

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】

平成 25 年 9 月

まえがき

当センターではチェルノブイリ原子力発電所事故後に、環境パラメータ・シリーズの第4巻として、当時の国内外のデータをまとめ、「食品の調理・加工による放射性核種の除去率」を刊行した。この中で、食品に含まれる放射性核種が調理・加工により除去され、全量が体内に取り込まれることはないことを広く紹介し、ホームページにおいて、このデータ集を公開していた。東京電力福島第一原子力発電所の事故以来、どのような調理・加工を行えば食品中の放射性核種摂取量を下げることができるかについて多くの問い合わせがあり、食品中の放射性核種濃度に対する関心の高さがうかがえた。

しかし、このデータ集は主に海外のデータに基づいており、日本ではなじみが少ない食品が取り上げられている一方で、日本人が通常に食する食品が含まれていない等、いくつか改善する必要がある。本研究は、このような点を考慮して、原子力発電所事故後、様々な機関で取得されている調理や加工による放射性セシウムの除去率等のデータを収集・整理して、広く国民が最新のデータとして活用できるように整備することを目的として実施した。

検討にあたっては、国内の関係機関の研究者で構成される「食品の調理・加工による放射性核種除去率データの整備検討委員会」（内田滋夫主査）において、データ収集を行うとともに、収集したデータの評価等を行った。本概要は、これらの検討結果のエッセンスをとりまとめたものである。報告書の作成にあたっては、上記の委員以外に、実際にデータ取得に携わられた研究者にも原稿を執筆していただいた。

本報告書の作成にご協力をいただいた皆様に厚く御礼申し上げます。

公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター 専務理事 古賀 洋一

食品の調理・加工による放射性核種の除去率 増補版（2013年）

－我が国の放射性セシウムの除去率データを中心に－

【概 要】

目 次

まえがき

1. はじめに.....	1
2. データの採択について.....	1
3. 食品の調理・加工による放射性核種の除去率と移行率について.....	2
4. 汚染の経路と除去率.....	3
5. 食品の調理・加工による放射性核種の除去率.....	5
5.1 内部汚染：放射性セシウム.....	5
5.1.1 穀類・豆類.....	5
5.1.2 野菜・果実・種実.....	7
5.1.3 きのこと類.....	8
5.1.4 飲料等.....	8
5.1.5 肉類（牛肉・魚）.....	9
5.1.6 乳製品.....	10
5.2 内部汚染：放射性ストロンチウム.....	16
5.3 表面汚染：放射性セシウム、放射性ヨウ素及び放射性テルル.....	16
5.4 カリウムの除去率.....	17
6. おわりに.....	19
食品の調理・加工による放射性核種除去率データの整備検討委員会 委員名簿.....	19

1. はじめに

放射性核種を含む食品を摂取することによる内部被ばく線量を算出する際、摂取する食品に含まれる放射性核種濃度は、調理・加工前の原材料の値が一般的に用いられている。しかし、実際には調理・加工されたものが食卓に上がることから、より正確な被ばく線量推定のためには、調理・加工によって放射性核種量がどう変化するかについての情報が必要である。1994年に財団法人 原子力環境整備センター（現 公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター）は、外部専門家の協力のもと、環境パラメータ・シリーズ4として「食品の調理・加工による放射性核種の除去率」を刊行した。同書では、当時の我が国のデータとして、大気圏内核実験によってもたらされたグローバル・フォールアウト核種（ストロンチウム (Sr)-90 とセシウム(Cs)-137）及びチェルノブイリ原発事故による人工放射性核種（Sr-90、ルテニウム(Ru)-106、ヨウ素 (I)-131、Cs-134、Cs-137）の除去率を求め、比較のため、食品成分である安定同位体元素の除去率も求めた。外国のデータは、主として、1989年に開催された Seminar on Radioactivity Transfer during Food Processing and Culinary Preparation での報告から得た。したがって、外国のデータにはチェルノブイリ原発事故で放出された放射性核種によって汚染した食品を用いた研究結果も含まれていた。

その後、国際原子力機関 (IAEA) では、陸域環境移行パラメータデータ集 (IAEA Technical Report Series No. 364, 1994年刊行) を改訂する作業が2003年より始まり、その中で食品の調理・加工 (Food Processing) が取り上げられた。ロシア語の論文を含め、できる限りの最新情報を取りまとめたものが、IAEA Technical Document No.1616 (2009年刊行。以下、TecDoc1616) に収録され、さらにその概要が IAEA Technical Report Series No.472 (2010年刊行) でまとめられた。

そのような状況のなか、2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震をきっかけとして東京電力福島第一原子力発電所において事故が発生した。その直後から、環境パラメータ・シリーズ4に記載されているデータが、放射性核種に汚染された食品から調理・加工によってどの程度除去できるかの目安として関心が寄せられた。残念ながら、このパラメータ集をまとめた1994年時点では、我が国の独特の材料や調理・加工での除去率データが少なく、読者のニーズを十分にはカバーできなかった。

一方、2011年の事故以来、様々な機関で食品の調理や加工による放射性セシウムの除去率等のデータが取得されるようになった。これらの新たなデータを収集し、まとめることが重要であるとの認識のもと、「食品の調理・加工による放射性核種除去率データの整備検討委員会」（内田滋夫主査）を設置し、データの収集、収集したデータの評価等を行い、その結果を環境パラメータ・シリーズ4増補版（2013年）として取りまとめた。本概要はこの増補版を分かり易く要約したものである。

なお、増補版の本編は当センターのホームページの原環センターライブラリのページ（<http://www.rwmc.or.jp/library/>）から閲覧できる。

2. データの採択について

増補版で取り上げた我が国の放射性セシウム等の除去率データは、一般に公開されているデータであることを前提としている。すなわち、学術誌に投稿され論文化されたものが中心である。また、学会やそれに準ずる学術的な集会等において発表された資料に記載されたデータについては、実験条件等を、上述の委員会が確認できることを採用の基準とした。なお、TecDoc1616については、本概

要では、特に我が国においてデータが得られていない乳製品及び放射性ストロンチウムのデータを抜粋してまとめた。

データは実測に基づいており、材料に含まれる量に対しての割合や百分率で値が示されている。新たに放射性核種を実験室内で添加した材料ではなく、環境中で放射性核種を取り込んだ材料を用いた研究データを収集することに努めた。しかし、入手できた材料中の放射性核種濃度は低く、調理・加工後には更に低くなり、測定誤差が大きくなる場合があった。また、実際の調理・加工では多くの工程があり、それぞれの工程で誤差が生じることがある。したがって、本概要に記載された放射性セシウム等のデータにおいても、調理・加工によって得られた食品中の放射性核種の量と、除去された放射性核種の量を合計したときに、材料中の量に必ずしも一致しないことがある。

