

地獄蒸し調理の食品特性

島田 淳 巳

Food Properties of “Jigoku-mushi” Cookery

Atsumi SHIMADA

緒 言

別府は源泉数、湧出量ともに日本で第一を誇り、8世紀に編纂された「伊予国風土記」, 「豊後風土記」にも記されている我が国有数の温泉地である。別府八湯の中で鉄輪温泉では、噴出する湯を温泉として使用するだけでなく、噴気で蒸した料理は「地獄蒸し」として近年注目されるようになっている。現在では、農水産物を噴気で蒸した地獄蒸し料理として、旅館やホテルの宿泊客や観光客に好評である。しかし、地獄蒸し料理を対象にした研究は、これまでにほとんど行われていない。そのため、この調理方法の特性について基礎的な知見を得るために、地獄蒸し、蒸す、およびゆでる、3種類の調理方法で食品を調理した際の成分含量および機能性について検討した。その結果、地獄蒸しは蒸すおよびゆでる調理方法と比べて、食品の還元糖、遊離アミノ酸、可溶性タンパク質、およびビタミンC含量が高く、高い抗酸化作用とアンジオテンシンI変換酵素阻害活性を示すことが明らかとなった。

実 験 方 法

1. 実験材料

実験に使用した食材（サツマイモ、枝豆、豚バラ肉）は、2008年の7月～8月に別府市内のスーパーマーケットで市販されていたものを購入し、購入した次の日に加熱調理を行った。

2. 加熱方法

実験で行う加熱方法は、地獄蒸し、蒸す、およびゆでる、の3種類である。地獄蒸し調理を行う施設では、100°Cを越える高圧温泉蒸気を利用しており、地獄蒸し釜の内部温度は100°C～102°Cであった。このため、蒸すとゆでる調理では、地獄蒸しと同じ温泉水（ナトリウム塩化物泉）を使用し、温泉水を沸騰させ、所定時間調理した。地獄蒸しと蒸す調理では、蒸釜内に皿を置き、その上に食材を置いて所定時間加熱した。

3. 食材の前処理と加熱時間

サツマイモ、枝豆、豚バラ肉を選び、食材ごとに可食状態になるように加熱時間を設定した。

① さつまいも

表面の泥を水道水で洗い流し、皮のついたまま20分間調理した。

② 枝豆

枝を取り除き、さやのまま7分間調理し、さやから取り出し薄皮を取り除いた。

③ 豚バラ肉

約1 cmの厚さにスライスして120分間調理した。

4. 芯温測定

調理時の食材の芯温測定には、サーモレコーダー（ティアンドデイ製，TR-61）を用い、各食材の中心部にセンサを差し込み測定した。

5. 試料調製

1) サツマイモの試料調製

調理済みのサツマイモに水30 mLを加え、ミキサーで30秒間破碎した。得られた懸濁液を4重にしたガーゼでろ過した。ろ過後、ろ液は100 mLにメスアップし、遠心分離（12,000 rpm, 30分）を2回行った。得られた上清液を試料溶液とした。

2) 枝豆と豚バラ肉の試料調製

調理済の枝豆と豚バラ肉はクロロホルム-メタノール抽出して脱脂を行った。脱脂した枝豆と豚バラ肉は、各々水50 mLを加え、ミキサーで30秒間破碎した。得られた懸濁液は、4重にしたガーゼでろ過した。ろ過後、ろ液は100 mLにメスアップし、遠心分離（12,000 rpm, 30分）を2回行った。得られた上清液を試料溶液とした。

6. 測定方法

1) 還元糖の定量

サツマイモ、枝豆と豚バラ肉の各試料溶液は、Somogyi-Nelson法により還元糖含量を測定した¹⁾。試料溶液1 mLにアルカリ性銅試薬1 mLを混合後、沸騰水中で15分加熱させた。ただちに冷水中で冷やし、これにヒ素モリブデン試薬1 mLを添加した。攪拌後、水7 mLを加えて20分室温で放置後、500 nmにおける吸光度を測定した。グルコースを標準品として検量線を作成し、試料溶液の吸光度から還元糖含量を求めた。

