

【報告】

福島第一原子力発電所事故後における ユズの放射性セシウム濃度とドレッシング作製による濃度変化

小山内 暢^{*1} 清水 真由美^{*2} 田中 和貴^{*3} 工藤 幸清^{*1}
細川 翔太^{*1} 對馬 恵^{*1} 堀内 輝子^{*3} 木立 るり子^{*4}

2025 年 3 月 27 日受付, 2025 年 7 月 4 日受理

要旨 : ユズは日本で古くから親しまれてきた柑橘類で, 近年は輸出も盛んになっている。本研究では, 食品中の放射性物質に関する現行の基準値が適用された 2012 年度から 10 年間のモニタリング検査結果を基に, 放射性セシウム濃度を解析した。さらに, 実測で部位別濃度を明らかにし, 調理加工例として, ドレッシング作製による濃度変化も評価した。10 年間の全検体のうち 45.6% でセシウムが検出され, 濃度の中央値は 12 Bq/kg, 95 パーセンタイル値は 49 Bq/kg と低濃度分布が特徴的で, 経年に伴う濃度低下傾向がみられた。実測で全体の濃度が 21.0 Bq/kg であるユズの部位別濃度は, 種子, 果皮, じょう囊膜, 果汁・砂じょうの順に高くそれぞれ 32.0, 24.8, 14.2, 13.2 Bq/kg であった。果汁・砂じょうで作製したドレッシングの果実全体に対する濃度比は 0.27 であった。濃度は喫食部で低く調理加工により大きく低下した。

キーワード : 食品中の放射性物質, ユズ, 放射性セシウム, 食品安全, リスクアナリシス

I. はじめに

2011 年に発生した福島第一原子力発電所事故（以下「原発事故」という。）に伴い, 環境中に放射性物質が拡散された¹⁾。厚生労働省は, 同年 3 月 17 日に食品中の放射性物質に対して暫定規制値を設定した²⁻⁵⁾。その後, 長期的な状況に対応するため, 2012 年 4 月には, 食品中の放射性物質に関する現行の基準値が放射性セシウム (^{134}Cs と ^{137}Cs の合計値) に対して定められた（現在は, 食品衛生基準行政は消費者庁に移管されている）³⁻⁶⁾。現行の基準値の具体的な値としては, 飲料水 10 Bq/kg, 牛乳及び乳児用食品 50 Bq/kg, 一般食品 100 Bq/kg が適用されている。この基準値を基に, 17 都県の地方自治体を中心としたモニタリング検査が実施されている⁷⁾。原発事故以降, 多くの検証がなされ, 食品摂取による内部被ばく線量は十分に小さいことや食品中の放射性物質に関する規制が妥当であったことなどが示され, 我が国の放射性物質に関する食の安全は十分に確保されていると評価されてきた⁸⁻¹³⁾。また, 消費者庁によって継続して実施されている「風評に関する消費者意識の実態調査」においても, 食品中の放射性物質やそのリスクを懸念する人の割合は減少傾向にあることが示されてい

るが^{14, 15)}, より一層の安心に向けては, 多角的な観点から検証を続ける必要がある。

ユズはミカン科ミカン属の香酸柑橘類で, 消費量・生産量ともに日本が最大であり, 古くから親しまれてきた¹⁶⁻¹⁸⁾。近年は, 海外での人気も高まり, 欧州をはじめとした各国・地域への輸出が広がりを見せている^{19, 20)}。高知県や徳島県が主要なユズの産地ではあるものの²¹⁾, 福島県においてもユズは栽培されており, 地域特産果樹のひとつとして振興品目に掲げられている^{22, 23)}。さらに, 自家消費食品等を対象とした放射能簡易検査へのユズの持込みも多く見受けられ²⁴⁾, 住民の関心の高さがうかがえる。原発事故後には, ユズを含む果樹を対象とした放射性セシウムの動態に関する研究も行われてきた²⁵⁻²⁷⁾。ユズは, 果肉や果皮がジャムや菓子作りに用いられったり, 果皮が漬物等の風味付けとして使われたりする。さらには果汁を用いた調味料も広く普及しているなど, ユズの喫食方法は多岐にわたる。そのため, ユズの放射性セシウム動態に関するより詳細なデータの蓄積が求められる。

