

大豆の家庭調理による放射性セシウム量の低減

Variation in Amount of Radioactive Cesium Before and After Cooking of Soybean

小林未希¹、齋藤文也¹Miki KOBAYASHI¹ and Fumiya SAITO¹¹公立大学法人 会津大学短期大学部 食物栄養学科

Department of Nutrition, Junior College Division, Aizu University Email: mikikoba@jc.u-aizu.ac.jp

要約

災害時でも身近な食材で普段の食事をするを課題とし、大豆を家庭で調理する際に通常行う浸漬と煮熟により、大豆の放射性セシウムがどの程度低減するかを知る目的で研究を行った。浸漬は7方法を、煮熟する鍋は2種類を調べた。その結果、浸漬は魔法瓶に大豆と湯または重曹湯を入れて行う保温法が高い除去率を示した。これらの大豆を煮熟すると低減の効果がさらに高まり、放射性セシウムの残存割合は約0.2および0.4であった。

キーワード：大豆、放射性セシウム、調理、浸漬、煮熟

Summary

We investigated the effect of reduction of radioactive cesium in soybeans during cooking. A dried soybean grain contained radioactive cesium (^{134}Cs plus ^{137}Cs : 90 to 100 Bq/kg). The soybean was soaked with 7 kinds of different solutions, namely water, sodium bicarbonate water, vinegar diluted water, sake diluted water, hot water, salt water and sodium bicarbonate hot water. The soaking was conducted under the conditions of the solutions at 20°C or 85°C and time of 16 hours or 6 hours. Thereafter, drained soybeans were measured with a germanium semiconductor detector. The processing factor was the reduction percentage of radioactive cesium concentration in the soybean before and after soaking. The processing factor in water, sodium bicarbonate water, vinegar water, sake water, hot water, salt water and sodium bicarbonate hot water was 19.6%, 20.2%, 14.4%, 11.3%, 50.3%, 15.2% and 62.6%, respectively. Further, the soybeans soaked with water, hot water and sodium bicarbonate hot water were boiled with a stainless steel pan and a pressure cooker. Then, the remaining radioactive cesium in the boiled soybeans was measured. The processing factor was the percentage of radioactive cesium concentration in the soybean before and after boiling. The processing factor in water, hot water and sodium bicarbonate hot water was 0.6, 0.4 and 0.2, respectively. The result suggests that soaking soybean with sodium bicarbonate hot water reduced radioactive cesium.

Key words : soybean, radioactive cesium, cooking, soaking, boiling

1. はじめに

食品の加工・調理による放射性物質除去の研究は、1990年代にチェルノブイリ原子力発電所の事故による事例をはじめ海外で多く報告され、これらの内容は国内でもまとめられていた¹⁾。2011年3月11日に発生した東日本大震災に起因した東京電力(株)福島第一原子力発電所の事故において、放射性物質の食品への影響対策に、当初これらが少なからず参考とされた。しかし作物種や加工方法・調理方法の違いなどから、我が国の事情に当てはめることが難しいものも多かった。このことから今回の事故を機会に、国内でも同様の研究が進められ多くの報告が行われている^{2,3,4,5,6,7,8,9)}。これらの報告では、穀類、葉菜類、根菜類、豆類、果樹類など多種類の農作物が取り扱われており、加工と調理の両方にとって参考となるものが多い。しかし豆類とくに大豆においては、豆腐や納豆などの加工場を想定したものも多く、一般家庭における調理を想定したものは少ない。大豆は現在、加工食品としての需要が高くそのため生産物の多くは食品工場に向けられている。しかしたんぱく質の豊富な大豆は、畑の肉と称され、我が国においては古くから常食され、一般家庭における調理の頻度も高い。

災害発生を想定したとき、直後からしばらくの期間は備蓄食材や家庭菜園の作物など身近にあるものの活用が考えられる。そのようなときこそ心身のゆとりのために、普段の食材を用いていつもの調理法で作った食事が最も理想的であると考え。また災害時には、できるだけ行政の援助に頼らず、個人ができることは自ら対応すると

