

## 炊飯過程の成分溶出に及ぼす酢酸添加の影響

## Effect of Acetic Acid on the Elution of Components during the Rice Cooking Process

大石 恭子\*<sup>s</sup> 香西みどり\*\* 島田 淳子\*\*\* 畑江 敬子\*\*

Kyoko Ohishi

Midori Kasai

Atsuko Shimada

Keiko Hatae

The components contained in the cooking water and in an extract from the surface of rice cooked with acetic acid were examined to clarify the mechanism for the textural change due to the addition of acetic acid. Compared to rice cooked only with distilled water, the water absorption rate above 60°C was higher in the rice grains cooked with acetic acid. The amounts of solids and total sugar extracted from the surface of cooked rice were also increased by acetic acid, indicating that this contributed to the increase in the stickiness, transparency, and glossiness of the cooked rice. It was found, however, that the fine structure of starch in the extract from the surface of the cooked rice was unaffected by the addition of acetic acid. It is suggested that there was hardly any degradation of starch by acetic acid under the cooking conditions used in this study.

**キーワード** : 飯 cooked rice ; 酢酸 acetic acid ; ゲル濾過クロマトグラフィー gel permeation chromatography ; 物性 texture ; 溶出固形物 extracted solid content

酢酸<sup>1)~3)</sup> やクエン酸<sup>4),5)</sup> など酸,あるいはそれらを含む食酢<sup>6)</sup> や果汁<sup>4),7)</sup> を添加して炊飯した米飯は硬さが減少し,粘りが増すことが知られている。前報<sup>8)</sup> において著者らはジャポニカ種の粳米,糯米,またインディカ種米を用いて実験を行い,いずれの品種の米においても酢酸添加により飯粒表層の粘りが増すことを認めた。酸添加は特に粘りの少ない米の食味改善に効果的であるが,その機構については十分に解明されていない。本研究は先の報告<sup>9)</sup> に引き続き酢酸添加米飯の物性変化の機構解明を行ったものである。

先に著者らは,酢酸添加による炊飯液のpHの低下が米のタンパク質の溶出を著しく促進させ,さらに酸性プロテアーゼ(アスパラギン酸プロテイナーゼ)の活性化によりグルテリンが分解されることを報告した<sup>9)</sup>。米粒内においてタンパク質は主に顆粒状としてアミロプラストの周辺部に存在することから,溶出や酵素分解のような酢酸添加によるタンパク質の変化は,炊飯過程における澱粉の吸水,膨潤,糊化のような変化にも影響すると考えられる。通常の炊飯過程において,米粒内,特に表層部の成分はいったん炊飯液に溶出した後米粒に再吸収され,その一部は飯粒の表層を覆う。池田<sup>10)</sup> は炊飯過程における溶出固形物,および飯粒表層の固形物が米飯の粘りに関与することを示唆している。溶出固形物の主な成分は澱粉であり,米飯の粘りは飯粒表層の成分と関わると考えられている<sup>11)~13)</sup>。しかしこれまで酸添加米飯において溶出固形物や飯粒表層

の成分分析,また酸による澱粉の加水分解については検討されていない。

そこで本研究では酢酸添加による米飯の物性変化に澱粉がどのように関わっているかを明らかにするために,炊飯液および飯粒洗液の成分分析,およびこれらの液体中の澱粉のゲル濾過クロマトグラフィーを行った。さらに酢酸添加による炊飯中の澱粉の加水分解についても検討した。

## 実験方法

## 1. 試料米

平成12年度滋賀県産日本晴を用いた。入手後は玄米のまま4°Cで保存し,実験当日に精米機(トーヨーテスター精米機MC-90A,東洋精米製作所)を用いて歩留まり90%に搗精した。

## 2. 炊飯条件

精白米200gに脱イオン蒸留水を400ml加え,2回/秒で10回攪拌し,水を交換する操作を5回繰り返した。加水比が米の重量の1.5,酢酸終濃度が0.2Mになるように脱イオン蒸留水,又は酢酸溶液を加えて20°Cで1時間浸漬した。小型電気炊飯器(SR-03F,松下電器産業)にスライダックを接続し,110Vで12分間,続いて70Vで13分間加熱後,15分間蒸らしの操作を行った。蒸らし後,20°Cで1時間放冷したものを米飯試料とした。

## 3. 試料の調製および測定項目

浸漬後,および加熱開始後の試料温度が40°C,60°C,80°C,98°Cに達した時点で目開き1.6mmのふるいをを用いて米粒と炊飯液に分け,直ちに米粒の重量を測定した。炊飯液はpHを測定後,遠心分離を行い(12,000rpm,10min,5°C),上清画分と沈殿画分に分けた。上清画分は沸騰浴中で10分間加熱し,酵素を失活させた後に全糖,還元糖,タンパク質量を測定した。またゲル濾過法により

\* 聖徳大学  
(Seitoku University)

\*\* お茶の水女子大学  
(Ochanomizu University)

\*\*\* 昭和女子大学  
(Showa Women's University)

<sup>s</sup> 連絡先 聖徳大学人文学部 〒271-8555 千葉県松戸市岩瀬550  
TEL 047(365)1111 FAX 047(363)1401

## 炊飯過程の成分溶出に及ぼす酢酸添加の影響

糖質の分子量分布を調べた。沈殿画分はエタノールで脱水、続いてアセトンで脱エタノール処理をし、室温で乾燥させて溶出固形物とした。溶出固形物の重量を測定後、イソアミラーゼ処理をし、ゲル濾過法により沈殿画分の鎖長分布を調べた。