本研究では, 我が国の特産品のひとつであるユズの放射性セシウム動態に関する知見の収集を目的として, モニタリング検査結果を基にユズの果樹全体の放射性セシウム濃度を解析するとともに, 実測によって, 福島県内で採取されたユズの部位別の濃度や調理加工（ドレッシング作製）による濃度変化を評価した。

II. 方法

1. モニタリング検査結果の解析

厚生労働省が, 取りまとめ, ウェブサイト²⁸⁾にて公表しているモニタリング検査結果を用いた。解析対象期間は, 食品中の放射性物質に関する現行の基準値が適用された

*1 弘前大学大学院保健学研究科

Hirosaki University Graduate School of Health Sciences
〒036-8564 青森県弘前市本町 66-1 TEL:0172-33-5111
66-1, Hon-cho, Hirosaki-shi, Aomori, 036-8564, Japan

*2 弘前大学教育学部

Faculty of Education, Hirosaki University
〒036-8560 青森県弘前市文京町 1 TEL:0172-36-2111
1, Bunkyo-cho, Hirosaki-shi, Aomori, 036-8560, Japan

*3 弘前大学被ばく医療総合研究所

Institute of Radiation Emergency Medicine, Hirosaki University
〒036-8564 青森県弘前市本町 66-1 TEL:0172-33-5111
66-1, Hon-cho, Hirosaki-shi, Aomori, 036-8564, Japan

*4 青森中央学院大学看護学部

Faculty of Nursing, Aomori Chuo Gakuin University
〒030-0132 青森県青森市大字横内字神田 12 TEL: 017-728-0131
Correspondence Author ominoru@hirosaki-u.ac.jp (Minoru Osanai)

2012 年度から 10 年間とし、対象地域は限定しなかった。

検査結果は、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 及びそれらの合計の放射能濃度 (Bq/kg) が採取・購入日、結果判明日、公表日、食品カテゴリ、品目名 (我々の解析では 10 年間で 6670 品目) 等とともに示されている。まず、本研究の前段階として、全品目の検査結果を収集し、合計放射能濃度、採取・購入日のいずれかが記載されていない検査結果は除外した。次に、採取・購入日によって日付を分類し、食品カテゴリが「農産物」で品目名が「ユズ」である検査結果を抽出した。 ^{134}Cs と ^{137}Cs の合計に対して、放射性セシウムの検出率、放射能濃度を解析した。

2. 福島県内で採取されたユズの放射性セシウム濃度測定

試料として、2021 年 12 月に福島県浪江町にて採取されたユズ 20 個 (2,070 g、品種は不明) を用いた。放射能濃度の測定には、CsI シンチレーション検出器を搭載した非破壊方式の放射性セシウム測定装置 FD-08Cs1000-1 レギューム・ライト (クロスレイテクノロジー株式会社) を使用した。測定時間は 30 分とし、検出下限値は 3.1~8.2 Bq/kg であった。

(1) 部位別の放射能濃度解析

ユズの部位別の名称を図 1 に示す。

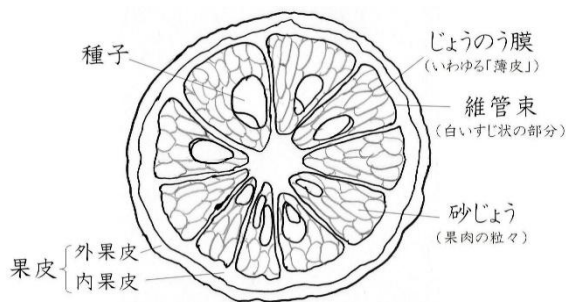


図 1 ユズの部位別の名称

果実全体の放射性セシウム濃度は、測定装置の容積の関係で 4 回に分けて測定した。その後、ユズを果皮 (外果皮と内果皮)、じょうのう膜、果汁・砂じょう、種子に分けた。その際は、果実を上下半分にカットし、丸形のレモン絞り器を用いて、果皮から果汁・砂じょう、じょうのう膜、種子を分離した。つづいて、果汁・砂じょうが残存するじょうのう膜をガーゼで絞り、じょうのう膜と果汁・砂じょうをさらに分離した (図 2)。



