

別府温泉における飲泉水の泉質の違いが大根のテクスチャーに与える影響

古木 美香¹⁾ 海陸(平包) 留美¹⁾ 小野 章史²⁾

Effects of Different Types of Hot Spring Water on Texture of Japanese Radish in the Spa of Beppu in Kyushu, Japan

Mika FURUKI¹⁾ Rumi KAIRIKU¹⁾ Akifumi ONO²⁾

【要 旨】

多種多様な泉質を有する別府温泉の飲泉水を用いて、泉質ごとに適した調理への活用法を見出し、地域活性化を図ることを目的とした。別府温泉郷において飲泉許可が出ている飲泉場から、泉質の異なる5種類の温泉を選び、飲泉水の泉質の違いが食品のテクスチャーに及ぼす影響について調べた。今回は大根の煮熟軟化に及ぼす影響について官能評価や物理的評価を用いて検討を行った。飲泉水で大根を加熱した結果、水や塩化物泉に比べて炭酸水素塩泉の方が大根を軟らかくみずみずしくすることがわかった。野菜の煮熟軟化には煮汁のpHや陽イオン濃度が関与しているとのことから、大根を軟化させた要因を検討するために、pHやCaイオン濃度を調整した飲泉水を用いて検証を行った。結果、大根の煮熟軟化には、炭酸水素塩泉の中でもpHが高くCaイオン濃度が低い飲泉水が適しており、水に比べて調理時間の短縮につながることを示唆された。

【キーワード】

温泉 飲泉水 煮熟軟化 官能評価 テクスチャー

1. 緒言

環境省の平成24年度温泉利用状況調査によると、大分県の源泉総数は4,473(16.4%)、湧出量は286,032L/分(11.1%)と国内で最も多く、日本一の温泉地といえる¹⁾。そして大分県

の中でも別府温泉郷は、全国1位の源泉総数と湧出量を誇る温泉であり、別府市の地域資源として古くから活用されている。

別府温泉郷は九州の北東部、大分県の活火山「鶴見岳・伽藍岳」の東麓にあり、別府湾に面する東西約5km、南北約8kmの扇状地にわたって、数多くの源泉を有している²⁾。その源

¹⁾ 別府大学短期大学部

²⁾ 川崎医療福祉大学大学院

泉の多様さから8種類の温泉（別府、浜脇、観海寺、堀田、明礬、鉄輪、柴石、亀川）に区分され、「別府八湯」と呼ばれている。

環境省の基準をもとに、医療効果が期待できる温泉には、温泉水の溶存成分により「療養泉」として泉質名が与えられている。別府温泉郷は多種多様な泉質をもつことが特徴とされ、11種類の泉質名（単純温泉、塩化物泉、炭酸水素塩泉、含銅-鉄泉、硫黄泉、酸性泉、硫酸塩泉、二酸化炭素泉、含鉄泉、含アルミニウム泉、放射能泉）のうち、放射能泉を除く10種類が存在している。

療養泉における温泉療法は、入浴療法、飲泉療法や吸入療法などの方法がある。温泉療法の効果については国内外で多く実証されており、泉質別による人体への効果も明らかにされている^{3,4)}。しかしながら、入浴療法に関する研究は多いが、飲泉療法に関する研究は極めて少ないのが現状である。

温泉水を飲用する飲泉療法は、ドイツをはじめとしたヨーロッパでは入浴療法と併せて積極的に行われている^{5,6)}。しかし、日本では飲泉許可がでている温泉が多いものの、その飲み方や利用法は詳しく検討されていない。環境省では飲泉水の飲用利用基準を定めており、ひ素、銅、フッ素、鉛、水銀や遊離炭酸が含まれている飲泉水は飲用許容量を掲げている。一般的に飲泉量としては1回100~200mlを飲用するよういわれているが、適正な飲泉量や飲用期間等の飲用条件については各施設が明示することになっている。

平成24年度に一般社団法人日本温泉気候物理医学会保険委員会が、病院や介護施設などでの温泉の利用に関する実態調査をした結果、温泉関係の病院・施設（88施設）における利用形態は、入浴（87.5%）やリハビリテーションの一環（50.0%）としての利用が多く、飲泉としての利用は6.8%と少なかった⁷⁾。日本において飲泉水が活用されていない一つの理由として、日常的に飲用する水は軟水であることから、溶存成分の多い飲泉水を継続的に飲用するには抵抗があるのかもしれない。そこで飲泉水の活用

