

インディカ米とジャポニカ米の調理特性の比較

綾部 園子*

Sonoko Ayabe

1. 世界の米と調理

米は、小麦、とうもろこしとともに世界3大穀物とされ、世界中で年間約5億t以上の生産量があり極めて収穫性が高い。また、これらの3種の穀物のうち、小麦ととうもろこしは相当量が飼料として家畜や養殖魚用に使われるのに対し、米は大部分が人間の直接消費に向けられるという特徴がある。3種の穀物の国際価格を比較すると、米は小麦のほぼ2倍、とうもろこしの3倍程度であり、最も高価であることもいくぶん関係すると考えられる¹⁾。

世界の米の90%以上はアジアで生産され、アジアの人口密集地域の主要な食糧資源となっている。ガンジス川(インド)、イラワジ川(ミャンマー)、チャオプラヤ川(タイ)、メコン川(ベトナムなどインドシナ半島諸国)などの大河の氾濫による肥沃なデルタをもつ大陸部と、インドネシア、フィリピン、日本など豊かな水と土壌に恵まれた島国がアジアの穀倉地帯を形成している。

米は粒食が一般的である。小麦やとうもろこしは製粉されて、乳製品などのさまざまな副材料や調味料を加えて調理加工されるのに対し、米は粒のまま、水だけを加えて加熱するプレーンライスが基本的な調理法であり²⁾、これを主食としてアジアの人々の食生活は構築されている。米飯は、その単純な調理法のゆえに、素材及び炊飯過程が味とテクスチャーに大きく影響する。そこで、それぞれの地域で、人々の嗜好にあったおいしい米飯を得るために、品種の開発がなされ、また、炊飯に関わる研究³⁻⁹⁾が行われてきた。

世界の米は、インディカ種とジャポニカ種に大別される。インディカは一般に、アミロース含量が高い長粒種で、ジャポニカはアミロース含量が比較的低い中粒もしくは短粒種である。世界の米の主流はインディカ種で、中国西南部から東南アジアおよび南アジアの低緯度地域で栽培されている。インディカ種は、粒の形、粒の大きさから、粒の色、透明度、粒のそろい方など、一見してジャポニカ種とかなり差がある。一方、日本や朝鮮半島のような高緯度地域ではジャポニカが栽培されている。世界の生産比率はインディカ種約80%に対し、ジャポニカ種は約20%である¹⁾。インディカ種とジャポニカ種の米飯のテクスチャーの違いは、主としてタンパク質、アミロース含量の違いで説明さ

れている。これらの違いが炊飯過程における吸水率、糊化特性に大きく影響を与え、その結果、飯のテクスチャーが異なると考えられている。

2. ミャンマー産インディカ米と日本産ジャポニカ米の調理特性¹⁰⁾

インディカ米とジャポニカ米の調理特性の違いをミャンマー産米と日本産米計20種を試料として比較検討した。ミャンマーは米の原産地といわれるヒマラヤ山脈東南麓から中国雲南省¹¹⁾の南方に位置し、地形や気候の変化に富む国であり、さまざまな品種の米が栽培されている¹²⁾。人々は米を主食とする伝統的な食事を摂っており、「大量のご飯を少量のおかずで食べる」ため米の消費量が多い¹³⁾という特徴がある。

(1) 千粒重、一般成分、見かけのアミロース含量(表1)

試料米の水分含量は、インディカ米で12.5~14.6%、ジャポニカ米で12.8~14.0%、タンパク質含量は、インディカ米で5.5~8.2%、ジャポニカ米で5.2~7.1%、見かけのアミロース含量はうるち米ではインディカ米で17.0~26.2%、ジャポニカ米で16.0~18.0%、もち・半もち米で0.4~5.3%、千粒重は、ミャンマー産インディカ米は7~22g、ジャポニカ米は19~21.5gの範囲にあり、インディカ米は品種による粒の形や大きさの差が大きい。インディカ米は形状の差が大きいという報告がある¹⁴⁾が、ミャンマー産インディカ米は特にその傾向が強かった。また、いずれの成分においてもインディカ米の方がジャポニカ米より測定値の範囲が広く、特に見かけのアミロース含量が広い範囲にあることが特徴的であった。

