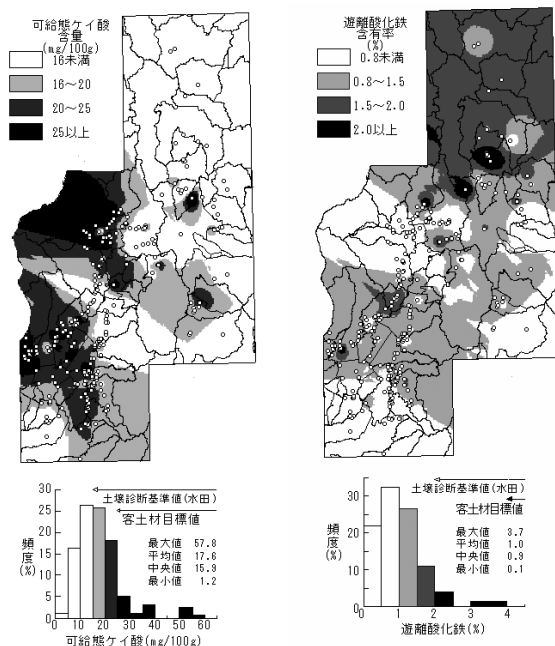
表IV-1-3 北海道の水田土壌における遊離酸化鉄の適正水準(上川・中央農試2002)

適正水準 (%)	
遊離酸化鉄(Fe_2O_3)	2.0% <

※ 全硫黄が高い場合(0.08%以上)は、遊離酸化鉄/硫黄モル比10以上必要



図IV-1-4 客土及び鉄資材施用による土壌改良対策(上川・中央農試2002)



図IV-1-5 石狩川流域における客土材の理化学性の分布

は、営農技術だけでは対応できない点も多い。

泥炭地水田に対する良食味米生産のためのほ場改善技術としては、①有効土層の乾土効果を向上させるため、現有機械を利用した営農による排水技術を開発すると共に、②下層泥炭の影響を受けないほ場へ改善する土層改良を含めた総合的な改善技術を確立することである。

(1) 営農対応技術

溝掘り又は溝切り機、心土破碎、チゼルプラウなどの土壤管理作業機を有効利用することで、作土の乾燥化を促進させ乾土効果を発現できるようにし、土壤診断の活用により減肥等による食味安定化を計る。

(2) 基盤整備対応技術

現在の泥炭地水田に対する基盤整備技術は、①区画整理、②暗きょ排水、③客土しかなく、良食味米生産のための④土層改良という考え方が整っていない。また、泥炭地特有の下層からの窒素供給による米粒中の高蛋白質化を防止する手だてがなく、これを解決する良食味米生産のための土層改良技術の開発が望まれる。また、これと共に基盤整備技術と営農対応技術を総合的に組み合わせた管理技術も必要と考える。

おわりに

泥炭地水田での良食味米生産には食味特性に最も強く影響する窒素を制御するための技術が求められる。しかし、泥炭地水田に存在する窒素の潜在量を勘案すると、短期間での窒素制御は困難を極める。そのため、ほ場条

件改善を基本技術に、施肥・営農管理を組み合わせた取組みが重要と考えられる。

そこで、今後の試験研究では第一段階のほ場条件の改善のための土層改良法と共に現有の営農機械利用による新たな排水法の開発を進める。

なお、ほ場条件改善技術導入の取組みは、試験研究部門と基盤整備を担当する行政部局との連携による制度化への推進が望まれる。すなわち、農業生産現場に良食味米生産のための基盤整備技術を進めるには新たな技術開発は基より、その技術を導入するための取組みも同時に進行させる必要があり、今後の試験研究にはこの点も求められる。

引用文献

- 1) 笛木伸彦, 今野一男. “泥炭土およびグライ土における下層土の窒素供給力の経年的低下が水稻の窒素吸収量・白米中蛋白質含有量に与える影響”. 日本土壤肥科学雑誌. 73(1), 17-25(2002).
- 2) 後藤英次, 三浦 周, 野村美智子, 稲津 脩. “北海道の水田土壌における化学性の現状とその問題点”. 日本土壤肥科学雑誌. 74(4), 475-483(2003).
- 3) 北海道農試泥炭地研究室. “泥炭層切断が地下水位に及ぼす影響”. 北海道農務部. 普及奨励並びに指導参考事項. 150-155(1956).
- 4) 北海道農政部, 道立農試, 北海道米麦改良協会. “低蛋白米生産を目指した水田土壌窒素診断の手引き”. 1998. 25p.
- 5) 北海道農政部. “暗きょ排水設計指針”. 2002.164p.
- 6) 北海道農政部. “反転均平工法の実施に向けて, 反転均平工法の手引き”. 2002.23p.
- 7) 稲津 脩, 渡辺公吉, 今野一男, 森 毅彦. “泥炭地水田に対する客土の米質向上効果”. 北海道立農試集報. 39, 1-11(1978).
- 8) 稲津 脩. “北海道産米の食味向上による品質改善に関する研究”. 北海道農業試験場報告. 66(1988).
- 9) 稲津 脩. “米の品質管理” 北海道農業と土壤肥料 1999北農研究シリーズXII. 日本土肥学会北海道支部編, 北農会, 1999. p.82-86.
- 10) 岩間紀男, 平 宏和, 平春枝, 御子柴穆, 吉川誠次. “米の食味に及ぼす窒素施肥および精粒中のタンパク質含有率の影響”. 食料研究所研究報告. 29, 9-15(1972).
- 11) 亀井雅浩, 西田初生. “細溝暗きょ排水法”. 九州農業試験場ニュース. No.40.(1988).
- 12) 上川農試. “水田土壌の窒素診断とこれに基づく施

- 肥対応”。北海道農政部。普及奨励並びに指導参考事項。333-335(1990)。
- 13) 上川農試。 “気象・土壌情報を活用した水稻生育予測および窒素施肥対応”。北海道農政部。普及奨励並びに指導参考事項。144-147(1998)。
- 14) 上川農試，中央農試。 “砂充填細溝心土破碎(砂心破)による水田の透排水機能の向上技術”。北海道農政部。普及奨励並びに指導参考事項。111-113(2002)。
- 15) 上川農試，中央農試。 “鉄・ケイ酸レベルの向上による水田地力の増進技術”。北海道農政部。普及奨励並びに指導参考事項。40-42(2002)。
- 16) 上川農試，中央農試，北海道米麦改良協会，北海道。 “北海道米の広域調査による蛋白変動要因”。北海道農政部。普及奨励並びに指導参考事項。314-316(2004)。
- 17) 片岡 崇，渋谷 栄，小野寺一宏，太田義信。 “アップカットロータリ耕うんの土塊投てき性(第3報)，角運動量による土塊投てき性能評価”。農業機械学会誌。 **60**(5)，11-18(1998)。
- 18) 片岡 崇，岡本博史，寺脇正樹，端 俊一。 “深耕ロータリ耕うんづめのすくい面長さによる耕うん性能”。農業機械学会誌。 **66**(2)，130-136(2004)。
- 19) 雁野勝宣。 “耕土保全，環境保全からみた耕うん法に関する研究動向，1. 耕うん法が土壌の物理性に及ぼす影響”。農作業研究。 **28**(1)，1-8(1993 a)。
- 20) 雁野勝宣。 “耕土保全，環境保全からみた耕うん法に関する研究動向，3. 耕うん法が環境保全に及ぼす影響”。農作業研究。 **28**(3)，165-171(1993 b)。
- 21) 前田 要。 “北海道の強粘質水田の理工学特性と排水不良対策に関する研究”。北海道農業試験場報告。 42(1983)。
- 22) 南松雄，土居晃郎。 “北海道産米の品質に関する物理化学的研究 第1報，米の食味特性値と栽培環境要因との関係”。北海道立農試集報。 **24**，43-55(1971)。
- 23) 南 松雄，土居晃郎。 “北海道産米の品質に関する物理化学的研究 第2報，米の食味特性と蛋白質との関係”。北海道立農試集報。 **26**，49-58(1973)。
- 24) 宮森康雄，柳原哲司，藤倉潤治，谷口健雄。 “下層土からの窒素供給と産米品質について”。日本土壤肥料学会講演要旨集。 **38**，244(1992)。
- 25) 宮森康雄。 “低蛋白米生産におけるケイ酸の役割とその診断指標”。日本土壤肥料学雑誌。 **67**，696-700(1996)。
- 26) 農業土木新聞社。 “北海道の水田整備”。1985。 p52-62。
- 27) 大下泰生，栗崎弘利，渡辺治郎，湯川智行，平岡博幸。 “チゼルプラウ耕起と給排水明きょによるほ場の乾燥促進技術”。北海道農政部。普及奨励並びに指導参考事項。272-274(2000)。
- 28) 渋谷 栄，片岡 崇，近江谷和彦，寺尾日出男。 “ロータリ耕うんにおける土塊の形成過程(第1報)重粘土のアップカットロータリ耕うん実験”。農業機械学会誌。 **52**(1)，69-75(1990)。
- 29) 竹生新治郎，渡辺正造，杉本貞三，酒井藤敏，谷口嘉廣。 “米の食味と理化学的性質の関連”。澱粉科学。 **30**，327-341(1983)。
- 30) 竹生新治郎，渡辺正造，杉本貞三，真部尚武，酒井藤敏，谷口嘉廣。 “多重回帰分析による米の食味の判定式の設定”。澱粉科学。 **32**，51-60(1985)。
- 31) Triplett, G.B.Jr., D.M.Van Drren.Jr. and B. L.Schmidt. “Effect of corn stover mulch on no-tillage corn yield and water infiltration.”. Agronomy Journal. **60**，236-239(1968)。
- 32) 中央農試。 “低蛋白米生産のための稲体および土壌のケイ酸指標”。北海道農政部。普及奨励並びに指導参考事項。267-268(1995)。
- 33) 中央農試。 “空知管内における低蛋白米生産のための稲体および土壌の窒素指標”。北海道農政部。普及奨励並びに指導参考事項。246-247(1997)。
- 34) 中央農試。 “北海道における暗きょ排水の実態と機能向上対策”。北海道農政部。普及奨励並びに指導参考事項。266-269(2000)。
- 35) 中央農試。 “土壌・土地条件に対応した排水改良マニュアル”。北海道農政部。普及奨励並びに指導参考事項。115-116(2002)。
- 36) 中央農試。 “掘削型無材暗きょを用いた農耕地の低コスト排水改善技術”。北海道農政部。普及奨励並びに指導参考事項。98-99(2003)。
- 37) 中央農試。 “石狩川流域における客土資源の分布と汎用田に対する利用指針”。北海道農政部。普及奨励並びに指導参考事項。105-107(2004)。
- 38) 中央農試，上川農試。 “浅耕代かきによる泥炭地産米の低蛋白化技術”。北海道農政部。普及奨励並びに指導参考事項。108-110(2004)。
- 39) 梅田安治，赤沢 傳。 “暗きょ排水，その施工技術の発達”。北海道土地改良事業団体連合会編。1992。 99 p.
- 40) 柳原哲司，宮森康雄，稲津 脩，谷口健雄。 “泥炭地水田に対する客土の食味向上効果(1)，客土材中ケイ酸の特異性とケイ酸供給源としての役割”。北海道立農試集報。 **63**，61-69(1991)。

2. 食味ランキング特A産地形成支援のための肥培管理技術

中 辻 敏 朗*

はじめに

平成14年12月に策定された「米政策改革大綱」では、行政主導の減反面積割り当てによる現行の米需給調整の仕組みを改めることがうたわれている。すなわち、第三者機関が示した前年の米需要実績(売れた量)に基づいて、都道府県や市町村の農業者団体が、自主的にそれぞれの農業者に生産目標数量を配分する方式に転換される。そのため、北海道を含めた各都府県では、他県に負けない「売れる米作り」をいかに推進していくかが重要な課題となっている。他県に比べて気象条件等に恵まれない北海道の稲作にとって、極めて大きな問題と言わざるを得ない。

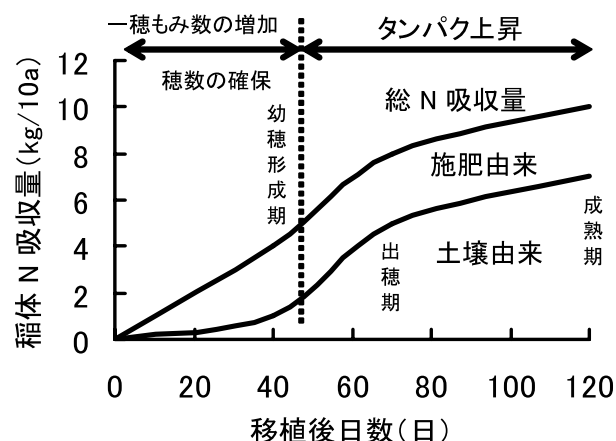
しかし、このことは、現在最も食味が優れるとされる府県産の食味ランキング特A(日本穀物検定協会による)並の高品質良食味米、つまり需要のある「売れる米」を北海道でも生産できれば、市場における北海道米の評価が向上し、道産米全体の需要増加に結びつく可能性を示唆している。つまり、北海道にとって今回の改革は、特A米の生産を一つの起爆剤として「信頼できる北海道米」ブランドを確立するチャンスとみることもできよう。ただし、そのためには、特A米を安定して生産できるような技術の開発が必要である。すなわち、これまでの良食味米(低タンパク米)生産技術をより一層高度化する一方、従来の発想にとらわれない新しい技術開発も必要となってくるだろう。

以上の観点から、本論では、北海道における特A産地(上川中部、空知北部を主に想定)形成支援を目標に、精米タンパク質含有率(以下、タンパク)を慣行よりも0.5～1.0%低下させた低タンパク米(目標タンパク6.0%以下)の安定生産のために今後開発すべき肥培管理技術を展望する。なお、水稻の栄養生理上、タンパクに対し最も直接的に影響をおよぼす養分は窒素(N)であるため、ここではNに関する肥培管理技術を中心に論じる。

1) 水稻の窒素吸収経過からみた低タンパク米生産のための窒素肥培管理のポイント

一般に、北海道で良質米500kg/10a程度を生産するのに必要な稲のN吸収量(10a当たり)は、幼穂形成期で

4 kg、出穂期で8 kg、成熟期で10kg前後と見積もられている⁷⁾(図IV-2-1)。また、稲が吸収するNは、施肥に由来する画分と土壌有機態Nの無機化に由来する画分の2つに分けられるが、成熟期の総N吸収量のうち約60%が土壌由来とされている。総N吸収量に対する両画分の比率を稲の生育の推移に沿ってみると、生育前半(移植～幼穂形成期頃)ではその80%程度が施肥由来であるのに対し、生育後半(幼穂形成期以降)には地温の上昇や土壌還元の進行などにより土壌由来画分の割合が急増する(図IV-2-1)。



図IV-2-1 水稻の窒素(N)吸収経過と吸収Nの由来内訳、および吸収Nが水稻の生育におよぼす影響
(全層施肥でNを9 kg/10 a 施用、精玄米収量が500kg/10 a レベルの場合)