2) 遊離アミノ酸の定量

試料溶液は、ニンヒドリン反応により遊離アミノ酸含量を測定した²⁾。試料溶液2 mLにニンヒドリン試液2 mLを加え、15分間沸騰水浴中で加熱した。室温に冷却し、50%エタノール3 mLを加え、10分後に570 nmにおける吸光度を測定した。ブランクは、試料溶液の代わりに水を加えた。L-グルタミン酸を標準品として検量線を作成し、試料溶液の吸光度と蒸留水の吸光度の差を求め、検量線より、遊離アミノ酸含量を求めた。

3) 可溶性タンパク質の定量

試料溶液は、Folin-Lowry法により可溶性タンパク質含量を測定した³⁾。試料溶液1 mLにアルカリ性溶液5 mLを加え、室温で10分間放置した。そこへ等量の水で希釈したFolin-Ciocalteu試薬0.25 mLをすばやく加えて直ちに混合した。30分後、750 nmにおける吸光度を測定した。ブランクは、試料溶液の代わりに水を加えた。牛血清アルブミンを標準品として検量線を作成し、

試料溶液の吸光度と蒸留水の吸光度の差を求め、検量線より、可溶性タンパク質含量を求めた。

4) 可溶性ポリフェノール含量の定量

試料溶液は、Folin-Ciocalteu 法により可溶性ポリフェノール含量を測定した⁴⁾。試料溶液 0.5 mL、2% 炭酸ナトリウム 5 mL と、10% Folin-Ciocalteu 試薬 0.4 mL を加え、25°C、15分間暗所で放置した後、765 nm における吸光度を測定し、カフェイン酸を用いた検量線からポリフェノール含量を求めた。

5) ビタミンCの定量

水の代わりに6%メタリン酸溶液を用いて調製した試料溶液は、インドフェノール法によりビタミンC含量を測定した⁵⁾。試料溶液、ビタミンC標準液およびメタリン酸溶液を5 mL ずつ別々の共栓付き試験管に秤取した。それぞれの試験管に緩衝液5 mLを加えて混和後、インドフェノール溶液2 mLを加え、静かに振り混ぜた後にキシレン10 mLを加え、栓をして約15秒間激しく振り混ぜた後、静置して得られた紅色の上清液（キシレン層）について500 nmにおける吸光度を測定した。ブランクは、試料溶液5 mLを共栓付き試験管に秤取し、緩衝液5 mLとキシレン10 mLを加え、同様に操作して得られた上清液について吸光度を測定した。

ビタミンC含量 (mg/100 g)

$$= \{A3 - (A1 - A0)\} \times V / (A3 - A2) \times W$$

A0: ブランク上清液の吸光度 (500 nm)

A1: 試料溶液を含む上清液の吸光度 (500 nm)

A2: ビタミンC標準液を含む上清液の吸光度 (500 nm)

A3: メタリン酸溶液を含む上清液の吸光度 (500 nm)

V: 試料の量 (約 10 g)

W: 試料溶液 (100 mL)

6) ジフェニルピクリルヒドラジル (DPPH) ラジカル消去活性の測定

枝豆試料溶液について DPPH ラジカル消去活性を測定した⁶⁾。試料 1.5 mL、200 mM MES 緩衝液 1.5 mL、50% エタノール 1.5 mL、400 μM DPPH エタノール溶液 1.5 mL を 15 mL 試験管に加えて混合し、25°C、20分間、暗所で反応させた。反応終了後、520 nm での吸光度を測定した。標準品には 0.1 mM ビタミンCを用いた。DPPH ラジカル消去活性は、下記の式に従い求めた。

$$\text{DPPH ラジカル消去活性 (\%)} = (1 - A/B) \times 100$$

A: 吸光度 (コントロール)

B: 吸光度 (サンプル)

