

日本水稻品質・食味研究会会報

第 2 号
(平成23年2月)



目 次

第2回講演会 講演要旨

メインテーマ：「米の品質・食味研究、最前線」

日時：2010年10月10日（日）～11日（月）

場所：九州大学国際ホール（福岡市東区箱崎）

<基調講演>

世界の食糧需給とジャポニカ米の生産・流通最前線－いま、日本は何をなすべきか－	伊東正一	1
米の美味しさとタンパク質の関係	増村威宏	11
MNU 突然変異処理により得たイネ胚乳突然変異体	西 愛子、佐藤 光	15

<一般発表>

育種関連

寒地うるち米の精米蛋白質含有率とアミロース含有率における年次間および地域間差と生育特性との関係	丹野 久・本間 昭・宗形信也・吉村 徹・平山裕治 ・前川利彦・沼尾吉則・尾崎洋人・荒木和哉・菅原 彰	21
登熟中期のSPD値による高温耐性品種選抜の可能性とその問題点	高田 聖・亀島雅史・宮崎 彰・山本由徳	25
中国天津市におけるジャポニカ型良食味水稻品種共同開発プロジェクト	塩津 文隆・楠谷 彰人・松江 勇次・崔 晶・森田 茂紀	27

栽培・生理

温暖化に対応した水稻の好適移植期および好適出穂期の推定

船場 貢・大脇淳一・下山伸幸・古賀潤弥・渡邊大治・土井謙児 … 29

水稻の外観品質に及ぼす稻体窒素栄養条件や施肥法の影響

…………… 田中浩平・宮崎真行・内川修・荒木雅登 … 31

登熟期間中の乾物動態および物質生産からみた「元気つくし」の生育特性

…………… 宮崎 真行・荒木 雅登 … 33

品質

暖地水稻の登熟期間の高温が玄米外観品質に及ぼす影響

…………… 若松謙一・田中明男・佐々木 修 … 35

高温および寡照条件で発生する乳白粒に関するQTL解析

…………… 坪根正雄・和田卓也・井上 敬 … 37

水稻玄米の粒厚と外観品質が米飯の食味に及ぼす影響

…………… 石突裕樹・齊藤邦行 … 39

食味

良食味米と低食味米の微細構造的特徴

…………… 新田洋司・浅木直美 … 41

炊飯米の食味に関するQTLの同定と実証

…… 和田卓也・井上 敬・坪根正雄・尾形武文・松江勇次 … 43

玄米充実不足の指標値と水稻の生育および食味形質との関係

…… 森田 敏・米丸淳一・中野 洋・北川 寿・和田博史 … 45

基 調 講 演

3 課題

世界の食料需給とジャポニカ米の生産・流通最前線 いま、日本は何をなすべきか？

九州大学大学院・教授
伊東正一

日本水稻品質・食味研究会 第2回講演会
於：九州大学・箱崎キャンパス

1. 近年における世界の食料需給メカニズム

世界の穀物生産と消費は2008年の国際価格高騰をきっかけに人々の認識が大きく変化している。「世界の食糧危機」がささやかれることも日常茶飯事で、食料安全保障に対する不安が重くのしかかっている。しかし、実態はどうなのか、世界の穀物統計を元に鳥瞰したい。

世界の主要穀物の生産量を過去半世紀にわたってみてみると、1960年から1990年までに2.5倍前後へとほぼ順調に増産され、それは世界の人口の増加率を上回って推移していた。しかし、1990年代に入り、国際価格が低迷してくると生産もその伸び率を鈍化してくるようになった。特に、コムギは1990年の生産量をピークにその後は6年間それを更新することができなく、7年目となる1997年にしようやく更新した。しかし、その後も再び後退し、記録を更新したのはさらに7年後の2004年であった（図1-1及び図1-2）。

また、コメにおいても、1999年に史上最高の4億9百万トン（精米換算）を記録した後は5年間の長期にわたり記録は更新されず、6年後の2005年になってようやく更新した。しかし、その上積みはわずかに1千万トン弱で、あたかも世界では食糧増産が限界に達してきたかのように見えた。

ところが、状況の変化は2006年当たりから出てきた。アメリカがバイオエタノールの生産に補助金を出すようになったからである。同時に、原油価格が上昇してきたことによる。バイオエタノールとガソリンは代替財の関係にある。よって、ガソリンの原材料である原油の価格が上昇すると、バイオエタノールの価格も上昇する。バイオエタノールの価格が上昇すれば、その原材料であるコーンの価格が上昇する。コーンの価格が上昇すれば、その代替財の関係にあるコムギやコメも上昇することになる。このような関係は投資家にとってはすべてが同一直線上に並んでいるかに見える。よって、原油価格が上昇すればコメの価格が上昇する、という仕組みができる（図1-3）。そうすると、原油価格の変動を見ながら投資家はコメを投機的に売買するわけである。

こうして、穀物の価格は2008年7月までの原油価格の高騰と共に上昇し、その後の原油価格の急落と共に穀物の価格も急落した。原油価格は1バレル当たり2008年7月に145ドルをつけたが、同年12月には35ドルまでに急落した。その後は、原油価格が持ち直したために、穀物価格も再び上昇に転じた。

ところで、穀物価格は2007年から2008年へと急上昇を見せたが、このときの世界の穀物の生産量はどうだったのであろうか。実は主要穀物のほか粗粒穀物も含めた前穀物の生産量は2008年までの2年間に1年当たり5.7%もの上昇率を遂げたのである。価格の上昇は世界中の農民を刺激し、増産へと駆り立てたのである。このことは世界の農民は価格に刺激されると言う状況、及び、生産の余力は世界にはまだ多く残されている、ということをはっきりと示したものと解釈される。

2. ジャポニカ米の国際価格

世界のコメの統計はインディカ米とジャポニカ米とに分けた統計が無く、長粒種、中粒種、短粒種で区分されている。よって、ジャポニカとインディカの価格の統計も存在しない。ただ、米国においてはアーカンソー州などの南部で生産された長粒種の市場価格と、カリフォルニア州で生産さ

れた中粒種や短粒種の市場価格が存在する。カリフォルニア産の中粒種はキャラローズに代表されるように、ジャポニカ米である。

図2-1はその地域のコメの価格を2002年8月から現在までの毎月の価格で表したものであるが、一定して加州米のジャポニカ米が南部の長粒種の価格を1トン当たり100ドルから200ドル上回って推移している。極端であったのは、国際価格が高騰した2008年の状況である。このとき、南部の長粒種は2007年9月から上昇を始め、2008年3月からは加州米を若干ながら上回る価格で推移した。加州産米の価格もすぐに上昇を始めた。しかし、5月の1トン当たり926ドルをピークに長粒種は下落に転じた。この2008年5月をピークにして下落を始めたのはタイ・バンコクの輸出価格も同様である。

ところが、カリフォルニア産米は長粒種の下落とは逆にその後も上昇を続け、2009年4月には1,208ドルまで上昇した。翌5月には長粒種・インディカ米の513ドルに比べ、カリフォルニア産・中粒種は1,202ドルと、その差は700ドル近くに広がった。その後は中粒種も下落に転じるが、このインディカ米とジャポニカ米の価格の開きはジャポニカ米に対する需要の強さを示すものと言えよう。近年、カリフォルニア産米は玄米換算で160万トン前後の生産であるが、このうちの40万トン近くを日本に輸出している。日本政府は米国産米の輸入においては毎年定まった量を輸入しており、市場価格の変動によって米国からの輸入量を変化させることはない。よって、日本からの需要がその価格を支えている部分はかなり大きいものと推察される。同時に、世界における寿司米などの日本食ブームの需要としてジャポニカ米は今後とも根強い需要が予想される。

また、中国におけるジャポニカ米とインディカ米の価格差も昨年から顕著になりつつある（図2-2）。中国におけるコメの卸価格は1990年代からジャポニカ米にインディカ米に比べ数%から5%程度の一定のプレミアムがついて推移していたが、2009年からその差は拡大し、インディカ米が2008年のレベルから上昇していないのに対し、ジャポニカ米は3割から4割の上昇を見せ、2010年9月においてはインディカ米が精米1トン当たり3千元（450ドル）弱に対してジャポニカ米は4千元（600ドル）を超える状況である（但し1ドル=6.7元）。このような価格の差は今後はジャポニカ米の生産に向けて全国において拍車がかかることになろう。

3. ジャポニカ米の生産状況と課題

前項で述べたように、世界のコメの統計はジャポニカ米とインディカ米の区別が明確になっていないので、分類は困難であるが、地域ごとにおいては、ジャポニカ米の生産は着実に拡大している。その最も極端な例が世界最大のコメ生産国の中である。中国のコメ生産量は1960年代から増産を続け、1980年代の半ばに1億2千万トンレベル（精米換算）を達成したが、この頃の中国のコメはインディカ米が大半であり、ジャポニカ米は8%前後と見られていた。しかし、一人当たりの消費量が110kg近くにまで達した1990年頃にピークに達し、その後は下降線をたどり始めた。この頃に中国のコメ生産は量産体制から品質の向上へと大きく修正され、江蘇省や浙江省など、もともとジャポニカ米が好まれていた地域に於いてジャポニカ米の生産へシフトしていった。また、ジャポニカ米生産の適地であった黒龍江省に於いてジャポニカ米の著しい増産が達成されたことも大きく影響をし、中国でのジャポニカ米の生産量は全体の3割近くを占めるほどになった。2005年の中国の統計ではジャポニカ米の生産量は全体の29%（約3,700万トン、精米換算）を占めている。

その中でも、黒龍江省の生産拡大は2010年が200万haと言われ、日本の生産面積より拡大し、新たな拡大は価格次第、という現場の状況である。広大な平野が広がる三江平原の地帶では、トウモロコシやダイズなども生産されており、このような畑作物を水田に変換するのは価格次第、とし、ジャポニカ米の価格が相対的に有利になれば、どこまでも生産を拡大する、と言う勢いである。

一方、生産量では中国に比べ小さくなるが、ジャポニカ米の輸出量では世界のトップを占めるカリフォルニア米においても生産量は近年は急速に伸びている。近年は150万トン前後（精米換算）を記録しており、水供給の確保が心配されながらも生産量は増大している。カリフォルニアのコメ

生産は州都サクラメントから北部にかけて広がっており、現在の生産面積が約23万ha。過去最大であった1981年の24万haに近づきつつある。この24万haがカリフォルニアのコメ生産の限界ではないか、と伝えられることが多いが、カリフォルニアにはサクラメントから南へ50kmくらいから広がるデルタ地帯にはさらに20万haを超えるほどの農地がある。現在はトウモロコシやコムギが主に生産されているが、デルタ地帯だけに周りの河川は農地と5mくらいの標高差がある天井川。サイホンの仕組みで、水供給はほぼ問題なく稻作ができる。そのような潜在地もある。

アメリカはアーカンソー州など、長粒種を主産としている南部においてもジャポニカ米の生産が可能だ。限に、カリフォルニアと同じ品種を生産している農家もある。ただ、そのような農家の数は少ない。生産技術が異なること、それに、ジャポニカ米専用の精米所がないことがジャポニカ米の普及を拒んでいるからである。しかし、ジャポニカ米生産のメリットが長粒種に比べ大きくなればなるほどジャポニカ米に移行する農家は増えて来るであろう。

さらに南米に目を広げればブラジルの南端にあるリオ・グランデ・ド・スール州、それから陸続きに南に広がるウルグアイ、さらには隣国アルゼンチン北部とパラグアイ。この辺りは、大平原地帯で、日本の国土の数倍の面積に匹敵する。この地域における水田は7年が一つの周期となっており、この7年のうち、多くの農地で2年から3年だけしか水田は栽培されない。長く連作すると赤米が増えて、コメに混入しコメの商品価値が落ちるからである。しかし、赤米の対策が徹底されなければ連作は可能になる。かつては、日本のササニシキが現地では人気で、そのできばえは日本産米に勝るとも劣らないほどのものであった。

また、地中海沿岸のスペインやイタリア、エジプトではジャポニカ米の生産が多く、その中でも日本産品種米やそれに似た品種の作付けを今後増やすことが予想される。アフリカのサブサハラ地帯においてもそのようなジャポニカ米の生産に適した地域は多く存在すると考えられる。広大な農業適地を擁するモザンビークやタンザニア、マダガスカルなどはジャポニカ米の増産の潜在地として将来が期待される。ロシアやウクライナ、カザフスタンを含む旧ソビエト諸国もジャポニカ米の増産の可能性は大きい。

こうした世界各地でのジャポニカ米生産地が抱える問題は何か。品質の向上に関して言えば、日本で開発された品種をベースに品種改良することは世界各地におけるジャポニカ米生産の常となっている。中国においても、日本のコシヒカリや「きらら397」（中国語では「空育397」）をベースにした品種改良が盛んに行われている。しかし、高品質の品種は限られた小さな地域で生産はされても、まだ広い範囲に普及はしていない。また、カリフォルニアでもコシヒカリやM401の生産には高度な技術が必要とされ、農家はそれらの品種の生産を避ける傾向があり、味の落ちるキャラローズの生産が8割前後を占める状況となっている。生産者や流通業者はより作りやすい高品質のコメを待ち望んでいるのが実情だ。

一方、品種以外の面では、精米施設の充実が課題である。特に、ジャポニカ米の精米に特化した精米所の建設である。インディカ米の精米所ではジャポニカ米の精米は困難だ。いかに精米機の調整をしてもいろんなトラブルを生じる。アメリカのアーカンソー州の稻作農家がコシヒカリを生産し、生産量は確保できたが精米が現地では不可能で、カリフォルニアまで粉を運んで精米をした経緯がある。これには運搬コストがかかること同時に遠く離れた精米所との連携がうまくいかず、結局はコシヒカリの生産を縮小せざるを得なかった。

4. 世界におけるジャポニカ米需給の今後の見通しと品質向上への日本の課題

コメの増産においては、今後とも中国の動きに注目しなければならない。特に、中国の海外進出が大きな決め手を握ることになろう。中国の黒龍省はかつてアムール川を挟む旧ソビエトにおいてコメの出作を実施していた。1970年代に起きた中ソ紛争によりソビエトから撤退したが、近年のコメの国際価格高騰をきっかけに再び出作が盛んになりつつある。中国の稻作は小規模から大規模に至るまでの生産技術を有しており、今後こうした生産技術を携えて世界の潜在地にコメ生産の開

拓・進出を図ることが予想される。前述のように、ジャポニカ米の生産可能地は南米やアフリカを始めとする多くの地域に存在し、開拓が待たれている。中国は安い人件費と技術でもって発展国と共に南南協力の体制を組むことも可能であろう。

コメの中でも価格が高いジャポニカ米は衰えを知らない世界の日本食ブームにも助けられ、需要はさらに拡大して行くであろう。また、生産においては、米国内に見るインディカ米との優位な価格差は今後ともつづき、ジャポニカ米の生産は拡大を続けよう。世界の日本食ブームに於いて、世界は本当の日本食の味を手探りで探し求めている、と言うのが実情である。特に、コメにおいては、どのようなジャポニカ米が日本食に適しているのか、それは曖昧模糊としてわかりにくい。ジャポニカ米の輸出に於いてその量が最も大きいのは加州産米である。世界の日本食レストランでは加州産米が多く寿司米として利用されているが、その品質も味が最も良いとされる M401 品種を中心とした「錦」のブランド米から、品質的にはかなり落ちるキャラローズまで幅が広い。ただ、世界では量的に高いシェアを占める加州産米がややもすると“最も日本食に適しているコメ”と誤解されかねない。

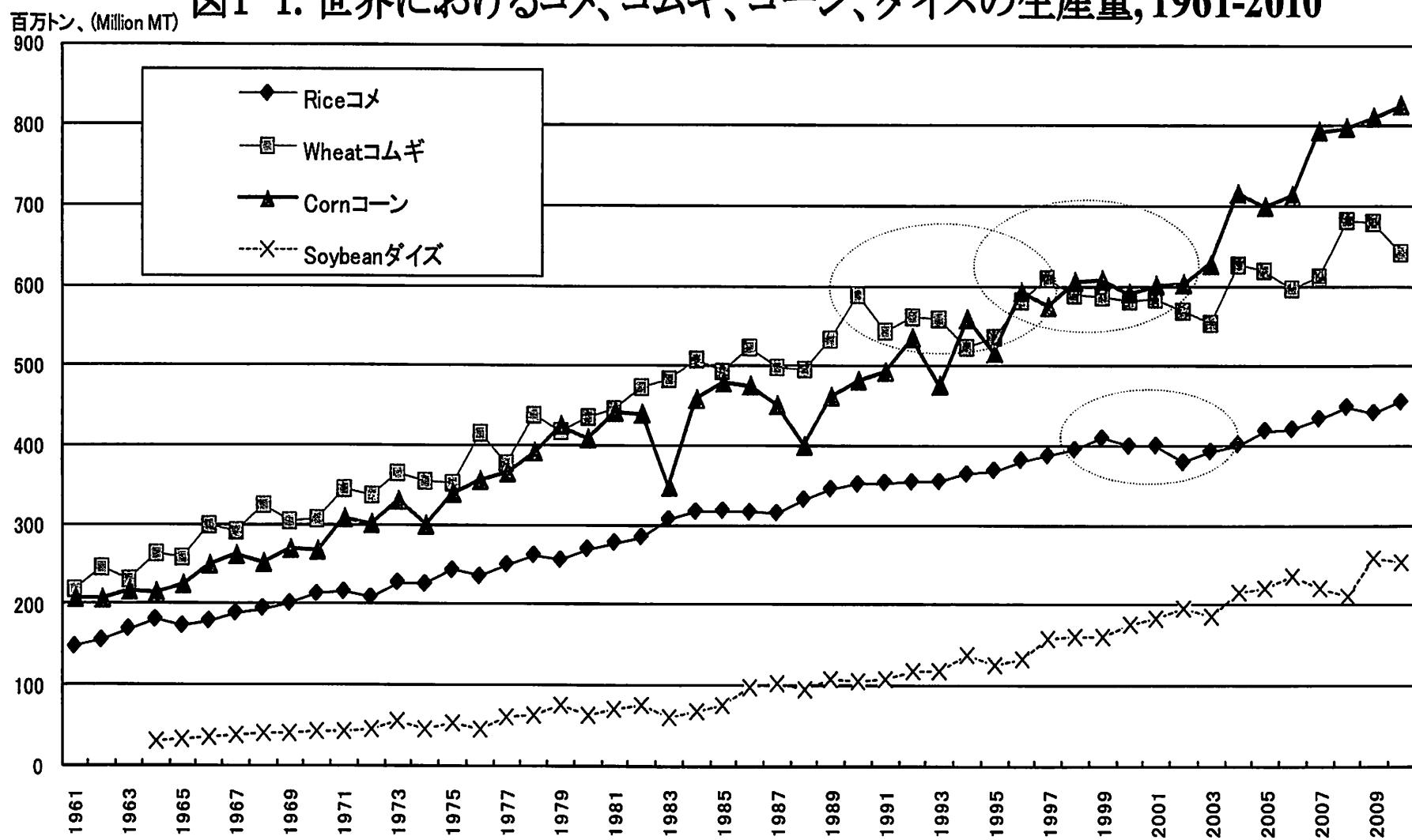
コメの品質の点では、決して加州産米の品質が高いわけではないが、日本のコメの輸出量が極小に限られているため、国際的にアピールするまでには至っていない。そういう点で、コメの国際舞台では日本のコメに比べ加州産米が一步も二歩も先を走っている、と言って過言ではない。

こうした中、ジャポニカ米の品質の向上はカリフォルニアにおいても常に注目の的となり、今後のジャポニカ米の品質を賭けた国際競争はさらに熾烈になろう。日本産米の高い品質のさらなる向上は日本が世界のジャポニカ米品質の最高峰をリードする上できわめて重要となろう。輸出が伴う形での高品質米の生産は国際的にも強くアピールするが、輸出が限られていてもより高い品質の開発と国際的な発表は世界からの注目を浴びる。

よって、誕生からすでに半世紀を経ているコシヒカリが今も最高の品質とされる現状からみれば、日本自らがそれを超える品種を早く開発する時期にさしかかっている。遅きに失した感はあるが、10 年ごとにはより味の良い品種が継続的に開発されるような品種改良の技術を生み出す体制を作るべきであろう。そして、それを世界に公表することにより日本のコメが世界をリードする指標となり、そのことが日本の食文化の普及にも、日本の観光資源のアピールにも功を奏し、経済効果はきわめて大きいものをもたらすことになる。

Fig. 16. Evolution of world total production for rice, wheat, corn and soybeans, '61-'10