法として、飲用するだけでなく調理に利用することで食生活に簡便に取り入れることができるのではないかと考えた。飲泉水の中には溶存成分が多く、継続して飲用することが難しいものもあるが、調理への活用法を提案することで天然資源である飲泉水の有効な活用につながると思われた。

そこで我々は、多種多様な泉質を有する別府温泉郷の飲泉水を用いて、泉質ごとに適した調理への活用法を見出し、地域活性化を図ることを目的とした。

現在、別府温泉郷において飲泉許可が出ている飲泉場から、泉質の異なる温泉を選び、飲泉水の泉質の違いが食品のテクスチャーに及ぼす影響について調べた。今回は大根の煮熟軟化に及ぼす影響について官能評価や物理的評価を用いて検討を行った。また大根の煮熟軟化に影響した要因についても検討を行った。

2. 方法

(1) 実験1. 泉質の違いが大根の煮熟軟化に与える影響

1) 試料

水試料は蒸留水（A）および5種類の飲泉水（B：Na・Mg・Ca-炭酸水素塩・塩化物泉、C：Na・Mg-炭酸水素塩・塩化物泉、D：Na-炭酸水素塩・塩化物泉、E：Na-塩化物泉、F：塩化物泉）を用いた。水試料B~Fについては、各温泉分析書に記載されている温泉名、泉質名、pH、塩分濃度、陽イオンや陰イオンの分量を表1に示した。

野菜試料は年間を通じて手に入りやすく、組織が比較的均一で非でんぷん質である大根を用いた。大根は外皮を除き、根の上部と下部を除いた中心部を用い、厚さ1cmのいちよう切りとした。大根を各水試料に入れ、加熱条件を一定にするためにスチームコンベクションオープンコンビモード150℃で加熱し、5、10、15、20分間加熱したものを実験に用いた。

表 1. 水試料に用いた飲泉水の泉質名、成分と分量

	温泉名	泉質名	pH	塩分濃度 (%)	陽イオン			陰イオン		
					Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	HCO ³⁻	SO ₄ ²⁻
B	別府 A	Na・Mg・Ca-炭酸水素塩・塩化物泉	7.2 (中性泉)	0.02	137.0 47%	37.1 24%	56.5 22%	153.0 33%	423.0 53%	87.8 14%
C	堀田	Na・Mg-炭酸水素塩・塩化物泉	7.8 (弱アルカリ性泉)	0.05	147.0 48%	43.8 27%	45.8 17%	99.7 22%	489.0 63%	91.9 15%
D	別府 B	Na-炭酸水素塩・塩化物泉	8.7 (アルカリ性泉)	0.05	244.2 86%	3.0 2%	11.3 5%	99.4 23%	396.6 53%	104.2 18%
E	別府 C	Na-塩化物泉	8.3 (弱アルカリ性泉)	0.15	630.0 83%	10.0 2%	42.7 6%	849.0 72%	183.0 9%	254.0 16%
F	鉄輪	塩化物泉	4.2 (弱酸性泉)	0.39	1290.0 88%	4.0 1%	37.0 3%	1950.0 89%	—	323.0 11%

2) 官能評価

対象者は別府大学短期大学部学生および教職員23名をパネルとし、7段階評点法（-3から+3）を用いて6項目（外観、かたさ、甘味、みずみずしさ、だしの風味、総合評価）について官能評価を行った。

3) 破断強度測定

各水試料で加熱した大根の破断強度測定を行った。破断強度の測定は、クリープメータ（山電 RE2-33005C）を用い、ロードセル20N、歪み率100%、測定速度1mm/sec、プランジャー直径5mmの円筒形を用いて測定した。得られた応力-歪み曲線から破断応力ともろさ応力を求めた。

(2) 実験 2. 大根の煮熟軟化に影響した要因の検討

1) 試料

実験 1 において水試料「D」が最も大根を軟化させたことから、大根の煮熟軟化に影響を与えた要因として、飲泉水の pH と Ca イオン濃度に差があることに着目し検討を行った。pH の影響を調べるために、水試料「D」に10%クエン酸溶液を加えて pH 調整液（pH 3～8）を作製した。次に Ca イオン濃度の影響を調べるために、水試料「D」に CaCl₂ 溶液を加えて Ca イオン濃度を調整した Ca 調整液（0.5mM～10mM）を作製した。

