

MISCELLANEOUS PUBLICATION
OF NARO WESTERN REGION AGRICULTURAL RESEARCH CENTER

No.9 March, 2012

第9号 平成24年3月

近畿中国四国農業研究センター研究資料

WARC

独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構
近畿中国四国農業研究センター

NARO WESTERN REGION AGRICULTURAL RESEARCH CENTER

近畿中国四国農業研究センター研究資料

第9号

所 長 長 峰 司

編集委員会

委 員 長	今 川 俊 明		
委 員	児 嶋 清	川 上 秀 和	
	楠 田 宰	澤 村 篤	
	佐 藤 隆 徳	篠 田 満	
	高 橋 英 博	三 浦 一 芸	
	高 橋 飛 鳥	長 崎 裕 司	
	生 駒 泰 基	大 谷 一 郎	
	十 鳥 博	十 鳥 政 信	

MISCELLANEOUS PUBLICATION
OF NARO WESTERN REGION AGRICULTURAL RESEARCH CENTER

No. 9

Tsukasa NAGAMINE, Director General
EDITORIAL BOARD

Toshiaki IMAGAWA, Chairman

Kiyoshi KOJIMA	Hidekazu KAWAKAMI
Osamu KUSUDA	Atsushi SAWAMURA
Takanori SATO	Mitsuru SHINODA
Hidehiro TAKAHASHI	Kazuki MIURA
Asuka TAKAHASHI	Yuji NAGASAKI
Motoyasu IKOMA	Ichiro OTANI
Hiroshi JUTORI	Masanobu JUTORI

(NARO: National Agriculture and Food Research Organization)

近畿中国四国農業研究センター研究資料

第9号

(平成24年3月)

目 次

DNA を用いた作物の品種識別技術の現状と今後の展望 矢野 博	1
近畿中国四国地域における水稻高温登熟障害の要因解析と技術対策 佐々木良治・中井 譲・藤田守彦・小坂吉則・松本純一・ 上田直也・足立裕亮・角脇幸子・月森 弘・渡邊丈洋・ 勝場善之助・中司祐典・山本善太・藤田 究・谷口弘季・ 高田 聖・澤田富雄・松本樹人・石井俊雄・岩井正志・ 妹尾知憲・山口憲一・池上 勝・大久保和男・石井卓朗・ 長田健二	41

MISCELLANEOUS PUBLICATION
OF NARO WESTERN REGION
AGRICULTURAL RESEARCH CENTER

No. 9 March 2011

CONTENTS

Present Situation and Future Prospect on the Cultivar Identification Technology Based on DNA Analysis Hiroshi YANO	1
A Comprehensive Review on the Impact of Recent High Temperature on Rice Grain Ripening in Western Region of Japan, and the Adaptation and Mitigation Technologies	41
Ryouji SASAKI, Joe NAKAI, Morihiko FUJITA, Yoshinori KOSAKA, Jun-ichi MATSUMOTO, Naoya UEDA, Yusuke ADACHI, Sachiko KADOWAKI, Hiromu TSUKIMORI, Takehiro WATANABE, Zennosuke KATSUBA, Masamichi NAKATSUKASA, Zenta YAMAMOTO, Kiwamu FUJITA, Hiroki TANIGUCHI, Sei TAKATA, Tomio SAWADA, Shigehito MATSUMOTO, Toshio ISHII, Masashi IWAI, Tomonori SENOO, Kenichi YAMAGUCHI, Masaru IKEGAMI, Kazuo OKUBO, Takuro ISHII and Kenji NAGATA	

〔 近中四農研資 9 〕
1 - 40 (2012)

DNA を用いた作物の品種識別技術の現状と今後の展望

矢野 博

Key words : DNA 多型検出, DNA マーカー, 品種識別, 農産物, 加工食品, DNA 鑑定

目 次

I 緒 言	2	2) ISSR-PCR を利用した品種識別	18
II DNA 多型性の検出技術	2	3 AFLP 法を用いたカンキツの 品種・系統識別	20
1 サザンプロット法を用いた DNA 多型検出法	4	1) AFLP の検出	20
1) マルチローカスプローブを用いた RFLP の検出	5	2) AFLP を利用した品種・系統識別	20
2) シングルローカスプローブを用いた RFLP の検出	6	4 DNA フィンガープリンティングソフト (Diversity Database™) による解析例	23
2 PCR 法を用いた DNA 多型検出法	7	1) RFLP と RAPD の多型検出	23
1) ランダムプライマーを用いる PCR	7	2) Diversity Database™ による画像解析	23
2) 特定領域の DNA 多型を検出する PCR	9	3) Diversity Database™ による マルチゲル間の解析例	24
3 RFLP と PCR を組合せた DNA 多型検出法	10	4) Diversity Database™ による異なる 手法で得られた多型情報の解析例	25
III DNA 多型性による品種・系統識別 の実際例	12	IV 農産物・加工品における DNA 品種識別 技術の現状と問題点	27
1 DNA 多型分析によるバレイシヨの 品種・系統識別	12	1) DNA 品種識別技術を取り巻く情勢	28
1) RFLP 解析を用いた品種・系統識別	12	2) 農産物・加工品における DNA 品種 識別技術開発の現状	28
2) RFLP 解析ソフト (RFLPrint™ : PDI) を用いたバレイシヨ RFLP の 定量的解析例	14	V DNA 品種識別技術開発の今後の展望	33
3) RAPD 法を用いた品種・系統識別	15	VI ま と め	34
2 ISSR-PCR 法を用いたイグサの品種識別	17	VII 摘 要	35
1) ISSR-PCR の検出	18	謝 辞	35
		引用文献	36
		Summary	39

(平成 23 年 10 月 18 日受付, 平成 24 年 1 月 24 日受理)

農研機構 近畿中国四国農業研究センター 水田作研究領域

I 緒 言

食品表示に対する不信感が高まる中、消費者の食に対する信頼を回復するためには、農産物や加工食品における生産地や品種の表示事項の真偽判別を可能にして適正な表示を担保するための品種識別技術の開発が重要な課題となっている。また、わが国で育成された新品種が許諾なしに海外に渡り、不正に逆輸入されるなど、農家の経営を大きく圧迫しており、このような偽装表示や育成者権の侵害を的確にしかも容易に判断するためには、科学的な裏付けとなるDNA多型性を用いた品種識別技術の開発が急務である。

一方、DNA多型検出技術を基盤とする「DNA型鑑定」は、容疑者の特定、親子関係の判定などの犯罪捜査の切り札として役立ったことが新聞記事やテレビニュースなどで話題になるなど、すっかり市民権を得た感があるが、ヒト以外の分野でも農産物・加工品への適用事例が数多く報告され、その利用範囲は多岐にわたっている。

また、一部の農産物（収穫物）と加工食品ではあるものの、DNA分析による品種識別技術が開発され、JAS法による食品表示の適正化や種苗法による育成者権保護の強化、さらには、関税定率法により、育成者権を侵害して輸入される農林水産品の水際（税関）での取り締まりなどの現場で利用されるまでに至っている。

しかし、ニュースや新聞記事で取り上げられた、コムギ品種「さぬきの夢2000」の偽装表示問題やオウトウ品種「紅秀峰」の国外不正流出問題などは、警察による「不正競争防止法」によるものであり、裁判などで品種識別結果を証拠とするには、より高い信頼性が求められている。

このように、これまで農産物・加工品を対象として開発されたDNA品種識別技術は、実社会においていろいろな利用場面から期待されているものの、それに応えているのは、「DNA型鑑定」と称されて、ほぼ技術が成熟しているヒトに関する領域のみであり、農産物分野ではいまだ学術的な成果に過ぎない

のが実情である。

また、警察がヒトで行う「DNA型鑑定」とは、ヒトの持つDNAをすべて調べて犯罪捜査に用いるといった誤解に配慮して、身体的特徴や病気などに関連しないDNAの一部を型分類する鑑定法であることを明確にするため、「DNA鑑定」ではなく「DNA型鑑定」と呼ぶようになったが、最近では、さまざまなDNA鑑定技術が開発され、個人識別を行う「DNA型鑑定」は警察特有の呼称となっている。

そこで、本論文では、「DNA型鑑定」の基盤技術となるDNA多型性を検出する手法について概説するとともに、育成者権侵害立証のためのDNA品種識別技術への応用とその実際について述べる。

さらには、法医学領域において親子鑑定や犯罪捜査に用いられてきた「DNA型鑑定」の鑑識事例を紹介しながら、農産物・加工品におけるDNA品種識別技術が、かかる実社会でのさまざまなニーズに応えることができる「DNA鑑定」となることを願いつつ、その実用化の現状と今後の研究開発のあり方について述べてみたい。

II DNA多型性の検出技術

新聞記事やテレビニュースなどでは、「DNA型鑑定」が容疑者の特定や親子関係などの決め手になったことがよく話題になっている。

このような犯罪捜査に役立つことで話題を集めている「DNA型鑑定」とは、1985年にイギリスのJeffreysら¹²⁾のグループによって考案された、個人特異的なDNA構造の違い（DNA多型性、polymorphism）をバーコード様のバンドパターンに可視化して検出する方法であるが、そのバーコード様のバンドパターンが、あたかも指紋（フィンガープリント）のように個人差が著しいものであったことから、この方法は「DNAフィンガープリント法」とも呼ばれている。

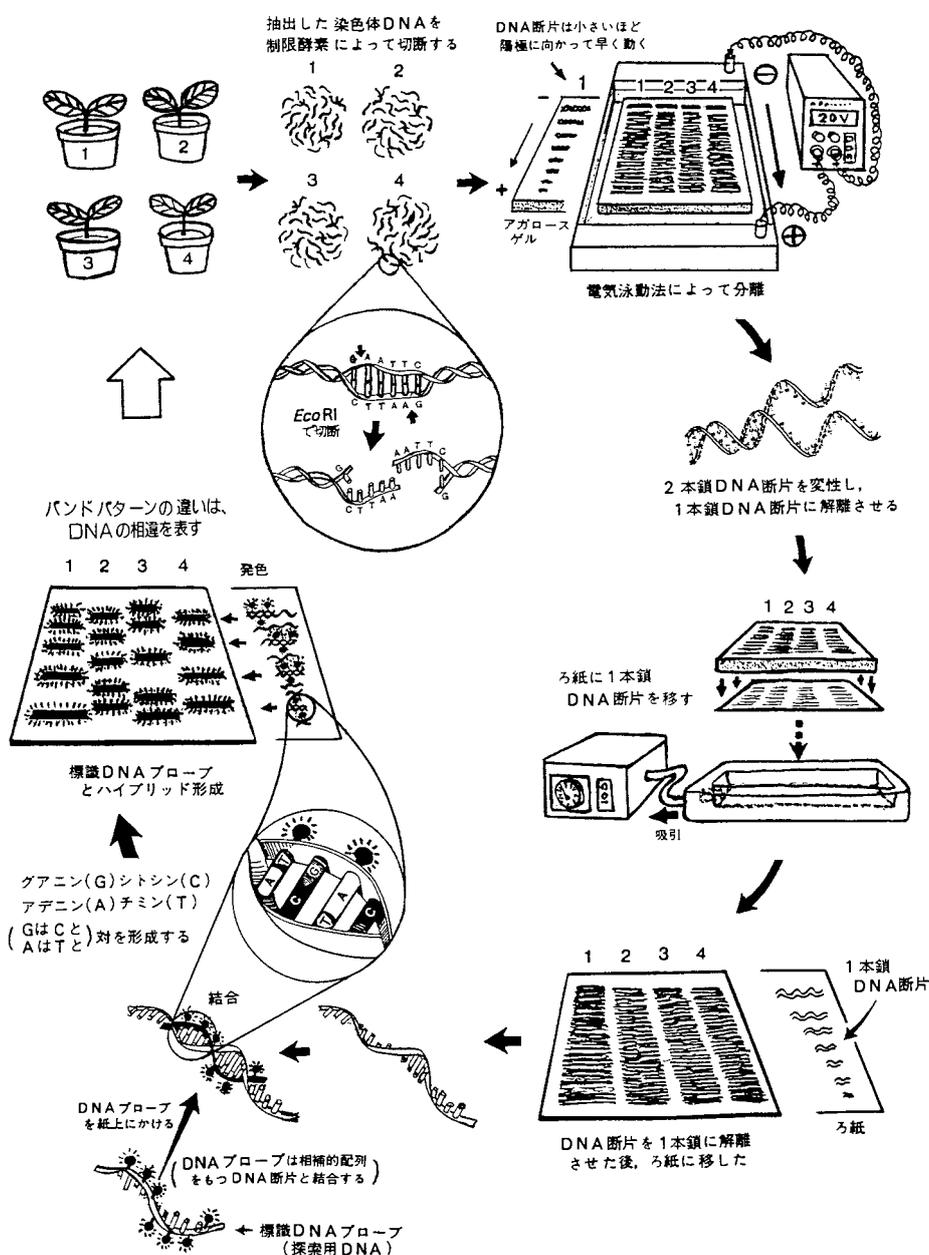
Jeffreysらのグループによって名付けられた「DNAフィンガープリント法」は、DNA多型性の検出技術である制限酵素断片長多型（Restriction

Fragment Length Polymorphism：頭文字をとって RFLP という) 解析法のひとつである。

RFLP解析は、第2-1図に原理と手順の概略を示すように、制限酵素切断によるDNA断片を膜に転写した後、プローブを用いてDNA多型性を検出するサザンブロット法であるが、分子生物学の手法は急速に進展し、最近では、PCR (Polymerase Chain Reaction) 法を用いたDNA多型性検出技術の進歩がめざましく、現在では、PCR法をベース

とした検出技術が主流となっている。

PCR法が報告されてからは、DNA量が極微量しか得られない血痕、毛髪、体液などの犯罪の痕跡を「DNA型鑑定」の対象とすることが可能となった。また、DNA分析による品種識別技術においても、DNAの劣化やDNAが断片化されている場合が多い陳旧化の進んだ試料や収穫物を原料とした加工食品での利用が可能になるなど、PCR法を用いたDNA鑑定の利用場面は拡大の一途を辿っている。



第2-1図 サザンブロット法の原理と手順の概略

注：作図はKirby, L.T.¹⁷⁾を参照した。

そこで本項では、DNA多型性を検出するためのサザンブロット法とPCR法を用いたいくつかの手法について概説する。

1 サザンブロット法を用いたDNA多型検出法

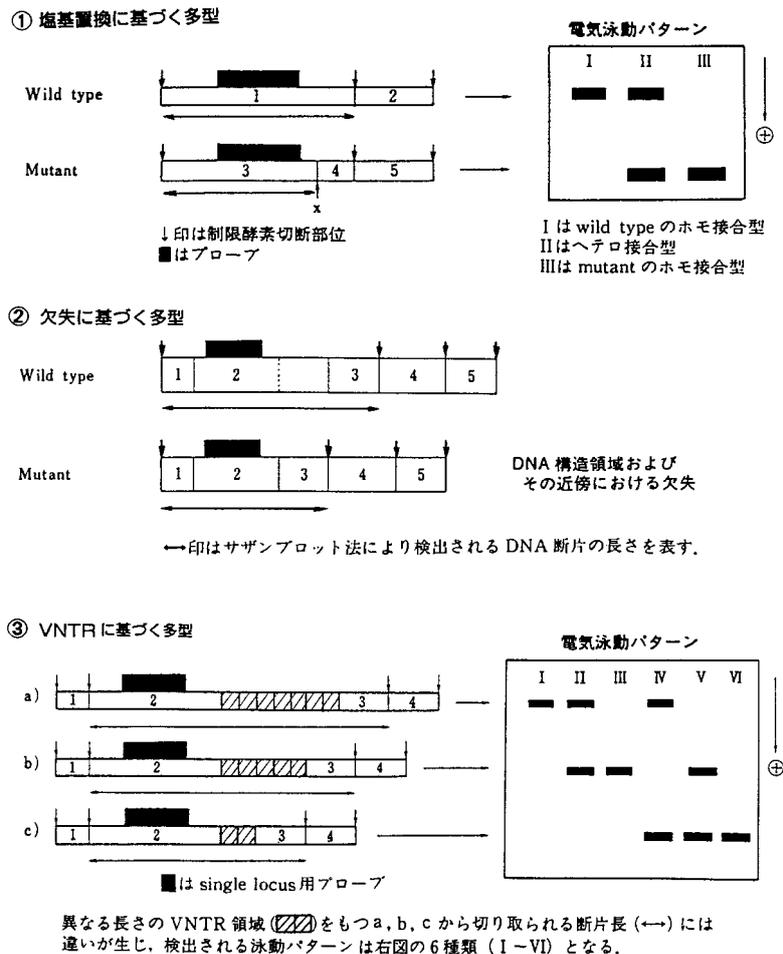
サザンブロット法の原理と手順の概略を第2-1図に示す。DNAは、4種類の塩基（アデニン：A、チミン：T、グアニン：G、シトシン：C）から構成され、ゲノムDNAの塩基対（AとT、GとC）は数億～数十億と膨大である。一口に、DNAの違いを調べると言っても、膨大な量の塩基配列を調べるのは非現実的である。

そこで、抽出したゲノムDNAの特定の塩基配列部位を認識する酵素（制限酵素；例えばEcoRIは、GAATTCの部分認識して切断する）を用いて切

断し、電気泳動法によりDNA断片のサイズに従って分離することが考えられた。すなわち、第2-2図の①②に示すように、比較するDNA間で塩基配列の差異（制限酵素認識部位における塩基置換、欠失などに基づく多型）があれば、制限酵素で切断されるDNA断片の長さの違いとして検出される。

ミトコンドリアや葉緑体などの比較的小さなサイズのDNAの場合は、数十個前後のDNA断片が得られ、電気泳動後の染色操作で識別が可能である。しかし、全DNAを用いると、制限酵素で切断したDNA断片の数が非常に多くなり、連続的なバンドパターン像しか観察することができない。

そこで、電気泳動したDNA断片を一本鎖に解離した後、ナイロン製の膜に転写し、一本鎖DNA小断片をプローブとして、DNA-DNAハイブリッド結合（雑種形成）を行えば、多数のDNA断片中から、



第2-2図 DNA多型の分類（原田⁸⁾より引用）

プローブと相補的な部位を持つDNA断片が検出できる。プローブをアイソトープや非放射性標識物質によって標識しておけば、ハイブリッド結合したDNA断片は、X線フィルムやナイロン製膜上に可視化されたバンドとして検出される。

このようなRFLP解析によるDNA多型性の検出頻度は、用いるプローブの種類によって大きく異なる。プローブの種類は、シングルローカス（単一遺伝子座）プローブ、マルチローカス（複数遺伝子座）プローブに大別され、分析結果の保存や連鎖地図を作成するためには、シングルローカスまたは小数の座位にハイブリッド結合するプローブが適している。また、高頻度のDNA多型検出を容易にするためにはマルチローカスにハイブリッド結合するプローブが能率的である。

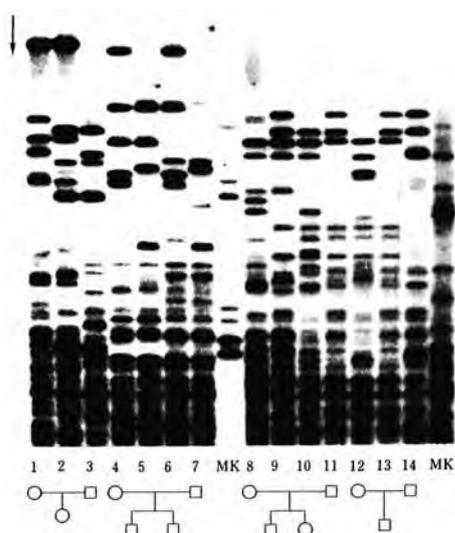
1) マルチローカスプローブを用いたRFLPの検出

DNA鑑定法に用いる「DNAフィンガープリント法」は、狭義には、サザンブロット法を用いたミニサテライトDNAのコアをプローブにしたRFLP解析を指す。ミニサテライトDNAは、一般に十～数十塩基の配列を単位とした反復配列であり、ゲノムDNA中に数多く散在しており、それぞれの反復配

列の繰り返し数が高頻度に異なる。このような反復配列領域をVNTR（Variable Number of Tandem Repeat）と言う。

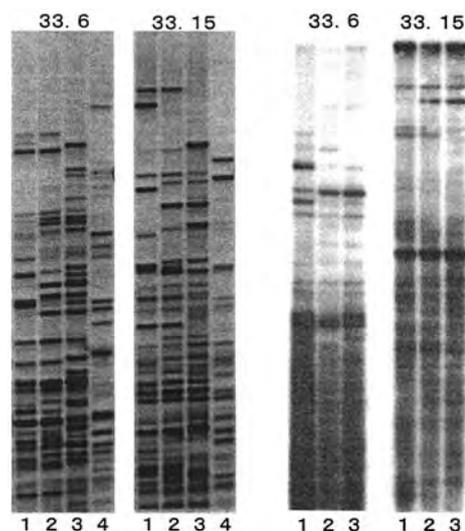
DNAフィンガープリント法を考案・命名したJeffreysら¹²⁾は、ヒトのミオグロブリン遺伝子から、ミニサテライトDNAのひとつである33塩基対を1単位とした繰り返し構造を発見し、このミニサテライトDNAの配列の中から、プローブができるだけ多くのミニサテライトDNAとハイブリッド結合するように、マルチローカスプローブ33.6（(AGGGCTGGAGG)₃）と33.15（AGAGGTGGGCA GGTGG）を分子設計した。

これらマルチローカスプローブ33.6と33.15は、英国のCellmark社が特許を取得しており、わが国では、(株)テスアールエル（旧(株)帝人バイオ・ラボラトリーズ）が技術導入と業務受託を行い、キットを販売している。これを用いてRFLP解析を行うと、いわゆるDNAフィンガープリントと言われる個人特異的な数多くのバンドが検出され、親子鑑定として利用されてきた（第2-3図、第2-4図）。



第2-3図 マルチローカスプローブ33.15の使用例

注：12～14は親子であり、13の子のバンドは12と14の両親のバンドのいずれかに由来している。従って、8～11の検査資料のうち11は13と同じバンドパターンであることから同一人物であり、11は12と14の子と推定できる。



第2-4図 マルチローカスプローブ33.6と33.15によるヒトの親子鑑定とカンキツ類の品種識別の事例

注：左図レーン2（子）のバンドは、レーン1（母）、レーン3（父）のいずれかに由来し、親子と推定できる。

同じく右図レーン2（「清見」）のバンドは、レーン1（「宮川早生」）、レーン3（「トロビタオレンジ」）のいずれかに由来し、交配親と推定できる。

ヒトのミニサテライトDNAは、作物の品種識別にも応用が可能であり、1993～1995年度の農林水産省委託調査「従属品種判定技術確立対策調査」において、マルチローカスプローブ33.6と33.15を用いた、カンキツ、リンゴ、バラ、モモ、カーネーションの品種識別が可能であることが報告されている。その内のカンキツへの適用例¹⁴⁾を第2-4図の右に示す。

また、Dallas⁴⁾はマルチローカスプローブ33.6を用いてイネの品種識別が可能であることを報告している。このように、ヒトのミニサテライトDNAが、他の生物種でも利用できることから利用場面は拡大している。

一方、ゲノムの中には、ミニサテライトより小さいマイクロサテライトと呼ばれる反復配列があり、そのコア配列(TG, CAG, GATAなど)をプローブに用いたDNAフィンガープリント法が注目されている。

このような、ミニサテライト、マイクロサテライトなどのマルチローカスプローブを用いたDNAフィンガープリント法は、DNA多型性をより効率よく検出することができる。しかし、ミニサテライトを用いたDNAフィンガープリント法は、バンドパターンが複雑であり、温度や塩濃度などの実験条件によって影響を受けやすく再現性に問題がある。

そのため、DNAフィンガープリントの比較は、同一フィルターに限られる。したがって、少数の検体間での同一性の確認や証明には有効であるが、別のフィルター上のパターンと比較し、一致性を判定するのに利用できないのが欠点である。

2) シングルローカスプローブを用いた RFLPの検出

シングルローカスプローブは、染色体上の特定部位にハイブリッド結合するプローブであり、単離された遺伝子(核DNA, ミトコンドリアDNA, 葉緑体DNAなど)やcDNA, または染色体からランダムにクローン化されたDNA断片の一部である。葉緑体DNAやミトコンドリアDNAにコードされているタンパク質遺伝子は、属・種間に共通した塩基

配列部分が存在する。しかも、これらは母性遺伝することから、これら遺伝子をプローブに用いることにより、母親の推定や植物間の系統関係の類推に数多く利用されている¹⁰⁾。

一方、第2-2図の③に示すように、ヒトのミニサテライトDNAに隣接する非反復配列を含むDNA断片をプローブとして、反復配列の繰り返し数の差異を検出することができるシングルローカスVNTRプローブが単離されている。このプローブの特徴は、染色体DNA上の特定部に特異的にハイブリッド結合することである。

第2-5図に示すように、ヒトにおいて1種類のシングルローカスVNTRプローブを用いた場合、検出されたDNAバンドは1ないし2本(両親から遺伝した繰り返し配列数が同じであるホモ接合型の場合には1本のバンドのみ検出され、繰り返し配列数が異なるヘテロ接合型の場合には2本のDNAバンドが検出される)のバンドしか得られないが、3種類のシングルローカスVNTRプローブを混合して用いた場合、6本以下の明瞭なバンドパターンを得ることができる⁸⁾。

このような、シングルローカスのVNTRプローブを用いると、バンドパターンが単純で比較しやすく、しかも再現性が高く、データベースとしてコン



第2-5図 シングルローカスプローブの使用例
(原田⁸⁾より引用)

コンピュータで管理・検索が可能であることから、「DNAプロファイリング法」とも呼ばれている。しかし、これらのプローブは、ヒト由来であればヒト特異的であり、ヒト以外のDNA多型検出には利用できないことから、植物分野で利用する場合は、それぞれの植物種からミニサテライトの探索と単離を行う必要がある¹⁹⁾。

2 PCR法を用いたDNA多型検出法

DNA多型検出法は、PCR法が報告されて以来、極微量の血痕などの検査試料に対応した犯罪捜査や法医学の領域に大きな進歩をもたらした。植物分野においても、DNA量が極微量しか得られない種子や芽生えなど、さらには、搾汁や加熱などを行ったDNAの劣化やDNAの断片化が予想される加工食品を対象としたDNA多型検出に多用されている。

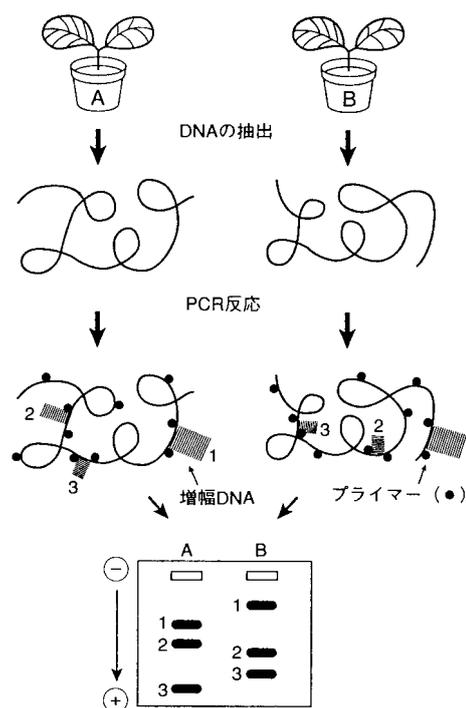
また、本検出法は、近縁系統間の交雑育種や突然変異育種に由来する品種など、DNAレベルでの変異が極めて少ないと考えられる場合などのDNA多型領域の検出の手がかりとしても利用することができるなど、広範囲の研究分野で多種多様の応用例が報告されている。

そこで本項では、PCR法を用いたDNA多型検出法について概説する。

1) ランダムプライマーを用いるPCR

ランダムプライマーを用いたPCRによるDNA多型検出法の概略を第2-6図に示す。いわゆる、合成プライマー間にはさまれた数十～数千塩基の領域はPCRによって増幅される。これを電気泳動法により長さに応じて分離した後、エチジウムブロマイドで染色を行えば、バーコード様のバンドパターンとしてDNAフィンガープリントが得られる。

すなわち、PCR増幅したDNAの長さを比較することによって、個体間のDNA構造の違いを識別することが可能である。しかも、RFLPにおいてDNAプローブや制限酵素の組合せを変えるのと同様に、合成プライマーの塩基配列を任意に変えることによって、多様なPCR増幅産物を得ることができ



第2-6図 RAPD法のあらまし

きる。このような手法により検出されるDNA多型をRAPD (Random Amplified Polymorphic DNA) と呼んでいる⁴⁵⁾。

また、広範なゲノム領域の検索を行うための1手法として、さまざまな植物においてその有効性が示されているISSR (Inter-Simple Sequence Repeat: 単純反復配列間)-PCR法がある。

ISSR-PCR法のプライマーとなるSSR (Simple Sequence Repeat) は、マイクロサテライトとも呼ばれ、法医学領域ではSTR (Short Tandem Repeat) とも呼ばれている。SSRは、染色体上に多数散在しており、この領域は多くの多型性を示すことから、品種識別に利用することができる⁵⁹⁾。

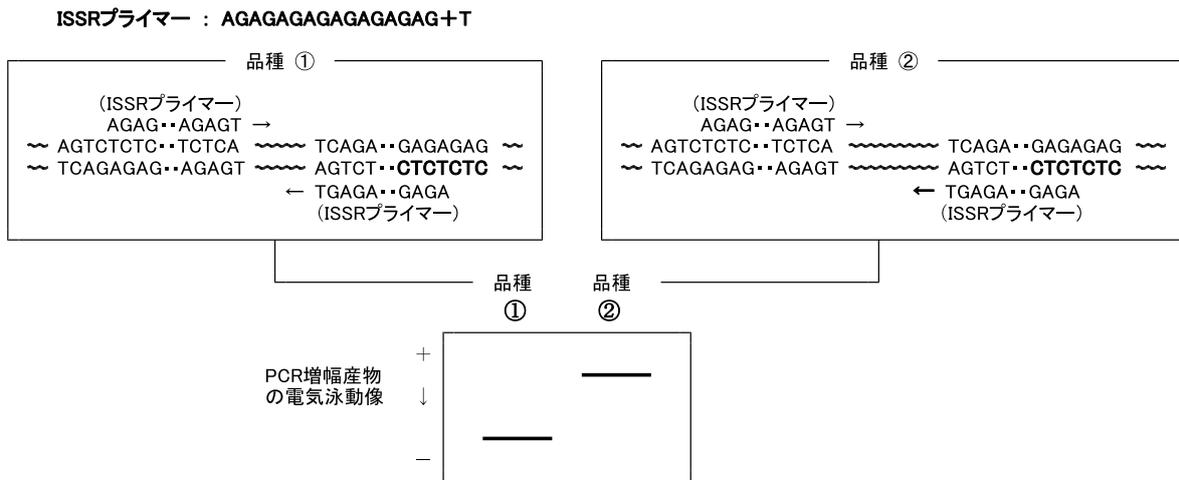
ISSR-PCR法の詳細については、Ⅲの2のISSR-PCR法を用いたイグサの品種識別に記載したが、第2-7図に示すように、このSSR部位をアンカープライマー ((AG)₈+Tなどのランダムな繰り返し配列から構成される約17～20塩基程度のプライマー) を用いて、染色体上の広い領域に散在するSSR領域の末端にプライミングさせ、SSRに挟まれた領域を特異的にPCR増幅させる方法であり、一度の操作で多くのDNAマーカーを得ることができ

る。しかも、RAPD法と同様の簡便さでDNA多型を検出することが可能で、さまざまな植物においてその有効性が示されている。

RAPD法やISSR-PCR法では、PCR増幅産物を電気泳動すると個体間で検出の有無の違いが認められるDNA断片のバンドが得られる。このようなバンドをRAPDマーカーやISSRマーカーと呼び、これ

ら数本のマーカーの有無のパターンに基づいてDNAタイピングを行うことにより、個体間の識別が可能である。しかし、これらのマーカーは不明瞭で再現性に問題がある。

また、PCR反応条件のわずかな変動が、得られるマーカーに大きく影響を与えることがあり、反復、もしくは、特定マーカー（バンド）を挟み込む形で、



第2-7図 ISSR-PCR法の概略図

シングルローカス VNTR 部位の PCR 増幅

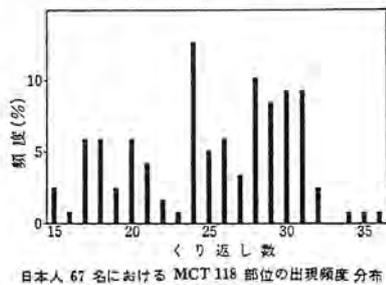
```

TGAGG GGCCG ATGGA CGCTT CCACT GGCCCT CATGG ACCGG
CCCTT CACCG TGCCA AGGAA ACAGC CCEAC CATGA GCGCG
TGAGA GAAAC TGCCG TGCCA ACAGT GCGCG CCGTC CACGG
CGGCG CCGTC CTGGC TGTGA ATGAC CCAGG AGCGT ATCCC
CCACG CGCCA GACTG CATTG AGATA AGCGC TGGCT CAGTG
GCAGC CCA-A GG-AA G
ACAGA CCACA GGCAG G
GAGGA CCACC GGAAA G
GAGA CCACC GGAAA G
GAAGA CCACC GGAAA G
GAAGA CCACA GGCAG G
GAGGA CCACC GGAAA G
GAAGA CCACC GGCAG G
GAGGA CCACC GGAAA G
GAGGA CCACC AGGAA G
GAGGA
          GGAA G
GAGGA CCACT GGCAG G
GAAGA CCACC GGCAG G
CCTGC AAGCG GCACC TGCAT CTCCA ACAAG GCAAA ATAAA
CAAGC CAGAG AGGCG TGTGG ACCAG TGTGG CATTG GTCAC
    
```

28塩基および29塩基の
プライマー部分を下線
で示す。

16塩基の繰り返し
構造部分は、縦に
並べて表してある。

MCT118部位の一次構造



MCT118部位の増幅例

6名(1-6)の血液から精製したDNAを28および29塩基プライマーを用いて増幅後、5%ポリアクリルアミドゲル電気泳動で分離し、エチジウムブロミド染色で検出した。(國中Mはマーカー)

第2-8図 MCT118を用いたDNA型鑑定

特定マーカーを特異的に増幅するプライマーを再設計するSTS (Sequence Tagged Site: 配列タグ部位) 化の操作を行う必要がある。したがって、DNA タイピングによる個体間の識別の試みも、特定マーカーのSTS化を行った後に行うべきである。

2) 特定領域のDNA多型を検出するPCR

対象とする特定DNA領域をPCRで増幅することができれば、増幅産物の塩基配列の差異をRFLP解析するPCR-RFLP法 (STS化したPCR増幅産物を制限酵素処理する場合はCAPS: Cleaved Amplified Polymorphic Sequence法とも呼ばれている) とSSCP (Single Strand Conformation Polymorphism: 一本鎖DNA高次構造多型) 法に適用することが可能である。さらにはSNP (Single Nucleotide Polymorphism: 1塩基多型) を効率よく検出することもできる。

いずれの手法も少数のDNA多型しか認められないが、複数の特定領域を組合せることにより、識別能力は格段と高くなる。とりわけSNP多型が検出できれば、電気泳動法のほかに、マイクロアレイ、マイクロプレートリーダーなどを用いることにより、自動化される可能性があり、次世代のDNA多型検出技術と言える。

一方、PCRを用いて、第2-2図の③に示した特定のミニサテライトDNA部位 (反復配列の繰り返し数の差異を検出することができるシングルローカスVNTR部位) の多型を検出する方法が開発されている⁸⁾。実際の例として、ヒトのミニサテライトDNAのひとつであるMCT118の両側に、28塩基および29塩基のプライマーを設計してPCR法で増幅したところ、16塩基の繰り返し数は個人によって異なり、15~36の間に分布していた (第2-8図を参照)。

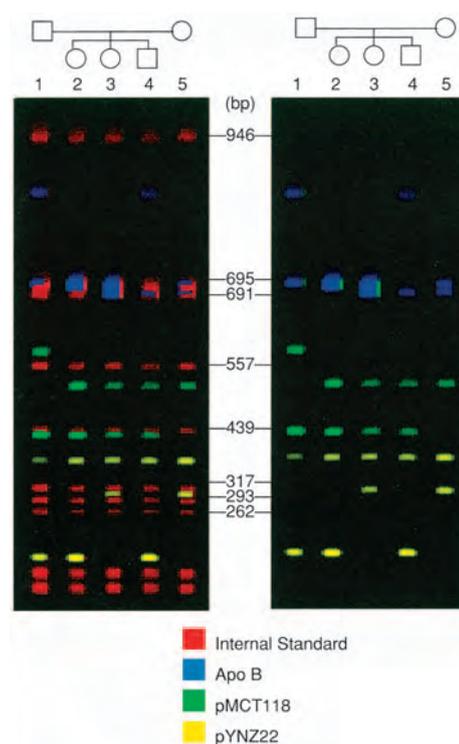
また、そのほかにもいくつかのシングルローカスVNTR部位が報告されていることから、これらを混合して使用することにより、第2-5図のシングルローカスプローブの使用例と同様のバンド (PCR増幅産物) パターンが得られ、識別能力は極めて高いものになる。また、ミニサテライトの検出は、

DNAシーケンサーなどを利用した自動測定が可能である。この方法は、プライマーセットのうち、片方みのプライマーに蛍光物質を標識し、PCR増幅した後、ミニサテライト部位のサイズを全自動DNAシーケンサーを用いて分析するものである。

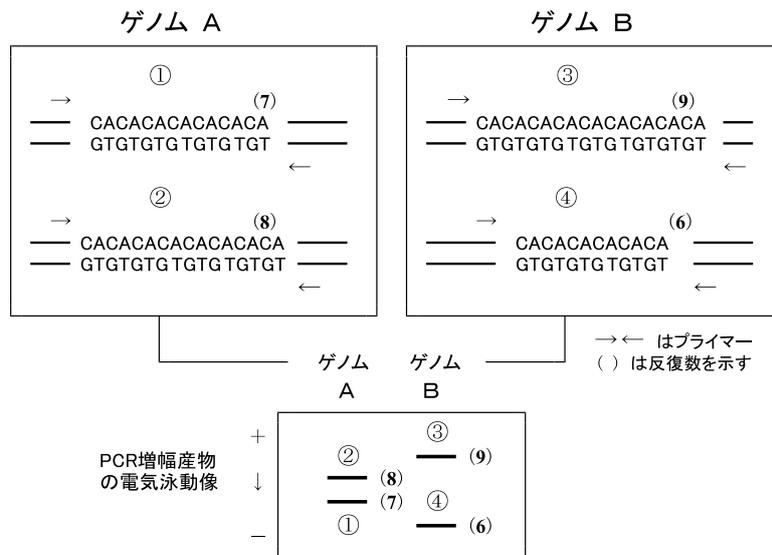
また、第2-9図に実際の犯罪鑑識事例を示したように、2~3のサイズの異なるミニサテライト部位を、それぞれ異なる色の蛍光物質 (1色はサイズマーカー: 第2-9図では赤色のバンドを示す。) を標識したプライマーセットを用いてPCR増幅することにより、同一のゲルレーン上で複数のミニサテライト部位の多型検出が可能である。

本法は、法医鑑識領域における個人識別法として最も大きな威力を発揮したDNA型鑑定法のひとつであったが、現在では、マイクロサテライト (TGA, CAGCなどの繰り返し反復配列) 領域を利用する方法が多数報告されている⁵⁹⁾。

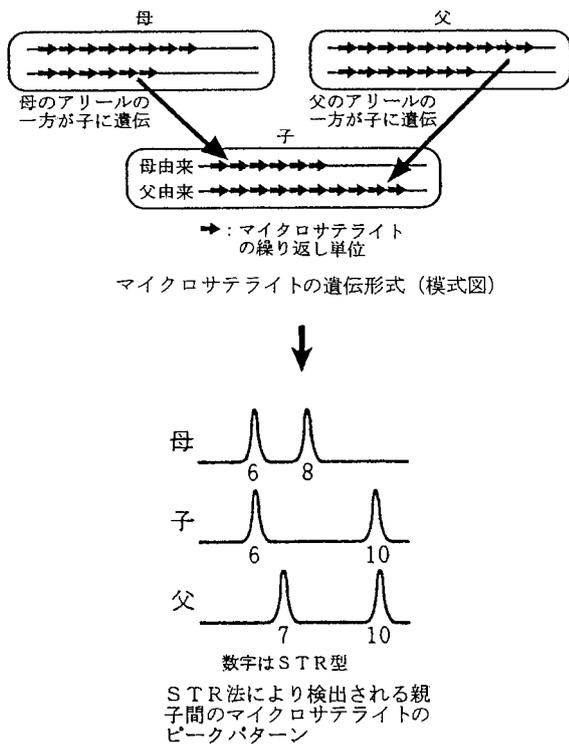
その理由として、ミニサテライトDNAは塩基配列中にしばしば変異が認められること、また、PCR法は比較的短いDNA断片しか増幅できないことから、一連の反復配列が短いマイクロサテライト



第2-9図 MCT118他を用いたDNA型鑑定の事例



第2-10図 PCR法を用いたマイクロサテライト多型検出の概略図



第2-11図 STR法による親子鑑定の概略図

DNAはPCRにも適している。

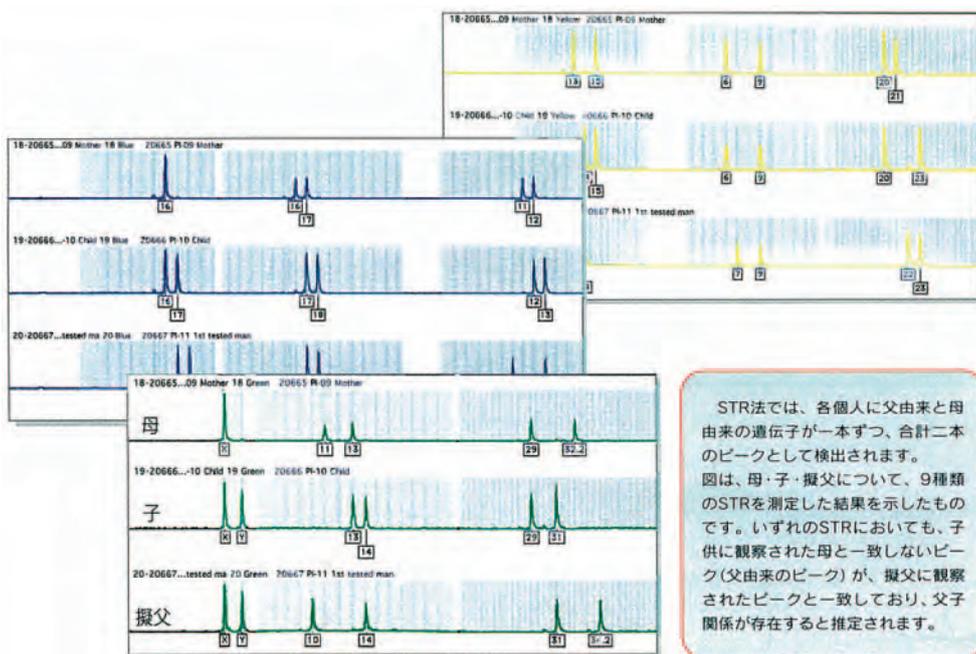
また、PCR増幅産物のサイズ判定は、DNAシーケンサーを用いた自動化と短時間での分析も可能であることから、法医鑑識領域においてもマイクロサテライトを用いたDNA型鑑定への移行が行われた³⁷⁾ (第2-10図を参照)。

また、第2-11図と第2-12図に(株)エスアールエルのDNA親子鑑定資料に記載されているSTR法を用いた親子鑑定の概略図とその事例を示す⁴⁰⁾。

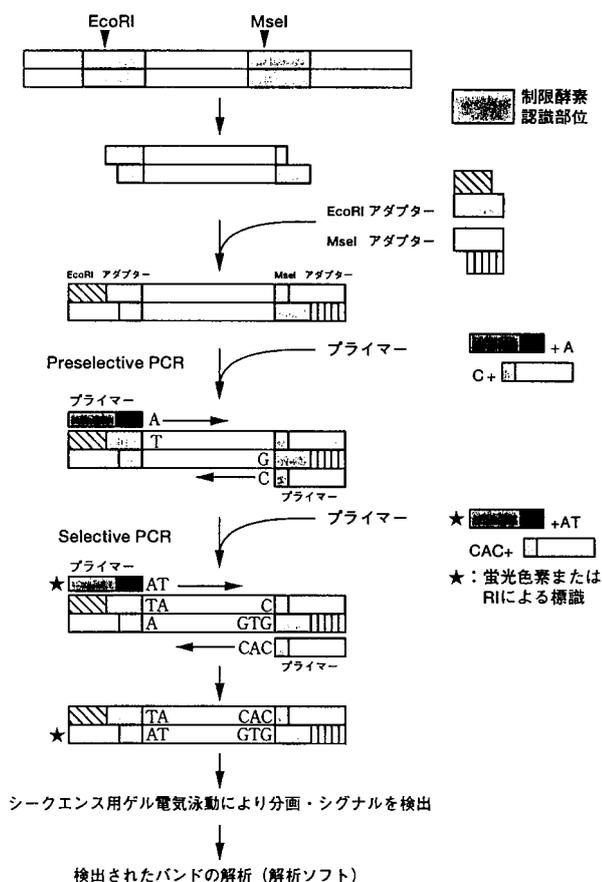
このようなSTR型分析は、科学警察研究所や科学捜査研究所など、警察における犯罪捜査などに採用されており、本法は、キット化され、某社から市販されている。2003年8月には、MCT118などのミニサテライトDNAを用いた場合の別人である確率は、約1億8000万分の1であったが、本キットを用い、10カ所ほどのSTR部位のDNA多型を調べることにより、2006年10月には約4兆7000億分の1、2010年には約77兆分の1と飛躍的に向上し、高精度なDNA型鑑定法として確立され、法廷でも十分に信頼されるものとなっている³⁷⁾。

3 RFLPとPCRを組合せたDNA多型検出法

AFLP (Amplified Fragment Length Polymorphism) 法^{39, 43, 58)} は、RFLPとPCR (RAPD) の長所を併せ持った手法で、高感度に品種識別が可能なDNA多型検出技術である。第2-13図の原理と手順に示すように、本法は、ゲノムDNAなどを制限酵素で切断したDNA断片の長さの違いをPCRにより選択的に増幅させて検定する方法である。解析するDNAを切断する際は、一般的に2種類の制限



第2-12図 STR法による親子鑑定の事例



第2-13図 AFLP法の原理と手順の概略図

注：作図はAFLP Analysis System I キット (Applied Biosystems 社) を参照した。

酵素を用い、切断される認識配列が比較的高い頻度で現れる4塩基認識酵素 *MseI* と、低い頻度で現れる6塩基認識酵素 *EcoRI* の組合せが用いられる。

このように、2種類の制限酵素を用いることにより、両端が異なる制限酵素で切断されたDNA断片を優先的に増幅させることができ、断片数を調節することができる。DNAを制限酵素で切断した後、二本鎖アダプターをDNA断片の両側に接続し、PCRのテンプレートとする。アダプターとアダプターに隣接する制限酵素切断部の塩基配列がプライマーの接合部位となり、制限酵素切断部位の塩基配列と付加された塩基配列を併せ持つDNA断片を選択的にPCR増幅することができる。

また、第3-16図のカンキツのAFLP解析に示すように、PCR増幅されたDNA断片の長さの違いは、変性ポリアクリルアミドゲル電気泳動によって分画することにより検出し、AFLPフィンガープリントとする方法である。

このように、植物ゲノムDNAのフィンガープリンティング法として開発されたAFLP法は、従来のRAPD法の問題であった再現性の低さや1反応あたりの多型情報の低さが大幅に改善されている。

また、一般的にプライマーの標識には、アイソト

ープが用いられていたが、現在、蛍光色素で標識されたキットが市販されており、DNA シークエンサーや蛍光イメージアナライザーによるフィンガープリンティングも可能である。また、解析する対象植物のゲノムサイズにより、Regular (500Mb 以上) と Small (50~500Mb) の2種類のキットが市販されたことからさまざまな植物種への応用が拡大した。

Ⅲ DNA多型性による品種・系統識別の実際例

作物のDNA多型性を利用した品種・系統識別法は栽培条件の影響を受けないこと、また、識別できる頻度、正確度が高く、しかも迅速・簡便であることなどの利点から、今後ますます利用されるものと考えられる。

そこで本項では、DNA多型性による品種・系統識別の実際例として、1 DNA多型分析によるバレイシヨの品種・系統識別⁴⁸⁾、2 ISSR-PCR法を用いたイグサの品種識別⁵³⁾、3 AFLP法を用いたカンキツ類および温州ミカンの品種・系統識別⁵²⁾、4 DNAフィンガープリンティングソフトによる解析の実際例²¹⁾について述べる。

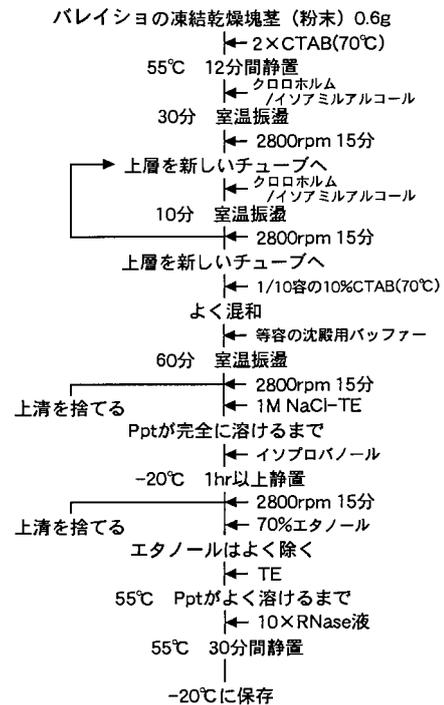
なお、これら実際例の報告は、それぞれの引用文献を元にして再構成した。

1 DNA多型分析によるバレイシヨの品種・系統識別

1) RFLP解析を用いた品種・系統識別

(1) DNAの調製

バレイシヨは農業生物資源研究所遺伝資源センターより配布を受けた。バレイシヨ塊茎(50g程度)は、約1cm四角に切断し、真空凍結乾燥機を用いて水分を十分に除去した後、粉碎し、Murrayらの方法²³⁾を改変したCTAB法により全DNAを抽出した(第3-1図)。DNA量は260nmの吸光度法で測定し、いずれも500ng/ μ l程度に調製した。



第3-1図 バレイシヨDNAの抽出法(CTAB法)

(2) RFLPの検出

約5 μ gの抽出したDNAを、それぞれ制限酵素BamHI(TOYOBO)で消化した後、1%アガロースゲル電気泳動によって制限酵素断片を分画した。アルカリ変性したDNA断片はキャピラリーブローディングによりナイロンフィルター(Hybond N+: Amersham)に転写した。

DNAを転写したフィルターは、42°Cに加温したプレハイブリダイゼーション液(50%formamide, 5×SSC, 5×Denhardt's solution, 0.5mM sodium phosphate(pH 6.5), 5mM EDTA, 0.5%SDS, 0.5mg/ml heat-denatured salmon sperm DNA)の中で3時間浸漬し、プレハイブリダイゼーションを行った。

さらに、5% dextran sulfateと photobiotin (Photobiotin Labeling System: BRL)でラベルしたプローブを0.2 μ g/mlを加えたプレハイブリダイゼーション液にDNA転写フィルターを入れ、42°Cで一晩ハイブリダイゼーションを行った。

ハイブリダイゼーション終了後、フィルターを室温に保ち、0.1%SDSを含む2×SSCと、55°Cの

0.1% SDSを含む0.2×SSC溶液で洗浄した。

さらに、フィルターを3% bovine serum albumin (bovine albumin fraction V : Sigma) と0.15 M NaClを含む0.1 M Tris-buffer (pH 7.5) で、65℃・60分間のブロッキングを行った。バンドは、BlueGENE Nonradioactive Nucleic Acid Detection System (BRL) を使い、Streptavidin-alkaline phosphatase conjugateとNBT, BCIPで検出した。

(3) DNAフィンガープリントの検出

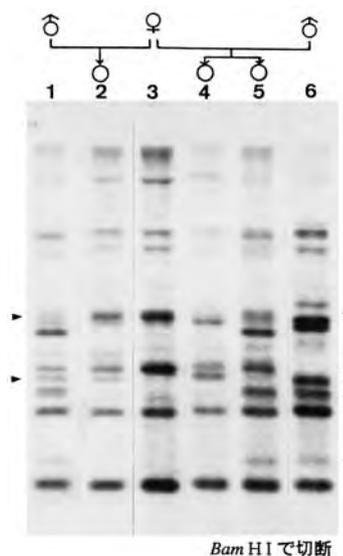
ヒトミニサテライトDNAによるDNAフィンガープリント法は、33.6, 33.15グロブ (Cell-mark) を用いて行った。バレイショ塊茎から抽出した約3 μgのDNAを、それぞれ制限酵素 *Hinf*I で消化した後、0.7%アガロースゲル電気泳動によって制限酵素断片を分画し、ナイロンフィルターにサザンブロットティングを行った。DNAを転写したフィルターは、55℃に加温したプレハイブリダイゼーション液 (0.5 M Na₂HP0₄ (pH 7.2), 1% SDS) の中で3時間浸し、さらに、³²Pで標識した33.6, 33.15プローブをハイブリダイゼーション液 (0.2 M Na₂HP0₄ (pH 7.2), 1% SDS, 1% BSA, 6% PEG) にそれぞれ加え、55℃で一夜、ハイブリダイゼーションを行った。ハイブリダイゼーション後は、洗浄液 (0.2 M Na₂HP0₄ (pH 7.2), 0.1% SDS) で室温・30分・2回、37℃・30分・1回、45℃・30分・1回、55℃・30分・1回の洗浄を行い、X-rayフィルムにオートラジオグラフィを行った。

(4) RFLPを利用したバレイショの品種・系統識別

イネから単離したシトクロムアポ蛋白質遺伝子 (*cob*)、ATP合成酵素サブユニット遺伝子 (*atp 9*) などのミトコンドリア遺伝子 (農業生物資源研究所門脇光一氏より分譲) とrRNA 遺伝子 (pRR 217 : 農業生物資源研究所細胞情報研究室より分譲) およびタバコの葉緑体遺伝子 (Ba1, Ba2 : 名古屋大学遺伝子実験施設より分譲) をプローブとして、バレイショ15品種・系統の識別を試みた。

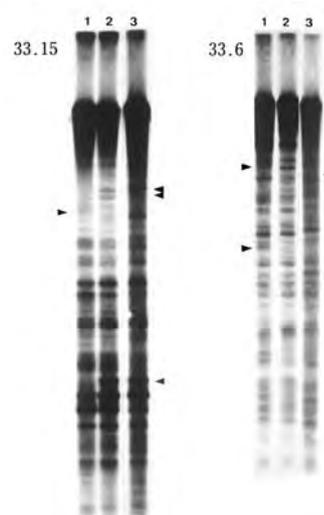
その結果、イネ rRNA 遺伝子を用いたRFLPプロ

ファイルはおおむね類似したRFLPパターンを示したが、各品種・系統の特異的なバンドによって相互の品種・系統識別が可能であった。例えば、「男爵」を♀、「農林1号」を♂とする「オオジロ」のバンド (矢印：▶) は両親のどちらかに存在し、親子関係



第3-2図 イネ rRNA 遺伝子 (pRR217) プローブを用いたバレイショのRFLPによる親子鑑定

レーン1 : 農林1号 4 : 農林2号
 2 : オオジロ 5 : 北海白
 3 : 男爵 6 : Pepo



第3-3図 ミニサテライトDNA (33.15, 33.6) を用いたバレイショのDNAフィンガープリント

レーン1 : 男爵 (♀)
 2 : オオジロ
 3 : 農林1号 (♂)

と矛盾しなかった(第3-2図)。また、親子関係の明らかな11品種・系統相互間の類似度に基づいて作成した系統樹(第3-2図の上部に示した)は来歴を表す系譜とおおむね一致していた。

また、ヒトミニサテライトDNA(33.6, 33.15)を用いた場合、「男爵」、「オオジロ」、「農林1号」のいずれの品種においてもおおむね類似する30本程度のバンドからなるDNAフィンガープリントが得られたが、これら品種・系統は数本の特異的バンド(矢印:▶)によって親子鑑定が可能であった(第3-3図)。

2) RFLP解析ソフト(RFLPrint™:PDI)を用いたバレイショRFLPの定量的解析例

DNAの構造の違い(多型性)をDNAフィンガープリントに可視化した場合、バンドの読み取りと、レーン間のバンドのマッチングなどを行い、品種間(レーン間)の遺伝的類似度や遺伝的差異(一致率)の定量的な解析、さらには遺伝的類似度に基づく系統樹の作成を行わなければならない。

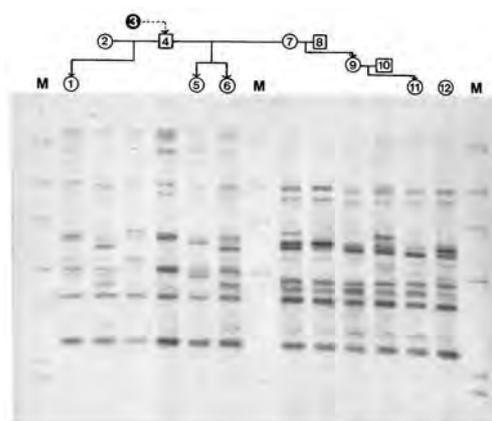
一方、バンドの自動読み取り機に各レーン間のバンドの自動マッチングを行うことができるソフトウェア(RFLPrint™:PDI)を備えた画像解析装置が販売されており、このような装置を用いればバンドの自動読み取りのみならず、品種・系統間の遺伝的差異の解析と系統樹の作成が容易に解析できる。

本項では、RFLPrint™によるバレイショのDNA多型解析事例を記述したが、Ⅲの4には、PDI(ROYOBO)社と著者が共同開発したDNAフィンガープリンティングソフト「総合次元電気泳動画像解析システム(Diversity Database™)」²¹⁾のRFLP解析機能を用いたバレイショの解析事例を記述した。

(1) DNAの調整とRFLPの検出

バレイショ12品種・系統のRFLPの検出は、Ⅲの1 DNA多型分析によるバレイショの品種・系統識別の実験材料および方法の(1)DNAの調整とRFLPの検出に準じて行った(第3-4図)。

検出したバレイショ12品種・系統のRFLPプロ



Bam HIで切断

イネrDNA(pRR217)プローブによるRFLPを利用したバレイショの品種・系統識別

レーン 1:オオジロ 5:農林2号 9:北海19号
2:農林1号 6:北海白 10:エニワ
3:アーローローズ 7:Pepo 11:トヨシロ
4:男爵 8:P.Wohltman M:λ/Hin d III

第3-4図 イネ rDNA (pRR217) プローブを用いたバレイショ12品種・系統のRFLP像

Lane 6							
Band #	Rf	Standard	Peak OD	Quantity ODxMM	Quantity ODxMM ²	Rel Quantity Percent	Band Name
6-1	0.157		0.32	0.561		3.7	
6-2	0.261		0.39	0.695		4.6	
6-3	0.294		0.34	0.593		3.9	
6-4	0.420		0.53	0.577		3.8	
6-5	0.434*		0.66	1.086		7.1	
6-6	0.513		0.42	0.610		4.0	
6-7	0.538		0.59	0.698		4.6	
6-8	0.553*		0.46	0.483		3.2	
6-9	0.633		0.51	1.062		7.0	
6-10	0.794		0.85	2.200		14.4	

Lane 10							
Band #	Rf	Standard	Peak OD	Quantity ODxMM	Quantity ODxMM ²	Rel Quantity Percent	Band Name
10-1	0.249		0.32	0.720		7.0	
10-2	0.283		0.23	0.509		5.0	
10-3	0.434*		0.48	0.430		4.2	
10-4	0.448		0.42	0.540		5.3	
10-5	0.486		0.18	0.253		2.5	
10-6	0.550*		0.43	0.898		8.7	
10-7	0.581		0.27	0.377		3.7	
10-8	0.623		0.48	0.919		9.0	
10-9	0.733		0.18	0.345		3.4	
10-10	0.786		0.55	1.371		13.4	

第3-5図 RFLP解析ソフト(RFLPrint™:PDI)により自動検知したRFLPバンドのRf値の事例

注: Lane 6と10の*印のバンドは、Rf値がほぼ一致している。

ファイル(第3-4図)を対象に、RFLP解析ソフト(RFLPrint™:PDI)を用いてデータベース化した。すなわち、各レーンのRFLPバンドを自動検知後、同一のDNAサイズマーカー(λ/Hind III digest: TOYOBO)を基準にして、各レーンのバンドをRf値としてデータベース化し、事例として2レーン(レーン6とレーン10)のRf値を第3-5図に示す。

(2) DNA多型性の定量的解析

本項では、RFLP解析ソフト (RFLPrint™ : PDI) を用いることで、バレイショ品種・系統相互間の類似度や遺伝距離を定量的に解析することができる。すなわち、RFLPrint™は、各レーン間の遺伝距離として遺伝的類似度 (Similarity Coefficients : F) を自動算出することができる。

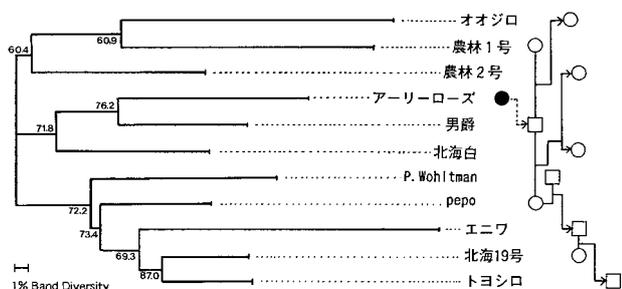
遺伝的類似度は、Neiら²⁸⁾の方法により、 $F = 2N_{xy} / (N_x + N_y) \times 100 (\%)$ によって求めた。N_x, N_yは、それぞれに検出されるバンドの数で、N_{xy}は、一致したバンド (6-5と10-3, 6-8と10-6) のRfの数である。第3-5図に示すようにレーン6と10の*印の値は、ほぼ一致し、10本中2本のバンドが一致していることから第3-6図に示すレーン6と10の遺伝的類似度は20%となる。

Lane	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	100.0	43.5	46.2	48.0	35.7	33.3	51.9	66.7	34.8	41.7	36.4	26.1
2	43.5	100.0	66.7	60.0	43.5	63.2	54.5	42.1	33.3	21.1	23.5	22.2
3	46.2	66.7	100.0	78.3	61.5	54.5	48.0	45.5	28.6	27.3	20.0	19.0
4	48.0	60.0	78.3	100.0	72.0	47.6	50.0	57.1	30.0	28.6	21.1	20.0
5	35.7	43.5	61.5	72.0	100.0	33.3	29.6	33.3	34.8	25.0	18.2	26.1
6	33.3	63.2	54.5	47.6	33.3	100.0	52.2	40.0	21.1	20.0	22.2	21.1
7	51.9	54.5	48.0	50.0	29.6	52.2	100.0	52.2	45.5	34.8	38.1	27.3
8	66.7	42.1	45.5	57.1	33.3	40.0	52.2	100.0	42.1	50.0	44.4	31.6
9	34.8	33.3	28.6	30.0	34.8	21.1	45.5	42.1	100.0	63.2	70.6	44.4
10	41.7	21.1	27.3	28.6	25.0	20.0	34.8	50.0	63.2	100.0	77.8	52.6
11	36.4	23.5	20.0	21.1	18.2	22.2	38.1	44.4	70.6	77.8	100.0	58.8
12	26.1	22.2	19.0	20.0	26.1	21.1	27.3	31.6	44.4	52.6	58.8	100.0

$$\text{Similarity coefficients (F)} = \frac{2n_{xy}}{n_x + n_y} \times 100 (\%)$$

(Nei and Li 1979)

第3-6図 バレイショ12品種・系統間の Similarity Matrix



第3-7図 RFLP解析ソフト (RFLPrint™ : PDI) を用いたバレイショ11品種・系統の系統樹の作成

さらに、遺伝的類似度を基にして、12品種・系統間の系統樹 (デンドログラム) を作成した (第3-7図)。

以上のように、RFLP解析ソフトは、ゲル上の大量のバンドを保存・比較を行う場合には、画像を最初に処理する時のデータの精度が非常に重要であり、画像データに比較の基礎となるレーン間の歪み補正およびレーン間のバンドのマッチングを容易に、しかも高精度にできるという点に特徴がある。

これにより、各レーンのバンドの分子量 (DNA断片長) を自動検知して、バンド間のマッチングを行い、各レーン間の相似行列 (Similarity Matrix) を基にしてデンドログラムも容易に作成することができる。

3) RAPD法を用いた品種・系統識別

(1) RAPDの検出

抽出した全DNAは、できるだけ厳密に10ng/μl濃度に調整し、PCRの鋳型として用いた。PCR反応液組成は、鋳型DNA 20ng, dNTPs 200μM, Taq DNAポリメラーゼ (Ampli Taq : Perkin-Elmer Cetus) 0.5 unitsを加え、20μlの反応液量とした。

プライマーは、協和発酵筑波研究所から分譲された9~20塩基からなる8種類のFPプライマーを2種混合して用いた (第3-1表)。PCRの反応条件はDNA Thermal Cycler PJ 2000 (Perkin-Elmer Cetus) を用い、熱変性93℃・1分、アニーリング

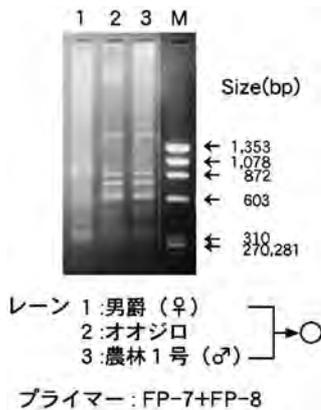
第3-1表 供試したプライマー

プライマー	塩基配列
FP-1	5' CAA TAT GGT GCG CGA CAA T 3'
FP-2	5' TGC CAT TCC TAT ACT AAC CA 3'
FP-3	5' AGC CAT GGC 3'
FP-4	5' GCC GTG CTG CCC CTG GTA 3'
FP-5	5' TAG ATA GAT AGA TAG A 3'
FP-6	5' GAC AGA CAG ACA GAC A 3'
FP-7	5' TGT GTG TGT GTG TGT GTG CC 3'
FP-8	5' CCA GAA ATC CAA GAA TGT GA 3'

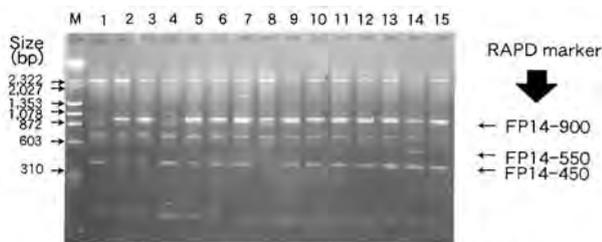


40℃・2分, 伸張反応72℃・2分を1サイクルとして40サイクル行った。

増幅DNAは, エチジウムブロマイドを含む2%アガロースゲルで電気泳動後, UV照射下で写真撮影した。RAPDマーカーとしては, バレイシヨ15品種・系統を対象に, 2種の混合プライマーを用いて検出されるそれぞれのRAPDプロファイルから, 品種・系統間に有無が認められるバンドを選んだ。



第3-8図 RAPDマーカーによるバレイシヨの親子鑑定



プライマーFP-1とFP-4によるRAPDマーカーの検出

レーン 1:オオジロ 5:農林2号 9:北海19号 13:70169-115
2:農林1号 6:北海白 10:エニワ 14:70169-19
3:アーリーローズ 7:Pepo 11:トヨシロ 15:ホッカイコガネ
4:男爵 8:P.Wohlman 12:北海51号

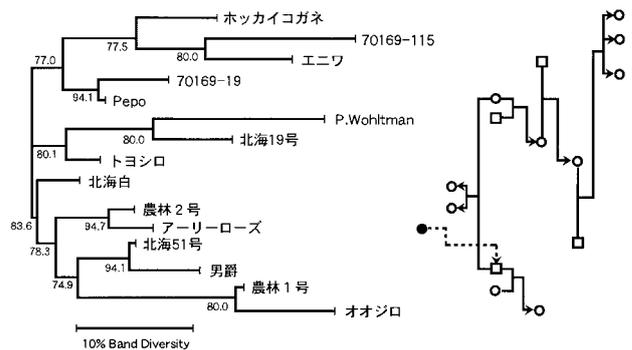
M: *M*⁺*H*ind III + ϕ X174/*Hae* III

RAPDマーカーによるバレイシヨ15品種・系統のDNAタイピング

RAPDマーカー	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
FP14-900	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FP14-550	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FP14-450	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FP16-900	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FP16-700	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FP16-500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FP34-1100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FP34-700	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FP34-600	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FP46-700	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FP46-600	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FP58-1100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

- : RAPDマーカー

第3-9図 プライマーFP-1とFP-4によるRAPDマーカーの検出とDNAタイピング



第3-10図 RAPDマーカーを利用したバレイシヨ15品種・系統のデンドログラム (右側には来歴を表す系譜を示した)

供試した8種類のプライマーのうち, 混合(2種)プライマーを用いた場合に, 顕著なRAPDプロファイルが認められた。これらのRAPDプロファイルから「男爵」を♀, 「農林1号」を♂とする「オオジロ」の親子関係が確認できた(第3-8図)。

また, バレイシヨ15品種・系統を対象に, 検出されるそれぞれのRAPDプロファイルから, RAPDマーカーの検出を行った。第3-9図の上にプライマーFP-1とFP-4の混合による検出例を示す。これらのバンドの有無に基づいてDNAタイピング(第3-9図の下)を行ったところ, 少なくとも12本のRAPDマーカーにより15品種・系統の識別と系統樹(第3-10図)の作成が可能であった。

(2) DNA多型性を利用したバレイシヨの品種・系統識別

植物分野においては, 葉緑体DNAやミトコンドリアDNAにコードされているタンパク質遺伝子がプローブとして数多く利用され, これらは母性遺伝することから, 母親の推定や植物間の系統関係の類推に有用である。しかし, これらプローブは, 属・種の識別は可能であるが, 品種・系統を識別するためには多数のプローブを用いてDNA多型を検出する必要がある。

今回供試したイネrRNA遺伝子は, 植物のゲノム中に多コピー存在し, しかも, 種間で相同性の高い遺伝子領域と種特異的な遺伝子間領域(Intergenic Spacer Region: IGS)から構成され, 相同性の

高い遺伝子領域を介してハイブリッド結合するが、種によって異なるIGSにより品種・系統識別に有用なRFLPが検出される。このことはバレイショにおいても有効であった⁴⁸⁾。

ヒト由来のミニサテライトDNA (33.6, 33.15) は、イネの品種・系統識別にも応用が可能であることがDallas⁴⁾によって報告されたのを機に、他の作物への適用例が数多く報告されている。

バレイショにおいても、ヒト由来のミニサテライトDNAがそのまま利用できることが明らかにされたことから、利用場面はますます拡大していくものと思われる。

PCR法を用いたDNA多型検出のため、ランダムプライマーを用いるPCR、すなわちRAPDマーカーによるDNAタイピングを試みた。ランダムプライマー間に挟まれた数十～数千塩基の領域はPCR反応によって増幅される。これを、電気泳動法により長さに応じて分離した後、エチジウムブロマイドで染色を行えば、バーコード様のバンドパターン (DNAフィンガープリント) が得られる。すなわち、PCR増幅したDNAの長さを比較することによって、個体間のDNA構造の違いを識別することが可能である。このような方法により検出されるDNA多型をRAPDまたはALPHA (Amplified Fragment Length Polymorphism of Hazy Association)²⁶⁾と呼んでいる。

バレイショ15品種・系統においてもRAPDマーカーの有無に基づくDNAタイピングにより識別は可能であった。また、これを基にして、15品種・系統間の類似度に基づいて作成した系統樹 (デンドログラム) は、来歴を表す系譜 (第3-10図の右の系譜) とおおむね一致していた。本法による識別は、比較的短期間に、しかも用いるDNAの量が極微量でも識別が可能であることから、今後ますます利用される傾向にある。

犯罪捜査や法医学の領域では、ミニサテライト、マイクロサテライトなどが探索され、これらをプローブとして、あるいはPCRの標的として、極めて高い精度で個人を特定できるが、植物分野では、ミニサテライト様反復配列の探索など、まだ十分とは言

えない現状である。しかし、最近のゲノム解析においてミニサテライトDNAと考えられる領域が多数検出され、それを用いたDNAフィンガープリントが報告されている。作物のゲノム構造を解析する研究から、DNA多型に関する情報は相乗的に増えることが期待される。

また、その一方で、種苗法に基づく登録品種の権利侵害があり、係争となった場合、DNA鑑定は3年間の時効以内に侵害の立証、栽培条件の影響を受けずに品種の同定が可能であり、証拠として係争裁定に提供できることから、税関などの現場での利用が考えられている。

今後、DNA多型性を利用した作物の品種・系統識別に関連する研究の活性化が期待される。

2 ISSR-PCR法を用いたイグサの品種識別

近年、海外からの安価な穀物や生鮮野菜などの輸入急増が国内の生産者価格を下落させ、農家経営を大きく圧迫している。このため、産地からはセーフガードの発動要請および原産地表示の徹底が要請されているところである。また、国産農産物の優位性を保つには、わが国で育成された新品種が許諾なしに海外に渡り、商品として逆輸入することを阻止する必要があり、このためには、品種を正確に識別する技術の開発が急務である。

そこで本項では、このような行政部局からの要請に応え、昨今、輸入量の著しい増大が問題となっているイグサについて、種苗法による育成者権の保護と、国内生産の適正な保護の観点より、イグサ品種識別技術の開発とその実用化について検討した。

イグサの品種開発は、近縁系統間の交雑育種を始め、芽条変異や放射線照射による突然変異が主に育種に利用され、DNAレベルでの変異が極めて少ないと考えられる (第3-12図)。そのため、本研究では、広範なゲノム領域の検索を行うための1手法として、さまざまな植物においてその有効性が示されているISSR-PCR法を利用したイグサの品種識別への適用を検討した。

SSRは、染色体上に多数散在しており、変異性が

極めて高く、この領域は多くの多型を示すことから、種、系統などの識別のための有効なマーカーとして利用することができる。

ISSRは、このSSR部位をアンカープライマー((AG) \times 8+T, (CA) \times 8+RGなどのランダムな繰り返し配列から構成される約17~20塩基程度のプライマー)を用いて、染色体上の広い領域に散在するSSR領域の末端にプライミングさせ、SSRに挟まれた領域を特異的にPCR増幅させる方法である(第2-7図)。

ISSR-PCR法は、一度の操作で多くのDNAマーカーを得ることができる。しかも、従来のマイクロサテライトDNAマーカーを検出する方法に比べて、RI標識を用いず、電気泳動もアガロースゲルで行えるため、これまで植物分野で汎用されてきたRAPD法と同様の簡便さでDNA多型を検出することが可能である^{2, 13, 18, 25, 34, 42, 53}。

そこで本項では、農林水産省からの行政対応特別研究「微量元素分析及び分子マーカーの利用による農産物の品種・原産地判別手法の開発」の中の「イグサにおける品種識別のための分子マーカーの検索」において得られた、ISSR-PCR法を用いたイグサの品種識別について述べる。

1) ISSR-PCRの検出

イグサは、熊本県農業研究センターい業研究所から分譲された、国内で生産される主要栽培品種と在来種の16品種(「千丁在来」, 「あさなぎ」, 「ふくなみ」, 「せとなみ」, 「ひのみどり」, 「下増田在来」, 「きよなみ」, 「文政在来」, 「いそなみ」, 「筑後みどり」, 「岡山3号」, 「くまがわ」, 「さざなみ」, 「しらぬい」, 「岡山F系」, 「岡山みどり」)を用いた^{11, 27, 35}。イグサDNAは、生育中期のイグサの茎約5gを液体窒素下で粉碎した後、CTAB法により、全DNAを抽出し、ISSRの多型検索のためのサンプルとした。PCRは、ブリティッシュコロロンビア大学で開発されたISSR-PCR用プライマーセット(96種: UBC SSR primer set)を用いた。PCRによるDNA増幅は、20ngのイグサDNAを鋳型とし、1.25unitsのAmpli Taq™ Gold (PE Applied

