

感謝（サンキュー3Q）の食品研究

理事長 鈴木 建夫

昨年の米国同時多発テロの一ヶ月後（2001年10月10日）に米国財務省は「食品の安全と保障」についてのレポートをまとめています。「毎年2,000億円以上の対策にも関わらず、米国疾病管理予防センター（CDC）によれば、食が原因で毎年7,600万人が病気になり、325,000人が入院し、5,000人が死んでいる」と記されています。食を軽視する風潮に警告を出していた訳ですが、残念ながらこれに符合するように、日本でも各種の食品「災害」が連日のように新聞紙上をにぎわしています。消費者は生産者に、生産者は消費者に、感謝の気持ちを忘れたことがその主因ではないでしょうか。研究でも感謝の念を大切にしたいと思います。研究所は独立行政法人として出発し、1. 研究内容の公開、2. 評価の導入、3. 企業会計原則の導入を行っておりますが、感謝（サンキュー：3Q）をこめた研究の展開を試みたいと考えます。

1. 量（Quantity）の確保

日本では少子高齢化が進んでいますが、世界的には人口増加が続いており、今世紀中盤には100億人を突破するとの推計もあります。約6割の食糧を輸入に頼っている我が国はもとより、食糧資源の確保は喫緊の課題となっています。この解決策としてバイオ技術の導入が図られていますが、漠然とした不安（風評？）でコンセンサスを得にくい部分もあることは周知の通りです。バイオ技術の新展開に加え、未利用資源の利用、無駄のない加工法、食品廃棄物の軽減などの研究を行います。

2. 悪い性質（Bad Quality）の排除

「全く安全な食品はない」がリスク分析の根本となる考え方です。有害金属、環境ホルモン、O157などの病原微生物、生産量の約1割に及ぶとされる害虫や害獣など、食品に加わってしまった悪い性質を、予防する、検出する、排除する手段を開発する等の研究を不断に実施し、食の安心の源となる安全性を確保する研究を実施します。

3. 良い性質（Good Quality）の追求

食と健康、美味しさ、食卓の楽しさなど、食の持つ良い性質を追求する研究を実施します。美味しさのメカニズムを解析し、加工法まで展開する研究や、食と健康を科学的に解析する研究を実施し、高齢社会に適した食を提案していきたいと考えます。

研究所では、食農連携や産学官連携を軸に、地域で収穫されたものを適正に加工・流通し、地域で消費する地産地消の考え方が安全性の確保（食品の履歴）にも有効と考えて、研究を展開しようとしています。講演会の内容がどの部分にあたるかは皆様のご判断に委ねますが、研究者の独善を防ぐためにも、大いにご批判いただきたいと存じます。

フランスの生理学者でグルメの元祖でもあるブリア・サヴァランの言葉から、「新しい食の創造は、新しい天体の発見にも勝るものである」・・・であって欲しいものです。

日本人の食生活とコメ・ムギ・ダイズ

お茶の水女子大学教授 畑 江 敬 子

日本人の食生活の特徴は、コメを主食とし、これに魚介類、肉、卵などの主菜と、野菜の副菜を配し、汁を添えるという構成を持つことである。このことが総エネルギーに占める穀類由来のエネルギーが多く、相対的に脂質由来のエネルギーが少ないことにつながり、かつて米国の食生活の見直しのきっかけとなった。

国民栄養調査¹⁾の結果によると、コメの消費は昭和30年代後半から毎年減少しつづけている（図1）。これは短期間に日本人の食生活の内容が大きく変化したために他ならない。食生活の洋風化が進み、乳類、肉類、緑黄色野菜の摂取量が増加した。その結果、エネルギー摂取量に占める脂質エネルギーの比率は1990年に適正と考えられている25%をこえた。

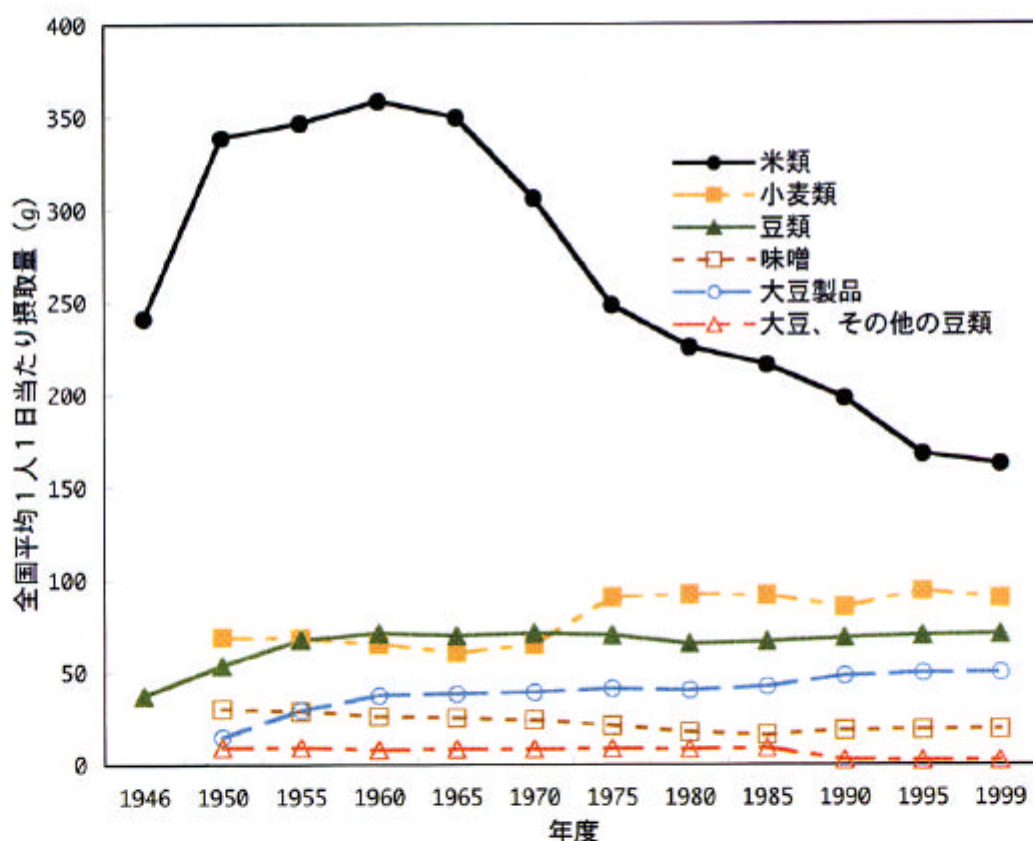


図1 食品群別摂取量の年次推移

コメを主食にする人の割合

少し古いが、NHKの世論調査所が無作為に選んだ全国の16才以上の男女4740人を対象に1981年10月に日常の朝、昼、夕の食事を調査したデータがある³⁾。1981年（昭和56年）の結果を前回の1968年（昭和43年）の結果と比較すると、3食コメを主食とするパターンが1968年には63%であったが、13年後の1981年には55%に減少していた。特に朝食にコメを食べる人が84.5%から70.7%となった。しかし、夕食では92.3%から95.5%の人がコメを食べており、主食としてのコメの地位は健在であった。なお、この調査ではパン食の人の特徴は、若い人、高学歴の人、都市住民、男性より女性であったと述べている。同時に朝パンを食べることは家庭における食事担当者の手抜きである、人力をエネルギー源として使用した時代が終わったのでそれに見合うカロリーを摂取する必要がなくなったためである、あるいは生活が夜型になったため朝あまり食べられない、通勤通学に時間がかかるため簡単な食事にせざるを得ないと言う理由がある、などのコメントがついていた。

お茶の水女子大学調理学研究室³⁾では1987年と1999年に食物学科の卒業生それぞれ896人と954人を対象に食事調査を行った。朝食にはコメよりパンを主食とする人の方が多かったが、1987年の57.4%が1999年には52.3%にパンを主食にする人はやや減少した。夕食には1987年には90.9%、1999年には88.3%がコメを主食としており、先の調査とは対象が異なるが、やはり日本人の食生活において主食としてのコメの位置は現在も健在であるといっていよい。

行事食とコメ

行事食においてもコメは重要な地位を占めており、現在でも祝い事の赤飯や彼岸のおはぎ、子どもの日の柏餅などコメが欠かせない。さきにあげたNHKの調査でも雑煮を毎年必ず食べる人の割合は95%であった。調理学研究室では、北海道から沖縄県まで全国にまたがる2564人の大学生を対象として、2002年の正月の雑煮に関するアンケートを行った。正月に雑煮を食べた大学生は全体の92%を占めた（図2）。沖縄では歴史的に雑煮を食べる習慣はなかったが、最近になって少しずつ増え60%となっているのも人の移動のせいである。沖縄県を除くと正月に雑煮を食べた大学生の割合は93.3%となった。各地域で食べられている雑煮は現在もそれぞれ地域の特徴を色濃く残しており、汁の調味、餅の形、椀の中に入れる実の種類、餡の有無などに違いが見られた。

ジャボニカとインディカ

ところで、日常の主食として食べる米飯はジャボニカ種であり、適度な硬さと粘りをもつ日本人の好む飯は世界中から見ると全く特殊なテクスチャーと言わざるを得ない。中国でも台湾でもフィリピンでもインディカ種の、もっとパラパラした硬めの飯が食べられている。

10年程前になるが、主として関東地方に住む主婦約500人と、フランスのストラスブールおよびレンヌに住む主婦約500人を対象として、おいしい食物に求める重要な要因に日本人とフランス人の間で差があるかどうか比較するためにアンケートを行った⁴⁾。おいしい白飯のために重要な要因は、日本人にとって適度な硬さあるいは適度な粘りであったが、フランス人にとっては80%の人が“ポ

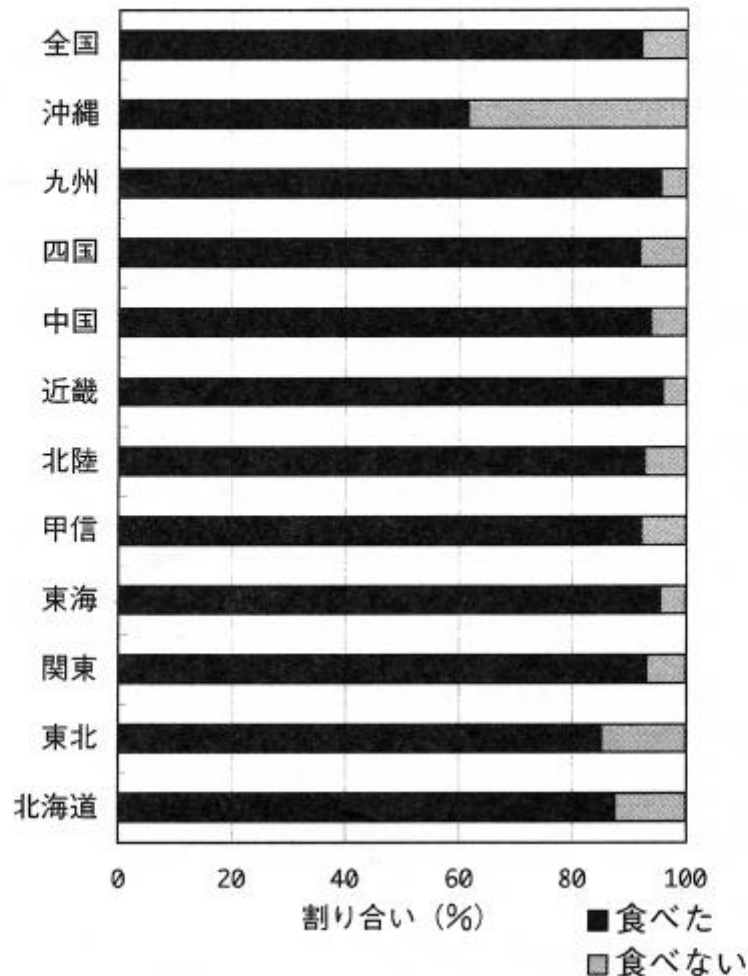


図2 雑煮を食べた大学生の割合

ロボロして一粒一粒がくっつかない”ことを第一位にあげ、これを、重要と思う日本人は1人もいなかった。そこで、これを確かめるために、官能検査を行うこととした。といっても、ストラスブールの主婦に食べてもらうのであるから、40人がやっとである。コメの種類として、カリフォルニア産のインディカ種、ストラスブールで購入したインディカ種とややジャポニカに近いコメ、それに新潟県産のコシヒカリの4種を炊飯し、どれが最も好ましい飯か答えさせた。日本人の回答はコシヒカリに集中したが、ストラスブールの主婦はカリフォルニア産のインディカ種を40%の人が選んだものの、その他の飯も10～30%の人が選んでいた。このようにストラスブールの主婦が日常食べているコメはインディカ種であるが回答が集中せずばらついており、日本人の主婦は日常食べているジャポニカのコシヒカリに集中したのは、食生活におけるコメの重要度も原因の一つと考えられる。

調理学研究室で1993年10月に日本（東京）、中国（山東）、スペイン（バルセロナ）、およびフランス（ストラスブール）に住む主婦それぞれ125、99、141、および121人を対象としてアンケートを行い⁹⁾、東京と山東では1週間に、バルセロナとストラスブールでは3週間の間に食べたコメ料理を記録させた。その結果によると1週間あたりにコメを食べた頻度は東京では12.1回、山東では8.2

料理名	調理法	頻度	調味料								他
			塩	醤油	酢	砂糖	油	バター	香辛料		
白飯	炊	♥									
すし	炊	♣	◎	○	◎	◎					
炊き込み飯	炊	♠	◎	◎		○				酒、みりん	
カレーライス	炊	♠								ルー	
炒飯	炊⇒炒	♠	◎	○			◎		◎		
丼飯	炊	♠	○	◎		○			○	みりん	
握飯	炊	♠	◎								
雑炊	炊⇒煮	♠	○	○							
強飯	蒸／炊	◆									
玄米飯	炊	■									
お茶漬	炊	■	○	○							
ドリア	炊⇒焼	■						○	◎	ベシャメルソース	
バエリア	炒⇒炊	■	◎				○		◎	ブイヨン	
餅	焼／煮	■		○							
餅米菓子	炊／蒸	■				○					

頻度：♥ 毎日1回以上 ♣ 1週間に0.5～1回 ♠ 1週間に0.25～0.5回
 ◆ 1週間に0.1～0.25回 ■ 1週間に0.1回未満
 調味料：◎よく使う ○使うこともある

図3-1 東京で食べられた米料理（1週間）

料理名	調理法	頻度	調味料							
			塩	醤油	酢	砂糖	油	バター	香辛料	他
Boiled rice	茹	♠	◎					○		
Creole	煮/茹⇒炊	◆	◎				○	◎	○	ブイヨン
Rice with sauce	茹	◆	◎							
Vegetable pilaff	炒⇒煮	■	◎				○	◎		ブイヨン
Rice salad	茹	■	◎		◎		◎		◎	
Paella	炒⇒煮	■	◎				◎		◎	
Chinese rice	炊⇒炒	■	◎				◎			
Indian curry	茹	●	○					○		カレーソース
French curry	炒⇒煮	●	○					○	◎	
Risotto	炒⇒煮	●	○				○	○	○	ブイヨン
Rice soup	煮	●	○							ブイヨン
Spanish rice	炒⇒煮	●	○				◎		○	
Plain rice	炊	●								
Stuffed vegetable	炒⇒煮	●	◎						○	ブイヨン
Rice croquette	茹⇒煮⇒揚	●	◎							
Sushi	炊	●	◎		◎	◎				
Stuffed turkey	茹⇒焼	●	◎						○	
Rice gratin	茹⇒焼	●	◎					◎		ベシヤメルソース
Japanese mixed rice	炊	●		◎						
Milk rice	茹⇒煮	●				◎				
Puddings	茹⇒煮⇒蒸	●				◎				
Puff&crispy	無し	●								