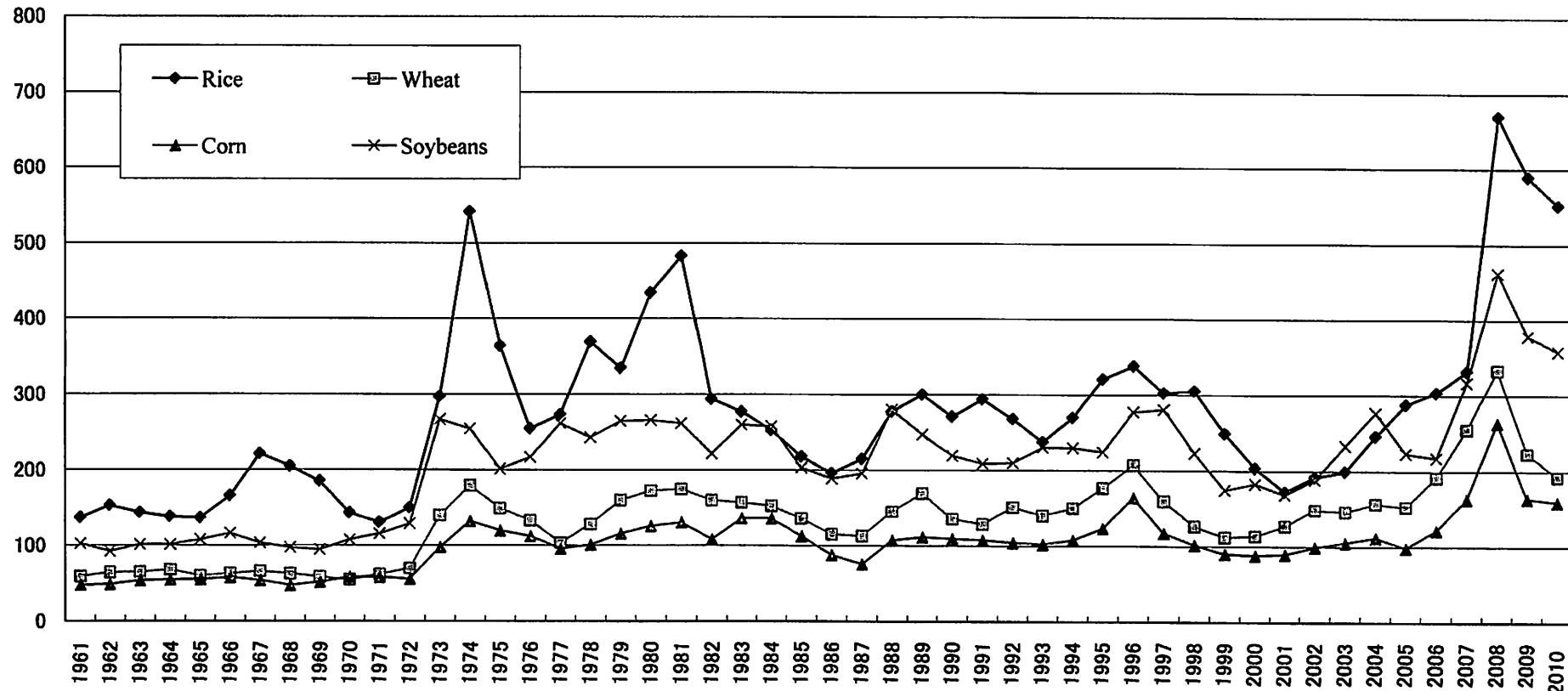
図1-1. 世界におけるコメ、コムギ、コーン、ダイズの生産量、1961-2010



ソース:伊東正一「世界の食料統計」<http://worldfood.apionet.or.jp/graph/index.html>, September 2010

図1-2 コメ、コムギ、コーン、ダイズの国際価格の推移、1961- 2010

(\$/t)



ソース: IMF: International Financial Statistics (IFS) の年次データを直接使用している (<http://ifs.apdi.net/imf/>)

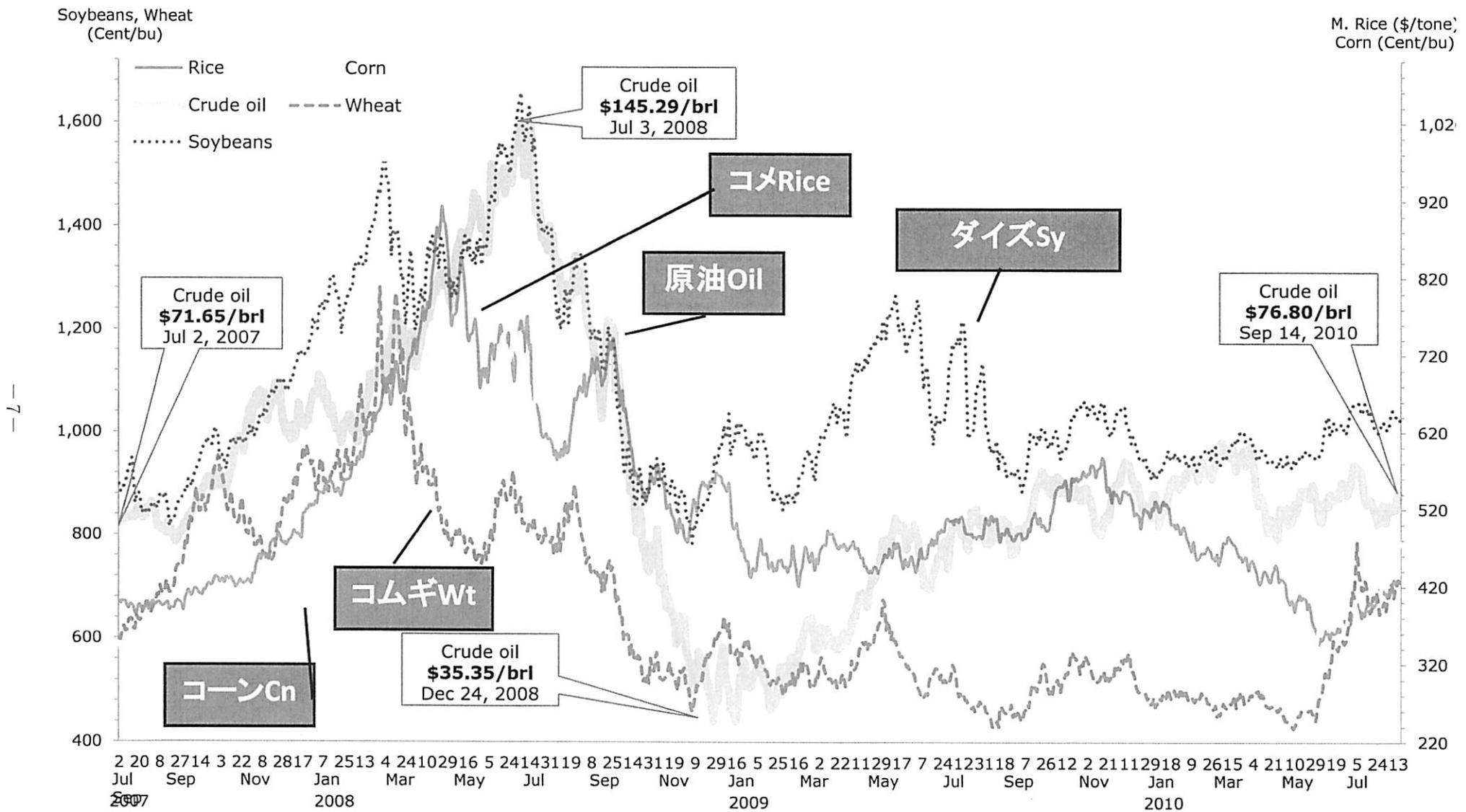
注1: 最近年のデータは、その年の月次データの平均値で示す。

注2: コメ: Bangkok, 5% broken, milled. コムギ: No.1, Hard Red, US Gulf. コーン: Yellow No.2, Gulf. ダイズ: U.S. c.i.f. Rotterdam.

注3: Calendar year.

図1-3. 原油と穀物における日々相場の推移(NYMEX, CBOT), July2' 07 – Sep.14' 10

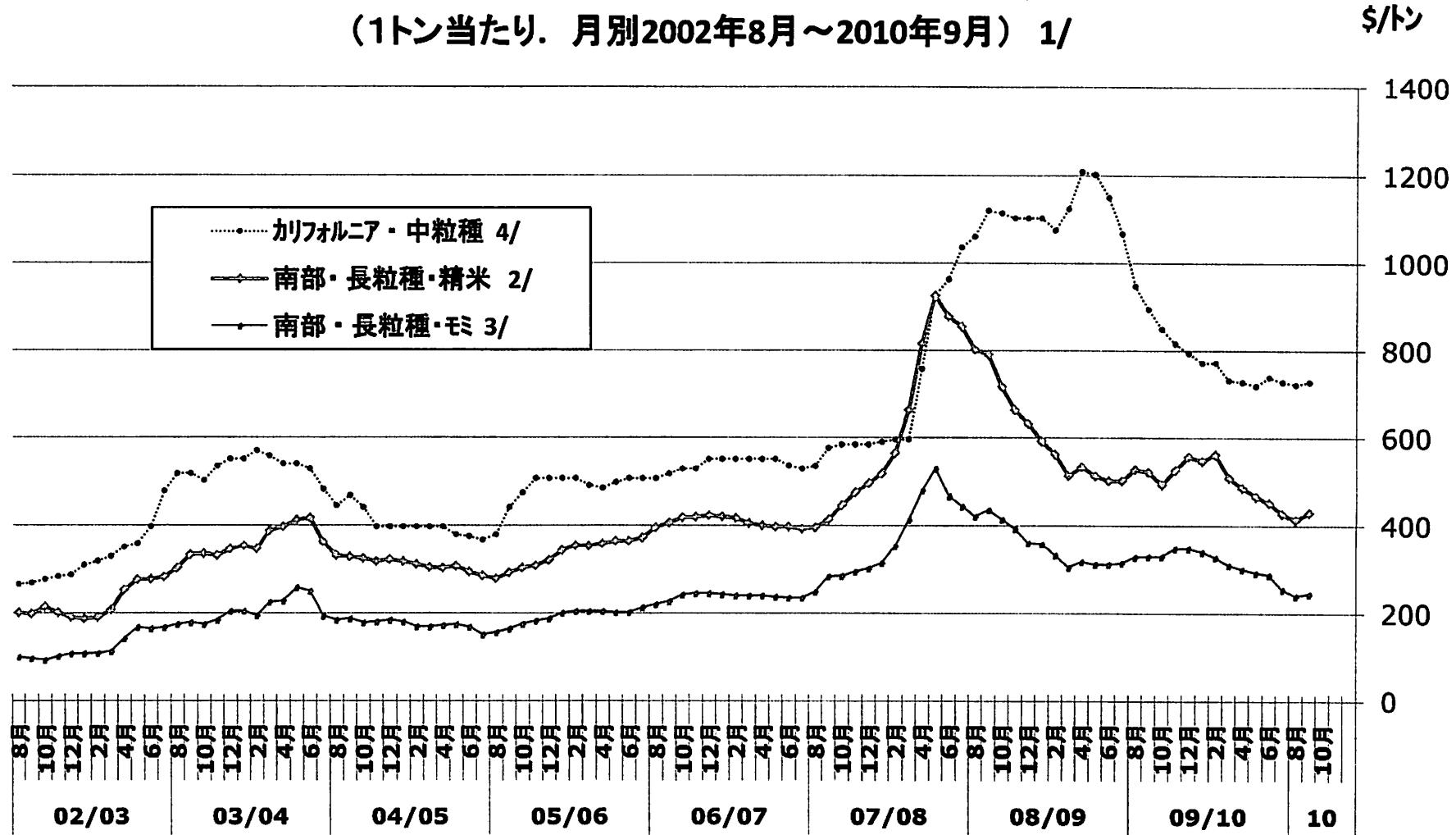
Daily Price Movements of Oil, Rice, Wheat, Corn and Soybeans in the U.S
(Daily Prices, July 2, 2007 - Sep 14, 2010)



Rice prices are reported on original website in the rough rice basis in unit of US\$/cwt. Milled rice price data were calculated from equation: Original data multiplied by 1000/(45.36*0.6) for 1 ton, which implies approximately equivalent to 4-percent-broken milled-rice package for U.S. No.1.

Source: GFT - Online Futures Trading, <http://futures.tradingcharts.com>

図2-1. アメリカにおける精米価格の動き
(1トン当たり. 月別2002年8月～2010年9月) 1/



ソース: 米国農務省(USDA): Rice Situation and Outlook Yearbook.

2005/06年以降のデータは Rice Outlook, 13, Sep. 2010/USDAのWASDE, Jun, 11, 2010 より算出した。

九州大学農学研究院農政学教室（代表：伊東正一）

元/トン

Yuan/ton

図2-2. 中国におけるジャポニカ米及びインディカ米の週別卸価格の推移
Weekly Rice Prices in Chinese Wholesale Market



Data source: China Grain Data Center, <http://datacenter.cngrain.com>

米の美味しさとタンパク質の関係

増村 威宏

京都府立大学大学院生命環境科学研究科、京都府農林水産技術センター生物資源研究センター基礎研究部

はじめに

米に含まれる栄養成分のうち、デンプンに次いで多く含まれる成分がタンパク質であり、一般的な品種では米粒中の6~8%程度である。米タンパク質は、タンパク質の栄養価の指標であるアミノ酸スコアでみると、穀類タンパク質としてアミノ酸組成バランスが良いことが判っている。また、米タンパク質の種類と含有量は、米飯の食味と関係が深く、食味計の重要なパラメーターになっている¹⁾。米飯の食味は、タンパク質含量が低いほど良いと指摘されており、栽培現場では施肥管理により米のタンパク質含量が高くならないような指導がされ、各地で良食味米の生産が行われている。

講演者は、これまでに国内の農業研究機関などで育成された、様々な品種に対する米粒中のタンパク質の分析を行い、米タンパク質の特性に関する研究を進めてきた。その中で取り組んできた米タンパク質の分析技術について、実際の分析例を示し、米の美味しさとタンパク質の関係について話題提供したい。

米タンパク質の分析技術としては、電気泳動分析、免疫蛍光顕微鏡観察、免疫電子顕微鏡観察に力を入れている。最近、完熟米からの組織切片作製法を開発し、その手法を用いることで米粒中におけるタンパク質の分布を視覚化可能になり、良食味米、一般米、タンパク質変異米などの異なる品種において、米粒中のタンパク質の局在性が異なることを明らかになった。また、同一品種のイネでも、施肥条件の違いで米粒中のタンパク質の量と局在性が異なることも明らかに出来るようになった。本講演では、各地域の農業研究機関より集めた試験米について、タンパク質の生化学的分析・米粒内分布の分析結果を解析することで、米に含まれるタンパク質と炊飯米の食味との関係について、科学的な視点に基づき詳細に検討したので紹介したい。

1. 電気泳動法による米タンパク質の分析

玄米の最外層は、表皮細胞などの数層の細胞からなる果皮で覆われ、果皮の内側には一層の種皮がある。その内側は胚乳組織であり、胚乳は糊粉層とデンプン性胚乳から構成されている。胚乳部分にはデンプン以外に、複数種類の貯蔵タンパク質が存在する。イネ種子の貯蔵タンパク質は、古典的な溶媒分画法の定義に従って命名されており、水溶性タンパク質はアルブミン、塩溶液可溶性タンパク質はグロブリン、アルコール可溶性タンパク質はプロラミン、希酸または希アルカリ可溶性タンパク質はグルテリンと呼ばれている。

ドデシル硫酸ナトリウム-ポリアクリルアミドゲル電気泳動 (SDS-PAGE) 法は、簡便にタンパク質成分を分析する手法として広く用いられている。米粒からタンパク質を抽出し SDS-PAGE 法により分析すると、貯蔵タンパク質に由来する複数のバンドが観察される（図 1）。

米タンパク質の主成分は、貯蔵タンパク質であるグルテリンとプロラミンである。グルテリン分子種は、約 57 kDa の前駆体、前駆体がプロセシングされて生じる 37~39 kDa の酸性サブユニット、21~23 kDa の塩基性サブユニットから構成される。一方、プロラミンは、16, 13, 10 kDa のプロラミン分子種から構成される。その他に、26 kDa のグロブリンが存在する。米貯蔵タンパク質中のグルテリン、プロラミン、グロブリンの存在割合は、品種によって異なるが、グルテリンが 60~65%, プロラミンが 20~25%, アルブミンやグロブリンが 10~15%であると推定されている²⁾。

貯蔵タンパク質の中で、プロラミンは人体内では消化吸収されにくく、大部分は体外へ排泄されることが明らかとなっている³⁾。一方、グルテリンは排泄物中にはみられず、易消化性であると考えられる³⁾。Iida らは、ニホンマサリに化学的突然変異剤を処理して得られた変異系統の種子について SDS-PAGE 分析を行い、易消化性グルテリンの含量が低下した系統を選抜した⁴⁾。この変異系統と、原品種であるニホンマサリを交配して得られた低グルテリン米「LGC1」およびその

交配系統は、タンパク質の摂取を制限されている方の病態食用としての利用が期待されている⁵⁾。

2. 免疫染色法による貯蔵タンパク質の米粒内分布の視覚化

免疫染色法とは、特異抗体による抗原－抗体反応を利用して、組織標本中の特定のタンパク質（エピトープ）を抗体を仲介して間接的に検出する手法である。本講演では、最近実施した、蛍光色素で標識した抗体を用い、米粒中の貯蔵タンパク質の分布を蛍光顕微鏡下で観察した手法について紹介する。

一般的にタンパク質含量の高い米は、炊飯時の吸水性が低く、硬く、粘りが低下するため、食味が低下する傾向がある⁶⁾。しかし、米タンパク質が米の食味に影響を与えるメカニズムについては、よく判っていなかった。そこで、講演者らはタンパク質の存在割合と分布に着目し、形態的な面からのアプローチとして、貯蔵タンパク質の米粒内分布を視覚化することを試みた。手法を確立する上で重要な課題は、米粒の薄切法と免疫染色法にあった。

薄切法については、完熟米は非常に脆く、通常の顕微鏡切片作製法では、破損のない切片の作製は極めて困難であった。そこで、骨などの硬組織の観察のために開発された粘着フィルム法⁶⁾をベースに、完熟米向けに技術的な改良を加え、凍結切片法を開発した⁷⁾。米粒を包埋剤であるカルボキシメチルセルロースゲルに凍結包埋する前に、包埋剤を組織中に吸引により浸透させることで、厚さが一定に保たれた薄切片（厚さ 3 μm）の作製を可能にした。この手法により作製した切片では、組織の大きな脱離はみられず、デンプン粒やタンパク質顆粒などの細胞内構造が保たれた状態で観察された（図 2）。次に免疫染色法であるが、薄切した米組織上に、蛍光物質で直接標識したプロラミン抗体を反応させ、蛍光顕微鏡下で観察を行うことで、プロラミンの米粒内分布を視覚化することに成功した（図 3）。本法を用いて、プロラミンがデンプン性胚乳組織の外周部、特にサブアリューロン層付近に多く存在していることが明らかになった。さらに、三方向からの切片を作製して観察を行い、日本晴においてプロラミンが腹・背側よりも側部に多く存在することを明らかにした。また、グルテリンについても同様の観察を行ったところ、グルテリンも種子の外周部に多く分布していた。但し、プロラミンと比較すると、グルテリンは種子の中心部にも存在する傾向がみられた。これらの知見から、タンパク質含量の高い米で食味が低下する要因は、疎水性タンパク質であるプロラミンが米粒の外周部を取り囲み、米の吸水を低下させるためであると推察した。

演者らは、栽培条件の異なる環境下で生育させたイネについても、米粒中の貯蔵タンパク質の組成分析および米粒内分布の解析を進めており、今後タンパク質の米粒内分布と食味との関係が、より明確になることが期待される。

参考文献

- 1) 増村威宏, 田中國介 : コメの品質, 食味向上のための窒素管理技術 [3] –イネ種子タンパク質の合成・集積と米粒内分布に関する分子機構–. 農業および園芸, 82: 43–48, 2007
- 2) Ogawa M, Kumamaru T, Satoh H et al.: Purification of protein body-I of rice seed and its polypeptide composition. *Plant Cell Physiol*, 28: 1517–1527, 1987
- 3) Tanaka Y, Hayashida S, Hongo M: The relationship of the feces protein particles to rice protein bodies. *Agric Biol Chem*, 39: 515–518, 1975
- 4) Iida S, Amano E, Nishio T: A rice (*Oryza sativa* L.) mutant having a low content of glutelin and a high content of prolamine. *Theor Appl Genet*, 87: 374–378, 1993
- 5) 望月隆弘, 原茂子 : 保存期慢性腎不全の食事療法における低蛋白米の有用性. 日腎会誌, 42: 24–29, 2000
- 6) Kawamoto T, Shimizu M: A method for preparing 2- to 50- μm-thick fresh-frozen sections of large samples and undecalcified hard tissues. *Histochem Cell Biol*, 113: 331–339, 2000
- 7) Saito Y, Nakatsuka N, Shigemitsu T et al.: Thin frozen film method for visualization of storage proteins in mature rice grains. *Biosci Biotechnol Biochem*, 72: 2779–2781, 2008