いうことが、今後の防災対策の大きな課題とされている。このようなことから、家庭における災害時の調理について把握しておくことは、非常に重要なことと考える。本研究では、大豆について家庭における一般的な調理法による放射性物質の除去について調べた。今回のような原子力発電所の事故が今後は起きないことを心より願うが、しかし同様の災害時において、食材の安全性確保の知見を備えておくことは重要であると考え本研究を行った。

2. 方法

大豆は乾燥後に収穫されるため組織が硬く、軟化させるためにまず浸漬し、吸水させてから煮熟する。浸漬には水を用いるほかに、食塩水や重曹水などが用いられる。食塩水の場合は大豆が柔らかくなるのが速いとされ^{10,11)}、重曹によるアルカリ液の場合も煮熟した豆が柔らかいとされる^{12,13,14)}。また浸漬時に味付けも兼ねて水に酢や日本酒を加えることもある。さらに軟化を速める方法として、浸漬に湯と魔法瓶を用いた方法もある¹⁵⁾。大豆を煮熟するための鍋は、家庭では通常のステンレス鍋のほか圧力鍋も多く用いられる。本研究における調理法として、このようないくつかの条件を考慮して行った。

(1) 試料

平成25年8月に、放射性セシウム濃度が基準値以下(100~90Bq/kg)の大豆(前年秋収穫)を、福島県内において入手し、使用直前まで5°Cの冷蔵庫で保管した。放射性セシウム濃度の測定は、原材料の大豆、洗浄後の大豆、浸漬後の大豆、煮熟後の大豆について行い、それぞ

れの工程における放射性セシウムの除去率および残存割合について調べた。

(2) 調整

1) 洗浄

洗浄は大豆300gに対し水道水600g（20℃, 20回攪拌/20秒）を用いて行い、これを3回繰り返した。ざるを用いて10分間の水切り後に大豆の重量を測定し、その後洗浄した大豆の放射性セシウム濃度の測定を行った。

2) 浸漬

浸漬条件は、洗浄後に10分間水切りした大豆を300g、浸漬液を1,500g、時間は水温20℃で16時間および85℃で6時間とした。浸漬液は水、重曹水、酢水、日本酒水、食塩水、湯および重曹湯の7種類を用いた。

水による浸漬は、ステンレスボウルに水1,500g（水温20℃）と洗浄後の大豆300gを入れ、16時間浸漬した。

重曹水による浸漬は、ステンレスボウルに水1,470gを入れ、重曹30gを溶かして2%の重曹希釈水（水温20℃）を作り、洗浄後の大豆300gを加えて16時間浸漬した。

酢水による浸漬は、ステンレスボウルに水1,470gを入れ、穀物酢30gを溶かして2%の酢希釈水（水温20℃）を作り、洗浄後の大豆300gを加えて16時間浸漬した。

日本酒水による浸漬は、ステンレスボウルに水1,350gを入れ、日本酒（アルコール度数13%以上14%未満）150gを溶かして10%の日本酒希釈水（水温20℃）を作り、洗浄後の大豆300gを加えて16時間浸漬した。

食塩水による浸漬は、ステンレスボウルに水1,470gを入れ、食塩30gを溶かして2%の食塩水（水温20℃）を作り、洗浄後の大豆300gを加えて16時間浸漬した。

湯による浸漬は、魔法瓶（内訳：容量；2.2ℓ，内瓶；ステンレス鋼，保温効力；50℃以上/24時間，76℃以上/6時間）に沸騰させた95℃の湯1,500gと洗浄後の大豆300gを入れて6時間浸漬した（開始時水温85℃，終了時64℃）。

重曹湯による浸漬は魔法瓶に湯1,470gを入れ、重曹30gを溶かして2%の重曹希釈湯を作り、そこに洗浄後の大豆300gを入れて6時間浸漬した（開始時水温85℃，終了時64℃）。