頻度：♠ 3週間に0.5～1回 ◆ 3週間に0.25～0.5回 ■ 3週間に0.1～0.25回 ● 3週間に0.1回未満
 調味料：◎よく使う ○使うこともある

図3-2 ストラスブールで食べられた米料理（3週間）

回に対し、パルセロナとストラスブルではいずれも0.9回であった。1週間つまり21回の食事の中でストラスブルの主婦はコメを1回も食べてはいないのである。しかも、コメは野菜の一種で魚料理のつけあわせやサラダとして少量食べられるだけであった。したがって、コメのテクスチャーとして期待するものはコメを少なくとも毎日1回は白飯を食べる（図3）日本人とは異なるものと考えられる。

このようにフランスで食べられるコメに対する好みの傾向が日本と異なることがわかったが、コメを毎日食べる東南アジアでインディカ種のバラバラしたテクスチャーが好まれているにもかかわらず、日本人がなぜ粘りにこだわるのか、その理由については、はっきりしない。もしかしたら、飯を皿の上で副食と混ぜてから口に運ぶという食べ方と茶碗に盛って箸で飯だけ食べると言う食べ方も関連があるかもしれない。そうだとすると、今後日本でも副食と混合して食べるような調理たとえばカレーやパエリア、ドリアのようなものが若い年代を中心に増加すると、粘りのない品種が好まれるようになるかもしれない。一方で適度な粘りのある品種も量はともかく今後も食べられるものと考えられる。

コムギとダイズの摂取量

コメに比べると、小麦類と豆類の摂取量は1975年以降ほとんど変化していない（図1）。国民栄養調査¹¹⁾でいう小麦類には小麦粉、パン、菓子パン、生めん、ゆでめん、乾めん、マカロニ、即席めんが含まれている。豆類は大豆、大豆製品（味噌、豆腐、豆腐加工品、大豆、その他大豆製品）およびその他の豆類、加工品（あずき、さしあん、いんげん豆、煮豆など）を含む。

パンの普及

朝食に白飯よりパンを食べる人がかなり多いことが調査から認められた。主食と副食の関係をコメあるいはパンと食品群別に食料の購入レベルでの相関を調べると、コメと相関の高い食料は魚介、和風野菜、いも類、豆類で、パンと相関の高い食料は肉類、牛乳であった。コメは和風、洋風、中華風のどのような副食とも合うが、パンの場合はかならずしもそうではない。

パンが一般に普及したのは明治時代に木村屋総本店の木村安兵衛が東京の銀座で「あんパン」を売り出してからといわれている¹²⁾。次いで、同じ木村屋から「ジャムパン」が、中村屋（現在の新宿中村屋）から「クリームパン」が登場し、これらは現在でも人気がある。

また、麺類は昼食として食べられる頻度が高い。

日本人のダイズの食べ方

ダイズは世界的にみると油糧種子として重要であり、油脂を絞ったあとのたんばく質を多く含む油粕は家畜の飼料や肥料となる。しかし、日本ではダイズは味噌、醤油をはじめとする発酵食品として、また、豆腐および豆腐の加工品として古くから食生活の中で重要な食物であった。調味は味噌あるいは醤油で行われてきた。国民栄養調査では醤油は調味・嗜好飲料に含められている。醤油消費量を総

務庁の家計調査年報⁷⁾に見ると、1999年（平成11年）には1人当たり年間約3ℓで、これは年々徐々に減少してきている。しかし、めんつゆ、たれ、中食など形を変えて醤油を摂取している可能性がある。

さらに、コメとダイズの組み合わせはたんぱく質の栄養価と言う点から日本人の食生活において重要な役割をはたしてきた。1999年（平成11年）においても日本人はたんぱく質の13.8%をコメからとっている。1975年（昭和50年）にはたんぱく質の20.6%がコメ由来であり¹⁾、それより以前にはもっと多くをコメに依存していたと考えられる。食品たんぱく質の栄養価はたんぱく質の必須アミノ酸組成に大きく依存する。穀類には一般にリジンが少なくコメも例外ではない。コメでは制限アミノ酸となっているリジンは、ダイズに多いので両者を組み合わせることでアミノ酸スコアが改善され、たんぱく質の栄養価が向上する。従って歴史的にコメと味噌、豆腐、豆腐製品などを組み合わせた日本人の食生活は非常に合理的であったわけである。また、ダイズを豆腐や凍り豆腐、油揚げなどに加工することは、たんぱく質の消化吸収率を高めることも、科学技術庁資源調査所の報告書に示されている。この点でも日本人は経験的に非常に合理的な食生活をしていたことになる。

近年ダイズから種々の生理活性物質が見い出されている⁸⁾。なかには溶血物質やトリプシンインヒビターなどが存在し栄養阻害物質とされたが、日本の伝統的な加工製品では製造工程で除かれることがわかっている。しかし、これらもふくめ、ダイズ中のたんぱく質、イソフラボン、フィチン酸、サポニンなどが血漿コレステロール低下作用、血圧低下作用、骨量減少抑制作用などくに生活習慣病の予防に効果のあることが認められ、ダイズの食品としての価値が改めて見直されている。

豆腐は中国で8～9世紀に発明され、平安時代には日本に伝えられた。江戸時代には道端で豆腐を売っている絵があり、このことは腐敗しやすい豆腐をいれる水と、それを日常食として食べる大勢の人がいたことを示している。現在豆腐は日本だけでなく、世界的に低脂肪、低コレステロールで優れたたんぱく質食品としてポピュラーな食べ物である。手許に「トーフマニア」という1998年にアメリカで出版された本がある⁹⁾。ブリッタ・ハウセズが高コレステロールの治療薬の副作用に悩む夫のために、トーフを日常食として取り入れようと考案した120種の料理のレシピが書かれている。なお、ここには5年後には夫はもはや治療薬の必要はなくなったと書かれている。

アメリカやヨーロッパにはベジタリアンがおり、豆はよく食べられるようであるが、ベジタリアンでなくてもトーフはスーパーマーケットで容易に入手できる食品となっている。アメリカでは日本のM社の紙パックに充填されたLL豆腐をスーパーマーケットでよくみかけるが、M社に問い合わせたところこれは東京で生産され輸送されたものということである。ほかに、日本で見かけるようなパック入りの豆腐も売られているので現地で生産されているようである。

このように、コメ、ムギ、ダイズは日本人の日常の食生活に密接なつながりがあり、祖先から受け継いだそれらの良さが現在再確認されている。しかし、食生活を担う小麦もダイズも大部分を輸入に依存しているのが現状である。

参考文献

- 1) 健康栄養情報研究会編：国民栄養の現状、平成11年国民栄養調査結果、第一出版（2001）.
- 2) NHK放送世論調査所編：日本人の食生活、pp.48-61、日本放送出版協会（1983）.
- 3) 中林瞳：お茶の水女子大学平成12年度卒業論文.
- 4) 畑江敬子ほか：家政誌、47、997-1007（1996）；家政誌、50、155-162（1999）.
- 5) Hatae,K. et al: J.Consumer Studies Home Economics, 21, 349-361（1997）.
- 6) 長尾精一編：シリーズ＜食品の科学＞小麦の科学、p.8、朝倉書店（1996）.
- 7) 総務庁：家計調査年報.
- 8) 山内文男、大久保一良編：シリーズ＜食品の科学＞大豆の科学、pp.69-75、朝倉書店（1992）.
- 9) Brita Housez: Tofu mania-add tofu to 120 of your favorite dishes, Marlowe & Company, New York, 1998, 2000.

米と飯の加工技術

企画調整部研究交流科長 豊島英親

1. はじめに

現代は電気釜の普及により、誰でも美味しいご飯が炊けるようになりました。日本人がご飯を主食として食べている要因の一つであると考えています。これほど簡単に精米を水洗い、電気釜の中に入れ所定の水を入れ浸漬後は電気釜のスイッチを入れれば、まずは失敗なく美味しいご飯が出来てしまう装置は世界に誇れる発明です。電気釜の普及が米の消費拡大に大いに貢献したと思われます。米の消費量は年間1人あたり110kgが最高であったが、平成11年には61.1kgに減少しています。米の消費拡大のために、美味しい米作りが盛んになり、新しい良味米が出回り、日本のお米は日本人にとって大変に美味しくなっています。最近ではお米を水洗いせずに、そのまま電気釜に入れ水を加えて後はスイッチを入れるだけで良い無洗米と呼ばれる米も出回り、利用者も増えているが、米の消費量は僅かずつ減少しています。家庭内における主食は朝がご飯かパンで麺は、ご飯やパンの1/10以下です。昼はご飯、パン、麺で、夕食は圧倒的にご飯です。平成9年の家庭における米の消費量の内訳をみると家庭食が48.6kg、外食が12.3kgで、家庭食が減少し、外食が伸びており、食の外部位化が進んでいます。この外食の中身をみると、外食の中でもコンビニエンスストアで販売している中食と呼ばれる、おにぎり、持ち帰り弁当、お鮓、炊飯米等、また加工業者がつくるレトルト米飯、無菌包装米飯、冷凍米飯、チルド米飯、缶詰米飯、乾燥米飯があります。これら加工米飯は、いずれも消費者が求めている安全、安心、健康、簡便化、個食化を配慮して製造がなされています。電気釜、新たに開発された無洗米、米の良食味化が米の消費拡大に貢献しているように、消費者ニーズにあった加工米飯の開発が米の消費拡大に貢献しています。今回の講演会では米と飯の加工技術の中で食品総合研究所関わった発芽玄米、早炊米について紹介をいたします。

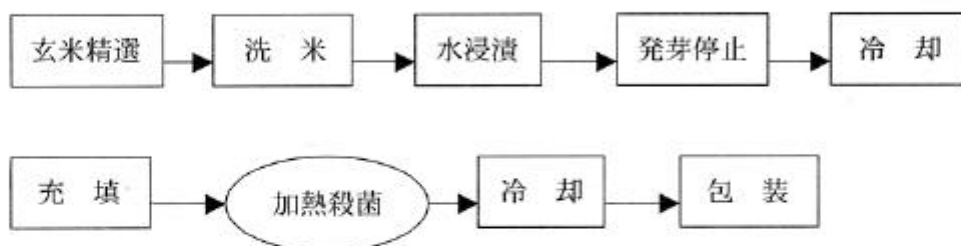
2. 発芽玄米とは



昔から「玄米は身体に良い食べ物だ」という事が言われており、一部の人が食べていたが、白米の炊飯と比べると①玄米は電気釜では炊飯しにくい、圧力鍋で炊く必要があり、②炊飯された玄米飯は固くて食べにくい、③食べても食味が良くない、④消化が良くないという4つの指摘がなされていました。玄米でも芽が出ることから、玄米を水に漬け0.5ミリから1.0ミリ程発芽させた玄米を炊飯した結果①電気釜で炊飯が

でき、②炊かれた玄米飯は柔らかく、③甘みがあり美味しく、④消化が良くなることを見出されました。ここでは発芽玄米とは、玄米を水に漬け0.5ミリから1.0ミリ程発芽させた状態の玄米を言います。

3. 発芽玄米の製造方法



4. 玄米を発芽させると何が変わるのか

1) タンパク質の変化

玄米中の貯蔵タンパク質が発芽に伴うタンパク分解酵素の作用により遊離アミノ酸に分解されます。特に発芽作用に入ると玄米中にあるグルタミン酸が脱炭酸酵素によりGABA（γアミノ酪酸）が増加します。GABAは動植物をはじめとして自然界に広く分布するアミノ酸で哺乳動物の脳や脊髄に特異的に存在する抑制系の神経伝達物質の一つです。発芽玄米100g中にGABAとして少ない品種でも6～7mg多い品種で40mgを超える量を蓄積します（表2、図1、図2）。

表1 白米・玄米・発芽玄米の一般成分

	たんぱく質(g)	脂 肪(g)	糖 質(g)	食物繊維(g)
白 米	8.0	1.5	89	0.9
玄 米	8.8	3.6	85	4.0
発芽玄米	7.5	3.1	87	3.0

表2 白米・玄米・発芽玄米のアミノ酸の変化

	アミノ酸含量(g)	遊離アミノ酸(mg)	GABA(mg)	リジン(mg)
白 米	6.3	27.0	5.0	1.0
玄 米	7.3	49.0	8.0	1.9
発芽玄米	7.6	121.3	26.8	4.1

発芽玄米の遊離アミノ酸

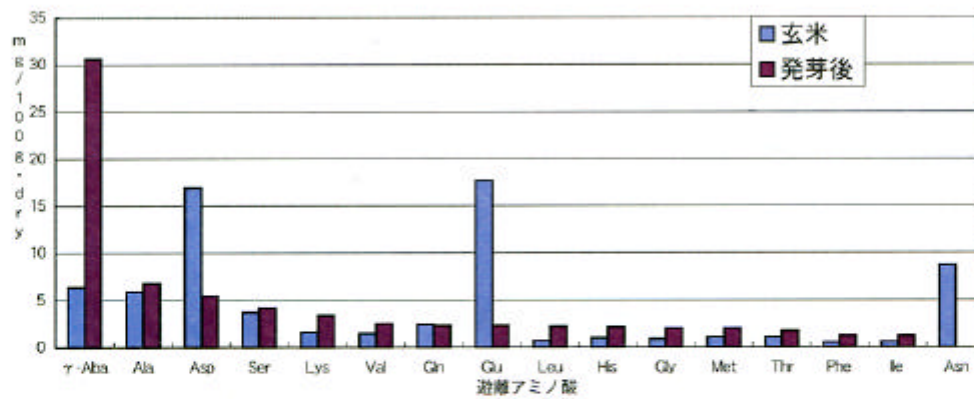


図1 浸漬時間とγアミノ酪酸（GABA）の生成量

γアミノ酪酸(GABA)試験

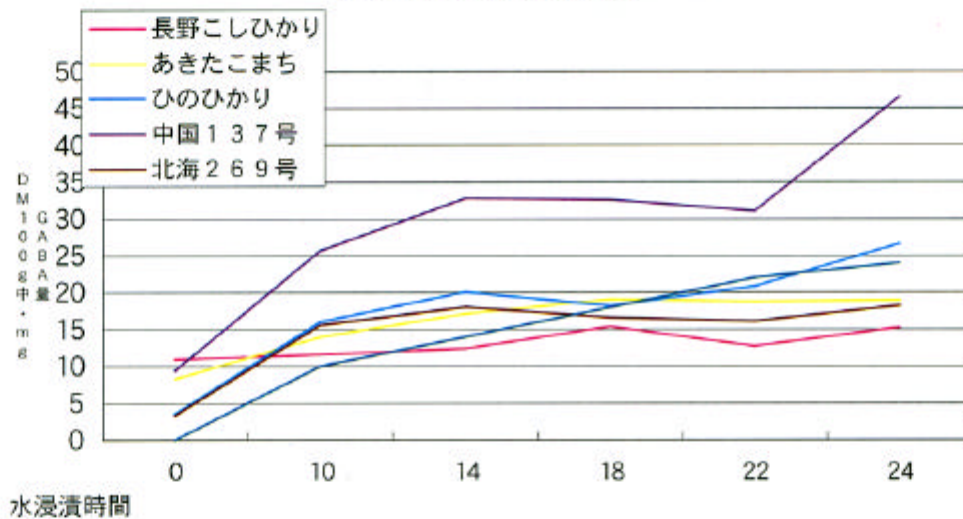


図2 品種・浸漬時間とγアミノ酪酸の生成量の変化

玄米部位別βアミラーゼ活性

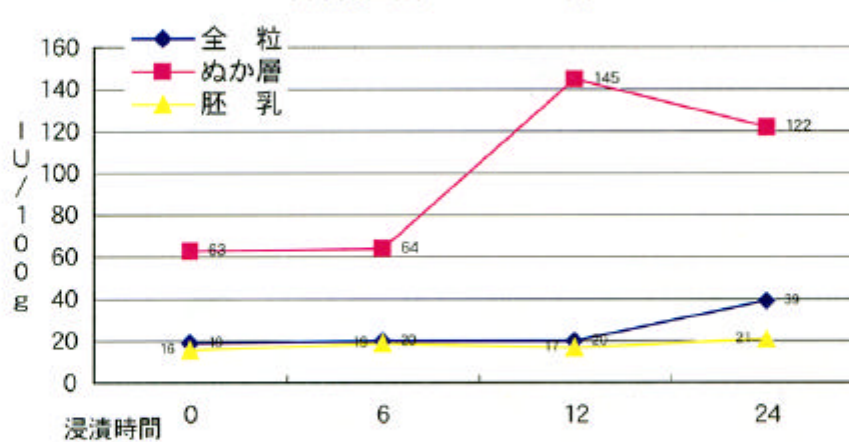


図3 全粒・ぬか層・胚乳のβアミラーゼ活性

2) でん粉の変化

発芽により、玄米中の貯蔵でん粉は内在する α -アミラーゼ、 β -アミラーゼ、枝きり酵素などででん粉分解酵素によりマルトース、グルコースまで分解され、発芽玄米の食味に甘さが加わります。これらでん粉分解酵素はぬか層で活性が高くなっています（図3）。