炊き上がり直後の飯粒 10 g を釜の中央部から採取し、5 倍量の脱イオン蒸留水を加え、スターラーで 5 分間攪拌した。得られた飯粒水洗液を飯洗液と称する。無添加米飯の飯洗液の pH は 6.5、酢酸添加米飯のそれは 3.8 であったため、酢酸添加米飯の飯洗液を調製する際は、飯洗液の pH が 6.5 になるように 2 N の水酸化ナトリウムで調整した。目開き 1.0 mm のふるいで米粒と飯洗液に分け、飯洗液は遠心分離 (12,000 rpm, 10 min, 5°C) により上清画分と沈殿画分に分けた。上清画分は全糖、還元糖、タンパク質量の測定を行った。沈殿画分はエタノールおよびアセトン処理後、室温で乾燥させ、飯粒表層の澱粉とした。澱粉の重量を測定後、分子量分布をゲル濾過法により調べた。その後イソアミラーゼ処理を行い、鎖長分布を調べた。

## 4. イソアミラーゼによる澱粉の枝切り処理

乾物試料 15 mg を 0.25 ml の脱イオン蒸留水で懸濁し、2 N の水酸化ナトリウム溶液を 0.25 ml 加えて十分に糊化させた。これに脱イオン蒸留水を 3.5 ml 加え、0.5 N 酢酸溶液で中和し、60 mM の酢酸緩衝液 (pH 3.5) を 5 ml 加え、さらにイソアミラーゼ (*Pseudomonas isoamylase*, E. C. 3.2.1.68, 林原生物化学研究所製) を 25  $\mu$ l (1,475 U) 加えて 40°C で 24 時間反応させた。反応液に終濃度 80% になるようにエタノールを加え、減圧乾固して 4°C で保存した。

## 5. 測定方法

## 1) 炊飯の温度履歴

銅コンスタンタン熱電対を炊飯器の蓋より挿入し、その先端を底から 1 cm の位置に固定した。温度はマルチチャンネルレコーダー (TR 2724, ADVANTEST) を用い、10 秒ごとに自記させた。この条件は炊飯液の残存する試料では炊飯液あるいは米粒表層を、また炊飯液が米粒に吸収された試料は米粒間隙の温度を測定していることになる。いずれにおいても米粒表面の温度とみなし、これを炊飯温度とした。

## 2) 炊き上がり米飯の重量

蒸らし終了後内釜ごと重量を測定し、あらかじめ量ったおいた内釜の重量を差し引いて、炊き上がり米飯の重量とした。

## 3) 全糖、還元糖、タンパク質量の測定

全糖量はフェノール硫酸法<sup>14)</sup>で測定した。還元糖量は、炊飯液および飯洗液は Somogyi-Nelson 法<sup>15), 16)</sup>で、ゲル濾過法で得られた各フラクションは改良 Park-Johnson 法<sup>17)</sup>で測定した。全糖量および還元糖量の測定はいずれもグルコース溶液をスタンダードに用いた。タンパク質量は Lowry 法<sup>18)</sup>で測定し、ウシ血清アルブミンをスタンダ

ードに用いた。

## 4) ゲル濾過法 (gel permeation chromatography ; GPC と略)

## i) 上清画分の GPC

伊藤ら<sup>19)</sup>の方法を参考にし、脱イオン水で希釈、またはエバポレーターで濃縮して糖質濃度を 1 mg/ml に調整した炊飯液上清画分 10 ml を、Toyopearl gel HW-50 S (東ソー製) を充填したカラム ( $\phi 2.5 \times 100$  cm) に負荷した。0.02% アジ化ナトリウムを含む脱イオン蒸留水を流速 0.4 ml/min で展開し、溶出液は 5 ml ずつ分取した。各フラクションの全糖量および還元糖量を測定し、全糖量を還元糖量で除して重合度を求めた。

## ii) 沈殿画分の GPC

乾物試料 15 mg を 0.25 ml の脱イオン蒸留水に懸濁し、2 N の水酸化ナトリウム溶液を 0.25 ml 加えて、一晚冷蔵放置しアルカリ糊化させた。その後脱イオン蒸留水を 1 ml 加え、0.5 N の水酸化ナトリウム溶液で 10 ml に定容した。Toyopearl gel HW-75 F (東ソー製) を充填したカラム ( $\phi 2.5 \times 100$  cm) に全糖 10 mg 相当量を負荷し、溶離液に 0.5 N 塩化ナトリウム-0.5 N 水酸化ナトリウム-0.02% アジ化ナトリウムを用いて 0.4 ml/min で展開した。溶出液は 10 ml ずつ分画し、各フラクションを酢酸溶液で中和後、全糖量および最大吸収波長の測定を行った。

## iii) 枝切り処理後の沈殿画分の GPC

イソアミラーゼ処理後の乾物試料に 1 N の水酸化ナトリウム溶液を 1 ml 加え、室温に 1 時間放置してアルカリ糊化させた。その後 1 ml の脱イオン蒸留水を加え、遠心分離を行い (3,000 rpm, 10 min, 室温), Toyopearl gel HW-50 S を充填したカラム ( $\phi 2.5 \times 100$  cm) に上清 1.5 ml を負荷し、5 ml ずつ分取した。溶離液に 0.05 N 水酸化ナトリウム-0.2% 塩化ナトリウム-0.02% アジ化ナトリウムを用いて 0.4 ml/min で展開した。溶出液は 5 ml ずつ分画し、各フラクションを酢酸溶液で中和後、全糖量および還元糖量を測定し重合度を求めた。また最大吸収波長を測定し、アミロースおよびアミロペクチンの溶出割合を求めた。