放射性核種の代わりに、食品中の無機元素（例えば、Cs-134 や Cs-137 に対する安定セシウム Cs-133）の濃度変化割合や除去率データがあれば、調理・加工による放射性核種に適用することができるが、安定セシウムは食品中に含まれる濃度が低く、データがほとんど無いのが実情である。しかし、目的とする放射性核種と同じような挙動をする主要元素があれば、放射性核種とその主要元素の調理・加工による除去率は類似していると考えられることから、目安として代用できる可能性がある。例えばセシウム (Cs) に対してはカリウム (K) が化学的に性質が似ている。本概要では、放射性セシウムとカリウム (K) の調理・加工による除去率等を比較すると共に、様々な食品における調理・加工によるカリウム (K) の除去率について、文部科学省科学技術・学術審議会資源調査分科会報告「日本食品標準成分表 2010」（以下、「食品成分表」）に記載されているデータをもとに算出した。

3. 食品の調理・加工による放射性核種の除去率と移行率について

図1のように放射性核種を含む材料から調理・加工によってできる食品（材料自体を食べる）については、調理・加工による放射性核種の除去率を(1)式のように定義した。このような除去率を求めることができる調理・加工としては、水洗い、皮むき等による非可食部切除、ゆでる（ただし、ゆで汁は廃棄）、蒸す、焼く、揚げる、精米、小麦製粉・大麦精麦、納豆・豆腐加工等にあてはめることができる。

$$\text{除去率 (\%)} = \left[1 - \frac{\text{調理・加工後の食品 (調理・加工品) 中の放射能総量 (Bq)}}{\text{材料中の放射能総量 (Bq)}} \right] \times 100 \dots (1)$$

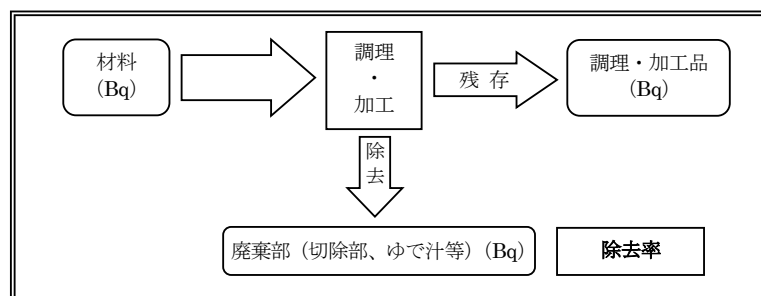


図1 調理・加工による放射性核種の材料からの除去

また、除去率ではなく、TecDoc1616 のように、[調理・加工後の食品（調理・加工品）中の放射能総量／材料中の放射能総量] で示される残存割合で、調理・加工による放射性核種の除去効果を評価することもできる。

一方、図 2 のように放射性核種を含む材料の調理・加工によってできる食品で、材料自体は食べない場合もある。例えば、米と清酒、ブドウとワイン、ウメと梅酒、緑茶葉と緑茶（浸出液）、ナタネとナタネ油がこのような食品にあてはまる。このような食品については、上記のような定義の除去率で調理・加工の効果を評価するのではなく、(2)式のような材料中の放射能総量と調理・加工品中の放射能総量を百分率で示した移行率で評価することが適切である。

$$\text{移行率 (\%)} = \frac{\text{調理・加工品中の放射能総量 (Bq)}}{\text{材料中の放射能総量 (Bq)}} \times 100 \quad \dots\dots(2)$$

しかし、多くの人の関心は、調理・加工後の食品にはどの程度の放射性セシウムが含まれているのか、すなわち、どの程度の放射性セシウムが原材料から除去されたのか、ということであろう。したがって、米と清酒、ブドウとワイン、ウメと梅酒等については、(3)式で定義する除去率で調理・加工の効果を示すこととした。以下の表中（表 1～表 5）では、このような除去率は斜体数字で示している。

$$\text{除去率 (\%)} = 100 - \text{移行率} \quad \dots\dots(3)$$

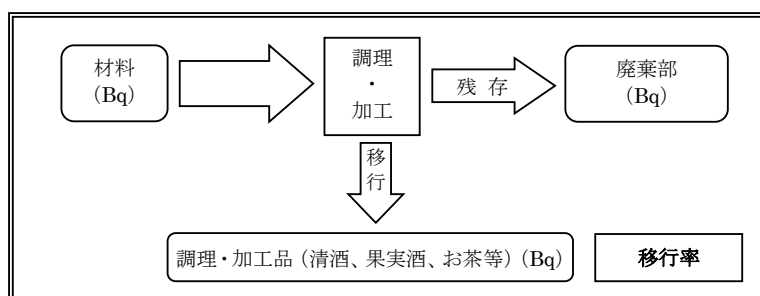


図 2 調理・加工による放射性核種の材料からの移行

4. 汚染の経路と除去率

食品の調理・加工による除去率は、食品の汚染の主な経路（図 3）により、その程度が異なることが考えられる。例えば、食品の表面が汚染をした場合には（表面汚染）、表面を水洗いすることで食品中の濃度を低減することができる。しかし、放射性核種が根を通じて土壌から農作物へ吸収されたり（経根吸収）、餌や飲用水を通じて放射性核種が家畜などの内部に取り込まれたりした場合には、放射性核種は食品の表面ではなく内部に分布している（内部汚染）。この場合には、表面を水洗いしたり、取り除いたりしても表面汚染の場合ほどの効果は無く、除去率は低い。なお、図 4 に示すように、東京電力福島第一原子力発電所の事故以降、樹体表面に付着した放射性セシウムの一部が樹体内にとりこまれて、可食部に転流する現象がチャノキや果樹等でみられ、この経路も重要な内部汚染の原因と認識されるようになった。その影響については、チェルノブイリ事故後の茶葉の濃度の経年推

移をみても、数年程度続くが、徐々に低下していくものと考えられる。

表面汚染は、原子力発電所の事故等により環境中に放射性核種が放出された直後から放出がなくなるまでの間に観察されるため、それらの調理・加工による除去率データが有効となるのは比較的短期間の間だけである。一方、放出がなくなり、長半減期核種などが環境中に残存した場合、上述したように、陸上植物では経根吸収により土壌中の放射性核種を植物体内に取り込み、また、畜水産物については、それらの餌となる生物（陸上では例えば植物、海水中ではプランクトンや小魚等）や水が放射性核種を含む場合には、体内に取り込まれる。この経路では汚染が長期間続くことになる。したがって、内部に取り込まれた放射性核種の除去に関するデータは、事故後から長期にわたって有用であると考えられる。

