

第IV章 産地形成推進のための新たな技術開発

第III章では、「大ロットで均質な良食味米を安定的に供給しうる広域的な産地形成」を推進する上で問題となる食味の地域間差を縮小させ、広域産地内の食味レベルを府県品種に近づけるための検討を行った。しかし、昨今の慢性的な米の生産過剰状況の中では、食味が全国的なレベルに追いつくことは、販売競争のスタートラインに着くことに過ぎず、それだけで北海道米の需要を維持することは困難である。将来にわたり北海道米の需要を確保し、現状の生産量を維持・発展させるためには、府県品種に対して北海道米の優位性を明確に示すことができる特性を付与する必要がある。このためには、北海道米現状品種の食味をさらに1ランク高度化した「極良食味品種」開発のための、新しい要素を取り入れた食味評価法の開発とともに、食味以外の新しい品質尺度の導入による北海道米の新規用途の開拓と、用途別品質の高度化に関する技術解析も同時に必要となる。

本章では先に示した産地形成の推進方向に従い、「大ロットで均質な良食味米を安定的に供給しうる広域的な産地形成」のための、用途別品質高度化技術として、極良食味品種選抜に必要な評価手法の開発と技術解析（第1, 2節）を、「もち米専作団地による安定的・集約的な高品質もち米産地形成」のための推進技術研究として、北海道もち米の加工適性向上に関する技術解析（第3節）を、「地域の創意・工夫を生かしながら多様な需要に対応する産地形成」のための推進技術研究として、北海道米の酒造適性評価に関する検討（第4節）、および北海道米の低アレルギー化に関する技術開発（第5節）について検討し、各生産カテゴリー産米の品質高度化に有効な技術解析を行った。

第1節 炊飯米の外観評価法の開発と北海道米の評価

1 背景と目的

炊飯米の外観は食味評価上重要な要素の一つにあげられており（竹生, 1971, 1987）、全国各所で実施されている官能検査項目にはほぼ例外なく含まれている（農林省食糧研究所, 1961；農林水産技術会議, 1991）。また、外観を指標とした良食味品種選抜法に関する研究や（藤巻ら, 1975）、炊飯米の外観と食味の評価には

密接な関係が認められている（崔ら, 1988）。北海道における炊飯米の食味官能検査でも、外観評価項目として白さおよびつやが取り上げられており、良食味米品種の育成（北海道立中央農業試験場, 1988；佐々木ら, 1990）や栽培法の評価に利用されてきた。また、外食や中食産業で使用される米の場合、炊飯米の外観は直接商品性と結びつく事が多く、家庭で消費される一般米以上にその重要性が高いと思われる。

これまで米の外観を評価する測定機器としては、ケット社の白度計が最も一般的であり、その測定値である白度は生産現場から流通・加工現場にわたり広く利用されている。また、最近では色彩色差計（カラーアナライザー）の普及により、米の外観をL*a*b*などの国際標準表色系(CIE, 1976)で測定することも可能となっている。

しかし、これらの機器はいずれも玄米あるいは白米での測定が前提であり、炊飯した米の外観を評価することは困難である。そのため精度、客観性、効率性に優れた炊飯米外観の測定機器開発が望まれている。

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

本節では、炊飯米の白さおよびつやを外観評価項目として、炊飯米画像の輝度解析からこれらを客観評価する手法と測定条件について検討し、官能評価との関連性を検証した。

2 研究方法

2-1 測定の概要

本試験での測定方法の概要について述べる。試料調製から少量炊飯、画像取り込み、輝度解析および官能評価に至る一連の測定概要を表IV1-1に示した。精白は、YAMAMOTO試験用精米機を用い、精白歩合90%に調製した。少量炊飯には、密閉容器（ステンレス製シャー

表IV1-1 測定手順の概要と使用機材

使用機器	測定手順	条件等
精米機 (YAMAMOTO試験用精米 ステンレスシャーレ (直径11cm密閉型) オートクレーブ (TOMY ES-315) リングライト (HOYA SCHOTT) CCDカメラ (SONY DXC-930) イメージアナライザー (NIRECO Luzex-FS) パネルテスト	精白	精白歩合 90%
	↓	
	秤量・シール	精白米25g
	↓	
	加水・吸水	加水量 (白米重量比1.5)
	↓	
	加熱炊飯	105℃ 20分
	↓	
	放置	放置時間 (30-90分)
	↓	
画像取り込み	照度54.0lux 取り込み角度4反復	
↓		
画像解析	炊飯ロット2反復	
↓		
官能評価		

表IV1-2 供試試料*の一覧

No	品種名	産地
1	あきたこまち-1	秋田県
2	あきたこまち-2	大分県
3	きらら397-1	北海道長沼町
4	きらら397-2	北海道長沼町
5	きらら397-3	北海道深川市
6	コシヒカリ-1	大分県
7	コシヒカリ-2	福岡県
8	コシヒカリ-3	福岡県
9	コシヒカリ-4	新潟県
10	ひとめぼれ-1	千葉県
11	ひとめぼれ-2	岩手県
12	ほしのゆめ	北海道長沼町
13	ゆきひかり-1	北海道長沼町
14	ゆきひかり-2	北海道長沼町
15	ゆきひかり-3	北海道長沼町
16	ゆきひかり-4	北海道長沼町
17	ゆきひかり-5	北海道岩見沢市
18	ゆきひかり-6	北海道岩見沢市

*: いずれも1996年産

レ) とオートクレーブを用いた。画像解析装置は①画像入力装置、②画像処理装置(メインプロセッサ)、③データ処理・出力装置の3ブロックから構成される。本研究でのハード構成は、炊飯装置としてオートクレーブ(TOMY ES-315)、画像入力装置としてCCDカメラ(SONY 3CCD Color Video Camera DXC-930)およびズームレンズ VCL-707BXM)を、画像処理装置としてNIRECO社 IMAGE ANALYZER Luzex-FS、データ処理にはApple社 Macintosh Centris650およびその周辺装置を導入した。また、画像入力時の光条件を統一するため、CCDカメラ部分は暗箱(自作)で囲い、照明装置として安定化電源供給装置HOYA-SCHOTT HL100Rおよびリングライト(HOYA-SCHOTT ライトガイドFGR型、リング直径7.5cm)を採用した。

2-2 評価試料の画像取り込み条件と官能評価

外観評価の測定パラメーターを設定するために、品種および産地・圃場の異なる18点の評価用試料(表IV1-2)を用い、表IV1-1の方法に従い少量炊飯した炊飯米の外観をデジタル画像として取り込んだ。

画像測定エリアはシャーレの中心4.3×4.5cm(19.35cm²)の矩形範囲に設定した。この条件では飯粒1粒が約2,000画素に相当し、測定範囲には110粒程度の飯粒が含まれる。また、測定照度は54.0luxに調整し、レンズ絞りは50%(最大口径比1.6)とした。

以上の取り込み条件で、各画像の測定エリアを構成する220,800画素の輝度分布データを得た。また、測定に用いた炊飯米試料について、肉眼による外観の官能評価を実施した。官能評価は実験室内(一定人工照明下)でおこない、基準試料(試料NO6)に対する白さおよびつやの違いを±5段階評価する形式で、農試職員7名をパネルとしておこなった。

2-3 測定条件の検討

炊飯米の外観に影響を及ぼすことが予想されるいくつかの要因についての条件検討をおこなった。検討は精白歩合および加水量についておこない、電気炊飯器による炊き上がりに近く、かつ、試料の違いがよく反映される条件設定を目標とした。また、画像取り込み時の試料配置角度および炊飯ロットの違いによる画像解析データのばらつき程度についても検討した。

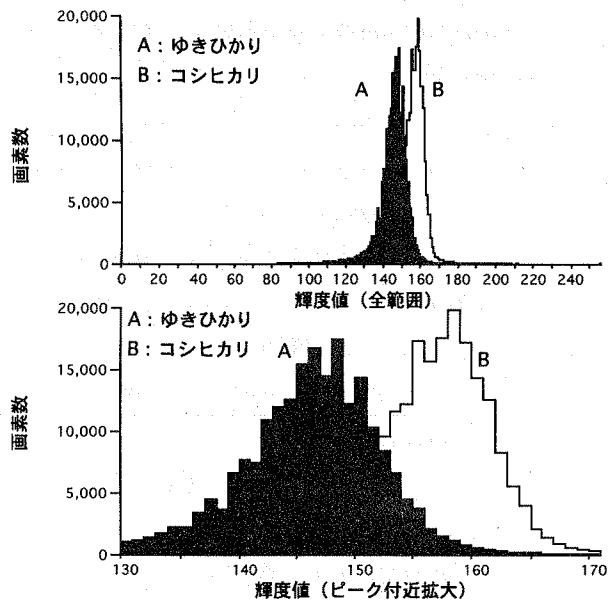
2-4 北海道炊飯米の外観評価

北海道炊飯米の外観評価のための測定試料は合計519点(北海道米:1996,1997年,上川,空知,石狩,胆振,日高,後志管内奨決現地圃場産,きらら397,ゆきひかり,ゆきまる,あきほ,ほしのゆめ,府県品種:1996,7年産,コシヒカリ,ササニシキ,あきたこまち,ひとめぼれ,キヌヒカリ,ヒノヒカリ)を用いた。測定項目は平均輝度,つや面積,つや強度を求めた。データ処理は年次間で画像取り込み条件に若干の変化があったため,各年次での偏差値を求め兩年合わせて品種毎の平均値を算出した。

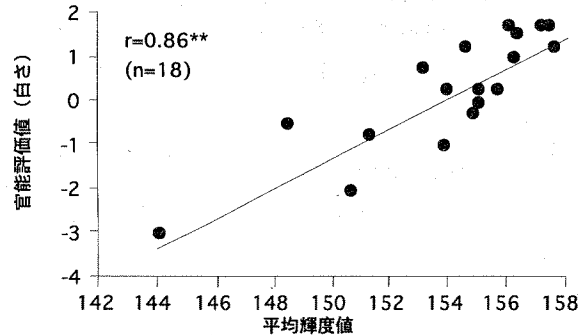
3 結果および考察

3-1 炊飯米白さの測定パラメータの検討

供試炊飯米の白さの官能評価値は,基準試料に対して-3.25~+1.50の範囲で変動した。そこで,これら試料



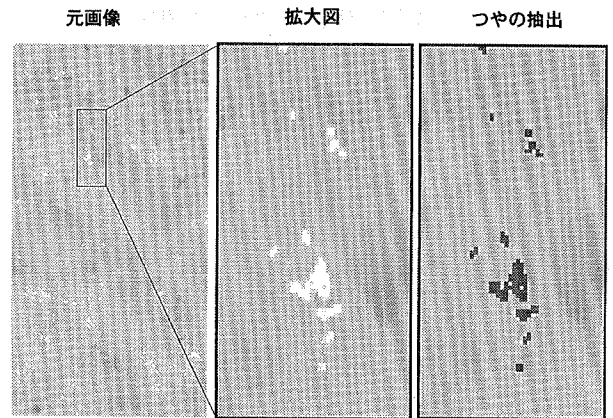
図IV1-1 試料A, B炊飯米の輝度分布の比較



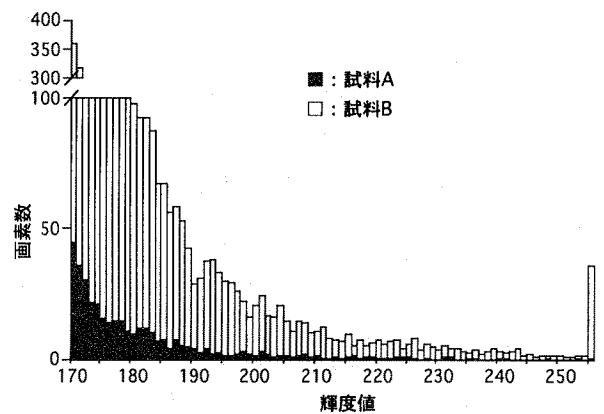
図IV1-2 平均輝度値と官能評価による米飯白さの関係

間の外観の違いが画像の輝度分布にどのように反映しているかを詳細に検討し、有効な測定パラメータを導出しようと試みた。官能評価による白さが明らかに異なると評価された2種類の米，A（試料No17，北海道産ゆきひかり，白さ官能評価値-3.25）およびB（試料No9，新潟県産コシヒカリ，白さ官能評価値+1.25）両試料のデジタル画像を用いて輝度成分の比較をおこなった。両画像はともに全220,800画素から構成されたモノクロ濃淡画像であり，図IV1-1にA B両画像の輝度毎のヒストグラム（=輝度分布）を示した。

図IV1-1上には，0~255の全輝度範囲での輝度分布を示した。両試料とも輝度値150付近に明瞭なピークを持つことがわかった。このことは，それぞれの炊飯米画像は極めて均質な輝度をもつ画素で構成されていることを示しており，このピーク位置が両画像の全体的な明るさを端的に示すと考えられることから，この違いが炊飯米の白さの違いとして知覚されるものと予想した。そこで



図IV1-3 つや部分の拡大と抽出



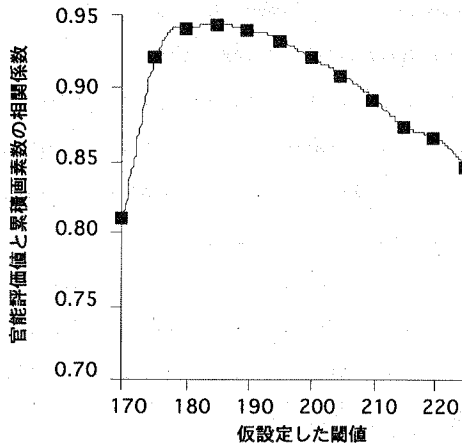
図IV1-4 試料A,Bの高輝度部分のヒストグラム

両画像の輝度分布の違いをより詳細に比較するため，ピーク付近を拡大したのが図IV1-1下である。

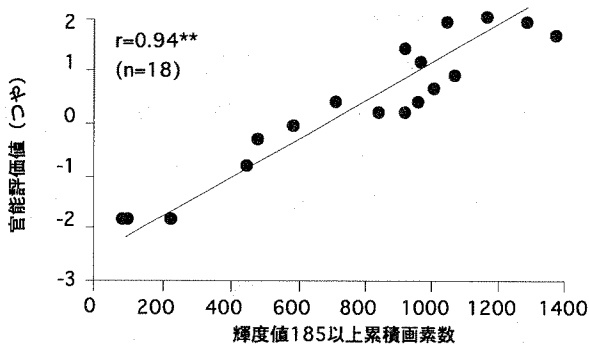
両試料を比較すると，ピークはAのゆきひかりよりBのコシヒカリの方が高位置にあり，AよりB画像の方がより高輝度の画素で構成されていることが示されている。この分布の違いを数値として示すために，全220,800画素の平均輝度値を求めるとAは144，Bは156と計算され，官能評価の数値と対応する結果となった。そこで，全18試料について同様の手法により平均輝度値を求め，官能評価値との関係を示したのが図IV1-2である。両者は $r=0.86$ と有意な（1%水準）高い相関関係を示し，平均輝度値が高い米は白いと評価されることが示された。以上から，平均輝度値は炊飯米の白さを測定するためのパラメータとして有効であると判断した。

3-2 炊飯米つやの測定パラメータの検討

次に，ここではつやの測定パラメータの検討をおこなった。まず検討にあたり，人が炊飯米のつやとして認



図IV1-5 閾値の選択と相関係数*の関係
*：官能評価値と累積画素数の相関係数



図IV1-6 累積画素数と官能評価によるつやの関係

識している部位の輝度的な特徴を明らかにしようとした。図IV1-3に示したように、炊飯米画像上でつやと認識できる部位を順次拡大していくと、つやとは、画像上で一定以上の高い輝度をもつ画素の集合部位であることが解明できた。そのため、適当な閾値を設定することにより、つやとして認識される部分の画素だけを、画像全体から抽出することが可能となり、その面積（画素数）を比較するとつやの多少が測定できると予想した。また、つや周辺をさらに細かく見ると、つや部分の明るさ（つやの強さ）にも幅があり、強いつや、弱いつやがあることがわかった。このことから、つやの評価には量と強さ、2つのパラメーターを考慮する必要があると考えられた。

そこで次に、つやを抽出するための閾値の設定について検討を進めた。この検討には、官能評価によりつやが異なると評価された前出の炊飯米試料A（試料No17，北海道産ゆきひかり，つや官能評価値-2.00），B（試料No9，新潟県魚沼産コシヒカリ，つや官能評価値+1.00）の画像を用いた。

図IV1-4には、両試料の高輝度部分（輝度値170～255）のヒストグラムを示した。この図から明らかなように、AはBに比較して高輝度部分の画素が少なく、この分布の違いがつやの官能評価に反映されているものと推測された。そこでこの分布の違いを示す値として、一定輝度値（=閾値）を設定し、それ以上の累積画素数を計測することとした。閾値の検討にあたって、輝度値170～225の範囲で5刻みに変化させて仮の閾値とし、そのときの累積画素数を計測した。次に各試料の累積画素数と官能評価値つやとの相関係数を計算し、最も相関が高まる値を閾値と設定することとした。また、設定する閾値は輝度分布全体のピークの影響を受けず、かつ画素の絶対数が少なくなりすぎない値となるように考慮した。

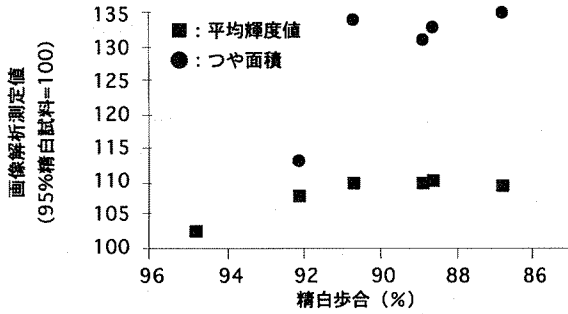
図IV1-5には、横軸に仮設定した閾値を、縦軸にはそのときの相関係数（累積画素数と官能評価値の）を示した。相関係数は輝度値175～205の範囲で0.9以上の高い値を示したが、170以下では急激に、210以上では徐々に低下する傾向を示した。そこで、最も相関係数が高い値（ $r=0.938$ ）であった185を閾値として設定することとし、そのときの累積画素数と官能評価値の関係を図IV1-6に示した。

以上の検討から、炊飯米のつやの量を評価するための測定パラメータとして、閾値輝度185以上の累積画素数が有効であり、この測定値の多い炊飯米ほどつやがあると評価されることが明らかとなったため、以後この累積画素数を「つや面積」と定義し解析を進めた。

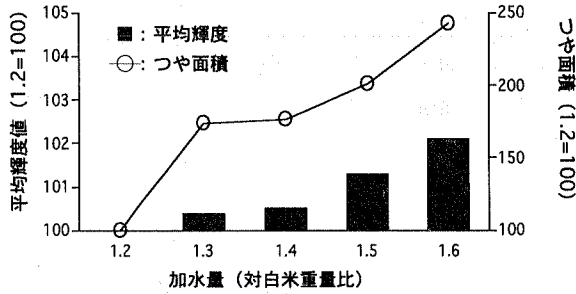
もう一方のパラメーターであるつやの強さは、つやとして抽出された閾値185以上を持つ画素の平均輝度値で表すことが合理的であると考えられ、この測定値を「つや強度」と定義した。すなわち、つや面積が同一でも、輝度値185～255の範囲で、より明るい画素の比率が多い米飯は、つや強度が高いと評価されることとなる。

3-3 測定条件の検討

炊飯米の外観は、試料白米の調整や炊飯条件により、また、画像解析は画像取り込み条件に影響を受けることが予想され、精度の向上にはこれらの統一が不可避である。そのため、実験条件の設定に当たりこれらの条件により測定値がどの程度変動するかを把握する必要があった。ここでは、試料の精白歩合、炊飯時の加水量、画像取り込み時の試料の置き方および炊飯ロットでのばらつ



図IV1-7 精白歩合と画像解析測定値の関係



図IV1-8 加水量と画像解析測定値の関係

き程度について検討した結果を示す。

通常試験用白米は、精白歩合90%を目標に調整されているが、試料により±1%程度の変動が認められる。そこで、この範囲での精白歩合の変動が炊飯米の外観にどの程度影響するかを検討した。精白時間の調節により、同一玄米を精白歩合約95~87%まで変化させた試料を用い、炊飯米の平均輝度およびつや面積を計測した。

図IV1-7に精白歩合と画像解析測定値の関係を示した。測定値は精白歩合が92%程度までは徐々に高くなる傾向を示したが、91~87%の間ではほぼ一定の値であった。このことから、通常の精米機による精白歩合のばらつきの範囲内であれば、炊飯米の画像解析測定値には影響がないと判断した。

炊飯時に加える水の量は炊飯米の状態に大きな影響を与える。そのため、官能評価をする際にも加水量を統一するのが一般的である。そこで、本報告でも加水量が画像解析測定値にどのように影響するかを検討し、測定時の加水量を設定した。加水量の変化とともに測定値の変化を図IV1-8に示した。

測定値は加水量の増加とともに上昇する傾向を示した。特につや面積の変化は大きく、加水量1.6では同1.2の約2.5倍もの値となった。このため、試料間の比較にあたっては加水量を一定にし、しかもオートクレーブ炊飯中のシャーレ内への蒸気浸入をも防ぐ必要がある。ま

た、通常炊飯と最も近い状態の炊きあがりになることを考慮して加水量は白米の1.5倍量に設定した。

飯粒がランダムに集合した状態の炊飯面をそのまま画像に取り込むため、各飯粒の並び方や炊飯面の偏りに基づくばらつきが予想された。また、炊飯ロットの違いによっても同様のばらつきが予想されたためこれらの大きさを把握するための検討をおこなった。この検討では、同一試料を約90度づつ回転させ4回画像を取り込み、測定値のばらつきを計算した。また、同一試料は2回炊飯し、炊飯過程での誤差を検討した。

表IV1-3に取り込み角度によるばらつきを示した。その結果、取り込み角度による変動係数の平均は平均輝度で0.44%、累積輝度数で6.0%と十分に小さく、飯粒の並び方によるばらつきは測定上問題ないと判断した。