## 5) 最大吸収波長の測定

各フラクションに 50  $\mu$ l の 1% ヨウ素-10% ヨウ化カリウム溶液を加えて発色させ、分光光度計 (UV-2200, 島津) を用いて最大吸収波長 ( $\lambda_{\max}$ ) を求めた。

## 6) アミロースおよびアミロペクチンの区分

GPC により分画した各フラクションは、大家ら<sup>20)</sup>の方法を参考にし、ピークの溶出順にフラクション (Fr.) I, II, III, および Fr. I と Fr. II の間を Intermediate Fr. (Int. Fr.) と名づけ、溶出糖とヨウ素との複合体吸収曲線の最大吸収波長 ( $\lambda_{\max}$ ) により以下のように区分した。Fr. I,  $\lambda_{\max} \geq 620$  nm ; Int. Fr.,  $620$  nm  $>$   $\lambda_{\max} \geq 600$  nm ; Fr. II,  $600$  nm  $>$   $\lambda_{\max} \geq 525$  nm ; Fr. III,  $525$  nm  $>$   $\lambda_{\max}$ 。

いずれの測定も 3 回行い、平均および標準偏差を求めた。

## 実験結果および考察

### 1. 炊飯中の温度履歴, pH 値および重量変化

炊飯液の温度履歴を Figure 1 に示す。酢酸添加および無添加の両者に違いは認められなかった。pH の値は、酢酸無添加の場合、20℃ で浸漬後の炊飯液では 6.8, 炊き上がり米飯では 6.5 であった。一方、酢酸を添加した場合は、浸漬後の炊飯液の pH は 3.1, 飯粒の値は 3.8 であった。酢酸添加において pH が増加したのは、炊飯中に酢酸が 6% 程度揮発した<sup>21)</sup> ためと考えられる。米飯の炊き上がり重量は、酢酸無添加が  $476.0 \pm 4.9$  g, 酢酸添加は  $474.8 \pm 5.3$  g であり両者に有意な差は認められなかった。

### 2. 炊飯過程における米粒および炊飯液の分析

#### 1) 米粒の重量変化

炊飯時は吸水と同時に米粒から炊飯液への成分溶出も起こるが米粒の重量変化は主に吸水を反映すると考えられる。そこで酢酸添加が米粒の吸水に与える影響を調べるために、炊飯各段階における米粒の重量増加率を求めた。

Figure 2 に示したように、無添加および酢酸添加のいずれも炊飯温度 60℃ 以上で急激な増加が認められた。これは米澱粉の糊化温度が 61.0℃ から 77.5℃<sup>22)</sup> であることに対応していると考えられる。

酢酸添加の有無で比較すると、炊飯温度 60℃ 以上において、酢酸添加の重量増加率は無添加よりも有意に大きくなった。Fig. 2 で認められた酢酸添加による吸水の促進は、澱粉の膨潤や糊化の促進にも影響すると考えられる。

#### 2) 炊飯液の溶出固形物量の変化

酸添加が米粒の成分溶出にどのように影響するかを明らかにするために炊飯過程の各温度における溶出固形物の重量を測定した。

Figure 3 に示すように、20℃ から 80℃ において溶出固形物量は無添加に比べて酢酸添加の方が有意に多かった。溶出固形物の成分は 9 割以上が澱粉である<sup>23)</sup> ことから、

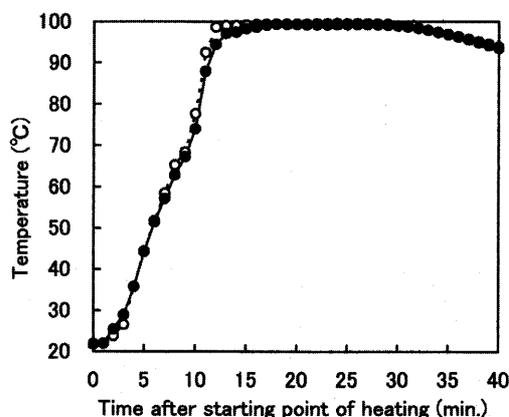


Figure 1. Change in temperature of rice grains during the cooking process.

Cooking water : (—○—), without acetic acid ; (—●—), with acetic acid.

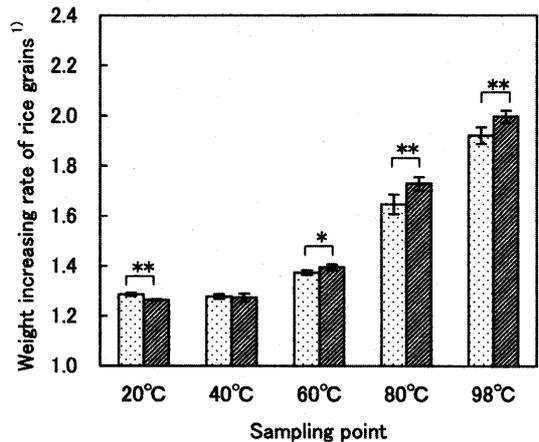


Figure 2. Change in weight ratio of rice grains during cooking process.

Cooking water : □, without acetic acid ; ▨, with acetic acid.  
<sup>1)</sup> The weight ratio of milled rice before cooking is regarded as 1.0. \* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$ .

