

《原著論文》

水の硬度が牛肉の煮込みに及ぼす影響

Effect of water hardness on the boiled beef

村上 恵 吹山 遥香* 岩井 律子*
(Megumi MURAKAMI) (Haruka HUKIYAMA) (Ritsuko IWAI)

酒井 真奈未* 吉良 ひとみ**
(Manami SAKAI) (Hitomi KIRA)

Abstract : The purpose of this study was to investigate the effects of water hardness on the physical properties of boiled beef and to clarify whether hard water is suitable for stewed dishes. Using sensory evaluation, we found that beef boiled in hard water (Ca : 300 mg/L) was evaluated more highly than beef boiled in soft water (Ca : 50 mg/L) ; this was true of both the odor and taste of the beef.

When beef was boiled in hard water, the protein on the surface of the beef rapidly solidified, preventing the release of components from the inside even when heated for a long time.

These results suggest that hard water is more suitable for beef stew than soft water.

Key words : water hardness, beef, boil, sensory evaluation

緒 言

近年、種々のミネラルウォーターが市販され、日本のみならずヨーロッパの水も入手できるようになった。一般に日本の水は沖縄を除き、軟水であり、ヨーロッパの水は硬水である。そのため、市販のミネラルウォーターには軟水から超硬水まで様々な硬度のものがあり、最近では飲料としてだけでなく、調理に使用される機会も多くなっている。

調理と水の関係については、以前より料理人の間では経験的に語り継がれてきている。和食の特徴であるかつお節だし¹⁾、昆布だし²⁾では、軟水を使用するとグルタミン酸やイノシン酸などのうま味成分がより引き出され、西洋料理のスープストックでは硬水を用いたとき

に、アクを多く分離し、透明なスープが得られる³⁾と言われてきた。

水の硬度成分はイオン性のカルシウム塩やマグネシウム塩であり⁴⁾、これらの硬度成分が調理に影響すると考えられており、多くの研究結果が報告されている^{1,5)~10)}。肉の調理については、3種類の硬度の水でスープストックをとった残りの牛肉の物性には有意差がなかった¹⁾、肉を煮る場合には軟水を使った方が軟らかく仕上がる⁹⁾、肉の水煮には硬度300程度の硬水が適している¹⁰⁾など異なる見解が得られている。

そこで、本研究では硬度50と硬度300の2種類の水を用いて牛肉を煮込み、牛肉に及ぼす影響を検討するとともに、硬水が煮込み料理に適しているのかを明らかにすることを目的とした。

同志社女子大学生生活科学部

*同志社女子大学生生活科学部 2011年度卒業生

**同志社女子大学生生活科学部 2009年度卒業生

方 法

1. 調理条件

(1) 試料

3 cm 角に切りそろえたオーストラリア産牛もも肉を京都市内の食料品店より購入した。

(2) ゆで水

超純水に硫酸カルシウム（食品添加物用）を添加し硬度 50 (86.1 mg/L), 硬度 300 (516.5 mg/L) に調整した。

(3) 調理方法

硬度 50 と硬度 300 に調整した水 1.2 L (牛肉重量の 4 倍) をそれぞれステンレス製の鍋に移し替えた。そこに 3 cm 角の牛もも肉 10 切れ (約 300 g) を加え、IH キッキングヒーターの強火 (火力 7) で点火した。沸騰後、中火 (火力 3) にし、沸騰後 2~3 分の間にアクをすくった。加熱開始から 60 分が経過したところでそれぞれの鍋から牛肉を取り出した。なお、加熱前後のゆで水の pH と牛肉の重量、加熱中のゆで水および牛肉内部の温度変化を測定した。またアクを沸騰後と 60 分加熱後の 2 回に分けてすくい出した。沸騰後と 60 分加熱後のアクの重量をそれぞれ低温乾燥機で 30℃, 24 時間乾燥させて求めた。

2. 官能評価

官能評価の対象者は事前に実施した説明会で同意の得られた同志社女子大学生活科学部食物栄養科学科 4 回生の学生 88 名で構成され、実施期間は 10 月初旬から下旬、実施時間は 11:00~11:30 および、14:30~15:00 であった。官能評価を行うにあたり、あらかじめ同志社女子大学「人を対象とする研究」倫理審査委員会に研究計画書などを提出し、承認を得た (承認番号 22)。