3) IP6の変化

IP6（フィチン酸）は玄米中で各種ミネラルと結合した状態（フィチン）として存在し、玄米重量比で約1%、米ぬか中では約10%存在します。水浸漬発芽に際してIP6は無機リン酸とイノシトールとに分解されIP6の含量は半分に減少し遊離のイノシトールが増加し、新芽成長の重要な栄養源になっています。IP6は強い金属キレート作用を有しているところから、生体内で、カルシウムの沈着予防や腎臓結石の予防作用、血液中のヘモグロビンの活性化、イノシトールはビタミンB群の一種として、動脈硬化、脂肪肝、肝硬変などの予防作用があるとされています。

4) その他

繊維分、脂質分、微量栄養素であるトコトリエノール、 γ -オリザノール、フェルラ酸などが発芽作用とともに変化することが確認されています。

5. 早炊き米とは

米を洗米し、浸漬、水切り後、蒸煮し（蒸煮により完全に炊飯されず、水分含量が約36%で、糊化度が90%位）すみやかに冷却し、固くなってきたらほぐし、包装して出来上がりです。生米と炊飯されたお米の中間の炊飯米です。

6. 早炊き米の特性

早炊き米で炊飯を行う場合、すでに早炊き米製造時に洗米、浸漬、水切りを済しており、加熱もされており、加熱と蒸らしの時間が短縮できます。

早炊き米の加工工程を変えることにより、出来上がる米飯の糊化の程度、粘り、硬さなどを変えることができます。

各種加工米の製造法と調理方法

	精米	無洗米	アルファーマ	早炊き米
外 観				
水分%	約15%	約15%	10%以下	約36%
製 造 工 程	<pre> 玄 米 ↓ 精 米 </pre>	<pre> 洗 米 ↓ 乾 燥 </pre>	<pre> 洗 米 ↓ 浸 漬 ↓ 炊 飯 ↓ 乾 燥 ↓ 計 量 ↓ 包 装 </pre>	<pre> 洗 米 ↓ 浸 漬 ↓ 加 熱 ↓ 計 量 ↓ 包 装 ↓ 真 空 冷 却 </pre>
調 理 方 法	<pre> 洗 米 ↓ 浸 漬 ↓ 炊 飯 </pre>	<pre> 浸 漬 ↓ 炊 飯 </pre>	加水のみ または 炊 飯	炊 飯
調理時間	40～90分	40～90分	3～20分	12～18分

各種加工米の製造法と調理方法

品名	冷凍米飯 	無菌包装米飯 	レトルト米飯 
主要品目	ピラフ・チャーハン	白飯・混飯・赤飯	白飯・混飯・赤飯・粥
製造工程	<pre> graph TD A[洗 米] --> B[浸 漬] B --> C[炊 飯] C --> D[バラ化冷凍] D --> E[計 量] E --> F[包 装] </pre>	<pre> graph TD A[洗 米] --> B[浸 漬] B --> C[炊 飯] C --> D[計 量] D --> E[無菌包装] </pre>	<pre> graph TD A[洗 米] --> B[浸 漬] B --> C[炊 飯] C --> D[計 量] D --> E[包 装] E --> F[レトルト殺菌] </pre>
調理時間	レンジで4～5分	レンジで2～3分 または 湯煎で15分	レンジで2～3分 または 湯煎で15分

枝豆のおいしさを調べる

おいしい枝豆の技術開発「だだちゃ豆と丹波黒の食味成分を探る」

作物研究所畑作物研究部畑作物品質制御研究室

主任研究官

増 田 亮 一

1. はじめに

枝豆は大豆の未熟な種子を食べるものであることはご存じでしょう。最近知られるようになった枝豆のブランド「だだちゃ豆」と「丹波黒」は、初夏に出回る莢の緑が鮮やかな枝豆とは莢がやや異なる特徴的な枝豆です。出荷時期も真夏からずれて遅いにも関わらず、おいしさが口コミで広がり、すっかり全国区となりました。「だだちゃ豆」は莢がややくすんだ緑色で特有な香りを持ち、甘くこくがあるといわれる。他方、「丹波黒」の莢も鮮やかな緑色ではなく、しかも前者と比べて強い甘さを示さないが柔らかく、バランスがよいといわれる。

枝豆のおいしさを知る上で、これらは研究対象として、また、新しい枝豆を育成する上で優れた大豆です。さらに、大豆を加工した煮豆、豆腐の品質とも関わりがあります。

さて、枝豆の研究は「冷凍枝豆は家庭菜園で採れた枝豆をゆでたものに比べておいしくない」との話が端緒となって、野菜の鮮度保持技術の開発研究の1つとしてスタートさせました。冷凍枝豆の食味が良くない原因として、枝豆はスイートコーンなどと同じく畑で莢を採取した後は時間が経過するにつれて味が落ちる、冷凍品の品種は青果とは異なっている、あるいは冷凍品の製造工程に問題があることが考えられました。答えは1991年に台湾で開かれた枝豆振興に関する国際ワークショップに招待された折り、現地の枝豆収穫風景及び製造工場を見学してはっきりしました。枝豆品種は日本国内から導入した品種の改良種ですが食味に大きな差異はなく、ボイル以降の製造工程にもさほど問題はありませんでした。ところが、畑で収穫してから工場でボイルされるまでに25℃以上の気温下に2～3日間放置され、食味が低下した原料を用いていました。枝豆の食味には鮮度を保つことが如何に大切かを示しています。

2. 枝豆の食味に寄与する成分

枝豆の鮮度保持技術を開発する上で食味を代表する指標が必要です。食味に関わる成分がわかれば、試験をする都度ゆでた枝豆を多量に用意し、食味パネルとなる人員を確保した官能評価（食味試験）を実施することはありません。そこで、先ず枝豆の食味に最も寄与する成分を特定しました。地元（谷田部町）の枝豆、初夏に首都圏で出回る一般的な白毛の緑莢の早生品種の1つ玉すだれを用いています。1）ゆでた枝豆に多く含まれる呈味成分は枝豆らしさに大いに寄与している、2）収穫後夏の室温下では食味が速やかに低下するので、食味に寄与する呈味成分は当然低下するとの仮定の上で、収穫後40分後、3時間後、8時間後、24時間後と、30分後、3時間後、10時間後、48時間後との2回分の食味試験を行いました。

結果として、収穫後の経過時間と多量な呈味成分であるスクロース、グルタミン酸、アラニンとの間には明確な正の相関が見られたことから、これらが枝豆の食味成分として適切であると考えました。香りやテクスチャーの寄与も大きいことが食味試験から示されましたがこれについては最後に触れます。苦味成分イソフラボンやサポニンが食味に寄与と考えられますが、貯蔵中に大きな変化を示さなかったため、この試験では扱っていません。

次に指標となる食味成分が決まりましたので、「家庭菜園で採取した枝豆を直ぐにゆでる他には、これと同等の食味を実現できないのか？」に取り組みました。

ゆでた枝豆の食味を良くするには、簡単にいえば食味成分含量の低下を押さえればよいので、1) ゆでる時のロスを少なくする、2) 鮮度保持技術により収穫後のロスを抑制する、3) 収穫時の食味成分含量を上げることで実現できるはずです。

ゆでるときの食味成分の低下は、加熱による変成・分解あるいはゆで汁への漏出が主です。後者のロスは適正なゆで時間4分間では2-3割程度ですが枝豆品種栽培履歴などで異なります。TVで時々旬の食材として枝豆が扱われ、ゆで方が話題になります。10倍量の沸騰水で4分間ゆでるよりは蒸し器で3.5ないし5分間ゆでた方がグルタミン酸、アラニンなどは多く、スクロースやマルトースには有意な差異はありませんでした。最近では電子レンジによるスチーム発生法の応用などでゆで方の工夫がされています。

先に見たように収穫後のロスは経過時間とともに大きくなりますが(図1)、保蔵温度を低下させると食味成分の低下は緩慢です。さらに、酸素、二酸化炭素の透過量を限定したフィルムを用いたバック袋に入れて酸素濃度を4-5%程度まで下げる(MA包装と呼ばれます)で低下がより抑制されます。現在、国産優良産地の枝豆はほとんどが微細孔フィルム(P-プラス袋など)に入れられて出荷され、店頭に陳列されています。枝豆によっては1週間はスクロースの低下がかなり押さえられ遊離アミノ酸が多い商品が供給されています。バックを開けたときにエタノール臭がするぐらいの方が食味成分の保持程度は良いようです。エタノールはゆでたときに気散します。

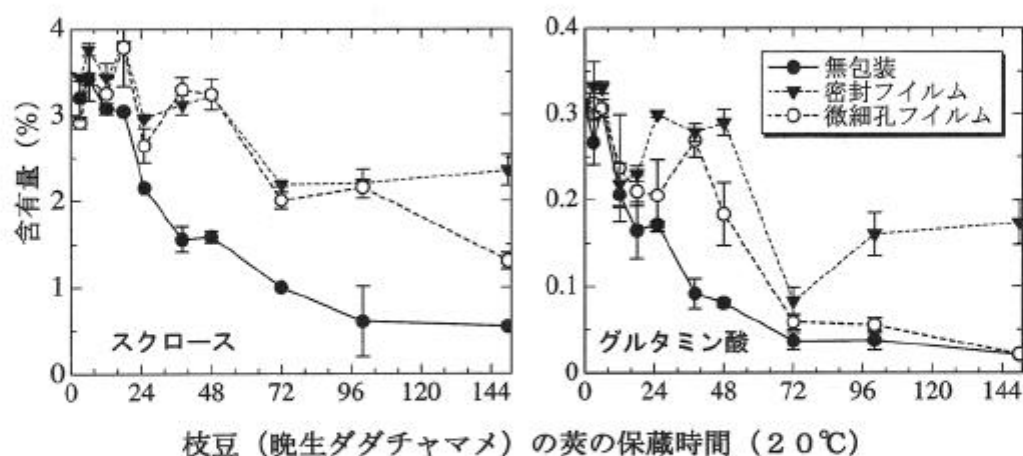


図1 枝豆のMA包装による保蔵効果

しかし、たとえMA包装で0℃付近に保蔵しても4週間以上の長期に渡ってスクロースの低下を防ぐことは現状では困難です。収穫後の流通過程におけるロスが避けられないとすれば、次の手として、収穫時点の食味成分含量を増強してロスを補うことが考えられます。収穫時点の食味成分含量は、種子の生育過程（登熟ステージと呼びます）あるいは、天気などの栽培環境や収穫の時刻によっても変化することがわかっています。しかし、最も影響が大きいのは枝豆の品種です。

図2はそれぞれ、初夏に出荷される玉すだれ、9月上旬採りのダダチャ豆と同系統の茶かおりを栽培して、登熟種子の糖類の変化を検討した結果です。枝豆時期のスクロース含量は玉すだれに比べ茶かおりで明らかに多いことを示しています。参考に豆腐用途の大豆エンレイの糖類の変化を図3に示します。枝豆用の大豆に比べ枝豆時期にスクロースが多くなりません。栽培して分析した大豆は47品種にのびますが、枝豆品種以外は枝豆時期の種子でもスクロース以上に澱粉が集積することを示しています。言い換えれば、枝豆として採取される大豆種子は、莢ふっくらと厚くなった水分含有率が70%程の時期（これが枝豆適期）にスクロース含量が増加して、ゆでた時に甘味が感じられるということです。大豆品種の用途をスクロース及び澱粉含量の変化から分類すると表1のようになります。

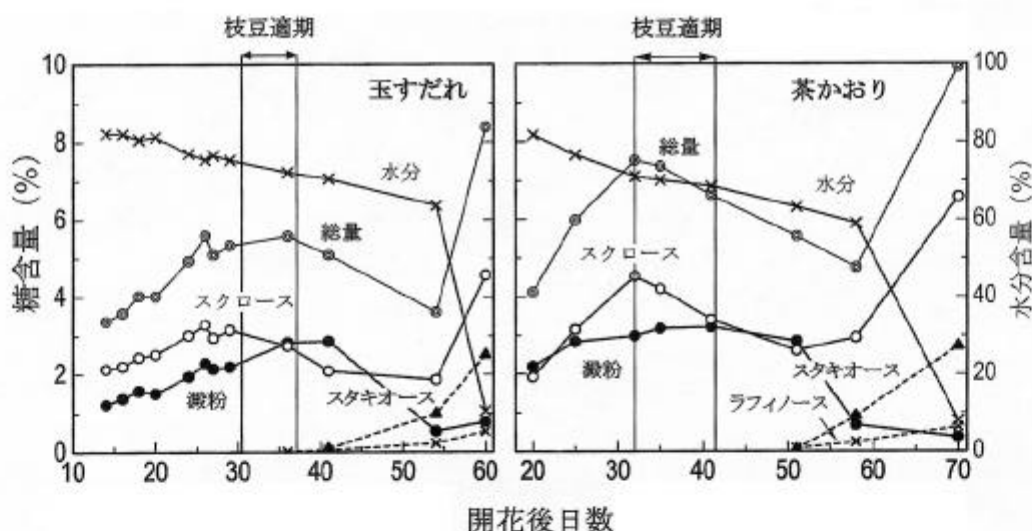


図2 登熟種子の可溶性糖類と澱粉集積量の変化

表1 大豆の登熟時期の糖類集積パターンによる分類

高スクロース型	枝豆、その他	茶かおり、紫ダダチャマメ、玉すだれ、コケシジロ、西海20号
中間型	豆腐	エンレイ、フジミジロ
澱粉型	全般	砂糖いらず、黒砂糖豆
高澱粉高残糖型	煮豆、枝豆、味噌	丹波黒、小糸在来、古黒大豆、赤莢、大湯青豆、筒江青豆、赤城下、たのくろ大豆
高残糖型	納豆、煮豆	納豆小粒、莢香、もち大豆