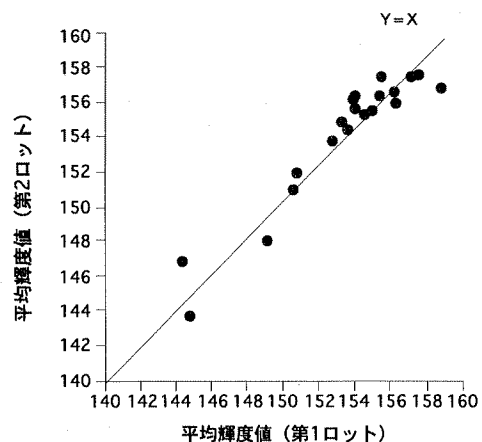
また、炊飯ロットによる平均輝度値のばらつきを図IV1-9に示した。2反復の値はほぼY=Xの直線上にのることから炊飯ロット間のばらつきも十分小さいと判断した。

以上の検討から、炊飯米の外観を客観的に数値化する方法として、画像解析が有効であることが示された。ま

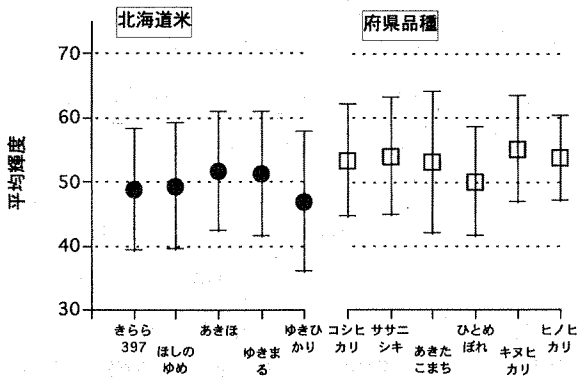
表IV1-3 供試試料測定値のレンジと反復誤差

項目	平均輝度値	累積画素数
測定値		
平均値	153.5	786
最大値	158.9	1379
最小値	144.5	92
レンジ	14.3	1287
誤差		
std	0.57	39
CV%	0.44	6.0

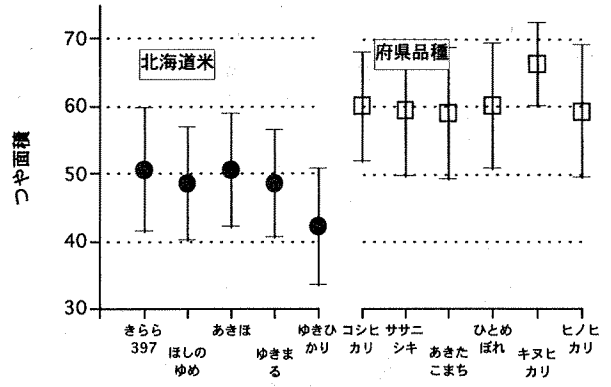
*:各試料4反復誤差の平均



図IV1-9 2回反復炊飯 (試料数=18) による反復ロットの平均輝度値の分布



図IV-1-10 北海道および府県品種の白さの比較



図IV-1-11 北海道および府県品種のつやの比較

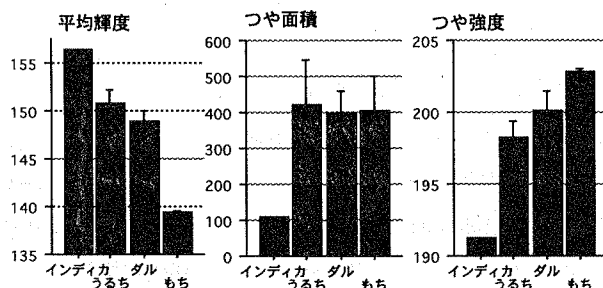
た、測定条件を統一することにより、少量の試料を安定的に炊飯し、再現性の高い測定値を得ることが可能となった。本報告での測定スキームに従うと、25gの白米試料で、1日に約100点程度の測定が可能である。

3-4 炊飯米外観の品種比較と北海道米の評価

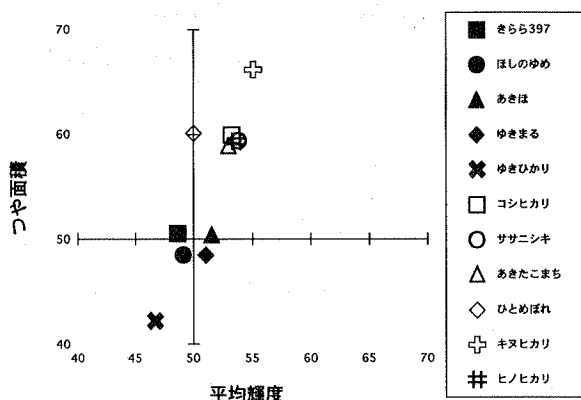
前項で検討した外観評価のためのパラメーターを用いて、さまざまな育成材料および外観に特徴をもつ米の評価をおこなった。さらに、炊飯米の総合的な外観の違いを、把握しやすい形で表現するための方法について検討した。

1) 北海道および府県良食味品種の外観比較

前項で検討した画像解析測定による平均輝度値およびつや面積により、北海道および府県品種炊飯米の白さと



図IV-1-13 各種炊飯米の画像解析パラメーターの比較



図IV-1-12 北海道米と府県品種の外観比較

つやの比較分析をおこない北海道米の特徴と問題点を明らかにした。図IV-1-10, 11に平均輝度およびつや面積の測定値を、各品種毎の平均偏差値と標準偏差で示した。

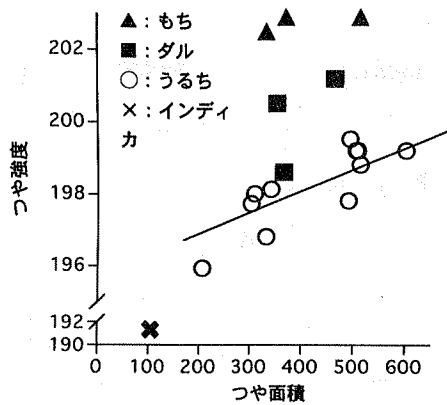
平均輝度は、北海道米に比較して府県品種の方がやや高い傾向にあったが、この関係は年次により大きく変動していることから、両地域の年次による気象条件の違いが炊飯米の白さに影響している可能性が示唆された。北海道内での品種比較では、あきほおよびゆきまるがやや高く、これらに比較してゆきひかりは有意に低い傾向にあったが、ほしのゆめおよびきらら397との差は統計的に有意なものではなかった。

つや面積は、全ての府県品種が北海道米より統計的に有意に高い値を示した。また、北海道米の比較では、つや面積はゆきひかりが明らかに低い以外大きな品種間差は認められなかった。

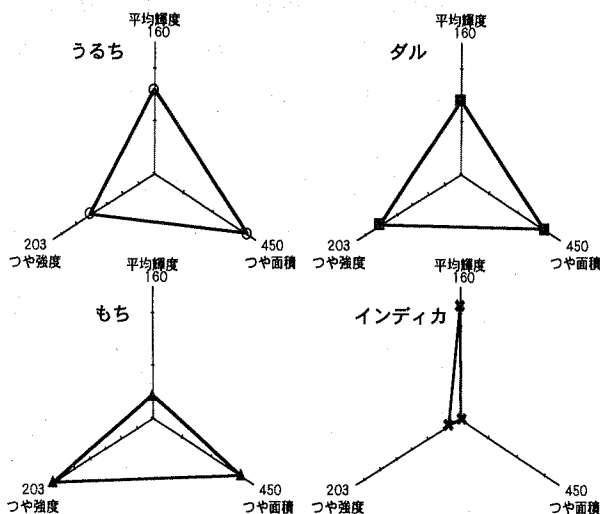
白さとつやをあわせた総合的な外観の違いを比較するため、各品種を2次元座標軸上にプロットして示した(図IV-1-12)。この図で比較すると北海道米と府県品種の違いがより明瞭となった。北海道米はゆきひかりに比較して、それ以後に育成された品種は炊飯米の白さ、つやとも明らかに向上しており、特に白さに関しては府県産にかなり近づいている。しかし、つやに関しては府県品種との差は依然として大きく、この点に関してはなお改善の余地があると考えられる。

2) 炊飯米外観の総合的評価法の検討

これまでの検討では、炊飯米の白さとつやを別の特性として評価法の検討を進めてきたが、これらを総合した一つの「外観」としてとらえ評価することもまた重要と考えられる。そこで、白さとつやに関する3つのパラメーターを用いて、総合的な外観評価をおこなうための



図IV1-14 試料毎のつや面積とつや強度の関係



図IV1-15 トライアングルレーダーチャートによる各種炊飯米のイメージ評価

手法について検討を加えた。

検討に当たって、先に示した北海道および府県の良食味品種の他に、外観的に大きな特徴を持つインディカ米のホシユタカ、もち品種としてはくちょうもち、風の子もち、上育425号、ダル品種として彩、はなぶさ、上育422号を加え、より外観的に広範な試料を含めて評価した。

まずこれらの米をもち、ダル、うるち、インディカに分類し、前章で設定した3つのパラメーターについてそれぞれ比較し図IV1-13に示した。

白さのパラメーターである平均輝度値は、インディカ ≫ うるち ≧ ダル ≫ もちの順となった。もちの平均輝度が極端に低い理由は、黒ずんでいるわけではなく、もちを炊飯した場合に出る透明なおねばが、輝度的には低く計測されるためと考えられる。つや面積については、インディカが極端に低い他はうるち、ダル、もちともほとん

ど違いがみられなかった。一般的にダルは、うるち米と異なる独特の外観を持つと評価されることが多いが、平均輝度とつや面積の測定のみではこの違いは表現されていなかった。そこで、つやに関するもう一つのパラメーターであるつや強度を比較すると、ダルともちは、うるちより明らかに高い値を示した。これは、ダルやもちがうるちに比較して強いつやを持つ特徴があることを示しており、この特性が独特の外観を呈する要因であると分析できた。つやに関するこの特徴をより明確にするため、つや面積とつや強度の2次元座標軸に供試試料をプロットした(図IV1-14)。

図IV1-14に示されたように、ダルやもちでは、うるち米に比較して、つや面積に対するつや強度の比が大きい特徴が示されており、これがだるやもちの特徴的な外観を示しているものと考えられる。従って、うるち米のみの集団の評価では、つや強度測定の意義は小さかったが、ダルやインディカ系統の育成材料が入った集団を評価する場合には、つや強度をあわせて評価することにより、これらの系統に特徴的な外観もあわせて評価することが可能になると考えられた。

次に、このように3つのパラメーターで表される米の外観を一つの総合的なイメージとして表現するために、各パラメーターをトライアングルレーダーチャートにプロットし、3角形の大きさや形により評価することを試みた。

図IV1-15には各試料をもち、ダル、うるち、インディカにまとめてそれぞれの特徴を示した。

これらのトライアングルレーダーチャートにより各種米の特徴を相対的に比較すると、うるちとダルは、全体的に似ているが、うるちの方がつや面積側に張り出した3角形になっている。これらに比較すると、もちは、極端に横長でつや強度側が張り出した特徴的な3角形であらわれた。また、インディカは極端な縦長の3角形であらわれ、横の広がりほとんどない3角形としてあらわれた。

このように、炊飯米の外観を3つのパラメーターによる3角形で表現することにより、さまざまな米の外観的特徴が一目でイメージできることから、育成材料の特徴把握の他にも、ブレンド米の外観評価などにも応用できる可能性があると考えられた。

4 小括

炊飯米の外観を少量の試料で迅速に客観評価する方法を開発するために、画像解析装置の応用を試みた。炊飯米の外観を測定するための測定パラメーターの設定をおこない、少量炊飯条件および画像取り込み時のばらつきについても検討を加えた。また、画像解析測定値と官能評価との関連性を検討して、炊飯米の外観を評価する方法としての有効性について検討した。得られた結果は次の通りである。

1) 炊飯米の白さを画像解析により測定するためのパラメーターとして、画像の平均輝度値を設定し計測したところ、官能評価値と有意な相関関係が認められた。炊飯米のつやを画像解析により測定するためのパラメーターとして、画像中の高輝度部分を抽出し、累積画素数を計測したところ、官能評価値と有意な相関関係が認められた。また、この閾値として輝度値185を設定した。これらの測定パラメータを用いて、画像解析をおこなうことにより、炊飯米の外観を客観的に機器測定することが可能と考えられた。

2) 炊飯時の加水条件について検討し、白米重量比1.5倍に統一した。画像取り込み時のばらつきおよび炊飯ロットによる測定値のばらつきは小さく、十分な再現性が得られた。設定した測定スキームに従えば、25gの白米試料で、1日に約100点程度の測定が可能となった。

3) 北海道米の炊飯米は、白さの点では府県品種に近づいていると評価できるが、つやに関しては明らかに劣っており、この点が外観上の重要な改善点であると考えられる。

4) 一世代前の北海道米である「ゆきひかり」に比較して、それ以降に育成された良食味品種は、平均輝度、つや面積とも高く、食味とともに外観品質も向上していることが明らかとなった。

5) 炊飯米の外観を総合的に評価するために、①平均輝度、②つや面積、③つや強度を3つの要素として、トライアングルレーダーチャートにプロットしたところ、さまざまな米の外観的特徴がイメージしやすい形で表現できた。

第2節 米粒中貯蔵蛋白質組成測定法の検討と

変動要因解析

1 背景と目的

前章で明らかにしたように、北海道米の品質および食味向上にとって蛋白含有率を低下させる技術開発が求められているが、今後さらに北海道米の食味を高度化させるためには、量的な検討に加えて蛋白質の質的な解析も必要となる。

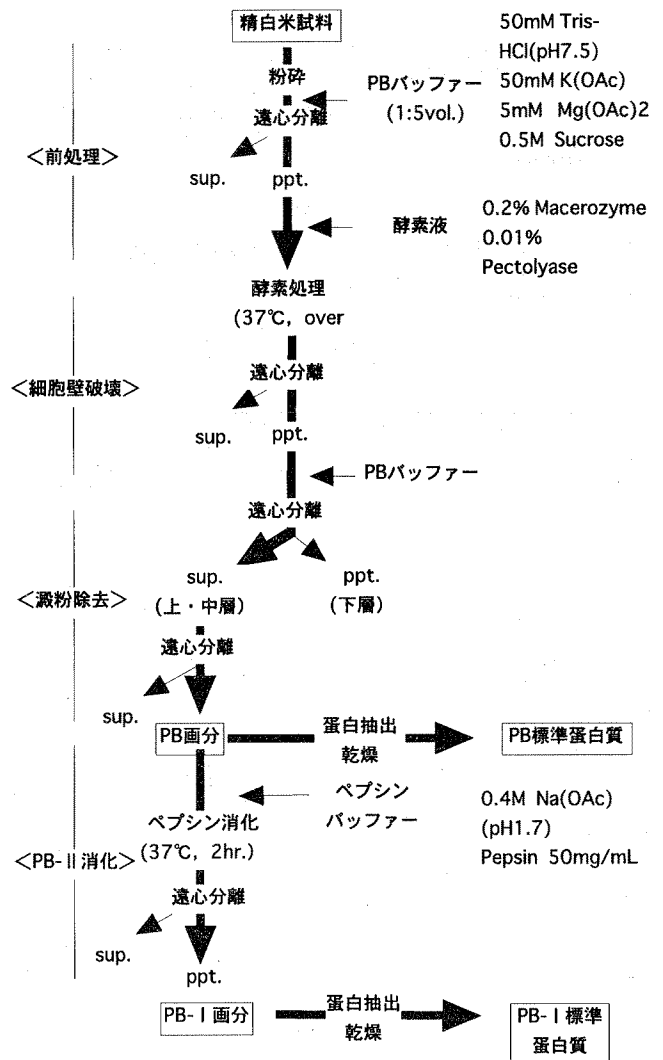
近年米の胚乳中には、性質の異なる2種類の蛋白質貯蔵体（プロテインボディ-I, II:以下PB-I, II）が存在することが明らかにされ、基本的な特性が報告されている（Tanaka *et al.*, 1980）。それによると、PB-Iは直径2 μ m程度の球形状で内部に同心円様のラメラ構造（田中, 1979）を持ち、主にプロラムインの貯蔵体となっている。一方のPB-IIは3~5 μ mの不定形でブロック状の構造（Yamagata *et al.*, 1986）を持ち、グルテリンおよびグロブリンの貯蔵体となっている。米の品質にとっての両PBの重要な違いは、顆粒構造の強固さである。田中ら（1986）は、圧力釜で炊飯後の米粒胚乳部を電子顕微鏡観察したところ、澱粉粒およびPB-IIは破壊され原形をとどめていなかったが、PB-I顆粒は炊飯後も形を崩さず原形をとどめていた事を報告している。また、このPB-Iの顆粒構造の強固さは、消化酵素に対する抵抗性にも結びついており、消化を逃れ人糞中に排泄される事が報告されている（Tanaka *et al.*, 1975）。

現在のところ、これら2種類の蛋白質と米の品質・食味・加工適性との関連については明らかではないが、それぞれが異なる影響を及ぼす可能性が高く、両者を別個に評価する必要がある。そこで本節では、2種類の貯蔵蛋白質を簡易に分画定量する方法を開発し、蛋白質組成の変動要因解析と食味特性との関連性について検討するとともに、北海道米の特徴を明らかにすることを目的とした。

2 研究方法

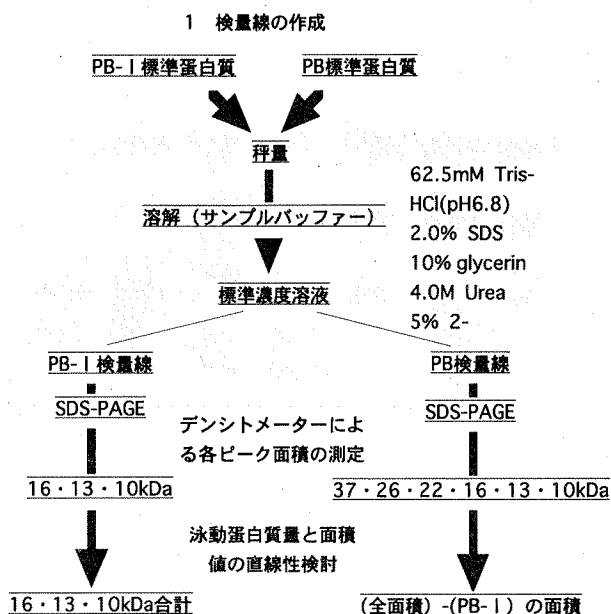
2-1 米粒中貯蔵蛋白質の分画定量法の検討

90%精白米をブラベンダーテストミルで粉碎し、50メッシュのふるいを通過した白米粉を試料とした。白米粉に5倍量のPBバッファー（組成：図IV2-1参照）を加

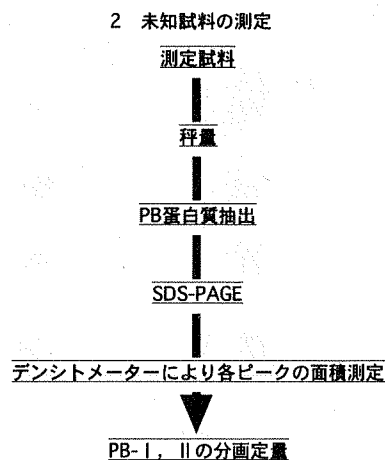


図IV2-1 PB-I, IIの分画精製と標準蛋白質の調製手順

え5℃で2時間振とうした後5,000gで10分間遠心分離し沈澱を得た。沈澱に5倍量の酵素液を加え37℃で1晩振とうした後遠心分離により沈澱を得た。沈澱に5倍量のPBバッファーを加え振とうした後50gで20分間遠心分離した。この操作により懸濁液は3層に分離するが、主にPB画分が含まれる上層および中層をピペットで採取し下層の澱粉を除去した。この懸濁液をPB画分として以後の段階に用いた。PB画分から遠心分離によりPBバッファーを除去した後、5倍量のサンプルバッファーを加え室温で2時間振とうした。遠心分離により得た上清に1/10量の100% (W/V) トリクロロ酢酸 (TCA) を加えて4℃で2時間放置し蛋白質を沈澱させた。遠心分離により得た沈澱をアセトンで2回洗浄し真空乾燥させた粉末試料をPB標準蛋白質とした。PB画分からPB-Iのみの標準蛋白質を精製するために、ペプシンを用いて



図IV2-2 PB-I, II分画定量のための検量線の作成



図IV2-3 PB-I, II分画定量のための未知試料の測定手順

PB-IIを消化分解することを試みた。ペプシン濃度、消化時間について検討し、遠心分離により得た沈澱をPB-I画分とした後、同様の方法によりPB-I標準蛋白質を調整した。精製スキームを表、図IV2-1に示した。

電気泳動はLaemmli (1970) によるSDS-PAGE (SDS ポリアクリルアミド電気泳動) 法を用いた。泳動条件は、15cm×10cm×1mmのスラブゲルを用いアクリルアミド濃度は16%、電流は20mA/1枚・constantとした。PBおよびPB-I標準蛋白質をそれぞれ10, 30, 50, 100 μg/レーンに調整したスタンダードを泳動し、CBB染色後デンシトメトリーに供した。

染色後のゲルをアタゴ社製デンシトメーター、デンシトマスターケミックを用い各バンド毎のピーク面積を測定した。この際PB-I構成ポリペプチドである、分子量16, 13, 10KDaのバンドの面積およびPB-II構成ポリペプチドである37, 26, 22KDaのピーク面積をそれぞれ別に測定し、スタンダード試料の蛋白質泳動量との関係を検討した。

測定試料は秤量後、PBバッファーにより遊離のグロブリン画分を除去し、PB画分の蛋白質をサンプルバッファーにより抽出してSDS-PAGE、デンシトメトリーに供した。定量は測定試料の16, 13, 10KDaの面積を測定し、同時に泳動したPB-Iスタンダードの面積との比例計算によりPB-I量を算出した。さらに57, 37,

26, 22KDaを加えた面積を測定し、PBスタンダードの面積との比例計算からPB全量を算出し、PB-I量との差をPB-II量とした。以上の方法をスキームにして図IV2-2, 3に示した。

