

# 米飯のおいしさへのアプローチ

奈良女子大学生生活環境学部

丸山悦子

## 1. はじめに

米は日本人の主食として重要な食品である。食物の第2次機能として嗜好性があげられているが、近年の豊かな食環境によって、食物のおいしさに対する関心は高まり、米の世界的需要の影響からも米飯のおいしさに対する願望は強く、社会的現象でもある。

本稿は米飯のおいしさの評価は何に基いて行われているのか、農水省その他で新規食味評価法の検討が行われているが、竹生らの改良法による物理化学的測定による方法や顕微鏡観察など食味評価法の最先端を示し、かつ米飯のおいしさを調理科学的にデータを用いて紹介する。

## 2. 米粒の組織

米はイネ科植物の種子である。食用としている精白米は、脱穀した後の玄米をとう精して、果皮、種皮、糊粉層の大部分を除去した胚乳部分である。図1に胚乳の内部構造<sup>1)</sup>を示すが、胚乳部は米粒中心部から同心円状に並んだでんぷん貯蔵細胞で構成されており、でんぷん貯蔵細胞にはでんぷん粒が充満している。細胞は約40 x 50~80 x 105平方ミクロンの大きさで、でんぷん粒は小麦やじゃがいものでんぷんと異なり、

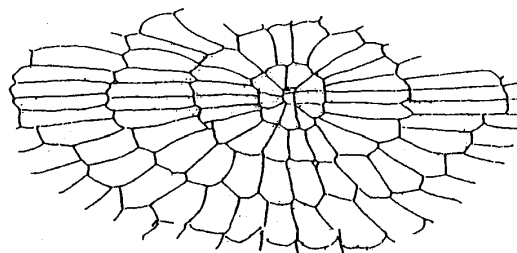


図1. 胚乳細胞の配列と形

複粒の形で充満している。米のでんぷん粒は約100個のより小さいでんぷん小粒からなるが、アミロプラストの袋状の中にたくさんのでんぷん粒が存在し、このアミロプラストが群塊をなしている。でんぷん粒の大きさは10~40ミクロンである。でんぷん貯蔵細胞はそれぞれ2.5ミクロン程度の厚みの細胞壁で仕切られており、この細胞壁の存在が米でんぷんと米粒の加熱による膨潤の著しい差異の原因である。炊飯時の米粒の膨潤は生米の2.5倍であるが、この細胞壁が米粒の過度の膨潤を抑制しているためであり、細胞壁の存在が米飯の硬さや粘りなどの物性に大きく関与する<sup>2)</sup>。炊飯によって、米の外層部の細胞壁の崩壊が起こり、この崩壊の程度が大きいほど軟らかく、粘りのある米飯になる。糊粉層にはタンパク質や脂質が多く、胚乳部にはでんぷんが多く<sup>3)</sup>、アミロースやアミロペクチンの分布も異なっている<sup>4)</sup>。このように米粒の部位により、成分に違いがあるので、とう精度により米飯のテクスチャーは異なる。

## 3. 米飯の食味評価

美味な食物は1. 外観 2. 風味特性 3. テクスチャー特性の3つの特性が重要であると

考えられている。最近これに嗜好性が加味されるようになり、食物の物理的性質が学問として体系化されつつある。一般に汎用されているテクスチャー測定は物理的な性質の総合した性質で、物理的性質は大きさ、型、数、性質と食品の成分の構造などが関連したもので、口腔による触感や視、聴、触感を表わすと考えられている。

米粒は組織をもち、淡白な味をもつので、米飯のおいしさには物理的要因の占める割合は大きいと思われる。国産米を使用して官能検査と竹生ら<sup>4)</sup>による従来の炊飯特性と米粉のアミログラム特性や米飯のテクスチャー特性について、著者らの実験結果<sup>5)</sup>を表1に示した。秋田、宮城県産のササニシキが最も高く、ついで奈良県産の秋つば、新潟県産のコシヒカリが好まれた。項目別では外観、香り、味の評価は秋田県産のササニシキが最も高く、イシカリは外観、粘りともに低く、硬い食感をしている。これらの官能検査結果<sup>5)</sup>について、試料間および品種間の分散分析を行ったが、いずれも総合評価、香り、味、凝集性と硬さに危険率1%で有意差がみられた。日本穀物検定協会では6項目の測定値から重回帰式により食味を約72%推定できるといわれ、現在も重用されている。