浸漬処理終了後、それぞれの大豆はざるを用いて10分間水切りを行い、重量を測定した。その後、浸漬した大豆について放射性セシウム濃度の測定をした。

3) 煮熟

水、湯および重曹湯による3種類の浸漬大豆を、家庭で通常用いられるステンレス鍋（直径：20cm）および圧力鍋（直径：22cm）を使用し、ガスコンロで煮熟した。いずれの浸漬大豆にも水700gを加え、ステンレス鍋の場合は食べられる硬さ（加圧500gでつぶれる硬さ）になるまで加熱し（水浸漬大豆と湯浸漬大豆は沸騰後に弱火で50分間、重曹湯浸漬大豆は沸騰後に弱火で20分間）、圧力鍋の場合はいずれも加圧後に弱火で5分間加熱し、消火後15分間蒸らした。圧力鍋の加熱時間条件は、使用説明書を参考にいずれの浸漬大豆も同じとした。

煮熟後、それぞれの大豆はざるで10分間水を切り重量を測定後に、放射性セシウム濃度の測定を行った。

(3) 放射性セシウムの測定方法

大豆のサンプルをV-5容器に充填し、ゲルマニウム半導体検出器（テクノエーピー社製，TG150B）を用いて¹³⁴Csと¹³⁷Csの濃度を測定した。測定時間は3,600秒で行い、¹³⁴Csと¹³⁷Csの合計値を放射性セシウム濃度とした。

大豆の調理過程における放射性セシウムの除去率、残

存割合の算出は内田の報告³⁾および原環センター技術報告書(2013年)⁸⁾に従い次式で行った。なお、大豆は洗浄、浸漬、煮熟による水分吸収のため増体するのでそれぞれ重量比を求め、また摂食時は膨潤した状態(生重量)であることから、本研究においても生重量を用いて算出した(乾燥重量では示さなかった)⁶⁾。

- ・重量比＝処理後の大豆重量÷原材料大豆の重量
- ・放射性セシウムの濃度比＝処理後大豆の放射性セシウム濃度÷原材料大豆の放射性セシウム濃度
- ・残存割合＝放射性セシウムの濃度比×重量比
- ・除去率(%)＝(1－残存割合)×100

(4) 統計解析

大豆のそれぞれの調理過程における測定は、3回の繰り返し実験で行った。各値は3回の平均値±標準偏差で示した。各処理方法間における平均値の有意差検定は、Excel 2013 (Microsoft)に追加したアドインソフトExcel 統計 2012 ((株) 社会情報サービス)を用い、一元配置法により分散分析を行い、Tukeyの多重検定により検討した。

3. 結果

(1) 洗浄および浸漬による放射性セシウムの除去率

水により洗浄した大豆と、洗浄後に7つの方法で浸漬した大豆の測定結果を図1に示した。原材料大豆を水で洗浄することにより、放射性セシウムは $8.0 \pm 5.42\%$ 除去されることが示された。また洗浄後の大豆をそれぞれの方法で浸漬を行った場合、放射性セシウムの除去率は重曹湯によるものが最も高く $62.6 \pm 0.91\%$ であった。その次に湯による浸漬の除去率が高く $50.3 \pm 4.38\%$ であった。一方、重曹水を用いた場合は $20.2 \pm 3.83\%$ 、水は $19.6 \pm 3.1\%$ 、酢水は $14.4 \pm 1.22\%$ 、日本酒水は $11.3 \pm 3.77\%$ 、食塩水は $15.2 \pm 2.83\%$ であり、それぞれの間に有意な差は認められなかった。

