

令和 4 年 6 月 14 日現在

機関番号：32604

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K14038

研究課題名（和文）米飯類の冷蔵による食味低下を視覚的かつ定量的に示す品質評価法の構築とその応用

研究課題名（英文）Visualization and quantification of taste deterioration of cooked rice during low temperature storage

研究代表者

大田原 美保 (OTAHARA, Miho)

大妻女子大学・家政学部・教授

研究者番号：00824632

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：米飯類の調理後の品質を視覚的かつ定量的に示す評価法の構築を目的として、厚さ0.1 mmに機器で圧縮した米飯粒の明度測定と画像解析により、米飯の老化を捉える評価法（圧縮米飯粒法）の各種米飯類への適用を検討した。

調味米飯において、圧縮米飯粒の画像解析で得た指標は、食酢飯および合わせ酢飯の老化抑制傾向と食塩飯の老化進行傾向を視覚的、数値的に捉えた。さらに玄米飯においても品種による老化性の違いを捉え、本評価法が白飯の他に各種米飯にも適用できることを示した。糊化度測定や熱分析の結果より、圧縮米飯粒法の解析で得た指標は、飯の澱粉の糊化の程度や老化による構造変化を間接的に捉えていることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

澱粉の老化による米飯の食味変化は食品製造業界においては商品価値を左右する。しかし米飯類についての評価のほとんどは、力学物性測定や官能評価にとどまっていた。本研究の結果、種々の米飯の品質変化の特徴を視覚的かつ数値的に明らかにすることが可能となった。さらに炊飯直後の米飯の糊化状態をも同様に評価出来る可能性が示された。この成果は米や米飯の新たな評価方法として、米や米飯の品質評価や管理、ならびに商品開発にも活用可能な有用な知見となると考える。

研究成果の概要（英文）： In the proposed squashed cooked rice grain method, a grain of cooked rice is mechanically compressed to 0.1mm, and the initial staling of cooked white rice is qualitatively and quantitatively determined from image analysis and brightness measurements. The objective of this study is to apply this method to various types of cooked rice.

In seasoned cooked rice, results from the squashed cooked rice grain method showed that vinegar and mixed vinegar suppressed staling, while salt tended progressing. In brown cooked rice, differences in staling were detected depending on the variety. These results indicate that this evaluation method can be applied to various types of cooked rice. The results of the degree of gelatinization measurement and differential thermal analysis suggested that the indices obtained by the squashed cooked rice grain method indirectly capture the state of starch retrogradation and structural changes due to rice staling during storage.

研究分野：調理科学

キーワード：米 米飯 品質評価 老化 画像解析 糊化度 熱分析 官能評価

## 様式 C-19, F-19-1, Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

澱粉性食品である米飯は、糊化温度以下の保存、特に冷蔵ではアミロースやアミロペクチン分子鎖の再会合の進行により、透明感やテクスチャーなどが急速に変化して食味が低下する。このような変化を“米飯の老化”といい、飯のおいしさへの要求水準が高いわが国では、老化による食味低下は重要な問題である。中食・外食産業における白飯、すし飯、おにぎりなどの米飯類は、喫食までに数時間から24時間程度の冷蔵を要する場合が多く、老化による食味低下が進行しやすいことから、品質評価と管理においては、その間の米飯類の食味低下を捉える客観的評価法が求められている。しかし、食味評価が重要な冷蔵24時間程度までの米飯の老化（以下、初期老化）に関する研究は、官能評価も含めて極めて少なく、白飯以外の飯も含めた多様な米飯類について、官能的な食味低下を機器により客観的に捉える品質評価法は確立されていない。

申請者は、冷蔵による米飯の透明性の低下に着目し、厚さ0.1mmに機器で圧縮した米飯粒の明度測定と画像解析で捉えた透明性の変化から、食味低下を視覚的・定量的に捉える新しい手法（以下、圧縮米飯粒法）を検討してきた。本手法は現在、白飯以外の米飯への適用条件を検討して汎用性を高める段階にある。圧縮米飯粒法を用いた品質評価法を構築することは、様々な米飯の初期老化による食味低下を視覚的かつ数値的に示すことを可能とし、米飯の品質評価や商品開発にも活用可能な有用な知見となり得る。

