

各種電気炊飯器で炊いた米飯中の還元糖量の比較

中村 アツコ

美味しい飯の追求をめざし、趣向を凝らした電気炊飯器が開発されている。例えば、1.15気圧に加圧し沸点を104℃まで上昇させ、甘み・ブドウ糖量を増やすことができると、家電品メーカー各社は宣伝している。数種類の電気炊飯器により炊いた飯の還元糖量の測定をした結果、飯100g中の還元糖量には大差は無く、30～40mgであった。甘みの閾値からみて、差を評価できるとは考えられない。精白米には酵素残量は少なく、炊飯によるブドウ糖、麦芽糖の驚異的变化は期待できないであろう。しかし、加圧炊飯米のデンプンには分子量10万に対する1万のものの割合が、常圧の場合に比べ大きかった。加圧は、デンプンの組織的、物性的変化、熱によるアトランダムなデンプンの加水分解などへの影響が大きいと思われる。炊飯スタート時の水温が、還元糖量に影響することも解った。

キーワード：電気炊飯器，還元糖量，加圧炊飯，ブドウ糖，デンプン分子量

近年、飯を美味しく炊き上げる炊飯器として、家電メーカー各社は様々な趣向を凝らした炊飯器を市場に供給している。加圧、スチーム、真空釜、土鍋風釜等々の例である。1気圧では100℃までしか水温は上がらないが、圧力を1.15気圧にすると水温は104℃まで上昇する。この沸点原理を応用し、高圧炊飯は炊飯時に従来の常圧炊飯よりも水温を高く保ち、甘みのもとであるブドウ糖量を増やすことができると、ある炊飯器メーカーはカタログやホームページで宣伝している^{1) 2)}。加圧炊飯による米飯の組織学的変化を調べた報告はあるが^{3) 4) 5)}、高圧炊飯と常圧炊飯の食味を比較した研究報告は見当たらない。

周知のように、炊飯の過程で、水分15%前後の米粒が十分な水分の存在下で、加熱によりβ-デンプンの結晶構造が崩れてα化（糊化）し、水分65%前後の米飯に変化する⁶⁾。米の糊化には、98℃で20分以上の加熱が必要であるとされているが、最も好まれる銘柄米コシヒカリの最大限の食味を引き出すには104℃が最適とされ⁷⁾、その温度は1.15気圧で得られる。

そこで、高圧炊飯と飯の美味しさの関係を明らかにするため、食味の一つである甘みに関して常圧炊飯で炊いた飯と比較研究することにした。

1. 実験方法

(1) 実験に用いた電気釜の形式と炊飯条件を表1に示した。

表1 電気釜の種類および炊飯条件

	圧力 (KgF/cm ²)	メニュー	米の質量 (g)	加水量 (g)
Z社検体1 (AI搭載)*	1.25	もちもち	900	1245
	1.15	ふつう	900	1245
	1.05	しゃっきり	900	1245
Z社検体2	1.25	もちもち	900	1245
	1.15	ふつう	900	1245
	1.05	しゃっきり	900	1245
Z社検体3	1.15	ふつう	900	1245
M社検体4	常圧スチーム	ふつう・スチーム強	900	1325
		ふつう・スチーム弱	900	1325
T社検体5	加圧	甘み	900	1300
		ふつう	900	1300
S社検体6	加圧	甘み	900	1230
		ふつう	900	1230
Z社検体7	常圧	ふつう	900	1245

* Artificial Intelligence (人工頭脳)；外気温や水温、炊飯量などの条件の違いを判別し、予熱、炊飯、保温の各行程で適切な火力・時間に補正する機能

(2) 米および洗米方法

米；16年および17年富山産こしひかり

水；町田市水道水

洗米方法；以下の手順で行った。

- ① 内釜に米を計り入れ、風袋差し引きし、天秤をリセットした。
- ② 水を内釜上部まで加え、水を捨てた。この操作を2回行なった。
- ③ 手で米を右回りに40回攪拌した後、水を釜上部まで加え、水を捨てた。この操作を5回行なった。
- ④ 水を内釜上部まで加え、水を捨てた。この操作を3回行なった。
- ⑤ 釜の外側の水をふき取り、天秤にのせ、決められた加水量に相当する質量まで水を加えた。

(3) 飯の秤取

以下の方法を適宜用いた。

方法1

- ① 炊き上がった直ぐに、表層約3分の1を別容器に取り分け、かき混ぜ、無作為に10gずつ、5箇所から計50gを秤取した。
- ② 中層約3分の1を別容器に取り分け、かき混ぜ、無作為に10gずつ、5箇所から計50gを秤取した。
- ③ 底層から同様に、無作為に10gずつ、5箇所から計50gを採取した。