(2) 炊飯特性試験

炊飯特性は食糧庁標準計測法¹⁵⁾に準じ、試料米に20倍の脱イオン水を加えて加熱し、加熱後の重量および体積を測定し、加熱吸水率と膨張体積を求め、炊飯残存液の溶出固形分とヨード呈色度を測定した。うるち米に関しては、インディカ米の方が加熱吸水率および膨張体積ともに有意に大きくなった($p < 0.001$)。一般にインディカ米は加熱吸水率が高く、釜増えが大きいといわれるが^{7, 15)}ミャンマー米においても同様の結果であった。ヨード呈色度は、インディカ米で高く、炊飯残存液にも多くのアミロースが溶出した。ヨード呈色度は溶出固形分量の影響も受けるため、ヨード呈色度/溶出固形分(IBV/SS)を算出した。IBV/SS値はアミロース含量と正の相関を示し、米飯の物性測

* 高崎健康福祉大学 健康福祉学部
(Takasaki University of Health and Welfare)

表1 試料米の一般成分および千粒重

番号	試料	水分 (%)	タンパク質 (%)	見かけのアミロース含量 (%)	千粒重 (g)
1	Manavo Thu Kha	13.6±0.0 _c	6.46±0.05 _e	26.2±0.0 _a	18.2±0.6 _c
2	Paw Kywe	14.6±0.0 _{ab}	6.08±0.03 _g	23.0±0.3 _b	21.2±0.3 _c
3	Paw Sanbekyar	12.5±0.0 _{ef}	5.57±0.04 _i	22.6±0.0 _{bc}	20.7±0.9 _{bc}
4	Nursery Paw San Hmwe Rice	14.3±0.4 _{ab}	6.47±0.20 _e	22.3±0.0 _{bc}	19.4±0.2 _d
5	Nurery Num Htke Taw Win Rice	13.0±0.0 _{de}	6.12±0.13 _{fg}	22.3±0.0 _c	7.4±0.4 _f
6	Beautiful Myanmar Birinari Rice	13.9±0.0 _b	5.52±0.15 _i	21.4±0.0 _{cd}	20.8±0.3 _{cd}
7	Diamond Basmati Rice	12.7±0.0 _{ef}	7.40±0.20 _b	21.2±0.0 _{cd}	15.2±0.1 _f
8	Pyas Pon	13.0±0.0 _d	6.29±0.04 _f	20.9±0.5 _d	18.6±0.2 _c
9	Tang Pyan	12.7±0.1 _{ef}	6.46±0.07 _e	20.7±1.1 _d	21.2±0.4 _b
10	Nursery Shan Rice	14.4±0.1 _a	6.81±0.18 _d	17.0±0.4 _e	21.1±0.6 _a
11	Nursery Sticky Rice	13.5±0.0 _c	8.16±0.06 _a	4.4±0.2 _g	19.3±0.4 _d
12	Beautiful Myanmar Sticky Rice	14.4±0.0 _a	6.01±0.09 _{gh}	2.2±0.6 _h	15.4±0.3 _f
13	朝の光	12.8±0.0 _e	5.24±0.10 _j	18.0±0.3 _e	20.1±0.1 _{cd}
14	むつほまれ	14.0±0.2 _b	6.29±0.04 _f	17.7±0.4 _e	21.5±0.4 _{ab}
15	日本晴	13.6±0.0 _c	5.89±0.00 _h	17.4±0.2 _e	20.8±0.3 _c
16	ゴロピカリ	13.6±0.0 _c	5.72±0.07 _j	17.1±0.3 _e	21.0±0.2 _{bc}
17	滋賀コシヒカリ	13.6±0.0 _c	5.28±0.04 _j	16.2±1.2 _e	20.4±0.1 _{cd}
18	新潟コシヒカリ	13.5±0.1 _c	5.30±0.05 _d	16.0±1.0 _e	19.8±0.4 _d
19	ミルキークイーン	13.5±0.0 _c	6.87±0.06 _d	5.3±0.7 _f	18.5±0.1 _e
20	ヒメノモチ	13.5±0.1 _c	7.09±0.09 _e	0.4±0.2 _i	18.9±0.2 _{de}

1) 数値は mean±SD

2) a~i: 同じ列の同じ文字間には有意差 (p<0.05) が無いことを示す

定のよい指標となると報告されている¹⁶⁾。インディカうるち米, ジャポニカうるち米およびもち米の IBV/SS 値の平均値間にはそれぞれ有意の差があり (p<0.05), アミロース含量の多いインディカ米の方が IBV/SS 値が大きかった。インディカ米間で比較すると, 極小粒の品種で値が高く, 重量に対する表面積の割合が影響していると考えられた。