図 2 分離後のユズの各部位

その後、部位 (果皮、じょうのう膜、果汁・砂じょう、種子) ごとに放射性セシウム濃度を測定した。

(2) 調理加工 (ドレッシング作製) による濃度変化

調理加工の例として、ユズを用いたドレッシング作製による放射性セシウム濃度の変化を評価した。オリーブオイル (トルコ産) 225 g、ユズの果汁・砂じょう 130 g、醤油 75 g、酢 50 g、すりおろしたユズの果皮 20 g、砂糖及びコショウ適量を混合し、ユズドレッシングとし、放射性セシウム濃度を測定した。ドレッシング作製に用いたユズの果汁・砂じょう及び果皮は、「(1) 部位別の放射能濃度解析」で濃度測定を行ったものを使用した。

III. 結果

1. モニタリング検査結果の解析

各年度のユズの放射性セシウムの検出率 (検査件数に対する放射性セシウムの検出数) を図 3 に示す。なお、本解析では、検出下限値を超えた場合を「検出」として扱った。2012 年度から 2021 年度の全期間における検出率は 45.6% であった。食品中の放射性物質に関する現行の基準値が適用された 2012 年度の検出率は 77.4% であったが、経年変化をみると、検出率は低下傾向にあり、基準値適用 5 年目の 2016 年度以降は、検出率は 40% を下回った。最低検出率は 2020 年度の 11.5% であった。

