

日本水稻品質・食味研究會會報

第3号
(平成24年3月)



目 次

第3回講演会

メインテーマ：「米の品質・食味研究、最前線Ⅱ」

日時：2011年11月13日（日）～14日（月）

場所：新潟大学大学院自然科学研究科 大会議室

(新潟市西区五十嵐 新潟大学五十嵐キャンパス内)

<基調講演>

稻澱粉代謝関連酵素の細胞分子生物学と高温耐性稲の開発戦略

三ツ井 敏明 … 1

新潟県における稲の高温障害とその防除対策

高橋 能彦 … 7

良食味米および新形質米・超硬質米の育成

米の品質向上こそ增收の道

松江 勇次 19

水稻の収量・品質・食味のための登熟を支える根のデザイン

<一般発表>

品種

水稻新品種「つや姫」の食味評価研究

..... 浅野目謙之・後藤元・佐野智義・
中場勝・錦斗美夫・鈴木啓太郎 ... 27

「コシヒカリ」を遺伝背景とした良食味の有色素米新品種「富山赤71号」、
「富山赤78号」および「富山黒75号」の育成について

..... 山口琢也・前田寛明・森川真紀子・寶田 研・
表野元保・村田和優・伊山幸秀・木谷吉則・
尾崎秀宣・姥谷武志 ... 29

平成22年産水稻糯品種「わたぼうし」の品質と米菓加工適性

..... 赤石隆一郎・大坪研一・吉井洋一 ... 31

中国における水稻品種の地域試験と生産試験およびその認定について

..... 崔 晶 ... 33

栽培関係

北海道における良食味低蛋白米の生産技術

..... 丹野 久 ... 35

田植機を用いた深植弱深水栽培の効果の検証

..... 千葉雅大・寺尾富夫・渡邊肇 ... 39

水稻玄米の粒厚と外観品質が米飯の食味と理化学的特性に及ぼす影響

..... 石突裕樹・松江勇次・尾形武文・齊藤邦行 ... 41

高温関係

登熟期の高温が種子の遺伝子発現、登熟代謝、米の品質に及ぼす影響

..... 山川博幹・羽方 誠 ... 43

高温登熟耐性に関する遺伝的要因と品種育成

..... 小林麻子・林 猛・富田 桂 ... 45

玄米の白未熟粒発生予測器の開発

..... 森田 敏・江原崇光 ... 47

2010年産コシヒカリの整粒比率が食味に及ぼした影響

..... 佐藤 徹・東 聰志 ... 49

食味評価

米の食味に関わる遊離アミノ酸の品種間・生態種間差異

..... Kamara J. S・笹沼恒男・阿部利徳 ... 51

PCR装置を用いる米の食味推定の試み

..... 中村澄子・大坪研一 ... 55

米飯の食味構成要素と消費者嗜好の関係

..... 小木芳恵・小林麻子・酒井 実・富田 桂・清水豊弘 ... 57

基調講演

5 課題

(基調講演1)

稻澱粉代謝関連酵素の細胞分子生物学と高温耐性稲の開発戦略

新潟大学 農学部 応用生物化学科 三ツ井敏明

地球温暖化は、現在、私達が直面する最も深刻な環境問題の1つとなってきた。温室効果ガスの筆頭である CO₂ の大気中濃度はイギリス産業革命が始まる 1760 年代 (280 ppm) 以降から増加、20 世紀後半からさらに急速に増加し、2005 年には 379 ppm に上昇した。IPCC(気候変動に関する政府間パネル)は様々なシナリオを考え、CO₂ 濃度は 2100 年には 550-960 ppm に達すると予測している。大気中 CO₂ 濃度の上昇にともなって世界の平均気温は過去 100 年に 0.74°C 温暖化し、我が国においても約 1°C 上昇したと報告されている。さらに、21 世紀中に最低でも 1.8°C、経済重視・地域主義という温室効果ガス排出削減がなされない最悪のシナリオでは 6°C 温暖化が進むと予測されている。気候温暖化は我が国の作物生産にも影響を及ぼしている。ここ 30 年間の夏期の平均気温を調査したところ 2°C 以上上昇している地域も見られる。イネ登熟期の異常高温は玄米に白濁、充実不足や胴割れを多発させ、玄米品質の低下そして一等米比率を低下させる。このような高温被害米の多発は米生産農家の収入に直接影響するだけでなく、産地のブランドイメージを壊すことにもなりかねず、生産現場では極めて深刻な問題となっている。温暖化はさらに進行すると予測されることから、高温登熟しても玄米品質が低下しない高温耐性品種の育成が急務である。

高温登熟障害による白未熟粒(玄米の全体あるいは一部が白く濁った未熟粒)の発生の要因として、1)高夜温による呼吸量の増加による光合成産物の減少、2)穂への輸送機能の低下、3)高温下での穂における同化産物受入れ能力の低下、4)穂における貯蔵組織の細胞成長やデンプン集積プログラムの乱れなどが考えられている。これらの要因が複雑に絡み合って白未熟粒が生ずるものと思われるが、明快な答えは未だ明らかになっていないのが現状である。私達は、稻における高温登熟障害による白未熟粒発生メカニズムを理解し、高温耐性稲を作製しようと試みている。本講演では、澱粉代謝関連酵素の細胞分子生物学に関する新しい知見、米品質に及ぼす高温・高 CO₂ 環境の影響、そして高温耐性稲開発の現状についてについて紹介したい。

1. 澱粉代謝関連酵素の細胞分子生物学に関する新しい知見

私達は稻のデンプン代謝、特に澱粉集積に対して抑制的に働く酵素に興味を持って研究を進めている。これらには澱粉分解酵素の α -アミラーゼ¹⁾ や ADP-グルコース分解活性を有するヌクレオチドピロホスファターゼ／ホスホジエステラーゼ (NPP)²⁾ 等が含まれる。稻 α -アミラーゼの中で最も主要なアイソフォームである AmyI-1 は典型的な N-結合型糖鎖を持つ分泌性糖タンパク質であり、その糖鎖構造も決定されている。NPP もまたその前駆体にはシグナル配列を有し、N-結合型糖鎖の結合部位があり、実際コンカナバリン A レクチンによって認識される糖タンパク質であった。高等植物細胞におけるデンプン代謝の場は葉緑体やアミロプラストなどのプラスチドである。これまでプラスチドと分泌経路である細胞内膜系との間のタンパク質輸送は存在しないことが教科書に記載されていた。しかし私達は、AmyI-1、NPP1、NPP2 並びに NPP6 が糖タンパク質であるのにもかかわらずプラスチドに局在し、機能することを見いたしました。AmyI-1 を例に取

りその内容を紹介する。

AmyI-1 の発現抑制および過剰発現する形質転換イネ植物を解析したところ、死細胞である胚乳だけでなく、緑葉などの生細胞でも AmyI-1 が澱粉分解に関わっていることを示唆する結果が得られた。そこで細胞分画、抗 AmyI-1 抗体を用いた免疫電子顕微鏡観察、並びに *AmyI-1* に GFP を連結した融合タンパク質遺伝子 *AmyI-1-GFP* を導入したイネ細胞の共焦点レーザー蛍光顕微鏡観察により AmyI-1 の細胞内局在性を調べたところ、分泌性糖タンパク質 AmyI-1 が確かに葉緑体に局在することが分かった。続いて、タマネギ表皮細胞に *AmyI-1-GFP* とプラスチドマーカーとして Wx のトランジットペプチド領域 (*WxTP*) と赤色蛍光タンパク質 (*DsRed*) の融合遺伝子 *WxTP-DsRed* とをパートィクルガンを用いて導入し、一過的に共発現させて観察した。その結果、*WxTP-DsRed* で可視化されたプラスチドに AmyI-1 の局在を示す GFP 蛍光が一致し、イネ細胞と同じくタマネギ細胞においても AmyI-1 がプラスチドにターゲティングすることが分かった。これらの結果は、AmyI-1 にはイネとタマネギにおいて共通のプラスチドターゲティングシグナルがあることを示唆した。次に、AmyI-1 のプラスチドへの輸送経路について検討した。AmyI-1 は分泌性糖タンパク質として知られていることから、AmyI-1 が分泌経路からプラスチドに輸送されるのか否かを調べるために、小胞体-ゴルジ体間の輸送小胞形成に必要な G タンパク質である *ARF1* および *SAR1* のドミナント変異遺伝子を用いて解析した。*AmyI-1-GFP*、*WxTP-DsRed* と共にドミナント変異遺伝子を導入して小胞体-ゴルジ体間の輸送を抑えたところ、*AmyI-1-GFP* のプラスチド局在は観察されなくなり、GFP 蛍光は小胞体ネットワーク状の分布を示した。このことにより AmyI-1 のプラスチド局在化には小胞体-ゴルジ体間の輸送が不可欠であることが明らかになった。さらにゴルジ体からプラスチドへの輸送経路の存在について調べた。ゴルジ体マークとしてトランスゴルジ膜局在のラットシアリルトランスフェラーゼの膜貫通ドメイン(ST)と赤色蛍光タンパク質(*mRFP*)との融合遺伝子 *ST-mRFP* を用い、*WxTP-GFP* と共に発現させて観察した。これら二つの蛍光は全く別々の挙動を示すと思われていたが、AmyI-1 を発現させたタマネギ細胞においては高頻度に ST-*mRFP* 蛍光がプラスチドに検出された。我々はこの結果から、高等植物細胞においてゴルジ体からプラスチドへの膜交通が存在すると結論した。図 1 に AmyI-1 および NPP のプラスチドターゲティング機構の概要を示した³⁾。私達は、この発見から高温耐性稻の開発戦略のヒントを得たのである。

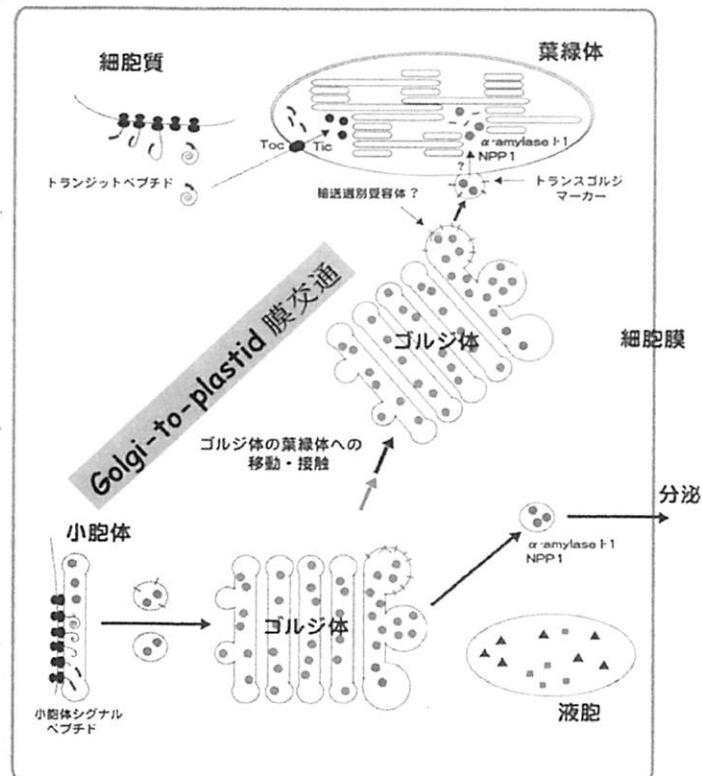


図 1: AmyI-1 および NPP は分泌経路からゴルジ体を介してプラスチドに輸送・局在化する

2. 米品質に及ぼす高温・高 CO₂ 環境の影響

うるち玄米の整粒(正常粒)は豊満で左右・上下均整の取れた形で、側面の縦溝が浅く全体が透明で表面が光沢を持つ。澱粉顆粒は複粒構造を示し、空隙は殆ど見られない(図2A)。登熟期に高温ストレスを受けると白未熟粒が発生する。高温ストレスは玄米の一部に澱粉集積の不良な箇所を生じさせ(図2B)、澱粉顆粒の間にできた隙間で光が乱反射することによって、玄米のその部分が白く濁り不透明になる。白濁の部位によって、それぞれ腹白、背白、基白、乳白、心白粒と呼ばれる。

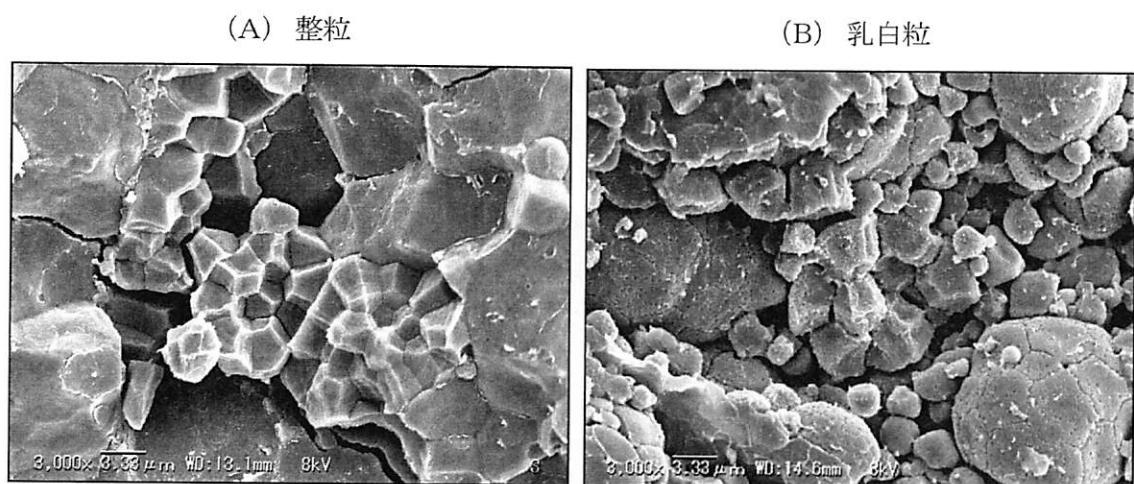


図2:整粒と自未熟粒の澱粉顆粒構造の比較

出穂後 20 日間の日平均気温が 26°Cを超えると白未熟粒の発生が著しく増加することが知られている⁴⁾。さらに最近、FACE (Free Air CO₂ Enrichment; 開放系大気二酸化炭素増加) 圃場を用いた実験から CO₂ 濃度上昇も玄米品質を低下させることが明らかになりつつある⁵⁾。私達は、つくばみらい市にある(独)農業環境技術研究所 FACE 圃場においてコシヒカリの玄米品質に及ぼす高 CO₂ 濃度の影響について追試を行った。図3の結果に見られるように、FACE 圃場 (CO₂ 濃度: 約 600ppm)において栽培したコシヒカリの整粒率は一般圃場 (CO₂ 濃度: 379ppm) のそれと比較して大きく減少した。一般に、高 CO₂ 濃度環境は植物にとって好条件として働く。稻においては CO₂ 濃度が高くなると光合成が促進され澱粉蓄積が増加し、玄米収量が増す。しかし、高 CO₂ 濃度環境下では気孔が閉じられ蒸散が低下することから穂の温度が上昇し、高温障害を助長する可能性は十分考え得る。したがって、米品質に及ぼす高温・高 CO₂ 濃度の影響に関する研究は必要不可欠である。

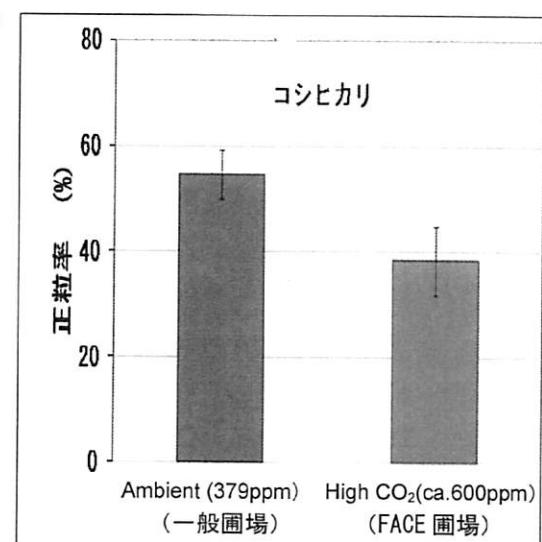


図3:コシヒカリの玄米品質に及ぼす高CO₂の影響

3. 濃粉集積抑制酵素は米品質に影響を与える

私達は、稻から20種以上の糖代謝酵素を精製し、酵素化学的諸性質を調べた。これらの酵素の温度安定性を比較したところ興味深い傾向が見いだされた。すなわち、NPP や α -アミラーゼなど加水分解酵素が熱に比較的強いという点が浮かびあがった。さらに、酵素反応における温度係数 Q_{10} を計算したところ、NPP および α -アミラーゼの Q_{10} は それぞれ 3.21, 2.74 と一般的な酵素の値($Q_{10} \approx 2$)より高いことが分かった⁴⁾。これは、他の酵素と比べて温度上昇によって酵素タンパク量が変化しない場合でもこれらの活性が強くなることを意味する。私達は、NPP および α -アミラーゼに注目し、高温ストレス下における登熟種子のこれらの酵素の発現変動およびその品種間差異について検討した。稻品種としては、出穂期がほぼ同じである早生品種、ゆきん子舞とトドロキワセを使用した。高温処理は35°Cの温水を水深15 cm に保ち水量 80 L/min で掛流すことによって行った⁵⁾。これにより、登熟期の平均気温は一般圃場(24.5°C)に比べて 1.9°C 上昇した。ゆきん子舞は高温登熟性優良品種の一つで温水掛け処理では全く高温障害は発生しなかった。一方、トドロキワセは高温登熟性が悪く、高温ストレス処理により整粒率の顕著な低下が見られた。開花後4、9および 13 日目の果皮を取り除いた種子から酵素を抽出し、37°Cで活性測定を行い、温度係数 Q_{10} を考慮、補正し、両酵素の活性量を算出した。ゆきん子舞では、NPP および α -アミラーゼの活性量はともに高温ストレス処理で殆ど変動しなかった。ところが興味深いことに、トドロキワセでは両酵素活性量はともに高温ストレスにより大きく上昇することが分かった。山川ら⁶⁾は、高温ストレスが玄米成分の形成に及ぼす影響を遺伝子レベルで包括的に解明するためにトランスクリプトーム解析を行っている。高温ストレス(33/28°C:昼/夜温)にさらした登熟途中の胚乳と無処理(25/20°C)のものについて mRNA の発現を比較したところ、澱粉代謝、種子貯蔵タンパク質の合成およびストレス応答に関与する遺伝子において違いが見られた。興味深いことに、 α -アミラーゼ(*AmyI-1*, *AmyII-3*, *AmyII-4*)遺伝子は高温によって発現が上昇した。実際、 α -アミラーゼ遺伝子の働きを強めた形質転換稻を作製し、その玄米形質を調査したところ高頻度に乳白や死米の発生が起ることが分かった(図4)。これらの結果から、稻における高温登熟障害発生の1つの要因として、澱粉集積に対して抑制的に作用する酵素の活性上昇が重要であると推察された。

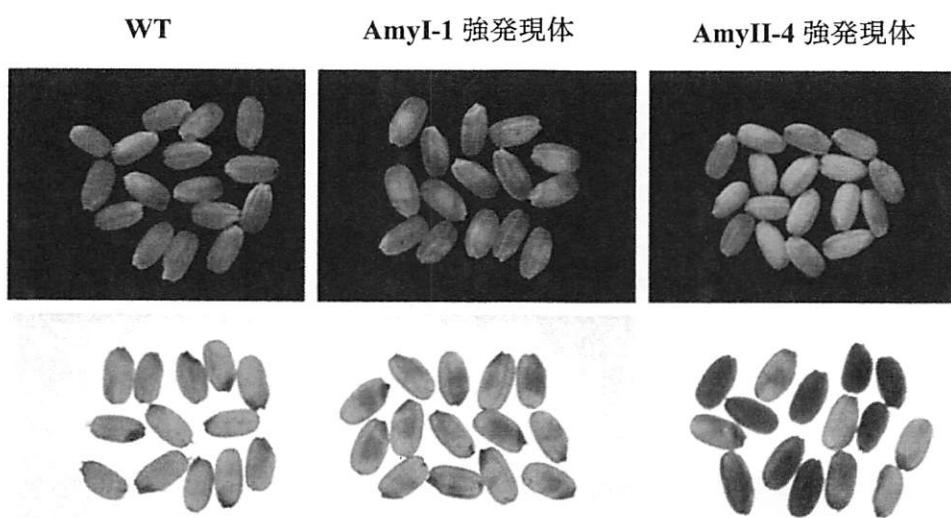


図4: α -アミラーゼ遺伝子の働きを強めた形質転換稻の玄米品質

4. 高温登熟による米品質低下軽減のための戦略

澱粉集積に対して抑制的に作用する酵素が米品質の低下をもたらす要因の1つであることが細胞分子生物学的並びに栽培生理学的知見から明らかになってきた。前述のように、高温被害米は様々な要因が複雑に絡み合って発生するものと考えられている。光合成産物の受給バランスや登熟種子の組織・細胞成長および澱粉合成プログラムを崩さないで澱粉集積を高めることができる方法はないのか？私達は澱粉集積抑制酵素の遺伝子機能を減ずれば高温登熟による澱粉蓄積能力の低下すなわち米品質低下を軽減できる、したがって遺伝子破壊変異体に高温耐性を有するものがあると考えた。作製可能な変異体としては、1) 放射線誘発突然変異体、2) 培養変異体(レトロトランスポゾン挿入変異体等)、3) 化学変異原誘発突然変異体(メチルニトロソウレア誘発突然変異体等)などが挙げられる。我々は、いくつかの変異体について解析を進め、高温登熟性が改善されたコシヒカリ変異体の開発に成功している。

5. 謝辞

本研究の一部は、農林水産省新農業展開ゲノムプロジェクト(IPG-0021)並びに科学研究費補助金(22380186, 22114507)の支援を受けて実施したものである。

6. 参考文献

- 1) Nanjo, Y. *et al.* (2006) *Plant Cell*, **18**: 2582-2592.
- 2) Kitajima, A. *et al.* (2009) *Plant Cell*, **21**: 2844-2858.
- 3) 三ツ井敏明 (2007) *化学と生物*, **45**: 461-467.
- 4) 三ツ井敏明・福山利範(2005) *農業技術*, **60**: 447-452.
- 5) 石崎和彦(2005) *農業技術*, **60**: 458-461.
- 6) Yamakawa, H. *et al.* (2007) *Plant Physiol.*, **144**: 258-277.