この概要では、放射性セシウムの除去率データを中心に、食品群ごとに整理を行い、本編の内容をまとめた。特に、表1から表6 (p11~p15) では、内部に取り込まれている放射性セシウムの除去率を示した。これは、上述したように、今後は表面汚染ではなく、内部に取り込まれている放射性セシウムが問題となるためである。

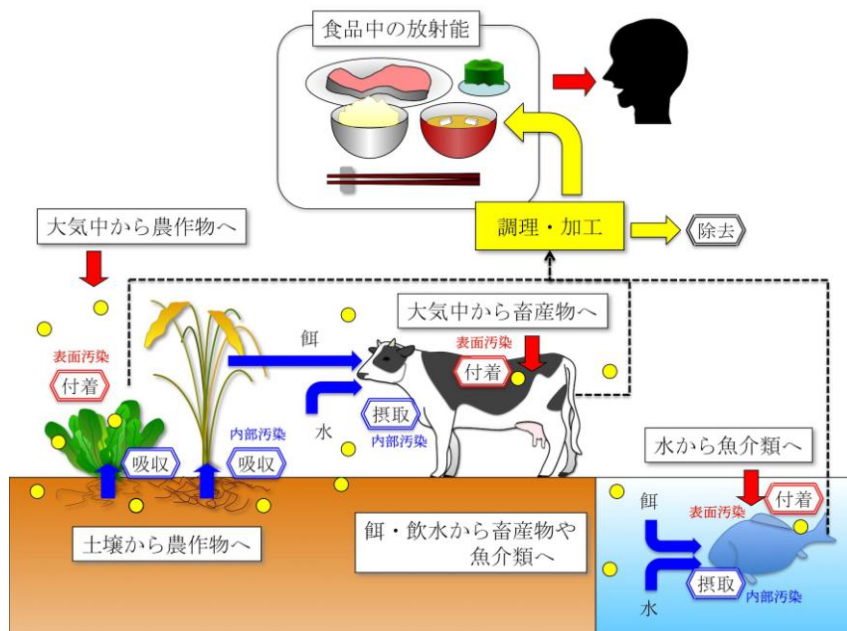
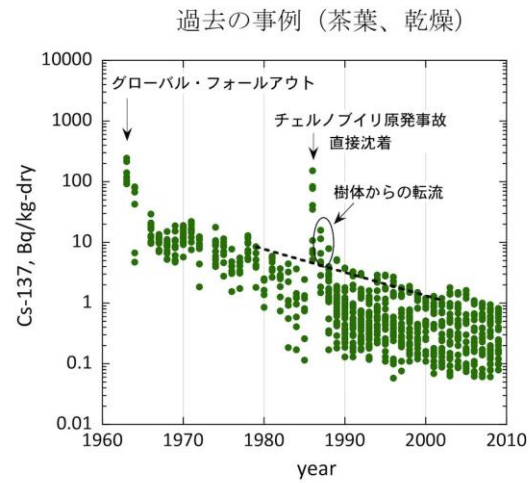
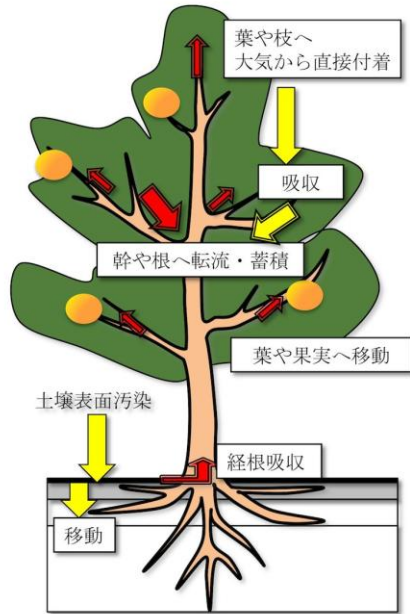


図3 放射性核種の食品への移行経路



文部科学省 環境放射線データベース : www.kankyo-hoshano.go.jp/kl_db/servlet/com_s_indexより抜粋

図4 樹木への放射性核種の取り込みと茶葉中のセシウム (Cs) -137 濃度の推移

5. 食品の調理・加工による放射性核種の除去率

5.1 内部汚染：放射性セシウム

5.1.1 穀類・豆類 (表1:11 ページ)

新たに炊飯、麺類の調理・加工、豆類の調理・加工に関する国内データが得られた。これらの値は TecDoc1616 の値とおおむね類似していた。玄米や玄麦中の放射性セシウムのほとんどは、穀粒の外側に分布するぬか (糠) やふすまに含まれており (図5)、これらの部分は精白米や小麦粉に加工する過程で取り除かれる。

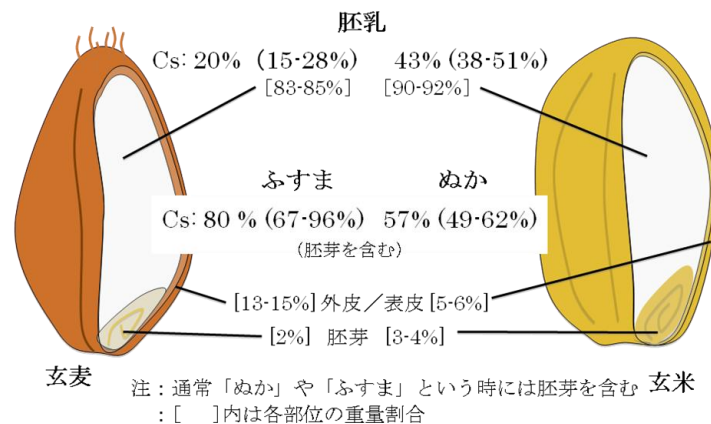


図5 玄米及び玄麦の構造と放射性セシウムの分布割合

図6には精米歩合（精米後の重量を玄米の重量で割った値の百分率。歩留まり率ともいう。）と精白米中に残る放射性セシウムの残存割合の関係を示した。精米歩合が減少するにつれて、精白米中に残存する放射性セシウムの割合は減少する。これは米の胚乳よりもぬかに放射性セシウムが多く存在するためである。精米歩合が90 - 100 %の範囲で、精米歩合が下がれば、残存割合が急激に減少（除去率は増加）する理由は、精米過程の初期に多くのぬかが除去されるためである。したがって、ぬかがほとんど除去された精白米（通常は精米歩合90 - 92 %）からさらに米を磨いても、放射性セシウムは効率的に除去されない。