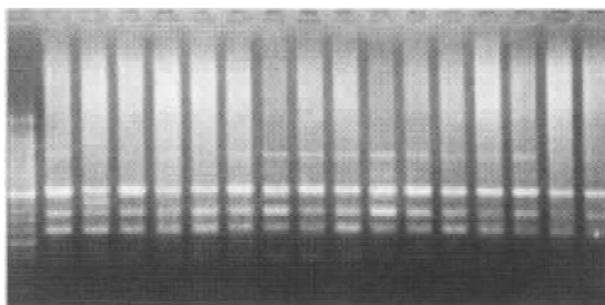
Biosystems)と添付バッファー、3 μ Mのプライマー、各200 μ MのdNTP、1.5mM MgCl₂を滅菌水で20 μ lの反応系に調整した。PCR反応は、PCRサーマルサイクラー(GeneAmp PCR system 9700: PE Applied Biosystems)を用い、アニーリング温度は、45 $^{\circ}$ C、50 $^{\circ}$ C、55 $^{\circ}$ Cについて検討した。PCR増幅産物は、1.5%アガロースゲル電気泳動後、エチジウムブロマイド染色でDNAバンドを検出した。

2) ISSR-PCRを利用した品種識別

イグサDNAは、CTAB法で抽出した全DNAを供試した。ブリティッシュコロロンビア大学より購入したISSR-PCR用プライマー(96種)を用い、アニーリング温度(45 $^{\circ}$ C、50 $^{\circ}$ C、55 $^{\circ}$ C)について検討したところ、アニーリング温度条件を変えることにより、異種のISSR領域を検出できるものが存在した。供試した96のプライマーのうち約半分は、少なくとも1つのアニーリング温度においてISSRを検出できた。また、RAPD法に比べ、高いアニーリング温度(55 $^{\circ}$ C)で行うと、バックのノイズを減らすことができ、明瞭なPCR増幅バンドが得られた。しかし、PCRによる増幅バンドは、再現性を充分確かめる必要があったため、多型バンドが認められた場合は、少なくとも3反復を行い、再現性の確認を行った。

ISSRによるイグサ国内品種(「千丁在来」, 「あさなぎ」, 「ふくなみ」, 「せとなみ」, 「ひのみどり」,

M 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16



1 : 千丁在来 2 : あさなぎ 3 : ふくなみ 4 : せとなみ
5 : ひのみどり 6 : 下増田在来 7 : きよなみ 8 : 文政在来
9 : いそなみ 10 : 筑後みどり 11 : 岡山3号 12 : くまがわ
13 : さざなみ 14 : しらぬい 15 : 岡山F系 16 : 岡山みどり

第3-11図 ISSR-PCR法によるイグサ16品種間の識別例

第3-2表 ISSR マーカーによるイグサ16品種のDNAタイピング

ISSRマーカー	① 千 丁 在 来	② あ さ な ぎ	③ ふ く な み	④ せ と な み	⑤ ひ の み ど り	⑥ 下 増 田 在 来	⑦ き よ な み	⑧ 文 政 在 来	⑨ い そ な み	⑩ 筑 後 み ど り	⑪ 岡 山 3 号	⑫ く ま が わ	⑬ さ ざ な み	⑭ し ら ぬ い	⑮ 岡 山 F 系	⑯ 岡 山 み ど り
U B C プライマー1-1										■					■	
U B C プライマー1-2		■														
U B C プライマー2-3	■	■		■	■		■	■	■	■		■	■			
U B C プライマー2-4							■			■			■			
U B C プライマー3-5		■				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
U B C プライマー3-6	■						■	■	■				■			
U B C プライマー3-7					■	■	■					■			■	
U B C プライマー4-8		■	■	■			■	■		■			■		■	

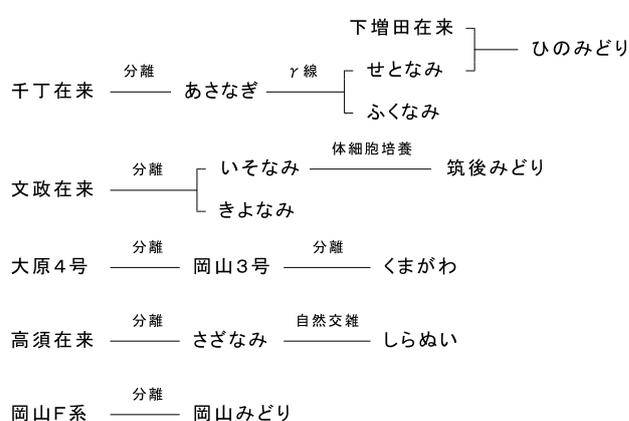
注：16品種相互間に有無が認められるDNAバンドをISSRマーカー（■）とした。

「下増田在来」、「きよなみ」、「文政在来」、「いそなみ」、「筑後みどり」、「岡山3号」、「くまがわ」、「さざなみ」、「しらぬい」、「岡山F系」、「岡山みどり」の品種間の識別を試みたところ、ひとつのプライマーから得られたISSR多型では、供試した16品種間の識別は困難であったが、第3-11図に示すように、2レーンの「あさなぎ」においては、16品種間で共通する3つのバンド以外の品種特異的ISSRマーカーが認められた。

そこで、16品種間に有無が認められるDNAバンドをISSRマーカーとして、検出されるISSRマーカーの有無のパターンに基づいてDNAタイピングを行ったところ、少なくとも4つのプライマーを用いて検出される8本のISSRマーカーにより、供試した16品種間の識別が可能であった（第3-2表）。

このようにして、供試した国内品種16品種間の識別が可能であったが、不明瞭なISSRマーカーを含んでおり、再現性に問題があった。そのため、ISSR-PCRの再現性を検討し、品種特異的DNAマーカーの開発を試みる必要がある。

イグサの品種開発は、1910年代から栄養系分離や自然受粉の実生選抜が行われ、1951年からは交雑育種も開始され、現在に至っている。一方、放射線照射による突然変異育種は1963年から試みられ、備後地方（広島県と岡山県）特産の「備後豊表」の原材料となる良質品種「せとなみ」は、放射線育種場で「あさなぎ」の株にガンマー線を照射し、栄養系分離で育成されたものである³⁵⁾。



第3-12図 主要イグサ品種の来歴

しかし、近年の住生活の変化に伴い、イグサの作付は減少傾向にあり、現在は、作付面積、生産量とも九州地方（熊本県）が主体となり、全国の約80%以上を占めている。また、最近では、安価な豊表の輸入増加により、国内のイグサ生産者からは輸入品との品質格差を明確にできる高品質の新品種の育成が望まれており、熊本県農業研究センターい業研究所は、高品質品種「ひのみどり」を育成し、1997年に種苗法による品種登録を出願している²⁷⁾（第3-12図）。

その一方で、輸入されてくる豊表の品質も向上してきている。そのため、国産の高品質イグサの優位性を保つには、わが国で育成され品種登録が出願されている新品種などが許諾なしに海外に渡り商品として逆輸入されることを阻止するための支援体制の整備が急務となっている¹¹⁾。

このような状況の中で、品種を科学的に識別するDNA品種識別技術の開発も進みつつある。そこで、近年、輸入が急増しているイグサについて、農林水産省の行政対応特別研究「微量元素分析及び分子マーカーの利用による農産物の品種・原産地判別手法の開発」に参画し、ISSR-PCR法を用いたイグサ品種識別を試みた。

一方、当該プロジェクトに参画する4カ所の試験研究機関は、RAPD法、AFLP法、SSR法のそれぞれ異なるDNA多型検出技術を用いてイグサの品種識別に取り組む、これらの開発した分子マーカーを用いて、税関などの実用化現場における輸入量表など製品状態での迅速・簡便なDNA品種識別技術の実用化が進められた。

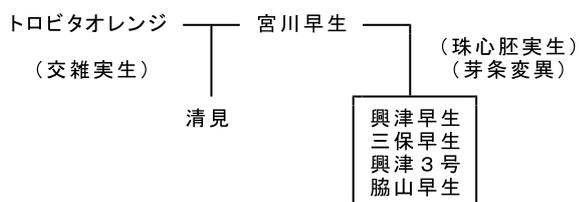
3 AFLP法を用いたカンキツの品種・系統識別

AFLPは、数社からキットが発売されているが、本項では、PE Applied Biosystems社から発売されているAFLP分析用キットを用い、カンキツゲノムDNAのフィンガープリンティングについて述べる。

1) AFLPの検出

農林水産省果樹試験場カンキツ支場（現：農研機構 果樹研究所 カンキツ研究興津拠点）に保存されているカンキツ類およびウンシュウミカンの品種・系統の展開葉をカンキツゲノムDNAの供試材料とした（第3-13図）。

DNAは、神山ら¹⁴⁾（株帝人バイオ・ラボラトリー、現在は株エスアールエル羽村ラボに組織再編されている。）が、Freezer Millにより液体窒素下で粉碎した成葉約0.5gから、CTAB法により抽出した全DNAを用いた。



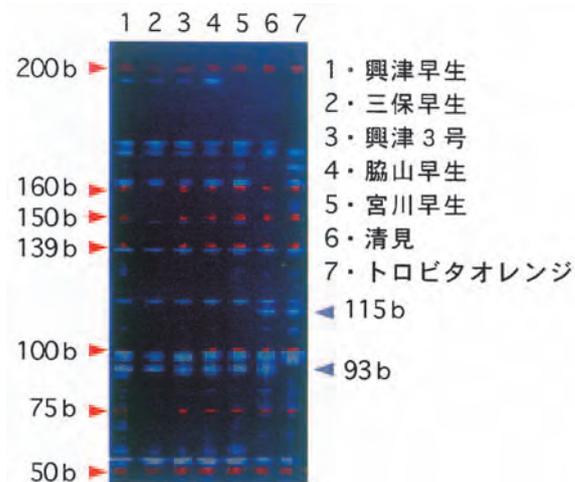
第3-13図 供試材料の系統図

AFLP解析は、PE Applied Biosystems社のAFLP™ Plant Mapping Kitのプロトコールに準拠した。PCRサーマルサイクラー（GeneAmp PCR system 9700：PE Applied Biosystems）を用いて得られたPCR反応産物は、サイズスタンダード（GeneScan-500 ROX Size Standard：PE Applied Biosystems）と混合し、DNAシーケンサー（PE ABI 373 A：PE Applied Biosystems）を用い、6%変性ポリアクリルアミドゲル電気泳動で8~10時間程度分画した後、解析ソフトウェア（GeneScan Analysis：PE Applied Biosystems）を用いてシグナルの検出と解析を行った。

2) AFLPを利用した品種・系統識別

カンキツのAFLP解析においては、プライマーEcoRI-ACTおよびMseI-CTGの組合せにおいて多型が検出され、20本以上の鮮明なフィンガープリントが得られた。また、「宮川早生」、「トロピタオレンジ」、「清見（宮川早生とトロピタオレンジの交配品種）」との間でAFLP解析を行った結果、「清見」のAFLPバンド（第3-14図の矢印で示した115と93塩基対のバンド）は、「清見」の交配親である「宮川早生」と「トロピタオレンジ」のどちらにも存在することから、親子関係とは矛盾しなかった。

他方、突然変異系統である「興津早生」、「興津3



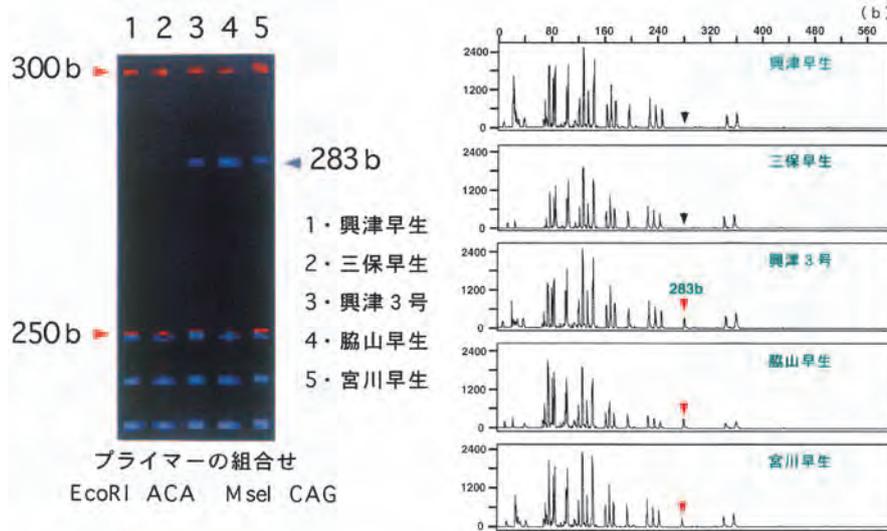
第3-14図 カンキツ類およびウンシュウミカンのAFLP解析

注：プライマーの組合せはEcoRI-ACTとMseI-CTGを用いた。

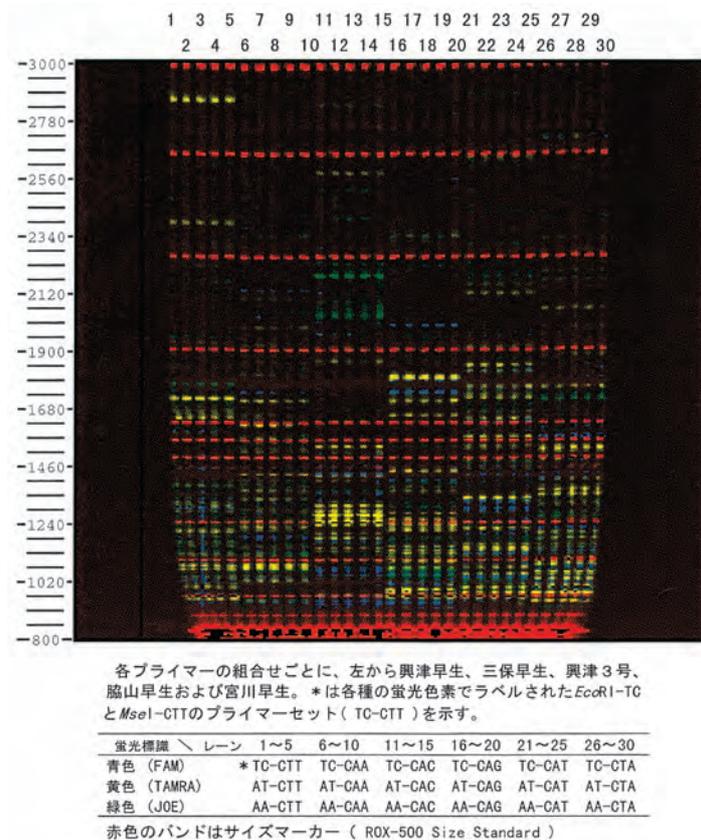
号],「三保早生」,「脇山早生」およびその原品種である「宮川早生」との間では多型が検出される頻度は低く,キットに含まれるプライマーのすべての組合せ(64組合せ)の中で,プライマー *EcoRI*-ACAと

MseI-CAGの組合せのみで多型バンド(283塩基対のバンドとシグナル)が検出された(第3-15図).

なお,AFLP解析は,DNAシーケンサーのゲル泳動画面上での観察による多型検出のみに頼ら



第3-15図 カンキツ突然変異系統のAFLP解析とエレクトロフェログラム(プライマーの組合せは *EcoRI*-ACA と *MseI*-CAG を用いた)



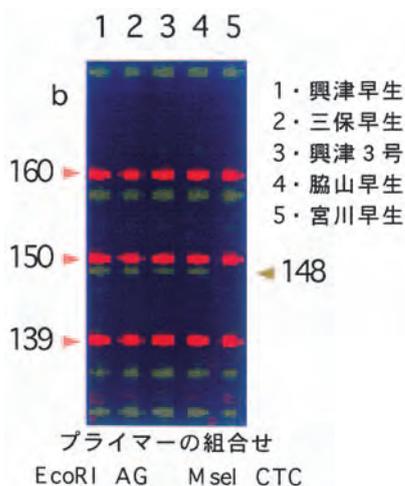
第3-16図 カンキツ突然変異系統のAFLP解析

ず、解析ソフトGeneScan Analysisにより集積されたデータから作成されたエレクトロフェログラム(第3-15図の右)を用いて多型検出を行った。

また、カンキツのゲノムサイズは、比較的小さく、イネのゲノムサイズ(約430Mb)と同程度と考えられていることから、PE Applied Biosystems社のAFLP™ Plant Mapping KitのEcoRIプライマーの選択塩基数を3塩基から2塩基に変更したSmall Plant Genomes(50~500Mb)キットを用いて再度実験を行ったところ、検出されるバンド数はいずれのプライマーの組合せにおいても40~80本程度になった(第3-16図)。

しかし、これらすべてのプライマーの組合せ(64組合せ)の中で、「興津早生」、「興津3号」、「三保早生」、「脇山早生」およびその原品種である「宮川早生」との間で多型が検出された組合せは、プライマーEcoRI-AGとMseI-CTC(第3-17図)の組合せのみであり、第3-17図の5レーンに認められるように、148塩基対のバンドが「宮川早生」にのみ認められない多型バンドであった。

また、AFLP解析については、DNAシーケンサーのゲル泳動画面上での観察による多型検出のみならず、解析ソフトGeneScan Analysisにより集積されたデータから作成されたエレクトロフェログラム(第3-15図の右を参照)を用いて多型検出を行った。



第3-17図 カンキツ突然変異系統のAFLP解析(プライマーの組合せはEcoRI-AGとMseI-CTCを用いた)

以上の結果、AFLP解析によって突然変異系統である「興津早生」、「興津3号」、「三保早生」、「脇山早生」およびその原品種である「宮川早生」との間で多型が検出された組合せは、プライマーEcoRI-ACAとMseI-CAG、EcoRI-AGとMseI-CTCの2つの組合せのみであった。

また、得られたAFLP多型バンドに基づいてDNAタイピングを行ったところ、第3-3表に示すように、プライマーEcoRI-ACAとMseI-CAGのAFLPバンド(第3-15図の左に矢印で示した283塩基対のバンド)と、プライマーEcoRI-AGとMseI-CTCのAFLPバンド(第3-17図の矢印で示した148塩基対のバンド)のDNAタイピングを行うことによって、供試した5つの突然変異系統は、「興津早生」と「三保早生」、「興津3号」と「脇山早生」およびこれらの原品種である「宮川早生」との3つのグループに識別することができた。

第3-3表 AFLPマーカーのDNAタイピング

プライマーの組み合わせ	興津早生	三保早生	興津3号	脇山早生	宮川早生
EcoRI-ACA・MseI-CAG	■	■	■	■	■
EcoRI-AG・MseI-CTC	■	■	■	■	■

AFLP法は、オオムギやトウモロコシなどの植物ゲノムDNAを対象に、近年開発されたDNA多型検出技術であるが、イネ、シロイヌナズナなど連鎖地図の作成³³⁾をはじめ、遺伝子の単離などを目的とした特定染色体領域のマーカー作製³⁾やDNAフィンガープリンティングによる品種・系統識別³⁸⁾に有用な技術である。

このように、植物ゲノムDNAのフィンガープリンティング法として開発されたAFLP法は、従来のRAPD法の問題であった再現性の低さや1反応あたりの多型情報の低さが大幅に改善された方法であることから、利用場面はますます拡大していくものと思われる。

4 DNAフィンガープリンティングソフト (Diversity Database™)による解析例

コンピュータを利用した電気泳動画像解析技術をもとに、DNA多型から供試試料間の遺伝距離や類似度を示す系統樹（デンドログラム）を容易に作成できるようになった。

しかし、DNA多型情報の多くは一次元であり、DNAのフィンガープリンティングのためのいくつかのDNA多型検出技術により、主としてバンドパターンで表わされる。

また、多くの生物種でDNA多型が検出され、これまでに蓄積されたDNA多型情報やデータは膨大な量になっている。このような状況では、得られたDNA多型情報をいかに読みとり、解釈・処理し、それをデータベース化するかが、研究を進める上で重要になってくる。

これまでの遺伝子解析ソフトは、既知遺伝子の莫大な配列データを基にした進化系統樹の自動作成が可能である。しかし、最近の系統学的データは、DNAの塩基配列そのものではなく、制限酵素によるDNAの切断パターンをはじめとして、DNAハイブリダイゼーションによる制限酵素断片長の多型（RFLP）、あるいはRAPDなどのPCR増幅産物の多型などによって得られるデータが多い。

このようなデータは、DNAの塩基配列を直接に決定したデータに比べて情報は少なく、遺伝距離などを測る際に任意性が残るものの、現在のところ、DNAレベルによるデンドログラムの作成には有力な方法のひとつである。

また、RFLPやPCR増幅産物の多型を用いて系統樹などを作成するための電気泳動画像解析装置とソフトがいくつか開発・市販されているが、いずれもひとつの画像についての解析能しか有しておらず、別の新しいDNA多型情報との検索と比較は、分離して考えざるを得ないのが現状である。

とりわけ、植物では、多数の品種・系統の違いをDNAレベルで分析し、遺伝的多型の程度を知る必要がある場合が多い。遺伝的多型を統合的にとらえ

るために、異なる手法で得られたDNA多型情報を重複して解析する方法が考えられる。

このためには、数千にも及ぶ試料の多様なDNA多型情報のデータベース化と、試料相互の遺伝的多型を調べることが可能な装置やソフトの開発が要望されている。

本項では、PDI（TOYOBO）社が、著者らと共同開発した総合一次元電気泳動画像解析システム（Diversity Database™）のRFLP解析機能を用い、バレイショを解析例に、異なる制限酵素を用いて得られるRFLP、あるいは異なるプライマーを用いて得られるRAPDのデータベースの作成と、これらを用いたマルチ画像にわたる品種・系統間の遺伝的多型の解析などについて検討した。

1) RFLPとRAPDの多型検出

バレイショのRFLPは、Ⅲの1に準じて、矢野ら⁴⁸⁾が報告した泳動画像のうち、9画像（ゲル）のRFLPプロファイル（108品種・系統）を用いた。

また、バレイショのRAPDについても、Ⅲの1に準じて、矢野ら⁴⁸⁾の報告した画像を用いて、バレイショ15品種・系統を対象に検出されるそれぞれのRAPDプロファイルから、品種・系統間に有無が認められるバンドをRAPDマーカーとして選んだ。

2) Diversity Database™による画像解析

制限酵素 *Bam*HIで消化したバレイショ108品種・系統のRFLPプロファイル（9画像）を対象に、Diversity Database™を用いてデータベースを作成した。

すなわち、各レーンのRFLPバンドを自動検知後、同一のDNAサイズマーカー（ λ /*Hind* III digest：TOYOBO）を基準にして、各レーンのバンドをデータベース化した。これを基にして、108品種・系統間の自動マッチングを行い、遺伝的類似度に基づくデンドログラムを作成した。

また、制限酵素 *Eco*RIで消化したバレイショ15品種・系統のRFLPプロファイルについては、同一のDNAサイズマーカー（ λ /*Hind* III digest：TOY-

OBO) を基準にして、各レーン (品種・系統) の RFLP バンドを自動検知した後、それぞれを *Bam*HI で消化した RFLP プロファイルに重複させたプロファイルを作成した。さらに、これを基にして、15 品種・系統間の遺伝的多型を示すデンドログラムを作成した。

RAPD プロファイルについては、バレイシヨ 15 品種・系統を対象に 4 組の混合 (2 種) プライマーを用いて得られる RAPD から、11 本の RAPD マーカーを設定し、同一の DNA サイズマーカー (λ / *Hind* III- Φ X 174 / *Hae* III digest : TOYOBO) を基準にして分子量を測定した後、それぞれを 15 品種・系統について重複保存 (データベース) した。さらに、15 品種・系統のデータベース化した

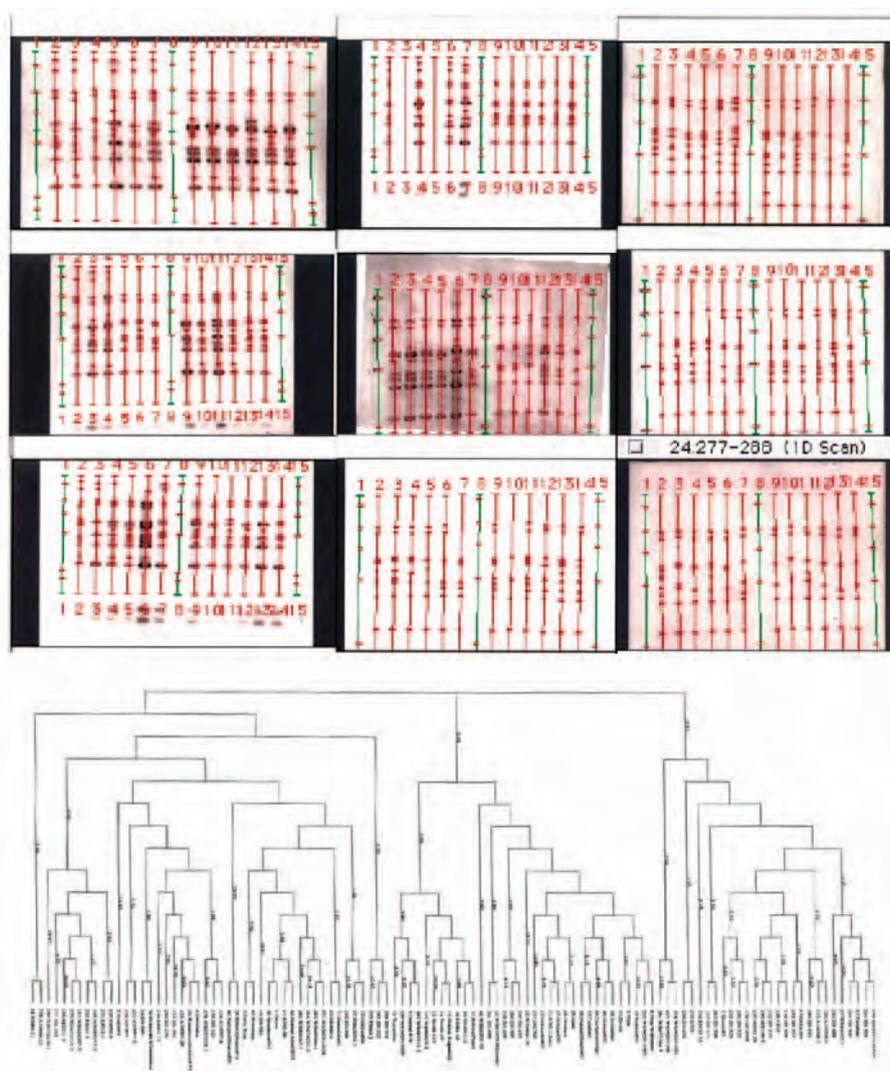
RAPD マーカーの多型に基づき、デンドログラムを作成した。

3) Diversity Database™ によるマルチゲル間の解析例

複数のゲル間でのデータの比較および大量データの保存・比較を行う場合には、画像を最初に処理する時のデータの精度が非常に重要である。

Diversity Database™ は、画像データに比較の基礎となるレーン間の歪み補正およびレーン間のバンドのマッチングを容易に、しかも高精度にできるという点に特徴があり、データベースを取り扱うために非常に適したものになっている。

ここでは、9 画像 (ゲル) から得られたバレイシ



第3-18図 バレイシヨ 108 品種・系統の RFLP (9 画像) から作成したデンドログラム

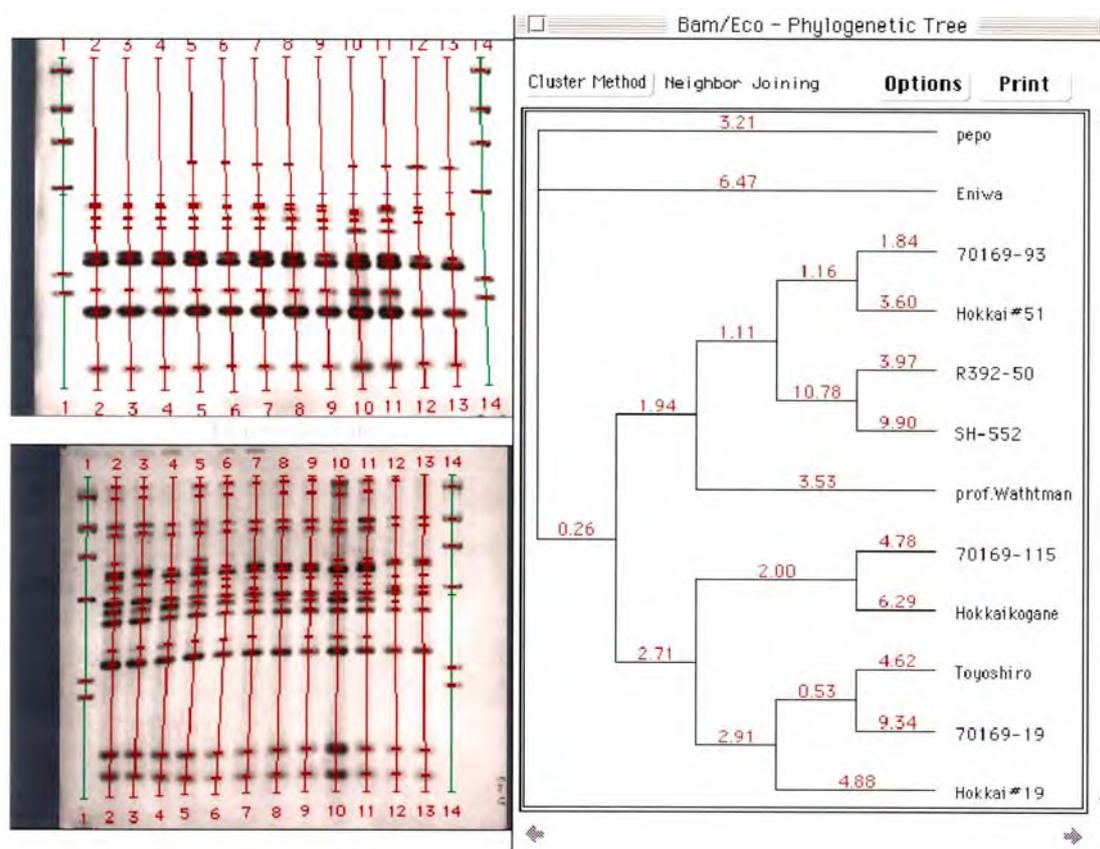
ヨ 108 品種・系統の RFLP を対象としたデンドログラムの作成を行った。すなわち、各画像（ゲル）に同じ DNA サイズマーカー（ λ /Hind III digest：TOYOBO）を泳動しておくことにより、同一画像内のレーンの歪みの補正と、各画像の泳動距離の違いを正確に補正することが可能であった。これにより、各画像間にまたがるレーンを同一の泳動条件に設定し、各レーンのバンドの分子量（DNA 断片長）を自動検知して、バンド間のマッチングを行った。また、供試できるゲルの枚数の増加は無限であり、マルチゲルの各レーン間の相似行列（Similarity Matrix）、相互間のマッチング、または類似度に基づくデンドログラムも容易に作成できた（第 3 - 18 図）。

EcoRI と BamHI のそれぞれで消化した 2 つの RFLP 画像を作成した。これらのそれぞれを同一の DNA サイズマーカー（ λ /Hind III digest：TOYOBO）を基に、各レーンのバンドの歪みを補正した後、分子量（DNA 断片長）として自動検知した。また、異なる制限酵素で得られたバンドパターンをそれぞれ同一の品種・系統に重複保存（データベース）し、これを基に、15 品種・系統の遺伝距離、または類似度に基づくデンドログラムが作成できた（第 3 - 19 図）。

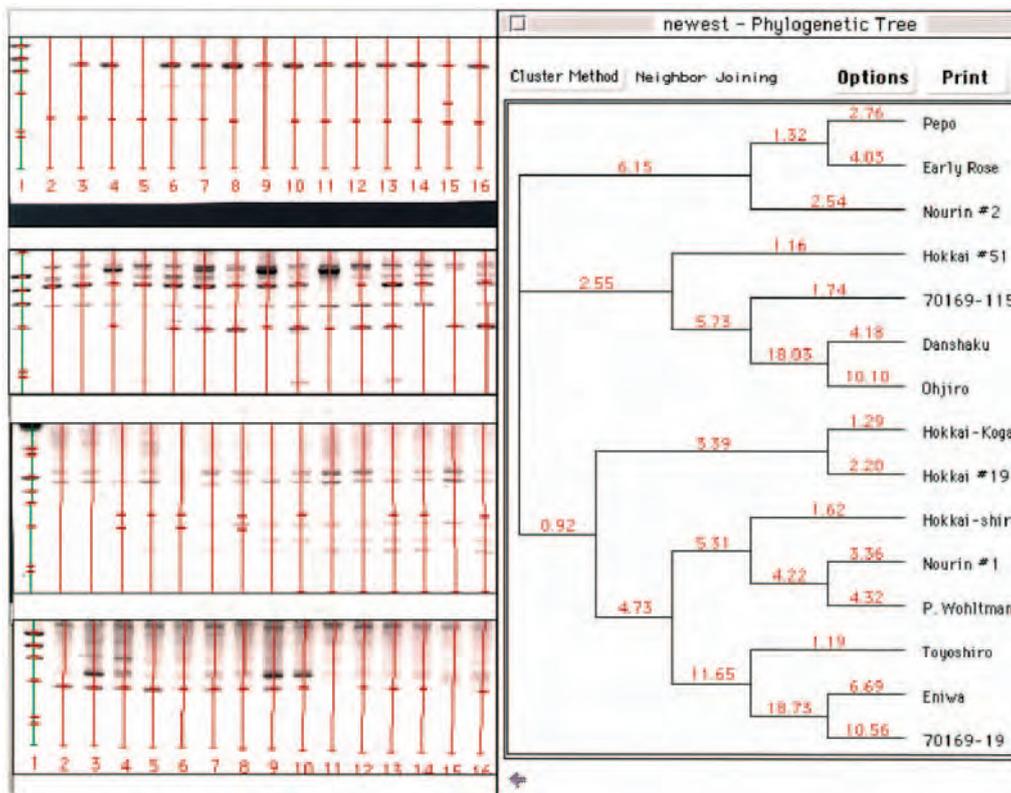
また、RFLP 解析と同様、バレイシヨ 15 品種・系統を対象に、混合プライマーを用いて RAPD 分析を行った。検出される RAPD プロファイルから、品種・系統間に有無が認められるバンド（RAPD マーカー）を設定し、DNA サイズマーカー（ λ /Hind III- Φ X 174/Hae III digest：TOYOBO）を基に分子量（増幅 DNA 断片長）を測定し、データベース化した。

4) Diversity Database™による異なる手法で得られた多型情報の解析例

バレイシヨ 15 品種・系統を対象に、制限酵素



第 3 - 19 図 EcoRI と BamHI で消化して得られたバレイシヨ RFLP の 2 画像から作成したデンドログラム



第3-20図 各種混合プライマーを用いて得られたRAPDマーカーの設定と、4画像のRAPDマーカーから作成したデンドログラム

このようにして、FP1と4、FP3と4、FP4と6、およびFP4と7の混合プライマーを用いて得られる4画像（ゲル）から、11本のRAPDマーカーを設定し、データベース化した。このように、ひとつの品種・系統のRAPDマーカーを、数種のプライマーと数枚のゲルから数多く得ることが可能であった。

また、RAPDマーカーの分子量の多型をバンドパターンとして、これを基に15品種・系統間の遺伝距離、またはデンドログラムの作成が可能であった（第3-20図）。

以上のようにして、RFLPやRAPDを利用して得られるDNA多型情報は、マルチゲルから得ることが可能であった。また、RFLPやRAPDなどのように、異なる手法で得られたDNA多型情報を、ひとつのレーンのバンドパターンとして重複保存（データベース）が可能であった。

植物では、DNA分析を用いて、単なる識別では

なく、品種・系統間の遺伝的多型の程度を知る必要がある場合がある。その場合、ゲノムのできるだけ多くの領域の差異を対象にして分析する、いわゆるゲノムスキニングという手法が能率的である。

ゲノムスキニングのための手法として、RLGS⁹⁾やミニサテライトおよびマイクロサテライトのコア配列^{1, 7)}をプローブしたDNAフィンガープリンティングやISSR-PCRなどが考えられる。また、前項で述べたAFLP法もゲノムスキニングとして利用できる。

また、RFLP分析やRAPD分析で、多くのプローブ、プライマーを用いて、総合的に解析することも有効である。しかし、種によって最適な手法や実験条件を決定する必要があり、すべての種に共通した手法を見いだすことは容易でない。

近年、植物バイオテクノロジーなどが急速に進展する中で、遺伝子組換え植物を含めた、類似品種間の類縁関係を明らかにする必要がある。

農林水産省では、1978年に種苗法に基づく品種登録制度を設けて以降、1995年までに約5000品種を、新品種として登録している。そして、品種育成者の利益をより適正に保護する観点から、1991年に改正されたUPOV条約（植物新品種保護国際条約）の義務規定に従い、登録品種をわずかに変更した品種（従属品種）には登録品種の権利を及ぼすとする制度に改正した²⁰⁾。

このような現状に対して、技術面では、前述したDNA多型分析技術、DNA多型情報のデータベース化とその処理法について検討を行っているところであり、そのため、Diversity DatabaseTMソフトのRFLP解析機能を用いて、バレイショのDNA多型情報を例にして解析を試みた。

その結果、RFLPの解析例では、Diversity DatabaseTMを用いることによって、マルチゲル間での解析が可能となり、数千にも及ぶ試料のDNA多型情報のデータベース化が可能になった。

また、制限酵素、DNAプローブ、プライマーなどを変えることによって得られるDNA多型情報を、ひとつのレーンで泳動したバンドパターンとして解析できることが示された。

植物では、核DNAから単離された遺伝子、あるいは葉緑体DNAやミトコンドリアDNAにコードされている *atpA*、*coxI* などのタンパク質遺伝子などがシングルローカスプローブとして利用されているが、検出されるRFLPバンドは通常1本から数本である。

Kawaseら¹⁶⁾は、核DNAから単離されたRFLP連鎖地図作成用プローブのうち、57種類を用いて、135品種のイネの分類を試みているが、このような、数種のDNAプローブや制限酵素を用いて得られるRFLPのマルチゲル間の解析に、この解析システムは極めて有用である。

PCRを利用したRAPDについては、再現性に問題があることが指摘されてきた⁴⁹⁾。その原因として不明瞭なRAPDマーカの存在がある。しかし、このシステムは、塩基配列や長さを任意に変えたプライマーを用いて得られる数多くのRAPDマーカの中から、再現性のあるRAPDマーカのみを

選んで設定することが可能であり、こうして得られるRAPDマーカをマルチゲル間で重複してデータベース化し、これを基に遺伝的多型を検討することも可能である。

また、DNA多型からデンドログラムを作成するのに使われる方法は多種多様である^{29, 36)}が、当該ソフトには近隣結合（Neighbor Joining）法をはじめ8種類の作成法から選択が可能であり、この解析システムは極めて有用である。

以上のように、Diversity DatabaseTMは、多数の検定試料のデータベース化と、これら相互間の遺伝的差異を調べる判定技術の精度の向上に役立つものと考えられた。

IV 農産物・加工品におけるDNA品種識別技術の現状と問題点

DNA品種識別技術については、Jeffreysら¹²⁾が開発したミニサテライトDNAを用いたDNAフィンガープリント法から、識別能が大幅に向上したマイクロサテライト多型分析へと移行した。

また、PCR法が報告されて以来、DNA鑑定への応用とその利活用はめざましいものがあり、DNA量が極微量しか得られない血痕、毛髪、体液など犯罪の痕跡を対象とすることが可能となり、DNA型鑑定の精度と感度は飛躍的に進展・向上している¹⁵⁾。

現在、法医学鑑識領域における2010年末の個人識別においては、別人である確率は約77兆分の1（それまでは、約4兆7000億分の1）と飛躍的に向上する高精度なDNA型鑑定法が導入され、確実な方法として法廷でも十分に信頼されるものとなっている³⁷⁾。

このことは、植物分野にも波及し、当初は、ランダムプライマーを用いたRAPDが主として用いられてきたが、植物分野においても、この数年の間、幾つかの植物においてゲノム解析が進み、これらの研究から得られたマイクロサテライトが数多く報告されてきたことから、植物体や種子などのみならず、高度なDNAの分解などが考えられる収穫物を原料

とした加工製品などを対象とした、DNA品種識別技術の開発が急速に進んでいる。

また、種苗法や関税定率法が改正され、育成者権侵害の立証を容易にするため、科学的裏付けとなるDNA品種識別技術の開発が急務とされている。DNA品種識別技術が、これらの要請に的確に対応できるほど多くの植物の種類において開発されている現状ではないものの、前述したように、技術的な条件整備は整いつつある。

本項では、法医学領域における親子鑑定や犯罪捜査における鑑識事例をもとに、今後、実用化場面を想定した効率的なDNA品種識別技術開発の取り組むべき課題と、育成者権侵害に係る法的な利活用のためのあり方について述べてみたい。

1) DNA品種識別技術を取り巻く情勢

植物品種の的確な保護を図るため、1991年3月に植物新品種保護国際条約が改正され、この中で育成者の権利を強化する観点から、原品種の形質をわずかに変更した品種、いわゆる従属品種には原品種の効力が及ぶこととする新しい規定が設けられた。

これにともない、社団法人日本果樹種苗協会は、1993年度より3年間、従属品種判定技術確立対策事業を実施し、(株)帝人バイオ・ラボラトリーズ（現在は、(株)エスアールエル 羽村ラボ 病理・遺伝子検査課に組織再編されている。）に判定技術の開発調査を依頼している。

依頼を受けた(株)帝人バイオ・ラボラトリーズは、II DNA多型性の検出技術の冒頭に記したJeffreysらが設立した世界最初の民間のDNA鑑定会社であるCellmark Diagnostics社（英国）より、ミニサテライトDNA（33.6, 33.15）をマルチローカスプローブとした「DNAフィンガープリント法」の独占的実施権を取得し、日本で初めて親子鑑定の受託事業を開始した会社である。

調査を受託した(株)帝人バイオ・ラボラトリーズは、1993年度にはDNAフィンガープリントによるカンキツの系統分析を、1994年度には、新たにリンゴおよびバラに関して従属品種判定技術の開発調査に取り組んだ。

その結果、その内のカンキツの調査報告については、系統が異なる品種間（5品種）の識別は可能であるが、原品種と珠心胚実生、芽条変異、実生などの従属品種間においては、DNAバンドパターンに差は観察されず、識別することが不可能であることから、新品種が従属品種であるか否かを識別できる見通しを得たと報告している³⁰⁾。

以上のように、カンキツで得られた成果は、リンゴやバラにおいても同様であり、また、日本DNA多型学会などにおいても報告され、法医学領域の研究者やDNA鑑定会社においては、人獣領域のみならず、農産物を対象としたDNA品種識別技術が注目され始めた時期でもあった^{46, 47)}。

その一方で、オウトウ品種「紅秀峰」の国外への不正な流出と違法な増殖に対して、警察による不正競争防止法に基づく農産物の検挙数が増加している。これまでのように、品種識別技術の存在そのものが不正行為への抑止力として機能することを成果として掲げるだけでなく、警察や税関などからの要請に応えることが必要になってきた。

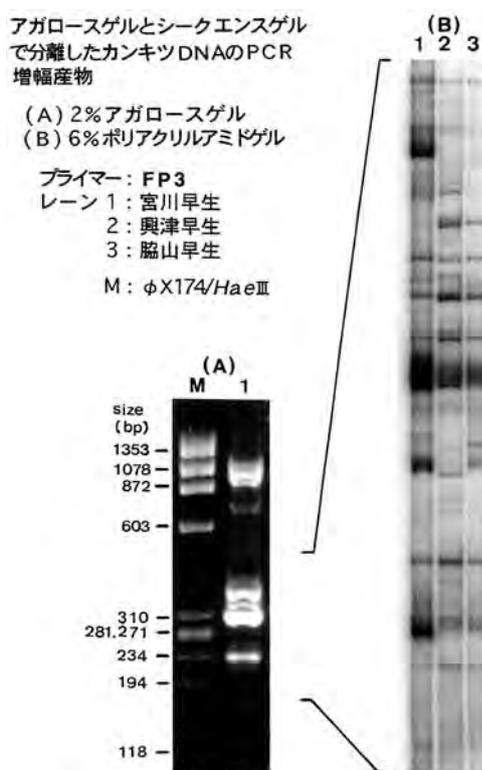
DNA品種識別技術をこのような実社会でのさまざまな協力要請に応えることが可能な実用化技術とするためには、開発された品種識別マーカーの妥当性の確認と手法の検証などを行い、適正な実用化技術として、法的措置や法廷での立証といった社会における有効的な利活用を目指すことが必要である^{55, 56, 57)}。

2) 農産物・加工品におけるDNA品種識別技術開発の現状

(1) 現状

これまでのDNAを用いた作物の品種識別は、栽培試験による各品種間における表現型特性の差異や種子貯蔵タンパク質などの物性の違いを基に試みられていた。しかし、表現型特性は栽培試験時の環境によって変動し、また、タンパク質レベルでの品種の識別能は低く、しかも加工品では加工工程で加熱などによるタンパク質の変性が生じることから、加工品での識別は不可能であった。

その一方で、法医学領域における「DNA鑑定」



第4-1図 ラジオアイソトープを用いたRAPD法

のめざましい発展は、植物分野にも波及し、コムギ、イチゴ、インゲンマメ、アズキ、オウトウ、イグサなどにおいて、DNA分析による品種識別技術の開発が推進され、育成者権侵害紛争の早期解決に利用されるまでに至っている。さらには、種苗法と関税定率法の改正による育成者権の保護の強化などへの対応のために法的な条件整備も推進されている⁵⁴⁾。

農産物におけるDNA品種識別技術については、これまで、RFLP、RAPD、AFLP法などが開発されてきたが、これらは、いずれも前述したDNAフィンガープリントを作成し、バンドの有無やバンドパターンの違いで品種を判定する方法である。しかし、アガロースゲルなどで分離したRAPDマーカーは、再現性に問題があることが指摘されてきた。

その原因のひとつとして、不明瞭なRAPDマーカーの存在があり、バンドの再現性確保に難があるため実用化技術には適していないが、迅速・簡易な手法であることから、一次スクリーニングとして簡易検査に使用されてきた。

著者らは、第4-1図で示すように、Welshらの方法⁴⁴⁾を改良して³²Pを用いたRAPD法を行い、得られたPCR増幅産物をシークエンズゲルで分離し、これをオートラジオグラフィーにより検出すると、アガロースゲルで分離し、エチジウムブロマイドで検出するのに比べ、はるかに多くのPCR増幅産物が観察されることを確認した⁴⁹⁾。

このように、RAPD法は、ゲノム情報が少なく、品種識別を初めて試みる場合などの識別の手がかりとして、一次スクリーニングには有効であるが、特定領域のPCR増幅産物を用いた品種間差の検出やSTS (Sequence Tagged Site：配列タグ部位) 化する場合などにおいては、検出されるRAPDマーカー (バンド) は、見かけは1本のバンドであっても塩基数の異なる数本のバンドの集合として観察されることを十分に留意しておくべきである。

以上を留意して開発された³²Pを用いたRAPD法は、これまでのRAPD法では識別が不可能であったカンキツの枝変わり品種など、極めて近縁の品種・系統や、ソマクロナル変異や放射線照射によるDNA損傷程度の検出にも利用できる^{50, 51)}。

PCR法をベースとしたSSR法については、ナシ、リンゴ、ブドウ、カンキツなどの主要な果樹類において、多数のSSRマーカーが開発・データベース化されており、自動化・汎用化が可能な品種識別技術として確立されている (農研機構 果樹研究所のホームページに詳しく掲載されている：URL: http://fruit.naro.affrc.go.jp/publication/man/dna/DNA_marker.pdf)。

また、加工品を対象とした品種識別技術の開発は、米飯や日本酒などの米加工品、うどんやパン・菓子などのコムギ加工品、餡などのアズキ加工品、ジュース・ブレンド果汁や缶詰果肉などのカンキツ果実加工品および緑茶飲料 (ペットボトル) などの茶加工品からのDNA抽出と加工品中の原料品種識別技術の開発に目処が付いたところである。

これら品種がブレンドされている加工品を対象とした品種識別技術の開発は、断片化したDNAの回収方法の検討と原料品種に特異的なDNAマーカーを検索する必要がある。また、搾汁や加熱などを行

った加工製品から抽出されたDNAの劣化や断片化が予想されるため、品種特異的SNPマーカーの開発が必要不可欠である³²⁾。

事例として、餡などのアズキ加工品の原料品種識別技術では、「きたのおとめ」と「しゅまり」について、それぞれの品種固有のレトロトランスポゾンマーカー（岡山大学から特許出願）が開発され、複数の品種がブレンドされている加工品（餡）にお

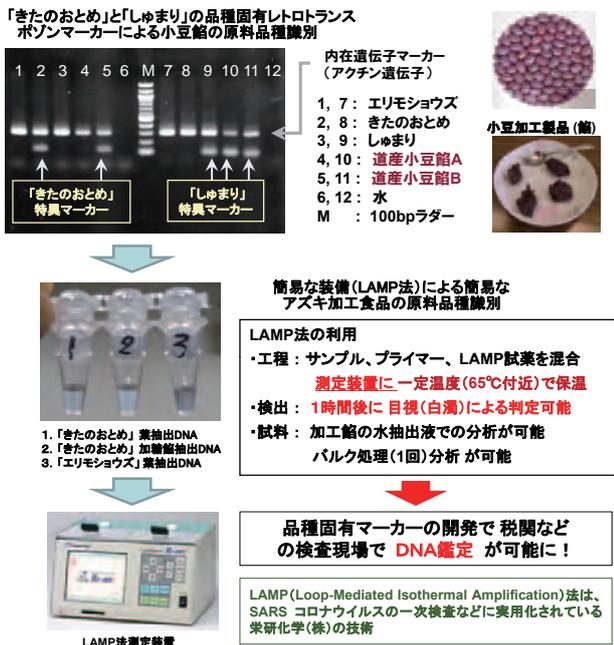
る原料品種識別と混入率（構成比）分析技術が確立された。

さらには、両品種の固有マーカーとその手法は、迅速・簡便な実用化技術（LAMP法）としてキットの市販化が進められており、DNA品種識別技術のビジネスモデルとして実用化が間近である^{24, 32)}（第4-2図）。

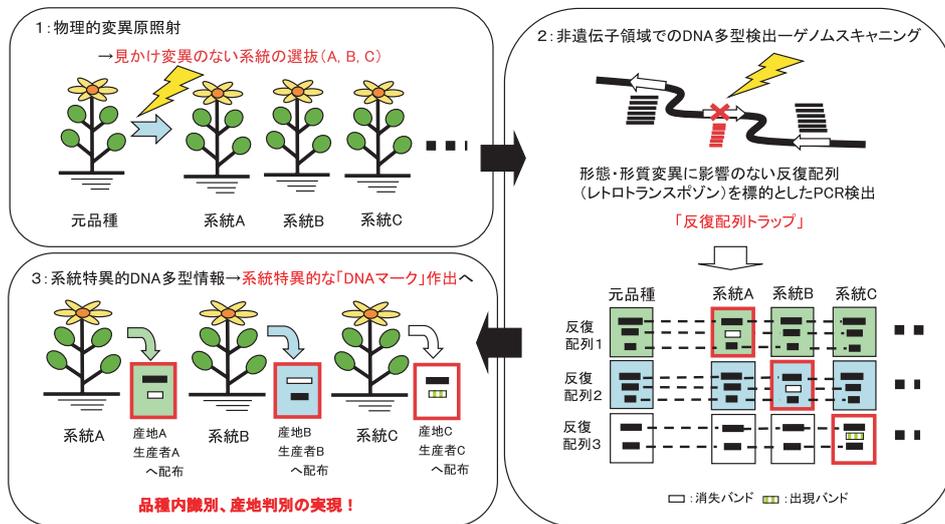
また、品種内においてSSRの多型程度が高く、従来の方法ではDNA分析による品種判別が困難であった他殖性野菜のネギでは、農研機構 野菜茶業研究所において、特定の遺伝子型（SSR）の個体を選抜して採種・育成することにより品種を標識する方法が開発されている。本法は、同一品種内での識別や産地判別への利用とその有効性が実証されており、ほかの他殖性野菜にも適用可能な技術である⁴¹⁾。

一方、JAS法による農産物の原産地表示が義務化されたことから、これら表示制度の実効性を担保し、消費者に対する食品表示の信頼性を確保するために原産地表示の信憑性を裏付ける産地判別法の開発が必要である。

農産物の産地判別については、元素分析法、中性子放射化分析、ストロンチウム同位体比分析など異なる手法を組み合わせることにより、タマネギやカボチャについて高精度な原産地判別技術に目処がついたところである³²⁾。しかし、これらの産地判別技術は、



第4-2図 LAMP法によるアズキ加工食品の原料品種識別 (岡山大学 田原 誠教授からの提供)



第4-3図 DNAマーキングによる品種・産地判別 (理化学研究所 松山知樹氏からの提供)

高額で大掛かりな測定装置を要することから食品表示監視業務で活用できる簡易迅速な検知法の確立が要望されている。

そのほかに、最近、最も注目されている産地判別技術として、農林水産省の委託プロジェクト「新たな農林水産政策を推進する実用技術開発」の「DNAマーキングによる栄養繁殖作物の品種・産地判別技術の開発」（2007～2009年度）において開発されたDNAに目印（DNAマーク）を付けて品種や産地を判別する技術がある²²⁾。

この方法は、第4-3図に示すように、理化学研究所が中核となって開発・実証された技術であり、重イオンビームを照射し、植物の形質に影響を及ぼさないDNA部分に傷を付ける手法であり、傷の場所を「DNAマーク」として記録しておけば、珠心胚や枝変わりなどに由来するカンキツの突然変異系統など、新品種・系統と元の品種・系統のDNAがほとんど同じことが多い果樹において、同じ品種の区別や無断増殖した品種や産地偽装も見分けることができる。実際に、キクヤランなどの花きで実用段階にある。

以上に述べた農産物・加工品におけるDNA品種識別技術開発の推進と研究成果は、主として、農林水産省の委託プロジェクト研究「食品・農産物の表示の信頼性確保と機能性解析のための基盤技術の開発」（信頼・機能プロ）農産物・加工品のDNA品種判別技術開発チームにおいて、2006年度から2010年度までに取り組まれたものである。

この信頼・機能プロで得られた研究成果のほか、農産物・加工品におけるDNA品種識別技術開発の現状については、農林水産省農林水産技術会議事務局から発行されている、研究成果第445集「食品の安全性及び機能性に関する総合研究－安全性－」（2008年1月18日発行）を参照していただきたい。

（2）今後の動き

植物分野では、これまで、RFLP、AFLP、RAPD法などを用いて各種農産物の品種識別が行われてきたが、バンドの有無やバンドパターンで判定するこれらのDNA品種識別技術は、再現性の確保

が困難であり、DNA鑑定には不向きである。

そのため、PCR反応が効率よく行われているのかの判定の指標になるDNAマーカーをキットに含ませる必要がある。また、DNAマーカーを特異的にPCR増幅するようにプライマーを再設計してSTS（Sequence Tagged Site）化するなど、DNA鑑定用のDNAマーカーとして再度の分子設計を行う必要がある。

また、これまで開発されたDNA品種識別技術の開発は、その大方が、個々の研究室において行われた技術開発であり、ゲノム解析から得られたDNAマーカーによる育種の加速化が主な研究目的であり、いわゆる、有用な表現形質に関わる遺伝子領域を単離し、それをDNAマーカーとして選抜育種に利用するものである³¹⁾。

このように、染色体地図の作成やQTL解析などのゲノム解析においてもDNAマーカーが利活用されており、この場合に供試されるDNAマーカーの大部分は、DNA品種識別にも用いられるマイクロサテライト、ミニサテライト、RFLP、AFLP、RAPDなどのDNAマーカーである。

したがって、これらゲノム解析研究の一環として、DNA品種識別技術の開発が行われてきたことは否めず、研究室における基礎研究的なゲノム解析と、実用化技術の開発を主とするDNA品種識別技術の開発研究とは、大きく次元が異なる研究内容と言っても過言ではない。

農産物分野においては、このようなシステムの必要性が取り沙汰されなかったことは、幸いなことに、これまでの育成者権侵害紛争などにおいて、DNA品種識別技術をもって法廷で争われたことが無かったこと、また、マスコミ報道などで一時的に話題となった事例においても、その大方が和解に至っていることによるものと考えられる。

その点については、数々の経験と事例を基に培ったヒトのDNA型鑑定が確立されるに至った経緯などに見習うべきことが多いであろう。

しかし、数多くの法廷裁定について経験と事例を持つヒトのDNA型鑑定においても、DNA鑑定に関する品質保証システムやマニュアルの構築が遅れて

いることは否めず、科学警察研究所や科学捜査研究所などのDNA型鑑定実務者と弁護士などの法律家との間でDNA鑑定の信頼性・妥当性の是非や品質保証システムの信憑性などについて、未だに、論争が繰り返されている現状と今後の動向に注目しつつ、連動した取組みが必要である^{5, 37, 55, 56, 57}。

(3) 今後の施策のあり方

ヒトの場合においては、刑事裁判と民事裁判とでは、DNA鑑定に対する重要性が異なってくる。しかし、DNA鑑定実務者にとっては、民事裁判、刑事裁判に関わらず、DNA鑑定を適正に実施しているものの、それが判決に重要な影響を及ぼすことから、DNA鑑定の信頼性、妥当性を客観的に保証されることが強く求められる。

客観的に保証されるシステムとしては、実験室におけるISOの取得と準用なども重要な取組みのひとつと言える。とりわけ、警察におけるDNA型鑑定を確実なものにするためには、「妥当性」、「市販キットの利用」、「裁判での利用」などの要素を取組んだ組織的な取組みが必要になってくる。

すなわち、DNA鑑定に用いるDNAマーカーや手法の妥当性を確保するためには、1) 学会における国際標準化した鑑定手法の審議と指針(ガイドライン)を公表することなどが必要である。2) DNA鑑定の実用化には、鑑定手段・手法の標準化、鑑定の妥当性など品質保証システムの整備に直接結びついた実用化研究を評価・認定する学会の設立が必要である。3) 産学官の協力体制によるDNA鑑定を実現するためには、学会の主導による産学官共同研究への研究支援金の獲得および技術の普及や講習会・公開シンポジウムなどの普及活動を図る必要がある。

実際に、ヒトのDNA鑑定について見てみると、1997年に、日本DNA多型学会の設立を機に、当学会のDNA鑑定検討委員会から「DNA鑑定についての指針(1997年)」という、刑事鑑定と親子鑑定を含むDNA鑑定の基本的な指針がわが国ではじめて作成された。この原案は、日本DNA多型学会の学術集会においても発表され、会員に対して意見の要

請もなされている。さらには、1999年に日本法医学会のワーキンググループによる「親子鑑定についての指針(1999年)」がまとめられている。

以上のように、ヒトのDNA鑑定が犯罪捜査や親子鑑定に役立ったこと、また、植物分野においてもDNA品種識別のための研究開発が進んできたことなどを背景に、DNA品種識別技術検討会(事務局:農林水産省生産局種苗課)が設置された。2002年9月以降3回にわたる検討を行い、2003年1月には、「植物のDNA品種識別についての基本的留意事項-技術開発と利用のガイドライン-」が取りまとめられている。

この基本的留意事項の「はじめに」には、今後のDNA品種識別技術の開発・精度の向上が一層促進され、また、育成者権者をはじめ関係者による適切な利用のための本技術への理解が促進されるよう、分析・判定にあたっての基本的留意事項について学問的見地から取りまとめたものである、と記されている。しかし、この基本的留意事項は、前記したヒトのDNA鑑定についての指針に見習ったものとは言え、内容は、技術開発者と利用者への理解の促進を主旨とするものであり、実用化技術として法廷裁定での利活用は考慮されていない。

幸いなことに、植物分野では、実際にDNA品種識別技術が法廷裁定に採用された事例はなく、裁判において法律家などからの活発な論議や分析データと分析法の妥当性確認の有無を求められたような紛争はないのが現状である。また、DNA鑑定の開発段階および実用化段階における妥当性確認試験の重要性などについても、国内では広く理解されているとは言えない現状である。

その一方で、オウトウ品種「紅秀峰」の国外不正流出と増殖、コムギ品種「さぬきの夢2000」の偽装表示問題など、警察による不正競争防止法に基づく農産物の検挙数が増加しており、これまでのように、DNA品種識別技術の存在そのものが不正行為への抑止力として機能することを成果として掲げるだけでなく、警察や税関などからの要請に応えることが必要になってきた。

このような、実社会でのさまざまな協力要請に応

えることが可能な実用化技術とするためには、開発された品種識別マーカーの妥当性確認と手法の検証などを行い、適正な実用化技術として、法的措置や法廷での立証といった社会における有効的な利活用を目指す必要があり、かかる活動を幅広く行えるよう、2007年12月に「DNA鑑定学会」が設立されたところである。

以上のように、DNA品種識別技術が、社会での活用や法廷裁定などにおいて、決定的な証拠となり得るか否かは、信頼性や妥当性の確保を客観的に保証するシステムが整備されているか否かによるものであり、最も重要な今後の施策と言えるであろう。

V DNA品種識別技術開発の今後の展望

植物分野においては、この数年の間イネゲノムを始め、多くの植物を対象としたゲノム解析研究が精力的に推進されたため、連鎖地図の作成のために開発されたSSRマーカーが多数報告されており、今後、これらのゲノム情報を積極的に活用した品種識別に係るDNAマーカーの研究開発は加速化するものと思われる。

そのため、イネ、コムギ、オオムギ、ハクサイ、マメ類など近年ゲノム情報が充実してきている作物では、蓄積されたゲノム情報を有効に利活用して、新たな品種識別マーカーの開発研究を効率化するとともに、ハイスループットな解析を支援し、それを有効に利用するアプローチ＝インフォマティクスの拡充・拡大が必要である。

また、果樹類のようなゲノム情報が少ない作物に関しては、次世代シーケンサーなどの最先端技術の利活用が必要不可欠であり、それから得られるゲノム情報を利用して、品種識別マーカーの開発に努めるべきである。

しかし、次世代シーケンサーを利用したゲノム解析の現場では、大量のゲノム情報を扱う必要があり、その出力データを利用するためのバイオインフォマティクス面での解析環境整備（解析サーバ）や技術者の確保と「DNAマーカー開発センター」のような組織と研究体制が必要である。

農研機構 果樹研究所カンキツ研究興津拠点の清水氏からの情報提供によると、以上のような背景には、ゲノム研究の世界動向が挙げられ、先に開催された「Plant and Animal Genome XⅧ」（米国 サンディエゴ：2010.1.9～13）における演題においても、主要作物や果樹に限らず、マイナーな作物においても活発にゲノム解析が進行している。

さらには、大量のゲノム配列を一度に解読可能なゲノムシーケンサーの能力向上と数年前からの比較でも解析に要するコストが数万分の一にまで低下したことなどが大きく貢献している。

また、作物のすべてではないものの、次世代シーケンサーの出力データ（ゲノム解読）から見出されるSNPの大規模解析手法が実用化したことで、ゲノム全体の配列の解読から得られる情報を元に、ゲノムワイドに品種識別マーカーを開発する研究スタイルが確立されている。

その一方で、前述したようにこれまで述べてきた品種識別マーカーは、実社会においていろいろな利用場面から期待されているものの、法的措置や法廷での立証といった社会の要請に込めているのは、ほぼ技術が成熟しているヒトに関する領域のみであり、農産物分野ではいまだ学術的な成果に過ぎないのが現状である。

このような実社会での背景を踏まえ、さらなるDNA鑑定技術のレベルアップと品質保証に寄与すべく、また、かかる行動を規範化していることを踏まえ、2007年12月に設立された「DNA鑑定学会」は、2008年1月には「特定非営利活動法人（NPO法人）」として登記が完了し、2008年11月には「認定NPO法人」として認可された。（DNA鑑定学会ホームページ：<http://www.dna-kanteigakkai.or.jp>を参照）

当学会は、学術部門、認証部門およびフォーラム部門で構成され、学術部門では、DNA鑑定技術の向上を図り、DNAマーカーや判別技術などを開発するとともに、鑑定技術の妥当性を追求する。フォーラム部門では、公開シンポジウムや市民講座などの開催によるDNA鑑定の知識や技術の普及など、DNA鑑定に係る研究の成果を社会システムに反映

1. 実用化場面を想定した品種識別マーカーの開発

(1) DNAマーカー開発と妥当性検証するための株の定義

株のタイプ	内容
学術株	学術資源としての株
基準株	分譲株
生産者株	分譲先生産者の産物
市販品	流通品

(2) 計測器の精度(バラツキ幅)を考慮したマーカー開発

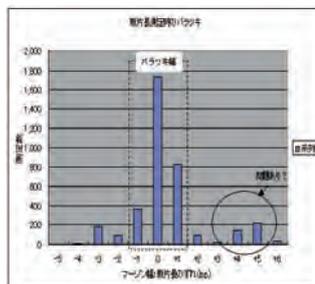
バラツキ幅(2bp)を考慮し、4~5bp以上離れたマーカー

(3) 簡易検査と精密検査の2段階検査が可能な方式

RAPD法による検査後はシーケンスによる精密検査を

(4) 開発終了時の再現性試験や自己検証の実施

(5) 誰が検査しても同じ結果のでるマニュアルの作成



2. 基本的なアプローチ

学術目的ではなく、社会問題の解決に用いる
実用化技術を前提に開発し、社会に貢献する

(1) 育成者から育成者権の保護

(2) 税関での偽装申請など



税関・警察

商品の擬似シール

税関で品種の擬似申告
による脱税

DNA鑑定学会

第5-1図 品種識別マーカーの開発方針とあり方 (DNA鑑定学会 妥当性委員会資料⁶⁾ から引用)

させることを目的としている。また、認証部門では、検査の標準化と開発された鑑定法の評価による妥当性の検討など、幅広い活動を行っている。

認証部門では、農林水産省委託事業「登録品種の標本・DNA保存等委託事業のうちの、DNA品種識別技術の妥当性確認事業」において、2008年度からの2年間、開発された鑑定技術の妥当性確認事業を実施し、その経験をもとに、添付した参考資料「品種識別DNA鑑定研究開発のあり方」⁶⁾を取りまとめて、DNA品種識別技術の研究開発のあり方や妥当性試験のあり方などを提言した。(第5-1図)

Ⅵ まとめ

近年、海外からの穀物や安価な生鮮野菜などの輸入急増が、国内生産者価格を下落させ、農家経営を大きく圧迫している。このため、産地からはセーフガードの発動要請および原産地表示の徹底が要請されているところである。また、国産農産物の優位性を保つには、わが国で育成された新品種が許諾なしに海外に渡り、商品として逆輸入することを阻止する必要がある。このためには、品種を正確に識別する技術の開発が急務である。

このような状況の中で、近年、コメの品種識別の

研究成果をはじめとして、DNA品種識別技術の研究開発が急速に進みつつある。

近畿中国四国農業研究センターにおいても、行政部局からの要請に応じ、輸入量の著しい増大が問題となっているイグサについて、種苗法による育成者権の保護と、国内生産の適正な保護の観点より、イグサ品種識別技術の開発とその実用化について検討を試みた。

イグサのDNA品種識別技術の開発については、農林水産省の行政対応特別研究「微量元素分析及び分子マーカーの利用による農産物の品種・原産地判別手法の開発」に参画し、DNA多型検出技術を用いたイグサの品種識別の開発に取組み、熊本県が育成者権を持つイグサ「ひのみどり」特異的マーカーの特許申請に至っている。

そのほか、北海道が育成者権を持つインゲンマメ品種「雪手亡」なども、わが国で育成された新品種が許諾なしに海外に渡り、商品として逆輸入することを阻止するために、DNA品種判別技術が活用された。

一方、政府では、2002年7月3日に「知的財産戦略大綱」を決定し、知的財産の創造とその適切な保護・活用の推進のための制度などの改革を実施することとした。

これを受けて、農林水産省では育成者権についてもその侵害品対策の一環として、迅速・簡便なDNA品種識別技術の確立などの支援体制を整備することとして、DNA品種識別技術の開発の現状や侵害判断への活用面での課題を整理し、技術開発の一層の促進と、的確な利活用の推進が図られるよう支援策に取り組んできた。

具体的には、品種の育成者権保護の強化を目的として、近年、技術開発が著しいDNA品種識別技術を応用し、1998年に改正された種苗法の強化と、税関で違法な輸入農産物を差し止めるための措置、育成者権を持つ種苗が、許諾を得ずに栽培、流通した場合には、損害賠償請求などの刑罰を適用できるように罰則が強化された。

このような背景を踏まえ、農林水産省では、2003年度から、委託プロジェクト「食品表示の信頼性を確保するための評価・管理技術の開発」を設けて、DNA分析による農産物（収穫物）と食品（加工品）を対象とした品種識別技術の開発に取り組んできた。

さらには、研究開発が遅れている加工品を対象とした品種識別技術の開発については、2006年度からの委託プロジェクト「安全で信頼性、機能性が高い食品・農産物供給のための評価・管理技術の開発」において、米飯などの米加工品、うどんやパン・菓子などのコムギ加工品および緑茶飲料（ペットボトル）からのDNA抽出と品種識別技術の開発、あるいは品種がブレンドされている加工品（餡やブレンド果汁）における原料品種識別のための品種固有マーカーを開発した。

これら加工品を対象とした品種識別技術の開発は、DNAの回収方法の開発と原料品種に特異的なDNAマーカーの検索が必要であり、また、搾汁や加熱などを行った加工製品から抽出されたDNAは劣化や断片化が予想されるため、SNP（1塩基多型）法を用いた品種特異的SNPマーカーの開発が推進されてきた。

しかし、これまで述べてきた品種識別技術は、実社会において、いろいろな利用場面から期待されているが、「DNA鑑定」として、それに応えているのは、ほぼ技術が成熟しているヒトに関する領域のみ

であり、農産物分野ではいまだ学術的な成果が報告されているに過ぎないのが現状である。

ニュースや新聞記事で取り上げられた、コムギ品種「さぬきの夢2000」の偽装表示問題やオウトウ品種「紅秀峰」の国外不正流出問題などは、いずれも、警察による「不正競争防止法」によるものであり、農産物の検挙数も増加している。また、農産物が海外に違法に持ち出され、国際的な裁判などで品種識別結果を証拠とするには、より高い信頼性が求められる。

このように、開発された品種識別技術が、法的措置や法廷での立証といった実社会でのさまざまな協力要請に応えることを可能とするためには、技術の妥当性確認と手法の検証体制を構築することが至急の課題であり、今後は、開発された技術の妥当性確認と手法の検証などを行い、適正な実用化技術として、社会における有効な利活用を目指す必要がある。

Ⅶ 摘 要

農産物・食品に対する消費者の信頼確保や育成者権を侵害して輸入されてくる農林水産品の水際（税関）での取り締りが強化されている。このような状況の下、一部の農産物（収穫物）と食品（加工品）ではあるものの、DNA分析による品種識別技術が開発され、食品表示の適正化や育成者権侵害紛争の早期解決などの現場で利用されるまでに至っている。

そこで、本論文では「DNA鑑定」の基盤技術となるDNA多型性検出技術について概説するとともに、DNA品種識別技術が、かかる実社会でのさまざまなニーズに応えることができる「DNA鑑定」となることを願いつつ、その実用化の現状と今後の研究開発のあり方について述べた。

謝 辞

本論文で引用した研究成果の多くは、2001年度から2003年度までの農林水産省行政対応特別研究「微量元素分析及び分子マーカーの利用による農産

物の品種・原産地判別手法の開発」, 2003年度からの農林水産省委託プロジェクト「食品表示の信頼性を確保するための評価・管理技術の開発」および2006年度から2010年度の農林水産省委託プロジェクト「安全で信頼性, 機能性が高い食品・農産物供給のための評価・管理技術の開発」において, 実施されたものである。また, 研究の推進にあたっては, 2005年度までは育種工学研究室において, 2006年度から2010年度までの間は, 品種識別・産地判別研究チームにおいて実施されたものであり, 本課題の遂行にあたり, これら委託プロジェクトの参画者や研究室・研究チームの皆様方には多くのご協力とご支援をいただいた。ここに記して, 衷心よりお礼と感謝の意を表します。

引用文献

- 1) Becker, J. and P. Vos 1995. Combined mapping of AFLP and RFLP markers in barley. *Mol. Gen. Genet.* 249: 65-73.
- 2) Blair, M.W., O. Panaud and S.R. McCouch 1999. Inter-simple sequence repeat (ISSR) amplification for analysis of microsatellite motif frequency and fingerprinting in rice (*Oryza sativa* L.). *Theor. Appl. Genet.* 98: 780-792.
- 3) Cevara, M.T., J. Gusmao, M. Steenackers, J. Peleman, V. Storme, A. Vanden Broeck, M. Van Montagu and W. Boerjan 1996. Identification of AFLP molecular markers for resistance against *Melampsoma larici-populiua* in *Populus*. *Theor. Appl. Genet.* 93: 733-737.
- 4) Dallas, J.F. 1988. Detection of DNA "fingerprints" of cultivated rice by hybridization with a human minisatellite DNA probe. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 85: 6831-6835.
- 5) DNA鑑定と刑事弁護 日本弁護士会人権擁護委員会編 1998. 現代人文社.
- 6) DNA鑑定サービスまでのジョブフローと規則 2009. 認定NPO法人DNA鑑定学会 妥当性委員会. *DNA鑑定* 1: 83-100.
- 7) Epplen, J.T., H. Ammer, C. Epplen, C. Kammerbauer, R. Mitreter, L. Roewer, W. Schwaiger, V. Steimle, H. Zischler and E. Albert 1991. Oligonucleotide fingerprinting using simple repeat motifs: a convenient, ubiquitously applicable method to detect hyper-variability for multiple purposes. In: Burk, T., G. Dolf, A.J. Jeffreys and R. Wolff editors. *DNA fingerprinting: approaches and applications.* Birkhauser, Basel, 50-69.
- 8) 原田勝二編 1991. ヒトDNA Polymorphism - 検出技術と応用 -. 東洋書店.
- 9) Hatada, I., Y. Hayashizaki, S. Hirotsune, H. Komatsubara and H. Mukai 1991. A genomic scanning method for higher organisms using restriction sites as landmarks. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 88: 9523-9527.
- 10) 本田秀夫・平井篤志 1991. 非放射性DNAプローブによる雑種の検定. *植物細胞工学* 3: 141-146.
- 11) 飯牟禮和彦・中澤芳則 2000. RAPD法によるイグサ在米種の類縁関係の検討. *日作九支報* 66: 12-14.
- 12) Jeffreys, A.J., V. Wilson and S.L. Thein 1985. Individual-specific 'fingerprints' of human DNA. *Nature* 316: 76-79.
- 13) 高上馬希重・飯田 修 2001. 大麻 *Cannabis sativa* L.におけるISSR解析. *DNA多型* 9: 77-81.
- 14) 神山清文・保里昌彦・横田真一・近藤由佳・樋口十啓・高橋雄太郎 1995. DNAフィンガープリント法のカンキツ品種判定への応用. *DNA多型* 3: 253-256.
- 15) 勝又義直 2006. DNA鑑定-その能力と限界-名古屋大学出版会.
- 16) Kawase, M. and T. Kishimoto 1991. Intraspecific variation and genetic differentiation based on restriction fragment length polymorphism in Asian cultivated rice, *Oryza sativa* L. *Rice Genetics* 2: 467-473.

