

# 米飯の咀嚼後の物性に関する研究

— A Novel Method for Measurement of the Rheology of Cooked Rices Masticated —

川田由香 加藤ちえ 阪野朋子 尾崎彩子 石川綾 北森一哉 丸山智美

Yuka KAWADA\*, Chie KATO\*\*, Tomoko BANNO\*\*\*, Ayako OZAKI\*\*\*,

Aya ISHIKAWA\*, Kazuya KITAMORI\*, Satomi MARUYAMA\*

金城学院大学 生活環境学部 食環境栄養学科\*, 岐阜社会保険病院\*\*

\*Department of Food and Nutritional Environment, College of Human Life and Environment, Kinjo Gakuin University \*\*Gifu Social Insurance Hospital

## 緒言

食べ物のおいしさの要因として1つに食物の物理的特性であるテクスチャーがあげられる。テクスチャーとは、硬い、やわらかい、粘い、といった口当たり、歯ごたえ、舌触り、などの食物の物性を表しており、食物のおいしさに大きく関与しており、機器測定と官能評価によって測定されてきた。機器測定は、通常精度がよい、再現性がある、数量化されるなどの利点があるので食品の管理、加工特性を調べるのに用いられており、重要な役割を果たしている。しかし、機器測定での物性の測定には一定の限界があり、測定された食品の物性はみかけのものであり、かつ食品の物性の一面を示しているに過ぎないとの指摘がある<sup>1)</sup>。テクスチャーが嗜好特性の最も重要な要素である食品は多いが、中でも米飯はその特有の粘弾性による食感が嗜好特性の70～80%を占めるといわれている<sup>2)</sup>。

高齢化社会の到来に伴い、咀嚼の困難性が重要な問題となってきている。咀嚼が困難になる場合、液状食品のような流動食だけで対応すると、ますます咀嚼能力、消化吸収能力全体の低下に拍車がかかることが懸念され<sup>3)</sup>、

ADLの低下や低栄養を引き起こすことへとつながる<sup>4)</sup>。また、ADLの低下した高齢者は誤嚥性肺炎をきたしやすく、肺炎は現在、日本人の死因の第4位で、そのうちの約92%を65歳以上の高齢者が占めている<sup>5)</sup>。テクスチャーの評価に基づいた適度な硬さ、粘り気などを備えた嗜好性の優れた食品の選択は生活の質を向上させる上で極めて重要な問題である<sup>3)</sup>。

食品物性の機器測定法は、①基礎的方法、②経験的方法、③模擬的方法の3つに分類することができる。基礎的方法とは、基礎的なレオロジー的性質を測定する方法で、食品の物性を粘性率、静的粘弾性定数、動的粘弾性定数などの物性値で求めるもので、毛細管粘度計や回転粘度計といった機器がある。次に、経験的方法は、はっきりと力学的に定義づけることはできないが、経験的に食品の物性と関係づけられる特性値を測定するもので硬度計やカードメーターがある。模擬的方法は、手でこねたり、伸ばしたり、咀嚼したりするなど、実際に食品が扱われるときと同じような条件で測定しようとするもので、アミログラフやテクスチュロメーターがあげられる。

いずれも食品の物性が均一であることが前提での測定方法である。

日本人の伝統的な主食である米飯は、咀嚼すると粘着性のある粒体の集合体となり、不均衡、非平衡なのでレオロジー対象として測定は難しい<sup>6)</sup>。そのため、米飯そのものの物性の研究や、米飯の官能評価とテクスチャー評価との関係についての研究<sup>3)</sup>、米飯咀嚼時の咀嚼行動分析<sup>7)8)</sup>、また米飯咀嚼時の食塊物性変化<sup>9)</sup>や、唾液分泌量を変化させた場合の嚥下直前の米飯食塊物性や粉碎度を比較した研究<sup>10)</sup>など、咀嚼についても多くの研究が行われているが、咀嚼後米飯の物性についての研究報告は数少ない<sup>4)11)12)</sup>。日本人が主食している米飯の食感については、機器による測定が主となるべきであり、官能検査ではできないより定量的な表現によって客観的に検討する方向に転換すべき時点にきているとも指摘されている<sup>1)</sup>。