(基調講演 2)

新潟県における稻の高温障害とその防除対策
新潟大学農学部フィールド科学教育研究センター 高橋能彦

2010 年産米の 1 等米比率の全国平均は 2011 年 2 月 8 日現在で 61.6% と 1999 高温年の 62.8% より更に低かった。特に新潟県では 20.1% と近隣県等と比べても極めて低い 1 等米比率となった(図 1)。これは、8 月の県内平野部(新潟市、長岡市、上越市)の平均気温が 28.8°C と極めて高く推移したことが主要因であった。しかし、同等の気温で推移した隣県と比べても 1 等米比率は低い傾向であり、食味重視の栽培管理による低窒素栽培が過高温による障害を増幅した結果と考えられた。新潟県では今後の対策として、作土深の確保、初期生育の促進、よりきめ細かな生育・穂肥管理情報の発信で品質低下を抑制する作業を進めている。

1. 近年の温暖化傾向と水稻品質の低下要因

近年は地球的な温暖化傾向により、我が国でも水稻の登熟期間の高温で産米が白濁することによる品質低下が大きな問題となっている。この原因は栄養生長期間での過剰生育による粒数過剰と登熟期間の高温によるとされ、成書によりとりまとめられている(日本作物学会北陸支部・北陸育種談話会編、2007)。新潟県では、良食味と高品質米栽培の両立のため、①5 月 10 日以降の移植を推奨し、出穗直後の高温遭遇を回避、②基肥の抑制により生育量を調整、③有効茎確保後の適正な落水・中干により生育を調整、④適正な穂肥指導で倒伏防止と玄米窒素含有量を抑制、⑤有機物施用等による土作りで後期栄養を確保、等の対策を策定してきた(新潟県農林水産部、2011)。具体的な目標は、 m^2 当り粒数 28,000 粒以下、玄米窒素 6.0% (水分 15%)、一等米比率 80% 以上である。つまり、大きなポイントは過剰生育の抑制と施肥窒素の抑制である。この対策は、通常の高温年での品質低下対策としては一定の効果があると考えられる。

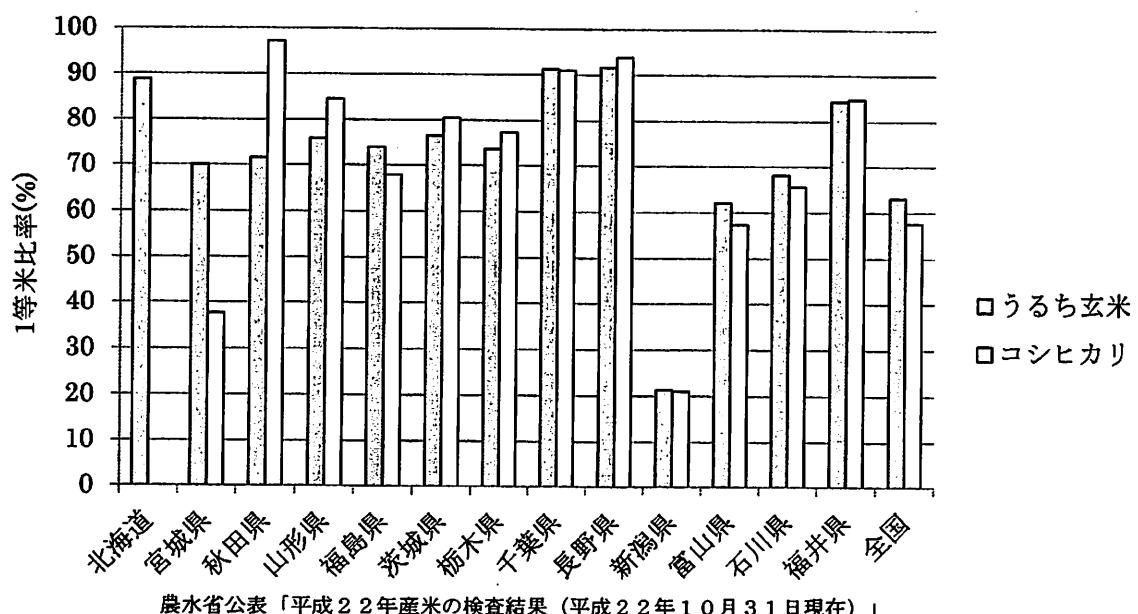


図 1 平成 22 年産米の道県別品質一覧

2. 8月の気温と産米品質

水稻は出穂から2週間程度、高温に遭遇すると乳白米等の増加で等級が低下することは広く知られている。コシヒカリ等の良食味米は出穂から10日間の平均気温が27.5°C以上で有意に品質が低下する傾向がある。図2に1990年から2009年の新潟県の8月平均気温と当該年の1等米比率を黒丸で示す。平均気温が27°C以上で、等級の低下が確認できる。逆に24°C以下でも等級は低下する。2010年8月は大丸で示す（隣県は白丸、新潟県は灰丸）。2010年の新潟県を示す灰丸は過去の新潟県や同年の隣県等と比べても同一温度での1等米比率は低い結果となった。

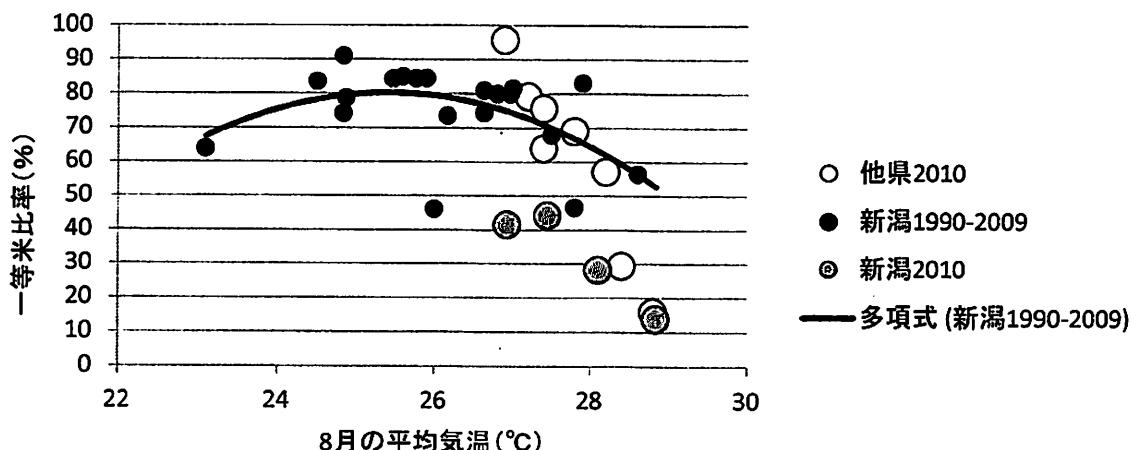


図2 8月の平均気温と産米品質

つまり、新潟県における2010年産米の品質低下は気温以外の要因が寄与したことが想定された。このため、新潟県では平成22年産米の品質低下要因の解明と今後の対策を立てるために、平成22年11月に研究会を設置し、報告書を作成した（平成22年産米の品質に関する研究会、2011）。本稿はこの研究会での検討事項を基に、著者自身の補足的な調査・考察を含めて記したものである。

2010年新潟県産米の品質低下の主要因は出穂以降の過高温であるが、その他に、品種特性、用水温、雨量、風速、湿度、日射量、栄養状態、水管理、追肥管理、土壤環境等、種々の要因が複雑に作用したと考えられた。この想定される要因の中で特に用水温、栄養状態、追肥管理、土壤環境に注目したい。

3. 用水温

出穂以降に過高温が予想される状態では、用水管理として、夜間の用水かけ流し、昼間の飽水管理、出穂25日目以降の落水等が指導されている。筆者自身が本案件で県内各地の用水温データの入手を試みたが満足な資料を得ることはできなかった。図3は国土交通省河川局が公開している信濃川（新潟市鳥屋野）の8月の水温データである。新潟県の主要稻作地帯では信濃川と阿賀野川水系からの用水取水が多い。特に信濃川は長野県善光寺平を流下し、新潟県十日町盆地から新潟平野に流入している。期間の雨量によって異なるが、当然、上流域の水田で加温された水が流下することになるので、新潟市の信濃川の水温は上流域より高くなる傾向がある。2010年は過去5年間の平均水温と比べると2~4°C程度高く推移している。特に8月中旬以降の水温と最低気温を比較すると、最低気温より夜間水温の方が高くなっている。このような状態では夜間に用水をかけ流した場合はむしろ加温していることになり、品質対策としては逆効果となる。

計画用水量の問題もあり、水利担当機関からは、高温気象時に広範囲の用水かけ流しは現実的な対策ではないという意見もある。昼間あるいは夜間のかけ流し効果がどれだけあるかのシミュレーションをするにも、現状では用水温のデータ自体が不足している。

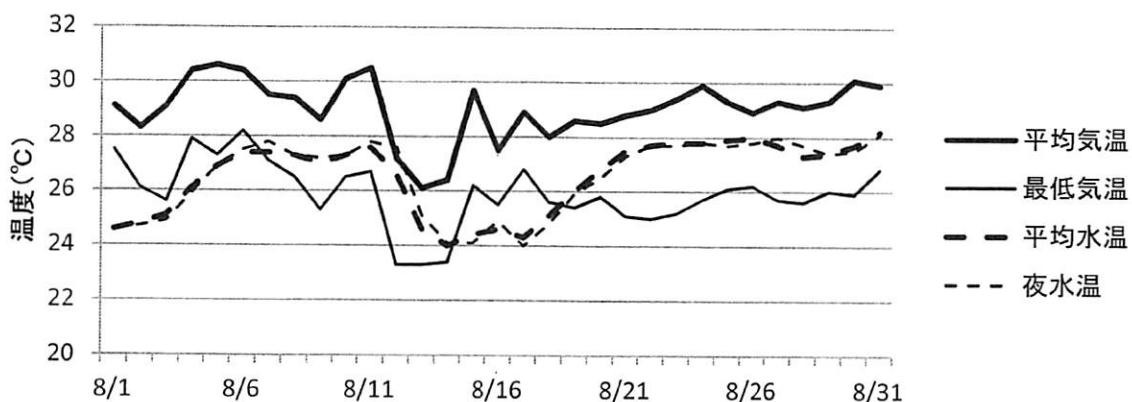


図3 2010年8月の信濃川（新潟市）水温と気温

4. 水稻の栄養状態

コシヒカリは1955年（昭和30年）に新潟県と千葉県で奨励品種として採用された。当時は増産の時代であったが、良食味米としての価値が認められて普及してきた。米余りのため、1990年代から、各県の水稻栽培戦略はすべて「増産」から「良食味米」へと舵を切った。この中で1995年、新潟県では「スーパーコシヒカリ計画」なるものを策定し、全県的にコシヒカリの食味を維持・向上させることになった。図4は新潟県における10a当たりの窒素施肥量の推移を示している。1990年頃は一作当たり9kgの窒素を施用していたが、1995年のスーパーコシヒカリ計画策定以降、田植え直後に施用する根付肥や中間追肥および出穂後に施肥する実肥の削減により、現在は5kgの窒素施肥量となっている。この施肥量は北陸地域等の他県と比較すると1kg以上低い値である。

従来、玄米収量600kgを得るために水稻は12kg程度窒素吸収していたが、良食味米戦略により、現在の窒素吸収量は10kg程度に抑えられている。また、昭和45年頃から開始された、水田畑転換の施策により水田土壤の窒素肥沃性は全国的に低下傾向であると考えられる。特に、新潟県の施肥窒素量は他県より少なく、これが新潟米の良食味戦略として機能してきたが、異常気象等のストレスに対する感受性を増大していると考えられる。

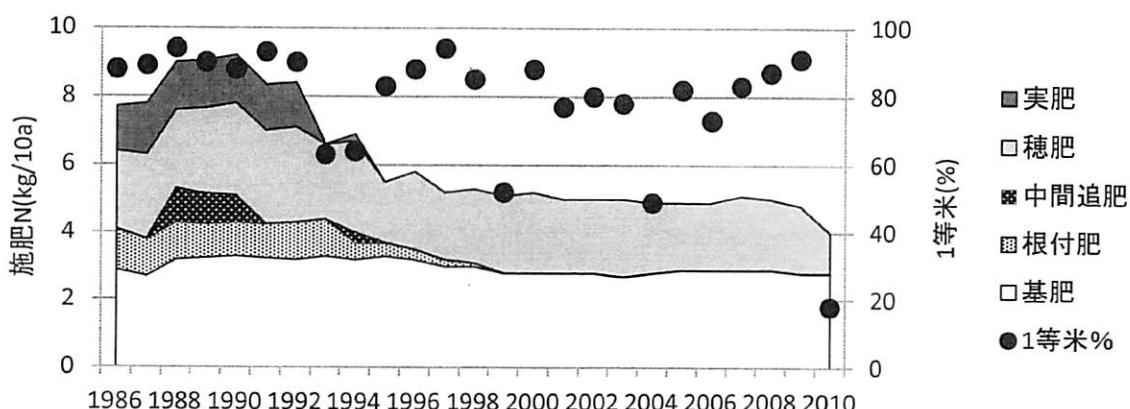


図4 新潟県における水稻窒素施肥量の推移

5. 追肥管理

水稻の生育制御技術は種々あるが、追肥管理が最も効率的な管理である。新潟県の水田面積は156,000ha（2008年）と全国2番目であり、栽培環境も地域差が大きく、一律の管理が当てはまらない。新潟県では水稻栽培指針において、地域や土壌タイプで6区分して栽培指針を策定している。更に各地域振興局単位で独自の指標を策定し穗肥指導をしているが、土日曜に水田作業する兼業農家が十分に対応することは困難である。近年は、高品質米栽培のために移植時期を遅くし、有機質肥料の施用も多くなり、早期に初期生育を確保することが困難な栽培体系となっている。このために、下位節間伸長期に水稻が窒素吸収しやすい状況となり、倒伏の危険性から1回目の穗肥が施用できない稻姿になりやすい。いわゆる松島理論である「V字農法」から、「への字農法」的な生育になっているといえよう。

基肥に追肥分の緩効性肥料を施用する、いわゆる「基肥一発施肥」も新潟県では良食味米生産の観点から普及が進まず、現在50%以下の普及率である。これが、2010年の品質低下とどう関係するかは不明であるが、北陸の他県では50%以上が一発施肥体系である。

6. 土壌環境

前述したが、昭和45年頃からの生産調整による水田の畑転換で土壌の窒素養分が消耗する傾向であることと、大型機械導入や作業効率向上のために基盤整備が進歩して土壌の乾田化が進み、土壌肥沃性の低下に拍車をかけていると思われる。これらの傾向を分析データで明確に示すには困難な面もあるが、北陸地方における転作大豆の小粒化の問題等は間接的にこの予想を支持している。

また、営農規模の拡大と作業時期の集中のために、より効率的で短時間での農作業が要求され、十分な耕深が取れていないという問題も指摘されている。新潟県では耕耘深度15cmを目安としているが、県平均は14cmである。ただし、全層施肥の場合、単に作土深を深くしただけでは肥料の希釈により初期生育はむしろ劣る場合があり、この場合は移植前に育苗箱に窒素施肥する弁当肥の効果が期待できる。

目標茎数の70%となるころの落水・中干は無効分けつの抑制に効果があるとされているが、7月以降までの過度の中干は新生根の発生にはむしろ障害があり、減収し品質も低下する傾向がある（新潟大学、未発表）。

7. 2010年の生育状況と品質低下要因

以上のように、近年の高温化気象を考えると新潟県の水稻栽培戦略は農家に対して相当高い栽培技術を要求している。農家の高い技術をもってしても、結果として2010年は県産米の品質確保ができなかつた。

図5に新潟市における2010年を含む高温年の気温（水稻栽培期間）の推移を示す。2010年は4月、5月と多雨・低温傾向で推移し、新潟地方気象台は低温による農作物の注意報を発令する状況であった。このため、水稻は移植後の寡照・低温により、初期生育が進まず分けつの発生も少なかった。しかし、6月中旬から一転して高温傾向となり、7月、8月および9月上旬まで過高温で推移した。結果として、新潟県の作況指数は97とやや不作であり、一等米比率は20%と史上最悪の品質となつた。品質低下要因は背白や基部未熟粒割合の増加によるものが多く、これは高温登熟に低窒素条件が組み合わさった障害と判断できた。つまり、過繁茂による芻数過剰での乳白米の発生が主な品質低下要因でなかつた点が2010年度の特徴であった。

生育は移植後の低温・寡照による分げつの遅れから、中干開始と終了の遅れにつながった。この結果、充実茎を初期に確保することができず、穗数の減少となった（図6-A）。7月までの中干の継続は新生根の抑制につながる。また、6月中旬以降からは高温化傾向となり、このころから草丈が急に伸長し、葉色も濃い今まで推移した。ポット試験であるが、高温傾向で栽培した水稻は地上部が伸長するが、根部は相対的に生育が抑制されることが知られている。2010年も同様の生育状況であったとすると、草丈は伸びているが根はそれに比べて分布域が少なかったと考えられる。分げつが少なく、最高分げつ期でも葉色の退化ではなく、新潟県内の普及機関の穂肥診断では「倒伏の危険が高く、一回目の追肥は省略する」という判断となった。しかし、幼穂形成期から出穂期での葉色低下が著しかった（図6-B）。2回目の追肥によっても葉色の回復は十分でなく、出穂期では危険域の葉色値30を下回るほどの栄養不足に陥った。

7月30日から8月30日に土壤から発現した窒素無機化量と同期間における水稻の窒素吸收量を図7に示す。2010年は高温によって土壤からの窒素発現量も平年より多くなっている。ただし、水稻の窒素吸收量は平年と同程度であった。これは、窒素があっても吸収できない地下部環境であったことを意味する。

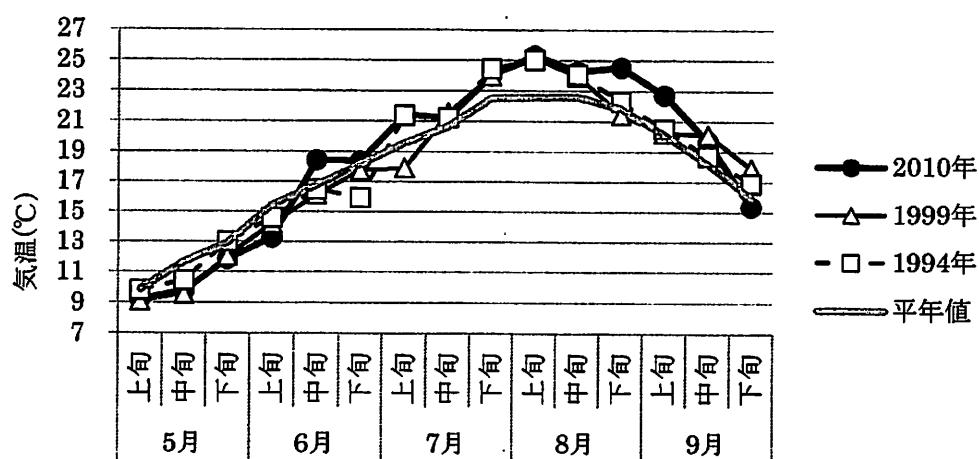


図5 高温年における気温の推移（新潟、長岡、上越3地点の平均）

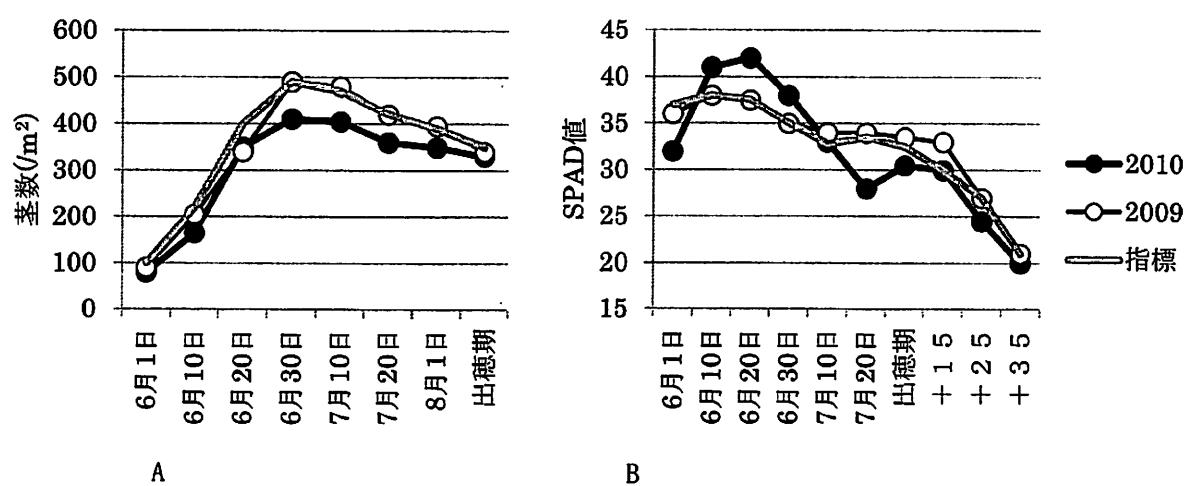


図6 新潟県の水稻生育状況（各地域振興局調査平均） 指標：栽培指針の目標値

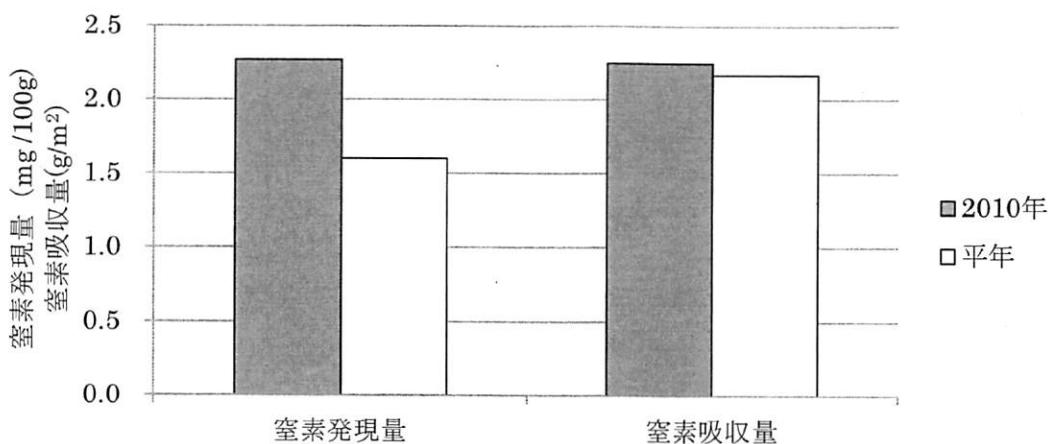


図7 土壤窒素発現量と水稻窒素吸収量（7月30日～8月30日の値）
新潟県農業総合研究所調査結果

8. 今後の対策

以上、2010年の品質低下要因を踏まえ、新潟県では今後の対策を策定した。従来型の基本技術に①作土深15cmの徹底、②葉色等の推移を勘案した生育診断、③低品質の場合は必要に応じて1.90mm篩や色彩選別機の活用、を追加する。また、高温気象条件となった場合は緊急対策として、①情報提供の迅速化：気象変動に対応した新規管理対策指針の策定、こまめな生育診断体制、診断結果の迅速・確実なフィードバック体制の確立、②葉色の把握と穗肥対応：移植後の生育推移から急激な葉色退化や梅雨明け後に高温が予想される場合は出穂期葉色値30以下にならない穗肥の施用、③登熟期水管理：高温時は田面が乾燥するのでこまめな灌水・水管理の徹底。

具体的には各地域振興局ごとの対応もあると思われるが、生育調査圃場数を増加させたり用水温の記録等の新規調査も予定されている。中長期的には、高温耐性の強い水稻新品種の育成や高温時でも品質を低下させない新規技術開発が試験研究機関で開始される。新潟県が今後とも良食味米生産のトップランナーであるべく関係者の危機意識とその改善意欲は高い。

2011年も水稻の生育は2010年と同様の傾向で推移し、新潟県の梅雨明けも平年より12日早く、その後の高温傾向で品質低下が懸念された。しかし、2011年9月末現在の状況では新潟県内の一等米比率は80%以上確保できる見込みである。内容については今後、検証する必要があるが、行政・普及・JA・農業者それぞれが一丸となって品質低下防止に努めた成果と思われる。

良食味米および新形質米・超硬質米の育成

(独)農研機構 中央農業総合研究センター 作物開発研究領域 三浦清之

2009年時点での我が国の米の消費量は、1970年の2127,000トン前に比べ、ほぼ3割弱に減少し、約631,000玄米トンである（政府統計 2010-1）。また、長びく景気低迷の中で、米価が低迷しているため、価格に安定感のある「コシヒカリ」への作付が集中し、2009年度の「コシヒカリ」の作付割合は、過去最高の36.7%に達している。品種別の作付面積比率で、上位5位までの品種をみると、2位が「ひとめぼれ」で10.6%、3位が「ヒノヒカリ」で10.3%、4位が「あきたこまち」で7.3%、5位が「キヌヒカリ」で3.3%となっている。5位までの品種の合計で全作付面積の68.2%を占める（政府統計 2010-2）。これらの品種は、「コシヒカリ」の交配後代から育成された、あるいは、系譜上「コシヒカリ」の遺伝的背景が大きい品種であり、粘りが強く、柔らかいという「コシヒカリ」の食味の特長を有するもので、国民の米の食味への嗜好を色濃く反映した品種構成となっている。一方、米の需要が低迷する中で、外食・中食用、加工米飯用の米は増加の傾向にある。これは、昨今の少子高齢化の進展、単独・二人世帯、孤食・欠食の増加、女性の社会進出の進展、経済成長に伴う生活水準の向上等の社会構造等の変化が起因するものと推測される。米の需要拡大を目指す上で、上記の消費動向を踏まえた米の食味の更なる向上、および、調理時の作業性に優れ、商品の質の向上に繋がる米の開発が期待されている。

1. 食味向上に向けた品種育成

1) 在来種、および、初期の改良品種の利用

「コシヒカリ」への栽培寡占状況から、国民の米の食味への嗜好は、粘りが強く、柔らかい米の方向にあることは明白であり、新しく育成された品種、および、系統についても「コシヒカリ」並の良食味を有することは「あたりまえ」となっている。かつては困難であった「コシヒカリ」並の食味で、いもち病に強い、多収である、外観品質に優れる等特性の改良された品種、系統の育成も進んでおり、良食味品種、系統同士の多収性、耐病性等の特性改良を目指した交配組合せも可能となっている。育成系統が「コシヒカリ」並の食味を有することが「あたりまえ」になった現状において、さらなる食味向上を目指すためには、「コシヒカリ」より食味の良い米に対する具体的なイメージを描く必要がある。しかしながら、「コシヒカリ」より粘りを強くする、また、柔らかくすることが、消費者の「コシヒカリよりうまい米」への評価、認識に繋がるとは限らない。「コシヒカリ」よりうまく、かつ、「コシヒカリ」とは質的に異なる食味を持つ米とは具体的にいかなる米かはイメージし難いため、とにかく、我が国の在来種、および、初期の改良品種に素材を求めてこととし、簡易な食味試験を行ってみた結果を表1に示した。素材の中には、特に「亀の尾」等、交配による改良品種が普及する以前に、広く普及した品種の食味が「コシヒカリ」に匹敵するものであることなど、興味深い結果となっている。

表1 在来種、および、初期の改良品種の食味官能試験結果

年次	品種名	パネラー数	食味総合値
2007	ハツシモ	11	0 (-0.55)
	亀の尾	9	-0.78 (-0.33)
	朝日	9	-1.11 (-0.22)
2008	ハツシモ	10	-0.5 (-0.3)
2009	亀の尾	10	-0.4 (-0.2)
	亀の尾	8	-0.5 (-0.5:ひとめぼれ)
	ササシグレ	7	-0.86 (-0.14)
	白芽	7	-0.57 (-0.14)
2010	アケボノ	9	0 (-0.11)
	水稻農林48号	7	-1.43 (-0.11)

注) 1. 新潟県上越市で生産した材料を用いた。

2. 食味基準用のコシヒカリを0として+2(良) ~ -2(不良)で評価した。

3. ()内の数字は、同条件で栽培したコシヒカリの値を示した。

これらの品種を交配親とした交配後代より、食味、収量性、外観品質等で選抜して、現在、試験中の系統の食味官能試験結果を表2に示した。

表2 育成系統の食味官能試験結果

系 統 名	交配組合せ	試験年月日 (年.月.日)	調査 人員	総合評価		外観	香り	うま味	なめらかさ	粘り	硬さ
				(-5~+5)	(-5~+5)						
収8196	収6602/朝日//収6602	2009.12.10	23	1.17	0.70	0.17	0.87	0.91	0.96	-0.48	
収8378 (食)コシヒカリ	ハツシモ/収6602//北陸202号			1.09 0.83	0.87 0.61	0.22 0.45	0.96 0.78	0.70 0.78	1.35 ** 0.65	-0.87 * -0.39	
収8196 (食)コシヒカリ	収6602/朝日//収6602	2010.11.19	25	0.84 0.72	0.64 0.56	0.40 0.20	0.76 0.40	0.72 0.40	0.72 0.84	-0.12 -0.12	
収8378 (食)コシヒカリ	ハツシモ/収6602//北陸202号	2010.11.16	28	1.32 * 0.79	0.75 0.54	0.39 0.46	0.93 0.46	0.86 * 0.32	1.14 0.82	-0.46 -0.11	