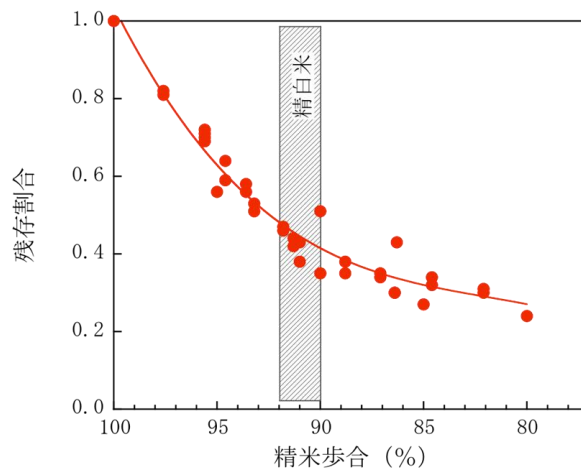


図6 精米歩合と精白米中に残存する放射性セシウムの割合

小麦については、表1に記載したように、玄麦を製粉することにより放射性セシウムが72 - 85 %（平均除去率80 %）除去された。米の場合と同様に、小麦では外皮であるふすまに放射性セシウムが分布しているためである。

製粉した小麦粉から中華麺やうどんを作り、これらをゆでることによる除去率は54 - 85 %であった（図7）。したがって、玄麦から製粉し、麺を作り、ゆでるまでの一連の調理・加工の過程で、玄麦に含まれる放射性セシウムの90 %以上が除去されることになる。

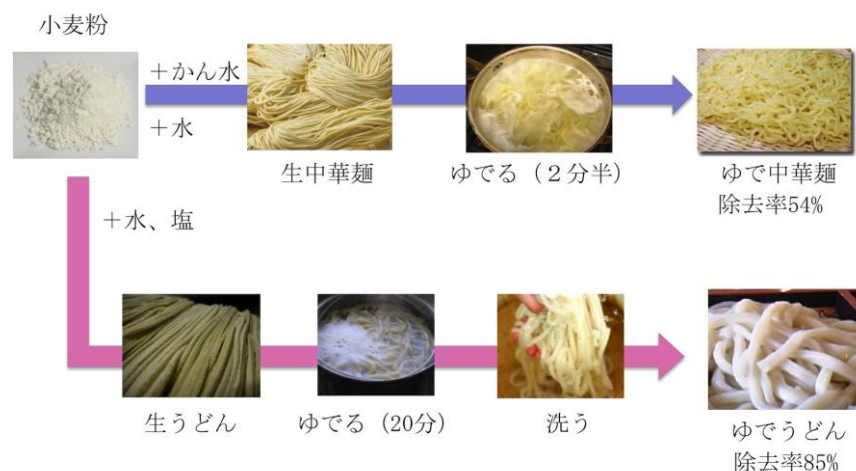


図7 小麦粉からゆでた中華麺及びうどんに調理・加工したときの除去率

大豆については、まず、乾燥した豆を水に浸して加工しやすくする必要があります。この水洗い-浸漬（しんし）により放射性セシウムが6%除去された。豆腐の場合（加工手順は図8参照）、浸漬済みの豆を煮沸し、水を捨て、おからを取り除くことにより、さらに30%が除去される。

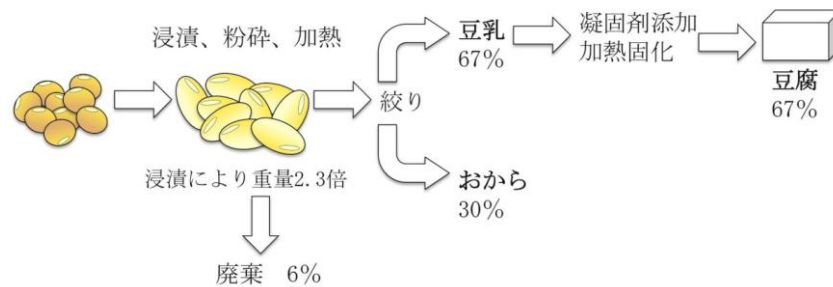


図8 豆腐加工における放射性セシウムの分布割合

5.1.2 野菜・果実・種実（表2：12ページ）

野菜の水洗いについては、放射性セシウムを含む泥やほこりが付着している場合には除去効果がある。しかし、内部汚染の場合にはほとんど効果がないため、除去率は0-21%と小さい値であった。水洗い後、ゆでる、または塩漬けすることにより除去率が高くなり、それぞれ7-78%と34-87%となった。水洗い後、ゆでることによる除去率は、野菜の種類やゆで時間とも関係する。葉菜類の方が厚めに切った根菜類よりも除去率が高くなる。また、ゆで時間が長い程、除去率が大きくなると考えられる。内部汚染をしている放射性セシウムは、野菜の細胞の中にあるため、細胞が壊されると溶け出てくる。野菜の塩漬けの場合、塩漬けしている時間が長い程、除去率が高くなるが、これは、塩の成分であるナトリウムと、野菜の中に含まれている放射性セシウムが入れ替わることで起こっている。

なお、ゆでることによって多くの必須元素もゆで汁に溶け出してしてしまうため、栄養価が損なわれることにも注意しなければならない。例えば、葉菜類をゆでることで、カリウムが46%、カルシウムやマグネシウムもそれぞれ15%と28%が除去される。

果実類については、代表としてリンゴの構造及び放射性セシウムの分布割合を図9に記載した。一般に、果実は種子の回りに果肉があり、さらに果皮で覆われている。可食部とされるのは果肉部分であり、種子や果実中心部に堅い部分がある場合は食べないことが多い。果実における放射性セシウムの濃度分布はほぼ一様であるが、果皮の部分で濃度がやや高く、果皮に比べると果肉部分の濃度が低い。この傾向は他の果実も同様である。

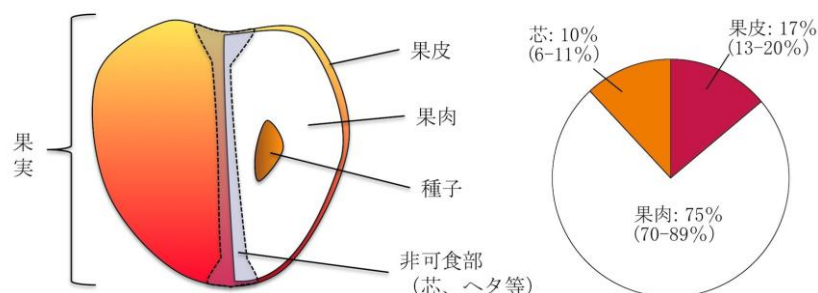


図9 リンゴの構造と放射性セシウムの分布割合
(カッコ内は分布割合の範囲)