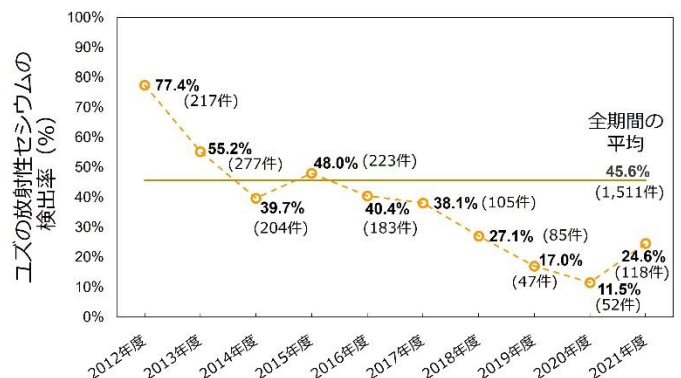


図 3 ユズの放射性セシウムの検出率

検出率に加え、ユズに対するモニタリング検査の実施件数を括弧内に併せて示している

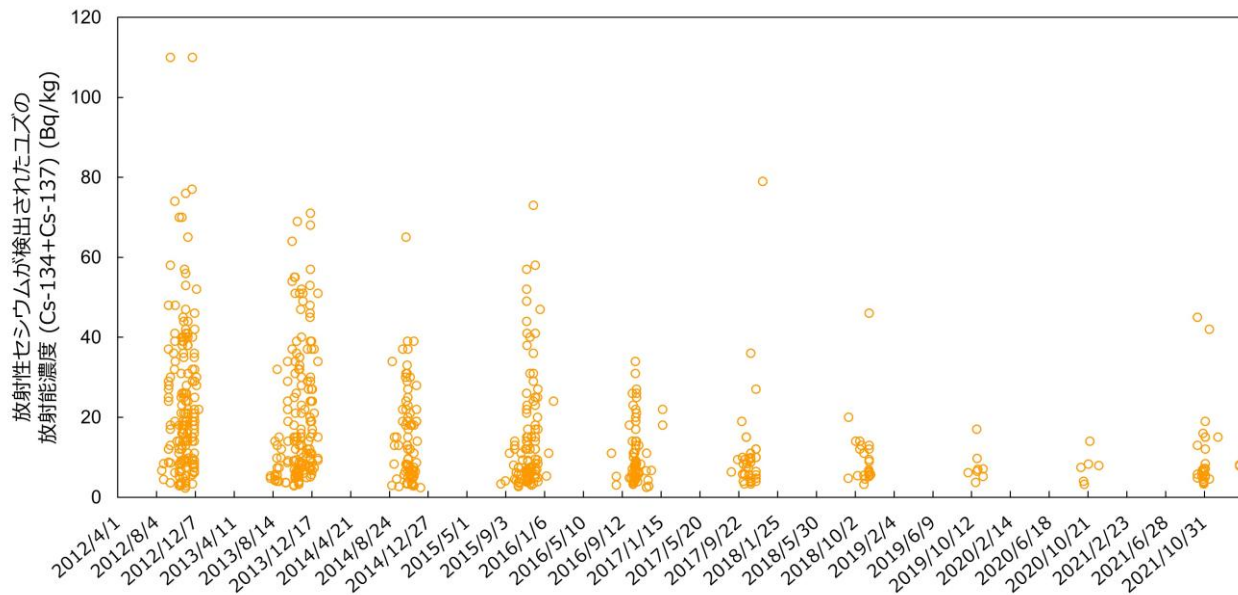


図4 モニタリング検査によるユズの濃度分布

放射性セシウムが検出された試料の濃度分布を示しており、不検出（検出限界値未満）であった試料は含まない。

表1 放射性セシウムが検出されたユズの放射能濃度の中央値と95パーセンタイル値（Bq/kg）

	年度										
	全期間	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
中央値	12	19	14	12	9.3	7.1	8.4	6.8	6.8	7.7	6.9
95パーセンタイル値	49	58	53	37	46	26	27	19	14	13	33

放射性セシウムが検出されたユズの濃度分布を図4に示す。表1には、放射性セシウムが検出されたユズの放射能濃度の中央値、95パーセンタイル値を示す。全期間で基準値を超過したのは2012年度の2件であり、その放射性セシウム濃度は、ともに110 Bq/kgであった。経年とともに、濃度分布の幅は低濃度側に収束する傾向にあった。また、年度別に見た場合、放射性セシウムが検出されたユズの放射能濃度の中央値は、6.8～19 Bq/kg、95パーセンタイル値は13～58 Bq/kgであった。全期間で見ると、放射能濃度の中央値、95パーセンタイル値はそれぞれ12 Bq/kg、49 Bq/kgであった。経年変化をみると、中央値、95パーセンタイル値ともに低下傾向にあった。

2. 部位別の放射能濃度

ユズの部位別の放射性セシウム濃度、検出限界値及び各試料の重量を表2に示す。果実全体の放射性セシウム濃度は、21.0 Bq/kg（重量加重平均値）であった。部位別には、果皮24.8 Bq/kg、じょうのう膜14.2 Bq/kg、果汁・砂じょう13.2 Bq/kg、種子32.0 Bq/kgで、種子の濃度が最も高く、ついで、果皮の濃度が高かった。4部位の中で、じょうのう膜と果汁・砂じょうの濃度は低く、同等であった。果実全体の放射性セシウム濃度に対する各部位の濃度の比（濃度比）は、果皮1.18、じょうのう膜0.68、果汁・砂じょう0.63、種子1.52であった。

表2 ユズの部位別の放射能濃度

	セシウム濃度 (Bq/kg)	検出 限界値 (Bq/kg)	重量(g)	重量加重 平均濃度 (Bq/kg)
果実全体①	19.3	5.1	514	21.0
果実全体②	19.9	5.0	522	
果実全体③	22.4	5.1	512	
果実全体④	22.6	5.0	522	
果皮	24.8	3.1	845	—
じょうのう膜	14.2	4.5	459	—
果汁・砂じょう	13.2	5.9	346	—
種子	32.0	8.2	251	—

3. 調理加工（ドレッシング作製）による濃度変化

果汁・砂じょう及び果皮で作製したドレッシング（重量481 g）の放射性セシウム濃度は、5.8 Bq/kgであり、果実全体に対する濃度比（加工係数）は0.27であった。

IV. 考察

食品中の放射性セシウム濃度は、食品の種類によって大きく異なる。例えば、野生の山菜やきのこ類、野生鳥獣肉は基準値（100 Bq/kg）を超過する割合が高い食品として知られているが、一般に、野生鳥獣肉に比べ、野生の山菜やきのこ類の放射性セシウム濃度は低いことが知られている。

¹²⁾。さらに、調理加工によって、食品中の放射性セシウム濃度は大きく変化することから²⁹⁻³¹⁾、食品の種類別に放射性セシウム濃度分布や調理加工による濃度変化を評価する意義は大きい。本研究では、ユズを対象として、原発事故後の放射性セシウム動態を評価した。