実験 1 と同様に、大根を各調整液に入れ、スチームコンベクションオーブンのコンビモード150℃で加熱し、20分間加熱したものを実験に用いた。

2) 破断強度測定

実験 1 と同様の設定条件で破断応力ともろさ応力を求めた。

(3) 統計解析

一元配置分散分析後に Tukey の多重比較法で統計処理を行った。

(4) 倫理的配慮

本研究における対象者の個人情報の取り扱いについては、別府大学医学研究倫理審査委員会の審査を受けて承認を得たものである（承認番号2013-5）。

3. 結果

(1) 実験 1. 泉質の違いが大根の煮熟軟化に与える影響

官能評価の結果を表 2 および図 1 に示した。6項目のうち、「かたさ」と「みずみずしさ」について有意な差がみられた（ $p < 0.05$ ）。「C・D」で加熱した大根は軟らかく、みずみずしさが増したが、「F」は硬くなり、みずみずしさも低下した（ $p < 0.05$ ）。また「B・D」は大根の甘味が増し、「E・F」は甘味が低下する傾向

がみられた。主観的評価である官能評価において、煮熟した大根では水で調理するよりも炭酸水素塩泉である「B・C・D」で調理した大根が好まれ、塩化物泉の中でも特に「F」で調理した大根が好まれないことがわかった。

大根の破断応力ともろさ応力の結果（加熱20

分）を図2および図3に示した。加熱20分後で比較した結果、破断応力は「D」が最も低く、「A・F」に比べて有意に低かった ($p < 0.01$)。もろさ応力は「D」が最も低く、「C・D・E」が「A・B・F」に比べて有意に低かった ($p < 0.01$)。

表2. 官能評価

	A	B	C	D	E	F
外観	0.48	0.52	0.39	0.09	0.22	0.22
かたさ	0.30 ^{ab}	0.35 ^{ab}	0.74 ^a	0.74 ^a	0.61 ^a	-1.17 ^b
みずみずしさ	1.17 ^a	1.00 ^{ab}	1.26 ^a	1.17 ^a	0.78 ^{ab}	0.00 ^b
甘味	0.35	0.74	0.26	0.70	-0.35	-0.04
だしの風味	-0.09	0.00	0.22	0.04	0.00	0.26
総合評価	0.48	0.78	0.74	0.74	0.09	0.00

異なる異符号間に有意差あり ($p < 0.05, n=23$)

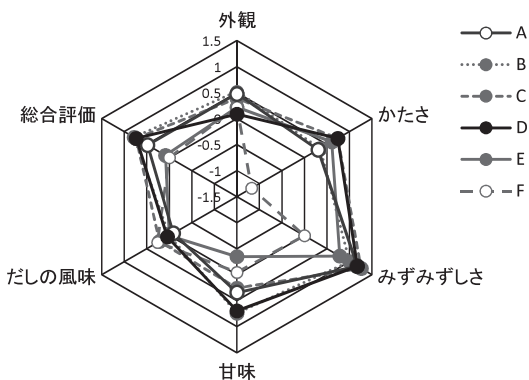
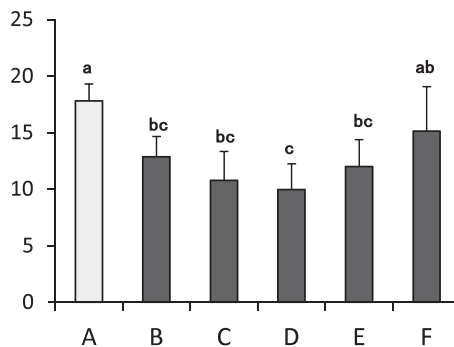


図1. 官能評価

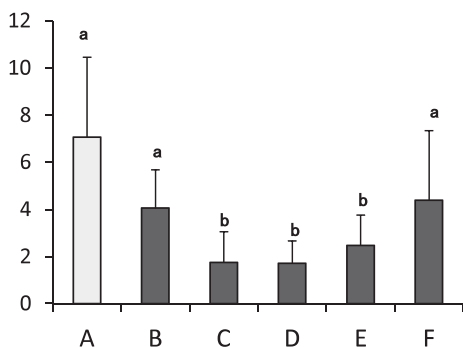
大根の破断応力 [$10^4 \times \text{Pa}$] (加熱20分)