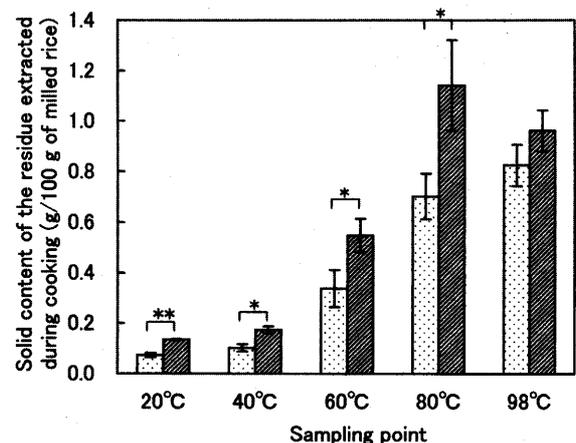


Figure 3. Change in solid content of the residue extracted during cooking.

Cooking water : □, without acetic acid ; ▨, with acetic acid.  
 \* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$ .

酢酸を添加して炊飯すると米の澱粉が炊飯液に多く溶出することが示された。炊飯時の溶出固形物は米飯表層の物性に関与し、溶出量が多いほど粘る<sup>10), 24)</sup>。さらに平<sup>25)</sup>は炊飯指数として「加熱吸水率×溶出固形物量」を用い、70℃の水温での炊飯指数が食味との間に正の相関があることを報告している。本研究の酸添加による米粒の吸水の促進 (Fig. 2), および炊飯液への溶出固形物の増加 (Fig. 3) が、酢酸添加米飯の粘り、つやの増加といった米飯表層の物性向上に関与すると考えられる。

#### 3) 炊飯液上清画分の全糖, 還元糖, タンパク質量

炊飯液の分析としてまず炊飯液から溶出固形物を除いた上清画分の分析を行った。結果を Figure 4 に示す。

全糖量は炊飯液が 60℃ 以上になると酢酸添加は無添加に比べて有意に少なくなった。炊飯液への溶出固形物量は酢酸添加の方が無添加よりも多かった (Fig. 3) にも関わ

## 炊飯過程の成分溶出に及ぼす酢酸添加の影響

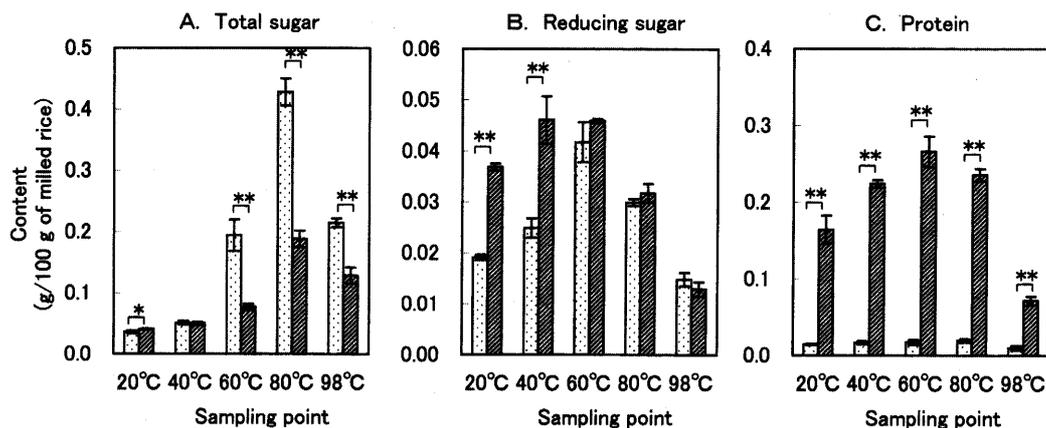


Figure 4. Amount of components of the supernatant solution extracted during cooking. Cooking water: □, without acetic acid; ▨, with acetic acid. \* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$ .

らず上清画分の全糖量が少なかった。このことより炊飯液が60℃以上の場合、酢酸添加により溶出される澱粉は遠心分離により沈殿する分子量の大きい澱粉が多く、一方、無添加においては上清画分に残るような分子量の比較的小さい澱粉が多いことが示された。

還元糖量は、20℃および40℃では酢酸添加の方が無添加より有意に多く、単糖および重合度の極めて低いオリゴ糖は酢酸添加により溶出されやすいことが考えられた。60℃から98℃にかけては酢酸添加の有無による違いは認められなかった。炊飯温度の上昇に伴う溶出量の変化は酢酸添加、無添加で違いが認められ、40℃から60℃にかけて無添加では増加が著しく、酢酸添加では変化がほとんどなかった。後述するように無添加試料において40℃から60℃で増加した還元糖量は澱粉分解酵素による分解物であると考えられ、酢酸を添加するとpHが低下するため澱粉分解酵素の影響が少ないことが示唆された。

タンパク質量には酢酸添加と無添加の違いが最も顕著に表れ、すべての温度において酢酸添加の方がタンパク質の溶出が有意に多かった。先に酢酸添加により著しく多く溶出したタンパク質はアルブミン、グロブリン、グルテリン、またアスパラギン酸プロテイナーゼによるグルテリンの分解物であることを著者らは明らかにしている<sup>9)</sup>。

酢酸添加の有無に関わらず、80℃または98℃において全糖、還元糖、タンパク質量は減少した。これは炊飯液にいったん溶出した成分も80℃以上になると再吸収されたためと考えられる。

#### 4) 上清画分の糖質の分子量分布

次に炊飯過程における炊飯液上清画分の糖質に及ぼす酢酸の影響の調べるために澱粉の分子量分布を調べた。

Figure 5に示すように、分子量分布は炊飯液の温度および酢酸添加の有無により異なった溶出パターンを示した。無添加と酢酸添加で最も大きな違いが認められたのは60℃のゲル濾過パターンである。無添加では最も高いピークの重合度は7.3であり、この画分のピークは酢酸添加