(2) 煮熟による放射性セシウムの残存割合

浸漬を水、湯および重曹湯で行った大豆について、それぞれステンレス鍋および圧力鍋を用いて煮熟した。図2に煮熟大豆の放射性セシウム残存割合を示した。原材料大豆の放射性セシウム残存割合を1とした場合、水による浸漬後にステンレス鍋および圧力鍋で煮熟した大豆の残存割合は、 0.60 ± 0.03 および 0.66 ± 0.04 でありこの2つの間に有意な差は認められなかった。また、湯による浸漬後にステンレス鍋および圧力鍋で煮熟した場合の残存割合は、 0.42 ± 0.04 および 0.40 ± 0.01 であり、2つの間に有意な差は認められなかった。重曹湯の浸漬後にステンレス鍋および圧力鍋で煮熟した場合の残存割合は、 0.20 ± 0.05 および 0.19 ± 0.01 でこの2つの間にも有意な差は認められなかった。このことから同じ浸漬方法であれば、使用した鍋が違っていても放射性セシウムの残存割合に差が無いことが示された。一方、浸漬法の違いについてはどちらの鍋を使った場合でも、重曹湯浸漬法の大豆の放射性セシウム残存割合が有意に低く、次に湯浸漬の大豆であり、水浸漬の大豆が最も高い値であった。

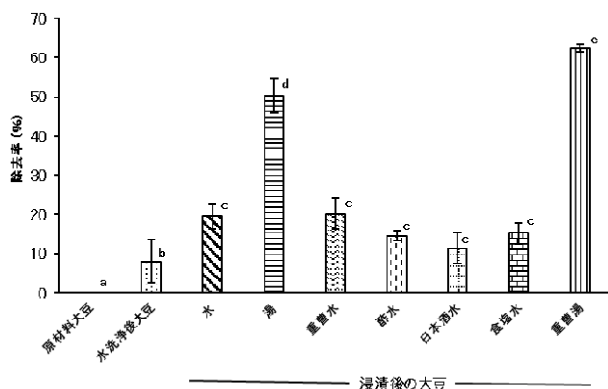


図1. 大豆の洗浄および各浸漬法による放射性セシウムの除去率
(n=3, 平均値±SD, p<0.01, 異符号間に有意差有り)

4. 考察

本研究では放射性セシウム濃度が基準値以下（100～90Bq/kg）の大豆を用い、家庭で一般的に行われる調理法による放射性物質の除去について調べた。調理法の過程として水洗浄、浸漬、煮熟を想定した。浸漬には水、重曹水、酢水、日本酒水、食塩水、湯、重曹湯を用い、煮熟はステンレス鍋および圧力鍋を用いて行った。また、浸漬および煮熟後に大豆の水切りを行ったが、これは放射性セシウムの浸漬水および煮熟水への移行⁶⁾が考えられるためである。浸漬水を放棄して新たな水で煮熟する場合と、浸漬水を用いて煮熟する場合を比べると、豆の栄養成分量にほとんど差がない¹⁶⁾ことから、浸漬水は使用しないこととした。

原材料の大豆を水で洗浄したことによる放射性セシウムの除去率は、 $8.0 \pm 5.42\%$ であった。このことから、水の洗浄によっても多少の除去が行われることが示された。本研究よりも放射性セシウム濃度が高い（310 Bq/kg）大豆を用いたHachinohe *et al.*⁶⁾の報告では、洗浄水への移行は約1%であった。測定の対照が洗浄後の大豆と洗浄した水との違いがあり一概に比較はできないが、水洗浄後の大豆の重量比（1.05）を考慮しても、本研究の除去率が高かったことになる。放射性物質の農作物への移行は、大きく2つの経路が考えられる。大気中の放射性物質が、農産物の表面に直接付着する場合と、畑作土壌に降下して作物の根から吸収され、それが移行する場合であるが、事故から3年経過した現在は後者によるものが多いと考えられている^{3,8)}。しかし大豆においては、乾燥や収穫作業時における土ぼり等からの二次的な影響も指摘されている⁵⁾。水の洗浄による除染率は小さいが、このような状況に対しては有効であると考ええる。