- 17) Kirby, L.T. 1990. 'DNA Fingerprinting: An introduction' Stockton Press USA.
- 18) Kojima, T., T. Nagaoka, K. Noda and Y. Ogihara 1998. Genetic linkage map of ISSR and RAPD markers in Einkorn Wheat in relation to that of RFLP markers. *Theor. Appl. Genet.* 96: 37-45.
- 19) 倉田のり 1993. DNA多型の検出法とその利用. *育種学最近の進歩* 34: 46 - 51.
- 20) 前川哲弥 1996. 植物品種保護制度におけるDNA多型分析. *DNA多型* 4: 7 - 10.
- 21) 松永数彦・Mark Christiansen・矢野 博・原田久也 1997. 新しいDNAフィンガープリンティングソフトによる解析例. *DNA多型* 5: 163 - 169.
- 22) 松山知樹 2009. 「DNAマーク」で果樹や花の品種を識別する. *RIKEN NEWS*. 334 (4): 6 - 9.
- 23) Murray, M.G. and W.F. Thompson 1980. Rapid isolation of high molecular weight plant DNA. *Nucleic. Acids. Res.* 8: 4321-4325.
- 24) 中川 藍・山下裕樹・田原 誠 2010. Loop-Mediated Isothermal Amplification (LAMP)法を用いたアズキ加工食品の簡易品種同定法の検討. *DNA多型* 18: 209 - 214.
- 25) Nagaoka, T. and Y. Ogihara 1997. Applicability of inter-simple sequence repeat polymorphisms in wheat for use as DNA markers in comparison to RFLP and RAPD markers. *Theor. Appl. Genet.* 94: 597-602.
- 26) 中村郁郎 1990. 新しいフィンガープリント法 - ALPHA. *育種学雑誌 (別冊2)* 40: 456 - 457.
- 27) 中潭芳則・手塚隆久 1999. 高品質ないぐさ新品種「ひのみどり」の育成. *日作九支報* 65: 44 - 45.
- 28) Nei, M. and W.H. Li 1979. Mathematical model for studying genetic variation in terms of restriction endonucleases. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 76: 5269-5273.
- 29) 根井正利・五條堀孝・斉藤成也 共訳 1990. *分子進化遺伝学*. 培風館.
- 30) 日本果樹種苗協会：(株)帝人バイオ・ラボラトリーズ 1993. 「平成5年度農林水産省委託調査従属品種判定技術確立対策調査報告書 かんきつの従属品種判定技術開発調査」
- 31) (社) 農林水産先端技術産業振興センター 2007. 「植物のDNA品種識別技術の開発状況等調査報告書 (DNA品種識別技術の海外開発状況等調査事業)」, 1 - 177.
- 32) 農林水産省農林水産技術会議事務局 2008. 研究成果第445集「食品の安全性及び機能性に関する総合研究 - 安全性 - 」, 1 - 384.
- 33) Powell, W., M. Morgante, C. Andre, M. Hanafey, J. Vogel, S. Tingey and A. Rafalski 1996. The comparison of RFLP, RAPD, AFLP and SSR (microsatellite) markers for germplasm analysis. *Mol. Breed.* 2: 225-238.
- 34) Prevost, A. and M.J. Wilkinson 1999. A new system of comparing PCR primers applied to ISSR fingerprinting of potato cultivars. *Theor. Appl. Genet.* 98: 107-112.
- 35) 定平正吉・清田四郎 1982. 放射線による新品種「せとなみ」の育成. *広島県農試報告* 45: 105 - 112.
- 36) Saitou, N. and M. Nei 1987. The neighbor-joining method: A new method for reconstructing phylogenetic trees. *Mol. Biol. Evol.* 4: 406-425.
- 37) 関口和正 2009. 警察におけるDNA型鑑定. *DNA鑑定* 1: 1 - 8.
- 38) Sharma, S.K., M.R. Knox and T.H.N. Ellis 1996. AFLP analysis of the diversity and phylogeny of Lens and its comparison with RAPD analysis. *Theor. Appl. Genet.* 93: 751-758.
- 39) 島野公利・矢野昌裕 1997. AFLP法による多型検出. 新刊「植物のPCR実験プロトコール遺伝子の単離・発現からゲノム解析まで」細胞工学別冊 植物細胞工学シリーズ2 島本功・佐々木卓治監修, 秀潤社, 182 - 188.
- 40) (株)ティーエスエル (旧：(株)帝人バイオ・ラボラ

- トリーズ) DNA親子鑑定資料.
- 41) Tsukazaki, H., M. Honjo, K. Yamashita, T. Ohara, A. Kojima, R. Ohsawa and T. Wako 2010. Classification and identification of bunching onion (*Allium fistulosum*) varieties based on SSR markers. *Breed. Sci.* 60: 139-152.
- 42) Tsumura, Y., K. Ohba and S.H. Strauss 1996. Diversity and inheritance of inter-simple sequence repeat polymorphisms in Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*) and sugi (*Cryptomeria japonica*). *Theor. Appl. Genet.* 92: 40-45.
- 43) Vos, P., R. Hogers, M. Bleeker, M. Reijmans, T. van de Lee, M. Hornes, A. Frijters, J. Pot, J. Peleman, M. Kuiper and M. Zabeau 1995. AFLP: a new technique for DNA fingerprinting. *Nucleic Acids Res.* 23: 4407-4414.
- 44) Welsh, J. and M. McClelland 1990. Fingerprinting genomes using PCR with arbitrary primers. *Nucleic Acids Res.* 18: 7213-7218.
- 45) Williams, J.G.K., A.R. Kubelik, J. Livak, J.A. Rafalski and S.V. Tingey 1990. DNA polymorphisms amplified by arbitrary primers are useful as genetic markers. *Nucleic Acids Res.* 18: 6531-6535.
- 46) 矢野 博 1993. DNAフィンガープリント法による作物の品種・系統識別. 農業および園芸, 68 (1) : 25 - 31.
- 47) ——— 1993. DNA多型性検出技術とその利用. 農業技術, 48 (12) : 544 - 549.
- 48) ———・原田久也 1994. DNA多型分析によるバレイショの品種・系統識別の試み. DNA多型, 2 : 192 - 196.
- 49) ——— 1995. RAPD法による品種識別. 「植物のPCR実験プロトコール遺伝子の単離・発現からゲノム解析まで」細胞工学別冊 植物細胞工学シリーズ2 島本 功・佐々木卓治監修, 秀潤社, 124 - 128.
- 50) ———・原田久也 1996. 放射性PCR産物によるカンキツ突然変異系統間のDNA多型検出. DNA多型, 4 : 147 - 152.
- 51) ———・原田久也 1998. 放射性PCR産物を用いた植物の放射線損傷DNAの解析. DNA多型, 6 : 136 - 141.
- 52) ———・原田久也 1999. AFLP法による植物ゲノムDNAのフィンガープリンティング. DNA多型, 7 : 219 - 222.
- 53) ———・池田達哉 2003. ISSR-PCR法を用いたイグサ品種識別. DNA多型, 11 : 57 - 60.
- 54) ——— 2004. DNA多型分析による品種識別の可能性 - 植物におけるDNA多型検出技術とその応用. 農業および園芸, 79 (1) : 131 - 136.
- 55) ——— 2008. 農産物におけるDNA鑑定の現状と展望. 農林水産技術研究ジャーナル, 31 (4) : 13 - 16.
- 56) ——— 2009. 農産物におけるDNA鑑定の現状と展望. DNA鑑定, 1 : 9 - 16.
- 57) ——— 2010. DNA品種識別技術の現状と将来展望 農業技術, 65 (12) : 478 - 483.
- 58) Zabeau, M. and P. Vos 1992. Selective restriction fragment amplification: A general method for DNA fingerprinting. *European Patent Application* 92402629. 7.
- 59) Zietkiewicz, E., J.A. Rafalski and D. Labuba 1994. Genome fingerprinting by simple sequence repeat (SSR)-anchored polymerase chain reaction amplification. *Genomics*, 20: 176-183.

Present Situation and Future Prospect on the Cultivar Identification Technology Based on DNA Analysis

Hiroshi YANO

Summary

Recently our trust in food labeling has been shaken badly and the infringement of breeder's right has happened occasionally in Japan. Under such circumstances, cultivar identification technologies based on DNA analysis for agricultural products and processed food have been developed for several crop species. The technologies are leading to proper food labeling system and a deterrent effect on the infringement of right recently. Here, the author review the progress of the several cultivar identification technologies based on DNA analysis and discuss the future prospect on the technologies hoping that they will become the “DNA testing” for all crop species.

〈参考資料〉

品種識別DNA鑑定研究開発のあり方

DNA鑑定学会 妥当性委員会

【研究開発】

DNA鑑定に使用するDNAマーカーの開発方針

1. 基本的なアプローチはDNA鑑定を用いて、社会問題の解決に貢献する。
 - (1) 育成者から育成者権のクレーム
 - (2) 税関での偽装申請など
2. 目的に応じた鑑定用のDNAマーカーを開発する必要がある。
3. DNAマーカーは学術の目的でなく、社会問題の解決に用いる実用化を前提に開発する。
4. 実用化には以下の条件を設けて開発する必要がある。
 - (1) 品種を決定するための基準品種株を決めてマーカーの開発をする。
 - (2) マーカーの精度は計測器の精度（マージン幅）を考慮して決める。
 - (3) 簡易検査と精密検査の2段階検査ができる方式とする。
 - (4) 開発終了時に再現性試験や自己検証を実施する。
 - (5) 誰が検査しても同じ結果のでる品種識別マニュアルを作成する。

【妥当性試験】

開発したDNAマーカーの妥当性の考え方

1. 妥当性とは、開発したDNAマーカーの信頼性を評価するものである。
2. 評価結果は、100%の信頼性を要求するものではなく、スクリーニングや品種検査など目的に応じて利用するための判断にするものである。
3. 評価の実施は、以下の条件を守る。
 - (1) 中立的な評価を得るためには、開発した機関と評価する機関が同一機関であってはならない。
 - (2) 評価用の試料株は、実用化を前提に選定し

て評価する。

4. 妥当性を実施した機関が、スクリーニング検査や品種検査など社会的なDNA鑑定の品質責任機関となる。
5. 責任機関は、社会問題が発生し妥当性を追求されても、問題ない状況下で妥当性試験を実施したことを証明できるようにしておく。
6. 妥当性試験の品質保証には規則書などを設けて実施することが不可欠である。

【現状の課題】

1. DNAマーカーを開発するための株や妥当性を検証するための株が定義されていないため、以下の問題が生じている。
 - (1) どこに何の株が管理されているか情報が一元化されていない。
 - (2) 学術要素の強いジーンバンクと県などで管理する品種株など、株が多くの機関で管理されている。
 - (3) DNAマーカーの開発時、大半の研究者は各研究室にある学術株をベースに開発している。
 - (4) DNA鑑定の結果、生産者の品種が違くと判定された場合、誰のためのDNA鑑定であるかと社会問題になる。

これらの問題を解決するためには、行政主導で、どこに何の品種が管理されているかなどの情報をデータベース化する必要がある。そうすれば、一元化して基準株や品種が定義できるため、品質の良いDNAマーカーを開発することができ、別の株でマーカー開発をやり直すなどの研究の二重投資を避けることができる。（第5-1図の株の定義⁶⁾を参照）

2. 商品は毎年生産されるため、毎年、品種識別マーカーのチェックをおこなう必要がある。また、小麦などは、前年度の生産ロットとDNA鑑定が異なるケースも考えられるため、年産ごとに一定期間保管しておき、その年の生産物と比較してDNA鑑定を行うなど、新たな研究アプローチも必要である。

〔 近中四農研資 9 〕
41 - 146 (2012)

近畿中国四国地域における水稲高温登熟障害の要因解析と技術対策

A Comprehensive Review on the Impact of Recent High Temperature on Rice Grain Ripening in Western Region of Japan, and the Adaptation and Mitigation Technologies

佐々木良治¹・中井 譲²・藤田守彦³・小坂吉則⁴・松本純一⁵・上田直也⁶・足立裕亮⁷・
角脇幸子⁸・月森 弘⁹・渡邊丈洋¹⁰・勝場善之助¹¹・中司祐典¹²・山本善太¹³・藤田 究¹⁴・
谷口弘季¹⁵・高田 聖¹⁶・澤田富雄⁵・松本樹人¹⁷・石井俊雄¹⁰・岩井正志⁵・妹尾知憲¹⁰・
山口憲一¹⁵・池上 勝⁵・大久保和男¹⁰・石井卓朗¹・長田健二¹

Ryouji SASAKI, Joe NAKAI, Morihiko FUJITA, Yosinori KOSAKA, Jun-ichi MATSUMOTO,
Naoya UEDA, Yusuke ADACHI, Sachiko KADOWAKI, Hiromu TSUKIMORI, Takehiro WATANABE,
Zennosuke KATSUBA, Masamichi NAKATSUKASA, Zenta YAMAMOTO, Kiwamu FUJITA, Hiroki TANIGUCHI,
Sei TAKATA, Tomio SAWADA, Shigehito MATSUMOTO, Toshio ISHII, Masashi IWAI,
Tomonori SENOO, Kenichi YAMAGUCHI, Masaru IKEGAMI, Kazuo OKUBO,
Takuro ISHII and Kenji NAGATA

Key words: 水稲, 高温, 登熟, 乳白粒, 白未熟粒, 基部未熟粒, 基白粒, 背白粒

目 次

I はじめに……………42	1 近畿地域における米品質低下の要因解析と 対応策……………43
II 高温登熟障害米の要因解析と対応策の検証…43	
(平成23年10月26日受付, 平成24年2月2日受理)	10 岡山県農林水産総合センター
1 農研機構 近畿中国四国農業研究センター	11 広島県立総合技術研究所
2 滋賀県農業技術振興センター	12 山口県農林総合技術センター
3 京都府農林水産技術センター	13 徳島県立農林水産総合技術支援センター
4 大阪府環境農林水産総合研究所	14 香川県農業試験場
5 兵庫県立農林水産技術総合センター	15 愛媛県農林水産研究所
6 奈良県農業総合センター	16 高知県農業技術センター
7 和歌山県農林水産総合技術センター	17 島根県中山間地域研究センター
8 鳥取県農林総合研究所 農業試験場	注：論文中各項の*は、当該項のとりまとめ著者を 示す。
9 島根県農業技術センター	

2	中国地域における米品質低下の要因解析と 対応策	57	5	酒造好適米品種における米品質	122
3	四国地域における米品質低下の要因解析と 対応策	73	6	近畿中国四国地域における高温登熟耐性 品種の開発・導入の動き	132
Ⅲ	品種・作期別にみた米品質低下の特徴	96	Ⅳ	全国各地域と比較した近畿中国四国地域 産米の品質と高温登熟障害克服にむけた 今後の技術対策	134
1	滋賀県および日本海沿岸地域における 「コシヒカリ」の米品質	96	1	全国各地域と比較した近畿中国四国地域 産米の品質	134
2	中山間地域における「コシヒカリ」などの 米品質	99	2	近畿中国四国地域の2010年産米サン プルの品質の特徴	135
3	瀬戸内海沿岸地域における「ヒノヒカリ」 の米品質	106	3	今後の対策方向	139
4	早期水稲地帯における米品質	114	引用文献		143

I はじめに

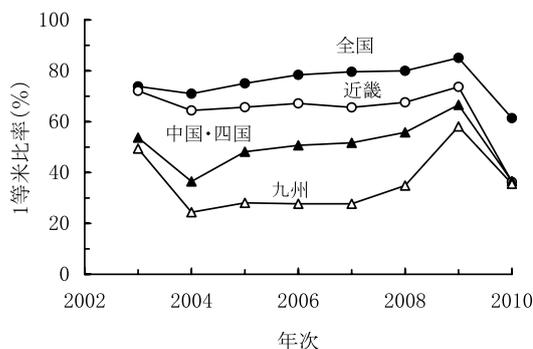
2010年(平成22年)の夏(6月~8月)のわが国の平均気温は、統計を開始した1898年以降の113年間で第1位の高い記録となった¹⁵⁾。特に、8月の平均気温は平年差+2.25℃であり、これまでで最も暑い夏となった。

農林水産省は、2010年産水稲の登熟は概ね平年を上回ったものの、籾数が平年を下回ったことなどから、全国の10aあたり収量は522kgで前年産並みと発表しており⁴⁰⁾、夏の高温の影響は必ずしも大きくはない。一方、米の品質に対する夏の高温の影響は大きく、2010年産米(水稲うるち玄米)の1等米比率は62%(2011年8月31日現在)⁴¹⁾であり、前年同期の1等米比率85%に比較して大きく落ち込んでいる。2等以下に格付けされた主な理由は、「心白及び腹白」、「充実度」、「整粒不足」であり、いずれも夏の猛暑による水稲の高温登熟障害が原因と考えられる。近畿中国四国地域においても1等米比率の低下は顕著であり、近畿地域で36%(前年同期の1等米比率74%)、中国四国地域では37%(同74%)であった。

ところで、近年の西日本地域における1等米比率の推移をみると(第1図)、2010年産米に限らずほとんどの年で全国平均を下回っており、慢性的な低

品質が継続している。1等米比率は、全国平均に比較して近畿、中国・四国、九州地域の順に低い。これには登熟期の高温が影響していることが容易にうかがえるが、その他にも品種の構成や栽培管理、台風や日照条件などが影響していると考えられる。いずれの地域にも共通していることは、過去数年の中で2009年産米の1等米比率が比較的高いことであり、地域間差も縮まっていることがわかる。一方、近畿中国四国地域における1等米比率を府県単位で見ると、後述するように2009年産米が15.9~93.4%、2010年産米は1.5~74.7%と府県間で著しい格差があり、その要因解析は不可欠である。

本報告では、このような状況を踏まえ、近畿中国四国地域の各府県における近年の作柄や外観品質の状況を整理するとともに、外観品質の低下要因を解



第1図 近畿中国四国地域における1等米比率の推移
農林水産省の「米の検査結果」より作成した。

析して今後の技術対策や研究課題について取りまとめた。また、府県で共通する品種や作期などについて、各府県で得られた複数年次の試験結果・情報などを整理し、米品質低下に関わる気象要因と栽培管理要因の解析を試みた。

今日、水稲の高温登熟障害は、西日本地域にとどまらず東北地域を含め各地で問題となっている。近畿中国四国地域の気象条件や作期は、他地域に比較して多様であり、とりまとめた本報告が当地域のみならず他地域を含めた高温登熟障害米の軽減対策に活用していただけると幸いである。（佐々木良治）

II 高温登熟障害米の要因解析と対応策の検証

1 近畿地域における米品質低下の要因解析と対応策

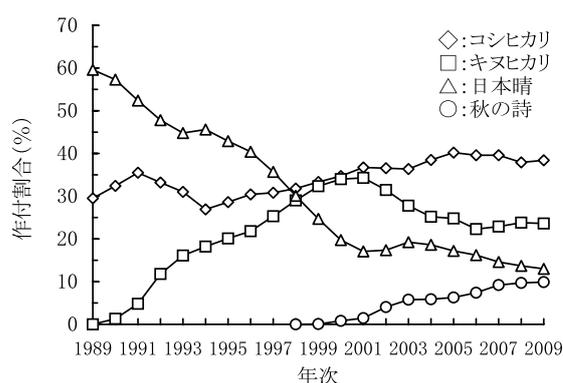
1) 滋賀県

(1) 水稲品種の推移と外観品質の状況

滋賀県における水稲品種の推移をみると、1997年までは中生品種の「日本晴」の割合が最も多かったが、実需者ニーズを受けて、早生品種の「コシヒカリ」と「キヌヒカリ」が年々増加し、1998年以降は、「コシヒカリ」と「キヌヒカリ」がそれぞれ1位と2位を占めている。また、滋賀県の育成品種「秋の詩」は、2009年には約10%にまで作付けが拡大した（第2図）。

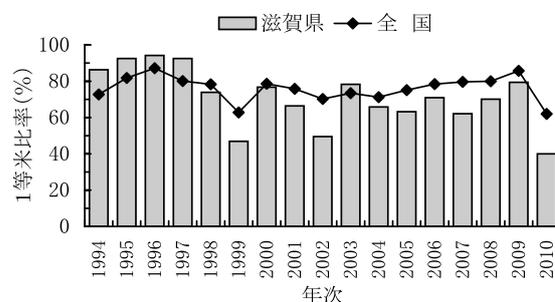
滋賀県産米の1等米比率をみると、1998年以降は毎年80%を下回り、2003年を除いて全国平均以下である（第3図）。2等以下への格付理由は、「心白・腹白粒」、「整粒不足」、「胴割粒」、「着色粒（カメムシ類）」によるものが多い。

2010年においては、1等米比率は早生品種、中生品種ともに前年より著しく低下した（第3図）。特に中生品種は、出穂期の8月第3半旬から成熟期直前の9月第3半旬までの記録的な高温の影響を受けて、白未熟粒が多発し、1等米比率は「日本晴」が5%、「秋の詩」が9%と極めて低かった。また、早生品種も、登熟中後期にあたる8月3半旬から9月第1半旬が記録的な高温となったことから、「コシヒカリ」の1等米比率は過去5年間で最も低かつ



第2図 滋賀県の水稲作付品種の推移

農林水産省大臣官房統計部公表資料より作成した。



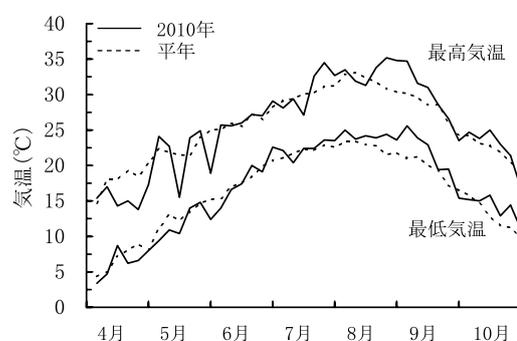
第3図 滋賀県産米の1等米比率の推移

農林水産省総合食料局公表資料（2011年7月31日現在）より作成した。

第1表 滋賀県産米の品種別の1等米比率(%)の推移

品種	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年
コシヒカリ(早生)	64	65	72	80	56
キヌヒカリ(早生)	72	39	47	76	52
日本晴(中生)	76	73	82	87	5
秋の詩(中生)	79	75	89	67	9

注) 農林水産省総合食料局公表値（2010年の数値は、2011年7月31日現在）より作成。



第4図 滋賀県近江八幡市における稲作期間の日最高気温と日最低気温の推移（2010年）

データは、滋賀県農業技術振興センター（近江八幡市安土町大中）の気象観測値であり、半旬毎の平均値を示す。

た (第4図, 第1表)。

(2) 稲作期間の気象および水稲生育の変化

1等米比率が全国平均を下回るようになった近年の11年間(1998～2008年)とそれ以前の22年間(1976～1997年)を比較すると, 近年の気温は上昇し, 稲作期間全体では日照時間および降水量は少なくなっている。特に登熟期(7～9月)の気温については, 日最高気温が1.2～1.8℃, 日最低気温が0.3～0.8℃高くなっている(第2表)。

また, 水稲作況試験の結果についても近年の11年間(1998～2008年)とそれ以前の12年間(1986～1997年)を比較すると, 近年は「コシヒカリ」, 「日本晴」とともに気温上昇の影響を受けて, 幼穂形成期や出穂期, 成熟期ともに早まり, 登熟日数は短

くなっている。「コシヒカリ」の施肥量は, 以前より少なくなっているが, 穂数, 1穂粒数ともに増加し, これに伴って総粒数も増加した。「日本晴」も「コシヒカリ」と同様, 以前より穂数, 1穂粒数ともに増え, 登熟歩合および千粒重の低下はみられず, 収量は増加している(第3表)。

(3) 米品質低下に対する対応策

品質と食味を考慮した場合の「コシヒカリ」の適正粒数について, 井上⁸⁾は28千粒/m²程度, 川口¹⁴⁾は28～30千粒/m²程度, 佐藤⁵⁵⁾は28千粒/m²であると報告している。滋賀県でも品質が安定して高くなる総粒数は28～30千粒/m²であることを明らかにしている(未発表)。さらに, 出穂後20日間の日平均気温が27～28℃以上になると, 1等米比

第2表 1998～2008年と1976～1997年の気象の比較(近江八幡市安土町大中)

	日最高気温 ¹⁾ (℃)	日最低気温 ¹⁾ (℃)	日平均気温 ¹⁾ (℃)	日照時間 ²⁾ (%)	降水量 ²⁾ (%)
4月	1.12	0.23	0.61	92.4	82.0
5月	1.17	0.52	0.63	88.2	114.6
6月	0.97	0.15	0.27	91.7	86.8
7月	1.20	0.42	0.39	90.4	88.4
8月	1.26	0.31	0.22	98.0	97.4
9月	1.80	0.80	0.95	115.2	81.8
10月	1.16	0.72	0.81	103.3	145.5
4～10月平均	1.24	0.45	0.55	96.6	95.9

1) 日最高気温, 日最低気温および日平均気温は, 1998～2008年の月間平均値から1976～1997年の月間平均値を引いた値を示す。

2) 日照時間および降水量は, 1998～2008年の月間積算値を1976～1997年の月間積算値で除した値を示す。

第3表 滋賀県近江八幡市における1998～2008年と1986～1997年の生育ステージ, 収量および収量構成要素^{1, 2)}の比較

	幼穂形成期 (月.日)	出穂期 (月.日)	成熟期 (月.日)	登熟日数 (日)	精玄米重 (g/m ²)	穂数 (本/m ²)	1穂粒数 (粒/本)	総粒数 (千粒/m ²)	登熟歩合 (%)	千粒重 (g)	
コシヒカリ	1998～2008年	7. 5	7.30	9. 2	34	584	460	80.4	36.7	75.0	21.5
	1986～1997年	7. 7	7.31	9. 7	38	593	440	75.6	33.5	83.0	22.1
	対差または対比 ³⁾	2日早い	1日早い	5日早い	4日短い	98	105	106	110	90	97
日本晴	1998～2008年	7.17	8.10	9.16	37	652	476	70.1	33.3	88.2	22.2
	1986～1997年	7.19	8.12	9.24	43	620	461	67.7	31.2	88.4	22.4
	対差または対比 ³⁾	2日早い	2日早い	8日早い	6日短い	105	103	104	107	100	99

1) 水稲作況調査(移植日: 5月10日)のデータを用いた。

2) 「コシヒカリ」の施肥窒素量(g/m²)は, 1986～1994年; 基肥: 3-追肥: 2-穂肥: 3-実肥: 2, 1995～2008年; 基肥: 3-追肥: 2-穂肥①: 2-穂肥②: 2。「日本晴」の窒素施肥量(g/m²)は, 1986～2008年; 基肥: 3-追肥: 3-穂肥: 4。試験は反復なしで実施した。

3) 幼穂形成期, 出穂期, 成熟期および登熟日数は, 1998～2008年の各平均値から1986～1997年の各平均値を引いた値を示す。また, 収量および収量構成要素は, 1998～2008年の平均値を1986～1997年の平均値で除した値を示す。

率の低下が認められている⁵⁸⁾。

現在、稲作期間の気温が上昇していることから、穂数や1穂粒数が増加して粒数過多になりやすい条件になっている。さらに、2010年のような高温登熟の危険性は以前にも増して高まっている。したがって、粒数抑制対策として、基肥・追肥の減量、細植・疎植とともに、5月中下旬の遅植を推進し、高温登熟対策として、出穂前後各3週間の常時湛水、収穫前の早期落水防止および適期収穫による白未熟粒や胴割粒の軽減対策を推進している。また、斑点米カメムシ類の防止対策として、水稻の出穂期を中心に2～3週間隔で連続して草刈りを行う「畦畔2回連続草刈り」を推進している。

なお、1等米比率向上のためには、今までに述べた対策技術の組み合わせが重要である。しかし、現場では、こうした対策技術が確実に実践されているとは言い難い。したがって、滋賀県では、その実効性を高めるために、農協などの指導者や生産者を対象に対策技術に関する研修会を定期的実施している。(中井 譲)

2) 京都府

(1) 近年の作柄や外観品質の状況

京都府における2010年産の水稻の品種構成は、早生「コシヒカリ」が60.5%を占め、次いで早生「キヌヒカリ」17.5%、中生「祭り晴」3.0%、晩生「ヒノヒカリ」14.8%、「その他の品種」4.2%となっている。

1等米比率の過去10年間の推移を見ると、早生品種の「コシヒカリ」、「キヌヒカリ」では2001年産米が最も低く、その後徐々に向上し、2009年産米では80%を超えるまでになった。中・晩生品種の「祭り晴」や「ヒノヒカリ」では、この期間を通じて80%前後で推移していたが、2010年産で30%程度に低下している。2010年産米は早生品種が70%程度を維持しており、過去9年間とは逆の状況となっている(第4表)。

(2) 2009年産米と2010年産米の生育・品質の概況

2010年は、5月中旬から6月上旬の低温により初期生育は抑制された。その後は高温に推移したも

第4表 京都府産米の品種別の1等米比率(%)

品種	2001年	2002年	2003年	2004年	2005年	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年
コシヒカリ	40	47	69	49	53	64	75	74	84	70
キヌヒカリ	55	64	77	62	80	79	76	79	85	69
日本晴	68	66	78	68	68	68	66	79	92	50
祭り晴	87	80	73	89	85	84	91	90	88	25
ヒノヒカリ	80	71	73	86	86	90	93	92	95	29

注) 農林水産省の公表資料より作成した。2001～2009年産米は翌年10月末日現在、2010年産米は2011年8月末日現在。

第5表 京都府農林水産技術センターにおける2009年と2010年の作況試験の結果

	コシヒカリ		日本晴	
	2009年	2010年	2009年	2010年
出穂期 (月・日)	7.26 (6日早) ²⁾	7.30 (2日早)	8.15 (2日早)	8.15 (2日早)
成熟期 (月・日)	9. 1 (5日早)	9. 4 (2日早)	9.26 (3日早)	9.26 (3日早)
精玄米重 (kg/a)	53.9 (88%)	56.6 (92%)	59.1 (94%)	56.5 (90%)
穂数 (本/m ²)	371 (89%)	397 (95%)	341 (88%)	343 (89%)
1穂粒数 (粒/本)	78.8 (101%)	80.4 (103%)	77.0 (104%)	75.9 (102%)
総粒数 (100粒/m ²)	292 (89%)	319 (98%)	263 (92%)	260 (91%)
登熟歩合 (%)	84.2 (-0.5)	83.5 (-1.2)	93.7 (+1.9)	92.4 (+0.6)
千粒重 (g)	21.9 (100%)	21.2 (97%)	24.0 (101%)	23.5 (99%)
良質粒率 ¹⁾ (%)	78.4 (+1.5)	70.6 (-6.3)	95.1 (+11.7)	66.2 (-17.2)

1) 良質粒率は、品質判定機(静岡精機RS-2000)による調査結果を示す。

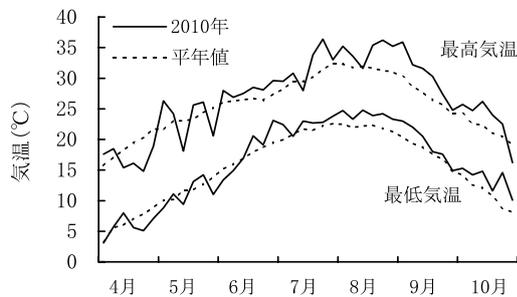
2) ()内は数字は、対平年比あるいは対平年差を示す。

3) 「コシヒカリ」は5月10日植え、「日本晴」は5月25日植えである。

の、6月中旬から7月中旬が日照不足であったため分けつ出現が緩慢となり、茎数は少なく、草丈が長くなるなど、軟弱徒長気味の生育となった。7月中旬以降は、一転して高温多照で推移したことから生育は回復し、出穂期および成熟期は、平年よりも2～3日早かった(第5図、第5表)。

収量構成要素の中では、1穂籾数がやや多かったものの、穂数が少なく、総籾数は「日本晴」で平年より1割程度減少し、精玄米重は「コシヒカリ」、「日本晴」とともに1割程度減収した。玄米外観品質は、基白粒や乳白粒などの白未熟粒が多く、平年より劣った(データ省略)。

2009年は、5月下旬から6月上旬、7月から8月前半の日照時間が少なく、穂数が平年比89～96%と少なく、1穂籾数が平年並～やや多にとどまったため、籾数が平年比約90%となった。登熟歩合と千粒重はほぼ平年並であり、精玄米重は平年より少なかった。特に「コシヒカリ」では、平年比88%と少なかった。玄米外観品質は、総じて平年



第5図 2010年水稲作期の気温の推移

データは、京都府農林水産技術センター(亀岡市)における半月毎の平均値を示す。

より良好であった(第5表)。

(3) 米品質低下要因の解析

2010年は籾数過多の傾向はみられず、白未熟粒などによる品質低下は、主として気象要因によるものと考えられる。2010年の夏期は記録的な猛暑となり、京都府農林水産技術センターでは、7月下旬に7日間、8月に16日間、9月上旬に5日間の猛暑日を観測した。また、7月第4半旬から平均気温が27℃以上、7月第6半旬から最低気温が23℃以上で推移し、いずれも9月第1半旬まで続いた(第6図)。これらの時期は、水稲の出穂期から登熟期間にあたり、出穂後20日間の最低気温が23℃以上、かつ、平均気温が27℃以上で推移したため、白未熟粒が多発した^{20, 58)}と考えられる。

2010年は過去の品質低下年と異なり、先述のとおり早生品種よりも中・晩生品種において、白未熟粒の発生が顕著であった。この要因として、①中・晩生品種の出穂後20日間にあたる8月下旬から9月上旬の気温が、例年になく高温条件であったこと、②中・晩生品種の「祭り晴」および「ヒノヒカリ」は、いずれも高温登熟性が「弱」に分類され⁶⁸⁾、「やや強」～「中」に分類される早生品種の「コシヒカリ」、「キヌヒカリ」^{10, 68)}よりも高温の影響を大きく受けたことが推察される。

(4) 今後の技術対策と研究課題

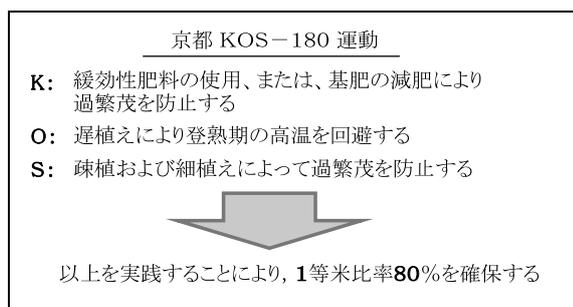
2010年のような異常高温の発生頻度を正確に予測することは困難であるが、温暖化の進行が危惧される中、今後もこのような高温が起こり得ることを

	月	7月						8月						9月					
	半旬	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
気象要因	最高気温 35℃以上						○	○			○	○	○	○					
	平均気温 27℃以上					○	○	○	○	○	○	○	○	○					
	最低気温 23℃以上			○			○	○	○	○	○	○	○	○					
水稲生育 ステージ	早生品種						←	→	←	→	←	→	←	→	←	→	←	→	
	中・晩生品種									←	→	←	→	←	→	←	→	←	→

第6図 京都府における2010年の気象の推移と水稲生育ステージ

念頭に置き、対応策を検討する必要がある。

白未熟粒の多発による品質低下は、直接的には出穂後20日間の高温が原因といえるが、このような環境下においても、品質低下を可能な限り軽減しうる生育を実現することが重要である。具体的には、



第7図 京都 KOS-180 運動の展開

第6表 京都府内で品質低下の少なかった生産者の事例

・品質良好であったほ場は、中山間で冷涼な気候であり、水は水温の低い谷水を利用。
・田植えは遅め(6月15日)、施肥は緩効性肥料基肥一発施用のみとしたほ場では、約1割減収したが品質は良好であった。
・疎植、遅植え、やや早刈りをし、こまめな水管理を実施。
・基本技術の徹底。こまめなかん水(暑い時期はかけ流しも実施)、遅植え(6月10日)、やや早刈りを実施。
・水管理に留意し、特に出穂後はほ場が乾燥しないように注意した。
・遅植え(6月5日)をし、例年よりも水管理に留意した。
・例年かけ流しを1週間程度実施しているが、今年は半月程度に延長。
・基肥に速効性肥料を施したほ場では、株が張りすぎて穂が短く、細粒で乳白が多かったが、緩効性肥料を施したほ場では収量・品質ともに平年並であった。
・品質良好であったほ場の肥料は有機質肥料を用い、基肥減肥で籾数が少なかった。
・有機質肥料を用いたほ場で、概して品質良好であった。
・土作りに力を入れているほ場では品質良好であった。

注) 京都府内各農業改良普及センターが実施した生産者への聞き取り調査による。

初期生育を抑制し、1次分けつに由来する穂の割合を高める¹⁹⁾とともに、穂数を適正に保つことが必要である。

京都府では、2001年産米の高温による品質低下を踏まえ、早生品種の技術対策として「京都KOS-180」運動を提示、推奨してきた(第7図)。その内容は、施肥および栽植方法の改善により初期生育を抑制し、籾数を適正範囲とするとともに、遅植えなどにより登熟期間の高温をできる限り回避するというものである。また、2010年に品質低下が少なかった生産者の事例からは、「京都KOS-180」運動で示した対策に加えて、土作りや水管理を中心とした基本技術の励行が見て取れる(第6表)。これらは、2010年のような高温年にあっても、籾数の適正化と登熟期間の稲体を健全に保つことの重要性を示すものであり、早生品種のみならず、中・晩生品種でも「京都KOS-180」運動に示した対策を中心に、地力向上や水管理の徹底などを推進することが重要である。

これら対策を補強するため、玄米品質の高位安定化を実現する水稻生育相の解明、基肥の速効性窒素成分の割合と生育相・玄米品質との関係性、幼穂形成期以降の肥効と玄米品質との関係性などの研究、精査が必要となる。さらに、栽培面での取り組みに加え、中長期的には高温登熟耐性の強い品種への転換を検討していく必要がある。(藤田守彦)

3) 大阪府

(1) 近年の作柄や外観品質の状況

大阪府の水田面積は、都市化の進展とともに減少し、2010年は5,820haとなっている。平年単収は全国平均に比べ少ないものの、10年前の469kg/10aに比べ2010年は495kg/10aと増加傾向にある(第

第7表 大阪府産米の作況指数と1等米比率の推移

	2001年	2002年	2003年	2004年	2005年	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年
収量(kg/10a) ¹⁾	486	482	471	507	494	488	495	503	495	486
平年収量(kg/10a)	469	476	479	481	487	491	493	493	493	495
作況指数 ¹⁾	104	101	98	105	101	99	100	103	100	98
1等米比率(%) ¹⁾	72.0	71.0	68.8	75.8	73.4	73.7	65.9	56.4	65.4	19.1

1) 収量、作況指数、1等米比率は大阪農政事務所調べ。

7表)。作柄は、近年の10年間は作況指数98～105と安定している。一方、1等米比率は、2009年を除き2007年以降低下傾向が続いている。特に、2010年は19.1%と低く、以下で述べるように登熟期の高温が大きく影響した。

(2) 2009年産米と2010年産米の生育・品質の概況

2010年は1等米比率が大幅に低下したが、特に栽培面積の6割を占める「ヒノヒカリ」が4.9%と前年の78%から大きく低下した。

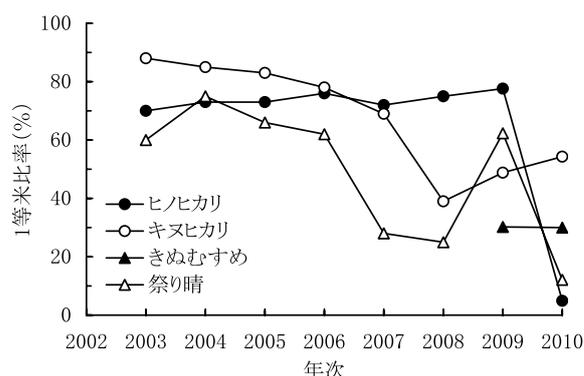
大阪農政事務所の検査結果から等級が落ちた原因として、「心白及び腹白」や「形質の不良」が多くあげられ、次いで「整粒不足」があげられている。大阪府環境農林水産総合研究所の玄米でも乳白米、背白、基部未熟粒などが多くみられた。

一方、北部中山間地の「キヌヒカリ」は1等米比率54.5%と前年の48.8%から上昇した。検査等級が落ちた原因は、2009年は「カメムシ類による着色粒」がほとんどであったが、2010年は斑点米カメムシの被害が減り、「形質の不良」がやや増加した。また、「きぬむすめ」は、30%と低いもの前年とほぼ変わらなかった。

(3) 米品質低下要因の解析

品種別の1等米比率の推移を第8図に示した。「ヒノヒカリ」は、2009年までは安定して70%以上の1等米比率があったが、2010年に大きく低下した。「ヒノヒカリ」は、8月22日～28日に出穂することから、8月から9月上旬にかけて平年比+2℃、30℃以上の記録的な高温（第8表）が外観品質の低下に影響したと考えられる。

「キヌヒカリ」は大阪府北部の中山間地を中心に約15%の作付けがあるが、2003年以降徐々に1等米比率は下がっている。2008年には39%と大きく低下した。2等以下に格付された主たる理由としては「カメムシ類による着色粒」があげられている。主な栽培地域が中山間地に位置し、大阪の平均気温に比べ2～3℃低く推移したことから、2010年には、白未熟粒などの発生は一部でみられたものの、1等米比率は54.5%（前年48.8%）であった。これ



第8図 大阪府産米の品種別1等米比率の推移
農林水産省の「米の検査結果」より作成した。

第8表 大阪府の旬別平均気温 (°C)¹⁾の推移

	8月			9月		
	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬
2010年	30.0	30.6	30.8	30.0	27.1	22.9
平年	28.7	29.0	28.3	27.0	25.1	22.8

1) 大阪気象庁調べ。

は、斑点米カメムシへの防除対策が効果をあげているものと考えられる。

「祭り晴」は2003年には約2割の作付けがあったが、徐々に栽培面積は減っている。1等米比率は、2007年に28%と大きく低下した。登熟期の平均気温が25.6℃と（平年比+1.9℃）と高温に推移したため、白未熟粒などの発生が多くなったと考えられる。2008年は、「カメムシ類による被害粒」による等級落ちが多くみられた。収量は上がるものの、品質低下による販売価格の落ち込みが大きく栽培面積は大きく減少した。

「きぬむすめ」は、2009年から作付けが始まっているが、2009年産米の1等米比率は30%程度と低く、主たる格下げ理由としては「カメムシ類による着色」が多く、次いで白未熟粒などの「形質の不良」があげられた。2010年産米の1等米比率も30%と横ばいであり、白未熟粒などの「形質の不良」や「カメムシ類による着色粒」が理由としてあげられている。「きぬむすめ」は「ヒノヒカリ」より3日程度早く出穂し、登熟期の平均気温も高くなるものの、2010年の1等米比率は30%であり、「ヒノヒカリ」より高かった。同熟期の「祭り晴」が

第9表 兵庫県における作柄の推移

		2001年	2002年	2003年	2004年	2005年	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年
収量(kg/10a)		514	505	479	482	509	494	495	519	493	486
作況指数	全県	105	102	97	97	101	98	98	103	98	96
	県北	106	102	94	101	102	87	97	101	94	99
	県南	105	102	97	98	101	98	98	103	99	96
	淡路	105	102	98	86	100	98	101	103	97	99

注) 農林水産省「農林水産統計」より作成した。当該年12月8日公表値。

第10表 兵庫県における水稻うるち玄米の検査数量および等級比率の推移

	2003年	2004年	2005年	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年
検査数量(トン)	55,278	51,125	60,531	62,236	59,476	69,721	65,025	60,663
1等(%)	64.1	62.7	68.2	57.8	64.2	58.7	60.8	23.1
2等(%)	28.8	26.1	22.4	30.4	26.7	27.3	25.2	50.0
3等(%)	6.5	8.1	6.6	6.1	6.2	5.1	5.3	18.4
規格外(%)	0.5	3.1	2.8	5.7	3.0	8.9	8.7	8.5

注) 農林水産省公表「米の検査結果」より作成。2003～2009年は翌年10月31日現在の速報値。2010年は2011年7月31日現在の速報値。

12.1%と大きく低下していることと比較しても、高温登熟耐性は比較的強い品種と考えられる。

(4) 今後の技術対策と研究課題

2009年から栽培が始まった「きぬむすめ」は高温登熟に比較的強く、一定の評価があるものの、「ヒノヒカリ」に替わる品種とはなっていない。今後の技術対応として、主力品種「ヒノヒカリ」に替わる高温登熟耐性品種の選定を進めていくことが必要である。

一方、現状での現地対応として、良食味の地場産米のブランドイメージも高い「ヒノヒカリ」の高品質生産に向け、①高温条件における施肥方法、栄養状態の違いと、外観品質、食味、収量の検討、②適正な水管理や土作りの励行と品質収量の関係などの研究課題に取り組む必要がある。また、穂肥など肥培管理の適正化、早期落水の防止、収穫時期の適正化、斑点米カメムシ防除の徹底などの一般管理の周知を進める。(小坂吉則)

4) 兵庫県

(1) 近年の作柄や外観品質の状況

2001～2010年の10年間に作況指数が100以上になったのは4カ年のみで、特に2006年からの5年

第11表 兵庫県奨励品種の品種別の検査数量と検査等級 (2010年度)

品種	検査数量(トン)	検査等級(%)			
		1等	2等	3等	規格外
コシヒカリ	24,813	41.0	53.7	4.9	0.4
キヌヒカリ	15,920	6.8	53.4	37.6	2.2
ヒノヒカリ	10,303	15.1	59.1	24.7	1.1
どんとこい	710	11.0	82.1	6.6	0.4
日本晴	452	35.4	54.3	9.1	1.2
きぬむすめ	268	54.3	41.5	2.9	1.3

注) 農林水産省公表「平成22年産米の検査結果」より作成。2011年7月31日現在の速報値。

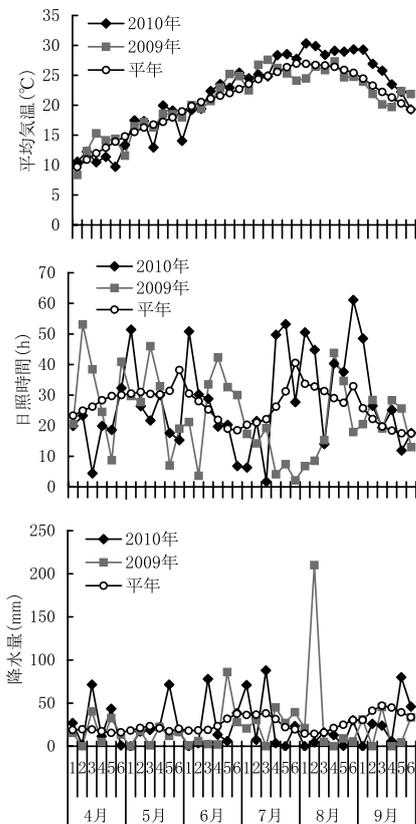
間のうち4カ年が作況指数100未満で、作柄が劣る傾向が続いている(第9表)。一方、1等米比率は50～60%を保持していたが(第10表)、2010年は23.1%と大きく低下した。作付面積の90%以上を占める「コシヒカリ」、「キヌヒカリ」、「ヒノヒカリ」の1等米比率は、「キヌヒカリ」が2002年を除いて40～50%と低いものの、「コシヒカリ」と「ヒノヒカリ」は2002年以降70～80%で安定していた。しかし、2010年は、「コシヒカリ」が41.0%と中程度であったのに対して、「キヌヒカリ」は6.8%、「ヒノヒカリ」は15.1%となり、この2品種の品質低下が県全体の1等米比率に大きな影響を与えたといえる(第11表)。

(2) 2009年産米と2010年産米の生育・品質の概況

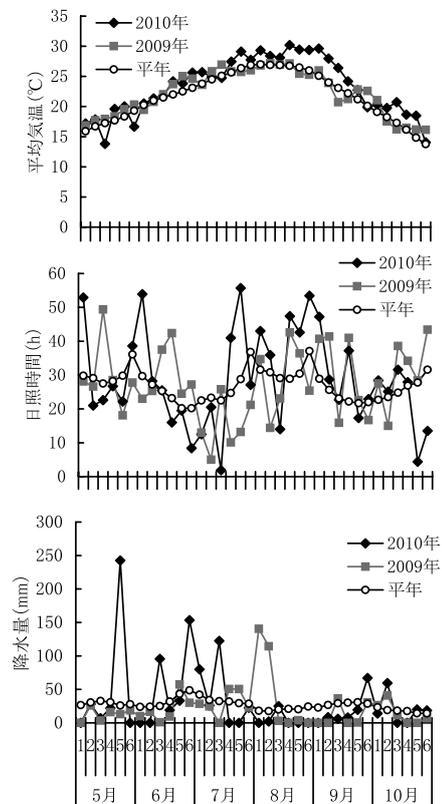
2009年産米の生育の概況を兵庫県内の地域別に見ると、県北は7月5半旬～8月3半旬は多雨、低温、寡照で茎数は少なめに推移した。その後も雨天の日が多く、低温傾向で日照も少なかった。また、台風9号の影響による集中的な降雨があり、倒伏が多かった(第9図)。作況指数は94であった。県南は7月3半旬まではやや高温であったが、その後は9月4半旬まで低温、少日照傾向が続いた。茎数は平年並み～やや多かった。9月5半旬～10月1半旬は高温傾向で多雨、低日照であったが、以降は低温傾向であった(第10図)。作況指数は99であった。淡路は気温、降水量は県南と同様の傾向であった。日照時間は変動が大きかったが、7月4半旬～8月3半旬は低日照であった(第11図)。作況指数は97となり、県全体では98であった。品質の概況は、9月以降の気温低下が大きく、「ヒノヒカリ」を主とする中生以降の品種で登熟不足となった。うるち

米全体の1等米比率は60.8%、2等以下の格付理由1位は「整粒不足」(46.5%)であった(第12表)。

一方、2010年産米を見ると、県北は6月2半旬までは平年に比べてごく低温であったが、その後高温となった。梅雨明け後の7月4半旬から9月4半旬までは記録的な高温、少雨で日照も多かった(第9図)。茎数は、生育初期に大幅に分げつ出現が抑制されたことにより、その後もごく少なく推移した。穂数の減少を1穂粒数の増加が補い、作況指数は99となった。県南は高温傾向で、特に梅雨明け以降の7月4半旬からは記録的な高温、少雨で日照も多かった。茎数はやや少なかった。その後も9月4半旬までごく高温、少雨、多照で残暑が厳しかった(第10図)。作況指数は、穂数が少なくなったことを受けて、96であった。淡路も県南と同様に梅雨明け以降の7月4半旬から記録的な高温、小雨、多照で、これが9月4半旬まで続き残暑が厳しかった(第11図)。作況指数は99となり、県全体では96で



第9図 2009, 2010年の兵庫県県北地域における平均気温, 日照時間, 降水量の推移
データはアメダス(豊岡)の観測値。横軸は半旬/月を示す。

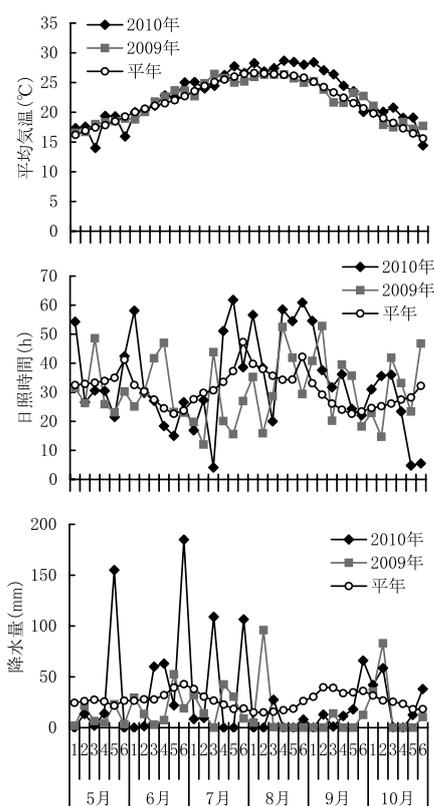


第10図 2009, 2010年の兵庫県県南地域における平均気温, 日照時間, 降水量の推移
データはアメダス(福崎)の観測値。横軸は半旬/月を示す。

あった。品質の概況は、うるち米全体の1等米比率は23.1%と悪く、9月4半旬まで真夏並みの高温であったため、2等以下の格付理由1位は「心白・腹白」(46.5%)であった(第12表)。

(3) 米品質低下要因の解析

2010年の気象感応調査の結果を第13表に、兵庫



第11図 2009, 2010年の兵庫県淡路地域での稲作期間における平均気温, 日照時間, 降水量の推移

データはアメダス(洲本)の観測値。横軸は半旬/月を示す。

県立農林水産技術総合センター農業技術センター(加西市)および同北部農業技術センター(朝来市)における半旬ごとの平均気温と日照時間の推移を第12図に示した。

a 気象感応調査からみた作柄・品質低下の実態

2010年の「コシヒカリ」は、穂数は少なかったが1穂粒数が多く、平年収量比は113(2009年105)であった。「キヌヒカリ」は、穂数がごく少なくなったため平年収量比は92(同117),「ヒノヒカリ」も穂数が少なかったことから平年収量比は92(同106)であった。検査等級は、「コシヒカリ」は基部未熟粒, 乳白粒が多く2等下(2009年1等中), 「キヌヒカリ」が乳白粒, 基部未熟粒が多く規格外(同2等下), 「ヒノヒカリ」も同様に規格外(同1等中)であった(第13表)。

第12表 2009年と2010年の兵庫県における2等以下の格付理由と比率(%)

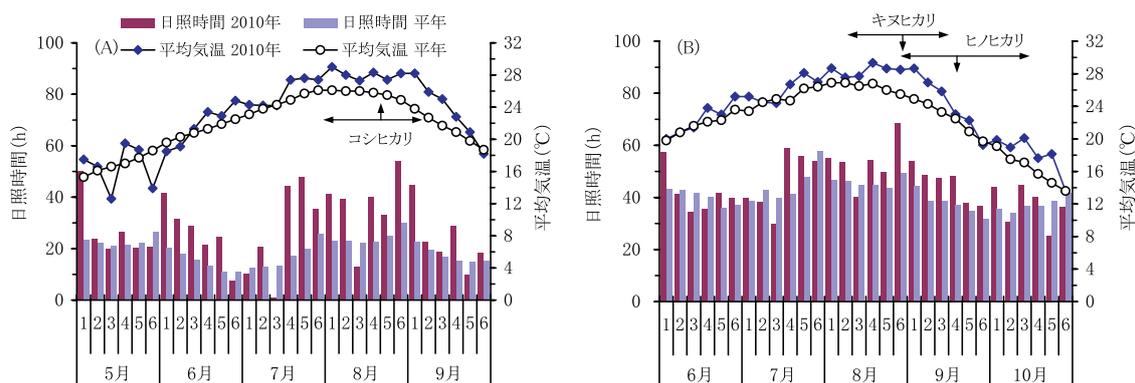
格付理由	2009年	2010年
整粒不足	46.5	32.2
充実度	9.6	2.0
心白・腹白	21.2	46.5
形質・その他	2.4	8.6
胴割粒	3.1	0.8
被害粒その他	0.6	0.7
死米	1.7	0.2
着部分カメ	11.0	7.7
着色粒その他	0.7	0.3
異種穀粒	3.1	1.0

注) 近畿農政局兵庫農政事務所公表資料「米穀検査概要・米格付理由調べ結果集計表」より作成した。翌年1月31日現在の速報値。

第13表 2010年度気象感応調査の調査成績(兵庫県)

品種	年次	移植期 (月.日)	最高茎数 (本/㎡)	出穂期 (月.日)	成熟期 (月.日)	穂数 (本/㎡)	1穂粒数 (粒/本)	総粒数 (千粒/㎡)	登熟歩合 (%)	収量 (kg/a)	千粒重 (g)	検査等級
コシヒカリ	2010年	5.10	363	7.30	9.4	310	114	38.8	76	63.0	21.7	2下
	平年比・差	-	63	-1	-5	73	152	119	96	113	98	
キヌヒカリ	2010年	6.1	364	8.8	9.15	311	83	25.8	86	52.1	21.0	外
	平年比・差	-	79	0	-1	76	108	82	105	92	97	
ヒノヒカリ	2010年	6.15	441	8.28	10.14	366	76	27.8	87	56.6	21.9	外
	平年比・差	-	101	-1	-4	93	97	90	100	92	98	

注) 「コシヒカリ」は兵庫県立農林水産技術総合センター北部農業技術センター(朝来市), 「キヌヒカリ」と「ヒノヒカリ」は同農業技術センター(加西市)で栽培して調査した。「コシヒカリ」の検査等級は兵庫農政事務所地域第二課, 「キヌヒカリ」と「ヒノヒカリ」の検査等級は同地域第四課調べによる。



第12図 兵庫県立農林水産技術総合センター北部農業技術センター（朝来市，A）と同農業技術センター（加西市，B）の2010年の日照時間と平均気温の推移

各品種の登熟期間は、兵庫県立農林水産技術総合センターの2010年度気象感応調査の結果によるものであり、 \leftrightarrow は各品種の登熟期間を、 \downarrow までが出穂後20日間を示す。横軸は上が半月、下は月を示す。

b 気象的要因

北部農業技術センターでは、6月2半旬まで平年より気温が低く、それ以降は概ね高温であった。一方、日照時間は6月6半旬から7月1半旬、7月3半旬以外は平年よりかなり多かった。農業技術センターでは、7月2半旬前後が平年並みの気温であったが、そのほかの時期は概ね高温で推移した。特に8月4半旬から6半旬までごく高温となった。日照時間は、6月3半旬、4半旬、7月3半旬を除いて平年並みであり、その後は8月3半旬を除き、多照で経過した。

登熟期間の気象経過をみると、登熟気温（出穂後20日間の平均気温）はいずれの品種においても平年より2℃程度高かった。特に、「ヒノヒカリ」では平年より3℃高かった。日照時間は、「コシヒカリ」は8月3半旬を除いてごく多照に、「キヌヒカリ」は8月3半旬を、「ヒノヒカリ」は10月2半旬を除いて、それぞれ多照となった。

c 生育要因

第13表の収量構成要素をみると、いずれの品種も千粒重の大きな減少はみられなかった。「コシヒカリ」、「キヌヒカリ」は穂数が極端に減少した。しかし、「コシヒカリ」では補償作用が働いて1穂粒数が極端に増加し、総粒数がごく多くなった。「キヌヒカリ」では1穂粒数が増加したものの、総粒数がごく少なくなった。「ヒノヒカリ」は穂数、1穂

粒数とも減少して、総粒数も少なくなった。登熟歩合は「コシヒカリ」で低くなり、「キヌヒカリ」は高く、「ヒノヒカリ」は平年並みとなった。

d まとめ

以上のことから、2010年の品質低下の要因として、登熟期の著しい高温が考えられる。登熟気温をみると、「コシヒカリ」は28.0℃（7月31日～8月19日）、「キヌヒカリ」は28.4℃（8月9日～28日）、「ヒノヒカリ」は26.9℃（8月29日～9月17日）となった。「キヌヒカリ」、「ヒノヒカリ」は記録的な夏期高温のため、品質低下が大きかったと考えられる。特に、「ヒノヒカリ」はこれまで登熟気温が26℃以上になったことがなく、これによって品質低下が大きかったと考えられる。さらに、「コシヒカリ」では総粒数の過多も影響したと考えられる。

(4) 今後の技術対策と研究課題

これまで、実施してきた高温障害対策は以下のとおりである。

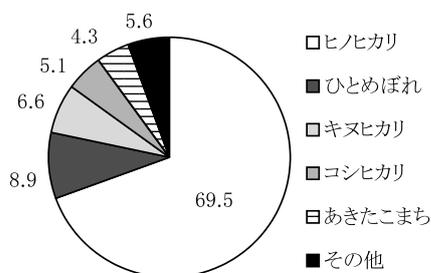
県北部の「コシヒカリ」は、2001年に1等米比率がそれまでの90%程度から47%に低下した。そこで、移植時期を5月初旬から10日～20日遅らせた。また、出穂20日前の穂肥を5日程度遅らせるとともに、40%減肥することで、2004年には1等米比率が89%に回復した。

淡路地域の「キヌヒカリ」では、6月20日前後

第14表 奈良県における収量と作況指数の推移

	2003年	2004年	2005年	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年
収量(kg/10a)	489	519	510	505	509	520	511	505
作況指数	97	103	100	99	99	101	100	98

注) 農林水産省公表統計により作成した。



第13図 奈良県における2010年水稻作付け比率 (%)
奈良県農業水産振興課調べにおける推計値をもとに作成した。

に移植，9月末までに収穫する体系としていたが，8月15日を過ぎると落水していたため，降水がない場合には品質低下が大きかった。そこで，早期落水を行わず，収穫10日前まで圃場に入水することで，品質低下が小さくなり一定の効果が認められた。

県中南部では，新たに「きぬむすめ」を2010年に認定品種として導入した。兵庫県の主要品種の1等米比率が低下した（「コシヒカリ」41.0%，「キヌヒカリ」6.8%，「ヒノヒカリ」15.1%）にもかかわらず，「きぬむすめ」は1等米比率54.3%と最も高かった（2011年7月31日現在）。「きぬむすめ」の作付面積は，2010年は80ha，2011年（計画）は300haである。

今後の技術対策としては，適期移植，収穫間際までの十分な土壌水分保持，高温時の葉色・生育に応じた施肥といった基本技術の徹底があげられる。そして，登熟期の高温回避のため，遅植えおよび直播栽培を実施する。

研究課題としては，遅植えと深耕の組み合わせ技術による収量・品質の改善，登熟期の水管理技術の開発（掛流し），高温登熟耐性に関する生理，遺伝的要因の解明，高品質米の生産地理条件の解明，そして，高温登熟耐性のある品種の選定と特性解明があげられる。
(松本純一)

第15表 奈良県における主食用うるち米と「ヒノヒカリ」の検査等級比率

年次	主食用うるち米 (%)				ヒノヒカリ (%)			
	1等	2等	3等	規格外	1等	2等	3等	規格外
2003	84.4	14.7	0.8	0.1	86.0	13.0	0.0	0.0
2004	90.0	8.2	1.6	0.2	96.0	4.0	0.0	0.0
2005	90.3	8.1	1.6	0.0	95.0	4.0	1.0	0.0
2006	88.6	9.9	1.5	0.0	95.0	4.0	0.0	0.0
2007	90.8	7.6	1.6	0.0	97.0	3.0	0.0	0.0
2008	92.8	6.2	1.0	0.0	97.0	3.0	0.0	0.0
2009	93.4	5.5	1.1	0.1	97.1	2.4	0.4	0.1
2010	14.6	73.1	11.8	0.5	4.3	82.1	12.9	0.7

注) 2003年～2009年の検査等級比率は，農林水産省より公表されている各産年の翌年10月31日現在「米の検査結果」より作成した。2010年は「平成22年産米の検査結果」（2011年8月31日現在）より作成した。

5) 奈良県

(1) 近年の作柄や外観品質の状況

奈良県的水稻奨励品種は8品種あり，主食用うるち米は5品種となっている。中でも「ヒノヒカリ」に作付けが集中しており，2010年の作付け比率は69.5%であった（第13図）。「ヒノヒカリ」は平坦部の大部分で作付けされているが，一部は標高300～400mまでの中山間部でも作付けされている。標高100m以上の中間部から山間部では，「ひとめぼれ」，「キヌヒカリ」，「コシヒカリ」，「あきたこまち」が作付けされており，その比率は「ひとめぼれ」が8.9%と高く，「キヌヒカリ」，「コシヒカリ」，「あきたこまち」は5%で概ね同程度となっている。また，「キヌヒカリ」は平坦部でも作付けされているが，2010年以前から白未熟粒の発生が多く，1等米比率の低い品種であったため，代替する高温登熟耐性の品種の検索を続けている。

奈良県における近年の作柄の推移を第14表に示した。2003年は寡日照と低温のため，穂数が減少し，作況指数97のやや不良であった。2004年は高温多照により穂数が増加し，作況指数103のやや良

第16表 奈良県における主食用うるち米奨励品種の検査等級比率 (%)

年次	ヒノヒカリ	キヌヒカリ	コシヒカリ	ひとめぼれ	あきたこまち	合計	
2009	1等	97.1	67.7	89.9	75.8	73.1	93.4
	2等	2.3	30.7	8.0	19.4	19.7	5.5
	3等	0.4	1.6	2.1	4.8	7.1	1.1
	規格外	0.1	-	0.0	0.1	0.1	0.1
2010	1等	4.3	52.2	68.4	63.2	37.0	14.6
	2等	82.1	41.2	28.0	28.6	43.0	73.1
	3等	12.9	6.6	3.6	8.2	19.7	11.8
	規格外	0.7	-	0.0	0.1	0.3	0.5

注) 農林水産省より公表されている「平成21年産米の検査結果」(2010年10月31日現在)と「平成22年産米の検査結果」(2011年8月31日現在)より作成した。

であった。2005年から2010年は概ね平年並みであった。

一方、品質については、平坦部を中心に作付面積のおよそ7割を占める「ヒノヒカリ」の1等米比率が2003年は86.0%とやや低めであったが、2004年以降は95%以上の高い水準で推移し、主食用うるち米合計の1等米比率も90%前後の比較的高い水準で推移していた。しかし、2010年は「ヒノヒカリ」の1等米比率は4.3%となり、うるち米合計の1等米比率も14.6%と大きく低下した(第15表)。

(2) 2009年産米と2010年産米の生育・品質の概況

a 2009年産米

7月下旬から8月上旬の日照時間が少なかったが、気温が平年並みに推移したため、穂数、1穂粒数ともに平年並みとなった。また、出穂期も平年並みであった。登熟は、9月以降の気象が順調に推移したため平年並みで、収量も平年並みとなった。

1等米比率は、「キヌヒカリ」、「あきたこまち」、「ひとめぼれ」が、それぞれ67.7%、73.1%、75.8%で他品種と比べ低かった(第16表)。格下げ理由は、「カメムシ類による着色粒」、「整粒不足」、「胴割粒」が多かった。

b 2010年産米

6月中旬～7月中旬の寡照により茎数は少なく、穂数も少なかった。7月中旬以降の高温多照により、出穂期は平年に比べやや早くなった。1穂粒数は平年と比べやや多かったが、総粒数はやや少なくなった。7月中旬以降は高温多照で推移し、登熟は高温の影響はあったがやや良であった。成熟もやや早

第17表 奈良県における「ヒノヒカリ」の登熟期間の気象状況

年次	出穂期 (月・日)	日平均 気温 (℃)	日最高 気温 (℃)	日最低 気温 (℃)
2003	8.26	26.7	32.3	22.8
2004	8.25	25.4	30.3	21.5
2005	8.26	25.5	31.2	21.5
2006	8.23	25.4	31.5	21.2
2007	8.23	26.0	31.4	22.3
2008	8.20	24.6	29.6	21.1
2009	8.22	24.4	30.7	19.8
2010	8.22	28.3	35.3	23.6
平均	8.23	25.8	31.5	21.7

注) 平均気温、最高気温および最低気温は出穂後20日間の平均値を示す。出穂期は奈良県農業総合センターにおける作況連絡試験の調査結果を用い、気象データは奈良地方気象台の観測データを用いた。

かったが、収穫期は10月9～11日の降雨の影響で10月15日と平年より2日遅れとなった。

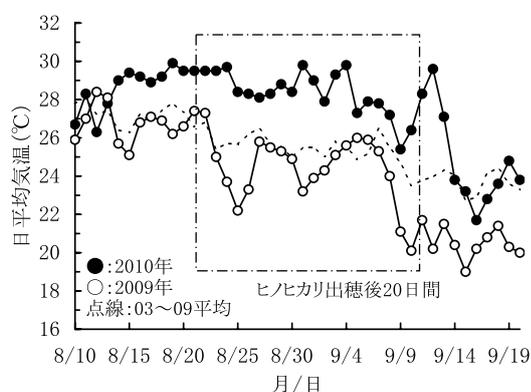
1等米比率はいずれの品種も2009年と比べ低下したが、「ヒノヒカリ」でその程度は特に大きく、前年と比べ92.8ポイント低い4.3%であった(第16表)。格下げ理由は、「整粒不足」、「心白及び腹白」、「充実度」、「カメムシ類による着色粒」が多かった。

(3) 米品質低下要因の解析

2003年から2010年までの「ヒノヒカリ」の出穂後20日間の気象状況を第17表に示した。白未熟粒が多発し、1等米比率が大きく低下した2010年の出穂後20日間の日平均気温は28.3℃であった。また、出穂後20日間の日平均気温が26.7℃と2010年

に次いで高温であった2003年も「ヒノヒカリ」の1等米比率は86.0%とやや低く、白未熟粒が発生していた。2004年～2009年は、いずれも「ヒノヒカリ」の1等米比率が95.0～97.1%と高い水準で推移しており、出穂後20日間の日平均気温は24.4℃～26.0℃であった。これらのことから、奈良県における「ヒノヒカリ」の1等米比率の低下には出穂後20日間の高温による白未熟粒の発生が関わっていると考えられる。

奈良県で「ヒノヒカリ」が作付される地域は、主に内陸性気候に属する県北西部の盆地地帯に集中しており、気温の日較差が大きくなりやすいため、「ヒノヒカリ」で白未熟粒の多発が問題となることは少なかった。しかし、2010年のように県北西部の「ヒノヒカリ」の出穂期にあたる8月下旬以降気温が高いまま推移し、白未熟粒が多発するとされている出穂後20日間の日平均気温が27℃に近づくと、白未熟粒が発生し始め、品質が低下したのではないかと考えられる（第14図）。



第14図 奈良県における「ヒノヒカリ」の出穂期前後の日平均気温の推移

出穂期は奈良県農業総合センターにおける作況連絡試験の調査結果を用いた。気象データは奈良地方気象台の観測データを用いた。点線の03～09平均は、2003年～2009年の平均値を示す。

(4) 今後の技術対策と研究課題

今後の技術対策として、極端な中干しを避け適切な時期での実施と、出穂後30日間は潤土状態を維持し、早期落水を避けることを推奨するとともに、「ヒノヒカリ」の温暖化に適応した遅植えの検討と、良食味かつ高温登熟耐性を有する有望な品種の選定を進める。（上田直也）

6) 和歌山県

(1) 近年の作柄や外観品質の状況

a 県内の作付け概要

和歌山県の2010年の水稲作付面積は7,620haとなっており、ここ数年概ね横ばいである。品種構成については、県北部と中部で「キヌヒカリ」「イクヒカリ」、南部で「コシヒカリ」が最も多く、これら極早生品種の作付けが7割近くを占めている。また、早生品種に次いで晩生品種である「ヒノヒカリ」も全体の1割ほどを占めており、県北部を中心として栽培が行われている。

b 作柄の推移

第18表に2001年から2010年までの和歌山県の作柄の推移を示した。作況指数は概ね100前後で安定しているが、2006年（作況指数93）や2007年（同96）はやや低下している。2006年は7月上旬からの日照不足により分けつ数の増加が抑えられて穂数が少なかったことによるもので、2007年は、7月上中旬の日照が平年より少なかったことや、台風襲来の影響によるものであった。

c 品質の推移

1等米比率は概ね35%前後で推移しているが、2010年産米は20.4%であり、この10年間で最も低い値となった（第18表）。

第19表に2等以下となった格下げ理由の内訳を示した。内訳の傾向は毎年同様であり、「心白粒、

第18表 和歌山県における水稲の作柄と1等米比率の推移

	2001年	2002年	2003年	2004年	2005年	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年
作況指数	102	101	97	100	100	93	96	102	100	99
1等米比率(%)	39.5	32.5	26.2	34.0	43.5	38.0	34.1	32.5	38.8	20.4

注) 作況指数は和歌山農政事務所調べより作成し、1等米比率は農林水産省「米の検査結果（速報値）」より作成した。

第19表 2等以下への格下げ理由の内訳 (%)

	2001年	2002年	2003年	2004年	2005年	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年
心白粒・腹白	49	34	33	42.8	20.4	29.7	36.7	38.4	27.0	47.5
胴割粒	8	8	22	2.2	—	—	—	—	—	—
充実度	10	22	13	14.1	—	10.3	—	4.2	—	—
整粒不足	—	—	—	7.0	8.4	10.3	15.0	20.2	30.0	17.8
着色粒その他	—	—	—	—	10.7	—	8.0	—	4.9	3.8
カメムシ類	12	18	6	15.0	28.3	19.5	15.0	14.7	11.6	12.4
その他未熟	6	4	13	—	—	—	—	—	—	—
形質その他	—	—	—	—	15.6	14.5	9.3	10.0	11.6	11.3
その他	15	14	13	18.9	16.6	15.7	16.0	12.4	14.9	7.2

注) 和歌山農政事務所取りまとめの検査成績 (累計) から作成した。

腹白粒 (背白粒も含む) が最も多く、次いで「整粒不足」「カメムシ類」などが格下げの主な理由となっているが、2005年産米については「カメムシ類」による斑点米の発生が28.3%で、格下げ理由の最も多くを占めた。また、2009年産米については、出穂期から登熟初期にかけて寡日照、低温となり、登熟が進まず「整粒不足」が多くを占めていた。

(2) 2009年産米と2010年産米の生育・品質の概況

a 2009年産米と2010年産米の生育概況

2009年は、育苗期の5月中下旬から7月中旬まで高温・少雨で推移し、分けつ数も平年より多く、生育は良好であった。しかし、梅雨明けが遅く、7月下旬から8月上旬までは平年より低温・多雨で推移したことや、8月下旬まで引き続き低温寡日照の状態が続いたことから、茎数は多かったものの穂数は平年並となった。また、1穂籾数は少なかった。登熟は早生品種で低温寡日照の影響によりやや不良となったが、9月下旬から10月上旬には平年より高温多日照となり、晩生品種では概ね平年並みとなった。

2010年は育苗期から田植期まで (4月下旬から6月下旬まで) 気温が低い日が多く、苗の生育に一部遅れがみられた。田植期以降も7月中旬まで日照不足により初期分けつが抑えられ、茎数はやや少なかった。しかし、出穂期以降は平年より気温が高い日が続き、日照時間も十分確保できたことから、生育は順調であった。登熟は出穂期以降、高温で推移したことから、概ね平年並みであった。

第20表 和歌山県における2009年産および2010年産米の主な奨励品種の検査等級の内訳

品種	年次	比率 (%)			
		1等	2等	3等	格外
ハナエチゼン	2009	29.1	64.2	4.6	2.1
	2010	34.9	54.1	8.8	2.3
	平均	40.6	51.6	7.1	1.3
イクヒカリ	2009	45.5	49.5	4.3	0.7
	2010	32.6	58.9	7.6	0.8
	平均	37.4	54.9	7.3	0.9
キヌヒカリ	2009	35.1	60.4	4.1	0.5
	2010	20.3	68.0	9.6	2.1
	平均	36.3	58.5	4.7	0.8
コシヒカリ	2009	6.9	69.9	20.3	2.9
	2010	3.2	66.0	23.3	7.5
	平均	12.8	69.8	15.6	1.7
ミネアサヒ	2009	50.1	39.4	9.7	0.8
	2010	19.2	60.0	19.0	1.8
	平均	34.7	53.3	10.4	2.0
日本晴	2009	30.2	68.5	0.7	0.6
	2010	3.1	63.8	31.9	1.2
	平均	29.3	65.5	4.2	0.7
きぬむすめ	2009	35.4	60.8	3.8	—
	2010	38.7	60.7	0.5	0.0
	平均	—	—	—	—
ヒノヒカリ	2009	58.4	39.1	2.5	0.0
	2010	9.8	74.6	13.9	1.7
	平均	44.1	47.9	7.5	0.7

注) 農林水産省の「米の検査結果」より作成した。平均は2003年から2009年の平均値 (「イクヒカリ」は2006年から2009年の平均値) を示す。ラウンドの関係で比率の合計が100にならない場合がある。

b 2009年産米と2010年産米の品質

2009年産米と2010年産米の品質概要について、それぞれの1等米比率をみると、2009年産米は38.8% (2001~2009年までの平均値35.5%) で比較的品質が良い年であったのに対し、2010年産米は20.4%と

2001年以降では最も低かった。

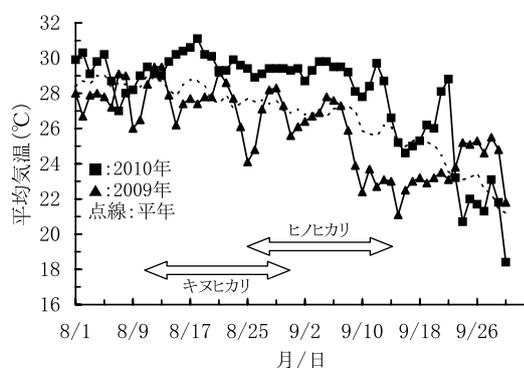
品種別にみると、「キヌヒカリ」などの成熟が早い品種では2009年産、2010年産、平均値、それぞれの等級の割合に大きな差がみられないのに対し、「ミネアサヒ」や「日本晴」、「ヒノヒカリ」では2009年産米や平均値と比べて2010年産米の2等以下の割合が高くなっており、品質の低下が顕著であった（第20表）。これらの等級格下げの主な理由は、2009年産米では「整粒不足」30.0%、「心白粒・腹白粒」27.0%、「カメムシ類」11.6%であったが、2010年産米では「心白粒・腹白粒」47.5%、「整粒不足」17.8%、「カメムシ類」12.4%であった（第19表）。

（3）2010年産米の品質低下要因の解析

a 登熟期の気温

2010年産米は、検査等級の格下げ理由にもあるとおり、「心白粒・腹白（背白粒も含む）」の発生が品質低下の主な要因であった。中でも、登熟期中後期、特に出穂後20日頃の高温により発生しやすい背白米や基部未熟粒が多くみられたことも特徴的であった。

和歌山市における8月から9月までの気温の推移（2010年、2009年、2000～2009年の平均値）を第15図に示した。2010年産米の登熟期の気象条件は、平年にくらべ9月中旬頃まで常に気温が高い状態であり、最高気温、最低気温、平均気温は概ね2℃程度高く推移し、白未熟粒の発生など玄米品質の低下