異なる異符号間に有意差あり ($p < 0.01$)

図2. 大根の破断応力 (加熱20分)

大根のもろさ応力 [$10^4 \times \text{Pa}$] (加熱20分)



異なる異符号間に有意差あり ($p < 0.01$)

図3. 大根のもろさ応力 (加熱20分)

破断応力ともろさ応力の相関図

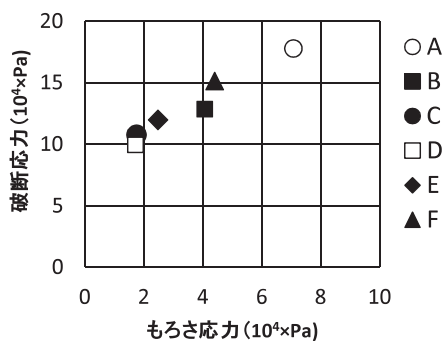


図4. 破断応力ともろさ応力の相関図 (加熱 20分)

大根の加熱20分後における破断応力ともろさ応力の相関図を図4に示した。官能評価において軟らかくみずみずしいと評価を得た「C・D」では、破断応力ともろさ応力がともに低くなり、特に「D」は最も軟らかくなることが確認できた。

加熱5分ごとの破断応力ともろさ応力の経時的变化を図5および図6に示した。加熱10分以

降では、「A」に比べて「B・C・D」では大根の破断応力やもろさ応力が有意に低くなり ($p < 0.05$)、その中でも破断応力において最も低値を示したのが「D」であった。特に「D」は、加熱5分以降において、他の飲泉水より軟化することがわかり、また蒸留水で調理した時よりも5~10分程度調理時間を短縮できることがわかった。