浸漬による放射性セシウム除去率は、いずれの方法でも原材料の大豆に対し有意に効果が示された。しかし水、重曹水、酢水、日本酒水および食塩水のそれぞれ20℃における浸漬では、いずれも除去率が10～20%と低く相互間の差もなかった。これらの浸漬大豆の重量は原材料大豆の2.0～2.3倍になり、体積も同様に増している。水による浸漬に比べ、重曹水や食塩水などは軟化を促進するとされる^{11,17)}。しかし今中¹⁴⁾は低温における大豆の浸漬について、水分吸収による細胞の膨潤はおこるが細胞組織の崩壊はあまり見られないことを報告している。放射性セシウムは大豆の細胞内にあるため、主に細胞組織の変性や崩壊によって放射性セシウムが排出されると考えら

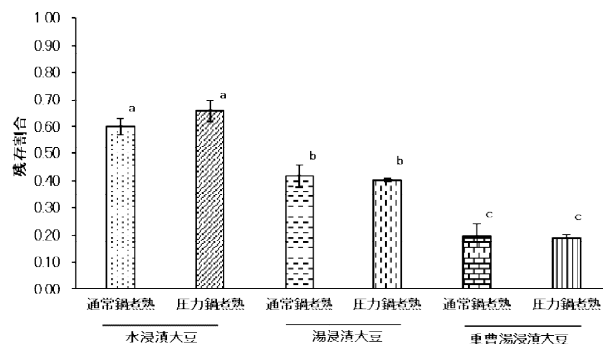


図2. 浸漬法と鍋の組み合わせ
煮熟大豆の放射性セシウム残存割合
(n=3, 平均値±SD, p<0.01, 異符号間に有意差有り)

れている^{3,8)}。このようなことから水温20℃の浸漬法では、除去率はあまり高くないものと考ええる。

一方、重曹湯および湯を魔法瓶で保温しながら行う浸漬法は放射性セシウムの除去率が高く、水温20℃の各浸漬法よりも2～3倍の値を示した。またこの浸漬法では、重量が原材料大豆の2.3～2.5倍となった。Nakamura *et al.*¹⁸⁾、浅野ら¹⁹⁾は浸漬の温度について、高温の方が水分の吸収時間が早いことを報告している。しかし水温20℃の各浸漬大豆と比較して、重量比の増加以上に重曹湯および湯の浸漬大豆の放射性セシウム除去率が大幅に高かった。飯島²⁰⁾は70～90℃で4時間以上の浸漬により豆類の細胞組織の崩壊が起こること、また齋藤¹⁵⁾は魔法瓶浸漬法の温度変化について、湯を大豆の3倍量入れた場合は4時間後であっても80.5℃であることを報告している。このことから魔法瓶を用いた保温浸漬により、大豆内の放射性セシウムは細胞組織の崩壊に伴い、浸漬液に溶出したものと考ええる。

煮熟による影響は通常のスチレンス鍋と圧力鍋について調べたが、用いた大豆は浸漬を水、湯および重曹湯による3つの方法とし、それぞれを組み合わせで行った。図2のように鍋の違いによる比較は、どの浸漬方法においても有意な差はなかった。しかし浸漬方法の違いは、煮熟の結果に大きく影響した。浸漬時における除去率では、湯によるものよりも重曹湯のほうが高かったが、その差はあまりなかった。しかし図3, 4, 5に示すように、重曹湯浸漬の大豆を煮熟した場合、除去率は湯浸漬よりも大きな上昇がみられた。浸漬時の重曹添加は弱アルカリ性の作用により、大豆たんぱく質のグリシン分解を促し²¹⁾、また繊維質の軟化を進めるため、煮熟を早めることができる^{14,22)}。このことから煮熟時の大豆細胞の組織崩壊は、湯浸漬よりも大きいものと考えられ、その結果として放射性セシウムの除去が促進されたものと考ええる。

結論として、洗浄した大豆を魔法瓶に入れ重曹湯による保温浸漬を行い、その後鍋による煮熟を行うことにより、家庭における調理においても放射性セシウム濃度を約1/5にすることが可能であることが分かった。調理過程で大豆は水分吸収による膨潤のため重量が増し、それに伴い重量当たりでは放射性セシウム濃度の値が低くなるが、それ以上に排出による高い除去率が示された。浸漬の魔法瓶活用は、災害時だけではなく、日常におけるエネルギー節約の観点からも有効な手段である。重曹の活