表層、中層、底層とは図1に示した。

方法2

- ① 炊き上がった直ぐに、飯を杓子で全体をかき混ぜた。
- ② 無作為に10gずつ、5箇所から計50gを秤取した。

<還元糖測定位置>

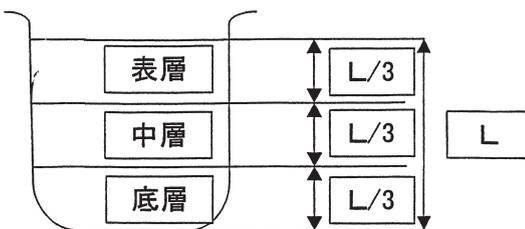


図1 炊飯器中からの飯秤取位置

(4) 分析用試料の調製

《還元糖定量用》

調製方法1：遠心分離により固形分を除いて、抽出液の全量を200mlにした。

- ① 飯50gと水10mlを乳鉢に入れ、磨りつぶした中に、50～60mlの80%エタノールを少量ずつ加えて磨った。
- ② 遠沈管に移し、3000～4000 r/sで約5分間遠心分離し、上澄み液を200mlメスフラスコに移した。
- ③ 遠沈管に80%エタノールを入れて攪拌し、遠心分離し、上澄み液を200mlメスフラスコに移した。
- ④ ③の操作を抽出液が200mlになるまで繰り返した。

調製方法2：固形分を含めて、全量を200mlにした。

- ① 飯50gと水10mlを乳鉢に入れ、磨りつぶした中に、50～60mlの80%エタノールを少量ずつ加えて磨った。
- ② 飯ごとロートを用いて、200mlメスフラスコに移した。
- ③ 乳鉢とロートを80%エタノールで洗い、200mlメスフラスコに入れ、全量200mlになるまで繰り返した。

《全糖定量用》

方法3 方法1、方法2で調製した抽出液20.0mlに0.2M塩酸10mlを加え、還流冷却管を付し、沸騰浴中で30分間加熱し非還元糖を加水分解した。冷却し、水酸化ナトリウム溶液で中和した後、100mlに定容した。

(5) 糖の定量 ソモギー・ネルソン法を用いた⁸⁾。

《操作》 ①試料溶液1.0mlを試験管にとり、銅試薬1.0mlを加えてゆるく蓋（ビー玉など）をし、沸騰水浴中にて15分間加熱後、直ちに流水で冷却した。②5分後、速やかにネルソン試薬1.0mlを加えてよく攪拌した。③約15分後、520nmの吸光度を測定した。（試料溶液については、還元糖定量の場合は、糖抽出液を水で4倍希釈したものを用いた。全糖定量の場合は加水分解後に5倍に希釈されていることになるのでそのまま用いた。）③予め作成しておいた検量線（10～

100 $\mu\text{g/ml}$) から糖量を読み取った。

今回のように、試料溶液にエタノール含む場合は検量線用の標準溶液もエタノールを含む溶液で調整する必要がある。今回は20%エタノール溶液を溶媒とした。

(6) 含水率の測定

島津電子式水分計 (EB-340MOC) を用い、飯 10 g を秤量皿にとり、皿上温度 130°C (ヒーター温度 350°C) にて、質量変化曲線がプラトーになるまで記録した。

(7) 飯表面のでんぷんの性質

《分析用試料の調整》

- ① 冷えた飯 100 g をピーカーに移して 40°C の蒸留水 150 ml を加え、ガラス棒で 20 秒攪拌した。
- ② 溶液をろ紙でろ過した後、GC プレフィルター (5.00 μm) で繰り返しろ過し透明にし、ヨウ素ヨウ化カリウム溶液を加えた。
- ③ SHIMAZU UVmini1240 にて、可視光線吸収スペクトルを測定した。

(8) HPLC による分析

《低分子量糖分析》

カラム ; Shodex NH2P, ϕ 4.5 mm, 15 cm
 移動相 ; 25 / 75 = 水 / アセトにトリル
 移動相流量 ; 1 ml/min, 検出器 ; RI

《高分子量糖分析》

カラム ; Shodex シュガー KS-803,
 ϕ 4.5 mm, 25 cm,
 移動相 ; 水, 流量 ; 1 ml/min,
 検出器 ; RI

2. 結果および考察

平成 16 年度産米を用い、すべての炊飯器の普通メニューで炊飯後、調製法 1 により、釜の表層、中層、底層から飯を秤取した場合の糖量を表 2 に、各社が特徴を持たせたメニューで炊飯した後、全体を攪拌混合して秤取した場合の糖量を表 3 に示した。水分含量の測定から乾燥飯中含量に換算したのもも示した。