(3) 糊化特性

澱粉の糊化は吸熱を伴うため, 熱分析により捉えることができる¹⁷⁾。試料米粉 10 mg に脱イオン水 25 μ l を加えて攪拌して密封し, 示差走査熱量計を用いて糊化挙動を調べた。全体にインディカ米はジャポニカ米に比べて, 糊化ピーク温度 (Tp) が高く, 糊化エネルギー (ΔE) が大きい傾向にあった。アミロース含量の多い米は糊化開始温度 (To), Tp および ΔH ともに高くかつ大きいという報告¹⁸⁾があるが, 本研究でも同様の傾向が認められた。すなわち 16 種のうるち米について Tp と見かけのアミロース含量の相関が高く (r=0.90), うるち米ではアミロース含量の多い米は Tp が高いといえる。うるち米では 95°C 付近にはアミロースと脂質の複合体の融解による第 2 ピーク¹⁹⁾があるが, アミロースがほとんど含まれないもち米にはインディカ米, ジャポニカ米ともにこのピークは観察されなかった。

(4) 物性測定

炊き干し法で炊飯した飯のテクスチャーの違いを, テクスチャーアナライザーを用いて, 圧縮率 25% と 90% の低

高圧縮 2 バイト法²⁰⁾で測定した。低圧縮測定は表層部の物性を示すが, ジャポニカ米の標準的な加水量である加水比 1.5 で炊飯した場合, 飯の表層の硬さは, インディカうるち米 (平均 0.70±0.17 N) の方がジャポニカうるち米 (平均 0.54±0.06 N) よりも硬かった。表層の粘りはジャポニカ米に比べてインディカ米は著しく小さく, 粘りがほとんどないことがわかった。そこで, インディカ米については, インディカ米の適度な加水比といわれる 1.9²¹⁾ で炊飯して測定したところ, 表層の硬さ (平均 0.46±0.07 N) は加水比 1.5 のジャポニカうるち米とほとんど同程度まで軟化したものの, 表層の粘りを増すことはできなかった。表層の粘りは飯粒同士の接着しやすさに関わるが, インディカ米では加水比を大きくしても, 粒のバラバラ感はあまり変化がないと考えられる。

飯粒全体の物性を示す 90% の高圧縮測定では, 加水比 1.5 では, 低圧縮の場合と同様に, インディカ米は硬くて粘らず, ジャポニカ米はやわらかく粘りが強い傾向にあった。インディカ米の加水比を 1.9 にした場合は加水比 1.5 よりも軟らかさや粘りが増すものも多くあった。その程度は品種により異なり, 硬さの値が約 2/3 に減じ, 粘りの値は約 2 倍に増加した品種もあった。加水量は, 飯粒全体の物性には影響が大きい, 表層の物性, 特に粘りには影響は小さかった。

(5) 飯の糊化度

炊飯の目的は米の澱粉を十分に糊化させ, 好ましいテクスチャーにすることである²²⁾。炊飯米の澱粉の糊化が不充

インディカ米とジャポニカ米の調理特性の比較

分であったり、炊飯後の保存中に老化がおこり糊化度が下がると食味が低下することから、飯の糊化度は食味評価の1つの指標となる。

試料米の各炊飯段階による糊化度をβ-アミラーゼ・プルラーゼ法 (BAP法)²³⁾ で測定した。うるち米では澱粉の糊化は60℃付近から急激に進み、80~100℃を経て飯に至るまでに著しく糊化度が増加した。ジャポニカ米は一般的にインディカ米よりも糊化度が高い傾向にあった。低食味米は100℃における糊化度が低めであったが、飯ではほぼ100%に達し沸騰後の糊化度の増加割合が高かった。他のジャポニカ米では全体に品種による差は小さく、飯の段階ではいずれもほぼ95%以上の糊化度を示した。

これに対して、インディカ米の各炊飯段階における糊化度はジャポニカ米に比べて品種間の差が大きかった。この理由として、試料米の見かけのアミロース含量やたんぱく質などの成分および米粒の形や大きさがインディカ米では広範囲にあることが影響していると考えられた。もち米はうるち米よりも炊飯初期段階ですでに糊化度が高い傾向を示した。

(6) FT-IR/ATR スペクトルの測定²⁴⁾

糊化度測定はBAP法が精度が高いとされているが、BAP法は操作が煩雑で熟練が必要であり、より簡便な方法が求められている。さらに飯の保存初期の官能評価による老化感とBAP法による糊化度の変化とは必ずしも対応しない²⁵⁾ ことも報告されている。これらの欠点を補う新たな糊化度測定的手段として全反射型赤外吸収スペクトル分析 (FT-IR/ATR) 法の応用を検討した。FT-IR/ATRを用いた各種澱粉²⁶⁾ や糊化・老化小麦澱粉²⁷⁾ などの糊化・老化に関する報告がある。