2-2 貯蔵蛋白質組成と品質との関連性解析および北海道米の特徴

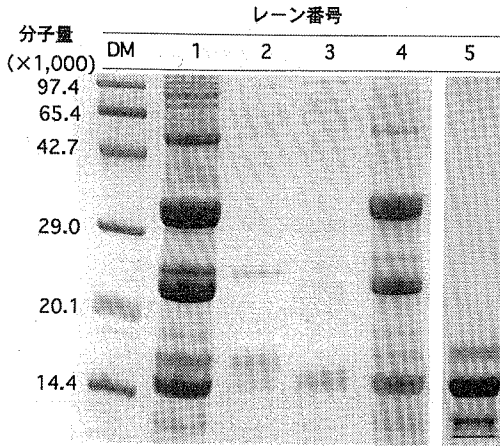
北海道および府県品種の比較を行うために、生産年次(1991~1995年)および品種(北海道8品種・189点、府県6品種・84点)が異なる試料について、前節の方法に基づきPB組成を測定した。また、同試料に対して白度およびRVAを用いた熱糊化性の測定を行い、米の外見形質および食味特性に対する解析をおこなった。

2-3 培養変異を利用したPB組成の変異探索

培養変異体により得られた米粒(空育139号の培養変異試料, 214点)を用い、粒毎に蛋白質組成の変異を測定した。

2-4 米粒中蛋白質の集積過程の解析

長沼町灰色台地土水田において、ゆきひかり、きらら397、彩(成苗ポット苗)を、栽培した。各品種の出穂(ゆきひかり; 7/25, きらら397; 7/28, 彩; 8/1)後、3日~15日後までおよび成熟期に穂をサンプリングした。蛋白質の分析は、籾から内容物を抽出しアセトンにより洗浄、脱水乾燥した後秤量し、溶媒分画によりグロブリン画分およびPB画分に分画した。またそれぞ



図IV2-4 PB精製過程のSDS-PAGE

レーン1: 全蛋白質, 2: PBバッファー抽出上清,
3: 酵素処理上清, 4: 精製PB画分, 5: PB-I画分

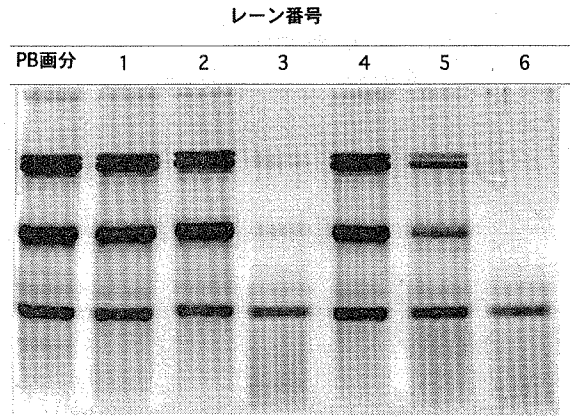
れについてSDS-PAGE後CBBで染色し各バンドの定性およびデンストメーターによる定量をおこなった

3 結果および考察

3-1 米粒中貯蔵蛋白質の分画定量法の検討

これまで米粒中貯蔵蛋白質の簡易な分画定量法はなく、品種や産地など変動要因の解析や、米の品質・食味・加工適性ととの関連性解析の障害となっていた。そこで本節では、ポリアクリアミド電気泳動 (SDS-PAGE) とそのデンストメーター分析によりこれらを簡易・迅速に分画定量する方法について検討した。

図IV2-4にPBおよびPB-I 精製過程のSDS-PAGE結果を示した。米胚乳中には多くの蛋白質のバンドが認められる (レーン1) が、これらには蛋白質貯蔵体 (PB) の外にある遊離蛋白質も含まれるためこれを除去する必要があった。PBバッファーは、PBのオルガネラ構造を保持したままグロブリン画分の蛋白質を抽出するために用いた。レーン2はPBバッファーにより抽出された26, 16KDaの遊離グロブリン蛋白質である。レーン3は酵素処理後の上清である。酵素処理は細胞壁を分解し、PBからの蛋白質の抽出効率を高めるために行った。レーン4はPB画分のSDS-PAGEであるが、高分子領域の57, 37, 26, 22KDaのバンドはPB-IIに含まれる蛋白質であり、溶媒分画ではグルテリン(37, 22KDa)およびグロブリン(26KDa)である (Tanaka *et al.*, 1980)。また、低分子領域の16, 13, 10KDaのバンドはPB-Iに含まれる蛋白質であり溶媒分画ではプロラミンに当たる

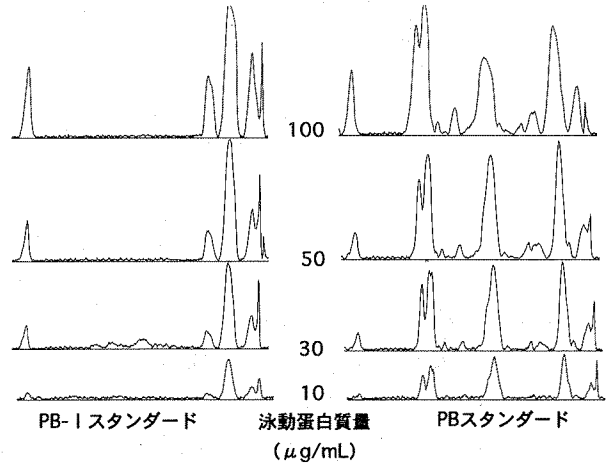


濃度 (μg/mL) 1 5 50 1 5 50
反応時間 1時間 2時間

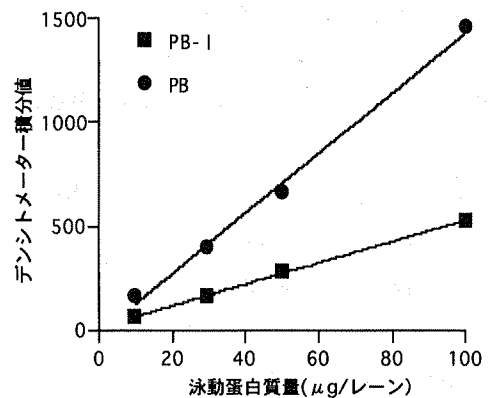
図IV2-5 PB-I 精製のためのペプシン消化条件の検討

(Ogawa *et al.*, 1987)。レーン5はペプシン消化後のPB-I画分であるが、ペプシンによりPB-IIは消化され37, 26, 22KDaのバンドは消失していることからPB-Iのみに精製されたことを示している。

ペプシンによるPB-IIの消化条件を事前に検討した結果を次に示す。ペプシン消化に際してペプシンの濃度を



図IV2-6 標準蛋白質SDS-PAGEのデンストグラム



図IV2-7 標準蛋白質による作成した検量線

1, 5, 50 $\mu\text{g}/\text{mL}$, 反応時間を1時間, 2時間に比べて消化の程度を比較した. 図IV2-5に示したようにペプシン濃度50 $\mu\text{g}/\text{mL}$, 反応時間2時間の条件でPB-II蛋白質がほぼ完全に分解されPB-Iの蛋白質のみが残る結果となったためこの条件により精製を実施した.

図IV2-6にPB-IおよびPBスタンダードSDS-PAGEゲルのデンストグラムを示した. PB-I, PBとも10~100 μg の範囲では良好な泳動状態であり, 蛋白質量が增加するにしたがって各バンドの染色濃度は増加していた.

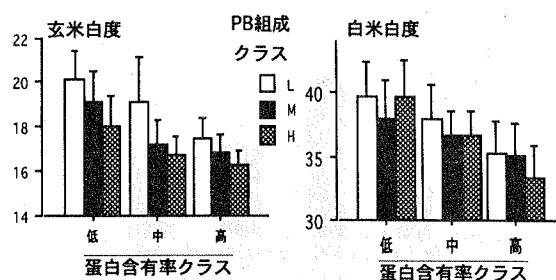
このデンストグラムからピーク面積を測定し, 泳動蛋白質量との関係を示したのが図IV2-7である. PB-IおよびPBともに, この濃度範囲では蛋白質量とピーク面積の間に密接な関係が認められ, デンストメトリーによりこれらを分画定量できることを示すものと考えられた.

米粒中に含まれる蛋白質と食味の関係をより詳細に解析するためにPBの分画定量法について検討を加え, SDS-PAGEとデンストメトリーの組み合わせにより, 従来の分画抽出後にN定量する方法よりも, 簡易に分画定量できる方法を開発した. 今後はこの方法を用いてPBの品質・食味や加工適性に対する影響を詳細に検討することが重要と考えられる. また, 育種選抜に対しては, 良食味品種に加え, 低グルテリン, 低プロラミンなど特殊な用途の米の開発に対しても有効な検定法となることが期待される.

3-2 貯蔵蛋白質組成と品質との関連性解析および北海道米の特徴

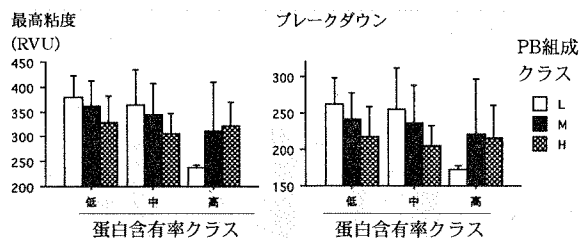
前項では, 米貯蔵蛋白質中のPB-IとIIの相対比率(以下PB組成とする)の簡易測定法について検討した. 本項ではPB組成と米の品質について検討を加えると共に, 変動要因解析を行い, 府県品種に比較した北海道米貯蔵蛋白質の特徴を検討する.

米の外見品質・食味特性は, 前章で明らかにしたように蛋白質含有率の影響を強く受けるため, 測定試料の蛋白質含有率を低(70g/kg未満), 中(70~79g/kg), 高(80g/kg)以上の3クラスに区分し, 各クラス毎にPB組成が品質に及ぼす影響を解析した. PB組成はPB-Iの比率が22%未満のL, 25%以上のHクラスおよび中間のMクラスの3区分で比較した. 図IV2-8に玄米および白米の白度とPB組成の関係を示した. 玄米および白米の



図IV2-8 蛋白質含有率別PB組成と白度の関係

*バーの高さは平均値, 誤差線の幅は標準偏差を示す
蛋白質含有率クラス: 低<70mg/g ≤ 中<80mg/g ≤ 高
PB組成クラス (PB-I比率): L<22% ≤ M<25% ≤ H



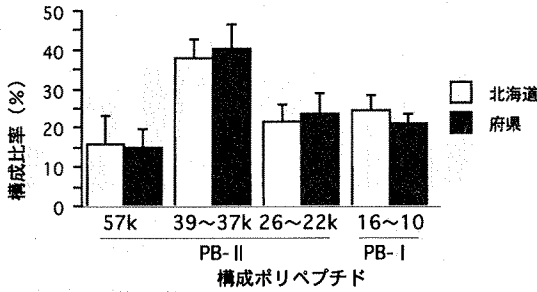
図IV2-9 蛋白質含有率別PB組成と熱糊化性の関係

*バーの高さは平均値, 誤差線の幅は標準偏差を示す
蛋白質含有率クラス: 低<70mg/g ≤ 中<80mg/g ≤ 高
PB組成クラス (PB-I比率): L<22% ≤ M<25% ≤ H

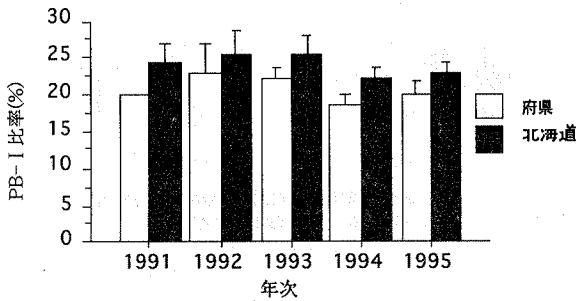
白度は, 蛋白質含有率クラスが低いほど高い傾向が認められた. PB組成との関係では, 玄米白度は同一蛋白質含有率クラス毎に比較すると, PB-I比率が低いほど白度が高い傾向が認められた. また, 白米でも玄米ほど明瞭ではないが同様の傾向であった. このことから, PB組成も白度と何らかの関連性があり, 白度の面からはPB-Iの比率が低い方が望ましいと判断された.

次に, 白米粉の熱糊化性とPB組成の関係を検討した. 白度と同様に各蛋白質含有率クラス毎に分割して, PB組成クラス毎のRVA最高粘度とブレイクダウンを比較して図IV2-9に示した. 蛋白質含有率が80g/kgを越える高蛋白質試料を除くと, 同程度の蛋白質含有率であれば, PB-Iの比率が低い米の方が熱糊化性が良好な傾向があることが明らかとなった. 田中ら(1986)によると, PB-Iは炊飯によってもその構造は破壊されず, 胚乳細胞と結合した形で残存するために, 澱粉粒の吸水や糊化を阻害する可能性があるとしており, 本結果はこの仮説を具体的に裏付けるものと考えられた. 米の外見形質および熱糊化性の面からは, 蛋白質含量だけではなく, PB-Iの比率が低い方が有利である可能性が示された.

本項では, 1991年~1995年にかけて, 北海道および府県の代表的な米品種について, 前項で用いた方法によ

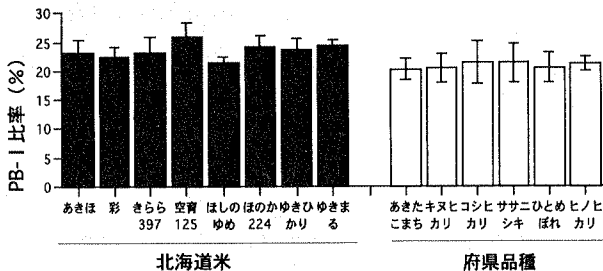


図IV2-10 府県および北海道米のポリペプチド組成の比較
*バーの高さは平均値、誤差線の幅は標準偏差を示す



図IV2-11 PB-I 比率の府県・北海道比較
*バーの高さは平均値、誤差線の幅は標準偏差を示す

り貯蔵蛋白質のSDS-PAGEを行い、そのデンシトメトリーからPBを構成するポリペプチド組成を比較した(図IV2-10)。図は全体の平均値と標準偏差を示す。北海道、府県品種とも各ポリペプチド比率の変異は、年次、品種を込みにしても比較的小さく、それぞれほぼ一定の構成割合を示した。しかし、北海道と府県品種について概観すると若干の差異が認められた。北海道米は府県品種に比較して、37および22kDaポリペプチドの比率がやや低く、16~10kDaポリペプチドの比率が明らかに高かった。このことは、北海道米のPB-I 比率が府県より有意に高い傾向にあることを示すものであった。北海道と府県品種の違いをさらに解析するため、各年次毎にPB-I 比率を比較したところ(図IV2-11)、北海道、府県とも年次間差が認められ、1991~1995年での変動は



図IV2-12 府県および北海道米の品種別PB-I 比率の比較
*バーの高さは平均値、誤差線の幅は標準偏差を示す

類似のパターンを示した。しかし、いずれの年次においても北海道米のPB-I 比率は府県品種より3~5%程度安定的に高く、この関係が逆転する事はなかった。

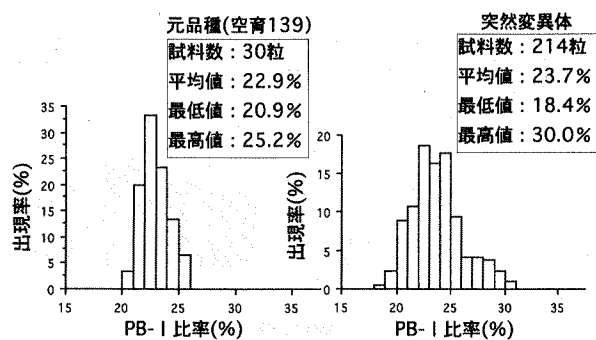
次に、品種毎に分割して比較を行い図IV2-12に示した。北海道、府県とも全般的にPB-I 比率の品種間差は小さなもので、ほぼ20~26%の範囲にあった。特に府県品種内での違いは小さく、いずれの品種も21%前後で明確な品種間差は認められなかった。北海道米内では、ほしのゆめが他品種よりやや低く、唯一府県品種と同程度の値であったが、他の品種は全て府県品種より高いPB-I 比率を示した。

以上北海道と府県品種間のPB-I 比率の比較分析についてまとめると、いずれの年次、いずれの品種で比較しても、北海道米のPB-I 比率は府県品種に比較して安定的に3~5%程度高いことが明らかとなり、これがPB組成の上での北海道米の大きな特徴であることが明らかとなった。先に示したように、PB組成は米の品質とも密接に関わっており、PB-I 比率が高い特性は米の食味特性上マイナス要因となっている可能性が高いと考えられた。

3-3 培養変異を利用したPB組成の変異探索

前項での解析から、PB組成の一般品種間での差は比較的小さいことが明らかとなった。これは、将来北海道米のPB組成を制御するためには通常の交配では変異が生じ難いことを示すと考えられた。人為的な突然変異を誘発させる手法として、Kumamaruら(1988)はMNU(N-methyl-N-Nitrosourea)を用いた処理により、PB組成に関する多くの変異体を得ている。また、γ線照射によるPB変異体を母本とした低グルテリン系統の育成もなされている(農林水産省農業研究センター, 1999)が、これらの手法を用いるためには特殊な薬品や特別な施設が必要である。一方、組織培養による再生植物体にも体細胞突然変異が高頻度に発生することが報告されている(Larkin et al., 1981)。著者らは特殊な薬品や特別な施設がなくとも変異体が簡易に得られるこの培養変異に着目し、PB組成に関する変異体作出の可能性について検討した。

図IV2-13に培養変異個体より得られた米粒214粒と変異前元品種(空育139号)のPB-I 比率の頻度分布を示した。また、図IV2-14にはこの測定で得られた最もPB-I 比率の高い変異体と低い変異体のSDS-PAGEを



図IV2-13 培養変異によるPB組成変異体の出現頻度分布

示した。培養変異により、PB-I比率の変異幅は明らかに広がり（元品種の変動幅を越える変異体出現率は32.2%）、18.4%から30.0%まで（平均23.7%）の変異体を得ることができた。この変動幅は、北海道と府県を含めた全品種間の変動幅とほぼ等しいことから、将来特定のPB-I比率を持つ系統の作出をする場合に、培養変異は有効な手法となると考えられた。

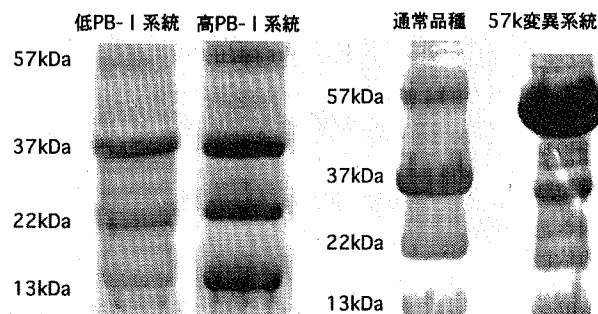
また、PB-I比率以外の変異として、57kDaポリペプチド部分の変異した系統が数例見いだされた(図IV2-15)。57kDaポリペプチドは、PB-II構成ポリペプチドである37,22kDaの前駆体であると考えられている（山形ら, 1987）。これらの系統は57kDaに比較して、相対的に37, 22kDaポリペプチドの比率が低いことから、前駆体からの分裂が阻害される変異であると推察された。

以上のように培養変異は、かなりの高率でPB組成変異体が出現することから、今後さらに、次世代への遺伝性や品質との関連性解析を進めることにより、新たな特性を持った品種開発のための有効な手法となりうると考えられた。

3-4 米粒中蛋白質の集積過程の解析

北海道米の貯蔵蛋白質の組成を制御する方策としては、前項での突然変異体の利用に加えて、水稻の栽培技術による制御の検討も重要になると考えられる。そこで本項では、米粒への蛋白質の集積に関する基礎的知見を得るために、水稻の登熟期間における蛋白質の集積推移について検討を加えた。

図IV2-16に登熟にともなう粒重の増加と蛋白含有率の推移を示した。粒重は出穂後3日目から肥大をはじめ、15日後では成熟期の約4割に達する。また、蛋白質も出穂初期から集積が開始され、粒の発達とともに増加



図IV2-14 培養変異による13kDa比率の変異例

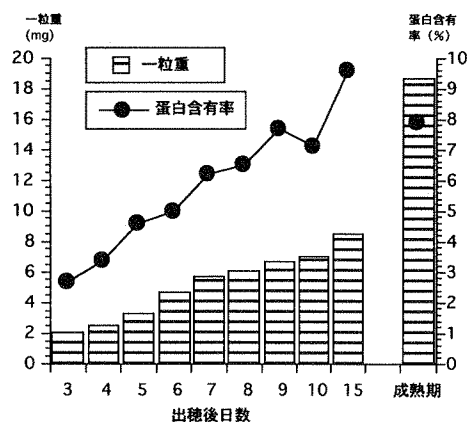
図IV2-15 蛋白質組成変異系統の一例

した。

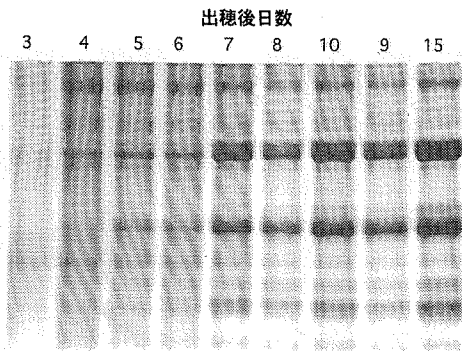
図IV2-17に出穂後日数にともなうPB画分のSDS-PAGEを示した。57, 37Kdaのバンドは出穂後3日目から認められ、5日目からは22Kda, やや遅れて7日目から13Kdaのバンドが出現した。

図IV2-18にPB蛋白質の集積量をPB-IとIIに分けて示した。貯蔵蛋白質全体の推移をみると、出穂直後から直線的に増加し、15日後で成熟期の約6割が集積された。また、PB-IとIIの比率をみると、成熟期ではPB-IIが約7割、PB-Iが3割であるが、登熟初期ではPB-IIの集積が速やかで、出穂15日後には成熟期の7割程度に達していた。一方PB-Iは、PB-IIに遅れて出穂7日後から出現するが、その後の増加は緩慢で、出穂15日後では成熟期の4割程度であった。