### 2. 研究の目的

そこで本研究では、白飯以外の種々の米飯を調製し、炊飯直後から24時間以内の冷蔵における飯の変化について、圧縮米飯粒法で調べるとともに、官能評価、力学物性測定によっても捉え、データの相互関連を分析して圧縮米飯粒法の汎用性の検討を行い、米飯類の冷蔵による食味低下を視覚的かつ定量的に示す品質評価法を構築することを目的とした。さらに米飯試料の糊化度測定や熱分析により、圧縮米飯粒法で捉えた飯の変化と澱粉の老化との関連性について明らかにすることを目的とした。

### 3. 研究の方法

#### (1) 試料調製

##### 1) 味付け米飯試料

試料米は埼玉県産コシヒカリとした。調味料は上白糖（三井製糖(株)）、食塩（(財)塩事業センター）、穀物酢（(株)ミツカン）を単独または3つを混合した合わせ酢を用い、米150gに対し砂糖は米重量の5wt%、食塩は同1.5wt%、食酢は同15wt%とし、合わせ酢飯はそれらの添加量を合わせた分量とした。炊飯時の加水は、調味料に元々含まれる水分量も含めて加水比が米重量の1.5となるようにし、浸漬終了後に調味料を加えて直ちに炊飯した（炊飯器、R-03F、パナソニック(株)）。炊飯後の飯をそれぞれ「砂糖飯」、「食塩飯」、「食酢飯」、「合わせ酢飯」と称し、調味料を加えていない白飯を「無添加飯」と称す。炊き上がり後、20°Cで1時間放置した飯を「冷蔵0時間」と称す。さらに、これらを4°Cで14時間および24時間冷蔵し、それぞれ「冷蔵14時間」、「冷蔵24時間」と称す。いずれの試料も冷蔵終了後は20°Cの恒温室に1時間置き、室温に戻してから用いた。

##### 2) 玄米飯試料

試料米は宮城県産の金のいぶき、たきたて、ひとめぼれの玄米とした。金のいぶき、たきたて、ひとめぼれのアミロース含量はそれぞれ10.1%、7.3%、18.8%である。玄米150gを洗米後、米重量に対して1.5倍となるように水を加えて20°Cの恒温庫内で1時間および24時間浸漬した後、小型炊飯器（SR-MC03、パナソニック(株)）で炊飯した。浸漬時間を1時間とする調製方法を「通常浸漬炊飯」、浸漬時間を24時間とする調製方法を「長時間浸漬炊飯」と称す。米重量の1.5倍の加水は精白米を炊飯する際の一般的加水量であり、玄米の炊飯としては少ないが、金のいぶきは精白米と同様の加水条件で炊飯が可能のため、本研究では1.5倍加水として炊飯し、3品種の玄米飯の性状を比較した。炊き上がり後、20°Cで1時間放冷した試料を「炊飯直後」と称し、炊飯直後試料を4°Cで18時間冷蔵した試料を「冷蔵後」と称す。

##### 3) 圧縮米飯粒プレパラート

各米飯試料1粒をスライドガラスとカバーガラスではさみ、単軸圧縮・引張型レオメーター（テクスチャーアナライザーTA.XT plus、英弘精機(株)）によりクリアランスを0.1mmとして、上から直径20mmの円柱プローブで20秒間圧縮した。圧縮米飯粒プレパラートは、以下、圧縮米飯粒と称す。

##### 4) 米飯試料の脱水粉末

玄米飯試料に3倍量の99.5%エタノールを加えて乳鉢ですり潰したものをホモジナイズした後、吸引ろ過した。その後アセトンで脱水して風乾し、これを目開き250μmのふるいに通した。これを脱水粉末試料とし、糊化度の測定および熱分析に使用した。