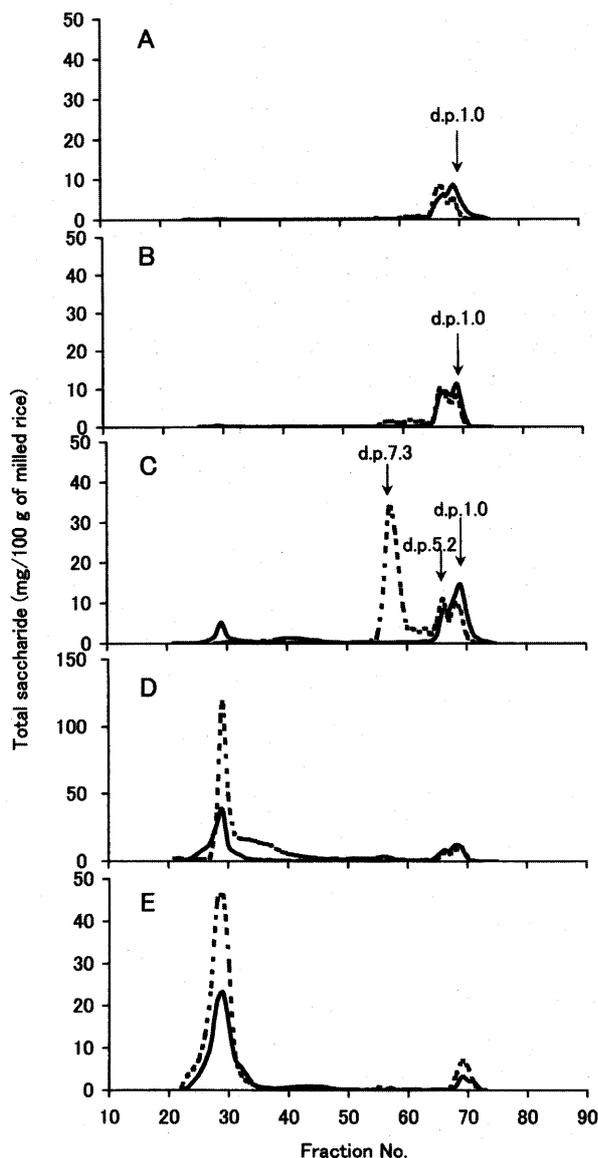
ではまったく認められなかった。無添加の40℃でわずかにみられる重合度7付近のピークが60℃で顕著に増加したことから、このピークは澱粉分解酵素による生成物と考えられる。米の中には $\alpha$ -アミラーゼ、 $\beta$ -アミラーゼ、 $\alpha$ -グルコシダーゼ等の澱粉分解酵素が存在する。Awazuhara *et al.*<sup>26)</sup>は、還元糖生成酵素による還元糖の生成量が最も多いのは60℃であることを報告している。一方、酢酸添加試料の60℃において重合度7付近のピークがみられなかったのは、炊飯液(pH 3.2)がアミラーゼの至適pHから外れたため、酵素活性が極めて低くなったことが原因と考えられる。 $\alpha$ -アミラーゼの至適pHはChrastil<sup>27)</sup>は7.3、坂本<sup>28)</sup>は5.0から6.0であることを報告し、高等植物の $\alpha$ -アミラーゼはpH 3.6で速やかに失活すると言われている<sup>29)</sup>。

80℃および98℃では酢酸添加と無添加で溶出位置はほぼ同じであった。しかし、無添加に比べて酢酸添加は特にvoid区分の糖質量が少なかった。この結果は炊飯液上清画分の80℃および98℃の全糖量は、酢酸添加により低下した(Fig. 4 A)結果と対応する。本実験で用いたゲルの排除限界分子量は、デキストランにおいて $4.5 \times 10^4$ である。従ってvoid区分に溶出された糖質は、重合度は250以上であるが、遠心分離をしても沈殿しない程度の分子量の澱粉であると考えられる。このvoid区分は主に低分子のアミロースと考えられるが、高橋の報告<sup>30)</sup>から、98℃ではアミロペクチンも若干含まれていることが示唆される。

#### 5) 炊飯液溶出固形物の鎖長分布

炊飯過程において溶出した澱粉の微細構造を知るため、試料温度が80℃と、98℃の溶出固形物を用い、イソアミラーゼで枝切り後、ゲル濾過法で鎖長分布を調べた。80℃は酢酸添加による溶出固形物量の増加が有意にあり(Fig. 3)、98℃は有意差がない温度である。

結果をFigure 6およびTable 1に示す。溶出ピークのFr. Iはアミロース区分、Int. Fr.はアミロースとアミロペクチンの混合領域、Fr. IIはアミロペクチン鎖長区分、Fr.



**Figure 5.** GPC patterns (Toyopearl HW-50 S) of the supernatant solution extracted during cooking.

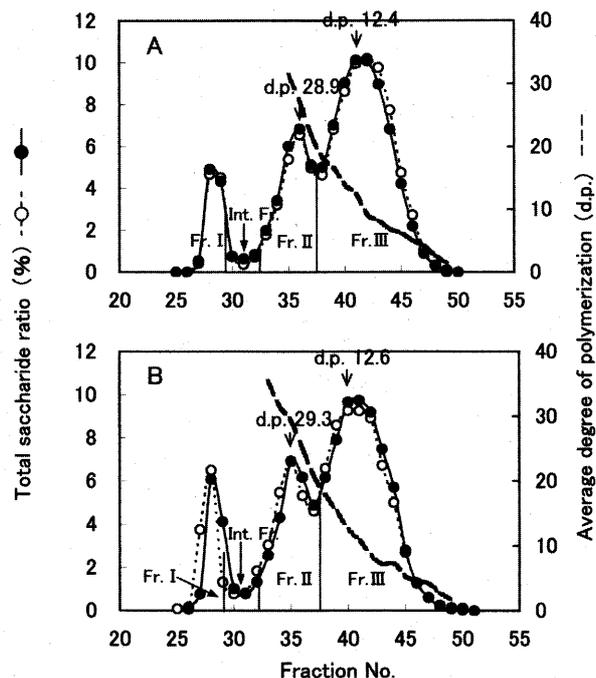
Cooking water : (-----), without acetic acid ; (—), with acetic acid. Sampling point : A, 20°C ; B, 40°C ; C, 60°C ; D, 80°C ; E, 98°C.