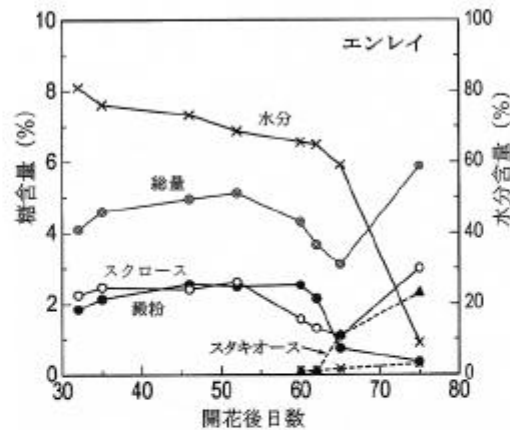


図3 豆腐用エンレイの登熟種子の可溶性糖類と澱粉集積量の変化

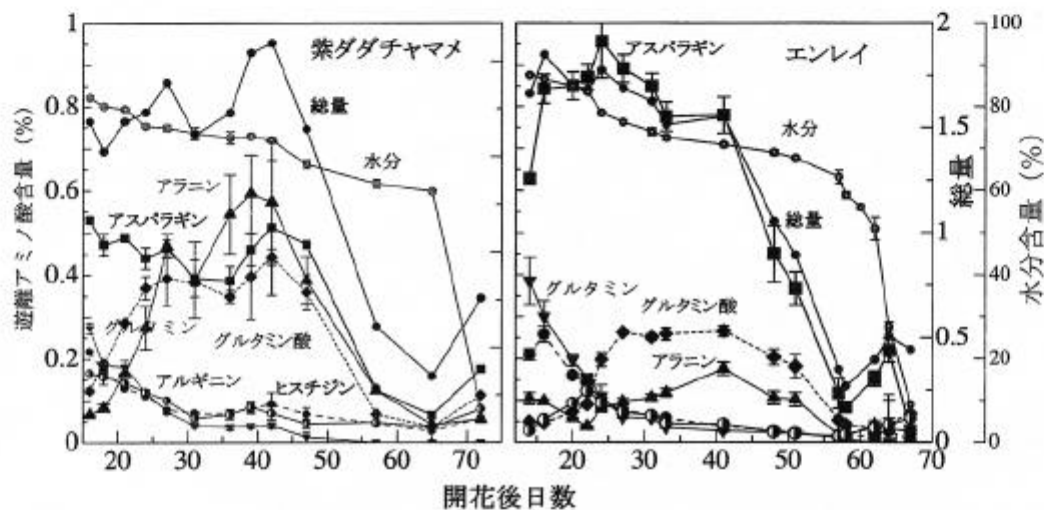


図4 登熟種子の遊離アミノ酸含量の変化

枝豆品種と普通の大豆との相違は遊離アミノ酸グルタミン酸やアラニンの含量からも伺えます。紫ダダチャ豆と豆腐用途のエンレイの対比（図4）では、エンレイはタンパク質含量が多い大豆として生育種子に比較的多くの遊離アミノ酸を集積します。しかし、ダダチャ豆に比べグルタミン酸、アラニンが少ないのです。

3. 生育種子のアミノ酸代謝

ここで、少し見方を変えて登熟中の枝豆種子に何故遊離アミノ酸グルタミン酸やアラニンが多いかを考えてみましょう。

アミノ酸は植物体内では生育段階、部位によってその種類と含量、形態がかなり大きく異なります。枝豆では種子を構成する種皮と子葉との関係が重要です。開花受精後に発達する子葉、胚軸、胚乳や胚は子の世代であり、親の種皮との間には維管束系といった養分を供給する輸送ルートが通じていま

せん（図5）。

ダイズ種皮の半分近くを占める柔組織は、発達した巨大な液胞を持ち、またデンプン粒が見られる細胞からなり、一時的な養分の集積器官として機能しています。種皮に維管束系を通じて供給されるアミノ酸組成は、子葉に供給されるそれとは異なっていました。ダイズ莢に小さな窓を開け、種皮の上部を削除し子葉等を取り除き、種皮だけのカップを作り、種皮の内面から子葉に移動したアミノ酸を測定しますと、開花後約35日目のダイズ種子では、流出液のアミノ酸組成はアスパラギン(ASn)16%、グルタミ

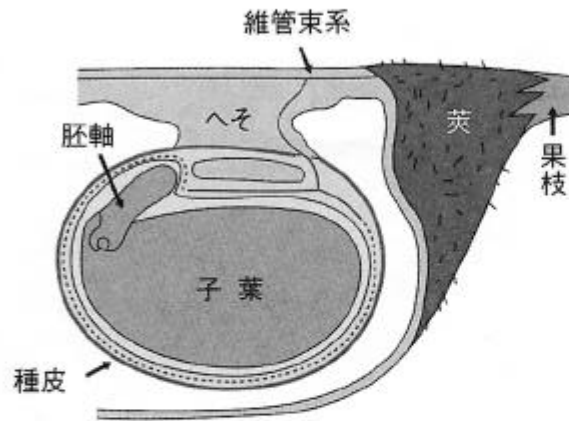


図5 ダイズ種子の構造

ン(Gln)15%、アラニン(Ala)11%、 γ -アミノ酪酸(γ Aba)10%であった。ところが、種子が茎につながる果枝の篩管液は、アスパラギン34%、グルタミン9%、アラニン7%、 γ -アミノ酪酸7%と、随分異なっています。両者のアミノ酸組成が異なることは、維管束系の終末となる種皮（莢を含む）において、アミノ酸が代謝されたことを示します。ダイズ種皮ないし莢は、アミノ酸の輸送形態であるアスパラギンから子葉の成長により有効なグルタミンへとアミノ酸を変換していました。

子葉では表皮細胞や輸送細胞によって再び吸収され、原形質連絡を通して柔細胞へ至り貯蔵タンパク質（ β -コングリシニンやグリシニン）などに合成され、細胞内小器官プロテインポディに蓄積されます。種子に集積する遊離アミノ酸とは、葉や根から供給されるアミノ酸と種子に蓄積される貯蔵タンパク質合成量との差分です。

枝豆品種では、種皮のアスパラギナーゼ活性が普通品種に比べ低く、子葉のグルタミン酸合成酵素の活性が高いことが、これらの種子でグルタミン酸含有量が多いことに繋がります。これら2つの酵素タンパク質の発現時期、発現量の相違が品種間の差異の1つの要因と考えられます。実際このようなアミノ酸代謝酵素の発現特性は、白山ダダチャマメを早生緑に交配した後代にも認められ、グルタミン酸含量の高い枝豆品種が実現できています。

4. 丹波黒の甘味源となるマルトース生成

10月中旬に枝豆となる丹波黒では図6のようにエンレイと同程度2.5%のスクロースしか貯めません。なぜおいしいのか？今のところ、マルトースが茹で始めに耐熱性 β -アミラーゼによる澱粉分解で1.0%程生成され甘味が補強されること、並びに種子が柔らかく堅い種子よりも呈味が強調されることが考えられます。

前者はさつまいもを蒸かしたり、石焼きした時に澱粉が分解されマルトースが生成されることと同じです。丹波黒「兵系黒3号」の莢付き枝豆をゆでると加熱4から6分後にマルトース生成量が最大となり、20分後にはゆで汁への溶出のため0.7%に減少します。以後マルトース生成反応を検討する

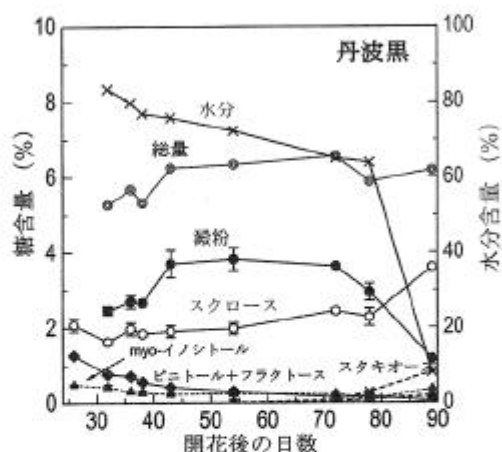


図6 丹波黒の登熟種子における可溶性糖類と澱粉集積量の変化

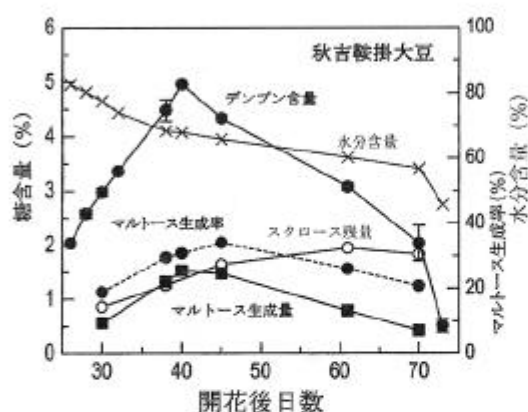


図7 登熟種子の糖類の変化及びゆでた後のマルトース生成量

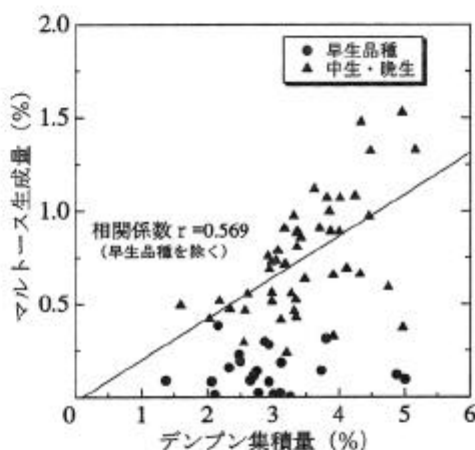


図8 大豆品種や種子の登熟時期によるマルトース生成量の相違

ため、生ではなく冷凍ストックした未熟種子を用いて検討しました。同じ丹波黒の凍結種子はひび割れがあるため沸騰後60秒間でマルトース1.0%を生成しました。大豆の β -アミラーゼは耐熱性であると知られており、沸騰水中で種子の内部に熱が伝わり、澱粉粒が加熱され、膨潤とともにアミロペクチンに酵素が働きマルトースに分解されます。膨潤から酵素の失活まではごく僅かであると考えられます。澱粉を30%程度含むエンドウやソラマメをゆでても β -アミラーゼが耐熱性ではないためかほとんどマルトースは生成されません。

種子の生育時期によって澱粉含量は大きく変動するためマルトース生成量もこれを反映しています(図7)。さらに澱粉含量は大豆品種によってかなり異なることから、マルトース生成量の品種間の差異は大きく(図8)、初夏の枝豆は比較的マルトース生成量が少なく、晩生品種ではマルトース生成量が多いです。結論として、晩生大豆を秋取りする枝豆の甘味はスクロース+マルトースで、スクロース豊富なただちゃ豆や初夏の枝豆品種とはやや異なってくると考えられます。

さて、晩生枝豆ではマルトース生成率（マルトース生成量／元の澱粉含量）20－30％程ですが、初夏の枝豆では10％未満が散見され、これらではマルトース生成が阻害されているようです。早生茶豆には極端にマルトース生成量が少ない品種も発見されました。この阻害は β -アミラーゼ活性やその耐熱性が低いだけでなく、澱粉側に主な阻害要因がありました。早生枝豆の澱粉は糊化温度が晩生品種に比べて少なくとも10℃高いこと、マルトース生成量がほとんどない茶豆では20℃以上も高いことがわかりました。糊化温度が異なっているのはアミロプラストのグルコース鎖長分布が異なっているためです。

ゆでる過程で生成されるマルトースには甘味成分として有益な点があります。それは食べる直前に作られる糖であるため、収穫後の流通中に低下することが無いのです。甘味強度はスクロースの0.4以下と報告されており弱いですが、補完甘味源としての意義があります。早生枝豆においてマルトース生成の阻害を取り去り、澱粉をさらに甘味源に変換できれば、食味がより向上した枝豆に改良できると考えられます。

5. おわりに

食味に大きく影響する枝豆の香りは既に報告されており、(Z)-3-hexenyl acetate, linalool, acetophenone, cis-jasmoneが枝豆らしさに寄与しています。また、だだちゃ豆に特有な香気は香り米成分2-acetyl-pyrrolineでした。ちょうど枝豆適期に最大となり、乾燥大豆ではほとんど残っていません。これの大豆における分布はだだちゃ豆に限定されず、豆腐に使われる青豆や黒煮豆の一部にも含まれています。

また、テクスチャーに関係する種子の堅さは丹波黒系が最も柔らかいこと、種子の細胞壁多糖類組成・含量によって異なることが判明しています。

おいしい枝豆を食べるには、食味の良い品種、天気のよい栽培、適切な収穫、収穫後速やかにゆでる、保蔵するときは低温下でMA包装、3分間ほど蒸すことがポイントです。

品種改良を除きそれぞれの技術開発が進んでいます。品種改良ではだだちゃ豆を除けば未だ食味に力点を置いた育成は進んでいません。食味成分の優れた素材の掛け合わせを育種目標に据えることが求められています。

国産農産物を活かす技術

食品素材部穀類利用研究室長 堀 金 彰

1. はじめに

「食料戦略の時代」と言われる21世紀が始まりました。アジアモンスーン地帯に位置する日本は、十分な雨の恵みを受けているため水田や畑で農作物がすくすくと育っています。しかし、他のいろいろな国では、地球温暖化に伴う生産圃場の減少、人口増に伴う食料危機が大きな問題となっています。私たちの身近なコンビニやスーパーには食料品があふれており、食料の安全保障問題は何となく遠い国の問題のような気がします。しかし、お米を除くと日本の食料の大部分は輸入品です。世界人口は約60億人ですが、2025年頃には80億人、2060年頃には100億人に達すると考えられています。将来、日本の食料供給は大丈夫なのでしょうか。

日本においては、私たちが食べている食料品の国内生産は、非常にアンバランスになっています。主食のお米は過剰生産で水田の約40%がお米を作っていません。反対にパンやうどんの原料の小麦は生産量が不足しており、約90%を輸入に頼っています。コンビニやスーパーの輸入食料品に対して私たちは安全性をどのように考えていたのでしょうか。おそらく、私たちの多くは商品が同じ陳列棚に並んでいる場合、どこで生産され、どのような流通過程を通り、あるいは食品加工がなされようが同じ安全基準の食料品と考え、日付の新しい商品、見た目の良い商品を選んでいくようです。

しかし、最近は食料品の安全保障という意味が原料となる農産物の不足解消だけの問題ではなくなりました。すなわち、見た目では分かりませんが、偽装表示がなされていたり、禁止農薬などで高濃度に汚染されていたり、無認可の薬品で処理されているという事実が次々に明らかになっています。これは、安全でない食料品が身の回りにたくさん出回っているということを意味しています。食料品の不正表示や汚染に対して国民の目は年々厳しくなっています。これは、一つには計測機器が進歩して以前には知ることができなかった分析値を比較的容易に得ることができるようになったことに起因します。もう一つは、インターネットなどで多くの情報を得られる時代になったことがあげられます。「残留農薬」、「偽装表示」、「無認可食品添加物」のキーワードを検索すると多くの情報が提供されています。

幸いなことに、日本は砂漠地帯ではありませんので、きちんとした栽培管理をすれば品質の良い安全な農産物を適正な価格で生産することができます。生産物が流通、加工の過程を経て消費者に届くまで、簡単に精度の高い分析技術で追跡できる技術が確立されれば、国産農産物は世界一品質がよくて安全な食料になることが期待できます。

私たちの研究室では、小麦などの農産物の有効利用のために2つの開発研究を行っています。一つは、国産の小麦やそばなどの農産物を原料とした新しい利用技術の開発です。もう一つは、国産農産物の高品質化技術で、育種や栽培分野で利用しやすい分析法の開発を行っています。