一方、吸収されたNが稲の生育や米の品質におよぼす影響は、Nの吸収時期により異なることが知られている⁷⁾(図IV-2-1)。たとえば、幼穂形成期もしくは止葉抽出期頃までの生育前半の吸収N(主に施肥由来)は、主に穂数や一穂もみ数の増加を促して多収をもたらすとともに、多収による希釈効果等でタンパクの低下にもつながる。これに対し、生育後半の吸収N(おもに土壌由来)は収量に顕著には作用せず、むしろ産米のタンパクを直接的に高めるというマイナスの側面をもっている。なかでも、止葉期から出穂後10日までの期間に吸収されたNは穂に分配される割合が高く¹⁰⁾、産米タンパクを顕著に高めると指摘されている。

したがって、稲のN吸収経過と吸収したNの稲生産性

*上川農業試験場 078-0398 上川郡比布町

への影響との関係からみて、一定レベルの収量を維持しながらタンパク含量の低い米を生産するためのN肥培管理のポイントは、以下の2点に要約できる。1)必要十分量のNを施与して幼穂形成期または止葉抽出期頃までの生育(初期生育)量を確保する、2) 幼穂形成期または止葉抽出期以降の土壌からのN供給量を過大にさせない。1)は生育初期の施肥由来N吸収量を、また2)は生育中・後期の土壌由来N吸収量をそれぞれ制御することを意味する。

ただし、この2つのポイントは、どちらか一方が欠けると目的は達成されないことに留意する必要がある。たとえば、適正なN施肥によって初期生育を確保したとしても、土壌のN供給量が過大だと産米のタンパクは高くなりやすい。反対に、土壌のN供給量が少なくても、施肥N画分が幼穂形成期や止葉抽出期以降まで残存するほど多量に施肥すると、これも高タンパク化を引き起こす。2つのポイントをバランス良くクリアすることが重要である。

2) 特A産地形成支援に向けた技術開発の展望

ここでは、前述の2つのポイントを満たすために今後開発が必要と考えられる肥培管理技術について、既往の知見にふれながら展望する。

(1) 側条重点施肥体系

肥料を水稻根近傍に局所的に施与する側条施肥は、全層施肥よりも速効性^{1,20,21)}で、水稻による利用率も高く^{17,19,20,21)}、寒冷地での初期生育の促進に卓効を示す^{8,20,21)}ことが知られている。しかし、速効性である反面、肥効の発現は水稻生育初期に限られるため、土壌のN肥沃度が低い場合には、側条施肥単独では幼穂形成期以降のN供給量が不足し凋落的な生育を招く⁸⁾という欠点も有している。そこで、収量安定確保のため、肥効が持続的な全層施肥と組み合わせることが前提とされてきた⁶⁾。

一方、低タンパク米生産を主眼とした場合、肥効が速効性で生育中・後期まで持続しないという側条施肥の欠点をむしろ積極的に活用した技術開発を行うべきである。その一つとして、総N施肥量に対する側条施肥の割合を極力高め、中・後期の生育に必要なNをできる限り土壌からのN供給のみに依存するような側条重点施肥体系が考えられる。この体系のねらいは、全層施肥の省略により、タンパク上昇の原因となる生育中・後期の水稻へのN供給を極力減らすことにある。ただし、本技術が適用可能かどうかは土壌のN肥沃度に依存するところが大きく、条件によっては少量の全層施肥による補完が必要と

なる場合も想定される。もしくは、緩効性肥料の育苗箱施用による補完も可能かもしれない。以上のように、これまでの全層施肥と側条施肥の組み合わせを再考し、“脱全層施肥”を究極の目標とした土壌N肥沃度別の側条重点施肥体系の可能性を検討する必要がある。

(2) 成苗密植栽培法

既往の成績¹¹⁾によれば、中苗を用いた少肥密植栽培(基肥N量: 8 kg/10 a, 栽植密度40株/㎡)は、慣行栽培に比べ、初期生育が良好で、水稻1株当たりのN含有量が少なく、出穂期が斉一で登熟歩合も高いことから、低タンパク米の安定生産技術として有効とされている。密植の導入に付随する育苗作業コスト増の問題も、矮化剤を利用した密播育苗法⁵⁾の開発により、技術的にはほぼ解決された。現地栽培試験においても、慣行栽培より多収かつ低タンパクであることが実証¹⁴⁾されており、密植栽培は確実にタンパクを低下させる技術として評価できる。

ところが、本技術が対象とした中苗は、成苗に比べて移植後の活着に劣るため、いわゆる初期生育不良地帯では密植導入によっても初期生育を確保しにくい場合もあった。さらに、密植に適した品種がなかったことなども相まって、中苗密植栽培法は技術としての可能性を備えながら、これまで十分には普及してこなかった。

そこで、今後は、中苗よりも初期生育を確保しやすい成苗を用いた密植栽培法を検討すべきである。そして、低タンパク米生産に対する密植栽培の特性や問題点を再度詳細に検討し、密植栽培に適した品種の持つべき特性を栽培の視点から育種サイドに提示することが重要である。あわせて、従来の密植栽培では基肥施用であった施肥体系に、新たに側条施肥などを導入して初期生育をより確実に促進し、高度で安定した密植栽培法の確立に向けて技術の再構築を図る必要がある。

(3) 無代かき栽培における耕うん法

耕うん法や代かき強度の差異などに起因する土塊(団粒)の大小と水稻生育との関係については、古くから検討が行われている^{4,15,16)}。それらの結果を要約すると、土塊の大小は湛水期間中のN無機化量や無機化パターンに差をもたらすこと、一般に土塊を小さくするほど無機化が早く進んでその量も多いこと、そしてこれらのことが水稻の地上部および根部の生育に影響することなどが指摘されている。土塊の大きさがN無機化量や無機化パターンに影響するという事実は、耕うん法と代かき強度などの調節によりタンパクが制御できる可能性を示唆しているが、これらの研究ではそれについての言及は見られない。道立農試でも、耕起・代かき作業を省略または

軽減した移植技術がいくつか検討された^{9,13)}が、作業コストの低減と省力化が主たる目的であり、土壌Nの無機化抑制によるタンパク制御という視点からのアプローチは十分とは言えない。

これから検討すべき技術として、水稻の生育中・後期N吸収抑制に効果的な耕うん法の解明が挙げられる。すなわち、無代かき栽培を前提とし、砕土率とN無機化量および水稻N吸収量の推移との関係を検討して、生育中・後期の水稻のN吸収抑制に最適な砕土率を土壌のN肥沃度別に明らかにする必要がある。また、無代かき栽培の欠点である初期生育の遅延を改善するため、側条施肥の導入など施肥法と耕うん法の組み合わせ体系についても検討の余地があろう。また、このような耕うん処理を継続した場合の累積効果や効果の持続性、さらには無代かきとすることによる漏水の懸念などにも留意する必要がある。本技術が産米の低タンパク化に有効ならば、生産者が現有の耕うん作業機で実施可能な技術として普及性は高いと期待される。

(4) 乾土効果の推定精度向上

乾土効果とは、湛水前に土壌がある一定水分以上に乾燥すると、湛水後のN無機化量が増加する現象をいう²³⁾。この効果は湛水後速やかに発現するため、無機化したNの水稻による利用率は基肥N(全層施肥)と同等である。したがって、乾土効果を正確に予測できれば、基肥施用Nを適正に減らすことができ、低タンパク米生産にとって有効な技術となる。既往の研究によれば、乾土効果発現量は、湛水後の地温の影響をほとんど受けないため、湛水前の土壌乾燥程度から予測できる²³⁾という。道立農試ではこの考えを応用し、水熱係数(前年秋から当年春までの積算降水量/同日平均気温10℃以上の日の積算気温×10)と風乾土の湛水培養N量から乾土効果発現量を推定する手法を開発した¹²⁾。しかし、土壌乾燥程度の指標である水熱係数に、融雪日の年次変動や土壌の保水性や排水性といった要因が考慮されていないなど、改良の余地がある。

今後の展開としては、まず、融雪後の水田土壌の乾燥程度を気象条件と土壌の特性から推定する手法を新たに開発し、これを現行の乾土効果予測法(水熱係数法)に導入して、予測精度の向上を図る必要がある。次いで、乾土効果を促進するために効果的な春先の耕うん法の検討も重要である。冬期間長期積雪のある北海道で早春の土壌の乾燥促進は困難ではあるが、潜在的な乾土効果を評価することは、施肥N量の適正化を進める上で重要な情報になると思われる。

(5) 水管理による脱窒促進

脱窒は、水田におけるN損失経路の一つとして古くから重視され、全層施肥技術確立の理論的背景となった現象である¹⁸⁾。既往の成果によれば、脱窒量を制御する重要な因子は硝酸化成率であり、その硝酸化成率は酸素の拡散速度に強く影響されている^{2,22)}。また、水田土壌からの脱窒量を施肥N収支試験から推定した例³⁾では、施肥Nの20~30%との報告があり、損失としては無視できない量である。

しかし、逆にこの損失を利用して水稻生育中・後期の土壌からのN供給量を減らせないだろうか。つまり、間断かんがいなどで土壌をいったん酸化的にして硝酸化成を促した後、再び湛水して脱窒量を増やすという方法である。冷害危険期には深水管理が必要な北海道では、水管理を制限なく行える期間は短い。このような条件であっても水管理による脱窒促進が実際に可能かどうかを、従来の発想にとらわれない新しい技術の一つとして検討してみる価値はあるだろう。

おわりに

食味ランキング特A産地形成支援に向けた肥培管理技術とは、土壌の性質や水稻の生育経過に合わせた適切なN管理に尽きる。これは、安定多収を目標とした時代から追求し開発してきた技術と根底は同じと言える。それゆえ、既往のN管理技術の方法や理論を良く理解することが必要で、その上で新しい技術を再構築することが重要と思われる。

引用文献

- 1) 土居晃郎, 古山芳広. “水稻に対する側条施肥の表層施肥効果”. 北農. 52, 45-56(1985).
- 2) 長谷部亮. “水田土壌における硝化脱窒に関する研究—特に酸化層・還元層の分化とアンモニア酸化菌の生態について—”. 北陸農試研究報告. 32, 123-170(1990).
- 3) Hauck, R. D. "Methods for studying N transformations in paddy soils: review and comments". Nitrogen and rice. Los Banos, Philipines, IRRI, 1979. p.73-94.
- 4) 平野俊, 原楨紀, 中野啓三, 藤井兵夫. “土壌の酸化還元と水稻の生育について”. 四国農業試験場報告. 4, 45-62(1958).
- 5) 北海道. “平成16年度農作物病虫害・雑草防除ガイド”. 2004. p.267.

- 6) 北海道農政部. “北海道施肥ガイド”. 2002. p.16-19.
- 7) 北海道農政部, 北海道立農業試験場. “低蛋白米生産をめざした水田土壌窒素診断の手引き”. 1998. p.25
- 8) 北海道農政部. “昭和59年普及奨励ならびに指導参考事項”. 1984. p.323-327.
- 9) 北海道農政部. “平成 8 年普及奨励ならびに指導参考事項”. 1996. p.55-59.
- 10) 北海道農政部. “平成 8 年普及奨励ならびに指導参考事項”. 1996. p.335-337.
- 11) 北海道農政部. “平成 8 年普及奨励ならびに指導参考事項”. 1996. p.337-339.
- 12) 北海道農政部. “平成10年普及奨励ならびに指導参考事項”. 1998. p.144-147.
- 13) 北海道農政部. “平成13年普及奨励ならびに指導参考事項”. 2001. p.220-222.
- 14) ホクレン. “やさしい施肥管理の手引—水稻編—(改訂版)”. 2003. p.80-81.
- 15) 泉 清一. “水田における耕耘の栽培技術的研究”. 農事試験場研究報告. **1**, 1-45(1962).
- 16) 川口桂三郎, 喜田大三. “土壌構造に関する水稻ポット試験”. 日本土壌肥科学雑誌. **27**, 15-18(1956).
- 17) 今野一男, 宮森康雄. “異なる移植方式における水稻側条施肥の窒素肥効”. 道立農試集報. **72**, 1-9 (1997).
- 18) 栗原 淳. “施肥位置による肥効増進, 肥効調節および環境保全. 施肥位置と栽培技術—現状と問題点—”. 日本土壌肥科学会編. 博友社, 1982. p.5-47.
- 19) 御子柴穆. “水稻の施肥位置. 施肥位置と栽培技術—現状と問題点—”. 日本土壌肥科学会編. 博友社, 1982. p.139-194.
- 20) 三浦 周, 坂本宣崇, 古山芳広. “寒地における側条施肥水稻に対する窒素追肥の影響”. 道立農試集報. **63**, 31-39(1991).
- 21) 大山信雄. “東北地方の水稻栽培における側条施肥法”. 日本土壌肥科学雑誌. **56**, 343-346(1985).
- 22) Reddy, K. R., Patrick, W. H. and Phillips, R. E. "Ammonium diffusion as a factor in nitrogen loss from flooded soils". Soil Sci. Soc. Am. J. **40**, 528-533(1976).
- 23) 鳥山和伸, 関矢信一郎, 宮森康雄. “湛水前の土壌乾燥が土壌窒素の無機化量に及ぼす影響の定量的把握”. 日本土壌肥科学雑誌. **59**, 531-537(1988).