7) スーパーオキシドジスムターゼ (SOD) 様活性の測定

枝豆試料溶液について SOD 様活性を測定した。なお、SOD 様活性は、和光純薬の SOD テストワコー (ニトロテトラゾリウム法) のテストキットを使用し測定した⁷⁾。発色試液 (0.1M リン酸緩衝液 (pH 8)、0.4 m mol/L キサンチン、0.24 m mol/L ニトロブルーテトラゾリウム) 1 mL、試料溶液 0.1 mL を試験管に加え、さらに酵素液 (キサンチンオキシダーゼ 0.049単位 /mL) 1 mL

を加えて攪拌した後、37°Cで20分間放置した。20分後に反応停止液（ドデシル硫酸ナトリウム 69 m mol/L）を 2 mL 添加し、560 nm での吸光度を測定した（本検：検体、 E_s ）。また、試料溶液の代わりに希釈溶剤（0.1M リン酸緩衝液（pH 8））を添加した系（本検：盲検、 E_{BL} ）、酵素液の代わりにブランク液（0.1M リン酸緩衝液（pH 8））を添加した系（盲検：検体盲検、 E_{S-BL} ）、試料溶液の代わりに希釈溶剤を、酵素液の代わりにブランク液を添加した系（盲検：試薬盲検、 E_{BL-BL} ）を測定して、下記の式に従い SOD 活性値（阻害率%）を求めた。標準品には 0.1 mM ビタミンCを用いた。

$$\text{SOD 活性率 (\%)} \\ = \{(E_{BL} - E_{BL-BL}) - (E_s - E_{S-BL})\} \times 100 / (E_{BL} - E_{BL-BL})$$

8) アンジオテンシン I 変換酵素 (ACE) 阻害活性の測定

ACE 阻害活性は、松井らの方法を参考にして測定した⁸⁾。枝豆試料溶液 0.03 mL に 7.6 mM Bz-Gly-His-Leu (0.1M ホウ酸緩衝液 pH 8.3 に溶解) 0.25 mL および 0.06 U/mL ACE 0.1 mL を加え、これを酵素反応液として 37°C で 30 分間反応させた。0.5M 塩酸 0.25 ml を加えて反応停止後、Kolthoff 緩衝液 0.2 mL、0.1M 2,4,6-トリニトロソベンゼンスルホン酸 (0.1M Na_2HPO_4 に溶解) 0.025 mL を加え、37°C で 20 分間反応させた。反応後、4 mM 亜硝酸ナトリウム (0.2M NaH_2PO_4 に溶解) 4.5 mL を加えて混合し、416 nm における吸光度を測定した（本検：検体、 E_s ）。また、試料溶液の代わりに水を添加した系（本検：盲検、 E_{BL} ）、酵素液の代わりにブランク液 (0.1M ホウ酸緩衝液 pH 8.3) を添加した系（盲検：検体盲検、 E_{S-BL} ）、試料溶液の代わりに水を、酵素液の代わりにブランク液を添加した系（盲検：試薬盲検、 E_{BL-BL} ）を測定して、下記の式に従い ACE 阻害活性値（阻害率%）を求めた。標準品は 0.1 mM カプトプリルを用いた。

$$\text{ACE 阻害率 (\%)} \\ = \{(E_{BL} - E_{BL-BL}) - (E_s - E_{S-BL})\} \times 100 / (E_{BL} - E_{BL-BL})$$

9) 統計処理

実験で得られた測定値の平均値は、Duncan's new multiple range test を用いて、有意差 ($p < 0.05$) の検定を行った。

実 験 結 果

1. サツマイモ、枝豆、豚バラ肉の芯温

サツマイモ、枝豆、豚バラ肉を調理した際、それぞれの芯温の経時変化を調べた結果を図 1 に示した。サツマイモと枝豆は、地獄蒸し、蒸す、およびゆでる、3 種類の調理法では芯温の経時変化に差は見られなかった。一方、豚バラ肉については地獄蒸しが最も芯温の上昇が速く、調理開始 15 分後には 100°C に達した。次いで、芯温の上昇は、ゆでる調理が速く、蒸す調理の芯温の上昇が最も遅かった。