第15図 和歌山市における8月～9月の平均気温の推移
アメダス（和歌山）の観測値により作成した。平年（点線）は、2000年～2009年の平均値を示す。図注の白抜き矢印は、出穂期から出穂後20日目までの期間を示す。

を招いたと考えられる。また、2010年に特徴的なこととして、これまで比較的品質が安定していた「ヒノヒカリ」など成熟の遅い品種において品質の低下が目立った（第20表）。一般的に登熟期（特に出穂から出穂後20日頃まで）の平均気温が27℃を超えると背白粒など白未熟粒の発生が増えるとされている^{24, 68)}。平年であれば8月中旬頃から緩やかに気温は下がり始め、9月中旬頃には平均気温が25℃程度まで下がるため、晩生品種では登熟期に高温の影響を受けにくかった。しかし、2010年は平均気温が平年値に比べて2℃程度高く推移し、9月中旬頃まで30℃近い高温が続いたことから、「ヒノヒカリ」など成熟が遅い品種まで影響が出たと考えられる。

b その他要因

台風被害については、2010年に和歌山県に接近した台風が無く、品質への影響は無かった。

病害虫の発生状況については、2010年は梅雨明け後に雨が少なく、一部地域で斑点米カメムシの発生が多くみられた。検査による格下げ理由に占める割合が低いのは、格下げの主因ではないためである。また、2010年は普通期栽培の地域を中心として県内各地でコブノメイガの大発生があり、このことも品質低下を招いた一因となったと考えられる。

（4）今後の技術対策と研究課題

対策としては、適期移植、適切な肥培管理、適切な水管理、適期刈り取りなど、品質低下を防ぐための栽培管理の徹底を図ることがあげられる。また、高温登熟耐性に優れる品種の導入も有効であることから、併せて検討する必要がある。（足立裕亮）

2 中国地域における米品質低下の要因解析と対応策

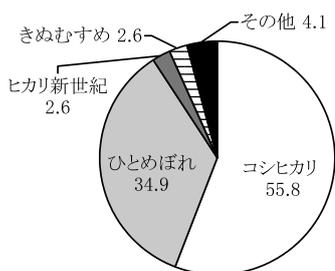
1) 鳥取県

（1）近年の作柄や外観品質の状況

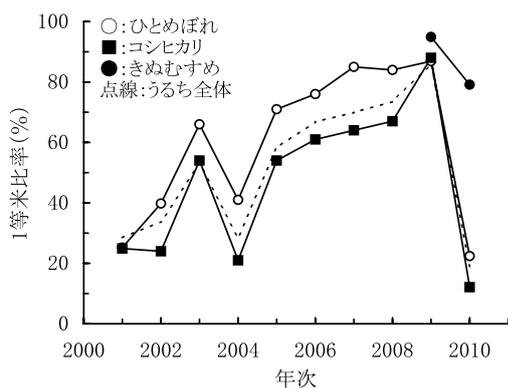
鳥取県の水稲奨励品種は10品種で、そのうち7品種がうるちである。その中で、「ひとめぼれ」と「コシヒカリ」の作付けが多く、うるち米全体の約9割を占めている（第16図）。

2003年以降の作況指数は、2008年を除いて100を下まわって推移している(第21表)。一方、1等米比率は、2001年、2002年および2004年に低下した(第17図)。2001年と2002年は、7～8月の高温による登熟障害が主たる原因であり、2004年は複数の台風による倒伏などが原因で品質が低下した。2005年以降、1等米比率は50%以上で推移しており、特に2009年には86%となったが、2010年は7月からの高温登熟障害によって20%にまで低下した。

このような傾向は、「ひとめぼれ」と「コシヒカリ」で同様であったが、「ひとめぼれ」に比べ「コシヒカリ」の方が1等米比率はやや低く推移している。また、「きぬむすめ」は、「ひとめぼれ」や「コシヒ



第16図 鳥取県における水稲作付面積割合 (%) (2010年)



第17図 鳥取県産米の1等米比率の推移
1等米比率は農林水産省の公表値より作図した。

第21表 鳥取県における2001～2010年の収量と作況指数の推移

	2001年	2002年	2003年	2004年	2005年	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年
収量(kg/10a)	540	537	464	485	510	483	475	515	481	507
作況指数	105	104	89	93	98	92	91	100	94	99

注) 農林水産省の公表資料より作成した。

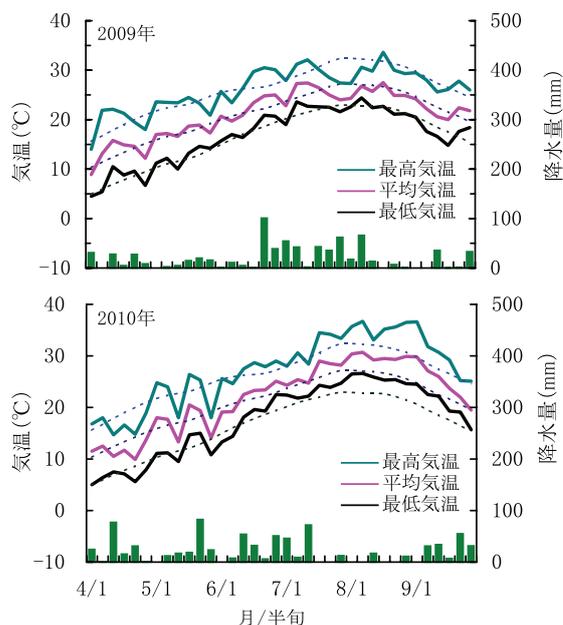
カリ」に比較して1等米比率は高く、特に2010年は79%と近県や鳥取県のお品種に比べて非常に高かった。

(2) 2009年産米と2010年産米の生育・品質の概況

2009年は、作況指数が94の不良年だったが1等米比率は高かった。2010年は作況指数が99と平年並みの作柄であったが1等米比率は非常に低かった。

a 気象条件の比較

2009年は5月中旬～6月上旬までやや低温で寡照となり、6月中下旬は好天に恵まれたものの、7月～8月中旬まで低温寡照が続き7月下旬～8月上旬は低温で推移した(第18図)。9月も上中旬は低温となった。8月中旬～9月の日照時間は並からやや高めで推移した(第19図)。



第18図 鳥取県鳥取市における2009年と2010年の気温と降水量の推移。

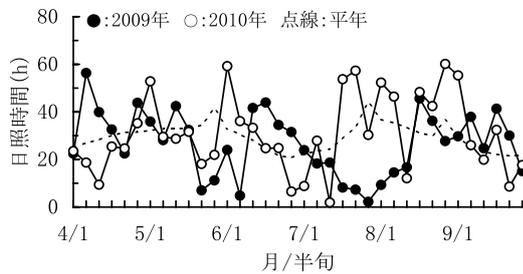
データは鳥取県鳥取市(標高7m)での観測値であり、半月毎の平均値で示した。点線は平年(1971～2000年の平均値)を示す。

2010年は5月～6月上旬まではほぼ低温で推移し、6月中旬～7月中旬は気温、降水量とも平年並で、日照時間は少なめだった。7月下旬～9月中旬にかけて高温、多照で推移した。

b 水稻の生育および収量の比較

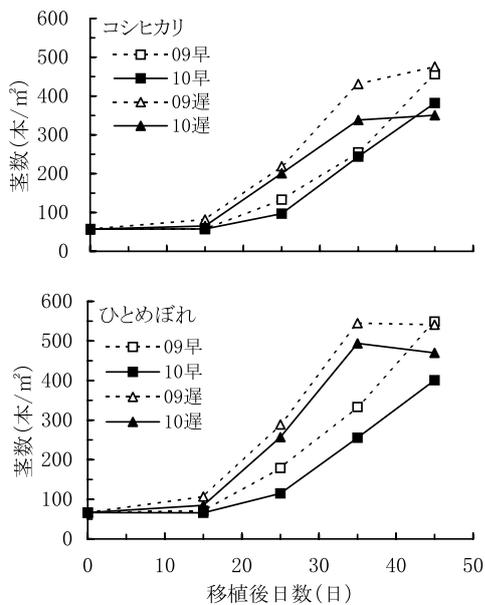
a) 「コシヒカリ」

茎数は5月11日植え（以下、早植）、5月25日植え（以下、遅植）とも2009年の方が多かった。この差は、特に田植後45日で大きかった（第20図）。2010年は早植、遅植とも5月～6月上旬の低温に



第19図 鳥取県鳥取市の2009年と2010年の日照時間の推移

データは鳥取県鳥取市（標高7m）での観測値であり、半月毎の平均値で示した。平年は、1971～2000年の平均値。



第20図 鳥取県農業試験場で実施した水稻作況試験における「コシヒカリ」と「ひとめぼれ」の茎数の推移

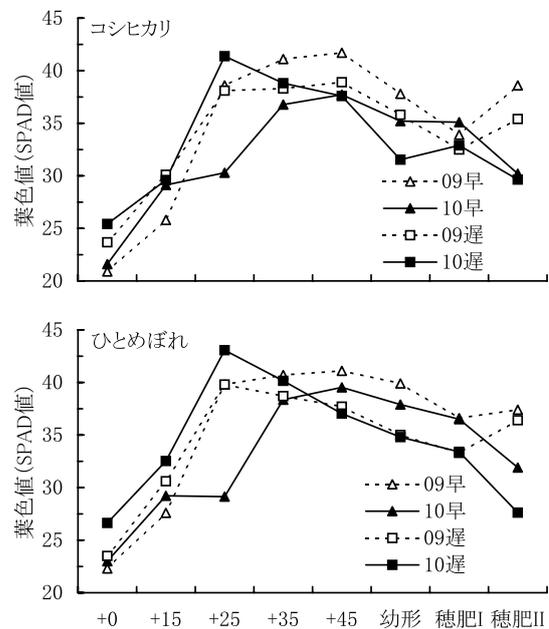
09と10は2009年と2010年を示し、早と遅は5月11日植え（早植）と5月25日植え（遅植）を示す。

より生育が遅れ、茎数が少なく推移したためと思われる。

葉色（SPAD値）は、早植では田植後15日から穂肥2回目の時期まで2009年の方が濃く推移した（第21図）。遅植では、田植後25日に2010年の方が濃くなっていたが、そのほかの時期は2009年の方が濃く推移した。また、2010年は早植、遅植とも穂肥2回目の時期の葉色（SPAD値）が穂肥を施用していたにもかかわらず穂肥1回目より淡くなっていた。

生育ステージについては、2010年は2009年に比べ出穂期が早植で1日、遅植で6日早まった（第22表）。収穫期は早植で4日、遅植で5日早まり、登熟日数は早植で3日短かったが、遅植はほとんど変わらなかった。2010年の出穂後20日間の最低気温の平均値は早植、遅植とも2009年より2.9～4.1℃高く、約26℃と登熟期にかなりの高温となった。

米の品質は、2009年に比較して2010年の方が劣り、早植では乳白粒、背白粒および基部未熟粒の発



第21図 鳥取県農業試験場で実施した水稻作況試験における「コシヒカリ」と「ひとめぼれ」の葉色値（SPAD値）の推移

09と10は2009年と2010年を示し、早と遅は5月11日植え（早植）と5月25日植え（遅植）を示す。+0～+45は移植後日数、幼形は幼穂形成期、穂肥Iと穂肥IIは穂肥1回目と2回目の施用時期を示す。

生により低下し、遅植では心白粒や背白粒の発生によって低下した(第23表)。この原因は、高温登熟障害のほか、穂数は少なかったものの1穂粒数が多くなり、総粒数が多くなったためと考えられる。

b) 「ひとめぼれ」

茎数は、早植、遅植とも田植後15日から2010年の方が少なく推移した(第20図)。これは「コシヒカリ」同様、2010年5月～6月上旬の低温による生育遅延によると考えられる。

葉色(SPAD値)は、早植で2009年が2010年より濃く推移した(第21図)。遅植は田植後35日までは2010年の方が濃く推移したが、その後は同程度で推移した。また、穂肥2回目施用時の葉色

(SPAD値)は、2010年では早植、遅植とも淡くなり、この傾向は「コシヒカリ」と同じであった。

生育ステージについては、2010年は2009年より出穂期が早植で2日、遅植で6日早まった(第22表)。収穫期は早植で7日、遅植で5日早まり、登熟日数は早植で5日早まったが、遅植はほとんど変わらなかった。2010年の出穂後20日間の最低気温の平均値は早植、遅植とも2009年より3.1～4.0℃高かった。これは、「コシヒカリ」と同様であった。

米の品質は、2009年、2010年とも遅植に比較して早植の方が劣り、2009年は充実不足や青未熟粒、2010年は白未熟粒の発生により低下した(第23表)。この原因としては、高温登熟障害のほか、1穂粒数の増加と登熟歩合の低下が考えられる。

第22表 鳥取県農業試験場の水稻作況試験における「コシヒカリ」と「ひとめぼれ」の出穂期、成熟期および登熟気温

品種 年次・作期	出穂期 (月・日)	収穫期 (月・日)	登熟日数 (日)	登熟気温 (℃)
コシヒカリ				
2009早	8. 2	9.11	40	23.2
2010早	8. 1	9. 7	37	26.1
2009遅	8.10	9.17	38	21.9
2010遅	8. 4	9.12	39	26.0
ひとめぼれ				
2009早	7.31	9. 9	40	23.0
2010早	7.29	9. 2	35	26.1
2009遅	8. 9	9.14	36	22.1
2010遅	8. 3	9. 9	37	26.1

注) 早と遅は田植え時期を示し、早は5月11日植え(早植)を、遅は5月25日植え(遅植)を示す。登熟気温は、出穂後20日間の最低気温の平均値を示す。

(3) 米品質低下要因の解析

a 気象的要因

鳥取県農業試験場の水稻作況試験における出穂後20日間の最低気温の平均値と玄米形質との関係を見ると、「ひとめぼれ」、「コシヒカリ」とも最低気温が高くなるにつれ基部未熟粒割合が高まった(第22図)。「コシヒカリ」では、最低気温が高まると整粒歩合が低下したが(第23図)、その低下には基部未熟粒割合の増加が影響したと思われた。「ひとめぼれ」では、そのような傾向はみられなかった。

出穂後20日間の最低気温が23～24℃を上回ると高温登熟による品質低下が起きるとされており⁵⁸⁾、これに基づいて鳥取県では概ね標高100m以下の地

第23表 鳥取県農業試験場の水稻作況試験における「コシヒカリ」と「ひとめぼれ」の収量構成要素等の年次比較

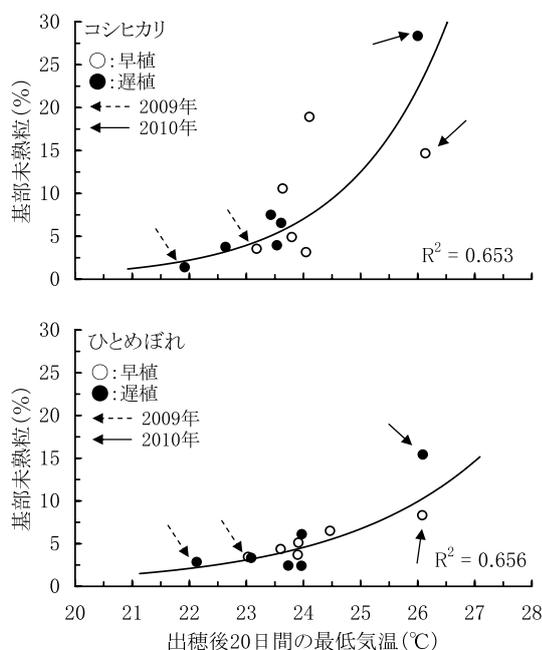
品種	年次・作期	穂数 (本/m ²)	1穂粒数 (粒/本)	総粒数 (千粒/m ²)	登熟歩合 (%)	精玄米重 (kg/a)	千粒重 (g)	1次枝梗率 ²⁾ (%)	検査等級 ³⁾ (1-9)	格付理由
コシヒカリ	2009早 ¹⁾	356	81.8	29.1	78.3	57.6	22.7	58.9	4.0	青未熟, 充実不足
	2010早	349	92.0	32.1	76.8	59.9	22.1	54.8	5.0	乳白, 背白, 基部未熟
	2009遅	333	83.6	27.8	80.0	58.2	23.6	59.6	3.0	
	2010遅	306	93.5	28.6	84.2	54.9	23.1	57.7	6.0	心白, 背白
ひとめぼれ	2009早	406	74.7	30.3	79.2	57.5	23.2	63.8	4.0	充実不足, 青未熟
	2010早	388	83.3	32.3	68.1	59.5	21.8	56.1	3.5	乳白, 背白
	2009遅	420	73.8	31.0	83.0	62.5	23.5	60.4	3.0	
	2010遅	371	71.8	26.7	85.2	60.0	23.5	65.0	2.5	

1) 早と遅は田植え時期を示し、早は5月11日植え(早植)を遅は5月25日植え(遅植)を示す。

2) 1次枝梗率は、代表株1株の全穂における1次枝梗の割合を示す。

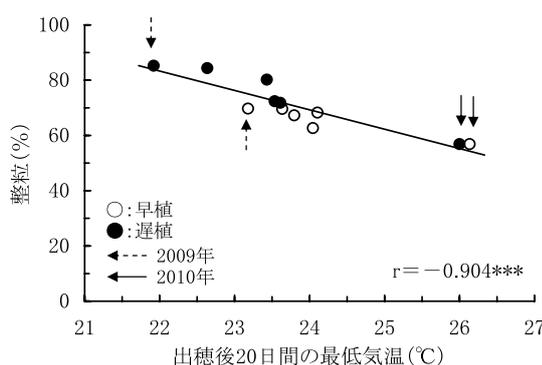
3) 検査等級は、1(1等の上)から9(3等の下)で評価した。

域の出穂後20日間の最低気温が23℃未満となるよう田植時期の晩期化を推進してきた。2010年は7月下旬～9月下旬までの長期にわたり高温が続いたため、その効果が明確に現れなかったものの、これ



第22図 出穂後20日間の最低気温と基部未熟粒の割合との関係（鳥取県農業試験場）

データは水稻作況試験（2005～2010年）の5月11日植え（早植）と5月25日植え（遅植）の結果を示す。玄米外観品質は、穀粒判別器（株式会社サタケ、RGQI 20A）で測定した。



第23図 出穂後20日間の最低気温と整粒歩合との関係（鳥取県農業試験場）

データは水稻作況試験の「コシヒカリ」（2005～2010年）の5月11日植え（早植）と5月25日植え（遅植）の結果を示す。最低気温はアメダスの観測値を用いた。玄米外観品質は、穀粒判別器（株式会社サタケ、RGQI 20A）で測定した。5月11日植えと5月25日植の相関係数は、それぞれ-0.916**と-0.961**であった。*、**および***は、それぞれ5%、1%および0.1%水準で有意であることを示す。

までの対策は有効であると思われた。

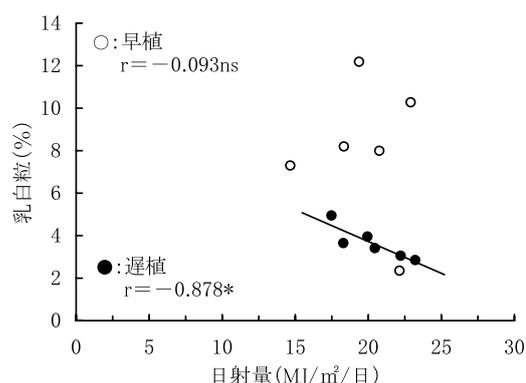
また、出穂後20日間の日射量と乳白粒割合との関係に関しては、「コシヒカリ」では早植と遅植の両作期で密接な関係は認められなかった（データ省略）。「ひとめぼれ」でも早植では関係は認められなかったが、遅植で日射量が多くなると乳白粒割合がわずかに低下した（第24図）。ただし、乳白粒割合は、後で述べる総粒数と両品種とも関係しており、日射量の影響に関しては、さらなる検討が必要である。

b 生育要因

a) 稲体の窒素濃度との関係

稲体の窒素濃度と玄米形質との関係をみるため穂肥2回目施用時の葉色（SPAD値）と整粒歩合、玄米窒素含有率と整粒歩合との関係を検証した。その結果、穂肥2回目施用時期の葉色と整粒歩合、その他形質との関係は「ひとめぼれ」、「コシヒカリ」ともみられなかった（データ省略）。

玄米窒素含有率と基部未熟粒割合は、「ひとめぼれ」では関係がみられなかったが、「コシヒカリ」の早植で玄米窒素含有率が高まるほど基部未熟粒割合が低くなる傾向がみられた（第25図）。



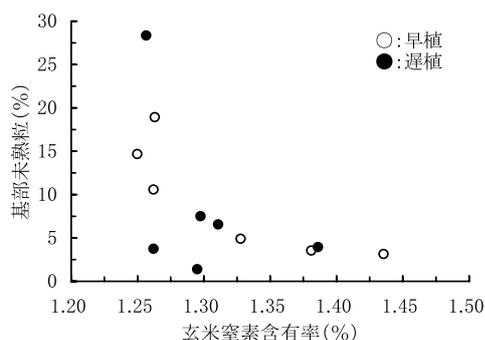
第24図 出穂後20日間の日射量の平均値と乳白粒の割合との関係（鳥取県農業試験場）。

データは水稻作況試験の「ひとめぼれ」（2005～2010年）の5月11日植え（早植）と5月25日植え（遅植）の結果を示す。日射量は、アメダスの日照時間データを「アメダスデータのメッシュ化プログラム」（農業環境技術研究所）を用いて日射量へ変換した。玄米外観品質は、穀粒判別器（株式会社サタケ、RGQI 20A）で測定した。*とnsは、それぞれ5%水準で有意と有意でないことを示す。

b) 籾数との関係

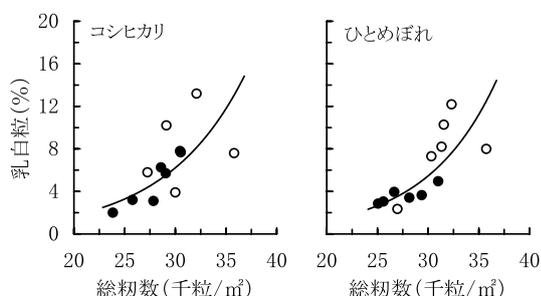
穂数, 1穂籾数と整粒歩合, 玄米形質については, 「ひとめぼれ」, 「コシヒカリ」とも関係がみられなかった(データ省略).

総籾数と整粒歩合については, 「ひとめぼれ」は早植で総籾数が多くなるほど整粒歩合が低くなる傾向がみられたが, 「コシヒカリ」では傾向がみられなかった(データ省略). 形質別で見ると「ひとめぼれ」, 「コシヒカリ」とも総籾数が多くなるほど乳白粒割合が高まり, 遅植に比較すると早植で総じて総籾数が多かった(第26図). これまでに籾数が多くなると乳白粒の発生が多くなることがいわれており²¹⁾, 第26図の結果もこの報告に一致する. 鳥取県では適正な籾数確保を推進してきたが, その有効



第25図 玄米窒素含量率と基部未熟粒の割合との関係 (鳥取県農業試験場)

データは水稲作況試験の「コシヒカリ」(2005~2010年)の5月11日植え(早植)と5月25日植え(遅植)の結果を示す. 玄米窒素含有率は米食味・品質分析計(株式会社ニレコ)で測定し, 玄米外観品質は穀粒判別器(株式会社サタケ, RGQI20A)で測定した.



第26図 総籾数と乳白粒の割合との関係 (鳥取県農業試験場)

データは水稲作況試験(2005~2010年)の5月11日植え(早植, ○)と5月25日植え(遅植, ●)の結果を示す. 玄米外観品質は穀粒判別器(株式会社サタケ, RGQI20A)で測定した.

性が裏付けられたと考えている.

(4) 今後の技術対策と研究課題

鳥取県では, 今後の技術対策として以下を推進している.

- 平坦部での遅植への推進: 高温登熟を避けるため概ね標高100m以下の地域の出穂後20日間の最低気温が23℃未満となるよう遅植とする.
- 適正な籾数に制限する(穂相を改善する施肥法の徹底, 追肥の省略を避ける): 「コシヒカリ」においては, 総籾数27~28千粒/㎡とする. 稲体の栄養を健全に保つため, 幼穂長10mm時の茎数と葉色(SPAD値)をみて施肥の時期を決める.
- 適期収穫の厳守(積算気温1,000℃(「コシヒカリ」)の徹底)
- 品種構成の検討: 適期作業と危険分散.
- 水管理の徹底(中干しの徹底, 早期落水の防止)
- 土作り, 深耕の実施

今後も続くと思われる地球温暖化に伴う異常気象に対応するため, 高温登熟性品種の育成, 導入を検討する必要があると思われる. (角脇幸子)

2) 島根県

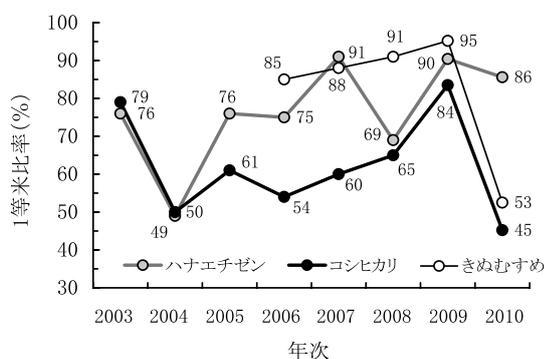
(1) 近年の作柄や外観品質の状況

島根県の主食用うるち米の奨励品種は, 「コシヒカリ」, 「きぬむすめ」, 「ハナエチゼン」の3品種である. 2010年の作付面積は, 「コシヒカリ」が71%を占めており, 次いで「きぬむすめ」が20%, 「ハナエチゼン」が4%となっている. 2003年以降の作柄の推移を第24表に示した. 平年作以上となった年は2カ年で, 他の年は平年を下まわった. 特に, 夏期低温となった2003年は作況指数90と作柄が不良となった. 一方, 1等米比率は, 第27図のとおり同じ年次でも品種によって大きく異なった. 「ハナエチゼン」が「コシヒカリ」より優れる年が多く, 夏期高温となった2010年は顕著にその差が現れた. 近年, 「コシヒカリ」の1等米比率は60%前後で推移していたが, 2009年は84%と品質が良好となった. しかし, 異常な夏期高温となった2010年は45%まで急落した. 2006年から本格的に栽培が始

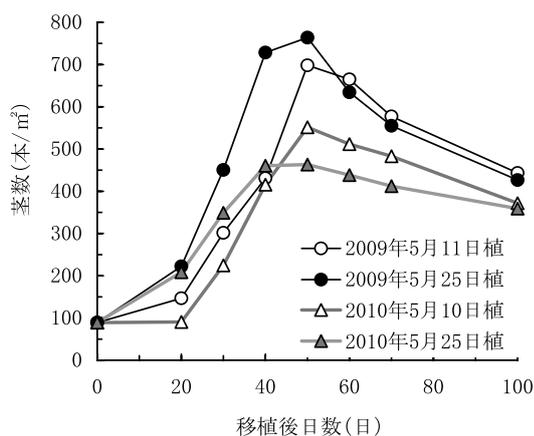
第24表 島根県における作柄の推移

	2003年	2004年	2005年	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年
収量(kg/10a)	454	492	516	488	484	511	490	482
作況指数	90	97	102	96	95	100	96	95

注) 農林水産省の公表資料より作成した。



第27図 島根県主要品種の1等米比率の推移
農林水産省資料より作成した。



第28図 作況試験における「コシヒカリ」の茎数の推移
(島根県農業技術センター)

また「きぬむすめ」は、2009年までは1等米比率が安定して高かったが、2010年は整粒不足により著しく低下した。

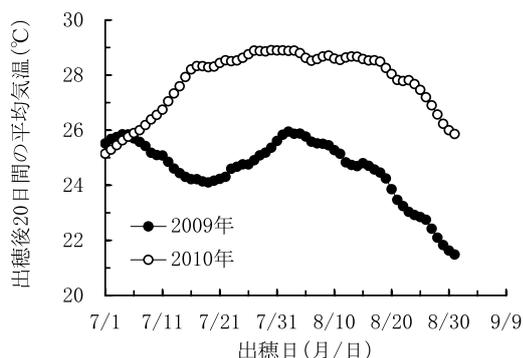
(2) 2009年産米と2010年産米の生育・品質の概況

2009年は、生育中期まで気温がほぼ平年並みに経過し、生育中期に多日照であったことから茎数が多くなった(第28図)。一方、2010年は、6月第2半旬まで平年より気温が低く、初期生育が劣り茎数および穂数とも前年より少なくなった。また、両年の登熟期間の8月、9月の気象は対照的で、2009

年が平年より気温が低かったのに対し、2010年は平年より平均気温で約2℃高かった。8月の日照時間は2009年が平年の74%と少なかったのに対し、2010年は122%と多かった。一方、品質については、2009年は1等米比率が高く、目立つ格下げ要因は無かったが、2等以下に格付けされたもののうち「未熟粒」によって「ハナエチゼン」で22%、「コシヒカリ」で34%、「きぬむすめ」で42%が格下げになった。「コシヒカリ」で近年格下げの要因の約40%を占めている「乳心白粒」は、21%と少なかった。2010年は、3品種とも例年は格下げ要因としてあがらない「整粒不足」が1位であった。品種別に主な等級格下げ要因をみると、「コシヒカリ」では「整粒不足」で51%、「心白・腹白粒」で38%、「カメムシ被害」で6%が格下げになった。「きぬむすめ」では、「整粒不足」で60%、「心白・腹白粒」で27%、「カメムシ被害」で7%、「ハナエチゼン」では、「整粒不足」で49%、「胴割粒」で21%、「カメムシ被害」で19%が格下げとなった(出典：JA全農しまね資料)。

(3) 米品質低下要因の解析

2009年、2010年の品質が著しく異なる理由としては、登熟期間の気象が考えられる。「コシヒカリ」では出穂後20日間の気温が高い場合、乳白粒が増加し⁶²⁾、また同期間の高い気温により背白粒や基白粒が多発することが報告されている⁶⁸⁾。これらの未熟粒の発生が急増する気温は、乳白粒は平均気温で26℃、背白粒、基白粒は同27℃以上とされている。そこで、両年の出穂後20日間の平均気温を出穂日別に第29図に示した。2009年は7月、8月に限界を超える気温とならなかった。2010年は、7月第3半旬から8月第5半旬までの出穂時期に限界の気温を超えており、県内平坦部の一般農家の栽培は、ほぼすべて限界気温を上回ったと考えられる。胴割



第29図 出穂日と出穂後20日間の平均気温 (鳥根県出雲市)

気象庁アメダス観測値により算出した。

粒についても、出穂後の高温で増加することが報告されており³²⁾、2010年の乳白粒などの白未熟粒の多発や胴割粒の多発生については、気象的な面から裏付けることができると考えられる。2010年に本県で等級格下げ要因の1位となっている「整粒不足」についても、気象の影響が考えられる。若松ら⁶⁸⁾は、「ヒノヒカリ」と「はなさつま」の玄米千粒重、整粒歩合と気温の影響を検討し、千粒重は出穂後30日間の平均気温26°C以上の高温条件で、整粒歩合は27°C以上で低下傾向が認められるとした。鳥根県農業技術センターでの「コシヒカリ」の作況試験から、品種は異なるものの、2010年は出穂後30日間の平均気温が5月10日植えて28.8°C、5月25日植えて28.6°Cと高く、千粒重はそれぞれ9カ年の平均より3%と1%軽くなっており、若松らの報告⁶⁸⁾と同様に高温条件下で玄米千粒重が低下したと推察された。

気象以外の要因では、高温のため成熟期が早まり、刈り取り適期幅が短縮し、刈り遅れとなることが多くなったため、胴割粒や着色粒が発生した。また、8月と9月の降水量が少なかったため、用水不足や水管理が徹底できなかった圃場では、葉の枯れ上がりを招き品質が低下した。また、出穂期頃から葉色が淡くなる圃場が多くみられたが、高温の影響のほかに基肥一発肥料の普及の影響があると考えられた。葉色の低下に合わせた適切な追肥をする農家は少なかったとみられる(普及員からの聞き取りによる)。

(4) 今後の技術対策と研究課題

高温障害対策として進めてきた主な技術として2つあげられる。1つは、移植期を遅らせることであるが、2000年から「コシヒカリ」の移植期を慣行より2週間程度遅らせ5月下旬に移植することとし、現在平坦部の2割程度に定着している。2週間の遅延により出穂期が1週間遅れるが、近年のような高温傾向が続く中では、その効果が確認できるのは3年に1度くらいであり、2010年のような猛暑下では品質向上効果は認められなかった。2つには、籾数制限のための窒素施肥量の低減である。「コシヒカリ」の基肥窒素量は2 kg/10 a程度、穂肥窒素量は2~3 kg/10 aで施用マニュアルを作成し指導している。エコ米栽培の増加もあり、全般に施肥窒素量は減少傾向となっている。栽培上、施肥量が制限されている場合は、天候に関わらず規定量しか施用できず、結果として品質を落としている面があると言わざるを得ない。また、出穂期の適正な葉色値を示し、出穂10日前頃の葉色から施肥量を求めた研究成果を公表しているが、現場へは普及が進んでいないのが実態である。

基肥一発肥料の普及は、稲の生育を判断した施肥が現場で実施されなくなってきたことを物語っており、農家が受け入れやすい技術の開発が必要となっている。そこで、今後取り組むべき技術対策と研究課題は、次の4点に集約できる。①高温登熟耐性に優れる品種の育成と栽培法の確立、②疎植栽培法の確立(施肥、土壌管理、水管理法)、③穂肥施用法(登熟向上のため継続的肥効発現をねらう)、④基肥一発型肥料の改良(温度依存溶出から生育に合わせた溶出へ)。この中で速効性があるのは、品種対応であることから、これまで、鳥根県では平坦部の「コシヒカリ」を「きぬむすめ」に替え、品質向上を図ってきた。しかし、高温登熟耐性が中とランクされる「きぬむすめ」(鳥根県農業技術センター水稻奨励品種決定調査成績書、2007)では、2010年のように9月においても高温条件となる年次での品質低下は避けられず、高温登熟性に優れる品種育成が必要である。疎植については、農家で普及が進んでいるが、経費や労力節減の面が強く、必ずしも

品質向上に結びついていない。地力がある適地での栽培においては有効な手段にもなるが、不適地での疎植により品質向上になっていないばかりか、減収を招いている事例がある。疎植水稲の生育型を実現する施肥や水管理法などを究明する必要がある。基肥一発型肥料の改良については、栽培の研究者が、高温登熟性が向上する理想的な生育相を解明し、その溶出パターンとなる肥料をメーカーが開発するような共同研究が一層必要になると考えられる。

(月森 弘)

3) 岡山県

(1) 近年の作柄や外観品質の状況

2003年以降の岡山県における作柄は、県全体で見ると、台風による被害が多発した2004年に作況指数が94の不良となったほかは、96のやや不良から105のやや良までの範囲で推移している(第25表)。ただし、地域別では大きく減収した年があり、主に早生品種「あきたこまち」、「コシヒカリ」が作付される中北部では、2003年において生育前半の日照不足による穂数の減少と穂いもち病が多く発生したことにより、作況指数が90の著しい不良であった。また、主に中生品種「ヒノヒカリ」、晩生品種「朝日」、「アケボノ」が作付される県南部では、

2004年において、台風被害に加えて生育後半の日照不足による登熟不良も発生して作況指数が92の不良であり、2010年においては、生育後半の異常高温による登熟不良により作況指数が94の不良であった。

外観品質については、品種全体の傾向として、主に登熟期間となる8月～9月が高温で推移した2005年、2007年、2010年に1等米比率が低下した(第26表、第27表)。「あきたこまち」、「コシヒカリ」については、台風や長雨などによる倒伏や収穫の遅れ、カメムシ類による斑点米も発生し、年によっては1等米比率が30%程度にまで低下した。また、「アケボノ」は、特に高温でなくても白未熟粒が発生しやすい品種特性をもつため、1等米比率が低い年が多かった。

(2) 2009年産米と2010年産米の生育・品質の概況

2009年は、県南部および中北部とも7月上旬以降は日照不足で経過した。県南部では8月中旬以降多照となり、また、県中北部では平年並みの気温で推移したことから、総粒数は平年並みであった。登熟は、県中北部では平年並みであったが、県南部では登熟期が多照で推移したこともありやや良であった。

第25表 岡山県における作柄の推移

		2003年	2004年	2005年	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年
中北部	収量(kg/10a)	460	497	520	496	496	535	514	518
	作況指数	90	97	101	97	97	104	100	101
南部	収量(kg/10a)	528	492	522	516	516	562	552	503
	作況指数	100	92	98	97	97	105	103	94
県全体	収量(kg/10a)	500	494	521	508	509	552	537	509
	作況指数	96	94	99	97	97	105	102	97

注) 農林水産省公表資料より作成した。

第26表 岡山県における1等米比率(%)の推移

品種	2003年	2004年	2005年	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年
あきたこまち	44	28	32	39	46	57	63	35
コシヒカリ	65	32	60	63	58	70	71	51
ヒノヒカリ	71	74	35	78	51	79	89	3
朝日	74	43	58	69	74	83	85	68
アケボノ	25	16	38	53	47	51	60	31

注) 農林水産省の公表資料より作成した。

一方、2010年は、県南部および中北部とも、梅雨期の日照不足により穂数がやや少なかったが、その後、高温多照で推移したため総粒数は平年並みであった。県中北部では、登熟は平年並みであったが、県南部では出穂期となる8月下旬から9月上旬にか

けて平均気温が30℃前後の著しい高温が続き（第27表）、登熟はやや不良となった。また、2010年は白未熟粒の発生が多く、1等米比率は早生から晩生のいずれの品種でも2009年より低下した（第26表）。特に、中生品種「ヒノヒカリ」の1等米比率は、

第27表 岡山県南部における旬別平均気温（℃）

	2003年	2004年	2005年	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年	平均
6月 上旬	22.3	23.0	28.3	22.7	21.7	21.4	21.6	22.4	22.9
6月 中旬	23.0	23.9	<u>30.3</u>	24.3	23.3	23.6	24.3	24.0	24.6
6月 下旬	24.4	25.4	<u>33.1</u>	24.9	26.1	23.9	25.9	25.7	26.2
7月 上旬	24.8	28.5	28.0	25.7	24.7	27.3	25.5	26.7	26.4
7月 中旬	24.7	29.3	<u>32.1</u>	27.0	25.1	29.4	27.6	26.7	27.7
7月 下旬	25.7	29.8	<u>33.5</u>	28.0	27.9	<u>30.3</u>	26.6	29.9	29.0
8月 上旬	28.4	28.1	29.1	<u>30.3</u>	28.5	<u>30.3</u>	28.1	<u>30.1</u>	29.1
8月 中旬	26.3	28.0	28.9	29.9	<u>30.4</u>	29.8	28.6	<u>30.8</u>	29.1
8月 下旬	28.4	27.7	27.0	28.9	28.8	25.8	26.9	<u>30.4</u>	28.0
9月 上旬	28.5	26.0	27.2	25.8	28.5	27.0	26.1	29.9	27.4
9月 中旬	25.7	26.9	26.3	23.2	27.8	25.9	22.2	26.8	25.6
9月 下旬	21.0	23.2	23.7	22.1	24.9	21.5	24.2	22.1	22.8
10月 上旬	19.1	21.0	22.3	20.6	22.8	21.1	20.6	21.1	21.1
10月 中旬	17.7	18.2	20.1	20.5	18.7	19.1	18.1	20.8	19.2
10月 下旬	15.9	16.0	16.0	18.8	17.6	17.3	17.4	16.7	17.0

注) アメダス（岡山）の観測値を用いた。下線は、平均気温30℃以上を示す。

第28表 岡山県農林水産総合センター農業研究所における水稲作況試験結果

		中生品種 ヒノヒカリ				晩生品種 朝日			
		2007年	2008年	2009年	2010年	2007年	2008年	2009年	2010年
草丈 (cm)	7月13日	36	32	35	39	36	34	37	39
	7月30日	64	66	73	63	58	63	71	52
茎数 (本/㎡)	7月13日	274	364	340	351	249	406	341	348
	7月30日	393	518	399	518	461	584	404	648
葉色 (SPAD値)	7月23日	39.2	38.5	40.8	37.8	39.1	38.9	41.1	36.0
	幼穂形成期	32.1	32.9	36.5	31.9	29.7	34.1	37.2	33.8
	穂揃期	36.1	36.1	36.2	35.5	38.6	38.3	36.9	38.6
出穂期(月.日)		8.30	8.31	9.2	8.29	9.5	9.7	9.10	9.5
成熟期(月.日)		10.9	10.13	10.23	10.11	10.20	10.27	11.3	10.20
倒伏程度(0-9)		0	0	0	0	1	2	2	0
収量(kg/10a)		620	636	667	629	598	676	660	603
穂数(本/㎡)		368	390	351	381	310	368	348	343
1穂粒数(粒/本)		90	81	87	91	84	84	85	84
総粒数(千粒/㎡)		33.1	31.5	30.6	34.6	26.1	30.8	29.5	28.9
登熟歩合(%)		82	74	85	91	87	82	88	93
千粒重(g)		22.7	24.3	23.8	23.4	25.0	25.0	24.6	24.9
整粒割合(%)		78	74	79	54	70	76	76	59
白未熟粒割合(%)		3	3	2	6	5	9	3	10
その他未熟粒割合(%)		13	14	10	12	9	11	14	13

注) 移植日は6月25日。草丈、茎数および葉色の月日は、調査日を示す。また、倒伏程度は無(0)から甚(9)で評価した。

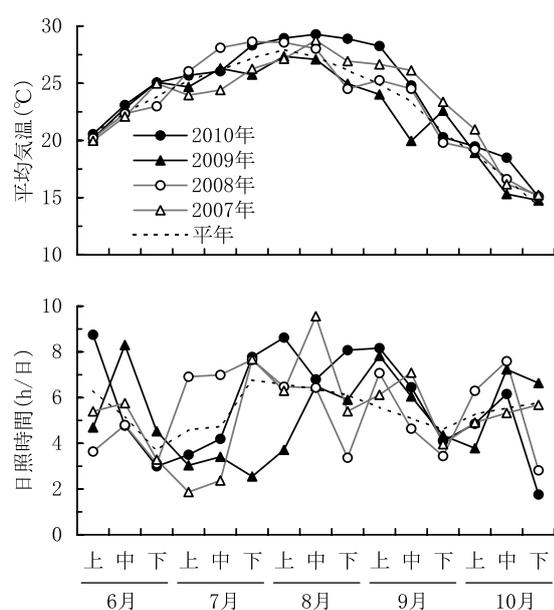
3%と著しく低下した。

2009年と2010年の県南部の平均気温を比較すると、2009年は8月上旬でも30℃以下であり、8月下旬から9月上旬は27℃以下、9月中旬になると23℃以下にまで低下した（第27表）。一方、2010年は9月上旬でもほぼ30℃であり、9月中旬になっても27℃近くと高温が継続した。このように、「ヒノヒカリ」の登熟初中期に相当する時期の気温が2009年と2010年で大きく異なり、それが2009年と2010年の1等米比率、すなわち89%と3%に現れたと考えられる。

（3）作況試験における米品質低下要因

岡山県農林水産総合センター農業研究所（赤磐市）は県南部に位置しているが、所内で行った水稲作況試験においても、2010年は中生品種の「ヒノヒカリ」、晩生品種の「朝日」ともに過去3年と比べて整粒割合の低下が目立ち、白未熟粒の発生がやや多かった（第28表）。

2010年は、所内の気象観測からも7月下旬から9月中旬まで高温多照傾向が続いたことがわかる（第30図）。特に8月下旬と9月上旬の高温が著しかったことが特徴としてあげられる。水稲の生育は



第30図 岡山県農林水産総合センター農業研究所における旬別の平均気温と平均日照時間の推移

茎数の増加が目立ったが、無効分けつも多く、多収にはならなかった。また、成熟期が早まった。

2009年は2010年とは逆に低温傾向が続き、8月上旬までは日照時間も短かった。ただし、出穂後の9月以降は多照で推移した。水稲の生育は茎数の過剰な増加が抑制された。また、登熟期間が長く、両品種ともに顕著な多収年であった。

2008年は、8月中旬までは2010年と同様に高温であったが、8月下旬以降は低めの気温で推移した。また、日照時間は7月の多照が顕著であった。水稲の生育は2010年同様に茎数が過剰に増加した。しかし、登熟は良好に進み、千粒重も重かった。晩生品種の「朝日」では特に多収であった。

2007年は、7月上中旬が顕著な寡照であったほか、2009年同様に8月上旬までは低温傾向であったが、8月中旬以降は2010年ほど顕著ではないものの、高温多照傾向で推移した。水稲の生育は2009年同様に茎数の過剰な増加が抑制されたが、登熟もやや抑制気味となり、多収にはならなかった。登熟期間は短く、成熟期が早まった。

以上、品質が低下した2010年と過去3年間の結果を比較すると、品質低下の主因は登熟初期にあたる8月下旬と9月上旬を中心とした高温によるものであったと考えられる。特に、「ヒノヒカリ」の主産地である県南部は、岡山県農林水産総合センター農業研究所と比べてもさらに高温になる地域が多いことから、2010年の1等米比率の顕著な低下につながったと考えられる。収量と品質を合わせて考慮すると、岡山県南部のような温暖な地域では、生育前半の気温や日照時間はあまり問題にならず、生育後半に高温にならず多照で推移する作期設定が望ましいと考えられる。

（4）今後の技術対策と研究課題

本研究では、「ヒノヒカリ」は出穂後25日間の日平均気温が25℃を上回ると、白未熟粒が多発して整粒割合が低下しやすいことを明らかにしている⁴⁴⁾。現在、県南部の移植最盛期は6月中旬であるが、6月上旬に移植する農家も多く、早い場合では出穂期が8月中旬になることもある。しかし、この

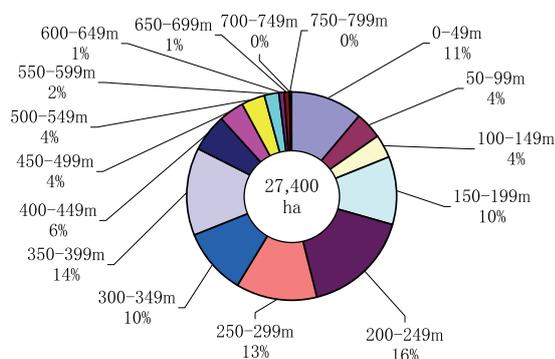
温度条件が回避できる時期をアメダス地点における
 平年の気象観測値を用いて予測すると、岡山市では
 出穂期が8月28日以降、移植期が6月20日以降と
 なり、倉敷市では出穂期が8月24日以降、移植期
 が6月10日以降となる⁴⁵⁾。

今後の技術対策としては、このような時期を目安
 に水稻の作期を設定し、高温下での登熟をできるだ
 け回避することと、健全な土づくりや施肥・水管理
 を行い、高温下でも生育後半まで稲体の活力を凋落
 させないことがあげられる。また、研究課題として
 は、高温条件下でも登熟が良好で品質低下の少ない
 品種の育成と、気象変動に強い栽培法や生育状態に
 応じた管理方法の確立があげられる。(渡邊丈洋)

4) 広島県

(1) 近年の作柄や外観品質の状況

広島県の奨励、準奨励品種は、一般うるち米10
 品種、酒造好適米6品種およびもち米2品種の計
 18品種である。近年、品種別作付面積などの詳細
 な統計情報は得られなくなったが、2010年の本県
 の水稻作付面積は26,000ha(農林水産省統計デー
 タ)であり、このうち4割弱が「コシヒカリ」である。
 次いで「ヒノヒカリ」が3割弱、「あきろまん」が
 約1割の作付けとなっている。標高別作付面積
 (2002年、農林水産省公表資料)を第31図に示した。
 広島県的水稻主要産地は標高150～399mである。
 「コシヒカリ」は主に標高150～549mの広い範囲に
 栽培されており、「あきろまん」は標高150～350m、
 標高150m以下では主に「ヒノヒカリ」が栽培され



第31図 広島県の標高別水稻作付割合 (2002年)
 農林水産省より公表されている結果より作成した。

ている。

農林水産省統計データによると、本県における過
 去7年間の作況指数および1等米比率は第29表の
 とおりである。広島県は、中国5県の中では作況の
 変動が小さく、10aあたりの平均収量も比較的高
 い(他県データは省略)。一方、玄米品質におい
 ては2004年から2010年の7年間では、2009年を除
 き、中国5県中で最も1等米比率が高く、また年次
 による変動も小さい。

(2) 2009年産米と2010年産米の生育・品質の概況

本県主要品種について、異常高温年であった
 2010年の1等米比率と2009年および近年18年間
 の平均1等米比率を第30表に示した。また、2010
 年の気温推移と平年との較差および「コシヒカリ」
 と「ヒノヒカリ」の本県での出穂期と成熟期を第32図

第29表 広島県における水稻作況と1等
 米比率の推移

年次	作況指数 (%)	平年収量 ¹⁾ (kg/10a)	1等米比率 (%)
2004	97	517	57.9
2005	101	519	74.6
2006	97	521	68.7
2007	99	523	81.9
2008	103	523	79.8
2009	100	523	85.2
2010 ²⁾	98	523	75.1

農林水産省より公表されている検査結果より作
 成した。

1) 平年収量は、その年の作況のもとになった
 平年収量。

2) 2010年の1等米比率は2011年8月31日現
 在の結果を使用。

第30表 広島県の2010年と2009年の1等米比率お
 よび過去18年間の1等米比率の平均

	1等米比率 (%)			
	コシヒカリ	中生新千本	あきろまん	ヒノヒカリ
2010年 ¹⁾	78.1	66.7	79.7	55.4
2009年	85.2	84.7	91.8	84.8
18年平均 ²⁾	78.7	70.8	82.9	73.5
2010年-平均	-0.6	-4.1	-3.2	-18.1

農林水産省より公表されている検査結果より作成した。

1) 2010年の結果は2011年8月31日現在の結果を使用。

2) 1等米比率の平均は1993年から2010年までの18年間
 の平均。

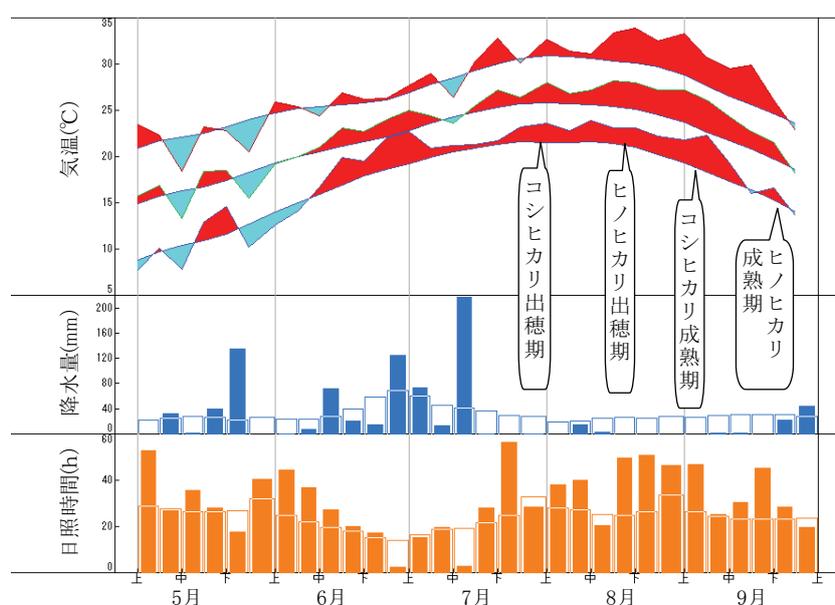
に示した。いずれの品種も2010年は1等米比率が低下しており、特に「ヒノヒカリ」は平年に比較して18.1ポイント低下した。低標高地で栽培されている早期「コシヒカリ」と標高100m以下の「ヒノヒカリ」では1等米がほとんど出ていない（広島県JA農産物協議会による）。これらの玄米外観品質の主な特徴は、充実不足で縦溝が深いことと、基部未熟粒、背白粒および乳白粒の発生が平年よりも多いことであった。

(3) 作況試験における米品質低下要因

広島県では1983年から水稲生育予測調査(OFAC)事業を開始し、1997年までの15年間継続した¹¹⁾。この事業は、県内114地点の水稲の生育を普及指導員が6月から8月(生育初期から出穂期)にかけて10日間隔で調査し、それまでの気象条件とその後の気象予報から生育を予測して、最善な栽培管理情報を迅速に生産者へ提供することで、県内水稲の安定生産と品質の向上を図るものであった。この事業の中で蓄積されたデータを使って品質に関する解析を行った結果、本県の中生品種は4月下旬

から5月上旬に早植えすることで、登熟期の日照条件が良好となり、品質の向上が見込めることを明らかにした⁴⁾。しかし、近年は高温傾向となり、出穂が前進すると高温登熟による品質の低下が懸念されたため、以前の田植え時期に戻っている。現在は、OFAC事業で蓄積された多くのデータと普及指導員の経験が水稲栽培指導に役立っている。

2009年と2010年の「コシヒカリ」と「ヒノヒカリ」の出穂期以降6半月の気象条件の差異について第31表に示した。品質が不良であった2010年の登熟期間の平均気温は平年より2.4~2.8℃も高かった。積算降水量は非常に少なく、積算日照時間は顕著に多かった。一方、玄米品質が非常に良かった2009年は、登熟期間中の気温は平年並みかやや低い傾向であり、気温較差は大きく、降水量は少なく、積算日照時間は多かった。このことから、2010年は玄米品質向上に有利な光合成を行うための日照時間は充分にあったものの、強い高温ストレスにより品質が低下したと考えられる。



第32図 東広島市(標高224m)の2010年の気象図

気温は、上から最高、平均および最低気温を示す。ただし、赤色は平年値よりも気温が高いことを示し、水色は平年値よりも気温が低いことを示す。降水量および日照時間の白抜きは平年値を示す。気象図は広島県農業情報ローカルネットワークシステムを利用して作図。

第31表 広島県の主要2品種の登熟期間における気象条件の比較

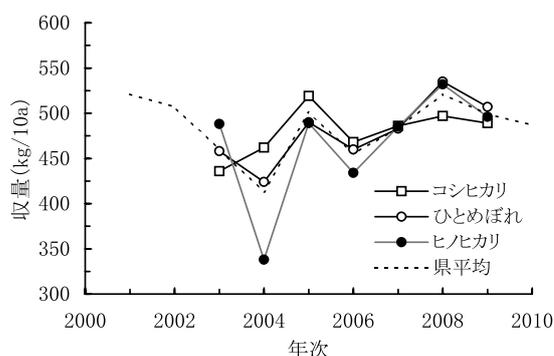
品種	項目	年次	出穂期 (月・日)	平均気温 (°C)	最高気温 (°C)	最低気温 (°C)	気温較差 (°C)	積算降水量 (mm)	積算日照時間 (h)
コシヒカリ	期間値	2010	8. 3	27.4	32.6	22.8	9.8	20.5	256.0
		2009	8. 3	24.8	30.3	20.4	9.9	70.0	180.8
		平年値	7.31	25.0	30.1	20.8	9.2	150.6	163.9
	年次間差(2010-2009)	2010	+3日	2.4	2.5	2.0	0.6	-130.1	92.1
		2009	+3日	-0.2	0.2	-0.4	0.7	-80.6	16.9
ヒノヒカリ	期間値	2010	8.19	25.9	31.6	20.8	10.9	6.5	246.6
		2009	8.21	22.0	28.5	16.2	12.3	28.0	209.1
		平年値	8.16	23.1	28.1	18.8	9.3	168.9	157.1
	年次間差(2010-2009)	2010	+3日	2.8	3.5	2.0	1.6	-162.4	89.5
		2009	+5日	-1.1	0.4	-2.6	3.0	-140.9	52.0

注) 東広島市(標高224m)における各品種の出穂期から6半旬の気象データを用いた。「コシヒカリ」は8月第2半旬～9月第1半旬、「ヒノヒカリ」は8月第5半旬～9月第4半旬であり、気象データはアメダス(東広島)観測値である。

(4) 今後の技術対策と研究課題

以上のように、広島県では高温登熟による品質の低下は比較的小さいが、近年は低標高地帯で高温登熟障害が顕在化しつつある。このため、低標高地帯の主力品種である「ヒノヒカリ」よりも高温登熟耐性に優れた品種・系統の選定を進めている。

また、温暖化がますます進むことを考慮すれば、今後は品種ごとの作付け誘導の見直しや高温登熟下でも品質低下をできるだけ抑制できる栽培条件の解明も進めていく必要がある。(勝場善之助)



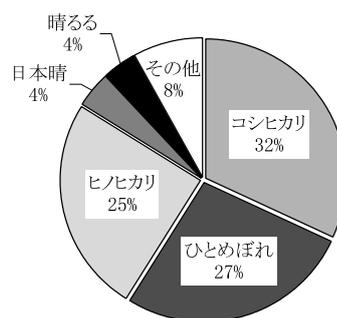
第33図 山口県における平均単収の推移
農林水産省の作物統計より作成した。

5) 山口県

(1) 近年の作柄や外観品質の状況

山口県の年平均単収は10 aあたり504kg(2010年)で、これを越えたのは2001年以降の10年間で3年のみであり、作柄が良くない年が多くなっている。特に、6月中旬から8月中旬まで天候不順が続いた2003年や台風被害の大きかった2004年と2006年では、県平均単収が10 aあたり413kgから460kg/10 a(作況指数82~91)と著しく低かった(第33図)。

山口県における品種別の作付けは、「コシヒカリ」、「ひとめぼれ」、「ヒノヒカリ」で8割以上を占め(第34図)、このうち中山間地の主力品種である「コシヒカリ」では収量の年次変動が比較的小さく、瀬戸内平坦部の主力品種である「ヒノヒカリ」では台風被害の大きかった年での収量低下が大きい(第



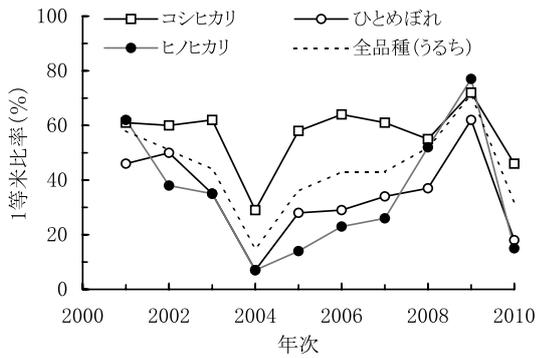
第34図 山口県における品種別作付け割合 (2010年)

「平成22年度米・大豆・麦生産流通改善対策資料」(山口県)より作成した。

33図)。

1等米比率については、この10年間の年産ごとの平均は44.5%で、50%を超えたのは3カ年のみで

ある（第35図）．これに対し，1991～2000年の平均は63.3%で，50%を超えた年は8カ年あり（データ省略），最近品質低下が慢性化していることがうかがえる．品種別には，「コシヒカリ」が常に県平均より高く60%程度で比較的安定しているのに

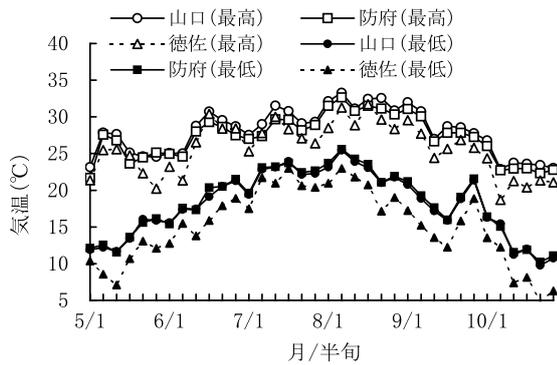


第35図 山口県の主要品種における1等米比率の推移
農林水産省の「米の検査結果」より作成した。

対し，「ひとめぼれ」と「ヒノヒカリ」は低水準で推移している（第35図）．

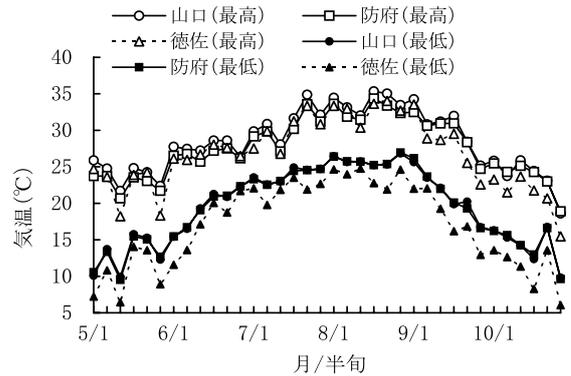
(2) 2009年産米と2010年産米の生育・品質の概況
両年とも総粒数がやや少なく，登熟期間が高温多日照であったが，2009年は2010年ほどの高温ではなく，気温の日較差が大きかった（第36，37図）．このため，2009年産米の1等米比率は過去10年間で最も高く，品種や地域による差も小さかった．8月中旬以降に日照時間が長くなったことから，特に「ヒノヒカリ」や「中生新千本」などの中生熟期で1等米比率が高く，これらの中でも出穂が遅いほど品質は優れた。

一方，2010年は登熟期間の日照時間が長かったものの7月中旬から9月下旬まで最高，最低気温とも高い状態が続き，平坦地の山口市や防府市では9



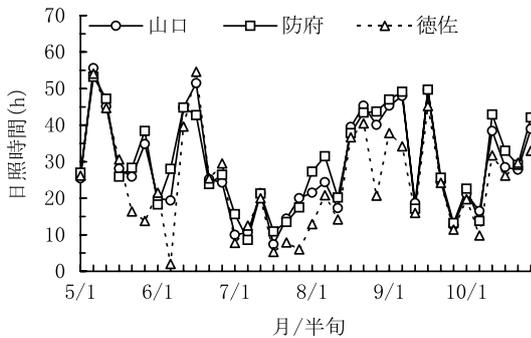
第36図 山口県における2009年の最高気温と最低気温の推移

気象庁の気象統計情報より作成した．アメダス観測所の標高は，山口：17m，防府：4m，徳佐：310m．



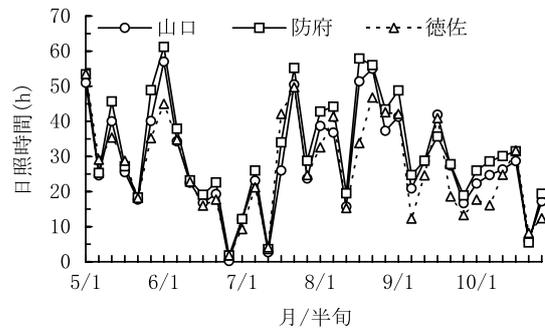
第38図 山口県における2010年の最高気温と最低気温の推移

気象庁の気象統計情報より作成した．山口，防府，徳佐はアメダス観測所を示す．



第37図 山口県における2009年の日照時間の推移

気象庁の気象統計情報より作成した．山口，防府，徳佐はアメダス観測所を示す．



第39図 山口県における2010年の日照時間の推移

気象庁の気象統計情報より作成した．山口，防府，徳佐はアメダス観測所を示す．

月の初めまで最低気温が25℃以上、9月中旬まで最高気温が30℃以上を示した(第38, 39図)。このため、2010年産米の1等米比率は33%と過去10年で2番目に低く、主な格下げ要因は「充実度」, 「心白粒(乳白粒)・腹白粒(基部未熟粒)」であった。高温に加え、肥効切れや登熟期の土壤水分不足が品質低下を助長したと考えられる。

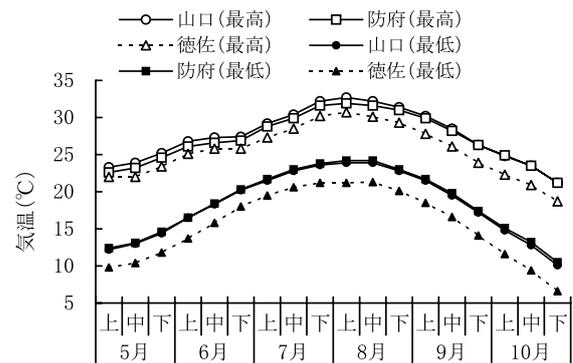
2010年産米の品質低下の状況は、標高、品種、移植時期などの栽培条件により一律ではなく、山間部の「コシヒカリ」や平坦部でも出穂期が7月中旬の「コシヒカリ」では1等米比率が比較的高かったのに対し、平坦部の「ヒノヒカリ」では15%と極めて低かった。栽培条件による高温との遭遇時期、高温の程度などの違いが、品質の低下程度に現れやすい年であった。水田面積の約7割が100m以下の平坦部にあることも、県平均の1等米比率を大きく低下させた要因の一つと考えられる。

また、同一地域の同一品種でも施肥量の少ない主食用より施肥量の多い日本酒用の掛け米で品質が優れ、また、きめ細かな水管理や土づくりを励行している農家で品質低下がみられなかったなど、肥培管理の違いが作柄や品質の差となって現れやすかったとの報告が多く寄せられたのも特徴的であった。

(3) 米品質低下要因の解析

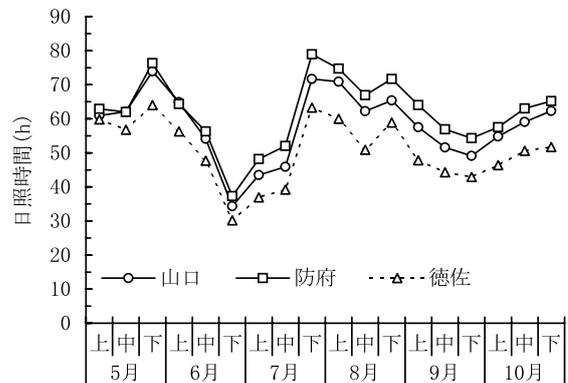
「コシヒカリ」の品質が比較的安定し、「ヒノヒカリ」で品質不良となりやすいことについては、品種の能力や主たる栽培地域における土壌や技術レベルの差も考えられるが、気象の違いによるところが大きいと推察される。「コシヒカリ」の主産地である山間地では平坦地より日照時間がやや短いものの気温が低く、特に最低気温の差が大きい。山間地「コシヒカリ」の出穂期である7月下旬頃と平坦地「ヒノヒカリ」の出穂期である8月下旬頃を比較しても、「コシヒカリ」の栽培地域の方が「ヒノヒカリ」よりも気温が低く、これらのことが「コシヒカリ」の品質の安定性に寄与していると考えられる(第40, 41図)。

近年の全般的な品質低下については、気象の変化による影響が大きいと推察される。水稻の栽培期間



第40図 山口県における最高気温と最低気温の平年値(1981~2010年)

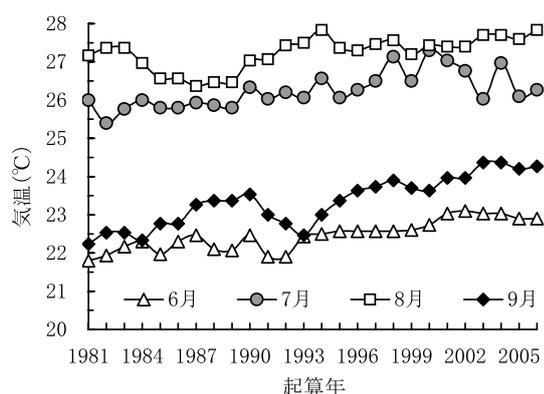
気温は旬別の平均値を示し、横軸の上, 中, 下は各月の旬を示す。気象庁の気象統計情報より作成した。山口, 防府, 徳佐はアメダス観測所を示す。



第41図 山口県における日照時間の平年値(1981~2010年)

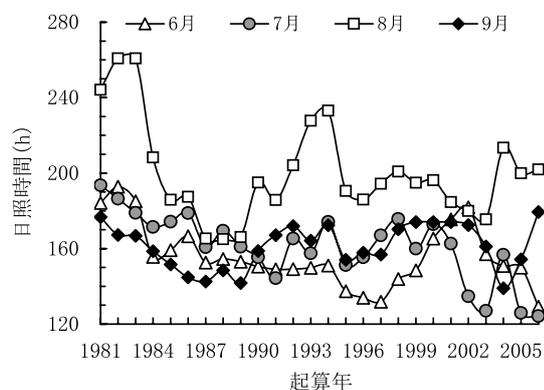
日照時間は旬別の平均値を示す、横軸の上, 中, 下は各月の旬を示す。気象庁の気象統計情報より作成した。山口, 防府, 徳佐はアメダス観測所を示す。

である6~9月の月平均気温を5年ごとの移動平均でみると、9月を中心に高温化してきていることがうかがわれ、このことが登熟に影響を与えていると考えられる(第42図)。また、7月の日照時間は減少傾向にあり(第43図)、このことは「コシヒカリ」や「ひとめぼれ」など極早生品種における出穂前の養分蓄積への影響が推察される。2001年以降10年間の主な格下げ理由が「心白及び腹白」と「充実度」であったことから、高温化が品質低下の直接的な要因になっており、稲作農家の高齢化などによる管理不足、食味重視による施肥量の削減や良食味品種への作付け集中などがこれを助長していると考えら



第42図 山口市における月別平均気温の年次変化

1981～2010年のアメダス（山口）観測値を用いて5年毎の移動平均を算出して図示した。ただし、5年のうち最高年と最低年を除いて算出した。



第43図 山口市における月別日照時間の年次変化

1981～2010年のアメダス（山口）観測値を用いて5年毎の移動平均を算出して図示した。ただし、5年のうち最高年と最低年を除いて算出した。

れる。乳白粒などの発生には総粒数の多少が影響するが、作柄や施肥量などから推察すると品質低下を招くほど粒数過多になっているとは考えにくい。

(4) 今後の技術対策と研究課題

食味重視の品種誘導により、極早生の「コシヒカリ」や「ひとめぼれ」と中生の「ヒノヒカリ」に作付けが集中し、品種の熟期構成が2極化してきた。このため、作期分散が難しくなり、低標高地での「ひとめぼれ」の作付けや高標高地での「ヒノヒカリ」の作付けなど、不適と思われる地域、作期での作付けも少なくない。こうしたことから、2009年度に奨励品種に採用した早生品種「きぬむすめ」を

活用し、気象的・作業的に無理のない、地域の条件に応じた品種構成へと誘導するとともに、水管理などの基本技術を再度徹底することが必要である。また、エコ米生産などの減化学肥料栽培も含め、全般に施肥水準が低下している中で、含鉄資材や堆肥による土づくりの重要性について啓発を図ることも重要である。

研究としては、早生熟期を中心に高温登熟耐性を有する良質多収品種の開発や導入を進めていかなければならない。栽培面では、米生産の主体となってきた集落営農法人を主たる対象として捉え、米の用途に応じた施肥水準の見直しも含めた安定生産技術の再構築を図る必要がある。（中司祐典）

3 四国地域における米品質低下の要因解析と対応策

1) 徳島県

(1) 近年の作柄や外観品質の状況

2010年の徳島県の稲作概況は、作付面積が13,500haで、品種構成は「コシヒカリ」、「キヌヒカリ」および「ヒノヒカリ」の3品種で86%を占めている。移植期間は、県南の早期地帯が4月上旬から始まり、県西部普通期地帯の6月中旬移植が終期である。

2003年以降の主要3品種の1等米比率の平均は、「コシヒカリ」58%、「キヌヒカリ」33%、「ヒノヒカリ」49%である（第32表）。しかし、各品種において年次間に20～30%の差があるため、その違いを良質年と劣質年の作柄概況から比較したい。

第32表 徳島県における主要品種の1等米比率

年次	1等米比率(%)			累計
	コシヒカリ	キヌヒカリ	ヒノヒカリ	
2003	66	51	49	60
2004	51	30	57	45
2005	66	36	47	56
2006	54	24	50	45
2007	62	39	55	54
2008	43	25	45	40
2009	61	31	68	53
2010	58	28	24	48
平均	58	33	49	50

注) 農林水産省の公表値より作成した。

a コシヒカリ

2003年と2005年が比較的良質であり、2008年が劣質であった。2003年の作柄概況は、8月上旬に接近した台風10号の影響による倒伏のため、登熟は不良であり、作況指数は96のやや不良となり、検査等級低下の主な理由の第1には「青未熟粒」(37%)があげられている。倒伏により登熟条件が悪化したため、青未熟粒が多発生したが、7月の平均気温が25.2℃、8月が27.3℃と平年よりそれぞれ1.4℃と0.5℃低く経過したことで、高温登熟にともなう白未熟粒の発生が抑えられたことが比較的良質であった要因と考えられた。

2005年の作柄は、生育期間中の台風接近も無く、一般的に気象に恵まれ、登熟はやや良、作況指数は104のやや良であり、検査等級低下の主な理由の第1は「着色粒」(カメムシ類)であった。

劣質であった2008年の作柄は、梅雨期の日照不足により茎数が確保できず、穂数が少なく籾数もやや少なかった。しかし、梅雨明け以降は気温、日照時間も平年を上回り、登熟は良、作況指数は105のやや良であった。多収傾向ではあったものの、登熟初中期にあたる7月の平均気温は28.0℃と平年よりも1.4℃高かったため、高温にともなう白未熟粒の多発により、整粒歩合が低下したと考えられた。

b キヌヒカリ

近年、白未熟粒の多発による品質低下が特に問題となっている。背景には倒伏に比較的強いことから、野菜跡などの多肥条件で栽培されることも多く、この場合の品質低下の原因は、過剰生育による籾数過多に起因する穎花間の養分競合と推察される。これらにより、比較的良質であった2003年においても1等米比率は51%にとどまり、それ以外の年は20~30%と低迷している。特に2006年と2008年は劣質であった。

比較的良質であった2003年の作柄概況は、8月上旬に接近した台風10号の影響で穂擦れが多く発生したことで登熟がやや不良となり、作況指数は96のやや不良であった。検査等級低下の主な理由は「充実度」30.3%、「整粒不足」23.4%であった。上記の「コシヒカリ」と同様に登熟期間が低温で経

過したことによって白未熟粒の発生が抑えられ、比較的良質となったと考えられた。

2006年の作柄は、梅雨明けまでの日照不足により軟弱徒長の生育で経過し、穂数は平年に比べやや少なかった。出穂期以降が高温基調で経過したことや9月の天候不順により、登熟はやや不良となった。作況指数は97のやや不良となった。検査等級低下の主な理由の上位は「着色粒」(カメムシ類)31.1%、形質(「心白及び腹白」)25.6%であった。

2008年の作柄は、梅雨明け以降天候に恵まれ、穂数は平年並みであった。1穂籾数は幼穂形成期の天候に恵まれたことからやや多く、総籾数もやや多かった。登熟は出穂期以降天候に恵まれたものの、高温で経過したことから、やや良であった。作況指数は107の良であった。

c ヒノヒカリ

1等米比率は50%前後であり、2009年が68.3%で比較的高く、2010年が24.1%と低かった。

2009年の作柄概況は、6月の日照時間、気温が平年を上回ったことで、穂数、総籾数ともにやや多かった。登熟は出穂期以降、日照時間、気温日較差が平年を大きく下回ったことにより、やや不良であった。作況指数は100の平年並みとなった。1等米比率が比較的高かった要因は、登熟期にあたる8月の平均気温が27.4℃と平年より0.4℃低く、9月が24.6℃と平年並みであったことで、近年頻発している高温による白未熟粒の発生が少なかったためと考えられた。

2010年の作柄は、分けつ期の日照時間が平年を下回ったことなどから茎数が少なく、穂数も少なかった。1穂籾数がやや多かったものの、総籾数はやや少なかった。登熟は、日照時間や気温日較差が平年を上回り、作況指数は100の平年並みとなった。

(2) 2009年産米と2010年産米の生育・品質の概況

徳島県では、特に「キヌヒカリ」の外観品質が問題となっていることから、2年間の奨励品種決定調査における「キヌヒカリ」の調査結果(第33表)を中心に検討したい。

2009年と2010年について、移植期は早期で2日、

第33表 2009年産と2010年産「キヌヒカリ」の生育，収量および白未熟粒の発生状況

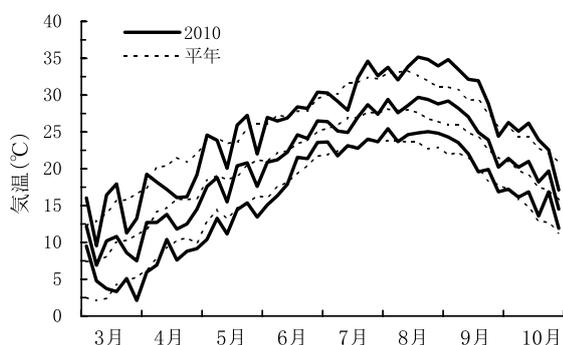
年次 作期	移植期 (月.日)	出穂期 (月.日)	成熟期 (月.日)	白未熟粒(%)				千粒重 (g)	精玄米重 (kg/10a)
				乳白粒	腹白粒	基部未熟粒	合計		
2009年									
早期	4.24	7.16	8.24	11.9	1.1	4.1	17.1	22.1	540
早植え	5.15	7.24	8.29	11.9	2.0	4.1	18.0	22.4	531
普通期	6. 1	6. 4	9. 8	5.8	0.8	1.3	7.9	23.8	505
2010年									
早期	4.26	7.15	8.17	14.5	6.0	3.6	24.1	22.7	470
早植え	5.14	7.25	8.27	7.2	4.5	4.1	15.8	22.4	577
普通期	6. 1	6. 2	9. 3	22.8	8.1	6.1	37.0	21.5	442