被験者には、始めに問診書の記入を指示し、官能評価の説明を行った。牛肉を、加熱開始から 60 分が経過したところでそれぞれの鍋から取り出し、A、B とそれぞれ記入したシールを貼った皿に移し、同時に提供した。食べる順序は指定せず、自由とした。飲料用の水も用意した。

官能評価は「外観」、「におい」、「肉の味」、「硬さ」、「総合評価」の 5 項目について、7 段階評点法を行った。すなわち、「外観」は色や形について、とてもよい (+3) から全くよくない (-3)、「硬さ」は第一咀嚼時の硬さについて、とても軟らかい (+3) からとても硬い (3)、「におい」と「肉の味」は、とても強い (+3) からとても弱い (-3)、「総合評価」は、とてもおいし

い (+3) からとてもおいしくない (-3) と評価した。いずれの項目もふつう = 0 と評価した。また、「外観」、「におい」、「肉の味」の良い点、悪い点及びその他感想や気づいたことなどは自由記述とした。

3. 破断測定¹¹⁾

牛肉の破断測定には (株) 山電のクリープメータ RHEONER II (RE 2-33005 S, ロードセル 20 N) と破断強度解析 Windows プログラムを使用した。加熱後の牛肉をカッティングボードで 1 cm 角に切り、測定までの 30 分間アルミトレイに並べ、ラップで密封保存したものを測定試料とした。長さ 30 mm, 幅 1 mm のくさび型プランジャー (接触面積 10.00 mm²) を 0.5 mm/sec の速度で肉の線維に垂直に歪率 80.00% まで貫入させ、格納ピッチ 0.1 sec で荷重-時間データを収集した。このデータを上記ソフトウェアで解析し、破断応力、破断歪率、破断エネルギーを得た。

4. カルシウム量の測定¹²⁾

肉の加熱前後のゆで水 5 mL を 100 mL 容三角フラスコにとり、蒸留水 30 mL を加えた。そこに 8 M 水酸化カリウム溶液 4 mL を加えてよく振り混ぜ、NN 指示薬粉末 0.1 g を加え 3 分間静置した。0.01 M EDTA 滴定液を滴下し、赤色が青色となり赤味がなくなったときを終点とし滴定した。なお、カルシウム量は 0.01 M EDTA 滴定液 1 mL に相当するカルシウム量 0.4008 mg から算出した。

5. ヒドロキシプロリン量の測定¹³⁾

加熱後のゆで水 (約 70 mL) をナス型フラスコに入れ、凍結乾燥した。その後、乳鉢ですりつぶして重量を測定し、使用するまで冷凍庫 (-20℃) で保存した。上記の凍結乾燥試料の全量をバイアル瓶に入れ、6 M 塩酸 5 mL を加え、瓶内を窒素置換した後、110℃ で 24 時間加水分解した。冷却後、1 M 水酸化カリウムを徐々に加え、pH 試験紙で pH 7-8 に調整し、試料溶液とした。

ねじ口試験管に塩化カリウム 2 g 及び 0.5 M ホウ酸緩衝液 1 mL を加えた。これに試料溶液 2 mL を加えた後、時々振り混ぜながら室温で 15 分間、続いて 0℃ (氷浴中) で 15 分間放置した。次に 0.2 M クロラミン T 溶液 1 mL を加え、時々振り混ぜながら 0℃ に 2 時間放置した後、3.6 M チオ硫酸ナトリウム溶液 2 mL を加え、密栓し、沸騰水浴中で 30 分間加熱した。水道水で室温まで冷却した後、トルエン 3 mL を加え、20 分間激しく振

こうした。遠心分離 (1500 rpm, 5分, 室温) 後, トルエン層 2 mL を分取し, これにエーリッヒ試薬 0.8 mL を加え, 室温に 30 分間放置した。この溶液の波長 560 nm での吸光度を分光光度計で測定した。対照にはトルエン 2 mL にエーリッヒ試薬 0.8 mL を加えて同様に操作したものを使用した。なお, ヒドロキシプロリン標準液を用いて検量線を作成し, この検量線から試料中のヒドロキシプロリン量を算出した。