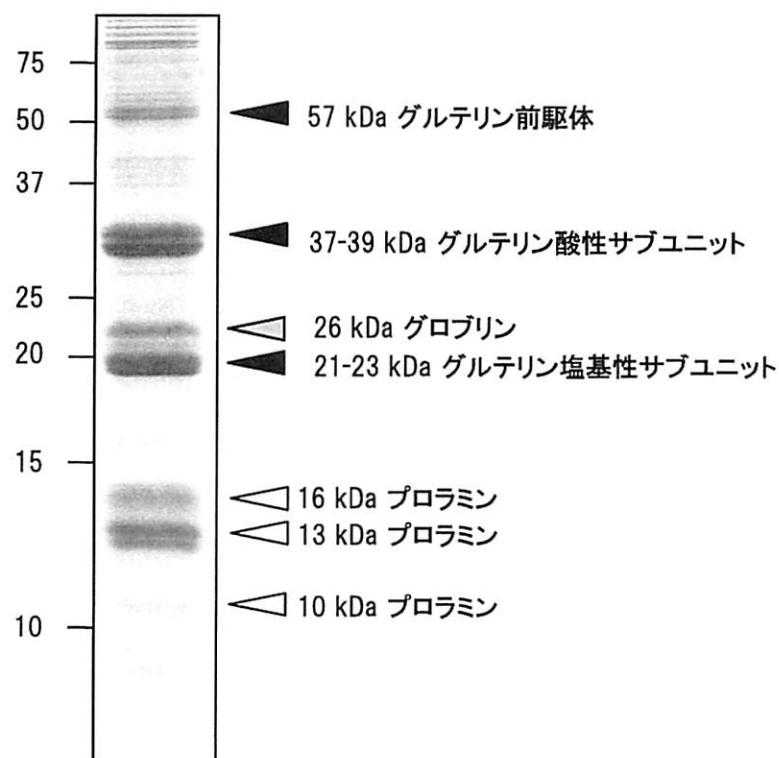


図1 米タンパク質の電気泳動像

米タンパク質のSDS-PAGE解析を行った。左側の数字は分子サイズ(kDa)を示す。右側の矢頭は、それぞれの貯蔵タンパク質を示す。

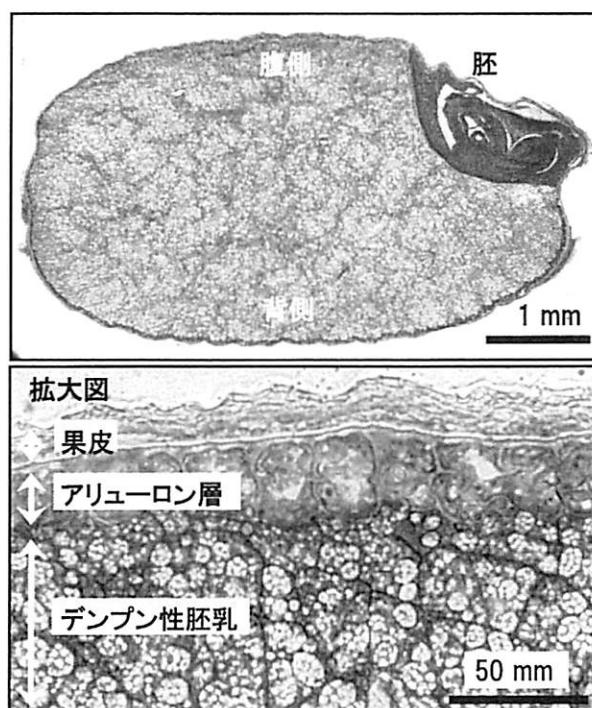


図2 米粒切片のCBB染色像

タンパク質を染色するCBB染色を行った米粒の凍結切片の光学顕微鏡観察を行った。拡大図のデンプン性胚乳において、黒色に染色されている場所がタンパク質の局在部位を示しており、白色の構造体がデンプン粒である。

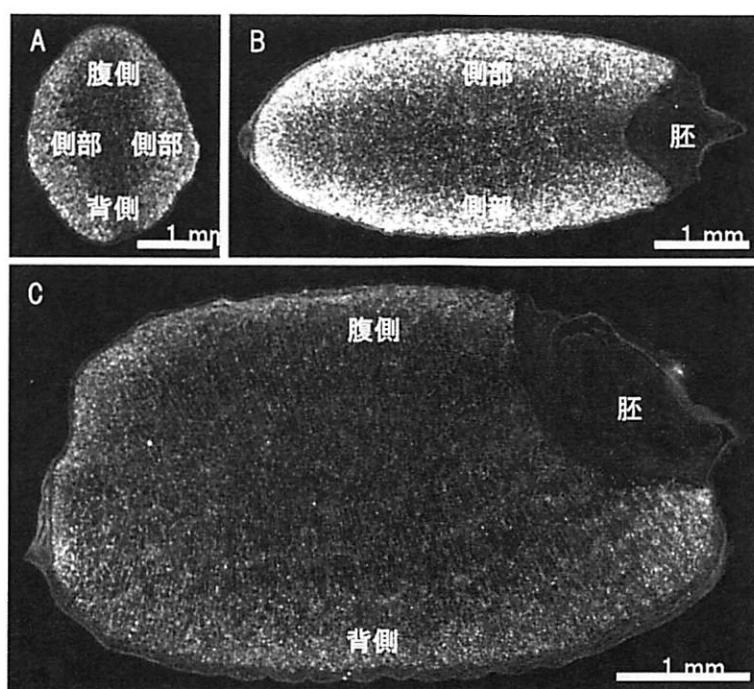


図3 免疫染色法によるプロラミンの米粒内分布の観察像

米粒の横断面(A), 縦断面1(B), 縦断面2(C:CはBに対して垂直な面)の凍結切片を作製し, 蛍光色素で標識した13 kDaプロラミン抗体を用いて免疫抗体反応を行い, 蛍光顕微鏡で観察した。白色の蛍光シグナルは13 kDaプロラミンの局在部位を示す。

MNU 突然変異処理により得たイネ胚乳突然変異体

西 愛子・佐藤 光

九州大学農学研究院 遺伝子資源開発研究センター植物遺伝子開発分野

玄米は、約 74%を占める炭水化物、約 7%を占めるたんぱく質、約 3%の脂質等から構成されている（五訂増補日本食品標準成分表、2005）。澱粉はコメの主要成分であり、その改変はコメの利用拡大につながると考えられる。澱粉はD-グルコースの重合体であり、直鎖状のアミロース分子と、分枝構造を有するアミロペクチン分子から構成される。ウルチ米澱粉は、約 15%のアミロースと約 85%のアミロペクチンから構成される。一方、モチ米澱粉はアミロースを欠き、ほぼ 100%アミロペクチンから成る。アミロースは、澱粉粒結合型澱粉合成酵素(Granule bound starch synthase I; GBSSI)により合成される。アミロペクチンは、可溶性澱粉合成酵素(soluble starch synthase; SS)、澱粉枝作り酵素(Starch-branching enzyme; BE)、澱粉枝切り酵素(starch-debranching enzyme; DBE)の一連の作用によって合成される。

これまでに、九州大学農学部遺伝子資源開発研究センターでは、N-メチル-N-ニトロソウレア(MNU)を用いた受精卵処理により、胚乳成分の構成、構造を変更する多くの変異体を作成してきた(Satoh and Omura, 1981; Satoh et al., 2003a)。澱粉特性の遺伝的な改変を目的として、これらの変異体を用い、遺伝的・生化学的及び澱粉化科学的解析を行ってきた。その結果、澱粉の生合成経路の解明ならびに新奇の澱粉特性を有するイネ品種の改良などに寄与している。

今回は、当研究室で行っている MNU 受精卵処理の特徴および MNU 受精卵処理により得た胚乳澱粉に関する変異体を用いて、遺伝子—酵素—たんぱく質—澱粉構造—澱粉特性との関係を明らかにした例を紹介する。

—変異体の作出—

【MNU を用いたイネの受精卵処理】

交雑育種法が既存の遺伝子の組換えによる変異の拡大しかできないのに対して、突然変異育種法は、遺伝子の改変によって新しい変異を創成できる利点がある。また、自然界には稀な変異を人為的に高頻度で誘起できる。突然変異原としては、放射線、化学変異原物質などがあるが、放射線は染色体変異を起こしやすく転座や欠失を生じることもある。一方、化学変異原では、塩基転位や塩基転換が生じることが多い。MNU 受精卵処理の利点は、1 細胞期に処理することにより、M1 植物体がキメラにならず、変異体の発見が容易であること、MNU は変異率が高いもののアルカリや紫外線により容易に分解され後代への影響がないことがあげられる。また、MNU は、DNA の複製時に作用し、G→A、C→T 型の塩基転移型変異を多く誘発することがわかつてきた (Suzuki et al., 2008)。MNU による突然変異は、遺伝子産物を欠損するナンセンス変異やアミノ酸が変化するミスセンス変異を多く生じ、遺伝子機能の解明に有効な材料の作出が可能である。

—変異体の解析—

【アミロース含量を変更する変異】

日本型イネの胚乳澱粉は、見かけのアミロース含量が約 15~18%である。モチ(*wx*)変異は、見かけのアミロース含量がほぼ 0%となり、米粒は白色不透明となる。低アミロース変異は、米粒は白濁色で野生型と *wx* 変異の中間となり、見かけのアミロース含量も 3~12%と野生型と *wx* 変異の中間の値を示す。また、野生型澱粉のヨウ素澱粉反応は青紫色となるのに対し、*wx* 変異澱粉は赤褐色となり、低アミロース変異澱粉はその中間の赤紫~紫色となる。

遺伝分析の結果、低アミロース変異は、*Wx* 座のミスセンス変異のほかに、*Wx* 座とは独立の *du1* ~*du5* の 5 つの遺伝子座が同定された。

低アミロース変異澱粉の尿素に対する糊化特性を調査した結果、いずれも 4M 尿素溶液で糊化を開始するものの、アミロース含量が低下するにつれて糊化澱粉の膨潤度が増加した。また、熱に対する糊化特性を調査した結果、低アミロース変異澱粉の糊化開始温度は野生型と変わらないものの、アミロース含量が低下するにつれて糊化終了温度は低下した。このことから、低アミロースの澱粉粒は、いったん糊化を開始すると一気に膨潤、崩壊すると考えられる。

【アミロペクチンに関する変異】

アミロペクチン分子は、クラスターを規則的に持つ構造をしている。アミロペクチンを構成する α -1, 4 鎖は、他の鎖から結合されておらず他の鎖に結合している A 鎖、他の鎖から結合され、他の鎖に結合している B 鎖、還元末端を持つ C 鎖に分類される。B 鎖はさらに、1 つのクラスターに収まる B1 鎖、2 つのクラスターにまたがる B2 鎖、3 つのクラスターにまたがる B3 鎖に分類される (Hizukuri, 1986)。Hanashiro et al. (1996) は、A 鎖をグルコース重合度 (DP) 12 以下、B1 鎖を $13 \leq DP \leq 24$ 、B2 鎖を $25 \leq DP \leq 36$ 、B3 鎖を $DP \geq 37$ と分類した。

アミロペクチンは澱粉物性に大きく影響を与えることが知られている。そこで、澱粉物性の遺伝的な改変を目的として、アミロペクチンの構造を決定づける枝作り酵素の変異を中心に、遺伝子とアミロペクチン構造ならびに澱粉物性との関係を明らかにした。

amylase-extender (ae) 変異は、胚乳特異的枝作り酵素 BEIIb の構造遺伝子の変異である。*ae* 変異澱粉は、熱、尿素などに対し、難糊化性を示す。*ae* 変異澱粉は、ヨウ素呈色度から算出する見かけのアミロース含量は高いが、アミロースを欠く *wx/ae* 変異澱粉が *wx* 変異澱粉より高いヨウ素呈色度を示すことから、*ae* 澱粉の高アミロース性はアミロペクチンの構造に起因すると考えられた。*ae* アミロペクチンの鎖長分布を調査したところ、野生型と比較して $DP \leq 17$ の短鎖が減少していた。イネ胚乳は重複受精を行うことを利用して野生型と欠損変異系統を正逆交雜し、*Ae* 遺伝子量の異なる種子を作成し、*Ae* 遺伝子、BEIIb たんぱく質の発現量、アミロペクチンの鎖長構造と糊化特性との関係を明らかにすることを目的として、*Ae* 遺伝子の量的効果を調査した。*Ae* 遺伝子の数が増加するのに伴い、BEIIb たんぱく質の発現量は増加し、アミロペクチンの短鎖の減少率は低下した。また澱粉は糊化特性しやすく変化した。これらの結果から、BEIIb は短鎖の合成に寄与していること、*ae* 変異澱粉の難糊化性はアミロペクチンの短鎖の減少に起因すること、*Ae* 遺伝子の改変により澱粉の糊化特性の改変が可能であることが示された (Nishi et al., 2001)。

Sbe1 遺伝子は、BEI をコードしている。BEI を欠損した *sbe1* 変異アミロペクチンは、野生型と比較して、 $12 \leq DP \leq 21$ の B1 鎖及び $DP \geq 37$ の B3 鎖が減少していた。このことから、BEI は B1 鎖と B3 鎖の合成に寄与していることが示された。また、澱粉を 4M 尿素で糊化させたとき、*sbe1* 変異澱粉は野生型澱粉と比較して上清に溶出する分子が多く、*sbe1* 変異の澱粉粒は野生型の澱粉粒と比較して溶けやすくなっていることが示唆された。示差走査熱量計 (DSC) を用いて熱糊化特性を調査した結果、*sbe1* 変異澱粉は野生型澱粉よりも糊化開始温度、糊化ピーク温度ともに低温側にシフトしていた。この結果からも *sbe1* 変異澱粉が糊化しやすい澱粉になっていることが示された (Satoh et al., 2003b)。

以上のように、アミロペクチンの構造を変化させることにより、異なる物理化学特性を有する澱粉を開発することが可能であることが示された。アミロペクチンの合成には、BE のほかにも SS や DBE などが関与している。それぞれに複数のアイソザイムを有しており、現在変異体の解析が進められている。

澱粉の生合成・蓄積の過程には、基質の供給やエネルギー代謝などさまざまな因子が多数関与している。胚乳突然変異体の解析は、胚乳澱粉の生合成経路の解明につながる一方、多様な物性を有する澱粉の開発にもつながると考えられる。

【引用文献】

五訂増補日本食品標準成分表 (2005)

Satoh H, Omura T (1981) New endosperm mutations induced by chemical mutagens in rice, *Oryza sativa* L. Jpn J Breed 31: 316–326

Satoh H, Nishi A, Fujita N, Kubo A, Nakamura Y, Kawasaki T, Okita WT (2003a) Isolation and characterization of starch mutants in rice. J Appl Glycosci 50: 225–230

Suzuki T, Eiguchi M, Kumamaru T, Satoh H, Matsusaka H, Moriguchi K, Nagato Y, Kurata N (2008) MNU-induced mutant pools and high performance TILLING enable finding of any gene mutation in rice. Mol Genet Genomics 279: 213–223

Hizukuri S (1986) Polymodal distribution of the chain lengths of amylopectins, and its significance. Carbohydr Res 147: 342–347

Hanashiro I, Abe J, Hizukuri S (1996) A periodic distribution of the chain length of amylopectin as revealed by high-performance anion-exchange chromatography. Carbohydr Res 283: 151–159

Nishi A, Nakamura Y, Tanaka N, Satoh H (2001) Biochemical and genetic analysis of the effects of *Amylose-extender* mutation in rice endosperm. Plant Physiol 127: 459–472

Satoh H, Nishi A, Yamashita K, Takemoto Y, Tanaka Y, Hosaka Y, Sakurai A, Fujita N, Nakamura Y (2003b) Starch-branched enzyme I-deficient mutation specifically affects the structure and properties of starch in rice endosperm. Plant Physiol. 133: 1111–1121.

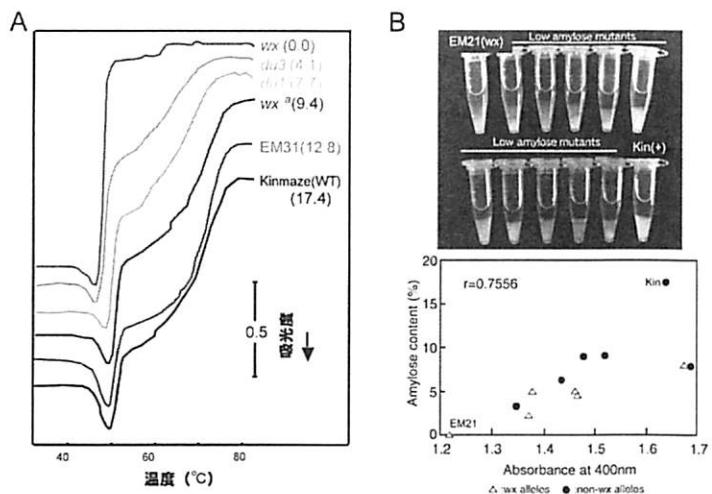


図 謙粉の糊化に及ぼすアミロース含量の効果
A. 低アミロース謙粉の熱糊化特性 B. 低アミロース系統の4M尿素溶液に対する糊化特性

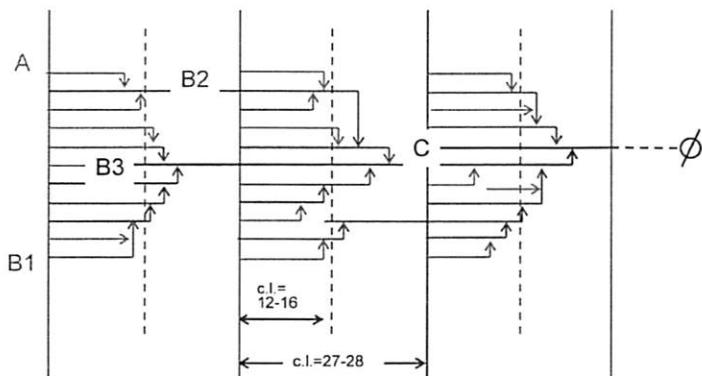


図 アミロペクチンの操作モデル

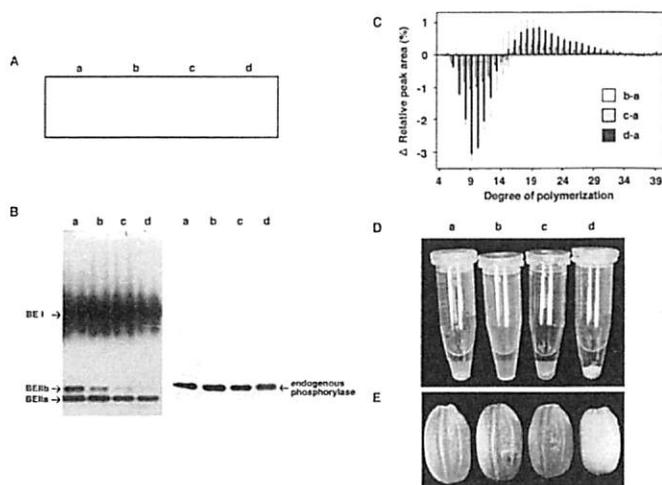


図 BEIIb タンパク質、BEIIb活性、アミロペクチンの鎖長分布、糊化特性および粒型に及ぼす
Ae遺伝子の量的効果 a, b, c, d はそれぞれAeAeAe, AeAeae, Aeaeae, aeaeaeの遺伝子型を
示す。

一般講演

1 2 課題

(一般講演1)

寒地うるち米の精米蛋白質含有率とアミロース含有率における年次間および地域間差異と生育特性との 関係

丹野久¹⁾・本間昭¹⁾・宗形信也¹⁾・吉村徹¹⁾・平山裕治¹⁾・前川利彦²⁾・沼尾吉則²⁾・
尾崎洋人³⁾・荒木和哉³⁾・菅原彰³⁾

(¹⁾北海道立中央農業試験場岩見沢試験地、²⁾北海道立上川農業試験場、³⁾北海道立道南農業試験場)

Difference in Correlation of the Protein and Amylose Contents with the Growth Characteristics of Nonglutinous Rice among Years and among Regions in Hokkaido in Northern Japan.

Hisashi TANNO¹⁾, Akira HONMA¹⁾, Tohru YOSHIMURA¹⁾, Shinya MUNEKATA¹⁾, Yuji HIRAYAMA¹⁾,
Akira SUGAWARA¹⁾, Toshihiko MAEKAWA²⁾, Yoshinori NUMAO²⁾, Hiroto OZAKI³⁾ and Kazuya
ARAKI³⁾

北海道米は、東北以南の米に比べ食味関連形質の精米蛋白質含有率とアミロース含有率における年次間差異と地域間差異が大きく、今後、気象変動に対し良食味米の安定生産を図ることが重要である。そこで本試験では、北海道の主要な稻作地帯にある3地域で、1994～2008年の15カ年について気温および収量などの生育特性と蛋白質含有率、アミロース含有率との関係を検討した。

【材料および方法】

試験場所は、北海道立上川農業試験場(上川郡比布町、北緯43.87度、以下、中央北部と記す)、北海道立中央農業試験場岩見沢試験地(岩見沢市、北緯42.22度、中央南部)および北海道立道南農業試験場(北斗市、北緯41.88度、南部)で、1994～2008年における各地域での奨励品種決定基本調査の試験成績を基に検討した。中央北部は初期生育が良好であるが秋冷が早いこと、中央南部は初期生育が劣り生育後期に土壌中窒素が多く有効化すること、南部は出穂前の気象が安定しないが秋の登熟条件が良好であることが特徴である(表1)。供試品種は中生の「きらら397」と「ほしのゆめ」で、前者は後者より千粒重がやや重くやや多収でアミロース含有率がやや低いが、その他では蛋白質含有率も含め類似した特性を有する。中苗移植栽培で、栽植密度は畦間が30.0～33.3cm、m²当たり株数は各地域の供試年次平均で24.4～25.3、株当たり植え付け本数は3.2～3.6である。窒素施肥量は基肥の全層施肥により成分量で8.0～8.5kg/10aである。蛋白質含有率は近赤外分析計で乾物当たり、アミロース含有率はオートアナライザーで水分含有率13.0%として測定した。

【結果および考察】

1. 地域間では、分けた期の6月の風速が大きく、生育後半に土壌中窒素が多く有効化するグライ土の中央南部が、褐色低地土の他地域よりも蛋白質含有率が高かった(表1)。また、同一の登熟気温(出穂後40日間の日平均積算気温)でも日較差が小さく夜温が高く、千粒重が軽い南部でアミロース含有率が低かった。
2. 3地域平均で年次間をみると、不稔歩合が低く、m²当たり稔実粒数が多く、千粒重が重く、登熟歩合が高く、全重が重く、玄米収量が高いほど蛋白質含有率が低かった(表2、表3、図1、図2、図3、図4)。

不稔歩合のこれらの関係への影響を考慮して、不稔歩合 22~50%の不稔多発データを除いて蛋白質含有率との関係をみると、蛋白質含有率と一定の関係が認められたのは不稔歩合と全重のみであった。

3. 登熟気温は不稔多発データの有無にかかわらず、843~852°Cで蛋白質含有率が最低となり(図 5)、さらにアミロース含有率と負の相関関係が認められた(図 6)。登熟気温が 852°Cより高くなるにともない蛋白質含有率が高くなるが、同時にアミロース含有率が低くなるため食味が優れると考えられた。一方、不稔歩合が高い年次では、登熟気温から推定されるアミロース含有率よりも低くなる傾向があった(図 7)。