#### (2) 各種測定

##### 1) 圧縮米飯粒に関する測定

圧縮米飯粒の明度 ( $L^*$ ) は、分光測色計 (CM-600d, コニカミノルタ(株)) により測定した。圧縮米飯粒の撮影および画像解析は顕微鏡 (オールインワン蛍光顕微鏡 BZ-X700, (株)KEYENCE) と付属の画像解析ソフトにより行い、撮影で得た透過光画像のグレースケール画像 (以下、圧縮米飯粒画像) を解析に用いた。画像解析により圧縮米飯粒の面積、みかけの密度および画像の輝度ヒストグラムを求めた。さらに所定のしきい値で圧縮米飯粒画像を 2 値化し、しきい値の輝度値以下の部分を白で、しきい値より高い輝度の部分を黒で示した。圧縮米飯粒全体面積に対する 2 値化画像の白の部分の面積割合 (%) を算出し、これを白色面積率  $\alpha$  (しきい値) として表した。

## 2) 官能評価

採点法および順位法を用い、「老化感」、「透明感」、「硬さ」、「粘り」、「粉っぽさ」を評価した。「粉っぽさ」は、「老化した米飯では粉っぽいテクスチャーが感じられる」<sup>1)</sup> ことから取り入れ、「咀嚼中に感じる米飯の粉っぽい感じ」と定義した。「米飯の老化感」は「炊飯後の保存により物性等の性状が変化し、食した時に好ましくない感じ」<sup>2)</sup> と定義した。米飯の官能評価のトレーニングを受けた都内の女子大学の学生および教員 (20~60 歳代, 女性) をパネルとして官能評価を行った。

## 3) 力学物性測定

テクスチャーアナライザーにより、低・高圧縮 2 バイト法で試料米飯の力学物性を測定した。

## 4) 米飯の水分含量

飯の水分含量は、飯 5.0 g を採取し、常圧加熱乾燥法 (135°C, 2 時間) を用いて測定した。

## 5) 糊化度測定および示差熱分析

米飯の糊化度は、 $\beta$ -アマラーゼ・プルラーゼ法<sup>3)</sup> (以下、BAP 法と称す) により測定した。米飯の示差熱分析は、脱水粉末試料と水を 1:3 として混合したものをセルに封入し、示差走査熱量計 (DSC-60 Plus, (株) 島津製作所) により、昇温時 (2°C/min) の吸熱量を測定した。

## 4. 研究成果

### (1) 圧縮米飯粒法を用いた味付け米飯の老化評価

#### 1) 圧縮米飯粒の $L^*$ 、圧縮米飯粒画像のヒストグラム、白色面積率

$L^*$  値は高いほど明度が高い、すなわち圧縮米飯粒試料が白く透明感がない (老化が進行している) こと<sup>1)</sup> を先に明らかにしている。食塩飯は冷蔵 0 時間および 14 時間において無添加飯に比べて有意に値が高く、食酢飯および合わせ酢飯は冷蔵 24 時間までのすべての時間で有意に値が低かった。

次に、画像解析で得た圧縮米飯粒画像の輝度分布 (ヒストグラム) を Fig.1 に示す。圧縮米飯粒画像の低輝度部分の増大によるヒストグラムの変化は老化の進行の定性的指標となる<sup>1)</sup>。冷蔵 0 時間のヒストグラムは、いずれの飯も高輝度側に出現度数のピークがあり、光の透過性がある明るい画像であることを示した。冷蔵 14 時間のヒストグラムは、食酢飯および合わせ酢飯は、冷蔵 0 時間のパターンと類似していた。一方、食塩飯は低輝度の出現度数が増加し、ヒストグラムの山はほぼ平坦となった。冷蔵 24 時間では、無添加飯、砂糖飯、食塩飯のいずれも山がほぼ平坦なパターンに変化したものの、食酢飯および合わせ酢飯は、高輝度側の出現頻度が高い特徴は維持していた。以上の結果より、冷蔵 14 時間の食塩飯は老化の進行が他試料よりも大きく、冷蔵 24 時間までの食酢飯および合わせ酢飯は老化が抑制傾向にあることが示唆された。