Ⅲはアミロペクチン短鎖区分に相当する。各フラクションに溶出した糖を測定した結果、収率は85%前後であった。

Fig. 6のゲル濾過曲線に示すように、80°C (A) および98°C (B) の鎖長分布はいずれも酢酸添加と無添加に違いは見られなかった。また Table 1 に示すように、いずれの温度においても、アミロース、アミロペクチン長鎖および短鎖の溶出割合にも酢酸添加による影響は認められなかった。すなわち、溶出固形物量は酢酸添加による影響がみられたが (Fig. 3)、澱粉の微細構造にはみられなかった。このことは、80°C 以上では酢酸添加は澱粉の溶出を促進させるが、その構造には影響を与えないことを示唆している。

### 3. 飯洗液の分析

#### 1) 飯洗液の成分測定



**Figure 6.** GPC patterns (Toyopearl HW-50 S) of the residue extracted during cooking after isoamylase treatment.

Temperatures of cooking water are 80°C (A) and 98°C (B). Each fraction (Fr.) was divided according to  $\lambda_{\max}$  of iodine-starch complexes as follows : Fr. I,  $\lambda_{\max} \geq 620$  nm ; Int. Fr,  $620 \text{ nm} > \lambda_{\max} \geq 600$  nm ; Fr. II,  $600 \text{ nm} > \lambda_{\max} \geq 525$  nm ; Fr. III,  $525 \text{ nm} > \lambda_{\max}$ . Cooking water : (—○—), without acetic acid ; (—●—), with acetic acid.

**Table 1.** GPC (Toyopearl HW-50S) results of the residue extracted during cooking after an isoamylase treatment

Temperature of cooking water (°C)	Cooking water	Fr. I (%)	Fr. II (%)	Fr. III (%)
80	without acetic acid	10.5 ± 1.1	22.1 ± 0.7	65.8 ± 1.2
	with acetic acid	9.5 ± 1.3	23.1 ± 0.3	64.7 ± 0.1
98	without acetic acid	11.7 ± 0.4	25.4 ± 0.6	59.4 ± 0.3
	with acetic acid	11.1 ± 0.7	24.8 ± 1.0	60.9 ± 0.4

米飯を覆っている澱粉は飯の外観、物性に影響する<sup>10), 12), 13)</sup>。そこで飯粒表面を洗い、これを飯洗液として成分分析を行った。

Table 2に示したように飯洗液の溶出固形物量は無添加に比べて酢酸添加の方が有意に多く、無添加の1.4倍量であった。同様に飯洗液上清画分中の全糖、還元糖、タンパク質量もいずれも酢酸添加の方が多かった。

Fig. 3で示したように、20°C から80°C の炊飯過程における炊飯液への溶出固形物量は無添加よりも酢酸添加の方

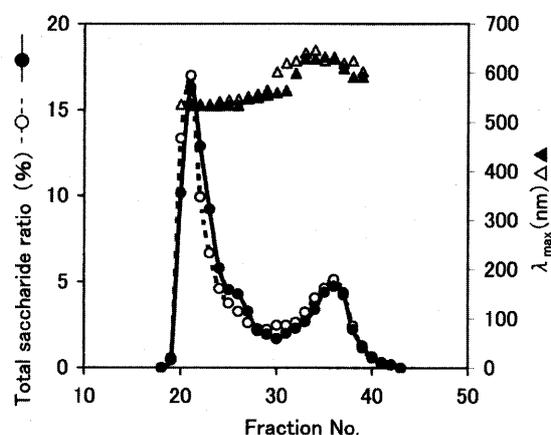
## 炊飯過程の成分溶出に及ぼす酢酸添加の影響

**Table 2.** Effect of acetic acid on the amount of components extracted from the surface of cooked rice

Cooking water	Solid content <sup>1)</sup>	Total sugar <sup>2)</sup>	Reducing sugar <sup>2)</sup>	Protein <sup>2)</sup>
without acetic acid	4.5 ± 0.4 <sup>a</sup>	2.4 ± 0.1 <sup>a</sup>	0.09 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.03 ± 0.00 <sup>a</sup>
with acetic acid	6.4 ± 0.4 <sup>b</sup>	4.9 ± 0.1 <sup>b</sup>	0.15 ± 0.02 <sup>b</sup>	0.33 ± 0.02 <sup>b</sup>

Different letters within the same column indicate significant difference ( $p < 0.01$ ).

- 1) Extracts from the surface of cooked rice were centrifuged, the residue was dehydrated, then dried, the resulting powder was weighted.
- 2) The supernatant was used for the chemical analysis, such as total sugar, reducing sugar and protein.

**Figure 7.** GPC patterns (Toyopearl HW-75 F) of the residue extracted from the surface of cooked rice.

Cooking water: (○, △), without acetic acid; (●, ▲), with acetic acid.