平成の米騒動で入手した世界各地の米に国産米を使用して、食味因子の抽出を行い、でんぷんや糖、米飯のテクスチャー特性、アミログラム特性、溶出物のカラムクロマトグラフィーなどにより測定した結果を示した。さらに米粒表面の走査電子顕微鏡により測定した結果についても食味との関係を述べる。最近では高アミロース米や高タンパク米などの新形質米の開発のための研究が行われている。

米の評価には近赤外分光法を用いた方法や<sup>6)</sup>米飯の表層を覆っている薄い高含水物質の厚みを電磁波で測定し、数値化する装置<sup>7)</sup>など各種のものが使用されている。

表1 米飯の官能検査と物理化学的測定値

米の品種・産地	I(H)	S(A)	S(M)	K(U)	K(F)	N(F)	N(T)	N(S)	M(M)	F(N)	A(N)	M(N)	F(N)
官能検査	10	28	23	17	4	11	14	0	-16	16	20	9	12
食味採点	-20	26	6	19	13	13	3	0	-2	-4	10	10	6
外観	-13	33	25	21	2	19	9	0	-30	6	24	24	21
香	-5	32	22	16	1	9	11	0	-21	23	22	8	18
粘り	-12	16	31	6	8	-1	6	0	2	11	21	9	16
硬さ	11	-8	-42	-15	-19	-4	-1	0	-29	-1	-1	-16	-20
米アミロース (%)	23.5	20.0	16.3	19.5	18.5	22.5	21.0	20.0	19.5	21.3	22.5	17.5	22.3
米タンパク質 (%)	8.1	6.8	10.02	7.3	9.8	7.2	6.3	7.4	10.2	5.6	8.7	7.2	6.2
炊飯特性													
加熱吸水率	2.75	3.00	3.29	2.93	3.09	2.97	2.92	2.96	2.95	2.93	2.93	3.00	2.97
膨張容積	31.4	33.3	33.3	33.6	32.3	33.1	34.2	34.4	31.7	33.1	32.0	33.4	33.3
P H	6.42	6.49	6.47	6.18	6.32	6.34	6.28	6.50	6.42	6.35	6.42	6.46	6.46
炊飯液のヨード呈色	0.22	0.20	0.18	0.14	0.12	0.19	0.17	0.15	0.16	0.18	0.23	0.21	0.22
溶出固形物	0.53	0.54	0.46	0.49	0.43	0.51	0.46	0.41	0.44	0.47	0.54	0.52	0.56
アミログラム特性													
糊化温度 (°C)	88.0	85.5	83.5	85.0	83.5	85.0	86.0	86.0	85.0	87.5	84.6	86.5	86.5
最高粘度 (B. U)	236	290	445	365	455	430	340	355	320	305	330	250	240
ブレークダウン	35	50	130	85	105	100	80	80	60	60	75	50	40
コンシステンシー (B. U)	295	275	310	260	305	360	345	305	310	300	320	295	290
テクスチュロメーター特性													
硬さ (H)	13.58	10.88	9.72	10.86	10.50	12.74	12.67	12.67	12.67	12.13	12.79	11.71	12.92
粘り (A)	6.55	7.28	6.53	7.06	6.44	6.53	9.33	8.78	8.33	7.58	7.56	6.11	7.28
凝集性	0.49	0.52	0.51	0.52	0.49	0.50	0.62	0.52	0.55	0.45	0.48	0.50	0.49
H/A	2.07	1.49	1.52	1.54	1.63	1.95	1.36	1.44	1.46	1.69	1.55	2.11	1.53