咀嚼後の米飯の性状を明らかにすることは、食品咀嚼時の嚥下誘発において口腔内で次第に形成されていく食品食塊の物性変化がかかわっていること<sup>13)</sup>などから、咀嚼・嚥下において重要であるといえる。そこで、本研究では咀嚼後の粘着性のある粒体の集合体となった米飯の物性を明らかにするために、咀嚼後米飯の物理的形状について検討した。

## 実験方法

### 1. 被験者

実験は顎口腔系に特に異常は認められず、日常の食生活が不都合なく営める21~22才の女性、身長156~168cm、BMI値17.9~20.3の被験者6名の成人被験者（平均21歳）で行った。なお、これらの被験者には、臼歯部に充填物を施されている者が2名含まれている。部分床義歯や全部床義歯を装着した被験者、または矯正治療を受けている被験者は含まれ

ておらず、被験者の歯の本数は28~30本であった。ドライマウスのような唾液分泌機能に異常のある被験者は含まれていない。実験に先立ち、倫理的配慮として、各被験者には予め本実験の趣旨を十分に説明して実験協力者として同意を得た。また実験への参加は、自由意志とし、強制ではないという説明を行った。

### 2. 方法

実験プロトコルを図1に示した。

1口分米飯量を仮定するために、予備実験を行なった。箸は重量10g、直径6mmのうるし箸を使用した。被験者が一口分を箸でとり、パラフィン紙にのせ電子上皿天秤（chyoo, ELECTRONIC BLANCE JP-160）で測定した。箸をキムワイプでふきとり、同一作業を連続して1人5回繰り返した。表1に示したように得られた平均値は9.6g/1口であったため、本咀嚼実験では試料米飯9.6gとした。

また、米1粒の重量と長さ、炊飯した米飯

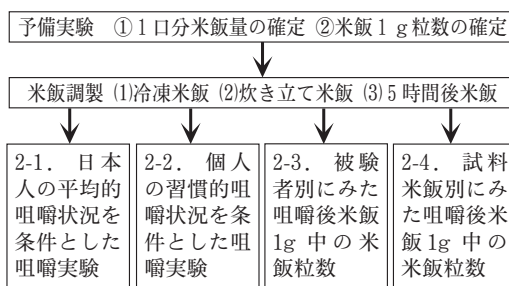


図1 実験プロトコル

表1 一口分の米飯量測定（平均±標準偏差）

被験者No.	米飯試料 (g)	
	冷凍1.3倍	冷凍1.7倍
1	7.6±1.5	10.1±1.6
2	10.5±1.7	8.2±1.6
3	8.7±1.4	8.2±0.7
4	9.9±0.4	12.8±1.3
5	11.2±2.5	8.7±0.7
平均	9.6±1.4	9.6±2.0
全体平均	9.6±1.6	

1粒の重量と長さを各20粒検量した。米1粒の平均重量は0.0199g，長さは4.4mmであり，米飯1粒の平均重量は0.0441g，長さは8.4mmであった。以上より，米飯1gの粒数は22.6粒であると仮定した。

予備実験結果をふまえ，以下の方法で実験を行った。

実施日は平成18年8月7日，当日の気温は26℃，湿度は76%であった。低温で（8℃）で保存しておいた平成18年6月21日新潟産コシヒカリ（産地指定 上越地区），精白米の無洗米を試料とした。炊き水は水道水を使用した。実験使用時の水温は約25℃であった。米飯の炊飯は，米2合（350g）を使用し，2時間浸漬したのち，自動タイマー付き電子炊飯器（ナショナル製，SR-ULH10型）を使用し，17分炊飯後，自動でスイッチが切れたのち25分間蒸らした。咀嚼実験に使用する米飯(1)冷凍米飯(2)炊き立て米飯(3)5時間後米飯の3種類を以下の条件で表2に示したように調製した。

- (1) 実験3日前に炊飯し，実験当日まで冷凍保存したものを「冷凍米飯」とした。炊飯後，米飯100gを1包とし直ちに

ラップに包み，冷凍庫（HITACHI R-730VFB 電子冷蔵庫 58年製）で冷凍保存し，実験直前に電子レンジ（ナショナル電子レンジ NE-T60 88年製）で4分間解凍した。表記は，1.3倍の加水量で炊飯した米飯を「冷凍保存1.3」，1.5倍の加水量で炊飯した米飯を「冷凍保存1.5」，1.7倍の加水量で炊飯した米飯を「冷凍保存1.7」とした。