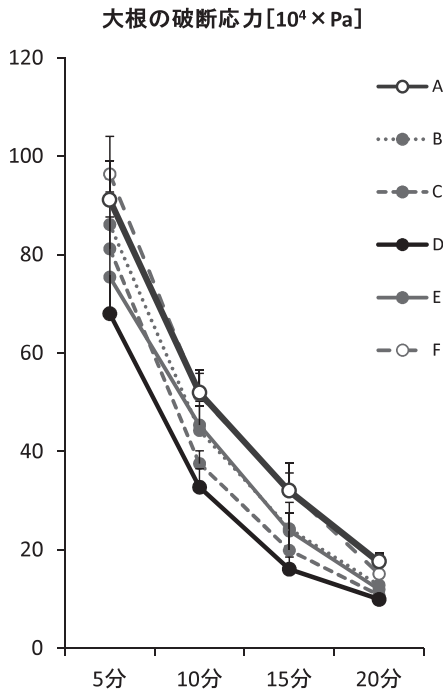


図5. 破断応力の経時的变化

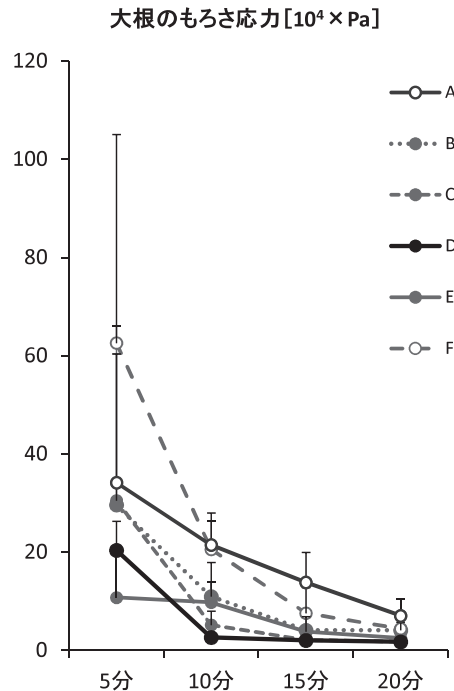


図6. もろさ応力の経時的变化

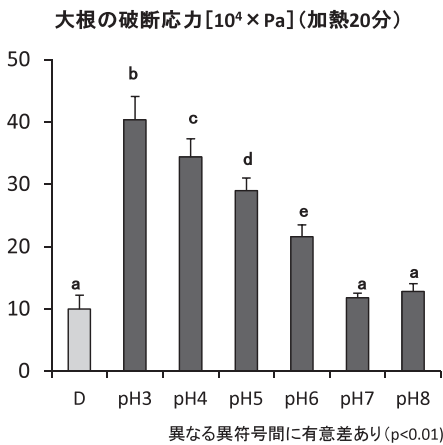


図7. pH 調整液 (pH3~8) の破断応力

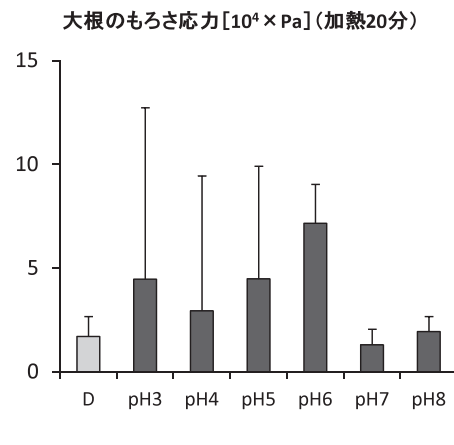


図8. pH 調整液 (pH3~8) のもろさ応力

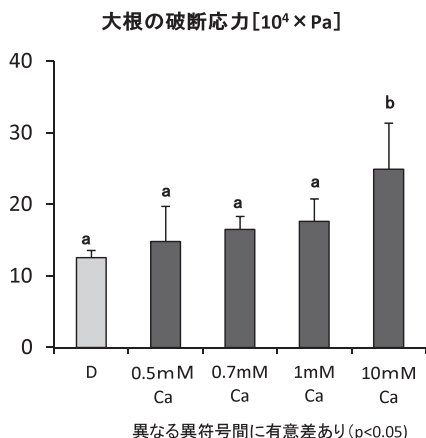


図9. Ca イオン濃度調整液 (0.5mM~10mM)の破断応力

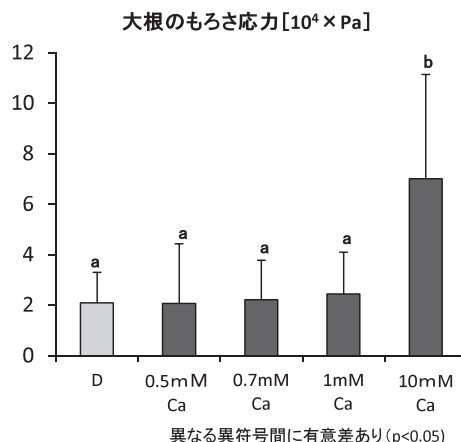


図10. Ca イオン濃度調整液 (0.5mM~10mM)のもろさ応力

官能評価と物理的評価の結果より、大根の煮熟軟化に効果が高い飲泉水としては「D」が最も適しており、また「F」が最も適していないことがわかった。「D」は炭酸水素塩泉でpHの高いアルカリ性泉であり、2価の陽イオン (Mg^{2+} 、 Ca^{2+}) が少ないのが特徴である。「F」は塩化物泉でpHの低い弱酸性泉であり、塩分濃度が高いことが特徴である。泉質の違いが大根の煮熟軟化に影響した要因としてpHと2価の陽イオンに差があることに着目し検討を行った。

(2) 実験2. 大根の煮熟軟化に影響した要因の検討

飲泉水「D」が大根を最も軟化させた要因のひとつとしてpHの違いが考えられたことから、pHの影響について検討を行った。水試料「D (pH8.7)」およびpH調整液 (pH3~8) を用いて、20分加熱した大根の破断応力ともろさ応力の結果を図7および図8に示した。破断応力はpH3からpH7にかけてpHが高くなるにつれて有意に低くなった ($p < 0.01$)。pH7とpH8は差がみられなかったが、「D」は最も低くなる傾向がみられた。もろさ応力はpH3~6に比べてpH7、pH8および「D」において低い傾向がみられた。特にpH7、pH8、pH8.7では大根を軟化させる効果が高いことがわかった。

次に、Caイオン濃度の影響について検討を行った。水試料「D」およびCaイオン濃度調整液 (0.5mM~10mM) を用いて、20分加熱した大根の破断応力ともろさ応力の結果を図9および図10に示した。Caイオン濃度が高くなるにつれて破断応力やもろさ応力が高くなる傾向がみられた。特にCaイオン濃度が10mMの調整液では大根が有意に硬くなることがわかった ($p < 0.05$)。