3. 北海道における酒米の生産技術

丹 野 久*

はじめに

2000年に北海道の酒造好適米品種として「吟風」が育成され、初めての心白を有する酒造好適米(以下、酒米と略す)の生産が始まった。その後、2003年には235haに作付けが伸びている。一方、全国の酒米の作付けは2002年で合計18007haあり、「山田錦」が5345haと最も多く、「五百万石」が5254ha、「美山錦」が1451haで、これら3品種で67.0%を占めている^{1,8)}。また、都道府県別の作付けでは兵庫県が5228haと最も多く、新潟県が2433ha、富山県が1011ha、長野県が928ha、福井県が884haと上位を占めている。今後、北海道の酒米品種の作付けを増加させるには、北海道内だけでなく道外の酒造会社に販売することが不可欠である。その場合、北海道と東北以南の酒米における酒造品質の比較が問題となる。しかし、「吟風」の酒造品質を東北以南の銘柄酒米と比較した例は少ない。酒米研究会では、全国の酒造用原料米の分析を1976年から行っているが、1999年以降にはじめて「吟風」が供試され、現在に至っている。

1) 酒米の特性

良質な酒米の条件としては、①ハゼ込みの良い糖化力の強い麴となるために、鮮明な心白が玄米の中央にあること、②搗精歩合が高く原料処理や製麴などの作業性をよくするため、大粒で粒揃いがよいこと、③粗蛋白質は

雑味の原因であり、粗脂肪は酸化による香りの原因となるので、粗蛋白質と粗脂肪(以下、粗を略す)の含有率が低いこと、④外硬内軟のさばけの良い蒸米であること、⑤麴菌と酵母の生育不良や増殖過多が生じないように、一定量のミネラル(カリウムやリン酸など)を含むこと、⑥高度搗精に適性があること、があげられる¹⁶⁾。そのことから、酒米研究会では、表Ⅳ-3-1に示した分析を行っている。すなわち、千粒重、70%搗精時の真精米歩合、20分吸水率、120分吸水率、直接還元糖とフォルモール窒素、蛋白質含有率およびカリウム含有率などを分析し良否を判定している⁶⁾。表Ⅳ-3-2に1999~2002年度の酒米研究会の分析結果から、「吟風」の酒造特性を東北以南の作付けの多い銘柄酒米の3品種(「山田錦」、「五百万石」および「美山錦」)と比較して示した¹¹⁾。なお、比較に用いた「吟風」のデータは、適応地帯である上川中央部および空知中北部に限定した。また、データ数は「吟風」が2~5(平均4)点と、「五百万石」の25~47(38)点、「山田錦」の17~21(19)点、「美山錦」の11~19(14)点に比べかなり少ない。

その結果によると、「吟風」の千粒重は、「山田錦」や「五百万石」より小さいが、「美山錦」にほぼ同じである。70%搗精時の真精米歩合は、これら3品種に比べ低く70%により近く、高度搗精への適性は高い。20分吸水率と120分吸水率は、2002年の低温年で高く年次変動がみら

表Ⅳ-3-1 酒米研究会による酒造用原料米分析の分析項目

形 質	調査法・調査目的	値の良否
玄米千粒重水分調整前 (g)		
玄米千粒重水分調整後 (g) 13.8%水分時		25~28 g
玄米水分 (%)		14~15%, 地域による
真精米歩合 (%)	70%搗精時の白米千粒重と玄米千粒重の比	70%に近ければ砕けが少なく良好
白米水分 (%)		
20分吸水率 (%)	吸水性	高い方がよい
120分吸水率 (%)	吸水性	高い方がよい
蒸米吸水率 (%)	蒸米としたときの元白米重との重量比	30~40%
直接還元糖含有率 (%)	消化性	高い方がよい
フォルモール窒素 (ml)	消化性	多い方がよいが、多すぎても粗蛋白質と同じで良くない
粗蛋白質含有率 (%)		低い方がよい
カリウム含有率 (ppm)		低いと麴菌の発育不良、高いと増殖早すぎ

酒米研究会による。値の良否は前重・小林編(2001)⁶⁾による。

*上川農業試験場 078-0397 上川郡比布町

表Ⅳ-3-2 「吟風」と東北以南の銘柄酒造好適米の3品種における酒造用原料米分析結果

年次	品種名	産地名 および 産地数	千粒重	玄米	真精米	白米	20分	120分	蒸米	直	フォル	粗蛋	カリ
			調整後	水分	歩合	水分	吸水率	吸水率	吸水率	接	モール	白質	ウム
			(g)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	還元糖	窒素	含有率	含有率
			(g)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(ml)	(%)	(ppm)
1999	吟風	北竜町	25.2	15.1	73.9	13.5	26.2	28.0	31.7	9.5	1.0	6.0	390
		新十津川町	25.3	14.7	72.8	13.9	26.6	28.2	31.2	9.3	1.0	5.9	407
		平均	25.3	14.7	72.8	13.9	26.6	28.2	31.2	9.3	1.0	5.9	407
	山田錦	17	26.5	14.7	72.2	13.5	28.9	30.0	34.3	10.5	0.8	4.8	322
	五百万石	45	26.0	15.2	72.8	13.4	27.4	29.0	32.0	9.6	0.8	6.2	401
	美山錦	11	24.9	15.4	72.2	13.8	27.3	28.7	32.4	10.0	0.8	5.0	387
2000	吟風	旭川市	24.5	15.3	72.5	13.1	26.5	28.9	32.3	8.8	0.9	5.8	397
		北竜町	24.9	16.2	70.1	13.0	26.7	29.3	32.4	8.8	1.0	6.2	304
		新十津川町	25.2	16.0	72.7	13.1	27.7	29.3	32.4	8.8	0.8	5.3	467
		平均	24.9	15.8	71.8	13.0	27.0	29.1	32.4	8.8	0.9	5.8	389
	山田錦	17	26.5	15.3	73.0	13.7	28.7	30.4	33.6	9.8	0.8	5.0	316
	五百万石	47	26.3	14.7	73.7	13.4	28.1	28.7	31.8	10.6	0.9	6.3	404
	美山錦	11	25.1	15.1	71.9	14.6	27.7	26.2	32.8	9.4	0.7	5.1	462
	2001	吟風	比布町①	25.7	16.4	70.2	13.5	27.4	29.1	32.5	9.1	0.8	5.2
比布町②			25.8	16.5	70.2	13.3	27.8	29.6	33.1	9.3	0.8	5.3	378
旭川市永山			25.0	15.3	70.7	13.5	26.2	28.9	33.1	9.0	0.9	6.1	367
北竜町			24.8	16.0	70.7	13.6	26.7	29.0	32.6	9.0	0.8	5.7	359
新十津川町			24.9	15.8	70.2	13.6	26.6	29.0	32.1	9.0	0.8	5.0	383
平均			25.2	16.0	70.4	13.5	26.9	29.1	32.7	9.1	0.8	5.5	367
山田錦		20	26.6	15.2	73.3	13.6	29.0	31.2	35.0	10.6	0.7	4.6	388
五百万石		33	26.1	14.9	72.3	13.5	27.5	28.7	32.5	9.7	0.8	5.0	457
美山錦	19	25.2	15.1	73.6	13.5	26.0	29.3	32.2	10.3	0.8	4.7	435	
2002	吟風	比布町①	24.9	15.7	71.9	13.2	30.5	31.5	35.8	8.9	0.8	6.6	328
		比布町②	24.4	16.0	70.2	13.2	29.3	30.8	34.4	9.0	0.8	5.7	416
		旭川市	24.2	15.6	71.1	13.5	28.4	29.2	32.4	8.7	0.8	6.4	523
		北竜町	24.4	15.8	71.3	13.2	28.9	30.9	34.2	8.7	0.8	6.5	529
		新十津川町	24.2	12.6	71.9	13.1	29.7	31.0	34.4	9.9	0.8	6.2	465
		平均	24.4	15.1	71.3	13.2	29.4	30.7	34.2	9.0	0.8	6.3	452
	山田錦	21	26.7	15.3	73.8	13.4	27.8	29.4	33.0	9.7	0.7	4.8	393
	五百万石	25	26.1	14.9	73.6	13.5	28.0	28.8	31.1	9.3	0.7	5.1	504
美山錦	15	25.5	15.2	73.5	13.4	26.9	28.4	32.4	9.6	0.8	4.9	474	
平均	吟風	4	25.0	15.4	71.6	13.4	27.5	29.3	32.6	9.1	0.9	5.9	404
	山田錦	19	26.6	15.1	73.1	13.6	28.6	30.3	34.0	10.2	0.8	4.8	355
	五百万石	38	26.1	14.9	73.1	13.5	27.8	28.8	31.9	9.8	0.8	5.7	442
	美山錦	14	25.2	15.2	72.8	13.8	27.0	28.2	32.5	9.8	0.8	4.9	440

酒米研究会 (2000~2003)¹¹⁾による。千粒重調整は水分13.8%。真精米歩合は70%搗精時の千粒重比。蒸米吸水率は、蒸し後の重量増加と元の白米重量との比。

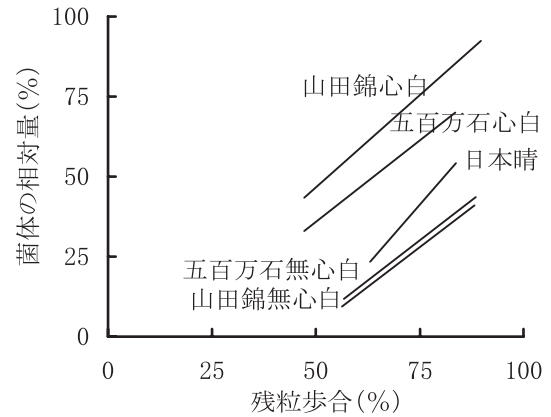
れるが、「山田錦」よりやや低く「五百万石」並で「美山錦」よりやや高い。蒸米吸水率は「山田錦」より低い。他の2品種並みで、最適とされている30~40%の範囲である。消化性を示すフォルモール窒素はこれら3品種に比べわずかに多いが、同様に消化性を示す直接還元糖はやや低くやや劣っている。蛋白質含有率は「五百万石」に近く、他の2品種よりも高く、とくに冷害年である2002年が際だって高く、酒米としてはやや劣っていた。また、この蛋白質含有率が概してやや高いことがフォル

モール窒素に反映していると思われた。カリウム含有率は、「山田錦」よりやや高く他の2品種よりもやや低い程度で、問題ない範囲と思われた。

従来、酒米は心白を有する品種が良いとされてきた。心白粒は無心白粒に比べ、物理的に白米比重が小さく、蒸米にしたときに空隙が多い¹⁹⁾(表Ⅳ-3-3)。化学性は心白粒と無心白粒の間にとくに差異がない¹⁹⁾(表Ⅳ-3-4)、高度搗精への適性は心白粒がむしろ割れやすく劣る¹⁷⁾(図Ⅳ-3-1)。白米の吸水率は心白粒で高く、

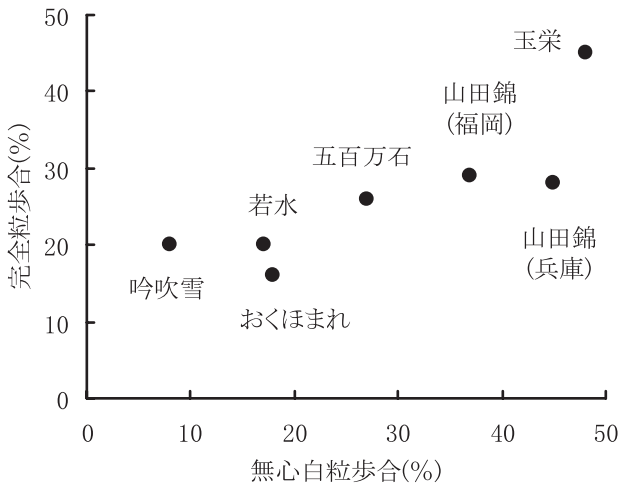
表Ⅳ－3－3 心白粒および無心白粒の物理的性質の比較¹⁹⁾

品種名	産地	玄米千粒重(g)		白米比重		蒸米空隙量(g/g)	
		心白粒	無心白粒	心白粒	無心白粒	心白粒	無心白粒
山田錦	兵庫	28.67	27.67	1.456	1.462	2.02	1.79
山田錦	福岡	27.67	26.33	1.450	1.465	1.92	1.86
五百万石	福井	28.33	25.67	1.456	1.461	1.71	1.44
五百万石	京都	27.67	26.00	1.459	1.460	1.60	1.42
おくほまれ	福井	31.33	28.67	1.447	1.462	1.45	1.34
玉栄	滋賀	30.33	28.33	1.456	1.464	1.54	1.23
祝	京都	28.67	26.67	1.447	1.466	1.69	1.72
若水	京都	26.33	26.00	1.454	1.465	1.79	1.48
平均値		28.63	26.92	1.453	1.463	1.72	1.54
分散分析	品種	**		ns		**	
	心白	**		**		**	



図Ⅳ－3－2 麴内部の麴菌菌体量分布
(柳内ら (1997)¹⁸⁾一部改)

残粒歩合は脱水麴を搗精し、経時的に得られた整粒と搗精前粒との千粒重比とした。それら粒の1g当たりの麴量をもとめ、残粒歩合との積から残粒麴中の菌体量とした。



図Ⅳ－3－1 無心粒歩合と50%搗精時の完全粒歩合との関係¹⁷⁾

表Ⅳ－3－4 心白粒および無心白粒での白米成分、吸水率および消化性の比較¹⁹⁾

形質	心白粒	無心白粒	分散分析結果	
			心白	品種・産地
粗蛋白質(%)	5.47	5.44	ns	**
粗脂肪(%)	0.075	0.068	ns	**
カリウム(ppm)	571	580	ns	**
20分吸水率(%)	27.1	23.9	**	ns
120分吸水率(%)	27.9	26.6	*	ns
蒸米吸水率(%)	28.9	27.3	*	*
消化性(全糖, %)	12.8	12.0	**	**
消化性(FN)	2.2	2.1	ns	ns

10品種・産地の平均。NF：フォルモール窒素。

蒸米の消化性が高く優れる^{17,19)}(表Ⅳ－3－4)。また、製麴特性は、心白粒で麴内部の菌体量が多く¹⁸⁾(図Ⅳ－3－2)、破精込みが良好である。

「吟風」における心白の発現率(心白粒数÷調査粒数)は65～89%であり、育成地での産米である長野県の「美山錦」60%、兵庫県の「山田錦」70%、新潟県の「五百万石」77%にほぼ近かった¹⁴⁾(表Ⅳ－3－5)。また、心白発現率に心白の大きさを加味した指数である心白率は、「吟風」が34.6～56.4%と、これら3品種の42.0～57.6%にほぼ類似していた。以上のことから、「吟風」の心白発現は東北以南の銘柄品種並と思われた。一方、高度搗精への適性を低下させる腹白粒率については、「吟風」がこれら3品種よりも少なかった。

以上のことから、「吟風」の酒造適性は東北以南の銘柄酒米3品種に比べ、また、これまで述べた試験での搗精歩合70%とは異なる真精米歩合75%での値ではあるが、既報の「山田錦」並み範囲^{9,10)}(表Ⅳ－3－6)や酒造に適する範囲の推定値^{9,10)}(表Ⅳ－3－7)も参考に、次のように評価される。すなわち、優点として高度搗精への適性が高いこと、欠点としては直接還元糖がやや低く消化性がやや劣り、蛋白質含有率がやや高いことがあげられ、総合して、東北以南の銘柄米3品種にやや劣る(表Ⅳ－3－8)。

なお、北海道でとくに問題となる障害型耐冷性に対して、「吟風」は穂ばらみ期耐冷性がやや強で、同じランクの「きらら397」よりもやや劣り、開花期耐冷性も極弱と劣る¹⁴⁾。このように障害型耐冷性が弱いため冷温により不稔が発生すると、蛋白質含有率が高くなるので酒造特性が低下する。そのため、「吟風」より障害型耐冷性が優れる酒米品種の育成が要望されており、育成系

表Ⅳ-3-5 「吟風」と東北以南の銘柄酒造好適米の3品種での心白発現率および心白率¹⁴⁾

品種名	産地	腹白有無	心白の大きさ				心白発現率 (%)	心白率 (%)	腹白率 (%)
			無	小	中	大			
吟 風	上川農試	有	3	4	15	0	73	43.6	22
		無	24	33	21	0			
	小平町	有	1	3	2	0	65	34.6	6
		無	34	41	18	1			
	旭川市	有	3	6	12	0	89	56.4	27
		無	8	32	37	2			
	深川市	有	6	4	10	0	79	50.6	20
		無	15	29	33	3			
八反錦2号	広島県	有	0	3	20	56	99	92.0	79
		無	1	0	6	14			
山田錦	兵庫県	有	24	11	14	17	70	55.8	66
		無	6	4	12	12			
五百万石	新潟県	有	17	10	13	17	77	57.6	57
		無	6	13	15	9			
美山錦	長野県	有	24	10	11	13	60	42.0	58
		無	16	13	10	3			

100粒調査。心白発現率：(心白粒数/調査粒数)×100。
心白率：((2×心白小粒数+4×心白中粒数+5×心白大粒数)/5×調査粒数)×100。
「八反錦2号」は「吟風」の母本であり、参考のため示した。