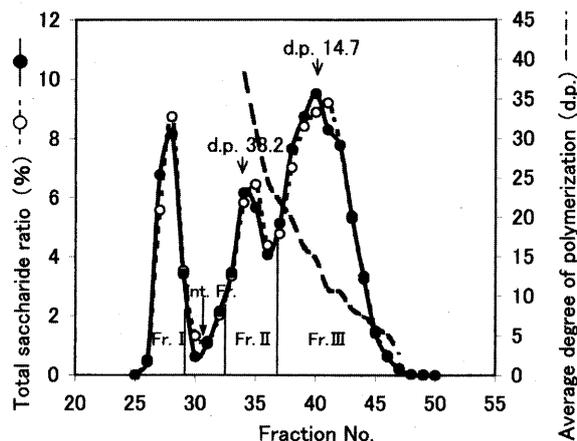
が多かった。これらの成分が炊飯後期の加熱、蒸らし過程において再び米粒に吸収され飯粒の表層を覆ったため、酢酸添加米飯の表層の糖質が無添加より多くなったと考えられる。またこのことが酢酸添加米飯の粘り、付着性、透明感、およびつやの増加に寄与していると示唆される。

## 2) 飯洗液の澱粉の分子量分布

飯洗液に含まれる飯粒表層の澱粉の分子量分布を調べた結果を Figure 7 に示す。収率は 85% 前後であった。

フラクション No. 21 付近に見られる大きなピークはアミロペクチンの、フラクション No. 36 付近に見られる小さなピークはアミロースの溶出を示す。Fig. 7 の結果より、溶出ピークに明らかな違いはみられず、飯粒表層の澱粉の分子量分布は酢酸添加と無添加で差が認められなかった。

次に飯粒表層の澱粉を枝切り処理後、鎖長分布を調べた。結果を Figure 8 および Table 3 に示す。収率は 85% 前後であった。この澱粉の鎖長分布も酢酸添加による影響は認められず、アミロースおよびアミロペクチンの溶出割合に

**Figure 8.** GPC patterns (Toyopearl HW-50 S) of the residue extracted from the surface of cooked rice after an isoamylase treatment.

Cooking water: (○), without acetic acid; (●), with acetic acid.

**Table 3.** GPC (Toyopearl HW-50S) results of the residue extracted from the surface of cooked rice after an isoamylase treatment

Cooking water	Fr. I (%)	Fr. II (%)	Fr. III (%)
without acetic acid	18.0 ± 0.4	19.3 ± 1.0	58.4 ± 1.8
with acetic acid	19.5 ± 0.7	19.0 ± 0.4	57.7 ± 0.5

も違いが見られなかった。

以上述べたように、ゲル濾過分析において炊飯液へ溶出した澱粉の枝切り後の鎖長分布 (Fig. 6)、飯粒表層の澱粉の分子量分布 (Fig. 7) および枝切り後の鎖長分布 (Fig. 8) のいずれにおいても、酢酸添加による影響が見られなかった。この結果は、本実験で用いた 0.2 M 程度の酸による炊飯中の澱粉の加水分解は考えにくいことを示唆している。酸による澱粉の加水分解はアミロペクチンの非晶質部分で起こるとされている<sup>31)</sup>。Singh and Ali<sup>32)</sup> は本実験と分画範囲の近いゲルを用いて 0.5 N の塩酸、硫酸、硝酸等の無機酸溶液により加水分解された糖質の分子量測定を行い、アミロペクチンの低分子化を確認している。澱粉の酸による加水分解にはこのような強い条件が必要であり、pH 3 付近での米の炊飯においては起こらないことが明らかになった。

本実験において、炊飯過程におけるアミロースおよびアミロペクチン長鎖、短鎖の溶出割合、また米飯の表層を覆っている澱粉の微細構造に酢酸添加による影響が認められず、澱粉の酸加水分解は起きないことが示された。しかし、飯洗液に含まれる澱粉の量は無添加に比べると酢酸添加の方が多く、これが米飯の粘りの増加に寄与すると考えられた。

## 要 約

酢酸添加による米飯の粘り、つやおよび透明感の増加の機構解明を目的として、炊飯過程における溶出成分、および炊き上がりの米飯を覆う成分の分析を行った。また澱粉の酸分解の有無についても検討した。

- (1) 炊飯過程における米粒の重量増加率は、60℃ 以上で酢酸添加の方が無添加より多く、吸水の促進が認められたが、米飯の炊き上がり重量には有意な差が認められなかった。
- (2) 炊飯液上清画分の分析により、酢酸添加は無添加に比べて全糖量は60℃、80℃、98℃において少なく、一方、還元糖量は20℃ および40℃ において多くなった。タンパク質はいずれの温度においても酢酸添加は無添加に比べて著しく多い溶出量であった。
- (3) 炊飯液上清画分のゲル濾過分析の結果、60℃ の無添加で認められた重合度7付近のオリゴ糖の溶出が酢酸添加では認められず、酸添加によりアミラーゼ活性が低下することが示された。また80℃ および98℃ における低分子のアミロースの溶出量は酢酸添加により減少することが示された。
- (4) 炊飯液の溶出固形物量、飯粒表層の澱粉量、および飯洗液上清画分の全糖量は酢酸添加の方が多かった。酢酸添加による米飯の粘り、透明感およびつやの増加には米飯を覆うこれらの澱粉が関与することが示唆された。
- (5) ゲル濾過分析の結果、80℃、98℃ の炊飯液溶出固形物、および飯粒表層の澱粉の分子量分布に、酢酸添加と無添加で違いが認められなかった。このことより炊飯過程における酸による澱粉の加水分解は考えにくいことが示された。