4. 地域別にそれらの関係を見ると、蛋白質含有率は全重と玄米収量が最も重い中央北部でのみ、不稔多発データの有無にかかわらず両形質との間に負の相関関係が認められた(図 1、図 3)。また、千粒重とは南部で負の、中央南部で正の相関関係が認められ(図 4)、この差異は土壌の違いによると思われた。

【結果および考察】

表 1 各試験地域における土壌型、各生育期の気温、分けつ期の平均風速および収量、収量構成要素

地域	土壌型	日平均 積算気温		分けつ 期の 冷害 危険期	出穂 期	出穂後 40日間	出穂後 40日間	m ² 当 たり	全重	精玄 米 収量	千粒 重	稔実 初 穂 粒数	精米 收量	アミ ロ ース 含有 率	
		5~7 月 (°C)	8~9 月 (°C)												
		月 (°C)	月 (°C)	風速 (m s ⁻¹)	危険期 の平均 気温 (°C)	1日 の平均 気温 (°C)	均積算 差積算 =1)	稔実 均積算 差積算 初数	(× 10 ³)	(kg/ 10a)	(kg/ 10a)	(g)	(%)	(%)	
中央北部	褐色低地土	1513	1134	1.8	20.7	27.1	833	394	29.4	1430	566	21.9	87.8	6.7	20.7
中央南部	グライ土	1501	1190	3.4	21.4	35.4	828	333	29.2	1363	521	22.4	80.7	7.3	20.8
南部	褐色低地土	1439	1201	2.3	20.5	32.2	842	306	26.6	1255	474	21.6	82.3	6.8	19.4
		**	**	**	**	**	**	*	**	**	**	**	**	*	**

データは2品種、15カ年の平均値。分けつ期の風速は6月の平均。障害型冷害危険期は出穂前24日以降30日間。日平均気温および日較差気温はそれぞれ最高気温と最低気温との平均および差。稔実初穂粒数比(%) = ((精玄米収量/千粒重) × 10³/m²当たり稔実初穂数) × 10²。*、**: それぞれ5、1%水準で有意差有り。

表 2 各試験年次における生育期別平均気温、精玄米収量、収量構成要素および食味関連形質

年次	出穂 期	障害型 冷害 危険期 の平均 気温 (°C)	出穂後 40日間 の日平 均積算 気温 (°C)	m ² 当 たり 穂数	一穂 初数	不稔 歩合	m ² 当 たり 稔实 初数 (× 10 ³)	全重	精玄 米 収量	千粒 重	稔实 初 穂 粒数	精米 蛋白 質 含有 率	アミ ロ ース 含有 率	
1994	27.3	21.7	937	594	49.8	7.1	27.5	1187	524	22.2	87.1	7.0	18.1	
1995	34.5	21.1	779	635	51.0	9.6	31.9	1334	517	22.3	73.6	6.6	20.8	
1996	38.5	20.6	758	585	52.2	13.8	25.8	1344	516	22.0	91.5	6.9	21.5	
1997	32.0	22.1	768	629	51.9	9.0	29.4	1364	538	22.0	84.1	6.9	22.0	
1998	34.0	20.0	803	628	53.4	11.1	29.5	1370	551	22.6	82.4	7.1	20.9	
1999	27.3	21.7	940	686	45.2	8.3	28.4	1313	524	22.1	83.6	7.4	18.0	
2000	28.7	22.2	904	681	50.3	6.1	31.9	1362	564	22.3	79.6	6.8	19.1	
2001	30.3	20.4	786	689	48.6	11.4	29.4	1393	582	22.2	89.3	7.0	20.8	
2002	32.7	20.6	766	755	48.0	18.7	28.4	1364	513	21.6	84.1	7.3	21.2	
2003	36.8	18.9	765	734	40.0	42.9	16.8	1210	259	20.6	74.0	8.3	20.6	
2004	26.7	21.3	853	693	45.5	6.5	29.6	1272	522	22.1	82.3	6.6	20.1	
2005	30.3	20.8	883	737	45.2	6.2	31.1	1391	560	21.9	83.5	6.7	19.5	
2006	35.2	21.5	882	700	46.3	8.6	29.6	1409	554	22.6	83.7	6.5	19.9	
2007	28.3	19.3	872	789	43.8	22.8	26.2	1402	477	20.8	86.9	7.1	19.6	
2008	30.7	21.2	820	748	44.6	6.5	30.7	1527	600	22.4	88.1	6.3	22.9	
分散分析	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	*	*	**

3地域における2品種の平均値。障害型冷害危険期と稔実初穂粒数比は表1の脚注を参照。表中の数字に付した下線は最小値、二重下線は最大値。*、**: それぞれ5、1%水準で有意差有り。

第3表 精玄米収量、食味関連形質と出穂期、生育期別平均気温および収量構成要素との相関係数

品種名	山穂期	障害型 冷害 危険期の 平均気温	出穂後 40日間の 日平均 積算気温	不稔 歩合	m ² 当 たり 稔実 粒数	全重	精玄 米 収量	千粒 重	稔実粒 玄米 粒数歩合
精玄米収量	-0.317	0.623**	0.249	-0.859**	0.889**	0.590**	1.000	0.729**	0.468**
精米蛋白質含有率	0.253	-0.565**	-0.177	0.837**	-0.807**	-0.518**	-0.767**	-0.440*	-0.262
アミロース含有率	0.495**	-0.192	-0.824**	0.095	-0.008	0.504**	0.040	-0.066	0.112

相関係数は各年次、各品種について3地域の平均値を求めて算出 (n=30)。障害型冷害危険期と稔実粒收量粒数比は表1の脚注を参照。
*, **: それぞれ5、1%水準で有意。

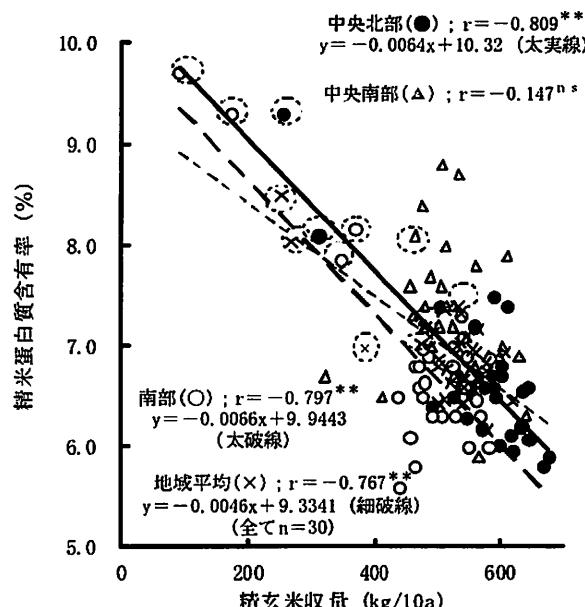


図1 精玄米収量と精米蛋白質含有率との関係

2品種、15カ年のデータによる。点線の囲みは、不稔歩合が地域別で31~76% (中央北部2、中央南部1および南部4の計n=7)、あるいはそれらを含む地域平均で22~50% (n=5) の不稔多発データであることを示す。
不稔多発データを除いた場合、中央北部 ; $r=-0.430^*$ ($n=28$)、中央南部 ; $r=-0.115^{ns}$ ($n=29$)、南部 ; $r=0.204^{ns}$ ($n=26$)、地域平均 ; $r=-0.196^{ns}$ ($n=25$)。*, **: それぞれ5、1%水準で有意。

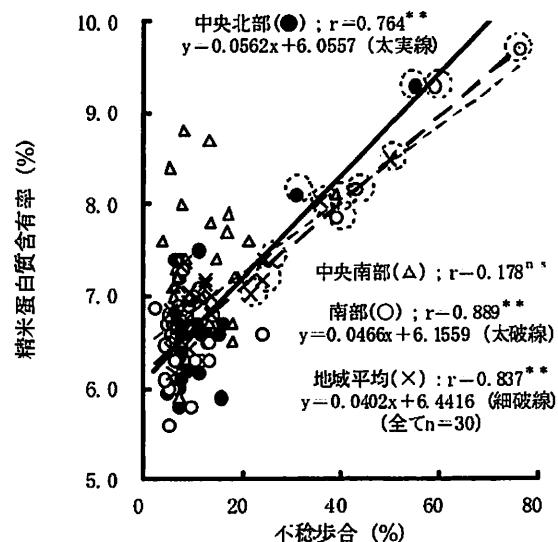


図2 不稔歩合と精米蛋白質含有率との関係

2品種、15カ年のデータによる。点線の囲み (不稔多発データ) は図1の脚注を参照。
**: 1%水準で有意。

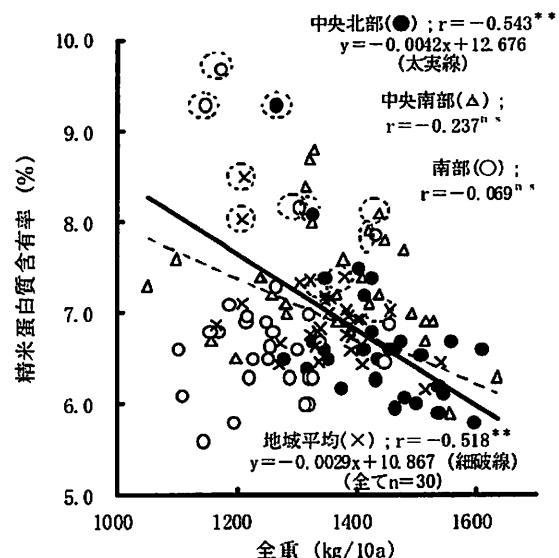


図3 全重と精米蛋白質含有率との関係

2品種、15カ年のデータによる。点線の囲み (不稔多発データ) は図1の脚注を参照。
不稔多発データを除いた場合、中央北部 ; $r=-0.399^*$ ($n=28$)、中央南部 ; $r=-0.269^{ns}$ ($n=29$)、南部 ; $r=0.015^{ns}$ ($n=26$)、地域平均 ; $r=-0.405^*$ ($n=25$)。*, **: それぞれ5、1%水準で有意。

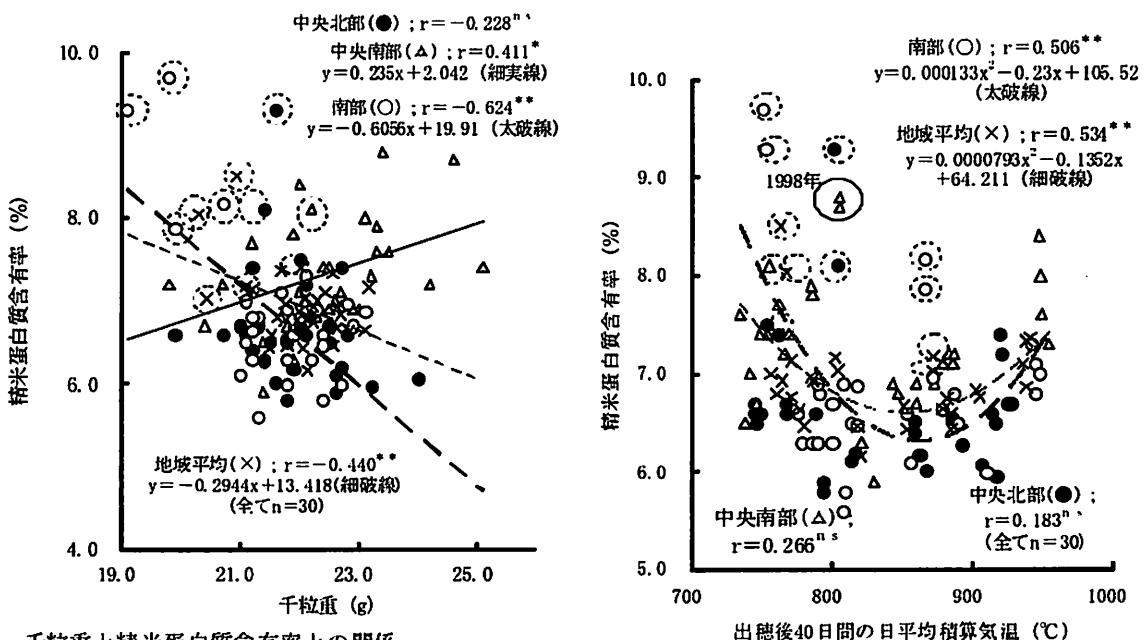


図4 千粒重と精米蛋白質含有率との関係

2品種、15カ年のデータによる。点線の囲み（不稔多発データ）は図1の脚注を参照。
不稔多発データを除いた場合、中央北部； $r = -0.228^{ns}$ ($n = 28$)、中
央南部； $r = 0.431^*$ ($n = 29$)、南部； $r = 0.137^{ns}$ ($n = 29$)、地域平
均； $r = 0.058^{ns}$ ($n = 25$)。*、**：それぞれ5、1%水準で有意。

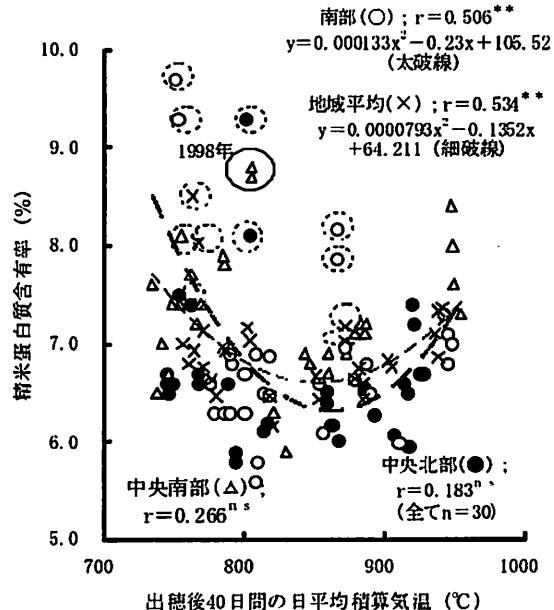


図5 出穂後40日間の日平均積算気温と精米蛋白質含有率との関係

2品種、15カ年のデータで、二次回帰による。点線の囲み（不稔多発データ）は図1の脚注を参照。**：1%水準で有意。

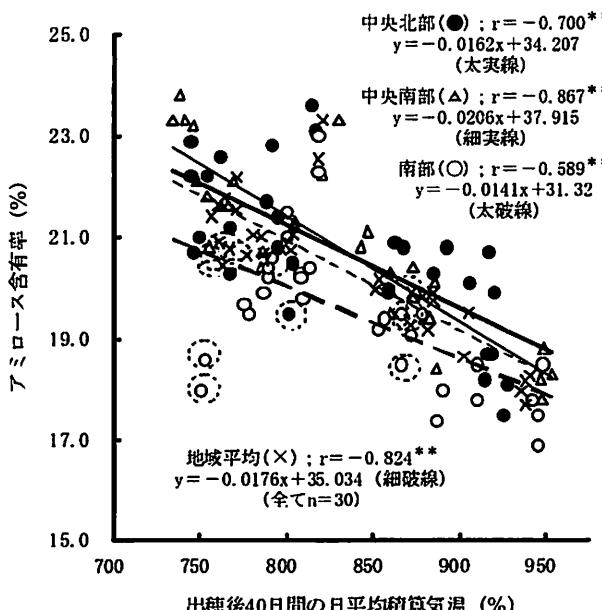


図6 出穂後40日間の日平均積算気温とアミロース含有率との関係

2品種、15カ年のデータによる。点線の囲み（不稔多発データ）は図1の脚
注を参照。**：1%水準で有意。

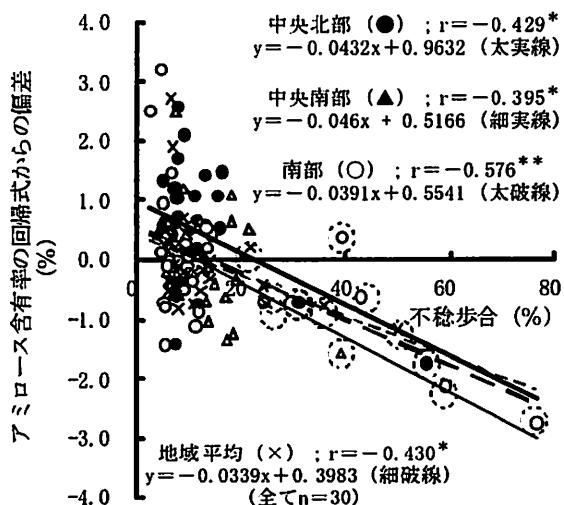


図7 アミロース含有率における出穂後40日間の日平均積算気温による回帰式からの偏差と不稔歩合との関
係

2品種、15カ年のデータによる。アミロース含有率と出穂後40日
間の日平均積算気温との一次回帰式は図6を参照。点線の囲み
(不稔多発データ)は図1の脚注を参照。*、**：それぞれ5、1%
水準で有意。

登熟中期のSPAD値による高温耐性品種選抜の可能性とその問題点

高田 聖¹⁾・亀島雅史¹⁾・宮崎 彰²⁾・山本由徳²⁾

(¹⁾ 高知県農業技術センター, ²⁾高知大学農学部)

Possibility and Problem of Selection of Rice Variety with High Temperature Tolerance

by SPAD Value at Middle Stage of Ripening Period

Sei TAKATA¹⁾, Masashi KAMESHIMA¹⁾, Akira MIYAZAKI²⁾ and Yoshinori YAMAMOTO²⁾

(¹⁾ Kochi Pref. Agr. Res. Cent., ²⁾ Fac. Agr., Kochi Univ.)

水稻の高温耐性品種の育成においては、生産物（玄米）が評価対象となるため、その選抜には多大な労力と時間を要する。著者らは選抜効率の向上を目的として、白未熟粒割合と関連が深い生理生態的特性について検討を進め、白未熟粒の発生が少ない品種ほど登熟中期のSPAD値が高いことを明らかにした。ここでは、系統選抜場面において、登熟中期のSPAD値の簡易選抜指標としての適性を検討した。

[材料および方法]

試験1 肥効調節型肥料（LPD80号）を用いて窒素成分で9.0kg/10aを全面基肥施用した水田へ、2008年4月21日に20.8株/m²で機械移植したA₃系統21系統およびコシヒカリ（表1：出穂期は7月2～12日、生育調査株数は30）を供試し、出穂期後15日目の止葉のSPAD値（以下、+15日SPAD値と記す）を葉緑素計（SPAD502）で測定した。また、成熟期には生育中庸な3株を収穫し、生育および収量構成要素を調査するとともに、得られた粒厚1.8mm以上の精玄米を対象として、玄米タンパク質含有率（Infra Alyzer500）および白未熟粒割合（RGQI10A）を調査した。

試験2 試験1と同様に窒素成分で6.0kg/10aを全面基肥施用した水田へ、2008年5月1日、同20日に20.8株/m²・4本/株で手植した30品種・系統（表2：出穂期は7月8～17日、生育調査株数は試験1と同様）を供試し、試験1と同様に+15日SPAD値、生育、収量構成要素、玄米タンパク質含有率および白未熟粒割合を調査した。

[結果と考察]

1. 試験1における供試品種・系統の登熟温度（出穂期から成熟期までの日平均気温の平均値）は27.1～27.8℃であった（表1）。+15日SPAD値は30.5～41.8の範囲に、白未熟粒割合は10.2～77.4%の範囲にそれぞれ分布し、大きな品種・系統間差が認められた（図1）。+15日SPAD値と白未熟粒割合との間には1%水準で有意な負の相関関係（ $r=-0.603^{**}$ ）が認められ、+15日SPAD値が高かった品種・系統では白未熟粒割合が低かった。
 2. 試験2における供試品種・系統の登熟温度は27.5～28.0℃であった（表2）。+15日SPAD値は25.1～37.3の範囲に、白未熟粒割合は2.4～90.0%の範囲にそれぞれ分布し、大きな品種・系統間差が認められた（図2）。試験1と同様に+15日SPAD値と白未熟粒割合との間には1%水準で有意な負の相関関係（ $r=-0.679^{**}$ ）が認められ、+15日SPAD値が高かった品種・系統では白未熟粒割合が低かった。
 3. 試験に関わらず、+15日のSPAD値が中位に位置する品種・系統の中には、+15日SPAD値が同程度でありながら白未熟粒割合が大きく異なる品種・系統が認められた（図1、2）。それら品種・系統においては、白未熟粒割合と1穂粒数との間に、試験に関わらず5%水準で有意な正の相関関係が認められ、同程度の+15日SPAD値を示しながら白未熟粒割合が高かった品種・系統では1穂粒数が多かった（表3）。
 4. +15日SPAD値と生育、収量構成要素との間には、一定の傾向は認められなかった（表4）。一方、玄米タンパク質含有率との間には、試験にかかわらず有意な正の相関関係が認められ、+15日SPAD値が高かった品種・系統では玄米タンパク質含有率が高かった。
- 以上より、+15日SPAD値は高温耐性品種を選抜するための立毛段階における簡易選抜指標としての適性が高く、また、+15日SPAD値に1穂粒数を加味することによって選抜効果がより高まるものと考えられた。一方で、+15日SPAD値による選抜を行った場合、玄米タンパク質含有率が高く食味の劣る系統ばかりが選抜される可能性が指摘された。+15日SPAD値による選抜は供試系統数の多い選抜初期段階で有効であろうと推察された。

表1 試験1の供試品種・系統の組合せと系統数

組合せ		系統数	
ふさおとめ	/	越南176号	9
ナツヒカリ	/	越南176号	3
ナツヒカリ	/	こしいぶき	1
ナツヒカリ	/	中国171号	1
こしいぶき	/	ふくひびき	2
コシヒカリ	/	こしいぶき	1
ほしのゆめ	/	コシヒカリ	1
南国そだち	/	越南176号	1
越南176号	/	ふさおとめ	1
奥羽390号	/	南国そだち	1
コシヒカリ		—	