6. 統計処理

データは平均値±標準偏差で示し, 有意差検定はスチューデントの t 検定 (Excel 統計 2010) を行った。

結果および考察

1. pH 測定

加熱前後のゆで水の pH の変化について表 1 に示した。硬度 50, 硬度 300 ともに加熱前より加熱後の方が有意に高くなった。これは, 水に溶け込んでいた空気中の二酸化炭素が加熱によって揮散したことによると考えられた¹⁴⁾。

2. 重量測定

加熱前後の牛肉 (3 cm 角, 1 個当たり) の重量変化を表 2 に示した。硬度 50 の水で煮込んだ牛肉も硬度 300 の水で煮込んだ牛肉も加熱前の重量は約 30 g であり, 加熱後は約 17 g に減少した。硬度 50 と硬度 300 の間で有意な重量の差はなかった。

3. ゆで水の温度および牛肉の内部温度

ゆで水の温度は硬度 50, 硬度 300 ともに点火から約 6 分で 98℃ に達し, 温度上昇に差はなかった。また, 牛

表 1 ゆで水の pH

	加熱前	加熱後
硬度 50	5.55 ± 0.31**	5.96 ± 0.07**
硬度 300	5.36 ± 0.26**	5.84 ± 0.06**

**p<0.01 (n=18)

表 2 牛肉の重量変化

	加熱前 (g)	加熱後 (g)
硬度 50	32.6 ± 2.7	17.0 ± 1.1
硬度 300	30.4 ± 4.7	17.6 ± 4.6

硬度 50: 硬度 50 の水で煮込んだ牛肉 (n=9)
硬度 300: 硬度 300 の水で煮込んだ牛肉

肉の内部温度は, 硬度 50, 硬度 300 ともに 28 分付近で 97℃ に達し, それ以降は 97~99℃ に保たれていた。

ゆで水の硬度の違いによって, ゆで水の温度および牛肉の内部温度の上昇には差がなく, 牛肉の中心部への熱の伝わり方にも差がないことがわかった。

4. アクの重量

牛肉を煮込んだ際に生じたアクの重量を表 3 に示した。

60 分加熱後は牛脂が多く含まれたアクが観察された。硬度 50 と硬度 300 のアクの重量の間には, 沸騰後, 加熱後ともに有意差は認められなかったが, 硬度 50 に比べて硬度 300 ではアクの合計重量がやや多くなる傾向がみられた。

アクは, ゆで水中のカルシウムが牛肉のゼラチンや血液などのタンパク質と結合することで浮き上がるため, カルシウムイオンが多く含まれている硬水で多く分離される^{1,15)}と報告されている。今回の結果は, アクの重量が硬度 50 よりも硬度 300 で多い傾向を示したが, 有意差はなかった。これは硬度 30 と硬度 291 で実験した坂本らの報告¹⁾とも一致した。硬度 50 と硬度 300 程度の硬度の差ではアクの重量に明確な差が認められなかったと考えられた。

アクの約 75% は脂質¹⁶⁾と報告されており, この脂質は水中で加熱すると 40~50℃ で融解¹⁷⁾し, ゆで水中に溶け出してカルシウムと結合することでアクとなる。60 分加熱後に牛脂を多く含んだアクが観察されたのはこのためである。

5. 官能評価

官能評価の結果を表 4 に示した。

硬度 50 の水で煮込んだ牛肉 (以下, 硬度 50 と略記する) ではすべての項目において硬度 300 の水で煮込んだ牛肉 (以下, 硬度 300 と略記する) よりも評価が低くなった。「外観」及び「硬さ」では硬度 50 と硬度 300 の間で有意差は認められなかったが, 「におい」と「肉の味」の項目では, 硬度 50 より硬度 300 は有意に強いと評価され, 「総合評価」でも, 硬度 300 の方がおいしいと評

表 3 アクの重量

	沸騰後 (g)	加熱後 (g)	合計 (g)
硬度 50	0.58 ± 0.10	7.76 ± 3.38	8.34 ± 3.48
硬度 300	0.69 ± 0.17	8.08 ± 4.03	8.77 ± 4.17

(n=10)

水の硬度が牛肉の煮込みに及ぼす影響

表4 官能評価 (7段階評点法)

	外観	におい	肉の味	硬さ	総合評価
硬度 50	-0.61 ± 1.29	-0.07 ± 1.15**	-0.24 ± 1.36*	-0.43 ± 1.44	-0.37 ± 1.33*
硬度 300	-0.08 ± 1.19	0.42 ± 1.13**	0.23 ± 1.12*	-0.49 ± 1.36	0.05 ± 1.16*