注) 1. 日本米を基準(0)とし、-5(不良) ~ +5(良)、-3(不良) ~ +3(良)で評価した。

2. 各状況には、ブラインドで食味試験用に別四場で栽培したコシヒカリを供試し、「(食)コシヒカリ」としてデータを示した。

3. *、**はt検定の結果、「(食)コシヒカリ」ととの差がそれぞれ5%, 1%, 0.1%水準で有意であることを示す。

「コシヒカリ」に比べて、食味に関する各項目が有意に優れる結果を得ることは難しいが、数値として上回る系統は選抜されている。課題は、在来種が決定的に劣っている外観品質、いもち病耐病性、収量性等の特性が実用的に差し支えないレベルまで改良されているか否かの判断であろう。また、「朝日」の交配後代より、炊飯米は外観に優れ、粘りが少なく、さっぱりとした食感の「北陸228号(朝日/収6595)」を育成した。日本穀物検定協会による「北陸228号」の食味試験結果を表3に示した。

表3 「北陸228号」の食味試験成績(穀物検定協会)

系 統 名 品 種 名	総合評価			外観	香り	味	粘り	硬さ
	評価値	信頼区間	有意差					
北陸228号	0.300	±0.234	+	0.350	0.250	0.200	0.100	0.450
コシヒカリ	0.250	±0.234	+	0.100	0.000	0.300	0.350	0.200

注) 1. 供試米は、いずれ2008年に新潟県上越市で生産したものである。

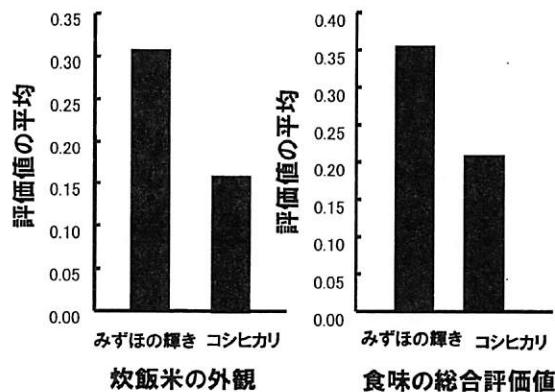
2. 基準は、日本穀物検定協会の基準米(2008年産の複数産地コシヒカリのブレンド)を用いた。

3. パネラーは20名。

「コシヒカリ」より粘りは少なく、硬めであるが、外観と香りが良く、総合評価では、数値として「コシヒカリ」に優る結果が得られている。「北陸228号」のように、粘りと柔らかさに頼らない良食味育種の方向も今後の米の用途や消費者嗜好の多様化に対応する方策のひとつといえる。

2) 大粒・良食味の水稻品種「みずほの輝き」の育成

消費者にとって、ごはんの輝きは、おいしさに関わる大きな要因といえる。2008 年に、大粒で、炊飯米の外観に優れる良食味品種「みずほの輝き」を育成した。「みずほの輝き」は、晩生で、良食味系統の「北陸 174 号」を母とし、いもち病に強い「中部 98 号」を父とする人工交配から育成された品種である。母親の「北陸 174 号」は、高温登熟に強い「にこまる」(坂井ら 2010) および「くまさんの力」(藤井 2008) の母本となっている。育成地のある北陸地域では熟期は“晩生の晩”に属する。収量性は「日本晴」よりやや多収で、玄米千粒重は約 25g で、「日本晴」よりやや重い。食味試験の結果は、炊飯米の外観は「コシヒカリ」よりも優れ、総合評価値では「コシヒカリ」並かやや優る結果が得られている(図 1)。また、「みずほの輝き」の炊飯米には、魚沼の「コシヒカリ」等一部の極良食味米にしか見られない中心部に至るまで発達した多孔質の海綿状構造がある。「みずほの輝き」の炊飯米の軟らかさ、弾力性に優れ、食感が極めて良好である理由のひとつと考えられる(大川ら 2007)。



1) 官能評価による食味試験
2) 数値は、パネラー約25名における官能評価値の平均値。
2000～2003年は、各項目とも「ホウネンワセ」を、
2004～2007年は「コシヒカリ」食味基準用を(0)とした。
評価は-5(不良)～+5(良)の11段階。

図 1 「みずほの輝き」の食味評価値



図2 「みずほの輝き」の炊飯米中心部で認められた海綿状構造 (大川ら 2007)

2. 調理・加工米飯に適する新形質米品種の育成

穀粒成分および炊飯物性に関わる遺伝的変異を利用して育成した品種を新形質米品種と呼称しているが、ここでは、カレーライス、寿司に適する新しい炊飯特性を持つ品種育成の試みについて紹介したい。

1) カレー用調理米飯向き品種「華麗舞」

わが国で大量に消費され、国民食ともいえるカレーライスに良く合う米飯物性を持つ品種として、2006 年に「華麗舞」を育成した(重宗ら 2011)。「華麗舞」は、多収並びに日本人の嗜好にあった調理米飯用品種の育成を目的とし、インド型品種「密陽 23 号」と日本型品種「アキヒカリ」の交配により育成された。千粒重は「コシヒカリ」より 2g 程軽く、粒形は一般日本品種に比べて、細長く、細長粒である(図 3)。炊飯米の表層の硬さは硬く、粘りは少ないが、全体の硬さおよび粘りは「コシヒカリ」と同等である(表 4)。ところのある市販のカレールウを白飯にかけた際、「コシヒカリ」および「サリークイーン」よりも食味の評価が高く、カレールウに良く合う(図 4)。炊飯米の表層が硬く、粘りが少ないとカレールウのごはんへのしみ込みを促し、全体の硬さおよび粘りが「コシヒカリ」に近いことによって、お米のうまさが主張されることによる調和

が、カレーライス好適米として評価される理由と思われる(大坪 2008)。

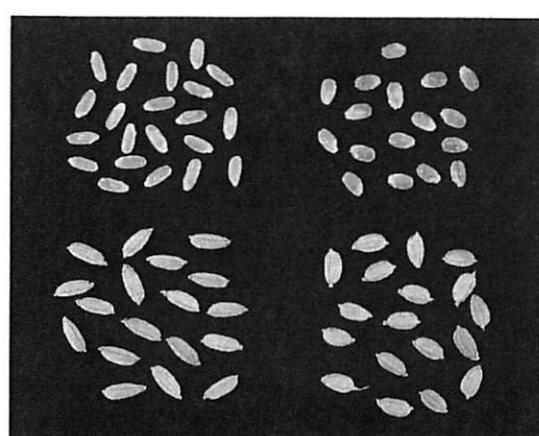


図3 華麗舞の粉および玄米

左:華麗舞、右:コシヒカリ

表4. テンシプレッサーによる華麗舞の炊飯特性 (食品総合研究所)

品種名	表層の硬さ (H1, 10 ³ dyn:低圧)	表層の粘り (-H1, 10 ³ dyn: 低圧)	全体の硬さ (H2, 10 ⁶ dyn: 高圧)	全体の粘り (-H2, 10 ⁶ dyn: 高圧)
華麗舞	84.32	19.28	2.24	0.51
コシヒカリ	80.78	21.20	2.24	0.53

注) 1. 測定条件: テンシプレッサー My Boy System (ケケトモ電機),
ロードセル10kgf, ブランジャーースピード(7mm/s)

2. 試料当たりの測定粒数: 50粒

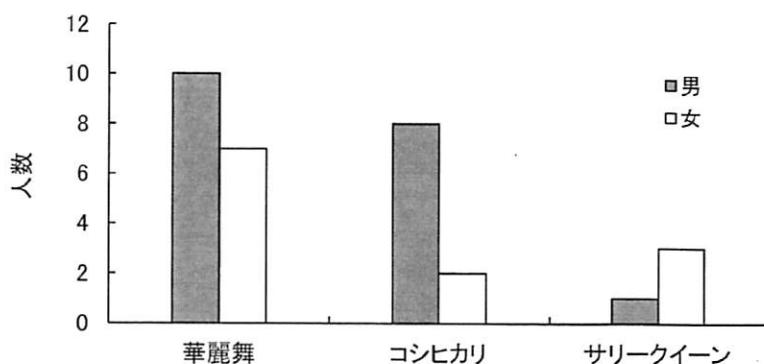


図4 3品種によるカレーライス食味試験結果

- 注) 1. パネラーは、31名（男性が19名、女性が12名）で行った。
 2. カレールウはハウスバーモントカレーを用いた。具は入れずにルウのみを調整した。
 3. 材料は、華麗舞、コシヒカリ、サリークイーン（市販）を用いた。
 4. カレーをかけた時に最も美味しく感じた品種を記載する方法で行った。

2) 高温耐性に優れ、寿司米に向く水稻品種「笑みの絆」

酢飯については、酢の入りが良く、粘らず、ほぐれやすい特性の米が求められる(平田 1993)。あつさりした食感で、かつ、近年の温暖化傾向下でも安定した外観品質を示す品種として、2011年には「笑みの絆」を育成した。「笑みの絆」は、粘りに頼らない良食味品種の育成を目標として、粘りの少ない良食味品種「ハツシモ」から育成された「岐系120号」と良食味系統「収6602」の交配後代から育成された品種である。「笑みの絆」の酢飯の外観、なめらかさは「ササニシキ」に優り、ほぐれ易く、粘りは「ササニシキ」より弱い。硬さは「ササニシキ」、「コシヒカリ」の古米より硬く、あつさりした食感で、総合では「ササニシキ」、「ハツ

シモ」に優る(表 5)。登熟期の高温耐性は“強”であり、外観品質の安定性に優れる(表 6)。

表 5 「笑みの絆」の酢飯としての食味比較試験

品種名	調査 人員	総合評価 (-5~+5)	外観 (-5~+5)	ほぐれやすさ (-5~+5)	なめらかさ (-5~+5)	粘り (-3~+3)	硬さ (-3~+3)
笑みの絆	23	0.48	0.52	0.39	0.39	-0.04 **	0.30 *
コシヒカリ		0.04	0.09	-0.04	0.04	0.70	-0.26
ササニシキ(宮城県産)		0.26	0.35	0.26	0.09	0.35	0.09
ハツシモ(岐阜県産)		0.43	0.22	0.83 **	0.17	-0.22 ***	0.65 ***
コシヒカリ(21年産)		0.30	0.26	0.48	0.13	0.13 *	0.13 *

注)1. 2010年の育成地における成績。

2. 食味試験用に別圃場で栽培したコシヒカリの酢飯を基準(0)とした。

3. ブラインドで基準と同じコシヒカリを供試し、「コシヒカリ」としてデータを示した。

4. *、**、***はt検定の結果、「コシヒカリ」ととの差がそれぞれ5%、1%、0.1%水準で有意であることを示す。

5. 加水量を5%減じて精米600gを炊飯し、合わせ酢(ミツカン白菊600ml、上白糖360g、食塩105g)を120ml混合した。

表 6 「笑みの絆」の登熟期の高温耐性(2010 年度)

品種名	育成地(温水プール)			埼玉(早播区)			鹿児島(5月植え)		
	出穂日	白未熟 粒比(%)	判定	出穂日	白未熟 粒比(%)	判定	出穂日	指數	判定
笑みの絆	8.10	18.9	強	7.24	2.4	強	7.30	1.0	強
ふさおとめ	—	—	—	—	—	—	7.19	0.9	強
ひとめぼれ	8.01	29.1	やや強	—	—	—	—	—	—
コシヒカリ	8.05	32.9	中	7.22	23.8	中	7.23	5.7	中
日本晴	8.20	39.6	やや弱	8.05	28.3	やや弱	—	—	—
彩のかがやき	—	—	—	8.04	62.7	弱	—	—	—

注)1 埼玉は埼玉県農林総合研究センター、鹿児島は鹿児島県農業開発総合センターの略。

2. いずれの場所も出穂後20日間の平均気温は28°C以上。育成地の温水プールの水温は33°Cに設定した。

3. 白未熟粒比の測定はサタケ穀粒判別器RGQI20Aを用いた。白未熟粒比=乳白粒比+基部未熟粒比+腹白未熟粒比。

4. 鹿児島の指數は遡観で0(無)~9(甚)の10段階で評価した背白と基白の発生程度の合計値。

いずれの品種も民間企業との共同研究により用途開発を行って、製品化に結びついたものであり、新規用途として米の消費拡大への貢献が期待される。

3. 超硬質米(アミロースエクステンダー(ae)変異米)の育成

米の主成分であるデンプンはアミロースとアミロペクチンに分けられる。アミロペクチンを構成するグルコースの重合度が 18 以下の短鎖を劇的に減らし、中長鎖から構成される変異がアミロースエクステンダー(ae)変異である。糊化し難く、極めて老化が速いことから、新潟大学の大坪教授は「超硬質米」と名づけている。超硬質米は、アミラーゼ耐性が高く、高度の難消化性を示し、機能性として急激な食後血糖値の上昇を緩和する効果が期待される(佐藤 2011)。超硬質米としては、「EM10」がすでに品種登録出願されており(佐藤ら 2010)、難消化性の機能を米粉パンに付与する加工法が報告されている(大坪ら 2009、2010)。「EM10」は熟期が遅いので、寒冷地での栽培は難しいため、寒冷地でも栽培できる熟期の早い超硬質米系統として、「北陸粉 243 号」を育成した。「北陸粉 243 号」は、「北陸 169 号(後のあゆのひかり)」と「研系 2064(ササニシキの ae 準同質遺伝子系統)」の交配後代から選抜された系統である。出穂期、成熟期とともに「あきたこまち」より 3 日程度遅く、育成地では“早生の早”に属する。稈長は「あきたこまち」より 10 cmほど短く、穂長はやや短く、穂数は多く、草型は“穂数型”である。耐倒伏性は“やや強”、穂発芽性

は“易”である。千粒重は 17.9gと軽い。玄米品質は粉状質である。収量性は「あきたこまち」よりやや低い(表7)。今後、製パンおよび製麺適性を検討する予定であり、新規需要の開拓が期待される。

表7 「北陸粉243号」の品種特性

系統名	出穂期	成熟期	登熟日	稈数	穗長(cm)	穗長(cm)	穗数(本/m ²)	倒伏程度(0~5)	穂發芽性
品種名	(月・日)	(月・日)	(日)						
北陸粉243号	7.31	9.06	37	80	18.3	404	0.5	易	
(標) あきたこまち	7.28	9.03	37	91	20.1	369	1.0	やや難	
(比) ハナエチゼン	7.27	8.29	33	83	19.8	393	0.0	やや難	

系統名	全玄米重(kg/a)	精米重(kg/a)	標準比率(%)	千粒重(g)	外觀品質	尿素崩壊性
北陸粉243号	149.2	61.5	96	17.9	粉状	難
(標) あきたこまち	157.3	63.8	100	22.0	中中	易
(比) ハナエチゼン	144.1	60.5	95	22.5	中下	易

注) 1. 基肥 N 4、P₂O₅ 4、K₂O 4kg/10a 穗肥 N 2、K₂O 2.7kg/10a

2. 倒伏程度は0(無) ~5(甚)に分級した。

3. 尿素崩壊性は、4Mの尿素水溶液に24時間浸漬して判定した。

4. 参考文献

- 藤井康弘(2008)高温登熟性に優れる良質良食味の水稻品種「くまさんの力」の特性 熊本県農林水産部 農業の新しい技術 <http://www.pref.kumamoto.jp/uploaded/attachment/47585.pdf#search='くまさんの力'>.
- 平田孝一(1993)食品と科学 4月号:60~69.
- 大川峻ら(2007)新しい水稻良食味系統「北陸200号」の炊飯米における微細骨格構造の特徴(II 論文 編) 日本作物学会東北支部会報 50:127~128.
- 大坪研一(2008)カレーライス好適米「華麗舞」の評価 食料と安全 6(5):52~56.
- 大坪研一ら(2009)超硬質米の米粉含有パンの品質改良 J.Appl.Glycosci., Vol.56, Bp-12.
- 大坪研一ら(2010)米粉パンの製法・品質の及び原料米の確認 J.Appl.Glycosci., Vol.57, Ap2-16.
- 坂井 真ら(2010)食味と高温登熟条件下での玄米品質に優れる多収性水稻品種「にこまる」の育成 九州沖縄農業研究センター報告 54:43~61.
- 佐藤光ら(2010) EM10 出願番号 25228.
- 佐藤光(2011)米の外観品質・食味研究の最前線[5]—米澱粉変異の作製と利用— 農業および園芸 86:257~269.
- 政府統計(2010-1) <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat>List.do?lid=000001064679>
- 政府統計(2010-2) http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/beikoku_ryutu/pdf/suito_hinsyu_09.pdf
- 重宗明子ら(2011)カレー用調理米飯向き水稻新品種「華麗舞」の育成 中央農研研究報告 16:17~31.

米の品質向上こそ増収の道

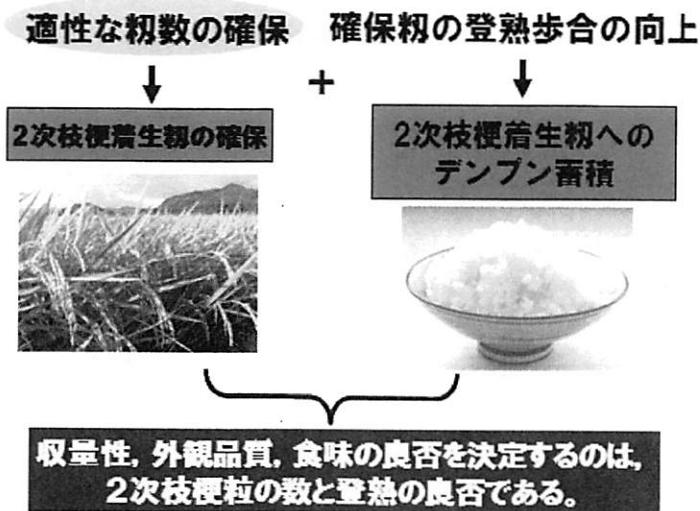
九州大学大学院農学研究院 松江勇次

米の食味の向上は売れる米づくりを通して水田を守り、産地の稻作振興を図っていくうえでも大切な課題である。このため米生産現場では、風土の違いを活かした良食味米生産に励んでいる。その一方で、食味に重点を置くことは止むを得ないとしても気象変動が著しく大きい最近において、減肥が強調され過ぎて健全な稻体づくりからなる良食味米生産技術の進展が懸念される。

健全な米づくりとは品質向上と収量性とが両立していることで、決しての食味を含めた品質向上と収量性とはが相反するものではない。品質と作柄が不安定な今日こそ、品質向上こそ増収にむすびつくという考え方の前提に立った栽培管理技術の構築が大切である。その際はあるべき稻の姿をイメージすることが肝要である。ここでは事例的な研究として穂相の形態から解析した研究を紹介する。

1. 増収を前提とした良食味米生産のための方向性

収量構成要素からみて、品種にあった適性な穂数の確保と確保した穂の登熟歩合の向上と考える。さらに、適性な穂数の確保は、1 穂穂数の変動は 2 次枝梗着生穂（2 次枝梗粒）の変動に依存していることから、2 次枝梗粒の確保ということになる。次に確保した穂の登熟歩合の向上とは、穂全体の登熟の良否を決定するのは 2 次枝梗粒の登熟の良否であることから、2 次枝梗粒の登熟の良否である。したがって、収量性、外観品質、食味の良否は、2 次枝梗粒の数と登熟の良否に支配されていることがわかる（第 1 図）。2 次枝梗粒の確保と充実をはかることは、品質向上を通して増収につながるものである。

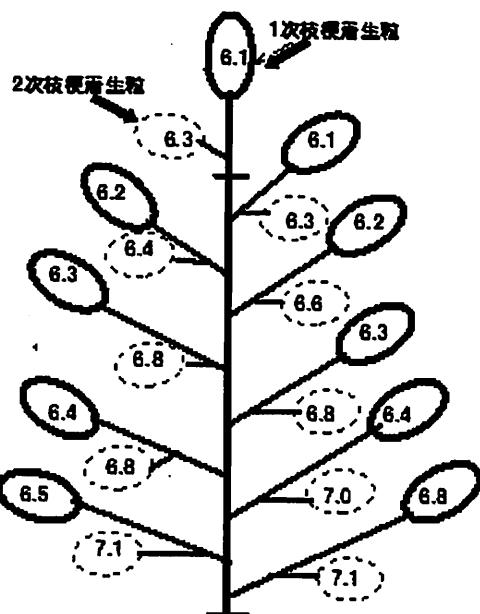


2. 1次, 2次枝梗粒の食味と理化学的特性

食味と食味に関与している理化学的特性にも、2次枝梗粒の充実度は大きく影響を及ぼしている。

1次枝梗粒の食味は、2次枝梗着生粒に比べて外観、味が優れ、粘りが強くなって優れている（第1表）。1次枝梗着生粒は粒が充実していることから、精米のタンパク質含有率が低く、アミログラ特性（第2表）、テクスチャーテクスチャー特性も優れている。

1穂内の枝梗着生位置別の米粒のタンパク質含有率は、1次、2次枝梗粒とも基部から頂部に向かうにしたがい低くなり、また1次、2次枝梗別にみると、1次枝梗粒は2次枝梗粒に比べて、いずれの着生位置においてもタンパク質含有率は低い（第2図）。1穂内における枝梗着生位置による米粒のタンパク質含有率の違いは、穂上位置と密接な関係にある穂花の開花時期の早晚に起因する米粒の成熟度の差異によるものである。



第2図 1穂内における枝梗着生位置別の米粒のタンパク質含有率（精米、コシヒカリ）

第1表 1次、2次枝梗着生粒別の食味評価。

品種名	枝 梗	食 味 評 價			
		総合評価	外観	味	粘り
コシヒカリ	1次枝梗着生粒	0.53**	0.20	0.33	0.33
	2次枝梗着生粒	-0.40**	-0.40**	-0.33	-0.07
日本晴	1次枝梗着生粒	-0.27	-0.13	-0.20	-0.13
	2次枝梗着生粒	-0.93**	-0.80**	-0.80**	-0.33

食味の基準米：日本晴の1次と2次枝梗着生粒の混合。

**印：1%水準で有意差があることを示す。

第2表 1次枝梗粒と2次枝梗粒の千粒重、検査等級とアミログラム特性。

品種名	枝梗	千粒重 (g)	検査		アミログラム特性	
			等級	最高粘度(B.U.)	フレークダウン(B.U.)	
コシヒカリ	1次	23.3	1等	500	195	
	2次	21.5	2等	470	132	
日本晴	1次	23.4	1等	415	120	
	2次	21.6	2等	345	100	

3. 2次枝梗粒の充実に向けて

(1) 栽培実証

高品質・增收区は対照区に比べて、m²当たり穂数、1穂穂数は同定度であるにもかかわらず、登熟歩合の向上によって収量、品質は優れている。登熟歩合の向上には、2次枝梗粒の登熟歩合の寄与が大きいことがわかる(第3,4表)。

第3表 高品質・增收区における収量、品質。(福岡県、2008年)

処理区	m ² 当たり 穂数 (×100)	登熟歩合 (%)	千粒重 (g)	収量 (kg/10a)	検査等級	タンパク質 含有率 (玄米、%)
高品質・ 增收区	354	77.0	21.7	56.2	1等	5.7
対照区	369	57.2	21.5	42.5	2等	6.5

高品質・增收区：移植時期7月3日、適切な肥培管理、水管理を実施。

対照区：移植時期6月23日、慣行栽培。

品種：ヒノヒカリ

第4表 高品質・增收区における穂相。(福岡県、2008年)

処理区	1穂当たり		1株登熟歩合(%)	
	1次枝梗 穂数	2次枝梗 穂数	1次枝梗	2次枝梗
高品質・ 增收区	50.1	29.5	91.6	56.7
対照区	50.7	26.3	71.8	25.6

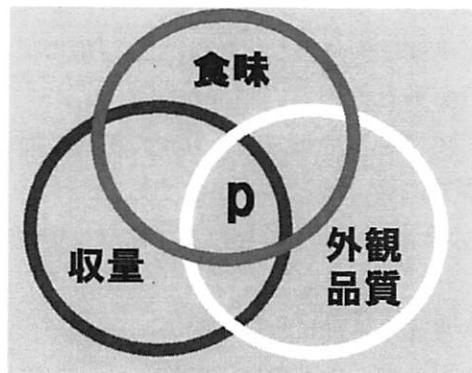
(2) 今後の方向

品種開発ではインド型品種にみられる2次枝梗粒が上位に多く着生する、2次枝梗粒着生上位優勢型を示す遺伝子源の導入した穂型の改良が重要である。

栽培生理では根の傷みによる吸水量の低下による粒含水率の低下を防止して、登熟中の粒内でのデンプン合成を促進させることが大切である。また、高温登熟条件下における出穂後の窒素栄養不足を解消して、葉身の窒素濃度低下を防ぎ光合成能力を高め、根の健全性を保つことが重要である。

おわりに

国民が望む安全で、健全な稲体（外観品質、食味および収量の3形質が同時成立）を育て、充実の良い米粒を生産するという、食味と収量の相乗効果を呼び起こす良食味米生産技術が進められることを期待したい。



(基調講演5)

水稻の収量・品質・食味のための登熟を支える根のデザイン

東京大学大学院農学生命科学研究科附属生態調和農学機構 森田茂紀

稻作農家の中には「根の活力」というべきものがあると考えている人が少なくない。すなわち、高い収量や高い品質をあげるイネは「根の活力」も高いし、「根の活力」が高いイネを作れば収量や品質も高くなるという考え方である。