## 1) 化学的要因

米飯の物性を左右し、食感に影響する主成分として、でんぷんがあげられる。でんぷんはグルコースが $\alpha$ -1,4結合により、直鎖状に連なったアミロースと $\alpha$ -1,4結合による直鎖部分に $\alpha$ -1,6結合による分岐をもち、図2のように、房状<sup>8) 9)</sup>を呈するアミロペクチンの2成分から構成されている。このアミロースが炊飯時の糊化特性や炊飯特性に大きく影響し、一般にアミロース含量の多い米は米飯の体積増加率(釜ぶえ)が高く、粘りの少ない米飯となり、アミロース含量の低い米は軟らかく、粘りのある米飯となる<sup>5)</sup>。炊飯にはアミラーゼが大きく関与しており、米を浸漬中においてアミラーゼ活性の作用により糖量の増加がみられ、さらに加熱中においても増加した。酵素軟化剤の添加によっても米飯は軟化する<sup>10)</sup>。

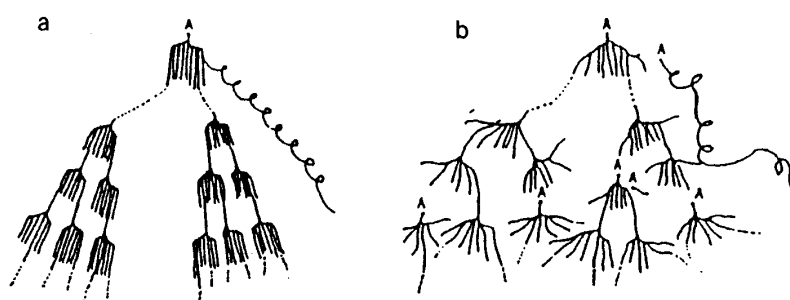


図2.  $\alpha$ -でんぷんと $\beta$ -でんぷん (二国, 1969)

- a:  $\rho$ -でんぷん (生でんぷん) の一部  
 b:  $\alpha$ -でんぷん (糊化でんぷん)  
 A: 還元末端

国際稲研究所 (IRRI) のJuliano の調査<sup>11)</sup>によると、8,000点のイネの玄米に含まれるタンパク質は5~17%の間に分布し、平均10.6%という。四訂日本食品標準成分では国産米でケールダール法による数値で玄米で7.4%、精白米で6.8%のタンパク質が含まれている。胚乳部に含まれるタンパク質はプロテインボディの形ででんぷん粒子間に散在しており、タンパク質組成はグルテリン、グロブリン、アルブミン、プロラミンで、タンパク質の栄養価を示すアミノ酸スコアは61で、小麦粉39、トウモロコシ31と比べると高く、米はアミノ酸組成の優れたタンパク質である。タンパク質含量が多いと米飯は硬く、食味は劣る。胚乳内のタンパク顆粒は中心部ほど少なく、一部はでんぷん粒と結合して存在しているため、米粒からでんぷんをアミラーゼ分解酵素で遊離させ、炊飯を行うと米飯の粘りは向上する。

## 2) 物理的要因

食品のテクスチャー、とくに米飯の物理的性質においては、まだ多くの課題が残されている。これらは理論的にはフォークト理論、マックスウエル理論により裏づけをされ、粘性、弾性などの流動特性として扱われている。機器としてはアミログラフ、粘度計、各種粘弾性測定器が数多く登場し、最今物性測定器として凡用されている。テクスチュロメーターのパラメーターは試料の選定において必ずしも一定の値を得るとはいえず、物理的常数ではないが、人の咀嚼