ウメ、モモ、リンゴについては、様々な調理・加工の除去率データが追加された。イチジク、カキ、ビワ、ブルーベリー等の果実についても水洗い、皮むき等のデータが得られた。水洗いによる効果は、表 2 (p12) 中では 0 - 14 %となっているが、内部汚染であるため、ほとんどの果実で 0 %であった。皮むきによる除去率は、果皮の方が果肉よりも濃度が高い（果肉に対する果皮の濃度は 2 倍程度）が、果皮／果肉の重量比が小さいリンゴでは 17 %程度であり、果皮／果肉の重量比がそれより大きいブドウでは約 50 %であった。果実をシロップ漬け後、加熱することで、一部の放射性セシウムは果実からシロップへ移行するが、果実とともにシロップを利用する場合には、除去効果はなくなる。また、ウメを塩漬けすることで 34 - 43 %を除去された。一方、干し柿などドライフルーツの水分を抜くだけの加工では、放射性セシウムは除去されない。

オイルシードであるナタネやエゴマについては、ナタネ油やエゴマ油への放射性セシウムの移行はほとんど無かった。

5.1.3 きのこと類 (表 3 : 13 ページ)

きのこ類についてもデータが追加された。水戻しにより 51 - 54 %、また、ゆでることにより 26 - 45 %が除去された。しかし、干しいたけの水戻しで、水戻した液をダシとして利用すれば、全体としては除去されないことになる。

5.1.4 飲料等 (表 4 : 13 ページ)

果実酒、清酒、お茶、搾汁（ジュース）では、一般的に加工後の材料自体を食することはないので、調理・加工品への放射性セシウムの移行率や分布割合から除去率を算出した。

果実酒については、除去率は果実からの放射性セシウムの溶出の程度（移行率）に依存する。すなわち果実に多く残ればそれだけ果実酒への移行は少なくなり、除去率は大きくなる。梅酒へは、放射性セシウムの 57 - 100 %が移行するので、除去率は 0 - 43 %となった。しかし、梅酒と漬けたウメの実を食べる場合には除去はされないことになる（図 10）。

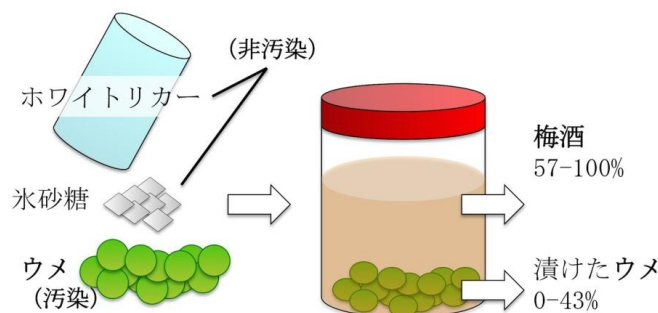


図 10 ウメの加工における梅酒への移行率

清酒については、玄米中の放射性セシウムの大半は精米過程でぬかとして除去されるため、精米歩合 70 %での除去率が 94 %であった。

ワインについては、ロゼワインでは 38 - 49 %、赤ワインでは 21 - 22 %の放射性セシウムが除去された。ロゼワイン（白ワイン同様、搾汁してから発酵）より赤ワイン（醸（かも）し仕込み）の除

去率が低くなっているのは、赤ワインでは果皮からの抽出がロゼワインよりも多いことが影響している。なお、果粒が小さい醸造用品種を用いた場合には果皮の割合が高くなることから、白ワインでは除去率が高くなると期待される。

緑茶については、緑茶（浸出液）に 50 - 70 %が移行するので、除去率は 30 - 50 %となった（図 11）。また、安定セシウムも測定されており、その結果、放射性セシウムの移行率は安定セシウムと同程度であり、汚染が内部汚染であることが示された。乾燥茶葉にお湯を注いで 5・10 秒程度水洗いして、改めて浸出する方法についても検討され、旨味成分を損なわず、緑茶（浸出液）への移行を減らす結果が得られている。

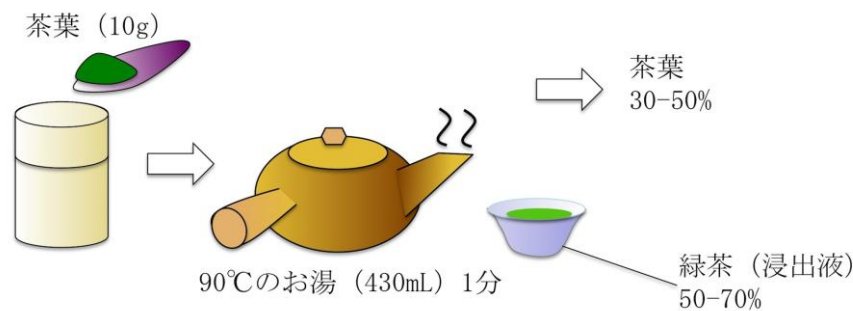


図 11 緑茶を浸出時の茶葉からの移行率

麦茶については、麦茶（浸出液）への移行率は、浸出時間とともに、15 %から 38 %へと徐々に上昇する（除去率としては、85 %から 62 %へ下降する。）。図 12 には、浸出時間を 5、60、120 分間とした場合の移行率の変化を麦茶の浸出液の色とともに示した。

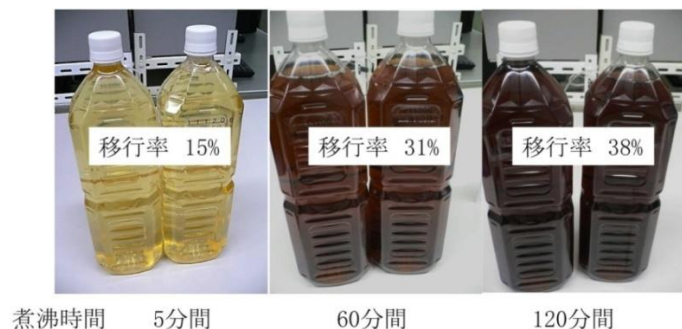


図 12 麦茶の浸出時間と放射性セシウムの移行率

5.1.5 肉類（牛肉・魚）（表 5 : 14 ページ）

新たに牛肉と魚のデータが追加された。肉に関する除去率は、おおむねこれまで海外で報告されているデータの範囲内であった。すなわち、肉をゆでることにより（しゃぶしゃぶのように薄切り肉をゆでた場合）55 - 69 %の除去率が得られた。また肉を煮ることで高い除去率（81 - 89 %）が得られた。しかし、ゆでたり、煮たりする等の調理後、ゆで汁や煮汁も使う場合の除去率は 0 %になる。な