確かに、現場で生活をかけてイネを栽培している方々の経験や勘から学ぶことは多い。研究室で、山形県の庄内地方へ根系調査に通ったときのことである。午前中の作業が終り、農家の庭先で弁当を食べながら聞き取りをしていると、「よく穫れるイネは、葉先につく水滴が大きい」という話がでた。

朝早く水田を回ると、イネの葉先や葉縁に水滴がついている。これは、葉身の縁にある水孔という穴から出た水が滴となったもので、排水現象と呼ばれている。この排水現象の基盤となっている能動的吸水のメカニズムは完全に解明されていないが、エネルギーを必要とする生理現象である。そこで、排水現象と同じ生理現象と考えられる出液現象を手掛かりとして、根系の生理的活性について検討することにした（森田ら 2010）。

出液速度の推移と解析

出液速度の測定・評価方法を標準化するため、まず日変化を調査したところ、水稻の出液速度は午前中にピークを持つ緩やかな日変化を示した。そこで、水田で慣行栽培した水稻を対象とし、午前中の出液速度が生育とともにどのように推移するかを調査した。その結果、株当たりの出液速度は田植えの直後から増加を始め、出穗期ころにピークに達し、その後、登熟期間中に急激に減少することが明らかとなった。

ここで、出液速度の評価を行うために、「出液速度＝根量×根量当たりの生理的活性」と考えることにした。すなわち、出液速度はまず根量の多少によって、次に同じ根量当たりの生理的活性の高低によって決まる、という考え方である。現場の水田では出液速度を測定するので、同時に同じ株の根長を測定すれば、出液速度を根長で割って単位根長当たりの出液速度、すなわち根の生理的活性について考察することができる。

このようにして推定した単位根量当たりの生理的活性は、生育の早い段階から緩やかに減少し、出穗期以降は急激に減少した。この結果は、次のように考えられる。冠根の生理的活性は比較的早い時期にピークに達し、すぐに低下を始める。ただし、生育に伴って順次形成される冠根数の増加が、冠根の生理的活性の低下より相対的に大きいため、株当たりの出液速度は増加していく。それが、出穗期前後には新しい冠根の出現や伸長がほぼ終了する。さらに、登熟期間中に側根の枯死・脱落による根長の減少が進み、冠根の生理的活性の低下が顕著に現われ、株当たりの出液速度が急激に減少すると考えられる。

収量形成と出液速度

そこで、収量形成に重要な意味を持つ登熟期間に着目し、収量の指標としての穗重と出液速度

との関係について検討を行った。その結果、両者の間に有意な負の相関関係が認められ、穂重が増加するのに伴い出液速度が減少する様相が明らかとなった。異なる品種で検討した場合も同様に、いずれの品種でも穂重の増加と出液速度の減少との間に密接な負の相関関係が認められた。ただし、穂重と出液速度との間に得られた回帰直線は、品種によって異なった。この結果から、高い収量をあげるための一つのポイントとして、登熟期間の根系の生理的活性を落とさないことがあげられる。

松江勇次（2008）は穂の登熟が十分に進むこと、すなわち2次枝梗に着生する穂まで充実することが品質や食味の向上につながる可能性を指摘している。これは、水稻の多収と品質・食味を両立させるために重要な視点であり、根に着目して研究を進める理由の一つである。

出液成分に着目した解析

出液現象は、根系の生理的活性の指標となるだけでなく、出液の成分分析を行うことで、植物栄養学的・植物生理学的な解析もできるというメリットがある。水稻の窒素吸収について、「窒素吸収量=窒素濃度×出液速度」という考え方につけて解析を進めた結果、窒素濃度はかなり早くから低下していることが分かった。これは、元肥が吸収されて土壤窒素が減少したことと、根の生理的活性が低下したことの両者が関係していると考えられる。

また、出穂期以降、側根の枯死脱落によると考えられる総根長の現象が認められるとともに、単位根長当たりの窒素吸収量は出穂期の前後で異なり、登熟期間中は単位根長当たりの窒素吸収量が出穂前より低くなっていることも確認された。

以上のように、食味と密接な関係があることが明らかとなっている窒素の吸収に根系の生理的活性が係っていることも、水稻の品質・食味の研究において根に着目する必要がある理由の一つである。水稻の FACE (Free-Air CO₂ Enrichment) プロジェクトでも同様の結果が得られている。すなわち、FACE 区では根の形態や機能の老化が促進される傾向があり、将来地球温暖化が進んだときの環境変化を有効に利用するためには、根の老化を踏まえた対策が必要である。また、全国各地で問題となっている高温障害、とくに登熟期の高温によるイネの登熟不良についても、根の老化を含めた考察が必要であろう。

食味の構造やその測定・評価については研究が進んでいるものの、まだ不明な点も少なくない (Melissa et al. 2008)。今後の水稻の品質・食味に関する研究の展開において、①収量向上との両立を含む登熟の促進、②窒素および微量要素の吸収の調節、③環境ストレスへの耐性の向上という視点から根系に関する研究も必要である。育種および栽培の両側面において理想的根系をデザインするという視点から研究を進めていきたいと考えている (森田・阿部 2010, Gewin 2010)。

引用文献 ● Gewin, V. (2010) An underground revolution. *Nature* 466(7306):552-553. ● 松江勇次 (2008) 水稻における食味の研究および良食味米生産に想う. 農業および園芸 84:967-968. ● Melissa, A. et al. (2008) Not just a grain of rice: the quest for quality. *Trends in Plant Science* 14:133-139. ● 森田茂紀ら (2010) 水稻根系の生理的活性と出液現象. 農業および園芸 85:766-770, 839-846, 931-938. ● 森田茂紀・阿部淳 (2010) 根のデザイン—根型育種の展望. 育種学研究 12(別 2):18.

一般講演

14課題

水稻新品種「つや姫」の食味評価研究

浅野目謙之¹⁾・後藤元²⁾・佐野智義²⁾・中場勝²⁾・錦斗美夫¹⁾・鈴木啓太郎³⁾

(¹⁾ 山形県農業総合研究センター・²⁾山形県農業総合研究センター水田農業試験場・³⁾ (独) 農研機構)

山形県は良食味が特徴の水稻新品種「つや姫」を開発し、2010年からの本格作付け・米の販売が開始され、消費者から好評を得ている。「つや姫」の食味特性調査においては、食味官能試験を中心に理化学的評価、成分分析、物理特性など多面的な解析を進めている。本報においては、「つや姫」の食味特性評価によって得られた研究成果を中心に報告する。

材料と方法

- (1) 食味官能試験 基準品種を「はえぬき」とし、基準値を0として総合、外観、炊飯光沢、香り、味、粘り、硬さの7項目について各-3～+3で比較し、パネリスト20～30名による平均値で示した。
- (2) 炊飯米の白色度 精米10gの少量炊飯を行い、約2時間放冷後、サンプルリングに8gの炊飯米を均一に投入・圧縮して成型し、分光測色計(コニカミノルタ製CM-2500d)により炊飯米の白色度を調査した。
- (3) 炊飯米物性 岡留ら(1996)食科工誌、43(9):1004-1011の手法を参考に炊飯米1粒の押しつぶし強度をテンシプレッサー(タケトモ電機、Myboy System)で測定した。反復は30回で測定を行った。多重圧縮試験は、積算圧縮量を0.1mmとして炊飯米の弾力性を評価した。
- (4) 炊飯米の味成分 CE-TOFMSおよびLC/MS/MSにより水溶性低分子化合物を網羅的に分析した。

結果と考察

食味官能試験において、「つや姫」は「コシヒカリ」より総合評価が高く、特に炊飯光沢、外観、味において評価が高かった(図1)。「つや姫」炊飯米の外観評価においては、分光測色計による白さ測定(SCI条件)を行った。試験に供試した品種・系統は同条件で栽培管理を行ったものであるが、供試した品種中で「つや姫」の白色度が最も優れた(図2)。「つや姫」の炊飯米は他の品種と比較して青の分光反射率が高く、黄の分光反射率との差が小さいため白色度が高まったと考えられた(データ省略)。炊飯米物性の測定結果において、「つや姫」の炊飯米は「コシヒカリ」と比較して、登熟期間の日平均気温(登熟温度)が高い場合においても表層の硬さが維持される傾向にあり、高温登熟条件下においても炊飯米にしっかり感があることが認められた(図3左)。「コシヒカリ」においては、高温登熟条件下では炊飯米表層の硬さは「つや姫」と比較して低くなり、表層がべたつく状態にあることが推察された。全体の硬さや粘りの値は「つや姫」と「コシヒカリ」に大きな差はなく、全体のバランス度も「つや姫」と「コシヒカリ」に差は認められなかった(データ省略)。炊飯米の弾力性を評価した多重圧縮試験の結果、「つや姫」の炊飯米は高温登熟条件下においても高い弾力性が認められたが、「コシヒカリ」の値は低下した(図3右)。この調査結果からも「つや姫」炊飯米の物性の安定性が認められたが、「コシヒカリ」は高温登熟条件下において炊飯米の形状が崩れやすく、軟らかい炊飯米になると考えられた。炊飯米の味成分の解析においては、メタボローム解析を行い、水溶性の低分子化合物(アミノ酸等)の定量を行った。「つや姫」は「コシヒカリ」と比較して炊飯米のグルタミン、グルタミン酸、アスパラギン酸等が多く含まれることが明らかになった(データ省略)。また、主成分分析を行った結果、「つや姫」は「コシヒカリ」と異なるポジションにあることが明らかになった(図4)。

「つや姫」は「コシヒカリ」と比較して炊飯米の白色度が高く、物性の安定性が認められた。また、「つや姫」の炊飯米は呈味性を示すアミノ酸類の含量が「コシヒカリ」と比較して高かった。以上の結果から、「つや姫」の食味特性は「コシヒカリ」と異なることが明らかになった。

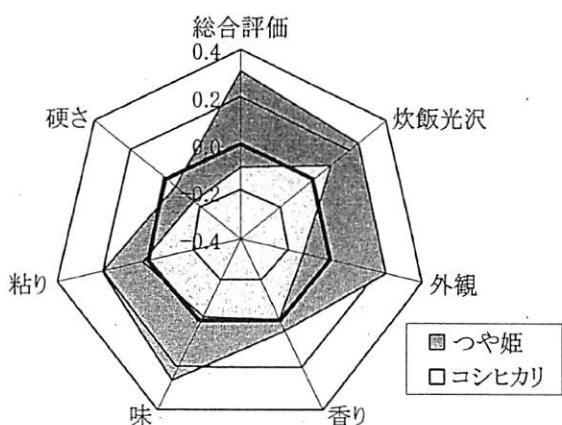


図1 食味官能試験結果(2002~2010年)

注1) 基準品種は、はえぬき

注2) パネラーは山形農総研セ水田農業試験場職員 16~20人

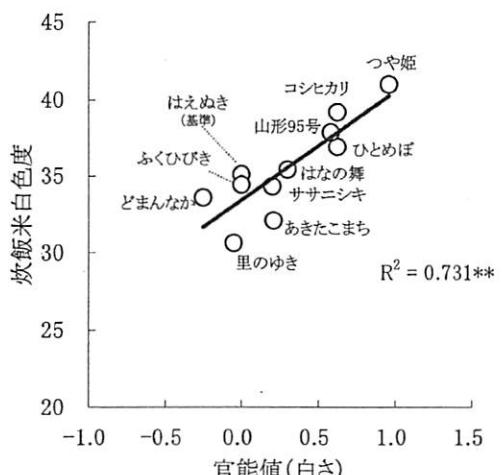


図2 官能値(白さ)と炊飯米白色度との関係

注1) 食味試験の基準米は「はえぬき」を用いた。食味試験のパネラーは山形農総研セ職員 20名。

注2) 供試材料は同じ栽培条件で得られたものである。精米歩合を 90%に調製して供試した。

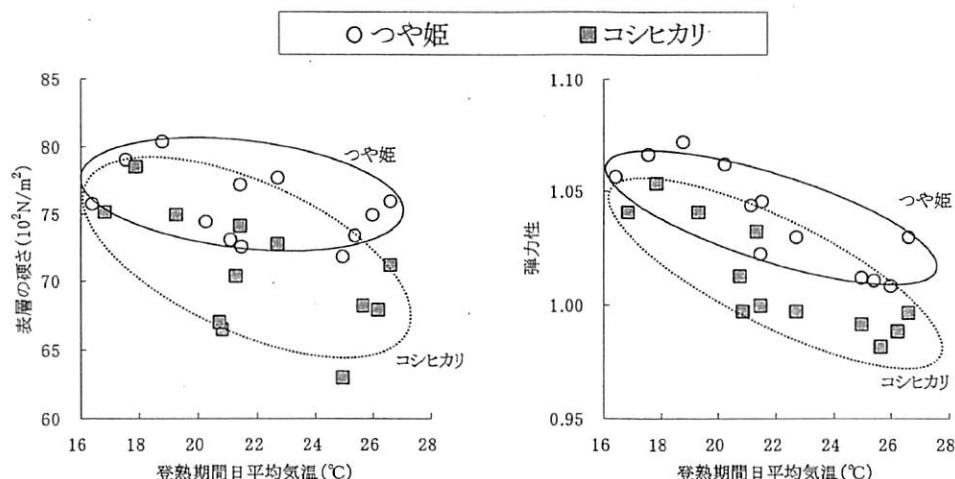


図3 登熟期間日平均気温と炊飯米物性値との関係(2009・2010年、A:炊飯米の表層の硬さ、B:炊飯米の弾力性)

注1) 炊飯米1粒の物性をテンシプレッサー(タケトモ電機 MyBoySystem)で測定し、調査は30反復で行った。

注2) それぞれの物性測定値において、分散分析の結果、品種間に1%水準で有意差が認められた。

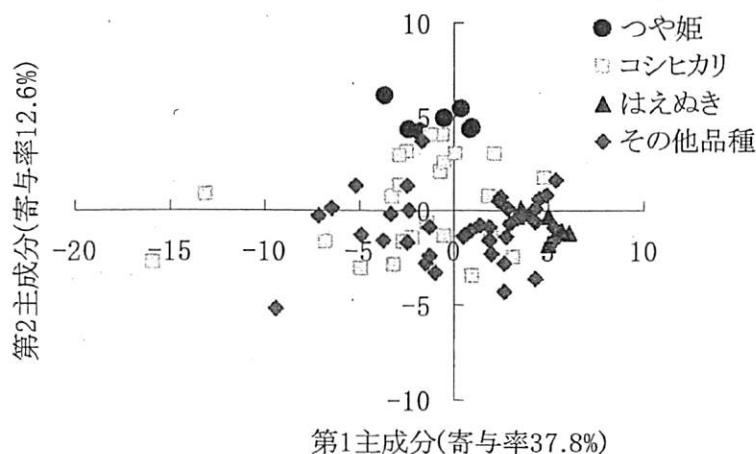


図4 メタボローム解析結果を用いた主成分分析

(一般講演)

「コシヒカリ」を遺伝背景とした良食味の有色素米新品種「富山赤71号」、「富山赤78号」
および「富山黒75号」の育成について

山口 琢也¹⁾・前田 寛明¹⁾・森川 真紀子²⁾・寶田 研³⁾・表野 元保⁴⁾・村田 和優¹⁾・伊山 幸秀¹⁾・
木谷 吉則¹⁾・尾崎 秀宣¹⁾・姥谷 武志¹⁾（¹⁾富山県農林水産総合技術センター、²⁾高岡農林振興セ
ンター、³⁾新川農林振興センター、⁴⁾富山県農産食品課）

Development of novel colored rice cultivars, "Toyama aka-71", "Toyama aka-78"
and "Toyama kuro-75", with genetic background of "Koshihikari"

Takuya YAMAGUCHI¹⁾, Hiroaki MAEDA¹⁾, Makiko MORIKAWA²⁾, Takeshi TAKARADA³⁾,
Motoyasu OMOTENO⁴⁾, Kazumasa MURATA¹⁾, Yukihide IYAMA¹⁾, Yoshinori KIDANI¹⁾,
Hidenobu OZAKI¹⁾, Takeshi EBITANI¹⁾

近年、食生活の多様化や、メタボリック症候群などの生活習慣病等の増加にともない、食を通じた健康維持に対する関心が高まっており、消費者ニーズに対応した食品の開発が求められている。我々は、赤米のタンニン、黒米のアントシアニンがもつ抗酸化性に着目し、健康志向に対応できるイネ品種の開発を取り組んだ。従来の有色素米は、白いご飯に少量混ぜて炊飯する用途が主であり、これまでには食味に着目した品種開発は行われてこなかった。そこで我々は遺伝背景を「コシヒカリ」とすることで有色素米の良食味化が図れると考え、DNAマーカー選抜(MAS)により玄米色の準同質遺伝子系統(NILs)を育成した。

【材料および方法】

1. 玄米が赤色となるためには、RcとRdの2遺伝子が必要である。まず、「Kasalath」を遺伝子供与親とし、「コシヒカリ」を反復親とした戻し交配とMASにより、Rc-NIL及びRd-NILをそれぞれ育成した。これらを交配してRcとRdを集積した「富山赤71号」を育成した。さらに、普及にあたり、圃場における「コシヒカリ」との識別性を付与する目的で、「阿波赤米」を遺伝子供与親とし、「コシヒカリ」を反復親とした戻し交配とMASを行い、赤色のふ先色を有するCAP6(t)-NILの育成を行い、「富山赤71号」との交配により「富山赤78号」を育成した(図1)。
2. 玄米が黒色となるためには、3遺伝子が必要である。「紅血糯」を遺伝子供与親、「コシヒカリ」を反復親として戻し交配およびMASを行い、「富山黒75号」を育成した(図1)。
3. 2010年に、各系統の生産力検定を実施するとともに、食味官能検査を行った。また、「富山赤71号」および「富山黒75号」について、ラピッドビスコアナライザー(RVA)を用いた糊化特性評価を行った。

【結果および考察】

1. 「富山赤71号」、「富山赤78号」および「富山黒75号」の生産力検定結果を表1に示した。「富山赤71号」、「富山赤78号」は、稈長が「コシヒカリ」よりやや長い傾向にあったものの、生育特性に「コシヒカリ」と大きな差異はなく、収量はほぼ同一となった。「紅衣」を対照とした場合の収量は高く、食味についても、全ての項目で、対照を上回った。「富山黒75号」は、生育特性に「コシヒカリ」と大きな差異はないが、粒厚が薄く、1.9mmで篩った場合には、収量が低下した。「おくのむらさき」を対照とした場合の収量性は高く、食味についても、ねばり、光沢および総合値で上回った。

2. 表2に、糊化特性の評価結果を示した。「富山赤71号」および「富山黒75号」のブレークダウン、セットバック値は、ともに対照品種より「コシヒカリ」に近いことから、炊飯米のねばりや、老化速度の指標値からみても、炊飯特性が「コシヒカリ」に近いことがわかった。以上のことから、有色素米であっても、「コシヒカリ」を遺伝背景とすることによって、「コシヒカリ」の炊飯光沢やねばりの特長を取り込んだ品種を育成できることが明らかになった。

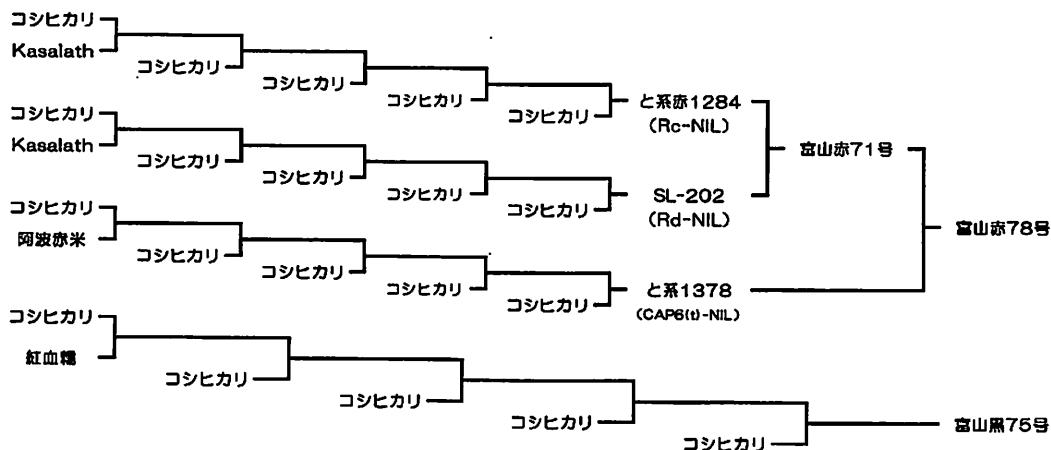


図1. 「富山赤71号」、「富山赤78号」および「富山黒75号」の育成系譜図

表1. 生産力検定結果(2010年)

品種・系統名	出穂期	成熟期	稈長	穗長	穗数	精玄米量				倒伏	玄米蛋白	食味官能値					
						玄米千粒重	粗玄米重					総合	ねばり	かたさ	光沢		
								1.7mm	1.9mm								
富山赤78号	8/1	9/10	94.4	18.3	381	21.8	63.3	62.3	59.8	2.9	6.9	0.32 **	0.16 **	0.23 **	0.40 **		
富山赤71号	8/1	9/10	93.4	18.5	396	22.0	63.4	62.2	59.4	3.0	6.8	0.21	0.06 *	0.22 **	0.36 **		
(比較) コシヒカリ	8/2	9/9	89.8	18.6	369	22.1	63.7	62.9	60.8	2.1	6.7						
(対照) 紅衣	7/21	8/25	76.8	20.1	218	23.6	50.5	47.8	45.2	0.5	7.4	0.03	-0.06	0.00	0.17		
富山黒75号	8/4	9/13	87.0	18.3	379	21.9	59.5	58.1	49.9	2.7	6.8	0.34 *	0.28 *	0.14	0.22 *		
(比較) コシヒカリ	8/2	9/11	86.8	18.4	362	21.9	59.3	58.9	57.4	2.2	6.5						
(対照) おくのむらさき	7/23	9/2	75.6	21.8	248	24.5	50.6	49.7	47.4	0.0	6.9	0.09	0.08	0.03	-0.04		

注1) 千粒重および玄米量は、水分15%に換算して算出した。

注2) 倒伏は、無(0)～甚(5)の6段階評価とした。

注3) 玄米蛋白含量は、グルダール法を用いて測定し、水分15%に換算して算出した。

注4) 食味試験は、95%信頼度で行い、約20名のパネラーを用い、食味基準用に栽培した「紅衣」および「おくのむらさき」の食味官能値を0とし、極不良(-2)～極良(+2)、0.5単位の段階で評価した。

注5) 食味官能値の右側に記載した*および**は、検定において、対照品種と比べた場合に、5%および1%水準で有意差があることを示す。

表2. 糊化特性評価結果(2010年)

品種・系統名	最高粘度	最低粘度	最終粘度	ブレークダウン	セットバック
富山赤71号	299	144	255	155	-45
(対照) 紅衣	259	146	265	113	6
富山黒75号	257	115	214	142	-42
(対照) おくのむらさき	229	125	234	104	6
(比較) コシヒカリ	308	140	245	169	-63

注6) ブレークダウンは炊飯米の粘りの指標であり、大きいと粘りが大きくなる。

ブレークダウン=最高粘度-最低粘度

注7) セットバックは炊飯米の老化の指標のひとつであり、小さいと冷めても硬くなりにくい。

セットバック=最終粘度-最高粘度

平成 22 年産水稻糯品種「わたぼうし」の品質と米菓加工適性

^{1,2} 赤石隆一郎, ² 大坪研一, ¹ 吉井洋一

(1 新潟農総研・食研セ, 2 新潟大院・自然)

1. 背景と目的

新潟県の平成 22 年度水稻作柄は、夏期の登熟期に例年ない長期間の高温気象が襲い、糯米については、平年より餅の硬化性が著しく高くなり、米食品産業において加工や品質に問題が発生した。そこで、新潟県 22 年産糯米のうち「わたぼうし」について杵搗き製法により米菓を試作しその加工適性を調査した。

2. 方法および測定項目

(1) 試料

22 年産「わたぼうし」(長岡産)、比較対照として 21 年産「わたぼうし」(長岡産、下越産、作物研究センター産) および 21 年産「こがねもち」(作物研究センター産) の精米を使用した。

(2) 精米の理化学的性状

タンパク質含量、精米の飽和吸水分、精米のアミログラフを測定した。

(3) 糯米菓製造試験

標準法により調製した餅をステンレス製型枠(4×1.5×65cm)に詰めて餅生地とし、5°C の冷蔵庫で 2 日間冷却硬化させた。硬化後厚さ 2.3mm に切断し、35°C の通風乾燥機中で水分約 25%まで乾燥して一晩「ねかせ」を行った後、水分約 20%まで再度乾燥し、平煎り機により焼き上げた。製品について、アクリル製四角容器に製品を密に詰めた時の 100g当たりの容積を嵩として求め、職員による官能評価を行った。

(4) 餅生地の硬化速度

長さ 50cm の餅生地をフックに吊り下げ写真を撮影し、さらに TENSIPRESSER(タケトモ電機)により以下の条件で切断面への陷入時最高応力を測定した。円柱型プランジャー φ 3 mm, 試料厚 10mm, クリアランス 3 mm, ヘッドスピード 1 mm/sec

(5) 餅生地の比重および気泡含量の推定

餅生地切片の水中における重量から比重を測定し、餅生地中の固形分の密度 1.595 (g/cm³) , 25°Cにおける水の比重を 0.997 として気泡含量を求めた。