4. 考察

日本には約27,000本の源泉が存在し、約半数弱が42℃以上の高温源泉である。温泉の泉質は11種類に区分されているが、各源泉の泉質は成分の含有量が異なっており、同じものは存在しない。温泉水中の溶存成分は一般にマグマからの揮発成分の寄与、水と岩石の相互作用による溶解、泉質の異なる温泉水との混合などによりもたらされている。別府温泉郷は約2,300本の源泉があり、10種類の泉質をもっているが、同じ泉質であっても溶存成分の含有量が異なり、pHやイオン濃度に差が生じている。これらの異なる泉質を活かして、どの泉質がどのような調理に適しているのかを実証するために検討を行った。

飲泉水を調理へ活用するために、野菜の煮熟効果について検討した。飲泉水の試料として炭

酸水素塩泉や塩化物泉の中から、pH、塩分濃度、陽イオンや陰イオンの溶存量が異なる飲泉水を選び、大根のテクスチャーに与える影響を検証した。

飲泉水で大根を煮熟した結果、泉質の違いが大根の軟化に影響を及ぼすことがわかった。官能評価では塩化物泉に比べて炭酸水素塩泉の方が軟らかさやみずみずしさの項目が有意に高くなり、物理的評価では破断応力やもろさ応力が有意に低い結果となった。また経時変化の結果から、水で調理するよりも短時間で大根を軟らかくする効果が確認された。炭酸水素塩泉である「B・C・D」を比較した場合、同じ泉質ではあるが、官能評価や物理的評価に差が生じたことから、含有成分の溶存量の違いが大根の軟化に影響しているのではないかと考えられた。

野菜の煮熟軟化を引き起こす要因には、野菜の組織構造や構成成分、煮汁の性質、加熱条件などが関与している。煮汁の性質においては、pH⁸⁾、1価または多価陽イオン⁹⁾、調味料の有無などが確認されている。そこで大根の軟化に影響した要因として、pHと2価の陽イオン濃度に着目した。その理由として、大根の煮熟軟化に効果のみられた飲泉水「D」が、pHの高いアルカリ性泉であり、また2価の陽イオン(Mg²⁺、Ca²⁺)が少ないことから、煮熟軟化に影響していると考えられた。

野菜の軟化に及ぼすpHの影響として、根菜類の野菜をpH4の溶液で煮ると最も軟化しにくく、pH5以上の溶液で煮ると急速に軟化するといわれている⁸⁾。アルカリ性溶液で煮ることによりペクチン質がβ-脱離により分解し、煮汁中に溶出することによって細胞間の結合力が失われることが原因とされている。pH4で野菜が軟化しにくいのは、β-脱離による分解、加水分解、脱塩等が起きにくく、ペクチン質が溶出しにくいためである。

本研究においても、飲泉水「D」を用いて調整したpH調整液で大根を加熱した結果、pH7、pH8およびpH8.7の破断応力は、pH3～6に比べて有意に低くなった。このことから大

根の軟化には飲泉水のpHが大きく影響していると考えられた。

次に野菜の軟化に及ぼす陽イオンの影響として、溶液中の陽イオン濃度がCa²⁺>Mg²⁺>Na⁺の順に野菜が硬くなることが実証されている⁹⁾。大根をCaCl₂液で煮熟し、顕微鏡で観察した結果、第一次壁内に顆粒状物質が残存することにより、細胞壁の強度の低下を抑制するといわれている¹¹⁾。Caイオンなどの2価の陽イオンは、ペクチンの可溶化を防ぐため、食品の硬さを保つ役割があり、果物の缶詰製造の際には軟化防止の目的で使用されている。また野菜の細胞壁中では、ペクチン質はCaイオンなどの多価陽イオンにより不溶性になり、野菜の硬さが保たれている。

本研究においても、飲泉水「D」を用いて調整したCaイオン濃度調整液で大根を加熱した結果、Caイオン濃度が高くなるにつれて破断応力やもろさ応力は高くなる傾向がみられた。Caイオン濃度は10mM以上において硬化しやすいことが確認された。このことにより、大根の軟化には飲泉水のCaイオン濃度が大きく影響していると考えられた。

また、野菜の煮汁中にCaイオンとClイオンが存在すると硬さがさらに増すといわれていることから¹⁰⁾、飲泉水「F」はpHが低だけでなく、Clイオンが多く含まれていたことが軟化しにくかった要因ではないかと考えられた。今後はCaイオン濃度だけでなくClイオン濃度についても検討する必要があると考えられた。