お、焼くよりも、ゆでたり煮たりした方が除去率が高い。

肉を調味液に浸漬した場合には、17 - 78 %の除去率が得られた。調味液への浸漬時間が長い方が除去率は高い。図 13 は、調味液 A (10 %食塩水) と調味液 B (醤油と水を 1 対 1 の割合で混ぜた液) に浸漬した時の除去率を示している。いずれの調味液においても、浸漬時間が 1 日程度であれば、除去率は 20 %程度であるが、1 週間では 55 - 75 %となった。

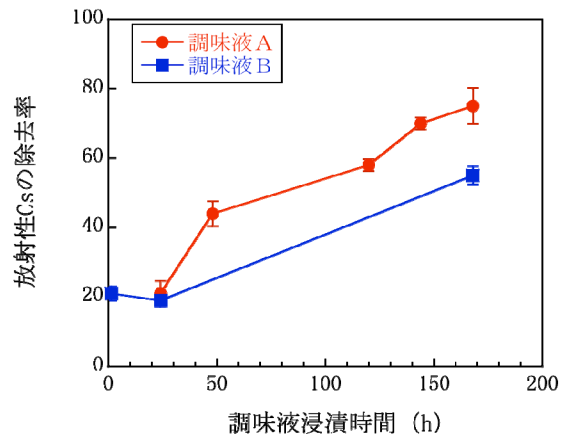


図 13 牛肉を調味液に浸漬した時間と放射性セシウムの除去率

魚については、ワカサギとかまぼこ原料のニベのデータが得られた。ワカサギの一般的な 4 つの調理方法 (から揚げ、素焼き、南蛮漬け、甘露煮) のうちから揚げや素焼きではほとんど除去できなかった (除去率 0 - 10 %)。南蛮漬けでは、魚を揚げたのちにひと煮立ちさせた調味料に 3 時間浸漬することにより、除去率 22 - 32 %が得られた。ニベを原材料として、かまぼこを作る工程での水晒しにおいては、除去率は 61 - 94 %であった。水晒し回数を増やすことで、除去率を高くすることができる。

5.1.6 乳製品 (表 6 : 15 ページ)

国内のデータがないため、チェルノブイリ原発事故後に採取されたもので、TecDoc1616 に記載の数値をまとめた。クリームやバター of 分布割合が低いことからわかるように、放射性セシウムは油脂部分にはあまり移行しない。図 14 には、TecDoc1616 に示された数値を入れて作成した各製品への分布割合を示す。

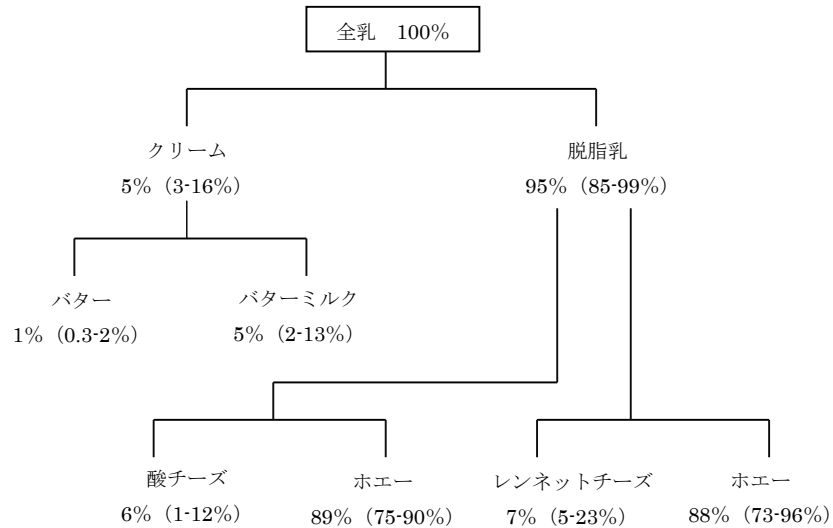


図 14 乳製品の放射性セシウムの分布割合
(カッコ内は分布割合の範囲)

表 1 放射性セシウムに内部汚染した食品からの調理・加工による除去率【穀類・豆類】

分類	調理・加工法	食品		除去率 (%)	本編中
		原材料	調理・加工品	国内データ	
米	精米	玄米	精白米	49 - 62	2.1
	研ぎ	精白米	研いだ精白米	33 - 45	2.1
	精米—水洗い—炊飯	玄米	めし	66 - 72	2.1
小麦	製粉	玄麦	小麦粉 (胚乳粉)	72 - 85	2.2
	ゆで	うどん (生) 中華麺 (生)	うどん (ゆで) 中華麺 (ゆで)	53 - 85	2.2
豆類	洗浄—浸漬	大豆	吸水した豆	6	2.3
	浸漬—加熱等	大豆	豆腐、煮豆	33 - 55	2.3
	浸漬—蒸煮—発酵	大豆	納豆、みそ	15 - 20	2.3

表2 放射性セシウムに内部汚染した食品からの調理・加工による除去率【野菜・果実・種実】

分類	調理・加工法	食品		除去率 (%)	本編中	
		原材料	調理・加工品	国内データ		
野菜・果実・種実	水洗い	葉菜 (ホウレンソウ、フキ等)	野菜 (洗浄)	0 - 21	2.5	
	水洗い	ウメ、モモ、リンゴ、ブドウ、イチジク、ユズ、ブルーベリー	果物 (洗浄)	0 - 14	2.6	
	水洗い-ゆで	葉菜 (ホウレンソウ、フキ等)	野菜等 (ゆで)	7 - 78	2.5	
	ゆで	タケノコ	タケノコ (ゆで)	26 - 36	2.5	
	ゆで-皮むき	クリ (鬼皮付)	クリ (渋皮まで皮むき)	11 - 34	2.6	
	皮むき	ダイコン	ダイコン (皮むき)	24 - 46	2.5	
	皮むき	果物 (モモ、リンゴ、ブドウ、カキ、ビワ)	果物 (皮むき)	11 - 60	2.6	
	圧搾		ナタネ	ナタネ油	99.5	2.4
			エゴマ	エゴマ油	97	2.4
	塩漬		皮付きカブ	塩漬け	35	2.5 2.6
			ウメ	塩漬け	34 - 43	
			桜葉	塩漬け	78 - 87	
	シロップ漬		リンゴ	リンゴ (シロップ漬)	20 - 27	2.6
	シロップ漬-加熱		モモ、リンゴ、イチジク、クリ、ユズ	コンポート、ドライフルーツ、マロングラッセ	33 - 79	2.6
	ゆで-糖添加-加熱		ユズ	ユズマーマレード	54 - 69	2.6