以上のことから、PB-IIは主に登熟前半の集積比率が高く、PB-Iは登熟の後半に集積される比率が高いものと考えられた。これは水稻登熟期のN供給のコントロールによりPB組成を制御できる可能性を示すものと考えられた。



図IV2-16 登熟に伴う粒重および蛋白含有率の推移

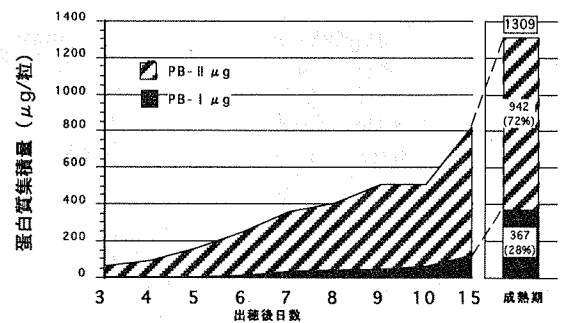


図IV2-17 PBポリペプチドの蓄積過程 (SDS-PAGE)

4 小括

米粒中に含まれる蛋白質と食味の関係をより詳細に解析するためにPBの分画定量法およびその変動要因について検討を加え、以下の結果を得た。

- 1) SDS-PAGEとデンストメトリーの組み合わせにより簡易に分画定量できる方法を開発した。この方法を用いてPBの品質・食味や加工適性に対する影響を詳細に検討することが可能になると考えられた。また、育種選抜に対しては、良食味品種に加え、低グルテリン、低プロラミンなど特殊な用途の米の開発に対しても有効な検定法となる。
- 2) 米の外見形質および熱糊化性の面からは、蛋白質含量だけではなく、PB-Iの比率が低い方が有利である可能性が示された。



図IV2-18 PB蛋白質の集積推移

- 3) 北海道と府県品種間のPB-I比率の比較分析についてまとめると、いずれの年次、品種でも、北海道米のPB-I比率は府県品種に比較して安定的に3~5%程度高いことが明らかとなり、これがPB組成の上での北海道米の大きな特徴であることが明らかとなった。
- 4) 培養変異は、かなりの高率でPB組成変異体が出現することから、今後さらに、次世代への遺伝性や品質との関連性解析を進めることにより、新たな特性を持った品種開発のための有効な手法となりうると考えられた。
- 5) PB構成ポリペプチドは、穂の肥大極初期から一部集積が認められており、集積開始時期はポリペプチドにより異なった。PB-Iの集積は、PB-IIより遅れて開始し、出穂15日以降の集積割合が高かった。

第3節 北海道もち米の加工適性向上に関する技術開発

1 背景と目的

北海道は、集約的産地形成における生産カテゴリーの一つとして「もち米専作団地による安定的・集約的な高品質もち米産地形成」を掲げ、もち米生産の高品質化を重要な政策として位置づけている。これには、北海道内のもち米が、気象条件が厳しく他の作物や良食味うるち品種の作付けが困難な地域に作付されており、これら地域の重要な基幹作物として栽培されてきた事が背景となっている。しかし、それにもかかわらず北海道もち米は、従来から加工実需者に対する評価が低く、安定的な需要の確保が難しかった。これには、生産地域の厳しい気象条件に加えて、もち米についての技術研究の立ち遅れの影響も否めない。これまでの北海道米に関する品種開発および栽培技術研究は、ほとんどがうるち米に集中しており、もち米に関するものはわずかであった。そのため、北海道もち米に関しては、その品質を飛躍的に高度化できる余地が残されており、今後、生産量全国第2位の巨大ロットの優位性を生かして、全国市場で確固たる地位を占めることができる可能性を秘めている。

北海道米の加工適性上の問題点として、碎米粒割合が高く、精米歩留まりが低い(柳瀬ら, 1981), 硬化性が低い(江川ら, 1990, 柳瀬ら, 1982), アミログラム特性のうち糊化開始温度, 最低粘度, コンシステンシーが低い(柳瀬ら, 1982), もち生地の膨化伸展性が低い(柳瀬ら, 1984), 白色度が特に低い, また, 素焼き製品の性状が伸び不足・肌あれ・強い黄色味で劣る(有坂ら, 1988)といった問題点が指摘されているが, これらのデータは府県産品種との比較として, 1~数点づつの試料の分析結果であり, 測定法もその都度異なるものである。北海道もち米の加工適性を主題として, 統一的な測定法により系統的な多数試料を測定したのではない。

そこで本節では, これまで詳しく検討される機会がなかった北海道もち米の加工適性に焦点をしばり, 実需者による加工・製造試験から北海道もち米の欠点を抽出した上で, それらを数値化する測定法を開発することを目的とした。また, 北海道もち米の加工適性向上に有効となる分析項目を設定し, 多数点試料の分析から現況の正確な評価と目標値を数値化し, 加工適性の高い新品種育

成のための検定法として選抜段階に効率的に組み込むスキームを作成する事を目的とした。

2 研究方法

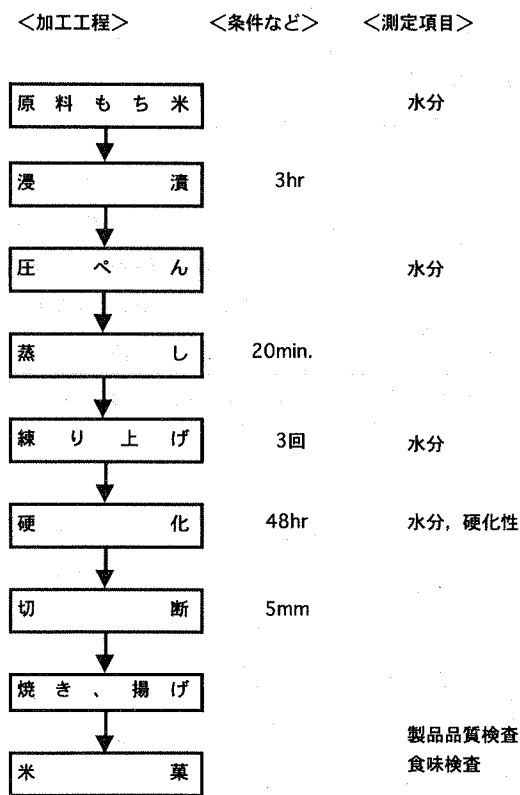
2-1 北海道もち米の加工・製造試験

北海道もち米の実需現場での加工適性の問題点を明らかにするために, 米菓加工工場において小規模な製品製造試験を行い, 加工工程上の問題点の抽出および製品の品質に関する評価を行った。試験は1993年に旭川市の野村製菓株式会社において, 供試もち米試料として, 北海道もち米(市販品), 府県産もち米(市販品), 「はくちょうもち」(北見農試), 他用途もち米(政府配給)を用いた。米菓製造方法は, 図IV3-1のようなスキームにより江戸揚げ(揚げ物)および丹尺(焼き物)を製造した。調査項目として, 製造過程での製造担当者による所見, 試料の水分, 硬化性の測定, 製品の品質評価, 食味試験を実施した。水分は105℃乾燥法(食品分析法)により, もち生地硬化性は, 5℃の低温庫に24および48時間放置した後に, 2-2で示した, レオメーター(サン科学)による方法で測定した。また製品の品質評価は工場の製造責任者により, 300gの製品について良品と不良品(不良理由別)に分別した。食味試験は, 農業試験場研究員20名をパネルとして, 各製品について北海道もち米を基準品(3)として項目毎に5段階評価した。

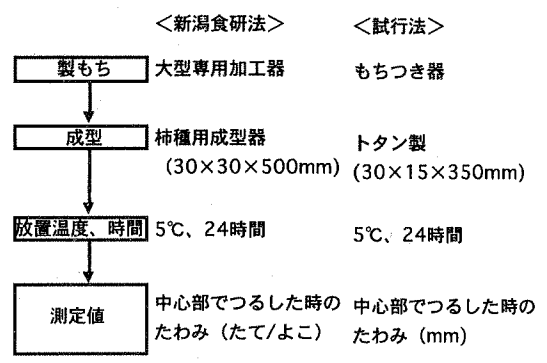
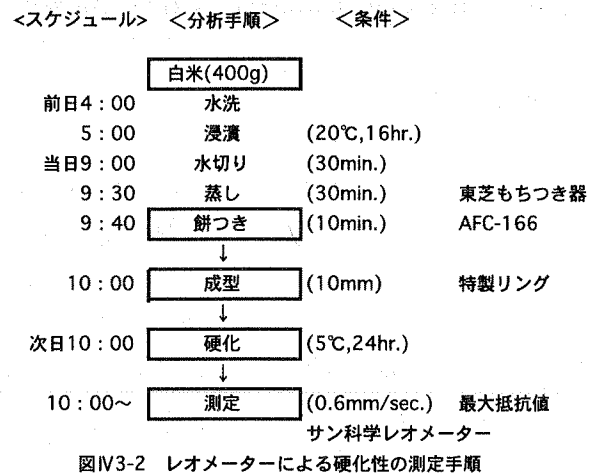
2-2 もち生地硬化性の評価と検定法の開発

1) レオメーターを用いたもち生地硬化性評価法の検討

供試試料は北海道もち米(8点)および府県産もち米(8点)90%精白米を用いた。測定条件は, もちを一定の厚さに成型すること, 吸水量を統一すること, もち水分を一定にすること, 放置温度を一定にする(5℃)ことなどに留意した。評価法の測定手順を図IV3-2に示した。各もち米試料は, 16時間水に浸漬後家庭用餅つき機(東芝もちっこ)を用い, 40分蒸煮, 15分つき(回転式)もち生地を調製した。もち生地を一定量とり, そのままガラス製成型器にはさみ, 生地の厚さが10mmとなるように各試料3反復づつ成型し, 5℃の低温庫で24時間冷蔵し硬化させた。硬化させたもち生地は, レオメーター(サン科学)を用いて, 太さ1mmの針を0.6mm/sec.のスピードで侵入させたときの最大抵抗値を(g)を測定した。測定は1もち生地について5回測定し, 平均値を求めた。また, 江川ら(1990)による方



図IV3-1 米菓加工工程の概略



法との整合性を確認するために、図IV3-3に示した手順により江川ら (1990) の方法を再現した。

2) RVAによるもち生地硬化性の簡易・微量・迅速測定法の検討

RVA測定条件の検討には、1994年北見農試産「はくちょうもち」と市販の府県産もち米を用いた。白米試料をブラベンダー社のテストミルにより微粉砕後、50meshのふるいを通過させた白米粉をRVA測定に供した。基本的な測定条件の検討項目として①サンプル量 (2, 3, 4, 5g) および②昇温速度 (3.3, 4.3, 6.5/分) について検討した。共通基本条件として、分析開始温度30℃、最高保持温度95℃、最高保持時間3分とた。また、αアミラーゼ活性の阻害を目的として、444mg/kg硫酸銅溶液を2mL添加した条件で測定を行い、得られたチャートの観察、糊化開始温度、ピーク時温度、最高粘度、ブレイクダウンを測定した。

もち生地硬化性との整合性の検討は、1) と同一のもち米試料16点に、1991年~1994年に、上川農試および北見農試で栽培されたもち米試料を加えた171点を用いた。この条件検討から得られた最適条件に従いRVAの測

定を行い、糊化開始温度、ピーク時温度、最高粘度、最低粘度、ブレイクダウン、最終粘度を測定し、レオメーター法による測定したもち生地硬化性との整合性を検討した。

2-3 北海道もち米の加工適性評価項目の比較分析

北海道もち米の加工適性評価項目の測定には、1991~1996年に上川農試および北見農試で栽培されたもち米品種・系統191点を用いた。比較として、1991, 1992, 1994年に入手した府県産もち品種16点を用いた。測定項目は白米白度、蛋白含有率、もち生地硬化性およびRVAピーク時温度で、白米白度の測定は白度計 (ケット社C-300) を用いて白度計マニュアルに従い3反復測定した。蛋白含有率はインフラライザー500 (プラン・ルーベ社) を用いた稲津 (1988) の方法により測定した。また、もち生地硬化性およびRVAピーク時温度は前述の方法に従い測定した。

3 結果および考察

3-1 北海道もち米の加工製造試験

加工業者の間では、北海道もち米は府県産に比較して

加工適性が劣るとする意見が多いが、これまではどのような項目がどの程度劣るかについて、具体的な項目としては示されたことはなかった。そこで、加工現場における具体的な問題点を抽出するために米菓の製造試験を実施し、各工程での試料の性状を比較観察した。

供試原料白米の性状を表IV3-1に示した。北海道もち米、「はくちょうもち」は白度が低く、加工担当者の外見評価も白度の測定値と対応するものであり、原料米の白度が低いもち米は製品外見も劣る傾向があるとの見解であった。

原料もち米は蒸し工程に先だって約3時間浸漬されるが、浸漬時間は製造担当者の判断により増減される。これは、蒸し前の吸水が多すぎると練り上げの段階でもち生地が軟弱になり、“だれ”、“べたつき”といった作業上の問題が発生するためである。3時間浸漬後の試料の水分は約350~400g/kgであり、府県産もち米と北海道もち米の明かな差は認められなかった。

練り上げの段階では、試料による明かな違いが観察された。触感による物性の比較では他用途もち米<市販北海道もち米=「はくちょうもち」<<府県産もち米の順に弾力、コシがあり、なめらかさもこの順序と評価された。

練り上がったもち米は直径約1m、高さ50cmの円筒状成型器に流し込まれ、その後の切断加工のために5℃の低温庫に約48時間放置され硬化される。切断工程は製品の外観品質、良品歩留りを左右する重要な段階であるが、もち生地が十分硬化していないと切断工程での不良品が発生しやすいため、加工現場ではもちの種類に合わせて

放置時間を調整している。

表IV3-2に5℃で放置後の各試料もち生地の硬化性を示したが、24時間後では府県産もち生地に比較して北海道もち生地は硬化性が低く、さらに48時間放置後でもその差は縮まらなかった。

硬化、切断後2種類の製品を実際と同様の工程で製造し、試料毎に製品300gを秤りとり、製造担当者により製品の品質判定をおこなった。表IV3-3に江戸揚げおよび焼き物(丹尺)の結果を示した。江戸揚げでは、府県産もち米が圧倒的に良品割合が高かった。北海道もち米は、のび、うきが悪い傾向であった。また政府他用途もち米は空洞割合が目立った。焼き物についても府県産もち米の良品割合が高く、他はふくれ物が多いために品質評価が低い結果となった。

さらに製品の食味試験を農業試験場職員をパネルとして実施した(表IV3-3)。食味試験は北海道もち米を基準(0)として±2段階の5段階法により行った。調査項目はやわらかさ、はざわり、きめ細かさ、後味、好き嫌いとした。江戸揚げでは、府県産もち米がいずれの項目でも高い評価となり製品品質の結果と一致した。評価の順序は府県産もち米に続いて「はくちょうもち」、北海道もち米、他用途もち米となった。「はくちょうもち」はやわらかさ、他用途もち米はきめ細かさ難点があるという特徴が認められた。丹尺の官能試験でも府県産もち米はやわらかさ、はざわり、きめ細かさの項目で評価が高かった。また「はくちょうもち」はやわらかさの評価が高く、好き嫌いの項目では最も高い評価となった。他用途もち米は、やわらかさでは北海道もち米より高い

表IV3-1 供試試料の性状

供試試料	水分 (g/kg)	蛋白含量 (mg/g)	白度
市販府県産もち米	141	82	53.1
北見農試産「はくちょうもち」	134	93	51.8

表IV3-2 供試試料の硬化性

試料名	硬化性 (g)	
	24時間後	48時間後
北海道もち米	78	538
府県産もち米	104	651
「はくちょうもち」	45	453
他用途もち米	37	353

図IV3-3 製品の品質および官能評価

1) 品質

試料名	江戸揚げ				焼き物		
	良	のび悪	浮き悪	空洞	良	裂け物	膨れ物
北海道もち米	47	28	14	11	70	8	22
府県産もち米	78	7.3	5.3	9.3	85	6	9
はくちょうもち	55	21	14	9.7	70	7	23
他用途もち米	43	18	15	23	72	9	19

2) 官能評価

試料名	江戸揚げ					焼き物				
	硬さ	歯触り	きめ	好き嫌い	合計	硬さ	歯触り	きめ	好き嫌い	合計
北海道もち米	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
府県産もち米	7	3	4	6	24	20	7	12	2	43
はくちょうもち	-4	3	4	2	6	15	4	1	4	24
他用途もち米	0	0	-6	2	-3	8	-3	-1	2	2

(北海道もち米基準、5段階法)

評価であったが歯ざわり、きめ細かさ、後味の評価がマイナスとなった。

以上の製造担当者の所見と製品評価による、府県産もち米に比較した北海道もち米の問題点は、①硬化速度が遅いため作業に支障をきたす。また、成型時に不良品が発生しやすい。②膨化性が低いため、製品品質が劣り官能評価も劣る。③白度が低くもち生地の外見品質が劣る、といった内容にまとめられた。

3-4 北海道もち米の加工適性向上のための評価・検定法の開発

米菓製造試験の結果から、北海道もち米の加工適性が劣るとされる最も大きな要因は、府県産もち米と比較して硬化性が低いことであると判断された。今後この欠点を改善する品種および技術の開発が必要であるが、その前提条件として、硬化性の違いを具体的な測定データにより数値化し、改善目標を明確化する必要があった。そこで、これまで簡易な測定方法がなく、数値的な比較が

困難であったもち生地硬化性の評価法の検討を行った。また、あわせて育成品種選抜に対応し、簡易・微量・迅速に硬化性が推定できる新たな検定法を開発するための検討を行った。

1) レオメーターを用いたもち生地硬化性評価法の検討

これまで、米の物性の測定はおもにテクスチュロメーターを用いて行ってきた。しかし、テクスチュロメーターは米粒での測定に適しており、もち生地のような試料には不向きである。また、もち生地硬化性の測定法については新潟県での研究（江川ら、1990）が進んでおり、柿種用に棒状に調整したもち生地を5℃で1日貯蔵後、中央部をつるしそのダレ具合を比較する測定法が開発されており、府県ではこの方法による硬化性の測定例が多い。この測定法は試料によるダレ具合の違いが、視覚的に明快に比較できる反面、測定ロット毎に均一な棒状加工が必要であるために、専用加工装置がない場合は測定条件の規格化が難しく、同一条件で多くの試料の比較が必要となる選抜検定法には適さない。そこで、より簡便で測定条件の規格化が容易な評価法を開発するために、硬化させたもち生地に針を進入させ、その抵抗値を測定する方法について検討した。

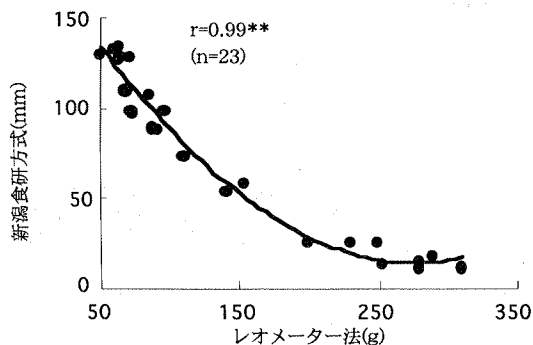
図IV3-2に示した手順により、北海道、府県産もち米の硬化性を測定した結果を表IV3-4に示した。北海道もち米は、府県産もち米より明らかに数値が低く、加工試験での結果と同様の傾向を示した。しかし、この方法で測定される最大抵抗値（g）がもち生地の硬化性を正しく反映しているかどうかを検証する必要があったため、既存の硬化性測定法との整合性について検討した。

図IV3-4に府県、北海道もち米を用いて分析したときの両分析法の関係を示したが、非常に高い相関が認められた。このことから、レオメーター法による硬化性の測定値は既存の方法による硬化性測定値と同様の硬化性をあらわしていると判断された。

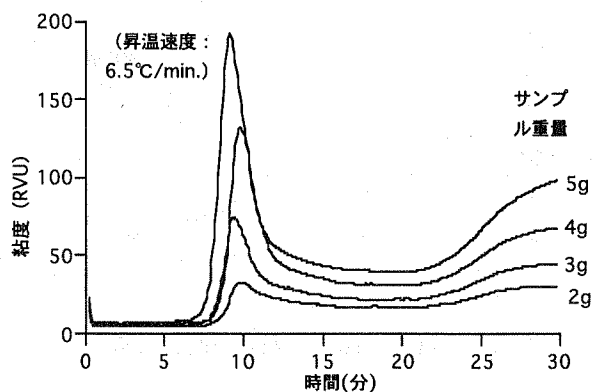
この測定法を用いることにより、これまで測定条件の規格化が難しかった、もち生地硬化性の測定が、簡易に効率よく可能となり、製造試験での品質評価に応用できると判断された。また、家庭用餅つき機を増やすことにより、約300gのもち米で、1日20試料程度の測定が可能のため、後期世代の育成材料の選抜や小規模な加工試験で有効に活用できるものと考えられた。

表IV3-4 各種もち品種の硬化性

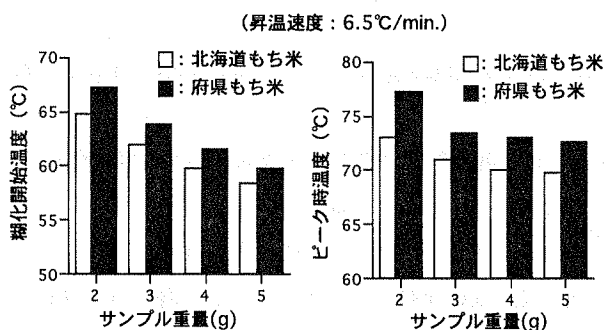
品種	産地	硬化性 (g)
ヒヨクモチ	佐賀県	198
ヒデコモチ	佐賀県	69
ヒデコモチ	福島県	279
みやこがね	宮城県	309
みやこがね	宮城県	253
とみちから	富山県	289
ひめのもち	秋田県	280
本州もち	市販品	249
府県品種平均		241
はくちょうもち	岩見沢市	109
はくちょうもち	北見市	91
おんねもち	岩見沢市	140
たんねもち	岩見沢市	96
北系90186	北見市	152
北系90231	北見市	63
上育糯417	岩見沢市	74
北海道もち	市販品	229
北海道もち米平均		119