(6) 濕粉の平均鎖長

0.2%(w/w)アルカリ浸漬法により澱粉を調製し、試料 1mg を 0.03 M 酢酸緩衝液(pH 4.6), 40°C 条件でイソアミラーゼ (*Pseudomonas sp.*, SIGMA) 1500 Units による枝切り処理を 24 時間行った。反応液を Somogyi-Nelson 法による還元末端測定およびフェノール硫酸法による全糖測定に供し、平均鎖長(グルコース残基数)を算出した。

(7) 見かけのアミロース含量

Julliano のヨード呈色法により測定した。標準品にはポテトアミロース TYPE III (SIGMA) および糯米アミロペクチンを使用した。

3. 結果

22 年産「わたぼうし」は糊化温度が「こがねもち」並に高く硬化性が高いと推定されたが、タンパク質含量および飽和吸水分には大きな差は認められなかった(表 1)。餅生地硬化性について、吊り下げおよび機器測定の両方で特に初期(～24 時間)の硬化速度が速いことが認められた(図 1)。餅生地の水分および気泡含量から、米菓加工時の蒸し・搗き・練り工程適性にはいずれも差がないと考えられたが、焼成した米菓製品の形状が不安定なために比容積が大きくなり、食感も劣った(表 2)。以上の結果より、糯米澱粉の性状が米菓品質不良の要因と推定されたが、澱粉の平均鎖長がやや大きく、ヨード呈色も糯米品種としては強かったものの、硬化性や米菓品質との相関は不明瞭であった(表 3)。

4. 図表等

表1 精米の理化学特性

	タンパク質 含量 (%)	飽和吸水分 (%)	アミログラフ特性	
			糊化温度 (°C)	最高粘度(B.U.)
わたぼうし 22年長岡産	6.8	36.4	68.7	748
わたぼうし 21年長岡産	7.3	35.9	66.2	710
わたぼうし 21年下越産	7.7	35.4	65.7	665
わたぼうし 21年作研産	6.3	37.1	66.0	770
こがねもち 21年作研産	6.3	38.0	68.4	646

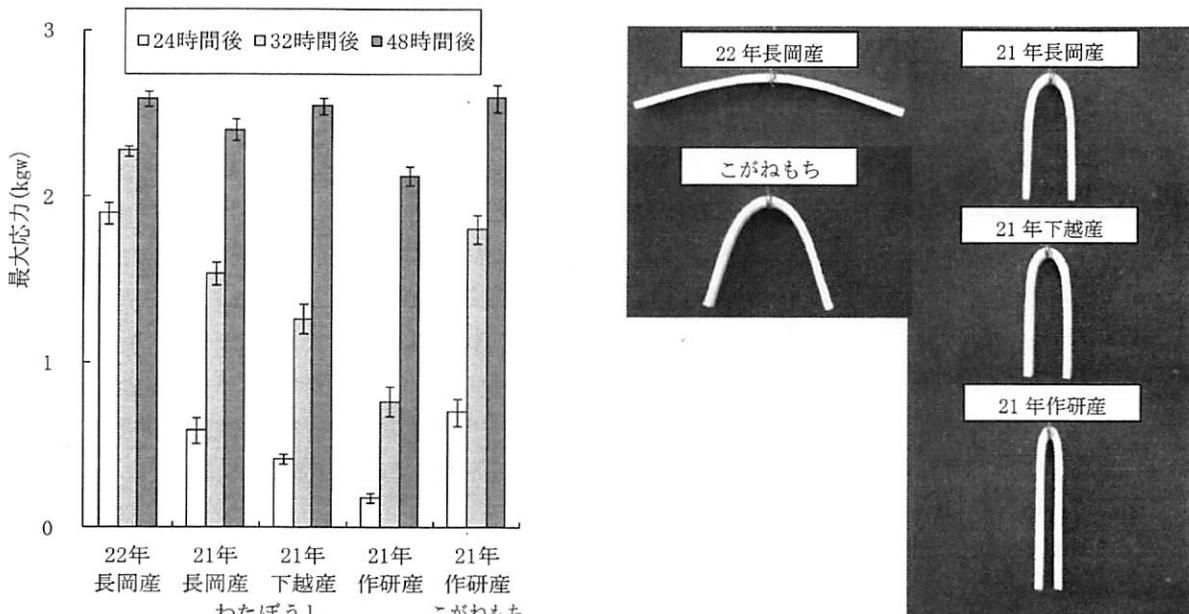


図1 餅生地の硬化性（左：TENSIPRESSERによる 右：冷却24時間後、吊り下げによる）

表2 糯米菓加工適性

	餅生地 水分(%)	生地比重 (g/cm ²)	気泡含量 (ml/100g)	製品評価	
				製品嵩 (ml/100g)	
わたぼうし 22年長岡産	44.3	1.195	3.89	596.5	×
わたぼうし 21年長岡産	44.4	1.193	4.29	577.4	△ 食感やや硬い
わたぼうし 21年下越産	44.1	1.202	3.91	594.8	○ 問題なし
わたぼうし 21年作研産	45.5	1.192	4.06	595.1	○ 問題なし
こがねもち 21年作研産	45.4	1.195	3.93	566.2	○ 問題なし

表3 糯米澱粉の平均鎖長と見かけのアミロース含量

	平均鎖長 (グルコース残基)	アミロース 含量 (%)
わたぼうし 22年長岡産	20.2	2.4
わたぼうし 21年長岡産	19.2	1.5
わたぼうし 21年下越産	20.0	0.0
わたぼうし 21年作研産	18.9	0.3
こがねもち 21年作研産	18.6	0.0

中国における水稻品種の地域試験と生産試験およびその認定について

中国・天津農学院教授 崔晶

要　旨

中国では、1960 年代から国と地方省において農作物品種地域試験が開始され、80 年代には農作物品種認定委員会が設立された。さらに、1996 年からの第 9 次五ヶ年計画の期間中に国家種子プロジェクトが実施されて以来、農作物品種の地域試験と生産試験およびその認定制度が強化されてきた。中国における農作物の育種制度では、選抜から普及までの過程において地域試験と生産試験を実施するとともに品種としての認定審査を受けることが義務づけられている。この制度は、新品種の地域分布を定め、その地域において合理的に生産の拡大と安定化を進めていく上で重要な意味を持っている。品種認定する制度は、認定の定義、認定の内容、新品種として持つべきの多収性、適応性、抵抗性及び品質などに関する基準を包括している。認定する品種に対する評価方法と評判規則も含める。

以下、この制度の概要について紹介する。

一、試験と認定の申請

(一) 試験の申請：育種を行っている研究機関、大学、普及機関、企業および個人などから、独自に選抜してきた育成系統の地域試験と生産試験を地方農作物品種認定委員会に申請することは条件である。申請には、仮の品種名、育成経過、主要な特性と栽培法、育成機関の意見、地方省の種子管理部門の意見などが必要である。地方農作物品種認定委員会で許可されると、認定委員会が指定した場所で試験が実施される。

(二) 認定の申請：以上の地域試験と生産性試験は合格できた育成系統について、育成機関から地方農作物品種認定委員会に育成品種の認定申請を行う。申請書の内容は、地域試験の番号、認定された後の品種名(提案)、親品種、育種目的、育成期間、選抜経過、地域試験の結果、生産試験の結果、特性と特徴、優点と欠点、申請者所属機関の意見、地域試験担当部門の意見、地方省種子管理機関の意見および農作物品種認定委員会の意見などである。

二、地域試験と生産試験

地域試験とは、同じ地域内の条件が異なる場所、すなわち当該地区の土壤的特徴、気候条件、作付け制度、生産水準を代表できる場所で、同一の試験計画と技術水準によって、候補系統の収量性、安定性、各種被害に対する抵抗性、適応性、品質およびその他の重要な形質や特性を正しく評価するとともに新品種の利用価値と栽培適地を明確化するために行う試験である。そのために、地域試験の実施場所、基準品種、圃場設計、栽培管理などの試験方法や調査項目および試験結果の総括報告書の記載内容についての基準が定められている。これらの基準は、国家レベルの品種申請試験、他の品種との比較試験、品種導入試験にも適用される。生産試験とは、地域試験よりも大きい面積で、実際の水田に近い栽培条件のもとで候補系統の収量性、適応性や抵抗性などを検証するために行う試験のことである。

地域試験の場所数は 5~6ヶ所、供試点数は 6~12 であり、13~14m² の 3~4 反復で実施する。生産試験は、反復は設けなくてもよいが試験区の面積は 300 m² 以上でなければならない。通常、地域試験は 2 年間(2 回)、生産試験は 1 年間(1 回)実施しなければいけない。1 年目の地域試験で成績の良くなかった系統は 2 年目の地域試験に進むことは出来ない。2 年目の地域試験に昇進出来的な系統は、同時に同じ場所で 1 年間の生産試験を行う。

三、水稻品種の認定

品種の認定においては、品種の特性特徴、多収性(品種の基準品種より増産する収量表現)、適応性(品種の環境に対する総合的な適応能力)、安定性(品種の年次間に変動程度)、抵抗性(品種の生物と非生物的なストレス抵抗性)、生態的特性や特徴、品質などに対して一定の評価基準に基づいて評価が行われる他、生産技術についても評価される。例えば、新しい品種の収量は基準品種より 5% (ハイブリッドライスは 10%) 以上多くなければならない。品質の基準は国家基準の三等が指標となるが、品質鑑定は国が指定した穀物品質検定

所で行われる。

これらの評価は15～20人の認定委員によって行われる。認定委員は研究機関、大学、種子管理部門、企業の研究部門などの専門家によって構成されている。認定委員は、試験の成績データに基づく評価のほか、地域試験の1年目から年に数回試験場所に出かけて立毛状態での評価も行う。これらの評価を行う場合、認定委員に候補系統名や育成機関名は知らされていない。

四、水稻品種の評価方法

通常、量的と特性的な方法によって、品種を評価しているが、両方の割合について、100点の中、量的な方は70%、特性的な方は30%パーセントを占める。

(一)量的な評価法 水稻品種の種類に基づいて、良質水稻(品質は良質モミの国家基準三級以上)、普通水稻(良質水稻以外の水稻品種)及び畑稻(畑状態で成長できる)の三種類に分けられる。それぞれ、多収性、適応性、抵抗性及び品質について、百点制で採点するが、品種の種類によって、評価する項目の全体に対する占める割合は異なって、70パーセントを占める。

品種種類によって、多収性、適応性、抵抗性及び品質の比率は次の通りである。

良質稻：多収性(25%)、適応性(5%)、抵抗性(20%)及び品質(50%)。

普通稻：多収性(40%)、適応性(10%)、抵抗性(25%)及び品質(25%)。

畑稻：多収性(40%)、適応性(10%)、抵抗性(30%)及び品質(20%)。

(二)特性的な評価 水稻品種の安定性、生育期間及び量的評価ではない病気抵抗性、害虫抵抗性、倒伏抵抗性、耐寒性、耐熱性、耐塩性、生産試験においての表現、種子の繁殖、栽培など量的評価に含まれられない内容で、30パーセントを占める。

評価する項目について、全国的に、水稻品種試験の記載する内容と調査基準、水稻品種試験の主な病害抵抗性検定方法とその基準、水稻品種試験の米質検定方法とその基準及び水稻品種試験の総括内容とその方法などは決まっている。

(三)総合評価 総合評価点数(100)=量的評価点数70%+特性的評価30%。

通常、総合評価で60点以上取れる審査委員の人数は過半数になった品種は、新品種に登録される。いわゆる、特定地域で法的に普及される水稻品種は誕生した。

北海道における良食味低蛋白米の生産技術

丹野 久

(北海道立総合研究機構 中央農業試験場)

Cultivation methods for low protein content and good eating rice in Hokkaido

Hisashi TANNO

北海道は東北以南に比べて冷涼であり、水稻の生育期間が短い。そのため、気象の年次変動が水稻の生育に大きく影響し、例えば4年に1回は冷害が発生すると言われる。その変動は収量だけでなく、食味に関係が深い精米蛋白質含有率(以下、精米は略す)やアミロース含有率にも大きく影響する(図1)。その特徴を見るとアミロース含有率は登熟気温が高い年次には低くなり、年次変動幅が大きい。一方、蛋白質含有率は1993、2003、2009年などの冷害年では不稳発生などにより高くなるとともに、同一年次内でもその幅が大きい(図2)。そのため、販売ロットの品質のバラツキを小さくするため、集荷時に蛋白質含有率および整粒歩合により、5種類に分けるなど大きな労力をかけている(表1)。以上のことから、北海道では蛋白質含有率を低下させるための栽培法が重要視されてきた。本稿では、その概要を紹介する。

1. 施肥量の設定(表2)

水稻栽培地帯を14地帯、20区分に分け、各区分ごと基準収量を過去1999～2008年から冷害年2003年を除いた平均収量を低地土(乾)、低地土(湿)、泥炭土、火山性土、台地土の5土壤型別に算出したところ、420～570kg/10aであった。その基準収量に対応した全量全層施肥による施肥標準量を土壤型別に5.0～9.5kg/10aとした。40℃1週間培養法による可給態窒素量から土壤窒素肥沃土水準を4分類し、それぞれに対応した施肥窒素増減量(+0.5～-1.0kg/10a)を得た。なお、前年秋(9/1～10/31)および当年融雪後(4/11～5/10)の積算降水量と日平均気温10℃以上の日の積算気温からみて、平年よりも土壤が乾燥している場合に、乾土効果に対応した窒素減肥を0～1.5kg/10a行う。

2. 初期生育と精米蛋白質含有率

稻体窒素含有率と蛋白質含有率とは出穂期以降には正の相関関係が見られるが、幼穂形成期には一定の関係が無い(図3)。また、全生育期間の窒素吸収割合は幼穂形成期よりもさらに早い移植1ヶ月後で高いほど蛋白質含有率が低くなる(図4)。以上のことから、蛋白質含有率を低下させるためには、初期生育を促進しできるだけ生育前半に窒素を吸収させることが重要である。

3. 初期生育を促進する技術

初期生育を促進する技術としては、まず健苗の育成することにより移植後の活着をよくする。また、北海道は生育期間が制限されるため、適期内の早植えを励行する。栽植密度は基準を守り、m²当たり中苗で25株以上、成苗で22～25株とする。深植は初期生育を阻害するので、可能な限り浅植えとする。側条施肥を導入することにより、初期の窒素吸収を促進する。なお、側条施肥は全層施肥との組合せにおいて窒素成分で3.0～4.0kg/10a程度とし、施肥総窒素量を0.5kg/10a減ずる(図5)。

移植後の水管理は、夜または早朝入水により保温効果を高める。風の強い地帯では防風施設を設置することにより、水温の上昇を図る(表3)。とくに産米の蛋白質含有率が高い泥炭地向けの技術として浅耕代かきが有効であることも認められている(図6、表4)。

圃場のわらはできるだけ圃場外に出して堆肥とすることが望ましいが、圃場に直接鋤き込むとしても春を避けて秋に行う。また、融雪剤の散布や弾丸暗きよまたはサブソイラーをかけるなど圃場をかわすことでより、土壤窒素の早期有効化を促す。ケイ酸吸収は窒素玄米生産効率を高め蛋白質含有率を低下させるので(図7)、土壤改良材に使ったり、幼穂形成期頃に追肥を行うことが望ましい。

4. その他の基本技術

不稔発生により蛋白質含有率は高まるので(図8)、避けるため幼穂形成期から冷害危険期までの前歴深水とその後の危険期深水を励行する。登熟期間の土壤水分不足は玄米品質を低下させるので、適正な土壤水分を保持するように間断灌漑を行い落水時期に注意する。なお、北海道では幼穂形成期前すなわち6月5半旬から7月1半旬での土壤窒素濃度により、幼穂形成期の追肥が必要か判断できることになっている。しかし、必要ない場合がほとんどであり、とくに止葉期以降の追肥は精米への利用率が高く蛋白質含有率を高めるので止める(図9)。

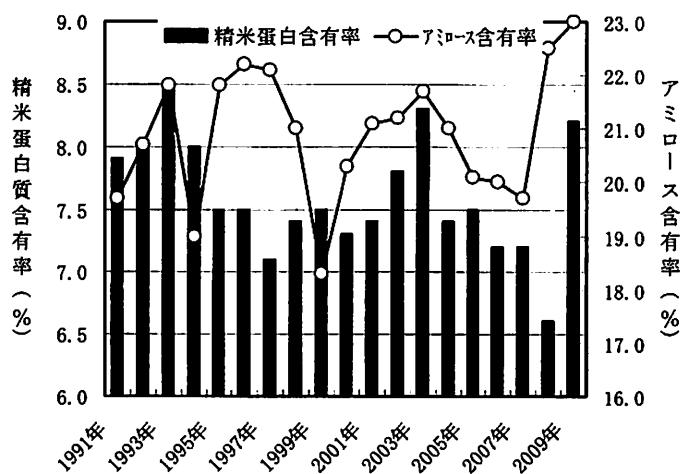


図1 「kirara 397」における精米蛋白質含有率と
アミロース含有率の年次間差異
北海道全域の平均値。北海道米麦改良協会
北海道米食味分析センター分析値による。

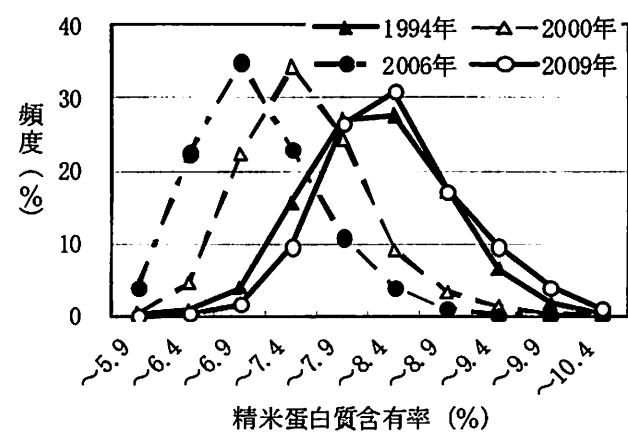


図2 北海道全域における精米蛋白質含有率
の頻度分布
供試品種は「kirara 397」。北海道米麦改良協会
北海道米食味分析センター分析値による。

表1 北海道における仕分け集荷
の品位基準

検査等級	整粒歩合	精米蛋白質含有率		
		低蛋白米	一般米	その他
		6.8%以下	6.9~7.9%	8.0%以上
1等米	80%以上	4次	2次	9次
	79%以下	3次	1次	

「kirara 397」、「ほしのゆめ」、「ななつぼし」の仕分け基準で、とくに「kirara 397」では6.9~8.4%を一般米、8.5%以上を9次とする。「ゆめびりか」と「ふっくりんこ」などでは独自の蛋白質含有率仕分け集荷を実施。北海道のお米(ホクレン農業協同組合連合会2011)による

表2 窒素施肥量の決定

地帯区分	地帯名	1. 地帯別・土壤別基準収量				
		低地土(乾)	低地土(湿)	泥炭土	火山性土	台地土
7A	石狩および空知中南部	540	540	540	510	510
8A	空知中西部および空知北部	570	570	570	540	540
9A	上川中央部	570	570	570	540	540
2. 基準収量に応じた施肥標準量						
基準収量 (kg/10a)		低地土(乾)	低地土(湿)	泥炭土	火山性土	台地土
420		7.0	6.5	5.0	7.5	6.5
480		8.0	7.5	6.0	8.5	7.5
540		9.0	8.5	7.0	9.5	8.5
3. 土壤窒素肥沃度水準による窒素施肥対応						
地帯区分		施肥標準に対する施肥窒素増減量 (kg/10a)				
7A	石狩および空知中南部	-0.5	0	-0.5	-1.0	
	低地土(乾)	~10.0	~15.0	~17.0	17.0~	
	低地土(湿)	~8.5	~17.5	~20.5	20.5~	
	泥炭土	~6.0	~13.5	~16.0	16.0~	
	火山性土	~9.5	~13.0	~15.5	15.5~	
	台地土	~6.0	~13.5	~16.0	16.0~	

1. 地帯別・土壤別基準収量および3. 土壤窒素肥沃度水準による窒素施肥対応、は14地帯20区分のうちそれぞれ3、1区分を、2. 基準収量に応じた施肥標準量については390~570kg/10aの30kg/10aごとに7水準のうち3水準を例に示した。北海道施肥ガイド2010(北海道農政部2010)による。

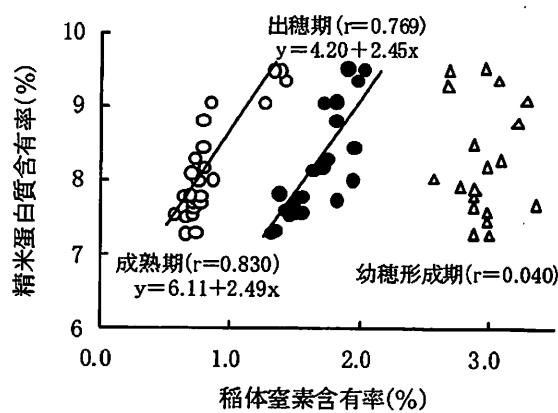


図3 生育時期別稻体窒素含有率と精米蛋白質含有率との関係

北海道立中央農業試験場(1997)による。

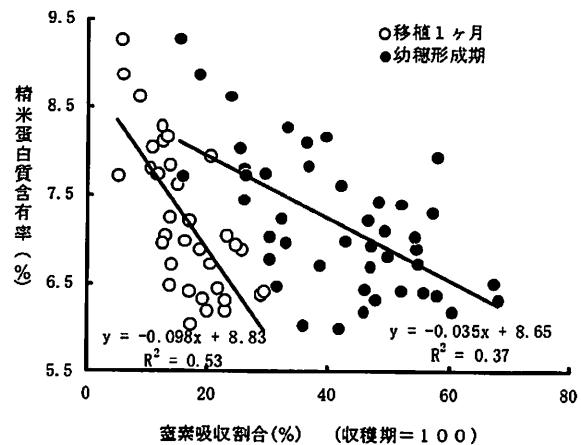


図4 生育初期における窒素吸収割合と精米蛋白質含有率の関係

2000年南空知現地調査、北海道立中央農業試験場(未発表)。

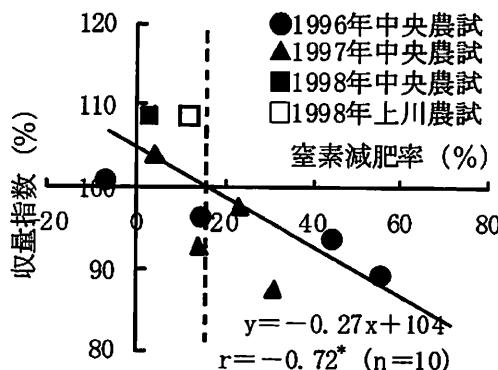


図5 全量側条施肥による窒素減肥が収量および精米蛋白含有率に及ぼす影響
(全層施肥に対比した場合)

北海道立中央農業試験場・上川農業試験場(2000)による。

表4 泥炭土における浅耕代かき栽培が初期生育、窒素吸収量、精玄米重および蛋白質含有率に及ぼす影響

年次	耕起処理	幼穂形成期		成熟期		精玄米重	同重量比	精米蛋白質含有率
		茎数	窒素吸収量	茎数	窒素吸収量			
2001	慣行	551	2.2	11.2	455	100	7.9	
	浅耕1年	539	2.8	9.7	418	92	7.2	
2002	慣行	663	2.7	11.5	461	100	8.4	
	浅耕1年	807	2.9	11.1	467	101	8.2	
	浅耕2年	794	3.3	10.5	446	97	7.7	
	浅耕3年	673	3.3	10.5	463	101	7.6	

表3 防風処理が初期生育および収量、精米蛋白質含有率に及ぼす影響

形質	きらら397		ほしのゆめ	
	処理	無処理	処理	無処理
初期生育 ^{*1} (本/m ²)	643	532	622	585
窒素吸収量 ^{*2} (kg/10a)	3.9	3.1	3.7	3.0
収量(kg/10a)	536	521	557	513
窒素玄米生産効率	46	39	45	38
精米蛋白含有率(%)	7.6	8.4	7.5	8.3

*1: 幼穂形成期の茎数、*2: 幼穂形成期まで、1997~2000年の4ヶ年の平均値。北海道立中央農業試験場・上川農業試験場(2001)による。

全量全層または全層と側条施肥の併用による施肥処理区の平均。北海道立中央農業試験場・上川農業試験場(2004)による。

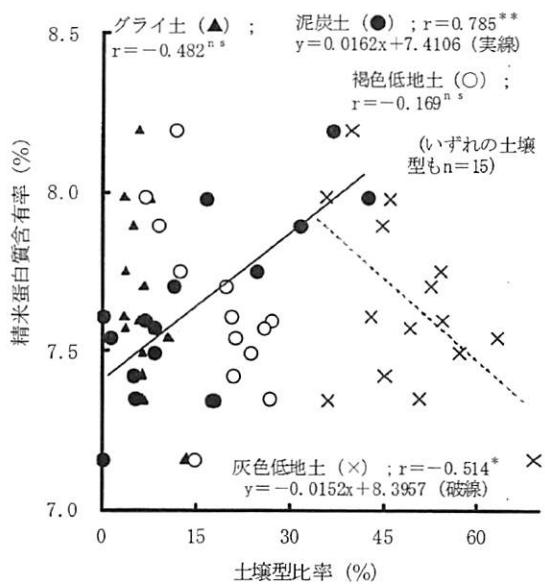


図6 各地域における土壤型比率と精米蛋白質含有率との関係。

丹野(2010)による。

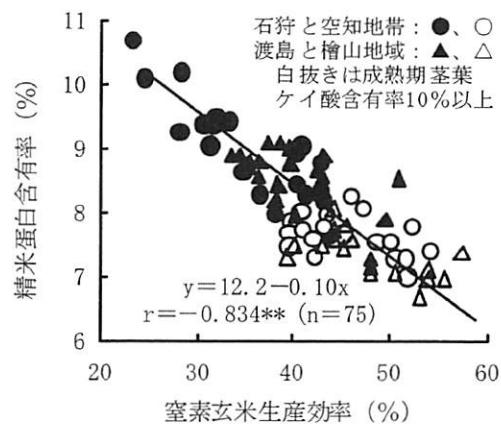


図7 精米蛋白質含有率と窒素玄米生産効率との関係

北海道中央部と南部地域、1992年。

北海道立中央農業試験場(1995)による。

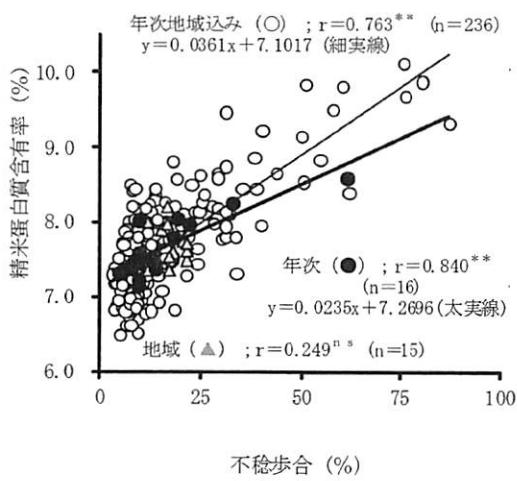


図8 不稳歩合と精米蛋白質含有率との関係。丹野(2010)による。

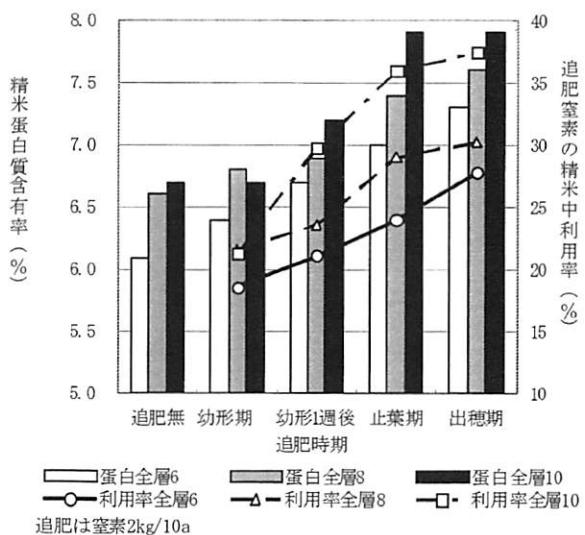


図9 追肥時期別の精米中の追肥窒素利用率と精米蛋白質含有率
全層6:全層施肥窒素成分で6kg/10a。北海道立上川農業試験場・中央農業試験場(1996年)による。

(一般講演1)

田植機を用いた深植弱深水栽培の効果の検証

(千葉雅大¹⁾・寺尾富夫¹⁾・渡邊肇²⁾)

(¹⁾中央農業総合研究センター、²⁾新潟大学)

The effects of mild deep water irrigation on the rice transplanted deeply by using transplanting machine.