出穂期は7月2~12日。登熟温度(出穂期から成熟期までの日平均気温の平均値)は27.1~27.8°C(AMeDAS後免・南国市を使用)。

表2 試験2の供試品種・系統と出穂期、登熟温度

品種・系統名	出穂期 (月/日)	登熟 温度 (°C)	品種・ 系統名	出穂期 (月/日)	登熟 温度 (°C)
ふさおとめ	7/ 9	27.6	高系325	7/13	27.8
ひとめぼれ	7/13	27.8	北陸202号	7/15	27.9
あきたこまち	7/10	27.7	北陸208号	7/ 8	27.6
初星	7/10	27.7	関東HD1号	7/ 8	27.5
おきにいり	7/12	27.8	越南203号	7/15	27.9
コシヒカリ	7/16	27.9	越南218号	7/16	28.0
越路早生	7/ 8	27.6	越南219号	7/16	28.0
中国171号	7/15	27.9	中部125号	7/14	27.9
高育71号	7/17	28.0	西南130号	7/13	27.8
みねはるか	7/16	27.9	西南132号	7/ 9	27.6
つくばSD1号	7/16	28.0	高育70号	7/15	27.9
ヒカリ新世紀	7/16	27.9	ナツヒカリ	7/16	27.9
高系321	7/15	27.9	高系318	7/15	27.9
高系323	7/17	28.0	高系322	7/16	28.0
高系324	7/13	27.8	西南129号	7/15	27.9

つくばSD1号、関東HD1号はそれぞれコシヒカリつくばSD1号、コシヒカリ関東HD1号の略。登熟温度は出穂期から成熟期までの日平均気温の平均値(AMeDAS後免・南国市を使用)。

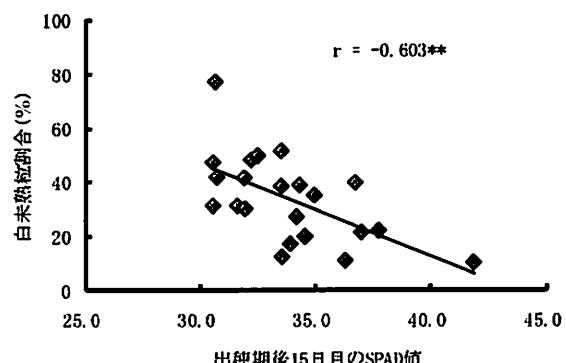


図1 試験1の供試品種・系統の出穂期後15日目のSPAD値と白未熟粒割合との相関関係。SPAD値は止葉で測定、白未熟粒割合は穀粒判別器(RQGI10A)により調査(n=22)。

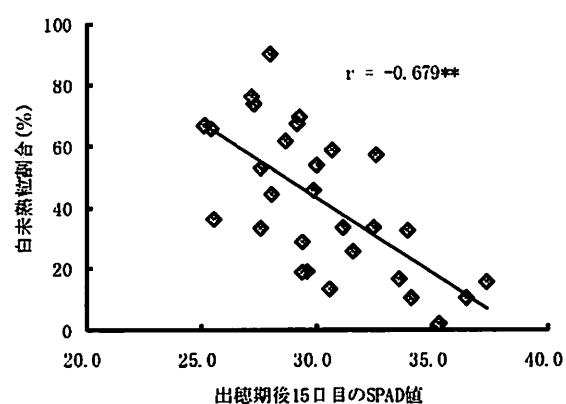


図2 試験2の供試品種・系統の出穂期後15日目のSPAD値と白未熟粒割合との相関関係。SPAD値は止葉で測定、白未熟粒割合は穀粒判別器(RQGI10A)により調査(n=30)。

表3 出穂期後15日目のSPAD値が同程度の品種・系統における白未熟粒割合と諸形質との相関関係

	稈長 (cm)	穀長 (cm)	総数 (本/m ²)	初数		登熟 歩合 (%)	玄米 千粒重 (g)
				1穂 (粒)	m ² 当 (千粒)		
白未熟粒割合(試験1)	-0.009	0.460	-0.732 *	0.734 *	-0.019	0.279	0.255
白未熟粒割合(試験2)	0.204	0.773 **	-0.276	0.640 *	0.590	0.106	-0.164

登熟歩合は粒厚1.8mm以上の玄米数÷全初数。*, **はそれぞれ5%, 1%水準で有意であることを示す。試験1では出穂期後15日目のSPAD値が33.5~34.9、白未熟粒割合が12.3~51.7%であった8系統、試験2では同28.7~31.1, 13.5~69.6%であった11系統を対象とした。

表4 品種・系統の出穂期後15日目のSPAD値と諸形質との相関関係

	稈長 (cm)	穀長 (cm)	総数 (本/m ²)	初数		登熟 歩合 (%)	玄米 千粒重 (g)	タンパク 質含有率 (%)
				(粒/本)	(粒/m ²)			
SPAD値(試験1)	-0.497 *	-0.314	-0.158	0.207	0.108	-0.190	0.197	0.762 **
SPAD値(試験2)	-0.078	0.322	0.101	-0.573 **	-0.605 **	-0.422 *	0.192	0.544 **

登熟歩合は粒厚1.8mm以上の玄米数÷全初数。タンパク質含有率はInfra Alyzer500で測定した玄米の値。*, **はそれぞれ5%, 1%水準で有意であることを示す。試験1はn=22, 試験2はn=30。

中国天津市におけるジャポニカ型良食味水稻品種共同開発プロジェクト

塩津 文隆^{1*}・楠谷 彰人²・松江 勇次³・崔 晶⁴・森田 茂紀¹

(¹東京大学, ²香川大学, ³福岡県農業総合試験場, ⁴天津農学院)

Joint-Project on Breeding Rice Cultivars with High Quality and Palatability in Tianjin

Fumitaka SHIOTSU^{1*}, Akihito KUSUTANI², Yuji MATSUE³, Jing Cui⁴ and Shigenori MORITA¹

(¹The University of Tokyo, ²Faculty of Agriculture, Kagawa University,

³Fukuoka Agricultural Research Center, ⁴Tianjin Agricultural University)

近年、中国では急速な経済成長が続いているが、所得の増加に伴い食生活の多様化も進んでおり、大都市や沿岸部の消費者の間では、米に対するニーズが量から品質・食味へと変わり始めている。すなわち、価格が高くても品質・食味が優れた「おいしい米」を求める傾向が強くなっている。中国では米の品質・食味に関する研究が近年、急速に増加しているものの、まだ歴史が浅いため、その研究成果が品種育成や栽培普及に十分、生かされているとは言い難い。そこで私たちは、日本における先行研究の経験と成果を踏まえ、中国天津市においてジャポニカ型中国稻品種を母本とする交配育種と栽培研究を行い、良食味米水稻品種を開発する共同プロジェクトを推し進めている。今回は、プロジェクトの経緯、現状と今後の課題について紹介する。

【プロジェクトの発足と食味シンポジウムの開催】

2004年に、東京大学と天津市人民政府の共同研究プロジェクト「中国天津市における都市と農村の融合に基づく持続的発展」が立ち上がり、具体的な共同研究テーマの一つとして、良食味水稻品種の開発(品種育成と栽培マニュアルの策定に基づく普及)を取り上げることになった。活動を進める中で、中国において米の品質・食味という概念を普及するとともに、関連の研究成果を整理する必要があると考え、2006年9月に天津市において、水稻の品質・食味に関する中日共同シンポジウムを開催した。このシンポジウムには中国全土から100名を超える研究者・技術者・行政関係者などが集まり、また日本人研究者も加わって活発な議論が交わされた。その成果としては、中国の地域によって米の嗜好性が異なること、品種と栽培条件が品質・食味に大きな影響を与えることなどが確認された。詳細については、農業および園芸(82:291–311)や崔晶・森田茂紀編(2007)「水稻食味学」(天津教育出版社)を参照されたい。

【中日水稻品質・食味共同研究センターの設立】

上記のシンポジウムを含むプロジェクトの活動を踏まえて、2007年、天津農学院の中に中日水稻品質・食味共同研究センターを設立し、その中に育種開発、栽培研究、評価認定、産業推進、企画情報という5つの部門を設置した。2009年には部門ごとの目標を確認したうえで、それを実現するための工程表を作成した(第1表)。研究センターとしての中心的な活動内容は、①中国北方地域からジャポニカ型水稻品種を収集し、品質・食味を含む品種特性を評価すること、②その解析結果も利用しながら、収量および品質・食味の観点から選定した母本を材料として交配育種を進めること、③土壤条件や施肥などが品質・食味に及ぼす影響を検討すること、④中国における食味官能試験を確立し、それを利用して日中間の比較や中国における地域間比較を行うこと、さらに、品質・食味に関する基準を確立することである。

【食味官能試験と品質・食味に関する統一基準の確立】

中国には食味官能検査基準はあるものの、未だ全国的に統一された食味特性の評価法や官能検査基準が定まっておらず、これに基づいた食味官能評価試験や品種育成(選抜)は行われていない。そのため、中国において良食味米品種を育成するためには、食味評価項目の明確化、各パネル構成員の識別能力や嗜好性の精度を解析して、効率的な食味官能試験を確立する必要がある。そこで、日本における経験を踏まえ、食味官能試験において極めて重要なパネル構成員の選定と養成、基準米の設定、1回の供試点数などを含めて、中国版の食味官能試験の確立に取り組んでいる。また、良食味米を全国的に普及するためには、統一的な品質

基準・食味基準が必要であるので、すでにある国家基準を基にして改良・検討を進めていく予定である。

【今後の課題】

育種開発部門：①理化学的食味特性および官能検査に基づいたが選抜システムの開発
②効率的な耐病性検定の確立、③良食味に関する遺伝資源の探索と収集・保存

栽培研究部門：①栽培環境要因と外観品質・食味との関係、およびそのメカニズムの解明
②栽培歴が明らかな米の食味・理化学的特性を産地別に検討

評価認定部門：①効率的な食味官能試験の確立(パネル構成員の選定および養成を含む)
②全国統一的な食味官能検査基準および等級検査基準の策定

産業推進部門：①生産流通システムの理解と関係者との連携

企画情報部門：①良食味米および栽培技術の広報活動
②中国における品質・食味研究に関する文献収集とレビュー

第1表 中日水稻品質・食味共同研究センターの活動計画工程表.

部門	2010年	2011年	2012年
育種開発	交雑(12品種・約30組合せ) →F1(海南島)	F2→F3→F4 (いずれも海南島で集団養成)	F5(丹東で耐病性検定)
栽培研究	2008年・09年のデータ解析 天津市稻作実態調査	栽培体系構築 天津稻作実態調査	栽培体系構築
評価認定	評価体系構築 パネラー選定 理化学性評価の検討 法律基準確認 基準設定準備	食味官能試験の検討 パネラー養成 理化学性評価の検討	食味官能試験の検討 パネラー養成 理化学性評価の検討 育成系統(F5～)の評価開始
産業推進	精米加工業者との連携の準備	精米加工業者との連携の準備	精米加工業者との連携の準備
企画情報	HP立上げ・管理 情報の収集・整理 センター年報発行 年次報告会の開催 シンポジウム開催	HPの管理・更新 情報の収集・整理 センター年報発行 年次報告会の開催 シンポジウム開催	HPの管理・更新 情報の収集・整理 センター年報発行 年次報告会の開催 シンポジウム開催

2013年	2014年	アウトプット
F6(原種農場で栽培試験)	F7(天津の現地10ヶ所で生産力検定試験)	新品種直前の有望系統 2015年F8(特別増殖) －新品種リリース
有望系統の生産力検定試験	有望系統の生産力検定試験	新品種専用の栽培マニュアルの完成
食味官能試験の検討 パネラー養成 理化学性評価の検討	食味官能試験の検討 パネラー養成 理化学性評価の検討	食味官能試験完成 (評価システム・パネラー) 理化学評価システム完成
精米加工業者との連携の開始	精米加工業者との連携の開始	農家へ普及・企業生産開始準備完了
HPの管理・更新 情報の収集・整理 センター年報発行 年次報告会の開催 シンポジウムの開催 シンポジウム開催	HPの管理・更新 情報の収集・整理 センター年報発行 年次報告会の開催 シンポジウム開催	天津水稻品質・食味検定協会の計画 研究者・技術者用教育プログラム構築 農民用テキスト作成と技術講習会開催

温暖化に対応した水稻の好適移植期および好適出穂期の推定

船場 貢¹⁾・大脇淳一²⁾・下山伸幸³⁾・古賀潤弥¹⁾・渡邊大治¹⁾・土井謙児¹⁾
(¹⁾長崎農技セ・²⁾壱岐振興局、³⁾農林部農産園芸課)

Estimation of optimum transplanting and heading time of rice plant under high temperature condition.

Mitsugu FUNABA¹⁾, Junichi OWAKI²⁾, Nobuyuki SHIMOYAMA³⁾, Junya KOGA¹⁾,
Taiji WATANABE¹⁾, Kenji DOI¹⁾

近年の温暖化に伴い、九州地域では高温登熟障害が問題になり、安全作期策定が重要視されている。船場ら(1997, 2000)は、登熟期前半に高温になると、高温登熟障害が発生し、出穂後20日間の平均気温が高温登熟の指標となることを明らかにした。また、長崎県県北地域の中山間地では、登熟期の気温が低く、低温障害が発生すること、また出穂後40日間の平均気温が低温登熟障害の指標となることを明らかにした(船場ら 2009)。高温・低温障害を避ける指標と水稻生育予測システム(船場ら 1996)を用いて、長崎県県北地域の標高50m毎の地点で好適移植時期と好適出穂期を推定した(船場ら 2009)。今回、水稻生育予測システムに温度補正機能を追加し、近年の温暖化に対応した好適移植期及び好適出穂期を推定した。

【材料及び方法】

「にこまる」のDVRのパラメーターは「機構—L02」の「多項式・関数式DVRの計算表示プログラム」を用いた。水稻生育予測システムに温度補正機能を追加し、近年の温暖化に対応した好適移植期及び好適出穂期を推定した。

好適出穂期の早限は高温障害を避ける出穂期で、出穂後20日間の平均気温が26°Cを超えない日とした。「にこまる」は27°Cを超えない日とした。好適出穂期の晚限は、低温登熟障害を受けない出穂期で、出穂後40日間の平均気温が23°Cを下回らない日とした。好適移植期の早限及び晚限は、好適出穂期の早限及び晚限に対応する日とし、それぞれ好適出穂期からDVRを逆に積算し、DVIが1を超える日とした。

【結果及び考察】

全生育期間の平均気温が1°C上昇した場合の「ヒノヒカリ」の県北地域の適作型を推定した結果、好適移植期が16~20日程度、好適出穂期が6~8日程度遅くなつた(表2)。

全生育期間の平均気温が1°C上昇した場合の諫早地域の適作型を推定した場合、「ヒノヒカリ」の好適移植期は、7月11日～18日となり、現在の移植期は6月25日頃であるので、大幅に遅らせる必要がある。一方、「にこまる」の好適移植期は6月22日～7月13日となり、現在の移植期でも対応できる（表3）。

【引用文献】

船場ら(1996)日作九支報62:34-36; 船場ら(1997)日作九支報63:15-17; 船場ら(2000)日作九支報66:38-40; 船場ら(2009)日作九支報75:9-12; 船場ら(2009)日作九支報75: 13-15

表1 「にこまる」の生育予測式とパラメータ

$$DVR=A+B*T+C*T^2+D*L+E*L^2$$

$$A=-0.4250971E+00$$

$$B=-0.9532125E-03$$

$$C=0.3373014E-04$$

$$D=0.7219556E-01$$

$$E=-0.2919951E-02$$

注) Tは平均気温、Lは日長

表2 平均気温が1°C上昇した場合の県北地域における「ヒノヒカリ」の標高50m毎の適作型の推定

平均 気温	メッシュコード	地名	標高	好適移植期		好適出穂期		成熟期	
				早限	晚限	早限	晚限	早限	晚限
平年	5029053410	御厨	10	5.31	6.19	8.21	8.30	10.3	10.15
	4929758701	志佐	50	5.24	6.12	8.18	8.27	9.30	10.12
	4929753400	猪崎	100	5.18	6.4	8.15	8.24	9.27	10.9
	4929754800	長野	150	5.12	5.28	8.13	8.21	9.25	10.6
	4929764001	鶴木場	200	4.29	5.25	8.5	8.20	9.16	10.5
	4929753900	長坂	250	4.26	5.19	8.3	8.18	9.14	10.3
	4929752901	木瀬原	300	4.27	5.17	8.4	8.17	9.16	10.2
	4929665311	瀬木	350	4.28	5.10	8.5	8.14	9.17	9.29
	4929661201	木場	400	4.29	5.4	8.7	8.11	9.21	9.26
	4929861300	木場	450	5.1	4.30	8.9	8.9	9.24	9.24
	5029053410	御厨	10	6.21	7.5	8.29	9.5	10.11	10.21
	4929758701	志佐	50	6.13	6.28	8.26	9.2	10.8	10.18
	4929753400	猪崎	100	6.8	6.21	8.24	8.30	10.7	10.15
	4929754800	長野	150	5.31	6.13	8.21	8.27	10.4	10.12
+1 °C	4929764001	鶴木場	200	5.25	6.10	8.18	8.26	9.30	10.11
	4929753900	長坂	250	5.20	6.4	8.16	8.24	9.28	10.9
	4929752901	木瀬原	300	5.15	6.1	8.14	8.23	9.26	10.8
	4929665311	瀬木	350	5.8	5.27	8.10	8.21	9.22	10.6
	4929661201	木場	400	4.23	5.22	7.30	8.19	9.9	10.4
	4929861300	木場	450	4.24	5.18	8.1	8.17	9.12	10.2

注) 平均気温の平年は1951～1980年。高温登熟回避は出穗後20日間の平均気温が26°Cを下回る日。

低温登熟回避は出穗後40日間の平均気温が23°Cを下回る前日。

表3 平均気温が上昇した場合の諫早地域の適作型の推定

品種	平年との 温度差	好適移植期		好適出穂期		成熟期	
		早限	晚限	早限	晚限	早限	晚限
ヒノヒカリ	0°C	6.22	7.5	8.27	9.2	10.10	10.18
	+0.5°C	7.3	7.11	8.31	9.4	10.14	10.20
	+1.0°C	7.11	7.18	9.3	9.7	10.17	10.23
	+1.5°C	7.18	7.24	9.6	9.10	10.20	10.26
にこまる	0°C	5.25	6.28	8.27	9.2	10.10	10.18
	+0.5°C	6.10	7.5	8.31	9.4	10.14	10.20
	+1.0°C	6.22	7.13	9.3	9.7	10.17	10.23
	+1.5°C	7.3	7.19	9.6	9.10	10.20	10.26

注) 生育予測式のパラメータは2005～2007年の移植時期試験のデータから算出。

高温登熟回避は出穗後20日間の平均気温がヒノヒカリは26°C、にこまるは27°Cを下回る日。

(一般講演)

水稻の外観品質に及ぼす稻体窒素栄養条件や施肥法の影響

田中浩平¹⁾・宮崎真行²⁾・内川修²⁾・荒木雅登²⁾

¹⁾福岡県経営技術支援課、²⁾福岡県農業総合試験場)

Effects of the Nitrogen Nutrient Condition and Nitrogen Application on Kernel Quality of Rice

Kohei TANAKA^{1,2)}, Masayuki MIYAZAKI^{1,2)}, Osamu UCHIKAWA^{1,2)} and Masato ARAKI^{1,2)}

近年、九州地域を中心として米の検査等級が低下し大きな問題となっている。その要因の一つとして水稻の窒素栄養の影響が指摘されているが、稻体の窒素栄養と品質の関係について検討した報告は少ない。そこで、本研究では栽培法、特に窒素施肥法による水稻品質の向上を目的として、水稻の生育時期別窒素含有率や窒素吸収量と玄米の検査等級、白未熟粒の発生程度、タンパク質含有率等との関係を検討した。

【材料および方法】

1. 試験年次、場所: 2004~2006年、福岡県農業総合試験場
2. 供試品種: つくしろまん
3. 試験区の構成

移植期	6月16日		6月30日	
	中	高	中	高
窒素施肥量	5+0+0	2+0+0	3+2+0	2+2+0
	5+2+0	2+2+0	5+2+0	4+2+0
	5+2+1.5	4+2+0		
	5+3 (LP)			

窒素施肥量は、基肥+穗肥Ⅰ+穗肥Ⅱを示す(kg/10a)。
(LP)はLP30と硫安を1:1の窒素比率で配合した肥料。
他は速効性肥料。

【結果および考察】

1. 単位面積当たり粒数が適正範囲である場合、乳白粒や基部未熟粒、背白粒の発生は幼穂形成期および穂揃期における窒素含有率や窒素吸収量が多くなると減少した。
2. 移植期を遅らせると地力窒素の吸収が多くなり、幼穂形成期および穂揃期における稻体窒素含有率が高くなった。
3. 肥沃度が高い圃場では、幼穂形成期から穂揃期の期間における窒素吸収量が多く、遅植えと基肥窒素量の減肥の組合せにより検査等級が向上した。
4. 肥沃度が中庸な圃場では、穂肥に肥効調節型肥料を用いると検査等級、収量共に向上し、幼穂形成期における稻体窒素含有率を高く維持することで検査等級が向上した。
5. 玄米の外観品質の向上とタンパク質含有率の抑制を両立させるためには、最高分けつ期から幼穂形成期頃の稻体窒素含有率や窒素吸収量を高く維持することが重要と考えられた。

【発表論文】

日本作物学会紀事 Vol. 79 (2010), No. 4

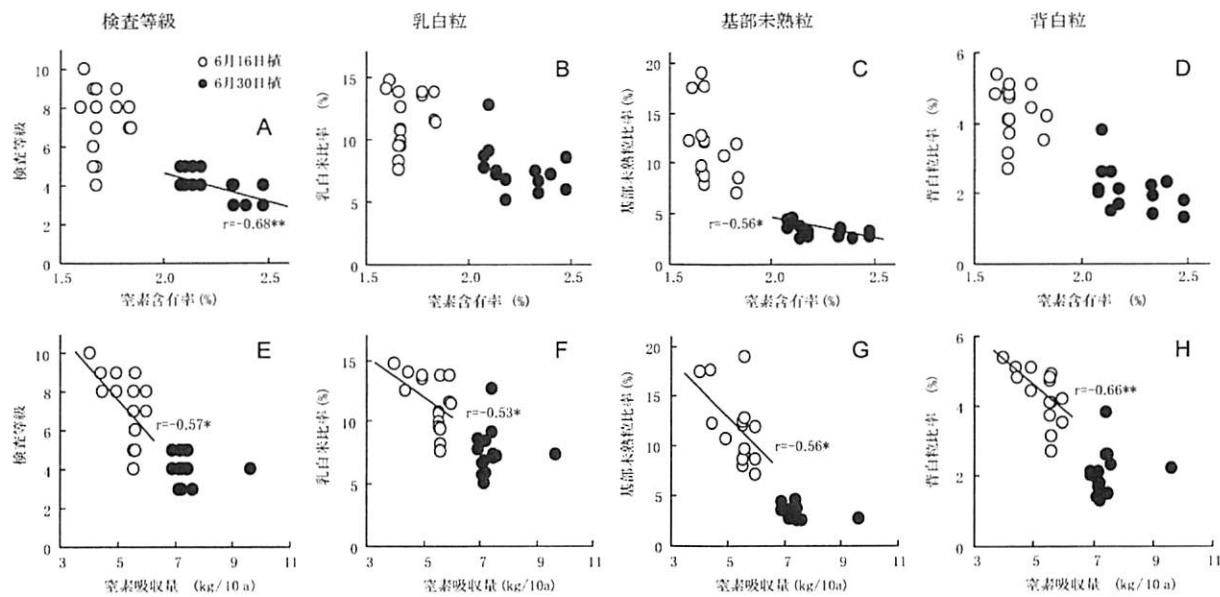


図1 幼穂形成期における窒素含有率および窒素吸収量と玄米品質との関係.