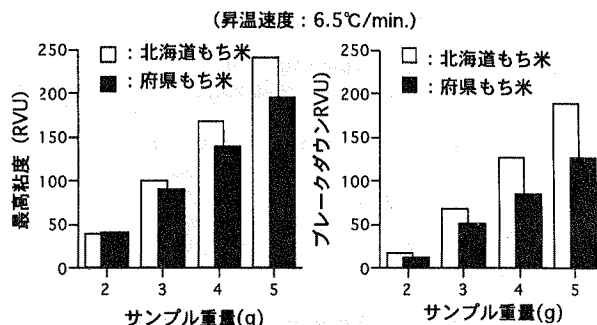
図IV3-4 硬化性測定法間の相関関係



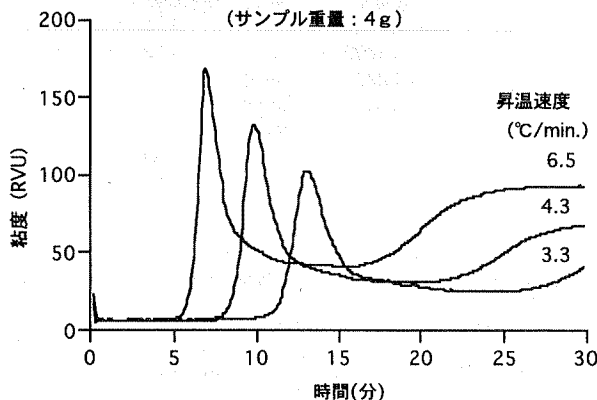
図IV3-5 サンプル重量の違いによるRVAチャートの変化



図IV3-6 サンプル重量と糊化開始およびピーク時温度の変化



図IV3-7 サンプル重量と最高粘度およびブレイクダウンの変化



図IV3-8 昇温速度の違いによるRVAチャートの変化

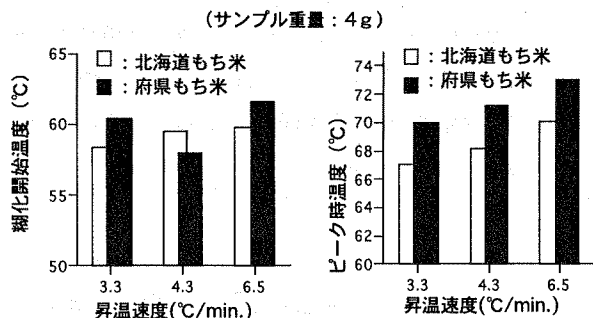
2) RVAによる簡易・微量・迅速測定法の検討

もち米地の硬化性をさらに微量で精度高く推定するために、RVA (RapidVisco Analyser) の導入を検討した。RVAはNewport Scientific 社が開発した回転粘度計である。この装置は、主に小麦粉粘度の測定に用いられるアミログラフを小型化したものであるが、使用する試料が3~5g程度で測定可能で、最高粘度値の測定時間も10分程度で完了するため、育成材料の検定など、少量・多数点試料の分析には極めて有効である。1994年には全国の試験研究機関が参加して、うるち米粉試料に対する測定条件統一のための検討が行われ、熱糊化性の測定に有効であることが示された(豊島ら, 1997)。しかし、この分析装置をもち米に適用した例はほとんどな

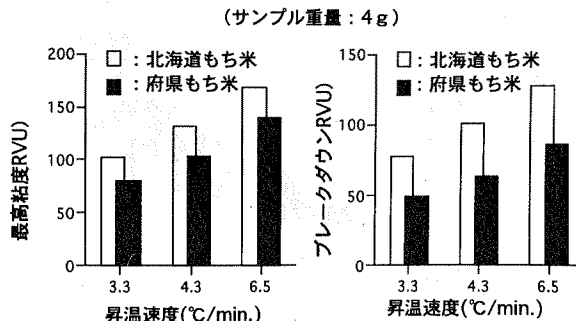
かったことから、基本的な測定条件の検討を行った。図IV3-5~7にサンプル重量を2~5g(乾物)に変えた場合に得られるチャートおよび測定値の変化を示した。測定条件の設定に当たっては試料間の差を明確に表し、測定時間および試料量ができるだけ少なくなる事を目標とした。

糊化開始およびピーク時温度、最高粘度およびブレイクダウンは、サンプル重量が増加するほど高くなる傾向が認められた。いずれの条件でも試料間の比較は可能であったが、2および3gでは最高粘度の絶対値および試料間の差がやや小さく、測定精度に問題が生じる可能性が認められたため、サンプル重量は4gと設定した。

同様に昇温速度についても検討し、図IV3-8~10に示



図IV3-9 昇温速度と糊化開始およびピーク時温度の変化



図IV3-10 昇温速度と最高粘度およびブレイクダウンの変化

表IV3-5 RVAの測定条件

サンプル重量：4g（乾物）		
加水量：25mL（硫酸銅添加）		
	時間（分）	温度（℃）
	0	30
温度設定	10	95
	13	95
	23	30

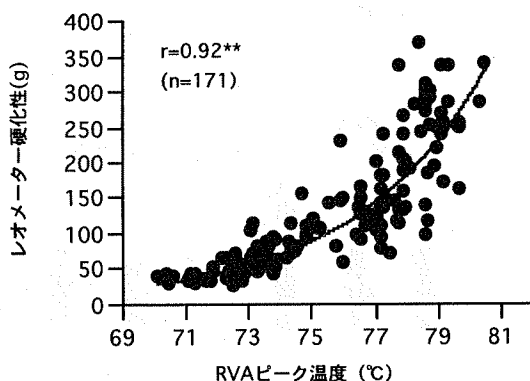
表IV3-6 RVA測定値と硬化性の相関係数

測定項目	単位	相関係数
糊化開始温度	(℃)	0.78 **
ピーク時温度	(℃)	0.92 **
最高粘度	(RVU)	0.32
最低粘度	(RVU)	0.81 **
ブレークダウン	(RVU)	-0.14
最終粘度	(RVU)	0.83 **

した。検討条件は、30℃から95℃まで3.3, 4.3, 6.5/分の昇温条件とした。測定値は昇温速度が早くなるに従い上昇する傾向があったが、糊化開始温度以外試料間の関係が逆転する事はなく、いずれの昇温速度でも可能であったため、測定の迅速化を考慮して昇温速度は6.5℃/分と設定した。表IV3-5にこれらの条件を勘案したRVA温度プログラムを示した。

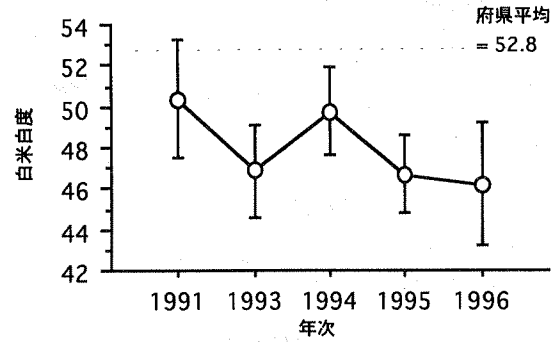
RVA測定値ともち生地硬化性の関係を検討するために、この温度プログラムに従い、北海道および府県産もち米171点の測定を行った。測定値と硬化性の相関係数を表IV3-6に示した。レオメーター法によるもち生地の硬化性は、RVAによる糊化開始温度、ピーク時温度、最低粘度および最終粘度と高い相関を示した。中でもピーク時温度は最も高い相関を示し（図IV3-11）、この測定によりもち生地の硬化性が精度良く推定できると判断された。

このRVA法を用いれば、1点4gの試料と10分程度の時間で、精度良くもち生地の硬化性が推定でき、初期世代



図IV3-11 RVAピーク温度と硬化性の関係

*1991-1994年産米171点を測定



図IV3-12 北海道もち米白度の年次推移

*記号は各年次の平均値、誤差線は標準偏差

の育成材料の選抜検定法として有効に活用できると判断された。

3-5 北海道もち米の加工適性現況と向上目標の設定

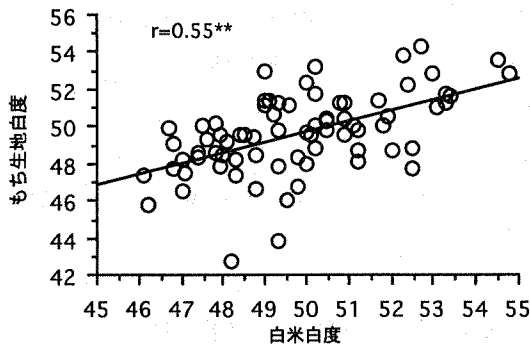
北海道もち米の加工試験から、実際の加工現場における問題点が明らかとなり、もち生地の硬化性についての評価・検定法を開発したことにより、北海道もち米の加工適性向上に向けての現状と今後の目標を明確に数値化することが可能となった。今後これらの測定を、新品種の選抜検定法や栽培技術の評価指標とすることにより、北海道もち米の加工適性の高度化を図る必要がある。

ここでは、もち米の加工適性として重要であることが明らかとなった。白度、蛋白含有率およびもち生地硬化性について、複数年次にわたり測定し、府県産もち米との違いを明確に数値比較して現況を把握すると共に、目標の設定を行った。

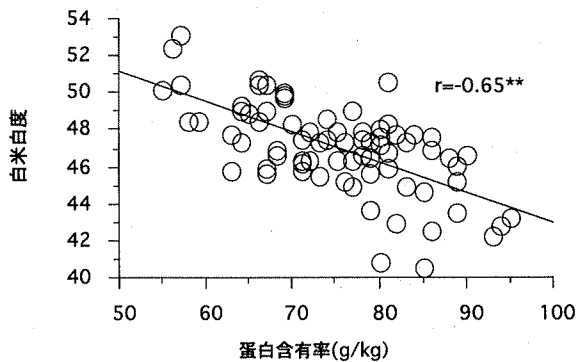
図IV3-12に白度の年次推移を示した。北海道もち米の白度は、府県産もち米に比較して、2から7程度も低いことが明らかとなった。これまで個々の利用場面において北海道もち米の外見が劣るとの指摘はなされていたが、多数点の具体的な数値として示されたことはなく、北海道もち米の外見不良の現況が明らかとなった。

原料白米の白度がもち生地の白度に影響を及ぼすかどうかを検討するために、1994年にはもち生地白度の測定を行った。その結果、白米の白度ともち生地の白度は $r=0.55^{**}$ の有意な相関関係が認められ、白米の白度がもち製品の外観に影響を及ぼす可能性があることが示された（図IV3-13）。

以上のことから、もち米の白米白度は加工適性上重要な評価項目であり、北海道米にとっては特に改善を要する項目であることから、白度の高い新品種を育成目標と



図IV3-13 白米白度ともち生地白度の関係 (1994年産米)



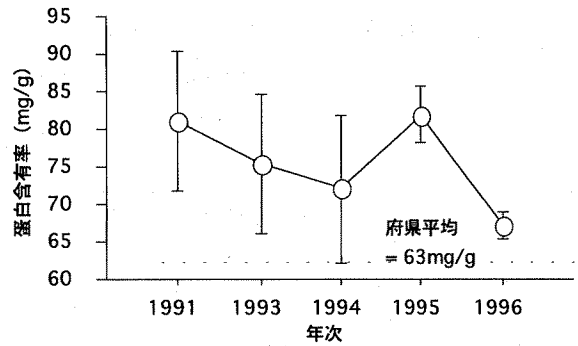
図IV3-14 蛋白含有率ともち米白度の関係 (1993年産米)

表IV3-7 もち米加工適性分析項目の目標値と選抜取り込み段階

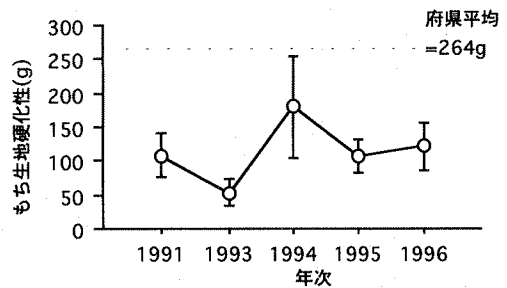
分析項目	北海道平均	府県平均	当面の目標値	検定取り込み育成段階
白度	48.0	52.6	50	中間選抜
蛋白含有率 (mg/g)	75	63	70	初期選抜
硬化性 (g)	137	265	200	後期選抜
RVAピーク時温度 (°C)	73.8	78.6	76.2	初期選抜

して、この測定を選抜項目として取り入れる必要があると考えられた。

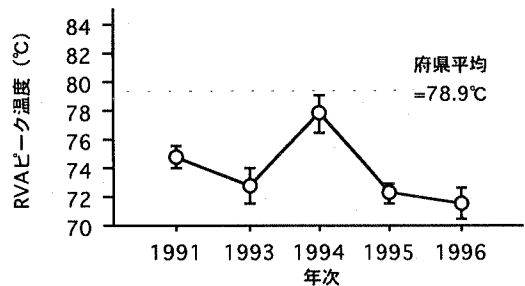
次に、白米白度に影響を及ぼす項目について検討したところ、図IV3-14に示したように蛋白含有率と有意な負の相関関係が認められた。白度と蛋白含有率の関係については、第II章のうるち米の検討における指摘と同様に、もち米でも高蛋白含有率が外見形質に悪影響を及ぼす可能性が示唆された。また、北海道もち米の蛋白含有率は年次に関わらず極めて高く、うるち米以上に府県品種との差が大きいことから(図IV3-15)、北海道米の白度が低い原因の一つは高蛋白含有率が影響している可能性が大きい。またそれとは別の側面から、柳瀬ら



図IV3-15 北海道もち米蛋白含有率の年次推移
*記号は各年次の平均値、誤差線は標準偏差



図IV3-16 北海道もち米硬化性の年次推移
*記号は各年次の平均値、誤差線は標準偏差



図IV3-17 北海道もち米RVAピーク温度の年次推移
*記号は各年次の平均値、誤差線は標準偏差

(1984)は、もち生地の膨化伸展性と蛋白含有率には極めて密接な(-0.785**)負の相関関係があることを報告しており、蛋白含有率が高いもち米はいわゆる「うき」が悪く加工製品の品質に劣る可能性が高いとしている。以上この2つの側面から、北海道もち米の低蛋白化が特に重要な課題であり、蛋白含有率を指標として、栽培技術の評価項目として取り入れる必要があると考えられた。

図IV3-16にレオメーター法により測定したもち生地硬化性の測定結果を示した。測定法の検討で示した結果と同様に、北海道もち米の硬化性は府県産品種の約半分の値となり、これまで実需者から指摘されてきた傾向を

数値として明確に裏付ける結果となった。また、RVAピーク時温度も硬化性と密接に対応した推移を示しており(図IV3-17)、両測定値とも選抜検定法として取り入れる事が有効である考えられた。

以上の検討から、北海道もち米の加工適性の向上に重要な分析項目として①白米白度、②蛋白含有率、③もち生地の硬化性および④RVAピーク時温度があげられた。北海道もち米の、これらの特性項目の現況はいずれも府県産品種と極めて大きな差異が認められたことから、当面は府県産品種と北海道もち米の中間値を目標値として、早急にこの差を縮める必要がある。また、各測定項目は分析可能点数と試料必要量を勘案して、新品種育成の各段階で取り込むことが効率的であると考えられた。以上をまとめて表IV3-7に示した。

4 小括

北海道もち米の欠点を抽出した上で、それらを数値化する測定法を開発すると共に、北海道もち米の加工適性向上に有効となる分析項目を設定し、多数点試料の分析から現況の正確な評価と目標値を数値化を試みた。

1) 北海道もち米の実需現場での加工適性の問題点を明らかにするために、米菓加工工場において小規模な製品製造試験を行ったところ、①硬化速度が遅いため作業に

支障をきたす。また、成型時に不良品が発生しやすい。②膨化性が低いため、製品品質が劣り官能評価も劣る。③白度が低くもち生地の外見品質が劣るといった内容にまとめられた。

2) もち生地の硬化性を測定する方法として、レオメーターを用いた測定法を考案し適用したところ、府県産もち米との違いを良く反映していた。また、既往の方法による硬化性測定値とも高い相関を示したことから、硬化性の測定法として妥当なものと判断された。

3) 硬化性の測定を育成材料の選抜検定法として適用するため、RVAによるピーク温度測定法の適用を検討したところ、レオメーターによる硬化性測定値と高い相関関係が得られ、特にRVA法は、1点約10分、4gの試料で精度良く硬化性を推定でき、育成材料の選抜検定法として有効であった。

4) 北海道もち米の加工適性の向上に重要な分析項目として①白米白度、②蛋白含有率、③もち生地の硬化性および④RVAピーク時温度があげられた。これらの分析値はいずれも府県産品種と極めて大きな差異が認められたことから、当面は府県と北海道もち米の中間値を目標値として、早急にこの差を縮める必要がある。また、各測定項目は分析可能点数と試料必要量を勘案して、新品種育成の各段階で取り込むことが効率的であると考えられた。

第4節 北海道米の酒造適性評価

1 背景と目的

日本におけるうるち米の用途別消費構成は、家庭内食、外食および弁当やおにぎり用の中食をあわせたいわゆる「主食用途」は約92%、その他の加工用途は約8%、80万t程度である（北海道農政部、2000）。この加工用途の内訳では酒造用が最も多く約6割を占め、味噌、米菓、米穀粉、その他が各1割程度である。酒造に使用される米は、一部を除き主食用と同じ品種が使用されることから、主食用との競合が大きく、安定供給が難しい状況にある。そのため実需者からは、酒造適性に優れたコストの低い専用品種の開発が望まれているが、北海道ではこれまで検討されてこなかった。

この検討に先立ち、全国レベルでの清酒製造状況を概観すると、清酒の製造所数は1991年に約2,000、製造量は約108万kLで、玄米の使用量は約55万tである。ま

表IV4-1 国内の清酒製造状況

年次	製造所数	中小割合 (%)	製造数量 (万kl)	玄米使用量 (万t)
1981	2,601	99.6	123.3	55.7
1982	2,584	99.6	123.0	55.5
1983	2,552	99.6	121.3	55.1
1984	2,507	99.6	101.6	46.0
1985	2,456	99.6	95.9	43.8
1986	2,425	99.5	111.9	51.5
1987	2,401	99.5	117.2	55.2
1988	2,356	99.5	114.5	56.3
1989	2,327	99.5	114.3	56.8
1990	2,306	99.5	107.6	54.4
1991			108.4	55.3

資料：札幌国税局鑑定官室

表IV4-2 酒造用玄米の需給動向

年次	メーカー		充足率 (%)
	希望数量	供給量 (集荷量)	
1977	82	83	102.0
1982	82	65	80.2
1986	69	60	87.2
1987	84	60	71.8
1988	89	74	83.0
1989	91	77	84.8
1990	97	75	77.1
1991	103	75	72.7
1992	108		

資料：日本酒造組合中央会

表IV4-3 道内酒造メーカーによる北海道米の使用状況 (t, %) *

品 種 / 年 次	1987	1988	1989	1990	1991
ゆきひかり	438	750	918	924	737
きらら 397	—	—	30	128	502
その他	71	15	16	26	38
計	509	765	964	1078	1277
総使用量に対する割合	6.9	10.9	13.4	14.6	15.3

*北海道酒造組合資料

た、酒造用玄米の需給動向をみると昭和57年以後は慢性的な供給量不足の状態が続いている。（表IV4-1、2）

酒造原料として使用される米としては、いわゆる「酒造好適米」と呼ばれる醸造用玄米品種銘柄（山田錦、五百万石など）が有名である。しかし、これらの品種の生産量は8万トン程度であり、酒造原料米全体の約15%にすぎず、残りは他の一般品種が使われている。

近年、道内の酒造メーカーでは、北海道米を原料とする銘柄酒の製造に力を入れており、現在では47市町村、54銘柄、7製造所に達している。このため表IV4-3に示したように、道内業者による北海道米の使用比率は大きな伸びを示している。さらに、府県の酒造業者が北海道米を酒造用原料米として相当量使用している実態があり、北海道米の酒造原料としての使用は今後も拡大すると思われる。

そこで本節では、北海道における産地形成の1つの方向である「地域の創意・工夫を生かしながら多様な需要に対応する産地形成」を推進するための1研究項目として、需要量が多く、かつ流通現場からの要望が強い、北海道米の酒造適性評価を取り上げ、現段階での北海道米の評価を明らかにした上で、酒専用品種開発に向けた方向性を明確化する事を目的とした。

2 研究方法

2-1 原料米特性の分析方法

供試品種は、北海道産「ゆきひかり」、「きらら397」、「ほのか224」、「彩」、「上育394」、その他育成系統および府県産酒造品種を用いた。分析項目は、全国原料米統一分析項目およびアミロース、蛋白含有率、無機成分含有率、官能評価などである。酒造適性に関わる分析法は酒米研究会全国統一手法（吉沢、1982）によった。分析試料および項目の一覧を表IV4-4に示した。

2-2 小仕込み試験方法

試験年次：1990、91、92、93年（2回）
 試験場所：札幌国税局（1990、92年）、北の誉酒造（1991年）、食品加工研究センター（1993年）
 供試品種：「キヨニシキ」、「ゆきひかり」、「きらら397」、「ほのか224」、「彩」、「上育394」
 小仕込方法：3段仕込法（添、仲、留）
 分析項目：原料米分析、清酒成分、官能評価