表Ⅳ-3-6 「山田錦」並み範囲^{9,10)}の上限値と下限値

項目名	「山田錦」並み範囲 ^{9,10)} 下限値～上限値		
千粒重水分調整前 (g)	24.9	～	28.5
千粒重水分調整後 (g)	24.6	～	28.0
玄米水分 (g)	11.7	～	16.6
真精米歩合 (%)	72.6	～	78.2
白米水分 (g)	12.2	～	14.3
20分吸水率 (%)	24.4	～	31.6
120分吸水率 (%)	27.7	～	33.6
蒸米吸水率 (%)	35.1	～	45.6
直接還元糖 (%)	7.2	～	10.6
フォルモール窒素 (ml)	1.6	～	2.3
粗蛋白質含有率 (%)	4.3	～	6.3
カリウム含有率 (ppm)	271	～	557

「山田錦」の全データ、195サンプルから高い5%と低い5%を除いた値。真精米歩合75%での分析値。上限値ちょうどは含み、下限値ちょうどは含まない。

表Ⅳ-3-7 酒造に適する範囲の推定^{9,10)}

項目名	酒造に適すると推定される範囲		
	下限値	～	上限値
① 千粒重 (g)	24.16	～	28.0
② 20分吸水率 (%)	25.52	～	31.6
③ 蒸米水分 (%)	39.2	～	45.6
④ 消化性 (直糖, %)	9.53	～	10.6
⑤ 粗蛋白質含有率 (%)	4.3	～	5.7

下限値は酒造適性基準値、ただし、⑤は「山田錦」並み範囲による。上限値：「山田錦」上限値、ただし、⑤は酒造適性基準値。真精米歩合75%での分析値。

表Ⅳ-3-8 「吟風」の酒造適性への評価

形 質	概 評
千粒重	小さめだが十分
真精米歩合	低く、搗精歩合70%に近く良好
吸水性	並、低温年には高い傾向
蒸米吸水率	30～40%の範囲にあり十分
直接還元糖	やや低く、消化性がやや劣る
フォルモール窒素	わずかに多い
粗蛋白質含有率	やや高いため、やや劣る
カリウム含有率	適正範囲
心白発現	適度な発現率と大きさ

統「空育酒170号」は、開花期耐冷性は「吟風」と同じ極弱であるが、穂ばらみ期耐冷性が強と「吟風」よりも強い(表Ⅳ-3-9)。さらに、「空育酒170号」の心白発現は「吟風」よりもやや少ないが、蛋白質含有率が「吟風」より低く、「きらら397」よりもやや低い。すなわち、本系統は「吟風」の大きな欠点である穂ばらみ期耐冷性と蛋白質含有率が改良されており、今後、北海道の酒米品質の向上に寄与することが期待される。

2) 酒米の栽培法

北海道では酒米生産の歴史が極めて短いため、これまでその栽培法がほとんど検討されていない。酒米栽培の基本は低蛋白米生産技術であり、その技術は北海道でも既に良食味米生産のために検討されている。しかし、酒米生産ではさらに心白発現を高めることなどが必要となる。そこで、参考のために東北以南での酒米栽培技術を取りまとめた一例¹⁶⁾を表Ⅳ-3-10に示した。

すなわち、適地の気象条件は、心白発現のため日照が十分で、登熟期間の気温の較差が10℃以上と大きく、平均気温の最適温度は22℃である。また、土壌は、構造が根の伸張に適し、石灰、苦土、カリなどの塩基を多く含むのが良い。

土作りでは、有機物を施与し、資材についてはケイ酸石灰を、さらに土の性質に合わせて含鉄資材、リン酸質

表Ⅳ-3-9 「空育酒170号」の主要特性

系統名 品種名	耐冷性		玄米特性				成熟期	稈長	穂長	穂数	不稔歩合	玄米重	同左標準比	玄米千粒重	検査等級	蛋白質含有率
	穂ばらみ期	開花期	粒大	心白多少	腹白多少	品質	(月日)	(cm)	(cm)	(/㎡)	(%)	(kg/a)	(%)	(g)		(%)
空育酒170号	強	極弱	大	や多	少	中上	9.24	71	16.6	643	20.5	58.7	114	25.1	2中下	7.4
吟風	や強	極弱	や大	多	や少	中上	9.23	62	16.7	609	33.4	51.7	100	24.0	2中上	8.4
きらら397	や強	や強	や大	無	極少	中上	9.24	65	17.2	758	29.8	54.7	106	22.4	2中	7.8

北海道立中央農業試験場 (2003)²⁾に、2004年のデータを追加。や強はやや強を示す。

表Ⅳ-3-10 東北以南における酒造好適米品種の栽培技術での要点¹⁶⁾

1. 適地の選定

①気象条件からみた適地

心白：粒内部に温度差ができる、外側高温部は澱粉集積著しく透明化
 温度条件、高温で小粒化し心白発現低下、低温条件で千粒重低下し高蛋白質化
 登熟期間の最適温度22℃
 心白形成のステージ別適温 (℃)

生育期間	昼	夜
出穂前	31～32	21～22
出穂始期後15日間	29	19
それ以降15日間	26	16

日照条件、出穂後5日から成熟期までの遮光処理で40%減少
 時期別の遮光の影響 (10日間処理)

生育期	穂ばらみ期	出穂期	穂揃期後
心白歩合	著しく低下	比較的少	かなりある

風速と千粒重とは軽微な関係

高温登熟における乾燥は千粒重を低下させる

まとめ：日照条件が良く、登熟期間の日較差が大きく (10℃以上)、適度な降水量、灌漑水が豊富で、高温登熟下で昼間空気が異常に乾燥しない

②土壌条件からみた適地

粘質土壌を形成する凝灰岩あるいは凝灰頁岩を主体とする地帯
 土壌構造が根の伸長に適する
 石灰、苦土、カリなど、植生上有効な塩基を多く含む
 塩基の置換容量が大きい

2. 土づくり

①有機物の施用

穂揃いを良くし、粒の肥大に役立ち、心白発現を高める
 稲藁は全量還元

②土作り資材の施用

珪酸石灰は心白の発現を促す
 土の性質に合わせて含鉄資材、リン酸質資材、腐植酸質資材などを併用
 土壌診断に基づく施用

③深耕

根域拡大、溶脱成分の還元、養分状態の改善などにより、
 根と茎葉の健全な生育を促進
 反転耕では徐々に深耕化
 有機物+深耕では十分な排水が必要

3. 種子の更新

大粒心白は劣性遺伝であり、小粒無心白が混じると広がりやすいので、原則、毎年更新

4. 育苗

①播種期・田植期

好適出穂期の決定

登熟温度：高温より低温のほうが千粒重が大きく、

心白が鮮明で、蛋白質含有率が低下

過度の早播き、早植えは良くない

遅い出穂は乳白・腹白による品質低下

②苗の大きさ

千粒重・心白発現率・収量とも、稚苗<中苗≤成苗

生育が旺盛で揃った太い分けつ茎が確保でき、過剰分けつが少なく

有効茎歩合が高まり、穂数が多い割に登熟向上

③苗質

健全な良苗は活着が良く、分けつ開始も早く、除草剤への抵抗力も強い

5. 栽植密度

密植栽培で穂数増加による多収

一株本数は少なくても良い

心白：二次分けつよりも一次分けつに、上位分けつよりも下位分けつに多い

密植による良質化

密植による低蛋白化

6. 施肥

目標：大粒化・高い心白発現・低蛋白化

玄米千粒重と心白発現率との間には正の相関関係

→登熟を良くし、粒を豊満化

①肥料要素

窒素との関係が深い：概して収量にはプラス、品質にはマイナス

リン酸：初期に欠乏すると心白発現を低下、

幼穂形成期施与は高める(過多は抑制)

無リン区では蛋白質含有率が高くなる

カリ：欠乏により心白発現低下、増肥は同化量の増加により心白発現が高くなる

無カリ区では蛋白質含有率高まる

珪酸石灰：心白発現率が向上(千粒重変わらず)

有機物(魚粕、堆肥など)：心白発現の向上効果大きい

②施肥量と施肥時期

伝承品種は倒伏に弱い、窒素は一般米の品種より1～2割減肥、土地条件を勘案

リン酸・カリ：根や茎を剛健化、耐倒伏性と耐病性強化、粒張り・粒揃いを高める

リン酸は窒素と同量、カリはそれ以上が一般的

施肥時期：基肥重点は途中制御が困難、

籾数過多は登熟歩合の低下や小粒化、後期衰退型は収量・品質低下

基肥を控えた追肥重点主義で、太く揃った分けつを確保

ただし、リン酸は流亡、湛水後の有効化もあり、基肥重点

追肥、田植後10～20日頃の分けつ期：多げつ化による登熟条件が劣化

穂首分化期(出穂前35～30日)：籾数増加が顕著、登熟低下

幼穂形成始期(出穂前25日頃)：ほぼ同上

減数分裂期：籾数要素低く、登熟要素高くなり、心白粒歩合・収量が向上

実肥(穂揃い期)：増収・高蛋白化→控える

玄米千粒重と蛋白質含有率との関係：

単位面積当たり籾数増加でやや小粒化、多収化により精米の低蛋白化も可能

完全米歩合や玄米千粒重と蛋白質含有率との間に負の相関(一般米)

まとめ：蛋白質含量率には、出穂期までの吸収窒素の一籾当たりの供給量が影響

穂揃い期に窒素濃度を異常に高める施肥をせず、登熟を良くする
倒伏：出穂前35～20日の窒素施与は避ける
カリは稲体を硬くする

結論：施肥時期は基肥，出穂前20～18日および出穂前10日の3回分施
施与では葉色板や葉緑素計を活用
穂首分化期のカリや珪酸（苦土）石灰も効果有り

7. 水管理

肥効の調節・倒伏防止・根の活力維持

8. 雑草および病害虫防除

葉害による生育ムラが，登熟むらや粒揃い不良を生じさせる

9. 収穫

高度搗精を阻害する胴割れ米や未熟米避ける

収穫適期の判定：青味率による

10. 乾燥

胴割れ粒と碎米への注意

胴割れ粒は刈り遅れおよび乾燥過程でも発生

一般米に比べ初期の間は大粒で表面積が大きいので，乾燥速度が早い

心白部分の乾燥も水分移動が早く，心白の細胞の結合力が弱く，胴割れし易い

同一風量で一般米より5～10℃下げて，ほぼ同じ時間で水分14～15%にする

毎時乾減率を0.5%程度に抑え，徹底した胴割れ防止を図る

資材および腐植酸質資材を使用する。また，深耕を行い，種子は毎年更新する。

播種期と田植期は，乳白と腹白を生じさせない範囲で，心白が鮮明となる低温登熟が可能となる好適出穂期を求め，それから導き出す。苗については稚苗<中苗≤成苗の順で，千粒重が重く，心白発現率と収量性が高くなる。さらに，育苗では活着と早期分けつの発生が良く，除草剤への抵抗力が強い健全な苗を作る。また，密植栽培により多収化と低蛋白化が可能となり，心白発現率も高くなる。

施肥については窒素の影響が大きく，施肥窒素量が多いと多収化するが，蛋白質含有率が高くなり酒造品質を低下させる場合が多い。リン酸は初期の欠乏で心白発現率が低下し，幼穂形成期に適量施与すると向上する。カリは欠乏すると心白発現率が低下し，増肥で高くなる。リン酸とカリを施与しないと，蛋白質含有率を高める。また，ケイ酸石灰や魚粕・堆肥などの有機物は，心白発現率を向上させる。窒素施肥量は，酒米品種が伝承品種で長稈なため倒伏に弱いので，一般米の品種より1～2割減肥する。リン酸の施肥量は窒素と同量で，カリはそれらより多いのが一般的である。施肥方法は追肥重点主義をとり，施肥時期を基肥，出穂前20～18日および出穂前10日の3回とし，追肥量の決定には，穂揃い期での稲個体の窒素含有率を高めすぎないように葉色板などを活用する。穂首分化期のカリやケイ酸(苦土)石灰の施与も

効果が期待できる。

さらに，水管理は肥効の調節，倒伏防止，根の活力維持の観点から適正に行い，雑草や病害虫防除については，生育ムラの原因となる葉害の発生に注意する。また，収穫においては，高度搗精を阻害する胴割れ米や未熟米の発生を避け，収穫適期の判定を青味率で行う。乾燥時には胴割れ粒と碎米の発生に注意し，一般米に比べ同一風量で温度を5～10℃下げて，ほぼ同じ時間で水分を14～15%に仕上げる。また，毎時乾減率を0.5%程度に抑え，徹底した胴割れ防止を図る。

以上の栽培法は，東北以南での試験結果に基づいており，必ずしも北海道で直接には参考にならないことも多い。しかし，栽培条件と心白発現率との関係や穂重型品種の栽培の考え方など，今後，北海道での酒米品種の栽培方法の検討には考慮すべき点もある。

3) 今後の酒米試験で検討すべき問題点

東北以南の酒米品種の心白発現率には大きな品種間差異があり³⁾，近年必ずしも高くない「蔵の華」⁷⁾や極めて低い「吟の精」⁴⁾も育成されている。また，50%などの高度搗精には，大きな心白が多い品種ほど適性が低いとの指摘もある¹⁹⁾。一方，北海道の登熟条件は東北以南に比べて冷涼で，4年に1度は冷害が発生するといわれる。冷温により登熟が十分に行われない場合には，とくに心白を有する酒米品種で腹白米が多発生することが懸

念される。そのため、玄米品質を安定させるために心白は小さい方がより望ましいとも考えられる。今後、育種では東北以南の酒米品種が有する心白発現の多様な遺伝資源を活用するとともに、北海道の酒米品種に適した心白の大きさや発現率を検討することが必要である。

また、酒米品質に大きく影響する精米タンパク含有率の大きな変動要因である冷温による不稔発生の回避には、穂ばらみ期耐冷性の向上だけでなく、「吟風」や「空育酒170号」でとくに劣る開花期耐冷性の強化が不可欠である。しかし、現在の開花期耐冷性の検定方法はまだ大きな労力を要するので、育種材料への直接の選抜を行うためには、さらに選抜法の工夫を重ねることが必要である¹⁵⁾。

近年の北海道での一般食用の育成品種の草型は、「きらら397」¹²⁾や「ほしのゆめ」¹³⁾でみられるように、穂数型にかなり偏ってきているのに対し、酒米品種の「吟風」は中間型と異なっている。すなわち、北海道でこれまで開発された良食味米のための低蛋白米生産技術は、穂数型品種に対応した技術となっていることから、この技術を「吟風」のような中間型品種にそのまま適応可能かどうかの検証が必要である。

また、心白発現には、表Ⅳ-3-10に示したように登熟気温が影響する⁵⁾。すなわち、心白発現の適温は出穂始期以降15日間の平均気温で24℃、それ以降15日間で21℃である。それに対し、「吟風」の主産地である旭川市と深川市では、それらの時期にほぼ相当する8月1～15日で21.1～21.8℃、同16～30日で20.1～20.3℃と、それぞれ2.2～2.9℃および0.7～0.9℃低い(注: <http://www.data.kishou.go.jp/>)。そのため、北海道の冷涼な気象条件における栽培条件と心白発現との関係を明らかにして、安定して良好な心白発現が可能な栽培技術を解明する必要がある。

現在、「吟風」の酒造品質はまだ東北以南の銘柄酒米品種にやや劣るが、さらなる品種改良や高品質酒米の栽培法を確立することにより、その差異を解消することも可能であると考えられる。

