

だし素材および昆布加工品の調理・加工による放射性物質の混入リスクの検討

松村 祥子*¹・中西 史*²・櫛山 櫻*¹・南 道子*¹

生活科学分野

(2018年9月21日受理)

1. はじめに

1. 1 問題提起

2011年の東日本大震災による東京電力福島第一原発発電所事故後、人体への放射線の影響が懸念されている。特に食品中の放射性物質の影響が世間で話題になった。事故後、厚生労働省では、食品中の放射性物質の暫定規制値を設定し、原子力災害対策本部の決定に基づき、暫定規制値を超える食品が市場に流通しないよう出荷制限などの措置をとってきた。暫定規制値は、食品を5つの食品群（飲料水/牛乳・乳製品/野菜類/穀類/肉・卵・魚介類・その他）に分類し、放射線核種ごとに値が設定してある。例えば、放射性セシウム（Cs-134+Cs-137）は飲料水と牛乳・乳製品では200Bq/kg、野菜類と穀類、肉・卵・魚・その他の群では500Bq/kgとなっている。厚生労働省はさらに、より一層食品の安全と安心を確保するため、2012年4月1日から新たな基準値を設定した。新たな基準値は放射性物質を含む食品からの被ばくの上限を年間5mSvから年間1mSvに引き下げ、これをもとに放射性セシウムの基準値を設定したのになっている。新基準値では新たに“乳児用食品”という食品群が増えた。具体的には飲料水が10Bq/kg、牛乳・乳製品が50Bq/kg、乳児用食品が50Bq/kg、一般食品（野菜類、穀類、肉・卵・魚・その他の群）が100Bq/kgという値に設定された⁽¹⁾。現在では食品中の放射性物質の検出件数はほとんどなくなっているが⁽¹⁾、農林水産省のHPによると、未だ基準値を超えていて市場に流通していない食品も若干ある。⁽²⁾

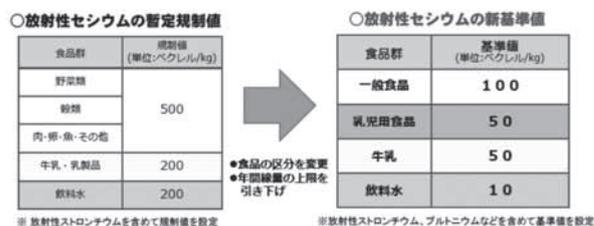


図1 放射性セシウムの暫定規制値と新基準値 厚生労働省リーフレット『食品中の放射性物質の新たな基準値 ダイジェスト版』より

平成25年12月、「和食：日本人の伝統的な食文化」がユネスコ無形文化遺産に登録されて以降、和食文化を取り入れた学校における食育がなされている。中でも、米飯炊飯とだし調理は最も重要視されている事項である。放射性物質の検査をほとんどの食品が食事として供与される形態で行っているが、抽出されたいわゆるだし汁の検査はしいたけのそれ以外に実施されていない。かつお、昆布、煮干し、干しいたけをはじめとするいわゆる“だし”素材に関しては、乾燥状態での検査が実施されているのみである。だし汁の放射性セシウムの基準値は一般食品の100Bqとは異なり、飲料水と同じで、1kgあたり10Bqである。実際に人々がよく口にするのは、だし汁として抽出されたものである。だし汁は素材から成分を抽出しているため、放射能の影響がそのまま出ると考えられる。そこで本研究では、“だし”素材の中から昆布に注目し、昆布を抽出しだし汁の放射能を検査することで、実際に人々はどれくらいの放射能をだしから取り込むリスクがあるかを明らかにしていく。

*1 東京学芸大学 生活科学講座 生活科学分野 (184-8501 小金井市貫井北町 4-1-1)

*2 東京学芸大学 基礎自然科学講座 理科教育学分野 (184-8501 小金井市貫井北町 4-1-1)

1. 2 放射線および放射線のもたらす健康被害

そもそも放射線とは非常に身近にある存在で、物質と共に我々が存在している宇宙の構成成分である。自然放射線として光を含めて大気、水、大地、温度等と同様に環境因子として存在している。1895年、レントゲンがX線を発見して以来、自然放射性核種由来の自然放射線に加えて、人工放射性核種から出る人工放射線による被ばくの可能性が加わった。東日本大震災以降、問題視されている放射性セシウム (Cs-134+Cs-137) は人工放射性核種に分類されるものである。

国連科学委員会 (UNESCEAR) 2000年報告によると、日本の自然放射線による被ばくは、宇宙線等による被ばくが0.32mSv、大地放射性核種被ばくが0.37mSv、ラドンの吸入による被ばくが0.49mSv、そして今回の研究対象である食品中の放射性物質などによる内部被ばくが0.98mSvで、合計で年間2.2mSvである。それに対し、世界平均は、宇宙線等による被ばくが0.39mSv、大地放射性核種被ばくが0.48mSv、ラドンの吸入による被ばくが1.26mSv、食品からの被ばくは0.29mSvである。このことから、日本はラドンの吸入による被ばくが少なく、大地からの放射線量もやや少ないが、食品からの摂取による被ばくが多いということが分かる (図2)。(3) 人工放射性核種の自然環境への増加がなくとも、一定量の放射性物質が常に自然環境の中には存在し、食品中に最も多い自然放射性核種はカリウム40であり、天然のカリウム中に0.0117%存在している。(6) 植物の生育過程において必須元素であるカリウムは生体内において浸透圧調整や膜電位形成などの生命維持に必須な役割をしているが、人体に取り込まれる際に、天然に存在するカリウムの放射性同位体カリウム40と一緒に動植物に取り込まれる。それらを食物として体内に取り込むことで起こすカリウム40による内部被ばくは、東日本大震災以前にも見られていた。(3)