Masahiro CHIBA¹⁾, Tomio TERAO¹⁾, Hajime WATANABE²⁾

千葉ら(2011)は、植付深6cmで深植した水稻を、活着期から最高分げつ期まで水深10cmの弱深水処理すると、過剰分げつの発生が抑えられ、収量が低下することなく、白未熟粒の発生が抑制されることを明らかにした。この栽培法は、米粒の外観品質を高める水深が大きい深水栽培が行えない、畦畔が高い圃場でも適用可能である。しかし、市販されている田植機は、最大植付深が5cmとなっている機種が多く、機械移植では一般的に稚苗が用いられる。そこで、稚苗を田植機で深植して弱深水処理を行い、手で深植した場合と同様な効果が得られるか検証した。

【材料および方法】

コシヒカリを供試し、慣行の植付深で慣行の水管理を行う慣行区と、深植して活着期から最高分げつ期に弱深水処理を行う深植弱深水区を設け、2反復で試験を実施した。2009年と2010年の5月21日に、稚苗を18.5株/m²で機械移植した。植付深は、慣行3cm、深植5cmを目標とし、移植の翌日に植付深を測定した。また、弱深水処理は、2009年は6月1日～7月8日、2010年は6月4日～7月7日に水深10cmで管理した(第1図)。

深植弱深水栽培が水稻の生育に及ぼす影響を明らかにするために、両区の茎数の推移を測定した。反復ごとに12株をサンプリングし、粒厚1.8mm以上の玄米について、穀粒判別機(静岡製機 ES-1000)を用いて外観を調査し、乳白粒、腹白粒、基部未熟粒の合計を白未熟粒とした。また、収穫後に、収量および収量構成要素を調査した。

【結果および考察】

1. 2009年の植付深は、慣行3.14cm、深植4.80cmと設計通りの植付深となった(第1表)。一方、2010年の植付深は、慣行、深植ともに目標より1cm程度浅くなった。また、移植苗は目標通り葉齢3強の、稚苗であった。
2. 深植弱深水区は、慣行区に比べて、茎数の増加が抑制されて、最高茎数が少なくなった。また、深植弱深水区では、退化する分げつが少なく、有効茎歩合が高くなかった(第2図)。
3. 慣行区と深植弱深水区の収量は、同程度であった(第2表)。また、深植弱深水区では、穗数が減少し、逆に一穂粒数が増加した。穗数の減少と一穂粒数の増加が釣り合い、深植弱深水区の粒数は慣行と同程度であった。
4. 慣行区に比べて、深植弱深水区の白未熟粒割合は減少する傾向が認められた(第3図)。

深植弱深水区では、過剰分げつの発生が抑制されて、穗数が減少して一穂粒数が抑制されていることから、機械移植でも手植と同様の生育制御の効果があると考えられる。また、田植機を使用しても、深植弱深水栽培は、白未熟粒の発生を抑制し、収量が低下しなかった。以上から、田植機を用いた、深植弱深水栽培は、米粒の品質向上させる技術として有効であると考えられる。

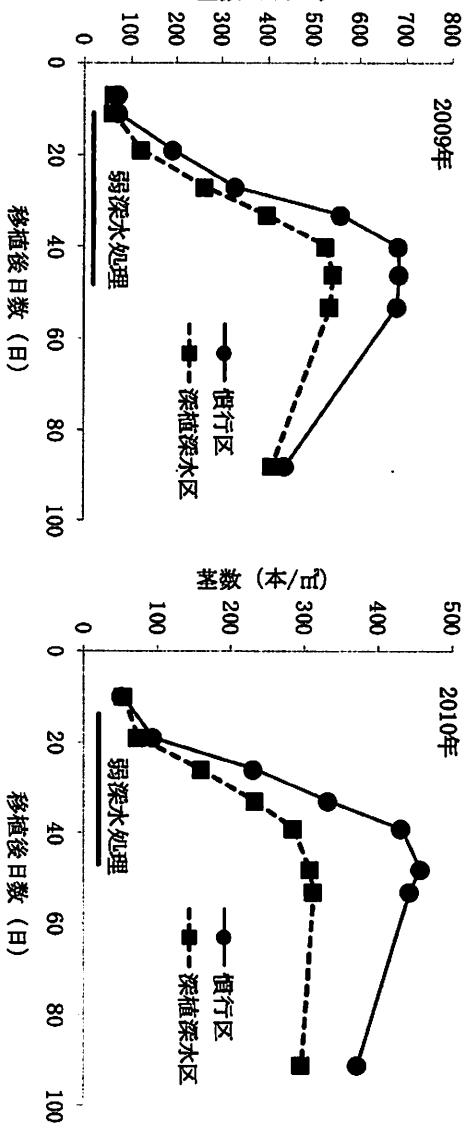
慣行



第1図 水管理の模式図

第1表 田植機による植付深と移植苗の葉齡

	植付深 (cm)	葉齡
2009年	3.14	2.05
2010年	3.06	3.26

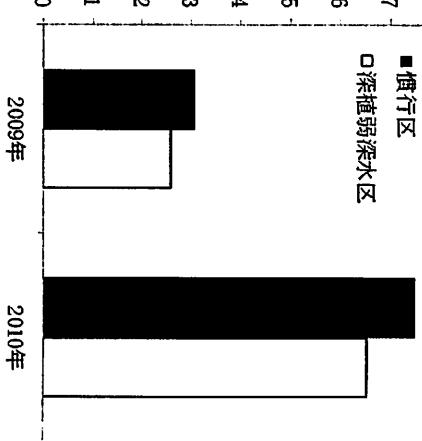


第2図 深植弱深水栽培が茎数の推移に及ぼす影響

第2表 収量と収量構成要素

慣行区	収量				8 7 6 5 4 3 2 1 0	■ 慣行区 □ 深植弱深水区	
	(kg/10a)	(本/m ²)	(粒)	(%)	(100粒/m ²)		
慣行区	532	376	79.8	82.4	21.6	298	■ 慣行区
深植弱深水	519	318	96.9	79.0	21.7	303	□ 深植弱深水区
深植弱深水区 /慣行区	97.6	84.4	121.3	95.8	100.1	101.8	

第3図 深植弱深水栽培が白未熟粒の発生に及ぼす影響



(一般講演1)

水稻玄米の粒厚と外観品質が米飯の食味と理化学的特性に及ぼす影響

石突裕樹¹⁾²⁾・松江勇次³⁾・尾形武文⁴⁾・齊藤邦行¹⁾

(¹⁾岡大院自然、²⁾(株)サタケ、³⁾九大院農学研究院、⁴⁾福岡農総試)

Effect of thickness and appearance quality of brown rice on palatability and physicochemical properties of cooked rice growing under shading and high-temperature treatments

Hiroki ISHIZUKI¹⁾²⁾, Yuji MATSUE³⁾, Takefumi OGATA⁴⁾, Kuniyuki SAITO¹⁾

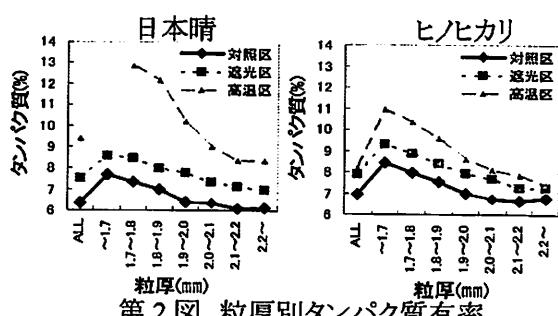
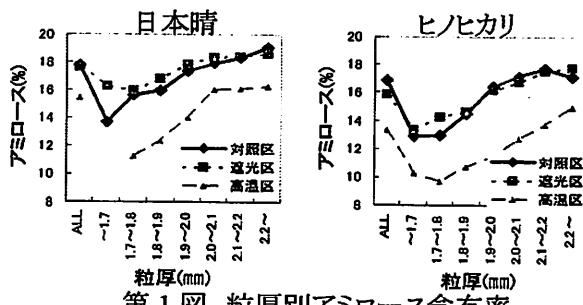
農家や米加工施設においては粒厚選別により米を高付加価値化して出荷している。本報告では、水稻玄米の粒厚と外観品質が米飯の食味と理化学的特性に及ぼす影響を評価した。

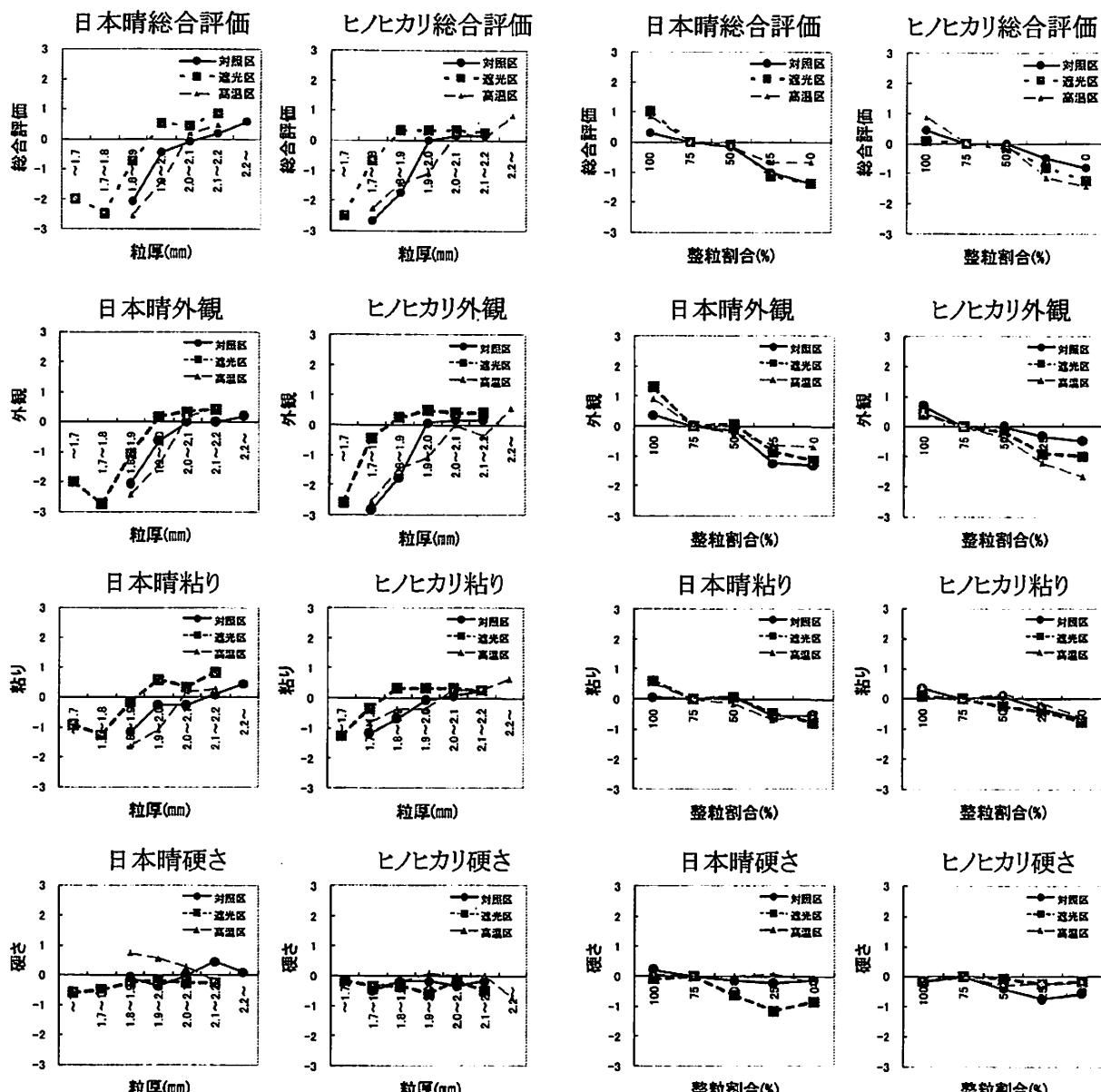
【材料と方法】2009年に水稻品種日本晴、ヒノヒカリを供試し、岡山大学山陽圏フィールド科学センター内水田圃場にて、各品種につき、対照区、遮光区、高温区の3試験区を設け、適期に収穫して乾燥後、脱穀・糊摺・粒厚選別（条件：1.7～2.2mm網、0.1mm刻み）し、粒厚別供試玄米とした。供試玄米を穀粒判別器（サタケ製RGQI20型）で、外観品位項目別に選別し、整粒と白未熟粒（乳白粒、基部未熟粒、腹背白未熟粒）を混合（条件：整粒割合100～0%，25%刻み）し、白未熟粒混入割合別供試玄米とした。粒厚別供試玄米及び白未熟粒混入割合別供試玄米を福岡県農業総合試験場にて、食味官能検査、タンパク質含有率、アミロース含有率、テクスチャー特性、アミログラム特性を測定した。

【結果と考察】食味官能検査の総合評価、外観、粘り(第3, 4図)では、両品種ともに粒厚が小さくなるほど低下する傾向が認められ、同様に白未熟粒の混入割合が増すほど低下する傾向が認められた。両品種ともに粒厚が小さくなるほど整粒の割合が低下(白未熟粒の割合が増加)して総合評価が低下する傾向が認められた。化学分析値においては、粒厚が小さくなるほどタンパク質含有率は増加し、逆にアミロース含有率は低下した(第1, 2図)。アミログラム特性においては、最高粘度及びブレークダウンは粒厚が小さくなるほど低下した(第5, 6図)。外観品質、炊飯米の食味、物性値とともに粒厚と密接な相関関係がみられた。これは白未熟と食味に負の直線関係があることに起因すると考えられた。

【まとめ】両品種ともに粒厚が小さくなるほど、食味の低下がみられた。同様に粒厚が小さくなるほど、穀粒判別器による整粒歩合の低下、アミロース含有率の低下、タンパク質含有率の増加、最高粘度及びブレークダウンの低下が明らかになったが、この程度は対照区よりも遮光区、さらに高温区でより顕著となった。すなわち、遮光や高温により粒厚が小さくなるほど食味値が低下することは、白未熟及び死米の混入率がより大きくなることに起因していると推察された。以上より、粒厚選別機を用いて、積極的な品質管理を行える可能性が示唆されたことから、今後は粒厚選別機（篩目）と光選別機による選別が検査等級（整粒歩合）におよぼす影響について検討を行いたい。

【本研究は日本作物学会第232回講演会で発表した】



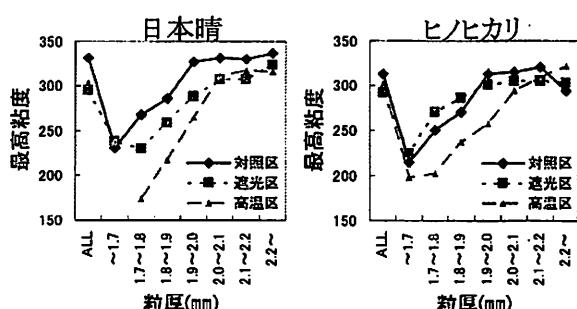


注)各項目別の玄米粒厚 1.8 mm以上を基準米とした.

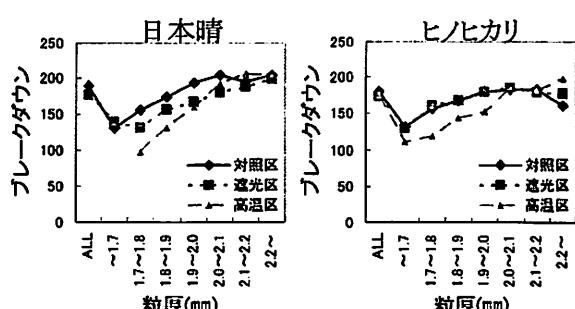
第3図 粒厚別食味官能評価.

注)各項目別の整粒割合 75%を基準米とした.

第4図 白未熟粒混入割合別食味官能評価.



第5図 粒厚別最高粘度.



第6図 粒厚別ブレークダウン.

(一般講演)

登熟期の高温が種子の遺伝子発現、登熟代謝、米の品質に及ぼす影響

山川 博幹・羽方 誠

(中央農業総合研究センター 北陸研究センター)

Effect of high temperature during ripening on grain filling-related metabolism and grain quality of rice.

Hiromoto YAMAKAWA, Makoto HAKATA

イネは登熟期に高温に曝されると、胚乳デンプンの蓄積が阻害され、乳白粒の発生や粒重の低下を引き起こし、玄米品質が低下する。一方、高温はデンプンを構成するアミロペクチンの側鎖を伸長し、炊飯米、特に冷飯の硬化を早めて、食味低下を引き起こす(図 1)。これらはそれぞれ、生産者、加工・消費者にとって問題となっており、高温登熟に強いイネの開発が望まれている。我々は高温登熟耐性イネの開発を目的として、高温登熟時における種子登熟代謝を解析し、どのような遺伝子の改変が有効であるかを検討した。

インキュベーターを用いて再現性のよい高温登熟システムを構築した。本システムは、通常圃場の高温条件で生じる乳白粒の発生、粒重の低下、アミロース含量の低下、アミロペクチン側鎖の伸長をすべて再現でき、季節や場所に関わらず 4 ヶ月で 1 サイクルの実験が可能である。本システムを用いて、登熟途中穎花についてマイクロアレイを用いたトランスクリプトーム解析(遺伝子発現網羅解析)およびキャピラリー電気泳動-質量分析計(CE-MS)を用いたメタボローム解析(一次代謝物質の網羅的定量)を行い、イネゲノム情報に基づいて各代謝物質量を関連代謝酵素遺伝子発現と関連づけることによって、高温登熟代謝アトラスを作成した(概略、図 2)。乳白粒発生の原因となるデンプン蓄積阻害は、穎花へ流入するスクロースの胚乳細胞内への取り込みおよび代謝の阻害、デンプン合成の阻害、デンプン分解の促進、チトクローム呼吸鎖阻害による ATP 合成の低下によって生じることが示唆された。高温によって発現が影響をうける遺伝子には、乳白粒変異を引き起こす遺伝子(アミロース合成酵素 GBSSI、アミロペクチン側鎖付加酵素 BEIIb、糖代謝酵素 PPDKB、デンプン分解酵素 α -amylase)も含まれ、これらの遺伝子の発現変化が高温による乳白粒発生に関与していると考えられた。

一方、米飯の硬化に関しては、アミロペクチンに短い側鎖を付加するデンプン分枝酵素の遺伝子 BEIIb の発現低下がその主要因と考えられた。高温登熟によるアミロペクチンの鎖長分布の変化は、BEIIb 遺伝子変異による変化と類似している。高温による BEIIb の発現および活性の低下が、長い側鎖に富むアミロペクチンを生じ、デンプンを硬化しやすいものにしていると推察された(図 3)。

引用文献

- 山川博幹・羽方誠 (2011) 農業および園芸 86: 562-569 – 総説
Yamakawa *et al.* (2007) *Plant Physiol.* 144: 258-277 – マイクロアレイ、デンプン
Yamakawa *et al.* (2008) *Breeding Sci.* 58: 337-343 – QTL 比較情報
Yamakawa and Hakata (2010) *Plant Cell Physiol.* 51: 795-809 – メタボローム

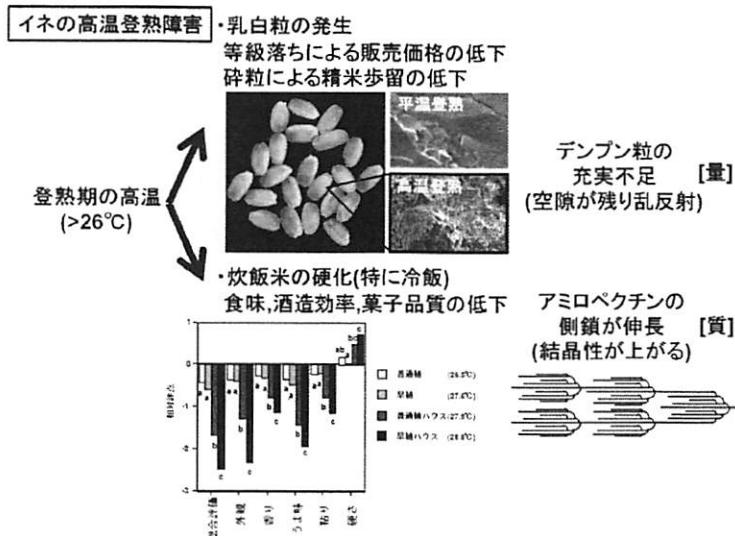


図1 イネの高温登熟障害

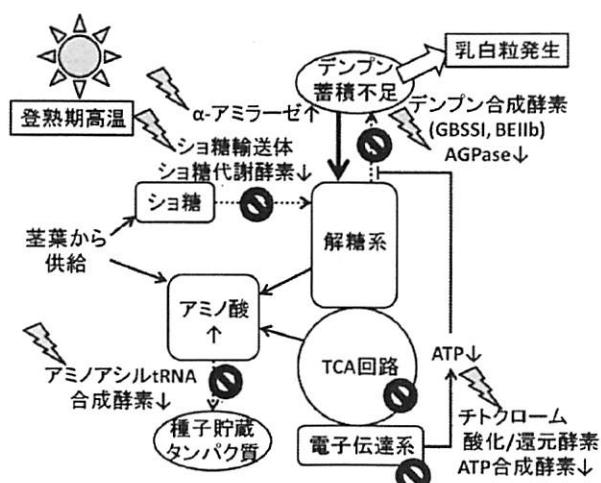


図2 高温が種子登熟代謝に及ぼす影響

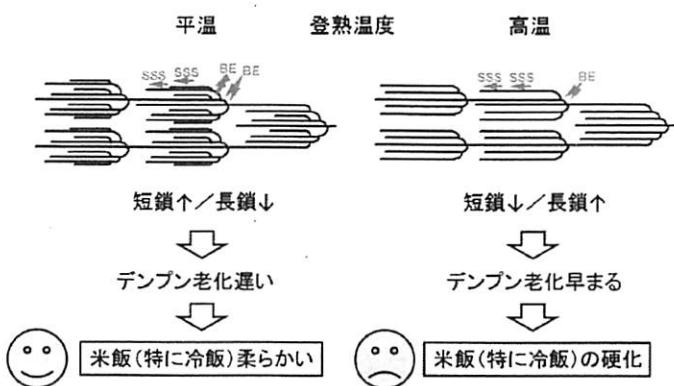


図3 登熟温度とアミロペクチン構造および米飯物性の関係

(一般講演)

高温登熟耐性に関する遺伝的要因と品種育成

小林 麻子・林 猛・富田 桂

(福井県農業試験場)

Breeding and genetics of heat-induced quality decline of rice.