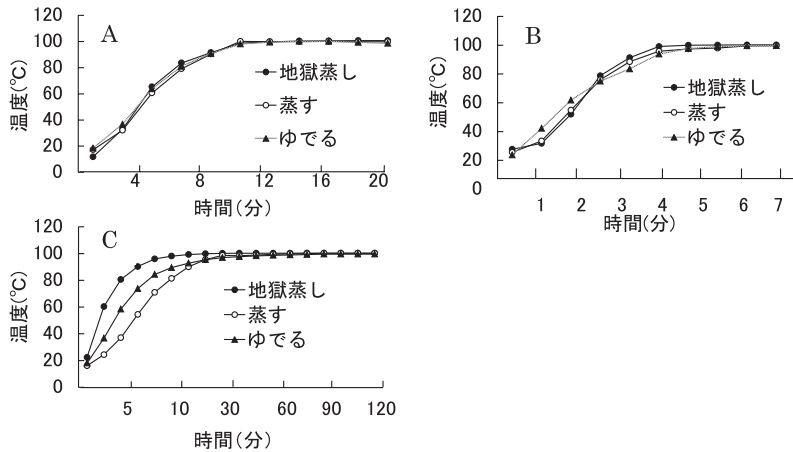


図1 サツマイモ (A), 枝豆 (B), 豚肉 (C) の芯温の経時変化

2. サツマイモ, 枝豆, 豚肉の成分

1) 還元糖含量

サツマイモ, 枝豆と豚バラ肉の還元糖含量の測定結果を表1に示した。サツマイモでは, 地獄蒸し, 蒸す, およびゆでる, 3種類の調理法で還元糖含量は, それぞれ 776 mg/100 g, 629 mg/100 g, 87 mg/100 g であり, 地獄蒸しと蒸すではほぼ同じ含量であるが, ゆでたサツマイモの還元糖含量は地獄蒸しの1割程度であった。枝豆では, 地獄蒸し, 蒸す, ゆでの3種類の調理法で還元糖含量は, それぞれ 77 mg/100 g, 76 mg/100 g, 70 mg/100 g であり, 3種類の調理法で還元糖含量は同程度であった。豚バラ肉では, 地獄蒸し, 蒸す, ゆでの3種類の調理法で還元糖含量は, それぞれ 14 mg/100 g, 10 mg/100 g, 11 mg/100 g であり, 地獄蒸しが最も高い値を示した。

2) 遊離アミノ酸含量

サツマイモ, 枝豆と豚バラ肉の遊離アミノ酸含量の測定結果を表1に示した。サツマイモでは, 地獄蒸し, 蒸す, およびゆでる, 3種類の調理法で遊離アミノ酸含量は, それぞれ 212 mg/100 g, 179 mg/100 g, 211 mg/100 g であり, 3種類の調理法で遊離アミノ酸含量は同程度であった。枝豆では, 地獄蒸し, 蒸す, およびゆでる, 3種類の調理法で遊離アミノ酸含量は, それぞれ 408 mg/100 g, 367 mg/100 g, 325 mg/100 g であり, 地獄蒸しが最も高かった。豚バラ肉では, 地獄蒸し, 蒸す, およびゆでる, 3種類の調理法で遊離アミノ酸含量は, それぞれ 441 mg/100 g, 419 mg/100 g, 364 mg/100 g であり, 地獄蒸しと蒸す2種類の調理法で高い値を示した。

3) 可溶性たんぱく質含量

枝豆と豚バラ肉の可溶性たんぱく質含量の測定結果を表1に示した。枝豆では, 地獄蒸し, 蒸す, およびゆでる, 3種類の調理法で可溶性たんぱく質含量は, それぞれ 947 mg/100 g, 1,173 mg/100 g, 860 mg/100 g であり, 蒸す調理法が最も高い値を示した。一方, 豚バラ肉では, 地獄蒸し, 蒸す, およびゆでる, 3種類の調理法で可溶性たんぱく質含量は, それぞれ 1,503 mg/100g, 1,026 mg/100 g, 1,047 mg/100 g であり, 地獄蒸しが最も高い値を示した。