- (2) 先述の炊飯方法で炊飯し，蒸らしが終わった直後のものを「炊き立て米飯」とした。表記は，1.3倍の加水量で炊飯した米飯を「炊き立て1.3」，1.5倍の加水量で炊飯した米飯を「炊き立て1.5」，1.7倍の加水量で炊飯した米飯を「炊き立て1.7」とした。
- (3) 先述の炊飯方法で炊飯し，蒸らし後5時間経過したものを「5時間後米飯」とした。表記は1.3倍の加水量で炊飯した米飯を「5時間後1.3」，1.5倍の加水量で炊飯した米飯を「5時間後1.5」，1.7倍の加水量で炊飯した米飯を「5時間後1.7」とした。

表2 米飯の炊飯条件

	冷凍米飯			炊き立て米飯			5時間後米飯		
	1.3倍	1.5倍	1.7倍	1.3倍	1.5倍	1.7倍	1.3倍	1.5倍	1.7倍
使用した米重量(g)	350	350	350	350	350	350	350	350	350
加水した水の量(g)	455	525	595	455	525	595	455	525	595
浸漬時間	2時間	2時間	2時間	2時間 22分	2時間 20分	2時間 24分	2時間 17分	2時間 16分	2時間 16分
浸漬開始時刻	10:32	10:33	10:35	9:00	9:02	9:04	9:06	9:08	9:10
浸漬米吸水量(g)	100	125	115	105	110	105	105	105	110
浸漬米含有率(%)	29%	36%	33%	30%	31%	30%	30%	30%	31%
浸漬米重量(kg)	450	475	465	455	460	455	455	455	460
通電開始時刻	12:32	12:33	12:35	11:22	11:22	11:28	11:23	11:24	11:26
ジャーの通電時間(分)	17	17	17	17	17	17	17	17	17
むらしの時間(分)	25	25	25	25	25	25	25	25	25
炊き増え(倍)	2.1	2.2	2.5	2.1	2.3	2.5	2.2	2.3	2.5
水分蒸発量(%)	70	90	75	60	75	70	50	75	80
米飯重量(g)	735	785	870	745	800	875	755	800	865

## 2-1. 日本人の平均的咀嚼状況を条件とした咀嚼実験

各被験者に試料9.6 gの米飯を日本人の平均的咀嚼状況を再現するため、メトロノーム(SEIKO PHOTOSENSOR METRONOME SP-100 /SP-105)を86に合わせ(0.7秒/回)、24回咀嚼させた<sup>4)</sup>。約37°Cに温めた湯のみに咀嚼した米飯を、口腔内残量を感じなくなるまで出し、全体量を検量した。2枚のラップ上に咀嚼後米飯1 gを箸で測定し、広げて米粒数を数えた。1粒は目視で確認できるものとした。また、プラスチック板の上に2 cm × 2 cmに広げ、写真撮影した。カメラは松下電器産業株式会社製 LUMIX DMC-FX9、記録画素数6M:2816×2112画素を使用した。

## 2-2. 個人の習慣的咀嚼状況を条件とした咀嚼実験

咀嚼に対して一切の制約を加えず、各被験者の日常の食事と同じように試料9.6 gの米飯を咀嚼させた。咀嚼開始から飲み込むまでの時間をストップウォッチで、回数をカウンターで(KOKUYO 数取器 CL-201)測定した。湯のみに咀嚼した米飯を、口腔内残量を感じなくなるまで出し、全体量を測定した。2枚のラップ上に咀嚼後米飯1 gを箸で計量し、広げて米粒数を数えた。1粒は目視で確認できるものとした。

## 2-3. 被験者別にみた咀嚼後米飯1 g中の米飯粒数

日本人の平均的咀嚼状況条件下および個人の習慣的咀嚼状況条件下の両咀嚼実験において、各試料米飯の咀嚼後1 g中の平均米飯粒数を被験者別に比較した。1粒は目視で確認できるものとした。