時における食感をシュミレートすることにより、機械的、官能的歪みの大きさをkg重単位で表して示す。米粒内でんぷんは白米の70~80%を占め、でんぷんのもつ粘性や硬さ、膨潤性、溶解性などはでんぷんのアミロース、アミロペクチンの量比や両成分の結晶構造などが、米飯の物性に大きく関与する。一般に使われているアミログラフ（ブラベンダー社）は米粉の粘性特性の測定に利用されている。図3はアミログラフの模式図であるが、米粉に水を加え、懸濁させ、攪拌しながら一定速度で加熱および冷却を行い、糊化や老化の過程における粘度変化を測定する。竹生ら<sup>4)</sup>は日本国産米とインデイカ米のアミログラムを比較し、粘りの少ないインデイカ米は日本米に比べ、最高粘度、ブレイクダウンが小さく、糊化開始温度が高く、コンステンシー（冷却時粘度増加）は大きいことを示している。一般に食味の良好な米は最高粘度、ブレイクダウンが大きく、糊化開始温度が低く、コンステンシーが小さい傾向がある。このブレイクダウンは前述の官能検査の総合評価と高い相関がみられている。米粒の溶出液の粘度も品種間で差異がみられる。また、溶出液の粘度特性について述べる。最近、竹田ら<sup>12)</sup>はブタノール沈殿によるアミロース画分が分岐をもつことやアミロペクチン画分に長鎖をもつものがあることを報告しているが、著者らは品種別に溶出でんぷんに枝切り酵素を作用させ、アミロース部分の分子量分布について測定を行い、でんぷん構造の違いのついて検討することにより、米飯の物性の違いを構造との関係から明らかにしようと試みた<sup>13)</sup>。また、米の胚乳細胞に細胞壁分解酵素を作用させると、炊飯特性や米飯のテクスチャーが改善される<sup>14)</sup>ことを明らかにしている。このほか、米飯の物性には脂質、無機成分、内在酵素が関連している。

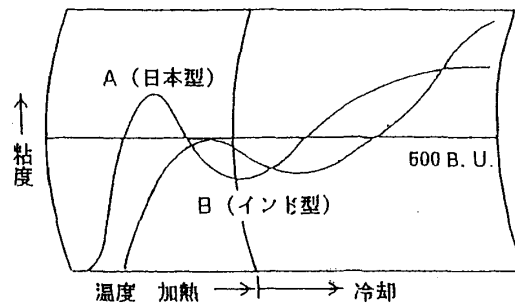


図3. 米によるアミノグラム

A: 糊化温度, B: 最高粘度, C: 最低粘度,  
D: 最終粘度, B-C: ブレイクダウン  
D-C: 冷却時粘度増加

#### 4. 炊飯過程における米粒の形態、物理化学的性質の変化

炊飯とは水分13%程度の米に水を加えて水分15%内外の米飯に変える過程をいう。でんぷんの糊化には約30%の水が必要であるため、炊飯には加熱前に20~30%の水分を吸収させ、糊化をスムーズに進行させる。生でんぷんは水に溶けず、消化酵素の作用もうけにくいいため、食用となりにくい（ $\beta$ -でんぷん）が加水し、加熱することによって吸水、膨潤し、ミセル構造がゆるみ、粘りや透明度のある糊化でんぷん（ $\alpha$ -でんぷん）となる。つまり、炊飯によりでんぷん分散コロイド系を呈すると想定している。炊飯過程は洗米、浸漬、温度上昇期、沸騰期、

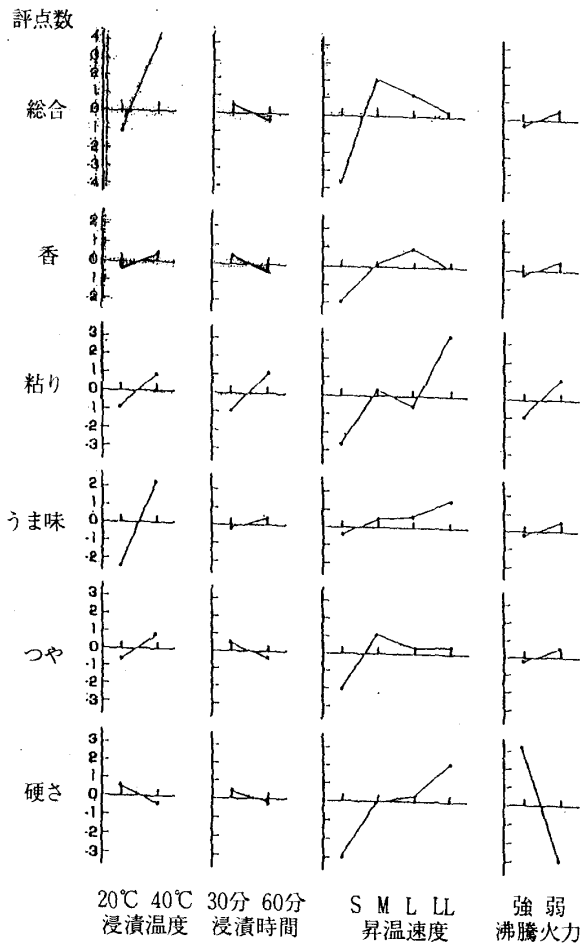
蒸らし期の各過程を経て完了する。各過程は長い間の研究者のデータの追跡により確かな調理科学的最適条件が求められている。各プロセスにおける温度や時間、また洗米や加水量などの調理操作により、米飯の味はおいしくもなり、まずくもなる。