引用文献

- 1) 米穀データバンク編. “米品種大全3”. 米穀データバンク, 2003. p479.
- 2) 北海道立中央農業試験場. “水稻新配布系統に関する参考成績書 空育酒170号”. 2002年度北海道農業試験会議(設計会議)資料. 2003. 24p.
- 3) 池上勝, 世古晴美. “酒米品種における心白発現の品種間差異”. 近畿作育研究. **40**, 47-51(1995).
- 4) 加藤武光, 畠山俊彦, 眞崎聡, 斉藤正一, 福田兼四郎, 嶺石進. “水稻新品種「吟の精」の育成”. 秋田農試研報. **34**, 1-20(1994).
- 5) 前重道雅. “酒米の生産技術改善に関する研究”. 広島農技セ研報. **56**, 1-126(1993).
- 6) 前重道雅, 小林信也編. “最新日本の酒米と酒造り”. 養賢堂, 2001. 319p.
- 7) 松永和久, 忍頂寺晃嗣. “宮城県・好適米「蔵の華」”. 最新日本の酒米と酒造り. 前重道雅, 小林信也編著. 養賢堂, 2001. 81-86p.
- 8) 農林水産省生産局編. “水陸稲・麦類・大豆奨励品種特性表”. 農業技術協会, 2003. p319.
- 9) 斉藤博之. “酒米全国統一分析結果から酒造適性を推定する方法”. 第20回酒米懇談会講演要旨集. 37-50(1996).
- 10) 斉藤博之, 西澤直行. “新品種酒造米の酒造適性を推定する方法”. 醸協. **91**, 737-744(1996).
- 11) 酒米研究会. “平成11～14年度酒造用原料米全国統一分析結果”. 酒米研究会(2000-2003).
- 12) 佐々木多喜雄, 佐々木一男, 柳川忠男, 沼尾吉則, 相川宗嚴. “水稻新品種「きらら397」の育成について”. 北海道立農試集報. **60**, 1-18(1990).
- 13) 新橋 登, 前田 博, 國廣泰史, 丹野 久, 田縁勝洋, 木内 均, 平山裕治, 菅原圭一, 菊地治己, 佐々木一男, 吉田昌幸. “水稻新品種「ほしのゆめ」の育成”. 北海道立農試集報. **84**, 1-12(2003).
- 14) 丹野 久, 吉村 徹, 本間 昭, 前田 博, 田縁勝洋, 相川宗嚴, 田中一生, 佐々木忠雄, 太田早苗, 沼尾吉則, 佐々木一男, 和田 定, 鴻坂扶美子. “酒造好適米新品種「吟風」の育成”. 北海道立農試集報. **82**, 1-10(2002).
- 15) 丹野 久. “水稻における開花期耐冷性の簡易検定法の確立と遺伝資源の評価”. 北海道立農試報告. **104**, 1-49(2004).
- 16) 山根国男. “栽培技術総論”. 最新日本の酒米と酒造り. 前重道雅, 小林信也編著. 養賢堂, 2001. 5-14p.
- 17) 柳内敏靖, 山本拡美, 宮崎紀子, 長野知子, 若井芳則. “酒米特性に及ぼす酒造好適米の心白の影響”. 生物工学. **74**(2), 97-103(1996).
- 18) 柳内敏靖, 山本拡美, 宮崎紀子, 長野知子, 本間智哉, 若井芳則. “清酒醸造に及ぼす酒造好適米の心白の影響”. 生物工学. **75**(3), 169-176(1997).
- 19) 柳内敏靖. “清酒醸造に及ぼす心白の影響”. 最新日本の酒米と酒造り. 前重道雅・小林信也編著. 養賢堂, 2001.189-197p.

V 総合討論

1. 総合討論とまとめ

1) 総合討論

座長 稲 津 脩*

(前田主研)「ほしのゆめ」「ななつぼし」を超える品種を作るには、良食味の新しい血を導入するということが大事であるが、具体的にどのような育種材料を考えておられるのか伺いたい。

(沼尾)「国宝ローズ」の材料はアミロース含有率が4%程度下がってダルでないものがある。粘りも上がっている。蛋白がどうしても下がらなかったが大幅に2割、1%も下がる材料が出てきたのでそれらを用いれば食味が向上すると思う。

(稲津)長内さんの小麦「関東107号」と重なるようなところがあるか。

(沼尾)アミロース含有率はなかなか20%から下がらなかったが、現在の系統は「関東107号」と重なるところはある。

(丹野)低アミロース品種・系統は粘りが強すぎるのではないか。「空育162号」の食味が良かったが後代系統はどうなっているか。

(五十嵐)粘りには最適な粘りがある。

～でん粉の分析と「空育147号」等の素材について～

(田中)「空育147号」の後代に「空育161号」「空育165号」がある。食べてそれほど粘らなかつた。「国宝ローズ」の違う組合せで「空育162号」があり一番良食味であった。いもち病にも強いので活用すべきである。

(稲津)澱粉のGBSSの発現量と澱粉の構造が少し違っていないかとのことで五十嵐さんにコメントをいただきたい。

(五十嵐)インディカのアミロペクチン側鎖には、アミロース様の長い枝が存在することが知られており、他の作物では、GBSSの量とアミロペクチンLCの量と相関があることが明らかとなっている。GBSSの発現量は登熟温度と相関があり、低温ほど多い。

(稲津)この研究の中で母本のアミロース発現、GBSSの発現量とでん粉の構造が検討され、母本能力という点で

有効なアドバイスが出来ればよい。

(沼尾)「北海292号」は低アミロース系統で粘りすぎる場合もあるが、「国宝ローズ」の後代で粘りすぎたということは無かったと思う。粘りすぎればアミロース含有率を上げればよい。「空育162号」の後代を中心に選抜中である。

(丹野)粘りすぎるかどうか業者の評価を見るのも大切である。

(稲津)今度の試験で泥炭地産米の「北海292号」を使って行い、実需の試験評価が出てくる。

(五十嵐)これまでの量的な測定から、質的な変動を捉えることが重要であり、新しいヨウ素吸収曲線の波長解析で、澱粉の質的な変動を簡便に測定できるため、育種現場に応用が可能である。

～耐冷性と食味の統合について～

(稲津)耐冷性と食味をどうドッキングするのか。新たな食味と超耐冷性の集積はマーカーを使うこととなるのか。(佐藤)極良食味に耐冷性を付与する方法の一つとしてDNAマーカーの活用は有効である。現在、Silewah由来の耐冷性に連鎖したマーカーもできており、今後、極強耐冷性についてもマーカー開発が進められる必要がある。近い将来これらを用いた選抜を確立したい。耐冷性と食味の集積は図れると考える。

(北川)食味や他の形質に対してマーカー活用はどう考えますか。

(佐藤)穂いもち圃場抵抗性に関してはDNAマーカーが活用できる。食味に関しては、活用できるか予備試験が必要である。

(稲津)このプロジェクトの中でできるか。

(佐藤)機械があればできる。

(沼尾)世代促進の3期は集団で行くほうが良いのでは。

(田中)事業としてはそれが良い。ただ、「ほしたろう」は少ない材料で冬の系選で品種ができたので選べる可能性はある。

(稲津)予算もいくので色々な選抜に対してチャレンジし

*中央農業試験場 069-1395 夕張郡長沼町

ていくべきである。

(丹野)最終的な選抜にかかる材料が少なくでは問題がある。

(木下)耐冷性で良食味は難しいが耐冷性を上げてから食味をつけるのか。良食味を選抜してから耐冷性を選ぶべきか長内さんに伺いたい。

(長内)私なら欲張って両方やる。

(田中)上川に耐冷性の強い材料があるのでバッククロスの方法で耐冷性が強い品種が作れるのでないか。

(木下)行っているが選抜に供試できる材料数の確保や適切な選抜の問題など実際には難しい側面もある。

(稲津)佐藤さんが紹介したマーカーの利用もあるので諦めないでやる必要がある。

～肥培管理技術と産地形成の話～

(稲津)統計分析では泥炭地の米を美味しくするために何を先にやるべきなのか。

(五十嵐)泥炭地では品種が一番大きかった。美味しい品種を栽培することが最も重要である。稲株搬出の話があったが、有機物の施用をしながら美味しい米を作り続けることは出来ないのか。

(中辻)生わらを入れるとタンパクは上がりやすいが、堆肥化して施用すると長期間施用してもタンパクは上がらないという試験結果はある。

(稲津)この話を何回やっても進まない。やって良かったか悪かったかを30回言っても昔と同じ話である。何故かが重要。わらや有機物をなぜ入れなかったら水田の稲はだめなのか。当然水が入っているので還元が起きてくる。還元が起きると何が水田の中で起きるのか。各種イオン

の放出はどうか。稲は根の中に酸化層を作る。作りすぎると根腐れになる。程良い還元が良いのか。そういうことをいろいろ考えながらこの水田は透水性は、Ehはどの位かといったことをぜひ論議していただいて今の論議に決着をつけていただきたい。

(三浦)目標収量水準を下げることで、登熟の良い高品質米の安定供給ができないかと考えている。収量をどの程度獲らないと経営的に成り立たないかを知りたい。

(岡田)一応の目安は示した。

(稲津)美味しい米をどのような肥培管理で作るのか。今度できたよ、しかし、金がかかるよ。だけどその金をどうやって安い金にして結果を同じにするのか。そうなった場合何haで経営がペイするのかどうか。そういうカテゴリーが必要。今の段階をワンランクアップしなければならない。新しい発想にチャレンジしなければならない。

(三浦)成苗密植は効果が高いかもしれないが、高コストであり、北海道における高速道路整備に似ている面がある。技術以外からの事前評価が必要ではないか。

(稲津)それは結構です。それでは、密植栽培が無くて、何も無かったらどういう研究をやればいいのか。代替案は。

(三浦)昨日、中辻さんが話した中で、代替案を示したつもりである。

(稲津)側条施肥、尿素、乾土効果、脱窒、今まで全部やった。たいした成果が出てきたのがあったらどうか。十分論議を尽くして対応していただきたい。

2)ま と め

菊 地 治 己*

「お家の一大事」ならぬ「お稲の一大事」ということで、天野部長、稲津部長のご指名により参加した。昨日、今日とお集まりの皆さんの熱い思いを聞かせていただいたが、一言感想を申し上げたい。

まず、品種育成について。ご承知のように道立農試ではこれまで成分育種的な手法により食味の向上をはかってきた。その結果、「ゆきひかり」、「きらら397」、「ほしのゆめ」、「ななつぼし」と食味レベルは着実に向上してきている。この延長線上にある後続の材料の中にも食味の優れたものがあり、今後も期待できそうで安心した。

実際の育種では選抜の具体的な手法が問題となるが、食味については低アミロース、低蛋白の方向で基本的には間違いないだろう。マルチチャネル検出器付きの新たなオートアナライザーを利用した選抜などに期待したい。

耐冷性については、外国稲に由来する遺伝子の利用をはかるとともに、今回危険期に関するたいへん示唆的な知見が報告されたので、これを発展させて新たな検定法を開発することなどにより、まだまだ耐冷性のアップも期待できるのではないかな。

安心・安全の米づくりには病気に強い品種が不可欠。DNAマーカー育種がもっとも効果を発揮できるのはこの耐病性育種である。上川農試では縞葉枯病抵抗性のマーカー選抜を行ってきたが、是非マーカー育種を継続・発展させてほしい。

私も優良米の早期開発プロジェクトの発足時から携わってきたが、北海道では困難と思われていた「コシヒカリ」並の極良食味米を作るという「夢」をもって、さまざまなことにトライしてきた。しかし、やり残したこともいっぱいある。

たとえば、日本初の低アミロース品種「彩」を育成したが、これが持っている低アミロース性遺伝子がイネの遺伝地図のどこに位置しているか、未だにわかっていない。同様に、「ななつぼし」の祖先の「国宝ローズ」の遺伝子についても、まったくわかっていない。

実際にはこうした「謎」がわからなくても、育種家が地道に選抜すれば品種は出来るし、事実そうやってたくさんの品種を作ってきた。道立農試の育種家にとっては品種を出すことが至上命令だが、科学的な育種を行うた

めには、こうした基本的、基礎的な「謎」を明らかにすることも今後ますます重要になると思われる。

最近、イネの全塩基配列が解読され、こうした遺伝情報を利用したゲノム育種が本格化していくだろう。ただし、組換えイネは消費者の理解が得られないが、遺伝子の機能を調べる上では組換え実験は必要。いずれにしても、最近のゲノム研究など最新の研究成果をいち早く取り込んで、品種改良とそれにまつわる「謎」の解明に「夢」をもってチャレンジしてほしい。

栽培分野について。品種の持つポテンシャルを最大限に発揮させるのが正に栽培研究の基本ではないか。最近の品種は遺伝的には相当高いポテンシャルをもっているし、実際に食べても「コシヒカリ」に負けない例がたくさんある。こうしたことをもっと宣伝するための研究も重要。もちろん、ポテンシャルの発揮を阻害している原因を取り除き、いつでもどこでもおいしいお米を生産できる技術の開発が最終目標となる。今回の報告を聞いても、低蛋白米の生産を可能とする窒素の施肥技術や泥炭地水田の改善等、やはり古くからの課題が今でも最重要課題であることに変わりはないようだ。新たな発想や手法による研究の進展を期待したい。

米を巡る情勢は非常に厳しく、早急に地域水田農業ビジョンを策定し、米産地の再編についても検討する必要性に迫られている。地域でどういう水田農業をつくっていくのか、地域自身が主体的に考えることになるが、気象条件や土壌条件のハンディの大きい地帯、すなわち偏東風地帯、上川北部、網走などでは非常に厳しいと思われる。

道立農試としては、良食味から業務用、加工用米にいたる多様なお米を産地の要望にあわせ、できるだけ低コストに生産する体系的な技術の開発に総力を挙げて取り組まねばならない。ここ2～3年で最初の成果を出し、米産地を強力に支援する必要がある、時間的な余裕はない。

今回の受託試験における研究構想は全体的にはしっかりできていると思う。今後は水稻の関係者だけでなく、このような開かれた場で他の分野の研究者も交えてディスカッションを繰り返し、細部を詰めてさらに良いものにしていただきたい。

*中央農業試験場 069-1395 夕張郡長沼町

2. 平成^{こめ}米ルネッサンスその開かれた道

稲 津 脩*

1) 本道における良食味米生産技術の開発の経過

北海道で稲が経済作物として取り上げられたのは明治25年(1892)に北海道庁財務長として赴任した酒匂常明の北海道稲作論による稲作振興が礎となり、石狩川流域の開拓農民が次々と低湿地に水田を開き稲作を広めた頃からである。寒冷地の北海道に稲作の基盤が確立し安定したのは昭和に入ってからのもので、これはこの間の農民の努力と米生産技術の著しい向上によるところが大きい。

米の食味をその理化学的性質から研究が行われたのは大正から昭和初期における田所、佐藤らの研究が最初である。この研究は、アミロースが発見された時期でもあることから、食味分析手法は異なるものの、品種や栽培条件についての解析対象はほぼ現在と同じである。戦後しばらくは米の増収に関連する研究が主体で、この種の研究はほとんど行われなかった。その後、米の需給が均衡するにつれて米の食味に関する研究が再度行われるようになってきた。