## 2-4. 試料米飯別にみた咀嚼後米飯1 g中の

## 米飯粒数

日本人の平均的咀嚼状況条件下および個人の習慣的咀嚼状況条件下の両咀嚼実験において、咀嚼後1 g中の平均米飯粒数を試料米飯別に比較した。1粒は目視で確認できるものとした。

## 結果

### 1. 日本人の平均的咀嚼状況を条件とした咀嚼実験

咀嚼後米飯1 gの米飯粒数の平均を、炊飯後の経過時間別にみると冷凍米飯で50.4 ± 3.1個、炊き立て米飯で45.8 ± 1.8個、5時間後米飯で43.5 ± 1.2個であった。また、加水量別にみると1.3倍米飯で48.3 ± 1.9個、1.5倍米飯で44.9 ± 6.5個、1.7倍米飯で46.4 ± 2.2個であった。いずれも有意差はみとめられなかった(図2, 3)。

### 2. 個人の習慣的咀嚼状況を条件とした咀嚼実験

咀嚼後米飯1 gの米飯粒数の平均を、炊飯後の経過時間別にみると冷凍米飯で54.6 ± 2.0個、炊き立て米飯で60.1 ± 2.9個、5時間後米飯で45.3 ± 2.2個であった。また、加水量別にみると1.3倍米飯で54.2 ± 8.8個、1.5倍米飯で53.5 ± 1.2個、1.7倍米飯で51.1 ± 6.6個であった。いずれも有意差はみとめられなかったが、粒数は他の試料米飯に比べ炊き立て米飯がやや多く、5時間後米飯ではやや少なかった(図3, 4)。

### 3. 被験者別にみた咀嚼後米飯1 g中の米飯粒数

日本人の平均的咀嚼状況を条件とした場合と個人の習慣的咀嚼状況を条件とした場合の咀嚼実験において、各米飯種の咀嚼後1 g中の平均米飯粒数を被験者別に比較したところ、