注) 斜体数字は、移行率から算出した除去率

表3 放射性セシウムに内部汚染した食品からの調理・加工による除去率【きのこ類】

分類	調理・加工法	食品		除去率 (%)	本編中
		原材料	調理・加工品	国内データ	
きのこ類	水戻し	乾しいたけ	水戻しいたけ	51 - 54	2.7
	ゆで (1.5分)	なめこ (生)	なめこ (ゆで)	26 - 45	2.7

表4 放射性セシウムに内部汚染した食品からの調理・加工による除去率【飲料等】

分類	調理・加工法	食品		除去率 (%)	本編中
		原材料	調理・加工品	国内データ	
飲料等	醸造	玄米	清酒 (精米歩合 70 %)	94	2.1
	醸造	ブドウ	ロゼワイン	38 - 49	2.6
			赤ワイン	21 - 22	2.6
	浸漬	ウメ	梅酒	0 - 43	2.6
		ユズ	ゆず酒	34 - 60	2.6
	浸漬	ウメ	ウメシロップ	13 - 33	2.6
	浸出	緑茶葉	緑茶 (浸出液)	30 - 50	2.10
	浸出	焙煎麦	麦茶 (浸出液)	62 - 85	2.10
	搾汁	モモ、リンゴ、 ブドウ	果汁	27 - 43	2.6
	搾汁 (ペクチナーゼ処理)	ウメ、リンゴ	果汁	19 - 25	2.6

注) 斜体数字は、移行率から算出した除去率

表5 放射性セシウムに内部汚染した食品からの調理・加工による除去率【肉類】

分類	調理・加工法	食品		除去率 (%)	本編中
		原材料	調理・加工品	国内データ	
牛肉	ゆで	牛肉 (内モモ、ランプ)	牛肉 (ゆで)	55 - 69	2.9
	煮る	牛肉 (内モモ)	牛肉 (煮る)	81 - 89	2.9
	揚げ、焼き	牛肉 (内モモ、ランプ)	牛肉揚げ、焼き	0 - 21	2.9
	浸漬 (調味液)	牛肉 (内モモ、ランプ)	牛肉調味漬	17 - 78	2.9
魚	揚げ、焼き	ワカサギ (生)	から揚げ、焼き	0 - 10	2.8
	南蛮漬け	ワカサギ (生)	南蛮漬け	22 - 32	2.8
	甘露煮	ワカサギ (生)	甘露煮	8 - 15	2.8
	水晒し (0.1 %食塩水)	ニベ (肉)	さらし肉 (かまぼこ原料)	61 - 94	2.8

表6 放射性セシウムに内部汚染した食品からの調理・加工による除去率【乳製品】

分類	調理・加工法	食品		除去率 (%)	本編中
		原材料	調理・加工品	TecDoc 1616	
乳製品	乳脂肪分 18.0 %以上	牛乳	クリーム	84 - 97	3.2
	乳脂肪分を除去して から水分を除去	牛乳	脱脂粉乳	1 - 15	3.2
	クリーム分離後、脂肪 以外のバターミルク 除去	牛乳	バター	98 - 99.7	3.2
	上記参照	牛乳	バターミルク	87 - 98	3.2
	ろ過・脱脂・濃縮・乾燥	牛乳	乾燥粉ミルク	0	3.2
	原乳を煮詰める	牛乳	練乳	0	3.2
	ソフトタイプ	牛乳	クロミエチーズ	85 - 93	3.2
	セミハードタイプ	牛乳	サン・ネクテール チーズ	85 - 93	3.2
		牛乳	ホエー (サン・ネ クテールチーズ)	4 - 27 (レンネット)	3.2
	ハードタイプ	牛乳	コンテチーズ	85 - 93	3.2
牛乳		ホエー (コンテチ ーズ)	4 - 27 (レンネット)	3.2	

5.2 内部汚染：放射性ストロンチウム

放射性ストロンチウムについては、東京電力福島第一原子力発電所事故に伴って放出された量が少なかったこともあり、内部汚染したものについての除去に関わるデータは得られていない。表7には参考までに、TecDoc1616に記載されたデータから抜粋した。

表7 放射性ストロンチウムに内部汚染した食品からの調理・加工による除去率

分類	調理・加工法	食品		除去率 (%)
		原材料	調理・加工品	
穀類	精米	玄米	精白米	60 - 90
	製粉	玄麦	小麦粉 (胚乳粉)	40 - 90
野菜／果実	水洗い	野菜、ベリー類、果物	野菜、ベリー類、果物 (洗浄)	0 - 60
	皮むき	野菜	野菜 (皮むき)	10 - 50
	煮沸	野菜、ベリー類、果物	野菜、ベリー類、果物 (ゆで)	0 - 40
肉類	煮沸	肉	肉 (ゆで)	10 - 60
	揚げ、焼き	肉	肉 (揚げ、焼き)	20
	煮沸	魚	魚 (ゆで)	10
	水道水水洗い	小エビ、二枚貝	小エビ、二枚貝 (洗浄)	30
	1・3%塩水洗浄	小エビ、二枚貝	小エビ、二枚貝 (洗浄)	40 - 70

5.3 表面汚染：放射性セシウム、放射性ヨウ素及び放射性テルル

放射性核種（放射性セシウム、放射性ヨウ素、放射性テルル）が葉菜類や果実の表面に付着した場合（表面汚染）の水洗いやゆでることによる除去率が新たに得られた（表8）。水洗いにより得られる最大の除去率は、57%であった。TecDoc1616には、最大値90%除去できるという報告がある（本編3.1参照）。放射性核種が葉菜類や果実の表面に付着した場合の水洗いによる除去効果が異なる理由として、表面の性状などの影響によると考えられている。また、時間の経過とともにこれらの材料の表面からは落ちにくくなることが考えられる。放射性セシウムについては、水洗い後ゆでることにより、24・84%の除去率が得られた。内部汚染の場合は、7・78%（表2）の除去率であった。表面付着した放射性ヨウ素及び放射性テルルの除去率は、放射性セシウムとほとんど同じであった。

表 8 放射性核種に表面汚染した葉菜類及び果実からの除去率

分類	放射性核種	調理・加工法	除去率 (%)
葉菜類 (ホウレンソウ、フキ、ヨモギ等)	放射性セシウム (Cs-137, Cs-134)	水洗い	0 - 57
		水洗い・ゆで	24 - 84
	放射性ヨウ素 (I-131)	水洗い	9 - 62
		水洗い・ゆで	40 - 81
	放射性テルル (Te-132)	水洗い	0 - 57
		水洗い・ゆで	24 - 84
果実 (ウメ)	放射性セシウム (Cs-137, Cs-134)	水洗い	30 - 52