種々の濃度のグルコース溶液のFT-IR/ATRスペクトルを測定したところ、1,000 cm⁻¹ 付近のピークは豆乳²⁸⁾、リンゴジュース²⁹⁾ やトマト³⁰⁾ の糖と同様に、グルコース溶液の濃度増加に従って高くなり、グルコース濃度とピークの高さには高い正の相関があった (r=0.99)。種々の濃度の可溶性澱粉および加熱糊化させた試料について測定したところ、澱粉濃度と1,000 cm⁻¹ 付近のピークの高さには高い相関が見られ、33% (w/w) の可溶性澱粉液をではさらにピークは高くなった。1,200~1,000 cm⁻¹ は糖のC-C、C-Oの伸縮および変角振動に由来し、澱粉の糊化および老化と密接に関係する^{31,32)} ことが報告されている。したがって、澱粉濃度が一定の場合には、加熱に伴う吸収ピークの増加は糊化度を、また米粒において加熱に伴う澱粉分解物すなわち糖の生成が起こる場合には糊化度と糖の両方の情報が含まれると考えられる。

次に20種の米の各炊飯段階におけるFT-IR/ATRスペクトルを測定した。試料：重水=1：2で混捏したペーストのFT-IRの1,000cm⁻¹ 付近ピークの高さ (x) とBAP法による糊化度 (y) は高い相関関係にあり、最小2乗法

により一次回帰式を求めると、

$$y=553.1x-20.8 \quad r=0.954 \quad (1)$$

となった。本式により、炊飯過程も含む広い温度範囲における米飯試料について、FT-IRのピークの高さから糊化度を予測できることが示された。

しかし、100℃試料と飯の差がBAP法よりも捕らえにくい傾向があった。FT-IR測定時の加水量 (試料：重水=1：2) は未加熱試料が測定時間中均一な分散状態を保持できる最大の加水量であるが、この加水量では糊化が進んだ状態では膨潤が抑制されて固い糊状となり、100℃試料と飯の差が現れにくくなったものと考えられた。そこで、重水の割合を増して試料：重水=1：4で測定したところ、糊化程度の差をよく反映することができた。このときの糊化度 (y) とピークの高さ (x) から、1次回帰式

$$y=785.5x+22.3 \quad r=0.961 \quad (2)$$

が得られた。嗜好的に食用可能と判断される糊化度はおおむね70%以上²⁵⁾ なので、飯の糊化・老化に関しては (2) 式が適すると考える。

(7) 米飯の官能評価

官能評価は、米飯の粘り、硬さについて1から5までの評点尺度法で行った。粘りは、うるち米ではジャポニカ米の方がインディカ米よりも明らかに粘りが強く、インディカ米で評点平均2.0、ジャポニカ米で3.7と有意に異なった (p<0.001)。もち米においてもジャポニカの方が粘りが強かった。飯の硬さについては、うるち米のインディカ米で評点平均3.8、ジャポニカ米で2.4と差が認められ、インディカ米が有意に硬いと評価された (p<0.001)。ジャポニカ米の硬さの評点尺度はインディカ米に比べて、極めて狭い範囲に集まっていた。

3. 見かけのアミロース量がほぼ等しいインディカ米とジャポニカ米の違い³³⁾

以上のように、インディカ米とジャポニカ米の食味および物性の違いに関しては、一般に澱粉を構成するアミロース量の割合による^{34,35)} といわれている。そこで見かけのアミロース量がジャポニカ米と同程度のインディカ米であるタイ国産カオドマリを入手し、典型的なインディカ米のタイ国産高アミロース米および日本産日本晴の3種の米についての炊飯特性を比較検討した。

(1) 調理特性

機器測定および官能検査の結果、米飯の硬さは高アミロース米>カオドマリ≒日本晴、飯の粘りは日本晴>カオドマリ>高アミロース米の順であった。アミロース量が日本晴と差がないカオドマリは硬さは日本晴と同程度であったものの粘りは少なくパラパラしており、加熱吸水率と釜増え体積の大きい米であった。見かけのアミロースには、超長鎖のアミロペクチンや分岐のあるアミロースが含まれており³⁶⁾、アミロースの分子量の違いや、植物種や栽培条件

によるアミロペクチンの構造の相違が明らかにされている³⁷⁾。見かけのアミロース量が同じでも米澱粉の構造は違う可能性があり、また米の食味は主成分である米澱粉の構造と深い関係がある³⁸⁾ので、飯の粘りに焦点をあて、その出現機構について検討した。