Asako KOBAYASHI, Takeshi HAYASHI and Katsura TOMITA

2010年夏の猛暑は記憶に新しいところで、水稻の1等米比率の全国平均は対前年23.5ポイント減の61.7%（2011年1月31日現在）に低下した。今後、気象変動の振れ幅を大きくしながら温暖化が進むことが予想されており、高温登熟耐性の改良は日本の水稻育種にとって喫緊の重要課題である。

【北陸地域の高温登熟研究と品種育成】

北陸地域の登熟期間は全国でも最も高温であり、必然的に高温に強い遺伝子型が選抜されてきたことから、北陸地域の品種には高温登熟耐性が高いものが多い（西村ら 2000）とされている。しかし、近年の極端な高温化に対して、北陸地域でも一等米比率の変動が大きくなり高温登熟との関連が示唆された。そこで、2002～2004年、北陸センターを中心に北陸地域の育種研究機関の間で高温登熟耐性に関する共通の基準品種を選定するための連絡試験が行われた。また基準品種の選定と並行して、高温登熟耐性に関する選抜を取り入れた品種育成が行われてきた。その結果、高温登熟耐性をもつ品種として、こしいぶき（2001年、新潟県）、てんたかく（2003年、富山県）、ゆめみづほ（2003年、石川県）、てんこもり（2007年、富山県）、あきさかり（2008年、福井県）等が育成された。さらに、2007年には北陸地域での高温障害に関する取り組みをまとめた「高温障害に強いイネ」が出版されるなど、北陸地域は高温登熟研究の先進地域であるといえる。

【高温登熟耐性に関する遺伝解析】

1. 遺伝解析集団の親品種と解析対象形質の選定

一般にインド型品種と日本型品種との間では遺伝的多型が得られやすく、連鎖地図の作成には有利である。しかし日印交雑を利用した解析集団においては、出穂期や粒形、*wx*座に支配されるアミロース含有率など玄米外観品質に影響を及ぼす形質が大きく分離し、白未熟粒の発生との関係が強く示唆されることがある。

従って出穂期や粒形、粒大の変異がより小さい日本型品種による解析集団を用いることにより、日本型水稻の育種に有用な QTL が得られると考え、本研究では、ハナエチゼンと新潟早生を遺伝解析材料の両親に選定した。ハナエチゼンと新潟早生はいずれも早生品種であるが、玄米外観品質、特に背白粒発生に関してについて明確な品種間差がある。高温によって生じる障害は不稔、収量や食味の低下、玄米の充実不足、白未熟粒発生などさまざまであるが、本研究では、そのうち高温登熟によって直接的に発生するとされている背白粒のみに注目して遺伝解析を行った。

2. 材料と方法

ハナエチゼンと新潟早生の交雑後代、 F_2 （2003年、180個体）、 F_2 集団から由来する F_3 （2004年、180系統）、 F_3 個体から由来する組換え自殖系統（RIL）（2006年、2008年および2009年、180系統）を圃場と高温検定ハウスで栽培し、玄米の背白粒発生率に関するQTL解析を行った。

3. 結果

F_2 、 F_3 、RILの全ての集団において、第6染色体短腕に作用力の大きいQTLを検出した（図1）。このQTLはハナエチゼンの対立遺伝子が背白粒発生率を減少させるもので、*qWB6*と命名した。なお、RILでは第9染色体に新潟早生の対立遺伝子が背白粒発生率を減少させるQTLが検出された。

次に、ハナエチゼンまたは新潟早生の遺伝的背景に*qWB6*領域を導入した準同質遺伝子系統（NIL）を作成し、高温登熟耐性を評価した。その結果、*qWB6*領域を導入した新潟早生NILでは、背白粒発生率がハナエチゼン並みに低下し、*qWB6*の作用力を明らかにすることができた。なお、*qWB6*の候補領域は現在約420kbに絞り込まれている（図2）。

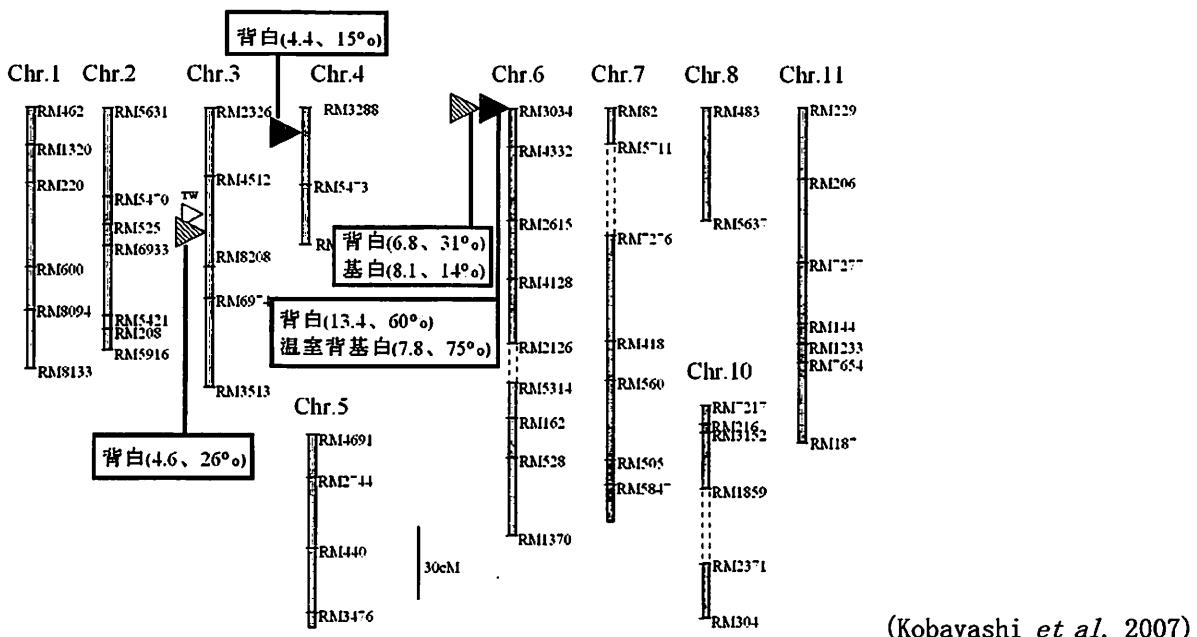


図1 背白粒および基白粒発生率に関して F_2 、 F_3 集団で検出されたQTL (LOD値、寄与率)

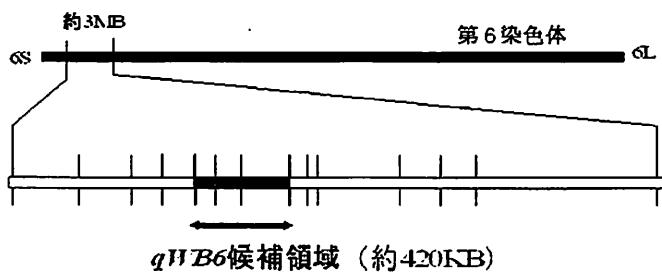


図2 ハナエチゼンの高温登熟耐性QTL (*qWB6*) が座乗する候補領域

(一般講演)

玄米の白未熟粒発生予測器の開発

森田 敏・江原 崇光

(九州沖縄農業研究センター, (株)ケット科学研究所)

Development of Rice Chalky Grain Predictor

Satoshi MORITA, Takamitsu EHARA

昨年、日本列島を襲った記録的猛暑は、西日本を中心に、南は九州から北は北海道の一部まで、全国的な玄米品質低下をもたらした。品質低下の主な原因は白未熟粒の大量発生であった(群馬県の一等米比率 2.9%を筆頭に、本研究会会場でもある新潟県でも一等米比率が 20.3%であった)。

ここ数年、水稻の高温登熟障害によって、白未熟粒はもとより、胴割れ粒や、充実不足粒の増加といった玄米の外観品質低下が問題となっている。このような状況下で、(株)ケット科学研究所社と(独)農研機構九州沖縄農業研究センターは、「白未熟粒発生予測器 RN-850(図 1)」(特願 2010-291563)を開発したので、ここに紹介する。

【開発経緯】

2007 年の九州南部の早期水稻(主にコシヒカリ)栽培地域では、7 月前半の極端な日照不足とその直後の台風に伴う高温乾燥風(フェーン)によって白未熟粒(主に乳心白粒)が大量発生した。水稻の場合、自然災害等の減収被害は収穫前にその被害を申告し、立毛状態での調査を受けることによって、農業共済組合等から補償を受けられる。ところが、この年の水稻は、倒伏もせず、稻体の外観にも目立った異常が見受けられなかったことから、農家・普及指導機関は収穫・糾摺りをするまで被害の発生に気付かなかつた。当然殆どの農家が事前に被害申告を行わなかつたため、被害補償を受けられないという事態が発生し、結果的に農家に大きな経済的被害を与えることになった。

この問題を受けて農水省実用技術開発事業では、乳白粒の発生低減技術とともに収穫前の発生予測技術の革新に向けた共同研究が開始された(九州沖縄農業研究センター・宮崎県総合農業試験場・鹿児島県農業開発総合センター・愛媛大学)。実施期間は 2008~2010 年で、乳白粒発生の再現試験、発生予測手法の開発、発生メカニズムの解明、発生軽減法開発が進められた。ここで得られた成果の一つが「白未熟粒発生予測器」の開発に繋がった。

【測定原理・機器の構成・特長】

玄米のデンプン蓄積(透明化)は、胚乳中心から周辺に向かって順次進み、登熟途中のデンプン蓄積阻害が白濁として記録されて乳心白粒になる(長戸・小林 1959, 長戸・江幡 1965)。2007 年の南九州産早期水稻の場合も、玄米断面上の乳白リングの位置(胚乳中心からの距離)が台風害を受けた出穗後日数と密接な関係にあることが画像解析によって明らかにされている(森田ら, 2008)。前述した実用開発事業では、これらの知見に基づいて、登熟途中でも玄米横断面の中心部に白濁があり(リング状の白濁も含む)、その外側(表皮側)が透明化していれば、その白濁部は収穫時まで透明化せずに白濁として残ることになり、乳心白粒になる粒として予測できると考えた(森田, 2011)。そこで、鹿児島県農業総合開発センターの遮光試験で採取された玄米を供試し、収穫前約 10 日の玄米横断面から乳心白粒を判定した結果、収穫期の穀粒判別器による乳白粒歩合(約 30%)とほぼ一致し、本手法の有効性を検証すること

ができた。なお、穀粒判別器で収穫前約10日の玄米の乳白粒歩合を測定すると、収穫期の値とは大きく異なる値(約15%)となった。このような原理・研究成果を応用し、(株)ケット科学研究所で当該装置を開発した。

装置は、100粒の玄米を一度に切断する切断器、切断した玄米の横断面を撮像するスキャナ、撮像画像を解析するPCで構成される。測定結果は、画面上に撮像した画像と、整粒・乳心白粒・対象外粒数及びその割合を表示する(図2)。また、1粒1粒をイメージ画像として色分けすることも可能である(図3)。

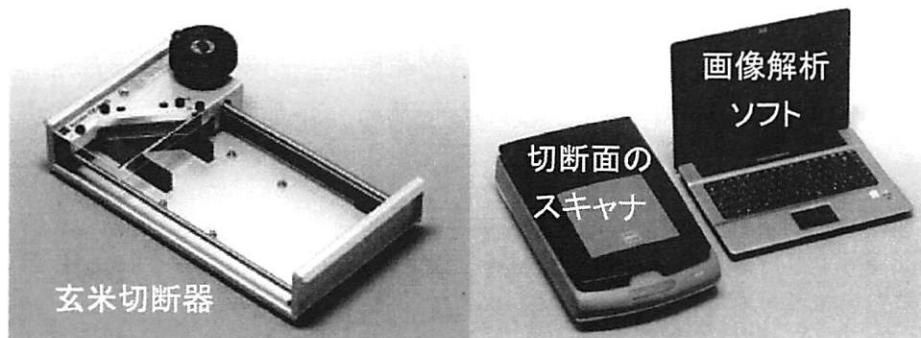


図1 「白未熟粒発生予測器RN-850」

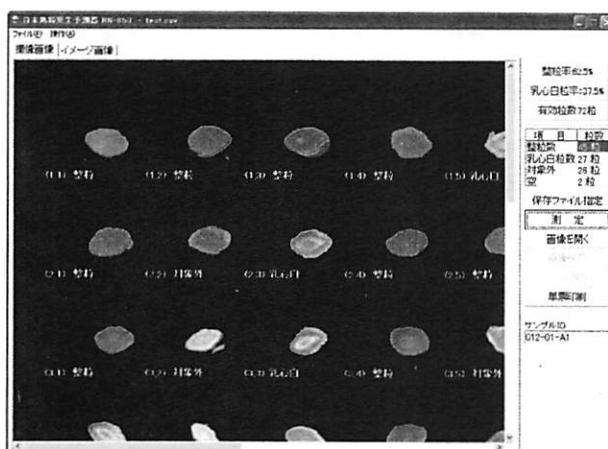


図2 RN-850による玄米横断面の撮像・判定結果
【おわりに】

本器で予測できる未熟粒の種類は今のところ乳心白粒である。昨年高温登熟障害で問題となった背白粒・腹白粒の予測についても可能となるよう、現在検討を進めている。最終的には収穫した生穀のまま切断し、計測可能となるよう、研究を続けていきたい。

なお、各圃場の玄米サンプルを本器で測定する前に、気象予報情報と出穂前の生育情報を用いたシミュレーションモデル等で地域としての被害を事前に把握し、2段構えで予測することが効果的であろう。

水稻の高温障害対策のように現場からの要望が強く緊急性の高い問題に対しては、今後も産学官が連携して、それぞれの得意分野を活かすことでスピード感のある研究開発を進めていく必要があると考える。

【引用文献】

- 長戸一雄・小林喜男 (1959) 日作紀 27:204-206.
- 長戸一雄・江幡守衛 (1965) 日作紀 34:59-66.
- 森田敏ら (2008) 日作紀 77(別2):206-207.
- 森田敏 (2011) イネの高温障害と対策技術. 農文協. 1-143.

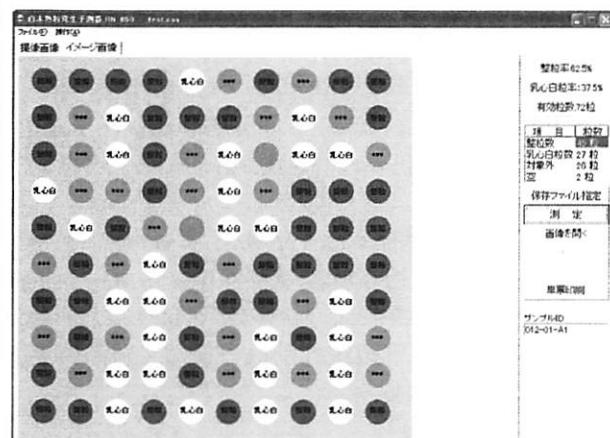


図3 RN-850による判定結果のイメージ画像

2010 年産コシヒカリの整粒比率が食味に及ぼした影響
佐藤 徹*・東聰志
(新潟県農業総合研究所作物研究センター・)

Effects of perfect rice grain percentage on palatability of rice cultivar "Koshihikari" in 2010
Toru SATO, Satoshi AZUMA,

2010 年の新潟県産コシヒカリの 1 等級比率は過去最低となり、食味への影響が懸念された。しかし、外観品質が食味に及ぼす影響についての報告は少ないため、今回、整粒の割合を変えて食味試験を実施し、外観品質と食味の関係について検討した。

[材料および方法]

- サンプル：試験は 2010 年に新潟県農業総合研究所作物研究センター（長岡市）の水田圃場で栽培した水稻品種「コシヒカリ BL」を穀粒判別機（RGQI20, サタケ）で選別し、被害粒を除き、選別された整粒と未熟粒を整粒 100%（区名 A），整粒 75%：未熟 25%（区名 B），整粒 50%：未熟 50%（区名 C），整粒 25%：未熟 75%（区名 D）の割合で混合した。
- 玄米品質調査：混合されたサンプルを穀粒判別機（RGQI20, サタケ）にかけ、品質を調査した。また、玄米タンパク質含有率を食味分析計（TM-3500, 静岡製機）で測定した。
- とう精歩留まり：ライスパル 31（山本製作所）でとう精し、1 回目および 2 回目とう精後の重量を測定し、また、2 回目とう精後 1.7mm の篩いを通した後の重量を測定し、それぞれの歩留まりを算出した。真の歩留まりとして千粒重を測定し、白米千粒重を玄米千粒重で除し算出した。
- 白米品質調査：とう精後 1.7mm の篩いをかける前の白米を穀粒判別機（RGQI10, サタケ）で測定した。また、味度値（味度メーター、東洋精米機製作所）を調査した。
- 食味官能試験：新潟農総研パネラー 22～25 名で、2010 年 11 月 8 日、9 日に 4 反復で行った。食味基準は穀粒判別機で選別する前の未調製サンプルを用いた。

[結果および考察]

- 混合した各サンプルを再度穀粒判別機（RGQI20）にかけると区名 A は整粒 72.1%，基白 10.9% となり、1 等レベルとなった。区名 B はそれぞれ 60.4% と 18.3% で 2 等相当、区名 C はそれぞれ 50.9% と 21.9% となり 3 等相当。区名 D はそれぞれ 38.9% と 29.7% で規格外相当となった。千粒重は整粒歩合が低下すると小さくなる傾向がみられ、玄米タンパク質含有率はやや低下する傾向がみられた（表 1）。
- とう精歩留まりは整粒歩合が低下するに従い低下する傾向がみられた（表 2）。
- 白米品質は白度には差が認められなかった。整粒歩合が低くなるに従い完全粒が低下し、粉状質が増加した。また、胚芽残存率が高くなかった（表 3）。味度値は大きな差は認められなかったが、整粒歩合が低下するほどやや高まる傾向がみられた（表 3）、とう精の影響と思われた。
- 食味官能試験において区名 A, B および C（整粒 72%～51% の範囲）では食味に及ぼす影響は認められなかった。区名 D（整粒 39%）の規格外相当のサンプルは粘りが劣る傾向があり、食味総合値は有意に低下した（図 1, 2）。

以上より、整粒歩合が低下するととう精歩留まりが低下した。また、食味は 1～3 等相当の整粒歩合では有意な差は認められなかったが、規格外相当において、粘りが低下する傾向がみられ、有意に食味が低下した。

表1 玄米品質

区名	穀粒判別機 (%)												千粒重 (g)	玄米タック (%)	
	整粒	乳白	基白	腹白	青未熟	他	碎粒	胴割	茶米	奇形	青死	白死	部分着色		
A	72.1	0.6	10.9	0.7	0.1	13.4	0.1	0.2	0.0	1.9	0.0	0.1	0.0	21.6	5.6
B	60.4	2.2	18.3	1.2	0.3	15.2	0.1	0.2	0.1	2.1	0.1	0.2	0.0	21.3	5.5
C	50.9	3.9	21.9	2.8	0.2	17.2	0.2	0.3	0.1	2.2	0.1	0.4	0.1	21.2	5.5
D	38.9	5.9	29.7	3.6	0.3	17.3	0.1	0.4	0.1	3.0	0.2	0.6	0.0	21.0	5.4
基準	51.1	4.1	22.4	1.9	0.4	14.8	0.5	0.5	0.3	2.8	0.2	1.1	0.1	21.1	5.6

玄米タック：静岡製機、穀粒判別機 (RGQI20)

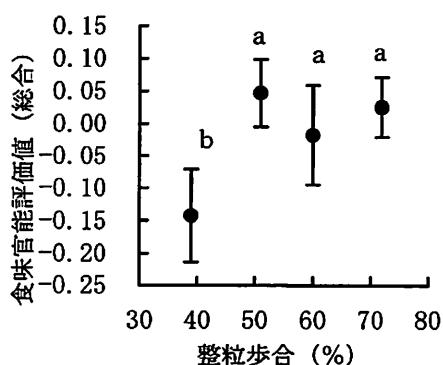
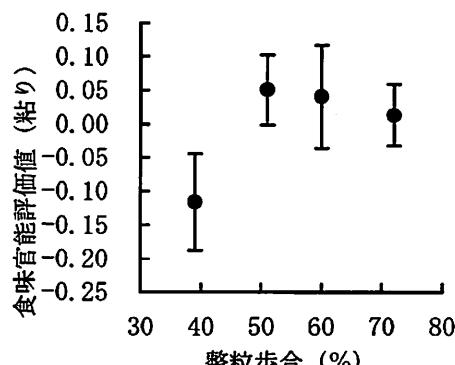
表2 とう精歩留まり

区名	歩留まり (%) 真の歩留まり		
	1回目	2回目	篩い後 (%)
A	92.4	89.7	89.2
B	92.2	89.5	88.8
C	92.2	89.3	88.5
D	92.1	89.0	88.1
基準	93.4	89.8	89.0
			88.2

表3 白米品質

区名	(g)	穀粒判別機 (%)						胚芽残存粒 (%)				味度値	
		白度	完全粒	粉状質	被害粒	着色	碎粒	異物	全	半	微	無	
A	19.3	43.7	94.1	1.3	0.1	0.0	4.4	0.3	0.0	1.6	15.3	83.2	69.7
B	19.0	43.8	89.7	5.4	0.0	0.0	4.6	0.4	0.1	2.0	14.8	83.2	70.3
C	18.7	43.9	83.5	9.8	0.1	0.0	6.2	0.5	0.3	2.2	16.7	80.8	69.8
D	18.4	44.1	79.5	13.6	0.0	0.0	6.4	0.5	0.3	3.7	18.1	77.9	72.5
基準	18.6	43.7	83.8	9.4	0.2	0.0	6.2	0.5	0.6	3.7	20.3	75.4	73.9

穀粒判別機 (サタケ : RGQI10)、味度値 (トヨー味度メーター)

図1 整粒歩合と食味官能評価値(総合)との関係
同一英文字間には有意差が無いことを示す。
縦棒は標準偏差を示す。図2 整粒歩合と食味官能評価値(粘り)との関係
縦棒は標準偏差を示す。

米の食味に関する遊離アミノ酸の品種間・生態種間差異

Kamara J. S・笹沼恒男・阿部利徳

(山形大学農学)

Varietal and ecotypical variation of free amino acid components in rice.

Joseph Sherman Kamara, Tsuneo Sasanuma, Toshinori Abe

米の食味では、かねてから、低タンパク質および低アミロースの白米が良食味であることが指摘されてきた。また、米の食味にはタンパク質やアミロースなどの成分の他に、マグネシウムが重要であり、Mg/K 比や Mg/N 比の高いことが良食味に関わるという報告がある。そして、これらの成分の含有率が米飯のテクスチャーや粘弾性に影響することが知られている。しかしながら、タンパク質含量やアミロース含量が同一で、さらにアミログラフィーのブレークダウンやテクスチャー特性値のバランス度などが類似していても、食味に違いが認められる。この違いを説明できるものとして、糖や遊離アミノ酸などの可溶性低分子物質の関与が考えられる。ところが、これまで糖や遊離アミノ酸などの可溶性低分子物質の食味への関与については、十分なデータが得られていない。我々は、複数年にわたり米の糖や遊離アミノ酸などの低分子物質の分析を行い、イネ品種の特徴を明らかにした(Kamara et al, 2011)。今回は遊離アミノ酸の品種・生態種間差異の特徴および発芽処理による変動等について試験し、これから良食味米の品種改良の基礎的知見を得ようとした。

【材料および方法】

イネ品種におけるこの特性の違いを明らかにするために日本型、インド型、およびジャワ型に属する合計 49 品種を用い、Pico-Tag 法によって、遊離アミノ酸含量を決定した。それらのうち 13 品種について、24 時間の発芽処理後の遊離アミノ酸蓄積パターンの変動についても試験した。遊離アミノ酸は、米の粉末 200mg より 70% エタノール溶液で抽出後、C18 カラムを通して精製し、イソチオシアニン酸フェニル(PITC)を処理して、フェニルチオカルバミル(PTC)化したアミノ酸を Pico-tag カラムを用いて分離し、UV 検出器を接続した HPLC を用いて分析した。

【結果および考察】

1. 精白米における遊離アミノ酸含量の品種間差異

本研究では、イネ 49 品種を用いて、2008 年産の精白米における遊離アミノ酸含量の差異を比較した(図 1)。精白米の遊離アミノ酸として、グルタミン酸、アスパラギン、グルタミン、アスパラギン酸、アラニンおよびセリンが多く含まれ、全遊離アミノ酸の 40% を占めた。遊離アミノ酸の多い品種についてみてみると、遊離アミノ酸を 50mg 以上含む品種は旭、山田錦およびインド型の GDT であった。DGT という品種は赤米のインド型品種であるが、糖および遊離アミノ酸含量の両方とも多いことから、米中のこれら低分子物質を高める遺伝資源として、興味が持たれる。また、旭や山田錦は遊離アミノ酸が一般的な日本型品種の約 2 倍含まれており、旭の食味や酒米品種である山田錦の酒質に関係している可能性がある。また、コシヒカリ、農林 22 号、上州など系統的に近い関係の品種は糖や遊離アミノ酸のパターンが類似していた。このことから、遊離

アミノ酸の含量に関しても遺伝する形質であることが考えられる。

2. 遊離アミノ酸含量の生態種間差異

ある特定の遊離アミノ酸の蓄積に着目したとき、日本型品種群およびインド型品種群間で、顕著な差異が認められた。図2に、日本型品種とインド型品種について、アスパラギン酸由来の全遊離アミノ酸(ASP, ASN, Thr, Lys, Ile, Met)含量とグルタミン酸由来の全遊離アミノ酸(Glu, Gln, His, Arg, Pro, GABA)含量の関係を示した。この比(A/G比)が日本型品種およびインド型品種の米を分ける有用な指標となることが示唆された(Kamara et al 2010)。品種の平均で、日本型米のA/G比は低く(0.68)、インド型米のA/G比は高かった(1.02)。これは日本型品種の米ではアスパラギン酸由来のアミノ酸よりよりグルタミン酸由来のアミノ酸を多く蓄積する傾向にあるということを示している。このように遊離アミノ酸の蓄積、特にA/G比から日本型品種群およびインド型品種群を特徴づけられることが示唆された。また、これらのアミノ酸含量のデータを用いて線形判別分析を行ったところアミノ酸含量のパターンから日本型品種とインド型品種を明確に識別することができた(図3)。

アミノ酸の生合成においては、細胞内で解糖系、TCA回路およびペントースリシン酸経路より炭素骨格が供給され、アミノ基転移反応等により個々のアミノ酸が合成されていく。このうち、TCA回路の2-オキソグルタル酸よりグルタミン酸が合成され、さらに、グルタミン酸よりグルタミン、アルギニン、ヒスチジン、プロリンおよびBAGAなどのアミノ酸が合成されていく。一方、TCA回路のオキサロ酢酸よりアスパラギン酸が合成され、さらにアスパラギン酸よりアスパラギン、スレオニン、イソロイシン、メチオニンおよびリジンなどのアミノ酸が合成されていく。日本型品種の米はインド型品種の米と比較して、グルタミン酸系列のアミノ酸の割合が高いということが明らかになった。このことは、米中のアミノ酸の生合成に関して、日本型品種は、2-オキソグルタル酸からグルタミン酸系列のアミノ酸を合成する活性が活発であることを意味している。

3. 玄米の発芽処理による遊離アミノ含量の変動

発芽玄米に関し、日本型7品種、インド型6品種を用いて、35°C、24時間の発芽処理によるアミノ酸の変動を比較した(図4)。その結果、品種により異なるが、全遊離アミノ酸含量は2~10倍に増加した。5倍以上に増加したアミノ酸として、GABA(17.8倍)、Met(10.2倍)、Phe(7.9倍)、Leu(7.5倍)、Trp(6.5倍)、His(6.5倍)、Gln(6.0倍)、Lys(5.0倍)などが上げられる。また、発芽処理によりA/G比は低下する傾向にあった。特にインド型品種でその傾向は顕著であった。このことから、発芽玄米では、GABAの増加することが以前から知られていたが、制限アミノ酸になっているLysの増加も顕著であり、発芽処理による栄養の面からの改善が期待できると考えられる。

【参考文献】: Kamara J. S., S. Konishi, T. Sasanuma and T. Abe 2010, Variation in free amino acid profile among some rice cultivars. Breeding Science, 60:46-54.