現行の食品中の放射性物質に関する基準値が適用されてからの 10 年間を対象としたモニタリング検査結果の解析において、ユズの放射性セシウム検出率は 11.5~77.4% と決して低くはなかった。しかしながら、放射性セシウム濃度に着目すると、基準超過は 2 件のみであり、それらの検体の濃度は 110 Bq/kg であった。例えば、野生鳥獣肉では数千~数万 Bq/kg のオーダーで放射性セシウムが検出される場合がある¹²⁾ことを踏まえると、ユズの放射能濃度は、さほど高濃度ではなかった。また、放射性セシウムが検出されたユズの放射能濃度の中央値は 6.8~19 Bq/kg (95 パーセンタイル値は 13~58 Bq/kg) であった。さらに、農林水産省による報告書³²⁾では、2015 年のユズ果実中の放射性セシウム濃度は 30.2~68.6 Bq/kg であったと示されている。また、別のデータ²⁷⁾においても、2012 年に基準値を上回る例が示されているが、その濃度は 135.6 Bq/kg であった (本研究の対象期間外である 2011 年の濃度は 364.6 Bq/kg)。また、先行研究¹³⁾のデータからは、柑橘類の放射性セシウム濃度は野生鳥獣肉、山菜、きのこ類、魚介類等よりも低いことが読み取れる。以上のことから、原発事故によるユズへの影響は認められるものの (前述の報告書³²⁾では、ユズ樹体内に貯蔵された放射性セシウムの果実への再転流が、果実への影響の主要因であると評価されている)、果実に対する放射能濃度としての影響は顕著ではなかったものと言える。

また、ユズの放射性セシウム検出率 (図 3) の経年変化に着目すると、低下傾向にあることは確かであるものの、2021 年度のように、検出率が過去よりも上昇する場合があった。この検出率の逆転現象は、モニタリング検査の合理化・効率化や検査対象となったユズの産地の違いによって放射能濃度の高いユズが試料として含まれたことが一因であると推察される。

次に、放射性セシウムが検出されたユズの放射能濃度 (中央値) の経年変化について考察する。原発事故後の放射性セシウムの理論的な減衰の様子ならびに表 1 で示したユズの放射能濃度 (中央値) の経年変化を合わせて図 5 に示す。放射性セシウムの理論的な減衰の様子は、2011 年の原発事故時に ¹³⁴Cs と ¹³⁷Cs が等量で環境中に放出されたものと仮定し、それぞれの物理的半減期 (¹³⁴Cs : 2.06 年, ¹³⁷Cs : 30.2 年³³⁾) を基に、各年における ¹³⁴Cs と ¹³⁷Cs の合計の残存率を求め、2012 年度を基準として示したものである。2011 年に ¹³⁴Cs と ¹³⁷Cs が等量 (合計 1.0) で放出されたと仮定した場合、各年における ¹³⁴Cs と ¹³⁷Cs 合計の残存率は以下の式で与えられる。

¹³⁴Cs と ¹³⁷Cs の合計の残存率 :

$$0.5 \times e^{-\frac{\ln 2}{2.06}t} + 0.5 \times e^{-\frac{\ln 2}{30.2}t}$$

ただし、 t は経過時間 (年) である。また、図 5 の物理的減衰は、2012 年度の残存率を基準 (1.0) とし、各年度の残存率をプロットしたものである。

ユズの放射性セシウム濃度も 2012 年度を基準として示したが、物理的減衰よりも大きく低下しており、カリウム資材の散水処理やカリウムの施肥^{32, 34)}、土壌表土の削り取り、ウェザリング等によって、ユズ果実に吸収される放射性セシウムが減少したためであると考えられた。