(2) 糊化特性

米粉のDSC測定により、糊化開始温度は50~70℃の間、終了温度は68~81℃の間で、 T_0 、 T_p 、 T_c ともにカオドマリ<日本晴<高アミロース米の順で品種間に有意の差が認められた。澱粉も米粉と同じ傾向を示したが、それぞれの温度は米粉より約2~7℃低く、米粉はタンパク質や脂質を含有しているために澱粉よりも糊化温度が高かった。糊化エネルギーもカオドマリ<日本晴<高アミロース米の順であった。高アミロース米の加圧炊飯により糊化度を増加させることができる³⁾のは、見かけのアミロース含量の多い米は超長鎖のアミロペクチンが多く存在し澱粉粒内部で強固に結合し澱粉粒の崩壊を抑制している³⁹⁾が、高温によりこれらの結合を緩めることができたためと推測される。

(3) 膨潤力・溶解度

澱粉の膨潤力の測定から、50~70℃における膨潤力はDSCの糊化開始温度と相関が高く、カオドマリは50~60℃、日本晴は60~70℃、高アミロース米は70~80℃において変化率が大きく、糊化が始まり吸水することによって膨潤力が大きくなった。いずれの温度においてもアミロース含量の高い高アミロース米の値が小さい傾向にあり、日本晴とカオドマリの膨潤力は大きかった。膨潤力はアミロペクチンの吸水特性を反映すると考えられており⁴⁰⁾、特にカオドマリはアミロペクチンの吸水性が高く、イメージNMR⁴¹⁾で表示された吸水性の高さはアミロペクチンの膨潤力によることが示唆された。

また、溶解度については、60~70℃では日本晴とカオドマリの溶解度が高く、高アミロース米は80~90℃で溶解度が急激に上昇した。澱粉構成成分のうちアミロース成分は温水に抽出しやすい。Tsai and Lii⁴²⁾はジャポニカ米の温水可溶成分をゲル濾過分析し、90℃におけるアミロースとアミロペクチンの溶出割合はそれぞれ71%と20.9%であると報告している。高アミロース米の溶解度が高温域で高くなったことはアミロース量を反映したものである。

(4) 澱粉の鎖長分布

澱粉をイソアミラーゼで枝切り処理し鎖長分布をGPCにより比較した。日本晴とカオドマリはよく類似したGPCパターンを示し、高アミロース米はFr. Iのアミロース画分が多く、Fr. IIIのアミロペクチン画分が有意に少なかった。これは見かけのアミロース量の測定結果と一致した。各フラクションの構成割合は、日本晴とカオドマリの各フラクション面積には有意の差がなかったが、カオド

マリの方がアミロペクチンの短鎖区分がやや多く、Fr. IIのアミロペクチン長鎖の重合度が低い傾向が認められた。高アミロース米についてはFr. Iが21.8%と多く、Fr. IIのアミロペクチン長鎖区分の重合度が高かった。これらの澱粉構造の違いが硬くて粘りがない物性の要因であることが示唆された。

(5) 飯洗液の量とGPC

また、飯の粘りは飯粒表面の状態を反映していると考えられることから、米飯表面を分離した液(飯洗液)について検討した。飯洗液中の溶出固形分は日本晴>カオドマリ>高アミロース米の順で溶出量と飯の粘りは高い相関を示した。炊飯過程において澱粉粒は膨潤し、細胞壁は緩むがこの時のバランスによって表面の細胞壁が崩壊すれば澱粉粒が溶出し粘りが出ると考えられる。

溶出した成分と精製澱粉とに相違があるかを検討するために飯洗液のGPC測定をおこなった。GPCパターンは、日本晴は澱粉ではFr. Iが13%、Fr. IIIが58%であったが、飯洗液では6%と67%で澱粉よりも有意にアミロペクチン画分が多かった。一方、カオドマリは澱粉と飯洗液のGPCパターンに差がなく、高アミロース米では逆に飯洗液の方がアミロース画分が多かった。カオドマリと日本晴は構成澱粉の鎖長分布は類似していたが、飯の表面に付着している糊状物質中の鎖長分布は異なっていた。粘りの本体はアミロペクチンであり、粘りを弱くするのがアミロースでその量が多いほど粘りを弱める⁴³⁾が、加熱吸水速度も関与している可能性も考えられる。カオドマリは加熱吸水の速度が速く98℃でほとんど遊離の水がない状態となり、澱粉が炊飯液に溶出して吸収される余地がないので精製澱粉と飯洗液のGPCパターンに差がなく、逆に高アミロース米では沸騰時点でかなりの水が残っており高温で溶出しやすいアミロースが炊飯液に溶出して再吸収されることにより、高アミロース米では生澱粉よりも飯洗液の方がアミロース量が多くなったと推察される。