1) 洗米 まぜ洗いととき洗いの2つの洗米方法で、食味の比較を行なったもの<sup>15)</sup>を示した。とき洗いを行った飯が好まれたが、とき洗いでは米粒表面のでんぷん粒が脱落し、細胞内のでんぷん粒がわずかに観察された。また、洗米により、明らかに減少した成分は灰分、脂質で、洗米前の約50%となり、洗米は食味や栄養素に大きく影響を与えている。また、脂質が米飯の粘りに直接関与することを示した。

2) 浸漬 あらかじめ米粒の中心部まで吸水、膨潤させるために、浸漬を行うことが必要である。炊飯器の古いものは通常あらかじめ室温で2時間、少なくとも30分間浸漬を行ってから、スイッチを入れることが必要であった。浸漬温度は高い方が吸水が速いが、糊化温度より高いとメッコ飯と呼ばれる糊化不足の米飯となる。それでは米の浸漬温度、昇温速度は米飯のテクスチャーにどのような影響を与えているのであろうか。次の表2に米の浸漬が重量・体積・飯のテクスチャーにおよぼす影響を20℃、40℃、60℃浸漬の3種類の温度で浸漬し、6、10、15分の3種類の昇温速度で炊飯を行い、米飯の水分、テクスチャー、官能検査結果<sup>16)</sup>を示した。米の吸水率は20℃・60分、40℃・30分、60℃・20分ではほぼ同じ吸水率であるが、炊飯後のテクスチャーは異っている。官能検査を米粒内部と表層部で比較すると、浸漬温度40℃の米飯が内部が最も軟らかいが、表面は20℃浸漬の米飯より硬いという結果が得られた。昇温時間はいずれの浸漬温度においても10分が好まれている。

表2. 浸漬・昇温がテクスチャーに及ぼす影響

浸漬温度 (℃)	浸漬時間 (分)	昇温時間 (分)	水分 (%)	重量 (倍)	テクスチャー (R. U.)		
					硬さ	付着性 (×1/100)	凝集性 (×1/100)
—	0	6	60.0±0.3	2.23±1.00	1.81±1.2	20.8±5.2	41.7±2.8
		10	59.8±0.8	2.30±1.08	16.9±1.2	22.5±6.0	40.5±2.6
		15	62.7±0.3	2.32±1.04	16.9±2.0	21.3±4.4	40.4±3.3
20	30	6	61.1±2.3	2.28±1.14	16.7±2.0	20.5±6.6	39.3±2.8
		10	61.6±2.2	2.31±1.15	15.0±1.7	21.9±8.0	41.7±2.8
		15	62.7±1.2	2.33±1.13	14.2±1.0	20.8±7.1	40.4±2.6
	60	6	59.8±1.6	2.30±1.08	16.8±1.8	29.8±4.7	41.1±2.7
		10	60.8±1.4	2.31±0.53	16.3±1.3	24.1±4.4	42.4±3.0
		15	61.3±2.5	2.33±1.10	15.6±1.6	29.4±6.3	44.2±2.7
	120	6	59.2±0.8	2.29±1.08	16.1±2.1	28.5±9.8	43.2±3.2
		10	61.8±1.9	2.32±1.09	15.1±1.9	30.0±8.4	42.3±3.5
		15	62.2±1.2	2.34±1.17	14.9±1.8	29.9±9.0	43.5±3.0
40	10	6	59.6±3.2	2.27±1.02	16.1±1.2	20.7±8.3	41.2±4.6
		10	62.4±2.8	2.32±1.09	16.1±2.1	20.0±6.0	39.0±1.7
		15	63.6±0.5	2.35±1.05	15.2±1.5	24.4±3.7	42.7±3.5
	30	6	61.8±2.1	2.28±0.52	15.5±1.3	19.8±7.3	40.3±2.8
		10	62.7±2.0	2.32±0.73	14.5±1.2	21.0±8.1	41.1±4.1
		15	63.1±1.8	2.34±0.87	14.4±1.6	24.2±7.3	41.2±3.9
	60	6	60.8±0.6	2.28±1.11	16.5±1.4	25.2±2.5	43.7±2.1
		10	62.3±2.8	2.32±1.15	14.8±1.1	29.6±8.0	40.0±3.4
		15	63.3±2.7	2.34±1.16	15.1±1.7	31.3±6.5	43.5±2.9
60	10	6	61.4±1.2	2.30±1.12	17.2±1.6	21.7±8.9	42.0±4.4
		10	62.3±1.6	2.31±1.13	15.8±1.4	26.3±8.2	41.6±2.0
		15	63.9±1.6	2.36±1.17	15.1±1.3	27.7±6.9	42.1±3.1
	20	6	62.3±1.6	2.30±1.09	16.4±0.8	21.7±5.8	40.8±2.8
		10	62.5±1.3	2.32±1.15	16.3±2.3	23.4±8.0	43.5±2.1
		15	62.3±0.8	2.35±1.17	16.0±2.5	25.8±9.7	41.5±3.7