表IV4-4 供試品種および分析項目の一覧

年次	品種名	備考	産地・処理など	分析項目
1990	ゆきひかり		新十津川	◎原料米分析
	みちこがね		深川	◎清酒成分分析
	上育394		蘭越	◎官能評価
	きらら397		秩父別	
	YM-5	ミュータント	稲作部	
	YM-18	ミュータント	稲作部	
	YM-146	ミュータント	稲作部	
1991	ハナユタカ	対照	山形	小仕込み試験：札幌国税局
	キヨニシキ	対照	山形	
	北海268	大粒種	稲作部	◎アミロース、蛋白、アミ
	北海270	香り米	稲作部	◎清酒成分分析
	北海269	巨大胚	稲作部	◎官能評価
	空育139		稲作部	
	空育140		稲作部	
	空育141		稲作部	
	彩	ダル	稲作部	
	道北53	ダル	稲作部	
1992	ほのか224		稲作部	
	きらら397		稲作部	
	ゆきひかり		稲作部	
	ゆきひかり(低蛋白)		稲作部寄土園場	
	はやまさり		稲作部	
	生予404	大粒系統	稲作部	
	空系91407	大粒系統	稲作部	
	ハナユタカ	対照	山形	小仕込み試験：北の釀造
	YM-146	ミュータント	稲作部	◎原料米分析
	きらら397A		秩父別	◎清酒成分分析
	きらら397B		新十津川	◎官能評価
	きらら397C		愛別	
	きらら397D		風連	
	ほのか224A		江差	
	ほのか224B		稲作部	
1993	彩	ダル	稲作部	
	道北53号	ダル	稲作部	
	キヨニシキ	対照	山形	小仕込み試験：札幌国税局
	はやまさり	直播品種	稲作部	◎アミロース、蛋白、アミ
	上育413	直播品種	稲作部	◎清酒成分分析
	YM-5	ミュータント	稲作部、寄土園場	◎官能評価
	YM-5	ミュータント	稲作部、泥炭園場	◎精米性試験
	YM-18	ミュータント	稲作部、寄土園場	◎無機成分分析
	YM-18	ミュータント	稲作部、泥炭園場	
	YM-146	ミュータント	稲作部、寄土園場	
	YM-146	ミュータント	稲作部、泥炭園場	
	ゆきひかり		稲作部、寄土園場	
	ゆきひかり		稲作部、泥炭園場	
	きらら397		稲作部、寄土園場	
	1990	彩	ダル	稲作部、寄土園場
彩		ダル	稲作部、泥炭園場	
K-138		高アミロース	稲作部、寄土園場	
K-138		高アミロース	稲作部、泥炭園場	
空系91407		大粒系統	稲作部、標記	
空系91407		大粒系統	稲作部、多肥	小仕込み試験：
キヨニシキ		対照	山形	食品加工研究センター
1990		府県酒造品種	原料米統一分析試料	原料米統一分析項目
1992				全国の国税局で分析した結果引用

分析方法：清酒成分分析

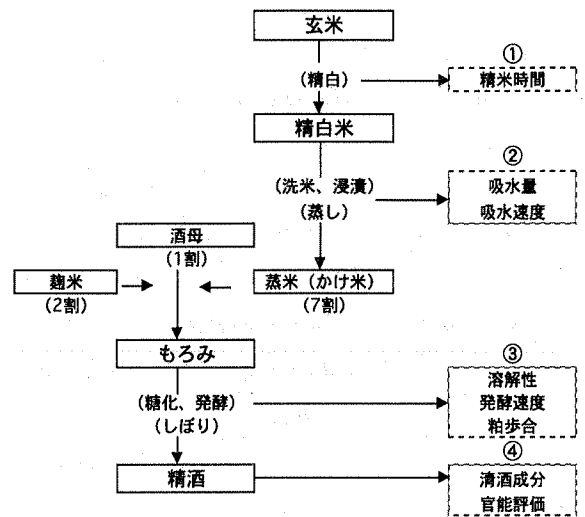
官能評価：4ないし5段階評価法，試験結果データは各年次，ロットでの東北産米（山形県産，「キヨニシキ」）に対する指数（アルコール度数，酸度，着色度，紫外部吸収，粕歩合，アミノ酸度），「キヨニシキ」の値との差（日本酒度，官能評価），絶対値（度，濃淡，きれいさ）で示した。

3 結果および考察

3-1 酒造用かけ米としての適性要因解析試験

本項では図IV4-1に示したようなかけ米適性が原料米のどのような性質と関わりがあるかを明らかにすること

<具体的な検討項目>

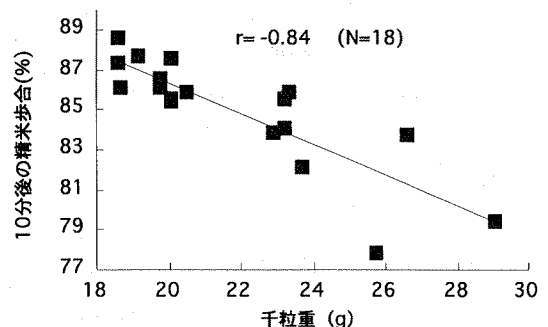


図IV4-1 清酒の製造工程と各段階で問題となるかけ米適性

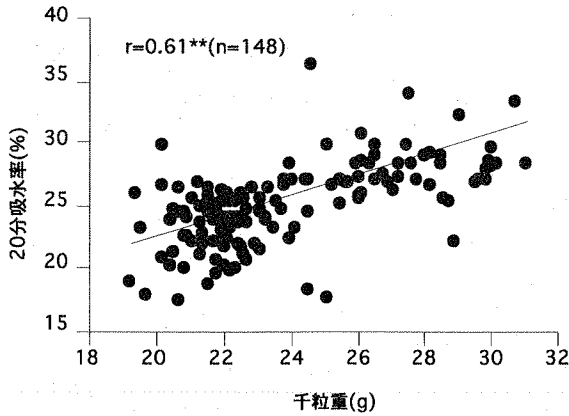
を目的として，内部成分分析，醸造試験（小仕込試験および国税庁所定分析法）に基づく分析を多くの北海道米および府県品種について実施した。

酒造用かけ米の適性として仕込以前の段階で問題となる適性として，精米性，浸漬時の吸水性をとりあげ，原料米の形質との関連性を検討した。酒造用玄米は，通常70%程度まで精白される。この段階で問題となることは，精米に要する時間である。大量の米を精白する場合，精米時間が長いと作業能率が悪いだけでなく，砕け米や胴割れ米が発生しやすい。そこで，精米開始からの経過時間毎に精米歩合を測定した結果，5分毎の精米速度と玄米千粒重には高い負の相関が認められた（図IV4-2）。すなわち千粒重の大きな米は精米速度が速く，一定の割合まで精米するために必要な時間が短いと考えられた。

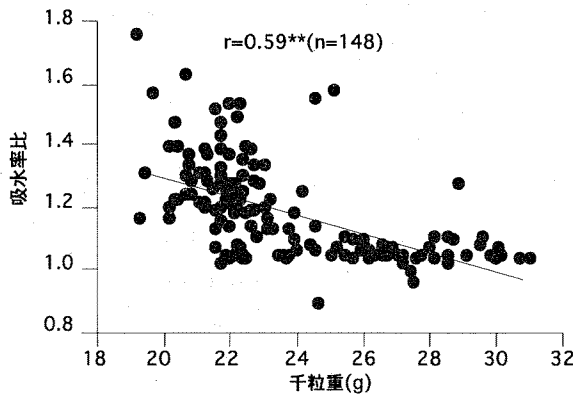
白米の吸水性は酒造適性と密接な関係があり，精白米の浸漬時に吸水が速く，しかも吸水量の多いものが良いとされている。吸水率の測定法は，20℃の条件で白米を米に浸漬し，20分後，および120分後の吸水率を測定す



図IV4-2 千粒重と精米速度の関係



図IV4-3 千粒重と20分吸水率の関係



図IV4-4 千粒重と吸水率比の関係

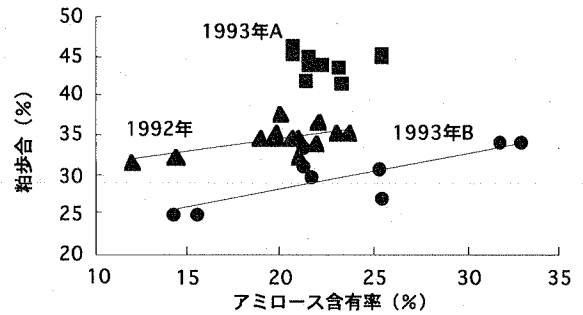
る。また、吸水速度の指標として、吸水率比（120/20分後の吸水率）などを用いる。そこでこれらの分析を実施して、吸水性についても原料米形質との関係を検討した（図IV4-3, 4）。20分吸水率および吸水率比は玄米千粒重と密接な相関があり、千粒重が大きい米は吸水性が大きく、吸水速度も速いことが明らかとなった。

酒母に蒸米をかけ米として仕込み、もろみを製造する段階で問題となる適性として、①かけ米の溶解性と、②発酵速度のコントロール、をとりあげた。かけ米の使用量は全量の約70%を占めるため、その溶解性の高低は全体の酒化率に大きく影響する。かけ米の溶解性は清酒を搾った粕、すなわち酒粕の量により判断され、この割合（粕歩合）が低い米は溶解性が良いと考えられる。小仕込試験、大規模醸造試験結果から、粕歩合と関係のある特性を検索した（表IV4-5、図IV4-5）。極端にアミロース含有率が低い（17%以下）品種は粕歩合が低く、高アミロース品種（29%以上）は粕歩合が高い傾向が認められた。これらの結果から、アミロース含有率の高低と粕歩合には何らかの関係があることが推察された。

もろみの発酵速度が急進すると製成酒が老熟化し、酒

表IV4-5 アミロース含有率と粕歩合の関係

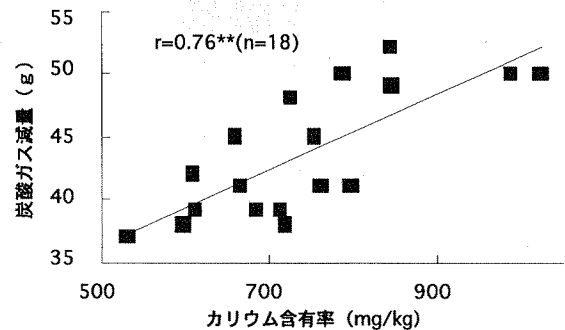
試料	昭和61年		昭和62年	
	アミロース含有率 (%)	粕歩合 (%)	アミロース含有率 (%)	粕歩合 (%)
高アミロース米	34.9	58.8	29.1	34.1
低アミロース米	16.5	24.5	11.2	30.4



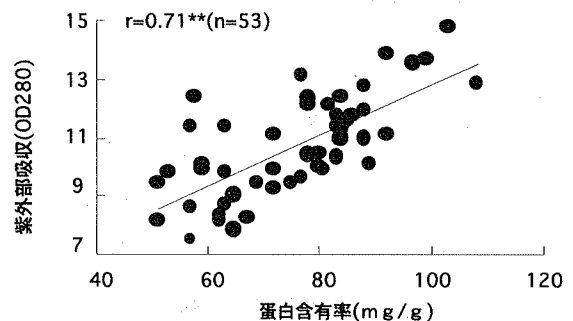
図IV4-5 アミロース含有率と粕歩合の関係

質が劣化しやすいことが知られている。小仕込試験における炭酸ガスの生成量を発酵速度の指標として、原料米の性質との関連を検討した。その結果、図IV4-6に示したようにもろみ10日目での炭酸ガス生成量は、原料米中に含まれるカリウム含有率と高い正の相関が認められた。この結果は、「カリウム含有率が高い米はもろみが急進しやすい」という従来の知見を裏付けるもので、かけ米としてはカリウム含有率が低い方が望ましいと考えられた。

清酒中には発酵により生成するアルコールや糖類のほかさまさまな成分が含まれる。これらの中で酒の味、



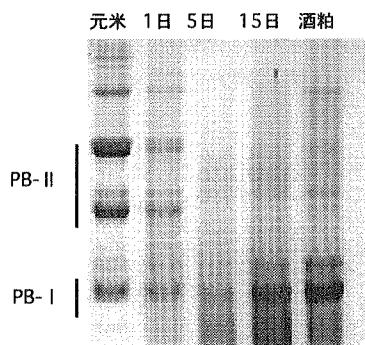
図IV4-6 カリウム含有率と炭酸ガス生成量の関係



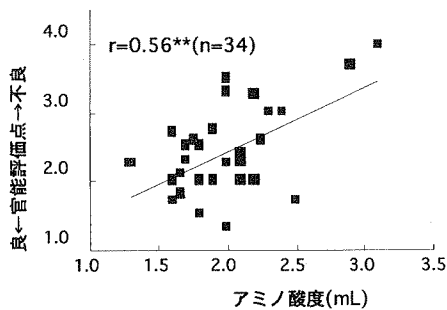
図IV4-7 蛋白含有率と紫外外部吸収の関係

酒質に悪影響を及ぼす成分としてアミノ酸関連物質があげられる。これらの成分量はアミノ酸度（アミノ酸量の指標）および紫外外部吸収（280nmの吸光度）であらわされるが、これら成分と白米中の蛋白含有率の間には有意な正の相関が認められた（図IV4-7）。このことから、かけ米中の蛋白含有率が高いと清酒中のアミノ酸関連物質が多くなりやすく、酒の味、酒質に悪影響を及ぼす可能性が高まることを示していた。

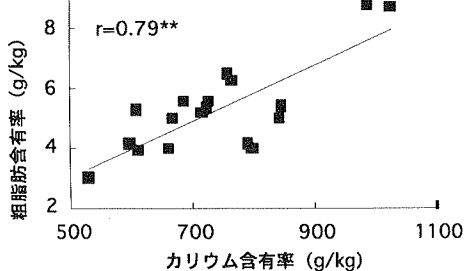
ところで、白米中の蛋白質貯蔵体はその形態および特性から2種類に分類（PB-IおよびII）され、PB-Iは人の蛋白質消化酵素（ペプシン）によりアミノ酸まで分解されるが、PB-IIは分解されずそのまま排出されることが知られている。そのため、もろみでの蛋白質の分解過程においてもこれら2種類の蛋白質は異なる挙動を示すことが予想された。そこで、小仕込試験においてかけ米の粕を経時的にサンプリングし、残存する蛋白質の種類を電気泳動により解析した。図IV4-8に粕中に残存す



図IV4-8 醸造期間中の蛋白質組成の変化



図IV4-9 アミノ酸度と官能評価値の関係



図IV4-10 原料米中カリウムと粗脂肪含有率の関係

る蛋白質のSDS-PAGE（SDSポリアクリルアミド電気泳動）像を示した。PB-IIのポリペプチドである57, 37, 22kDaのバンドは仕込後の日数とともに薄くなり、粕中ではほとんど認められなくなった。すなわち、PB-Iに含まれる蛋白質は醸造期間中にほぼ完全に分解され、より低分子のポリペプチドおよびアミノ酸として清酒中に溶出したものと考えられた。一方、PB-Iのポリペプチドである16, 13, 10kDaのバンドはほとんど変化しないことから、醸造期間中には分解されず、粕中に残存するものと考えられた。このことから、清酒中に溶出するアミノ酸は主にPB-II中の蛋白質に由来し、PB-I中の蛋白質はほとんど関与しないと考えられた。

以上、清酒成分からみた場合、アミノ酸度や紫外外部吸収が低いことが望ましく、そのためには蛋白含有率が低い米がかけ米として優れていると考えられた。また、清酒中に溶出するアミノ酸は主にPB-IIに由来すると考えられることから、同程度の蛋白含有率であればよりPB-II比率の低い米が優れていると判断された。

次に、官能評価に関わる成分について検討した。酒の官能評価にはさまざまな要因に関わる上に鑑定者の嗜好も異なるために必ずしも統一的な評価にならないのが普通である。しかし、酒の雑味は一般的に評価を落とす要因である。また、香りも重視される項目で、香りが無い酒や不快な香りは評価を下げる。雑味については前述したように清酒中のアミノ酸などが関わっており、図IV4-9に示したようにアミノ酸度が高い酒は官能評価も低い傾向が認められた。

また、脂質が多いともろみにおける酵母の香気エステルの生成を妨げ、結果として清酒の香りを低くするため、原料米の脂質は低いことが望ましいと考えられている。しかし、原料米の脂質定量は精度上難しいため、粗脂肪と高い相関を持つカリウム含有率を定量することにより粗脂肪含有率をある程度推定できると考えられた（図IV4-10）。

これまで検討したかけ米適性に係わる原料米の特性を整理して表IV4-6にまとめた。

3-2 北海道米のかけ米適性評価

本項では、前項で明らかになったかけ米適性を中心に、府県産米との比較から現在の北海道米の評価と問題点を指摘し、改善方向について指針を示した。

まず、府県で酒造原料として使用されている品種と北

表IV4-6 かけ米適性に関連する原料米の特性

原料米特性	かけ米適性	関与のしかた
千粒重	精米時間	大:短い, 小:長い
	吸水速度	大:速い, 小:遅い
アミロース含有率	粕歩合	低:低い, 高:高い
蛋白含有率 PB-II比率	アミノ酸度	低:低い, 高:高い
	紫外外部吸収	低:低い, 高:高い
カリウム含有率	発酵速度	低:普通, 高:急進
	粗脂肪含有率	低:低い, 高:高い

表IV4-7 府県産酒造品種と北海道品種の比較*

品種区分	玄米		吸水性(%)		蛋白含有率 (mg/g)	PB-II比率 (%)	カリウム含有率 (mg/kg)	750- γ 含有率 (%)	
	千粒重 (g)	20分	120分	吸水率比					
府県一般品種平均	22.0	23.9	29.2	1.22	56	72.3	436	18.8	
	最低	19.5	20.6	27.0	1.20	44	69.0	323	17.8
	最高	25.2	26.5	31.8	1.31	70	76.5	546	21.7
	cv%	8.3	7.3	3.5	6.8	8.9	-	11.1	-
北海道品種	平均	21.4	21.9	29.3	1.35	60	69.4	378	19.7
	最低	19.4	17.2	26.1	1.15	50	60.6	270	11.3
	最高	23.0	29.7	35.2	1.62	76	79.5	509	26.7
	cv%	4.5	13.6	6.7	9.7	10.6	-	14.7	-
酒造好適品種平均	27.0	27.8	29.2	1.05	56	74.8	490	23.7	
	最低	23.1	22.0	25.8	0.95	48	70.1	319	22.3
	最高	30.0	33.7	32.1	1.17	64	80.8	584	24.9
	cv%	8.6	7.8	4.7	4.6	8.1	-	14.0	-

(*酒米研究会, 全国統一分析結果より引用)

海道米の総合的な比較を行った(表IV4-7)。ここでとりあげた北海道の品種は、これまでに酒造原料として使用された実績をもつ品種(「ゆきひかり」, 「きらら397」, 「ほのか224」, 「彩」, 「上育394」)である。

北海道品種の千粒重は平均21.4gで府県一般品種22.0gよりわずかに小さかった。これらに比較して酒造好適品種は27.0gと著しく大粒であった。吸水性の項目では、北海道品種は120分後の値で府県品種との差はなかったが、20分での値は最も低く、吸水率比は大きいことから府県品種に比較して吸水性が劣ると考えられた。蛋白含有率は北海道品種が府県品種に比較してやや高く、より低蛋白であることが望まれる。一方、カリウム含有率は北海道品種が府県品種より低く、この点は優位と考えられた。北海道品種のアミロース含有率は府県産一般品種に次いで低かった。酒造好適品種はアミロース含有率が一般品種に比較して高い特徴が認められた。PB-II比率は北海道品種が府県品種より明らかに低く、この点では府県品種より酒米として優れていると考えられた。なお、千粒重以外の項目では、北海道米の変動係数が大きく、品質の安定性という面から問題があると考えられた。

原料米分析により大まかな酒造適性評価は可能であるが、製成酒の詳細な品質については、直接原料米の特性と結び付けることが難しく、醸造試験により実際に清酒を製造することによって確かめる必要がある。そこで、総米300g程度、ピーカーを用い実験室レベルで実施できる小仕込み試験により清酒を製造し、清酒中成分、官能評価などにより北海道米の評価をおこなった。

表IV4-8, 9にすでに酒造用米としての実績を持つ北海道品種を用いた清酒の成分、官能評価のデータを示した。平均値で見ると、日本酒度、紫外外部吸収、アミノ酸度は東北産対照品種である「キヨニシキ」とほとんど差はなかった。官能評価では北海道米は辛口、濃厚できれいな酒と評価され、酒造実績をもつ北海道品種は、総合評価でも東北産米より高い評価が得られた。

既成品種での酒造は概ね良好であり、東北産米と同等の酒造適性があると考えられたが、さらにより酒造適性の高い米、特徴がある酒ができる米を探索するために、形態および成分に特徴がある品種・系統を用いた酒造試験を実施した。表IV4-10, 11に小仕込み試験による清酒成分および官能評価の結果を示した。

大粒系統である空系91404, 91407は、タイの大粒種を交配し作出した系統で千粒重は28.4gと極めて大粒であった。紫外外部吸収、アミノ酸度は東北産品種と同等であり、官能評価では極辛口、端麗できれいな酒となり、総合評価で東北産品種を0.4ポイント上回った。YM系統は「ゆきひかり」に γ 線を照射し作出した突然変異系統である。千粒重は27.5gと大粒であった。粕歩合とアミノ酸度が高い傾向があったが官能評価ではYM-146は0.6, YM-5は0.1ポイント東北産米を上回った。

直播用品種「はやまさり」と「上育413」は粕歩合がやや高い他は大きな問題はなく、官能評価では東北産品種をそれぞれ0.6および0.9ポイント上回る高評価を得た。

高アミロース系統である「空育138」は紫外外部吸収が極めて低い特徴があったが、官能評価では東北産品種に著しく劣った。この要因として「酢酸エチル臭有り」のコメントがあげられており、香りの点で問題があったためと考えられた。

香り米である「北海270(キタカオリ)」は、紫外外部吸収、アミノ酸度が高い欠点があり、官能評価ではやや辛口、端麗であるがきたないと評価された。そのため総

表IV4-8 北海道品種で製造した清酒の性状

品種名	アルコール	日本酒度	酸度	紫外部吸収	粕歩合	アミノ酸度
きらら397	99	0.9	90	100	101	104
ほのか224	102	4.3	94	116	108	122
ゆきひかり	98	-6.0	89	94	111	89
彩	97	5.8	96	104	86	97
上育394	99	0.5	97	87	99	81
現行品種平均	99	1.11	93	100	101	99