硬度 50：硬度 50 の水で煮込んだ牛肉
 硬度 300：硬度 300 の水で煮込んだ牛肉

*p<0.05 **p<0.01 (n=88)

備された。

「外観」については加熱後の牛肉の色に変化がなかったと考えられ、牛肉の色素たんぱく質であるミオグロビンの加熱変性に硬度成分は影響をしないと考えられた。

「におい」の項目では、硬度 50 に比べ、硬度 300 の方が有意に肉のにおいを感じると評価され、自由記述においても硬度 50 では肉のにおいや臭みを感じない人が多く、硬度 300 で牛肉のにおいを感じる人が多かった。すなわち、牛肉のにおいを強く感じる事が「総合評価」でおいしいと評価されたことに寄与していると考えられた。牛肉のにおいは、生肉中では不揮発性であった前駆体が加熱による化学反応によって揮発性の牛肉の芳香(牛肉っぽいにおい)を発生¹⁸⁾。硬水では、高濃度に存在するカルシウムイオンが水煮初期の段階に牛肉表面のタンパク質と結合し¹⁰⁾、牛肉を凝縮させると考えられるため、水溶性部分に含まれているにおいの前駆体の溶出を抑制し、加熱により生じたにおいを肉中に閉じ込めたと考えられた。

「肉の味」についても、硬度 50 に比べ硬度 300 は肉の味を感じると評価され、自由記述においても同様に硬度 300 で肉の味を感じる人が多かった。これは肉エキス中に含まれるアミノ酸、ペプチド、核酸関連物質などの呈味成分¹⁹⁾が、牛肉表面の凝縮によって肉中に閉じ込められたと推測された。

「硬さ」については有意な差は見られなかった。「におい」や「肉の味」の結果は、カルシウムイオンによる肉タンパク質の凝縮を示唆したので、硬度 300 では硬く感じられると予測されたが、差は認められなかった。今回の評価では、第一咀嚼時の硬さを指定していたが、官能評価で判別できるほどの差はなかったと推察された。

以上の結果から、官能評価では、硬度 50 よりも硬度 300 の方が「におい」と「肉の味」の項目で強く感じると評価された結果、「総合評価」で硬度 300 がおいしいと評価され、好まれていることがわかった。

6. 破断測定

60分加熱後の牛肉の破断測定を行い、結果を表5に

表5 牛肉の破断測定

	破断応力 (×10 ⁶ Pa)	破断歪率 (%)	破断エネルギー (×10 ⁴ J/m ³)
硬度 50	2.11 ± 0.26	66.50 ± 6.72	5.68 ± 0.97*
硬度 300	2.08 ± 0.25	65.09 ± 7.75	5.51 ± 0.56*

硬度 50：硬度 50 の水で煮込んだ牛肉 *p<0.05 (n=20)
 硬度 300：硬度 300 の水で煮込んだ牛肉

表6 ゆで水中のカルシウム量

	加熱前 (mg/L)	加熱後 (mg/L)
硬度 50	24.35 ± 0.93	26.30 ± 1.35
硬度 300	147.16 ± 2.02*	120.89 ± 8.42*

*p<0.05 (n=9)

示した。

破断応力および破断歪率では、硬度 50 に比べ、硬度 300 の値が低くなる傾向がみられた。これは、硬度 300 が軟らかく、噛み切りやすい傾向を示している。破断エネルギーでは、硬度 50 より硬度 300 が有意に低値を示し、硬度 300 の第一咀嚼時のエネルギーの方が小さかった。以上の結果は、硬度 300 を噛むときの力が硬度 50 よりやや少なくてすむ、すなわち、やや軟らかいことを示唆した。この傾向は鈴野らの報告¹⁰⁾とも一致していた。機器測定ではこの違いを判別できるが、官能評価では判別が困難であると考えられた。