輝度値 130 以下の割合である白色面積率  $\alpha_{130}$  を Fig.2 に示す。白色面積率  $\alpha_{130}$  は白飯の老化の進行の指標となることを報告しており、味付け米飯試料においても適用可能かどうかを検討した。白色面積率  $\alpha_{130}$  は冷蔵 14 時間の食塩飯は無添加飯より有意に高く、その後 24 時間では差がなくなったが、食酢飯および合わせ酢飯では 24 時間までが有意に値が低く、輝度ヒストグラムのパターン変化と傾向が一致した。

#### 2) 官能測定および力学特性

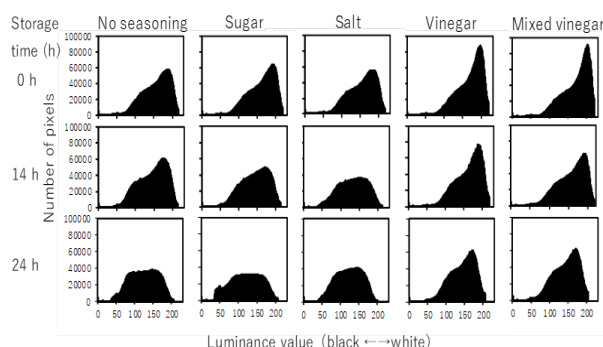


Fig. 1. Changes in histogram patterns of gray scale images of squashed cooked rice grains.

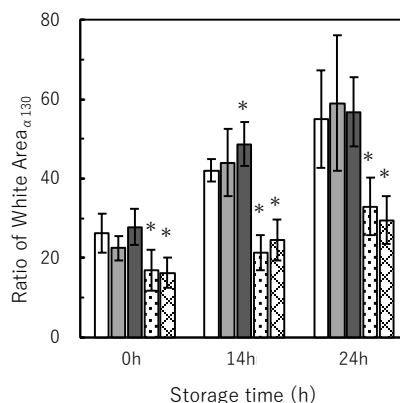


Fig. 2. Changes in the ratio of white area  $\alpha_{130}$  of squashed cooked rice grains. Asterisks indicate significant differences in comparison with the control sample (no seasoning) for the same time storage, as determined by Dunnett's test ( $p < 0.05$ ). Seasoning added during cooking rice: □, No seasoning; ■, Sugar; ▒, Salt; ▨, Vinegar; ▩, Mixed vinegar.

評点法による官能評価によって、食酢飯の老化感は冷蔵 14 時間、24 時間のいずれにおいても無添加飯より有意に低いことが示された。順位法による官能評価では、合わせ酢飯と食酢飯の老化感に有意差は認められず、合わせ酢飯は食酢飯と同様に冷蔵 14 時間および 24 時間において無添加飯より老化が抑制されていることが明らかとなった。

力学物性の測定によって、食塩飯は全体硬さや表層粘りの値から老化の進行が速い傾向が示された。一方、食酢飯は、冷蔵 14 時間および 24 時間では硬さの値が有意に低く老化の抑制傾向が示された。食酢飯および合わせ酢飯は無添加飯よりも付着性や粘りが炊飯直後から有意に強く、食酢の影響が強いことが示された。