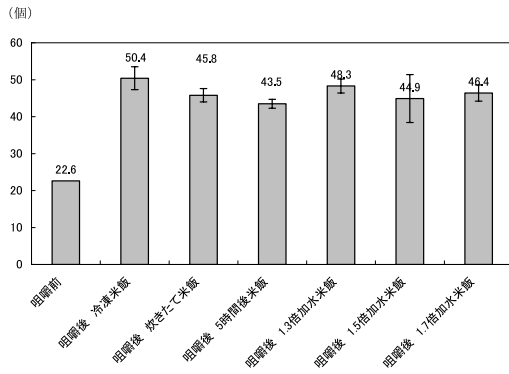


図2 米飯1g中の粒数(個)―日本人の平均的咀嚼状況を条件とした咀嚼実験―

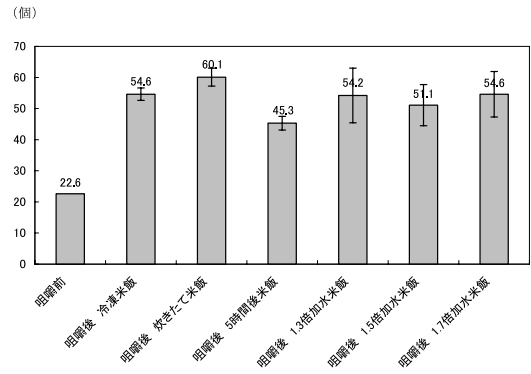


図4 米飯1g中の粒数(個)―個人の習慣的咀嚼状況を条件とした咀嚼実験―

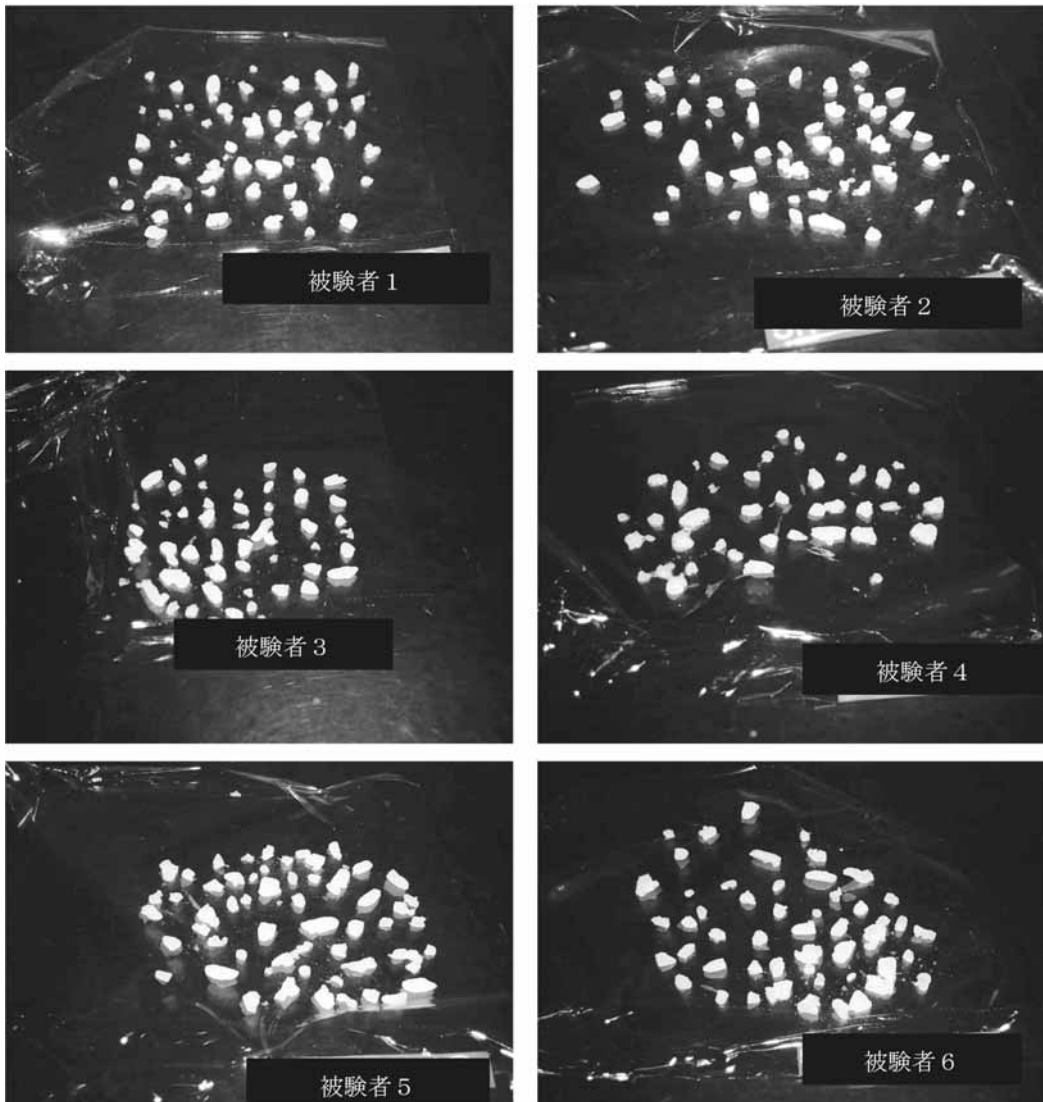


図3 各被験者の咀嚼後の米飯状態



被験者間に有意な差はみられなかった(図5)。

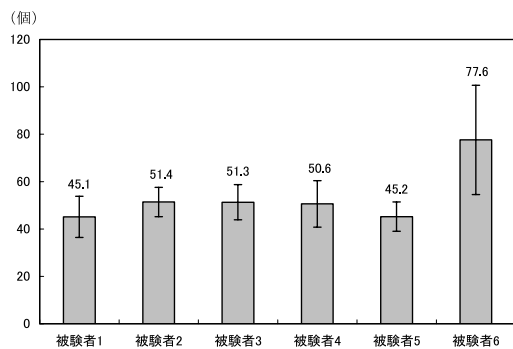


図5 被験者別 咀嚼後米飯 1g 中の粒数 (個)

#### 4. 試料米飯別にみた咀嚼後米飯 1g 中の米飯粒数

日本人の平均的咀嚼状況を条件とした場合と個人の習慣的咀嚼状況を条件とした場合の咀嚼実験において、咀嚼後 1g 中の平均米飯粒数を試料米飯別に比較したところ、各試料間に有意な差はみられなかったが、炊き立て米飯で粒数が最も多く、次いで5時間後米飯、冷凍米飯の順になった(図6)。