昇温速度: (1550W), M(625W), L(500W), LL(425W)  
 沸騰火力: 強(500W), 弱(175W)

図4. 官能検査結果 (平均水準)

3) 昇温～沸騰 炊飯中における昇温時間が長いと、米飯の硬さは小さく、付着性は大きくなった。昇温時間が短く、火力の大きい順にS、M、L、LLの4種類とし、それぞれ6分、12分、15分、18分で、沸騰中の火力は強・弱の2通りの計32通りの実験計画を立て、浸漬温度、浸漬時間、昇温速度、沸騰時の火力の影響を調べた結果<sup>19)</sup>、昇温速度が速やかな場合は炊飯時間が短く、同じであれば沸騰中の火力の強が弱に比べ、炊飯時間は長くなる。分散分析を行った結果、浸漬温度は米飯の粘りやうま味などに、また沸騰時の火力は粘り、つや、うま味、硬さなどに影響することを明らかにした。表3にみられるように、還元糖の生成においても有意差があり、昇温時間と沸騰火力には相互作用がみられた。

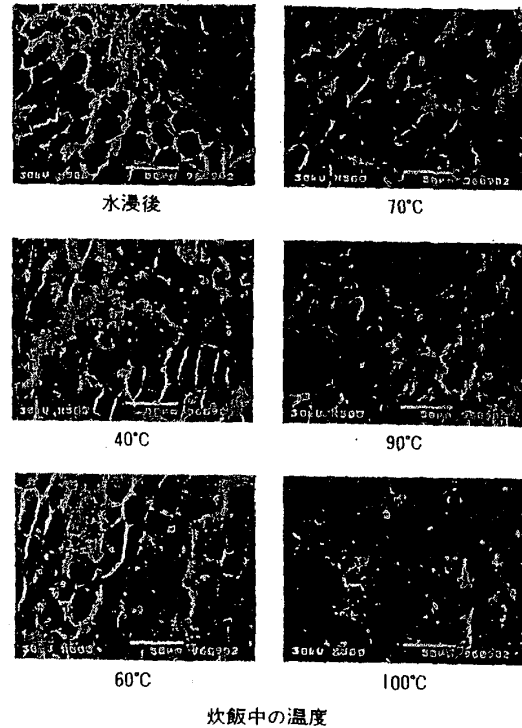


図5. 米飯粒表面の走査電顕写真

## 5. 炊飯過程におけるでんぷん分解酵素活性の変動

炊飯中におけるでんぷん分解酵素活性の変動について検討した。 $\beta$ -アミラーゼ<sup>17)</sup> 酵素1は40℃で約40%残存し、酵素11は80℃で安定であるので、炊飯中には糊化開始温度域で酵素が作用していると考えられた。