表2 検体別、メニュー別の還元糖量と全糖量*

検体・メニュー	水分量 (%)	還元糖量		全糖量	
		mg/100g (飯)	mg/100g (乾燥飯)	mg/100g (飯)	mg/100g (乾燥飯)
検1普通表	58.6	33.1	80.0	36.1	87.2
中	57.3	38.8	91.0	41.2	96.6
底	56.1	33.6	76.5	(30.7)**	69.9
検3普通表	63.5	30.7	84.1	33.0	90.3
中	57.9	33.9	80.5	33.5	79.6
底	61.7	37.7	98.5	38.3	100.1
検4弱表	64.3	33.3	93.3	35.2	98.7
中	61.3	33.2	85.9	39.2	101.4
底	60.1	35.6	89.2	36.5	91.4
検5普通表	59.1	34.1	83.7	40.8	99.8
底	58.8	31.3	76.0	34.4	83.6
検6普通表	58.3	32.6	78.2	40.3	96.6
中	57.6	31.6	74.4	33.5	78.9
底	58.4	33.2	79.9	(32.2)**	77.5

* 分析試料の調製は調製方法1による。

** () を付した値は、全糖量が還元糖量より少なく定量されたものであるが、再現性があるので、加水分解操作が不首尾であったと考えられる。

表 2 中・全糖量の欄 () を付したものについては、全糖量の方還元糖量より少なく定量された。飯の水分含量を約 60% とし、生米を洗浄後磨り潰し定量した還元糖量がそのまま、飯中に残るとすると、14.0 mg/100 g 飯となるので、すべての炊飯器による炊飯で還元糖量が 2.2 ~ 2.8 倍に確実に増加しているといえる。しかし、表 2 に示したすべての検体で炊飯した飯の還元糖量の平均値と標準偏差を計算してみると、33.8 mg/100 g 飯、 $\sigma = \pm 2.3$ となる。Z 社検 1 中層の 38.8、Z 社検 3 底層の 37.7 が上限値より多く、T 社底層 31.3 が下限値より極わずかに小さいが、これらのすべての検体を用いた炊飯によって増加する飯中の還元糖量含量には差が無いと考えられる。乾燥米飯中に換算した含量には差が見られるが、食するのは飯であるので食味の観点からは、乾燥飯ではなく、飯の値で評価するべきであろう。

普通メニューで炊飯した表層、中層、底層の飯中の還元糖量に差が見られなかったため、各社の特徴メニューで炊飯した場合は、飯全体を混ぜ各所から取り出す方法 2 で秤取した。

表 3 に示したとおり、T 社検体 5 甘み炊き、S 社検体 6 甘み炊きでは普通メニューよりも還元糖

量が増加していた。

表3 飯の秤取法2による還元糖量と全糖量*

検体・メニュー	水分量 (%)	還元糖量		全糖量	
		mg/100g (飯)	mg/100g (乾燥飯)	mg/100g (飯)	mg/100g (乾燥飯)
検1しゃっきり	57.7	34.9	88.2	38.3	90.5
検1もちもち	57.7	30.7	72.6	37.7	89.1
検4 強	56.8	34.2	79.1	35.7	82.7
検5 甘み	59.1	39.0	95.3	40.6	99.3
検6 甘み	55.0	39.7	88.2	39.6	87.8

*分析試料の調製は調製方法1による。

表4には17年度産米を用い、Z社の加圧炊飯と常圧炊飯による飯の還元糖量を比較した結果を示した。

表4 スタート時水温22℃、飯の秤取法2による還元糖量 mg/100g, 飯 (n=9)*

メニュー 検体	圧力大 もちもち	圧力中 ふつう	圧力小 しゃっきり	圧力無し
検体1	41.9±1.2	40.6±1.8	34.0±1.1	
検体2	29.7±1.5	29.9±0.8	32.9±1.4	
検体7				45.8±1.3

*分析試料の調製は調製方法2による。

表5 スタート時水温20℃以下、飯の秤取法2による還元糖量 (mg/100g, 飯)*

メニュー 検体	圧力大 もちもち	圧力中 ふつう	圧力小 しゃっきり	圧力無し
検体1	25.3±4.7 (n=29)	19.2±6.8 (n=25)	19.4±7.2 (n=40)	
検体2	13.4±1.6 (n=10)	18.9±3.5 (n=21)	20.6±5.0 (n=26)	
検体7				30.7±9.7 (n=27)

*分析試料の調製は調製方法2による。

この実験の過程で、実験した季節により、還元糖量にばらつきがみられ、炊飯スタート時の水温が影響することが推察されたので、表4にはスタート時水温22℃の結果を、表5には、水道水の温度測定により、スタート時水温が約12℃～