今回の講演会では、高品質化のための分析技術の開発研究を通じて、最近大きな社会問題となっている「自分が食べている食品は本当はどこでつくられたのか?」、「汚染物質の平均濃度は基準値以下であるが、高濃度の汚染物質が部分的に混入している恐れはないのか?」という消費者の不安を払拭するために、私たちが開発している分析技術がどのように利用でき、農産物の安心、安全について信頼を確保することができるかどうかについて紹介したいと思います。

2. 穀粒の品質を調べるための新しい試料調製法

びかびかの銀しゃり、かすかにクリーム色をした白さが映えるうどん、もちもち感のあるごはんやうどんを作るために、新品種を開発する育種分野や栽培分野ではいろいろな研究が行われてきました。最近、農産物の開発研究は良食味や見た目の美しさ以外に、成分を重視する方向に変わりつつあります。それでは、どのようにすれば目的とする成分を効率良く選ぶことができるのでしょうか。

多くの研究室で行われている一般的な分析法の一つは、まず、農産物を乾燥させて粉碎し、分析したい成分を抽出します。この抽出した試料に試薬を加えて発色させ、分光光度計などで成分量を測定します。これに対して、私たちが開発を進めている新しい分析法は、お米や麦の粒を切っただけで平面上にどれくらい成分が分布しているかを2次元的に測定する方法です。最近、2次元分析装置の感度が非常に良くなりました。理由の一つは、分析データの検出器を液体窒素で冷却することにより雑音(noise)を大幅に減らす技術が進み、感度と再現性が大幅に向上したことによります。このような分析法は、人工衛星で気象予報や農産物の生産量予測を行う衛星探査にも用いられています。

今回の講演では、2次元分析法を活用するために開発した、新しい試料分析法について紹介します。

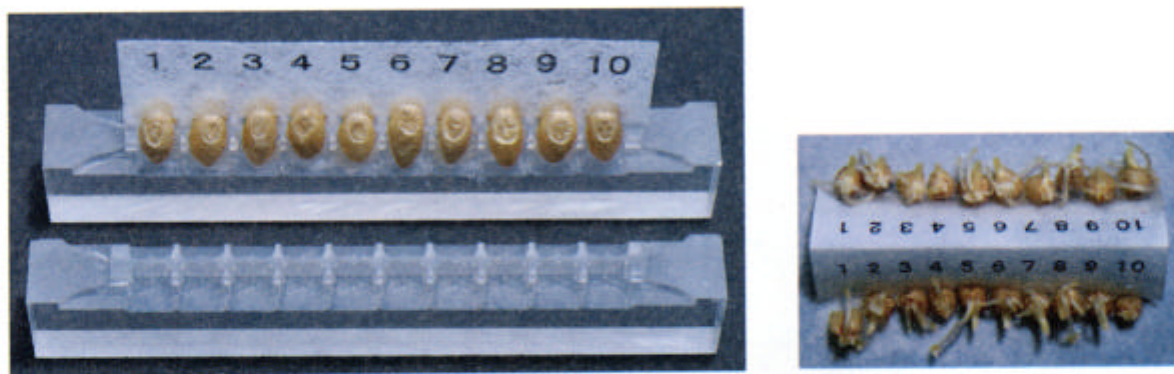


図1 大量の穀粒の成分分析用に開発した種子ホルダー

(左図) 1ユニットに20粒の穀粒を固定して分析するための新型の種子ホルダー（下段）。成分分析の外、育種に用いることができるように、切り離した種子の胚部を固定板で回収して発芽できるように設計されています（上段）。切り離した胚部から発芽している小麦です（右図）。

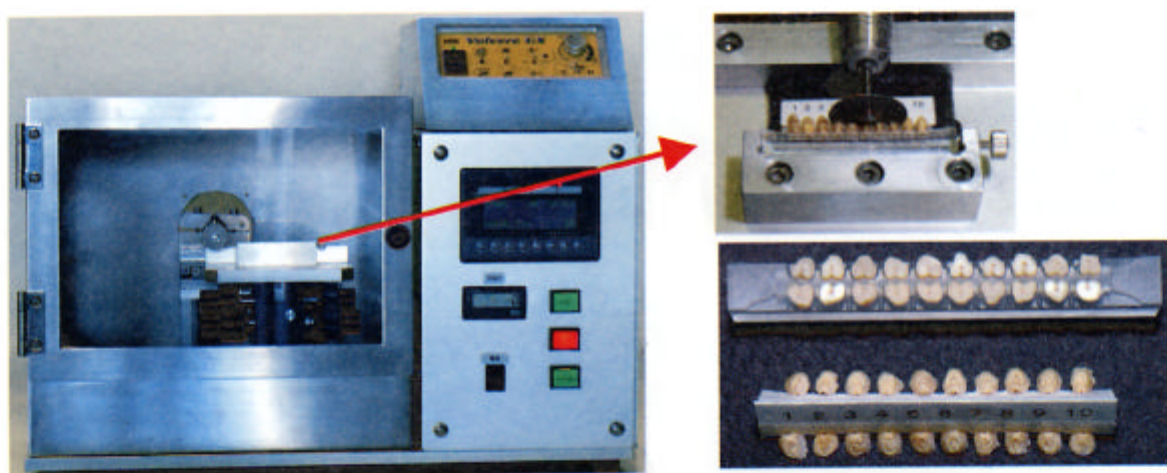


図2 種子切断用に開発した鏡面切片調製装置

鏡面切片調製装置（左図）では、種子ホルダーの穀類をダイヤモンドディスクで切断します（右上図）。ホルダー1個に20粒の穀粒を固定して分析部（右下図の上段）と残存部（同下段）を切断して分離します。

3. 農産物の色を調べる新しい方法

食品素材は、普通は他の食材と一緒に調理されて食卓にあがります。したがって、農産物も、料理の全体的な美しさを損なわないような色彩が求められています。また、高温多湿の日本では、食品は常に微生物汚染の危険性にさらされているため、カビが生えたような色の食品は消費者に敬遠されてしまいます。たとえば、小麦は、うどんやパンの原料ですが、冴えた色調のうどんや明るい色調の光沢のあるパンは、消費者に好まれます。反対に明度が低く、すんだ色調（黒っぽくて灰色）の食品は、評価が低くなっています。ここでは、まず色の評価について新しい技術を紹介します。

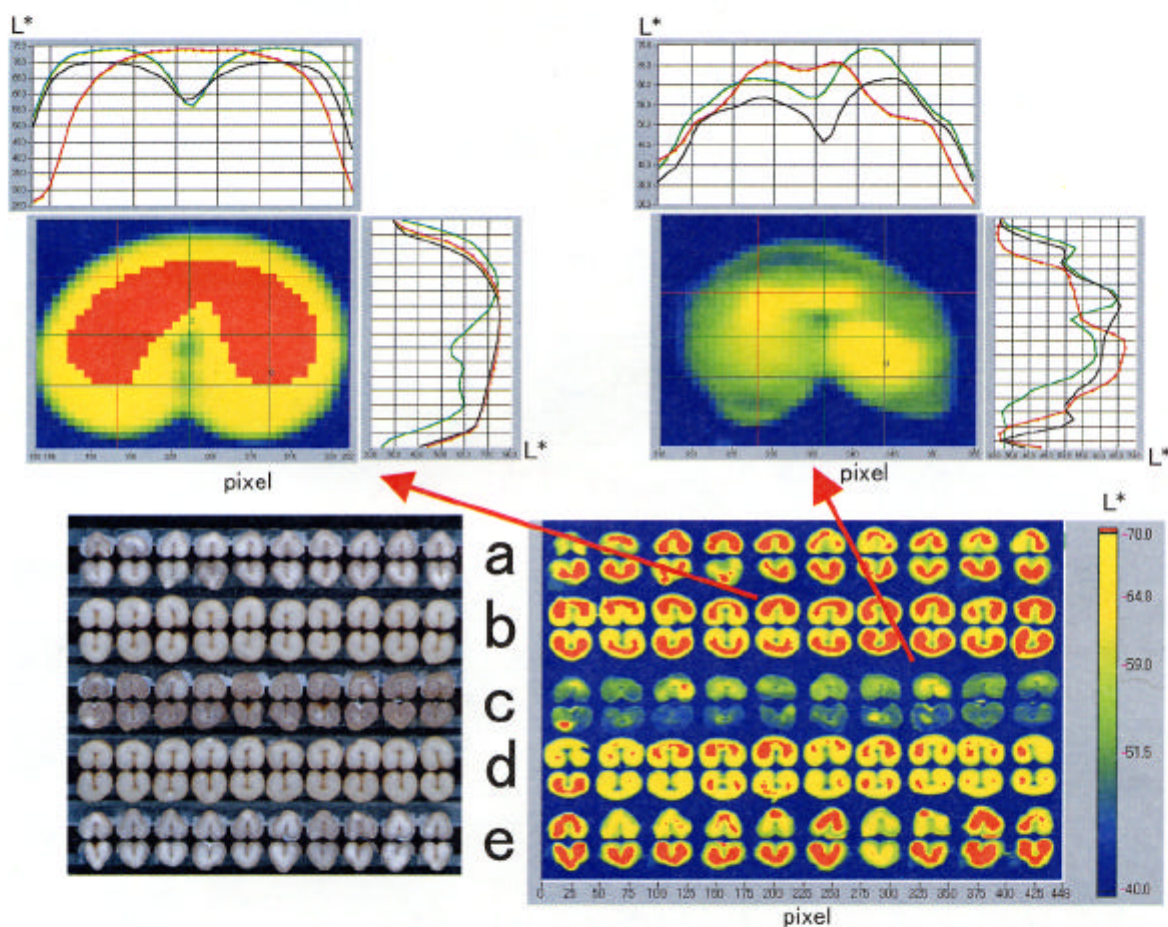


図3 2次元色彩色差計を用いた小麦種子の色の白さの分析

小麦20粒の胚乳部を切断した試料を5連のカートリッジに収容し、2次元色彩色差計で100粒の色彩を分析しました。デジタルカメラで撮影した画像（左下）の色の白さ（明度 L^* ）を2次元色彩色差計でカラー表示（右下）すると特性が非常に分かりやすくなります。色が白い部分は赤で表示されています。また、種子を拡大して内部の色彩の分布を調べると、品種に固有の傾向を分析することができます（上段）。ここでは、うどん用の小麦であるバンドウワセ(a)、トヨホコムギ(c)、農林61号(e)の乾燥品と、水に濡らした濾紙上で24時間浸漬したバンドウワセ(b)、トヨホコムギ(d)を比較してみました。2次元色彩色差計のみで全ての品種を判別することはできませんが、品種毎に形状や色の分布パタンの傾向が異なっていることが分かります。

4. 農産物のタンパク質や脂質などの成分を調べる方法

農産物の主な成分は、タンパク質、脂質、炭水化物、水分などです。これらの成分を可視光線より波長が長い赤外線を利用して分析すると、特定の波長で大きく吸収されることが知られています。2次元赤外分光分析装置は、この原理を利用することにより、穀粒の切断面の成分分布すなわち局在性を調べることができます。

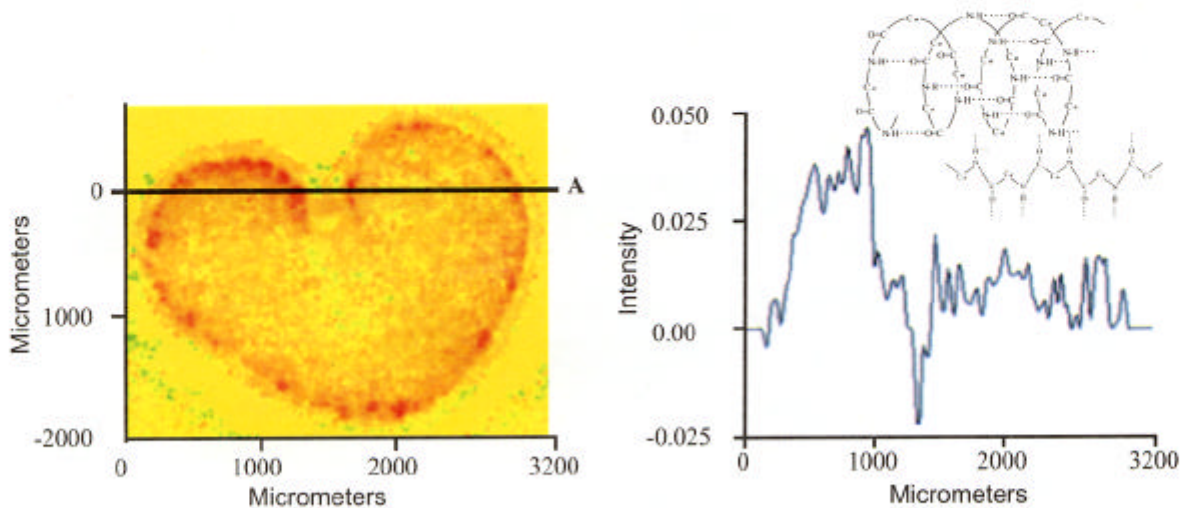


図4 小麦胚乳部の鏡面切片のアミドIのマッピング画像とスペクトル分布

小麦胚乳部をダイヤモンドディスクで平滑に切断し、赤外分光分析でタンパク質のペプチド結合のアミドⅠの吸収をマッピングした画像（左図）を示します。赤で表示されている部分がタンパク質を多く含んでいます。Aの位置のスペクトル強度が右図に示されています。マッピング画像とスペクトル強度を利用して穀粒の成分特性の解析などへの利用が期待できます。

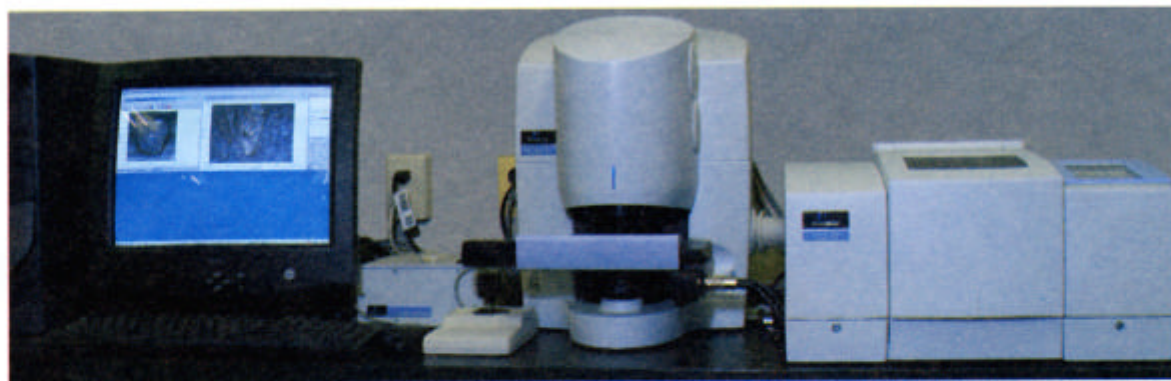


図5 穀粒の成分分析に利用される2次元赤外分光分析装置
(Spectrum Spotlight300、パーキンエルマー)

種子ホルダーに固定した20粒の穀粒の鏡面切片をステージに設置すると、タンパク質、脂質などの分布を2次元で分析して画像化することができます。感度と再現性の向上のため、センサー部が液体窒素で冷却されています。

5. 農産物のミネラルを調べる方法

農産物には、肥料や土壌から吸収されたミネラルが豊富に含まれています。ミネラル分析は、栄養性の評価や栽培診断に必要ですが、カドミウムなどの重金属汚染の防止のためにも必要な技術です。ミネラルの分析は、一般的には硝酸や過酸化水素を用いて農産物中の炭水化物やタンパク質を分解（湿式灰化）した後、原子吸光やICP質量分析法で分析します。しかし、この方法は、強酸を扱うための実験室が必要です。ここでは、レーザー光を分析試料に照射してICP質量分析装置でミネラルを分析できる新しい方法を紹介します。