昭和36年頃になると、北海道米の食味に関する不評が消費者から多く伝えられ、道立農業試験場空知支場長茅野三男氏(元中央農試験場長、故人)は米麦改良協会などの協力を得て札幌市の琴似にあった北海道立農業試験場に当時は日本に数台しか導入されていなかったアミログラフを整備し、空知支場には炊飯特性を計測できる器具を導入して研究をスタートさせた。この時の成果は、瀬戸良一氏らによって「北農」に2報にわたり報告されているが、現状の解析にとどまり新たな展開は見られなかった。過剰米が大きな問題となりはじめた昭和44年に中央農業試験場稲作部長小山八十八氏は空知支庁管内農協組合長会議に「米質向上のための栽培環境改善試験」を柱とする食味向上のための戦略的研究を提案したが、当時の水田農業を取り巻く事情は、さほど差し迫ったものではないとする判断があり、3000~4000万円の研究整備予算は決まらなかった。しかし、小山八十八氏は稲作部の研究予算をやりくりし、食味向上研究の基礎となる研究員の養成と手法の開発に力を入れた。それは食味に関する研究報告がなされている全ての学会誌から米食味に関する研究報告をコピーし文献カードを作成することからはじめ、新しい解析手法を報告した大学をはじめとする研

究機関に赴き、その手法を学ぶことから着手した。さらにその結果をまとめて論義するとともに、北海道の米をその手法で分析し、食味を上手く評価できるかどうかを検討した。昭和45~50年にかけてはそのような研究・調査が続いた。このような取り組みによる成果は、澱粉成分・性質、蛋白、脂質、ミネラル等の成分や平行版プラストメーター、テクスチュロメーター等の飯米の塑性流体としての性質、アミログラフ、炊飯特性、フォトペーストグラフ、膨潤度、溶解度などの熱糊化性及び米の細胞配列などが食味を左右している要因であることが判明し、解析手法も実験室でルーチン化できるようにした。

この後、長内俊一氏が稲作部長となり、これらの解析手法を導入して北海道米の食味向上を計ることの重要性を共有でき、かつ品種改良にこれらの手法を活用するとの考え方でも一致したことは、研究を推進するにあたり大きな推進力となった。なぜなら、当時はこの研究に、ほとんどの研究員が沈黙か反対であったから、リーダーの決断は推進するに当たり極めて大きな力となった。今日ではそれが当たり前になると、誰もが過去を忘れてしまいあれは自分の発案で推進したと言うが、当時は、「澱粉の研究は泥沼に足を取られるようなものであり、辞めた方が利口である」と注意されることの方が多かった。このことは、新しい研究を推進する際にリーダーたるものは十分に留意すべき点だと思われる。

昭和46~56年にかけて食味分析手法を育種に導入するべく、中央、上川、道南、北見、北海道農業試験場の稲育種研究科・室における奨励及び生産力検定予備試験系統などの米を集めて食味分析し、これを評価して報告することを続けた。その効果は、育種を担当する研究者にアミロース、蛋白、アミログラム最高粘度などの言葉とそれらの数値と食味の関係を少しずつ理解していただけるようになり、成分育種の重要性が徐々に理解され始めることとなった。このことは栽培、土壤肥料分野でも同じ事であり、良食味に関する研究開発の「コア」が定着され始めるとともに、稲作関係者や農試の稲研究分野の人たちにその重要性が理解され始めた。

昭和55年には、良食味米品種の早期開発の要請に応えるために、中央、上川、道南、北見の4農業試験場のプロジェクト研究「優良米の早期開発試験(第I期)」(昭和55年~61年)がスタートした。この試験の中で、鹿児

*中央農業試験場 069-1395 夕張郡長沼町

島県での2期作に加えて、沖縄県石垣島での冬期間の栽培(同年12月開始)が開始され、さらに世代促進することになった他、育種規模の拡大、食味検定の充実を図ることとなった。また、同年、斉藤秀次氏寄贈による米質検定実験室の棟続きに理化学実験室が新築されるとともに、近赤外自動分析装置(インフラライザー400型)が導入され、育種材料の蛋白質含有率について効率的な選抜が可能となった。この「優良米の早期開発試験(第Ⅰ期)」の期間は、育種、栽培、土壌肥料の関係部門あげての情熱的な研究の展開が図られ、この間に多くの良食味品種が生まれるとともに、良食味に有効な肥培管理技術が開発され、指導に移された。これに加えて、この期間は良食味米の生産に関する基礎的な研究も行われ、アミロースの遺伝的研究及び食味分析手法と肥培管理技術に関する研究が道立農業試験場報告としてまとめられている。すなわち、この時期は文武両道の研究開発が行われたことになる。このような研究成果は、茅野三男氏、小山八十八氏、長内俊一氏、そして行政側から力強く推進いただいた行政官の優れた先見性と洞察力をもった先達の基礎に立脚しているものであり、今後、研究開発を進めるリーダーたる存在には、これを範として推進することが期待される。

昭和62年には、「優良米の早期開発試験(第Ⅱ期)」(昭和62年～平成5年)がはじまり、第Ⅰ期からの研究蓄積の活用を図り引き続き発展した。この時期の技術開発は「きらら397」、「ゆきまる」などの品種や葉色及び土壌窒素診断による肥培管理技術などの技術開発などがある。その後、平成8年には、「ほしのゆめ」、平成13年には、「ななつぼし」、平成15年には、「ふっくりんこ」が品種開発された。肥培管理技術は、鉄・珪酸レベルの向上による水田地力の向上、リモートセンシングによる蛋白質含有率の平面的評価、密植や浅耕栽培による低蛋白化技術など食味向上に有効なものが多数指導に移された。

本道における良食味米生産技術の36年にわたる開発過程を考えてみると、本道稲作農家の負託に応えられたと自負する思いと、それとは逆にどこかに「失われた10年間」があったのではないかと反省する思いが交錯する。この研究開発は、稲作農業の発展に直結する重要な課題であるが故に、面子や属人主義にとらわれず、判断基準は北海道稲作のためになること、ただ一点での推進が期待される。

2) 本道稲作農業の現状と将来

農林水産省は米消費動向、WTO交渉や水田農業の現状などを考慮した米政策改革大綱を示した。これを受け

て道農政部は本道水田農業を経営、構造、生産、販売の4つの基本的テーマに対する改革を提案した。これらは、個性と創意工夫をこらした実施に留意しながら、消費者、実需者ニーズを機敏に受け止め得る多様な米産地を形成するものである。北海道の水田作は今後「売れなければ作れない」この環境におかれる。これに対応する道立農業試験場の技術開発構想は、新たな水田農業の展開に対応した「売れる米作り」すなわち産地間競争の中であって大きな販売苦戦が起こらない米の生産技術を緊急開発することである。一方、WTO交渉を意識した日本型直接支払い方式(品目横断的施策)は平成17年施策の内容を検討し、その影響をシミュレーション後に平成19年から実施となる。この内容如何では本道稲作農業の激変がさらに拡大することが予想されることから、これを以下のように推察した。対象者は認定農業者と集落営農者、複数の作物を組み合わせた営農類型に対し、品目横断的に経営全体に支給するが、野菜、果樹、畜産は品目別施策の見直しで対応する。また、甜菜、サトウキビ、デンプン原料—馬鈴薯と甘藷は代替作物のないことや産業と一体化していることなどで別の施策で対応する。水田農業は平成22年「米大綱」のあるべき姿を判断してから実施を考える。支払い額は諸外国との生産条件の格差、当該農家の過去一定期間の実績および今後の見通し、所得変動の緩和、モラルハザード、地力培養など生産性向上、環境負荷低減などを方程式に組み込んで実施する。ただし、生産物の売買は市場原理に基づいて実施するため「売れなければ作れない」こととなる。つまりは稲作を視野におきながら、麦、大豆を中心とした畑作がターゲットとなる。実施後における麦、大豆の価格は国内輸入価格(ほぼ1500円、2500円)、関税障壁を利用した売り渡し価格(ほぼ3000円、4500円)、それとも現在価格とこれからの価格の折半(ほぼ6000円、7000円)のどれになるかで影響は大きく異なる。いずれにしろ、これまではほとんどの助成が一俵の価格保証であったから、多くの助成を収入にできた。これからは、収量を主体とした生産から、品質、環境、経営、作付け面積、収量などを考えた縛りの多い生産構造となる。生産者はたぶん麦、大豆の生産を日本型直接支払い要件をほぼ満すものとし、規模拡大や畑野菜などに見られる生産と収入がわかりやすく結びついているものにシフトするとともに麦、大豆生産のコスト低減に意欲を燃やす可能性がある。水田農地帯で麦、大豆を中心に実施されると、規模拡大や稲、野菜の作付けが推進されることが考えられる。道立農業試験場では昨年、農業統計を用いた北海道農業・農村の現状分析と将来予測(資料第32号)を検討しており、これ

によると石狩・空知・上川・留萌支庁管内の農家戸数と人口は2000年3.26万戸、12.46万人、－2005年2.75万戸、10.28万人、－2010年2.26万戸、8.26万人－2015年1.81万戸、6.49万人と激減することを予想している。これは農業経営者の高齢化が大きく影響しており、2015年の水田農業地帯では65才以上の経営者が40％に近づくと予想され、さらに5年後には農家戸数の半減化は避けられないことから、益々担い手の確保が重要な課題となる。2015年の一戸当たりの平均耕地面積は道央水田地帯で12～13畝以上、十勝40畝以上、オホーツク34畝以上、釧路・根室75畝以上と予測している。このような将来予測を見ると北海道の水田農業地帯においても経営規模の大規模化は避けられない課題である。

このような北海道農業の動向はかつてイギリスの歩んだ大規模化の行程と類似しているものと思われる。イギリスは第2次世界大戦当初から1960年にかけて、10畝前後の農家が多かったが、イギリス連邦からの安い農産物の輸入とその後にEC、EU加盟で国内の農家は困窮し急速な大規模化への道程を歩みはじめた。現在はイングランドで平均で67.7畝と50畝以上の農家群が多く、この規模で経営の安定化が図られている。これら農家群は大規模化と同時に多収化にも成功している。麦を例に示すと、1950年にほぼ300kg/10畝であったものが2000年にはほぼ800kg/10畝と2～3倍としている。馬鈴薯5.5トン/10畝以上、甜菜6.0トン/10畝以上の農家が多くなっている。北海道における大規模化も決して粗放化の道程ではなく、高品質化、多収化、野菜・畑作複合化などによる北海道型の大規模水田(世界的には小～中)農業を構築すべきで、この成功に導くための技術開発は多くあると推察される。

WTOの交渉の影響は後進国における農産物の生産コストや通貨レートに我国農業が影響されるもので、これらの変動により北海道稲作農業の対応も大きく異なると思われる。最近、中国、韓国、台湾などの産業発展が著しく、やがてこれらの国における農産物(特に米)の生産コストや通貨レートがあがることが考えられることから、一部農産物(米も含む)の輸出を含む新たな発展が予想され、これらは研究開発の需要を多く含むものと理解される。

21世紀の農産物は総てが市場取引となるため、「売れる米作り」は優先順位の高い必須目標である。これは米の価値(食味、品質、安心・安全、加工特性、機能性)と価格の差であると考えられる。しかし、それだけでよいのかと言えば21世紀型北海道農業といえども多くの補助金の上に成り立つことに変わりない。したがって、消費者(市民)の稲作農業に対する理解なしには成り立たない。

一方、消費者(市民)も稲作農業などの緑や自然に対して、親しみと憧れを持っている人が多い。双方の要望をジョイントし、産消対流をさらに発展させ「親しみ販売」となることが望まれこれらのマネジメント分野における地産地消などの技術開発も期待される。

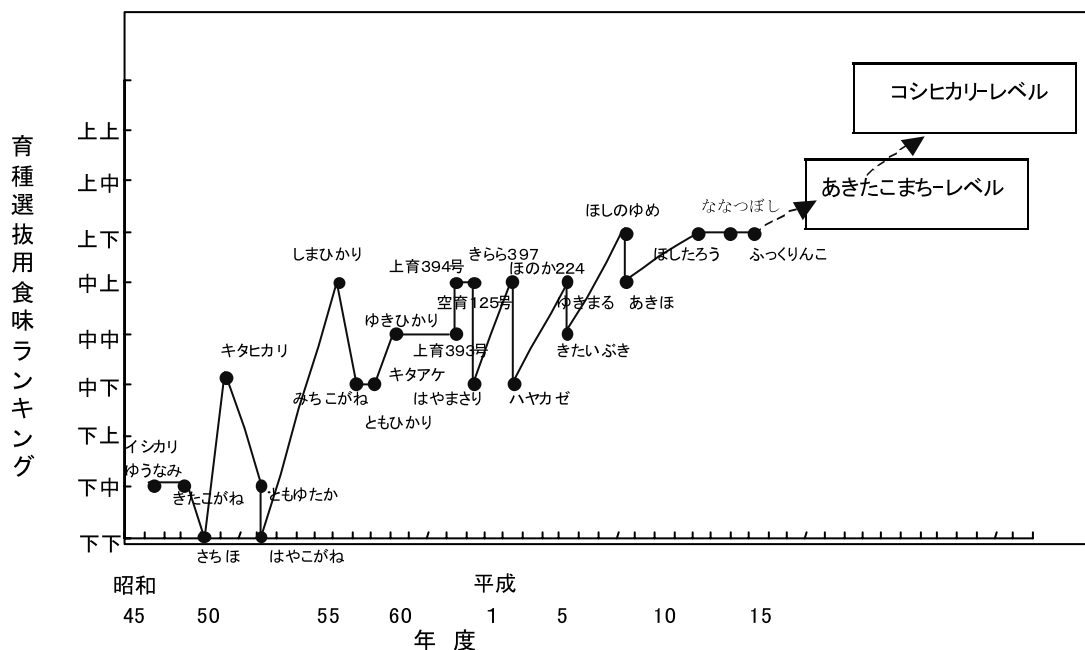
米の自給調整技術はほとんど政府の関与がなくなる21世紀型稲作農業にとって大きな課題となる。米の豊・不作による過剰、不足を貯蔵・加工技術によって補う、産地の緩衝力(ストック能力)も検討に値する。産地側が持つ利用・加工技術を発展させ、何らかの理由で流通できない農産物や廃棄物を加工食品やバイオエネルギーに変換することも重要な視点となる。

北海道米はここ数年にわたり、1俵12,000～15,000円の価格に低迷している。今後数年この価格で推移すると、北海道の稲作農業は米からの利益が見込めないため、稲単作農家の多くが畑作・園芸作に軸足を移した複合経営となることが予測される。これらの農家群の気持ちは、まだ水稻と考えているが、収益の実態が畑作・園芸作となり、脱稲作の序曲を暗示する状況となる。稲作に右足を置く水田農家の出口は、米の産地間競争を勝ち抜き、1俵15,000～17,000円となる良食味米を生産できる品種・肥培管理技術を創出するより見あたらない。この意味で「多様なニーズに対応する品種改良ならびに栽培技術の早期確立」研究は、北海道稲作農業の終焉圧力を霧消に帰せる10年間戦争であることを肝に銘じ、道立農試稲作研究者の総力をあげての技術創出が成功することを願望したい。