2005年. 回帰直線は移植期別に、1%水準 (**), または5%水準 (*) で有意な場合のみ記載.

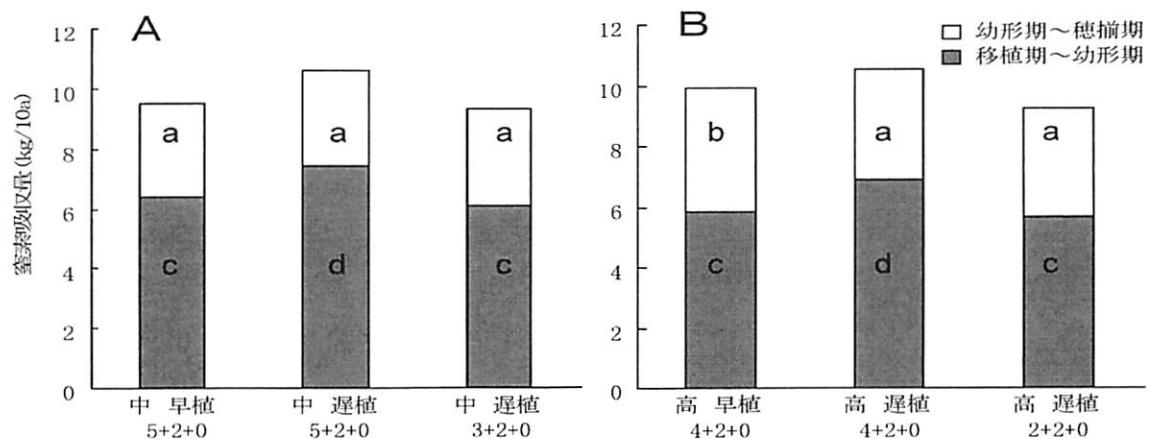


図2 土壤の肥沃度や移植期、施肥法が異なる場合の時期別窒素吸収量の変化.

2004,2005,2006年平均値. 横軸の中、高は圃場の肥沃度、早植、遅植は各々6月16日植、6月30日植、数字は10a当たり窒素施肥量(基肥+穗肥I+穗肥II)を示す。異なる英文字間には5%水準で有意差あり (Fisher's LSD).

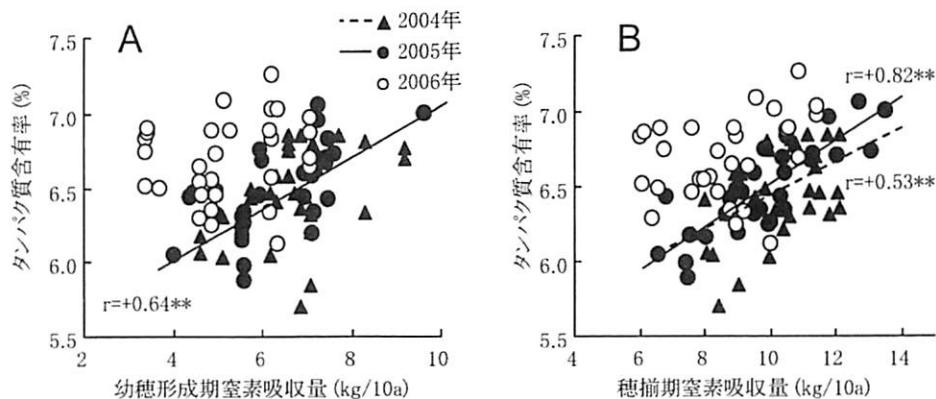


図3 玄米タンパク質含有率と窒素吸収量との関係.

(一般講演1)

登熟期間中の乾物動態および物質生産からみた「元気つくし」の生育特性

宮崎 真行・荒木 雅登

(福岡県農業総合試験場)

Growth characteristic of dry-matter production 'Genkitsukushi' During the ripening period

Masayuki MIYAZAKI, Masato ARAKI

登熟期の高温による乳心白粒および背白粒等の白未熟粒の発生は、胚乳細胞内へのデンプン代謝が不良になることで生じる現象である。この要因としては、1) シンク側（玄米側）のデンプン合成能力の低下、2) ソース側（茎葉側）の同化産物の供給力の低下が指摘されている。

そこで、高温登熟性が優れる「元気つくし」について、出穂後に止葉を切除し、登熟期間中の光合成能力を低下させた場合の収量・品質や登熟期間中の乾物動態および物質生産（非構造性炭水化物量、以下 NSC）からみた生育特性を検討した。

【材料および方法】

2009年に福岡県農業総合試験場（福岡県筑紫野）の灰色低地土・砂壌土水田において試験を実施した。品種は「元気つくし」および比較品種として高温登熟性が劣る品種「つくしろまん」を用いた。移植日は5月15日で稚苗を用い、栽植株数は条間30cm、株間15cmの22.2株/m²、1株4本手植えとした。10a当たり窒素施用量は基肥5kgとした。また、出穂期に止葉を切除した試験区を各品種5株設置した。

出穂5、10、18、29日後の早朝に中庸な5株を抜き取り、稈+葉鞘（以下、茎重）、穂、葉身、枯葉にわけ80°Cで48時間乾燥した。乾物重を測定後、部位別に粉碎し、大西ら（1999）の重量法によるNSC含有率を測定した。玄米品質は1.8mmの縦目篩にかけた玄米100～150粒を調査し、乳心白粒（背白、基白粒等の併発も含む）、背白粒、基白粒、腹白粒およびその他未熟粒に分類した。

【結果および考察】

1. 2009年の気象概況

出穂前20日間の気温は、平年より低く日照時間は短かった。出穂後5日間は高温寡照、その後は高温多照で経過し、出穂後20日間の平均気温は27.5°C（平年差+0.9°C）、積算日照時間は132h（平年比152%）であった。

2. 出穂期の止葉切除処理が収量および外観品質に及ぼす影響

出穂期に止葉を切除し、人為的に登熟期間中の光合成能力を抑制した場合、「元気つくし」、「つくしろまん」とともに登熟歩合は減少し、肩重が増え千粒重が軽くなり収量は減少したが、「元気つくし」の方が登熟歩合や肩重の低下程度は小さく、収量および外観品質は優れた。

3. 登熟期間中の部位別乾物重および物質生産の推移

出穂後5～29日にかけて段階的に株を抜き取り部位別の乾物重を測定したところ、「元気つくし」では、全乾物の増加とともに、茎葉部乾物重の減少が粒重確保につながっていた。茎葉部乾物重の減少量は穂揃い期に蓄積されたNSC量に等しいと仮定（中川ら2006）すると、「元気つくし」では、穂揃い期に蓄積されたNSC量が穎果の生長に大きく関与していると考えられた。

「元気つくし」では、「つくしろまん」と比べて出穂後5～10日の茎重が重い傾向であった。出穂後5日目の茎のNSC濃度が高く、出穂後5～10日目の穂のNSC量が高かった。

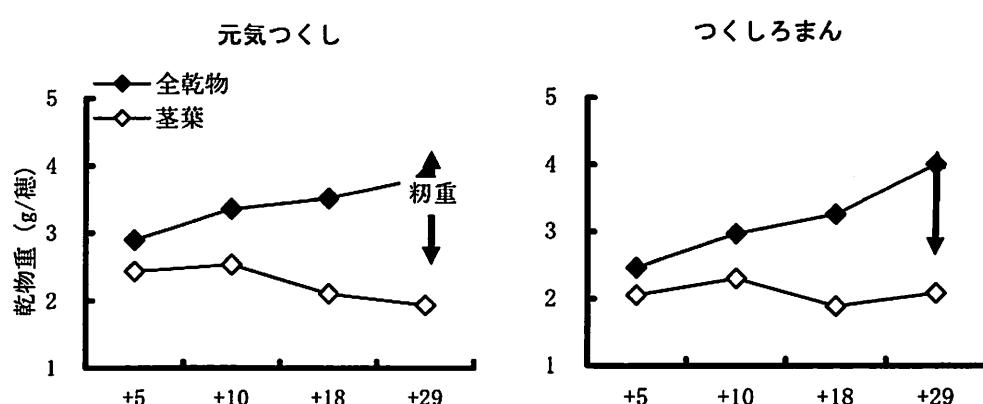
以上の結果から、「元気づくし」では、「つくしろまん」と比べて、1)出穂期に止葉切除処理を行った場合も登熟歩合や収量の減少程度が小さいこと、2)粒重確保には出穂後の全乾物重の増加に加え、茎葉部乾物重の減少が貢献していること、3)出穂後5~10日目の穂のNSC量および濃度が高いことが明らかとなり、このように穂への同化産物の転流能力が優れていることが、「元気づくし」の高温登熟性の向上に貢献しているものと考えられた。

第1表 出穂期の止葉切除処理による止葉の有無と収量および外観品質

品種	止葉	有効 穗数	m ² 当 穀数		登熟 歩合	肩重 割合	千粒 重	玄米 重	整粒 歩合	未熟粒				
			×100粒	%						乳心白	背白	基白	腹白	他未熟
元 氣 づくし	有り	336	217	93.2	1.8	22.6	459	93.4	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	5.2
	無し	334	212	90.3	2.6	22.4	427	91.8	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	5.7
つくし ろまん	有り	333	211	90.8	2.4	22.7	434	76.3	10.2	4.0	3.4	0.0	0.0	6.1
	無し	348	212	81.9	5.2	22.0	388	73.5	15.8	0.6	0.0	0.3	0.3	9.8
品種(A)		ns	ns	**	**	ns	†	**	**	**	**	ns	†	
処理(B)		ns	ns	**	**	*	*	†	**	**	**	ns	*	
A×B		ns	ns	*	*	ns	ns	ns	**	**	**	†	ns	

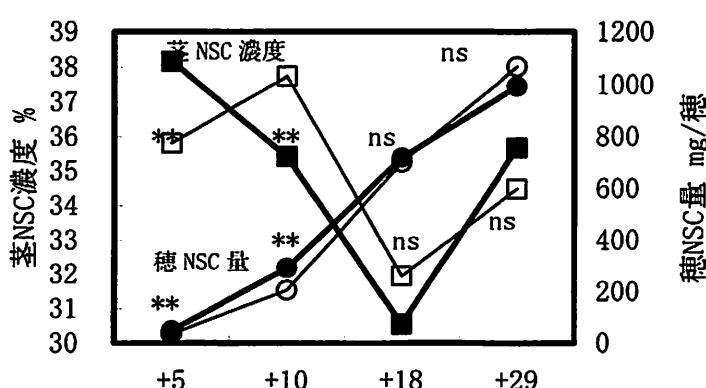
1)乳心白粒には背白粒、基白粒の併発タイプも含む。整粒歩合は未熟粒以外の割合。

2)分散分析により**, *, †はそれぞれ1, 5, 10%水準で有意差あり。



第1図 登熟期間中の部位別乾物重の推移

1)横軸は出穂後日数を示す(第2図も同じ)。



第2図 登熟期間中の茎のNSC濃度と穂への蓄積

1)元気づくし■●、つくしろまん□○ 2)**は5%水準で有意差あり。

暖地水稻の登熟期間の高温が玄米外観品質に及ぼす影響

若松 謙一¹⁾・田中 明男²⁾・佐々木 修³⁾

(¹⁾鹿児島県農業開発総合センター, ²⁾大隅振興局, ³⁾鹿児島大学)

Effects of high air temperature during the ripening period on the grain quality of rice in warm regions of Japan

Ken-ichi WAKAMATSU¹⁾, Akio TANAKA²⁾, Osamu SASAKI³⁾

近年、九州では1等米比率が低下している。その要因として登熟期における台風や日照不足の影響による乳白米・心白米の発生、高温及び早期落水による充実不足粒のほか、背白米、基白米も増える傾向にあり、様々要因から外観品質が低下している。

そこで本研究では暖地水稻における外観品質低下の軽減を目的に、登熟期間における高温が玄米の外観品質に及ぼす影響について、主に背白米の発生要因に着目して検討を行った。

【結果および考察】

1. 水稻の登熟期間の高温が不完全米発生に及ぼす影響について検討した結果、出穂後20日間の平均気温27°C以上の高温条件で背白米、基白米が発生し、それ以下の温度ではほとんど発生が認められないことを明らかにした。しかし、背白米は乳白米より粒厚は厚く、タンパク質含有率も低いことから、乳白米に比べて食味低下への影響は小さいものと考えられた。
2. 不完全米発生には品種間差異がみられ、その発生様相、程度が異なることを認め、中でも背白・基白米発生割合について品種間の違いが顕著であることを明らかにした(図1)。ヒノヒカリ、黄金晴、初星、ミネアサヒのような高温登熟性が「弱」の品種は、いずれも高温登熟性が劣る喜峰に由来しており、高温登熟性の優劣は遺伝的影響を受けていることが推察された。
3. 窒素施肥量が背白米の発生に及ぼす影響について検討した結果、窒素施肥量の増加により、背白米の発生は減少し、玄米タンパク質含有率と背白米発生割合との間に負の相関が認められた。登熟温度28°Cを超える条件下においては、初星、ヒノヒカリといった高温登熟性「弱」品種では背白米が多発し、玄米窒素量の増大による背白米発生軽減効果が小さかった(図2)。したがって、28°Cを超える条件下では窒素施肥量の増加のみによる背白米の発生軽減は困難であり、高温登熟性の強い品種の導入の検討が必要であると考えられた。
4. 登熟温度の違いで不完全米の発生様相が異なり、登熟温度28°C(31/25°C)から背白粒が発生し、登熟温度30°C(33/27°C)では腹白粒および心白粒が併発する背白粒(以下、背白複合粒)、乳白粒の発生も認められた。さらに高い登熟温度となる32°C(35/29°C)では、乳白粒、背白複合粒が多発した(第1表)。
5. 高温時期別にみると、穗揃後~14日高温処理で背白粒、背白複合粒、乳白粒、の発生が多く、中でも登熟初期にあたる穗揃後~7日の登熟温度32°C(35/29°C)で乳白粒、背白複合粒が多く発生した(第1表)。

以上より、背白米の発生は、登熟期初・中期の気温のうち、とりわけ初期における高温の影響が大きいため、移植時期を遅らせることや中・晩生品種を導入することが有効であると考えられる(図3)。また、高温登熟性の優れる品種との交配に加えて、高温条件下での選抜を行うことによって、ヒノヒカリに替わる高温登熟性の優れた良食味品種育成の可能性が示唆された。

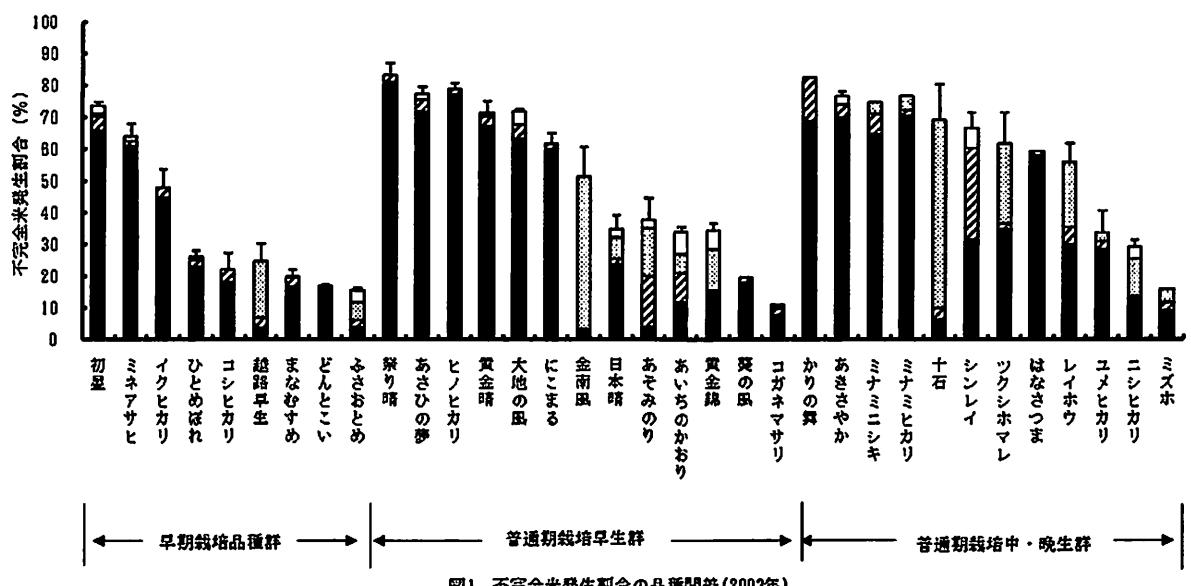


図1 不完全米発生割合の品種間差(2003年)。

■背白・基白米 ▨乳白・心白米 □腹白 ▨茶米

移植時期に関係なく7月28日～8月10日に出穂期になった品種をグラフに示した。

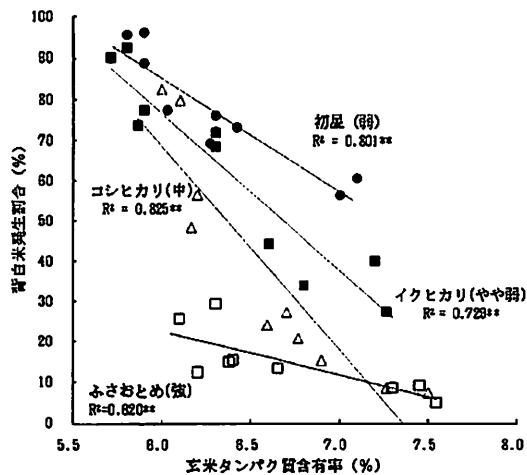


図2 品種別にみた玄米タンパク質含有率と背白米発生割合との関係(2003年)。

*初星 ■イクヒカリ ▲コシヒカリ ▽ふさおとめ
出穂期は7月18～19日。最高温度は28.4°C。

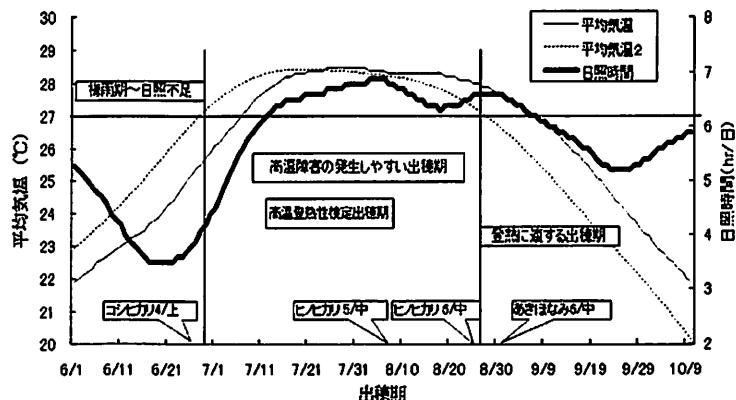


図3 出穂期と出穂後の平均気温と日照時間

注) 平均気温、日照時間の値は鹿児島市における1971-2000の30年間の平均値。

平均値2は出穂後20日間の平均気温。

ヒヒカリの5/6中はヒヒカリの5月中旬の出穂期を示す。

第1表 登熟期における時期別高温処理と不完全米発生割合。(2008年)

穂揃後日数	昼温/夜温	完全	背白	背白複合	基白	乳白	心白	腹白	その他
(1期)	35/29°C	8.0	26.3	21.4	5.4	21.9	6.0	1.1	9.9
	33/27°C	11.5	48.2	13.9	8.4	4.0	2.0	2.3	9.6
	31/25°C	69.6	7.0	0.0	5.8	2.0	4.6	1.1	9.8
(2期)	35/29°C	31.7	17.5	17.9	9.7	4.2	2.3	10.9	5.8
	33/27°C	44.6	19.2	0.8	6.4	9.7	6.1	4.9	8.3
	31/25°C	47.7	17.5	1.5	9.6	8.4	5.7	0.8	8.8
(3期)	35/29°C	72.5	6.9	2.1	7.7	1.1	2.6	0.7	6.5
	33/27°C	76.7	7.0	0.0	8.4	0.0	0.5	0.3	7.0
	31/25°C	72.4	2.1	0.0	10.0	0.4	7.1	0.0	8.0
(4期)	35/29°C	82.5	1.2	0.0	3.6	0.0	6.1	0.0	6.5
	33/27°C	80.2	0.0	0.0	7.7	1.4	1.9	0.0	8.8
	31/25°C	86.3	0.0	0.0	2.8	0.9	2.8	0.0	7.1
(全期間)	35/29°C	0.2	0.0	51.5	0.0	40.1	0.0	0.0	8.2
	33/27°C	0.0	37.7	49.2	0.0	9.0	0.0	0.0	4.1
	31/25°C	35.8	38.3	2.4	8.8	0.3	0.3	5.4	8.7

(一般講演 1)

高温および寡照条件で発生する乳白粒に関する QTL 解析

坪根正雄・和田卓也・井上敬

(福岡県農業総合試験場)

QTL analysis for the occurrence of milky-white kernel under high temperature or poor sunshine condition during the ripening period of rice

Masao TSUBONE, Takuya WADA, Takashi INOUE

(Fukuoka Agric. Res. Cent.)