表IV4-9 北海道品種で製造した官能評価

品種名	甘辛度	濃淡	きれいさ	総合評価
きらら397	1.0	3.0	1.0	-0.7
ほのか224	3.0	0.0	3.0	-0.7
ゆきひかり	1.5	0.5	1.5	-0.4
彩	-2.0	0.0	2.0	-0.5
上育394				0.0
現行品種平均	0.88	0.80	1.80	-0.46

官能評価

甘辛度 +; 辛口, -; 甘口, 濃淡 +; 濃口, -; 淡麗
きれいさ+; きれい, -; 雑味, 総合評価 +; 悪い, -; 良い

表IV4-10 特徴的な新品種・系統で製造した清酒の性状

品種名	特徴	アルコール	日本酒度	酸度	紫外部吸収	粕歩合	アミノ酸度
空系91404	大粒	108	17.0	92	105	94	100
空系91407	大粒	103	12.3	90	99	93	100
YM146	大粒	93	-11.5	86	103	121	130
はやまさり	直播	98	-4.6	92	103	117	100
上育413	直播	96	-5.8	89	106	111	100
空育138	高アミロース	102	12.3	74	83	102	
北海270	香り米	105	12.0	92	107	104	111
空育139	良食味	103	11.0	96	112	104	111
空育140	良食味	104	9.0	92	116	110	117
空育141	良食味	104	11.0	96	117	102	122
道北53	ダル	100	8.0	93	114	94	107
北海268	巨大杯	103	13.0	96	121	107	122
YM5	大粒	93	-13.0	88	107	122	138
YM18	大粒	93	-12.4	86	110	124	148
その他の品種平均		100.2	3.4	92.6	113.3	107.7	124.6

表IV4-11 特徴的な新品種・系統で製造した清酒の官能評価

品種名	特徴	甘辛度	濃淡	きれいさ	総合評価
空系91404	大粒	1.0	-5.0	0.0	-1.0
空系91407	大粒	4.0	-2.0	2.0	-0.4
YM146	大粒				-0.5
はやまさり	直播	0.0	0.0	-1.0	-0.6
上育413	直播	-1.0	2.0	0.0	-0.9
空育138	高アミロース				0.9
北海270	香り米	1.0	-1.0	-2.0	0.2
空育139	良食味	0.0	-2.0	0.0	-0.8
空育140	良食味	0.0	1.0	2.0	-0.8
空育141	良食味	1.0	-4.0	1.0	-1.0
道北53	ダル	0.0	0.0	-2.0	-0.3
北海268	巨大杯	3.0	-3.0	-2.0	0.0
YM5	大粒				-0.1
YM18	大粒				0.2
他品種平均		0.8	-1.6	-0.4	-0.2

官能評価

甘辛度 +; 辛口, -; 甘口, 濃淡 +; 濃口, -; 淡麗
きれいさ+; きれい, -; 雑味, 総合評価 +; 悪い, -; 良い

合評価では東北産品種を下回った。香りの点では、原料米の香りがそのまま清酒に移ることが確認されたが、その香り自体が「油臭」、「異臭」と評価された。

以上、大粒系統および直播用系統については概ね良好な結果であり、今後の酒造用米用途としてその特徴を生かした利用が望まれる。特に直播用品種では低コスト栽培が可能であり、経済的にも優れた酒造用品種なる事が

期待される。

一方、特徴的な酒の製造を目指して供試した、高アミロース、巨大杯および香り米系統については、ある程度その特徴を酒に持たせることは出来たが、日本酒としての高い評価には結びつかなかった。

3-3 北海道における酒造専用品種開発の可能性

北海道米の酒造適性について1962年～1973年に亘り、繰り返し検討された(赤井ら, 1962; 山田, 1962; 高橋, 1962; 佐伯ら, 1973) 結果では、小粒で精米により胚芽がとれにくい、吸水性が低く蒸米の硬化速度が速い、成分的には粗蛋白質、カリウムの含量が高いと評価され、岡崎ら(1988)の行った1976～84酒造年度の酒米研究会データのクラスター分析によると、北海道米はデンドログラム上酒造好適米とは最も遠い位置にあることが明らかにされていた。

しかし、これらの検討以後開発された品種を用いた本研究での検討結果では、千粒重、吸水性および蛋白含有率については同様な欠点が指摘されたが、高カリウム含量は改善されており、また、新たにPB-2比率が低いという優位点が明らかとなった。さらに、小規模醸造による官能評価では東北産米と同様の評価が得られていることから、1980年代後半から1990年代の新品種開発により北海道米の酒造適性は明らかに向上しているものと考えられる。今後、大粒品種の開発と低蛋白米生産技術を組み合わせることにより、酒造適性の高い酒造専用品種の開発は十分に可能であると判断された。

4 小括

「地域の創意・工夫を生かしながら多様な需要に対応する産地形成」を推進するための1研究項目として、北海道米の酒造適性評価を取り上げ、現段階での北海道米の評価を明らかにした上で、酒造専用品種開発に向けた方向性を明確化する検討を行った。

1) 酒造適性に関わる原料特性について検討したところ、千粒重が大きくカリウム、蛋白含有率が低い米、さらに蛋白含有率が同程度であればPB-I比率が低い米がかけ米として優れていると考えられた。

2) 北海道米の原料米としての酒造適性を評価すると、千粒重はやや小さく、吸水性は劣った。蛋白含有率はやや高く年次や地域による変動が大きかった。蛋白質組成ではPB-IIの比率が低かった。アミロース含有率はや

や高くカリウム含量は低かった。

3) 北海道米を用いた清酒製造試験の結果、清酒成分は府県品種と大きな違いはみられず、官能評価では辛口、濃厚できれいな酒となる傾向が認められ、総合評価でもキヨニシキを上同った。

4) 以上から現在使用されている北海道品種は東北産酒造品種と同等の酒造適性（かけ米）があると判断されたが、栽培特性など他の条件を掛えた上での大粒化と蛋白含有率の低位安定化が重要である。

第5節 北海道米の低アレルゲン化に関する技術開発

1 背景と目的

近年アレルギー症状を持つ人が増加し、社会的にも大きな問題となっている。厚生省の調査（厚生省、1995）によると、全人口の34.9%が何らかのアレルギー症状に悩んでいることが示されている。これらの理由として食生活の変化も含めた食品の影響も非常に大きいといわれており、今後食物の低アレルゲン化を求めるニーズが確実に増加するものと考えられる。

食物アレルギーの中でも米アレルギーは、患者から主食を奪う結果となることが多いため、栄養学的な面で大きな問題となる。さらに、アトピー性皮膚炎に対する米アレルギーの関与の重大性も指摘されており（池澤、1989；宮川ら、1988）、日本人にとっては特に重要な意味を持つアレルギーである。そのため、各方面で工業的にアレルゲンを低減化した米の開発が進められており（池澤ら、1999；笹川ら、1994；Watanabe et al., 1990）、これらは、いずれも一定の有効性が報告されている。しかし、これらの特殊加工米は、一般米に比較して、食味が劣ることや価格が高いことから継続的な使用が難しい現状もある。

このような背景から北海道の臨床現場では、米アレルギー患者の食事指導に当たり、食味や価格が一般の精白米に近く、低蛋白含量である高度精白米や、特定品種を経験的に利用する例が以前から認められていた。これに関わる臨床報告として、後木（1992）は米アレルギー患者に対して、甘いもの摂取の制限と、米品種を「ゆきひかり」に変更することにより、アレルギー症状の改善が早まることを報告している。また、長谷川ら（1998a）は米品種の「ゆきひかり」への変更および高度精白米の利用（長谷川ら、1998b）により、約7割の患者の症状が改善することを報告している。しかし、「ゆきひかり」や高度精白米の米アレルギー患者に対する、臨床的効果についての生化学的な解析は行われておらず、いわゆる低アレルゲン米として認知されるには至っていない。

本論文では、「地域の創意・工夫を生かしながら多様な需要に対応する産地形成」を推進するための、新たな社会ニーズに対応した新規需要開拓のための研究テーマとして、この米アレルギー問題に着目した検討を行っ

た。本節では、この新規ニーズの開拓を進める上で基礎となる、EIA（Enzyme Immunoassay：酵素免疫測定法）を用いた米アレルギー性の評価法を開発するとともに、この評価法を用いて高度精白処理による北海道米の低アレルゲン化技術の可能性について論じた。

2 研究方法

2-1 米アレルギー患者血清

測定法開発に用いた米アレルギー患者血清は、長谷川クリニック（札幌市）において、米抗原に対する特異IgE抗体検査である米RAST（Radioallergosorbent test）値が4.52（IU/mL）でクラス3の陽性と判定され、臨床的にも米アレルギーと診断された患者（20才、女性）の血清を供試した。また抗体陰性対照として、アレルギー経歴のない成人より採取した血清を用いた。

2-2 蛋白質の抽出および定量

蛋白含有率は、試料を硫酸-過酸化水素分解後インドフェノール法により定量した。米塩可溶蛋白含有率は、米粉に20倍量の0.5M-塩化ナトリウムを含むリン酸緩衝液（pH7.4）を加え、120分振とう後の遠心分離上清を塩可溶蛋白質として、プロテインアッセイキット

（BioRad社）により測定し、米粉（乾物）当たりの含量として示した。

2-3 EIAによる塩可溶蛋白質の抗体結合活性測定条件の検討

以下の手順に従い、吸着させる米の塩可溶蛋白質濃度、患者血清の希釈倍率および2次抗体の希釈倍率の組み合わせについて最適な測定条件を検討した。求める測定条件の要件として、一般米試料×患者血清の組合せで適度な結合活性が認められ、特定保健用食品および抗体陰性対照ではできるだけ活性が低くなる条件とした。また、患者血清および2次抗体の使用量はできるだけ少なくなるようにした。

抗原の固相化：抽出した塩可溶蛋白質を沈殿、乾燥後、リン酸緩衝液に再溶解したものを一定濃度に調製し抗原溶液とした。抗原溶液をマイクロプレート（Nunc社、Maxi Sorp）に50 μ Lづつ分注し、4 $^{\circ}$ Cで一晩静置して抗原を固相に吸着させた。吸着させる米の蛋白質濃度について、0.05、0.5、5、50、100 μ g/mLの5水準で比較検討した。なお、低抗原対照として市販特定保健用食品を用いた。

ブロッキング：洗浄液（0.1% tween20を含むリン酸緩衝液）でプレートを洗浄後、1% BSA（牛血清アルブミン）溶液を200 μ Lづつ各穴に分注し37°Cで30分静置した。

血清の注入：洗浄液でプレートを洗浄し、一定倍率に希釈した血清を50 μ Lづつ加え37°Cで1.5時間静置した。

患者血清の希釈倍率について、10, 100, 1000倍の3水準で比較検討した（抗体陰性対照として健康者血清をもちいた）。

酵素標識2次抗体の注入：プレートを洗浄した後、一定倍率で希釈したパーオキシダーゼ標識抗ヒト抗体（抗ヒト免疫グロブリンG抗体（ヤギ）にパーオキシダーゼを結合させた2次抗体）を一定倍率に希釈後、各穴にそれぞれ50 μ Lづつ分注し、37°Cで1時間静置した。2次抗体の希釈倍率については5,000, 10,000, 20,000, 40,000倍の4水準で比較検討した。

発色：プレートを洗浄し、基質溶液（2mg/mL o-phenylenediamine；クエン酸・リン酸緩衝液、pH5.0）を各穴に100 μ Lづつ分注し発色させた。15分経過後、4N-硫酸を50 μ Lづつ分注し反応を停止させ、492nm（reference；405nm）の吸光度をマイクロプレートリーダー（生化学工業社wel reader501）で測定し、米塩可溶蛋白質の抗体結合活性とした。

標準蛋白質による濃度検量線の作成：標準蛋白質は、1996年、北海道産米「きらら397」を用いて塩可溶蛋白質を抽出後、沈殿、真空乾燥し-20°Cで保存した。これをリン酸緩衝液に再溶解、遠心分離後濃度調整し、5~300 μ g/mLの範囲でスタンダード系列を作成した。

2-4 精白処理と抗体結合活性の血清間変動

精白処理による抗体結合活性の変化を検討するために、玄米と精白歩合89~72%の4段階の精白米粉を調製し、長谷川クリニックより提供を受けた、米アレルギー患者血清80点との抗体結合活性を測定した。測定は、2-3の条件検討により得られた方法に従った。

2-5 抗体結合活性の米粒内分布

米粒の層別研削画分試料は北海道産水稻品種「ゆきひかり」（1996年産）を用いた。試験用玄米を、SATAKEテストミルを用いて米粒表面より一定間隔ずつ研削し、最終的な精白歩合が70%（対玄米重量%）になるまで精白した。各研削画分および精白米画分をサンプリングし、蛋白含有

表IV5-1 品種比較のための供試試料一覧

品種名	点数	産地
ほしのゆめ	4	北海道（長沼町、南幌町）
きらら397	7	北海道（長沼町、南幌町、深川市）
ゆきまる	6	北海道（長沼町、南幌町）
ゆきひかり	5	北海道（長沼町、南幌町）
あきほ	4	北海道（長沼町、南幌町）
ほのか224	2	北海道（長沼町）
彩	2	北海道（長沼町）
コシヒカリ	2	新潟県
あきたこまち	1	秋田県
ひとめぼれ	2	宮城県

*いずれも1996年産米

率、塩可溶蛋白含有率および患者血清を用いた抗体結合活性の測定に供した。また、抗体結合活性の粒内分布の品種間比較には表IV5-1に示した試料を用いて、米粒表層0~10%までの糠画分、10~30%までの胚乳表層画分および30~100%までの胚乳中心画分の3画分を調製し同様の測定を行った。

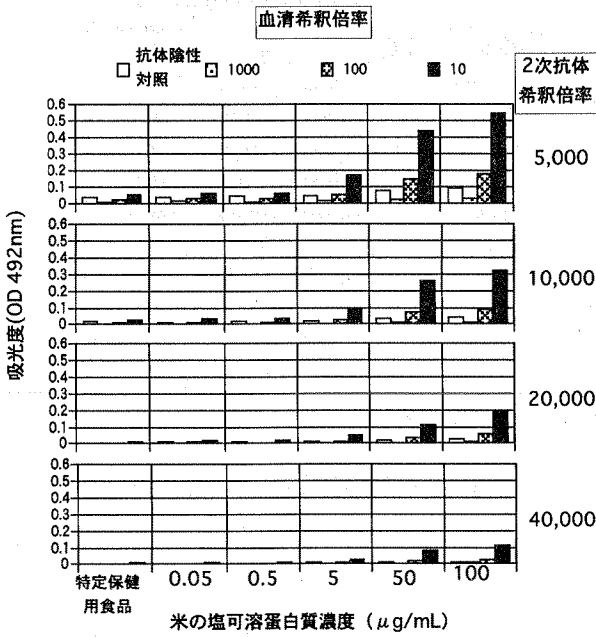
各画分毎に蛋白含有率、塩可溶蛋白質（アルブミン+グロブリン）含量（乾物重量%）を測定した。塩可溶蛋白質の抗体結合活性は2-3に準じ測定した。塩可溶蛋白質のSDS-PAGEはLaemmli, 1970)の方法に準じて行った。ゲルはATTO社バジエルNPG-1020L（アクリルアミド濃度10~20%グラジエンドゲル）を用いCBB染色を行った。また、同一条件で泳動後のゲルをウエスタンブロットングに供した。蛋白質の転写にはPVDF膜（ATTO社クリアプロットP膜）を用い、患者血清（100倍希釈）を1次抗体とし、2次抗体にはパーオキシダーゼ標識抗ヒトIgG抗体（ヤギ, BioRad社）およびパーオキシダーゼ標識抗ヒトIgE抗体（ヤギ, Nordic社）を用いた。検出はECLウエスタンブロットング検出試薬（Amersham Pharmacia Biotech社）により行った。

3 結果および考察

3-1 EIA基本条件の検討と測定スキームの設定

米のアレルゲンについては、以前から塩可溶蛋白質に高い活性の存在することが明らかにされており

(Shibasaki et al., 1979), その後アレルギー患者血清との反応を指標として、塩可溶蛋白質画分から分子量約16,000の蛋白質がアレルゲンとして同定・精製されて

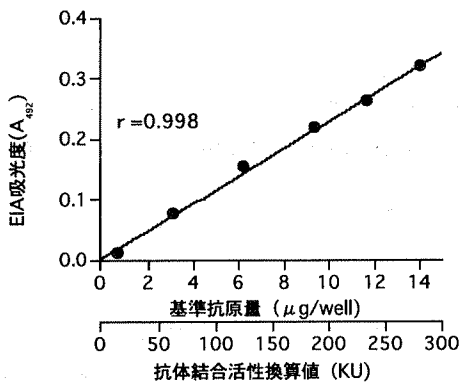


図IV5-1 血清、2次抗体希釈倍率および塩水可溶蛋白質濃度と抗体結合活性 (OD492nm) の関係

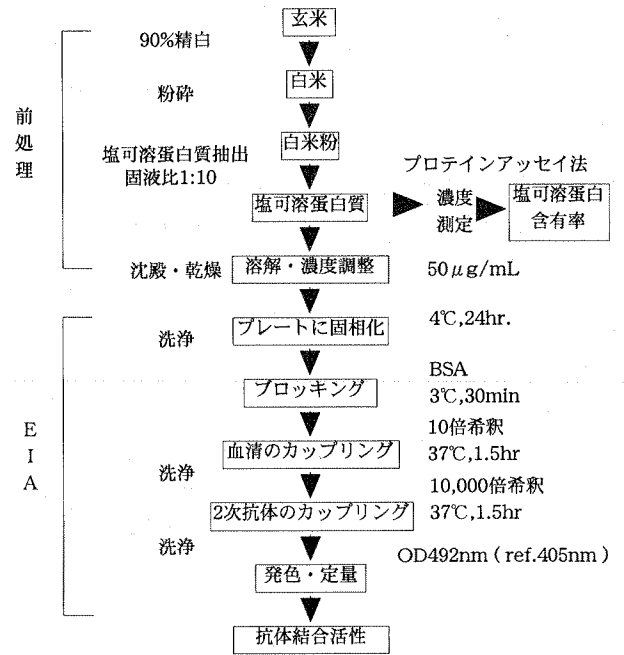
いる (Matsuda et al., 1988) .

本節ではこの知見を基礎として、米の塩可溶蛋白質に含まれる抗原のIgG抗体結合活性を定量的に評価できるアッセイ系の作成を目的として、基本的なEIA条件の検討をおこなった。図IV5-1に蛋白質濃度と血清希釈および2次抗体希釈倍率条件の検討結果を示した。

検討した範囲で十分な抗体結合活性が得られた条件は、蛋白質濃度50および100 μg/mL、血清希釈倍率10倍、2次抗体の希釈倍率は5,000および10,000倍であった。このうち蛋白質濃度は50と100 μgとで大きな差がないことから、マイクロプレートの標準量である50 μg/mLに設定した。また、2次抗体濃度は5,000倍では抗体陰性対照および特定保健用食品の活性がやや高いため



図IV5-3 基準抗原量とEIA吸光度 (A₄₉₂) の関係



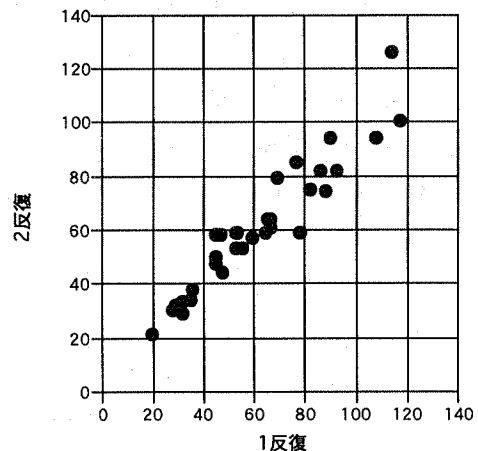
図IV5-2 抗体結合活性評価法の測定手順

10,000倍と設定した。この設定条件に基づく測定スキームは図IV5-2に示したとおりであり、この条件で測定をおこなうと、10mLの患者血清、20 μLの2次抗体で約2,000点の測定が可能である。

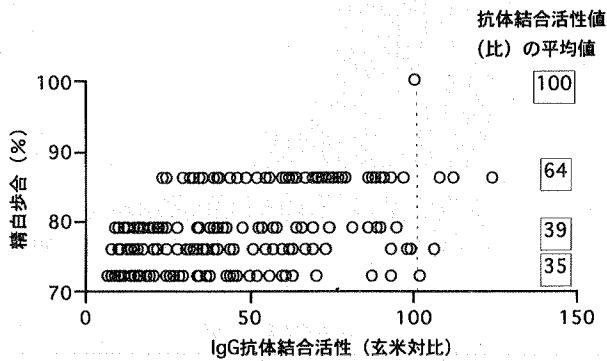
3-2 基準抗原による濃度検量線の作成

本研究では、品種や精白処理の違いによる抗体結合活性評価を最終目標としているため、成分変異の狭い試料を大量に処理できる測定法でなくてはならない。そのためには測定精度が高く、かつ測定ロット間のばらつきをできるだけ抑える必要がある。そこで、標準蛋白質を調製し、測定ロット毎に蛋白質濃度系列を作成して検量線とすることを検討した。

図IV5-3に標準蛋白質を用いて作成した濃度検量線を



図IV5-4 検量線を用いた場合のロット間のばらつき



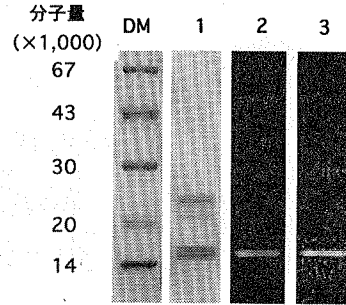
図IV5-5 精白歩合による抗体結合活性の変化と患者間の変動

示した。抗体結合活性は蛋白質濃度に依存することが示されたことから、1996年北海道産「きらら397」の精白米粉より抽出した塩可溶蛋白質を基準抗原として、この抗原50ng当たりの抗体結合活性を1K Irara-Unit(KU)と定義した。測定に当たっては、プレート毎に基準抗原による検量系列を配置し、各試料の吸光度値から塩可溶蛋白質当たりの抗体結合活性(比活性: KU/ μ g蛋白質)を求めた。また、人が実際に摂食するのは米蛋白質ではなく米全体であることから、塩可溶蛋白質当たりの抗体結合活性に各試料の塩可溶蛋白質含有率を掛け合わせて米一定量当たりの抗体結合活性(比活性: KU/100 μ g米粉)を計算し解析に用いた。また、検量線をロット毎に配置することによりロット間でのデータのばらつきはほぼ消去できた(図IV5-4)