4) 可溶性ポリフェノール含量

サツマイモと枝豆のポリフェノール含量の測定結果を表1に示した。サツマイモのポリフェノー

ル含量は、地獄蒸し、蒸す、およびゆでる、3種類の調理法で、それぞれ 160 mg/100 g, 118 mg/100 g, 172 mg/100 g であり、3種類の調理法でポリフェノール含量に差は認められなかった。一方、枝豆では、地獄蒸し、蒸す、およびゆでる、3種類の調理法で、それぞれ 54 mg/100 g, 71 mg/100 g, 64 mg/100 g であり、3種類の調理法の中で蒸した際にポリフェノール含量が最も高く、地獄蒸しは最も低い値を示した。

5) ビタミンC含量

サツマイモのビタミンC含量の測定結果を表1に示した。サツマイモのビタミンC含量は、地獄蒸し、蒸す、およびゆでる、3種類の調理法で、それぞれ 19 mg/100 g, 12 mg/100 g, 17 mg/100 g であり、3種類の調理法では地獄蒸しで調理した際にビタミンC含量が最も高く、蒸す調理は最も低い値を示した。

表1 調理法による食品成分含量の比較

還元糖含量 (mg/100 g)		地獄蒸し	蒸す	ゆでる
	サツマイモ	776b ^{a)}	629b	87a
	枝豆	77a	76a	70a
	豚肉	14b	10a	11a
遊離アミノ酸含量 (mg/100 g)		地獄蒸し	蒸す	ゆでる
	サツマイモ	212b	179a	211b
	枝豆	408b	367a	325a
	豚肉	441b	419b	364a
可溶性タンパク質含量 (mg/100 g)		地獄蒸し	蒸す	ゆでる
	枝豆	947a	1173b	860a
	豚肉	1503b	1026a	1047a
可溶性ポリフェノール含量 (mg/100 g)		地獄蒸し	蒸す	ゆでる
	サツマイモ	160a	118a	172a
	枝豆	54a	71c	64b
ビタミンC含量 (mg/100g)		地獄蒸し	蒸す	ゆでる
	サツマイモ	19c	12a	17b

a) 同一含量の同一文字間に有意差なし (Duncan's new multiple range test, $p < 0.05$)。

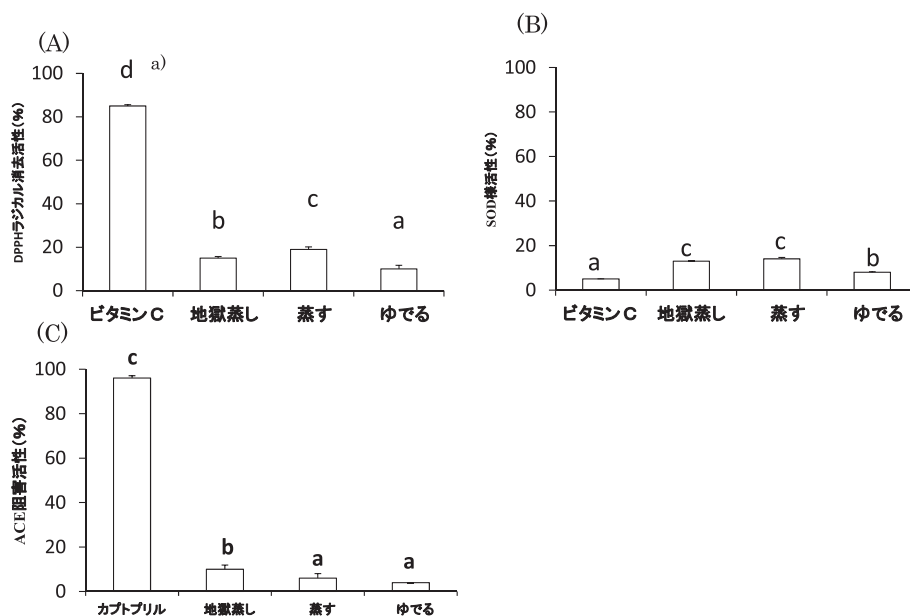
3. 枝豆の機能性

1) DPPH ラジカル消去活性

枝豆の DPPH ラジカル消去活性の測定結果を図2に示した。枝豆の DPPH ラジカル消去活性は、地獄蒸し、蒸す、およびゆでる、3種類の調理法で、それぞれ15%, 19%, 10%であり地獄蒸しと蒸す2種類の調理法は同程度であるが、ゆでた枝豆では DPPH ラジカル消去活性は低かった。