注) データは、徳島県立農林水産総合技術支援センターが実施した奨励品種決定調査による。白未熟粒は穀粒判別器（静岡精機株式会社 ES-1000）による計測結果を示す。

第34表 徳島県立農林水産総合技術支援センターにおける「キヌヒカリ」の出穂期前後の気象

作期	出穂期前10日間						出穂期後20日間					
	気温(°C)			日照時間(h)			気温(°C)			日照時間(h)		
	2009年	2010年	平年	2009年	2010年	平年	2009年	2010年	平年	2009年	2010年	平年
早期	26.9	25.1	26.2	5.5	2.8	3.5	26.2	27.9	27.4	3.8	8.2	5.5
早植え	26.5	27.7	27.3	5.0	8.1	5.2	26.8	28.2	27.8	4.2	8.1	6.4
普通期	26.0	28.1	27.6	3.3	7.6	5.8	27.6	28.8	27.8	6.9	9.0	6.5

注) 出穂期は第33表に示す。平年は、2000～2009年の平均値を示す。



第44図 徳島県立農林水産総合技術支援センター農業研究所における2010年と平年の気温

2010年と平年ともに、上から半旬別の最高気温，平均気温，最低気温を示す。

早植えて1日の差であった。出穂期の差は、普通期で2日，早期および早植えは1日であった。一方，成熟期は何れの作期とも2009年が晩熟であり，早期で7日，普通期で5日の差が生じた。これらについて，第34表の出穂期後20日間の気象をみると，2009年は早期，普通期ともに低温寡照で経過したため，熟期が遅延したと考えられた。

白未熟粒の発生状況は，早期では2010年で乳白粒，腹白粒の発生がやや多かった（第33表）。これ

は2010年の出穂期前が低温寡照条件であり，また，登熟期間が高温傾向であった（第44図）ことが白未熟粒の発生を助長したと考えられた。

早植えは同程度の発生割合であるが，2009年の乳白粒がやや多くなっており，早期と同様に、出穂期前の低温寡照条件，および登熟期の高温が影響したと考えられた。普通期では，2010年で白未熟粒が多発生しており，過去8年間で最も劣質であった。また，千粒重についても2g以上軽く，収量は88%にとどまっている。これらは登熟期間を通して高温であったためと考えられる。

(3) 米品質低下要因の解析

早期栽培では、「コシヒカリ」などの極早生種の作付けが多いため，出穂期が7月中旬となる場合が多い。この時期は梅雨後半の曇雨天に伴う低日照条件が続く場合が多いため（第34表），これが前項2010年「キヌヒカリ」と同様に品質低下の要因の一つであると考えられる。また，2003年のように登熟期に接近する台風の影響も大きく，特に耐倒伏性が弱い「コシヒカリ」が多く作付けられることから，県産米全体に対する影響も大きい。

早植えは早期と同様に極早生品種の作付けが多く、その中でも「キヌヒカリ」は耐倒伏性が強いことから、露地野菜跡などの多肥条件下で多く栽培されている。

出穂期が梅雨明け直後の7月下旬となる場合が多いため、登熟期間が最も高温となる作期である。露地野菜跡に作付けされることや、耐倒伏性が強いことから多肥条件下で栽培されることも多く、生育過剰傾向となり、籾数過多による養分競合により、白未熟粒が多発していると考えられる。

普通期は、県西部を中心に「ヒノヒカリ」が多く作付けされている。また、中山間地帯においても作付けがみられ、標高の高い地域の品質が低い地域より良質である場合が多いことから、夜温差が品質面に影響していると思われる。なお、2010年は登熟期間に猛暑日が継続したことで(第44図)、白未熟粒が多発し、過去8年間で最も劣質となった。

(4) 今後の技術対策と研究課題

早期については、出穂期前後の低日照条件が登熟初期の栄養状態に影響を及ぼしていると考えられる。対策としては、作期を移動することで出穂期前後の低日照を回避させることが想定されるが、現在の水利慣行などから困難と考えられる。このため、低日照条件下においても品質低下程度の小さい品種の選抜を行い、問題となっている作型、地域を中心に導入を行うことが必要である。

早植えでは、多肥条件下での籾数過剰や登熟期間が高温期にあたることで品質低下の要因と考えられる。多肥条件下における生育過剰を抑制させることは、施肥法や早期の中干しなどの水管理による生育制御を行うことで可能と考えられ、このような技術の普及が必要である。登熟期間の高温回避は早期と同様に困難であると考えられるため、高温登熟性に優れた品種の導入が必要である。

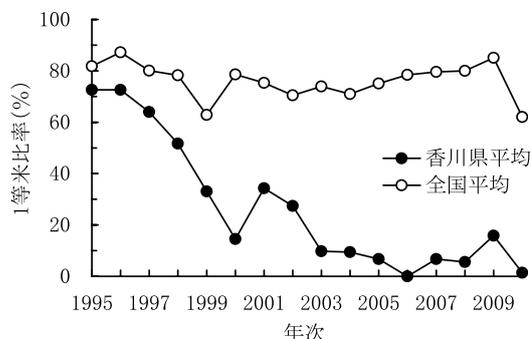
普通期についても既存品種から高温登熟性に優れた品種の導入が必要であるが、登熟期後半の栄養状態の凋落が白未熟粒の発生を助長させている可能性があるため、品種選抜と並行して検討を進める必要がある。(山本善太)

2) 香川県

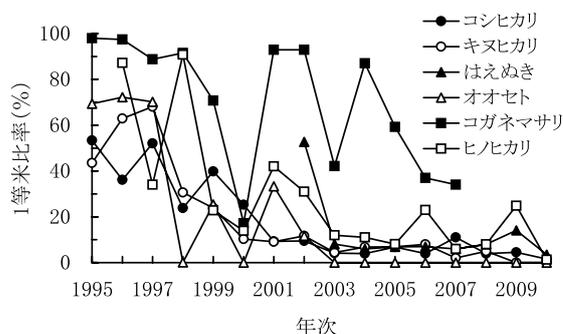
(1) 近年の外観品質の状況

香川県における水稻の品種別1等米比率の推移を第45図に示した。香川県における米の品質低下は1995年頃から現れはじめ、香川県平均の1等米比率の低下が顕著になったのは1997年頃からである。この頃は「コシヒカリ」の早期栽培(5月上旬植え)で1等米比率の低下がみられ、四国地域の他県においても同様の傾向であることが確認された。このような早期栽培の米品質低下を問題視し、1998年度に四国4県で共同研究することを国に申し出た。しかし、当時は全国的には品質低下がまだ問題となっていなかったため、一地域の問題として国の研究予算はつかず、各県それぞれが品質低下問題に取り組むこととなった。

1999年以降、香川県における1等米比率の低下は顕著となり、全国平均と比べて大きな差が生じた。品種別に見ると、「キヌヒカリ」などの早生品種全

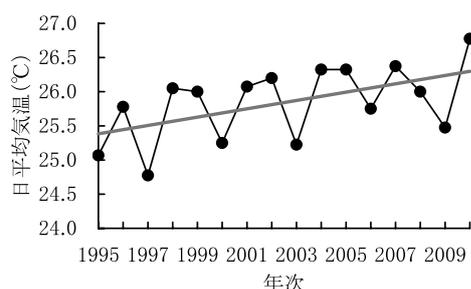


第45図 1等米比率の香川県と全国の比較
農林水産省の公表値より作成した。



第46図 香川県における品種別1等米比率の推移
農林水産省の公表値より作成した。

般にみられるようになり、その後、中生品種まで広がっていった（第46図）。このような品質低下の原因は、地球温暖化に伴う高温化傾向であることが推測された。第47図は香川県農業試験場における気象観測データを示しており、香川県における普通期栽培の稲作期間（6～9月）の平均気温は明らかな気温上昇傾向にあることが認められた。一方、品種

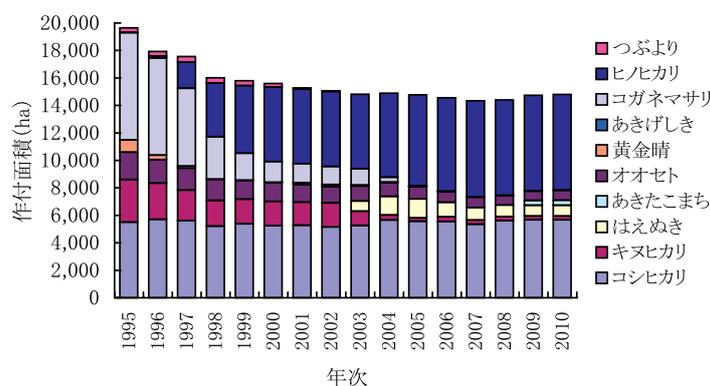


第47図 6～9月（稲作期間）の日平均気温の推移（香川農試気象観測値）

の変遷については、第48図に示すとおりである。中生品種の中では「コガネマサリ」の外観品質が優れていたが、良食味志向により販売不振となり、栽培面積が減少し、これに代わって「ヒノヒカリ」の栽培が増加した。「ヒノヒカリ」は「コガネマサリ」に比べて高温による品質低下傾向が大きいいため、香川県全体の品質低下傾向に拍車がかかった形となった。2003年以降はほとんどの年で香川県の1等米比率は、一桁台となっている。

(2) 2009年産米と2010年産米の品質の概況

香川県における2009年産米と2010年産米の品質比較を第35表に示した。2010年産米の1等米比率が低くなったが、その低下程度は「はえぬき」と「ヒノヒカリ」で大きく、特に「はえぬき」では3等米が多かった。検査等級低下の主な理由を見ると、「腹白粒」が多かったのが特徴的である。この腹白



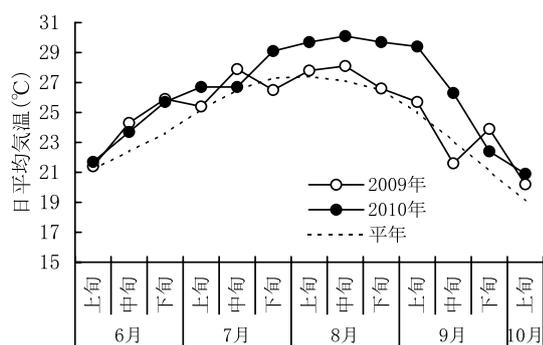
第48図 香川県における品種別作付面積の推移
香川県農政水産部農業生産流通課調べによる。

第35表 香川県における2009年産米と2010年産米の品質比較

品種	年次	1等 (%)	2等 (%)						3等 (%)					
			2等計	充実度不足	心白	腹白	カメムシ (着色粒)	その他 ¹⁾	3等計	充実度不足	心白	腹白	カメムシ (着色粒)	その他 ¹⁾
コシヒカリ	2009	6.2	82.5	77.2	3.8	0.5	0.2	0.8	11.3	5.5	0.5	0.0	5.0	0.3
	2010	2.4	93.1	54.8	2.7	34.9	0.2	0.5	4.5	1.0	0.3	1.4	1.4	0.4
はえぬき	2009	26.6	70.4	61.5	0.7	1.5	5.0	1.7	3.0	0.2	0.0	0.0	2.2	0.6
	2010	5.0	72.7	42.2	4.8	25.3	0.4	0.0	22.3	12.8	0.1	7.2	1.9	0.3
オオセト	2009	0.0	100.0	93.2	0.0	0.0	6.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	2010	0.0	85.0	21.3	0.3	63.4	0.0	0.0	15.0	0.3	0.0	13.4	1.2	0.1
ヒノヒカリ	2009	32.2	64.7	52.4	7.3	0.0	3.1	1.9	3.1	0.1	0.0	0.0	2.7	0.3
	2010	2.6	92.8	47.3	18.2	26.7	0.3	0.3	4.5	0.9	0.7	1.6	1.0	0.3

注) 農林水産省の公表値より作成した。

1) その他は青未熟粒，光沢，肌ずれなどの形質と水分，胴割粒，茶米，砕粒などの被害粒と死米及び異種穀粒などである。



第49図 香川県における普通期栽培期間の旬別日平均気温の2009年と2010年の比較

香川県農業試験場本場（高松市仏生山町）の気象観測値。

粒の項目には、背白粒や基部未熟粒などの白未熟粒が含まれている。

2010年産の「はえぬき」と「ヒノヒカリ」の1等米比率が著しく低下した理由は、第49図に示すように、登熟期である8月下旬～10月上旬の気温が著しく高かったためと考えられる。

(3) 米品質低下要因の解析とその対策

a 現地実態調査

前述のように、1995年頃から早期栽培の「コシヒカリ」で品質低下が問題となったため、1995年～1998年にかけて現地実態調査を実施した。これは現地農家の栽培管理方法および生育状況を把握しておき、生産された米の品質を調べることにより、良質米生産のための栽培方法を明らかにしようとするものである。その後、「ヒノヒカリ」でも品質低下が目立ちだしたため、1999年～2003年にかけて同様に現地実態調査を行った。特に2001年には県とJAが一体となって香川県下70ヵ所において「ヒノヒカリ」品質改善実証圃を設置し、品質改善に向けた取り組みを行った。

その結果、基肥の施用量が多い、1株植え付け本数が多い、中干しがきついななどの事例で品質が低下しやすいことがわかった。しかし、これらの要因よりも大きな支配的要因として登熟期の気温があげられ、早植えよりも遅植え、平野部よりも内陸部のように登熟期の気温が高くなく、適正域にあれば品質が良いことが認められた。

b 登熟期の気温と品質との関係

1995年～2003年にかけて行った現地実態調査、農業試験場内の栽培試験、現地ポット試験などにより、品質を確保するための登熟期の気温について検討した結果、出穂後30日間の平均気温が高くなると1等米の確保が困難になることが認められた。「コシヒカリ」および「はえぬき」では26℃、「ヒノヒカリ」では25℃以上になると高温登熟障害による明らかな品質低下がみられ、これらを登熟限界温度とし、これ以下になるような田植時期（播種時期）とすることが重要と考えられた⁴⁷⁾。

c 移植適期マップの作成

品質低下の最大の要因が登熟期の気温であったことから、高温を回避し、品質を確保するためには適正な移植期とする必要があるため、移植適期マップの作成を行った。これはメッシュ気候値を基にして1 kmメッシュ毎に推定された気温により、登熟限界気温以下となるような出穂期を設定した。そして2次元ノンパラメトリックDVR解析により、この時期に出穂するような移植時期（播種時期）を推定し、移植時期毎に色分けを行って移植適期マップ（現場向けには田植え誘導マップと称した）を作成した²⁶⁾。香川県の主要品種である「コシヒカリ」、「はえぬき」、「ヒノヒカリ」について行い、農家への指導を行った。しかし、水利慣行面で困難な地域があり、移植時期をすぐには変更できないという問題も残された。

d 香川県稲作生産改善対策指針における重点推進事項

これまでに行った試験や調査解析を基にして、稲作生産改善対策指針の中で県産米品質改善対策の重点推進事項を掲げており、その内容は以下のとおりである。

a) 適地適作

登熟期の高温による品質低下を回避するため、適地適作を基本とし、田植え誘導マップに基づいて移植時期（播種時期）を設定する。「コシヒカリ」は中山間部での作付けを基本とし、6月上旬田植えを実施する。「はえぬき」は平坦部では6月20日の移植を基本とする。「ヒノヒカリ」は平坦部では6月

20日～25日，海岸部では6月25日～30日を目安に移植する。

b) 適正な施肥

栽培しおりの施肥基準を厳守することにより，過繁茂を抑制して適正籾数を確保する。特に「ヒノヒカリ」は基肥過多にならないように留意する。

c) 適正な栽植密度

株間を18cm以上とし，坪あたり60株程度の栽植密度とする。1株あたり植え付け本数は3～5本とし，多くならないように注意する。

d) 適正な水管理

適正な水管理により，健全な生育と良好な登熟を促し，粒張りを良くする。中干しは適期に実施し，その程度は土壌が黒湿り～亀裂幅1cm程度までとし，強くしすぎない。登熟後半の水分不足は粒張りを悪くするので，収穫間際まで土壌水分を保ち，落水時期は収穫前7日頃を目安とし，コンバイン収穫に支障のない範囲で遅くする。

e) 適期収穫

籾黄変率80～90%で適期収穫を行う。過熟になると，胴割米，茶米などの発生原因になるので刈り遅れないよう注意する。

f) 的確な病害虫防除

育苗箱施用と本田防除の必須防除を確実にを行い，特にカメムシ類の防除を的確に行う。また，いもち病，紋枯病，コブノメイガが発生した場合は速やかに応急防除を実施する。

(4) 今後の技術対策と研究課題

登熟限界温度付近では，適正な生育量を確保するとともに，適切な栽培管理を行うことによって1等米比率を高めることは可能と考えられる。しかし，近年のように登熟気温が限界温度をはるかに超える場合は，適切な栽培管理だけでは1等米の確保は不可能となる。このため，高温登熟性に優れた品種の導入を検討している。

その結果として，2009年には「にこまる」を産地品種銘柄に指定し，2010年には「おいでまい」を奨励品種に採用した。今後もさらなる高温化が予想されるため，さらに高温登熟性に優れた品種の育成および導入について検討していく必要がある。

(藤田 究)

3) 愛媛県

(1) 気象の変化と米品質低下

a 気温の変化

地球の温暖化が問題となって久しいが，近年，愛媛県でも気温が徐々に上昇している。松山地方気象台が公表している1890年以降の年平均気温のデータによると，松山市では100年間に1.74℃の変化率で上昇している。さらに，近年は特に上昇率が高く，過去20年間でほぼ1℃上昇している⁴⁹⁾。このような傾向は今後も続くことが予想され，水稲のみならず現在栽培されている農作物の栽培には厳しい条件になることが懸念される。

これまで使われていた気象台の平年値は1971～2000年の30年間の平均値であったが，2011年5月

第36表 愛媛県における奨励品種特性表の品種特性の経時変化

品種	年次	移植日 (月.日)	出穂期 (月.日)	到穂日数 (日)	成熟期 (月.日)	登熟期間 (日)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/㎡)	収量 (kg/10a)
コシヒカリ	1985	4.30	8. 3	95	9. 6	34	94	22.3	285	540
	2009	4.27	7.16	80	8.18	33	88	21.3	307	535
	差	24	-3	-18	-15	-19	-6	-1.0	22	-5
ヒノヒカリ	1996	6.15	8.29	75	10.14	46	79	19.9	361	543
	2009	6.15	8.25	71	10. 5	41	87	21.3	307	535
	差	13	0	-4	-4	-9	8	1.4	-54	-8
松山三井	1985	6.15	9. 4	81	10.31	57	90	21.1	354	522
	2009	6.15	9. 1	78	10.10	39	87	21.3	307	535
	差	24	0	-3	-3	-21	-3	0.2	-47	13

注) 愛媛県における水稲奨励品種特性表を転記した。稲奨励品種特性表には奨励品種決定試験の過去5カ年分の平均値が記載されている。

18日から1981～2010年の平均値に変更された。松山市では、この10年間で平年の平均値が0.4℃高くなっており、ここからも地域の温暖化がうかがえる。

b 水稲の生育の変化

水稲奨励品種特性表には過去5年間の奨励品種決定試験の平均値が記載されているが、第36表に示したように、極早生品種である「コシヒカリ」の早期栽培（4月下旬植え）における1985年と2009年の特性表を比較した。この24年間に移植から出穂期までの到穂日数95日が80日と15日間短縮した。これは生育期間の気温の上昇に伴い、比較的感温性の高い品種である「コシヒカリ」が、それに反応して出穂期が早くなったためである。また、早期栽培では出穂期は早まったものの、1985年頃も梅雨明けから8月中下旬の高温期間であったため、登熟期間が34日から33日と1日の短縮に止まった。

一方、本県育成の晩生品種である「松山三井」では、この24年間の生育期間の短縮は、感温性の低い品種であるため3日に止まっているが、主として気温に左右される成熟期が早くなったため登熟期間は18日も短縮している。また、「ヒノヒカリ」は奨励品種に採用した1996年からの13年間で、到穂日数は4日、登熟期間は5日短縮した。

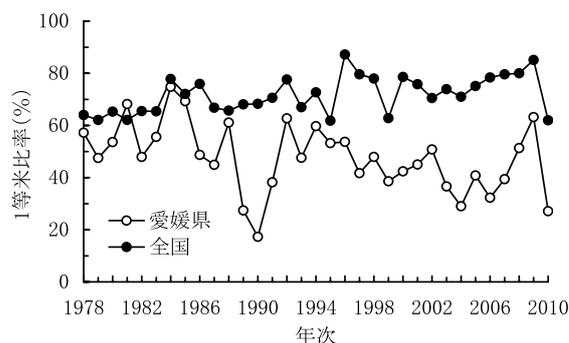
中生、晩生品種では、出穂期の前進化による高温域での出穂と、さらに初秋の高温化の影響で登熟期間が大幅に短縮されており、1985年や1996年頃のように十分な登熟期間が確保できなくなっている。

c 検査等級1等米比率の低迷

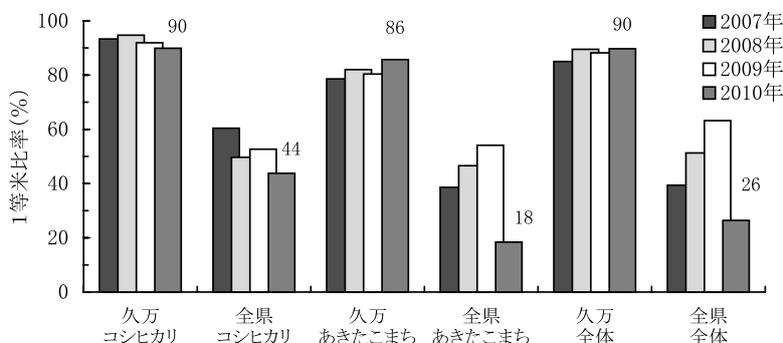
第50図は1978年以降の本県と全国平均の検査1等米比率の推移を示したものである。これによると、1985年頃までは全国平均と大差ない1等米比率であったが、その後1996年にかけて全国平均に比べて大きく低迷し、近年まで大きな差で推移している。本県では、2001年頃から水稲の生育相の改善と低コスト化を目的に水稲の疎植栽培の普及に取り組み、それが現場で定着した2004年からは1等米比率が徐々に回復し、特に2009年は登熟期の気温が低く推移するなどの影響もあって60%を超える1等米比率であった。しかし、2010年は夏～秋の猛暑で全国の1等米比率が低下する中、本県ではさらに大きく低下した。

d 産地の標高による1等米比率の差

第51図は標高400～600m地帯に水田が広がる愛



第50図 愛媛県と全国の1等米比率の推移
農林水産省公表資料より作成した。



第51図 愛媛県久万高原町と愛媛県全体の1等米比率の推移
(2007～2010年)

久万：久万高原町（標高400～600m）、全県：愛媛県、全体：うるち米全体を示す。図中の数値は、2010年産米の1等米比率（%）を示し、JA松山市の米の検査結果および農林水産省公表資料より作成した。

媛県久万高原町の1等米比率と全県とを比較したものである。「コシヒカリ」を中心とした極早生品種が作付けのほとんどを占めており、「コシヒカリ」では90%、「あきたこまち」でも80%を超える1等米比率を安定して達成した。また、8、9月が猛暑となった2010年産では、全県平均の1等米比率が26%と大きく低下する中、同町では全体で90%と高かった。

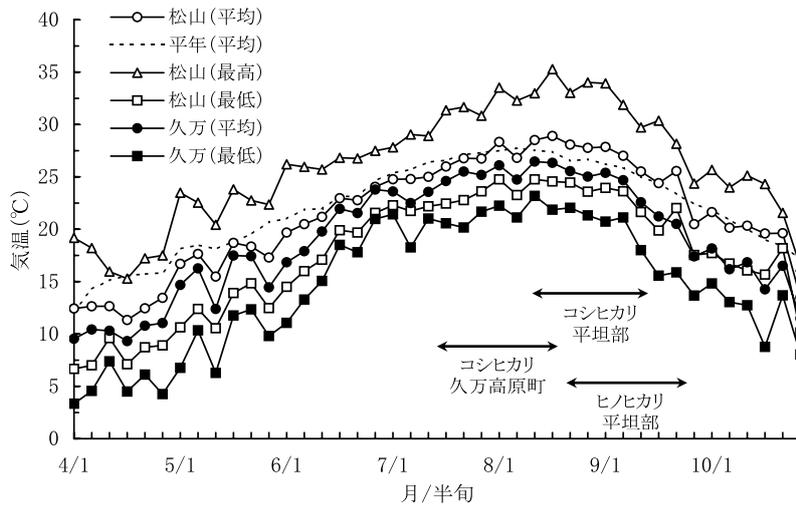
第52図は2010年の水稻生育期間中における久万高原町と松山市（上難波）の気温の変化を比較したものである。久万高原町では、4月下旬から5月上旬に移植が行われ、「コシヒカリ」では8月5日頃に出穂期を、9月10日頃に収穫期を迎えるが、「コ

シヒカリ」の登熟期間中の平均気温25.6℃、最低気温21.6℃で、松山市の平坦部での「コシヒカリ」の登熟期間中の平均気温27.4℃、最低気温23.7℃に比べ、久万高原町での登熟期の気温の条件が平坦部よりはるかに良いことがわかる。また、久万高原町の気温の特徴として特に最低気温が低く、日較差が大きいことでさらに登熟条件が良いといえる。

e 検査等級の品種間差

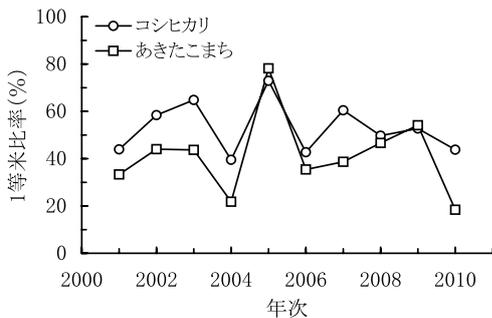
本県主力の極早生品種「コシヒカリ」、「あきたこまち」および中生品種「ヒノヒカリ」、「愛のゆめ」、晩生品種「松山三井」の検査1等米比率の過去10年の推移を第53図、第54図に示した。

極早生品種では「コシヒカリ」の方がおおよそ

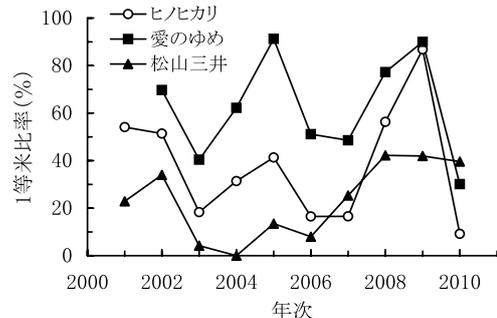


第52図 愛媛県久万高原町と松山市における水稻生育期間中の気温の推移 (2010年)

松山と久万は、それぞれ松山市と久万高原町を示し、平均、最高、最低はそれぞれ平均気温、最高気温、最低気温を示す。気温はアメダス（松山、九万）観測値の半旬毎の平均値を示す。図中の矢印は、登熟期間を示す。



第53図 愛媛県における極早生品種の1等米比率の推移
中国四国農政局松山地域センターの資料より作成した。



第54図 愛媛県における中・晩生品種の1等米比率の推移
中国四国農政局松山地域センターの資料より作成した。

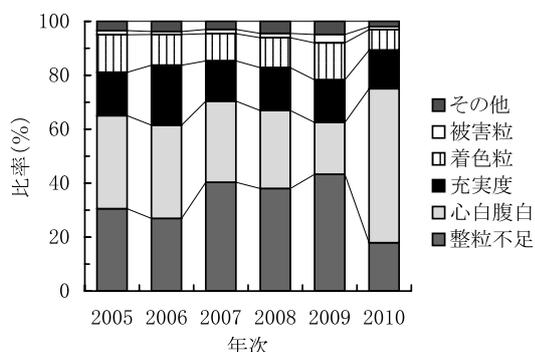
10%高い1等米比率を示した。また、2010年産で「コシヒカリ」がほぼ平年並みだったのに対し、「あきたこまち」が大きく落ち込んだのは、「コシヒカリ」が4月植えの早期栽培が主体であるのに対し、「あきたこまち」は6月植えの普通期栽培が多く、2010年の8、9月の猛暑が強く影響したためである。

一方、中生品種では「ヒノヒカリ」に比べ「愛のゆめ」で20~30%程度高くなった。「ヒノヒカリ」は弱勢穎花の登熟が悪く、もともと品質があまり良くない品種と言われているが、本県ではこの欠陥を補うというコンセプトのもとに、食味が「ヒノヒカリ」並みで弱勢穎花の着生が少なく品質が低下しにくい品種として「愛のゆめ」を奨励品種に採用しており、この意味ではある程度の成果を上げているといえる。しかし、夏季が猛暑となった2010年は、「ヒノヒカリ」とともに「愛のゆめ」も1等米比率が大きく低下した。

また、先に述べたように、本県育成の晩生品種の「松山三井」は、十分な登熟期間が確保できなくなったうえに千粒重が25~26gの大粒品種であることから、白色未熟粒や胴割粒の発生により近年は1等米比率が低迷している。

f 愛媛県における米検査格付け理由

2005~2010年の本県産の米検査格付け理由を第55図に示した。検査等級低下の主な理由は、年によって変動はあるものの、「整粒不足」、「心白及び腹白」、「充実度」、「着色粒」の順で推移している。夏季が異常高温だった2010年産米は、「心白及び腹



第55図 愛媛県における米検査格付け理由の推移
中国四国農政局松山地域センターの資料より作成した。

白」が最も多くなっている。この中には、背白粒も多く含まれている。また、「整粒不足」の中には、基部未熟粒や青未熟粒なども含まれるが、それらの分類は公表されているデータにないため、気象変動と米検査格付け理由との関係を分析するのは困難である。なお、格下げ理由の1割程度を占める「着色粒」のほとんどは斑点米カメムシによるものであり、近年、温暖化する中で斑点米カメムシの被害も多くなっている。

g 玄米の収量品質と気象との関係

第37表は1998年産と1999年産の「あきたこまち」について玄米収量・品質、登熟歩合と気温、日射量との相関関係を時期別に見たものである。気象と未熟粒割合との関係では、出穂後30日間と25日間の最低気温と平均気温との相関が高く、登熟歩合との関係では、出穂後30日間の平均気温、最高気温、25日間と20日間の平均気温や20日間の日射量とは負の相関があった。なお、精玄米重と気温との相関は明らかでなかった。

第37表 「あきたこまち」の収量・品質と気象との相関係数

	未熟粒割合	精玄米重	登熟歩合
出穂後20日間の積算気温	平均気温	0.493	-0.338
	最高気温	0.272	-0.198
	最低気温	0.596	-0.466
	最高-最低	-0.263	0.226
出穂後25日間の積算気温	平均気温	0.609 *	-0.408
	最高気温	0.284	-0.222
	最低気温	0.758 **	-0.536
	最高-最低	-0.291	0.180
出穂後30日間の積算気温	平均気温	0.792 **	-0.449
	最高気温	0.460	-0.228
	最低気温	0.870 **	-0.577
	最高-最低	-0.303	0.282
出穂後成熟までの積算気温	平均気温	0.213	0.093
	最高気温	0.097	0.148
	最低気温	0.352	-0.016
	最高-最低	-0.231	0.256
成熟までの平均気温	0.814 **	-0.420	-0.589
20日間の日射量	0.139	0.169	-0.669 *
25日間の日射量	0.177	-0.011	-0.568
30日間の日射量	0.328	0.053	-0.543
成熟までの日射量	0.287	0.147	-0.336

注) 表中の相関係数は、1998年と1999年に愛媛県農林水産研究所で調査した結果から算出した。*と**は、それぞれ5%と1%水準で有意であることを示す。

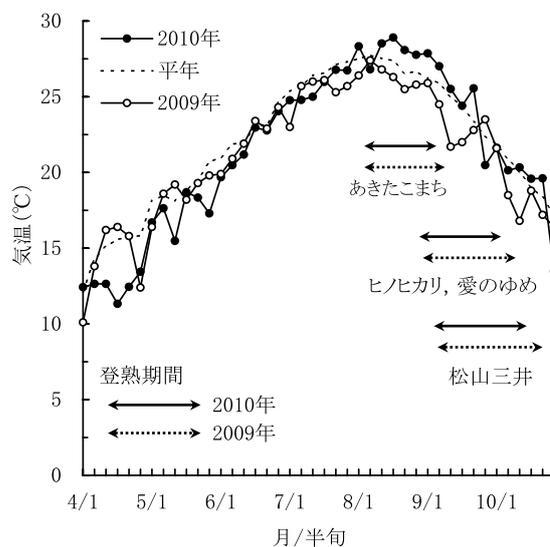
「コシヒカリ」では、出穂後10日間や20日間の高温の影響で品質が低下しやすいとされている³⁹⁾が、この2カ年の「あきたこまち」では、出穂後20日間の気温と未熟粒割合との相関は低かった。また、日較差が小さいと品質が低下しやすいと言われるが、最高気温-最低気温との関係でも、その差が小さいほど品質が悪い傾向はあったが、相関は高くなかった。

(2) 2009年産と2010年産水稲の品質と気象との関係

2009年と2010年は水稲の高温登熟対策を考える上で特徴的な2カ年であったといえる。つまり、2009年は水稲の登熟期の平均気温が平年2~3℃下回って登熟に良い条件であったが、2010年は逆に平年を2~3℃上回って登熟に悪い気温条件であった(第56図)。その結果、本県の1等米比率は2009年産と2010年産を比較すると、「あきたこまち」で54.1%、18.4%、「ヒノヒカリ」で86.8%、9.2%、「愛のゆめ」で90%、30.1%、全体で63.2%、26.4%とそれぞれ2010年産が大きく低下する結果と

なり、登熟期の気温が1等米比率を大きく左右することが改めて確認された。

この2カ年の登熟期のうち、高温遭遇で品質が低下しやすいと言われる出穂後20日間の平均気温を



第56図 2009年と2010年の水稲生育期間中の平均気温の推移(愛媛県農林水産研究所)

「あきたこまち」は他の品種と同様に6月中旬移植の結果を示す。気温はアメダス観測値を用いた。

第38表 愛媛県農林水産研究所における2010年と2009年の水稲作況調査データ(普通期)

	あきたこまち			ヒノヒカリ			愛のゆめ			松山三井		
	2010年	平年値 ¹⁾	2009年	2010年	平年値 ¹⁾	2009年	2010年	平年値 ¹⁾	2009年	2010年	平年値 ¹⁾	2009年
最高分げつ期	7.24	7.25	7.24	7.24	7.25	7.31	7.24	7.25	7.31	7.24	7.24	7.31
幼穂形成始期	7.25	7.28	7.24	8.9	8.6	8.4	8.6	8.5	8.3	8.14	8.11	8.9
出穂期	8.8	8.8	8.10	8.24	8.26	8.29	8.23	8.25	8.28	8.30	9.1	9.3
成熟期	9.9	9.12	9.13	10.3	10.4	10.7	10.4	10.5	10.9	10.11	10.14	10.20
主稈葉数	12.5	13.1	13.1	13.8	14.5	14.6	13.7	14.4	14.6	14.2	15.4	15.1
稈長(cm)	79	82	85	76	84	81	75	79	77	81	91	90
穂長(cm)	21.6	20.7	21.7	21.6	20.4	22.4	21.5	20.5	22.0	23.7	22.3	23.6
穂数(本/m ²)	327	329	284	299	363	346	321	345	373	262	308	286
1穂籾数(粒/本)	85	84	85	95	87	85	92	79	67	69	83	73
玄米千粒重(g) ²⁾	23.1	22.8	24.0	23.0	22.9	25.2	22.8	23.4	25.5	26.3	26.3	27.3
登熟歩合(%)	81.0	77.1	69.7	78.0	79.5	80.4	81.0	81.0	79.9	91.0	81.3	75.7
精玄米重(kg/a) ²⁾	52.8	49.0	43.2	58.8	56.7	63.4	53.3	53.4	57.2	50.0	56.3	55.6
良質粒割合(%) ³⁾	60.3	69.1	63.7	69.7	70.5	69.9	77.0	80.7	81.2	55.8	42.2	45.8
玄米蛋白質含有率(%)	8.4	8.0	8.2	7.4	8.0	8.9	7.2	7.7	8.4	7.3	7.7	8.2
検査等級	2.0	1.2	1.0	2.0	1.2	1.0	2.0	1.1	1.0	1.0	1.8	1.5
格付理由	腹白	-	-	心白	-	-	心白	-	-	-	-	未熟
屑米率(%)	4.1	5.8	6.4	2.4	7.0	4.8	4.0	6.3	7.4	3.4	4.1	4.5
倒伏程度(0-5) ⁴⁾	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0

1) 平年値は2004~2008年の5カ年の平均値。
 2) 玄米千粒重, 精玄米重は1.8mmグレーダー使用で水分14.5%換算値。
 3) 良質粒割合は品質判定機(静岡製機 RS-2000)で測定。
 4) 倒伏程度は0(無)~5(甚)の6段階で評価した。

第39表 「ヒノヒカリ」の栽植密度の違いによる水稻の生育および収量 (愛媛県農林水産研究所, 2002年)

栽植密度 (株/m ²)	穂肥時葉色 (SPAD値)	出穂期 (月.日)	成熟期 (月.日)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/m ²)	1穂粒数 (粒/本)	総粒数 (千粒/m ²)	登熟歩合 (%)	千粒重 (g)	精玄米重 (kg/a)	倒伏程度 (0-5)
11.1	36.0	9. 1	10. 4	76	18.9	348	79	27.5	82	21.1	48.7	0
13.9	31.5	9. 1	10. 4	72	18.1	399	73	29.2	80	21.5	51.7	0
18.5	31.1	9. 1	10. 4	72	18.2	403	77	31.0	81	21.4	50.6	0

注) 6月19日に移植して10月9日に収穫した。基肥と穂肥の施肥窒素量は各4 g/m²とし、3区制で実施した。精玄米重と千粒重は粒厚1.8mm以上。

比べると、6月中旬植えの「あきたこまち」では2009年の26.1℃に対し2010年では28.3℃、「ヒノヒカリ」では同様に24.2℃に対し27.6℃、「愛のゆめ」では24.6℃に対し27.6℃と2010年産は品質が低下しやすいと言われる26℃を上回っていた。その結果、所内の水稻作況試験で2009年産では3品種とも1等だったのに対し、2010年産では「あきたこまち」では腹白粒、「ヒノヒカリ」と「愛のゆめ」では心白粒によって良質粒が大幅に低下し2等格付けとなった(第38表)。ただし、「あきたこまち」では登熟期の気温が低く推移した2009年産でも1等にはならなかったが、出穂後20日間の平均気温は26.1℃と高く、登熟には厳しい条件だったといえる。

(3) 米品質低下に対する技術的対応策とその有効性

a 疎植栽培による米品質低下の抑制

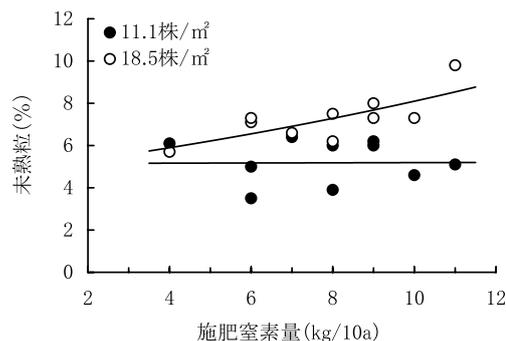
a) 疎植栽培の取組み

愛媛県では、稲作の低コスト化と過繁茂による後期凋落型生育の改善による品質低下の抑制を目的に2001年頃から疎植栽培の普及を図り、従来の栽植密度18株/m²の慣行に対し、15株/m²以下の疎植栽培は、普及組織の調査によると2010年産では県内水稻栽培面積の約50%に達している。

b) 疎植栽培水稻の特徴と米品質低下抑制効果

第39表に「ヒノヒカリ」の栽植密度の違いによる生育、収量を示した。他の品種でも同様な傾向が確認されており、疎植栽培水稻の特徴をまとめると次のようになる。

- ・単位あたり茎数は少なめに推移する。
- ・11.1株/m²は、18.5株/m²に比べ稈長、穂長が長く、単位面積あたり穂数は少なく、1穂粒数は多いが総粒数は少なく、登熟歩合は高くなる。



第57図 「ヒノヒカリ」の疎植栽培における未熟粒低減効果 (愛媛県農林水産研究所)

施肥窒素量は、基肥(4と6 kg/10 a)、穂肥(0, 2, 3, 4, 5 kg/10 a)の合計を示す。

- ・生育期間中の葉色はやや濃く推移し、有効茎歩合は高い。
- ・疎植栽培では稈長は長くなるが、茎が太くなるため耐倒伏性は低下しない。

などである。

第57図に「ヒノヒカリ」の疎植栽培で施肥量を変えて未熟粒の発生割合を調査した結果を示した。一般栽培では施肥の増量で未熟粒が増えるが、疎植栽培では施肥を増やしても未熟粒が増えないことがわかった。また、第40表は「ヒノヒカリ」の栽植密度を変えて窒素施肥量と総粒数、収量および品質との関係を見たものである。疎植栽培では増肥によって大幅な収量増は期待できないものの、増肥や天候などによって生育前半の生育が過剰となり、登熟条件が高温や日照不足などで悪化する場合でも総粒数が増えず、品質低下を抑制する働きが期待できることがわかった。しかし、11株/m²以下の極端な疎植では、中山間地や平坦地でも初期生育が抑制されるような条件下では収量が低下することや、1穂粒数が多くなり未熟粒が増えて品質が安定しない傾向が

第40表 「ヒノヒカリ」の疎植栽培での施肥窒素量と収量および玄米品質との関係（2002年，愛媛県農林水産研究所）

	施肥量(kg/10a)		総粒数 (千粒/m ²)	精玄米重 ¹⁾ (kg/a)	検査等級 ²⁾	格付理由
	基肥	穂肥				
疎植 (11.1株/m ²)	4	0	23.4	38.3	1.0	
	4	3	27.0	48.7	1.0	
	4	5	28.9	52.4	1.0	
	6	0	25.4	42.1	1.3	充実度
	6	3	29.5	49.7	1.0	
	6	5	26.7	50.9	1.0	
慣行 (18.5株/m ²)	4	0	22.5	38.7	1.0	
	4	3	29.2	52.3	1.0	
	4	5	31.8	54.8	1.0	
	6	0	29.7	50.3	1.3	乳白粒
	6	3	33.1	59.5	1.7	乳白粒
	6	5	32.2	58.8	2.0	乳白粒
栽植密度			**	**		
分散分析 ³⁾ 基肥量			**	**		
穂肥量			**	**		

1) 精玄米重は粒厚1.8mm以上。

2) 検査等級は高松食糧事務所松山事務所調査（農産物検査基準）。

3) 1区24m²の3区制で実施した試験（移植は6/19）の分散分析の結果を示し，**は1%水準で有意差があることを示す。

第41表 「ヒノヒカリ」の高温条件下での穂肥分施による品質低下の軽減（2007年）

温度条件	穂肥回数	精玄米重 (g/pot)	千粒重 (g)	整粒 (%)	白未熟粒 (%)
無処理 (最高気温:31.6℃) (平均気温:26.8℃) (最低気温:23.1℃)	無施用	20.8	20.9 ^b	55.6	22.3 ^a
	穂肥1回	43.6	21.0 ^b	67.1	7.4 ^b
	穂肥2回	41.3	22.2 ^a	66.7	5.2 ^b
	穂肥2回+実肥	41.2	22.3 ^a	64.9	5.5 ^b
有意性(穂肥回数:無処理)			**	**	**
高温処理 (最高気温:34.6℃) (平均気温:29.1℃) (最低気温:25.3℃)	無施用	18.6	19.3 ^b	14.7	49.5 ^a
	穂肥1回	27.0	19.7 ^{ab}	24.9	33.0 ^b
	穂肥2回	27.4	20.2 ^a	23.7	31.1 ^b
	穂肥2回+実肥	31.2	20.5 ^a	28.9	25.4 ^b
有意性(穂肥回数:高温処理)			**	**	**

注) 試験は愛媛県農林水産研究所で行った。1/5000 a ワグネルポット3本植の3区制とし，6月19日に移植した。温度処理期間は8月29日～9月27日とし，無処理は網室内で管理し，高温処理は無加温のガラスハウス内で管理した。穂肥は8月7日と8月16日に，実肥は9月3日に施用した。整粒および白未熟粒は品質判定機（静岡製機，ES-1000）で測定した。**は1%水準で有意であることを示す。同一温度間の異なるアルファベットはチューキー（5%水準）により有意差があることを示す。

あり，さらに新たに疎植対応の田植え機の導入が必要になるため，本県では13～15株/m²程度の疎植栽培を中心に普及させている。

b 施肥による米品質低下軽減

a) 穂肥の分施

登熟期が高温となって肥料切れを起こすと，充実

不足や基部未熟粒などの発生により品質が低下することが知られている¹⁾。第41表は，「ヒノヒカリ」の高温条件下での穂肥分施による品質低下の軽減効果のみたものである。高温処理（出穂後30日の平均気温29.1℃）と無処理（同26.8℃）条件下で穂肥を分施した試験では，高温処理で白未熟粒の発生が

より多く、玄米千粒重が小さくなった。また、穂肥を施用しないと著しく品質が低下し、穂肥を分施することで品質低下が軽減できた。また、高温処理区では実肥の品質低下軽減効果もあった。さらに、分施や実肥によって千粒重が大きくなる傾向にあった。これらのことから、穂肥の分施や実肥の施用で登熟期の高温による品質低下が軽減でき、分施の代わりに緩効性肥料でも同様の効果が認められた。

穂肥については、食味低下を危惧するあまり、施肥量を減らし、実肥は施用をやめる傾向にある。県内でも穂肥は1回施用が一般的だが、穂肥の無施用に比べ穂肥1回施用、2回分施によって玄米蛋白質含有率が高まるものの、窒素分量で1~2 kg/10 aの穂肥であれば食味に影響しないこともわかっており、登熟期が高温に遭遇する時は、確実に穂肥を施用し、分施あるいは緩効性肥料を用いて登熟後半ま

で肥効を持続させることが重要である。

b) 穂肥時期

「ヒノヒカリ」において穂肥施用時期別に穂数、1穂数、総穂数の変化を調査した試験(第42表)では、穂肥の施用時期が早くなるほど穂数が多くなり1穂数も増えて、総穂数が増える傾向にあることがわかる。「ヒノヒカリ」は弱勢穎花の登熟が悪い品種と言われており、穂肥を早めて1穂数や総穂数を増やすことは、品質低下につながると思われる。本県での「ヒノヒカリ」の施肥時期は出穂前20日を基準としているが、現場ではそれよりもやや遅い出穂前18日を穂肥施用時期としている場合もある。

c 水管理による米品質低下軽減

a) 中干しの効果

中干しは生育中期の窒素中断による生育制御で倒

第42表 「ヒノヒカリ」の穂肥施用法の違いが収量・品質に及ぼす影響(1997年, 愛媛県農林水産研究所)

穂肥	穂肥時期	回数	稈長(cm)	穂長(cm)	穂数(本/m ²)	精玄米重(kg/a)	1穂数(粒/本)	総穂数(千粒/m ²)	登熟歩合(%)	千粒重(g)	整粒 ¹⁾ (%)	未熟粒(%)	等級 ²⁾	格付理由
化成区	-30日	1	82	17.7	375	54.4	92	34.5	71	20.2	81.7	14.7	1.3	充実
	-25日	1	82	18.6	406	56.0	82	33.4	68	20.8	82.8	13.6	1.3	充実
	-20日	1	80	18.7	380	55.9	83	31.6	72	21.6	83.5	12.3	1.3	充実
	-15日	1	84	19.6	369	61.3	82	30.2	76	22.1	77.3	16.3	1.3	乳白
	-10日	1	79	18.0	342	52.2	76	26.0	80	22.0	82.9	10.3	1.0	
	-30日	2	82	18.3	384	55.3	87	33.2	74	20.9	81.9	14.4	1.7	充実
緩効性区	-25日	2	82	19.3	329	58.5	87	28.5	71	21.5	78.7	17.1	1.3	乳白
	-20日	2	83	18.9	376	56.8	76	28.5	76	21.9	83.2	11.8	1.0	
	-30日	1	82	17.7	379	53.8	80	30.5	71	20.5	83.3	13.0	1.0	
無穂肥区	-25日	1	84	18.6	364	52.5	82	29.9	69	20.7	83.2	13.2	1.3	充実
	-20日	1	84	18.6	379	56.6	80	30.2	77	21.4	82.2	14.2	1.0	
	-15日	1	81	19.2	351	56.9	83	28.9	75	22.0	79.0	15.2	1.3	乳白
				75	18.6	332	48.2	73	24.2	79	21.3	85.0	9.3	1.0

注) 移植日は6月9日とし、1区30m²の3区制で試験を行った。施肥窒素量は、基肥5 kg/10 a、穂肥4 kg/10 aとし、穂肥にはNK化成特11号(化成区)もしくはえひめ緩効性穂肥446号(緩効性区)を用いた。

1) 整粒は米粒判別機(株式会社ケット科学研究所, RN-500)の測定値。

2) 等級は松山食糧事務所(農産物検査基準)の調べ。

第43表 「ヒノヒカリ」における中干しの有無と生育、収量および玄米外観品質(1999年, 愛媛県農林水産研究所)

	稈長(cm)	穂長(cm)	穂数(本/m ²)	1穂数(粒/本)	総穂数(千粒/m ²)	千粒重(g)	登熟歩合(%)	収量(kg/a)	良質粒(%)	未熟粒(%)	玄米蛋白質(%)	検査等級
中干し無し	83	20.2	327	93	30.4	22.6	72	51.3	69.7	28.0	8.4	2.0
中干し有り	75	19.4	311	81	25.3	23.1	77	47.3	73.5	23.4	7.7	1.3

注) 移植日は6月17日とし、1区190m²の2区制で試験を行った。施肥窒素量は、基肥4 kg/10 a、穂肥4 kg/10 aとした。中干しは15日間行った。玄米品質(良質粒と未熟粒)は品質判定機(静岡製機, RS-2000)で測定した。玄米蛋白質はケルダール法で測定して算出した。検査等級は松山食糧事務所(農産物検査基準)の調べによる。

第44表 水管理の違いが収量・品質に及ぼす影響（1998年，愛媛県農林水産研究所）

試験区 ^{1,2)}	精玄米重 ³⁾ (kg/a)	千粒重 ³⁾ (g)	登熟歩合 (%)	良質粒 ⁴⁾ (%)	未熟粒 ⁴⁾ (%)	その他 ⁴⁾ (%)	等級 ⁵⁾	格付理由 ⁵⁾
圃場	湛水区	58.1	24.8	95	87.1	8.3	4.6	1.0
	間断1区	61.7	24.5	95	86.2	9.2	4.6	1.0
	間断2区	65.8	24.1	94	85.9	10.3	3.8	1.0
	乾燥区	60.9	24.3	92	83.0	12.5	4.5	1.0
ハウス	湛水区	50.5	23.0	80	80.3	18.7	1.0	1.0
	間断1区	49.5	23.1	82	84.7	14.0	1.3	1.0
	間断2区	48.8	22.7	75	79.5	19.8	0.7	2.0 乳白
	乾燥区	45.4	22.4	76	74.1	25.0	0.9	2.0 乳白

- 1) 供試品種は「こいごころ」で，圃場での試験区は1区190㎡の2区制とし，ハウスでの試験区は4㎡の2区制とした．移植日は圃場は6月17日，ハウスは6月19日とした．施肥窒素量は，基肥3kg/10a，穂肥3kg/10aとした．
- 2) 試験区の灌水は穂揃期から25日間行い，湛水区は2日毎，間断1区は4日毎，間断2区は8日毎に水深2～3cm入水し，乾燥区は入水しなかった．
- 3) 精玄米重と千粒重は粒厚1.8mm以上．
- 4) 外観品質は品質判定機（静岡製機，RS-2000）で測定した結果を示す．
- 5) 等級と格付理由は松山食糧事務所（農産物検査基準）の調べによる．

伏軽減の効果や根の活力向上および地耐力向上効果があると言われている。

中干しの有無と生育，収量および品質について「ヒノヒカリ」を用いた試験（第43表）では，中干しをすることによって，稈長，穂長は短くなり，穂数，1穂粒数が減少して総粒数も少なくなった．一方，千粒重は大きく，登熟歩合が高くなるため，収量はやや減る程度に止まった．さらに，良質粒歩合が高まって検査等級が上がり，玄米タンパク率も低下するなど，中干しは品質向上に欠かすことできない技術であることが再確認できた。

b) 登熟期間の水管理

登熟期間の水管理は，出穂・開花期～登熟期前半頃までは湛水し，その後は間断灌水に移行するのが一般的であるが，成熟期に近づくにつれてコンバインの走行のための地耐力を考慮するあまり乾燥気味の間断灌水になることが多い。

穂揃期以降の水管理について比較した試験（第44表）では，未熟粒の発生は湿潤気味の間断灌水を行った間断1区と湛水区で少なく，その傾向はハウス内の高温条件下で顕著であり，乾燥気味の間断灌水の間断2区と乾燥区は2等だった。

登熟期の水管理については，掛流し灌水などが有効といわれている³⁹⁾が，用水の少ない地域などでは，きめ細かな湿潤気味の間断灌水または湛水管理

が有効である。

当研究所では，2010年産水稻の登熟期の異常高温に対応して，所内の水田において品質低下防止対策として収穫前5日頃までやや深めの湛水管理により水を切らさないことを徹底したところ，近隣（旧北条市：農林水産研究所の所在地）の1等米比率が35%と低迷する中，品種比較試験などで刈り遅れた試験区を除き，「愛のゆめ」，「ヒノヒカリ」，「松山三井」など出荷した17,670kgすべてが1等の検査等級であった。

c) 落水時期

品質を低下させないため，落水時期をできる限り遅くするのが一般的であるが，コンバインの普及とともに刈取り時の地耐力を確保するため早まる傾向にある．本県では，土壤などの条件にもよるが，普通期では収穫7日前，収穫時期が高温になりやすい早期栽培では5日前を基準としている．落水を遅くするほど未熟粒が減って整粒が増え，粒張りも良くなるのが所内試験でも確認されており，登熟期の高温遭遇が多くなった普通期栽培においても，品質低下軽減のためにさらに落水時期を可能な限り遅くすることが望ましい。

d) 移植時期移動による米品質低下軽減

登熟期の高温を避けて出穂させることで品質低下を軽減させる試み⁶²⁾は各地で行われている。

本県では、「コシヒカリ」、「あきたこまち」などの極早生品種の普及によって、全品種がそれらに引張られる形で田植え時期が早まる傾向にあり、特に「あきたこまち」を「日本晴」の代替品種として普通期に導入して以来、6月中旬以降の移植では穂数の確保が難しいため田植えが前進化し、「あきたこまち」では3月下旬～6月中旬までの田植えの時期別に作型があるなど作期作型の混乱につながり、ひいては品質低下の原因にもなっている。

a) 「あきたこまち」の移植時期

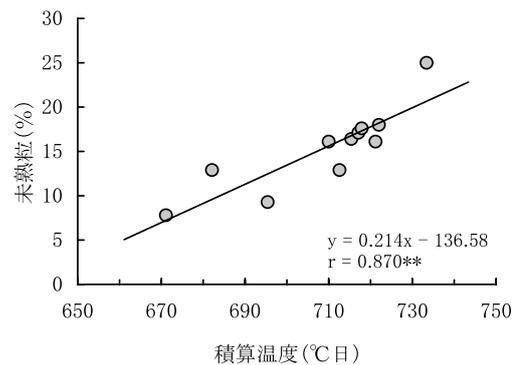
「あきたこまち」で出穂後30日間の最低気温の積算値と未熟粒の発生割合との相関が極めて高いことから、1等格付けになる未熟粒の発生割合を15%以下とした場合、出穂後30日間の最低気温がそれを下回る時期を算出した。その結果、未熟粒の発生割合が15%以下となる出穂後30日間の最低気温の積算値は707℃（第58図）で、その時期は7月第3半旬以前、もしくは8月第2半旬以降となる。そして、その田植え時期は4月25日以前と6月18日以降となることから、早期栽培では対応可能であるが、6月中旬以降の田植えでは、感温性が高いため穂数の確保が困難で大幅な減収は免れない。また、早期栽培でも梅雨期のため日照不足による品質低下や斑点米カメムシ類の被害が多くなって品質が安定しないのが実情である。

b) 普通期栽培水稻の移植時期の延長

「ヒノヒカリ」などでは、出穂後20日間の平均気温が26℃を超えると、白未熟粒の発生率が高くなって品質が低下すると言われている³⁷⁾。本県では、主力品種の「ヒノヒカリ」で出穂後20日間の平均気温が26℃以下になる時期を設定すると、平年であれば8月6半旬以降となり、6月5半旬頃が田植え時期となる。しかし、2010年のような高温年であれば、品質維持の限界気温を下回る時期が9月1半旬以降となり、7月2半旬以降まで田植え時期を遅延しないと登熟期の高温が回避できないことになる（第59図）。

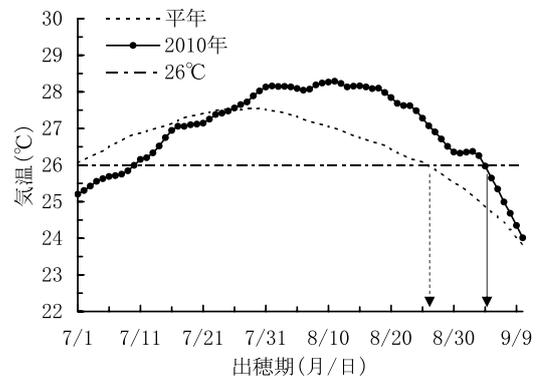
e) 品種変更による米品質低下軽減

水稻の高温登熟対策として、各地で高温登熟耐性の高い品種の育成や導入の取組みが行われている。



第58図 「あきたこまち」における出穂後30日間の最低気温の積算値と未熟粒割合との関係（愛媛県農林水産研究所）

**は1%水準で有意であることを示す。



第59図 「ヒノヒカリ」の高温登熟障害を回避するための出穂期

矢印は、出穂後20日間の平均気温が26℃以下に達する日を示す。気温は、愛媛県農林水産研究所の観測データを用いた。

本県においても中晩生品種を中心に高温登熟耐性の高い品種の育成に取り組んでいるが、良食味など他の要素を同時に満たす品種の育成には至っていない。

奨励品種決定調査で、高温登熟耐性が高く外観品質が良く、しかも食味や収量性などの面でもある程度の条件を満たす品種を選択して、本県での適応性を確認している。2010年産米のデータ（第45、46表）によると、高温登熟性や食味の点で最近注目されている「にこまる」と「おてんとそだち」および本県育成の「媛育72号」は外観品質調査で標肥・多肥区とも9段階の3で検査等級は1等と夏季が高温で推移し厳しい登熟条件下でもその品種特性を発揮した。本県では、これらの品種に注目して次期奨

第45表 2010年度奨励品種決定調査における中生供試系統の生育，収量および品質（標準区，愛媛県農林水産研究所）

品種・系統名	出穂期 (月.日)	成熟期 (月.日)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/m ²)	倒伏 程度 ²⁾	精玄米重 ¹⁾		千粒重 ¹⁾ (g)	整粒 ³⁾ (%)	玄米蛋白質 ⁴⁾ (%)	外観 品質 ⁵⁾	検査 等級 ⁶⁾
							(kg/a)	対象比(%)					
にこまる	8.25	10.5	79	19.9	290	0.0	50.5	106	23.3	81	6.7	3.0	1.0
おてんとそだち	8.22	10.3	68	19.9	312	0.0	49.1	103	21.6	76	6.8	3.0	1.0
媛育71号	8.26	10.6	74	21.4	271	0.0	55.0	116	22.9	72	6.5	6.0	2.0
媛育72号	8.25	10.5	77	21.0	325	0.0	58.5	123	23.8	80	6.8	3.0	1.0
媛育73号	8.26	10.4	76	22.3	329	0.0	54.7	115	23.6	77	7.1	3.0	1.0
対)ヒノヒカリ	8.24	10.4	78	20.1	309	0.0	47.6	100	21.9	73	7.0	6.0	2.0
比)愛のゆめ	8.23	10.4	74	19.3	320	0.0	43.2	91	22.3	78	6.8	6.0	2.0

- 1) 精玄米重と千粒重は粒厚1.8mm以上.
- 2) 倒伏程度は0(無)～5(甚)の6段階評価.
- 3) 整粒割合は穀粒判別機(静岡製機, ES-1000)で測定.
- 4) 玄米蛋白質含有率は食味分析計(PS-500, 静岡製機)で測定した.
- 5) 外観品質は1(上上)～9(下下)の9段階評価.
- 6) 検査等級は愛媛農政事務所調査調べ.

第46表 2010年度奨励品種決定調査における中生供試系統の生育，収量および品質（多肥区，愛媛県農林水産研究所）

品種・系統名	出穂期 (月.日)	成熟期 (月.日)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/m ²)	倒伏 程度 ²⁾	精玄米重 ¹⁾		千粒重 ¹⁾ (g)	整粒 ³⁾ (%)	玄米蛋白質 ⁴⁾ (%)	外観 品質 ⁵⁾	検査 等級 ⁶⁾
							(kg/a)	対象比(%)					
にこまる	8.26	10.5	86	19.9	334	0.0	56.5	113	23.0	77	7.3	3.0	1.0
おてんとそだち	8.21	10.3	72	19.7	358	0.0	57.7	116	21.2	73	7.3	3.0	1.0
媛育71号	8.26	10.6	80	21.7	305	0.0	60.2	121	22.7	73	7.0	5.0	1.7
媛育72号	8.26	10.4	80	21.0	352	0.0	57.9	116	24.0	78	7.2	3.0	1.0
媛育73号	8.27	10.4	79	21.6	374	0.0	57.9	116	23.4	75	7.4	4.0	1.3
対)ヒノヒカリ	8.24	10.4	81	19.5	331	0.0	49.8	100	22.2	72	7.3	6.0	2.0
比)愛のゆめ	8.23	10.4	79	19.9	334	0.0	49.2	99	22.3	76	7.1	6.0	2.0

- 1) 精玄米重と千粒重は粒厚1.8mm以上.
- 2) 倒伏程度は0(無)～5(甚)の6段階評価.
- 3) 整粒割合は穀粒判別機(静岡製機, ES-1000)で測定.
- 4) 玄米蛋白質含有率は食味分析計(PS-500, 静岡製機)で測定した.
- 5) 外観品質は1(上上)～9(下下)の9段階評価.
- 6) 検査等級は愛媛農政事務所調査調べ.

励品種の候補として現地調査を実施しているところである。また、東日本を中心に高温年でも高品質であったとされる「つや姫」は、同試験の「あきたこまち」と同等の外観品質で2等格付けであった。

(4) 今後の具体的な対応策

愛媛県米麦振興協会(県, 全農えひめなど)では、登熟期の高温による米の品質低下に対応するためさまざまな取組みを行っているが、2010年のように、異常な高温遭遇に対しては十分ではなかった。そこで、これまでの対策を含め、現在本県で取り得る対策は次のようになる。

a 土づくり

堆肥などの投入や深耕，作土層，根域の拡大，理化学性の改善により，気象変動に対応できる健全な水稻栽培ができる土壤環境を作る。さらに，ケイ酸質資材の投入により，土壤のpHの矯正とともにケイ酸の補給を行う。

b 品種の変更

「ヒノヒカリ」のような登熟期が高温時に品質が低下しやすい品種から「にこまる」，「おてんとそだち」のような，高温登熟耐性の高い品種への転換を図る。

- c 品種作型別の地帯区分と移植時期の変更
- ・地域に適した品種・作型を再検討し、登熟期ができる限り高温遭遇しない作型にする。
 - ・「コシヒカリ」, 「あきたこまち」などの極早生品種は、可能な地域ではできる限り早い田植え時期とし、夏の高温時に出穂しない作型とする。
 - ・「ヒノヒカリ」, 「愛のゆめ」などと中晩生品種は、6月25日以降の田植えとし、8月27～28日以降に出穂する作型にする。
- d 栽植密度
- ・過剰な籾をつけないようにするため、13～15株/m²の疎植で、1株植え付け本数は3～4本にする。
- e 施肥
- ・過剰な生育にしないため、基肥は過剰にならないようにする。
 - ・生育診断によって適期に穂肥を施用し、分施あるいは緩効性の穂肥を用いて登熟後半まで肥効を維持する。
 - ・登熟の悪い弱勢穎花の着生を抑えるため、適期に穂肥を施用する。
- f 水管理
- ・生育初期は深水に管理して過剰分けつを抑制する。
 - ・中干しを十分行い、過剰分けつの抑制と、地耐力の向上を図る。
 - ・登熟期の前半は深水にして水を切らさないように管理する。水の豊富な地域では掛流し灌水とする。
 - ・登熟期中盤以降は、やや湿潤気味の間断灌水あるいは湛水管理とし、決して水を切らさない管理を行う。水の豊富な地域では掛流し灌水とする。
 - ・台風襲来時にはできる限りの深水として通過に備える。
 - ・落水時期はできる限り遅く収穫前5日とする。
- g 病虫害防除
- ・温暖化で発生し、被害が増えている斑点米カメムシ類やアザミウマ類の防除を徹底（耕種的防除を含む）するとともに、被害の多い部分の

刈分けなどで被害粒混入の軽減を図る。

h 適期収穫

- ・早刈りによる青未熟粒の混入を防ぎ、刈り遅れによる白未熟粒（弱勢穎花の登熟）の混入を防ぐため、品種作型ごとの適期収穫基準を定め適期に収穫する。
- ・生産者の感覚よりやや早めの収穫を行い、規定のライスグレーダー（一般的な品種で1.85mm）で、入念な調製により未熟粒などを除去する。
- ・色彩選別機によって、斑点米カメムシ類の被害などの着色粒の除去を行う。（谷口弘季）

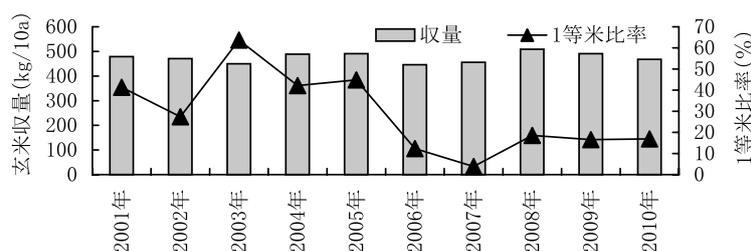
4) 高知県

高知県の水稻の作型は、4月上旬に移植し7月下旬～8月上旬に収穫する早期栽培と、5月下旬～6月上旬に移植し9月下旬～10月上旬に収穫する普通期栽培の2つに分けられ、早期栽培では「コシヒカリ」, 「ナツヒカリ」, 「南国そだち」などが、普通期栽培では「ヒノヒカリ」, 「黄金錦」, 「アキツホ」などが栽培されている。ここでは玄米品質低下の状況とその要因について作型別に解析した。

(1) 近年の作柄や外観品質の状況

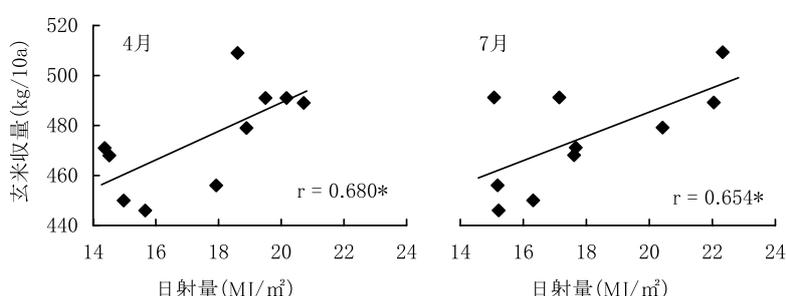
第60図に高知県早期栽培水稻の玄米収量と1等米比率の推移を示した。玄米収量は概ね安定しているが、やや収量の低い年次（2003年、2006年および2007年）も認められた。玄米収量と生育期間における月別の気温および日射量との関係を検討したところ、4月（移植直後）や7月（登熟期間）の日射量との間に有意な正の相関関係が認められた（第61図）。一方、1等米比率は低下しており、2006年以降は著しく低い値を示している。早期栽培「コシヒカリ」の1等米比率と高知県農業技術センター（以下、高知農技セと記す）内の作況試験における同品種の白未熟粒割合との間には有意ではないが負の相関関係が認められた（第62図）。

第63図には高知県における普通期栽培水稻の玄米収量と1等米比率の推移を示した。玄米収量は概ね安定しているものの、早期栽培に比べて年次間変動がやや大きい。玄米収量と生育期間における月別



第60図 高知県早期栽培水稻の玄米収量と1等米比率の推移

玄米収量は早期水稻全体の値，1等米比率は早期栽培の主要品種である「コシヒカリ」，「ナツヒカリ」の加重平均値を示す（高知農政事務所のデータをもとに算出）。

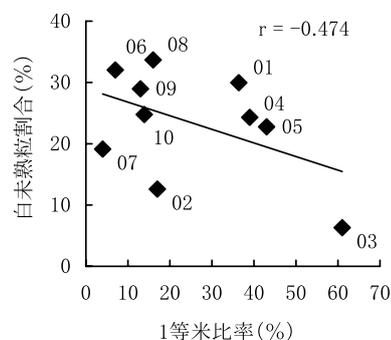


第61図 高知県における早期栽培水稻の玄米収量と4月，7月の日射量との関係（2001～2010年）

日射量はアメダス（高知）観測値を使用した日平均値を示す。*は5%水準で有意であることを示す。

の気温および日射量との間には有意な相関関係は認められなかったが，玄米収量の低かった年次には幼穂形成期～成熟期にあたる8月，9月に高知県に接近もしくは上陸した台風の数が多かった。一方，1等米比率は早期栽培と同様に低下しており，2004年以降は著しく低い値を示している。1等米比率もまた台風の数が多い年次に低かった。普通期栽培「ヒノヒカリ」の1等米比率と高知農技セ内作況試験における同品種の白未熟粒割合との間には有意ではないが負の相関関係が認められた（第64図）。

以上のように，玄米収量に関しては両作型でほぼ安定しているが，早期栽培水稻では移植直後および登熟期間の日射量，普通期栽培水稻では幼穂形成期以降の台風による倒伏などが玄米収量に影響を及ぼしていると考えられた。また，近年の1等米比率の低下に関しては，両作型とも白未熟粒の発生がその主要因であると考えられた。なお，1等米比率と作況試験における白未熟粒割合との関係が有意ではなかった理由として，年次によってはカメムシによる



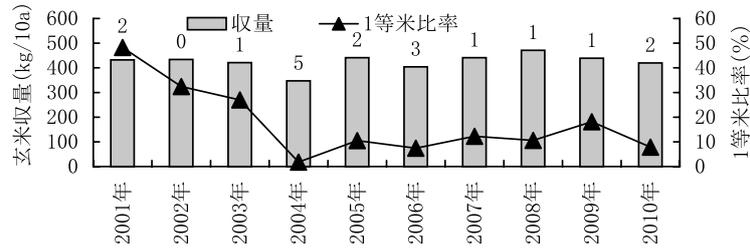
第62図 高知県早期栽培「コシヒカリ」の1等米比率と白未熟粒割合との関係（2001～2010年）

白未熟粒割合は高知県農業技術センター内の作況試験における値で穀粒判別器（静岡製機社製）で測定した。数値は年次を示す。

部分着色粒や充実不足などが検査等級低下の要因となっているためと推察された（第47表）。

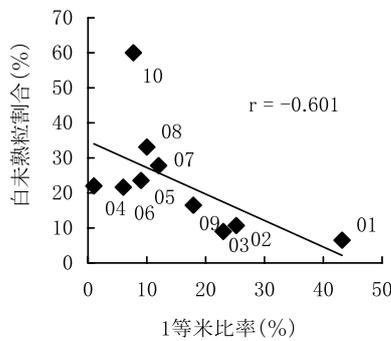
(2) 2009年産米と2010年産米の生育・品質の状況

第60，63図に示したように，2009年，2010年は早期栽培，普通期栽培ともに1等米比率の低い年次であった。しかし，2カ年の傾向は両作型で異なっ



第63図 高知県普通期栽培水稻の玄米収量と1等米比率の推移

玄米収量は普通期水稻全体の値、1等米比率は普通期栽培の主要品種である「ヒノヒカリ」,「黄金錦」の加重平均値を示す(高知農政事務所のデータをもとに算出)。棒グラフ上の数値は8月、9月に高知県に接近もしくは上陸した台風の数を示す。



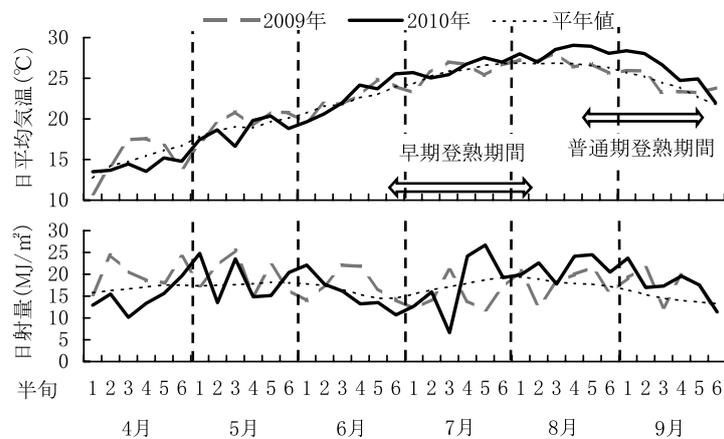
第64図 高知県普通期栽培「ヒノヒカリ」の1等米比率と白未熟粒割合との関係(2001~2010年)

白未熟粒割合は高知県農業技術センター内の作況試験における値で穀粒判別器(静岡製機社製)で測定した。数値は年次を示す。

第47表 高知県の主たる2等以下格付け理由と割合

年次	理由	割合 (%)	理由	割合 (%)
2001	部分着色	48.6	心白	14.6
2002	心白	37.6	充実度	23.0
2003	充実度	25.2	部分着色	16.3
2004	部分着色	36.1	充実度	21.9
2005	部分着色	41.4	心白	21.9
2006	心白	45.8	部分着色	17.4
2007	心白	37.9	整粒不足	24.2
2008	部分着色	32.1	充実度	31.7
2009	心白及び腹白	37.5	着色粒	24.0
2010	心白及び腹白	37.7	着色粒	24.0

注) 水稻全体の値で、割合の高かった上位2要因を示す(高知農政事務所による)。



第65図 高知県における4~9月の日平均気温および日射量

日平均気温はアメダス(後免)観測値を、日射量はアメダス(高知)観測値を使用した。

ており、1等米比率は早期栽培ではほぼ同等であったのに対し、普通期栽培では2010年で低かった。これには白未熟粒の発生が深く影響を及ぼしていると考えられたため(第62, 64図)、2カ年の奨励品種決定調査(高知農技セを含む県内7地区8試験区)および高知農技セ内作況試験における「コシヒカリ」(早期)、「ヒノヒカリ」(普通期)の生育・品質をもとに、白未熟粒割合と登熟期間の気象条件および生育との関係について解析した。

第65図に水稲生育期間にあたる4～9月の日平均気温および日射量を、第48表には白未熟粒の発生との関係が指摘されている出穂後20日間の気象条件^{28, 59, 68)}をそれぞれ示した。2010年は2009年に比べて、①早期水稲の登熟中・後期にあたる7月第4～6半旬が多日射で推移したこと、②普通期水稲の登熟期間にあたる8月第4半旬以降が高温多日射で推移したこと、が特徴的であった(第65図)。また、出穂後20日間の日平均気温は両作型とも2010年で有意に高かったが、普通期栽培で年次間差が大きく、2010年には27.9℃と著しく高かった。一方、同期間の日射量も両作型とも2010年で有意に多かったが、早期栽培で年次間差が大きく、日照

時間にも有意差が認められた(第48表)。

両作型とも生育、収量構成要素には有意な年次間差は認められなかったが、総粒数は2009年が多かった。また、白未熟粒割合は、早期栽培では2010年に有意に低かったのに対し、普通期栽培では有意に高かった。これは、早期栽培では乳白粒割合が有意に低く、普通期栽培では白未熟粒の種類を問わず割合が有意に高かったためであった。