7. カルシウム量

加熱前後のゆで水中のカルシウム量の結果を表6に示した。硬度 50 では加熱によってカルシウム量が増加する傾向がみられ、硬度 300 では有意に減少した。後者における減少の理由として、アクと共に取り除かれたことが考えられる^{20, 21)}。また、硬度 300 では上述の官能評価における「におい」や「肉の味」と同様に、牛肉表面の凝縮により、牛肉内部に含まれていたカルシウムが加熱中に流出することを防いだと推測した。硬度 50 の場合、ゆで水中のカルシウム量が少ないため、アクと共に取り除かれる量は少ないと考えられる。また、硬度 300 に比

表7 ゆで水中のヒドロキシプロリン量

	ヒドロキシプロリン (mg/100 mL)
硬度 50	1.0±0.1
硬度 300	0.9±0.2

(n=4)

べ牛肉表面のタンパク質との結合も少ないと推測されるため、牛肉内部のカルシウムが流出しやすく、加熱後のカルシウム量が増加傾向を示した可能性が考えられた。

8. ヒドロキシプロリン量

肉の軟化にはコラーゲンが影響しており、長時間の煮込みによりコラーゲンが水溶性のゼラチンに分解され、肉が軟らかくなると報告されている²²⁾。そこで、ゆで水中に溶解出したヒドロキシプロリン量の測定を行った。これは、ヒドロキシプロリンがコラーゲン構成アミノ酸の約11~14%を占め、コラーゲンにほぼ特異的に存在しているためである²³⁾。

表7に加熱後のゆで水中のヒドロキシプロリン量の結果を示した。その結果、硬度50と硬度300ではヒドロキシプロリン量に差は認められなかった。これは、コラーゲンの溶解度に変化がないことを表し、コラーゲン分子のゼラチン化によっておこる肉の軟化に硬度成分は影響しないことがわかった。

以上の結果より、硬度50に比べ、硬度300の水で煮込んだ牛肉は「総合評価」でおいしいと評価され、その要因として牛肉の「におい」と「肉の味」が大きく関与していることが明らかとなった。牛肉の「硬さ」については、破断測定の結果から硬度300で煮込んだ牛肉は軟らかくなる傾向を示したものの、官能評価では判別できず、おいしいと評価される主要因とは断定できなかった。これまでの総合的に考えると、硬度300の水で牛肉を煮込むと、カルシウムイオンと牛肉表面のタンパク質が急速に結合し、凝縮することで、長時間加熱しても肉内部からの肉汁の流出や肉の硬化を防いだと考えられる。その結果、牛肉の好ましいにおいや味が保持されるとともに、軟らかくなる傾向を示したと推察された。

したがって、牛肉の煮込みには硬度50より硬度300の方が適していると考えられた。

要 約

本研究では2種類の硬度の水を用いて牛肉を煮込み、牛肉に及ぼす影響を検討するとともに、硬水が煮込み料

理に適しているのかを明らかにすることを目的とした。

官能評価では、硬度50よりも硬度300の水で煮込んだ牛肉の方が「におい」と「肉の味」の項目で強く感じると評価され、総合的に硬度300が好まれていることがわかった。

破断特性として、破断応力および破断歪率で、硬度50に比べ、硬度300の値が低くなる傾向がみられ、破断エネルギーでは、硬度50より硬度300が有意に低値を示した。これは硬度300の方が軟らかく、噛み切りやすい傾向にあることを示唆した。破断測定の結果からは硬度300は軟らかくなる傾向を示したものの、官能評価では判別できず、牛肉の「硬さ」はおいしいと評価される主要因とは断定できなかった。

カルシウム量は、硬度50では加熱に伴う牛肉内部からの流出によって増加する傾向がみられ、硬度300ではアクと共に取り除かれ、さらに牛肉表面のタンパク質との結合により有意に減少すると考えられた。

ヒドロキシプロリン量では硬度50と硬度300で差はみられなかった。これは、コラーゲンの溶解度に変化がないことを表し、コラーゲン分子のゼラチン化によっておこる肉の軟化に硬度成分は影響しないことがわかった。

以上より、硬度300の水で牛肉を煮込むと、カルシウムイオンと牛肉表面のタンパク質が急速に結合し凝縮することで、長時間加熱による肉内部からの肉汁の流出や肉の硬化を防いだと考えられた。その結果、牛肉の好ましいにおいや味が保持されるとともに、軟らかくなる傾向を示したと推察された。

したがって、牛肉の煮込みには硬度50より硬度300の方が適していると考えられた。

謝 辞

本研究への御指導ご協力ならびに牛肉の提供をしていただきました。むら瀬様に感謝いたします。官能評価にご協力いただいた、同志社女子大学生活科学部食物栄養科学科の皆様へ感謝いたします。