19℃の変動があったと推察できた場合の結果を示した。予め加熱した水を加え、スタート時水温を22℃に調整したことによりばらつきの少ない結果が得られた。AI搭載の検体1においては還元糖量の増加が見られたが、それ以上に増加したのは、検体7の常圧炊飯の場合であった。炊飯過程においてデンプン分解酵素（アミラーゼ）が作用できる条件がいかにかに保てたかが、影響したからであろう。米のアミラーゼは外層と胚芽部に含まれ、玄米、7分搗き米には残っているが、精白米には在るとしても極わずかで、かつ、アミラーゼの最適温度は50～55℃である⁹⁾。加圧炊飯で水の沸点を高くして飯の食味をよくしようという考えは、酵素活性のことを考慮すると、還元糖量を増加させることにはつながらない。加圧炊飯でデンプンの分解が起きるメカニズムは熱的・機械的反応であって、デンプン粒の大きさ、空隙の大きさ・数の変化、デンプン鎖が短くなる、少糖類を生成するなど、様々な分解メカニズムが在るのではないだろうか。

表6に、飯から水抽出で得た液を、ゲルカラムに通した分析結果を示した。

表6 飯50gを磨り潰し、水で250mlにした溶液のシュガー-KSカラムによるHPLC分析

	保持時間 (min)	検1(圧力炊飯)		検3(常圧炊飯)	
		ピーク面積	ピーク面積比	ピーク面積	ピーク面積比
1	5.4 (分子量10 ⁵)	169906	1.0とすると	242992	1.0とすると
2	6.8 (分子量10 ⁴)	507359	3.0	288624	1.2
3	10.8(グルコース)	47194	0.27	微量	～0

圧力炊飯によりデンプンの低分子化により分子量1万のデキストラン相当物質の生成が促進されていることが解った。デンプンの低分子化は飯の外観、食味などテクスチャーに深く関係するであろう。より分子量の小さなオリゴ糖の定量分析には、適したカラムの選択、抽出液の濃縮方法など、困難な課題を含み、著者は実行に至っていない。

以上、加圧炊飯の飯の食味が良いといわれる主たる根拠は、還元糖量のおおきな増加ではなく、加圧によりデンプンに起こるアトランダムな加水分解、それに伴う物性の変化、デンプン粒子の大

きさ、空隙の数・大きさなど組織学的変化の総合的結果であると考え。

液体クロマトグラフィーでの定性分析では、糖のほとんどがブドウ糖であり、わずかなショ糖と果糖が検出された。麦芽糖は極々わずかであったことから、甘みといっても強くはないはずである。かつ、甘みの閾値が砂糖で 1000 ppm であることを考えると、ブドウ糖では少なくとも 2000 ppm は必要であろう。飯は溶液ではないが、溶液に見立てると、検体 1 の圧力大（もちもち）が約 42 mg/(100 g 飯) で 420 ppm，S 社の甘み炊きが約 40 mg/(100 g 飯)，400 ppm である。両者とも閾値には、遥かに及ばない。官能検査によりこれらの飯が、他と区別できるか今後の課題である。

ヨウ素デンプン反応呈色後のスペクトルにおける吸収極大波長の位置は、加圧タイプ検体 1 もちもちの場合 562 nm，常圧体躯検体 7 ふつうの場合 545 nm であった。この約 20 nm の差はわずかであるが肉眼でみた色調の差として観察された。

加圧炊飯と食味の関係についてはさらに検討する必要がある。

謝辞 炊飯器をご提供いただきました象印マホービン株式会社様、実験に協力戴きました本学卒業生青木涼子、笠原尚子、田畑梓、牧美夏および村

谷真紀さんに感謝いたします。

文 献

- 1) 東芝コンシューママーケティング株式会社，プレスリリース，2004/5
- 2) サンヨー株式会社，新製品ニュースリリース，2004/5
- 3) 庄司一郎，倉沢文夫，濱野真理子：電気常圧釜，電気圧力鍋による米飯の組織学的変化．家政誌 39: 1099-1104 (1988)
- 4) 関千恵子，貝沼やす子：炊飯における加熱時間と加熱温度の影響について（第 1 報）一圧力釜の炊飯について（その 1）．家政誌 27: 173-179 (1976)
- 5) 関千恵子，貝沼やす子：炊飯における加熱時間と加熱温度の影響について（第 2 報）一圧力釜の炊飯について（その 2）．家政誌 31: 323-329 (1976)
- 6) 品川弘子，川染節江，赤羽ひろ：調理とサイエンス．第 2 章主な食品素材の調理による変化とサイエンス、1 穀物、(1) 米、(ii) 炊飯．pp.66-69 (学文社，東京，1993)
- 7) フジサンケイサイエンスアイ，AI でご飯のおいしさ追求、2005/2/12
- 8) 菅原龍幸，前川昭男監修：新食品分析ハンドブック pp.107-108 (建帛社，東京，2000)
- 9) 岩田久敏：食品化学各論．pp.1-16 (養賢堂，東京，1987)

(2007.3.30 受付 2007.5.28 受理)