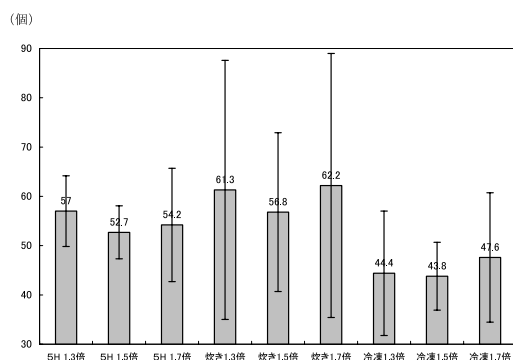


図6 米飯別 咀嚼後米飯 1g 中の粒数 (個)

#### 考察

これまでの咀嚼後米飯の物性についての報告は、粘りのみを測定した報告<sup>4)12)</sup>はあるが、米飯物性を粘性のある流動体と粒体の複合体と評価し物理的性状報告したものは皆無である。そこで、本研究は咀嚼後米飯の物理的性状を明らかにすることを目的に、日本人の平均的咀嚼回数と時間から咀嚼条件を決定した

咀嚼実験と、個人の日常の咀嚼状況に沿った咀嚼実験を行い、各々の場合における嚥下直前の米飯はどのような形、大きさ、性質を示すかを検討した。

咀嚼は食片の粉碎と唾液の消化酵素の混和を活発にし、消化効果を増進される総合消化機能である。咀嚼の初期は食品の形が大きいので非常に不安定な咀嚼経路をとるが、ある程度粉碎され、ある大きさ以下(嚥下閾値)になると食塊を形成し嚥下する。嚥下には、反射機能と食塊の嚥下閾値があり、やたらに飲み込むことを防いでいる。適当な唾液量と食塊の大きさ以下でないと通過できない。

米および炊飯した米飯一粒の重量と長さを各20粒測定したところ、炊飯後、平均重量は2.2倍に、長さは1.9倍になった。また、表2に示したように加水量1.3倍、1.5倍、1.7倍で炊いた米飯重量は米重量の2.1倍~2.5倍となっており、米飯一粒と米飯全体においてその重量増加率は対応していることがわかった。一般に、おいしく炊き上がった飯は含水量約65%で(白米の水分は15.5%)米の重量の約2.3倍である<sup>14)</sup>といわれていることをふまえ今回の予備実験結果をみると、実験に供した米飯は正常に炊飯操作が行われたといえる。

本研究において、米飯1粒あたり8.4mmの長さであったものが図3に示したように全被験者において咀嚼により粉碎されていることが視覚的に確認できた。試料米飯別に粉碎された米飯粒の形状をみると、大きさにバラつきはあったものの咀嚼前米飯のほぼ半分程度の長さになっており、粒数から算定すると体積としては1/2~1/3に減少していた。このことより、米飯粒の形状や体積と嚥下閾値との間に関連があることが推測できた。咀嚼後米飯粒の大きさのバラつきは被験者の歯の形状などの影響もあるのではないかと考えられる。日本人の平均的咀嚼状況に従って咀嚼さ