3)平成米ルネッサンス

(1) 食味日本一産地を目指す品種改良への期待

北海道稲作は、ここ20年間にわたり「おいしい北海道米を作るために」品種、肥培管理技術の開発、貯蔵・集荷、流通、そして何よりも農家の米作りの努力など関係者挙げての取り組みが続けられた。その結果、消費者の北海道米に対する評価は昭和40～50年代に比較すると格段に向上してきた。こうした北海道米の食味向上経過を年代別・品種別に見た。図V-2-1に示した通り品種の食味は昭和40年代に下下～下中(品種育成に用いられている食味の九段階評価：上の上・中・下、中の上・中・下、下の上・中・下)であったものが、昭和50年代に中下～中上、平成年間には上下と、ほぼ20年間に7段階向上していることが伺いしれる。北海道産米は食味の平均値が「あきたこまち」クラスになると一級の食味を持つ本州産米に並ぶことから、消費者の評価は大きく向上するものと推察されるし、価格の安い北海道産米の食味が



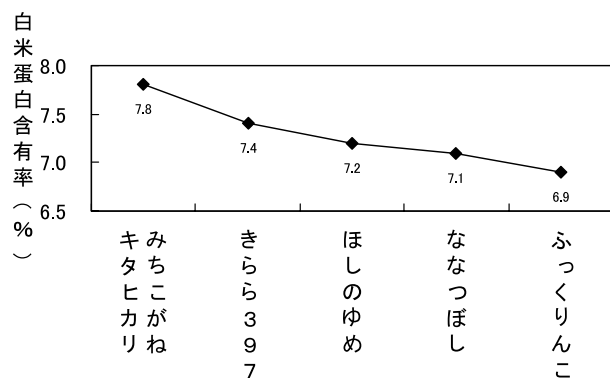
図V-2-1 北海道品種の食味ランキング推移

「コシヒカリ」並みともなればこれまでに想像のできないほどの評価を受けるに違いない。たぶん消費者の米評価は日本で一級の食味であるかどうかで大きく異なるものと思われる。すなわち、消費者が持つ評価を見ると、いつも変わらぬ視点は「一位あって二位なし」的な動向を取るに違いない。北海道米は食味特性の一位，すなわち，特A米を目指した品種改良が極めて重要な時期となっている。育種グループが持つ20年間にわたる良食味米の品種改良実績は特A米品種開発のチャレンジを可能なものとしているに違いない。これまでの良食味の品種改良の道のりを考えればそう難しいものではないようにも見える。

米の食味はアミロース含有率と蛋白質含有率に強く支配されており，北海道米はこの2成分が著しく高く，品種改良はこの成分を低下させることを中心として実施してきた。北海道米品種の食味は「あきたこまち」に1ランク，「コシヒカリ」に2ランクほどの差となっているものと推察される。北海道米品種の食味は7段階向上してきており，残り2段階向上のための改良を急ぎ実施することが緊急の課題となる。すなわち，北海道米は，特A産米に代表されるような美味で売れる米を目標とした品種改良が柱となる。北海道米品種のアミロース含有率は19.5～20.5%，蛋白質含有率は，7.0～7.5%である。特A産米のアミロース含有率は17.5%，蛋白質含有率は6.1%であることから，北海道に特A産地を作るためには，アミロース含有率2%，蛋白質含有率1%を目標に

低下させる必要がある。コシヒカリ級の良食味品種の開発はアミロース含有率2%，蛋白質含有率1%低い米品種を緊急に育成することを柱として推進しなければならない。アミロース含有率を2%低下させるための母材は，国宝ローズの低アミロース性を起源とする「空育147号」「空育168号」「上育447号」「渡育243号」また突然変異を起源とする「おぼろづき」などがある。これらは，「ほしのゆめ」より3～4%アミロース含有率の低い「うるち種」に属し，ある程度の栽培特性を持つ良食味系統である。一方，蛋白質含有率1%低下させるための母材は，「ほしのゆめ」より0.3～1.0%蛋白質含有率の低い「ななつぼし」「ふっくりんこ」「北海PL9」がある(図V-2-2)。良食味米の育種は，これらの母材を先端的な育種手法と良食味米評価手法を開発，導入し実施する。その具体的な手法は次の通り。①第2染色体，第6染色体に存在する良食味遺伝子および別の染色体にある耐冷性遺伝子を，DNAマーカーを活用して効率的に同時に集積する。②アミロペクチンの構造およびアミロース含有率を同時に10ミリグラム(米5粒)1点3分で自動分析できる装置(道立上川農試技術開発)を用いて選抜する。ご飯のつや・照りを示す輝度は「炊飯外観自動計測装置」(道立中央農試技術開発)を活用し，新たな良食味形質を選抜する。④アミロース合成酵素(GBSS)の合成を左右する遺伝子のDNAマーカーを開発し，アミロースの登熟温度変動性を少なくする育種法を検討する。⑤道立道南農試大型温室を利用した世代促進を活用し，良食味米の

早期選抜の可能性を検討する。⑥高品質な酒米および加工向け品種の開発を実施する。



図V-2-2 優良品種の白米蛋白低下模式図

北海道米の低アミロース化の素材は、コシヒカリにアミロース起源をもつ「しまひかり」から「きらら397」、「ほしのゆめ」が優良品種となった。その後代系統のアミロース含有率は低いゾーンの変異が小さく、良食味化ヘジャンプした系統は認められなかった。低アミロース化の素材はこれに替わって国宝ローズにアミロース起源をもつ「ななつぼし」「ふっくりんこ」が優良品種となった。この系統の食味的な特徴は低アミロースでありながら低蛋白である点があげられる。この良食味の遺伝的起源は低アミロースと低蛋白が共存していることが優点であり、アミロース2%、蛋白1%低下させ得る育種に食味特性の総合力的な集積を図る意味で有益と推察される。また、「きらら397」の突然変異系統の「おぼろづき」は半もち種の遺伝的背景を持たせながらこれより1~2%の高アミロース化を計り、白米の白濁をなくすると粘りを確保した粳種としての活用場面が大きく開ける。むしろ、この遺伝的背景を活用した低アミロースに低蛋白や耐冷性などの栽培特性を付ける方向の品種開発が早道になるのかもしれない。この遺伝的背景が低蛋白や栽培特性などの他の遺伝的性質に対しどのくらいの親和的な関係を持っているかが問われる。もしも、この遺伝子の活用が容易であった場合は、良食味米の品種開発をつうじて本道稲作農業に計り知れない大きな果実となるに相違ない。このようなことを考えていくと、北海道にも「コシヒカリ」級の味を持つ品種育成の道が大きく開かれている事が想像される。

(2) 売れる米作り産地形成のための肥培管理技術

「コシヒカリ」に近い良食味品種が育成されたとしても、これだけで北海道に全国特A銘柄が生まれるとは限らない。なぜなら、米の食味は氏(品種)と育ち(産地・

栽培技術)によって決まる。その良い例は氏の「コシヒカリ」と育ちの「魚沼」が銘柄として合体し「魚沼・コシヒカリ」と並列されていることでも分かる。すなわち、品種開発と産地・栽培技術が組み合わされて、初めて特A銘柄の米が生まれると理解され、北海道は全国特A銘柄となるための品種育成(前述)と産地・栽培技術の確立を急ぐことが重要となる。北海道に全国特A銘柄が生まれると、この産地を中心としてすそ野を形成するほかの米産地も生産・販売面で有利に展開するに違いない。「魚沼・コシヒカリ」も全国特Aの常連銘柄となるのに30~40年を要したことを考えると、全国特A銘柄を北海道に定着させるのはそう簡単なものと思えない。しかし、北海道は産地の米関係者、農家、技術陣挙げて、ここ20年間にわたる良食味米生産に関する経験が蓄積されており、短期間に全国特A産地を創出でき得る可能性を持ち合わせていると理解される。ここでは全国特A銘柄となるために必要な肥培管理技術について考えてみる。

全国特A銘柄の蛋白質含有率は魚沼コシヒカリ5.4%、産地平均で6.1%、北海道米の蛋白質含有率は、7.0~7.5%であることから、北海道米の全国特A銘柄は5.5~6.0%を目標とすべき最も重要な点と考えられる。

米粒中の蛋白質は水分を除くと、澱粉に次ぐ多量成分であり、食味に大きな影響を与えることから、低蛋白質含有率であることが望ましい。米粒中の蛋白質含有率は、稲が吸収した窒素の玄米生産効率(玄米収量を窒素吸収量で割った値)と負の相関を示す。幼穂形成期1週間後までの吸収窒素は穂数、一穂粒数の増加に効率的に働き、窒素の玄米生産効率を高めるが、出穂後に吸収した窒素は玄米生産効率を低下させる。低蛋白米を生産する稲は、出穂期から成熟にかけて、葉身の窒素濃度の低いのが特徴である。窒素が米粒に移行する割合は、出穂期から出穂後20日間までの間の窒素供給が高まり、その傾向は、米粒の外側部よりも中心部で顕著である。この時期は胚乳の伸長と中心部細胞の発達が盛んな時期であるため、吸収された窒素が米粒中に多く蓄積されたものと考えられる。一方、米粒中の蛋白質含有率は土壌から供給される窒素によっても影響される。標準的な基肥窒素量の場合、幼穂形成期1週間後で基肥から供給される窒素の大部分が吸収され、その後に吸収される窒素は、土壌由来と考えられる。蛋白質含有率は土壌型によって異なり、土壌窒素の放出が遅れる湿田タイプよりも乾田タイプで低く、窒素放出量の多い泥炭土は鉾質土壌よりも高い。

このように蛋白質含有率の差は、土壌型や水田の乾、湿が直接関与するのではなく、窒素などの養分供給を介して決まると理解される。また、早生種は晩生種に比較

して、蛋白質含有率が高くなりやすいが、この場合は土壌からの窒素供給が盛んな時期と登熟期間と重なるため、土壌由来窒素が米粒に多く配分される。下層からの窒素吸収は、幼穂形成期ごろからはじまり、登熟期間に旺盛になることが明らかとなり、下層土の窒素供給量が蛋白質含有率を高める要因となっている。成熟期の稲体窒素吸収量は、施肥窒素から20～30%、残り70～80%が土壌由来の窒素で構成されている。従って、低蛋白質米の生産には、生育後半に吸収される土壌窒素由来の制御が、重要な課題となる。こうしたことを踏まえると、研究開発を必要とする低蛋白米の生産技術は次の通りとなる。

① 8月以降に放出される土壌窒素を減少させる技術＝土壌の乾燥促進による乾土効果窒素の放出拡大、溝切りなどの排水対策による乾土化率の向上、稲わら対策など。

② 浅耕(8.0cm)技術の高度化、＝浅耕による浅耕犁底盤の形成法、収量を低下させないための他の技術との組み合わせなど。

③ 側条施肥技術の高度化＝施肥位置や施肥量および使用する肥料の高濃度化と窒素形態など。

④ ケイ酸施肥、特に追肥を中心とした低蛋白化技術の高度化＝資材、散布量と方法、土壌のケイ酸供給力との関係など。

⑤ 窒素吸収を、競合を利用して制御する技術＝密植栽培技術があげられるが、低コスト対応できる代替技術の確立、偏穂重型品種の密植適性などがある。

⑥ 根活性問題や光合成の向上による低蛋白化技術＝土壌還元を起こしづらい技術、各種無機養分の供給による健全な稲の生育技術、根活性向上資材のスクリーニングと実用化(可能性のある資材として腐植リン・アズミン・ケイ酸カリなど)。

⑦ 低蛋白粒の電光選別機の開発と利用技術＝メーカーによる開発が進んでおり、これができれば利用技術を確立することになる。

ただし、特A銘柄米生産といえども低収であっては米産地間競争に勝ち抜くことが出来ないことから、低蛋白質含有率であり、かつ600kg/10aほどの収量を安定的に確保(岩見沢)できることが必要である。

(3) 12俵穫りに必要な肥培管理技術

北海道では、昭和25年頃からほぼ30年間にわたり多収・安定栽培に関する研究が柱となっており、この頃の技術を活用すれば10俵穫り程度であれば十分に可能と思われる。この頃は本州各県においても多収技術開発が活発に行われ、その代表は佐賀における短稈多けつ性品種を活用した多肥栽培技術による多収技術と青森の深層追肥技術による多収栽培技術の確立があげられる。これらはいずれも700～800kg/10aの多収を農家圃場レベルで実現しているが、米の食味が大きな問題となった現在では、

これらの栽培法の地域的推進は見られない。米多収の限界がどの程度であるのかは興味のある課題であるが、一定の面積を刈り取って評価した値で見ると、800kg/10a近くの収量が散見される。

イギリスの麦作では1.2t/10aクラブ(20俵/10a収穫を目標としたグループ)が存在すると聞く。育成場面では坪刈り最大風速的な収量が900kg/10aに近いものも見られる。こう考えると、北海道で可能な多収限界能力は、今のところ800～900kg/10aと考えて良い。720kg/10a穫りはこの値に近く、そう簡単に農家圃場段階で達成されるものではないが、これまで開発してきた品種と技術の相乗効果が得られる肥培管理技術の確立で達成されるものと考えられる。

多収稲の養分吸収や乾物生産能力をこれまでの試験や文献を念頭に考えてみると、幼穂形成期を7月1日位とし、この時に目標穂数となる650～700本と全窒素吸収量のほぼ30%を吸収した初期生育に加えて個々の分けつ子は3葉ほどを持つ大きなものであることが肝要であるが、その後は過剰な分けつを抑制しながら、止葉抽出初め頃から出穂開花期にかけて後まさり的な養分吸収が行われることともに、この時期に乾物生産能力を最大にすることが重要である。すなわち、北海道では良食味稲で「秋落」的な稲作り、多収では「秋まさり」でなく「夏まさり」的な稲作りが重要であると考えられる。ただし、このような生育過程を取る稲は倒伏と裏腹な関係にあることから、過度な伸長にならないような肥培管理が重要である。このための一つは、窒素主導型で「窒素ボケ」と言われる稈が細く長稈なやわらかい稲体でなく、ケイ酸などのミネラルを十分吸収した強健な稲体とすること。いま一つは、下位節間の挫折強度を強めるためにカリ吸収などのセミロース、ヘミセミロースの含有率を高めること。更に、西欧の小麦栽培に見られる生育調節剤を有効に活用して節間伸長を抑制することが重要となる。次に、多収稲は「夏まさり」といっても、登熟期間にその影響が登熟不良の形で表現されるものであり、これを最小限とする技術が必要である。この対策としては、酸化鉄の施用、排水性の向上などにより、土壌の「わき」を防止して、登熟期まで根活性を維持することが重要である。多収稲は必然的に成熟期間が長くなることが考えられ、また穎花間における登熟のバラツキも多くなるので適期収穫期の設定も良食味の稲作りと異なるものと判断する。

(4) 酒米団地形成のための肥培管理技術

酒の質に対する変遷を古い順に考えてみると、雑味の

ない酒、次にこれを進歩させた淡麗、辛口、現在は多くが淡麗、こくを重要視する方向にある。これらの酒は山田錦、雄町などの古い品種を酒母とする例が多く、冷酒、高品質、高価格化を含む多様な商品化がなされたきた。しかし、このような酒生産だけでは消費の減少に歯止めをかける事ができず、酒業界の経営が苦しくなっている。このような状況の中、酒業界は淡麗、辛口や淡麗、こくのある酒質を維持することを前提とし、安い原材料で醸造する事が経営の可否に係わると判断し、これまで以上に安く良い醸造用米を追求するに違いない。北海道の酒米生産が飛躍的に伸びる要素があると判断しているのは低価格でこれらの需要に適した酒米品種を得たこと、低蛋白米の生産技術とこれの普及、実践が確実に実施されている事による。酒母の原料となる品種は初雫もあるが吟風が、戦略に合致する酒造好適米品種である。当面は吟風でよいが、5~10年後には北海道に吟風以上の醸造適性と多収性を兼ね備えた品種を持ち、低価格な高品質酒米の供給などが目標となる。