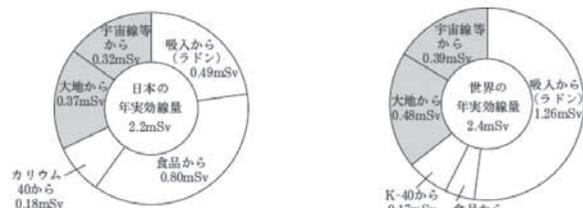


図2 自然放射線による年実効線量 國枝英子『食品に含れる放射能—福島第一原子力発電所事故以前と以後—』(2013) (3) より

放射性物質がどのように人体に影響を与えるかというメカニズムはすでに解明されてきている。放射線が

身体を通過しただけでは何も起こらない。放射線が身体を通過する間に、原子の軌道電子にその軌道を飛び出すだけのエネルギーを与えることで電離が生じ、その電離こそが放射線影響を起こす最初のきっかけとなる。粒子線の実体は電子 (β線) や原子核 (α線: ヘリウムの原子核) そのものであるため、一般に電離の効率は高いが、エネルギーを早く失うので透過力は小さい。逆に電磁波 (X線やγ線) は電離の効率は低い、透過力は大きくなる。つまり、粒子線を体外から受けると人体への影響は小さいが、体内から受けると人体への影響は大きくなり、電磁波ではこの逆のことが言える。放射線の人体への影響は、放射線がDNAに直接衝突して変化させる直接作用か、放射線が水分子に衝突して活性酸素に変化させ、その活性酸素がDNAを変化させる間接作用がある。その際にDNAの二本鎖切断が生じ、その数が少なければ正常に修復されるが、その数が多いと、細胞死や不完全修復が起き、それによる突然変異によって人体に影響を及ぼす。

放射性物質による人体への影響は確定的影響と確率的影響の2種類にも分類できる。(図3) 確定的影響は、比較的短い期間に大量の放射線を全身または身体の広い範囲に受けた場合に被ばく後、症状が現れてくるもので、組織や臓器を構成している細胞の細胞死によって起こる。症例としては、短期間のうちに被害が出る早期影響には急性障害死亡、長期間たってから被害が出る晩発性影響には白内障、不妊がある。被ばく量が多いほど症状が重くなり、しきい値がある。

一方、確率的影響は高線量・低線量被ばくどちらでも起こる可能性があるもので、細胞の突然変異によって引き起こされる。被ばく量が多いほど発病の確立が高くなり、しきい値はないとされている。早期影響の症状はなく、晩発性影響にがんや白血病、遺伝的影響などが挙げられる。そして食品中の放射性物質は低線量被ばくであるため、後者の確率的影響を引き起こすということが分かっている。



図3 放射線の人体への影響 原子力情報資料室 (CNIC) HP (4) より

1. 3 食品として摂取する以前に行える除染について

東日本大震災以前から、調理による食品の放射性物質の除染も研究されている(表1)。財団法人原子力環境整備促進・資金管理センターによると、野菜類のホウレンソウは水洗いからゆでることにより放射性セシウムが60～75%除去される。同じく野菜類のにんじんは皮をむくことにより55%除去することができる。米は精米により57～80%の放射性セシウムの除去が可能である。肉類の牛肉(内モモ, ランプ)はゆでることで放射性セシウムの除染率が60%, 魚類のワカサギにおいては南蛮漬けにより30%になる。⁽⁵⁾ このように放射性物質は調理によってある程度除染することが可能である。

では、このように除染された放射性物質はどこにいったのだろうか。それは、水洗いの場合は洗うときに使用した残り水に、ゆでる場合は、ゆで汁に移行しているのである。鍋師, 堤, 蜂須, 松田ら(2012)は、基準値を超えた放射性セシウムを有する、乾しいたけの水戻しと牛肉の加熱調理による放射性セシウム量の変化を研究した⁽⁶⁾。これによると、乾しいたけの放射性セシウムは水戻しすることによって、約50%がだし汁に、約50%が水戻ししたしいたけに残存することが分かっている。同様に牛肉のボイル調理でも、ゆで汁に約50%の放射性セシウムが移行し、残りの約50%が調理後の牛肉に残存することが分かった。

つまり、調理によって食品に含まれる放射性物質の除染ができるというのは、調理後の戻し汁やゆで汁などを使わない場合のみである。しかし、戻し汁やゆで汁には食品の栄養分やうまみも溶出しているため、多くの人々が料理に使用しているのが現実である。ましては、昆布やかつおといった、いわゆるだしに用いる素材においては、そのだし汁を使うためにそれらを購入している人がほとんどである。また、昆布は3年以上寝かしてから市場に出回るとされている。現在でも、東日本大震災時に海中で生育していた昆布が出回っている可能性がある。そこでだし素材の調理・加工品として昆布の佃煮に着目した。市場に出回っている商品には本当に放射性物質が含まれていないのか、また、私たちの体内に摂取される放射能をできるだけ減らすためにはどのような調理法を用いればよいのかを調べていく。