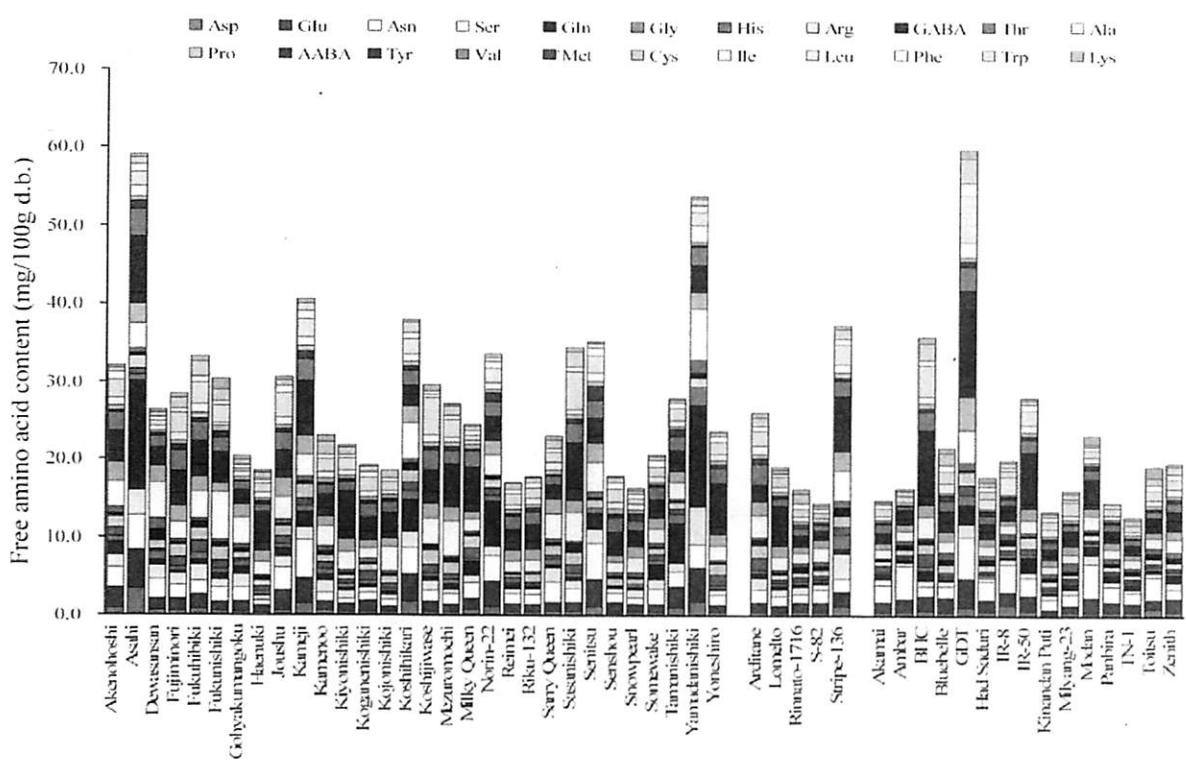


図1 精白米における遊離アミノ酸含量の品種間差異

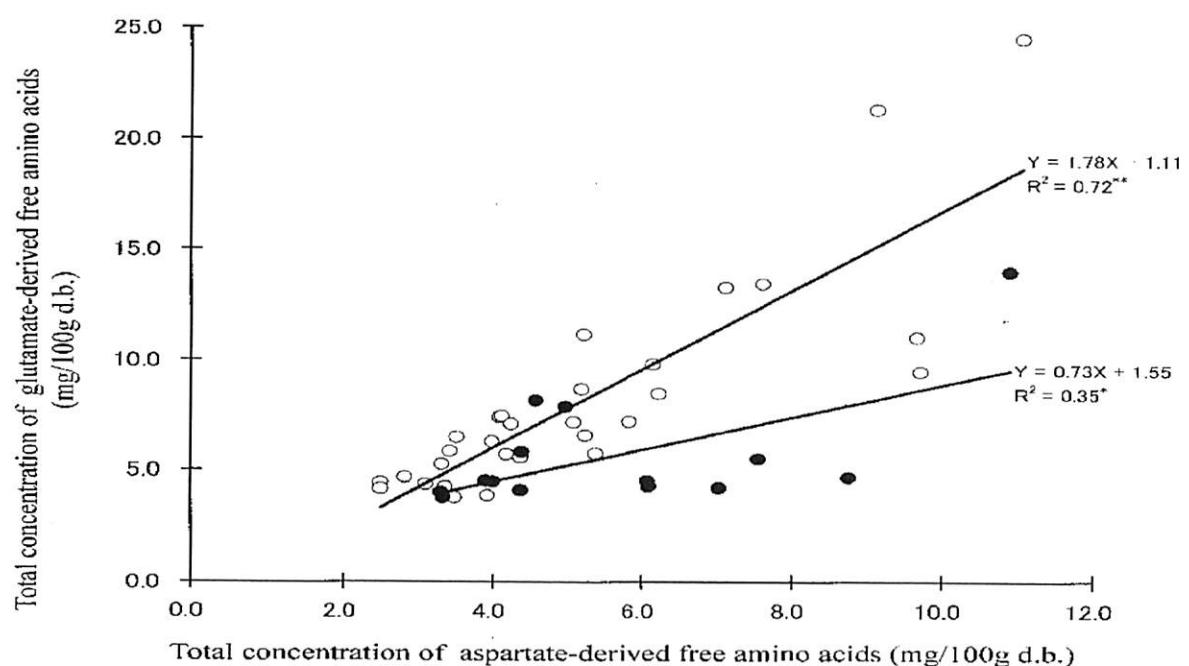


図2 精白米におけるGlu由来アミノ酸含量とAsp由来アミノ酸含量との関係
○：日本型品種，●：インド型品種

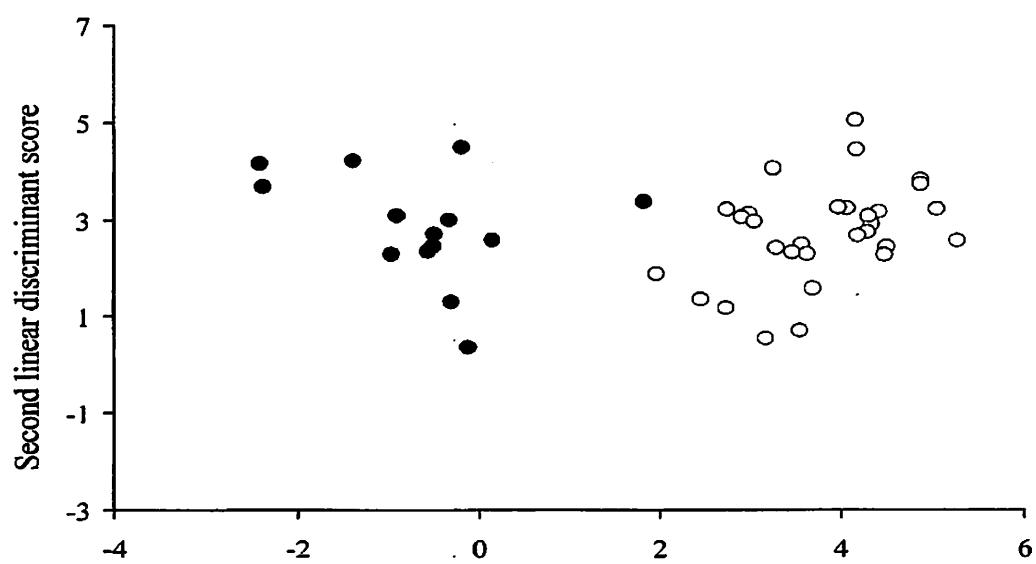


図3 遊離アミノ酸の線形判別関数による日本型品種とインド型品種の識別
 ○：日本型品種，●：インド型品種

■ Asp	■ Glu	□ Asn	□ Ser	■ Gln	■ Gly	■ His	□ Arg	■ GABA	■ Thr	□ Ala
■ Pro	■ AAABA	■ Tyr	■ Val	■ Met	■ Cys	□ Ile	□ Leu	□ Phe	□ Trp	□ Lys

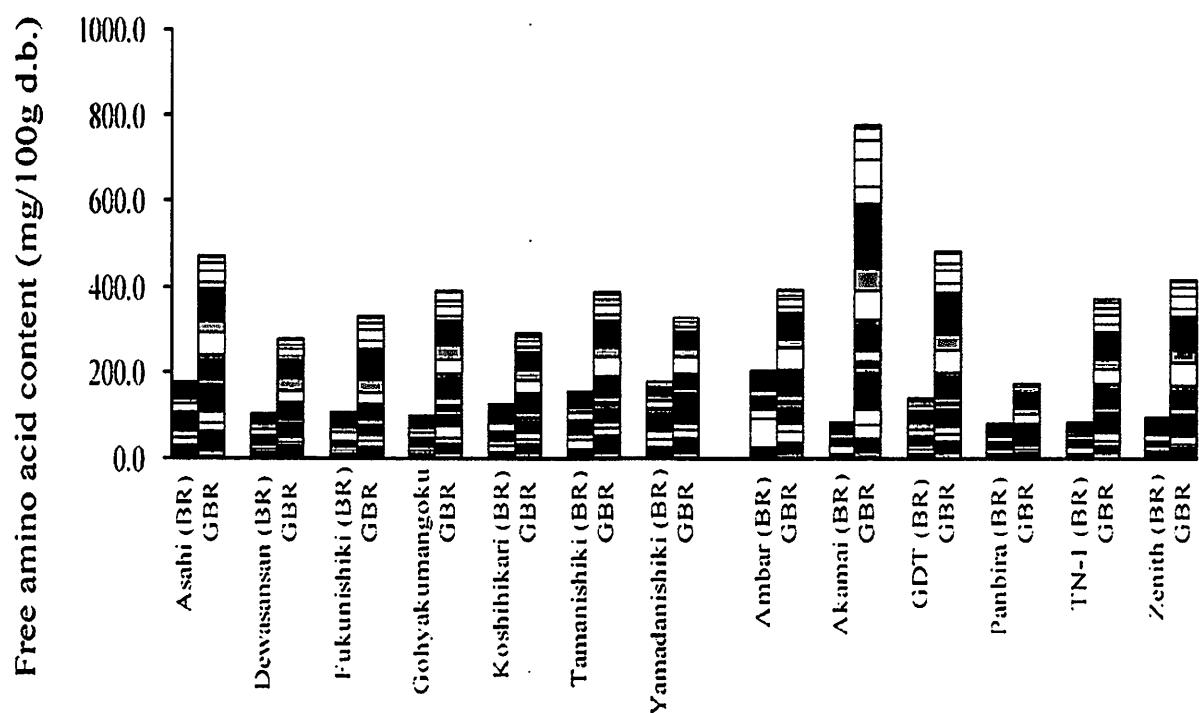


図4 玄米の発芽処理による遊離アミノ含量の変動
 BR: 玄米, GBR: 発芽玄米

(一般講演)

PCR 装置を用いる米の食味推定の試み

中村澄子¹⁾・大坪研一¹⁾

(¹⁾新潟大学農学部)

Trial for estimation of rice palatability with a thermal cycler.

Sumiko NAKAMURA¹⁾ and Ken'ichi OHTSUBO¹⁾

米の食味には品種の影響の強いことが知られており、多収性や病虫害抵抗性などの特性に加えて、良食味性の選抜を行う必要がある。従来は、食味選抜に関しては、かなり育成選抜が進んだ段階で、アミロースやタンパク質の含量、アミログラフ糊化特性、炊飯米光沢検定や米飯物性測定などで選抜し、さらに選抜が進んだ段階で、食味試験による選抜が行われてきた。演者等は、これまで PCR 法による米の品種判別に取り組んできたが、本発表においては、PCR 装置を炊飯装置として利用して得られる米飯粒の物性測定結果及び炊飯液への溶出成分の分析に基づいて、育成選抜初期段階での微量試料による良食味系統の選抜が可能ではないかと考え、研究を行った結果について報告する。

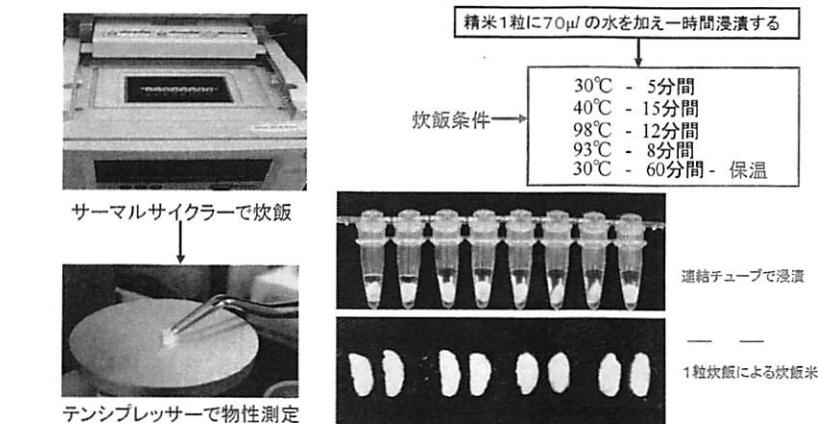
【材料および方法】

- (1) 試料米として、はくちようもち、ヒヨクモチ、モチミノリ、春陽、LGC ソフト、北海 293 号、きらら397、ヒノヒカリ、コシヒカリ、ササニシキ、キヌヒカリ、ひとめぼれ、日本晴、北陸 149 号、夢十色、中国 134 号、ホシユタカ、ソフト 158、ミルキークイーン、朝つゆ、おぼろづきを用いた。
- (2) コシヒカリとハツシモを交配して得られた雑種第2代の試料米を試料とした。両親であるコシヒカリおよびハツシモを比較対照試料として使用した。
- (3) 試料米の水分含量は加熱乾燥法(135°C, 1 時間)により、タンパク質含量は燃焼法(LECO FP-528 型)によって得た全窒素含量に係数 5.95 を乗じてタンパク質含量とした。アミロース含量は、フリアーノのヨード比色法(Juliano 1971)に従って測定した。
- (4) 試料米をカップ炊飯法により炊飯し、米飯物性を測定した。夢十色、ソフト 158、日本晴については、各カップ炊飯米の上位、中位、下位部分の物性値も測定した。一粒炊飯は、タカラバイオ社製 PCR Thermal Cycler Dice を用い、300 μl 容量の 8 連結チューブに米粒を 1 粒ずつ入れ、55 μl のイオン交換水を加えて 1 時間浸漬した後に炊飯した。米飯物性は、タケトモ電機製テンシプレッサーを用い、岡留らの高圧縮低圧縮連続測定法によって測定した。米粉の糊化特性は、フォスジャパン製の RVA を用いて測定した。炊飯液中のグルコース含量およびグルタミン酸含量を F キットによって測定した。

【結果および考察】

1. 図1に示すように、一粒炊飯による各米飯8粒の米飯物性をテンシプレッサーによって測定した結果、コシヒカリ、ひとめぼれ、ササニシキ、きらら397の特徴を把握することが可能となった。
2. 18種類の試料米のアミロース含量と各炊飯法による米飯物性値および米粉糊化特性値との関係を図2に示す。アミロース含量との相関は、米飯物性、糊化特性ともに一粒炊飯の方が高い相関を示した。
3. コシヒカリとハツシモの交配後代の試料米は、炊飯液成分、物性とともに、幅広い変動を示した。PCR の

結果を2値化して米飯物性の測定値(L3)の推定式を作製し、有望個体の選抜を行う可能性が示された。



試料名	表層の硬さ (H1, 10 ⁻³ dyn)	表層の粘り (-H1, 10 ⁻³ dyn)	表層の付着量 (L3, mm)	表層の付着性 (L3, 10 ⁻³ dyn)	表層のバランス度1 (-H1/H1)
1.コシヒカリ	60.98 ± 12.80	6.62 ± 1.91	0.55 ± 0.19	0.17 ± 0.07	0.109 ± 0.021
2.きらら	75.98 ± 17.36	4.73 ± 2.54	0.48 ± 0.24	0.10 ± 0.05	0.062 ± 0.029
3.ひとめぼれ	71.06 ± 15.39	6.11 ± 2.39	0.47 ± 0.12	0.13 ± 0.07	0.087 ± 0.030
4.サニシキ	61.61 ± 9.14	3.79 ± 1.88	0.37 ± 0.14	0.07 ± 0.04	0.061 ± 0.028

1粒炊飯による物性測定

図1. 一粒炊飯法とテンシプレッサーによる物性測定結果

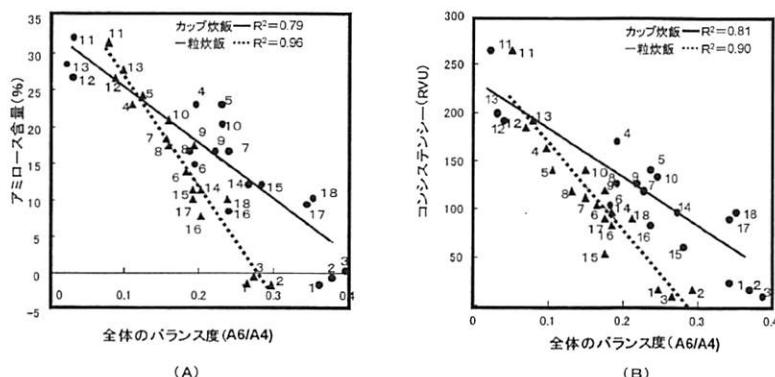


図2. 各試料米のアミロース含量と各炊飯法による物性測定値、RVAによる糊化特性値との関係



図3. コシヒカリとハツシモの後代のPCRによる米飯物性推定と食味評価結果との関係

米飯の食味構成要素と消費者嗜好の関係
小木 芳恵・小林 麻子・酒井 究・富田 桂・清水 豊弘
(福井県農業試験場)

Components of eating quality of cooked rice evaluated by consumers.

Yoshie KOGI, Asako KOBAYASHI, Kiwamu SAKAI, Katsura TOMITA, Toyohiro SHIMIZU

福井県では平成 23 年度より新たなブランドとなるポストコシヒカリ品種の育成を行っており、消費者の嗜好を重視した食味を取り入れることを目指している。食味とは米飯の物理性や化学性といったさまざまな要素で構成されており、それぞれが消費者嗜好と密接に関係している。そこで今回はテクスチャーの異なる 4 品種・系統を用いて東京の消費者に対する食味調査を行い、食味構成要素と消費者嗜好との関係性を検討した。

【試料および方法】

1. 試料

米は福井県で栽培された平成 23 年度産の「コシヒカリ」、農業試験場の職員による官能評価によりコシヒカリと異なる硬さ・粘りを示す育成段階の系統「A」、「B」、およびコシヒカリと同等の硬さ・粘りを示す系統「C」を用いた（表 1）。

2. 試料の調整

玄米を佐竹製作所クリーンワンパス精米機 (CBS550) により、精米歩留まり約 90% にとう精した。

3. 米飯食味の官能検査

官能検査は平成 23 年 10 月に東京都港区で行った。精米試料 900g に 1.4 倍量（重量）加水し、1 時間吸水させた後、電気炊飯器 (National, SR-A18C) により炊飯し、20 分蒸らした後、東京在住のパネル 200 名により官能評価を行った。官能検査は、最も好ましい 1 品種・系統を選び、あわせて好ましい理由を複数回答で答えるという方法で行った。

【結果および考察】

- 回答者数の内訳は男性 79 名、女性 108 名、未記入 13 名であり、年代別に見ると 30 代女性が 34 名と最も多かった（図 1）。
- 4 品種・系統のうち最も好まれたのは系統 B (32%) であり、次いでコシヒカリ (30%)、系統 C (21%)、系統 A (18%) であった。男女別に比較してみると、男性については最も好ましい品種・系統に有意差はなかった。女性については系統 B が最も好まれ、次いでコシヒカリが好まれた。また、系統 A を選んだ人は 12% と最も少なかった（図 2）。東京の女性消費者は、粘りの強く、やわらかい品種・系統を好む傾向が見られた。
- 好ましさの要因として、すべての品種・系統において「甘味がある」という項目が最も多く、コシヒカリが 83% と最も多かった。また、系統 A は「歯ごたえがある」、系統 B は「もちもちしている」というテクスチャーに関する項目が「甘味がある」という項目の次に多かった。系統 C は「歯ごたえがある」と「もちもちしている」という 2 つの項目が同じ程度で選択されていた（表 2）。このように消費者が嗜好を決定する要因としては、食味構成要素のうち、甘味とテクスチャーが重視されること

が今回の調査で明らかとなった。

4. 今後は東京やそれ以外の大消費地域において同様の調査を行い、消費者嗜好の特徴をさらに詳しく把握し、ポストコシヒカリ品種の育成に役立てたい。

表1 コシヒカリを基準とした農業試験場職員による官能評価 (n=18)

系統	外観	香り	旨み	粘り	硬さ	総合
A	0.06	-0.11	-0.39 **	-0.39 **	0.44 **	-0.33
B	0.11	-0.22	0.17	0.56 **	-0.33 **	0.22
C	0.00	0.00	-0.06	0.00	0.00	0.00

** 1 % 水準で有意差あり

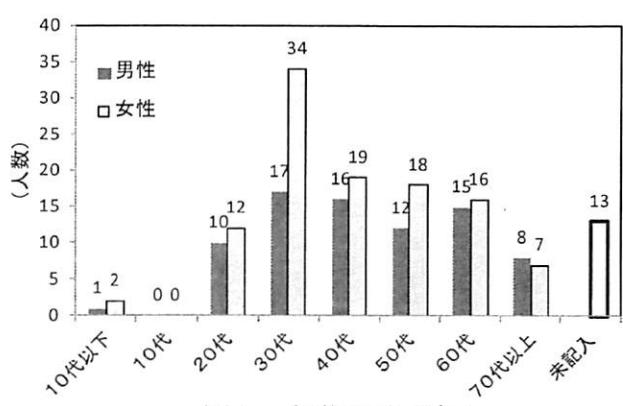


図1 年代別のパネル

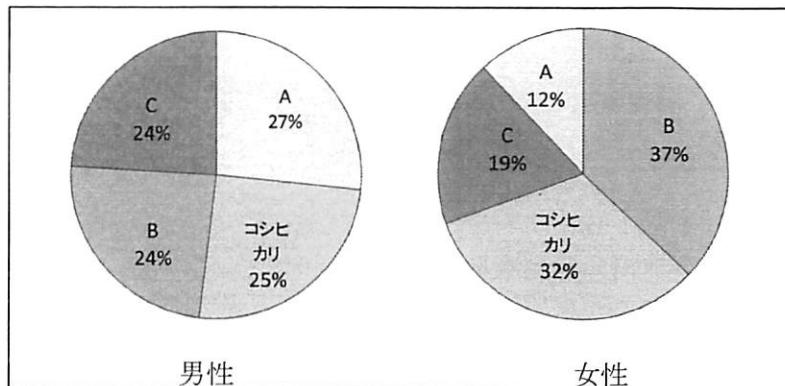


図2 男女別の最も好ましい品種・系統の回答割合

表2 好ましさの要因 (複数回答)

項目	コシヒカリ	系統A %	系統B	系統C
甘味がある	83	49	55	63
歯ごたえがある	28	40	17	37
もちもちしている	27	23	45	39
粘りがある	25	9	31	12
やわらかい	10	11	9	10
香りがよい	8	20	22	22
あっさりしている	8	23	13	12
つやがある	8	9	23	12
色が良い	5	3	6	2
n=60	n=35	n=64	n=41	