近年、特に九州地域では水稻の登熟期間が高温かつ寡照で経過することにより、乳白・背白・心白粒等の白濁した未熟粒（以下、白未熟粒）が多発し、玄米の外観品質が著しく低下している。このため、高温条件下で登熟しても玄米の外観品質が低下しにくい品種が望まれており、その育成には高温登熟性に関する遺伝的領域を明らかにして、DNA マーカーを用いて優良系統を選抜することが効率的である。白未熟粒のうち、乳白粒について若松ら（2009）は、低日射条件と高温条件でそれぞれ発生する乳白粒は異なり、玄米横断面にリング状の白濁が発生する低日射型乳白粒と、玄米中心部の白濁、もしくは腹側から背側に直線上の白濁が発生する高温型乳白粒に分けられる（図 1）ことを報告している。そこで、本研究ではこれらタイプ別の乳白粒の発生に関する QTL の同定を試みた。

【材料および方法】

高温条件で登熟しても白未熟粒の発生が少ない「ちくし 52 号」と白未熟粒の発生が多い「つくしろまん」、およびこれらの交雑に由来する RILs (F_7) 88 系統を福岡農総試圃場で栽培した。施肥は窒素成分で 5kg/10a の全量基肥施用とした。高温型乳白粒に関する QTL は、出穂前に 1/5000a ワグネルポットに株上げし、穂揃後 1~14 日にガラスハウスで高温処理（処理期間中の平均気温 30.2~30.4°C）した材料について解析した。また低日射乳白粒に関する QTL は、出穂後 11~20 日に寒冷紗（遮光率 60%）で遮光した材料について解析した。

【結果および考察】

高温型乳白粒の発生率はちくし 52 号とつくしろまんではそれぞれ 2.5%、38% であり、RILs では 1.7~52.8%（平均 19.9%）と大きな変異が認められた（図 2）。

高温型乳白粒の発現に関する QTL は第 4、10 染色体上に検出された（図 3、表 1）。高温型乳白粒 QTL の近傍マーカーにおける遺伝子型別に RILs を分類すると、乳白粒発生率はちくし 52 号の対立遺伝子を持つ系統群の方が有意に少なかった（表 2）。また、これらの QTL は 1 粒重や到穂日数に関する QTL とは異なる染色体領域であるため、高温型乳白粒の発生に対する粒重や出穂期の影響は少ないと判断された（図 3、表 1）。

低日射型乳白粒に関しては、第 10 染色体上の高温型乳白の QTL 近傍に候補領域が確認された（図 3、表 1）が、両タイプの乳白粒発生率に有意な相関が認められなかった（データ略）ため、これら乳白粒の発生機作は異なると推察された。

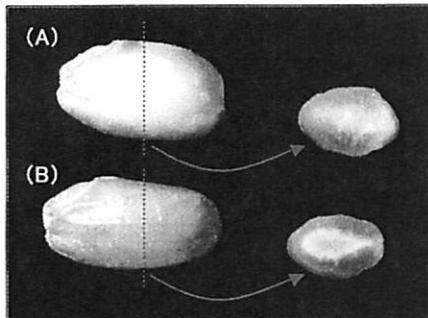


図1 高温型乳白粒(A)および低日射型乳白粒(B)の玄米横断面

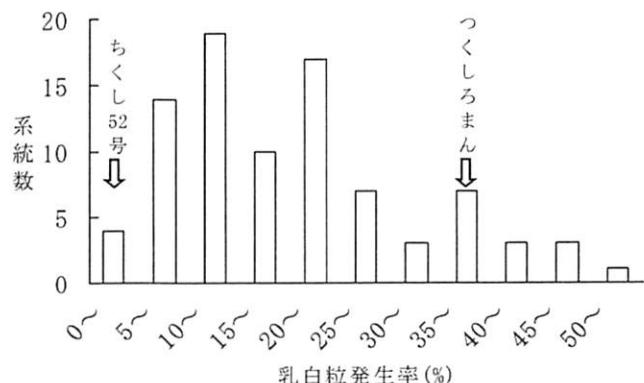


図2 RI系統群における高温型乳白粒発生程度の分布

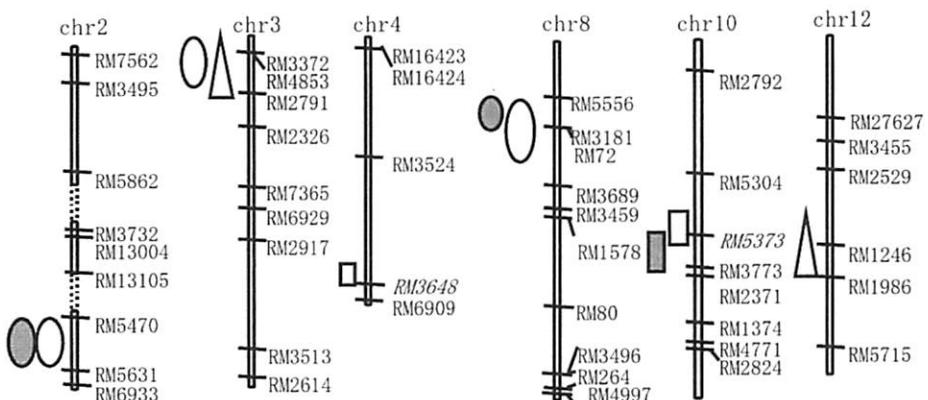


図3 乳白粒、玄米1粒重および出穂期に関するQTL
1)低日射型乳白QTL候補以外は、LOD2.0以上のQTLの位置を示す。
2)染色体模式図の左側にQTLを表示。
3)QTLがちくし52号型では乳白粒は減少し、1粒重は増加し、出穂期は早まる。

表1 乳白粒に関するQTL解析結果

形質名	染色体	マーカー	LOD	相加効果	寄与率(%)
高温型 乳白粒	4	RM3648	2.18	-4.82	16.5
	10	RM5373	2.25	-3.53	8.5
	1	RM5470	2.56	0.31	7.8
1粒重	2	RM3372	5.79	0.48	18.2
	3	RM3181	4.76	0.52	21.6
	8	RM3181	4.76	0.52	21.6
低日射型 乳白粒	10	RM5373	1.46	-0.84	6.3
	1	RM5470	2.83	0.34	10.6
	8	RM5556	3.24	0.40	14.6
共 通 到穂日数	3	RM3372	35.10	-2.34	78.3
	12	RM1246	2.94	-0.43	2.6

注) 相加効果:マイナスの数値はちくし52号型で形質値を減少させる。

表2 高温型乳白粒QTL近傍の遺伝子型で分類したRILsの乳白粒発生率

近傍マーカー	遺伝子型	系統数	乳白粒発生率(%)
RM3648	つくしろまん型	47	22.8
	ちくし52号型	39	16.8
RM5373	つくしろまん型	48	23.6
	ちくし52号型	33	16.0
RM3648 + RM5373	つくしろまん型	25	28.0
	ちくし52号型	13	14.4

注1) *、**はt検定で各々5%, 1%水準で有意差あり。

2) RM3648+RM5373: 両QTL近傍のSSRマーカーが同一親の遺伝子型をもつ系統について解析した。

水稻玄米の粒厚と外観品質が米飯の食味に及ぼす影響

石突 裕樹^{1,2)}・齊藤 邦行¹⁾

(¹) 岡山大学大学院自然科学研究科, ²⁾(株)サタケ

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

Hiroki ISHIZUKI^{1,2)}, Kuniyuki SAITO¹⁾

農家や米加工施設においては米の厚みによる選別（粒厚選別）が行われ、米を高付加価値化して出荷している。一般に流通する米は、粒厚選別機で 1.80~1.90 mm の縦目ふるいを通過させて、未熟粒や死米を除去して整粒割合、すなわち米の品質を高めることが行われている。また、米の外観品質は農産物検査規格により品位区分がなされている。近年では検査の補助機として、穀粒判別器を用いた検査が行われている。現在、粒厚選別機の篩目の設定は慣行や経験にたよっている場合が多く、篩目の設定値と米の品質との関係について不明な点が多い状況にある。本研究では、粒厚選別機で選別した玄米を穀粒判別器、炊飯食味計、硬さ粘り計を使って、水稻玄米の粒厚と外観品質が米飯の食味に及ぼす影響を評価したので報告する。

【材料と方法】(1)供試試料：2009 年に水稻品種ヒノヒカリ、日本晴を供試し、岡山大学山陽園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（慣行栽培、4×17m, 68 m²）、遮光区（出穂期以降黒色寒冷紗（遮光率 50%）全面被覆、4×17m, 68 m²）、高温区（ビニルハウス 2×15m, 30 m²、側面自動開閉装置を移植から出穂期まで開放、出穂期以降日中 35°C 前後に開閉し、夜間 25°C で閉鎖するよう制御）の 3 試験区を設けた。なお、高温区における出穂後 40 日間の平均気温は対照区で 25.4°C、高温区で 30.4°C と 5°C の上昇がみられた。登熟期平均気温が各品種・試験区で栽培した水稻を適期に収穫して、雨除けハウスで 2、3 週間乾燥後、脱穀・糊摺りして供試玄米とした。

(2)選別条件：供試玄米を各 3 kg ずつ粒厚選別（条件：1.7~2.2 mm 網、0.1 mm 刻み、サタケ製テスト粒選別機 TWS 使用）し、粒厚別供試玄米とした。

(3)品質測定：粒厚別供試玄米を穀粒判別器（サタケ製 RGQ120A 型）で、外観品質（整粒、青未熟、白未熟、その他未熟、死米、胴割、その他の各混入重量比率）を測定した。粒厚別供試玄米を水分 14.5% に調湿し、歩留り 90% を目標に搗精した。各供試精米をテスト炊飯し、炊飯食味計（サタケ製 STA1A 型）で、ご飯を可視・近赤外光で測定し食味値、硬さ粘り計（サタケ製 RHS1A 型）で、ご飯を物理的に圧縮させて食感（硬さ、粘り、バランス、弾力性）を測定した。

【結果と考察】遮光区の収量は対照区に比べ日本晴で 24%、ヒノヒカリで 16% の減少がみられ、これには特に登熟歩合の低下が関係していた（第 1 表）。高温区の収量は対照区に比べ日本晴で 21%、ヒノヒカリ 10% 減少と遮光区よりも減少程度は小さくなり、これには登熟歩合と千粒重の低下が影響していた。玄米の粒厚別重量割合をみると、

第 1 表 収量と収量構成要素。

品種	試験区	穗数 (m ⁻²)	一穂 粒数 (粒)	総粒数 (×10 ³ m ⁻²)	登熟 歩合 (%)	精玄米 千粒重 (g)	シンク 容積 (g m ⁻²)	精玄米 収量 (g m ⁻²)
日本晴	対照区	321	92.2	29.2	92.0	22.4	655	603(100)
	遮光区	339	75.1	25.3	82.1	22.0	557	457(76)
	高温区	343	77.2	26.5	85.1	21.1	560	477(79)
ヒノヒカリ	対照区	363	88.9	32.2	88.9	22.0	709	630(100)
	遮光区	357	89.3	31.9	76.9	21.6	689	530(84)
	高温区	351	93.3	32.7	83.9	20.8	681	567(90)

第 2 表 供試玄米の粒厚別重量比率。

品種	栽培条件	粒厚別玄米重量比(%)						
		~1.7	1.7~1.8	1.8~1.9	1.9~2.0	2.0~2.1	2.1~2.2	2.2~
ヒノヒカリ	対照区	1.7%	2.9%	13.2%	40.6%	29.1%	11.7%	0.9%
	遮光区	5.0%	7.8%	20.9%	40.3%	20.0%	5.8%	0.3%
	高温区	2.5%	3.3%	10.2%	28.9%	26.9%	25.8%	2.4%
日本晴	対照区	0.8%	1.4%	7.7%	43.0%	32.6%	14.0%	0.6%
	遮光区	5.3%	4.7%	14.4%	46.0%	24.1%	5.3%	0.1%
	高温区	1.6%	1.7%	5.5%	34.1%	35.2%	20.9%	1.0%

日本晴に比べヒノヒカリでは

1.8~1.9mm の割合が高く、両

品種ともに遮光区では <1.7,

1.7~1.8, 1.8~1.9mm の割合が

顕著に増加した。高温区では

<1.8mm の割合が若干増加す

るもの 1.8~2.0mm の

割合が減少し、>2.0 の割

合が増加する傾向がみら

れた。遮光区では対照区

第3表 供試玄米の粒厚別品質評価

品種	栽培条件	粒厚	穀粒割合(%)							炊飯米評価				
			整粒	白未熟	白熟	その他未熟	死米	胴割	その他	食味値	硬さ(Kgf)	粘り(Kgf)	バランス	弾力性
ヒノヒカリ 対照区	遮光区	ALL	68.2	0.8	5.9	16.2	0.7	6.3	2.0	77.7	3.22	0.62	0.19	0.69
		2.2~	78.6	0.0	5.5	6.3	0.0	7.0	2.5	74.6	3.80	0.70	0.19	0.68
		2.1~2.2	82.5	0.1	3.7	4.4	0.0	8.1	1.3	77.3	3.84	0.63	0.16	0.66
		2.0~2.1	82.8	0.0	2.7	5.6	0.0	7.7	1.2	75.3	3.60	0.65	0.18	0.67
		1.9~2.0	75.6	0.7	4.4	14.2	0.1	3.3	1.5	75.3	3.17	0.70	0.22	0.68
		1.8~1.9	46.1	2.3	10.7	36.8	0.4	1.2	2.5	76.5	3.07	0.58	0.19	0.72
		1.7~1.8	11.9	4.6	32.7	40.7	3.7	0.1	6.3	71.1	3.43	0.67	0.20	0.69
		~1.7	3.1	3.3	36.5	11.2	22.7	0.1	23.2	42.5	4.18	0.69	0.17	0.67
		ALL	65.7	1.9	8.9	16.2	2.7	1.8	2.9	71.8	3.44	0.62	0.18	0.68
		2.2~	79.9	0.4	7.7	6.5	0.0	2.9	2.7					
高温区	遮光区	2.1~2.2	82.6	0.5	4.9	6.5	0.1	3.8	1.6	72.3	3.84	0.76	0.20	0.70
		2.0~2.1	82.3	0.4	3.3	9.9	0.1	2.7	1.2	72.8	3.68	0.68	0.18	0.70
		1.9~2.0	63.2	1.6	6.1	25.3	0.3	2.0	1.6	74.9	3.53	0.61	0.17	0.68
		1.8~1.9	32.4	5.5	14.8	42.1	1.1	0.7	3.4	70.6	3.87	0.71	0.19	0.69
		1.7~1.8	6.5	9.0	32.3	41.1	6.0	0.2	4.9	68.7	3.77	0.70	0.19	0.70
		~1.7	1.0	4.4	36.5	11.1	33.2	0.1	13.6	34.3	4.86	0.66	0.14	0.66
		ALL	52.4	1.6	18.3	21.9	2.0	0.7	3.0	76.2	4.33	0.91	0.21	0.69
		2.2~	69.0	0.2	18.3	8.7	0.0	2.1	1.8	74.6	4.15	0.79	0.19	0.69
		2.1~2.2	68.8	0.3	13.5	14.5	0.0	1.8	1.2	76.0	4.31	0.76	0.18	0.69
		2.0~2.1	61.9	0.7	13.5	21.4	0.1	1.1	1.3	76.2	4.03	0.79	0.20	0.69
日本晴 対照区	遮光区	1.9~2.0	44.0	1.6	16.5	35.0	0.4	0.3	2.1	74.5	3.56	0.69	0.19	0.73
		1.8~1.9	17.3	6.1	29.8	38.9	2.2	0.1	5.4	73.3	4.04	0.81	0.20	0.69
		1.7~1.8	6.4	7.3	43.1	23.9	7.8	0.0	11.5	55.3	4.33	0.77	0.18	0.67
		~1.7	3.4	2.7	31.0	5.1	25.2	0.0	32.6	35.3	4.53	0.67	0.15	0.66
		ALL	78.6	0.0	4.8	6.4	0.4	5.4	4.4	74.8	4.13	0.64	0.15	0.69
		2.2~	70.0	0.0	10.9	5.2	0.1	8.7	5.2					
		2.1~2.2	84.8	0.0	3.2	2.4	0.0	6.7	2.9	75.5	4.34	0.76	0.18	0.70
		2.0~2.1	84.1	0.0	2.9	4.5	0.0	5.6	2.9	74.2	4.17	0.71	0.17	0.69
		1.9~2.0	77.7	0.2	5.2	8.5	0.1	4.3	4.0	72.2	4.38	0.72	0.17	0.68
		1.8~1.9	49.4	0.9	17.4	22.6	1.2	2.1	6.5	71.5	3.83	0.58	0.16	0.73
高温区	遮光区	1.7~1.8	12.7	1.9	37.1	21.6	7.9	0.4	18.6	53.2	4.60	0.71	0.15	0.68
		~1.7	4.6	0.5	26.4	7.3	16.1	0.4	44.5	45.4	4.35	0.55	0.13	0.69
		ALL	68.3	3.2	11.9	6.1	6.0	1.0	3.4	65.0	4.04	0.61	0.15	0.69
		2.2~	85.5	0.0	5.3	2.4	0.0	3.5	3.2					
		2.1~2.2	86.1	0.6	4.8	3.6	0.2	1.9	2.9	70.8	4.41	0.67	0.15	0.69
		2.0~2.1	85.1	1.2	4.6	4.5	0.2	1.5	2.8	70.0	4.12	0.76	0.19	0.70
		1.9~2.0	73.8	2.3	10.9	8.6	0.6	1.0	2.6	67.6	4.83	0.81	0.17	0.68
		1.8~1.9	41.9	7.7	25.0	17.2	4.4	0.2	3.7	66.7	3.90	0.68	0.17	0.73
		1.7~1.8	6.1	10.1	41.5	10.3	24.6	0.0	7.2	51.2	4.46	0.65	0.15	0.68
		~1.7	0.2	2.5	22.6	1.3	55.5	0.0	18.0	30.0	6.14	0.54	0.09	0.68
高温区	遮光区	ALL	57.9	1.9	13.1	19.1	2.3	0.9	4.7	62.5	4.26	0.72	0.17	0.67
		2.2~	62.8	0.1	19.8	12.4	0.2	1.6	3.1	65.6	4.92	0.88	0.20	0.70
		2.1~2.2	68.6	0.4	12.0	14.6	0.1	1.4	2.9	63.9	4.79	0.76	0.16	0.70
		2.0~2.1	65.7	1.3	10.6	18.6	0.2	1.1	2.5	63.4	4.86	0.90	0.19	0.71
		1.9~2.0	50.7	3.0	14.1	27.1	0.8	0.9	3.4	57.1	4.68	0.72	0.15	0.70
		1.8~1.9	24.8	7.5	25.2	28.0	6.5	0.5	7.5	47.7	4.64	0.74	0.16	0.71
		1.7~1.8	2.3	7.0	38.8	11.2	24.5	0.0	16.3	30.0	5.86	0.59	0.10	0.68
		~1.7	0.6	0.7	23.6	1.3	33.1	0.0	40.7	30.0	5.23	0.75	0.14	0.66

に比べ玄米の肥大が劣り、粒厚分布がより薄くなる傾向がみられたのに対して、高温区では粒厚が厚くなるにも関わらず、千粒重が小さくなる、すなわち玄米比重の低下することが推察された。

粒厚別外観品質評価をみると（第3表左側）、整粒割合は日本晴に比べヒノヒカリで小さく、対照区>遮光区>高温区の順に小さくなつた。両品種ともに粒厚が小さくなるほど整粒の割合が低下して、特に2.0以上では胴割粒、それ以下では白未熟粒・死米の割合が大きくなつた。

炊飯米の評価（第3表右側）では、食味値は日本晴に比べてヒノヒカリで高く、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）して食味値が低下する傾向が認められた。外観品質、炊飯米の食味値とともに粒厚と密接な正の相関関係がみられた。両品種ともに整粒歩合と食味値に正の相関があり、これは白未熟及び死米混入率と食味値に負の相関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、食味値の低下がみられ、この傾向はヒノヒカリに比べ日本晴でより顕著であった。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、炊飯食味計による食味値低下が明らかになつたが、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つた。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。

【本研究の一部は平成22年度日本作物学会中国支部鳥取大会で発表した】

良食味米と低食味米の微細構造的特徴

新田 洋司¹⁾・浅木 直美¹⁾

(¹⁾茨城大学農学部)

Ultra-Fine Structures of High- and Low-Palatable Cooked Rice

NITTA, Youji¹⁾, ASAGI, Naomi¹⁾

(¹⁾The College of Agriculture, Ibaraki University)