以上のことから、まず、普通期栽培で2010年の1等米比率が低下した主要因は白未熟粒の多発であると考えられた。白未熟粒は出穂後20日間の日平均気温が27～28℃以上で多発する^{28, 59, 68)}が、同期間の平均気温が25.5℃であった2009年には白未熟粒の発生が少なかったのに対し、2010年にはそれが27.9℃にまで高まったことで白未熟粒が多発したと考えられた。また、普通期栽培で2010年に最も発生の多かった白未熟粒のタイプは基白粒であったが、基白粒は生育後期の窒素栄養不足で発生が助長され^{13, 22, 53, 58)}、早期栽培「コシヒカリ」では登熟期間の窒素栄養状態が劣り、総粒数が少なかった場合に発生が助長される傾向が認められている^{52, 57)}。2010年には総粒数が少なく、登熟期間の窒素栄養

第48表 高知県早期および普通期栽培水稲における生育および品質の比較

作型	年次	出穂後20日間			稈長 (cm)	穂長 (mm)	穂数 (本/m ²)	1穂 粒数 (粒/本)	総粒数 (千粒/m ²)	登熟 歩合 (%)	玄米 千粒重 (g)
		気温 (℃)	日照時間 (h/日)	日射量 (MJ/m ²)							
早期	2009	26.0	3.6	15.1	86.4	183	497	68.3	36.2	63.0	21.6
	2010	26.7 *	6.7 *	19.6 *	86.9	185	419	71.3	32.9	67.9	22.6
普通期	2009	25.5	7.4	18.7	82.9	190	348	92.0	38.4	68.8	22.4
	2010	27.9 *	8.4	21.7 *	76.7	205	313	79.5	25.2	77.5	22.4

(表の続き)

作型	年次	精玄 米重 (kg/10a)	粒形			整粒 (%)	白未 熟粒 (%)	乳白粒 (%)	基白粒 (%)	背腹 白粒 (%)	玄米 品質 (1-9)
			粒長 (mm)	粒幅 (mm)	粒厚 (mm)						
早期	2009	527	5.02	2.78	1.90	50.1	34.8	18.5	13.7	2.6	6.7
	2010	502	5.04	2.83 *	1.93	63.6 *	19.5 *	6.7 *	10.8	2.0	5.3
普通期	2009	514	5.00	2.78	1.96	78.2	5.7	2.7	2.5	0.5	4.4
	2010	464	5.05	2.76	1.94	40.2 *	41.6 *	13.3 *	20.5 *	7.8 *	7.4 *

注) 各作型の主要品種である「コシヒカリ」(早期)、「ヒノヒカリ」(普通期)の9試験区[奨励品種決定調査(7地区8試験区)および作況試験]における平均値を示す。気温、日照時間は栽培地から最も近い場所にあるアメダス観測所の観測値、日射量はアメダス(高知)観測値を使用し、出穂後20日間の日平均値を示す。粒形、整粒および白未熟粒のタイプ別割合は穀粒判別器(サタケ社製)で測定し、玄米品質は1-3:1等, 4-6:2等, 7-8:3等, 9:規格外とした高知農政事務所およびJA南国市の検査官による評価値。*は2009年との間に1%水準で有意差のあることを示す(t検定, n=9)。

状態が劣っていたことが示唆され、このことによって基白粒の発生が助長されたと推察された。

次に、早期栽培では出穂後20日間の日平均気温が2010年で高かったにも関わらず同年の1等米比率が2009年並みであった要因は乳白粒の減少にあると考えられた。乳白粒の発生には登熟期間の寡照が強く影響を及ぼし^{18, 33, 58, 64}、早期栽培「コシヒカリ」では登熟中期（出穂後11～20日目）の平均日照時間が6 h/日以下で多発する傾向が認められている⁵⁷。2010年には2009年に比べて日射量、日照時間ともに有意に高い値を示しており、このことによって乳白粒が減少したと考えられた。また、乳白粒は総粒数と正の相関関係を示すこと^{9, 61, 64, 65}が指摘されており、2010年には総粒数が少なかったことで、乳白粒の発生が抑制されたと推察された。

(3) 米品質低下要因の解析

(2) では2009年、2010年の2カ年の玄米品質について解析したが、(1) で述べたように、近年の1等米比率は両作型とも大きく低下している（第60, 63図）。その主要因は白未熟粒の発生にあると考えられたため（第62, 64図）、ここでは2001～2010年の高知農技セ内作況試験における「コシヒカリ」（早期）、「ヒノヒカリ」（普通期）の白未熟粒割合と出穂後20日間の気象条件および生育、収量構成要素との関係を解析した。

第49表に白未熟粒割合と出穂後20日間の気象条件との関係を示した。「コシヒカリ」では各気温、日射量いずれとの間にも正の関係が示されたものの、その関係は有意ではなかったのに対し、「ヒノヒカリ」では日最高気温との間に有意な正の相関関係が認められ、日平均気温、日最低気温および日射量との間の相関係数も「コシヒカリ」に比べて大きかった。第50表には白未熟粒割合と収量構成要素との関係を示した。「コシヒカリ」では収量構成要素との間には有意な相関関係は認められなかったのに対し、「ヒノヒカリ」では総粒数との間に有意な負の相関関係が認められた。

次に、白未熟粒割合と出穂後20日間の気象条件および収量構成要素との間に有意な相関関係が認め

第49表 高知県農業技術センターの作況試験における「コシヒカリ」および「ヒノヒカリ」の白未熟粒割合と出穂後20日間の気象条件との相関関係（2001～2010年）

品種	気温(°C)			日射量 (MJ/m ²)
	日平均	日最低	日最高	
コシヒカリ	0.388	0.395	0.420	0.251
ヒノヒカリ	0.665	0.626	0.702 *	0.662

注) 白未熟粒割合は穀粒判別器（静岡製機社製）で測定した。気温はアメダス（後免）観測値を、日射量はアメダス（高知）観測値を使用した日平均値を示す。*は5%水準で有意であることを示す。

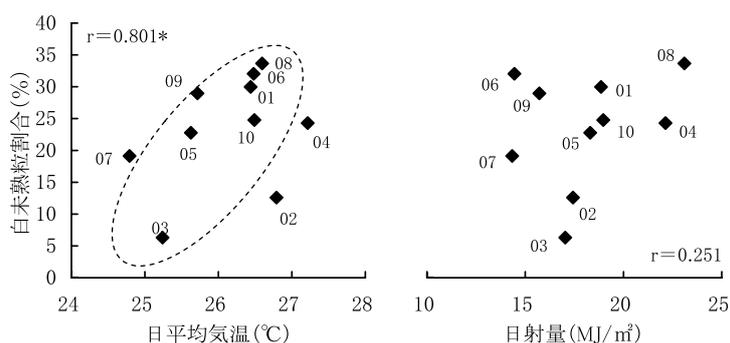
第50表 高知県農業技術センターの作況試験における「コシヒカリ」および「ヒノヒカリ」の白未熟粒割合と収量構成要素との相関関係（2001～2010年）

品種	穂数	1穂 粒数	総粒数	登熟 歩合	玄米 千粒重
	(本/m ²)	(粒/本)	(千粒/m ²)	(%)	(g)
コシヒカリ	0.186	0.049	0.200	-0.134	-0.011
ヒノヒカリ	-0.581	-0.219	-0.679 *	0.187	-0.543

注) 白未熟粒割合は穀粒判別器（静岡製機社製）で測定した。*は5%水準で有意であることを示す。

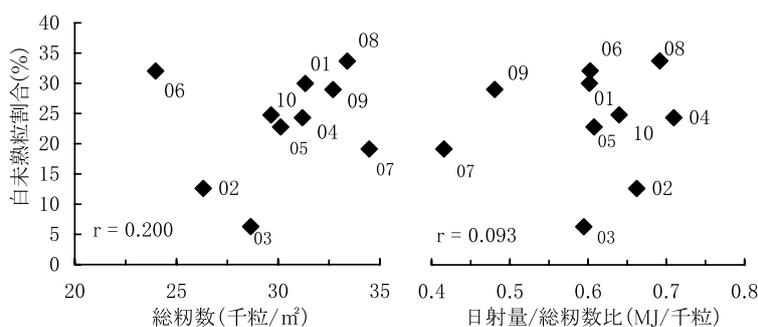
られなかった「コシヒカリ」について、白未熟粒割合と出穂後20日間の日平均気温および日射量（第66図）、総粒数および日射量/総粒数比（第67図）との関係について検討した。出穂後20日間の日平均気温と白未熟粒割合との間に有意な正の相関関係が認められた年次が示された一方で、日平均気温が低いにも関わらず白未熟粒割合の高い年次（2007年）、日平均気温が高いにも関わらず白未熟粒割合の低い年次（2002年および2004年）が認められた。次に、日射量および総粒数をみると、2007年は日射量が少なく総粒数が多く、日射量/総粒数比が小さかったのに対し、2002年および2004年はその値が大きい傾向にあった。なお、2008年は日射量が多く総粒数も多く、日射量/総粒数比が大きかったにも関わらず白未熟粒割合が高かった。

以上のことから、近年の普通期栽培「ヒノヒカリ」における白未熟粒の発生には、気象要因として出穂



第66図 高知県農業技術センターの作況試験における「コシヒカリ」の白未熟粒割合と出穂後20日間の日平均気温および日射量との関係（2001～2010年）

白未熟粒割合は穀粒判別器（静岡製機社製）で測定した。日平均気温はアメダス（後免）観測値を、日射量はアメダス（高知）観測値を使用した。左図の相関係数は破線内の年次を対象とした値で、*は5%水準で有意であることを示す。



第67図 高知県農業技術センターの作況試験における「コシヒカリ」の白未熟粒割合と総粒数および日射量/総粒数比との関係（2001～2010年）

白未熟粒割合は穀粒判別器（静岡製機社製）で測定した。日射量はアメダス（高知）観測値を使用し、出穂後20日間の日平均値とした。

後20日間の気温が深く関係していると考えられた。また、(2)でも述べたように、同品種では窒素栄養状態が劣り、総粒数が少なかった場合に白未熟粒（主として基白粒）の発生が助長されると推察された。一方、早期栽培「コシヒカリ」においては、白未熟粒の発生は出穂後20日間の気温が高いほど増加するものの、気温のほかに日射量や総粒数の影響も受けると考えられた。すなわち、気温が同程度であっても総粒数が多かった場合や日射量が少なかった場合には白未熟粒（主として乳白粒）の発生が助長されるのに対し、その逆の場合には発生が抑制されると考えられた。また、高知県の早期栽培「コシヒカリ」ではこれまで、登熟期間が高温多照であっ

た場合には白未熟粒の発生が抑制されることが指摘されてきたが⁵²⁾、今回の解析からは、そのような気象条件下で登熟しても総粒数が多ければ白未熟粒が多発する可能性があることが確認された。

(4) 高温障害対策の実施状況とその効果の検証

高知県では高温障害対策として高温登熟耐性品種の導入と栽培法の改善が実施されている。ここではそれぞれの対策の実施状況とその効果について検証した。

a 高温登熟耐性品種導入による対策

早期栽培では高温登熟耐性品種導入による対策は実施されていないが、普通期栽培では「ヒノヒカリ」

第51表 高知県普通期栽培における「ヒノヒカリ」, 「にこまる」の1等米比率 (2010年)

品種	作付面積 (ha)	1等米比率(%)	
		県下	本山町特産品 ブランド化 推進協議会
ヒノヒカリ	3,055	7.7	98.0
にこまる	23	47.0	100.0

注) 作付面積は共済の引き受け面積および農業振興センター調べによる。1等米比率は高知農政事務所 (県下) および嶺北農業改良普及所調べによる。

に比べて高温耐性が優れるとされる「にこまる」²⁹⁾が産地品種銘柄に指定され、近年その作付面積が増加している。2010年の1等米比率は「ヒノヒカリ」の7.7%に対し、「にこまる」は47.0%を示しており (第51表)、高温障害対策としての同品種の実用性および高温登熟耐性品種への転換の有効性が示されている。

b 栽培法改善による対策

高温障害対策として、高温登熟を回避する作期移動 (遅植え) が各地で効果をあげている^{9, 58, 59, 61)}。しかし、早期栽培では移植時期を遅くすれば登熟期間の気温はむしろ高くなり、作期を早進化すれば移植期、穂孕期に冷害に遭遇する危険性が高まる⁵²⁾ため、作期移動による対策は実施されていない。一方、普通期栽培では遅植えが推奨され、移植時期は5月上旬であったものが5月下旬～6月上旬へと移動している。このことによって登熟温度を低下させる効果は大きいと推察されるが、2010年のように9月下旬まで高温で経過した年次にはその効果は低く、現在のところ1等米比率の向上などの効果は確認されていない。

また、高知農技セでは作期移動のほかに穂揃期の窒素追肥⁵³⁾、登熟期間の掛流し灌漑および早期落水の防止⁵¹⁾を高温障害対策として提起しているが、これら対策の県下での実施状況およびその効果を示す具体的な数値については詳細に把握されていない。

なお、第51表に示したように、本山町特産品ブ

ランド化推進協議会では、①土壌分析・生育診断に基づく施肥管理、②中干しの適正な実施および早期落水の防止、により2010年産「ヒノヒカリ」でも極めて高い1等米比率を実現している。先に述べた高温耐性品種「にこまる」であっても栽培法によっては2等以下に格付けされる場合がある実態から考えても、「基本的な栽培技術の励行」は高温障害を軽減させるための簡易かつ効果的な対策といえよう。

(5) 今後の技術対策と研究課題

以上述べてきたように、早期栽培では、登熟期間の高温だけでなく寡照も玄米品質低下に大きく影響を及ぼしており、高温寡照登熟耐性品種の育成が求められる。また、白未熟粒の発生に対する温度、日射量および籾数の影響や、さまざまな気象および生育条件下で高温障害に対して高い治療的效果を示す栽培技術について検討を進める必要がある。

(高田 聖)

Ⅲ 品種・作期別にみた米品質低下の特徴

1 滋賀県および日本海沿岸地域における「コシヒカリ」の米品質

近畿地方や中国地方の日本海沿岸地域は、「コシヒカリ」の作付面積比率が高い特徴がある。府県別にみると、鳥根県が特に高く約70%、次いで京都府が約60%、鳥取県が約50%、滋賀県および兵庫県が約40%である。高温登熟障害による「コシヒカリ」の品質低下は、各府県産米の評価を左右するほど影響が大きいため、対策技術の確立が急務となっている。

1) 各府県における近年の「コシヒカリ」の品質

近年の「コシヒカリ」の1等米比率の推移を第52表に示した。2004年から2010年にかけての1等米比率の平均値をみると、滋賀県が66%、京都府が67%、兵庫県が74%、鳥取県が52%、鳥根県が60%であった。また、各府県について年次別にみると、京都府は2009年が最も高く、2004年が最も

第52表 近年の「コシヒカリ」の1等米比率(%)の推移

府県名	2004年	2005年	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年	平均
滋賀	64	61	64	65	72	80	56	66
京都	49	53	64	75	74	84	70	67
兵庫	79	83	75	84	80	76	41	74
鳥取	21	54	61	64	67	88	12	52
島根	50	61	54	60	65	84	45	60
平均	53	62	64	70	72	82	45	64
標準偏差	21	12	8	10	6	4	21	8

注) 農林水産省の公表資料より作成した。

第53表 各府県の水稲作況試験における出穂後20日間の平均気温(°C)

府県名	2004年	2005年	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年	平均
滋賀	27.0	27.2	27.7	27.6	27.9	26.2	27.8	27.3
京都	28.4	28.0	28.7	28.9	28.7	26.3	28.5	28.2
兵庫(北部)	27.6	28.2	28.4	27.3	26.8	25.3	28.1	27.4
鳥取	27.8	28.1	28.6	28.7	28.0	26.5	30.0	28.2
島根	27.1	27.5	28.1	28.1	27.0	25.8	28.9	27.5
平均	27.6	27.8	28.3	28.1	27.7	26.0	28.7	27.7
標準偏差	0.6	0.4	0.4	0.7	0.8	0.5	0.9	0.4

注) 兵庫(北部)は、兵庫県立農林水産技術総合センター北部農業技術センター(朝来市)における水稲作況試験の結果にもとづく。滋賀、京都は各研究機関による観測値、他はアメダス観測値。

低かった。兵庫県は2007年が最も高く、2010年が最も低かった。そのほかの県では2009年が最も高く、2010年が最も低かった。

2) 米品質低下の要因

多くの県で1等米比率が大きく低下した2010年は、近年まれな高温年であり、高温登熟障害が品質低下の要因として考えられる。そこで、各府県における水稲作況試験の出穂後20日間の平均気温(2004~2010年)を第53表に示した。

乳白粒、背白粒および基白粒(基部未熟粒)は白未熟粒と言われており、出穂後20日間の平均気温が26~27°C以上で急激に増加することが明らかにされている^{62, 68)}。1等米比率が高かった2009年は、いずれの府県も出穂後20日間の平均気温が27°Cを下回ったが、それ以外の年次は、いずれの府県も27°Cを上回った。特に1等米比率の低かった2010年の出穂後20日間の平均気温をみると、鳥取県が30.0°Cと極めて高く、島根県が28.9°C、京都府が28.5°C、兵庫県が28.1°C、滋賀県が27.8°Cであった。さらに、2010年の登熟期間に該当する8月の気温

第54表 2010年8月の月平均気温(°C)

観測地点	最高気温	最低気温	平均気温
滋賀県 近江八幡市	33.5	24.1	28.2
京都府 亀岡市	34.5	24.1	28.6
兵庫県 朝来市	34.3	23.8	28.0
鳥取県 鳥取市	35.5	25.7	29.8
島根県 出雲市	34.0	24.2	28.8

注) 近江八幡市、亀岡市は各研究機関による観測値、他はアメダス観測値。

は、第54表のとおりである。鳥取県は、最高気温35.5°C、平均気温29.8°Cであり、1等米比率が12%と極めて低かった要因と考えられた。

以上のように、「コシヒカリ」の1等米比率は、出穂後20日間の平均気温の影響が大きく、高温登熟年には、品質が著しく低下することは明らかである。

3) 高温登熟障害に対する府県の取り組み

各府県の高温登熟障害に対する対策技術を第55表に示した。各府県の対策技術に大きな違いは無く、主な対策としては、遅植、施肥量の削減、生育診断による穂肥施用、疎植であり、水管理や適期収穫に

第55表 各府県が実施している高温登熟障害の対策技術

府県名	技術対策(実施しているものに○印)									
	移植時期を遅らせる	施肥を減らす	生育診断による穂肥施用	疎植	早期落水の禁止	土づくり資材施用	直播栽培	適期収穫	病虫害防除	品種転換
滋賀県	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
京都府	○	○	○	○	○					
兵庫県	○	○								
鳥取県	○		○		○			○		
島根県	○	○	○	○						○

注) 2007年度近畿中国四国農業試験研究推進会議作物生産部会資料より作成。

については基本的なことなのでことさら取り上げていない府県もあると思われる。

2010年の高温条件下で品質低下が小さかった京都府、あるいは、2010年以前は安定して品質が良かった兵庫県の事例について検討してみたい。

(1) 京都府の取り組み

京都の担当研究員の情報によると、2001年の品質低下問題を受けて、次の3つの対策を「京都KOS-180」運動(第7図)として技術の普及に努めてきたとのことであった。①基肥の適量施用および緩効性肥料による過剰分けつの抑制、②遅植えや直播・乳苗移植による高温登熟の回避、③疎植、細植えによる過繁茂の回避である。これらの対策が目指すところは、他県と同様に登熟初期の高温回避と糶数過多防止であり、実績として他県を上まわる品質を確保したことから、普及機関および農協などの指導の成果が現れたものと推察される。

(2) 兵庫県の取り組み

2004年から2009年にかけて、兵庫県は1等米比率75%以上と高い品質を保ってきた。兵庫県も京都府と同様に2001年の品質低下を受けて対策を実施した。狙いは他府県と同じ登熟期の高温回避と糶数過多防止である。具体的には、①移植時期を2週間遅らせ、5月20日以降とすること、②穂肥を出穂15日前1回とし、現行の4割削減することの2点である。2010年は、「コシヒカリ」の県平均1等米比率が41%まで低下したが、県内の地域差が大きかった。兵庫県の「コシヒカリ」は但馬地域と丹波地域で県下の約70%が栽培されている。この地

域は隣接しており、気象的にも似ているが、「コシヒカリ」の1等米比率は大きく異なった。但馬地域では69%と品質低下の程度が小さかったが、丹波地域ではわずか10%であった。担当研究員は、両地域で1等米比率が大きく違った要因の一つが対策技術への取り組みの違いにあるとしている。2001年に品質低下が小さかった丹波地域では、その後、対策技術の取り組みが徹底しなかった。一方、但馬地域では手痛い高温障害を受けたため、対策が徹底していたという。

4) まとめ

「コシヒカリ」の外観品質は、出穂後20日間の平均気温の影響が大きく、高温登熟年には、品質が著しく低下することは明らかである。特に、2010年は、ほとんどの府県が高温登熟の影響を受けて、1等米比率が2004年以降の年次で最も低くなった。しかし、京都府や兵庫県の事例をみると、対策技術の実践により多少なり高温障害を小さくとどめることができることが示唆された。

島根県においては、2010年は大きく品質が低下したが、基肥全量施肥が普及している平坦部地域で品質低下が大きい傾向があった。出穂期の葉色は玄米の外観品質や蛋白質含有率に影響があり、出穂期の止葉の葉色値(SPAD値)が34~35程度であれば白未熟粒の発生が少なく、玄米中の蛋白質含有率を6.5%以下に抑えることができることが報告されている⁶³⁾。島根県農業技術センターでの水稻作況試験において、2010年の「コシヒカリ」の出穂期の葉色は平年よりかなり淡かった。一般の農家水田では、例年にもまして生育に応じた穂肥管理が必要な年で

あり、全量基肥栽培であっても、稲の状態によっては追肥が必要な場合もあったと考えられる。適切な葉色管理がなされなかった場合、登熟後半の急激な葉色低下を起し、基部未熟粒、背白粒、その他未熟粒を発生させたことが予想される。

したがって、高温登熟対策としては、過剰分げつやそれに起因する籾数過多を防ぐとともに出穂期以降一定期間の葉色を維持するために、①作土の深耕、②穂肥の改善（長期肥効肥料の利用、少量分施）、③基肥全量施肥では被覆尿素肥料の割合を高めることなどが考えられる。また、地力の高い地域では、過繁茂と登熟期の葉色低下を防止するための疎植の導入も考えられる。

以上、高温登熟による品質低下を軽減するためには、遅植、施肥量の削減、生育診断による穂肥施用、疎植、水管理、適期収穫などの対策技術の組み合わせの実践が不可欠である。さらに、試験研究機関では、新たな対策技術の開発ならびに現行の対策技術のブラッシュアップを行うことが必要と考えられる。

(中井 譲・藤田守彦・角脇幸子・月森 弘*・澤田富雄)

2 中山間地域における「コシヒカリ」などの米品質

中国地方5県のうち、岡山県を除く4県では「コシヒカリ」の作付け比率が34～76%を占め、各県で最も広く作付けされており、特に島根県では76%（2009年産米）を占めている。岡山県では、「ヒノヒカリ」、「アケボノ」の作付けが多いが、「コシヒカリ」も18%で3番目に広く作付けされてい

る。鳥取県や島根県の「コシヒカリ」は、日本海沿岸の平坦部から中山間地にかけて作付けされることが多いが、岡山県、広島県および山口県では、平坦部では「ヒノヒカリ」が作付けされ、「コシヒカリ」は中山間地で作付けされる比率が高いことが特徴である。以下では、2010年産「コシヒカリ」の中山間地域における米品質について検討する。

1) 島根県中山間地域

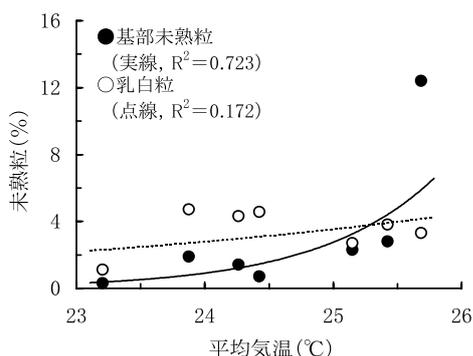
島根県中山間地域研究センターが行っている作況試験における「コシヒカリ」の玄米品質の調査結果とアメダス気象データ（赤名、標高444m）を用い、発生の多かった乳白粒と基部未熟粒について気象要因との関係を解析した。

基部未熟粒は、2004年から2009年まで0.3～2.8%であり、3%を超すことはなかったが、2010年は12.4%と過去に例を見ないほど多かった（第56表）。一方、乳白粒は、2009年が1.1%と最も少なかったが2010年も3.3%であり、ほぼ平年並みの発生にとどまった。出穂後20日間の平均気温と未熟粒の発生との関係を第68図に示した。基部未熟粒は、25.5℃を超すと高まる傾向がみられたが、乳白粒は登熟気温との関係はみられなかった。2010年の出穂後20日間の平均気温（25.7℃）は2004年以降では最も高かったが、基部未熟粒の発生が高まる27℃⁶⁷⁾には達していなかったことから、登熟気温が基部未熟粒の発生を高めた主な原因とは考え難い。

2010年は8月中旬以降も気温が高かったが、降雨が少ないのも大きな特徴であった。そのため、8月中旬以降に灌水が十分にできない期間があった。

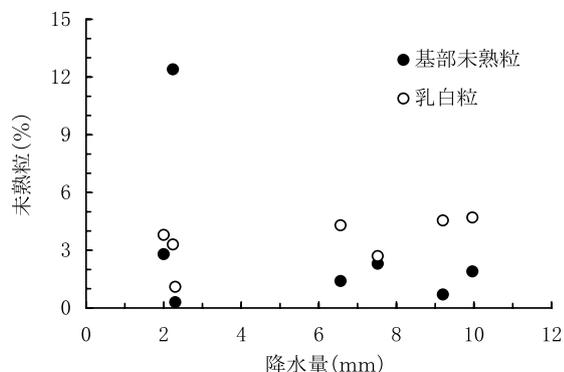
第56表 島根県中山間地域研究センターの作況試験における「コシヒカリ」の玄米品質

年次	移植日 (月.日)	出穂期 (月.日)	成熟期 (月.日)	整粒 (%)	基部未熟粒 (%)	乳白粒 (%)	胴割砕粒 (%)	青未熟粒 (%)	腹白粒 (%)	他未熟粒 (%)
2004	4.30	7.28	9.7	73.0	1.4	4.3	1.6	1.9	0.7	15.0
2005	5.2	7.28	9.9	72.0	0.7	4.6	1.2	1.9	0.7	17.0
2006	5.1	8.5	9.13	75.0	2.8	3.8	2.4	2.1	0.6	11.0
2007	5.1	8.7	9.15	79.8	2.3	2.7	1.3	0.4	0.5	12.1
2008	5.1	8.2	9.11	74.9	1.9	4.7	2.4	0.0	0.8	7.4
2009	5.1	8.5	9.12	75.5	0.3	1.1	6.3	1.1	0.4	13.6
2010	4.30	8.3	9.4	53.6	12.4	3.3	5.4	0.1	1.8	20.9



第68図 出穂後20日間の平均気温と未熟粒率との関係
(島根県中山間地域研究センター)

気温は、アメダス(赤名, 標高444m)観測値を用いた。



第69図 出穂後25日間の平均降水量と未熟粒率との関係
(島根県中山間地域研究センター)

降水量は、アメダス(赤名)の観測値を用いた。

2010年の出穂後11日から25日の積算降水量は10mm(データ略)と少なかったが、第69図に示したようにに必ずしも基部未熟粒の発生が登熟期間の降水量と関連性があるとはいえない。しかし、出穂後25日間に土壌水分が不足すると、基部未熟粒が発生しやすくなる³⁶⁾ことから、登熟期間中の水管理が基部未熟粒発生の原因となった可能性もあるため、今後の検討課題である。

2) 岡山県

岡山県の「コシヒカリ」のほとんどが中北部の中山間地で栽培されており、この地域において主要品種となっている。このため、その収量や品質の向上と安定化は農業経営の発展、産地の発展には重要な課題である。しかし、本県の「コシヒカリ」の品質は他府県と比較しても必ずしも高くない。そのため、

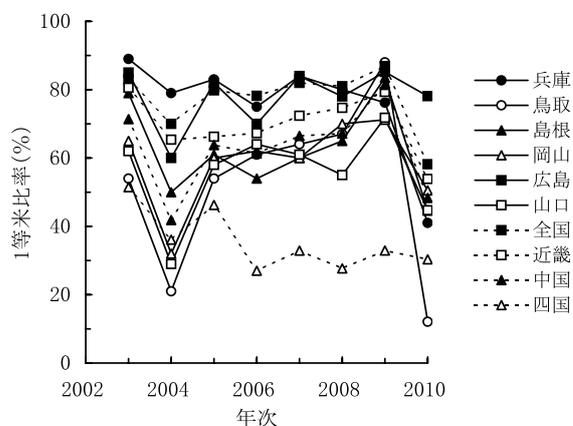
本県産「コシヒカリ」の有利販売には品質の向上が重要であり、品質低下の要因について解析する必要がある。

福井県農業試験場で1956年に育成された「コシヒカリ」は長稈で倒伏しやすく、いもち病に弱いことから栽培が難しい半面、炊飯米は特有の粘りがあり、美味であることから価格面で有利であった。岡山県は「コシヒカリ」を1987年に奨励品種に採用し、その後の栽培面積は次第に増加し、1993年には6,228haに達したが、2010年現在では5,400haとなっている。

(1) コシヒカリの1等米比率の傾向

第70図は「コシヒカリ」の2003年以降の1等米比率を岡山県と近県などと比較したものである。全国的な傾向として1等米比率は2003, 2009年が高く、2004年と2010年が低かった。中国地方も同様に、台風16号が8月末に中国地方を横断した2004年と夏期が著しい高温であった2010年で低かった。本県の傾向もほぼ同様であるが、全体的に1等米比率が低い傾向である。なお、本県の1等米比率は山口県と酷似している。また、四国地方は、2006年以降は低水準で経過している。

他県で特徴的なのは広島県の1等米比率が高い水準であることと2004年と2010年の1等米比率の低下程度が小さかったことである。また、兵庫県は比



第70図 岡山県と近県などにおける「コシヒカリ」の1等米比率の推移

1等米比率は農林水産省総合食料局公表資料(2011年7月31日現在)による。

較的1等米比率が高く経過してきたが、2009年の品質向上がみられず、2010年は1等米比率が急落している。さらに、鳥取県は本県と比較的似た1等米比率で2008年までは経過してきたが、2009年の1等米比率は非常に高く、2010年には急落している。こうした点は、何らかの原因があると考えられる。

本県「コシヒカリ」の1等米比率が低い傾向にあり、「コシヒカリ」の栽培地域差の比較的少ないと考えられる兵庫県、広島県と比較しても低いことから、本県「コシヒカリ」の技術改善の余地は大きいと考えられる。

(2) 栽培地帯および作期

本県では年平均気温により地帯区分をし、地帯ごとに水稻推進品種を定めている。①高冷地を年平均気温12.0℃以下（標高350～700m）、②北部を年平均気温12.0～13.5℃（標高150～350m）、③中部を年平均気温13.5～14.5℃（標高50～150m）、④南部を年平均気温14.5℃以上（標高50m以下）としている（第57表）。

そして、「コシヒカリ」の移植期は5月初めから6月上旬で、平均するとおおよそ5月20日。出穂は8月1日から10日、平均で8月5日。成熟は9月1日から25日、平均で9月12日である（第58表）。

第57表 岡山県の気象観測地点とその標高および地帯別水稻推進品種

地帯 区分	地名	標高 (m)	平均気温(℃)		推進品種
			年	8月	
高冷地	千屋	525	10.7	22.8	あきたこまち
北部	新見	393	12.1	24.2	あきたこまち、コシヒカリ
	奈義	212	13.2	25.5	あきたこまち、コシヒカリ
中部	津山	146	13.7	26.0	コシヒカリ、ヒノヒカリ
	久世	144	13.5	26.0	コシヒカリ、ヒノヒカリ
	福渡	63	13.8	26.2	コシヒカリ、ヒノヒカリ
	高粱	60	14.2	26.7	コシヒカリ、ヒノヒカリ
	和気	35	13.9	26.1	コシヒカリ、ヒノヒカリ
南部	倉敷	3	15.5	27.5	ヒノヒカリ、朝日、アケボノ
	笠岡	0	15.5	27.9	ヒノヒカリ、朝日、アケボノ

注) 気温は気象庁の気象統計情報による1971～2000年の平均値。

第58表 「平成22年版コシヒカリ栽培暦」に記載されている作期

農協暦	移植期 (月.日)	出穂期 (月.日)	成熟期 (月.日)
勝英	6.10	8.9	9.13
勝英(北部)	5.5	8.1	9.6
岡山市(北部)	5.15	8.1	9.5
岡山市(中部)	5.20	8.10	9.15
岡山東(吉井版)	5.15	8.3	9.7
岡山東(和気版)	5.23	8.5	9.10
岡山西	5.15	8.5	9.10
びほく	5.15	8.5	9.1
阿新	5.15	8.5	9.15
つやま(東部)	5.25	8.9	9.15
つやま(西部)	5.20	8.5	9.12
つやま(南部)	5.20	8.8	9.20
つやま(富, 阿波, 奥津, 加茂)	5.20	8.10	9.18
まにわ(蒜山, 美甘, 湯原)	5.13	8.10	9.23
まにわ(勝山, 久世)	5.25	8.6	9.13

(3) 年別1等米比率と格付理由および生育概況

第59表は、1991年以降の「コシヒカリ」の年次別1等米比率と2等以下の主要な格付け理由をまとめたものである。2000年までは、良い年には1等米比率が80～86%で、悪い年には28%～44%であったが、2001年以降は良い年でも70%であり80%を超えていない。この間の最高は1997年の86%、最低は1994年の28%で平均60%である。

2等以下の格付け理由としては「カメムシ類による着色米」と「充実不足」による未熟粒が多い。特に1998年以降はカメムシ類の被害が多くなってきている。2001年は「心白・乳白」が2等以下の主要な格付け理由となっている。1994年にも乳白や基部未熟などが多く、品質が著しく低下している。充実不足による未熟粒の中には白未熟粒と総称される腹白、心白、背白、乳白、基部未熟粒を含むと考えられる。また、さまざまな未熟粒が混在している場合などにはその他未熟としてまとめられる場合もあると思われる。

第60表は1987年以降の本県中北部の作況指数と収量と「コシヒカリ」の1等米比率および津山市の8月5日～24日までの平均気温である。「コシヒカリ」の出穂期は作期や地域によって異なるが、多くの地域で8月5日前後とされており、中北部の中間

第59表 岡山県における「コシヒカリ」の1等比率と格付け理由等

年次	1等米比率 (%)	2等以下の主要な格付け理由等
2010	51	①充実不足による未熟粒が43%, ②カメムシ類による着色粒が29%.
2009	71	①充実不足による未熟粒が3割, ②カメムシ類による着色粒が3割を占める.
2008	70	①充実不足による未熟粒が4割弱, ②カメムシ類による着色粒が3割.
2007	60	①カメムシ類による着色粒が4割弱, ②充実不足による未熟粒が3割強.
2006	62	①カメムシ類による着色粒が4割弱, ②充実不足による未熟粒が3割強.
2005	60	①カメムシ類による着色粒が4割強, ②充実不足による未熟粒が3割強.
2004	32	充実不良による整粒不足及びカメムシ被害, 発酵米.
2003	65	低温障害によるその他未熟粒及びカメムシ類による着色粒が目立つ.
2002	56	カメムシ類による「着色粒」, 「心白・乳白粒」や基部未熟粒・背白粒が多い.
2001	45	心白・乳白57%, カメムシ17%, その他未熟9%, 胴割粒6%, 県中部地帯を中心に「心白・乳白粒」が多発.
2000	76	カメムシ50%, 心白・乳白13%, 胴割粒12%, その他未熟9%.
1999	84	カメムシ38%, 心白25%, その他未熟10%, 充実度6%.
1998	70	カメムシ46%, 心白22%, 未熟8%, 充実度7%, 胴割粒6%, 発芽粒5%.
1997	86	充実良好(一部でカメムシと胴割粒).
1996	68	全般に充実不足(乳白未熟), 胴割粒多. カメムシ, スリップスによる着色米がやや多い.
1995	57	全般に充実不足(基部, 乳白未熟), 胴割粒多. カメムシ, スリップスによる着色米がやや多い.
1994	28	乳白未熟, 基部未熟など充実劣る. 胴割粒の発生. カメムシ, スリップスによる着色粒がやや多い. 全般に過熟.
1993	44	全般に充実不足(生育遅れ・倒伏・いもち病による青未熟, 基部未熟). 発芽粒・奇形粒も多い. 青死米も.
1992	40	充実不足で形質不良(乳白・基部未熟・青未熟). カメムシ・スリップス被害多(胴割粒年並み, 発芽粒僅少).
1991	80	年並みの形質(一部地域で乳白未熟). 被害粒も特になし(胴割, 着色, 発芽粒年並み).

注) 格付け理由等は, 「晴れの国から岡山米」振興基本方針(2008年以前)と「岡山の米」(2009年と2010年)より抜粋した。
1等米比率は農林水産省総合食料局公表資料(2011年7月31日現在)による。

第60表 岡山県中北部における水稻の作況指数・収量および生育概況

年次	作況指数	収量 (kg/10a)	1等米比率 (%)	平均気温 (°C)	水稻生育概況
2010	101	518	51	27.8	梅雨明け以降の高温により全般に白未熟粒の発生が多く品質が大きく低下した。
2009	100	514	71	25.9	日照不足の影響は少なく収量は年並み。出穂期以降の気温は年並みで, 白未熟粒の発生もなかった。
2008	105	535	70	26.5	分けつ期の天候がよく分けつ数も多く, 穂数も多. 登熟歩合, 千粒重も年を上回り多収量。
2007	97	496	60	27.4	分けつ期の低温, 日照不足で穂数がやや少なかった。また, 登熟期の高温で未熟粒が多くなった。
2006	97	496	62	27.5	中北部では初期生育が抑制されたが, 生育は年並み。一部で葉いもち被害が甚。
2005	101	520	60	26.4	中北部の生育は良好, 台風14号(9月6日~7日)による倒伏発生。
2004	97	497	32	25.9	台風16号(8月30日~31日)による褐変粉, 倒伏(全面倒伏あり), 穂発芽の発生。
2003	90	460	65	25.5	冷夏(低温, 日照不足)で成熟の遅れ, 籾数が少なく, 穂いもちが発生。
2002	102	521	56	25.9	北部では穂数も多く, 登熟も良好。北部のコシヒカリに乳白米が多発。
2001	106	528	45	26.6	北部で籾数も多く, 千粒重が重かった。中北部のコシヒカリに乳白米が多発。
2000	106	527	76	26.3	中北部では登熟がよかったが, 斑点米カメムシ類の被害多。
1999	104	504	84	26.4	北部では穂数も多く, 収量増。
1998	105	497	70	26.9	中北部では穂数も多く, 登熟も良好で収量増。斑点米カメムシ類の多発や, トビイロウシカによる坪枯れが見られた。
1997	97	458	86	26.0	中北部では低温で初期生育が抑制され, 籾数が少なく収量減。
1996	111	510	68	26.4	中北部では籾数も多く, 登熟も良好。
1995	110	504	57	27.6	中北部では籾数が少なめ, 登熟は良好。
1994	104	476	28	27.5	籾数も多く登熟も良好で増収。登熟期の高温と渇水による乳白米と立毛中の胴割れによる品質低下。
1993	87	397	44	23.7	冷夏(低温, 日照不足), 長雨による成熟の遅れ, 穂いもち, 倒伏。
1992	101	462	40	25.6	台風10号(8月8日~9日)他2台風による葉先枯れ, 穂ずれによる登熟不良。
1991	95	434	80	25.3	中北部では穂数が少なく, 収量減。
1990	95	432	41	26.7	台風14号(8月21日~22日), 19号(9月17日~20日)と登熟期間中の長雨の影響あり(登熟不良, 穂発芽, 倒伏, 青枯)
1989	99	448	77	25.2	中北部では穂揃いが悪く, 登熟が劣った。
1988	106	476	77	25.7	過繁茂が抑制され登熟良好。
1987	95	432	35	25.1	台風12号(8月31日)での倒伏, 登熟不良, 穂発芽。

注) 下線を付した年は台風・冷害被害年を示す。1等米比率は「コシヒカリ」の検査結果を示す。平均気温は津山市における8月5日から20日間の平均気温を示す。水稻概況は岡山県農業気象対策事業実績書から県中北部を重点に記載した。作況・収量は農林水産統計調査公表資料による。1等米比率は農林水産省総合食料局公表資料(2011年7月31日現在)による。

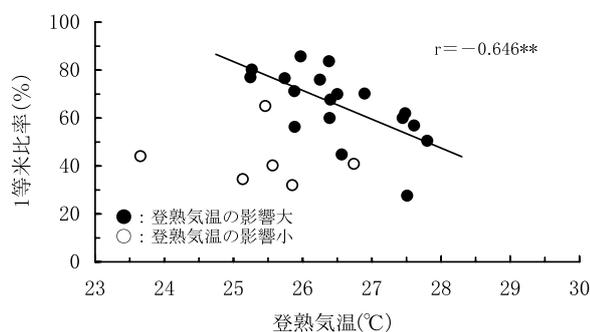
である標高146mの津山市での8月5日から20日間の平均気温を代表とした。

台風被害が1987, 1990, 1992, 2004年に発生しており、倒伏や穂発芽などによる1等米比率の低下が顕著であった。また、1993年, 2003年には冷夏に伴う、日照不足やいもち病の発生により、品質が低下している。これは、「コシヒカリ」が長程で倒伏しやすいことといもち病に弱いためである。

1994年は1等米比率が28%で最も低かった。この年は県中北部の作況指数は104であり、登熟も良好とされたが、高温（津山市で8月5日から20日間の平均気温が27.5℃）と渇水のため、乳白粒や胴割粒が多発している。高温時の渇水が品質の低下を助長したと考えられる。

一方、1997年は1等米比率が86%で最も高かった。しかし、「コシヒカリ」の栽培地である中北部では低温で初期生育が抑制され、籾数が少なく収量減と報告されている。籾数減少は品質上有利に働いたものの、収量面からは問題があったと考えられる。

津山市の8月5日から20日間の平均気温は最高27.8℃、最低23.7℃で平均26.2℃であった。白未熟粒が多発するとされる出穂後20日間の平均気温27℃以上の高温条件は24年間中で5年であった。今後、温暖化が進めば高温年の発生頻度は上昇する可能性があるのではないかと考えられる。



第71図 岡山県における「コシヒカリ」の出穂後の気温と1等米比率との関係（1987～2010年）

横軸は、津山市における8月5日から24日までの平均気温を示す。登熟気温の影響大：登熟期の気温以外の影響が小さいと考えられる年、登熟気温の影響小：登熟期の気温以外の影響が大きいと考えられる年（1987, 1990, 1992, 1993, 2003, 2004年）を示す。1等米比率は農林水産省総合食料局公表資料（2011年7月31日現在）による、**は1%水準で有意であることを示す。

「コシヒカリ」の出穂後の気温と品質との関係を示したのが第71図である。津山市で8月5日から20日間の平均気温と1等米比率を、台風や冷害に伴う障害など登熟期の温度以外の影響が大きく品質低下をもたらしていると考えられる年とを分けて示した。

台風や冷害などの年を除くと、出穂後の気温の高い年に品質の低下傾向が認められた。しかし、同程度の平均気温の場合でも1等米比率に差があり、カメムシ類による斑点米を含め、そのほかの品質低下要因もかなり大きいと考えられる。

（4）1等米比率向上のためには

以上のことから、「コシヒカリ」の欠点である倒伏やいもち病に対する対策を徹底するとともに、斑点米の原因となるカメムシ類の防除の強化を図ることが重要であることが改めて確認された。また、登熟期の高温や籾数の過多により、品質が低下するので、作期や籾数を適正に管理することが必要であると考えられた。また、登熟期の水管理や栄養管理なども併せて適切に管理する必要がある。

また、今後、どのような未熟粒がどのような条件下で発生しやすいのかを明らかにしていく必要がある。これにより、「コシヒカリ」の生育状態や気象要因などの関連性についてより詳細な解析が可能になると考えられる。

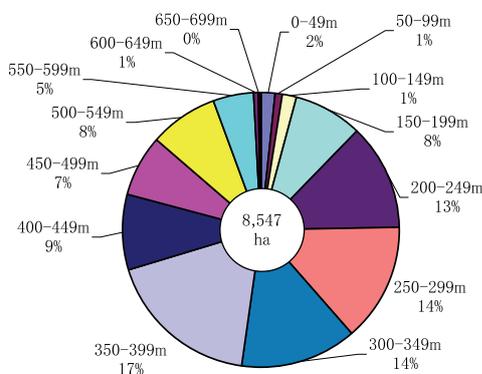
3) 広島県

Ⅱ-2-4) で示したように、広島県の場合、低標高地域の早期「コシヒカリ」を除き高温登熟障害による品質低下は比較的小さい。本県の「コシヒカリ」の標高別作付け割合を第72図に示す。前述したように高温年であった2010年は標高100m以下の地帯の「コシヒカリ」では、ほとんど1等米にならなかった（JA農産物検査協議会）。しかし、県内では標高100m未満で栽培される「コシヒカリ」の割合は、「コシヒカリ」の全栽培面積の3%で、ほとんどが標高150m以上で栽培されている。第73図に2010年の福山（標高2m）と世羅（標高350m）の平均気温の推移を示した。これによると、登熟期間

である8月の平均気温が福山と世羅で較差が大きい。このことで、登熟期間に異常な高温に遭遇し難いため品質低下が起こりにくいと考えられる。

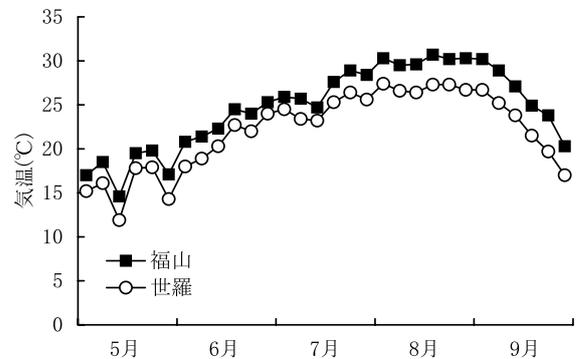
第61表に1993年からの本県の「コシヒカリ」の1等米比率と出穂後30日間の気象条件を示した。「コシヒカリ」の1等米比率が70%以下であった年は1994年、2001年、2004年および2006年の4カ年であった。これらの年の東広島での5月から9月の気象状況を第74図に示した。このうち登熟期間の平均気温が27℃以上となっていたのは1994年と

2006年の2年であった。若松ら⁶⁸⁾は出穂後20日間の平均気温が27℃以上になると背白米および基部未熟粒が増加することを報告しており、両年は登熟期の高温により品質が低下した可能性がある。2001年は出穂後30日間の平均気温は26.6℃で、最高気温の平均が32.0℃、最低気温の平均が22.0℃と1993年から2010年までのそれぞれの平均気温よりも0.6から0.8℃高い年であった。2004年は8月30日と9月7日に台風が相次いで接近したことにより倒伏して品質が下がったと考えられる。



第72図 広島県産「コシヒカリ」の標高別作付割合 (2002年)

農林水産省より公表されている結果より作成した。



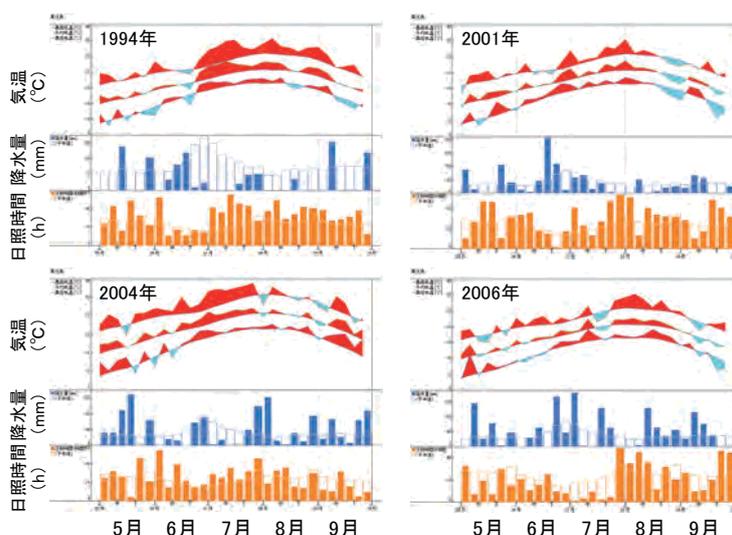
第73図 広島県福山市と世羅町の2010年の半月ごと平均気温の推移

気温は半月毎の平均値を示し、アメダス（福山；標高2m，世羅；標高350m）観測値より算出した。

第61表 広島県の「コシヒカリ」の品質と出穂後30日間の気象条件

年次	出穂期 (月.日)	1等米比率 (%)	平均気温 (℃)	最高気温 (℃)	最低気温 (℃)	積算降水量 (mm)	日照時間 (h/日)	備考
1993	8.19	77.7	21.9	27.0	17.4	223	4.4	
1994	7.28	54.7	27.0	33.3	21.8	26	7.3	干ばつ
1995	8.4	84.4	26.3	32.1	21.3	46	6.7	
1996	7.31	88.6	25.5	31.1	20.8	90	6.4	
1997	8.6	91.7	25.3	30.7	20.7	74	6.3	
1998	7.27	87.5	26.5	31.8	22.6	83	5.2	
1999	8.7	89.4	24.8	29.3	21.2	141	4.3	
2000	7.30	85.0	25.9	31.5	21.7	80	6.4	
2001	7.27	63.1	26.6	32.0	22.0	66	7.1	
2002	7.29	74.8	25.9	31.6	21.5	55	7.0	
2003	8.7	83.8	25.2	30.3	21.5	164	4.3	
2004	7.28	59.1	25.8	31.2	21.9	283	5.1	台風16, 18号
2005	7.27	82.0	25.8	31.4	21.6	159	4.6	
2006	7.31	70.0	27.0	33.3	22.7	193	6.2	
2007	8.1	84.0	26.2	31.8	21.7	59	5.6	
2008	7.29	78.0	26.0	31.5	21.5	58	5.7	
2009	8.3	85.2	25.0	30.3	20.7	67	5.8	
2010	8.3	78.1	27.5	32.6	23.0	21	8.0	

注) 1等米比率は農林水産省より公表の検査結果より作成し、2010年の結果は2011年8月31日現在の結果を利用した。気象データはアメダス（東広島）観測値を利用した。



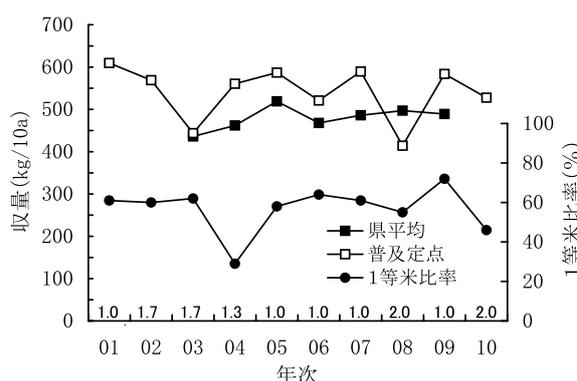
第74図 広島県で「コシヒカリ」の1等米比率が70%以下だった年の5月から9月の気象と平年値（東広島 標高224 m）
気象図は広島県農業情報ローカルネットワークシステムを利用して作図。

一方、「コシヒカリ」の1等米比率が85%以上の高品質年をみると、1996年、1997年、1998年、1999年、2000年および2009年の6カ年ある（第61表）。このうち、1997年、1999年、2009年は出穂後30日間の平均気温が冷涼傾向であった。このほかの年でも、極端な冷夏であった1993年を除くと出穂後30日間の平均気温が低い傾向であった年は、品質が高い傾向にあった。ただし、1998年は出穂後の平均気温が27℃を超える高い日が続いていた。

以上のように、本県においても特に低標高地帯で栽培される「コシヒカリ」は高温登熟により品質低下が顕在化しているが、中山間地域では、中国地方の他県ほどには顕著に現れていない。また、1998年のように出穂後の平均気温の高い日が続いても大きな品質低下が認められないことから、他の要因の関与についても分析が必要である。

4) 山口県

「コシヒカリ」の県平均単収と1等米比率および農林事務所が調査を行っている山間地域の定点圃場（以下、普及定点）での収量と品質について、最近10年間の推移を第75図に示した。台風による倒伏、浸冠水が多かった2004年を除き、1等米比率は概ね60～70%で推移し、この間の県主要品種の中で

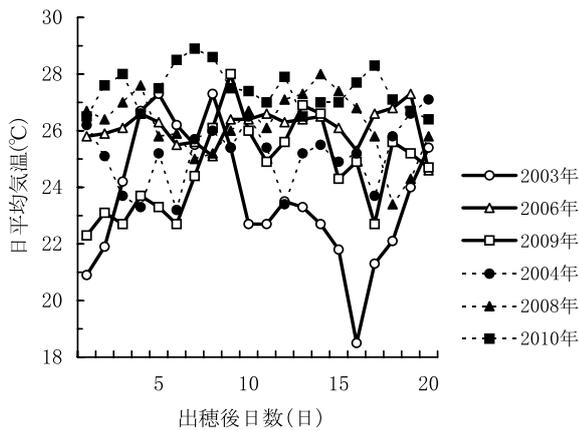


第75図 山口県における「コシヒカリ」の収量と品質の推移

収量は、県平均と普及定点の平均を示す。普及定点は山間地の各年2～3地点。横軸上の数値は、普及定点における等級を示す。県平均収量と1等米比率は、それぞれ農林水産省の作物統計および「米の検査結果」より作成した。普及定点は、山口県農林総合技術センター資料より作成した。

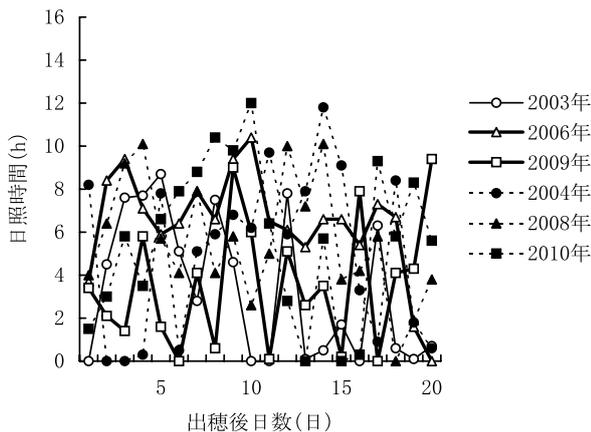
は最も高く安定しており、単収の変動も小さい。

山口市阿東徳佐（標高310 m）における「コシヒカリ」の出穂後20日間の平均気温および日照時間を1等米比率が比較的高かった年と低かった年に分けて第76図と第77図に示した。1等米比率の高かった3カ年では、20日間の平均が23.7～26.1℃で、27℃を超えた日は2006年の1日のみである。これに対し、2008年と2010年は、出穂後20日間の平均が26.2～27.4℃で27℃前後となる日が多く、2010



第76図 山口県における「コシヒカリ」の出穂後20日間の平均気温

気温はアメダス（徳佐，標高310m）の観測値。2001～2010年の10年間で1等米比率が比較的高かった年を実線，低かった年を点線で示した。出穂期は，普及定点の5月上旬植えの平年値（7月29日）とした。



第77図 山口県における「コシヒカリ」の出穂後20日間の日照時間

日照時間はアメダス（徳佐，標高310m）の観測値。2001～2010年の10年間で1等米比率が比較的高かった年を実線，低かった年を点線で示した。出穂期は，普及定点の5月上旬植えの平年値（7月29日）とした。

年では期間を通じて高かった。以上のことから，変動が小さいながらも出穂後の気温が品質の良否に影響を及ぼしていると考えられる。日照時間については，高温年で比較的日照が多いこともあり，1等米比率との関係は判然としない。なお，2004年は気温が比較的低く推移しており，品質低下は台風による影響が大きかったと考えられる。

2009年と2010年の違いをⅡ-2-5)で示した

半旬別の最高，最低気温（第36図，第38図）で詳しくみると，2009年では最高気温が30℃を超えることが少なく，最低気温も23℃以下で推移しているのに対し，2010年では，出穂期前の7月中旬から登熟後半の9月初めまで最高気温が30℃を超え，最低気温も23℃前後で推移している。また，2010年産米の集荷場所ごとの集計から推定した標高別の1等米比率が，標高が低くなるにつれ大きく減少している（データ省略）ことから，2010年産米の品質低下には高温の影響が大きかったことがうかがわれる。

5) まとめ

広島県と山口県は，低標高ほど「コシヒカリ」の品質低下が顕著であるとしている。また，鳥根県は出穂後20日間の平均気温が25.5℃以上になると基部未熟粒が増加する傾向にあるとしており，4県ともに出穂後の気温が高い年には品質が低下する傾向にあるとしている。このことから，「コシヒカリ」の品質低下の要因としては，登熟期間の高温が大きいがうかがえる。また，鳥根県の報告にあるように，2010年には少雨による登熟期間中の灌水不足が品質低下の一因とも考えられた。

各県ともに登熟期間が高温であった年が必ずしも品質が低下していないこと，さらに，気温が平年並みであっても品質の低下する年があった。また，近年の1等米比率の低下の1要因として，カメムシの被害が増加していることを岡山県が指摘していることなどから，品質には気温以外の環境条件や栽培条件などの要因も深く関係していると考えられ，今後の解明が必要である。

（勝場善之助*・中司祐典・松本樹人・石井俊雄）

3 瀬戸内海沿岸地域における「ヒノヒカリ」の米品質

1) 兵庫県

兵庫県における「ヒノヒカリ」の作付け地帯は，県中南部であり，6月上旬中旬に移植して8月下旬に出穂期を迎え，10月中旬に収穫する体系が標準となっている。2003年以降の兵庫県産「ヒノヒカリ」

の検査等級（第62表）は、2010年を除いては1等米比率が8割程度と高位安定している。従来、県南部の一部地域で検査等級の低下が指摘されていたが、2010年産米は作付け地域全般に検査等級の低下が拡大し、背白、基部未熟粒を中心とする白未熟粒の多発により検査等級が低下した結果、1等米比率が15%（2011年7月末現在）と過去最低となった。また、過去にはほとんどみられなかった3等米比率が25%と高いことも2010年産米の特徴としてあげられる。

この2010年兵庫県産「ヒノヒカリ」の検査等級の低下を兵庫県内の主要産地である県中部の三木市の気象条件（第63表）からみると、白未熟粒が多発するとされる出穂期以降日平均気温27℃以上は

第62表 兵庫県産「ヒノヒカリ」の等級比率（%）

年次	1等	2等	3等	規格外
2003	74	25	1	0
2004	83	14	3	0
2005	83	16	1	0
2006	87	12	1	0
2007	82	17	1	0
2008	81	18	1	0
2009	88	11	1	0
2010	15	59	25	1

注) 農林水産省の公表資料より作成した。
2010年は2011年7月31日現在の速報値。

9月上旬までの約2週間に適合し、高温程度と高温の継続期間からみて2003年以降最も白未熟粒が多発しやすい気温条件であったことが明らかである。また、2003年9月上旬の気温も27℃以上と高く、1等米比率もやや低下の傾向がみられるが、格付け理由として白未熟粒が関与していたという報告はみられない。

以上のことより、2010年兵庫県産「ヒノヒカリ」の検査等級の低下は、出穂期以降の28℃以上という高温による背白、基部未熟粒を中心とする白未熟粒の多発が主原因と考えられた。

2) 岡山県

2003～2010年の8年間における、岡山県産「ヒノヒカリ」の検査等級の推移を第64表に示した。このうち1等米比率が70%を下回った年は、2005年、2007年、2010年の3カ年あり、この原因を品質に大きな影響を及ぼすと言われている出穂後の平均気温を中心に考察する。

岡山県における「ヒノヒカリ」の作付けは、県中南部を中心に行われており、過去8年間の出穂期は8月21日～31日（平均8月26日）となっている。出穂後20日間に相当する8月下旬から9月中旬について、岡山市アメダスの気温の推移を第78図に示した。また、出穂後20日間の日平均気温と1等

第63表 兵庫県三木市における旬別の日平均気温（℃）

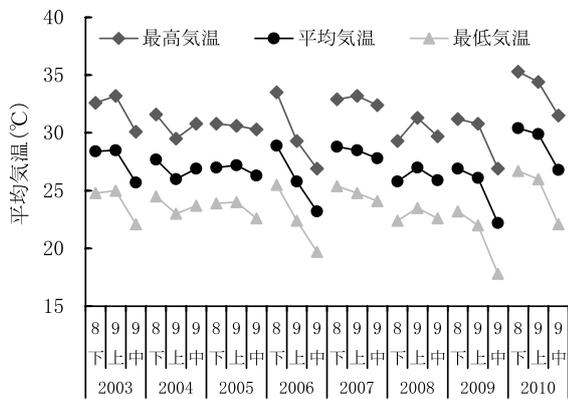
月	旬	2003年	2004年	2005年	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年
6	上旬	20.6	21.7	21.5	21.2	20.2	19.7	20.0	20.5
	中旬	22.1	22.4	23.2	22.6	21.7	21.8	22.6	22.5
	下旬	23.0	24.4	25.5	23.5	24.2	22.6	24.2	23.9
7	上旬	23.2	26.7	23.4	24.5	23.6	25.4	24.0	25.0
	中旬	22.9	<u>27.3</u>	26.4	25.3	23.7	<u>27.3</u>	26.1	25.6
	下旬	24.0	<u>28.2</u>	26.9	26.2	25.4	<u>27.8</u>	25.4	<u>27.6</u>
8	上旬	26.7	<u>27.5</u>	<u>27.6</u>	<u>28.4</u>	<u>27.0</u>	<u>28.4</u>	26.7	<u>28.2</u>
	中旬	24.9	26.4	<u>27.1</u>	<u>28.7</u>	<u>28.6</u>	<u>27.9</u>	26.8	<u>28.6</u>
	下旬	26.9	26.2	25.7	<u>27.0</u>	<u>27.1</u>	24.3	25.0	<u>28.8</u>
9	上旬	<u>27.1</u>	24.6	26.0	24.4	26.8	25.3	24.3	<u>28.0</u>
	中旬	24.5	25.7	25.0	22.1	25.8	24.3	20.8	25.1
	下旬	19.4	22.3	22.1	20.6	23.5	19.5	22.4	21.1
10	上旬	17.3	19.8	20.4	18.9	20.8	19.4	19.0	19.9
	中旬	16.2	16.9	18.7	18.8	17.0	17.5	16.8	19.4
	下旬	14.6	14.7	14.4	17.0	16.3	16.0	16.1	15.4

注) 気温は、アメダス（三木）観測値を用いた。下線は27℃以上を示す。

第64表 岡山県における「ヒノヒカリ」の検査等級 (%) の推移

年次	1等	2等	3等	規格外
2003	71	27	1	0
2004	74	25	1	0
2005	35	58	5	2
2006	78	21	1	0
2007	51	49	1	0
2008	79	20	1	0
2009	90	10	0	0
2010	3	19	45	33

注) 農林水産省の公表資料より作成した。ラウンドの関係で内訳と合計が合わない年がある。



第78図 岡山市における旬別の平均気温の推移 (2003～2010年)

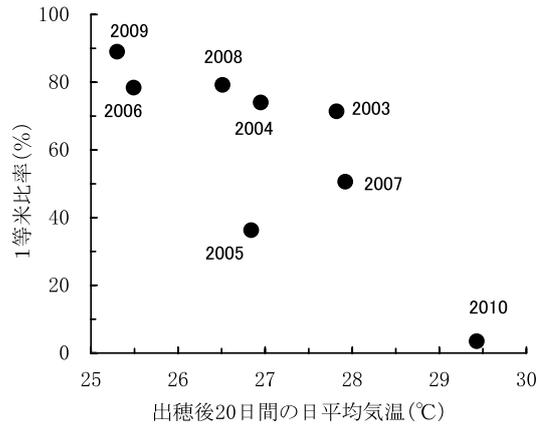
気温はアメダス (岡山) 観測値を用いた。

米比率の関係を第79図に示した。

2005年は、過去8年のうちで特に高温ではなく、出穂後20日間の日平均気温も27℃以下であったが、登熟初期の日照不足、穂揃い期の台風遭遇により乳白粒などの発生がみられ品質が低下した。

2007年、2010年については、最高、平均、最低気温のいずれもほかの年に比べて高く推移し、出穂後20日間の日平均気温は2007年が約28℃、2010年は29℃以上と非常に高かった。この両年は登熟期間に台風の襲来もなく、また、日照時間も平年並み以上で推移しているため、登熟期前半の高温が品質低下の一因であった。

一方、2003年は出穂後20日間の日平均気温が27.8℃と高温であったが、1等米比率が70%以上であった。これは、7月上旬～8月中旬が低温で推移



第79図 「ヒノヒカリ」の出穂後20日間の平均気温と1等米比率との関係 (2003～2010年, 岡山県)

出穂後20日間の平均気温はアメダス (岡山) 観測値を用いて算出した。1等米比率は農林水産省の公表資料を用いた。図中の数字は年次を示す。2005年は9月6日～7日に台風14号。

したため穂数、総粒数とも平年より少なめとなったことが、品質の大きな低下を防いだ一因であった。

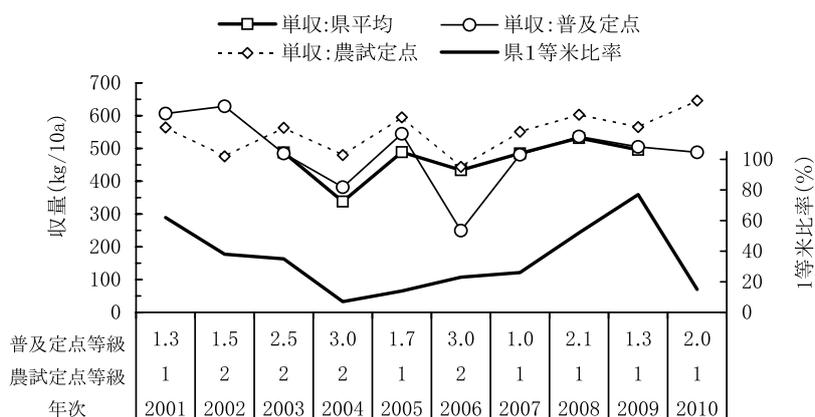
3) 山口県

(1) 気象面からの解析

「ヒノヒカリ」の県平均単収と1等米比率および農林事務所や山口県農林総合技術センターで調査を行っている定点圃場 (いずれも平坦地、以下、普及定点、農試定点) での単収と品質について、最近10年間の推移を第80図に示した。

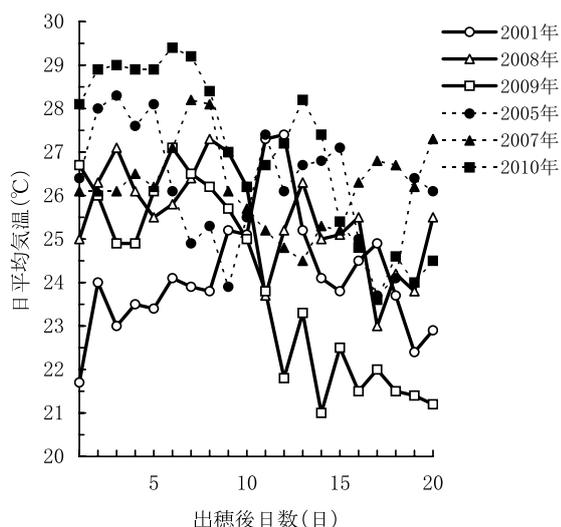
この間で1等米比率が50%を超えたのはわずか3年のみで、10年間の平均は35%と全品種平均の45% (データ省略) を下回っている。瀬戸内沿岸部での作付けが多いことから、2004年や2006年のように台風被害により単収や品質が大きく低下することがあったことも「ヒノヒカリ」の特徴である。

瀬戸内沿岸部の防府 (標高4m) における「ヒノヒカリ」の出穂後20日間の平均気温および日照時間を1等米比率が比較的高かった年と低かった年 (台風被害の著しかった2004年、2006年を除く) に分けて第81図と第82図に示した。1等米比率の高かった3カ年では、20日間の平均が24.0～25.5℃で、27℃を超えた日は1～3日と少ない。これに対し、1等米比率の低かった3カ年では、20日間の平均が26.2～27.0℃で、27℃前後以上となった日が多く、



第80図 山口県における「ヒノヒカリ」の収量と品質の推移 (県平均および普及、農試定点点)

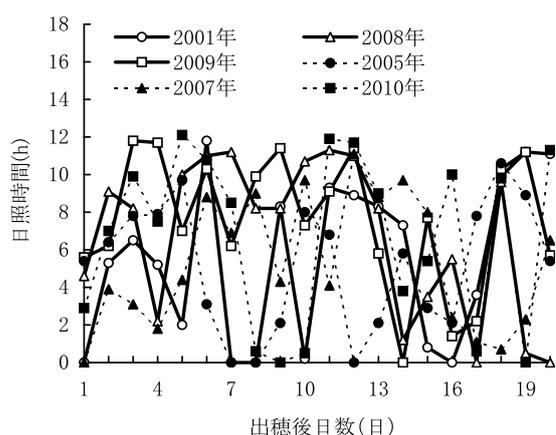
収量 (県平均) と県 1 等米比率は、それぞれ農林水産省の作物統計および米の検査結果による。普及定点点は平坦地の各年 2~3 地点の平均値であり、農試定点点とともに山口県農林総合技術センター資料より作成した。



第81図 山口県の「ヒノヒカリ」における出穂後20日間の平均気温

気温はアメダス (防府) 観測値を用いた。2001~2010年の10年間で 1 等米比率が比較的高かった年を実線、低かった年を点線で示した。出穂期は、普及定点点の 6 月中下旬植えの平年値 (8 月 29 日) とした。

2010 年は特に最初の 1 週間の高温が顕著であった。「ヒノヒカリ」は平年値でみると気温が低下していく時期に出穂期を迎えるが、II-2-5) で述べたように近年は 9 月が高温化する傾向にあり (第 42 図)、登熟期間を中心とした高温化が品質の良否に影響を及ぼしていると考えられる。日照時間については、高温年で比較的日照が多いこともあり、1 等



第82図 山口県における「ヒノヒカリ」における出穂後20日間の日照時間

日照時間はアメダス (防府) の観測値。2001~2010年の10年間で 1 等米比率が比較的高かった年を実線、低かった年を点線で示した。出穂期は、普及定点点の 6 月中下旬植えの平年値 (8 月 29 日) とした。

米比率との関係は判然としない。

2009 年と 2010 年の違いを II-2-5) で示した半旬別の最高、最低気温 (第 36, 38 図) で詳しくみると、2009 年は 8 月中旬から最低気温が低下し、気温の日較差も大きくなっており、登熟期間だけでなく、出穂前の養分蓄積に対しても好条件であった。これに対し 2010 年は、7 月中旬から登熟中期の 9 月中旬まで最高気温が 30℃ を超え、最低気温も登熟初期の 9 月初めまで 25℃ 以上の高い状態が連続

しており、2009年とは対照的であった。なお、気温や日照の傾向は、沿岸部の防府とやや内陸に位置する山口とで同様であった。

(2) 生育データからみた2010年産米の特徴

山口県の平均単収と1等米比率の年度による傾向は、普及定点や農試定点における単収や品質と概ね同様であるが、2005、2007、2010年については、県平均の1等米比率が14～26%とかなり低いのに対し、農試定点では1等となっており傾向が異なる。特に、2010年は地帯別作況指数が96～99で、普及定点の単収もやや少なかったことから、県平均の「ヒノヒカリ」の単収も少ないと推察されるのに対し、農試定点では平年より20%多い過去最高収量が得られ、「良質多収年」となっている(第65表)。

農試定点では、生育初期の不順天候により茎数、穂数が少なかったものの、1穂粒数が増加し総粒数は平年より3%の減少にとどまった。さらに、登熟歩合が18%増、千粒重が5%増と登熟形質が大きく向上したことが多収の要因となった。品質は、心白粒がやや多かったため2009年度より若干劣ったものの、乳白粒は少なく1等相当の評価であった(第65表)。農試定点は移植期、施肥時期、施肥量などの管理は毎年変わらないため、最も気象の影響が現れやすいと考えられる。2010年の高温はマイナスの影響よりも多日照(8月の平年比119、9月同113)と相まって登熟にプラスに働いたと考えられる。

一般と異なり登熟が優れ品質低下がみられなかった要因としては、総粒数が若干少なかったことに加

え、出穂前から登熟期にかけて降水量が少なかった中で、通常どおり成熟期間際まで土壌を適湿状態に水管理したこと、2回の穂肥(窒素成分で計4kg/10a)を確実に施用したこと、毎年牛糞堆肥を1.5t/10a施用(稲わらは持ち出し)していること、などが考えられる。現場からも、例年になく適切な水管理や土づくりなどの有無が品質の良否に影響したという声が寄せられているように、基本的な管理が「高温多日照」をどう作用させたかの違いとなって現れた年であったと推察される。また、「ヒノヒカリ」の場合、基肥施用のみとなる肥効調節型肥料の利用が多く、葉色が低下しても追肥がほとんど行われないことも、高温の影響を受けやすい要因となっていると考えられる。

4) 香川県

(1) 気象による影響

香川県における「ヒノヒカリ」の作付けは、中山間部を除くほぼ全域で行われている。栽培型は普通期栽培であり、6月中下旬に移植し、8月下旬～9月初旬に出穂し、10月上中旬に成熟期となる。「ヒノヒカリ」の1等米比率は1998年までは年次変動が大きいながらも高い年もあった。しかし1999年以降は50%を超える年はなく、近年は1桁台の年も多く、恒常的に低位に推移している。

気象条件については、「ヒノヒカリ」の作付けが讃岐平野のほぼ全域で行われていることから、高松、多度津、滝宮のアメダス3地点における旬別日平均気温を第66表に示した。多度津は海岸部、高松は平野部の中央部、滝宮は内陸部であるが、高松につ

第65表 山口県農林総合技術センターにおける「ヒノヒカリ」の収量および品質(2010年)

	最高 茎数 (本/㎡)	出穂期 (月/日)	穂数 (本/㎡)	有効茎 歩合 (%)	1穂 粒数 (粒/本)	総粒数 (千粒/㎡)	登熟 歩合 (%)	玄米 千粒重 (g)	収量 (kg/10a)		外観 品質 (1-9)	乳白 程度 (0-5)
									1.7≦	1.85≦		
平年	559	8.28	397	72.3	80.7	31.9	73.6	22.8	574	538	4.6	1.0
2010年	511	8.26	364	71.2	85.1	31.0	87.2	23.9	663	646	4.0	0.3
対前年	101	-2	107	107	107	116	102	97	113	114	1.0	-0.5
対平年	91	-3	92	98	105	97	118	105	116	120	-0.6	-0.7

注) 定点調査圃場のデータであり、平年は1997～2009年の平均値。登熟歩合と千粒重は粒厚1.85mm以上(ただし、収量含め2001年以降)。収量の1.7と1.85は篩目の大きさ(mm)を示す。対前年と対平年の出穂期、外観品質、乳白程度は差、その他は比を示す。外観品質は1(上上)～9(下下)で評価し、5を1等米の下限に相当するようにした。

いてはかなり市街化された場所であるのでヒートアイランド現象を考慮する必要がある。

平年値では8月上旬が気温のピークであったが、近年は気温のピークが遅くなって8月中旬になる年が多く、9月中旬まで25℃以上になることが多く

なっている。「ヒノヒカリ」は25℃以上で高温障害がみられることから、1等米比率の低下に大きく影響していると考えられる。そこで、9月の平均気温と1等米比率の年次推移を見ると、9月の平均気温が高いと1等米比率が低下する傾向がみられた（第

第66表 香川県のアメダス地点における旬別日平均気温（℃）

地点	月 旬	1998年	2001年	2002年	2003年	2004年	2005年	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年	平年
高松	6 上	20.7	23.2	24.7	22.0	22.6	22.9	22.2	21.8	21.2	21.7	22.1	22.0
	中	22.9	22.7	24.3	23.0	23.8	24.8	23.9	23.0	22.9	24.6	23.8	23.0
	下	25.4	25.8	21.5	24.3	25.4	27.9	24.7	26.3	23.7	25.9	25.8	24.2
	7 上	30.0	27.6	26.8	25.2	28.3	25.0	25.5	24.9	27.4	25.5	26.7	25.8
	中	25.8	27.3	28.0	25.1	29.7	28.2	27.4	25.2	29.5	28.1	26.7	27.0
	下	27.6	29.8	29.9	25.8	29.4	28.7	27.9	28.0	30.4	26.6	29.8	28.2
	8 上	29.9	30.4	30.3	27.9	28.0	29.2	30.0	28.4	30.3	27.8	30.1	28.5
	中	30.3	29.0	28.5	26.4	27.8	29.1	30.2	30.2	29.7	28.6	30.8	28.2
	下	27.7	25.9	27.0	28.6	27.4	26.5	28.5	29.3	25.7	27.1	30.2	27.5
	9 上	25.8	25.0	27.6	29.0	25.8	27.0	25.4	28.2	26.6	26.1	30.1	26.3
	中	26.4	25.0	24.9	25.8	26.6	26.1	23.7	27.6	25.6	22.5	27.1	24.4
	下	23.5	21.4	22.2	21.3	23.5	23.6	22.1	25.0	22.1	24.4	23.0	22.2
多度津	10 上	22.4	21.2	21.3	19.2	20.9	22.1	20.8	22.9	21.0	20.8	21.6	20.3
	中	21.9	18.6	19.6	18.2	18.7	20.2	20.4	19.0	19.2	19.0	20.7	18.7
	下	17.9	17.4	15.2	16.3	16.5	16.3	18.9	18.1	18.3	17.8	17.4	16.3
	6 上	20.4	22.3	23.7	21.5	21.9	22.1	21.2	21.2	20.9	21.2	21.4	21.4
	中	22.7	22.2	23.9	22.2	23.0	23.9	22.7	22.5	22.1	23.9	22.8	22.4
	下	24.6	24.4	21.4	23.3	24.7	26.5	23.7	25.3	23.0	24.7	24.5	23.5
	7 上	28.9	27.0	25.9	24.4	27.6	24.5	24.5	24.1	26.0	25.0	25.6	25.1
	中	26.0	26.8	27.5	24.4	29.0	27.1	26.6	24.6	28.6	27.1	25.7	26.5
	下	27.6	29.3	29.6	25.1	29.3	28.1	27.1	27.2	29.9	26.2	29.1	27.9
	8 上	30.0	29.9	29.8	27.4	27.7	28.2	29.0	27.8	30.0	27.2	29.0	28.3
	中	30.0	28.5	28.3	26.1	27.7	28.3	29.7	29.7	29.3	27.8	30.4	28.1
	下	28.3	25.7	27.1	28.2	27.6	26.2	28.3	29.0	25.7	26.9	29.9	27.6
9 上	25.9	25.0	27.3	28.8	25.6	26.7	25.4	28.3	26.7	25.9	29.8	26.5	
中	26.4	24.8	24.9	25.6	26.6	25.9	23.5	27.5	25.6	22.4	26.9	24.5	
下	23.5	21.6	22.2	21.2	23.5	23.4	22.0	25.0	22.1	24.0	22.9	22.3	
滝宮	10 上	22.6	21.2	21.4	19.1	20.8	22.1	20.9	22.9	20.7	20.7	21.5	20.5
	中	21.7	18.7	19.5	18.2	18.6	20.0	20.3	18.9	18.8	19.0	20.5	18.8
	下	17.8	17.3	15.4	16.3	16.3	16.5	19.0	18.0	18.7	17.4	17.1	16.6
	6 上	19.8	22.1	23.7	20.7	21.5	21.9	21.0	20.7	20.3	20.4	20.4	21.0
	中	22.1	22.1	23.3	22.2	22.6	24.1	22.5	22.1	22.2	23.3	22.8	22.1
	下	24.7	24.8	20.7	23.2	24.6	27.0	23.7	25.3	23.1	24.8	24.8	23.3
	7 上	28.7	26.4	26.2	24.3	27.3	24.3	24.9	24.0	26.1	24.6	25.6	24.9
	中	25.3	26.7	27.1	24.1	28.2	27.0	26.8	24.5	28.3	27.1	25.9	26.1
	下	26.9	28.6	28.9	24.7	28.2	27.6	27.0	26.9	29.3	25.7	28.1	27.2
	8 上	29.0	29.2	29.0	26.7	27.2	27.7	28.4	27.2	29.3	26.8	28.5	27.4
	中	29.1	27.7	27.5	25.4	26.6	27.4	29.0	29.1	28.4	27.0	29.2	27.1
	下	26.8	24.5	26.0	27.2	26.5	25.0	27.2	28.1	24.6	25.7	28.5	26.3
9 上	24.5	23.8	26.2	27.7	24.3	25.9	24.2	27.1	25.0	24.5	28.4	25.1	
中	25.3	23.7	23.8	24.5	25.4	24.7	22.4	26.2	24.3	20.4	25.3	23.2	
下	22.6	19.7	20.8	19.7	22.6	22.2	20.2	23.9	20.6	22.7	21.3	20.8	
10 上	21.3	19.8	19.7	17.4	19.8	20.8	19.5	21.6	19.3	19.1	19.8	18.9	
中	20.7	16.9	17.9	16.4	17.0	18.5	18.6	17.2	17.0	16.9	18.6	17.1	
下	16.5	15.7	13.5	14.5	14.8	14.8	17.2	16.3	16.5	15.5	15.6	14.8	

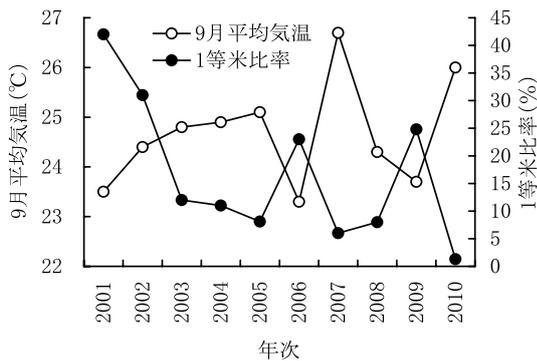
注) 平年は1981～2010年。 ■ : 25℃以上 ■ : 27℃以上 ■ : 29℃以上

83図).