5.4 カリウムの除去率

図 15 に示したように、カリウム (K) -40 (^{40}K) とセシウム (Cs) -137 (^{137}Cs) の調理後の野菜中への残存割合は、ほぼ 1 : 1 のライン上にある。したがって、放射性セシウムのデータがない場合には、食品に含まれるカリウムの除去率を目安として利用することができる。表 9 にそのデータを取りまとめた。例えば、玄米を精米し、炊飯した場合の除去率は、放射性セシウムで 66 - 72 % (表 1)、カリウムで 75 % であり、ほぼ同様の値となる。

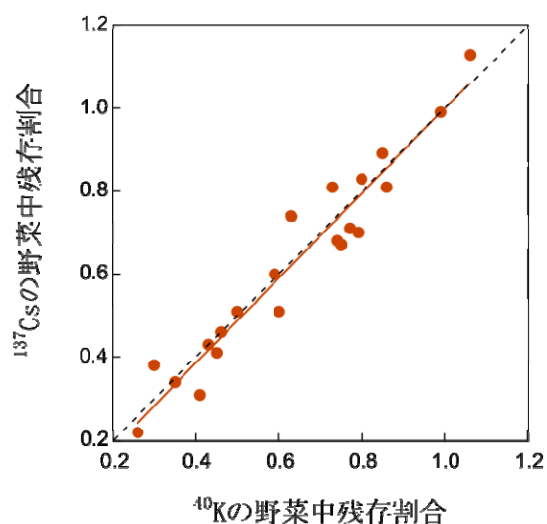


図 15 Cs-137 と K-40 の調理・加工後の野菜中の残存割合の比較

表9 食品の調理・加工後のカリウムの除去率

分類	材料	調理・加工法	除去率 (%)
穀類	玄米	精米	65
	精白米	研ぎ-炊飯	28 - 32
	玄米	精米-炊飯	75
	玄麦	製粉	68 - 82
	乾めん	ゆで	68 - 89
	生めん	ゆで	60 - 82
豆類	乾燥 (ダイズ、エンドウ、インゲン)	ゆで	28 - 41
	生 (さやつき含む:エダマメ、サヤエンドウ、ソラマメ、グリーンピース)	ゆで	0 - 22
	もやし	ゆで	71 - 86
野菜類	ホウレンソウ、キャベツ、ハクサイ、セリ等	ゆで	4 - 75
	ブロッコリー、カリフラワー、フキノトウ等	ゆで	3 - 57
	フキ、茎ニンニク、タケノコ、アスパラガス	ゆで	1 - 89
	ナス、トウガン、オクラ等	ゆで	0 - 50
	ダイコン、ゴボウ、ニンジン等	ゆで	4 - 40
	ジャガイモ、タマネギ、ユリネ等	ゆで	10 - 50
	ジャガイモ、サツマイモ等	蒸し	0 - 22
	ハクサイ、キョウナ、カラシナ等	塩漬	20 - 44
	キュウリ、ナス等	塩漬	3 - 42
	ダイコン、カブ等	塩漬	0 - 11
	キュウリ、ナス等	ぬかみそ漬	0
	ダイコン、カブ等	ぬかみそ漬	0
	ナス、ピーマン、シシトウ等	油炒め	0 - 9
果実類	サクランボ、モモ	ヘビーシラップ漬	53 - 61
きのこ類	生 (エノキダケ、マイタケ、なめこ、マッシュルーム等)	ゆで	9 - 59
	乾燥 (しいたけ、キクラゲ等)	ゆで	15 - 92
魚介類	カレイ、アジ、タイ等	ゆで	0 - 33
	ハマグリ、カキ、ホタテ等	ゆで	13 - 43
	カニ、エビ	ゆで	0 - 43
	タコ、イカ	ゆで	24 - 62
	カレイ、メザシ、サケ、サンマ、ブリ、サバ、アマダイ、アユ、アジ等	焼き	0 - 16
	ハマグリ、サザエ等	焼き	7 - 23
肉類	牛肉リブローズ、もも	ゆで	56 - 57
	豚肉ロース、もも	ゆで	55 - 61
	鶏肉もも、ささみ	ゆで	33 - 45
	牛肉リブローズ、もも	焼き	10 - 12
	豚肉ロース、もも	焼き	7 - 11
	鶏肉もも、ささみ	焼き	6 - 16
飲料	紅茶、緑茶	浸出	27 - 71

6. おわりに

東京電力福島第一原子力発電所の事故以来、どのような調理・加工を行えば、食品中の放射性核種摂取量を下げることができるかに多くの関心が寄せられ、問い合わせがあった。本研究はこの関心に答えるため、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」の改訂を意図し、日本人が通常に食する食品に関する除去率をまとめるという観点から、様々な機関で取得されている調理や加工による放射性セシウムの除去率等のデータを収集・整理して、広く国民が最新のデータとして活用できるように整備したものである。食品モニタリングの体制が次第に整備されてきており、100 Bq/kg（生重量）を越える食品が市場に出ることは無いと思われるが、実際に食べている食品中の放射性核種が調理・加工によりどの程度除去されているのかは、多くの国民が安心・安全のために知りたい情報であることに変わりはない。

このデータ集が、多くの人に読まれ、少しでも安心・安全に貢献することができれば幸いである。

「食品の調理・加工による放射性核種除去率データの整備検討委員会」 委員名簿
(順不同、敬称略)

内田 滋夫（主査）	独立行政法人	放射線医学総合研究所
川本 伸一	独立行政法人	農業・食品産業技術総合研究機構 食品総合研究所 (平成 25 年 3 月まで)
濱松 潮香	独立行政法人	農業・食品産業技術総合研究機構 食品総合研究所 (平成 25 年 4 月から)
田上 恵子	独立行政法人	放射線医学総合研究所
田野井 慶太郎	東京大学大学院	農学生命科学研究科
松田 りえ子	国立医薬品食品衛生研究所	
吉岡 邦雄	福島県農業総合センター	

(事務局)

古賀 洋一	公益財団法人	原子力環境整備・資金管理センター	専務理事
藤原 愛	公益財団法人	原子力環境整備・資金管理センター	企画部

平成 25 年 9 月刊行

公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター（原環センター）

Radioactive Waste Management Funding and Research Center

〒104-0052 東京都中央区月島 1 丁目 15 番 7 号 パシフィックマークス月島 8 階
TEL : 03(3534)4511 (代表) FAX : 03(3534)4567 <http://www.rwmc.or.jp/>

本書の複写・転載などの問い合わせは、企画部までお願いします。