せた場合と被験者に個人の習慣的咀嚼をさせた場合とで米飯粒数を比較したところ、後者の方が米飯粒数は多くなる傾向がみられた。後者は被験者が食事をするとき日常的に行っている咀嚼運動であり、最も適した咀嚼速度や回数であるため、各個人が嚥下するにあたり米飯も最適な大きさ、形状にまで破断されているためと考えられる。全被験者で咀嚼条件を統一した、日本人の平均的咀嚼状況に従った咀嚼実験において、炊飯後の経過時間と加水量別に比較すると有意差はなかったが冷凍米飯および1.3倍加水米飯で粒数が多かった。これはデンプンの糊化（ $\alpha$ 化）と老化が関連しているのではないかと思われる。米の主成分であるデンプン（ $\beta$ -デンプン）はグルコースの鎖の一部が規則正しく配列しているミセルという構造を持っているが、これに水を加え加熱し $\alpha$ 化させることで、アミロースやアミロペクチンが互いに接触して網目構造をつくり、粘性を持った「糊（のり）」になる<sup>14)</sup>。糊（ $\alpha$ -デンプン）を常温に放置しておく、デンプン分子の配列が再び規則性をあらわす老化という現象が起こる。老化により $\alpha$ -デンプンは $\beta$ -デンプンにもどり、網目構造が壊れ、粘性を失うが、再度加熱することで $\beta$ -デンプンは $\alpha$ -デンプンになる。本研究結果より冷凍米飯のように炊飯後、冷凍保存し、実験直前に再加熱するといった、糊化と老化を繰り返す操作でデンプン粒子は破断されやすくなること、また、加熱する際に加える水の量が少ないと糊化が十分に行われず、粘性も低く破断されやすい粒子形成となることが推察された。一方、個人の習慣的な咀嚼をさせた実験において、炊飯後の経過時間と加水量別に比較したところ、有意差はなかったが炊き立て米飯と1.7倍加水米飯で最も粒数が多くなった。加水量が増す程、飯の水分量は多く、かたさやガム性は減少し、付着性と凝

集性は高くなった<sup>15)</sup>という報告がある。炊き立て米飯は炊飯後の水分蒸発量が少なく米飯中の水分含量も多く、1.7倍加水米飯は設定試料中で最も多い加水量であるため、この2種において粒数が多くなった理由として米粒の付着性と凝集性に関与している可能性が考えられた。咀嚼後米飯1g中の米飯粒数を被験者間で比較した場合、有意差はみとめられなかったが、米飯粒数が多い傾向になる被験者が認められた。同一の試料を同一被験者に最終嚥下まで何回も繰り返し咀嚼させても嚥下の咀嚼回数は常に一定の値を示すこと、ヒトには一定の嚥下閾が存在し、この嚥下閾を規定する主な要因は「食物の粉碎度」であるといわれている<sup>16)</sup>ことから、本来ヒトの咀嚼嚥下機能には個体差があることが考えられる。本研究では顕著な個体差が見出されなかった。理由として被験者が少なかったこと、性別が同一であったこと、年齢幅が狭かったことなどが考えられる。

本研究から、咀嚼後の米飯は粉碎された粒状の粘性物質と唾液と混合された液体の集合体であることが明らかになった。これまでの咀嚼米飯の報告には、粒状食品である米飯咀嚼では飯粒の粉碎度に加えて、米飯の持つ物性の凝集性と付着性が嚥下までの咀嚼回数や咀嚼時間に大きな影響を与えていることが示された<sup>7)</sup>との報告がある一方、食塊中の飯粒の大きさは米飯咀嚼時の嚥下誘発には直接的には関わっていない可能性が示された<sup>14)</sup>との報告もあり、報告は様々である。今後、さらに、性別や年齢層の違う被験者を設定し、咀嚼・嚥下機能と個体差の関係を検討する必要がある。また、本研究における物理的・視覚的観察では、咀嚼後米飯粒の形、大きさ、個数を計測するだけで十分な物性評価を行うには限界があるため、自由水測定による唾液量の測定や、ふるいによる咀嚼後粒体の径測定

の他、電子顕微鏡等を用いた米飯粒の細胞レベルでの観察も必要であると考える。

本研究は咀嚼後米飯のレオロジー対象としての測定法の開発へつなげるための基礎実験として行われた。被験者の年齢幅が狭かったこと、性別が女性のみであったこと、また、若年層であり、全被験者において咀嚼機能は良好であったことなどから、今回得られた結果はヒトの咀嚼実験結果であると断定はできない。しかし、これまでに報告がなかった咀嚼後の粉碎された米飯の物理的物性の形状が示された。咀嚼後米飯の粉碎の細度や形状などが客観的数値で評価されることは高齢者の咀嚼・嚥下機能低下や、子どもの咀嚼未熟問題、う蝕予防の観点からも重要である。今後ますます高齢者人口の増加に伴う咀嚼・嚥下機能低下者の増加が予想される。高齢者施設では、日本の伝統食である米飯を食べたいと望んでも、誤嚥の危険を避けるため、喫食者の全てに加水量1.5倍程度で炊き上げた一般的な米飯を提供することが困難な現状がある。高齢者をはじめ咀嚼力、嚥下力の劣る日本人が米飯をおいしくかつ楽しく食べられるようになり、生活の質を向上させるためには咀嚼後の異なるレオロジーを持つ混合体を客観的数値で測定し、評価することが可能なレオロジメーターの開発が必要である。