表1 食品中の放射セシウムの調理による除染
原子力環境整備促進・資金管理センター報告書(2013)(5)
鍋師裕美・堤智昭・蜂須賀暁子・松田りえ子(2012) 乾しいたけの水戻しおよび牛肉の加熱調理による放射性セシウム量の変化. 食品衛生学雑誌, Vol.54, No.1, p65-

分類	調理・加工法	原材料	調理・加工品	除去率(%)
野菜	水洗い・ゆで	ホウレンソウ	ホウレンソウ(ゆで)	60-75(5)
にんじん	皮むき	にんじん	にんじん(皮むき)	55(5)
きのこ類	水戻し	乾しいたけ	水戻しいたけ	50(6)
米	精米	玄米	精白米	57-80(5)
牛肉	ゆで	牛肉(内モモ・ランプ)	牛肉(ゆで)	60(6)
魚	南蛮漬け	ワカサギ(生)	ワカサギ南蛮漬け	30(6)

2. 実験材料および実験方法

2. 1 実験試料および実験器具

2. 1. 1 実験材料

だし素材および昆布加工品については、一般に流通しているだし材料を購入・使用した。(表2および表3)

表2 実験材料として用いただし材料

けづりぶし花かつお(薄削り)	100g	¥400	国内産
切り出し昆布	60g	¥270	北海道日高産
遠赤外線焼きにぼし	500g	¥790	国内産
かつおのkokodashi粉	300g	¥508	焼津特産
鯖厚削り	500g	¥1,350	国内産
鰹厚削り	500g	¥1,350	国内産
特級かたくちいわし	300g	¥1,080	香川県産
真昆布(白口元揃)		¥760	
干し椎茸中小撰	100g	¥1,134	国内産
乾椎茸原木栽培	100g	¥530	埼玉県秩父市産

表3: 実験材料として用いた昆布加工品

A社おにぎり昆布	87g	¥170
A社ごま昆布	87g	¥159
B社ごま昆布	110g	¥215
C社おにぎり昆布	70g	¥160
D社ごま昆布		
E社昆布	80g	¥500
F社ごま昆布	180g	¥700
F社しそ昆布	180g	¥700

2. 1. 2 実験器具

2. 1. 2. 1 用具

・片手鍋(21cm)・あく取り・さいばし・万能こし器・ペーパータオル・ボウル・ペットボトル(500ml)・キッチンさみ・コーヒーミル(Kalita社製, NICE CUTMILL(TYPE: KH-100, NO: 535797))

2. 1. 2. 2 測定機器

・GDM-15 WinDAS3.4(スウェーデン王国ガンマデータ・インストルメント社製, ヨウ化ナトリウムシンチレーションNaI(Tl)検出器放射能測定装置)

2. 2 試料の作製方法

2. 2. 1 だしの抽出方法

2. 2. 1. 1 けづりぶし花かつお (500ml)

- ①鍋に蒸留水 (600ml) を入れ、火にかける。
- ②沸騰したら火を止め、花かつおは20gを鍋に入れ、1分30秒置く。鯖厚削りは25gを入れ、3分30秒煮出す。鰹厚削りは20gを鍋に入れて中火で10分煮立てる。
- ③ぬらしたペーパータオルをこし器に敷き、ボウルで受け、だしをこす。
- ④常温に冷めたら、メスシリンダーで500ml計測し、ペットボトルに移して-20℃で保存する。

2. 2. 1. 2 真昆布、切り出し昆布 (500ml)

- ①昆布 (24g) に2cmおきに交互に2cmの切り目を入れる。
- ②鍋に蒸留水 (600ml) と昆布を入れ、30分置く。
- ③鍋を火にかけ (10分で沸騰するくらいの火加減)、沸騰直前に昆布を取り出す。
- ④常温に冷めたら、メスシリンダーで500ml計測し、ペットボトルに移して-20℃で保存する。

2. 2. 1. 3 焼き煮干し (500ml)

- ①煮干し (15g) の頭と腹の部分をつまんでわたを取り除く。
- ②身を縦に裂き、3時間蒸留水 (600ml) に浸けておく。
- ③鍋に②を入れ、中火で煮出す。
- ④アクが出てきたら、すくいとりながら5分煮る。
- ⑤ぬらしたペーパータオルをこし器に敷き、ボウルで受け、だしをこす。
- ⑥常温に冷めたら、メスシリンダーで500ml計測し、ペットボトルに移して-20℃で保存する。

2. 2. 1. 4 かつおのkokodashi粉 (500ml)

- ①鍋に蒸留水 (600ml) を入れ、沸騰させる。
- ②かつおのkokodashi粉 (15g) を入れ、弱火で1分煮出す。
- ③ぬらしたペーパータオルをこし器に敷き、ボウルで受け、だしをこす。
- ④常温に冷めたら、メスシリンダーで500ml計測し、ペットボトルに移して-20℃で保存する。

2. 2. 1. 5 特級かたくちいわし (500ml)