炊飯米の微細骨格構造は、「急速凍結—真空凍結乾燥法」による試料調整と走査電子顕微鏡での観察により明らかになった。本報では、良食味米および低食味米の表面および内部の微細骨格構造を概観し、粒厚が異なる玄米の搗精後の炊飯米構造について紹介する。

「急速凍結—真空凍結乾燥法」は、植物細胞をできるだけ生に近い状態で固定し、微細構造が変化しないように非含水化する方法である（松田 2002, 川崎・松田 2006）。試料を固体（-210°C）と液体（-196°C）の窒素が混在するスラッシュ窒素の中に直接浸漬し、水晶成長を抑えながら生細胞に近い状態で物理的に固定する。固定後、高真空・低温下（-60°C, 10⁻³Pa）で微細構造が変化しないように脱水する。

1. 良食味米と低食味米の微細構造的特徴

松田（1997）・後藤ら（2000）によると、炊飯後の良食味米の表面構造は、糊が広く進展して「網目状構造」と「繊維維状構造」となり、しばしば太さが0.1μmほどの糊の糸の進展が認められる（第1図）。表面からやや内側に入った表層部分では、「海綿状」の多孔質構造が広がっている。飯の内部は、良食味米では海綿状の多孔質構造が広がっている（第2図）。これらの構造は、食べたときに柔らかく、なめらかさや柔らかさ、弾力性をもたらす要因となる。

一方、低食味米の飯の表面では、無構造あるいは溶岩の表面に似た固い構造が認められ、構造発達が不十分である（第3図）。飯の内部は、細胞壁やアミロプラスチの膜が分解されずに残り、組織が緻密であり、孔は形成されても大きさは小さい（第4図）。これらの構造は、食べたときに硬く、粘りがない原因となる。

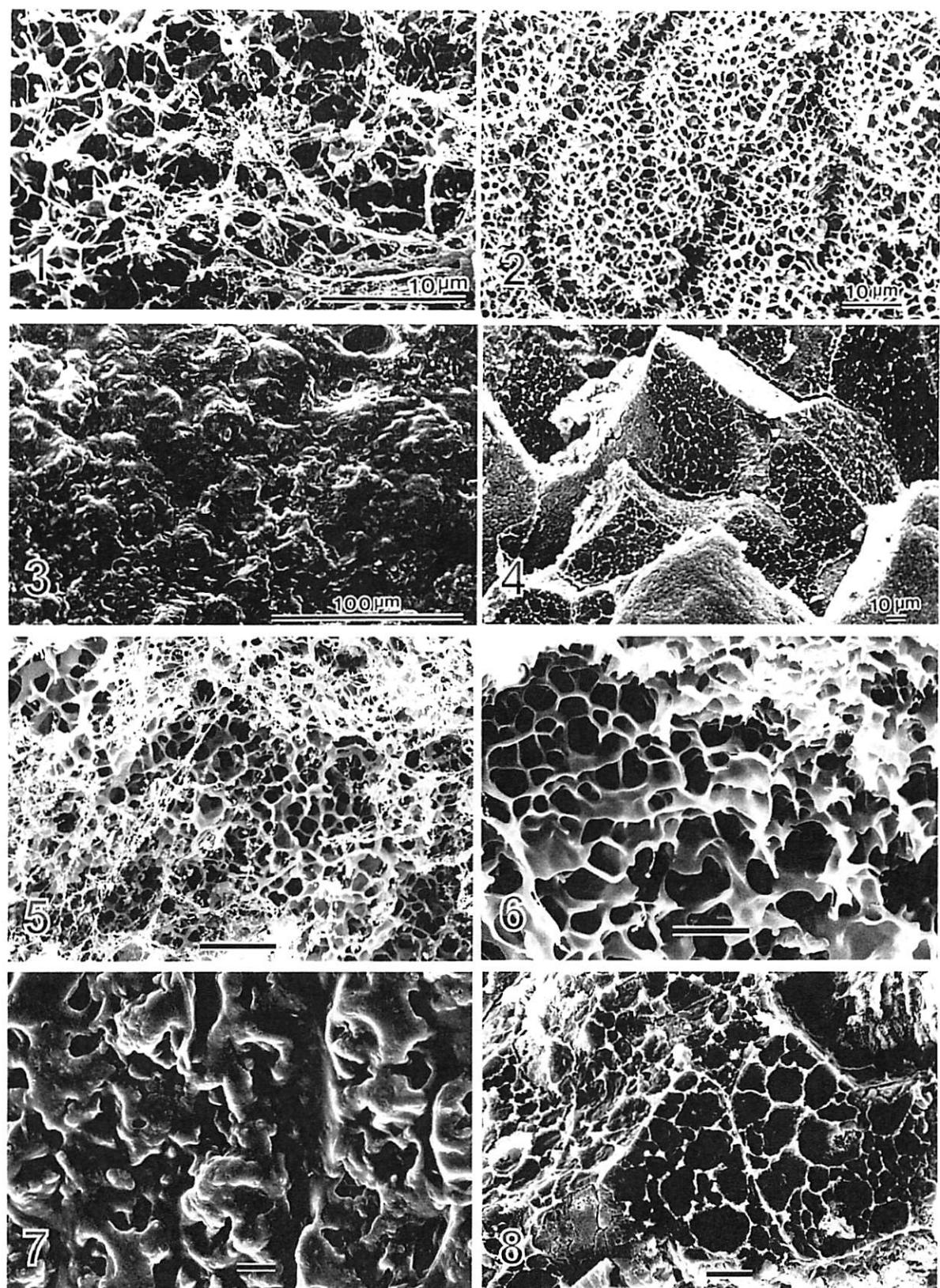
2. 粒厚と食味関連形質および炊飯米の微細骨格構造

新田ら（2009）は、玄米の粒厚と食味関連形質との関係や、これらの形質と炊飯米の表面および内部の微細構造との関係を検討した。食味評価が高い茨城県奥久慈地域の7箇所の水田で、2007年に栽培された品種コシヒカリを供試した。供試した玄米は、粒厚が1.99～2.02mm、精米のタンパク質含有率が5.4～6.3%，同アミロース含有率が18.0～18.6%の範囲にあった。玄米の粒厚と精米のタンパク質含有率との間には有意な負の相関関係が、精米のアミロース含有率および食味値との間にはそれぞれ負、正の相関傾向が認められた。

粒厚が厚く、精米のタンパク質およびアミロース含有率が低い米の炊飯米の表面では「繊維維状構造」と「海綿状構造」が（第5図）、内部では「海綿状構造」が認められた（第6図）。一方、粒厚が薄く、精米のタンパク質およびアミロース含有率が高い米の炊飯米の表面では、「繊維維状構造」などは認められずグレ状の構造であり（第7図）、内部では細胞壁、タンパク顆粒を含む糊化が進んでいない部分が認められた（第8図）。したがって、粒厚の厚い玄米の搗精後の炊飯米は、良食味米が有する構造的特徴を有することが明らかになった。

引用文献

- 後藤雄佐・新田洋司・中村聰 2000. 作物I【稲作】. 全国農業改良普及協会、東京. 1-212.
川崎通夫・松田智明 2006. 走査型電子顕微鏡の特徴と試料作製法. 日作紀 75 : 586-589.
松田智明 1997. 食味と米粒および炊飯米の構造. 米の食味評価最前線. (財)全国食糧検査協会、東京. 90-101.
松田智明 2002. 作物の形態. 日本作物学会編. 作物学事典. 朝倉書店、東京. 97-109.
新田洋司・新慎実広・浅木直美・松田智明・伊藤常雄 2009. 2007年茨城県奥久慈産コシヒカリにおける食味関連形質と炊飯米の微細構造. 日作関東支報 24 : 52-53.



第1～4図 炊飯米の走査電子顕微鏡写真。第1, 2図：コシヒカリ、第3, 4図：アキヒカリ。第1, 3図：表面、第2, 4図：内部。

第5～8図 粒厚の異なる玄米の搗精後の炊飯米の走査電子顕微鏡写真。第5, 6図：粒厚が厚い玄米（2.03mm）、第7, 8図：粒厚が薄い玄米（1.99mm）。第5, 7図：表面、第6, 8図：内部。Bar : 10μm.

(一般講演1)

炊飯米の食味に関する QTL の同定

(和田 卓也・井上敬・坪根正雄・尾形武文・松江勇次)

(福岡県農業総合試験場)

Identification and validation of QTLs for eating quality of cooked rice.

Takuya Wada, Takashi Inoue, Masao Tsubone, Takefumi Ogata, Yuji Matsue

炊飯米の食味は水稻の品種育成における重要な育種目標でありながら、複雑な量的形質であることから、遺伝解析は進んでいない。我々は、「森多早生」と「コシヒカリ」の交雑後代に由来する RILs および BILs を用いて炊飯米の食味官能評価(総合、外観、味、粘り、硬さ)に関する QTL 解析を行うとともに当該 QTL の実証を行い、食味に関する染色体領域の同定を試みた。

【材料および方法】

QTL 解析 日本国イネ品種である「森多早生」と「コシヒカリ」の交雫 F2 に由来する RIL92 系統を用いた(「森多早生」の炊飯米は「コシヒカリ」のそれに比較して、粘りが小さく硬く、食味が大きく劣る)。福岡県農業総合試験場において標準栽培した材料を用い、常法により食味官能試験を総合、外観、味、粘り、硬さの項目について -3 ~ +3 の範囲で評価して実施した。また SSR マーカーで多型解析、MAPMAKER/EXP 3.0 を用いて連鎖地図の構築を行い、QTL Cartographer 2.0 を用いて QTL 解析を行った。

【結果および考察】

食味評価値の QTL は、各項目(総合、外観、味、粘り)によって違いはあるものの、第 1, 2, 3, 6, 7, 10, 12 染色体にそれぞれ認められた(図 1)。特に第3染色体短腕上には多くの食味項目で QTL が確認された。Takeuchi ら(2008), Kobayashi ら(2008)もそれぞれ異なる遺伝解析集団を用いて、第3染色体短腕上のほぼ同位置に食味評価値に関する QTL を検出しており、本領域はコシヒカリの食味を決める重要な染色体領域であることが推定される。この領域には、イネの主要な形質のうち、出穂期、穂発芽性、低温出芽性に関わる遺伝子が単離されており、今後食味の QTL とこれら遺伝子との関連に關しても調査したい。

【謝辞】本研究を進めるにあたり、九州大学農学研究院植物育種学研究室の吉村淳教授、安井秀准教授、土井一准教授(現:名古屋大学大学院生命農学研究科)に有益なご助言をいただくとともに、QTL 解析関連の技術指導をいただいた。厚く御礼申し上げる。

【文献】

- Kobayashi A. and K. Tomita (2008) Breeding Science 58 : 419-426.
Takeuchi Y. et al. (2008) Breeding Science 58 : 437-445.
Wada T. et al. (2008) Breeding Science 58 : 427-435.

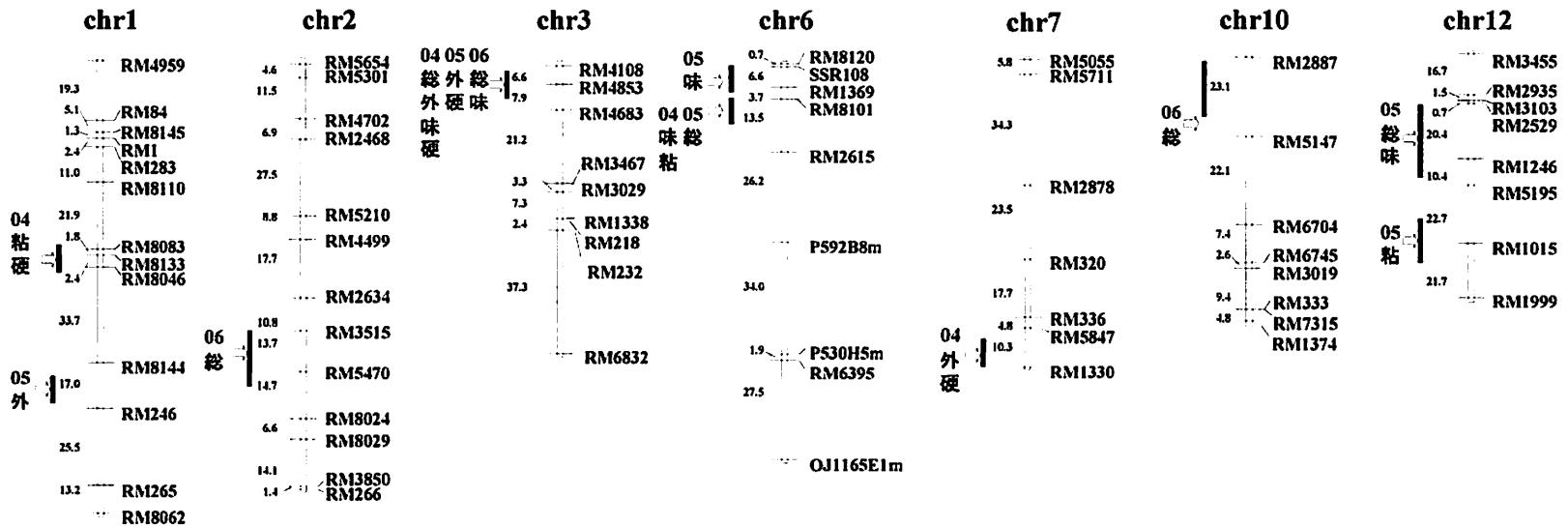


図1 コシヒカリの食味に関する遺伝的領域

- 1) 森田早生/コシヒカリの交配後代から収成された遺伝解析材料を用いて、QTL解析により同定された領域を示す。
- 2) 04, 05および06は2004年、2005年および2006年の略で、該当年に検出された領域であることを示す。
- 3) 総、外、味、粘、硬は、それぞれ食味総合値、外観、味、粘り、硬さの領域であることを示す。
- 4) 白矢印はコシヒカリの対立遺伝子が形質値を増加（総合、外観、味、粘り）および減少（硬さ）させることを示す。

(一般講演1)

玄米充実不足の指標値と水稻の生育および食味形質との関係

森田 敏¹⁾・米丸淳一²⁾・中野 洋¹⁾・北川 寿¹⁾・和田博史¹⁾

(¹⁾九州沖縄農業研究センター、²⁾農業生物資源研究所)

Relationships of the index of grain-filling based on a grain shape,
the growth characteristics, and the palatability related characteristics.

Satoshi MORITA¹⁾, Jun-ichi YONEMARU²⁾, Hiroshi NAKANO¹⁾, Hisashi KITAGAWA¹⁾, Hiroshi WADA¹⁾

近年、特に九州では、登熟期の高温化に加えて台風や日照不足の影響で水稻品質の低迷が深刻化している。品質低下の主な症状は、白未熟粒と玄米充実不足であるが、後者に関する知見は乏しく、その対策技術の開発もほとんど進んでいない。そこで、本研究では、(森田ら 2006. 日作紀 75(別 1): 380-381) の方法で得た充実不足の指標値と生育・収量・気象データとの相関分析を行い、充実不足の克服に向けた技術開発の手がかりを得ようとするとともに、食味形質との関係を解析した。

【材料および方法】

2005～2008 年の 4 カ年に九州沖縄農業研究センター筑後研究拠点(福岡県筑後市)の水田圃場(低地水田土)で水稻品種ヒノヒカリとにこまるを 6/19 前後に移植した。栽植密度は条間 30cm、株間 15～20cm で、1 株 3 本植えとした。出穂日はヒノヒカリで 8/24～26、にこまるで 8/25～27 であった。2008 年は穂揃期から 1 ヶ月間、圃場にビニールハウスを設置し、透過率 70% の遮光処理を行った。遮光区の穂周辺の日平均気温は対照区より 0.24℃ 高かった。

基肥は 5g/m²、穂肥は①1 回穂肥区(出穂前 17 日に 1.5～2gN/m²)、②2 回穂肥区(出穂前 17 日と 7 日に各 2～3gN/m²)、③少量継続追肥1区(ヒノヒカリのみ、出穂前 17 日から約 1 ヶ月に 10～15 回の分施、合計 4～6gN/m²)、④少量継続追肥2区(2008 年・ヒノヒカリのみ、出穂前 29 日から約 1 ヶ月に 0.4gN/m² を 10 回分施)、⑤少量継続追肥3区(2008 年・ヒノヒカリのみ、出穂前 17 日に 2gN/m²、出穂前 11 日～出穂後 13 日に 0.22gN/m² を 9 回分施)、⑥LP 穂肥区(2006～2007 年・ヒノヒカリのみ、出穂前 17 日にシグモイド型 30 日タイプの LP 肥料で 4gN/m²)。基肥は化成肥料(窒素、リン酸、カリウムが 16:16:16)、⑥以外の穂肥は硫安を用いた(液肥の窒素濃度は 3000～4600 倍)。1 試験区は約 13 m² で 3 反復とした。

穂揃期と成熟期に 12～16 株/区を抜取り、部位別乾物重、重量法による茎内 NSC 濃度(大西・堀江、1999)、止葉の SPAD 値を測定するとともに、成熟期に 2m² 前後を刈取り、収量・収量構成要素、玄米品質(穀粒判別機(RGQI 10A, サタケ)と農政事務所による目視検査)、食味官能値(2005 年以外、パネル 15～29 名)を測定した。玄米充実不足の指標値は、各試験区 30 粒を用いて、画像解析により玄米横断面の輪郭の曲率を算出することで抽出した(森田ら 2006、前出)。

【結果および考察】

採取した全てのデータ(筑後研究拠点の気象データ含む)を用いた相関分析の結果、充実不足の指標 R 値(マイナスになるほど充実不足)は穂揃期の枯葉重と負の相関(図1)、穂揃期～成熟期の全重増加量(図2)および成熟期の止葉の SPAD 値と正の相関($r=0.424$, $p<0.0001$)が認められた。このため、登熟期の葉色の維持を介した旺盛な乾物生産能力が充実不足の発生防止に効果的であることが示唆された。また、出穂後 20 日から成熟期にかけての降水量と正の相関($r=0.625$, $p<0.0001$)、同時期の風速と負の相

関 ($r=-0.594$, $p<0.0001$) が認められ、登熟後半の水ストレスが充実不足を助長することが示唆された。食味形質との関係では、ヒノヒカリでは充実不足になると炊飯米の硬さが増すことが明らかになった(図3)。

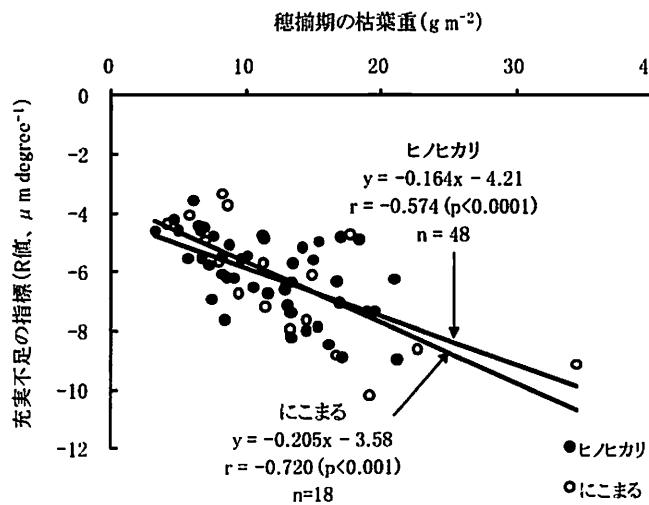


図 1 穗揃期の枯葉重と充実不足の指標(R値)との関係

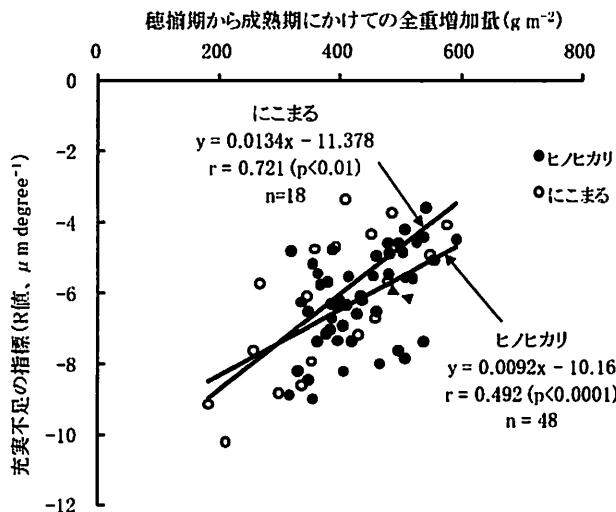


図 2 穗揃期から成熟期にかけての全重増加量と充実不足の指標(R値)との関係

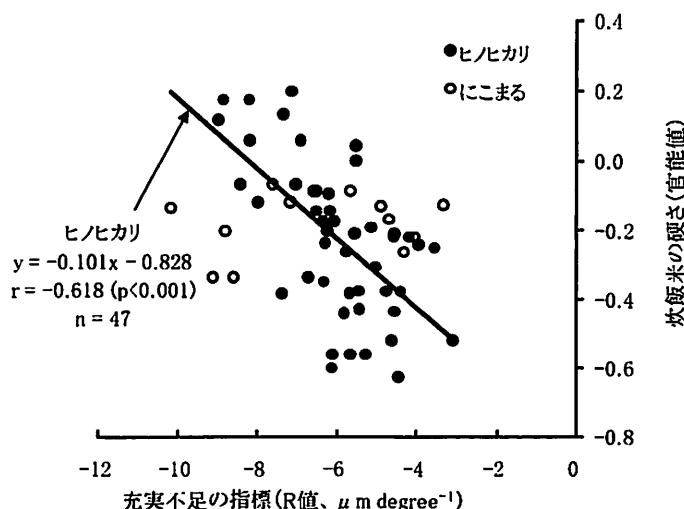


図 3 充実不足の指標(R値)と炊飯米の硬さ(官能値)との関係

コシヒカリを基準(0)、プラスほど硬い