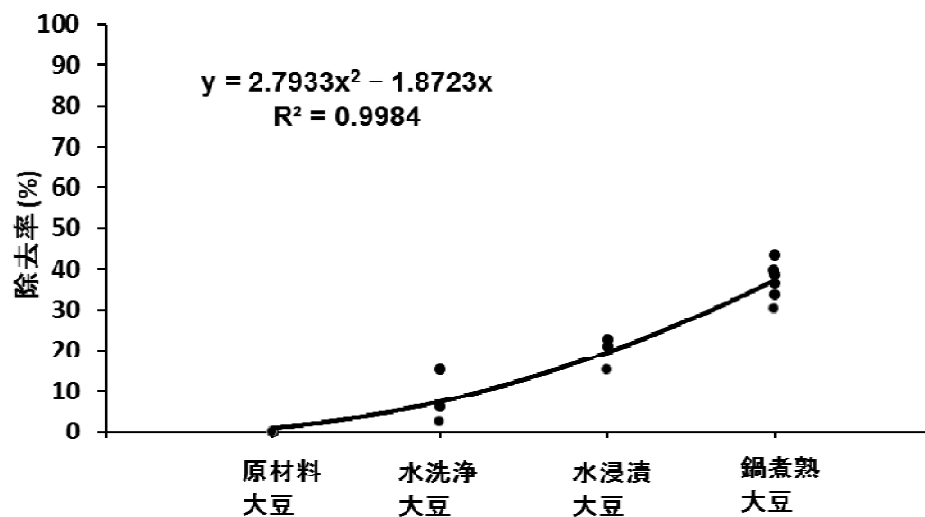


図3. 水浸漬大豆の煮熟による除去率

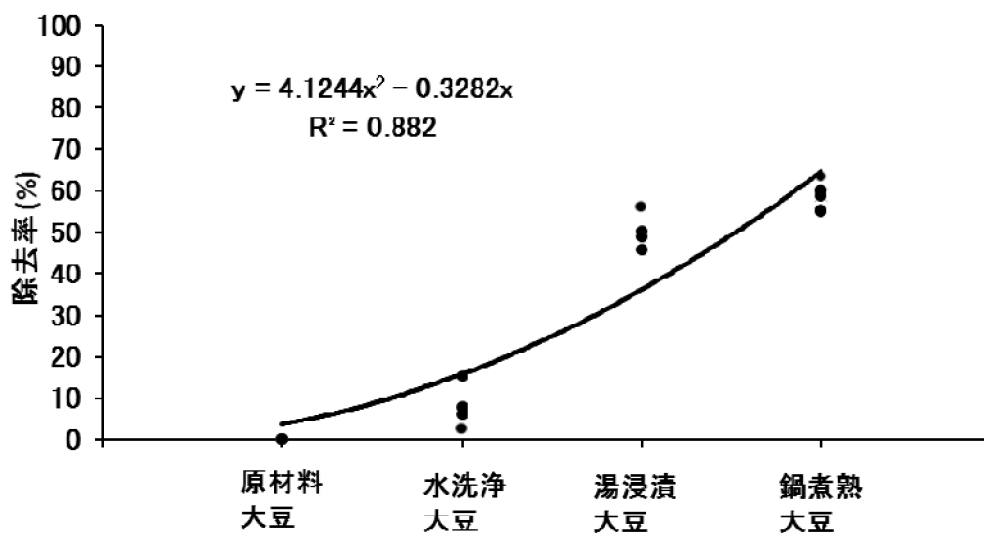


図4. 湯浸漬大豆の煮熟による除去率

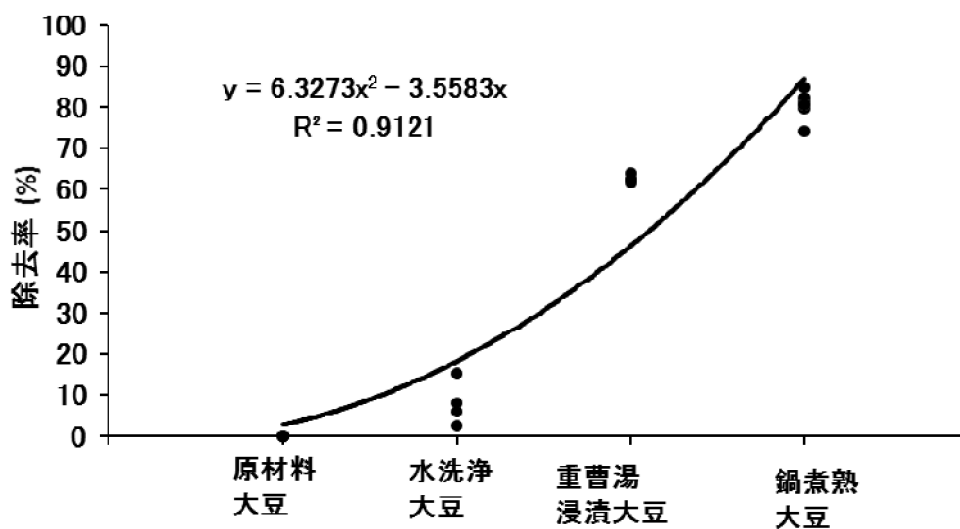


図5. 重曹湯浸漬大豆の煮熟による除去率

用については、軟化促進としての効果があるが、しかし濃度が濃すぎるとビタミンB₁の破壊が懸念され²³⁾、また臭いや色など風味にも影響することがある。重曹濃度が気になる場合には、湯を用いた保温浸漬法でも十分に効果があり活用できる。また大豆からの放射性セシウムの除去は、カリウムなどのミネラル類も同時に溶出する可能性もあり、このことも考えておく必要がある。

このように煮熟した大豆は、日本料理の一つである五目豆などへの活用だけではなく、米と共に食べると栄養バランスも高まるため、炊き込みご飯に用いることもできる。その他、パスタやスープ、主菜、サラダや和え物など非常に幅広く家庭料理に活用できる。著者らは現在、この大豆を活用した災害食作りに取り組んでいるところである。

本研究は、今回の原子力発電所の事故と同様の災害時を想定し、これに備えた食事の安全性確保のための知見を得ることを目的とした。災害時にこそ、身近な食材をいつも通りに調理し普段の食事をする、この重要な課題に対し、本研究の示した成果が役立つものと考え。

また、この度の被災地における農産物に対してであるが、現在、市場に出ているすべての農作物は、当然のこととして放射性セシウム濃度が基準値以下のものである。しかし、風評被害は未だ完全には払拭されておらず、売り上げにも影響している²⁴⁾。このことに関し、本研究で得られた調理過程の知見が活用され、更なる安心につながることを願いたい。