- ①かたくちいわし (18g) の身を半分に裂き、3時間蒸留水 (600ml) に浸けておく。(頭と腹は取

り除かない(※)。

- ②鍋に①を入れ、中火で煮出す。
 - ③アクが出てきたら、すくい取りながら5分煮る。
 - ④ぬらしたペーパータオルを敷いたこし器をボウルで受け、だしをこす。
 - ⑤常温に冷めたら、メスシリンダーで500ml計測し、ペットボトルに移して-20℃で保存する。
- ※購入先の築地の寿屋商店の店主によると、上質な煮干しは頭も腹も取り除かなくていいとのこと。

2. 2. 1. 6 干し椎茸 (500ml)

- ①干し椎茸 (20g) をざっと洗い、汚れを落とす。
- ②干し椎茸を蒸留水 (700ml) に浸け、冷蔵庫で24時間保存する。
- ③こし器で戻し汁をこす。
- ④メスシリンダーで500ml計測し、ペットボトルに移し、-20℃で保存する。

2. 2. 2 表面積を合わせる方法

真昆布と切り出し昆布の表面積を合わせるために、まず乾燥状態の真昆布20gを蒸留水50mlでぬらしたペーパータオルではさみ、湿らせた。湿らせた真昆布を広げ、表面積を測った。真昆布の表面積は20.0cm × 36.0cmであった。切り出し昆布を同様に湿らせたのち、真昆布の表面積と等しくなるように広げた。真昆布と等しい表面積の切り出し昆布の重さは乾燥状態で41.77gであった。この切り出し昆布からだしを抽出し、放射能を測定した。

2. 2. 3 乾燥状態の昆布

真昆布 (#8)・切り出し昆布の抽出処理前の放射能を測定するために、コーヒーミルの8番の粗さで細かく砕いた(約2mm²)。砕いたものを220mlのポリ容器に密度が0.8以上になるようにすき間なく充填させた。

2. 2. 4 佃煮の作製方法

佃煮は、切り出し昆布のだし汁を使用したものと、だし汁を用いず、蒸留水で作製したものの2種類を用意する。

乾燥状態の切り出し昆布(2.2.1.2)を上記の抽出方法で戻し、だしを抽出する。佃煮は、だし抽出後の昆布を千切りにし、鍋に蒸留水(だし汁)2000ml、昆布400g、酢小さじ6を入れて強火にかける。沸騰したら弱火にし、アクをとりながら煮て、昆布が表面に顔を出して来たら砂糖大さじ6、しょうゆ大さじ6、みりん小さじ6を加えてさらに煮る。焦がさないよう

に煮汁がなくなる程度まで煮詰める(40分)。

2. 3 放射能測定方法

放射能の測定には, GDM-15 WinDAS3.4 (スウェーデン王国ガンマデータ・インストルメント社製, ヨウ化ナトリウムシンチレーションNaI (TI) 検出器放射能測定装置)を用いた。試料は冷凍保存してあるものを測定日の前日から常温で溶かしておいた。測定方法の詳細はメーカー提供の使用法に基づく。

3. 結果

3. 1 だし汁における放射能測定

まず初めに, 昆布(2種), 鰹(3種), 煮干し(2種), 干し椎茸(2種), 鯖(1種)の抽出後のだし汁における測定を行った。その結果, 真昆布のだし汁にK-40が検出されたが, 真昆布以外の素材の抽出後のだし汁にはどの放射性核種も検出されなかった(表4)。しかし, ここで注目したいのは, 同じ昆布でも真昆布ではK-40が検出されたが, 切り出し昆布では検出されなかったという点である(図4)。昆布同士の重さは等しく, 抽出方法も全く同じであるが, 今回使用した真昆布は切り出し昆布よりも軽く薄いもので表面積が大きかったことから, K-40をはじめとする昆布の成分は表面から溶け出していくのではないかと考えた。

「K-40をはじめとする昆布の成分は表面から溶け出していく」という仮説を検証するため, 2.2.1で使用した真昆布の表面積を測定し, それと表面積を等しくした切り出し昆布からだしを抽出し, だし汁の放射能を測定した(実験2.2.2)。

表4 一般的に飲まれている濃度の各試料の放射能測定結果

だしの種類(濃度)	Cs-137	Cs-134	I-131	K-40	
真昆布(4%)	ND(※)	ND	ND	104	*1
切り出し昆布(4%)	ND	ND	ND	ND	*1
かつおコクだし粉(3%)	ND	ND	ND	ND	*2
花かつお(3%)	ND	ND	ND	ND	*2
鰹厚割り(3%)	ND	ND	ND	ND	*2
特級片口いわし(3%)	ND	ND	ND	ND	*1
焼きにぼし(3%)	ND	ND	ND	ND	*2
鯖厚割り(4%)	ND	ND	ND	ND	*2
椎茸中小撰(3%)	ND	ND	ND	ND	*2
乾椎茸秩父(3%)	ND	ND	ND	ND	*3
検出限界 *1	5.53	4.74	2.33	63.3	
検出限界 *2	5.54	4.88	2.35	66.4	
検出限界 *3	5.55	4.69	2.36	63.5	