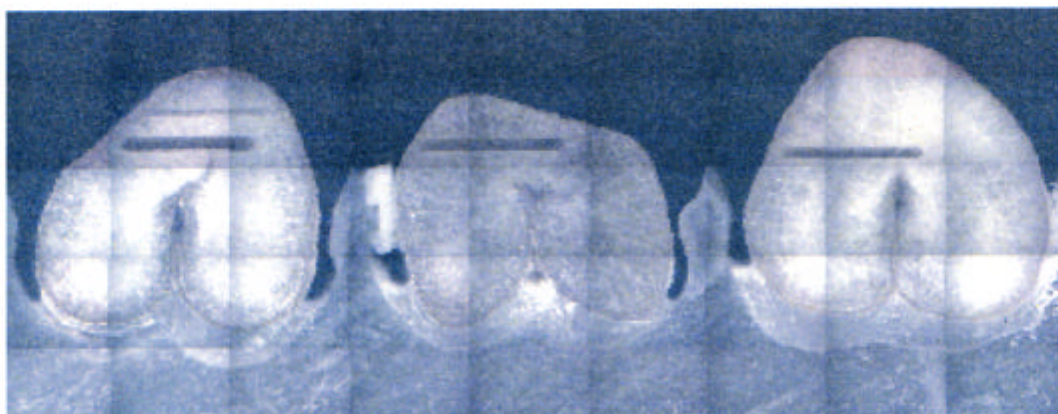


図6 ミネラル分析用にYAGレーザーで照射されたコムギの切片

微量ミネラルの分析に用いられるLaser Abrasion装置でYAGレーザーを照射した後の小麦の切片（厚さ1mm）。レーザーで微粉末化された分析試料は、アルゴンガスとともにICP質量分析装置のプラズマトーチに送られて分解されます。ミネラルは、ICP質量分析装置の四重極マススペクトロメーターで分離されて測定されます。

6. おわりに

農産物がいろいろな国から輸入されている現在、国産農産物を活かす技術の開発は難しい問題です。「どこの国にも無い高品質な農産物を育種学的に作出する技術」、「画期的な食品加工の特許技術を国産農産物のみに実施許諾」... 夢はいろいろ考えられますが、実現はなかなか困難です。また、現在以上の画期的な高品質農産物を消費者が求めているかどうかという問題もあります。

私が学生だった頃、農業後継者の4Hクラブが盛んでした。これは、農業技術と生活改善のために腕を磨く（Hand）、科学的な農業のために頭を磨く（Head）、誠実さと協調精神（Heart）、元気で働くための健康増進（Health）という4つの言葉の頭文字です。

国産農産物を活かすための原点は、4H運動と同じ食料の供給に対する誠実さが最も重要と考えられます。生産者と消費者を結ぶ信頼関係の絆を太くするための「食料の安全保障の理念」が守られるように、今回紹介した技術開発が一助となれば幸いです。

最近イタリア発祥のスローフード運動が注目されています。「安全な農産物を作る生産農家と消費

者が手を携えて、品質が良く安心できる食品をゆっくり味わう」ことが趣旨ですが、世界中に広がる傾向にあります。農産物の生産に工業的な視点を加えることはもちろん必要ですが、価格破壊という名の下に、安さだけを追求して生産される一部の輸入農産物に、日本と同じ安全基準を設けることが現実的に可能かどうかとも考えてみる必要があります。

コメのDNAによる品種および食味の判別

食品素材部穀類特性研究室長 大 坪 研 一

1. はじめに

近年、消費者の良食味指向が進み、コシヒカリ、ひとめぼれ、ヒノヒカリ、あきたこまち等の良食味米の生産が増加し、流通市場でも高い価格で取引されています。平成7年に施行された食糧法のもとで、米の包装に品種、産地、産年を表示することになりましたが、平成13年4月からの改正JAS法の施行によってもこうした米の品種や産地の表示制度は、全ての米取扱業者に適用範囲を拡大して維持されることになっています。

以前は、稲や米の品種判別技術には、交配して稔るかどうかが基準に使われました。この交配稔実性を基にして、加藤茂苞ら日本人がインディカとジャポニカという分類を世界に先駆けて始めたわけです。次いで、松尾孝嶺がまとめた稲の草型、葉の位置や角度、穂や籾の形、葉色などのさまざまな特徴を総合して品種を識別する方法が開発されました。玄米のレベルでは、食糧庁の農産物検査官によって、粒形を中心に、外観上の様々な特徴に基づいて品種が判別されています。食総研の松永・田村らが開発した画像解析による粒形判別技術は、この方法を、機器によって客観化、迅速化したものです。また、稲の葉や種子中のエステラーゼやアミラーゼ等の酵素の多型（アイソザイムパターン）によっても稲の品種判別が可能です。中川原らは、この方法によって、世界の各種の米を調査し、インディカの中にも2つのグループに分類できることを見いだしたほか、稲の起源地についても考察を加えています。しかし、この方法では、近縁種の識別、例えば、コシヒカリとその子であるあきたこまちやひとめぼれを識別することは困難です。

一方、DNA判別技術は、米のゲノム遺伝子のわずかな構造上の相違をPCR（ポリメラーゼ・チェーン・リアクション：DNAの特定部分を、変性、結合、伸長の3つの反応の30～40サイクルの繰り返しによって10億倍～1兆倍程度に増加させる技術）やRFLP法（制限酵素断片長多型検出法）等によって識別するものです。われわれは、現在のところ、品種間差のみを検出して産地や貯蔵の影響を受けない識別プライマーを選定し、PCR法を用いて品種判別を行っています。PCR法では、様々な装置や条件で搗精された精米や、精米粉末、米飯や餅等にも適用できるという長所があります。代表的な品種判別技術およびその特徴を、表1に示します。

表1 稲あるいは米の品種判別技術の特徴

	判別方法	対 象	特 徴	問 題 点
1	交配・草型	稲植物体	品種判別の基準的方法	米への適用が困難
2	粒形	米粒	農産物検査の方法	標準試料が必要
3	酵素多型	稲、米、粉	世界の幅広い米に適用	近縁種の識別が困難
4	RFLP	同上	近縁種の識別も可能	試料DNAの量が必要
5	PCR	同上	同上、微量試料で可能	PCRの再現性

2. 米のDNA品種判別技術とは

DNA品種判別技術は、PCR法とRFLP法に大別されます。PCR法は、試料DNAをPCRによって増幅する際の、プライマー（複製開始用DNA断片）の試料DNAへの結合部位における塩基配列の相違によって識別します。したがって、PCRで増幅が可能な量の試料DNAがあれば適用可能であり、精米や米飯のように、デンプンやタンパク質などのDNA以外の成分を多く含み、抽出可能なDNA量が少ない場合に適しています。PCR法の問題点としては、増幅装置や増幅条件によって結果が異なる場合がある点が挙げられます。PCR法による米の品種判別の概要を図1に示します。PCR法の例としては、市販のランダムプライマーを用いるRAPD法、識別用DNAの塩基配列決定後にフォワード側およびリバース側からプライマーを設計するSTS化プライマーPCR法、品種に特徴的な反復配列を挟み込む形でプライマーを設計するマイクロサテライト法などが挙げられます。

一方、RFLP法は、試料DNAを様々な制限酵素（切断部位の構造が決まっているDNA分解酵素）によって切断し、試料DNAのDNA塩基配列の相違に基づく切断部位の相違によって切断されたDNAの長さが異なってくる（多型と呼ぶ）を利用した識別方法です。この方法は、PCR法に比べて多量の試料DNAを必要とするという問題がありますが、結果の再現性が高いこと、日本晴やカササシのようなゲノム解析に用いられている基準的な品種では、制限酵素切断部位や、対象遺伝子の座乗染色体およびその位置に関する情報が蓄積されているという長所があります。

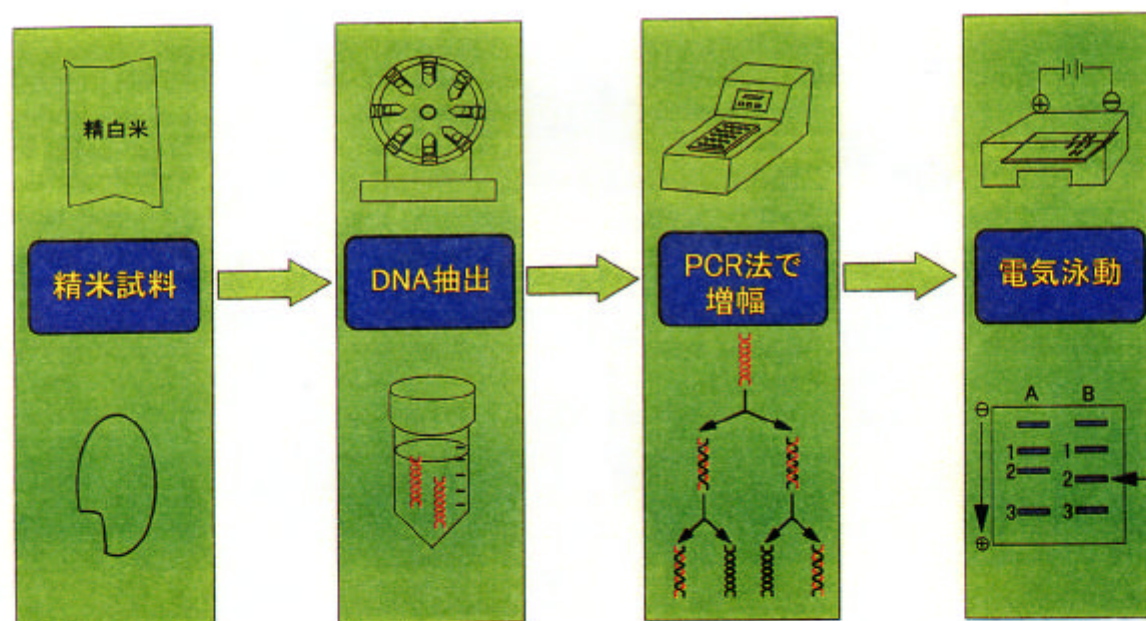


図1 PCR法による米の品種判別技術の概要図

3. 精米からのDNAの抽出と精製

精米からの代表的なDNA抽出法はCTAB（セチルトリメチルアンモニウムブロミド）法です。この方法は、デンプン、タンパク質、脂質等の夾雑物の多い穀類種子からのDNA抽出に適しています。

また、精米一粒からDNAを抽出して品種識別に用いる場合には、市販のDNA抽出キット（ニッポンジーン社製ISOPLANTやBIO 101社製FastDNA Kitなど）も使用可能であり、簡便性、迅速性の点で優れています。最近登場した改良キット（ニッポンジーン社製ISOPLANT II）は、迅速性および抽出DNAの精製度の点で改善が行われ、使いやすくなっています。

4. PCR法による国内産米の品種判別例

当研究室では、コシヒカリ、ひとめぼれ等、平成6年度の国内産作付け上位10品種を対象に、PCR法（RAPD法）による品種判別技術の検討を行い、8種類のランダムプライマーによる結果を総合することによって、上記10品種の識別を可能とする技術開発を行いました。使用したランダムプライマーは、産地や貯蔵の影響が現れないものを選択して使用しました。

5. 米飯一粒による品種判別技術

学校や会社における給食や、コンビニエンスストア等で販売されている持ち帰り弁当、冷凍米飯や無菌包装米飯などの加工米飯を含めた米飯市場は年間2兆円を超えるとされており、現在も市場が拡大しつつあります。そこで、当研究室では、精米用に開発したDNA品種判別技術を、米飯の品種判別にも適用すべく検討を行いました。精米に比べての米飯の場合に考えられる問題点は、①炊飯加熱を受けてDNAの一部が分解されており、抽出量が少ない、②炊飯によってデンプンが糊化しており、DNAの抽出を妨げる、③炊飯加熱によって変性したタンパク質がDNAの抽出を妨げる、④異なる品種を混合炊飯した場合にDNAが溶出混合しないか？などの点でした。

そこで、従来から精米に用いているCTAB法、市販キット法、酵素法の3種類のDNA抽出・精製方法を10種類の品種に用いて比較を行いました。その結果、抽出されるDNAの量と質の点で、酵素法が最も良好な結果を示しました。当研究室で開発した酵素法の概要を図2に示します。酵素法のボ

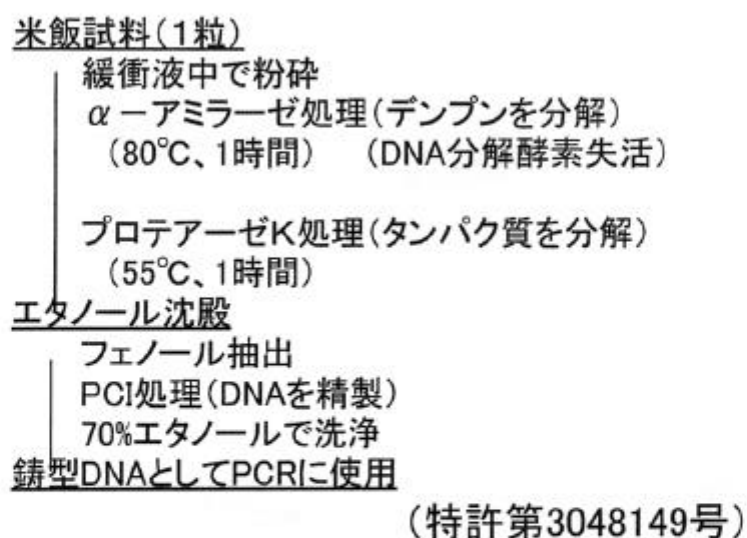


図2 炊飯米1粒からのDNA抽出・精製方法（酵素法）

イントは、耐熱性の α -アミラーゼを用いることによって、DNA分解酵素の作用を抑えながら糊化デンプンを分解除去し、次いで、SDS存在下で、プロテアーゼKによって変性タンパク質を分解除去し、DNAの抽出・精製を容易にする点です。また、「日本晴」と「コシヒカリ」の各精米粒に印を付けて単独炊飯および混合炊飯し、試料米飯のDNAを酵素法で抽出して調べた結果、混合炊飯した場合にもDNAが混じり合うことなく、それぞれの品種判別が可能であることを確かめました。これらの結果を踏まえて、使用プライマーを選択することにより、精米の場合と同様に、米飯一粒の場合にも、主要な品種の識別が可能になっています。

(1) STS化の手順

- ①RAPD法の識別バンドからDNAを切り出す。
- ②そのDNAを大腸菌に組み込んで増幅する。
- ③増幅DNAの塩基配列を決定する。
- ④両端からプライマーを延長・設計する。

(2) STS化の効果

- ①識別バンド以外のバンドが消える。
- ②数種類のプライマーを併用できる。
- ③PCRと電気泳動の回数減少が可能。

GTCCACTGTGACCAACAACATTTCTTCAGCATTTTTGGTGTATTTTTGC
TCGGGCGTTTGTGATAAACAGATCGTTATTGCAGTGCTGTTATCAACAA
.....