## まとめ

本研究では咀嚼後の粘着性のある粒体の集合体となった米飯の物性を明らかにするために、日本人の平均的咀嚼回数と時間から咀嚼条件を決定した咀嚼実験と、個人の日常の咀嚼状況に沿った咀嚼実験を行い、各々の場合における嚥下直前の米飯が示す形状、大きさ、性質を示すかを物理的・視覚的に観察した。両条件下での咀嚼実験においては、個人の日常の咀嚼状況に沿った咀嚼実験の方が、咀嚼

後米飯粒数が多くなる傾向がみられた。さらに、咀嚼・嚥下機能には個体差が大きく関与している可能性が示唆された。なお、本研究の一部は金城学院大学・父母会特別研究助成費により実施された。

## 文献

- 1) 辻昭二郎：米飯粒の食感と関連した物性測定と解析—米飯粒の内外層の物性の差に着目した最新の測定法—, 日本食品科学工学会誌, Vol.41, No.1, pp.27-32, 1999
- 2) 加藤寿美子：米飯のレオロジーに関する研究, 家政学雑誌, 30, pp.121-133, 1979
- 3) 松尾美保, 高谷友久, 三輪章志, 森高初恵, 西成勝義：米飯のテクスチャー評価のための咀嚼模倣圧縮試験, 日本咀嚼学会誌, Vol.12, No.1, pp.11-25, 2002
- 4) 岡留博司ら：単一装置による米飯物性の多面的評価, 日本食品科学工学会誌43巻, pp.1004-1011, 1996
- 5) 厚生労働省：国民衛生の動向, 厚生統計協会, 第51巻, 第9号, pp.46, 2003
- 6) 青柳康夫, 筒井知己ら：新版 食品の官能評価・鑑別演習, 建帛社, 2004
- 7) 塩澤光一, 神山かおる, 柳沢慧二：粒状試料(米飯)咀嚼について, 米飯の物性が咀嚼行動に与える影響, 日本咀嚼学会誌, Vol.5, No.1, pp.37-42, 1995
- 8) 今井敦子：咀嚼機能評価のための米飯咀嚼に関する研究, 日本補綴歯科学会誌, Vol.42, pp.147-156, 1998
- 9) 福島理恵：咀嚼運動の診断基準に関する基礎的研究, 食塊の水分量, 粉碎率, 物性の変化, 小児歯科学会誌, Vol.40, No.1, pp.119-131, 2002
- 10) 阿部真之介：食塊の物性が嚥下関に与える影響, 小児歯科学会誌, Vol.39, No.3, pp.704-711, 2002
- 11) 磯直道, 水野治夫, 小川廣男：食品のレオロジー—食の物性評価—, 成山堂書店, 1992
- 12) 岡留博司ら：米飯物性測定法について—米飯一粒の硬さや粘りを多面的に計る—日本栄養食糧学会誌43巻, pp.7-18, 2003
- 13) 塩澤光一, 城所寛子, 佐藤洋子, 神山かおる, 柳沢慧二：米飯咀嚼時の食塊物性と嚥下閾値との



米飯の咀嚼後の物性に関する研究（川田由香，加藤ちえ，阪野朋子，尾崎彩子，石川綾，北森一哉，丸山智美）

- 関係，日本咀嚼学会雑誌13巻2号，pp.58-66，  
2003
- 14) 山崎清子，島田キミエ，渋川祥子，下村道子：  
新版 調理と理論，同文書院，東京，2005
- 15) Kohyama. K. et al.，：Mastication effort  
estimated by electromyography for cooked  
rice of differing water content.，Bioscience,  
Biotechnology, and Biochemistry, 69, 1669-  
1676, 2005
- 16) 河村洋二郎，塚本周作：咀嚼習慣形成機序に関  
する実験的研究 I，歯界展望，16巻，pp.1039-  
1046, 1959