引用文献

- 1) 坂本真里子, 河野一世, 熊谷まゆみ, 赤野裕文, 畑江敬子: 水の硬度が煮出し汁の嗜好性と溶出成分に及ぼす影響, 日本調理科学会誌, **40(6)**, 427-434 (2007)
- 2) 鈴野弘子, 豊田美穂, 石田裕: ミネラルウォーター類の使用が昆布だし汁に及ぼす影響, 日本食生

水の硬度が牛肉の煮込みに及ぼす影響

- 活学会誌, **18(4)**, 376-381 (2008)
- 3) 水で料理はどう変わる? 専門料理 9月号, 柴田書店, 77-83 (2005)
- 4) 野口駿 (1995) 食品と水の科学, 原田宏, 株式会社幸書房, 東京都, pp.84-85
- 5) 池田博子: 水の硬度が抹茶の起泡性に及ぼす影響, 日本調理科学会誌, **39(4)**, 254-258 (2006)
- 6) 米田泰子, 加藤佐千子: ミネラルウォーターで抽出したコーヒー, 紅茶, 緑茶の成分および嗜好性, ノートルダム女子大学研究紀要, **26**, 41-51 (1996)
- 7) 下橋淳子, 寺田和子: 紅茶水色に対する金属塩類および水の硬度の影響, 日本調理科学会誌, **26(3)**, 225-229 (1993)
- 8) 大西真理子, 庄司一郎, 小川宣子, 加藤好光, 長岡俊治, 下村道子: カルシウムイオン水が炊飯における飯の組織形態に及ぼす影響, 日本家政学会誌, **53(11)**, 1087-1096 (2002)
- 9) 久保田昌治, 石谷孝佑, 佐野洋 (2008) 食品と水, 株式会社光琳, 東京都, pp.290-292
- 10) 鈴野弘子, 石田裕: 水の硬度が牛肉, 鶏肉およびじゃがいもの水煮に及ぼす影響, 日本調理科学会誌, **46(3)**, 161-169 (2013)
- 11) 高橋智子, 斎藤あゆみ, 川野亜紀, 朝賀一美, 和田佳子, 大越ひろ: 牛肉, 豚肉の硬さおよび官能評価におよぼす重曹浸漬の影響, 日本家政学会誌, **53(4)**, 347-354 (2002)
- 12) 菅原龍幸, 青柳康夫 (2003) 新版食品学実験書, 株式会社建帛社, 東京都, pp.18-19
- 13) 永谷康典, 武藤泰章, 佐藤宏, 飯島昌夫: ヒドロキシプロリンの改良定量法, 薬学会誌, **106(1)**, 41-46 (1985)
- 14) 河野友美 (1992) 水・飲料, (株) 真珠書院, 東京都, p.46
- 15) 三橋富子, 田島真理子: 水の硬度がスープストック調製時のアク生成に及ぼす影響, 日本調理科学会誌, **46(1)**, 39-44 (2013)
- 16) 沖谷明紘 (1996) 肉の科学, 株式会社朝倉書店, 東京都, p.127
- 17) 沖谷明紘 (1996) 肉の科学, 株式会社朝倉書店, 東京都, p.116
- 18) 伊藤肇躬 (2007) 肉製品製造学, 株式会社光琳, 東京都, p.1130
- 19) 沖谷明紘: 食肉のおいしさの決定要因, 栄養学雑誌, **60(3)**, 119-129 (2002)
- 20) 奥嶋佐知子, 高橋敦子: 硬度の異なるミネラルウォーターで調製しただしのミネラル含有量と食味について, **60(11)**, 957-967 (2009)
- 21) 水で料理はどう変わる? 専門料理 11月号, 柴田書店, 90-92 (2005)
- 22) 畑江敬子: 総説 牛肉の加熱調理に伴う変化, 食肉の科学, **43(2)**, 121-129 (2002)
- 23) 横山洋子, 浜名康栄, 石川治: コラーゲン構成アミノ酸ヒドロキシプロリンの逆相 HPLC による定量分析, 群馬保健学紀要, **24**, 111-116 (2003)

(2019年10月17日受理)
(2019年11月26日採択)