(6) 飯洗液と澱粉のFT-IR/ATRスペクトル

この飯洗液と澱粉の構造の違いはFT-IR/ATRスペクトルによって確認することができ、飯洗液では3,400、2,450、1,020 cm^{-1} 付近のピークに差が認められた。特に高アミロース米では1,020 cm^{-1} のピークが低かった。飯と飯洗液の差を明示するために飯のFT-IRスペクトルから飯洗液のFT-IRスペクトルを差し引いた差スペクトルにおいて、1,020 cm^{-1} 付近のピークに品種による差が明瞭にあらわれた。高アミロース米で+、日本晴は-の値をしめし、カオドマリは±0であった。日本晴の飯洗液には炊飯過程において溶出したアミロペクチンが飯よりも多く含まれておりこれが1,020 cm^{-1} のピークの高さとして示されたと考えられる。この結果は鎖長分布の結果と合致するものである。

インディカ米とジャポニカ米の調理特性の比較

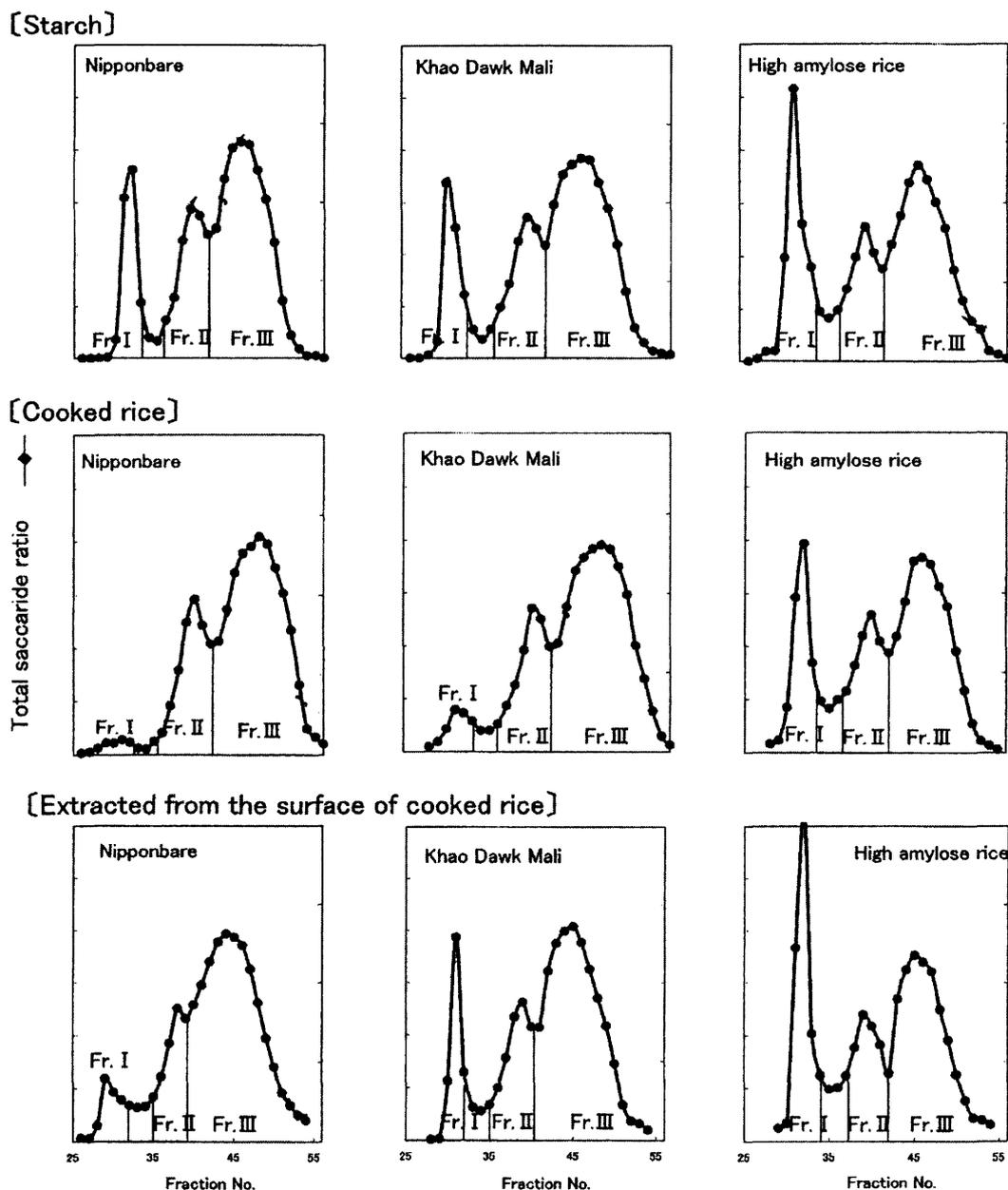


図1. 澱粉、飯、飯洗液のGPCパターン

4. 終わりに

インディカ米とジャポニカ米の調理特性について比較検討した。ミャンマー産インディカ米は形状の変異が大きかったが、世界中にはそれぞれの地域の環境に適した種々の品種の米が栽培されている。米は日本人の食生活を支えてきた穀物である。今日では一人当たりの米の消費量は年間61 kgになり、最も多かった昭和37年の約1/2に減少し、それに伴って、食料自給率も低下している。日本人の食と国土を守るためには、多様な品種の米の多様な利用を検討していく必要がある。