酒米の適性は①低蛋白(75%精白米5.3~5.7%)、②消化性窒素が低く消化性直糖の高い米(消化性窒素2.0ml以下、消化性直糖9.5%以上)、③精白歩合の高い米(未熟、碎米、ひび割れ粒の混入が少なく精白歩合の高い米)、④充実度(容積重830g以上、完熟粒80%以上)、⑤千粒重の大きい米(酒造好適米26g以上、かけ米22g以上)、⑥吸水率の高い米(20分吸水率26%以上)、⑦醸造に関係する無機成分が少ないこと(カリ450ppm以下、鉄、マンガンが少ないこと)など多くあり、食用米とは大きく異なる。したがって、北海道の酒米生産はどこでも生産できるものではなく、産地の選択が特産化を左右するカギとなる。そこで、酒造好適米とかけ米に分けて、これまでの収量とその変動、低蛋白、高品質、土壌、気象などを総合し酒米生産適地区分図を作成し、酒米の高品質安定生産が実施できる地帯の提案が必要となる。

栽培マニュアルは①減農薬、減化学肥料の安心、安全がより有利であるが、低蛋白米生産のためにも低収量であってはいけない。②密植栽培技術は蛋白を0.4~0.6%低下させ、収量を2~5%上げるため、酒米生産の技術として有効であると考えられるが、検証すべきである。③ケイ酸の基肥、追肥は登熟を著しく向上し、容積重や千粒重をあげ蛋白を0.2~0.4%低下することで酒米に有効と思われるが実証が必要。④稲わらは秋鋤込むかまたは持ち出して堆肥化することにより、生育後半の窒素吸収を少なくでき低蛋白米の生産に有利となるが、これも実証が必要。⑤透水性の改善は乾土効果窒素の発現を促進し、初期の水稻生育が旺盛になり、結果的に低蛋白米

となるがこれも実証が必要。⑥側条施肥は養分吸収が稲生育初期に多くなり、⑤と同様に結果的に低蛋白米となるが、これも酒米での実証が必要。⑦乾燥技術は吸水率の高い米を調整するのに重要となるので検討を要する。⑧育苗、移植、収穫適期判定、リン酸、微量要素施肥、米選など多くの技術について酒米品種を用いた試験を実施し、その結果に基づき北海道酒米生産マニュアルを示すことが重要である。

(5) 泥炭地水田における良食味米生産技術

泥炭地水田の土壌は多湿な条件で集積した、やや腐植化した植物遺体よりなる堆積物を母材としたものである。これらは乾物中の有機物含有率30%以上を泥炭と呼び、20~30%を亜泥炭と呼んでいる。食味に不利に働くと思われる土壌型を持つ水田は、泥炭系水田21%、黒ボク・多湿黒ボク土系水田5%、グライ系水田24%あり、合計すれば50%と多い。これらの水田の特徴は水稻の生育後半に過剰に窒素を放出するため蛋白質含有率が高くなり食味に不利に働くことである。

前出の通り米粒中に蓄積される窒素は施肥由来窒素から20~30%、土壌由来窒素から70~80%であるため、これらの土壌に見られる生育後期の多くの窒素放出は米粒蛋白を高める要因となる。この条件においても低蛋白の美味な米を生産するためには①窒素の玄米生産効率を吸収窒素1kg当り55~60kg以上の玄米を生産できるよう高めること。②根圏を土壌窒素の多量の放出が起こりづらい表層に集中させ得る技術を導入すること。③排水性を向上し乾土効果を大きくし作土層の生育後期における放出窒素量を少なくすること。④稲わらや株・根も含む放出窒素源となる有機物の鋤き込みを行わないこと。⑤密植やケイカル追肥などにより生産後期における窒素の玄米生産効率を高めること、などが考えられるが、切り札となるジャンピング技術は考えつかない。となると、泥炭地水田での良食味化は「おぼろづき」に見られる中アミロース品種をできるだけ蛋白質含有率を低く生産することにより、柔らかく良く粘る美味な米生産技術の確立が本質的な解決とならないが当面の対応となるに違いない。

この泥炭地水田における良食味化技術の導出は、良食味米生産の基礎となる土壌窒素の放出時期をコントロールすること、または稲側から窒素吸収をコントロールする技術開発に託されており、この技術開発は稲作研究の基本中の基本であり、きわめて困難ではあるが成功したときの果実の大きさを推察すると、これは稲作研究分野の「ダイヤモンド鉱山」とも言える。

(6) 平成米ルネッサンス究極の研究^{こめ}方向

今日、北海道米の市場販売価格は 1 俵が 13,000 円～14,000 円を低迷しており、流通経費を差し引くと農家手取り価格は 1 俵 11,000 円～12,000 円であり、もちろん赤字生産であることに違いない。これには消費者の「米ばなれ」による米消費の減退や WTO による米及びその加工品の輸入など多くの要因が考えられるが、これ位の事で北海道米の産地崩壊を予感することがあってはならない。このような厳しい現状であるからこそ、北海道米の技術開発に知恵をしぼり、1 俵 20,000 円で販売でき収益のあがった良き時代の北海道稲作に戻したいものである。

そのために何が必要なのかを考えてみると、ここで必要なのはこれまでの技術を飛び越えたキーテクノロジーを連想できる技術開発である。この技術開発の柱となる良食味米品種の具備すべき特性を考えると、○アミロース 16～17%，蛋白 6.0%，食味「コシヒカリ」クラス、○穂数 600 本/㎡，平均一穂粒数 62 粒，千粒重 23.5 g，登熟歩合 80% 以上，○稈長 65 cm，下位節間の挫折強度 800～1000 g，○耐冷性極強，いもち耐病性強○玄米収量 700 kg/10 a，生育期節は「きらら 397」並などが目標形質となる。すなわち平成米ルネッサンス(下小路元企画情報室長の言葉を改変引用)を目指す究極の品種開発は良食味形質としてアミロース 2%，蛋白 1% 下げることと多収量となる形質及び安定生産性を示す耐冷性極強を結合した品種を創出することである。すでにアミロース 2% 低い遺伝源は「おぼろづき」「空育 171 号」など、ほぼ完成された北海道稲として存在しているし、多収性の形質で見ると「大地の星」は千粒重，耐冷性，下位節間の挫折強度を満たす，完成された遺伝源となる。問題となるのは低蛋白遺伝源である。この遺伝背景がポリジーンであるためきわだった遺伝源を特定できないで見つけてしまえば導入し易い面も考えられる。これはよりまし型を積み重ねるよりないのかも知れない。この意味では「ななつぼし」「ふっくりんこ」に期待したい。もう一つ

は玄米成分となる澱粉光合成量の 80% 以上が登熟期に起こるため登熟期間を長くすることが有益となる。しかし、稲の登熟期間は 50 日を超えると過熟米(茶米，玄米の光沢劣化)が発生する。そのため現在は高品質化のために未熟米の存在する時期に収穫している。その対応として育種場面では弱生顕果が早く登熟する特性を有する，未熟米の少ない系統を選抜してきた。それはそれで良いことであるため進めることとして，よく考えると逆に過熟米となりずらい形質を選抜することにより，登熟期間を 50～55 日たっても検査等級が変わらなければ，多収・低蛋白や玄米調整費用の面からどれほど有利となるのかを考えると新たな選抜形質として評価したい。

肥培管理技術開発での平成米ルネッサンス研究は，水稻生育後半の土壌窒素の放出コントロール技術，ならびに水稻の窒素吸収コントロール技術の開発及び水稻多収場面における植物調節剤を活用したケミカルコントロール技術の開発である。当面は現在研究されている良食味米生産のための肥培管理技術の高度化も含まれるし，現行技術の実施コストを低減する技術開発も重要になることに違いない。

こう考えてみると，平成米ルネッサンスがあったとしたら，その道は開かれているようにも思えるので，失敗に怯まず開かれた道を思い切り走り抜いてもらいたい。料理に例えて現在の状況をみると，料理の具材と調理器具は十分にととのっており，これを稲研究者は上手に調理し，美味で美しいメインディッシュとして農家の皆様に味わってもらうことだけが残されているように思える。すなわち，稲研究者は全員が「星澤幸子」先生になってもらい，北海道稲作のために佳麗な腕さばきを見せてもらいたいものであるが，これは緊急を要し，かつ農家の皆さんの浄財により実施するものであるから，1 秒たりとも，1 円たりとも無駄にすることなく，ご精進いただきたい。

3. 良食味育種へ期待するもの ～「水稻良食味育種への熱い思い」～

長 内 俊 一*

“熱い思い”の話をするようにとの提案がありました。が、タイトルにあるような“熱い思い”を抱いている方は大勢おられます。たとえば、今月の1月号でしたか岡部四郎さんが思いのたけを述べた記事が載っていました。前上川農業試験場長の佐々木多喜雄さんは3冊目か4冊目となる「北の稲の品種改良」という本を出しておられる。また、優良米の早期開発では沢山の方が熱い思いを抱いて取り組んでくださいました。ましてこれからやろうとしている方達をもっと熱い思いで頑張ってもらえるに違いない。そういう意味からしますと、私など稲の皆さまと辛うじて対話ができる程度でありまして、“熱き思い”の片思いの方でございます。

最初に、皆さまにお礼を申し上げなくてはならない。優良米早期開発の仕事では本当に良い仕事をやっていただいた。これはもう心からお礼を申し上げたいと思います。その延長上で今度の新しい「コシヒカリ」への道、成功を心から期待申し上げたいと思います。

少し申し上げたいのですが、第1期目と第2期目はそれぞれ優良米早期開発の研究成果として資料にまとめられています。第1期目の資料はすんなり読めたが、第2期目資料の最後のところに「低アミロース、低蛋白米は良食味のランキングとは関係ない」と載っていたり、「きらら397」まで良い品種にするとそろそろアミロースや低蛋白の選抜が限界である」と、ショッキングな記述があり、これがパートⅡの結論かなと思うと非常に残念だったのですが、昨日の佐藤さん、沼尾さんの話で気苦労にすぎなかったので安心しました。低アミロースのためにダル遺伝子を使った「彩」とか「あやひめ」は粘っ

ておいしいが、白濁するのでは栽培面積が制限されてもやむを得ない。ダルにならない低アミロースが見つかった、追求していくという話です。

小麦のほうでは、「関東107号」という低アミロースの素材が見つかった。低アミロースは稲の方が先輩で、当時農技研におられた奥野さんに手ほどきを受け、農林番号、関東番号のアミロース含量を総おさらいしたわけです。それまで「チホクコムギ」がズーと低アミロースと思いこんでいたがそれより低い「関東107号」を見つけたわけです。それとばかりに九州から東北まで一斉に低アミロースの品種改良を始めた。その結果6つの品種ができた。片方の親はすべて「関東107号」を使っている。九州から2つ、作物研から2つ、東北農試と群馬の指定試験地から一つずつ出され、東北農試の材料は「関東107号」に「チホクコムギ」をかけたもので「ネバリゴシ」といい今年の春に生うどんを送っていただいたがおいしかった。作物研のものは13年に育種学会賞をいただいている。ということで立派な仕事をしているが、「関東107号」に該当する稲の系統がないかと少し心配していました。でも、いくつかでてきた。これからは、従来の育種方法の延長線上の仕事で考えられるのではないかな。安全性の問題があったが、佐藤さんのマーカーを使っていけばかなり安全にできるのではないかな。

誠に簡単ですが、これで私の思い入れの一端を申し上げたこととさせていただきます。健康に気をつけてご成功をお祈りします。

ありがとうございました。

*元上川農業試験場場長 099-1431 常呂郡訓子府町

既刊「北海道立農業試験場資料」一覧

- 第19号 優良米の早期開発試験プロジェクトチーム第1期
(昭和55-61年度)の試験研究成果 仲野博之編集総括
北海道立中央農業試験場(昭和63年4月)
- 第20号 最近10年間の農業新技術と今後の課題 企画情報室編
北海道立中央農業試験場(平成4年3月)
- 第21号 北海道土壌区一覧
北海道立中央農業試験場 橋本 均, 志賀弘行編(平成5年9月)
- 第22号 平成5年北海道における農作物異常気象災害に関する緊急調査報告書 稲作編
竹川昌和編 北海道立中央農業試験場(平成6年7月)
- 第23号 平成5年北海道における農作物異常気象災害に関する緊急調査報告書 畑作編
土屋武彦編 北海道立中央農業試験場(平成6年7月)
- 第24号 優良米の早期開発試験プロジェクトチーム第II期
(昭和62-平成5年)高度良食味品種の開発試験 編集委員長 佐々木多喜雄
北海道立中央農業試験場(平成7年5月)
- 第25号 21世紀初頭における農業の技術的課題とその展望
同書編集作業班代表 谷口健雄 北海道立中央農業試験場(平成7年7月)
- 第26号 農作物優良品種の解説(1987-1995) 三浦豊雄編
北海道立中央農業試験場(平成8年3月)
- 第27号 北海道育種指定試験地における耐性育種の成果と展望 土屋武彦編
北海道立中央農業試験場(平成9年3月)
- 第28号 パソコンによる土壌診断・施肥設計システムの演算論理集 橋本 均編
北海道立中央農業試験場(平成9年6月)
- 第29号 異常気象と畑作物生産に関する調査報告書 大槌勝彦編
北海道立中央農業試験場(平成9年9月)
- 第30号 NAPASSを活用した競合産地分析システム(Ver.2.1)利用方法 松山秀和編
北海道立中央農業試験場(平成11年3月)
- 第31号 異常高温・多雨等が農畜産物に及ぼす影響と今後の対策
大槌勝彦, 吉田俊幸, 三浦豊雄, 森 清一編
北海道立中央農業試験場(平成12年7月)
- 第32号 重点研究課題の中間評価 (付)農業統計を用いた北海道農業・農村の現状分析と将来予測
新研究基本計画重点研究課題中間評価諮問委員会 編
「道立農試が考える北海道農業・農村ビジョン」検討委員会 編
北海道立中央農業試験場(平成15年3月)
- 第33号 平成15年夏季の低温とその後の気象が農作物に及ぼした影響に関する調査報告書
天野洋一, 前田 博 編
北海道立中央農業試験場(平成16年11月)
- 第34号 農作物優良品種の解説(1996-2004) 天野洋一, 塩澤耕二, 大原益博 編
北海道立中央農業試験場(平成17年3月)

北海道立農業試験場資料 第35号 ISSN 0386-6211

良食味と多様なニーズに対応する米の品種開発と技術改善の新たな取組み(米セミナー収録)

天野 洋一, 稲津 脩 編

2005(平成17)年5月31日発行

発行者 北海道立中央農業試験場

〒069-1395 北海道夕張郡長沼町東6線北15号

印刷 小南印刷株式会社