途中省略(723残基)

.....
GGCCAGTCACAATGGCTAGTGTCAATTGCACGGCTACCCAAAATATTATA
CCATCTTCTCTCAAATGAAATCTTTTATGAAACAATCCCCACAGTGGAC

(注) 〃部はランダムプライマー、...部はSTS化のために延長したプライマー部

有望プライマーの塩基配列の一部と適正プライマーの設計例

図3 プライマーのSTS化の方法

6. プライマーのSTS化

PCR法によるDNA品種判別では、簡便性の点から、従来はRAPD法が用いられてきました。しかし、RAPD法の場合には、使用プライマーごとに数種類のPCRおよび同数のアガロースゲル電気泳動を行うために、操作が煩雑となります。その上、多数の共通バンドの中から識別バンドを選定し、識別する必要があります。

上記の問題は、使用するプライマーをSTS（シーケンス・タグド・サイト）化することによって解決されます。すなわち、①RAPD法を行い、有用な識別バンドを選定、②電気泳動ゲルの識別バンドからDNAを抽出、③DNAの塩基配列を決定、④決定した塩基配列に基づいて、両側から長いプライマーの対を新しく設計します（図3）。STS化プライマーの場合は、各品種共通の不要バンドが消失し、識別バンドのみが出現します。これによってRAPD法の問題とされていた再現性、識別誤認の問題が解決されました。

当研究室では、これらの対合プライマーを設計し、複数のプライマーを同時に使用する「マルチプレックス法」を確立しました。すなわち、1種類か2種類のPCRを行い、識別バンドのみがバーコードのように現れる電気泳動によって再現性よく品種識別を行うことが可能になったわけです（図4）。この「STS化マルチプレックス法」は、米飯試料の場合にも適用可能です。コシヒカリ、ひとめぼれ、キヌヒカリ等の近縁種の米飯一粒を試料とする識別結果を図5に示します。

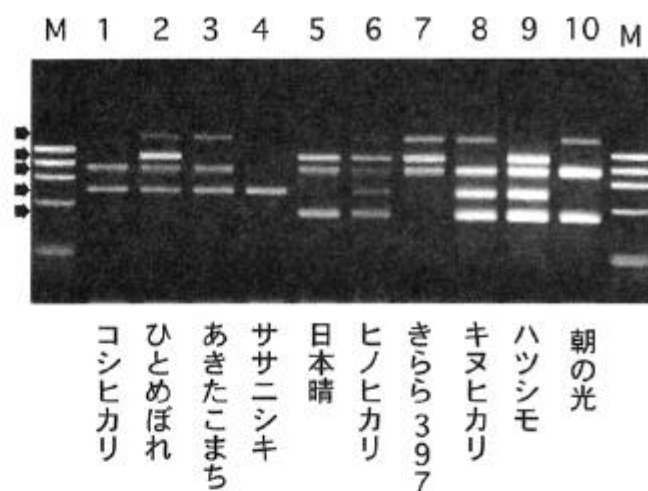


図4 マルチプレックスPCR法による10品種の識別
（精米試料）

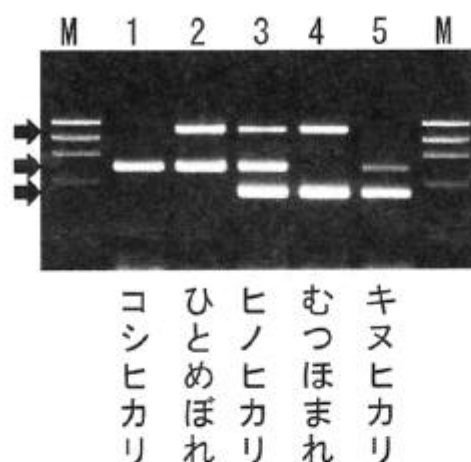


図5 マルチプレックスPCR法による
5品種の識別（米飯1粒試料）

7. コシヒカリ判別用プライマーセットの開発

前述のSTS化プライマーによるマルチプレックス法をさらに実用的なものとするために、「コシヒカリ判別用プライマーセット」を開発しました。コシヒカリは、その良食味性と広域栽培適応性から、全国の作付け面積の約36%を占めており、流通量も最も多い品種です。この場合、①プライマーセットの各プライマーがプライマーダイマーを構成したりして互いに干渉することなく、明確にそれぞ

れの識別バンドが現れること、②各県のコシヒカリ同士で相違が現れないこと、③ひとめぼれ、あきたこまち、ヒノヒカリ等の主要な近縁品種とも明瞭に識別ができること、の3つのポイントが重要でした。当研究室で開発したコシヒカリ判別用プライマー組み合わせの一例（ポジキット）を図6に示します。純品の試料や1粒の試料を用いてコシヒカリであるかどうかを判別するにはこのポジキットが有用です。しかし、例えば図6の日本晴やむつほまれのように、コシヒカリより識別バンド数の少ない品種を少量混合した場合には、コシヒカリの3本の識別バンドに隠れてしまって混米を検出することが困難となります。そこで、混米検出用のコシヒカリネガキットの開発を行いました。この場合は、①全国のコシヒカリの原種で、識別バンドが全く現れない、②コシヒカリ以外の品種の場合には、何らかの識別バンドが出現する、という2点がポイントになりました。各種のSTS化プライマーの組み合わせを検討した結果、図7に示すようなネガキットが開発されました。これにより、5%以上の他品種米が混入した場合には1回のPCRと電気泳動で検出することが可能となりました（図7）。

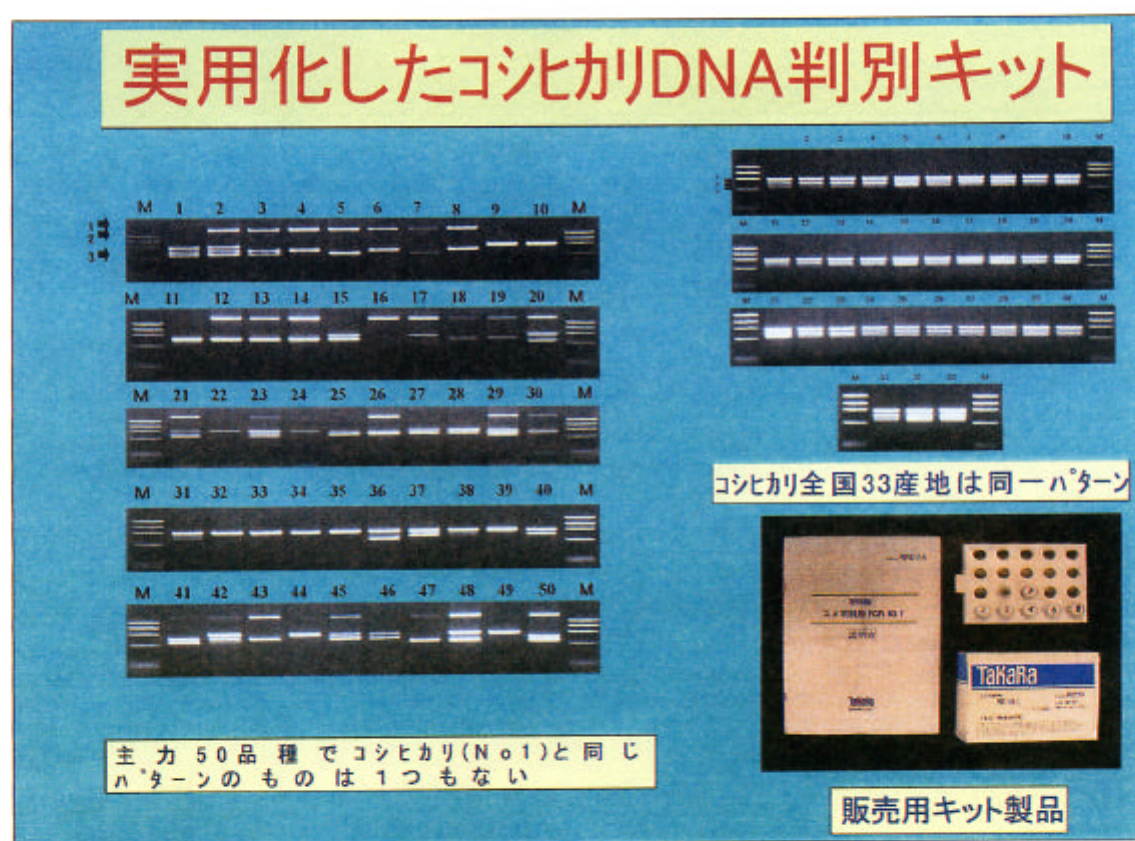


図6 コシヒカリ判別用のプライマーセットによる50品種の識別結果
M：分子量マーカー 1：コシヒカリ 2：ひとめぼれ 3：ヒノヒカリ
4：あきたこまち 5：きらら397 6：キヌヒカリ 7：ほしのゆめ
8：はえぬき 9：むつほまれ 10：日本晴
矢印は配合した4種類のプライマーによる識別バンドの位置を示す。

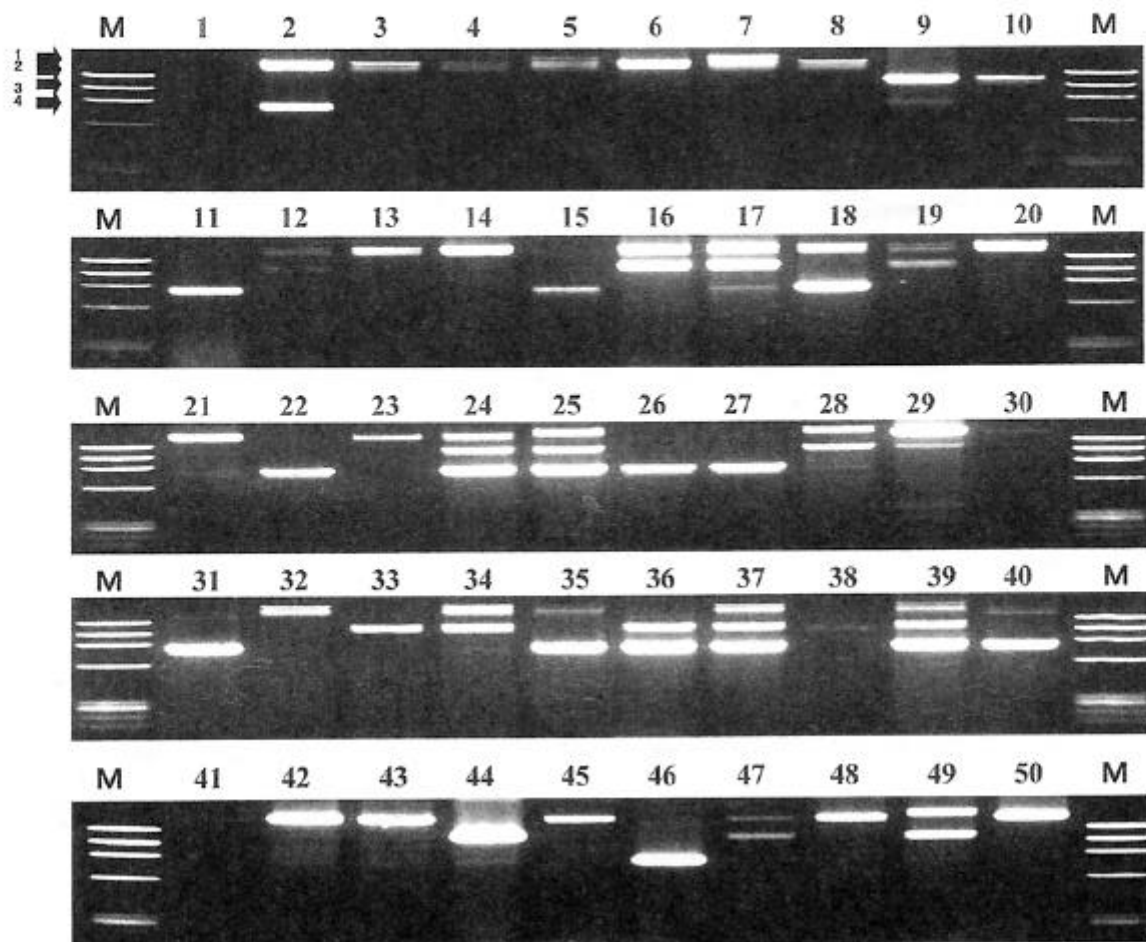


図7 混米検出用のコシヒカリネガキット

M：DNA分子量マーカー

No1：コシヒカリ No2～No50：コシヒカリ以外の品種

8. 餅を試料とする原料米の品種判別

餅の原料米においても炊飯用粳米の場合と同様に「コシヒカリ」に相当する「こがねもち」等の良質品種があります。原料米の品種判定は、原料米の産地のみならず、餅製造企業、流通業界、消費者にとって重要です。DNA抽出方法を検討した結果、米飯用に開発した「酵素法」の条件を強化することによってPCRにかけるに充分な量と質のDNAが調製できることが明らかになりました。PCR用プライマーは、これまでに開発した各種のSTS化プライマーを用いて適性を調べた結果、こがねもち、ヒヨクモチ、はくちょうもち、輸入糯米等の主要な糯米を識別できるプライマーが選定されました。糯米原料米および餅製品から抽出したDNAを用いて行った主要糯米品種の識別例を図8に示します。

9. 米のDNA品種判別技術の実用化

これまで述べてきた米の品種のDNA判別技術はすでにいろいろな場面で実用的に利用されるようになってきています。秋田県では自県産あきたこまちの品種保証を行っています。我々の方法とは若

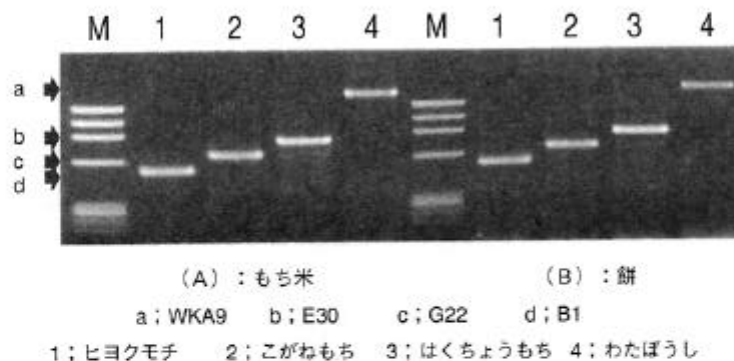


図8 マルチプレックスPCR法による精米および餅を試料とする原料米の品種判別
a,b,c,d: 4種類の配合プライマーによる識別バンドの位置

干異なるマイクロサテライト法もきわめて有用なDNA品種判別技術です。団体や企業による米の品種判別依頼分析も始まっています。また、食糧庁の米表示に関する調査事業や国民生活センターによる調査において、当研究室の開発した「米のDNA品種判別技術」や「コシヒカリ判別キット」が用いられています。

10. 米の食味のDNA判別技術の概要

消費者の良食味指向を受けて、コシヒカリ等の良食味米が市場で高く評価されています。新しい良食味米の開発、生産、流通、消費の各段階における米の食味評価を適切に行うために、客観的で正確な食味評価技術の開発が必要とされています。

従来、米の食味は、炊飯後に試食を行い、パネリストが総合、外観、香り、味、硬さ、粘り等の項目ごとに採点し、統計処理する方法、すなわち、官能検査法が最も基準的とされています。また、精米の食味関連成分であるアミロース含量やタンパク質含量等の化学成分の測定値や、少量炊飯における膨張率や加熱吸水率等を測定する炊飯特性値、精米粉のアミログラフやラビッドビスコアナライザーによる糊化粘度特性値、あるいはテクスチュロメーターやテンシプレッサー等による米飯の物理特性測定値などを基にして食味を推定する理化学的評価方法も用いられてきました。さらに、最近、米や米飯を試料とする近赤外分光分析や可視光の反射、透過率を基に、分光学的に食味を推定する、いわゆる「食味計」が開発され、簡便・迅速性と客観性が評価されて広く普及しつつあります。