※ND (Non Detected) は, 不検出(検出限界値以下であることを示す)。

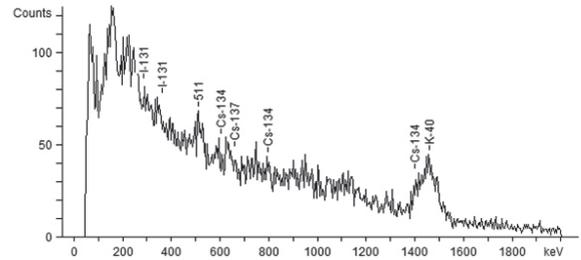


図4-1 真昆布の放射性核種チャート

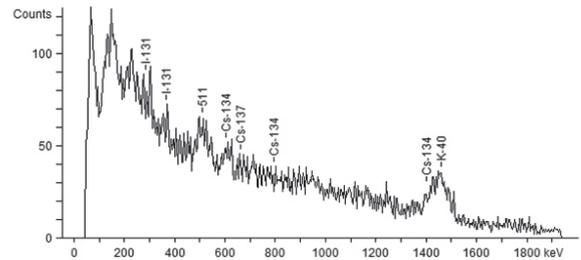


図4-2 切り出し昆布の放射性核種チャート

3. 2 等しい表面積の昆布のだし汁における放射能測定

表面積を真昆布と等しくした切り出し昆布の放射能測定を行ったところ, 実験1では不検出であったが, 今回は切り出し昆布のだし汁からもK-40が検出された。(表5, 図5)

表5 表面積が等しい昆布のだし汁における放射能測定結果

だしの種類	Cs-137	Cs-134	I-131	K-40	検出限界 (Bq/Kg)
真昆布	ND	ND	ND	104	63.3
切り出し昆布	ND	ND	ND	88.8	63.5

※ND (Non Detected) は, 不検出(検出限界値以下であることを示す)。

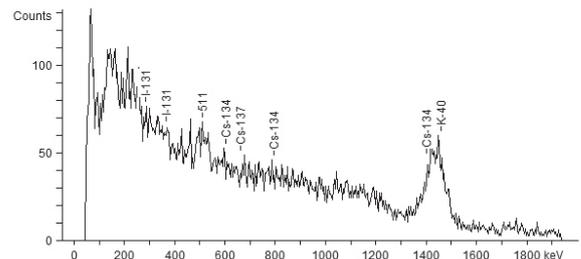


図5-1 真昆布の放射線核種チャート

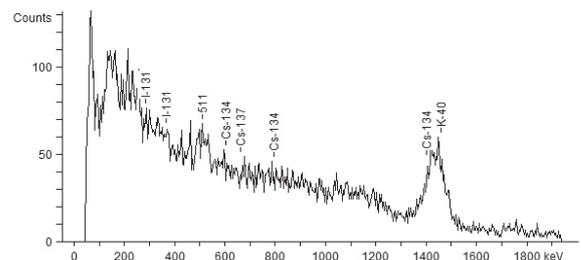


図5-2 真昆布と表面積を合わせた切り出し昆布の放射性核種チャート

を和えて測定した(表8, 図7)。だし汁を使わず, 蒸留水と調味料で煮詰めた昆布の佃煮からは放射能は検出されなかった。一方, だし汁と調味料で煮詰めた昆布の佃煮からはK-40が検出された。また, だし汁と調味料で煮詰めた昆布の佃煮にゴマを和えてみたところ, K-40の値が更に大きくなった。