(2) 栽培条件による影響

a 移植時期

播種および移植時期を遅くすることによって、出穂期が遅くなり、これによって登熟期の気温が低下すれば、品質の向上が期待できる⁴⁸⁾。しかし、年によっては登熟期の気温が低下しない場合があり、必ずしも品質が向上するとは限らない。また、移植期を極端に遅くして7月上旬とした場合、登熟期の高温は回避できるが、登熟最盛期が秋雨に遭遇すると、日照不足により乳白が多発して品質低下が大きくなる年があった。



第83図 香川県における9月の平均気温と「ヒノヒカリ」の1等米比率

b 施肥試験

窒素施用量が多いと籾の着生が多くなり、品質が低下しやすくなる傾向がみられた。出穂後10日間の平均気温が23~24°Cの場合は総粒数が28千粒/m²以下で1等が確保でき、これより多いと品質が低下して2等となった。しかし、これは登熟期の温度条件で異なり、出穂後10日間の平均気温が27°Cを超える場合は、28千粒/m²以下でも1等とならず、高温による影響で品質が低下した²⁵⁾。このことから、施肥法はある温度条件の範囲内で品質向上が期待できる技術であると考えられた。

5) 愛媛県(東中予地域)

愛媛県における「ヒノヒカリ」の作付けは、道後平野(中予地域)および道前平野、西条平野(東予地域)を中心として行われており、県下での栽培面積は4,950haとなっている³⁾。栽培型は普通期栽培であり、6月中下旬に移植し、8月下旬~9月初旬に出穂し、10月上中旬に成熟期となる。「ヒノヒカリ」の1等米比率は2000年から2010年までの平均は41%であったが、2011年は9%となった。

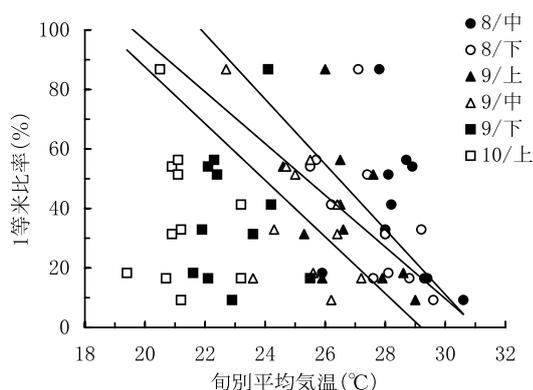
気象条件については、「ヒノヒカリ」の作付けが中予地域および東予地域のほぼ全域で行われていることから、アメダスの松山における旬別日平均気温を示した(第67表)。平年値では8月上旬が気温の

第67表 松山における旬別平均気温(°C)

地点	月	旬	2000年	2001年	2002年	2003年	2004年	2005年	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年	平年
松山	6	上	20.8	22.1	23.9	21.7	22.3	22.6	21.5	21.2	21.2	21.5	21.0	21.6
		中	21.6	23.0	23.6	22.3	23.4	23.9	23.2	22.9	22.8	23.8	23.1	22.7
		下	24.7	25.2	21.6	23.5	24.8	26.8	24.3	25.8	23.2	25.0	24.9	23.8
	7	上	26.7	26.9	26.8	25.5	28.0	25.1	25.7	24.5	26.7	25.5	25.9	25.6
		中	28.2	27.2	28.1	25.0	29.0	27.5	27.9	24.9	28.6	28.0	26.6	27.0
		下	28.7	29.3	29.2	25.5	29.0	28.4	27.0	27.3	29.9	26.2	28.6	27.9
	8	上	27.2	30.0	29.6	27.5	27.4	28.6	29.3	28.0	29.4	27.8	29.1	28.1
		中	28.0	28.9	28.1	25.9	28.0	28.2	29.3	29.4	28.7	27.8	30.6	27.9
		下	29.2	25.5	27.4	28.1	28.0	26.2	27.6	28.8	25.7	27.1	29.6	27.4
	9	上	26.6	24.6	27.6	28.6	25.3	26.5	25.9	27.9	26.5	26.0	29.0	26.2
		中	24.3	24.7	25.0	25.6	26.4	26.4	23.6	27.2	25.5	22.7	26.2	24.4
		下	21.9	22.1	22.4	21.6	23.6	24.2	22.1	25.5	22.3	24.1	22.9	22.4
10	上	21.2	20.9	21.1	19.4	20.9	23.2	20.7	23.2	21.1	20.5	21.2	20.5	
	中	19.1	18.8	20.0	18.0	18.4	20.4	20.6	19.1	19.6	18.5	20.3	19.0	
	下	18.6	17.8	15.1	16.0	16.4	16.2	19.4	18.1	18.1	17.3	17.4	16.6	

注) アメダス(松山)の観測値を使用した。

平年は1981~2010年。 : 25°C以上 : 27°C以上 : 29°C以上



第84図 旬別平均気温と「ヒノヒカリ」の1等米比率との関係（愛媛県，2000～2010年）

凡例は月/旬を示す。旬別平均気温は、アメダス（松山）の観測値を用いた。回帰直線は、上から順に8/下、9/上、9/中を示し、それぞれの相関係数は、 -0.68 、 -0.51 、 -0.55 である。

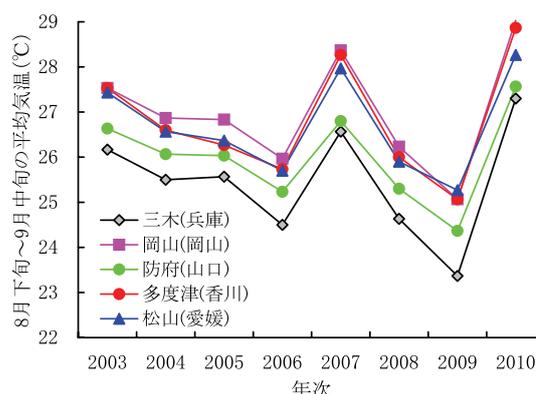
ピークであったが、近年は気温のピークが遅くなって8月中旬になる年が多く、9月中旬まで25℃以上になることが多くなっている。「ヒノヒカリ」は25℃以上で高温障害がみられることから、1等米比率の低下に大きく影響していると考えられる。

そこで、幼穂形成後の出穂前である8月上旬から成熟期である10月上旬までの各産年の旬別平均気温と1等米比率の関係を比べてみたところ、出穂直前～直後である8月下旬と出穂直後の10～20日間である9月上中旬の高温が1等米比率の低下に影響する傾向がみられた（第84図）。

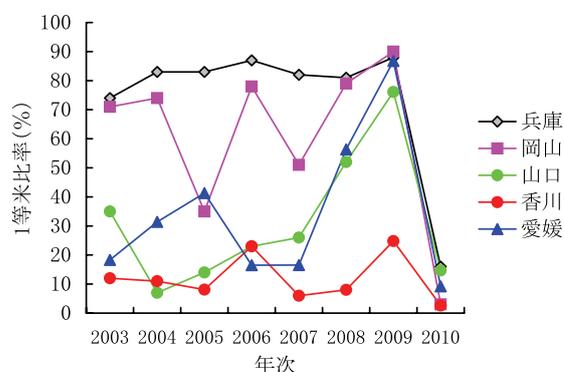
6) まとめ

各県のアメダス地点別の平均気温を第85図に示した。アメダス地点は各県の「ヒノヒカリ」主産地を代表する地点とし、平均気温は「ヒノヒカリ」の出穂期～登熟盛期頃にあたる8月下旬から9月中旬とした。5地点のアメダスにおける気温の傾向としては、三木（兵庫）が低い傾向にあり、防府（山口）はやや高く、岡山（岡山）、多度津（香川）、松山（愛媛）が高かった。

「ヒノヒカリ」の1等米比率の推移を第86図に示した。2010年は極高温年であったため、すべての県で著しく低下した。2010年以外についてみると、兵庫県は1等米比率が恒常的に高かった。次いで岡山県が高い傾向にあり、2005年が低かったの



第85図 瀬戸内海沿岸地域におけるアメダス地点別平均気温の推移

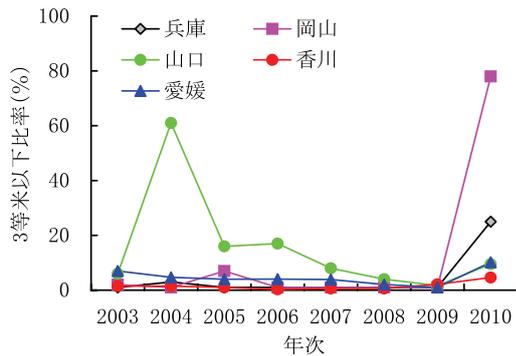


第86図 「ヒノヒカリ」の1等米比率の推移

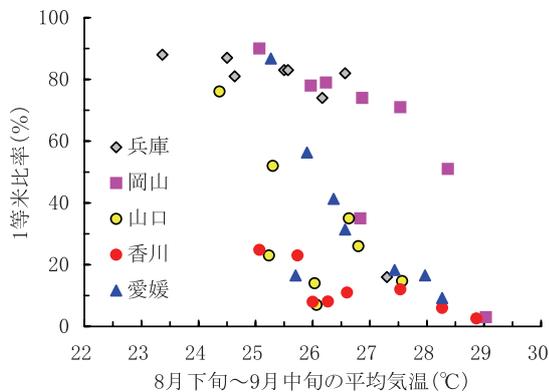
は前述のように台風による影響と考えられる。山口県と愛媛県は比較的低い傾向にあるが、登熟期の気温が低かった2009年では高くなった。香川県は恒常的に低く推移し、2009年でもあまり高くなかった。

次に、3等米以下の比率を見ると（第87図）、2010年は高温による影響が特に大きい年であったが、これまで品質の良かった兵庫県と岡山県で高くなっており、品質が悪かった山口県、香川県、愛媛県ではあまり高くなかった。このうち香川県では恒常的に1等米比率が低い傾向にあるにもかかわらず、2010年で3等以下が少なかったのは、大規模乾燥調製貯蔵施設の比率が高いことが要因の一つである可能性がある。なお、2004年の山口県が高いのは台風による被害である。

8月下旬～9月中旬の平均気温と1等米比率との関係を第88図に示した。気温が高いほど1等米比



第87図 「ヒノヒカリ」の3等米以下比率の推移



第88図 「ヒノヒカリ」の登熟期の気温と1等米比率との関係 (2003~2010年)

率が低下する傾向がみられた。この期間の気温が25℃より低いと、おおむね1等米が確保でき、27℃より高いと1等米が確保できないと考えられる。25~27℃では県による違いがみられ、兵庫県と岡山県では1等米比率が高く、香川県では低く、山口県と愛媛県はその中間であった。

25~27℃の温度域において県による1等米比率に大きな違いがみられたが、この理由としては以下のことが考えられる。

- ・気象条件：アメダスを「ヒノヒカリ」の代表する地点としたが、実際には気温の低い地域があった可能性がある。また台風のような高温以外の気象被害もあげられる。
- ・栽培管理：施肥方法や水管理（水温）による違いが考えられる。
- ・病害虫：斑点米カメムシによる被害が含まれる場合がある。

・出荷形態：大規模乾燥調製貯蔵施設ではあえて2等調製とする場合がある。

これら以外にもさまざまな要因が考えられ、今後、より詳細な分析を行い、検証していく必要がある。(中司祐典・藤田 究*・岩井正志・妹尾知憲*・山口憲一)

4 早期水稻地帯における米品質

1) 徳島県

はじめに、早期という作期の定義について、かつては食糧事務所による検査時期により、早期、普通期という区分けがされていたと聞く。また、地域によってもその移植慣行を基準として、早植え、遅植え、短期など、多様な表現がある。このため、徳島県全体の現況や品種構成を勘案し、あえて移植時期による作期区分を行うとすれば、早期(~4月下旬)、早植え(5月上旬~下旬)、普通期(6月上旬~中旬)の3区分に分類できる。このうち、早期に該当する地域は、概ね県南部から東部沿岸地域であり、品種は極早生種である「ハナエチゼン」、「コシヒカリ」が大部分を占めている。

過去10年間における本県の主要品種の1等米比率をみると(第68表)、早期に該当する2品種については、比較的高い1等米比率を維持している。特に「ハナエチゼン」は、2006年を除くと70%前後を維持しており、「コシヒカリ」についても2008年を除くと60%前後となっている。また、早植え、普通期において白未熟粒が多発し、劣質であった2010年においては、「ハナエチゼン」は過去10年間で最も1等米比率が高く、「コシヒカリ」においても1等米比率は低くはなかった。

このようなことから、早期の主要品種である「ハナエチゼン」、「コシヒカリ」について、劣質であった年の作況試験などから品質低下の要因を探りたい。

「ハナエチゼン」が劣質であった2006年の生育期間にあたる4~8月の気象は、平均気温は4月第3~6半旬、5月第3半旬、7月第4~5半旬が平年より低く経過し、それ以外は平年並みであった。日照時間は4~5月は寡照傾向、6月は平年並み、

第68表 徳島県における主要品種の過去10年間の1等米比率(%)

品種名	2001年	2002年	2003年	2004年	2005年	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年	平均
ハナエチゼン	74.2	59.4	74.4	67.7	69.1	45.5	64.6	76.4	66.6	79.8	67.8
コシヒカリ	63.5	75.6	66.0	51.0	66.0	54.0	62.0	43.0	60.7	58.4	60.0
キヌヒカリ	41.9	56.6	51.0	30.0	36.0	24.0	39.0	25.0	31.2	28.2	36.3
ヒノヒカリ	75.3	71.8	49.0	57.0	47.0	50.0	55.0	45.0	68.3	24.1	54.3

第69表 徳島県立農林水産総合技術支援センターの作況試験における「ハナエチゼン」と「コシヒカリ」の生育調査結果

品種名	年次	5月20日(+25)			6月10日(+46)			6月20日(+56)			出穂期 (月.日)	成熟期 (月.日)
		葉齢	草丈 (cm)	茎数 (本/㎡)	葉齢	草丈 (cm)	茎数 (本/㎡)	葉齢	草丈 (cm)	茎数 (本/㎡)		
ハナエチゼン	2006	5.3	24	144	9.1	43	600	10.2	55	600	7.09	8.14
	2001~2010	6.3	23	236	9.6	43	612	10.7	56	644	7.08	8.09
コシヒカリ	2008	5.6	24	205	9.1	47	581	10.1	58	587	7.17	8.17
	2001~2010	6.1	26	229	9.4	46	622	10.4	60	638	7.12	8.16

注) データは徳島県立農林水産総合技術支援センター農業研究所が実施した作況試験結果を示す。移植日は4月25日。

第70表 徳島県立農林水産総合技術支援センターの作況試験における「ハナエチゼン」と「コシヒカリ」の収量および収量構成要素等

品種名	年次	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/㎡)	倒伏 程度 (0-5)	精玄米 重 (kg/a)	屑米重 (kg/a)	千粒重 (g)	1穂粒数 (粒/本)	総粒数 (千粒/㎡)	登熟 歩合 (%)	外観 品質 (1-9)
ハナエチゼン	2006	77	19.0	413	0.0	46.3	0.9	22.6	73.1	30.2	67.9	5.0
	2001~2010	74	18.0	424	0.6	53.5	1.0	22.4	66.4	28.3	85.3	3.9
コシヒカリ	2008	85	18.0	380	0.0	56.7	0.1	20.7	76.4	29.0	94.4	5.0
	2001~2010	87	18.4	386	2.5	52.6	1.1	21.1	79.2	30.3	82.5	4.1

注) データは徳島県立農林水産総合技術支援センター農業研究所が実施した作況試験結果を示す。移植日は4月25日。

7月は寡照傾向、8月前半は多照傾向であった。

生育経過は、葉齢進展がやや遅く、茎数がやや少ない緩慢な生育で推移し、出穂期は1日、成熟期は5日、期間平均より遅かった(第69表)。収量および収量構成要素などでは、穂数がやや少ないものの1穂粒数がやや多かったことから粒数は年並みを確保したが、登熟歩合が低く、精玄米重は87%に留まり、外観品質はやや劣った(第70表)。

外観品質がやや劣った要因としては、粒数が年並みに確保されていたものの、登熟期間の大部分が低温寡照傾向で経過したことで、登熟条件が不良であったこと。また、出穂期前から登熟初期にかけての寡照が、白未熟粒の発生を増長させたと考えられた。

「コシヒカリ」が劣質であった2008年の生育期間の気象は、平均気温は7月第1半旬までは、5月第1半旬を除いて低温で経過し、7月第2半旬から

8月第4半旬まで高温で経過した。日照時間は5月第1半旬、6月第1半旬が寡照であり、それ以外は年並みまたは多照で経過した。

生育経過は、生育前半は気温が低めに経過したため、草丈がやや短く、茎数が少なかった(第69表)。7月に入り高温多照傾向となったことで登熟歩合は高まったが、白未熟粒の発生が多く、品質は不良であった(第70表)。

品質不良の要因は、登熟期間の高温(出穂期後20日の平均気温29.0℃、期間平均27.6℃)による白未熟粒の多発であったと考えられる。

2品種の過去10年間における最も劣質であった年の状況から、「ハナエチゼン」は、2008年のような登熟期が高温条件で経過する場合よりも、2006年のような低温寡照傾向の場合に外観品質が低下しやすく、「コシヒカリ」は、登熟期間が高温の場合、

白未熟粒の多発により、品質の低下を招いていることが推察された。

2) 高知県

高知県早期栽培水稻の1等米比率は、Ⅱ-3-4)で示したように低下しており、2006年以降は著しく低い。その主たる要因は高温による白未熟粒の発生にあると考えられる。

Ⅱ-3-4)では、過去10カ年における「コシヒカリ」の高知県農業技術センター(以下、高知農技セと記す)内作況試験のデータをもとに、近年の早期栽培での白未熟粒の発生要因を解析した。しかし、同試験は毎年同じ方法で栽培され、収量と気象要因との関係を明らかにすることを目的に実施されていることから、栽培法と白未熟粒割合との関係は解析できない。また、各年1サンプルでの解析となるため、同一年次内(登熟期間の気象条件がほぼ等しい条件下)における白未熟粒割合と生育・収量構成要素との関係も同様に解析できない。

そこで、ここでは高知県早期栽培用の主要品種「コシヒカリ」(早生品種)、「ナツヒカリ」(極早生品種)について、栽培暦、生育経過、収量構成要素および白未熟粒割合を把握している奨励品種決定現地調査および高知農技セ内で実施した試験のサンプルをもとに、白未熟粒の発生実態および発生要因を解析した。具体的には、「コシヒカリ」は2005～

2007年、2009年および2010年の5カ年、各年10試験区における計50サンプルを、「ナツヒカリ」は2007年を除く4カ年、各年9試験区における計36サンプル(安芸市での現地調査では同品種は供試していない)を用いた。また、ここでは登熟期間の気象データとして栽培地に最も近いアメダス観測所における気温および日照時間を使用し、日射量(高知市のみで測定)は使用しなかった。

(1) 試験区の栽培法と白未熟粒割合

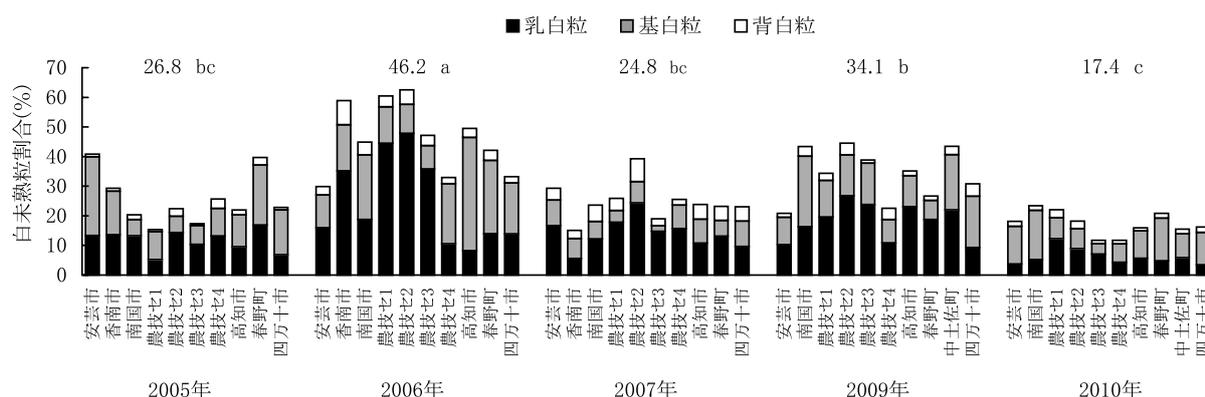
第71表に供試サンプルの栽培法を示した。移植日は3月27日～4月28日であり、中土佐町区で早く農技セ4区で遅かった。栽植密度は13.9～22.2株/m²であり、四万十市区、農技セ1～4区でやや密植であった。窒素施肥量は1.0～12.7 g/m²であり、農技セ2区で多く安芸市区で少なかった。

第89図に「コシヒカリ」の年次、試験区別の白未熟粒のタイプ別割合を示した。白未熟粒割合は2006年が有意に高く、乳白粒および基白粒が多発した。白未熟粒割合が最も低かったのは2010年であったが、この年は乳白粒の発生が少なかった。2005年、2007年および2009年の白未熟粒割合に有意差は認められなかったが、主として発生した白未熟粒のタイプは年次によって異なり、2005年は基白粒、2007年と2009年は乳白粒の発生が多かった。また、白未熟粒割合の試験区間の傾向は年次によ

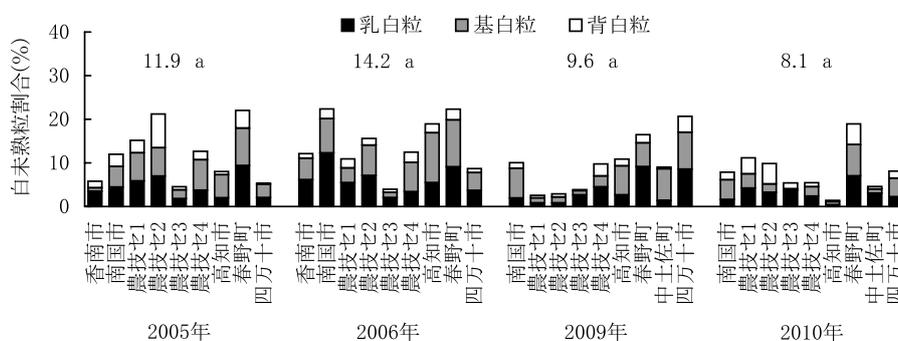
第71表 年次、試験区別の栽培法(高知県早期栽培)

試験区	移植日(月.日)					栽植密度(株/m ²)					窒素施肥量(g/m ²)				
	05年	06年	07年	09年	10年	05年	06年	07年	09年	10年	05年	06年	07年	09年	10年
安芸市	4.15	4.14	4.16	4.13	4.17	13.9	15.2	15.2	15.2	15.2	4.1	2.0	4.0	2.0	1.0
香南市	4.15	4.13	4.13	—	—	15.2	20.8	16.7	—	—	6.6	6.6	6.8	—	—
南国市	4.6	4.6	4.6	4.8	4.14	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2	6.8	6.0	6.0	6.0	6.0
農技セ1	4.15	4.10	4.9	4.9	4.9	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0
農技セ2	4.15	4.10	4.9	4.9	4.9	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	12.7	12.7	12.7	12.7	12.7
農技セ3	4.15	4.10	4.9	4.9	4.9	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0
農技セ4	4.28	4.25	4.27	4.27	4.27	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
高知市	4.13	4.6	4.11	4.9	4.12	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2	6.0	6.0	6.0	6.4	6.0
春野町	4.23	4.14	4.15	4.20	4.10	18.5	15.2	15.2	15.2	15.2	7.6	10.2	6.0	3.0	3.0
中土佐町	—	—	—	3.27	4.5	—	—	—	16.7	15.2	—	—	—	10.4	8.5
四万十市	4.15	4.13	4.12	4.3	4.8	22.2	22.2	22.2	22.2	22.2	6.0	7.7	7.5	7.5	8.0

注) 05年：2005年、06年：2006年、07年：2007年、09年：2009年、10年：2010年、試験区の農技セは高知県農業技術センター(南国市)、春野町は高知市春野町を示す。供試品種は安芸市では「コシヒカリ」のみ、他の試験区では「コシヒカリ」、「ナツヒカリ」の2品種とした。「—」は試験未実施を示す。いずれも稚苗を3～5本/株で移植した。



第89図 高知県早期栽培「コシヒカリ」における年次、試験区別の白未熟粒のタイプ別割合
穀粒判別器（サタケ社製）で測定した。棒グラフ上の数値は年次別の白未熟粒割合の平均値を示し、
同じアルファベット間には5%水準で有意差のないことを示す（Tukeyの全群比較）。



第90図 高知県早期栽培「ナツヒカリ」における年次、試験区別の白未熟粒のタイプ別割合

穀粒判別器（サタケ社製）で測定した。棒グラフ上の数値は年次別の白未熟粒割合の平均値を示し、同じアルファベット間には5%水準で有意差のないことを示す（Tukeyの全群比較）。

て異なっており、2005年と2010年は基白粒の発生が多かった試験区で、2006年、2007年および2009年は乳白粒の発生が多かった試験区で白未熟粒割合が高かった。第90図には「ナツヒカリ」の年次、試験区別の白未熟粒のタイプ別割合を示した。白未熟粒割合には有意な年次間差は認められず、年次に関わらず基白粒が主として発生した。また、白未熟粒割合の試験区間の傾向は年次によって異なっており、白未熟粒割合の高かった試験区では基白粒、乳白粒ともに発生が多かった。

なお、両品種に共通する試験区（4カ年計36サンプル）の品種間差をみると、「コシヒカリ」の白未熟粒割合は「ナツヒカリ」に比べて有意に高く（分散分析の結果は省略）、乳白粒割合に特に大きな差異が認められた。

（2）試験区の登熟期間の気象条件と生育

第72表に「コシヒカリ」の登熟期間の気象条件を示した。2006年と2010年は気温が高く、日照時間が長かったが、2007年と2009年は気温が低く、日照時間が短かった。一方、「ナツヒカリ」は、2009年は気温が低くて日照時間が短く、2010年は日照時間が長かった（第73表）。

上記と同様に両品種に共通する試験区の品種間差をみると、「コシヒカリ」は「ナツヒカリ」に比べて有意に気温が高く、日照時間が長かった（分散分析の結果は省略）。

第74表に「コシヒカリ」の生育、収量構成要素および収量を示した。出穂期および成熟期に有意差が認められ、出穂期は2005年と2009年が早く、

第72表 高知県早期栽培「コシヒカリ」の年次別の登熟期間の気象条件

年次	気温(°C)			日照時間 (h/日)
	日平均	日最高	日最低	
2005	26.7	30.4	23.2	5.0
2006	27.2	30.8	24.1	5.7
2007	26.0	29.5	22.9	4.8
2009	26.3	29.8	23.4	4.2
2010	27.0	30.7	23.9	6.4

注) 10試験区の平均値を示す。各試験区から最も近いアメダス観測所の観測値を使用した。

第73表 高知県早期栽培「ナツヒカリ」の年次別の登熟期間の気象条件

年次	気温(°C)			日照時間 (h/日)
	日平均	日最高	日最低	
2005	26.3	29.9	22.9	4.6
2006	26.5	29.7	23.9	3.9
2009	25.5	28.9	22.7	3.7
2010	26.4	29.9	23.5	5.3

注) 9試験区の平均値を示す。各試験区から最も近いアメダス観測所の観測値を使用した。

2010年は遅かった。成熟期は2005年が早く、2006年と2007年は遅かった。生育、収量構成要素および収量には有意差は認められなかった。「ナツヒカリ」では、出穂期、玄米千粒重および精玄米重に有意差が認められ、出穂期は2009年が早く、2010年が遅かった。玄米千粒重は2005年が重く、2006年は軽かった。精玄米重は2006年と2009年が重く、2010年は軽かった(第75表)。

同様に品種間差をみると、「コシヒカリ」は「ナツヒカリ」に比べて出穂期と成熟期が遅く、1穂粒数や総粒数が多くて玄米千粒重が軽かった(分散分析の結果は省略)。

(3) 「コシヒカリ」の白未熟粒の種類別割合と登熟時期別の気象条件との関係

白未熟粒割合に年次間差の認められた「コシヒカリ」の白未熟粒のタイプ別割合と登熟時期別(前期:出穂期~同10日後, 中期:同11~20日後, 後期:同21日後~成熟期)の気象条件との相関係数を第76表に示した。白未熟粒の割合と登熟前・中

第74表 高知県早期栽培「コシヒカリ」の年次別の出穂期, 成熟期, 収量構成要素および収量

年次	出穂期 (月.日)	成熟期 (月.日)	稈長 (cm)	穂長 (mm)	穂数 (本/m ²)	1穂 粒数 (粒/本)	総粒数 (千粒/m ²)	登熟 歩合 (%)	玄米 千粒重 (g)	精玄 米重 (kg/10a)
2005	7. 3 b	8. 7 b	85.9 a	179 a	455 a	73.3 a	31.5 a	73.8 a	21.8 a	533 a
2006	7. 7 ab	8.13 a	86.4 a	182 a	429 a	74.1 a	32.8 a	73.0 a	21.1 a	467 a
2007	7. 6 ab	8.13 a	85.0 a	181 a	463 a	74.6 a	36.2 a	68.2 a	21.2 a	537 a
2009	7. 4 b	8. 9 ab	87.6 a	182 a	514 a	69.4 a	37.5 a	60.8 a	21.4 a	532 a
2010	7. 9 a	8.12 ab	88.2 a	182 a	418 a	72.7 a	32.7 a	63.1 a	22.3 a	475 a

注) 10試験区の平均値を示す(粒数, 登熟歩合は3試験区の平均値)。同じアルファベット間には5%水準で有意差のないことを示す(Tukeyの全群比較)。

第75表 高知県早期栽培「ナツヒカリ」の年次別の出穂期, 成熟期, 収量構成要素および収量

年次	出穂期 (月.日)	成熟期 (月.日)	稈長 (cm)	穂長 (mm)	穂数 (本/m ²)	1穂 粒数 (粒/本)	総粒数 (千粒/m ²)	登熟 歩合 (%)	玄米 千粒重 (g)	精玄 米重 (kg/10a)
2005	6.26 ab	7.29 a	68.1 a	165 a	501 a	50.2 a	26.6 a	72.8 a	22.9 a	436 ab
2006	6.29 ab	8. 1 a	71.3 a	173 a	472 a	52.4 a	26.3 a	84.2 a	21.8 b	451 a
2009	6.24 b	7.27 a	72.1 a	171 a	517 a	50.6 a	29.2 a	77.4 a	22.2 ab	452 a
2010	6.30 a	8. 1 a	71.2 a	171 a	421 a	53.9 a	24.3 a	71.2 a	22.4 ab	356 b

注) 9試験区の平均値を示す(粒数, 登熟歩合は3試験区の平均値)。同じアルファベット間には5%水準で有意差のないことを示す(Tukeyの全群比較)。

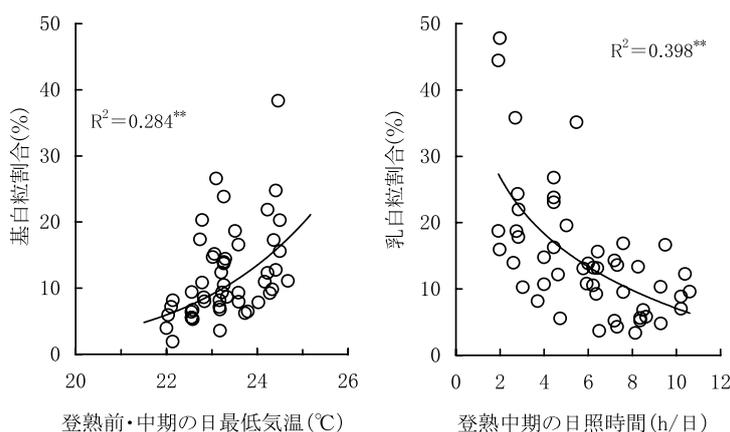
第76表 高知県早期栽培「コシヒカリ」の白未熟粒割合と登熟時期別の気象条件との相関係数（2005～2007年，2009年，2010年）

割合(%)	日平均気温(°C)			日最高気温(°C)		
	前期	中期	後期	前期	中期	後期
白未熟粒	0.215	-0.263	0.056	0.170	-0.474 **	0.102
乳白粒	0.068	-0.388 **	-0.064	-0.003	-0.535 **	-0.048
基白粒	0.353 *	0.159	0.243	0.338 *	-0.056	0.294 *

(第76表の続き)

割合(%)	日最低気温(°C)			日照時間(h/日)		
	前期	中期	後期	前期	中期	後期
白未熟粒	0.292 *	0.487 **	-0.251	-0.148	-0.587 **	0.456 **
乳白粒	0.162	0.266	-0.286 *	-0.204	-0.588 **	0.424 **
基白粒	0.385 **	0.544 **	0.052	0.098	-0.160	0.159

注) 前期：出穂期～同10日後，中期：同11～20日後，後期：同21日後～成熟期とし，各期間の平均値を用いた（栽培地から最も近いアメダス観測所の観測値を使用）．白未熟粒のタイプ別割合は穀粒判別器（サタケ社製）で測定した．発生が少なかった背白粒との相関関係は示していない．*，**はそれぞれ5%，1%水準で有意であることを示す（n = 50）．



第91図 高知県早期栽培「コシヒカリ」における登熟前・中期（出穂後20日間）の日最低気温と基白粒割合，登熟中期（出穂期11～20日後）の日照時間と乳白粒割合との関係（2005～2007年，2009年，2010年）

基白粒および乳白粒割合は穀粒判別器（サタケ社製）で測定し，気象条件は栽培地に最も近いアメダス観測所の観測値を使用した．**は1%水準で有意であることを示す（n = 50）．

期の日最低気温との間には有意な正の相関が，タイプ別では基白粒割合との間により高い相関が認められた．また，白未熟粒割合と登熟中期の日最高気温および日照時間との間には有意な負の相関が，タイプ別では乳白粒割合との間により高い相関が認められた．さらに，白未熟粒の割合と登熟後期の日照時間との間にも有意な正の相関が，タイプ別では乳白粒割合との間により高い相関が認められた．なお，

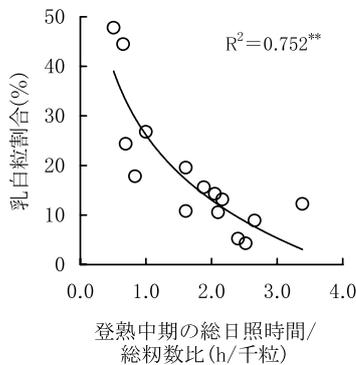
「ナツヒカリ」では白未熟粒のタイプ別割合と登熟時期別の気象条件との間に有意な相関は認められなかった（データ省略）．

第91図には「コシヒカリ」における登熟前・中期の日最低気温と基白粒割合，登熟中期の日照時間と乳白粒割合との関係を示した．登熟前・中期の日最低気温が23℃以上，登熟中期の日照時間が6 h/日以下でそれぞれ基白粒割合，乳白粒割合が高い試

験区が認められた。また、「コシヒカリ」における登熟中期の総日照時間/総粒数比と乳白粒割合との間には密接な関係が認められた (第92図)。

(4) 「コシヒカリ」, 「ナツヒカリ」の白未熟粒割合と栽培方法, 生育および収量構成要素との関係

第77表には品種の白未熟粒割合と栽培方法, 生育および収量構成要素との相関関係を示した。「コシヒカリ」の5カ年の値, 「ナツヒカリ」の4カ年



第92図 高知県早期栽培「コシヒカリ」における登熟中期 (出穂期11~20日後)の総日照時間/総粒数比と乳白粒割合との関係 (2005~2007年, 2009年, 2010年)

乳白粒割合は穀粒判別器 (サタケ社製) で測定し, 日照時間は栽培地に最も使いアメダス観測所の観測値を使用した。**は1%水準で有意であることを示す (n = 15)。

の値においては, 「コシヒカリ」で玄米千粒重との間に有意な負の相関が認められただけであった。また, 年次別にみると, 白未熟粒割合との間に有意な相関関係が認められた項目が示されたものの, いずれの品種においても白未熟粒割合と諸形質との間に一定の傾向は認められなかった。しかし, 「コシヒカリ」では, 基白粒の発生が比較的多かった2005年, 2010年は栽植密度が低くて窒素施肥量が少なく, 総粒数が少なくて登熟歩合が高い試験区ほど, 主として乳白粒が発生した2006年, 2007年および2009年は出穂期が早く, 窒素施肥量が多く, 総粒数が多くて登熟歩合が低い試験区ほど白未熟粒割合が高い傾向にあった。

(5) まとめ

高知県早期栽培用品種では, 年次に関わらず「ナツヒカリ」に比べて「コシヒカリ」で白未熟粒割合が有意に高く, 特に乳白粒の発生が多かった。両品種では出穂期が異なり, 登熟期間の温度は「コシヒカリ」で高くなっており, このことが同品種で白未熟粒割合の高い主要因と考えられた。一方で, 品種間の温度差が小さかった2005年においても, 白未熟粒割合には大きな品種間差が認められたことから, 「ナツヒカリ」は「コシヒカリ」に比べ高温登熟耐性が優れることが指摘された。また, 乳白粒は

第77表 高知県早期栽培における品種の白未熟粒割合と栽培方法, 生育および収量構成要素との相関係数

品種	年次	出穂期 (月/日)	栽植 密度 (株/m ²)	窒素 施肥量 (g/m ²)	稈長 (cm)	穂長 (mm)	穂数 (本/m ²)	1穂 粒数 (粒/本)	総粒数 (千粒/m ²)	登熟 歩合 (%)	玄米 千粒重 (g)
コシヒカリ	2005	0.27	-0.53	-0.49	-0.01	0.39	-0.51	0.99	-0.33	1.00 **	-0.40
	2006	-0.29	0.26	0.61	0.49	0.35	0.28	-1.00	0.55	-0.68	-0.55
	2007	-0.35	0.19	0.34	0.18	-0.03	0.23	-0.97	1.00	-0.88	-0.26
	2009	-0.59	0.06	0.74 *	-0.09	0.44	0.19	-0.46	0.53	-0.65	-0.29
	2010	-0.16	-0.36	-0.16	0.18	0.08	-0.12	-0.96	-0.31	0.77	0.17
	5カ年	0.02	0.03	0.24	0.11	0.15	0.10	-0.26	0.31	-0.13	-0.48 **
ナツヒカリ	2005	-0.13	0.15	0.54	0.22	0.71 *	0.43	0.19	1.00 *	-0.86	-0.03
	2006	0.06	-0.86 **	-0.06	0.18	0.54	-0.14	-0.73	0.62	-0.60	-0.01
	2009	0.40	-0.21	-0.63	0.09	-0.20	-0.52	0.89	-0.27	-0.85	0.32
	2010	-0.04	-0.02	-0.26	0.38	-0.15	-0.10	-0.91	0.16	0.16	-0.63
	4カ年	0.08	-0.19	-0.11	0.16	0.13	-0.04	-0.04	0.08	-0.29	-0.10

注) 白未熟粒割合は穀粒判別器 (サタケ社製) で測定した。*, **はそれぞれ5%, 1%水準で有意であることを示す。年次に関わらず「コシヒカリ」: n = 10, 「ナツヒカリ」: n = 9 (粒数, 登熟歩合についてはいずれの品種も n = 3)。

1穂粒数および総粒数と正の相関関係を示し、その発生には養分分配量の低下が影響していると報告されており^{9, 61, 64, 65}、「ナツヒカリ」に比べ1穂粒数および総粒数が多い「コシヒカリ」では、乳白粒の発生が助長されている可能性が推察された。

次に、白未熟粒のタイプ別割合と登熟期間の気象条件との関係については、「コシヒカリ」では有意な関係が認められたのに対し、「ナツヒカリ」では認められなかった。「コシヒカリ」では基白粒割合と登熟前・中期の日最低気温との間には正の、乳白粒割合と登熟中期の日照時間との間には負の相関関係が認められ、それぞれ23℃以上、6h/日以下で多発しやすいと考えられた。そして、このことが同品種における白未熟粒割合の年次間差の主要因と考えられた。白未熟粒の発生に対して最も影響が大きいのは出穂後20日間の日最低気温（夜温）であるといわれ^{23, 27, 28, 34, 61}、23～24℃で白未熟粒の発生が顕著となることが指摘されている⁵⁹。また、その発生に対する登熟期間の高温の影響が大きい障害粒としては背白粒、基白粒が^{5, 6, 35, 68}、同期間の寡照の影響が大きい障害粒としては乳白粒が^{18, 33, 58, 64}それぞれ報告されている。本解析から得られた結果はこれらの報告とよく一致するものであった。さらに、「コシヒカリ」の乳白粒割合と登熟中期の総日照時間/総粒数比との間にも密接な負の相関が認められた。Ⅱ-3-4)の高知農技セ内作況試験における解析でも同様の傾向が認められており、「コシヒカリ」での乳白粒の発生には総粒数および日照時間（日射量）と総粒数のバランスも深く関わっていることが示された。

なお、「コシヒカリ」では登熟後期の日照時間と乳白粒割合との間にも有意な正の相関が認められたが、これは登熟期間の日射量が多い場合には背白粒のみが多発するという報告⁶⁸とは異なる結果であった。白未熟粒割合と日射量、日照時間との関係は今後もさらに検討する必要があると考えられた。また、「ナツヒカリ」において白未熟粒のタイプ別割合と登熟期間の気象条件との間に有意な関係が認められなかったことには、同品種の高温登熟耐性が優れることが関係していると考えられた。

最後に、白未熟粒割合と栽培法、生育および収量構成要素との関係については、「コシヒカリ」で5カ年の玄米千粒重との間に有意な負の相関が認められただけであった。乳白米は完全米に比べて粒重が軽いことが指摘され⁶⁸、白未熟粒割合が特に高かった2006年には乳白粒が多発し、乳白粒は粒重の低下を伴っていたために、結果的に白未熟粒割合と玄米千粒重との間に有意な負の相関が認められたものと推察された。

一方で、「コシヒカリ」において主として発生した白未熟粒のタイプに着目すると、基白粒の発生が多かった2005年、2010年は窒素施肥量が少なく総粒数が少なく、結果的に登熟歩合が高かった場合に、乳白粒の発生が多かった2006年、2007年および2009年はその逆の場合に白未熟粒割合が高い傾向にあった。白未熟粒の発生と栽培方法および生育との関係については、少肥化による生育後期の窒素栄養不足が背白粒、基白粒を多発させているとする報告^{13, 22, 58}と、施肥量増による過繁茂、1穂粒数および総粒数の過剰が乳白粒を多発させているとする報告^{18, 58, 61, 64}とがある。すなわち、早期栽培「コシヒカリ」においては、基白粒の発生しやすい気象条件（出穂後20日間の日最低気温が23℃以上）で登熟した年次には、少肥栽培により総粒数が少なかった場合に基白粒の発生が、乳白粒の発生しやすい気象条件（出穂期11～20日後の日照時間が6h/日以下）で登熟した年次には、多肥栽培により総粒数が多かった場合に乳白粒の発生が助長されやすいことが、白未熟粒割合の試験区間差および試験区間の傾向が年次によって異なった要因と考えられた。

一方で、「コシヒカリ」に比べて高温登熟耐性が優れると考えられた「ナツヒカリ」では、白未熟粒割合に及ぼす栽培法、生育および収量構成要素の影響は小さいと考えられた。

3) 早期栽培の総括

最後に、早期栽培における玄米品質低下について、Ⅱ-3-1), 3), 4) およびⅢ-4で示された徳島県、愛媛県および高知県のデータをもとに、共通点などについて整理した。

第78表 「コシヒカリ」と「ヒノヒカリ」の1等米比率(%)の推移

品種名	県名	2003年	2004年	2005年	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年
コシヒカリ	徳島	66	51	66	54	62	43	61	59
	愛媛	65	40	65	43	60	50	53	44
	高知	61	39	43	7	4	16	13	14
ヒノヒカリ	徳島	49	57	47	50	55	45	68	24
	愛媛	18	31	19	17	17	56	87	9
	高知	23	1	9	6	12	10	18	8

注) 各県農政事務所による。

まず、2009年および2010年産米の玄米品質を比較した場合、普通期「ヒノヒカリ」において認められた2010年産米における著しい玄米品質低下が早期栽培「コシヒカリ」では認められなかった(第78表)。2010年において高温で経過したのは8月第4半旬以降であり、早期栽培ではその時期には収穫を終えているか、もしくは成熟期であったため、高温の影響をほとんど受けなかったことがその要因と考えられた。

次に、早期栽培における玄米品質の低下(白未熟粒の発生)に関与する気象条件として、県によって最も相関の高い時期はやや異なるものの、登熟期間の高温だけでなく寡照を指摘していることがあげられた。高知県のデータからは日照時間(日射量)と乳白粒割合との間に密接な相関関係が認められており、四国地方の早期栽培では乳白粒の発生が多いことが推察された。また、2003年以降「コシヒカリ」の1等米比率は常に高知県で最も低い値を示しているが(第78表)、3県のなかで最も移植期、出穂期の早い高知県では、登熟前期が梅雨による寡照条件下で経過しやすく、このことによって他の2県に比べて乳白粒が多発し、玄米品質を著しく低下させている可能性が示唆された。

一方で、高知県、徳島県からは玄米品質の低下(白未熟粒の発生)に及ぼす籾数の影響が、高知県、愛媛県からは登熟期間における窒素栄養状態の影響が指摘された。高知県における近年の1等米比率が他の2県に比べて極めて低い要因が前述の気象条件の違いだけにあるとは考えにくく、3県における籾数や登熟期間の窒素栄養状態、シンク/ソース比などを比較し、白未熟粒の発生に及ぼすそれらの影響について検討を進めることも重要と考えられた。

また、過去8カ年において早期栽培の1等米比率が最も低かった年次は、徳島県が2008年、愛媛県が2004年、高知県が2007年と県によって異なっていた(第78表)。この要因について、白未熟粒割合と気象条件、生育量および栽培法などとの関係を検討することも必要と考えられた。

(山本善太・高田 聖*)

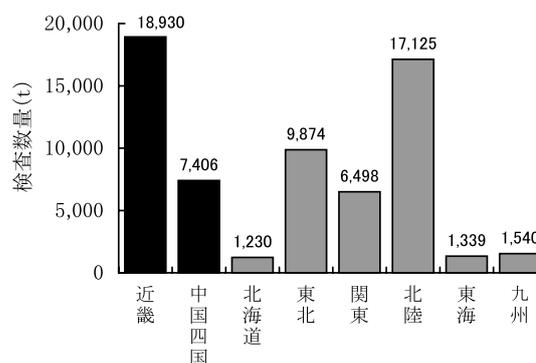
5 酒造好適米品種における米品質

1) 近畿中国四国地域における酒造好適米品種の生産状況

(1) 生産状況

2010年産の全国の醸造用玄米の検査数量は63,942 tである⁴³⁾。そのうち近畿地域が18,930 t (29.6%)、中国四国地域が7,406 t (11.6%)で、近畿中国四国地域で全国醸造用玄米の生産量の約40%を占めている(第93図)。

近畿中国四国地域の2010年産における府県別の醸造用玄米とうち銘柄で主に酒造用に使用されている品種の検査数量は第79表に示すとおりである。2010年産の全国の醸造用玄米産地品種銘柄に指定



第93図 地域別の醸造用玄米検査数量(2010年産)

されている品種は96種あり、近畿中国四国地域ではそのうち39品種が指定されている。主な品種は「山田錦」で、全15府県で指定されている。次に「五百万石」が7府県、「雄町」が4府県、「玉栄」が3府県である。生産量の多い品種は兵庫県の「山

田錦」で、次に岡山県の「雄町」、広島県の「八反錦1号」である。酒造用には大粒で心白のある醸造用玄米だけではなく、心白はほとんど発生しないがやや大粒のうるち銘柄がある。代表的な品種は香川県の「オオセト」、さぬきよいまい、愛媛県の

第79表 近畿，中国，四国の府県別醸造用玄米産地品種銘柄およびうるち酒造好適米

府県名	銘柄数 (検査数量計)	醸造用玄米産地品種銘柄 (検査数量)					うるち(酒造好適米) (検査数量)
滋賀県	4 (996t)	<u>玉栄</u> (388t)	山田錦 (287t)	<u>吟吹雪</u> (195t)	滋賀渡船6号 (48t)	<u>吟おうみ</u> (279t)	
京都府	3 (552t)	<u>祝</u> (277t)	<u>五百万石</u> (204t)	山田錦 (71t)			
大阪府	3 (59t)	山田錦 (54t)	雄町 (5t)	五百万石			
兵庫県	19 (17,200t)	<u>山田錦</u> (14,380t)	<u>五百万石</u> (597t)	<u>兵庫夢錦</u> (575t)	愛山 (398t)	フクノハナ (254t)	
		白鶴錦 (198t)	<u>兵庫北錦</u> (190t)	兵庫恋錦 (93t)	新山田穂1号 (25t)	山田穂 (25t)	
		神力 (21t)	兵庫錦 (17t)	渡船2号 (12t)	いにしへの舞 (12t)	但馬強力 (7t)	
		たかね錦 (6t)	杜氏の夢 (5t)	野条穂 (5t)	白菊 (5t)		
奈良県	2 (59t)	<u>露葉風</u> (37t)	山田錦 (20t)				
和歌山県	3 (63t)	山田錦 (35t)	玉栄 (8t)	五百万石 (4t)			
鳥取県	4 (451t)	山田錦 (201t)	玉栄 (110t)	強力 (63t)	五百万石 (57t)		
島根県	6 (689t)	<u>五百万石</u> (392t)	山田錦 (87t)	<u>神の舞</u> (68t)	<u>佐香錦</u> (68t)	<u>改良雄町</u> (60t)	
		改良八反流 (14t)					
岡山県	2 (2,629t)	<u>雄町</u> (1,329t)	山田錦 (1,277t)				
広島県	7 (2,282t)	<u>八反錦1号</u> (1,284t)	<u>八反</u> (490t)	山田錦 (194t)	<u>千本錦</u> (159t)	雄町 (88t)	
		<u>こいおまち</u> (45t)	<u>八反錦2号</u> (-)				
山口県	4 (414t)	山田錦 (195t)	西都の雫 (97t)	白鶴錦 (27t)	五百万石 (3t)		
徳島県	1 (634t)	<u>山田錦</u> (631t)					
香川県	2 (22t)	山田錦 (18t)	雄町 (3t)			<u>オオセト</u> さぬきよいまい (3,344t) (86t)	
愛媛県	2 (90t)	しずく媛 (74t)	山田錦 (16t)			<u>松山三井</u> (943t)	
高知県	3 (194t)	<u>吟の夢</u> (125t)	山田錦 (35t)	<u>風鳴子</u> (34t)		<u>土佐錦</u> (32t)	

注) 銘柄名及び検査数量は、農林水産省「平成22年産米の検査結果(速報値)」(平成23年3月31日現在)による。下線の品種は、各府県の奨励品種(準奨励, 認定, 特定等を含む)。検査数量計には醸造用玄米産地品種銘柄以外に醸造用玄米の検査を受けた数量も含むため検査数量の合計と一致しない場合がある。「-」は事実がないものを示す。

「松山三井」，滋賀県の「吟おうみ」，高知県の「土佐錦」である。また，山口県の「中生新千本」も酒造用の掛米として需要の多い品種である。

(2) 2010年産の品質

第80表に2003年から2010年の府県別の醸造用玄米の上位等級比率の推移を示した。醸造用玄米の上位等級比率は特等以上で示す場合が多いが，品種や府県によってはライスセンターなどの施設調製で1等米調製を実施している場合があるため，上位等級比率は1等米以上の等級比率とした。

2010年の夏の平均気温は過去113年間で最も高く，9月も残暑が厳しかった¹⁶⁾。その高温の影響で2010年の上位等級比率は多くの府県，品種で低下し，2003～2009年の平均値を下回った。低下率の大きかった府県は，奈良県，滋賀県，京都府，兵庫県，岡山県である。奈良県では早生の「露葉風」，滋賀県では中生の「玉栄」，京都府では中生の「祝」，兵庫県では中生の「兵庫夢錦」など7月下旬から8月上中旬に出穂する品種の品質低下が大きかった。また，兵庫県と岡山県では晩生種で登熟期の気温が比較的低い「山田錦」においても，2010年は白未熟粒が多発し，品質が大きく低下した⁴³⁾。一方，広島県や四国4県は2010年の上位等級比率が2003～

2009年の平均値を上回った。愛媛県では「しずく媛」，香川県では「山田錦」の1等米比率が向上したためである。広島県は常に安定的に高い上位等級比率を維持しているが，その背景は広島県の酒造好適米品種の産地が標高250～400mに分布し，2010年の高温年でも登熟期の気温が障害の発生する温度に達していなかったことによると考えられる。

2) 登熟期の高温が酒造適性に与える影響

登熟期の高温は充実不足や白未熟粒の発生により検査等級を低下させるだけではなく，酒造好適米品種においては酒造適性への影響も懸念されている。奥田ら⁴⁶⁾は出穂後1ヶ月の平均気温と酒造好適米品種のデンプン特性および蒸米消化性との関係を解析し，登熟期の気温が高いほどアミロペクチンの側鎖が長くなり，また，蒸米の酵素消化性が低下する，すなわち，原料米が溶解しにくくなることを明らかにしている。また，内田⁶⁶⁾は，最近の「山田錦」は心白の大きさが大きく，白米を吸水させた際の「浸漬割れ」が多いことを指摘している。今後は生産者側においても検査等級などの米の見かけの品質だけではなく，酒造適性を意識した温暖化対策が必要になると考えられる。

第80表 府県別の醸造用玄米の上位等級（1等米以上）比率の推移

府県名	年次								2003～2009 年の平均値	2010年と平均 値との差
	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010		
滋賀県	47.4	72.0	63.5	70.5	69.4	69.8	63.3	41.6	65.1	-23.5
京都府	71.0	68.3	51.0	61.4	63.5	53.4	81.4	43.2	64.3	-21.1
大阪府	3.5	16.5	1.1	0.2	0.0	0.6	0.4	0.0	3.2	-3.2
兵庫県	91.7	87.0	91.0	92.5	91.4	91.9	85.9	70.7	90.2	-19.5
奈良県	53.6	18.5	48.7	31.8	61.9	56.8	36.3	20.0	43.9	-23.9
和歌山県	0.0	0.0	7.7	17.8	3.0	6.8	9.0	0.0	6.3	-6.3
鳥取県	35.5	29.7	60.6	52.1	61.3	56.5	59.5	44.2	50.7	-6.5
島根県	71.2	75.9	82.5	75.0	59.6	74.2	58.8	61.9	71.0	-9.1
岡山県	62.2	51.5	55.3	60.4	58.8	66.8	58.1	47.0	59.0	-12.0
広島県	92.3	87.2	92.5	93.9	93.7	95.2	93.9	93.3	92.7	0.6
山口県	19.2	34.5	49.4	51.3	65.6	56.9	50.4	38.4	46.8	-8.4
徳島県	81.1	66.2	76.5	81.2	79.8	21.8	79.2	73.5	69.4	4.1
香川県	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2	1.4	0.0	30.4	0.5	29.9
愛媛県	6.5	18.2	17.2	17.5	9.2	42.6	21.5	50.2	19.0	31.2
高知県	14.2	4.0	14.8	7.8	4.9	7.5	10.6	11.6	9.1	2.5

注) 等級比率は，農林水産省の「米の検査結果」による。2010年産は2011年3月31日現在の速報値。

3) 兵庫県の酒造好適米品種における米品質低下の実態・要因

(1) 米品質低下の実態

a 兵庫県の生産状況

2010年の兵庫県の醸造用玄米産地品種銘柄は19品種あり、奨励品種は「山田錦」, 「五百万石」, 「兵庫北錦」, 「兵庫夢錦」の4品種である(第79表)。2010年の作付面積は第81表に示すとおり3,878haで水稻全体の10%である。品種別では「山田錦」が3,357haで86.5%を占めている。「山田錦」は県南東部の三木市, 加東市で生産され, 産地での移植は6月上旬が中心で, 出穂期は8月下旬, 成熟期は10月上旬である。早生種の「兵庫夢錦」は県南西部の姫路市や宍粟市で生産され, 移植は6月中旬, 出穂期は8月中下旬, 成熟期は9月下旬である。極早生種の「五百万石」, 「フクノハナ」, 「兵庫北錦」は県北部の豊岡市, 丹波市, 新温泉町で生産され, 移植は5月上中旬, 出穂期は7月中下旬, 成熟期は9月上旬である。

b 「山田錦」への温暖化の影響

兵庫県の「山田錦」では1998年頃から出穂期の早生化や穂数の増加が認識され始めた。温暖化への影響を把握するために兵庫県立農林水産技術総合センター酒米試験地で実施している「気象感応調査」のデータを参考にした。生育への変化が認識され始めた1998年以降2007年までの10年間と1997年以前の10年間で, 特に変化が顕著にみられた項目を各年次間の平均値と比較した(第82表)。

1998年以降, 出穂期は2日, 成熟期は7日も早

くなり, 穂数は9%増加している。心白の発生は, 大きさの大きい心白の割合が増加している。検査等級は充実不足の理由により1等級程度低くなっている。移植期～出穂期までと出穂期～成熟期の登熟期間の平均気温を比較すると, 1998年以降の10年間は移植期～出穂期で0.4℃, 出穂期～成熟期は2.1℃も高くなり, 生育や品質の変化の要因としては気温の上昇が最大の原因と推測された。

1991年から2010年までの兵庫県の「山田錦」全

第81表 兵庫県の酒造好適米品種の作付面積, 産地および熟期

品種名	作付面積 (ha)	比率 (%)	主な産地	熟期
山田錦	3357.0	86.5	三木市, 加東市	晩生
兵庫夢錦	148.2	3.8	姫路市, 宍粟市	早生
五百万石	124.3	3.2	豊岡市, 丹波市	極早生
フクノハナ	56.2	1.4	豊岡市	極早生
愛山	50.0	1.3	加東市	晩生
白鶴錦	40.0	1.0	多可町	晩生
兵庫北錦	38.0	1.0	新温泉町	極早生
兵庫恋錦	20.0	0.5	三木市	中生
山田穂	5.6	0.1	多可町	晩生
神力	5.5	0.1	たつの市	晩生
兵庫錦	4.3	0.1	加東市	晩生
新山田穂1号	4.1	0.1	三木市	晩生
いにしへの舞	3.0	0.1	三木市	晩生
渡船2号	3.0	0.1	多可町	晩生
但馬強力	2.3	0.1	多可町	中生
杜氏の夢	1.3	0.0	篠山市	極早生
白菊	1.6	0.0	加東市	晩生
たかね錦	0.5	0.0	香美町	極早生
野条穂	0.3	0.0	明石市	中生
その他	13.5	0.3		
(県合計)	3878.7			

ラウンドの関係で比率の合計は100%になっていない。

第82表 「山田錦」の生育と品質の変化

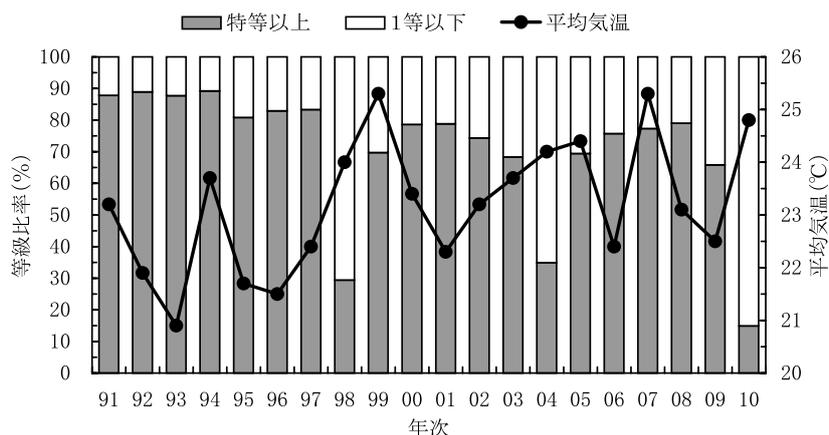
項目	1988～1997年の平均値	1998～2007年の平均値	比差
出穂期	8月28日	8月26日	-2日
成熟期	10月12日	10月5日	-7日
穂数	348本/m ²	380本/m ²	109%
心白(大)多少	14.0%	25.3%	181%
検査等級	特等(下)	1等(中下)	
移植期～出穂期までの平均気温	25.1℃	25.5℃	+0.4℃
出穂期～成熟期までの平均気温	21.8℃	23.9℃	+2.1℃

注) 1988～2007年までの気象感応調査(酒米試験地, 兵庫県加東市)結果。移植期は6月5日, 施肥量は窒素成分で10aあたり基肥に4kg, 穂肥に2kg。

体の検査等級の推移を第94図に示した。特等以上の上位等級比率は、1995年頃から減少し始め、1999年以降比率の低下が大きくなっている。1991～1997年の7年間の平均値は85.8%であったが、1998年以降の平均値は74.6%で11.2ポイント低下している（ただし、収穫時期の降雨や台風の影響で検

査等級が大幅に低下した1998年と2004年の値は平均値の計算から除いた）。2010年は長年にわたる「山田錦」の生産において初めて背白米や乳白米の白未熟粒が多発し、1991年以降では最低の上位等級比率となった。

検査等級の推移とあわせて「山田錦」産地内にあ



第94図 兵庫県産「山田錦」の検査等級比率および9月の月平均気温の推移
気温はアメダス（三木）観測値を用いた。

第83表 兵庫県における醸造用玄米の1等米以下格付け理由比率の推移

格付理由	年次毎の格付け理由比率(%)												
	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
整粒不足	10.9	12.4	8.1	12.8	9.9	11.2	12.9	11.8	8.8	7.9	<u>11.8</u>	31.8	<u>27.9</u>
形質充実度	19.8	<u>27.9</u>	<u>19.4</u>	<u>15.6</u>	<u>17.5</u>	<u>19.8</u>	17.9	<u>24.0</u>	<u>13.6</u>	<u>14.4</u>	11.1	<u>34.1</u>	19.9
形質心白・腹白	0.4	0.4	0.2	0.6	1.9	0.7	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.2	9.2
形質その他	1.1	1.1	0.7	4.5	13.4	15.6	<u>19.0</u>	0.4	11.5	8.1	7.6	25.1	25.5
水分過多	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
被害粒発芽粒	<u>43.4</u>	3.5	0.4	0.4	0.0	0.1	16.0	2.8	0.3	0.2	0.3	0.3	0.7
被害粒胴割粒	0.4	0.8	5.6	1.2	1.9	0.9	0.3	0.3	1.0	0.8	0.3	0.9	0.7
被害粒その他	0.3	1.6	3.4	1.1	3.7	1.2	4.0	3.4	1.1	4.5	1.3	0.9	1.7
死米	1.6	0.7	0.5	0.7	0.3	2.1	0.4	0.0	0.3	0.2	0.5	0.6	0.2
着色粒着部分カメ	0.4	0.4	0.3	0.4	0.6	0.6	1.1	1.3	0.9	0.5	0.7	0.4	0.6
着色粒その他	0.0	0.1	0.2	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
異種穀粒	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.1	0.1	0.3	0.3	0.3	0.4	0.6	0.2
異物	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
その他	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
合計	78.4	49.0	39.0	37.6	49.5	52.6	71.8	44.3	37.8	36.9	34.3	94.9	86.7

注) 比率は、検査総量に占める1等以下格付け理由数量の割合を示し、下線項目は各年次の最大比率項目を示す。合計については、ラウンドの関係で内訳が一致しない場合がある。格付理由は農政事務所の表記にしたがった。

- 1) 整粒不足：青未熟粒，青未熟除く未熟粒。
- 2) 形質その他：皮部の厚薄，光沢，肌ずれ，粒ぞろい。
- 3) 被害粒その他：芽くされ粒，虫害粒，き形粒，茶米，碎粒，斑点粒，胚芽欠損粒，はく皮粒，被害粒。
- 4) 着色粒その他：全面着色粒，他部分着色，着色粒。
- 5) 異種穀粒：もみ混入，精米混入を含む。
- 6) その他：品種固有の色を含む。

る三木のアメダス観測値を利用し「山田錦」の登熟期にあたる9月の月平均気温の推移を調査した(第94図)。気温は1993年頃から全体的には右肩上がりの上昇傾向にあり、1998年以降は比較的月平均気温が低い年次でも22℃より高く、1997年以前よりも気温が高い状態が続いている。1991～1997年と1998～2010年の各年次間の平均値を比較すると、それぞれ22.2℃、23.7℃で、1998年以降の方が1.5℃高くなっている。兵庫県全体の「山田錦」の上位等級比率の低下は産地の気温の上昇と平行して発生しており、品質低下の要因は登熟期の高温の影響が大きいと考えられた。

1998～2010年の醸造用玄米の農産物検査における1等米以下格付け理由を第83表に示した。格付け理由として多かったのは形質の「充実度」であり、1998年以降の「山田錦」における温暖化の影響は粒の充実不足として現れていると考えられた。1998年は収穫時期の長雨により「発芽粒」が多発し、2004年は台風の風雨の影響で品質が低下した。

2010年は上位等級比率が大幅に低下したが、格

付け理由は「整粒不足」が最も多く、「山田錦」では初めて背白米や乳白米などの未熟粒による大幅な品質低下が発生した。これまでの温暖化の影響は粒の充実不足だけと考えられていたが、今後も2010年と同程度かそれ以上の高温年になると白未熟粒による大幅な品質低下が発生すると予測され、温暖化対策をさらに強化する必要があると考えられる。

(2) 米品質低下の要因

温暖化による品質低下の要因を解明するため、「兵庫北錦」、「五百万石」、「兵庫夢錦」および「山田錦」の4品種について、酒米試験地場内試験のデータを用いて玄米形質と生育や登熟期間の気温との関係を調査した。「兵庫北錦」、「五百万石」、「兵庫夢錦」の3品種は1999～2010年の12年間の生産力検定試験のデータを用い、「山田錦」は1993～2010年の18年間の気象感応調査の稚苗試験のうち、倒伏程度が大きい年次を除いた1993年、1995～1997年、2000～2003年、2006～2007年の10年間のデータを用いた。それぞれの生育、収量、玄米形質およ

第84表 酒米4品種の生育と収量

品種名	移植期	出穂期	成熟期	倒伏	稈長	穂数	1穂	登熟	精玄米	精玄
	(月.日)	(月.日)	(月.日)	(0-10)	(cm)	(本/㎡)	籾数	歩合	歩合	米重
兵庫北錦	5.16	7.28	8.31	2.2	88	308	74.0	84.4	92.6	55.5
五百万石	5.16	7.23	8.29	4.2	91	347	84.1	67.5	86.0	47.0
兵庫夢錦	6. 7	8.19	9.28	3.0	90	373	74.0	77.2	82.9	54.3
山田錦	6. 5	8.27	10. 9	5.8	107	363	61.9	75.2	84.3	47.6

注) 「兵庫北錦」、「五百万石」、「兵庫夢錦」は1999～2010年の酒米試験地生産力検定試験の平均値。「山田錦」は、1993年、1995～1997年、2000～2003年、2006～2007年の酒米試験地気象感応調査の平均値。倒伏：無(0) - 中(5) - 甚(10)で示す。

第85表 酒米4品種の玄米形質および登熟期の平均気温

品種名	千粒重 (g)	心白発現率(%)				腹白 米率 (%)	乳白 米率 (%)	背白 米率 (%)	検査 等級 (1-16)	登熟期の平均気温(℃)		
		大	中	小	計					全期間	出穂期～ 10日目	出穂後11 ～20日目
兵庫北錦	29.1	48.6	5.9	2.2	56.7	35.5	40.1	42.3	11.0	27.4	27.7	28.0
五百万石	25.4	27.0	14.3	17.0	58.3	39.1	18.8	3.3	9.8	27.5	27.5	27.9
兵庫夢錦	27.5	35.0	12.3	14.5	61.8	37.2	14.4	6.0	9.9	25.0	26.7	26.2
山田錦	27.8	22.1	18.8	28.6	69.5	51.5	4.3	0.3	5.9	22.4	25.6	24.1

注) 「兵庫北錦」、「五百万石」、「兵庫夢錦」は1999～2010年の酒米試験地生産力検定試験の平均値。「山田錦」は、1993年、1995～1997年、2000～2003年、2006～2007年の酒米試験地気象感応調査の平均値。心白発現率、腹白米率、乳白米率、背白米率の調査は目視による。検査等級：兵庫農政事務所の調査による。特上・上(1) - 特等・上(4) - 1等・上(7) - 2等・上(10) - 3等・上(13) - 規格外(16)で示す。

び登熟期間の平均気温の平均値を第84表と第85表に示した。

「兵庫北錦」と「五百万石」は出穂期が7月下旬であるため登熟期全期間の平均気温は27.5℃前後と高く、乳白米や背白米の発生が多く、特に「兵庫北錦」で発生が多い(第85表)。一方、出穂期が8月下旬の「山田錦」は登熟期全期間の平均気温が22.4℃で、乳白米や背白米の発生が少ない。なお、酒米試験地の心白など玄米品質の調査方法は、心白粒と乳白米粒および死米粒の3種は各形質を1つの粒の中に重複して有することはないとして区別するため、全調査粒数に対して乳白米粒と死米粒が多い場合、相対的に心白粒数が少なくなるため、本来の特性上は90%近い心白発現率をもつ「兵庫北錦」でも心白発現率は第85表のように55.9%と低い発現率になった。腹白や背白は心白粒や乳白粒と一緒に発生している粒もあるので、腹白米率や背白米率の中には心白や乳白を有する粒も含まれている。

4品種について検査等級と玄米形質との関係を解析し、相関係数を第86表に示した。「兵庫北錦」は背白米と乳白米、「五百万石」は乳白米と精玄米歩合、「兵庫夢錦」は乳白米と千粒重、「山田錦」は精玄米歩合に検査等級と有意な相関が認められた。「山田錦」と「五百万石」で精玄米歩合に検査等級と有意な相関が認められ、精玄米歩合が高いと検査

等級が良くなる。精玄米歩合は「山田錦」では粒厚が2.0mm、「五百万石」では1.9mm以上の粒厚の割合を表しており、検査上の粒の充実度と関係があると考えられる。粒の充実度を直接評価する指標はないが、精玄米歩合と検査等級の関係が強いことから、精玄米歩合は間接的に充実度を表しており、充実度を評価する指標として利用できるのではないかと考えられる。

検査等級と関連のある精玄米歩合、千粒重、乳白米率および背白米率の玄米形質について、登熟期間の平均気温との関係を調査した。なお、登熟期間を出穂期～成熟期の全期間、出穂期～10日目、出穂後11～20日目、出穂後21日目～成熟期までの4期間に分けて、各期間の平均気温との関係を調査した。全般に出穂後11～20日目までの期間の平均気温と玄米形質との間に有意な相関が認められた(第87表)。