### 3) 圧縮米飯粒法、官能評価、力学物性測定で得られた特性項目の関係

上述の測定で得られた項目の関係性を把握するため、ピアソンの積率相関係数を求めた。L\*および白色面積率 $\alpha_{130}$ と力学物性測定の各特性値との相関係数は絶対値で 0.77~0.96 と高かった。官能評価による老化感との相関係数は L\*値 (0.88)、白色面積率 $\alpha_{130}$  (0.90) と高かった。さらに、本研究と既報<sup>1)</sup>で得た白飯のデータを合わせて算出した相関係数においても、老化感と L\*および白色面積率 $\alpha_{130}$ との値は、前述と同等の相関係数が得られた。以上より調味料添加米飯においても白飯と同様に圧縮米飯粒から得た数値的指標が老化の指標となることが明らかとなった。

## (2) 圧縮米飯粒法を用いた玄米飯の評価

### 1) 3 品種の玄米の吸水率と水分含量

通常浸漬炊飯、長時間浸漬炊飯のいずれにおいても 3 品種間の玄米飯の水分含量に有意な差は認められなかった。一方、いずれの品種でも通常浸漬炊飯の飯に比べて長時間浸漬炊飯では有意に水分含量が高かった。3 品種の玄米の吸水率は、浸漬 1 時間後では金のいぶきがたきたておよびひとめぼれの約 2 倍高く、浸漬 24 時間後でも金のいぶきが高い傾向にあった。これらのことより、長時間浸漬による吸水の効果は飯の水分含量の増大として捉えられるものの、3 品種の吸水率の違いは水分含量には反映されにくいと考えられる。

### 2) 圧縮米飯粒法による糊化不十分な芯飯の可視化および数値化

通常浸漬炊飯のひとめぼれのヒストグラムには、白飯とは異なり炊飯直後であっても輝度 30 以下の低輝度領域に小さな鋭いピークを持つ圧縮米飯粒が認められた。そこで、この低輝度の領域が粒内のどこに分布しているかを確認するため、輝度 30 をしきい値として圧縮米飯粒画像の 2 値化を行った。その結果、圧縮米飯粒の中央部に白い部分が明瞭に現れ、粒中央に低輝度の領域が局在していることが示された。通常浸漬炊飯のひとめぼれ玄米飯試料は、官能評価において「粉っぽさ」の評点が金のいぶきに比べて高かったことから、吸水率が低い玄米を通常浸漬炊飯で調製したために、“芯”あるいはそれに近い糊化不十分な部分が粒中心部付近に残存し、その部分の透明性が低くなり、低輝度のピークとして現れたと考えられた。

これまで不十分な炊飯によって生じる芯飯は官能評価等で感覚的に捉えるにとどまっていたが、本研究により視覚的に示すことが可能となり、さらに白色面積率 $\alpha_{30}$ として糊化不十分な芯の部分の数値化が可能であることが示された。

### 3) 圧縮米飯粒法による玄米飯の老化評価

玄米飯試料の老化の程度を、透過光画像の 2 値化により検討した。白飯において、輝度 130 をしきい値として 2 値化した場合に、しきい値以下の面積の割合 (白色面積率 $\alpha_{130}$ ) の増大が老化の指標となる<sup>1)</sup>。玄米飯試料の解析において、輝度 130 を含めたいくつかのしきい値で白飯と同様の解析を行った結果、輝度 130 による解析によって、試料間の老化の差異を十分に検出できた。すなわち、白色面積率 $\alpha_{130}$ は白飯、味付け飯、玄米飯に共通して使える老化の指標となることが明らかとなった。さらに圧縮米飯粒の L\*値の測定によっても白色面積率 $\alpha_{130}$ と同様の傾向を捉えており、粒内の分布を把握できる画像解析とは異なって粒全体の値ではあるが、圧縮米飯粒の L\*値を測定するという簡便な方法によっても炊飯直後の飯の性状や米飯の老化の傾向を捉えられることが示唆された。

### 4) 糊化度、示差熱分析による飯の糊化状態の評価

玄米飯の糊化度について、1 時間浸漬後に炊飯した玄米飯の炊飯直後の値は、金のいぶき>たきたて>ひとめぼれの傾向であり、冷蔵による変化は、金のいぶきが最も小さく、次いでたきたて、ひとめぼれの順であった。十分に吸水が行われた 24 時間浸漬後の炊飯では、冷蔵による変化は低アミロース米の金のいぶきとたきたては抑制された。圧縮米飯粒の各指標と糊化度との相関係数は、-0.90 (白色面積率 $\alpha_{130}$ )、-0.80 (L\*値) と高かった。