表8 作製方法の異なる昆布の佃煮の放射能測定結果

	(Bq/kg)	
	K-40	検出限界
だし汁無し	N.D.	9.59
だし汁有り	345	9.59
だし汁+ごま	389	58.4

※Cs-137, Cs-134, I-131も測定したが, いずれもN.D. (Non Detected)を示した

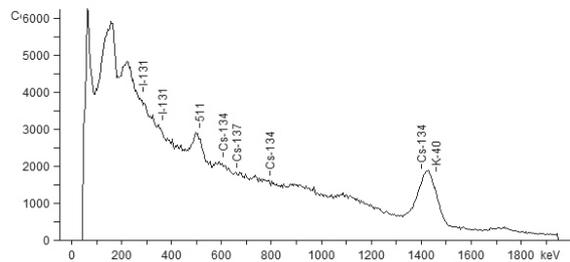


図7-1 だし汁なし・昆布佃煮の放射性核種チャート

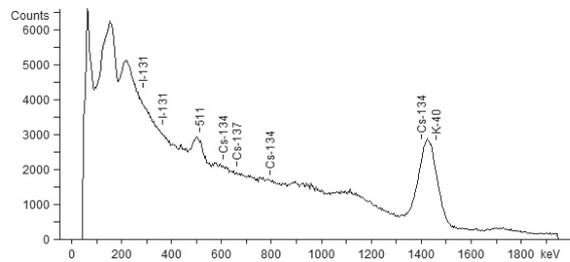


図7-2 だし汁有り・昆布佃煮の放射性核種チャート

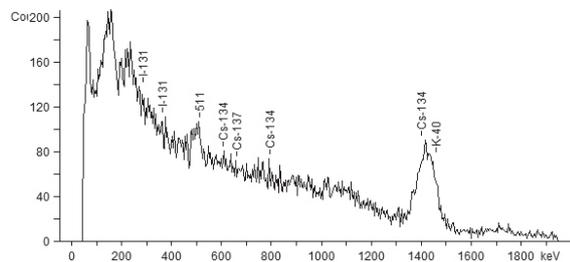


図7-3 だし汁有り・ごま・昆布佃煮の放射性核種チャート

4. 考察

本研究では, 市販されているだし素材のだし汁の放射性物質の測定を行った。

放射性核種は人口放射線核種と自然放射線核種の2

種類に分類される。今回, 全11試料のいずれからも人工放射性核種である, Cs-137, Cs-134, I-131は検出されなかった。これはこれらの放射性同位元素の半減期が関係していると考えられる。放射性同位元素は放射線を放出して安定な元素になり, 時間とともに数が減っていく。もとの原子の数が半分になるまでの時間を物理学的半減期といい, Cs-137は30年と長い, Cs-134は2年と短く, I-131は8日と更に短い⁽⁷⁾。東日本大震災は2011年3月に生じたため, 事故から5年以上経っている。人工放射性物質が検出されなかった要因としては, 半減期の影響, 農林水産省や厚生労働省などによる食品における放射性セシウムの放射性物質調査は厳密に行われていること, 東日本大震災での事故以降人工放射性物質が検出限界以上に放出される事件が起こっていないことが挙げられるだろう。

人工放射性核種は検出されなかったものの, 昆布のだし汁においては自然放射線核種K-40が検出された。自然放射線核種K-40は, 天然のカリウム中に0.0117%含まれている⁽⁸⁾。つまりKが食品中に存在すれば, K-40も必ず含まれているということになる。そのため, K-40の含有量は食品の成分の違いによる差が大きい。昆布はもともとカリウムが多く含まれている食品である。さらにカリウムはアルカリ金属であり, イオン化傾向が大きい元素であるため, 水中でイオンとして存在しやすい。これらのことから昆布のだし汁から検出限界に近い値ではあるがK-40が検出されたと考えられる。

また, 実験2.2.2よりK-40をはじめとする昆布の成分は表面から溶出していくことが分かった。そして切り出し昆布よりも真昆布の方がK-40のだし汁への移行率が高かった。これは昆布の厚さが関係していると考えられる。今回使用した昆布は真昆布の方が切り出し昆布よりも薄かった。今回のだし汁の抽出方法において昆布が水中にあった時間は, 浸漬時間の30分と加熱時間の約10分を合わせておよそ40分間である。昆布に水が浸透していく速さは厚さが薄い方が速い。そのため, だし汁の抽出過程の40分間において, 真昆布の方がより昆布の中に水が浸透していき, その結果K-40がより多く, だし汁中に移行したのではないかと考えた。この考えを検証していくためには昆布の浸漬時間をもっと長くして比べてみる必要がある。

スーパーマーケットで購入した昆布の佃煮では放射能は検出されなかったが, 佃煮の老舗と言われている店舗で購入した4つの試料のうち, 2つの試料からはK-40が検出された。この2つの試料の共通点として, まずゴマが入っていることが挙げられる。先述したよ

うに、ゴマもカリウムが100gあたり410mgと多く含まれている食品である。しかし、スーパーマーケットで購入した佃煮の中のゴマが含まれているものでは、K-40は検出限界以下であった。そのため、ゴマよりも大きな要因があると考えた。一般に老舗は味や製造方法にこだわりがあり、それが人々に好まれて長い間営業してきた店が多い。全て機械で作るのではなく、人が作ることで何かひと手間かけて工夫していたり、秘伝の調味法があったりする。その何かひと手間がK-40の値を大きくしたと考えると、K-40が検出された老舗では、昆布を佃煮にする過程で昆布の戻し汁(だし汁)を使っているのではないかという仮説を立てることができた。昆布のだし汁は、アミノ酸の1つであるグルタミン酸によって上品で控えめなうまみを持ち、煮物や野菜の料理によく合うとされている。このうまみ豊富な昆布のだし汁が老舗の昆布の佃煮には使われ、一方、スーパーマーケットで販売されているような大手の企業の食品は、大量生産で効率の良さを求めているため、昆布の戻し汁を煮る際に使用していないのではないかと考えた。

そこで2.2.4では、昆布の佃煮の製造過程でだし汁を用いたものとそうでないものの2種類を作り、放射能を測定した。その結果、製造過程でだし汁を用いた昆布の佃煮からはK-40が検出されたが、だし汁を用いず、蒸留水を用いて製造したものからは放射能は検出されなかった。このことから、K-40が検出された老舗では、製造過程でだし汁を用いている可能性が高いということが言える。また、調理による除染の面から考えると昆布の佃煮によるK-40の摂取量を抑えたい場合は、戻し汁(だし汁)を用いずに作るとよいということも分かった。しかし、ここで注目したいのは、D社の商品のうち、ゴマ入りの昆布の佃煮からはK-40が検出されているが、昆布のみの佃煮は検出されていないという点である。同じ会社の商品のため、ゴマ入りとそうでないもので製造方法が異なるとは考えにくい。そこで、この放射能の値の差の要因はゴマであると考え、ゴマを加えることで佃煮に含まれるK-40の量が多くなると仮定し、だし汁を用いて作った昆布の佃煮にゴマを加えて放射能を測定した。すると、ゴマを加えた昆布の佃煮のK-40の値は加える前よりも高くなった。これより、D社の2つの商品の放射能の違いはゴマによるもので、ゴマを加えることで検出限界値を超えたという可能性があると考えられる。