おわりにあたり、ゲル濾過分析の方法について御指導を賜りました福山大学工学部 井ノ内直良先生に深く感謝申し上げます。

## 文 献

- 1) 尾崎直臣 (1973), 米飯の老化 (第2報), 栄養と食糧, **26**, 289-295
- 2) Mitsuda, H. and Nakajima, K. (1977), Storage of Cooked Rice, *J. Food Science*, **42**, 1439-1443
- 3) 香西みどり, 谷島早苗, 大石恭子, 島田淳子, 畑江敬子 (2001), 米飯の嗜好的および物理化学的特性に及ぼす酢酸添加の影響, 家政誌, **52**, 1091-1097
- 4) 江間章子, 貝沼やす子 (1990), 柑橘果汁の炊飯への利用, 調理科学, **23**, 198-205
- 5) 中谷文子, 辻昭二郎 (1996), 炊飯条件の異なる各種の米飯粒の修正2バイト4点測定法による食味と関連した物性の検討, 食科工, **43**, 238-246
- 6) 畑江敬子, 綾部園子, 貝沼やす子, 島田淳子 (1995), 材料添加によるタイ国産米の食味改良効果, 調理科学, **28**, 231-236
- 7) 江間章子, 貝沼やす子 (1991), 柑橘果汁の炊飯への利用 (第2報), 調理科学, **24**, 89-95
- 8) 大石恭子, 関本美貴, 香西みどり, 畑江敬子, 島田淳子 (2005), 酢酸添加による飯粒の全体および表層の物性変化について, 調理科学, **38**, 319-323
- 9) Ohishi, K., Kasai, M., Shimada, A., Hatae, K. (2003), Effect of acetic acid added to cooking water on the dissolution of proteins and activation of protease in rice, *J. Agric. Food Chem.*, **51**, 4054-4059
- 10) 池田ひろ (2001), 炊飯過程に溶出する糖成分の動向と米飯の食味について, 家政誌, **52**, 401-409
- 11) 渋川祥子 (1976), 圧力鍋の炊飯特性について, 家政誌, **27**, 92-99
- 12) 雑賀慶二 (1990), 米の味測定の原理と応用, 食品と科学, **32**, 10, 81-84
- 13) 渡辺道子 (1993), 古米の食味特性の改善, 澱粉科学, **40**, 163-168
- 14) Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. A., Smith, F. (1956), Colorimetric Method for Determination of Sugar and Related Substances, *Anal. Chem.*, **28**, 350-356
- 15) Nelson, N. J. (1944), A photometric adaptation of the somogyi method for the determination of glucose. *J. Biol. Chem.*, **153**, 375-380
- 16) Somogyi, M. (1952), Notes on sugar determination, *J. Biol. Chem.*, **195**, 19-23
- 17) 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
- 18) Lowry, O. H., Rosenbrough, G. J., Farr, A. L., Randall, R. J. (1951), Protein Measurement with the Folin Phenol Reagent, *J. Biol. Chem.*, **193**, 265-275
- 19) 伊藤友美, 吉尾信子, 寺西克倫, 久松眞, 山田哲也 (1994), 炊飯時に溶出する糖質に及ぼすモノグリセリド添加の影響, 日食工誌, **41**, 871-877
- 20) 大家千恵子, 川端晶子 (1993), 品種の異なる米澱粉の構造と糊化特性, 日食工誌, **40**, 225-235
- 21) 山脇美美子 (1972), お茶の水女子大学附属高等学校研究紀要, 第17号, 57-62
- 22) 檜作進 (1984), 澱粉科学ハンドブック, 二國二郎監修, 朝倉書店, 東京, p 36
- 23) 本間伸夫, 佐藤恵美子, 渋谷歌子, 石原和夫 (1983), 炊飯に伴う米の外観, テクスチャー, 香味の変化について (その1) 色, テクスチャー, 澱粉の $\alpha$ 化度, 家政誌, **34**, 698-704
- 24) 長戸一雄, 岸洋一 (1966), 米の粒質に関する研究 第2報 炊飯特性の品種間差異について, 日作紀, **35**, 245-256
- 25) 平俊雄 (1997), 糊化特性および炊飯特性による米の食味評価, 日作紀, **66**, 497-498
- 26) Awazuhara, M., Nakagawa, A., Yamaguchi, J., Fujiwara, T., Hayashi, H., Hatae, K., Chino, M., Shimada, A. (2000), Distribution and Characterization of Enzymes Causing Starch Degradation in Rice (*Oryza sativa* Cv. Koshihikari), *J. Agric. Food Chem.*, **48**, 245-252
- 27) Chrastil, J. (1993), Enzyme Activities in Preharvest Rice Grains, *J. Agric. Food Chem.*, **41**, 2245-2248
- 28) 坂本薫, 丸山悦子 (1990), 精白米の $\alpha$ -アミラーゼの精製とその性質, 澱粉科学, **37**, 29-34

炊飯過程の成分溶出に及ぼす酢酸添加の影響

---

- 29) 上田誠之助 (1984), 澱粉科学ハンドブック, 二國二郎監修, 朝倉書店, 東京, p 93
- 30) 高橋礼治 (1974), 澱粉の理化学的特性と利用, 澱粉科学, **21**, 51-60
- 31) 中村道徳 (1984), 澱粉科学ハンドブック, 二國二郎監修, 朝倉書店, 東京, p 17
- 32) Singh, V. and Ali, S. Z. (2000), Acid degradation of starch. The effect of acid and starch type, *Carbohydrate Polymers*, **41**, 191-195

(平成 17 年 9 月 29 日受付, 平成 18 年 2 月 2 日受理)