2) スーパーオキシドジスムターゼ (SOD) 様活性

枝豆の SOD 様活性の測定結果を図2に示した。枝豆の SOD 様活性は、地獄蒸し、蒸す、およびゆでる、3種類の調理法で、それぞれ13%, 14%, 8%であり、地獄蒸しと蒸す2種類の調



a) 同一活性の同一文字間に有意差なし (Duncan's new multiple range test, $p < 0.05$)。エラーバーは標準誤差 ($n = 3$)。

図2 枝豆の DPPH ラジカル消去活性 (A), SOD 様活性 (B), および ACE 阻害活性 (C)

理法は同程度であるが、ゆでた枝豆では SOD 様活性は低く、DPPH ラジカル消去活性と同様の結果を示した。

3) アンジオテンシン I 変換酵素 (ACE) 阻害活性

枝豆の ACE 阻害活性の測定結果を図 2 に示した。枝豆の ACE 阻害活性は、地獄蒸し、蒸す、およびゆでる、3 種類の調理法で、それぞれ 10%、6%、4% であり、対照のカプトプリルと比較すると 3 種類の調理法とも低い活性であるが、3 種類の調理法の中では地獄蒸しが最も高い活性を示した。

考 察

今回、地獄蒸し調理と比較するため、蒸すとゆでる 2 種類の加熱調理を合わせて検討した。地獄蒸しは、高温・多湿・高圧の環境を保持した空間で加熱する調理方式であり⁹⁾、通常の蒸す調理に比べ高圧水蒸気を利用し、ゆでる調理と異なり水に浸漬せず調理するため、食品表面を短時間で加熱することでバリアーを形成し、成分を外部に漏出することなく内部に封じ込めるといった利点がある。

サツマイモと枝豆では、地獄蒸し、蒸す、およびゆでる、3 種類の調理法で芯温の経時変化に差が認められなかった。一方、豚バラ肉の調理の際に芯温の上昇に差が生じたのは、豚バラ肉は熱伝導率が低い脂質を多く含むためであり¹⁰⁻¹²⁾、地獄蒸しでは高圧水蒸気で調理するため、熱の伝わり方が蒸すやゆでる調理に比べて速くなると推察される。

食品成分含量の測定結果から、地獄蒸し調理では、3種類の食品で検討した還元糖および遊離アミノ酸含量は有意に高い値を示し、豚バラ肉の可溶性タンパク質含量とサツマイモのビタミンC含量も有意に高い値を示した。枝豆と豚バラ肉の脂質含量は、地獄蒸し、蒸す、およびゆでる、3種類の調理法で差が認められなかった。一方、ゆでる調理において、水溶性成分である還元糖・遊離アミノ酸・可溶性タンパク質の各含量が他の調理法と比べて低いのは、ゆでることでこれら成分が外部に流出したものと考えられる。このように、地獄蒸しは還元糖および遊離アミノ酸含量が高いことから甘味とうま味が強調され、おいしさを一層引き立てていると推察される。

枝豆を使用した機能性試験の結果から、DPPH ラジカル消去活性と SOD 様活性という抗酸化作用は、可溶性ポリフェノール含量が多い、蒸す調理が最も高い活性を示した。一方、枝豆の ACE 阻害活性は、地獄蒸しが最も高い活性を示した。今回検討した枝豆の成分の中で、ACE 阻害活性と関係があるとされる可溶性タンパク質含量と可溶性ポリフェノール含量は、いずれも蒸す調理が最も高いことから、含量より成分の種類の影響が強いと考えられるが、活性を示す成分を特定するに至っていない。