米粒から $\alpha$ -アミラーゼの分離精製を行い、2種の酵素が得られた<sup>18)</sup>。酵素1は従来発芽米にみられた酵素と同じ40℃から50℃で急激な活性の低下がみられ、一方酵素11は80℃で安定性を示す耐熱性酵素であり、これは基質による活性化によるものと推定された。また、イネ種子には $\alpha$ -グルコシダーゼの存在することが報告されてい<sup>19)</sup>るが、炊飯全過程で $\alpha$ -グルコシダーゼが作用し、逐次、グルコースに分解されたものと考えられ、炊飯液には40℃以上の温度でG7以下のオリゴ糖がみられた。米粒には80℃以上でG4が比較的多いことを明らかにしている<sup>20)</sup>。グルコースは加熱中に8倍に増加し、それは40℃までに増加したといわれる<sup>21)</sup>。炊飯中のでんぷんの分解に酵素の関与が示された。

## 6. 飯粒溶出でんぷんの分子構造

炊飯過程においてアミロプラスト内のでんぷん粒は70℃で溶解をはじめ、90~100℃では米飯粒の表面の糊化が進み、一旦米粒細胞外に溶出したでんぷんが炊飯後期において米粒表面に付着し、これが飯粒間の結着に関与し、付着性を示すものと推定された。おねばを凍結乾燥したでんぷん粉末の分子量と溶出量との関係を見ると、3つのピークに分かれ、第1ピークは100万以上、第2ピークは数千から数万、第3ピークは数千の分子量であることが判明した。これらと食味との関係について考察する。

## 7. おわりに

米飯のおいしさは米のもつ化学成分が炊飯という煮る・焼く・蒸すなどの加熱工程を最適条件で経過し、細胞内でんぷんのアミロースの量や鎖長構造により異なるが、種々の化学変化が起こり、ゾルからゲルに変化し、米粒相互間で適度な粘着性のある飯粒が完成することによる。この現象には酵素作用の影響が大で、構造と食味がバランスよく飯粒内に調和することが必要である。さらに嗜好性により食味が決定し、おいしさが完成する。

## 引用文献

- 1) 松尾孝峯ほか：稲学体制集大1巻，形態編，p.67，農文協（1996）
- 2) 渋谷直人：日食工誌，37，740（1990）
- 3) 丸山悦子：応用糖質科学会講演集（1998）
- 4) 竹生新治郎：米の食味，全国米穀協会（東京）（1987）
- 5) 丸山悦子・東紀代香：日本家政学雑誌，3（12），P.819（1963）
- 6) 渋谷政夫・川端晶子：食生活研究：12，P.17（1990）
- 7) 雑賀慶二：食品と科学，10，P.81（1990）
- 8) 二国に郎編：澱粉科学ハンドブック，P.16（1995）朝倉書店
- 9) 不破英次：調理科学，20（2）P.81（1987）
- 10) 坂本薫・丸山悦子：日本家政学雑誌，38（1），p.1（1993）
- 11) 竹生新治郎監修・石谷孝祐・大坪研一編：P.18（1995）朝倉書店
- 12) 竹田靖史：澱粉科学，40，P.41（1993）
- 13) 丸山悦子・大石咲子：文部省科学研究費B報告書（平成9年度）
- 14) 新井映子：第24回食品の食品の物性に関するシンポジウム講演集（平成7年）
- 15) 丸山悦子：調理と操作，第2集
- 16) 丸山悦子・坂本薫：日本家政学会誌，43（2），p.67（1992）
- 17) 丸山悦子・中西洋子・永曾康子・梶田武俊：家政学雑誌32（8）（1961）
- 18) 坂本薫・丸山悦子：澱粉科学37（1）、p.29（1991）
- 19) N.Takahashi, T.Shibaura, S.Chiba, : Agr.Biol.Chim., 36., 2015（1979）
- 20) 丸山悦子：未発表
- 21) 石黒恭子・香西かおり・畑江敬子・島田淳子：日本調理科学会誌，平成10年度大会要旨集，P.68（1998）