文 献

- 1) 小田紘一郎 (1996), 世界の米の生産と消費動向, 「美味しい米 第1巻」, 榑渕欣也監修. 農林水産技術情報協会, 東京, pp 1-28
- 2) 石谷孝佑 (1996), 世界の米の調理, 「美味しい米 第1巻」, 榑渕欣也監修. 農林水産技術情報協会, 東京, pp 139-141
- 3) 島田淳子, 大田原美保, 綾部園子, 畑江敬子, 小西雅子 (1995), タイ国産米の炊飯特性と加圧炊飯による食味改良効果, 日調科誌, **28**, 158-166
- 4) 丸山悦子, 坂本薫, 岡井紀代香 (1995), 米の炊飯嗜好特性に関する研究 (第2報), 日調科誌, **28**, 224-230
- 5) 深井洋一, 松澤恒友, 石谷孝佑 (1997), タイおよびフィリピン産米の理化学的性質, 日調科誌, **30**, 37-43
- 6) 深井洋一, 松澤恒友 (2000), タイ, 米国および中国産糯米の理化学的性質と加工特性, 日調科誌, **33**, 13-17

- 7) 磯野 仁, 大坪研一, 岩崎哲也, 山崎 彬 (1994), 国内産, 外国産米を含む多品種, 多形質の米の食味特性, *食科工*, **41**, 485-492
- 8) 阿久澤さゆり, 澤山 茂, 川端晶子 (1991), 種を異にする米の食味特性と嗜好性, *家政誌*, **42**, 441-450
- 9) N. Inouchi, H. Hibiu, T. Li, T. Horibata, H. Fuwa and T. Itani (2005), Structure and properties of endosperm starches from cultivated rice of Asia and other countries, *J. Appl. Glycosci.*, **52**, 239-246
- 10) 田中京子, 綾部園子, 上田久美子, 香西みどり, 畑江敬子 (2008), ミャンマー産インディカ米と日本産ジャポニカ米の調理特性の比較, *日調科誌*, **41**, 11-17
- 11) 江原絢子 (1993), 米・麦・雑穀類, 「調理と文化」, 橋本慶子, 下村道子, 島田淳子編, 朝倉書店, 東京, p 50
- 12) 横尾政雄訳, B. O. Juliano, C. P. Villareal (1995), 「世界の米の品質評価」, 輸入食糧協議会事務局, 東京, pp 30-31
- 13) 森枝卓士 (2005), ミャンマーの食文化, 「世界の食文化4」, 農文協, 東京, pp 220-225
- 14) 丸山清明 (1995), イネと米, 「米の科学」, 竹生新治郎, 石谷孝佑, 大坪研一編, 朝倉書店, 東京, pp 3-7
- 15) 竹生新次郎, 岩瀬哲也, 谷 達雄 (1960), 米の炊飯嗜好性に関する研究 (第1報), *栄養と食糧*, **13**, 137-140
- 16) 小林明晴, 鈴木保宏, 小林 陽, 三浦清之, 大坪研一 (1998), 北陸地方の新形質米の品質特性, *食科工*, **45**, 484-493
- 17) 佐藤広顕 (2000), 熱物性, 「新 食品分析ハンドブック」, 菅原龍幸, 前田昭男監修, 建帛社, 東京, pp. 390-392
- 18) 朝岡正子, 中山朝雄, 遠藤潤, 井ノ内直良, 不破英次: 新形質米胚乳澱粉の糊化特性—1990, 91年産うるち米について—. *応用糖質*, **41**, 25-33 (1994)
- 19) 梅國智子, 貝沼圭二, 高橋節子 (2003), 米の食味と糊化・老化特性, *J. Appl. Glycosci.*, **50**, 395-403
- 20) 高橋節子, 久野三智子, 西澤光輝, 貝沼圭二 (2000), 米飯の食感を評価する新測定法と食味特性, *J. Appl. Glycosci.*, **47**, 343-353
- 21) 西村公雄, 後藤昌弘, 今津屋直子, 中井秀子 (1997), ランダムセントロイド法を用いたインディカ米の至適炊飯条件の探索, *調理科学*, **30**, 9-16
- 22) 島田淳子, 「米の食味評価最前線」, 全国食糧検査協会, pp. 136-146 (1997)
- 23) 松永暁子, 貝沼圭二 (1981), 澱粉質食品の老化に関する研究 (第1報) 米飯の老化について, *家政誌*, **32**, 653-659
- 24) 綾部園子, 田中京子, 浜田陽子, 香西みどり, 畑江敬子 (2006), FT-IRによる米の糊化度測定法の研究, *食科工*, **41**, 485-492
- 25) 大田原美保, 畑江敬子, 島田淳子 (1995), 米飯の老化感の客観的評価, *家政誌*, **46**, 841-848
- 26) Iizuka, K. and Aishima, T. (1999), Starch Gelation Process Observed by FT-IR/ATR Spectrometry with Multivariate Data Analysis. *J. Food Sci.*, **64**, 653-658
- 27) 寺澤洋子, 宮澤光博, 河野澄夫, 前川孝昭 (2003), 糊化・老化デンプンの赤外線吸収スペクトルの解析, *食科工*, **50**, 162-166