5. 謝辞

本研究は、日本学術振興会科学研究費助成事業（平成25・26年度若手研究(B)）を使用して行われたものである。

放射性セシウムの測定において、多大なご協力をいただいた会津若松商工会議所総務部鷲山恵一氏に深く感謝申し上げます。

6. 参考文献

- 1) 財団法人原子力環境整備センター：環境パラメータ・シリーズ4 食品の調理・加工による放射性核種の除去率．1994. 3；RWMC-94-P-16.
- 2) 西澤邦秀，柴和弘：1. 福島第一原発事故によって汚染された野菜に付着した放射性物質の除去法に関する報告書．日本放射線安全管理学会誌 2011；10，2：135-151.
- 3) 内田滋夫：調理加工による放射性核種の除去．食品と開発 2012；47，6：24-26.
- 4) 農林水産省 独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構，独立行政法人農業環境技術研究所：放射性セシウム濃度が高くなる要因とその対策について・大豆（中間取りまとめ）～現地調査と試験研究等の結果～．2013. 3.
- 5) 福島県農林水産部：大豆とそばの放射性セシウム吸収抑制対策，「ふくしまからはじめよう．」．農業技術情報 2013. 3；第38号.
- 6) Hachinohe Mayumi, Kimura Keitarou, Kubo Yuji, Tanji Katsuo, Hamamatsu Shioka, Hagiwara Shoji, Nei Daisuke, Kameya Hiromi, Nakagawa Rikio, Matsukura Ushio, Todoriki Setsuko, Kawamoto Shinichi: Distribution of radioactive cesium(¹³⁴Cs plus ¹³⁷Cs) in a contaminated Japanese Soybean cultivar during the preparation of Tofu, Natto, and Nimame (boiled soybean). Journal of Food Protection. 2013; 76, 6: 1021-1026.
- 7) 放射線・放射能・中性子計測クラブ 第17回放射線・放射能・中性子計測クラブ研究会「放射線・放射能計測技術セミナー(福島)」，セミナー資料(食品の加工・調理における放射性物質の動態，食品総合研究所における放射性物質に関する取り組み1)，2013. 8.
- 8) 公益財団法人原子力環境整備促進・資金管理センター技術報告書 RWMC-TRJ-13001-1，環境パラメータ・シリーズ4増補版(2013年) 食品の調理・加工による放射性核種の除去率－我が国の放射性セシウムの除去率データを中心に－．2013. 9.
- 9) 公益財団法人原子力環境整備促進・資金管理センター技術報告書 RWMC-TRJ-13001-2，環境パラメータ・シリーズ4増補版(2013年) 食品の調理・加工による放射性核種の除去率－我が国の放射性セシウムの除去率データを中心に－（概要）．2013. 9.
- 10) 鎌田栄基，海老根英男，中野政弘：大豆製品の着色に関する研究-11・12-．農産加工技術研究会誌 1961，8，231-240.
- 11) 松岡洋子，塩川美絵：食塩水浸漬・加熱黒大豆の性状．日本調理科学会誌 1990；23，3：311-314.
- 12) 寺崎敬子，押田洋子：無機質の調理科学的研究-2-調理用水の硬度が煮豆に及ぼす影響．市邨学園短期大学自然科学研究会会誌 1972；6，2：1-6.
- 13) 牧野秀子，畑江敬子，島田淳子：食塩水浸漬が煮豆のやわらかさにおよぼす影響．日本家政学会誌 1987；38，8：719-723.
- 14) 今中鏡子：食品組織の基礎的研究（Ⅱ）－煮熟したマメ類について－．広島文化女子短期大学紀要 1989；22：31-43.
- 15) 齋藤章：豆の基本的調理法に関する諸説を検証(その2)．豆類時報 2013；71：28-36.
- 16) 齋藤章：豆の基本的調理法に関する諸説を検証(その1)．豆類時報 2013；70：30-49.
- 17) 瓦家千代子：豆の調理．生活衛生 1986；30，1：48-52.
- 18) Nakamura Isei, Kurusu Keiji, Nakagawa Mitsutoshi: Effect of Temperature on Water Absorption Coefficient of Soybeans (Amsoy) in Soaking Process. Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi. 1979, 26, 8, 362-364.
- 19) 浅野三夫，大久保一良，山内文男：大豆からのしんしゅつ成分挙動に及ぼす浸漬温度の影響．日本食品工業学会誌 1989；36，8：636-642.
- 20) 飯島久美子，奥山綾子，早川和那，藤井義晴，香西みどり：ムクナ属マメの調理性に関する研究（第1報）－煮豆としての浸漬・加熱条件－．日本調理科学会誌 2009；42，2：93-101.
- 21) 長野隆男：大豆グリシニンのゲル構造と分子間力．大豆たん白質研究 2009；12：58-62.
- 22) 吉田恵子，小松明美，柳生純代，江面恵子：調理方法の違いによる大豆の性状と嗜好．つくば国際短期大学紀要 2007；35：51-58.
- 23) 足利千枝：調理とビタミンB₁．生活衛生 1959；3，5：223-236.
- 24) 福島民友新聞 2014. 2. 13；8版, 3.