今回の検討により、これまでおいしいと言われてきた地獄蒸し料理について、食品成分分析により還元糖と遊離アミノ酸含量の増加がおいしさに寄与していることを明らかにした。また、SOD 様活性や ACE 阻害活性の促進といった健康増進作用の向上も認められ、さらに高圧水蒸気を利用する地獄蒸しは、電気・ガスの代替熱源として地球環境にやさしい調理法であり、地獄蒸しの有用性についてさらに検討することが望まれる。

謝 辞

本研究を行うに当たり、地獄蒸し窯および温泉水を提供していただいたホテル風月 HAMMOND 甲斐賢一氏、長村一彦氏、ならびに地獄蒸し調理について助言と協力を頂いた別府大学食物栄養科学部の西澤千恵子教授、星野隆教授に感謝いたします。

引 用 文 献

- 1) Plummer DT, 廣海啓太郎, 実験で学ぶ生化学, (株)化学同人, pp. 165-166 (1989).
- 2) Plummer DT, 廣海啓太郎, 実験で学ぶ生化学, (株)化学同人, pp. 131-132 (1989).
- 3) Plummer DT, 廣海啓太郎, 実験で学ぶ生化学, (株)化学同人, pp. 132-133 (1989).
- 4) Camacho-Cristobal JJ, Anzellotti D and Gonzalez-Fontes A, Changes in phenolic metabolism of tobacco plants during short-term boron deficiency. *Plant Physiol Biochem* **40**: 997-1002 (2002).
- 5) Willard BR and Elmer Stotz, The indophenol-xylene extraction method for ascorbic acid and modifications for interfering substances. *J Biol Chem* **160**: 217-225 (1945).
- 6) Takara K, Kuniyoshi A, Wada K, Kinjyo K and Iwasaki H, Antioxidative flavan-3-ol glycosides from stems of *Rhizophora stylosa*. *Biosci Biotechnol Biochem* **72**: 2191-2194 (2008).
- 7) Yamaguchi S, Sugahara T, Nakashima Y, Okada A, Akiyama K, Kishida T, Maruyama M and Masuda T, Radical and superoxide scavenging activities of matairesinol and oxidized matairesinol, *Biosci Biotechnol Biochem* **70**: 1934-1940 (2006).
- 8) Matsui T, Matsufuji H and Osajima Y, Colorimetric measurement of angiotensin I-converting enzyme inhibitory activity with trinitrobenzene sulfonate. *Biosci Biotechnol Biochem* **56**: 517-518 (1992).
- 9) 中嶋加代子, 地獄蒸し釜で炊いた米飯の食味, 日本調理科学会誌, **37**: 63-66 (2004).
- 10) 島田淳子, 中沢文子, 畑江敬子, 調理科学講座 2 調理の基礎と科学, 朝倉書店, p. 50 (1993).

- 11) 浦上智子, 調理科学, 理工学社, pp. 131-134 (1977).
- 12) 香川芳子, 食品成分表2012, 女子栄養大学出版部, pp. 22, 48, 182 (2012).

Summary

Jigoku-mushi cookery utilizes high pressure steam from a hot spring. This cookery is unique and very popular with tourists stayed at Kannawa hot springs in Beppu, Oita Prefecture. But there is not any information about the effects of this cookery on the quality and quantity of food components and functions. This study aims to evaluate food properties of jigoku-mushi cookery from the comparison among three cookerries using jigoku-mushi, steaming and boiling. The water extracts of foods cooked by jigoku-mushi contained the highest reducing sugar, free amino acid, soluble protein, and ascorbic acid contents among the extracts of foods cooked by three differential cookerries. And the water extracts of foods cooked by jigoku-mushi showed high antioxidant activity and angiotensin I converting enzyme inhibitory activity. This study showed that jigoku-mushi cookery was a potential method for health promoting effects and the environmental problems could be solved by use of high pressure hot spring water to save electricity and natural gas.

[2012. 9. 27 受理]