次に、米飯の脱水粉末試料の示差熱分析において、1 時間浸漬後に炊飯した玄米飯の炊飯直後試料には吸熱ピークは認められなかった。18 時間冷蔵後には微小ではあるがピークが認められ、老化の程度を示す吸熱量は金のいぶき<たきたて<ひとめぼれの順であった。

糊化度測定や熱分析の結果より、圧縮米飯粒法の各指標の冷蔵による変化は、飯の澱粉の糊化の程度や老化による構造変化を間接的に捉えていることが示唆された。

以上、本研究の結果、米飯 1 粒を一定厚さにつぶした圧縮米飯粒の明度測定と画像解析により、白飯、味付け飯、玄米飯等各種米飯の炊飯後の食味の変化を視覚的かつ定量的に評価できることが明らかとなった。さらに炊飯直後の飯粒内部の糊化の不均一さをも捉えられる可能性が示された。圧縮米飯粒法で得た指標は酵素法による糊化度との相関も高く、示差熱分析で捉えた澱粉の変化とも傾向が一致していた。すなわち圧縮米飯粒法により飯の透明性の違いとして捉

えた各変化が飯の澱粉の構造変化を間接的に捉えていることが示唆された。本研究の成果は米や米飯の品質評価や商品開発にも活用可能な有用な知見となると考える。

<引用文献>

- 1) 大田原美保, 北原茉美, 大石恭子, 香西みどり (2018), 圧縮米飯粒の色と画像解析による飯の老化評価, 日本食品科学工学会誌, **65**, 170-182
- 2) 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, 日本家政学会誌, **46**, 841-848
- 3) 貝沼圭二, 松永暁子, 板川正秀, 小林昭一 (1981),  $\beta$ -アミラーゼ・プルラナーゼ (BAP) 系を用いた澱粉の糊化度, 老化度の新測定法, 澱粉科学, **28**, 235-240

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 大田原美保、北原菜美、大石恭子、香西みどり	4. 巻 53
2. 論文標題 調味料を添加して炊飯した米飯の圧縮米飯粒を用いた初期老化の評価	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本調理科学会誌	6. 最初と最後の頁 187-196
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11402/cookeryscience.53.187	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 大石 恭子、渋沢 ひかり、米田 千恵、大田原 美保、奥西 智哉、香西 みどり	4. 巻 53
2. 論文標題 低アミロース巨大胚芽米の成分、炊飯特性および嗜好性について	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本調理科学会誌	6. 最初と最後の頁 310～318
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11402/cookeryscience.53.310	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 大石 恭子、金成 はるな、大田原 美保、香西 みどり	4. 巻 53
2. 論文標題 炊飯液のpHの違いが飯の炊飯特性および米のタンパク質，デンプンに与える影響	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本調理科学会誌	6. 最初と最後の頁 197～206
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11402/cookeryscience.53.197	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 福原美鶴、大田原美保、大石恭子、香西みどり	4. 巻 69
2. 論文標題 圧縮米飯粒法による3品種の玄米飯の粒内部性状および初期老化の特徴	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日本食品科学工学会誌	6. 最初と最後の頁 （印刷中）
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 大田原美保, 北原茉美, 大石恭子, 香西みどり
2. 発表標題 調味料を添加して炊飯した米飯の圧縮米飯粒を用いた老化評価
3. 学会等名 日本調理科学会2019年度大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 福原美鶴, 大田原美保, 大石恭子, 佐藤瑤子, 香西みどり
2. 発表標題 圧縮米飯粒法を用いた玄米飯の性状評価
3. 学会等名 日本調理科学会2021年度大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------