しかしながら、官能検査、理化学的評価、分光学的手法ともに有意義な方法ではありますが、いずれもまだ問題が残されています。本研究では、これまで述べてきた従来の米の食味研究とは異なる視点から食味評価方法の開発を試みたものです。当研究室では、これまで、コシヒカリ等の品種判別を、その遺伝子を鋳型とするPCRによって行う技術について研究を行い、結果を発表してきました。食糧研究所の谷、竹生らは、米の食味に影響する最大の因子は品種であると述べており、このことは、現在でも、米研究者の間で広く認められています。そこで、われわれは、品種判別に用いている各種のSTS化プライマーによる識別バンドの有無（+あるいは-）を（1あるいは0）と2値化して説明

変数として用い、目的とする食味評価値、例えば、日本穀物検定協会の食味ランキングや稲育種研究者による官能検査結果、あるいは当研究室で行った理化学測定の数値など、各種の食味評価値を目的変数として用いる多変量解析によって、米の遺伝子構造に基づく食味推定を行うことを試みました。この方法の基本的な考え方と概要を図9に示します。

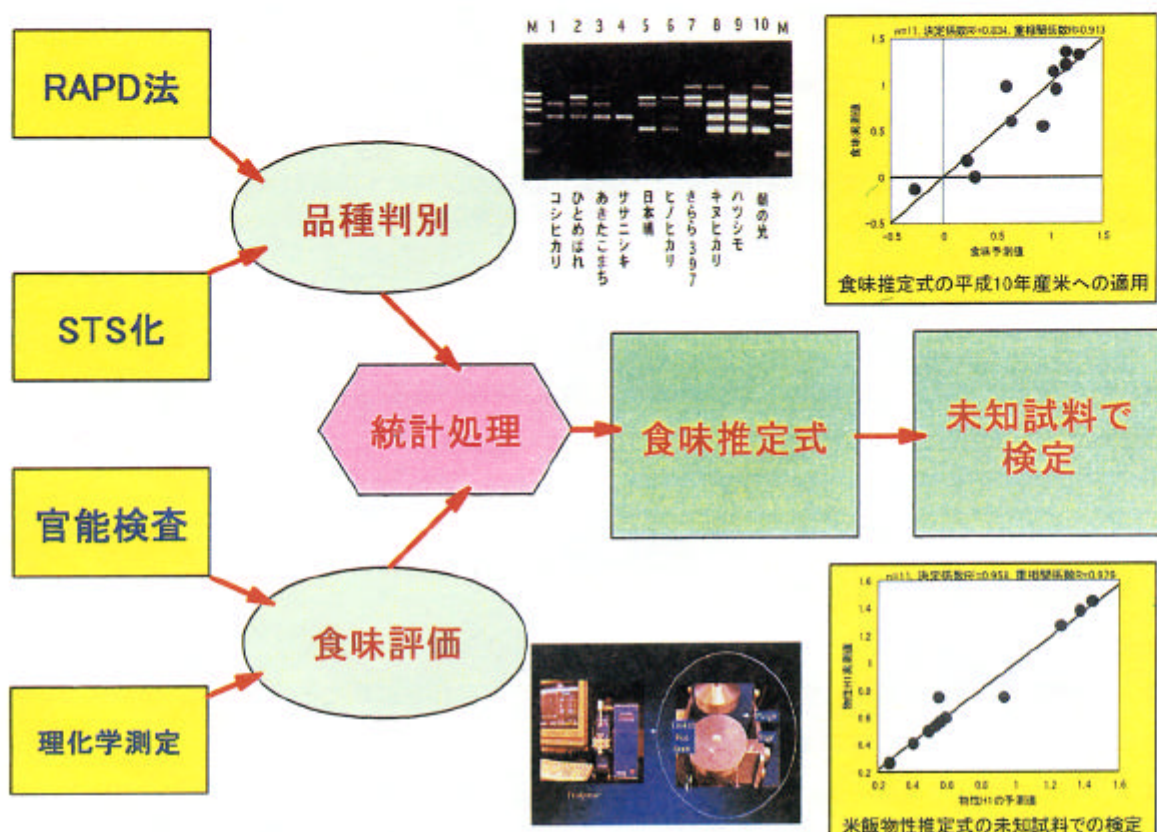


図9 DNA食味判別技術の概念図

11. DNA食味判別の方法と結果

本技術では、PCR法で得られる品種特性をデータとして、目的とする米の食味や物理特性などを推定するものです。米の食味の官能検査は、平成9年産～11年産の農林水産省農業試験場の試料米を用い、各地域農業試験場の稲育種研究室で実施されました。評価項目は、総合評価、外観、味、やわらかさ、粘りであり、各試験場の総合評価値を平均して総合評価値とし、PCR結果と比較検討しました。

食味ランキングに基づいて作成した「食味評価値」は、平成12年産米の日本穀物検定協会の食味ランキングの「特A」を5点、「A」を4点、「A'」を3点、「B」以下を2点と数値化し、また、「米品種大全」（米穀データバンク社）に記載されている各品種の食味評価値（1～5個に分類され、星の数の多いものほど良食味）を同様に1～5に数値化し、これら2種類の食味評価値を加えた数値を各試料品種米の食味評価値としました。

米飯物性測定値としては、各試料精米を少量炊飯し、その米飯物性によって食味評価値として代表させることとしました。すなわち、各試料米10gをプリンカップに秤取し、純水16mlを加えて浸漬後、電気釜で炊飯しました。物性安定後、テンシプレッサー（タケトモ電機製マイボーイ）を用いて、岡留らの方法により低圧縮試験（圧縮率25%）および高圧縮試験（圧縮率90%）を行い、各試料ご

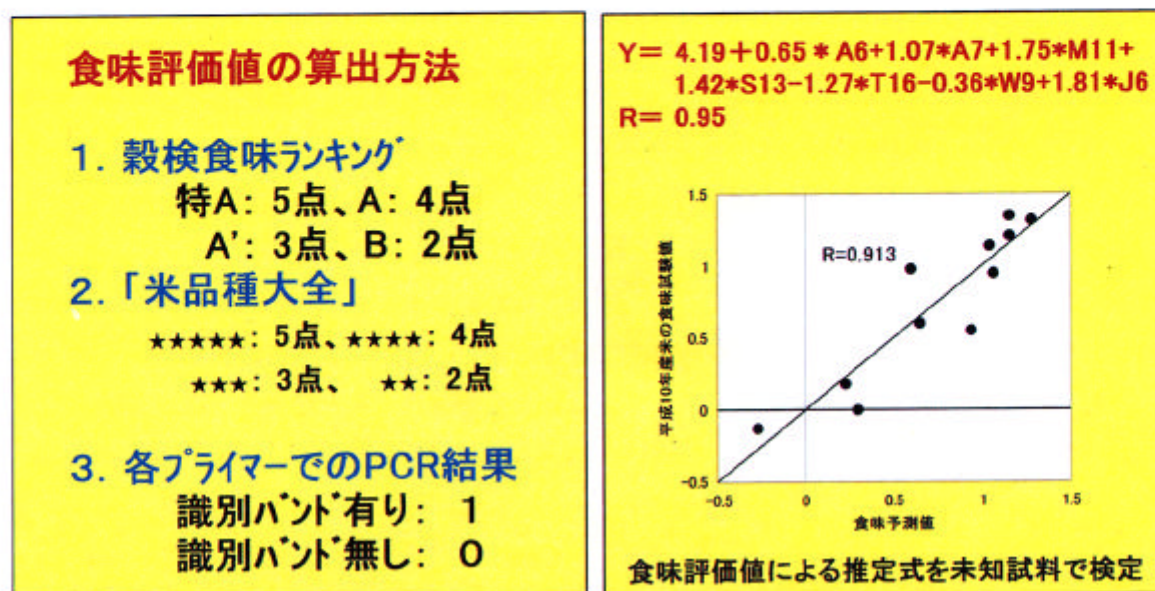


図10 食味評価値に基づいて作成したDNA食味推定式の官能検査結果への適用結果

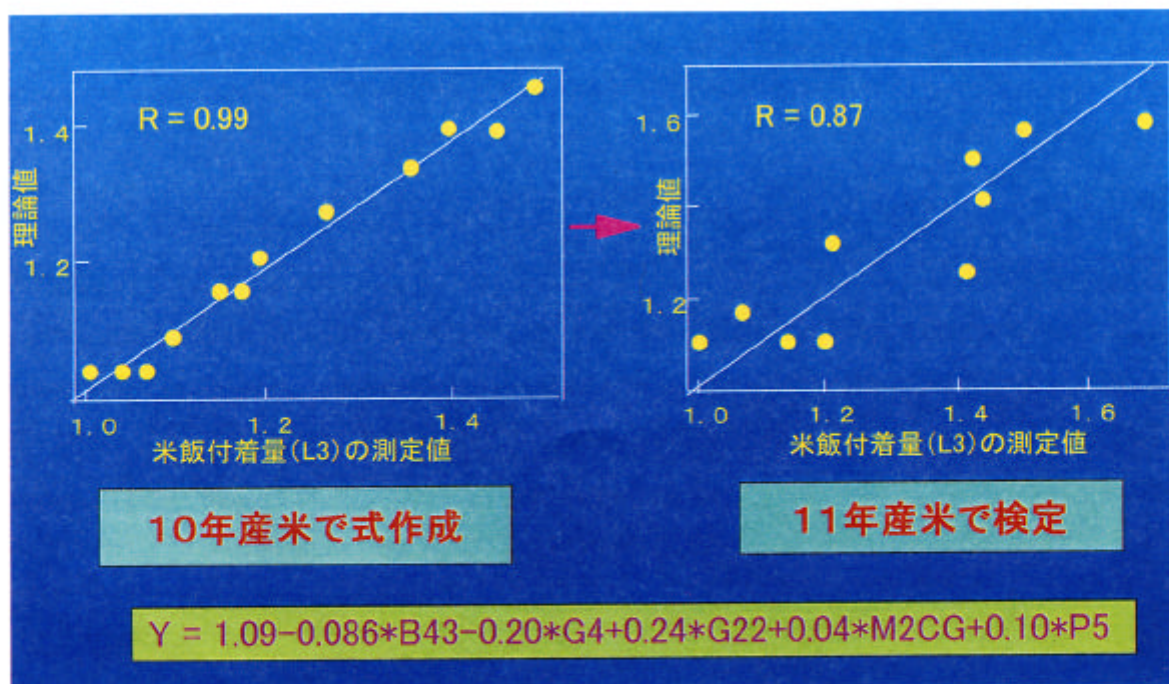


図11 米飯物性に対するDNA推定式の作成および未知試料による検定の結果

とに20粒ずつを測定して平均値を得ました。

食味官能検査結果に対するPCR食味推定式の作成とその適用性の検定は以下のように行いました。5種類のPCRの結果、バンドが出現した場合を1、出現しなかった場合を0として説明変数とし、食味官能検査結果（11年産米）を目的変数として重回帰分析を行い、重相関係数0.80が得られました。統計処理はエクセル統計を使用しました。得られた食味推定式の適用性を検定するために、異なる産年の試料米（10年産米）の官能検査結果に対する本推定式による重相関係数を求めたところ、重相関係数は0.80でした。

「食味評価値」に対するPCR食味推定式の作成と適用性の検定では、7種類のPCRの結果に基づいて「食味評価値」を目的変数とする重回帰分析を行い、重相関係数0.95が得られました。推定式の適用性検定のため、食味官能検査結果（平成11年産米）に対して本推定式を適用した場合の重相関係数を求めたところ、重相関係数0.91が得られました（図10）。

米飯物性値に対するPCR食味推定式の作成では、5種類のPCRにおける各識別バンドの出現の有無を2値化して説明変数とし、米飯物性測定値（11年産米の付着量L3）を目的変数として重回帰分析を行い、重相関係数0.99が得られました。この推定式の適用性検定のために、異なる産年の試料米（10年産米）の米飯物性測定値（L3）に対して本推定式を適用した場合の重相関係数を求めたところ、0.87でした（図11）。

12. DNA食味判別に関する考察

本研究では、米の食味に品種特性が大きく影響することに注目し、分子生物学的手法、特にPCRによる微量食味評価手法の開発を主な目的に検討を加えました。

わが国の米飯の食味嗜好では、「軟らかくて粘りの強い米飯となるコシヒカリのような米」が高い評価を受けています。この官能検査結果を目的変数としてPCR結果に基づく重回帰式を作成し、その回帰式が異なる年次の米にもある程度適用性が高いということが示されたと言えます。このことは、別の見方をすれば、「良食味品種は年次間差違が小さく、年次を越えてPCR食味推定式の適用性が高い」とも言えましょう。

「食味評価値」の基礎となった日本穀物検定協会による食味ランキングは、3年間の食味試験結果を総合的に評価したものであり、わが国の食味嗜好を代表したものと言えます。また、「米品種大全」に記載されている米の食味評価も、米の流通・販売業界における評価を表したものであり、この両者を合計することによってわが国における米の代表的食味評価を数値化したと言えます。この「食味評価値」を目的変数として作成した重回帰式が、未知試料としての検定試験の結果、育種研究室における食味官能検査結果ともよく一致した（重相関係数Rが0.91）ということは、このPCR食味推定式の普遍性を裏付けるものと言えます。

物性測定値に基づくDNA推定式とその適用性については、前述の2つの式とは少し意味が異なっています。日本人の米飯食味嗜好性については上記の2種類の方法によって食味評価値を得ることが可能ですが、世界各国には幅広い品質特性の米があり、各国の国民はそれぞれ異なった食味嗜好を持

っており、日本人の嗜好性をもって普遍的な数値とすることはできません。例えば、インドやタイでは日本人とは逆に、硬くて粘りの少ない米の方が好まれます。そこで、何か別の普遍的な食味評価方法が必要となります。第3の推定式は、わが国における食味嗜好を表した推定式ではあるものの、その根拠は官能検査ではなく、世界各国に共通な米飯物性測定値です。本発表では、わが国の消費者の嗜好と比較的相関の高い、低圧縮試験の付着量（L3）を目的変数に選択して重回帰式を作成しましたが、別の米飯物性測定値を目的変数に選択することにより、世界各国のそれぞれの食味嗜好に応じたPCR食味推定式を作成することが可能です。

以上、3種類のPCR食味推定式について考察しましたが、これらのPCR食味推定式の場合は、従来の食味官能検査、物理化学的測定値あるいは分光学的測定値に基づいた食味推定とは異なる視点から米の食味を推定しようとしたものであり、遺伝子構造に基づく品種特性から食味を推定しようとした点に特徴があります。したがって、本発表で提示したPCR食味推定技術は、国内における官能検査結果を反映した推定を行うことが可能であるばかりでなく、食味嗜好の異なる世界各国における米飯物性等の食味関連理化学推定値に対しても適用することが可能と考えられます。

一方で、PCR食味推定技術は、遺伝子の構造に基づく方法であるため、①栽培、貯蔵、精米などの品種以外の食味要因が反映されない、②食味推定式の理論的基盤がまだ確立されていないなどの問題点もあります。

今後、本研究の成果である各種のPCR食味推定式を、米の育種、生産、流通、利用の各分野で実際に使用し、推定式の効果あるいは問題点を明らかにしていくことが必要です。例えば、育種の分野においては、粳や玄米の胚芽と反対側の半粒からDNAを抽出してPCRを行い、PCR食味推定式に基づいて良食味米候補を選抜し、DNAを抽出した残りの胚芽含有半粒を用いて次世代を育成していくといったPCR半粒育種の実用化につながっていく可能性が期待されます。一方、米の利用の分野においては、市販の弁当の米飯一粒からDNAを抽出してPCRを行い、PCR食味推定式にあてはめて、どの程度の食味の原料米がその弁当に使用されているかを推定することも可能となるでしょう。これらの例にとどまらず、PCR食味推定技術が今後、広く利用されることが期待されます。