また、昆布に含まれるK-40の量には個体差があることが要因の1つでもあると考えられる。鍋師らの調査

(2012)では、乾しいたけにおける放射性セシウムの量は、同じ種類で、同じように栽培されたしいたけの中でも個体差があったということが分かっている⁽⁶⁾。さらに、農業環境技術研究所で石川らが同じように栽培し、収穫した玄米でも、種類によってCs-137濃度に個体差があることも報告している⁽⁹⁾。同じ昆布であっても、(3)によると干し昆布中のK-40由来の放射能の大きさは2000Bq/kgと報告されているが、今回の実験でも、真昆布と日高昆布では670Bq/kg、1007Bq/kgと異なっていた。同じ種類の昆布でも乾しいたけのように放射性核種(今回はK-40)の量に個体差はあると考えられた。この個体差によって、D社の昆布のみを使用した佃煮からは放射能が検出されなかった可能性も考えられた。

K-40は1.2でも述べたように自然放射線物質であり、放射能は、以下の式で計算される

$$\text{放射能 (Bq)} = (\text{壊変定数/半減期}) \times \text{原子数}$$

$$\text{壊変定数} 0.693, \text{ K-40半減期} 12.6 \text{ 億年} = 4.0 \times 10^{16} \text{ 秒}$$

そして1.0kg (=1.000g)のKには天然存在割合0.0117%のK-40が0.117g含まれている。

$$\text{K-40の原子数} = (\text{重量/質量数}) \times \text{アボガドロ数}$$

$$= (0.117/40) \times (6.02 \times 10^{23})$$

であることから、

$$\text{カリウム} 1.0\text{kg} \text{ に含まれる放射能 (Bq)}$$

$$= (0.693/4.0 \times 10^{16}) \times (0.117/40 \times 6.02 \times 10^{23})$$

$$\approx 30.000\text{Bq}$$

と計算される。ちなみに私たち成人の体内には0.14kgのKが含まれており、この計算をすると、4.200BqのK-40を保有していることになる⁽⁸⁾。

では、そのK-40は実際にどのくらい人体に影響するのだろうか。放射能の内部被ばくの人体への影響の度合いを表す指標として預託実効線量(Sv)がある。預託実効線量は、以下の式で求められる

$$\text{預託実効線量 (Sv)}$$

$$= \text{実効線量係数 (Sv/Bq)} \times \text{放射性同位元素摂取量 (Bq)}$$

実効線量係数は摂取した人の年齢、摂取方法、放射性核種によって異なり、K-40は成人の経口摂取の場合、実効線量係数は 6.2×10^{-9} である。これは同じ成人で経口摂取のCs-137の 1.3×10^{-8} やCs-134の 1.9×10^{-8} よりも小さい。よって放射能が同じ大きさを示していても、K-40の方が人体への影響が小さいということが分かる。成人の体内に含まれるK-40の預託実効線量は、 $6.2 \times 10^{-9} \times 4.200 = 2.604 \times 10^{-5}$ となる。1Sv = 1000mSvであるから、成人は体内のK-40から約0.026mSv被ばくしていることになる。これを今回の実験でK-40が検出された真昆布のだし汁、切り出し昆布のだし汁で計

算すると、成人が経口で真昆布のだし汁（500ml）を摂取した場合、およそ0.32 μ Svの内部被ばくを受ける。また、同じく切り出し昆布のだし汁（500ml）を摂取すると、およそ0.28 μ Svの内部被ばく量である。国際放射線防護委員会（ICRP）では、確定的影響について確実に防止するとともに、確率的影響について合理的に達成可能である限り防止するという基本的な考え方に基づき、平常時における公衆の被ばく限度を1mSv/年としている⁽¹⁰⁾。このことから、日常摂取する量の昆布のだし汁からのK-40における人体への影響は小さいと考えられる。さらにK-40の生物学的半減期は30日と短い、その一方でカリウムは多くの食品に含まれているため、私たちが日頃から多く摂取していることに変わりはない。人体影響は小さいが、よりK-40による被ばく量を抑えたいのであれば、カリウムが多く含まれている食品を摂りすぎないようにすることや、昆布の佃煮においては昆布のだし汁を用いないなど、調理上の工夫が必要である。石津ら⁽¹¹⁾は、洗浄した小松菜（112Bq/kg）が、ゆでこぼしをする事で61.2Bq/kgとなり、45%減少したと報告している。だしだけでなく、他の食品についても、電子レンジで火を通す事が可能な食品でも、放射能の影響を考えるとゆでこぼしをする事を考えるべきであろう。

危機管理の観点から防災については学校をあげて取り組まれているが、日々の生活における危機管理の一つとして放射性物質について学ぶ機会を持つ必要があると考える。その中で東日本大震災以降、学校ではいまだに放射性物質の経口摂取に警戒する保護者があり、細心の注意をもって給食の提供などが行われている。加えて、和食文化にのっとった指導が重点化されていく流れの中で、だしの取り方を教える学習指導案などが小学校でも重点化されるようになった。給食でも和食の日が設けられている。また、特別授業として和食の料理人を特別講師として迎え、授業をお願いするようになってきているなど、和食の中心となる「だし」に触れる機会が増えているが、調理実習などにおいては「だし」調理の指導を行う際には、混入のリスクを検討しつつ、持ち込まないための材料の選定や調理の工夫を考える必要も出てくる。