飲泉水が野菜の煮熟軟化に与える要因として、pHとCaイオン濃度のどちらが強く影響したのかについては、pHのほうがCaイオン濃度より軟化への影響が大きいとの報告⁸⁾から、飲泉水においても同様にpHの影響が大きいものと推察され、今後さらなる検証が必要であると考えられた。

これらの結果から、大根を軟らかく煮る時には、炭酸水素塩泉の中でもpHが高く、Caイオン濃度の低い飲泉水が適しており、水に比べて調理時間の短縮にも効果があることがわかっ

た。

炭酸水素塩泉は重曹成分 (NaHCO_3) を多く含む重曹泉である。重曹は調理において野菜、大豆や肉類などの食品を軟化させる効果があるといわれており¹¹⁾、今後は炭酸水素塩泉の飲泉水と重曹水との比較を行う必要があると考えられた。

今回は野菜の煮熟軟化について検討を行ったが、温泉の泉質は多種多様であり、水を用いた様々な料理への活用が期待できることから、各泉質に適した調理法をさらに提案していきたい。

5. 結語

本研究により、泉質の異なる飲泉水を用いて大根の煮熟軟化について調べた結果、飲泉水のpHとCaイオン濃度が大根の軟化に影響していることがわかった。5種類の飲泉水のうち、炭酸水素塩泉の中でも、pHが高くCaイオン濃度の低い飲泉水が大根の煮熟軟化には適しており、さらに水に比べて調理時間の短縮につながることを示唆された。

6. 謝辞

本研究は平成25年度特別強化事業費助成金(別府大学GP)による研究成果の一部である。またご協力いただいた別府大学短期大学部学生および教職員の皆様に深く御礼申し上げます。

7. 引用文献

- 1) 環境省, <http://www.env.go.jp/nature/onsen/docs/index.html>, 2014年10月31日
- 2) 由佐悠紀, 別府温泉の地球科学的研究抄, 温泉科学, 2010, 60, 228-236.
- 3) 鏡森定信, 泉質別にみた温泉の効果, 日本温泉気候物理医学会雑誌, 2006, 69 (4), 223-233.
- 4) Aoyama Y ; Sakoda A ; Nakagawa S ; Yamaoka K ; Kataoka T, Basic study on biochemical mechanism of thoron and thermal therapy, *Physiol Chem Phys Med NMR*, 2006, 38 (2), 85-92.
- 5) Willershausen B; Kroes H; Brandenbusch M. Evaluation of the contents of mineral water, spring water, table water and spa water, *Eur J Med Res*, 2000, 5 (6), 251-62.
- 6) Fraioli A ; Nocchi S ; Mennuni G ; Mamucari S ; Fontana M ; Messina B. Hydrological therapy of renal lithiasis, *Clin Ter*, 1989, 131 (5), 321-330.
- 7) 日本温泉気候物理医学会保険委員会, 日本の医療・介護施設における温泉利用の現状-2012年アンケート調査から-, 日本温泉気候物理医学会雑誌, 2013, 76 (3), 215-220.
- 8) Michiko Fuchigami ; Atsuko Sasaki ; Atsuko Sanmoto ; Sakie Tamura and Hiroe Okuda. Effects of Various Chlorides on the Softening of Cooked Japanese Radish Roots and on the Pectic Composition after Cooking, *J.Home Econ. Jpn*, 1993, 44 (8), 643-648.
- 9) Michiko Fuchigami ; Sakie Tamura and Hiroe Okuda. Effects of Cations and Anions on the Softening of Cooked Japanese Radish Roots and on the Pectic Composition after Cooking, *J.Home Econ. Jpn*, 1993, 44 (8) 649-654.
- 10) Sakie Tamura ; Chie Kawamura ; Takao Senda ; Mchiko Fuchigami. Effects of Various Salts on the Softening of Cooked Japanese Radish Roots and on the Fine Structure of the Parenchyma Cell Wall after Cooking, *J.Home Econ. Jpn*, 1993, 44 (8), 633-641.
- 11) Petracci Massimiliano ; Laghi Luca ; Rimini Simon, Chicken Breast Meat Marinated with Increasing Levels of Sodium Bicarbonate, *Journal of poultry science*, 2014, 51 (2), 206-212.