- 28) Nakasato K., Ono T., Ishiguro T., Takamatsu M., Tsukamoto C. and Mikami M. (2004), Rapid quantitative analysis of the major components in soymilk using Fourier-transform infrared spectroscopy (FT-IR). *J. Food Sci. Technol. Res.*, **10**, 137-142
- 29) Kelly, J. F. D., and Downey, G. (2005), Detection of sugar adulterants in apple juice using fourier transform infrared spectroscopy and Chemometrics, *J. Agric. Food Chem.*, **53**, 3281-3296
- 30) 亀岡孝治, 奥田知晴, 橋本 篤, 野呂明美, 椎木靖彦, 伊藤健介 (1998), 食品糖成分分析へのFT-IR/ATR法の応用, *食科工*, **45**, 199-204
- 31) Wilson, R. H. and Belton, P. S. (1988), A Fourier-transform infrared study of wheat starch gels. *Carbohydr. Res.*, **180**, 339-344
- 32) Wilson, R. H., Goddellow, B. I., Belton, P. S., Osborne, B. G., Oliver, G., and Russell, P. L., (1991), Comparison of Fourier transform mid infrared spectroscopy and near infrared reflectance spectroscopy with differential scanning calorimetry for the study of the staling of bread. *J. Agric. Food Chem.*, **54**, 471-483
- 33) Sonoko Ayabe, Midori kasai, Mayu Saito and Keiko Hatae (2005), Textural difference between the Indica and Japonica variety cooked rice, *Abstracts for 12th Biennial International Congress of ARAHE*
- 34) Juliano, B. O., Onate, L. U., Mundo, A. M. (1965): Relation of Starch Composition, Protein Content, and Gelatinization Temperature to Cooking and Eating Quality of Milled Rice. *Food Technol.*, **19**, 1006-1011
- 35) 倉沢文夫 (1969), コメの味 (II), *遺伝*, **23**, 42-48
- 36) Hizukuri, S., Takeda, Y., Yasuda, M., Suzuki, A. (1981): Multi Branched Nature of Amylose and the Action of Debranching Enzymes. *Carbohydr. Res.*, **94**, 205-213
- 37) 竹田晴史 (1993), 米とトウモロコシなどの澱粉に関する研究. *澱粉科学*, **40**, 61-71
- 38) 高橋節子, 杉浦智子, 内藤文子, 渋谷直人, 貝沼圭二 (1998), 米の食味と米澱粉の構造, *J. Appl. Glycosci.*, **45**, 99-106
- 39) 水上浩之, 竹田晴史 (2000), 新形質米米飯の咀嚼特性と澱粉の分子構造の関係, *J. Appl. Glycosci.*, **47**, 61-65
- 40) Tsai, M. L., Li, C. F., Lii, C., Y (1997), Effects of Granular Structures on the Pasting Behaviors of Starches. *Cereal Chem.*, **74**, 750-757
- 41) Midori Kasai, Andrew Lewis, Florea Marica, Sonoko Ayabe, Keiko Hatae, (2005), NMR imaging investigation of rice cooking, *Food Research International*, **38**, 403-410
- 42) Tsai, M. L., Lii, C., Y (2000), Effect of Hot-Water-soluble Components on the Rheological Properties of Rice Starch, *Starch*, **52**, 44-53
- 43) 竹田晴史 (2007), 澱粉の分子構造と食品のおいしさ, *日調科誌*, **40**, 357-364