参考文献

- (1) 農林水産省 農産物に含まれる放射性セシウム濃度の検査結果（随時更新）
http://www.maff.go.jp/j/kanbo/joho/saigai/s_chosa/index.html
(2018.8.31 閲覧)
- (2) 水産庁 水産物の放射性物質調査の結果について
<http://www.jfa.maff.go.jp/j/housyanou/kekka.html>
(2018.8.31 閲覧)
- (3) 渡利 一夫, 稲葉 次郎, 今井 靖子, 村松 康行, 西村 義一, 明石 真言:放射能と人体, 研成社 (1999)
- (4) 認定特定非営利活動法人 (NPO 法人) 原子力資料情報室 原発さほん知識
<http://www.cnrc.jp/knowledge/2785> (2018.9.6 閲覧)
- (5) 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 増強版 (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染率データを中心に—
- (6) 鍋裕美・堤智昭・蜂須賀暁子・松田りえ子 (2012) 乾しいたけの水戻しおよび牛肉の加熱調理による放射性セシウム量の変化, 食品衛生学雑誌, Vol.54, No.1, p65-70
- (7) 林徹 (2011) 食品の放射能汚染と人体への影響, 公益社団法人大日本農会誌「農業」1549号 (2011) p34-39
- (8) 山田一考, 山口敏朗 (2013) 食品に自然に含まれる放射性同位元素と放射性物質汚染について, 北海道獣医師会雑誌, 57 (5) p.162-164
- (9) 山口紀子ら (2012) 土壌—植物系における放射性セシウムの挙動とその変動要因, 農業環境技術研究所報告 第31号, p75-118
- (10) 食品安全委員会放射性物質を含む食品による健康影響に関する Q&A
http://www.fsc.go.jp/sonota/emerg/radio_hyoka_qa.pdf
(2018.9.6 閲覧)
- (11) 石津みどり・荒川悦雄・中西史・大竹美登利・南道子 (2018) 生徒の主体性を重んじた食の安全に関する授業: 原発事故による放射性汚染の食材の調理をめぐって 東京学芸大学紀要 総合教育科学系II 第67集 p261-270

だし素材および昆布加工品の調理・加工による放射性物質の混入リスクの検討

Investigation of contamination risk of radioactive materials by preparing and using raw materials used to prepare dashi and processed foods made of kelp

松村祥子*・中西史*・櫛山櫻*・南道子*

Shouko MATSUMURA, Fumi NAKANISHI, Sakura KUSHIYAMA and Michiko MINAMI

生活科学分野

Abstract

After the Great East Japan Earthquake in 2011, in response to the accident of Fukushima Daiichi nuclear power station, the effect of radioactive substances contained in food became an issue discussed in the world. However the Ministry of Health, Labor and Welfare monitored radioactive substances contained in food, and restricted distribution of suspected foods that may contain radioactive substances. Foods in which radioactive materials in excess of the limits were detected were subject to shipment restrictions as needed. Subsequently, the monitoring was performed consistently, and in cases where the radioactive contamination levels detected were deemed to remain lower than the standard consistently, the restrictions on the relevant items were lifted in turn. Recently, the detections of artificial radioactive substances in food has almost disappeared. There are also natural radioactive substances as opposed to artificial, and internal exposure caused by them has been also reported in minute quantities.

In December 2013, “Washoku, traditional dietary cultures of the Japanese, notably for the celebration of New Year” was added to UNESCO’s roster of intangible cultural heritages. Following the registration, Shokuiku (Food and nutrition education incorporating Japanese cuisine) has been promoted. Usage of dashi, Japanese soup stock, is one of the most important subjects in Shokuiku. The monitoring of radioactive substances for dashi is the dried material used to prepare dashi, not the raw dashi stocks.

In this study, we actually measured the radioactive cesium, iodine and potassium contained in the dashi stocks by extracting multiple materials and methods. In conclusion, this study clarifies by means of the method to prevent the extraction of radioactive substances.

Keywords: food safety, potassium, Radiation amount in food

Department of Human Life Studies, Tokyo Gakugei University, 4-1-1 Nukuikita-machi, Koganei-shi, Tokyo 184-8501, Japan

* Tokyo Gakugei University (4-1-1 Nukuikita-machi, Koganei-shi, Tokyo, 184-8501, Japan)

要旨: 2011年の東日本大震災直後、食品中の放射性物質の影響が世間で話題になり、厚生労働省では、食品中の放射性物質の暫定規制値を上回る食品については、必要に応じ出荷制限が実施された。その後、継続的モニタリングにより、安定的に基準を下回ると判断された品目から順に出荷制限は解除されている。現在では食品中の人工放射性物質の検出件数はほとんどなくなっているが、放射性物質には自然放射性物質もあり、それらによる内部被ばくも微量ながら報告されている。

2013年12月、「和食：日本人の伝統的な食文化」がユネスコ無形文化遺産に登録されて以降、和食文化を取り入れた食育がなされている。中でも、だし調理は最も重要視されている事項の一つである。だしの放射性物質検査として行われるのは、素材となる乾物についてであり、調理に用いられるだし自体の検査は行われていない。

本研究において、実際に複数の素材および手法でだしを取り、その中に含まれる放射性セシウム、ヨウ素、カリウムについて測定し、それらをもとに放射性物質の抽出を防ぐ方法の検討を行った。

キーワード: 食の安全, カリウム, 食品中の放射線量