以上の検討からEIAにより米塩可溶蛋白質の抗体結合活性を効率よく測定する系を作成する事ができた。ここで得られる米のアレルゲン性の評価値として、米粉当たりの塩可溶蛋白質含有率(%), 塩可溶蛋白質当たりの抗体結合活性(比活性: KU/ μ g蛋白質), 米粉当たりの抗体結合活性(比活性: KU/100 μ g米粉)を定義した。

3-3 精白処理と抗体結合活性の血清間変動

患者血清中のIgG抗体と結合性を示す抗原蛋白質の米粒内分布を明らかにし、通常精白米あるいは玄米と比較して、高度精白米の抗体結合活性がどの程度低下するかを定量的に示すことを目的とした解析をおこなった。解析にIgG抗体との結合性を指標とした理由は、精白処理による抗原性の変化を検討する第一段階として、まずは米蛋白質の中で消化酵素による分解を免れ、患者に抗体を作らせ



図IV5-6 精白米塩可溶蛋白質のSDS-PAGEおよびウエスタンブロット

DM: 分子量マーカー, 1: 塩可溶蛋白質SDS-PAGE, 2: IgGウエスタンブロット, 3: IgEウエスタンブロット

得る蛋白質を広く捉え、その米粒内分布を明らかにすることが重要である考えたためである。

米の精白歩合と抗体結合活性の関係を概観するために、精白歩合の異なる米粉より抽出した塩可溶蛋白質と、米アレルギー患者血清80点との抗体結合活性を測定し、玄米に対する指数で示し集計した(図IV5-5)。

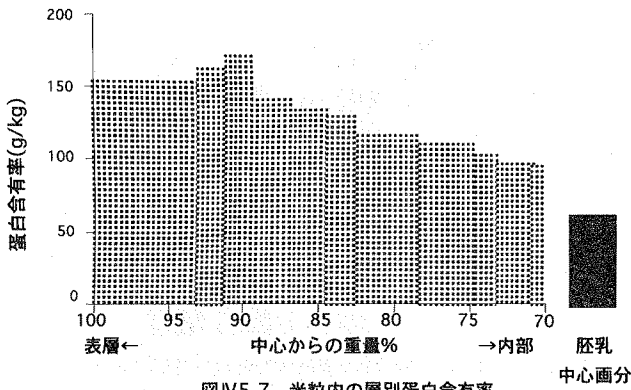
抗体結合活性の平均値は、精白歩合が高まるに従い低下する傾向が明らかで、72%高度精白米では、全血清の平均値で玄米の35%に抗体結合活性が低下した。また、血清による変動も認められ、精白歩合が高まってもほとんど抗体結合活性に変化が無い患者も数例認められたが、大部分の血清では精白歩合とともに抗体結合活性が明らかに低下しており、精白処理に伴う抗体結合活性の低下はアレルギー患者の大多数に当てはまることが示された。このことから、臨床での高度精白米の有効性は、精白処理に伴う抗体結合活性の低下との関連性が推察された。次にこの点に関してより詳細に検討するため、抗体結合活性の米粒内での分布と抗原分析をおこなった。

3-4 抗体結合活性の米粒内分布

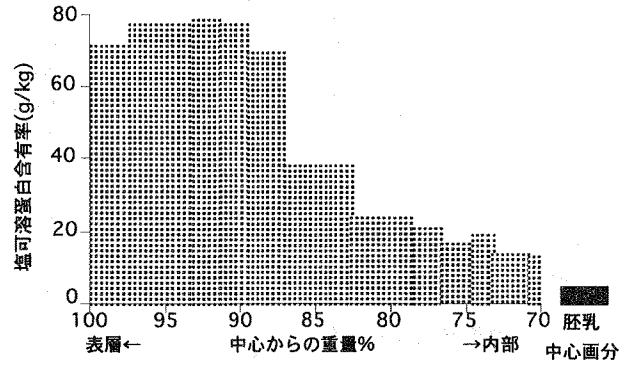
これまでの検討から、高度精白米は同一米の玄米および普通精白米と比較して、抗体結合活性が低いことが明らかとなり、このことが臨床でのアレルギーに対する有効性と関連すると考えられた。そこで、何故高度精白処理により抗体結合活性が低減化するかを明らかにするために、米粒内での抗体結合活性の分布について検討した。

1) 抗原蛋白質の確認

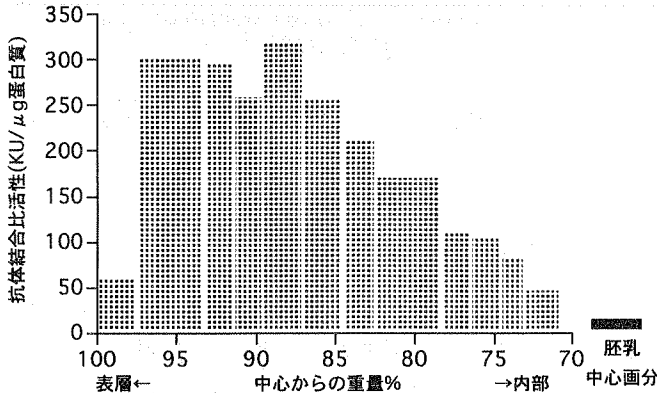
解析を進めるに先立ち、当該患者血清中の抗体が塩可溶蛋白質中のどのような蛋白質を認識しているかを明らかにするために患者血清を用いたウエスタンブロットを



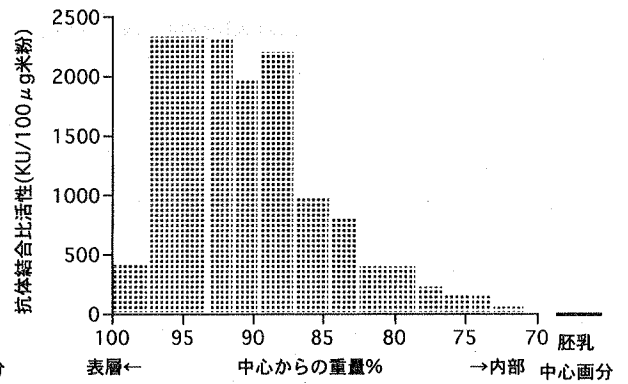
図IV5-7 米粒内の層別蛋白含有率



図IV5-8 米粒内の層別塩可溶蛋白含有率



図IV5-9 塩可溶蛋白質1 μg当たり抗体結合活性の米粒内分布



図IV5-10 米粉当たり抗体結合活性の米粒内分布

行い図IV5-6に示した。

米の塩可溶蛋白質は、主に分子量約26,000および16,000前後の蛋白質から構成されるが、血清中IgG抗体が認識している蛋白質は分子量16,000付近の蛋白質であり、測定に用いた患者血清ではIgE抗体が認識している蛋白質とはほぼ同一分子量であることが示された。

2) 蛋白質および米抗体結合活性の米粒内分布

米の研削画分の調製は、米粒表層から内部に向かって30% (重量%) までを13画分に分け、残り70%を胚乳中心画分としてサンプリングした。各画分毎の蛋白含有率および塩可溶蛋白含有率は図IV5-7, 8のとおりである。

蛋白含有率は米粒表層から10%までの、主に糠に当たる画分では150~170g/kgと高く、内部の画分になるに従い漸減し表層から30%の画分では95g/kgであった。胚乳中心画分の蛋白含有率は56g/kgとさらに低下することから、蛋白含有率は米粒表層から中心部に向かい緩やかに減少する分布を示すことが明らかとなった。一方、塩可溶蛋白含有率は表層から13%程度までの画分では70~80g/kgと高く、表層から20%程度の画分で急激に低下した (21g/kg)。それより内部の研削画分および胚乳中心画分の塩可溶蛋白含有率の低下は小さいことから、米粒中心部80%の塩可溶性蛋白含有率は20g/kg

前後でほぼ均一に分布すると考えられた。

次に、塩可溶蛋白質当たりの抗体結合活性を示す (図IV5-9)。抗体結合比活性は米粒極表層の画分では低いが、その内側で急激に高まった。表層から15%までの画分では250~300 (KU/μg蛋白質) の高値を示し、それより内部の画分になるに従い急激に低下し、胚乳中心画分では9(KU/μg蛋白質)と全画分中最低値を示した。このように、抗体結合比活性は米粒の表層と内部の画分で大きく異なる値を示し、米粒の表層部で高く内部では低いことが明らかとなった。

次に米粉当たりの抗体結合比活性を米粒各部位について検討し、図IV5-10に示した。米粉当たりの抗体結合比活性は、米粒極表層の画分で低く、435(KU/100 μg米粉)、その内側の画分で2351(KU/100 μg米粉) と急激に高まった。表層から15%付近で急激に低下し、それより内部の画分では漸減傾向を示し、胚乳中心画分では9(KU/100 μg米粉) となった。これは、塩可溶蛋白含有率が表層で高く内部ではそれより低く一定に分布することと、その抗体結合比活性が内部に比較して表層で特異的に高いことを反映した結果であり、米粒全体で見ると抗体結合活性は米の表層に局在する分布を示すことが明確に示された。

このように米抗原がなぜ表層に局在するかについては現在のところ明らかではないが、抗体結合活性を持つ蛋白質の、細胞内での存在形態や、生理的な機能との関係からも解析が必要である。

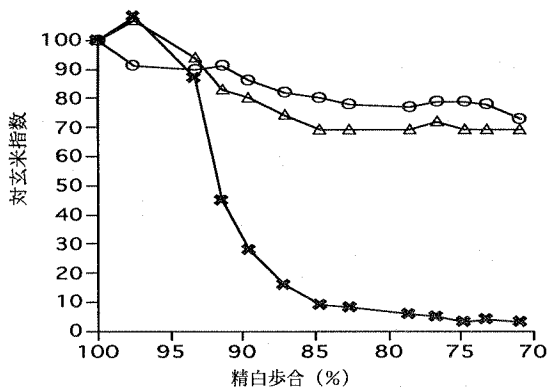
3) 米の精白歩合と抗体結合活性の関係

これまで、米粒内での抗体結合活性の分布について検討し、抗原の活性が米粒表層に局在することを明らかにしてきたが、このことは米粒表層部を除去すれば米に残存する抗体結合活性を低減化できることを意味する。そこで、精白による米粒表層部の除去程度と抗体結合活性の残存量について検討を行った。

図IV5-11には蛋白質含有率、塩可溶蛋白質含有率および抗体結合活性について各精白歩合における玄米に対する残存率を示した。縦軸の数値は各測定項目の玄米の値を100とした指数である。蛋白質含有率は精白歩合が高まるとともに減少し、精白歩合90%では玄米対比約90、70%高度精白米では玄米対比73の蛋白質が残存していた。また、塩可溶蛋白質含有率は、精白歩合98%でいったん上昇した後減少し、精白歩合85%以上では玄米対比約70の残存率で一定となった。このように70%までの高度精白処理により、全蛋白質および塩可溶蛋白質含有率を玄米対比3割程度減少させることが可能であった。

一方、抗体結合活性の残存率は、精白歩合90%で玄米対比28、70%高度精白米では玄米対比4となり抗体結合活性を96%低減化できることが明らかとなった。高度精白米はこれまで、蛋白質含有率が低いことを主な理由として、米アレルギー患者の治療に経験的に利用されてきたが、このデータは、それ以上に抗体結合活性低減化の意義が重要であることを示す。

4) 品種間比較



図IV5-11 精白にともなう蛋白質および抗体結合活性の残存率
○：全蛋白質，△：塩可溶蛋白質，×：抗体結合活性

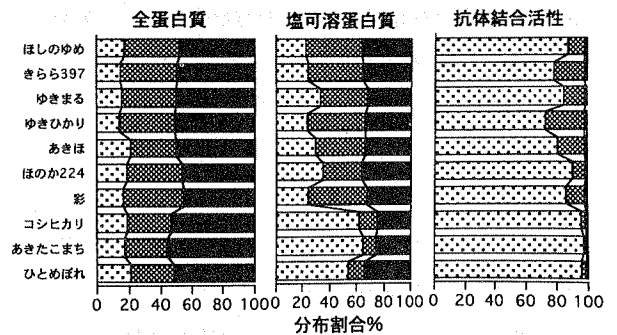
高度精白米を調製する際の原料品種による違いを検討するために、抗体結合活性の表層局在性について品種間差の検討を行った。

供試品種は北海道および府県で作付けされている代表的な10品種について行い、研削画分は表層0~10%までの糠画分、10~30%までの胚乳表層画分とし、30~100%までの胚乳中心画分を加えた3画分について、蛋白質および抗体結合活性の分析を行った。品種による蛋白質および抗体結合活性の粒内分布パターンの違いを比較するため、全粒に含まれる各分析項目の総量に対する、各画分の相対的な存在比率を求め図IV5-12に示した。

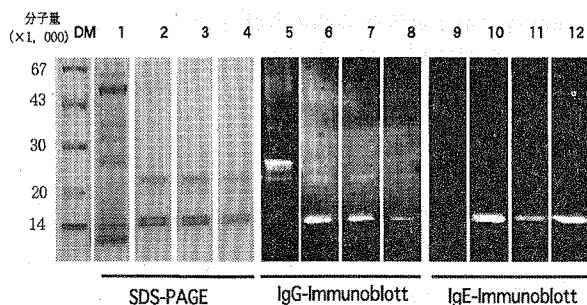
全蛋白質の米粒内での存在比率は、胚乳中心画分に約5割、胚乳表層画分に約3割含まれ、糠画分には全蛋白質の2割程度が存在していた。この全蛋白質の粒内分布には明らかな品種間差は認められなかった。

塩可溶蛋白質は、胚乳中心画分の存在比率は3割前後で品種間差は小さかった。しかし、糠および胚乳表層画分の分布では明らかな品種間差がみられた。すなわち、北海道の7品種は、胚乳表層画分に全体の5割程度、糠画分に2割程度の塩可溶蛋白質が分布するのに対して、府県産3品種はその割合が逆転し、胚乳表層画分に約2割、糠画分に約5割が分布していた。このことは、北海道品種は府県品種より、通常の90%精白で除去される塩可溶蛋白質の割合が低いことを示しており、90%精白米に残存する塩可溶蛋白質が多くなりやすい傾向にあるものと考えられた。

抗体結合活性については、塩可溶蛋白質の分布を反映して府県品種では圧倒的に糠画分に多く分布するのに対して、北海道米では胚乳表層画分に分布する割合が若干高まる傾向が認められた。しかし、胚乳中心画分に分布する割合はいずれの品種もわずかで、明確な品種間差は



図IV5-12 蛋白質および抗体結合活性の米粒内層別分布の品種比較
□：糠画分 ■：胚乳表層画分 ■：胚乳中心画分



図IV5-13 糠層と胚乳蛋白質の抗体結合性の比較

DM: 分子量マーカー, 1, 5, 9: 糠層抽出蛋白質, 2, 6, 10: 玄米抽出蛋白質, 3, 7, 11: 90%精白米抽出蛋白質, 4, 8, 12: 70%精白米抽出蛋白質, 1~4: SDS-PAGE, 5~8: IgGイムノプロット, 9~12: IgEイムノプロット

認められなかった。

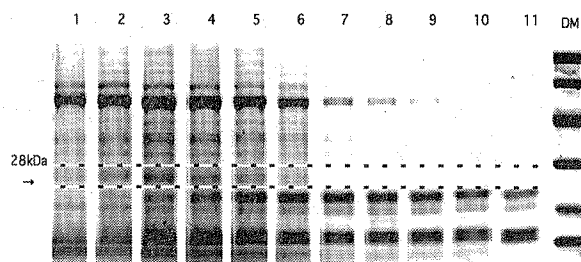
以上から、塩可溶蛋白質と抗体結合活性の米粒内分布には北海道品種と府県品種で若干の差異が認められたが、胚乳中心画分に残存する蛋白質および抗体結合活性の比率に品種間差は認められず、蛋白含有率が同レベルであれば、いずれの品種を原料として用いても同程度に抗体結合活性が低減化された高度精白米の調製が可能と考えられた。

5) 抗原分析

米粒内での抗体結合活性の分布は表層に集積する傾向が認められたが、この糠層と胚乳での分布の不連続性の要因として、糠層に胚乳とは異なる抗原蛋白質が存在する可能性が考えられたため、この点について検討した。玄米から順次精白を進め、糠層、90%精白米、70%精白米試料を調製した。これらについて塩可溶蛋白質を抽出し、SDS-PAGE、および患者血清とのイムノブロッティングに供した。図IV5-13にその結果を示す。

糠層の蛋白質組成は胚乳と大きく異なっており、胚乳に特徴的な26および16kDaのバンドは認められず、高分子から低分子に至り多数のマイナーバンドが確認できた。患者血清IgGとのイムノプロットでは、玄米、90、70%精白米で認められる16kDa付近のバンドが糠層では認められず、28kDa付近に全く別のバンドが検出された。このバンドは当然玄米でも確認されたが、精白米では検出されなかった。また、IgEとの反応はIgGより弱いものであった。

この28kDa付近の蛋白質の米粒内分布をより詳細に検討するために、米粒の研削画分について塩可溶蛋白質組成をSDS-PAGEにより測定した(図IV5-14)。図IV5-12の糠層で認められた28kDa付近の蛋白質は、米粒表層部からレーン6(87.0~84.6%)付近の画分までは確認



図IV5-14 SDS-PAGEによる米粒層別画分の塩可溶蛋白質組成

DM: 分子量マーカー, 1~11: 精白画分, 1: 100~97.5%, 2: 97.4~93.3%, 3: 93.2~91.4%, 4: 91.3~89.6%, 5: 89.5~87.1%, 6: 87.0~84.6%, 7: 82.5~78.5%, 8: 76.5~74.7%, 9: 73.1~70.9%, 10: 70.8~68.8%, 11: 68.7~0.0%

できるが、レーン7(82.5~78.5%)より内部ではほとんど消失することが明らかとなった。

以上のことから、米粒表層での高い抗体結合活性に関与している蛋白質は、これまで報告されている胚乳中16kDaの抗原とは異なる抗原蛋白質であることが明らかとなった。

6) 北海道米の低アレルギー化の可能性

北海道における米アレルギー治療の臨床現場では、高度精白米が経験的に利用されており、90%精白米に比較して有効性を示す臨床データも報告されている(長谷川ら, 1998b)。このことから、今後も臨床場面において、低価格で食味の良い高度精白米の活用を検討することは一定の意義があると考えられる。本研究の見解は、臨床での高度精白米の有効性が、IgG抗体との結合性を指標とした解析により説明できる可能性を示すものであり、今後高度精白米の臨床的な検証および安全な利用法の検討を進める上で、基礎的見解として有効に活用できるものと考えられた。

著者らは高度精白米とは別に、北海道米品種「ゆきひかり」を米アレルギー治療に利用する研究も進めており、臨床試験による有効性を報告している(長谷川ら, 1998a)。このような状況から、北海道の米アレルギー患者の中には「ゆきひかり」を選択している人が多く、北海道農政部ではこれらの患者のために、需要に応じた種子の更新を行っている。著者の推定によると、現在「ゆきひかり」のアレルギー用途での需要は340~2,500 t/年の範囲である(北海道立中央農業試験場, 2001)。

今後、北海道における集約的産地形成を進めていく上で、本研究での高度精白米に関する見解は、これらの成果と組み合わせることにより、北海道米の低アレルギー

ン化に寄与でき、他府県に対して明確に優位性を示すことが可能であり、「地域の創意・工夫を生かしながら多様な需要に対応する産地形成」を推進するための有効な技術開発となりうると考えられた。

4 小括

社会的な新規ニーズとして、北海道米の低アレルギー化技術の検討を取り上げ、検討を進める上で基礎となる、EIA (Enzyme Immunoassay: 酵素免疫測定法) による米アレルギー性の評価法を開発するとともに、高度精白処理による北海道米の低アレルギー化技術の可能性について論じた。

- 1) EIAにより米塩可溶蛋白質の抗体結合活性を効率よく測定する系を作成した。また、基準抗原による検量線を導入することにより、定量性と再現性が高まった。
- 2) 基準抗原50ng当たりの抗体結合活性を1 Kirara-Unit(KU)と定義し、塩可溶蛋白質当たりの抗体結合活性(比活性: KU/ μ g蛋白質)を求めた。また、人が実際に摂食するのは米蛋白質ではなく米全体であることから、塩可溶蛋白質当たりの抗体結合活性に各試料の塩可溶蛋白質含有率を掛け合わせて米一定量当たりの抗体結合

活性(比活性: KU/100 μ g米粉)を解析に用いた。

3) 蛋白質含量は米粒表層画分で高く、内部の画分になるに従い低下する分布を示した。70%高度精白米の蛋白質含量は玄米の約7割であった。また、塩可溶蛋白質含量は米粒表層20%で高く、それより内部では低下し、中心部まではほぼ均一であった。その抗体結合活性は米粒表層画分で極めて高く、内部の画分で急激に低下した。この結果、米粒全体で見ると米の抗体結合活性は米粒表層に局在する分布を示すことが明確となった。

4) 精白歩合を70%まで高めることにより、抗体結合活性は玄米の4%程度にまで低減化することが明らかとなった。

5) 塩可溶蛋白質と抗体結合活性の米粒内分布には若干の品種間差が認められたが、胚乳中心画分に存在する比率に品種間差は認められず、蛋白質含量が同レベルであれば、いずれの品種を原料として用いても、同程度に抗体結合活性が低減化された高度精白米の調製が可能と考えられた。

6) 本研究での高度精白米に関する知見は、北海道米の低アレルギー化に寄与することができ、他府県に対して明確に優位性を示すことが可能な技術開発となりうると考えられた。