千粒重は全品種で有意な相関が認められ、出穂後11～20日目までの期間の気温が高いと小さくなる傾向があることが明らかとなった。また、乳白米や背白米は「山田錦」を除く3品種で有意な正の相関が認められ、白未熟粒は登熟期間の気温が高いと発生が多くなる傾向が確認された。

「山田錦」の精玄米歩合は、出穂後11～20日目までの期間の平均気温と有意な負の相関が認められ

第86表 検査等級と玄米形質との相関係数

玄米形質	兵庫北錦		五百万石		兵庫夢錦		山田錦	
	年次数	相関係数	年次数	相関係数	年次数	相関係数	年次数	相関係数
精玄米歩合	12	-0.214	12	-0.659 *	12	-0.043	10	-0.885 **
千粒重	12	-0.322	12	-0.425	12	-0.607 *	10	-0.388
乳白米率	12	0.598 *	12	0.754 **	12	0.722 **	9	0.037
背白米率	12	0.657 *	12	0.328	12	0.566	6	0.156

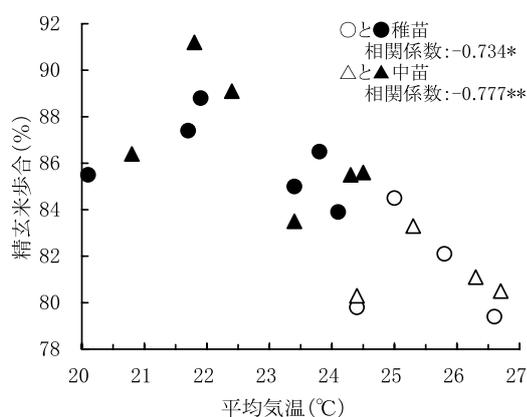
*と**は、それぞれ5%と1%水準で有意であることを示す。

第87表 出穂後11～20日目の平均気温と玄米形質との相関係数

玄米形質	兵庫北錦		五百万石		兵庫夢錦		山田錦	
	年次数	相関係数	年次数	相関係数	年次数	相関係数	年次数	相関係数
精玄米歩合	12	-0.409	12	-0.404	12	-0.098	10	-0.712 *
千粒重	12	-0.766 **	12	-0.607 *	12	-0.596 *	10	-0.653 *
乳白米率	12	0.664 *	12	0.602 *	12	0.505	9	0.002
背白米率	12	0.935 **	12	0.406	12	0.592 *	6	0.304

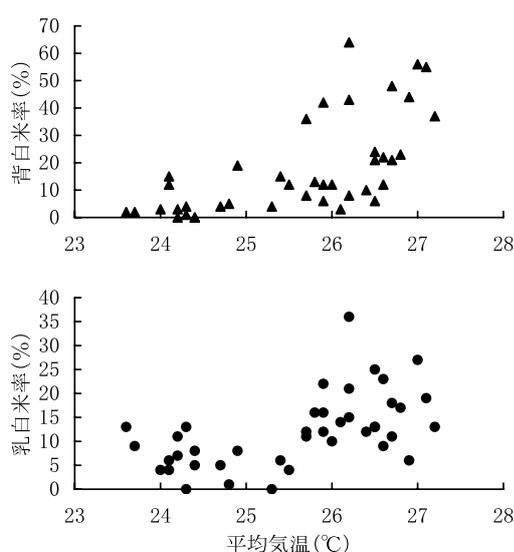
*と**は、それぞれ5%と1%水準で有意であることを示す。

た。また、気象感応調査の稚苗試験と同年次に実施した中苗試験の結果を加え、登熟期間をさらに細かく区分し、精玄米歩合と登熟期の気温との関係を調査した。精玄米歩合は出穂後11～25日目までの登熟期間の平均気温との関係が最も強かった（第95図）。稚苗，中苗ともに精玄米歩合と有意な負の相関が認められ、平均気温が約24.5℃以上になると精玄米歩合は約84%以下になり、検査等級は1等級



第95図 「山田錦」の出穂後11～25日目までの平均気温と精玄米歩合との関係

データは酒米試験地の気象感応調査の稚苗試験と同年次に実施した中苗試験の結果を示す。黒塗りは特等以上を示す。相関係数の算出には黒塗りのプロットを含む。*と**はそれぞれ5%と1%水準で有意であることを示す。



第96図 「山田錦」における乳白米と背白米の発生率と登熟期間の平均気温との関係

「山田錦」の産地41カ所。横軸は出穂後11～20日目の平均気温を示す。

以下になる傾向が認められた。

従来、「山田錦」では乳白米や背白米の白未熟粒の発生はわずかであったが、2010年は8月中旬から9月の気温がかなり高温であったため、「山田錦」産地でも乳白米や背白米が多発した。第96図は2010年に「山田錦」産地41カ所の乳白米と背白米の発生率と出穂後11～20日目までの平均気温との関係を示したものである。乳白米，背白米ともに気温が約25.5℃以上になると発生率が増加し、「山田錦」においても気温がかなり高い条件では乳白米や背白米が発生することが確認できた。

(3) 技術的対策

兵庫県の「山田錦」産地では、温暖化による生育や品質への影響が認識され始めた1998年頃から対策を検討し、登熟期の高温を回避するため、遅植えや直播栽培に取り組んでいる。遅植えでは5月末に移植している地域は6月上旬に、6月上旬に移植している地域は6月中旬への移植を呼びかけている。また、湛水直播栽培では、移植栽培と同時期に出穂させるため5月20日頃に播種を行っていたが、播種期を5月末～6月初めに遅らせる取り組みが行われている。湛水直播栽培は、育苗や苗の運搬などの労力が解消されるため、評価が高く、営農組合単位で導入が進んでいる。2010年では87.3haの規模に拡大している。

兵庫県には酒米の生産振興を図る目的で1960年に設立された酒米振興会があり、酒米振興会の「酒米生産振興総合対策事業」の中でも温暖化対策として遅植えや直播栽培を取り上げ、現地実証圃を設置し、技術の普及を図っている。この事業には関係農協、農業改良普及センター、県行政・研究機関が参画している。

酒米試験地では2007～2010年の4年間、場内同一圃場で遅植え区（6月15日植）と標準区（6月5日植）の比較試験を実施し、4年間の平均値を第88表に示した。出穂期，成熟期は標準区ではそれぞれ8月25日，9月30日，遅植え区は8月30日，10月8日となり遅植え区が出穂期で5日，成熟期で8日遅くなった。登熟期間の平均気温は、出穂期

第88表 「山田錦」の遅植え栽培の生育、収量及び品質

区名	移植期 (月.日)	出穂期 (月.日)	成熟期 (月.日)	平均気温(℃)		稈長 (cm)	倒伏 (0-10)	精玄米重 (kg/a)	千粒重 (g)	精玄米歩合 (%)	検査等級 (1-16)
				登熟期	出穂後 11~20日						
標準区	6.5	8.25	9.30	24.7	26.0	106	5.5	44.9	27.9	83.3	9.3
遅植え区	6.15	8.30	10.8	23.5	24.5	102	4.5	45.4	28.2	83.3	8.0

(第88表の続き)

区名	心白 発現率 (%)	腹白 米率 (%)	乳白 米率 (%)	背白 米率 (%)	胴割れ 米率 (%)	玄米タンパク質 含有率 (%)
標準区	67.8	47.0	5.9	11.0	31.5	6.9
遅植え区	65.5	41.1	6.0	3.6	24.9	6.7

注) 2007~2010年の4年間の平均値。倒伏：無(0) - 中(5) - 甚(10)で示す。検査等級：兵庫農政事務所の調査により、特上・上(1) - 特等・上(4) - 1等・上(7) - 2等・上(10) - 3等・上(13) - 規格外(16)で示す。心白発現率、腹白米率、乳白米率、背白米率および胴割れ米率の調査は目視による。玄米タンパク質含有率は近赤外分光法により測定。

～成熟期の全期間と出穂後11～20日目までの10日間の各期間で、遅植え区の方が、それぞれ1.2℃、1.5℃低くなり、高温を回避することができた。

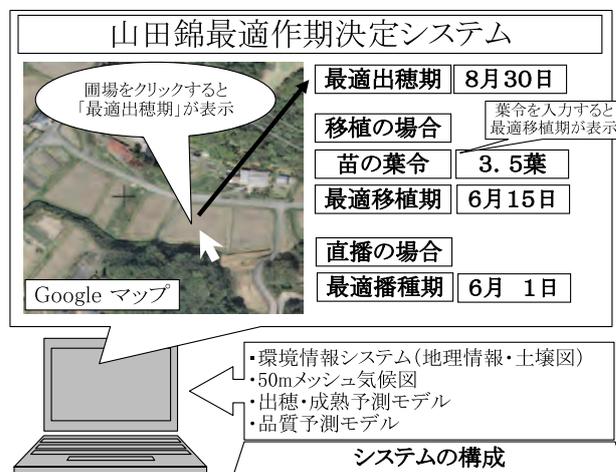
生育では遅植え区は稈長が短くなり、倒伏程度がわずかではあるが軽減できた。遅植え区は精玄米重、千粒重、検査等級についても標準区をやや上回った。また、腹白米率、背白米率、胴割れ米率も遅植え区の方がやや少なくなり、玄米タンパク質も少なくなった。

現在、兵庫県の「山田錦」産地では遅植えによる登熟期の高温回避が最も効果的であると考えている。ただし、あまり遅く移植を行うと出穂期が9月上旬となり、気温が平年並みや低く推移した場合には青未熟粒が増え品質低下が懸念される。実際に2009年は9月の平均気温が比較的低温で、6月20日～25日頃に移植した圃場で青未熟粒が多発したため、産地では現在のところ遅植えの晩限を6月20日としている。

遅植え以外の対策技術としては、過剰な茎数を減らすために、基肥量の減量や緩効性肥料の使用を検討している。また、「山田錦」は長稈で倒伏しやすいため、穂肥を中心に全体の施肥量が少なく、生育後半や出穂前後に窒素栄養が不足し、品質低下を招いている事例もあり、穂肥の施用時期や量が再検討されている。

(4) 今後の研究課題

今後の研究課題として、2010年度から農林水産省の「新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業」の委託事業の中で2つの技術開発に取り組んでいる。1つは「山田錦最適作期決定システム」の開発である(第97図)。これは温暖化対策として最適な登熟条件に出穂させるための移植期や直播栽培での播種期の決定を支援するシステムである。そのために約3,500haの「山田錦」産地全体の気象条件を把握し、50mメッシュ単位の気象データベースを開発中である。また、既に水稻の出穂期、成熟期予測に利用している「山田錦」の生育モデルの精度向上や直播用モデル開発に取り組んでいる。さらに、「山田錦」の玄米品質や酒造適性と気象や土壌条件



第97図 「山田錦」の最適作期決定システムの概要図

との関係解明を行い、最適な生育環境条件の解明にも取り組んでいる。

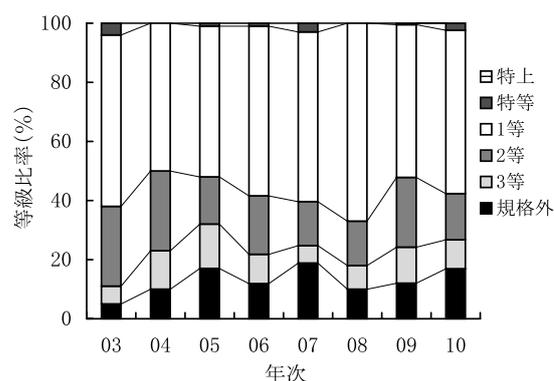
2つ目は登熟期間に高温が予想される場合に、掛流し灌漑などの水管理により高温障害を抑制する技術の開発である。酒造好適米品種「山田錦」は兵庫県の重要な地域ブランド農産物であり、品種や産地を変更することが難しい。そのため現在の産地で可能な限り温暖化対策技術を開発し、産地と品種の維持、発展に努力する必要がある。しかし、今後も気温の上昇が予測されるため、高温登熟耐性を持つ新品種の育成にも取り組み始めている。

4) 岡山県の酒造好適米品種における米品質低下の実態・要因

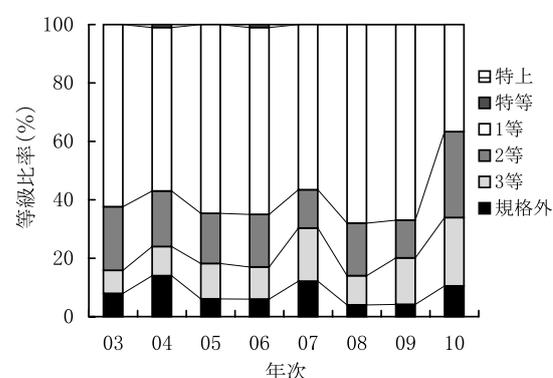
岡山県で栽培されている酒造好適米品種は「雄町」と「山田錦」に限られている。「雄町」は本県南部で6月下旬に移植すると9月上旬に出穂し、10月下旬に成熟する晩生品種である。「山田錦」は1965年の岡山農試における試験成績では、出穂と成熟が「雄町」よりもそれぞれ3日程度早いとされている⁶⁰⁾。また、「山田錦」は感光性が高いので、播種期や移植期を早めても成熟期はさして早くならない⁵⁶⁾と指摘されているが、近県(兵庫県加東市)での事例をみると、6月上旬に移植すれば8月下旬に出穂し、10月上旬に成熟する³⁸⁾ことから、「山田錦」は早植えによって成熟期が20日程度は早まり、「雄町」に比べて適応地域は広いと考えられる。本県における両品種の分布は、「雄町」が県南部と中南部(標高0~100m)、「山田錦」が県南部、中南部と中北部(標高0~150m)である。

(1) 米品質低下の実態

岡山県の「雄町」と「山田錦」における2003年から2010年産までの検査等級比率をそれぞれ第98図と第99図に示す。本県産酒造好適米品種は、元来特上と特等の比率が極めて低く、1等以下の占める割合が高い。「雄町」では高温登熟年であった2010年産でも等級比率は他の産年と大差なく、特に目立った品質低下はみられなかった。一方、「山田錦」では2010年産の1等米比率が他の産年に比



第98図 岡山県産「雄町」における検査等級比率の推移
等級比率は、農林水産省の「米の検査結果」による。2010年産は2011年3月31日現在の速報値。



第99図 岡山県産「山田錦」における検査等級比率の推移

等級比率は、農林水産省の「米の検査結果」による。2010年産は2011年3月31日現在の速報値。

べて明らかに低く、2等以下の比率が他の産年よりも高かった。この年の主な格付理由は「充実度」であったが、2010年に兵庫県や広島県の酒造好適米品種でみられた乳白米、基白米などのいわゆる白未熟粒や心白流れが本県産の「山田錦」でもみられたほか、「雄町」と「山田錦」の両品種で胴割れ米の発生が問題となっている。

(2) 米品質低下の要因

「雄町」は、県南部の標高の低い地域での栽培がほとんどで、栽培地域の水利慣行から6月中旬以降の移植となり、出穂期が概ね9月以降となるため、高温登熟障害の被害を受ける危険性は低いと考えられる。一方、「山田錦」は比較的標高の高い県中北

部まで栽培されるため、現地の水利慣行に合わせた栽培を行うと、5月に田植えを行う場面が増し、その結果、出穂期は8月中～下旬頃となって高温登熟障害の被害を受ける危険性が高まると考えられる。高温登熟年であった2010年に「雄町」では顕著な品質低下がみられなかったのに対し、「山田錦」で品質低下がみられ、その原因として充実不足に加えて白未熟粒の発生があげられていることから、「山田錦」の品質低下は高温登熟障害によるものと推察される。また、高温年に限らず酒造好適米に胴割れ粒の発生が多いといわれるが、登熟期間の高温は成熟を早めるため、刈り遅れが胴割れ粒発生の一因となっていると考えられる。

(3) 技術的対策

高温登熟障害を回避するには、遅植え栽培によって出穂期をできるだけ遅らせるのが効果的であることはこれまでの事例から明らかである。また、「山田錦」の主産県である兵庫県では、根の活力を維持するために浅水管理が推奨されている⁵⁶⁾が、極端な浅水管理を行うと、高温登熟障害を助長するおそれがある。また、高温登熟年には、白未熟粒だけでなく胴割れの発生が問題となるが、生産現場において高温登熟障害の対応策として一定の評価が得られている灌漑水の掛流しや早期落水の防止は、胴割れ対策としても効果が期待される。加えて、酒造好適米は主食用品種と比べて数日早めに収穫すべきであることや、収穫時の扱回転数、乾燥温度、過乾燥などに十分注意しなければならない⁶⁰⁾。

(4) 今後の研究課題

近県の酒造好適米の主産県である兵庫県、広島県は、栽培地域の気候に応じて複数の酒造好適米品種を配置し、適地適作を行っている。その中で、「山田錦」の適地とされ、酒米のメッカともいえる兵庫県の北播地域で2010年に顕著な品質低下がみられたこと⁷⁾は、酒造好適米の育種や栽培上の課題を考える上で重要な問題ととらえることができる。

本県における「雄町」については、県南部の標高の低い地域で6月下旬以降移植の作期で栽培する限

第89表 広島県の2010年の特等以上の比率と過去18年間の特等以上の比率の平均値

	特等以上の比率(%)			
	八反35号	八反錦1号	千本錦	改良雄町
2010年 ¹⁾	85.6	85.9	83.5	63.4
18年平均 ²⁾	74.6	78.2	60.2	66.6
2010年-平均	11.0	7.7	23.3	-3.2

注) 農林水産省より公表されている検査結果より作成した。

1) 2010年の結果は2011年8月31日現在の結果を使用。

2) 1等米比率の平均は1993年から2010年までの18年間の平均。

り、高温登熟障害に対しては現状維持でも特に問題はないと考えられるが、特上、特等をめざした品質向上のための栽培技術が求められる。「山田錦」については、高温登熟障害回避の観点からは、地域の水利慣行も考慮しながら栽培適地と栽培地域に応じた好ましい作期を定める必要があると考えられる。

5) 広島県の酒造好適米品種における米品質低下の実態・要因

広島県の酒造好適米栽培地帯は標高250～400mにある。これまでに高温登熟障害による品質低下が問題になったことはないが、産地を担当するJAは被害予防のため、近年は田植時期を以前の5月上旬から5月中旬以降に遅らせるよう指導している。2010年の異常高温年の特等以上の割合と過去18年間の特等以上の米の割合平均を第89表に示した。特等米以上の割合としては、むしろ2010年は高かった。しかし、2010年産の酒造好適米を使用した広島県内酒造会社は、平年に比べ心白が大きく、中心に発現せず心白流れとなっていることに加えて、硬く精米時の胴割れや碎米の発生が多いとの評価であった。(勝場善之助・池上 勝*・大久保和男)

6 近畿中国四国地域における高温登熟耐性品種の開発・導入の動き

1) 高温登熟耐性品種導入に向けた現状

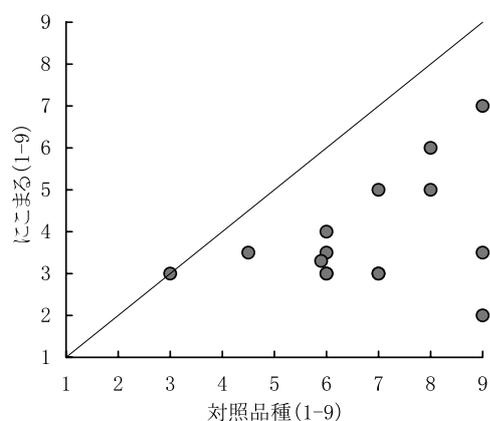
2010年8月から9月にかけての水稻登熟期の高温により、近畿中国四国地域では中生から晩生の品種を中心に白未熟粒が多発するなど、玄米品質が著しく低下した。特に、中晩生熟期の基幹品種である

「ヒノヒカリ」の1等米比率は大きく低下し、社会問題にまで発展した。「ヒノヒカリ」は高温条件下で白未熟粒が多発することが明らかになっていることから¹²⁾、今後も高温傾向が続くことを想定すると、近畿中国四国地域に適した中晩生熟期の高温登熟耐性品種の導入と開発は喫緊の課題である。

九州地域ではすでに2005年頃から高温登熟による「ヒノヒカリ」の品質低下が深刻な問題となっており、その対策が試みられてきた。その一つが高温登熟耐性品種「にこまる」の導入であり、現在、長崎県で奨励品種、大分県で認定品種に採用されている。「にこまる」は「きぬむすめ」と「北陸174号」との交配組合せから育成された「ヒノヒカリ」並みの良食味品種で、玄米品質は「ヒノヒカリ」よりも安定して優れている⁵⁰⁾。「にこまる」が高温条件下でも登熟の良い理由としては、穂揃期の非構造性炭水化物（NSC）含量が「ヒノヒカリ」よりも高く、登熟上有利であるためと考えられている³⁰⁾。

九州地域の動向を受けて近畿中国四国地域においても、すでに一部の地域のJAなどで「にこまる」の試作が行われている。2011年現在、岡山県、山口県、香川県、愛媛県、高知県で産地品種銘柄に登録されるなど、高温登熟耐性品種としての「にこまる」の導入が先行している。

第100図は、近畿中国四国地域で行われた2010年奨励品種決定調査の「にこまる」の玄米品質を示し



第100図 近畿中国四国地域で行われた2010年奨励品種決定調査における「にこまる」の玄米外観品質
品質は1（上上）～9（下下）の9段階評価。

た図である。2010年の高温登熟条件下の近畿中国四国地域においても「にこまる」の玄米品質は、各試験地の対照品種よりも優れていたことがわかる。しかし、近畿中国四国地域における「にこまる」の導入にあたっては、夏季に高温条件でない場合や標高がやや高い地域でも十分に登熟するのかなど、慎重に検討すべき課題は多い。

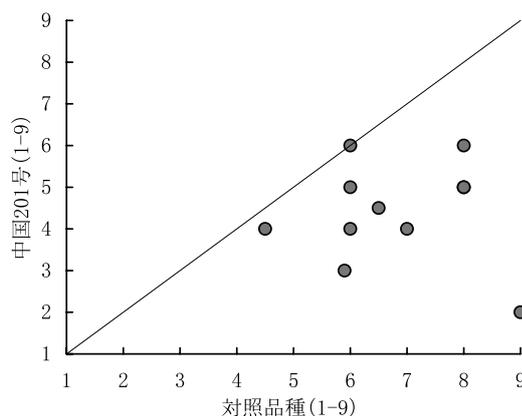
「にこまる」以外に近畿中国四国地域で導入が検討されている中晩生の高温登熟耐性品種としては、「ヒノヒカリ」の品質低下が比較的早くから問題になっていた香川県で独自に育成された「おいでまい」（あわみのり/ほほえみ）がある。「おいでまい」は2010年に奨励品種に採用され、県内で普及に移される予定となっている。また、宮崎県で2010年に品種登録出願された「おてんとそだち」の動向についても今後注目しておく必要がある。

近畿中国四国地域では、2011年度より滋賀県を除く14県が参画して、中晩生の高温登熟耐性品種の選定を目的とした高温登熟耐性連絡試験を開始したところであり、今後各県での栽培試験データを検討しながら、当該地域に適した高温登熟耐性品種の導入を進めていくこととしている。

2) 高温登熟耐性品種の開発

近畿中国四国地域で開発された高温登熟耐性品種としては、まず、近畿中国四国農業研究センター（以下、近中四農研）で開発された中晩生の「中国201号」があげられる。「中国201号」は、「きぬむすめ」と「中国178号」との交配組合せに由来する系統で高温登熟性に優れており、縞葉枯病に抵抗性で穂いもちにも強い良食味品種である。「中国201号」は、2010年の高温登熟条件下でも玄米品質の低下が小さく、育成地では「にこまる」よりも優れた玄米品質を示した。また、2010年の近畿中国四国地域の奨励品種決定調査の結果からも対照品種より安定して玄米品質が優れていることが確認された（第101図）。

近中四農研では、温暖地西部向き高温登熟耐性品種の育成をさらに加速するために、2011年度より農水省委託プロジェクト「気候変動プロ」に参画し、



第101図 近畿中国四国地域で行われた2010年奨励品種決定調査における「中国201号」の玄米外観品質

品質は1（上上）～9（下下）の9段階評価。

「ゲノム情報を利用したイネ高温耐性品種の育成」課題の中で高温登熟耐性品種の育成を推進することになっている。現在、高温登熟耐性に強い「ふさおとめ」「にこまる」などから高温登熟耐性に関わる量的形質遺伝子座（QTL）の検出を進めており、今後はこれらのQTLを集積した高度高温登熟耐性品種を育成していくことを予定している。

このほか、近畿中国四国地域で開発された高温登熟耐性品種としては、既述したように香川県で育成され奨励品種に採用された中晩生の「おいでまい」、山口県で育成され現在その優良性が検討されている中晩生の「山口10号」がある。

3) 今後の課題

地球温暖化に伴い今後も高温傾向が続くことを想定すると、これまで述べてきた中晩生の「ヒノヒカリ」熟期だけではなく、「キヌヒカリ」熟期、「日本晴」熟期の品質低下も問題となることが予想される。「キヌヒカリ」は高温登熟耐性に強くなく、現在、一部の府県で早生熟期の「つや姫」の導入が検討されている。また、2003年～2006年にかけて近畿中国四国地域15府県の農業関係試験研究機関が共同で選定した「日本晴」熟期の「きぬむすめ」は、現在この地域で普及が進みつつあるが、「きぬむすめ」は必ずしも高温登熟耐性に優れるわけではない。このため、「キヌヒカリ」熟期、「日本晴」熟期の高温

登熟耐性品種の開発および導入も急ぐ必要がある。

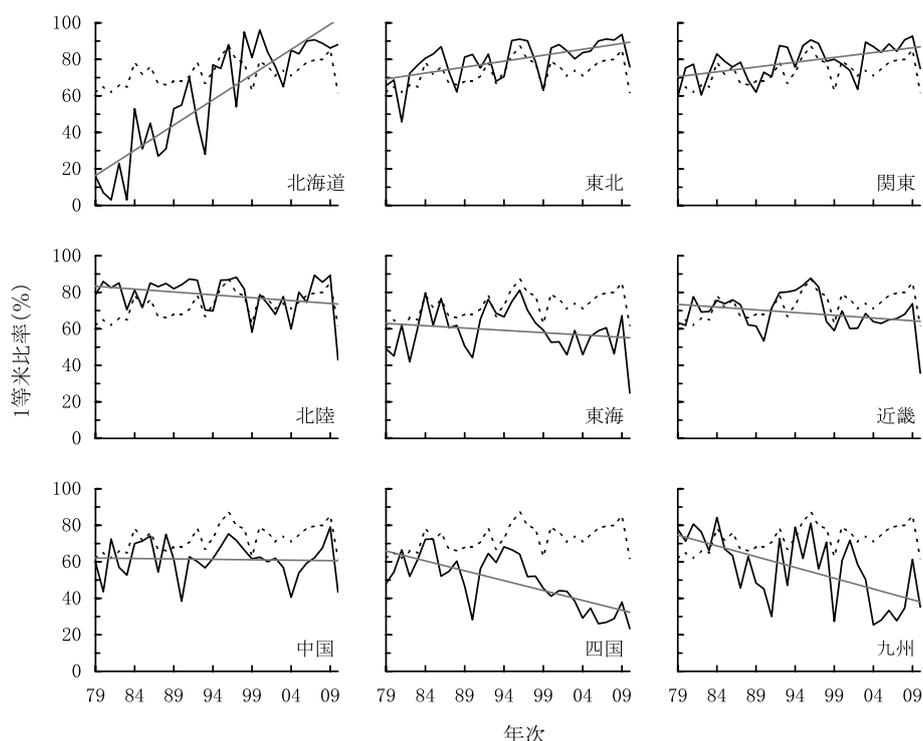
(石井卓朗)

IV 全国各地域と比較した近畿中国四国地域産米の品質と高温登熟障害克服にむけた今後の技術対策

2010年産米は近畿中国四国地域のみならず、全国的に品質低下が問題となった。水稲うるち玄米の1等米比率の全国平均は61.9%（2011年7月末現在）と、対前年比では23.2ポイント減少し、現行の検査制度となった1979年以降で過去最低水準となった。当地域でも近畿で35.7%、中国・四国で36.1%と大きく低下した。ここでは、全国各地域と比較した近畿中国四国地域産米の近年の品質状況と2010年の品質低下の様相、および当地域の高温登熟障害克服にむけた今後の技術対策方向について検討する。

1 全国各地域と比較した近畿中国四国地域産米の品質

1979年～2010年までの過去32年間の地域別1等米比率の推移を第102図に示した。全国平均の推移は、この期間全体で見るとやや上昇傾向にあるが、1996年をピークにその後は横ばいの状態が続いている。しかし、地域ごとにみるとその様相は異なる。関東以北の1等米比率は、この期間全体を通してみれば上昇傾向にある。特に北海道においては2000年頃まで劇的な増加を示し、2004年以降は安定して80%以上を確保している。一方、北陸以西においては1等米比率の低下傾向が認められ、特に四国・九州など西南暖地での低下程度が大きい。日本では1990年代以降から高温年が頻発するようになり¹⁷⁾、特に1999年以降は夏期の高温による米の品質低下が顕在化してきている。長期的には1等米比率の上昇傾向にある東北や関東においても、夏の高温条件が厳しかった年には1等米比率が低下しており、高温登熟障害は全国的な問題となっている。近畿中国四国地域に注目すると、近畿および中国では緩やかな低下傾向であるが、全国平均との差が広がりつつある。四国では低下傾向が特に顕著で、九州

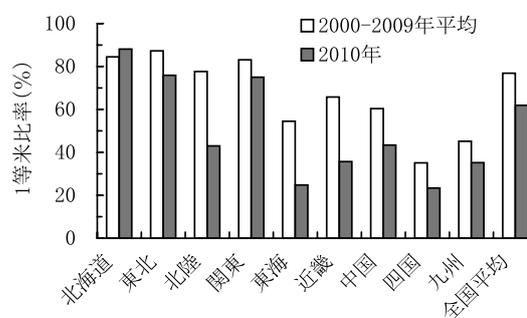


第102図 過去32年間の地域別1等米比率の推移

農水省資料をもとに、現在の農政局区分に対応するよう推計して作成。中四国地域については中国5県と四国4県に分けて推計。横軸：栽培年次（西暦下2桁）。2010年産米は2011年7月末時点での値。点線は全国平均。直線は各地域の期間全体の変化傾向を示す。

と比較しても同等ないしそれを下回る状況である。近畿では1998年、中国は1989年、四国では1985年度以降、全国平均を下回る年次が現在まで続いている。

2000～2009年の10年間における1等米比率の平均値を地域間で比較すると（第103図）、関東・北陸以北では70%以上を確保しているのに対し、東海以西では60%台以下と低く、特に四国および九州では50%を下回る状況となっている。夏期が猛暑となった2010年産米は、北海道を除く地域で直近10年平均値より低い値となった。この年の全国の主要な2等以下格付け理由は「心白及び腹白」（38.7%）、「充実度」（19.7%）、「整粒不足」（18.6%）、「着色粒（カメムシ類）」（10.8%）（2011年7月末現在）であり、夏期の高温による粒の白濁化や充実不足が品質低下に強く関与していたと考えられる。特に、1等米比率が近年低下傾向にある北陸以西でその低下程度が大きく認められており、これらの地域で高温登熟障害の影響が強く生じやすいことが示唆



第103図 地域別1等米比率の2000～2009年平均値と2010年値の比較

1等米比率の推計方法は第102図脚注を参照。

される。その中でも2010年産米は北陸、東海、近畿での低下程度が大きく、中国、四国がそれに続いていた。一方、2010年産米の九州での品質低下程度は比較的小さかったことが注目される。

2 近畿中国四国地域の2010年産米サンプルの品質の特徴

近畿中国四国農業研究センターでは、近畿中国四

国地域内15府県の農業試験研究機関の協力のもと、当地域の主力品種である早生の「コシヒカリ」および中生の「ヒノヒカリ」と、両品種の中間熟期で、管内の地域基幹品種として選定・導入が進んでいる「きぬむすめ」の栽培試験区で得られたサンプルを中心に計233点を収集し、外観品質調査を行った。この調査結果をもとに、地域内の2010年産米の品質低下の様相と、それに関わった気象的・栽培的要因を検討した。

1) 米品質低下の様相

収集したサンプルの穀粒判別器による品質調査結果の概要を第90表に示した。収集したサンプルのうち、2010年産米219サンプル全体の整粒歩合の平均値は63%で、11～95%までの大きな変動幅を示した。整粒歩合を品種間で比較すると、「コシヒカリ」、「きぬむすめ」と比較して「ヒノヒカリ」の平均値が高かったが、これは「ヒノヒカリ」のサンプルに9月出穂の試験区が比較的多く含まれることによる。品質判定で最も多く判別された項目は「コシ

ヒカリ」では「基部未熟粒」、「きぬむすめ」と「ヒノヒカリ」では「その他未熟粒」であった。「その他未熟粒」は「コシヒカリ」でも多く、いずれの品種とも整粒歩合と有意な負の相関関係を示した。しかし、整粒歩合との相関関係がより強かった判別項目は「乳白粒」、「基部未熟粒」、「腹白未熟粒」であり、これらの白濁未熟粒の発生が当地域内の2010年産米の品質低下に強く関与していたことが確認された。この3項目の中では特に「基部未熟粒」の割合が多かったことが同年産米の特徴である。

2) 出穂期と気温条件

乳白粒、背白粒、基部未熟粒といった白濁未熟粒の発生程度は、特に出穂後2～3週間程度の気温条件に影響を受けやすいことがこれまでに数多く指摘されている³⁵⁾。今回収集したサンプルの出穂期と出穂後20日間平均気温との関係を第104図に示した。出穂後20日間平均気温は7月末～8月20日頃が最も高く、その前後で徐々に低下するパターンを示した。特に、7月15日～8月25日頃の期間に出穂し

第90表 収集した2010年産玄米サンプルの外観品質

品種	整粒 (%)	判定項目 (%)							奇形粒
		胴割粒	乳白粒	基部未熟粒	腹白未熟粒	青未熟粒	その他未熟粒		
全体 n=219	平均	63	1	5	11	3	0	14	2
	最大	95	16	24	44	21	9	31	7
	最小	11	0	0	0	0	0	3	0
整粒歩合との単相関係数			-0.25 ***	-0.91 ***	-0.90 ***	-0.80 ***	-0.06	-0.75 ***	-0.62 ***
コシヒカリ n=50	平均	51	1	7	17	2	1	17	1
	最大	75	16	15	33	5	9	31	3
	最小	22	0	2	3	1	0	4	0
整粒歩合との単相関係数			0.14	-0.63 ***	-0.74 ***	-0.58 ***	0.02	-0.46 ***	-0.56 ***
きぬむすめ n=51	平均	56	1	7	13	3	0	16	3
	最大	94	4	21	44	10	2	27	7
	最小	11	0	1	1	0	0	3	0
整粒歩合との単相関係数			-0.49 ***	-0.86 ***	-0.87 ***	-0.89 ***	0.47 ***	-0.54 ***	-0.68 ***
ヒノヒカリ n=107	平均	73	0	4	7	3	0	11	1
	最大	95	5	24	32	21	2	28	4
	最小	13	0	0	0	0	0	4	0
整粒歩合との単相関係数			-0.39 ***	-0.94 ***	-0.96 ***	-0.90 ***	0.02	-0.88 ***	-0.83 ***

注) 近畿中国四国管内15府県農業試験研究機関の提供サンプルを使用。1.85mm篩いで調整後、穀粒判別器(株式会社サタケ, RGQI10B)を用いて1,000粒×2回測定。測定値はいずれも粒数比。***は0.1%水準で有意な相関関係であることを示す。

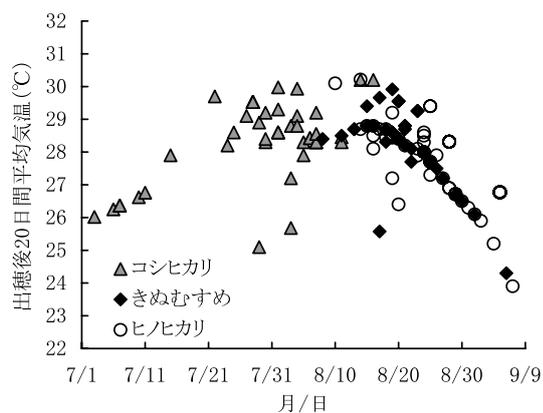
たサンプルの大部分は出穂後20日間平均気温が28℃以上に達し、中には30℃を超えるものも含まれていた。2010年は7月末～9月上旬まで高温条件が続いた結果、通常年では気温が低下してくる8月20日以降の出穂でもなお、出穂後20日間平均気温26℃以上の高温条件となる日が8月末まで継続したことが特徴的である。このように、当地域の2010年産米は8月中旬以降に出穂した中晩生品種を中心に、過去の高温年と比較しても高い気温条件下で生育していたことが推察される。

3) 品質の気温反応とそれに及ぼす諸要因の解析

出穂後20日間平均気温と整粒歩合との関係を第105図に示した。2009年産米と比較して2010年産米は気温が高く、整粒歩合も低かったが、広範囲の地域の多様な栽培条件で得られたサンプルであるた

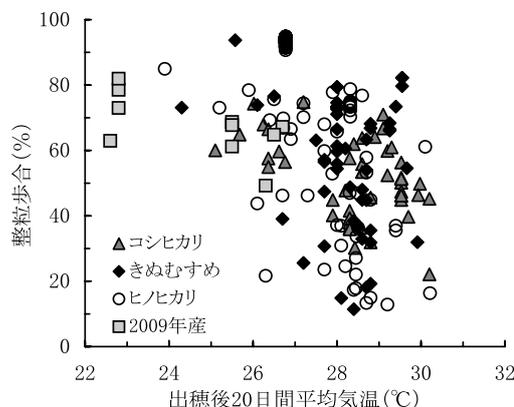
め、同じ気温レベルでも整粒歩合にはサンプル間で大きな差が生じていた。

そこで、このようなサンプル間差が生じた要因を検討したところ、栽培地および施肥条件の関連が示唆された。まず栽培地については、近畿・西南平坦部（大阪，兵庫，和歌山），中国・瀬戸内平坦部（岡山，近中四農研）および四国・東南平坦部（徳島，香川，高知）（以下，「地域A」）で得られたサンプルは、それ以外の地域（以下，「地域B」）のサンプルと比較して、同じ気温レベルでも整粒歩合がやや低い傾向にあった（第106図）。また，地域Aの整粒歩合を施肥条件で比較すると，「きぬむすめ」に設定されていた，速効性肥料を基肥のみで与えた試験区のサンプルでは整粒歩合が低い傾向が認められた（第107図）。また，「ヒノヒカリ」では「きぬむすめ」ほど明確ではなかったものの，特に28℃以下の条件では施肥法により「きぬむすめ」と同様

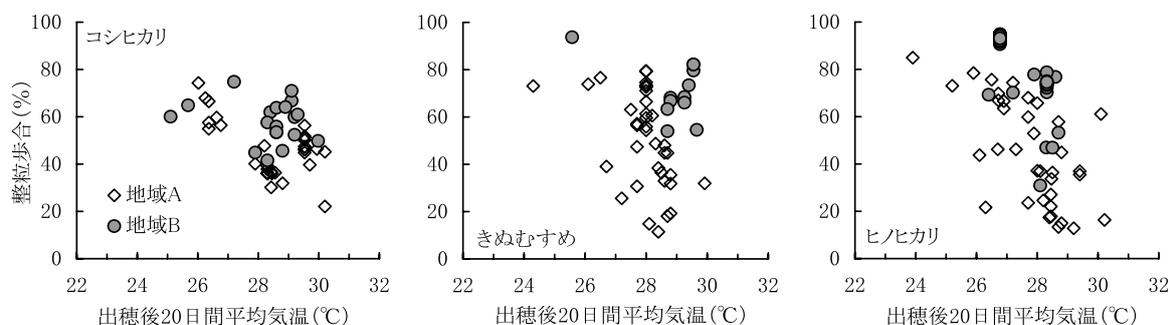


第104図 出穂期と出穂後20日間平均気温との関係

出穂日および気温は府県より収集したサンプル情報をもとに作成した。

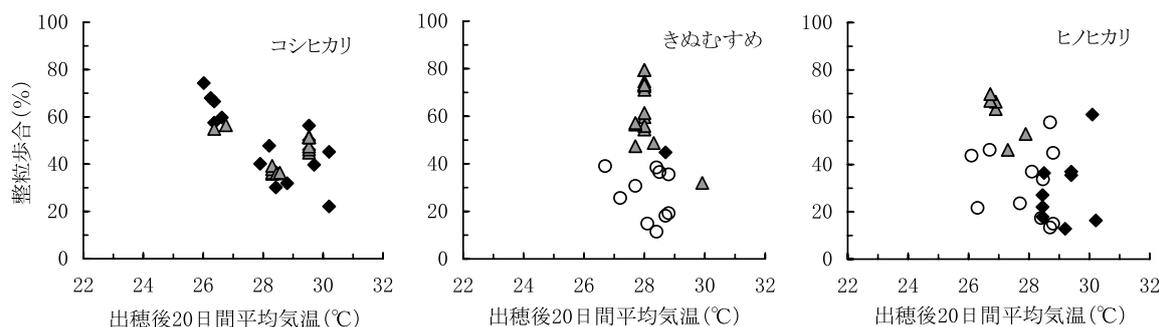


第105図 出穂後の気温と整粒歩合との関係
府県より収集したサンプルのデータをもとに作成した。



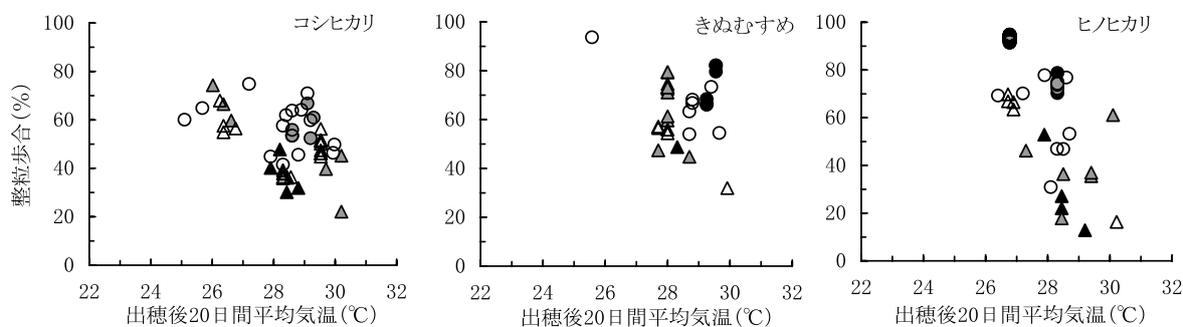
第106図 整粒歩合の気温反応の地域間差

府県より収集したサンプルのデータをもとに作成。地域A：近畿・西南平坦部（大阪，兵庫，和歌山），中国・瀬戸内東部平坦部（岡山，近中四農研），四国・東南平坦部（徳島，香川，高知）。地域B：地域A以外。



第107図 整粒歩合の気温反応の施肥間差

府県より収集したサンプルのうち、地域A（第106図脚注参照）の移植条件下で得られたデータをもとに作成。○：緩効性肥料・基肥のみ，◆：基肥（+分けつ肥）+穂肥施用，▲：肥効調節型肥料利用。地域A，地域Bは第106図脚注を参照。



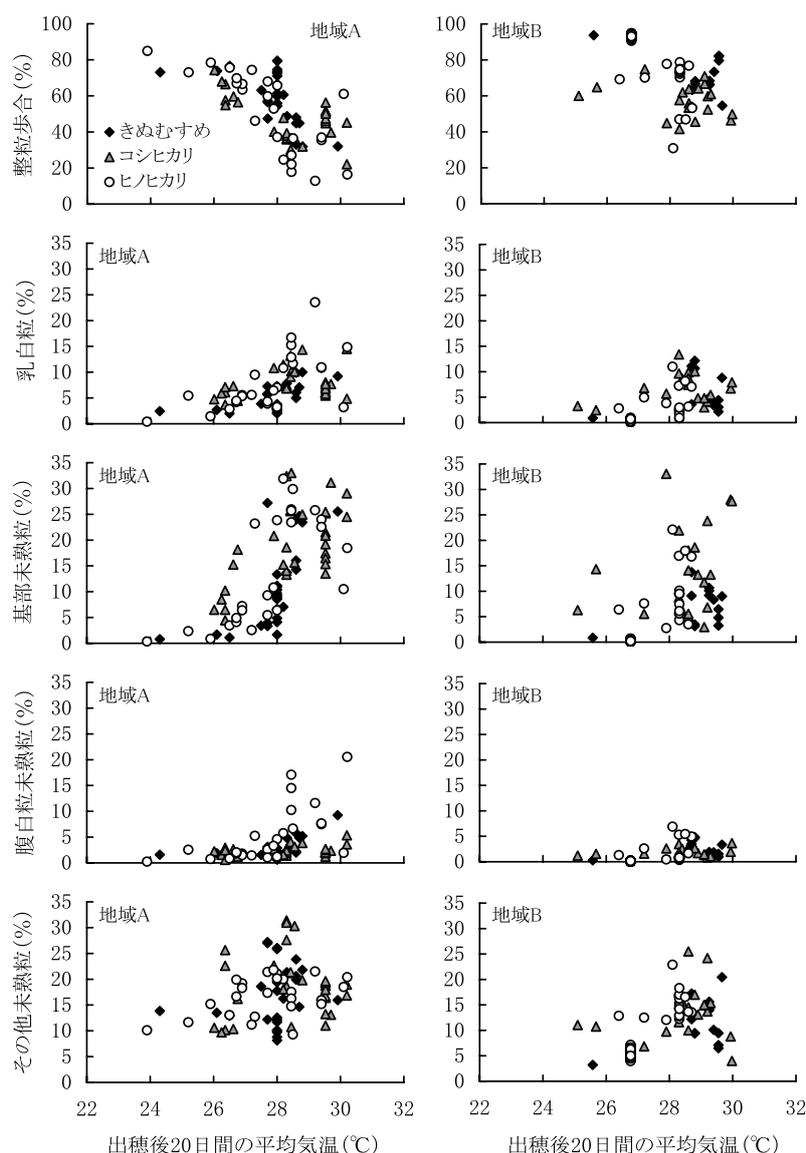
第108図 整粒歩合の気温反応の栽植密度間差

府県より収集したサンプルのうち、「速効性肥料・基肥のみ」の施肥条件を除いたデータをもとに作成。▲：地域A 18株/m²以下，▲：地域A 18-20株/m²，△：地域A 20-23株/m²，●：地域B 18株/m²以下，●：地域B 18-20株/m²，○：地域B 20-23株/m²。地域A，地域Bは第106図脚注を参照。

な差が認められる傾向にあった（第107図）。なお、基肥+穂肥分施肥体系と、肥効調節型肥料を含む基肥一発肥料施用体系との間には明確な差は見いだせなかった。さらに、「きぬむすめ」および「ヒノヒカリ」においては、栽植密度が低い条件で整粒歩合がやや高まるように見受けられる事例が認められた（第108図）。

サンプル間差に関係したとみられる以上のような栽培的要因のうち、栽培地および施肥条件の影響を考慮して、整粒歩合および主要判定項目の気温に対する反応を再整理したのが第109図である。整粒歩合は出穂後20日間平均気温が26℃以上になるといずれの品種および栽培地とも低下する傾向が認められ、特に地域Aでその傾向が顕著であった。また、品種間で比較すると、「きぬむすめ」は同じ気温レベルでも他の2品種より整粒歩合がやや高い傾向に

あった。また、地域Aにおいては28℃を超える条件下での「ヒノヒカリ」の品質低下が大きかった。主要な判定項目ごとに気温との関係を見ると、各品種の「乳白粒」「基部未熟粒」と、「きぬむすめ」および「ヒノヒカリ」の「腹白未熟粒」において、出穂後20日間平均気温が26℃を超えると増加する傾向が共通して認められ、特に「基部未熟粒」の気温反応が顕著であった。一方、「その他未熟粒」に関しては、出穂後20日間平均気温との関係は不明瞭であった。整粒歩合の低下程度が大きかった地域Aは、地域Bと比較して各判別項目が全般的に高い値を示した。また、地域Aの「ヒノヒカリ」では、28℃を超えた条件での「乳白粒」および「腹白未熟粒」の増加が他の品種より大きかった。



第109図 整粒歩合および主要判定項目の気温反応とその品種間差

府県より収集したサンプルのうち、「速効性肥料・基肥のみ」の施肥条件を除いたデータをもとに作成。地域A, 地域Bは第106図脚注を参照。

3 今後の対策方向

前項で検討したように、近畿中国四国地域の2010年産米の品質低下には登熟期の高温という気象的要因が強く関与していたことが改めて確認された一方、品質の気温反応において品種、栽培地、施肥条件などによる差が認められた。このことは、これらの項目を含む技術的対策による品質向上の余地が残されていることを示しており、今後の具体的な対策方向を検討する必要がある。

一方、2010年産米の全国的な品質低下を受けて、

農林水産省は「高温適応技術レポート」⁴²⁾をまとめた。このなかには、全国の普及センターに対して行った高温適応技術の実施状況に関するアンケート調査結果が示されている。主な適応技術として、①品種の転換、②肥培管理の徹底、③水管理の徹底、④遅植え（直播含む）、⑤土づくり、などがあげられているが、その実施状況をみると、近畿中国四国地域は、北陸や九州地域と比較して①品種の転換、④遅植え、⑤土づくりの実施率がやや低くなっていた。特に、直近10年間の平均値と比較して2010年産米

の1等米比率の低下が小さかった九州では(第103図), ①品種の転換と④遅植えの実施率が高くなっていたことに注目すると, これらの技術への対応が当地域においてはまず重要になると考えられる。以下, 当地域における各種技術の対応方向について考察した。

1) 品種の転換

近年の高温登熟障害の頻発状況を受けて, 高温に強い品種育成への取り組みが各地で盛んになり, 高温登熟耐性を備えた品種が次々に開発されてきている。これらの品種は, 2010年産米の品位検査場面でおおむね良好な結果を残した(第91表)。

近畿中国四国地域では, 「ヒノヒカリ」, 「キヌヒカリ」など, 高温登熟耐性が十分でないといわれる品種の作付け率が比較的高い。特に2010年産においては中生の「ヒノヒカリ」の品質低下が大きく, 同年産米の1等米比率の府県間差には, 品種構成が強く影響していたことが推察された(第110図)。したがって, 高温登熟耐性品種への転換を進めることが, この地域においても最も重要な対策方向の一つと考えられる。

2010年度における地域内府県農業試験研究機関の調査結果では, 中～晩生の「きぬむすめ」および「にこまる」の品質評価が「ヒノヒカリ」と比較して高かった。前項の府県サンプル調査においても「きぬむすめ」は「ヒノヒカリ」より同じ気温レベルでも整粒歩合が高い傾向が確認された(第109図)。2011年度以降, 「ヒノヒカリ」代替としてこ

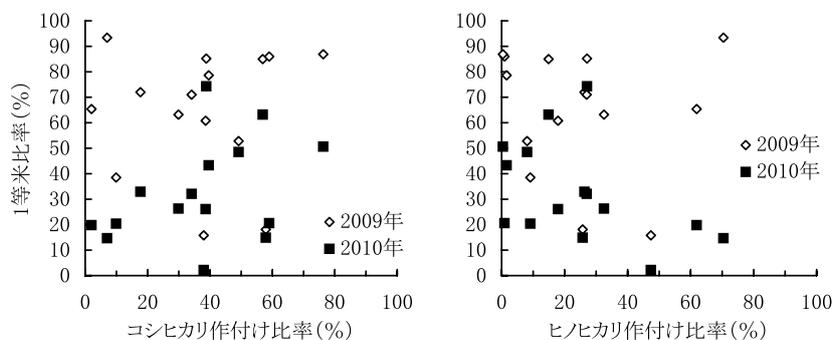
れらの品種導入が進むとみられるが, 各品種の地域適応性の評価を通じて, 作付け地域, 作期設定, 施肥法などの導入条件を早急に明らかにしていく必要がある。

一方, 「コシヒカリ」に関しては, 北陸や関東の一部では耐性品種への転換が少しずつ進みつつあるが, 近畿中国四国地域においてはほとんど進んでいない。特に, 平坦部地域で栽培されている「コシヒカリ」においては品質低下が例年問題となっている

第91表 高温登熟耐性が期待される主な品種の2010年産米の1等米比率(%)

産地	対照	耐性品種	熟期
山形	コシヒカリ	つや姫	コシヒカリ並み
	85.0	98.3	
新潟	コシヒカリ	こしいぶき	コシヒカリより早生
	20.4	17.9	
富山	コシヒカリ	てんたかく	コシヒカリより早生
	61.4	90.6	
千葉	コシヒカリ	ふさおとめ	コシヒカリより早生
	90.8	94.4	
福岡	ヒノヒカリ	元気つくし	ヒノヒカリより早生
	11.2	91.8	
佐賀	ヒノヒカリ	さがびより	ヒノヒカリより晩生
	11.7	79.4	
福岡	ヒノヒカリ	にこまる	ヒノヒカリより晩生
	11.2	77.5	
佐賀	11.7	22.3	
長崎	2.3	36.8	
熊本	17.5	91.9	
大分	41.4	72.2	

注) 数値(%)は農林水産省公表データ(2011年7月末現在)。



第110図 「コシヒカリ」および「ヒノヒカリ」の作付け比率と1等米比率の関係(近畿中国四国地域)

作付け比率(2009年産)および1等米比率は農水省より公表されているデータを使用。

ことから、市場評価の高い同品種の代替にふさわしい高温登熟耐性品種の育成・選定が急務である。

地球規模の気温上昇は今後も継続するとの見方が一般的であり、2010年度は中生熟期でも出穂後20日平均気温が30℃に達する地域が認められた(第104図)。品種に求められる耐性のレベルは今後さらに高まることが想定されることから、耐性の品種間差を生じる生理的メカニズムの解明と育種への応用研究を加速させる必要がある。

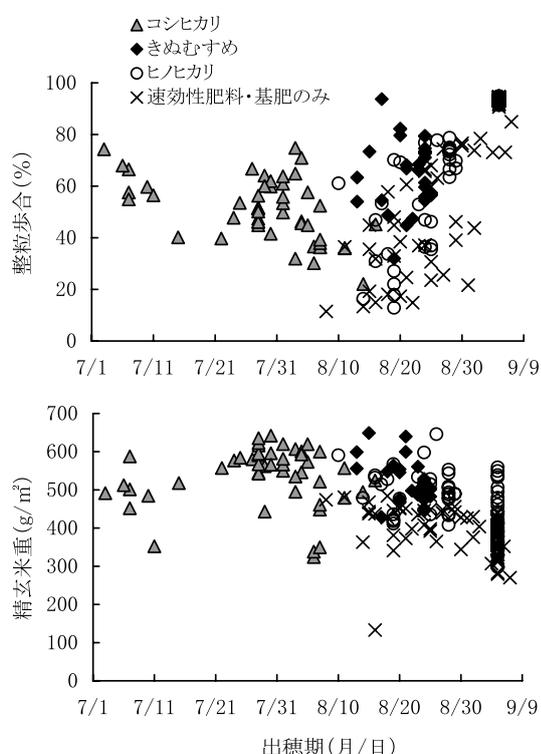
2) 遅植え

移植時期を遅くして出穂後の高温条件を回避する遅植えは、高温障害回避の有効な対策手段として各地で導入が進められている。近畿中国四国地域においても近畿地方北部および中国地方日本海側平坦部の「コシヒカリ」栽培において5月上旬から5月中下旬移植へ、近畿地方南西平坦部、中国四国地方瀬戸内平坦部の「ヒノヒカリ」栽培において6月上旬から6月下旬移植への遅植えを推進する事例がみ

られる。しかし、近年では遅植えを実施しても出穂後に高温に遭遇する年次も少なからずあり、その実効性を再評価する必要がある。

前項で調査した2010年産米収集サンプルについて、出穂期と整粒歩合の関係を第111図に示した。早生の「コシヒカリ」については、7月末から8月初めに収穫したサンプルで整粒歩合が高く、遅植えにより8月初め以降に出穂期を迎えた場合は、逆に品質の低下を招いたことが懸念される結果であった。近年の夏期の気温推移をみると、平年値と比較して高温出現のピークが遅れる傾向がみられ、2010年においては8月中下旬まで高温のピークが後ずれしていた。一方、6月中旬～7月中旬の梅雨期間においては近年、日照時間が減少する年次が多く、その期間が登熟期に遭遇する四国南部での早期栽培における品質不安定化につながっている。このように、当地域内の「コシヒカリ」熟期の栽培においては、近年の気象傾向と今後の推移を注視し、最適な作期を再精査する必要があるかもしれない。

一方、中生の「きぬむすめ」および「ヒノヒカリ」では、2010年のような高温が長期間継続した条件下でも8月中旬以降、出穂が遅れるほど品質は明らかに向上する傾向にあった(第111図)。したがって、当地域における中生熟期品種の品質向上策として、遅植えはかなり有効な対策になりうるものと考えられる。特に、高温登熟耐性が劣るものの市場評価が高い「ヒノヒカリ」を、近畿中国四国管内で現在作付けされている沿岸・平坦部地域(前項の「地域A」に属する栽培地など)で今後も栽培するにあたっては、遅植えの導入とそれを支える技術対応が重要視される。過去の報告や第109図の結果からみて、遅植え効果を確実に得るためには出穂後20日平均気温で26℃未満が一つの基準と判断されるが、地域・年次によっては8月末～9月出穂とする必要が生じ、収量や食味の確保が課題となることが想定される。前項の収集サンプルにおいても、特に「きぬむすめ」では、出穂期の遅延による収量の低下傾向が認められていた(第111図)。しかし、9月出穂の「ヒノヒカリ」でも500kg/10a以上の収量を確保している事例もあることから、栽培法の工夫に



第111図 出穂期と整粒歩合(上段)および収量(下段)との関係

府県より収集したサンプルデータより作成。

よる収量低下の克服が期待される。

3) 肥培管理

水稻高温障害に関する多くの栽培試験により、施肥法や稲体の栄養状態がコメ品質に及ぼす影響の整理が進み、初期生育および籾数の制御や登熟期栄養凋落の回避が、高温登熟時の品質低下軽減に重要であることが明らかになってきた²⁹⁾。そこで、従来から行われていた倒伏回避、籾数・玄米タンパク制御に力点を置いた生育診断に加えて、登熟期の葉色維持による品質向上を念頭にした施肥法についての検討が当地域でも各地で進められている。

今後は、登熟期の栄養確保による外観品質向上と食味維持の両立を可能とする具体的な診断手法と、想定される登熟期気象条件に対応した施肥管理対策手法の確立が望まれる。外観品質向上と食味維持の両立について、粒の白濁のタイプと玄米タンパク含有率の定性的な関連は明らかにされつつあるが⁶⁹⁾、ロット全体としての食味に及ぼす影響の定量的な把握には至っていないと思われる。また、食味だけでなく精米・加工適性に対する肥培管理や外観品質の影響についての解明も必要である。一方、登熟期の気象条件を考慮した施肥管理対策手法の確立に関しては、気象の長期予測の推定精度向上が一つの大きな鍵となろう。気象庁が現在発表している「異常天候早期警戒情報」は発表日後5～14日後までを対象としているが、1カ月単位での警戒情報提供が優れた推定精度のもとで可能となれば、登熟期の気象条件を想定した穂肥量の調節などの肥培管理に反映できる可能性が広がる³¹⁾。この点については農研機構などで検討が進められつつあり、今後の進展が期待される。

このように試験場レベルでは施肥法の精密化の検討が進む一方、生産現場では労力不足から必ずしもそれに対応できる体制になっていない現状がある。近年では多種多様な肥効調節型肥料が開発され、それを含む基肥一発型肥料の普及が当地域でも進みつつある。各地域の多様な地域気象特性や栽培条件に適した溶出パターンの把握と、気象条件の年次変動への対応が今後の課題である。また、水稻栽培に利

用する肥料の種類・内容が多様化・複雑化してきている中で、各肥料の特徴や留意点など、利用上重要な情報が正しく周知されることや、施肥設計を支援するツールの普及も重要であると考えられる。

4) 水管理

高温条件下での品質維持対策として、用水掛流し灌漑の有効性を示す事例は得られており¹⁾、重要な対策技術の一つであると全国的に認知されている。しかし、十分な用水が確保できず、そのような対策技術が導入できない地域も多い。近畿中国四国地域も瀬戸内を中心に用水が不足しやすい地域が存在するため、掛流しに代わる対策法の確立が望まれる。

登熟期の掛流しの次善策として、出穂前後の一定期間に湛水管理を推奨している地域があるほか、分けつ期の深水管理による茎数制御を通じた品質向上効果も東日本を中心に報告されている²⁾。これらの技術の導入にあたっては、水温や土壌条件など各地域の実情に合わせた適用性の評価が必要である。一方、圃場からの早期落水は品質の良否に影響するため⁵⁴⁾、登熟後期までの圃場水分の維持は地域に共通して対応すべき対策技術である。

温暖化の進行にともない、水不足のさらなる深刻化が将来懸念される中で、限られた量の水資源をいかに効率よく利用して収量・品質を維持していくか、その対策方向を見出しておくことも、この地域では今後の大きな課題である。用水の確保にあたっては、地域全体の水資源配分の在り方が考慮される必要があり、水稻の生育や品質維持に求められる水量の解明は重要視される。あわせて、近年開発された地下水位調節システム (FOEAS)⁷⁰⁾ の水稻節水栽培への有効利用法も検討されるべき課題であると思われる。

5) その他

上述した以外にも、栽植密度、土づくり、作土深、適期収穫、病虫害管理などの対策技術の励行が2010年産米の品質維持・向上に寄与した事例が報告されている。疎植、土壌改良資材の利用、深耕、刈り遅れ防止、適正な畦畔管理などによるカメムシ

蔓延防止,などの技術が当地域でも重要視されるが,各地域の条件に適合した技術内容が精査される必要がある。また,これらの対策技術は,肥培管理や水管理の対策も含めて,個別の効果に加えて技術の相互集積による総合的な効果を勘案して対策技術構築の方向性を判断していく必要がある。今後は,技術相互のマッチングを評価する試験研究が重要視される。(長田健二)

引用文献

- 1) 荒井義光・伊藤博樹 2001. 高温登熟時の用水掛け流し処理による水田地温の低下と玄米品質の向上. 日作東北支部報 44: 89-90.
- 2) 千葉雅大・松村 修・寺尾富夫・高橋能彦・渡邊 肇 2009. 深水栽培による高品質米生産技術—深水栽培が水稲の生育と米粒外観品質に及ぼす影響—. 日作紀 78: 455-464.
- 3) 愛媛県水田農業推進協議会 2009. 水稲・麦・大豆奨励品種ハンドブック. 愛媛県水田農業推進協議会, 松山. 1-2.
- 4) 古土井悠・大竹茂登・上原由子 1992. 早植による中南部地帯の良質米生産. 広島農技セ研究成果発表会要旨集 24: 1-8.
- 5) 飯田幸彦・横田国夫・桐原俊明・須賀立夫 2002. 温室と高温年の圃場で栽培した水稲における玄米品質低下程度の比較. 日作紀 71: 174-177.
- 6) 飯田幸彦・田畑美奈子 2005. 水稲品質の高温耐性育種の可能性—茨城県における取り組み—. 日作紀 74: 89-91.
- 7) 池上 勝・藤本啓之・小河拓也・青山喜典・大塩哲視・加藤雅宣・須藤健一・土田利一・平川嘉一郎・矢野義昭・荒木悦子・植山秀紀・芦田かなえ・竹下伸一 2011. 酒米品種山田錦における白未熟粒の発生と登熟期間の気温との関係. 日作紀 80(別2): 208-209.
- 8) 井上健一 2000. 乳白粒発生軽減のための「コシヒカリ」の適正籾数と栽培法. 北陸農業の新技術 13: 11-13.
- 9) 井上健一 2005. 高温のイネ生産への影響と技術的対策—福井県の場合—. 日作紀 74: 82-86.
- 10) 石崎和彦 2006. 水稲の高温登熟性に関する検定方法の評価と基準品種の選定. 日作紀 75: 502-506.
- 11) 伊藤夫仁・上原由子・原田昭彦・高橋宏三・古土井悠・邊見由紀子・浦野光一郎・下澤秀樹・保科 亨・前田光裕 2001. OFAC調査事業の成果と残された課題. 広島農技セ研究成果発表会要旨集 30: 1-6.
- 12) 鹿児島県農業試験場 2005. 背白・基白粒の発生程度を利用した水稲の高温耐性検定法の基準品種. 平成16年度九州沖縄農業研究成果情報. http://www.knaes.affrc.go.jp/seika/kyushu_seika/2004/2004055.html (2012年2月2日閲覧).
- 13) 金田吉弘・進藤勇人 2000. 高温条件下における水稲窒素吸収パターンが白粒発生に及ぼす影響. 日作東北支報 43: 73-75.
- 14) 川口祐男・木谷吉則・高橋 渉・南山 恵 1995. 品質・食味からみたコシヒカリの目標穎花数. 北陸作物学会報 30: 53-54.
- 15) 気象庁 2010. 平成22(2010)年夏の日本の平均気温について～今夏の日本の気温は統計開始以来, 第1位の高温～. 報道発表資料(平成22年9月1日), <http://www.jma.go.jp/jma/press/1009/01a/temp10jsum.html> (2011年4月30日閲覧).
- 16) 気象庁 2011. 2010年(平成22年)の日本の天候. 報道発表資料(平成23年1月4日), <http://www.jma.go.jp/jma/press/1101/04b/tenko2010.html> (2011年12月23日閲覧).
- 17) 気象庁 2005. 異常気象レポート2005. 第2章 地球温暖化2.1気温・降水量. 135-165. http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpdinfo/climate_change/ (2012年2月2日閲覧).
- 18) 小葉田亨・植向直哉・稲村達也・加賀田恒 2004. 子実への同化産物供給不足による高温下の乳白米発生. 日作紀 73: 315-322.

- 19) 金 和裕・金田吉弘・柴田 智・佐藤 馨・三浦恒子・佐藤 敦 2005. 中苗あきたこまちの高品質・良食味米安定生産に適した分けつの次位・節位. 日作紀 74 : 149 - 155.
- 20) 近藤始彦・森田 敏・長田健二・小山 豊・上野直也・細井 淳・石田義樹・山川智大・中山幸則・吉岡ゆう・大橋善之・岩井正志・大平陽一・中津紗弥香・勝場善之助・羽島正恭・森芳史・木村 浩・坂田雅正 2006. 水稻の乳白粒・基白粒発生と登熟気温および玄米タンパク含有率との関係. 日作紀 75 (別2) : 14 - 15.
- 21) 今野 周・今田孝弘・中山芳明・宮野 斉・三浦 浩・高取 寛・早坂 剛 1991. 登熟期の環境要因及び生育条件が水稻の登熟, 収量及び品質に及ぼす影響. 山形農試研報 25 : 7 - 22.
- 22) 松村 修 2006. 高温登熟性を向上する. 農及園 81 : 96 - 101.
- 23) 松島省三・真中多喜夫・角田公正 1957. 水稻収量の成立と予察に関する作物学的研究. 日作紀 25 : 203 - 206.
- 24) 宮本芳城・川村和史・梅本哲矢 2005. 和歌山県における「キヌヒカリ」の品質低下要因の解析 (第1報) 移植時期が収量及び品質に及ぼす影響. 和歌山農林水技七研報 6 : 13 - 23.
- 25) 宮下武則・森 芳史・村上優浩・藤田 究 2005. 「ヒノヒカリ」の移植時期が生育, 収量および品質に及ぼす影響. 香川農試研報 57 : 1 - 10.
- 26) 森 芳史・茂木知江子 2004. 水稻「ヒノヒカリ」, 「はえぬき」の品質確保のための移植適期マップ. 豊穰 42 : 2 - 5.
- 27) 森田 敏・白土宏之・高梨純一・藤田耕之輔 2002. 高温が水稻の登熟に及ぼす影響—高夜温と高昼温の影響の違いの解析—. 日作紀 71 : 102 - 109.
- 28) 森田 敏 2005. 水稻の登熟期の高温によって発生する白未熟粒, 充実不足および粒重低下. 農業技術 60 : 442 - 446.
- 29) 森田 敏 2008. イネの高温登熟障害の克服に向けて. 日作紀 77 : 1 - 12.
- 30) 森田 敏・田村克徳・中野 洋・北川 壽・坂井 真・高橋 幹 2008. 高温耐性水稻品種「にこまる」の良好な登熟には穂揃期の茎のNSCが多いことが貢献している. 日作紀 77 (別2) : 198 - 199.
- 31) 森田 敏 2011. イネの高温障害と対策. 農文協, 東京. 1 - 143.
- 32) 長田健二・滝田 正・吉永悟志・寺島一男・福田あかり 2004. 登熟初期の気温が米粒の胴割れ発生に及ぼす影響. 日作紀 73 : 336 - 342.
- 33) 長戸一雄 1952. 心白・乳白米及び腹白の発生に関する研究. 日作紀 21 : 26 - 28.
- 34) 長戸一雄・江幡守衛 1960. 登熟期の気温が水稻の稔実に及ぼす影響. 日作紀 28 : 275 - 278.
- 35) 長戸一雄・江幡守衛 1965. 登熟期の高温が穎果の発育ならびに米質に及ぼす影響. 日作紀 34 : 59 - 66.
- 36) 南雲芳文・土田 徹・市川岳史・東 聡志 2010. 高品質米生産のためのコシヒカリ登熟期の水管理の目安. 北陸作物学会報 45 : 19 - 21.
- 37) 農林水産省 2002. 平成13年産水稻作における高温の影響について
- 38) 農林水産省生産局編 2003. 水陸稲・麦類・大豆奨励品種特性表. 農業技術協会. 東京. 122 - 123.
- 39) 農林水産省 2008. 水稻の高温障害の克服に向けて (高温障害対策レポート), 水稻高温対策連絡会議対策推進チーム.
- 40) 農林水産省 2010. 平成22年産水陸稲の収穫量. 農林水産統計 (農林水産省大臣官房統計部平成22年12月8日公表), 1. http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sakumotu/sakkyou_kome/index.html#y5 (2011年4月30日閲覧).
- 41) 農林水産省 2011. 平成22年産米の検査結果 (速報値) (平成23年8月31日現在) (平成23年9月21日公表). <http://www.maff.go.jp/j/>

- soushoku/syoryu/kensa/kome/ (2011年10月4日閲覧).
- 42) 農林水産省 2011. 平成22年度高温適応技術レポート. 1 - 76.
<http://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/ondanka/index.html> (2012年2月2日閲覧)
- 43) 農林水産省 2011. 平成22年産米の検査結果(速報値) (平成23年3月31日現在).
- 44) 岡山県 2007. 「ヒノヒカリ」の整粒歩合が低下しにくい出穂後の温度条件(情報). 平成18年度試験研究主要成果. <http://www.pref.okayama.jp/norin/nousou/noushi/seikaPDF/H18/18suiden-5.pdf> (2011年9月25日閲覧).
- 45) 岡山県 2009. 水稲主要品種の白未熟粒の発生しにくい出穂期・移植期の目安. 農業総合センター新技術情報. http://www.pref.okayama.jp/file/open/1316942012_236252_45769_209121_misc.pdf (2011年9月25日閲覧).
- 46) 奥田将生・橋爪克己・沼田美子代・上用みどり・後藤奈美・三上重明 2009. 気象データと原料米の酒造適性との関係. 醸協 104 : 699 - 711.
- 47) 大川俊彦・河田光男 1997. 香川県におけるコシヒカリ適地適作のためのメッシュ気候値利用による地域特性の把握. 日作四国支紀 34 : 28 - 29.
- 48) 大川俊彦・宮下武則 2003. 水稲「ヒノヒカリ」の品質に及ぼす登熟期の温度条件の影響. 第1報 玄米品質とタンパク質含有率に及ぼす登熟期の気温の影響. 香川農試研報 56. 1 - 4.
- 49) 大阪管区気象台 2011. 近畿・中国・四国地方の気候変動2009 [2011改訂版]. 第6章 四国地方の気候変動. 85 - 112. <http://www.jma-net.go.jp/osaka/kikou/ondanka/ondanka.html> (2012年2月2日閲覧).
- 50) 坂井 真・岡本正弘・田村克徳・溝渕律子・平林秀介・深浦壮一・西村 実・八木忠之・山下浩・高松高治 2008. 玄米品質に優れる暖地向き良食味水稲品種「にこまる」の育成について. 育種学研究 9 : 67 - 73.
- 51) 坂田雅正・高田 聖・亀島雅史・山本由徳 2005. 穂肥の施用と登熟期間中の水管理が水稲品種コシヒカリの玄米収量および品質に及ぼす影響. 日作紀 74 (別2) : 38 - 39.
- 52) 坂田雅正・高田 聖 2006. 高知県における高温登熟による品質低下に対応する品種と技術開発. 農及園 81 : 102 - 109.
- 53) 坂田雅正・高田 聖・亀島雅史・山本由徳 2008. 被覆尿素肥料の穂揃期施用が高温登熟下における水稲品種コシヒカリの玄米収量および品質に及ぼす影響. 日作紀 77 (別2) : 16 - 17.
- 54) 佐々木康之・今井良衛・細川平太郎 1983. 高温下で登熟する玄米品質の劣化防止技術. 新潟農試研報 33 : 45 - 54.
- 55) 佐藤 徹・有坂通展・水沢誠一・齋藤祐幸 2001. コシヒカリ移植栽培における適正初数と生育量の関係. 北陸作物学会報 36 : 59 - 61.
- 56) 世古晴美 2000. 兵庫県の「山田錦」. 前重道雅・小林信也編著, 最新日本の酒米と酒造り. 養賢堂, 東京. 14 - 46.
- 57) 高田 聖・坂田雅正・亀島雅史・山本由徳・宮崎 彰 2010. 高知県の水稲早期栽培用品種における白未熟粒割合の年次, 地域間差に関する要因の解析. 日作紀 79 : 205 - 212.
- 58) 寺島一男・齋藤祐幸・酒井長雄・渡部富男・尾形武文・秋田重誠 2001. 1999年の夏期高温が水稲の登熟と米品質に及ぼした影響. 日作紀 70 : 449 - 458.
- 59) 寺島一男 2005. 全国的な高温化が米品質に及ぼす影響とその要因の解析. 日作紀 74 : 86 - 89.
- 60) 富久保男 2000. 岡山県の「雄町」. 前重道雅・小林信也編著, 最新日本の酒米と酒造り. 養賢堂, 東京. 42 - 46.
- 61) 月森 弘 2005. 島根県における高温のイネ生産への影響と技術的対策. 日作紀 74 : 80 - 82.
- 62) 月森 弘 2008. 気象および移植時期が水稲「コシヒカリ」の乳白粒に及ぼす影響. 島根県

- 農業技術センター研究報告 38 : 47 - 56.
- 63) 月森 弘 2008. 早植コシヒカリの出穂期葉色と品質の関係. 日作中国支研 49 : 4 - 5.
- 64) 津森重邦 1987. 乳白米の発生要因と対策. 農及園 62 : 1161 - 1165.
- 65) 角田和美 1987. 乳白米等の発生機作. 農及園 62 : 831 - 835.
- 66) 内田恵介 2010. 剣菱の酒質と山田錦. 平成21年度加東酒米生産者大会講演要旨 1 - 22.
- 67) 若松謙一・田之頭拓・竹牟禮穰・森 清文 2004. 鹿児島県における水稲登熟期間の高温が玄米品質に及ぼす影響. 日本作物学会九州支部会報 70 : 10 - 12.
- 68) 若松謙一・佐々木修・上菌一郎・田中明男 2007. 暖地水稲の登熟期間の高温が玄米品質に及ぼす影響. 日作紀 76 : 71 - 78.
- 69) 若松謙一 2010. 暖地水稲の登熟期間の高温が玄米外観品質に及ぼす影響. 鹿児島県農業開発総合センター研究報告 4 : 91 - 125.
- 70) 若杉晃介・藤森新作 2009. 水田の高度利用を可能とする地下水位制御システムFOEAS. 水土の知 (農業農村工学会誌) 77 (9) : 705 - 708.

近畿中国四国農業研究センター研究資料 第9号

平成24年3月15日 印刷

平成24年3月15日 発行

発行所 独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構

近畿中国四国農業研究センター

〒721-8514 広島県福山市西深津町6-12-1

発行者 長 峰 司

印刷所 株式会社デルタプリント

〒732-0802 広島市南区大州2丁目12-15