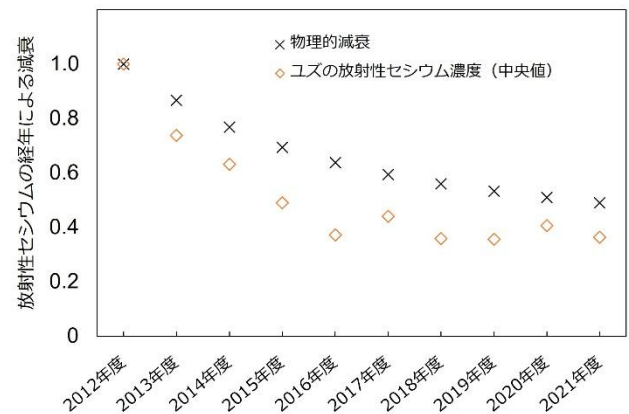


図 5 放射性セシウムの物理的減衰ならびにユズの放射能濃度の経年変化

ユズの果実全体に対する各部位の濃度比は、果皮 1.18, じょうのう膜 0.68, 果汁・砂じょう 0.63, 種子 1.52 であった。先行研究²⁵⁾においては、果皮、果肉、種子の濃度比が評価されており、それぞれ、1.20, 0.66, 1.40 と示されている。本研究におけるじょうのう膜と果汁・砂じょうが果肉に該当すると考えると、本研究で得られた濃度比は先行研究に概ね一致する。食材として活用される機会が多いであろう果肉の濃度比が最も低く、この点は消費者にとっての安心材料となり得ると考える。また、果皮の濃度比は種子について高いが、一般に、香りづけとしての使用量は少なく、放射性セシウムの摂取量はさほど多くはならないと推察される。また、ユズの果皮をマーマレードジャムに加工する場合、直接的に果皮を喫食することとなるが、ユズマーマレードの作製工程において果皮を水に浸漬するなどして苦みを抜く際に放射性セシウムが流出するため、この場合も、調理加工後の放射性セシウム濃度は果実全体より大幅に小さくなることが知られている²⁵⁾。最も濃度比が高かったユズの種子が直接喫食されることは極めて稀であると考えられるが、種子を調味料に浸漬して用いるレシピが散見されることから、この場合の放射性セシウムの移行に関する検討も望まれる。

セシウムとカリウムは周期表の族が同じ (アルカリ金属

元素)であり、化学的性質が似ていることから、植物による吸収において両者は競合することが知られている(先に述べた、カリウムの施肥もこの原理に基づく)³⁵⁾。文献によると、ユズの部位別のカリウム量(ユズ 100 g 当たり)は、果皮 140 mg、果汁 210 mg と報告されており³⁶⁾、果汁よりも果皮のカリウム量が少ない。本研究では、果汁・砂じょうよりも果皮の放射性セシウム濃度が高い結果が得られており、先の文献によるカリウム量の関係と矛盾する。これは、放射性セシウムとカリウムの吸収経路が異なる(根からの放射性セシウムの果実への取り込みは少なく、樹体からの転流が主要因と考えられている³²⁾)ことが一因として挙げられるが、より詳細な検討が必要である。

本研究では、ユズの調理加工の例として、ユズの果汁・砂じょう及び果皮を用いたドレッシング作製による濃度変化を評価した。ドレッシングの放射性セシウム濃度は 5.8 Bq/kg であり、ユズ果実全体に対するドレッシングの濃度比(加工係数)は 0.27 であった。ドレッシングの放射性セシウム濃度は果実全体の 3 分の 1 未満となった。調理加工によって放射性セシウム濃度が大きく低下するひとつの例であり、現地の住民や消費者に対するリスクコミュニケーション活動の際にひとつの資料として提示できるものと思われる。また、今回のドレッシングの放射性セシウム濃度 5.8 Bq/kg、1 日摂取量 35.7 g (国民健康・栄養調査における「その他の調味料」の平均摂取量)³⁷⁾、線量係数 1.33×10^{-8} Sv/Bq (^{134}Cs , ^{137}Cs それぞれの物理学的半減期による残存率で加重平均した 2021 年度の放射性セシウムに対する線量係数¹³⁾)によって、ユズのドレッシング摂取による年間内部被ばく線量を保守的に見積もると、 1.0×10^{-3} mSv/年となり、内部被ばくへの寄与は十分に小さいことが確認できた。

今回作製したドレッシングの放射性セシウム濃度は 5.8 Bq/kg であった。一方で、作製に用いたユズの果汁・砂じょう及び果皮の放射性セシウム濃度(ユズ以外の調味料等は、放射性セシウムが検出される傾向にないため、放射性セシウム濃度は 0 と仮定)と各材料の重量を基に、ドレッシングの放射性セシウム濃度を計算すると 4.4 Bq/kg であり、実測値のほうが高値を示した。果皮をすりおろす際に、外果皮と内果皮が均等に含まれなかったと同時に、外果皮と内果皮の放射性セシウム濃度が異なった可能性があるため、今後は、果皮を外果皮と内果皮に分けた評価も必要かもしれない。

本研究には他にも研究限界がある。ユズの部位別濃度の評価に当たって、検体を部位別に厳密に分けることは困難であった。さらに、ユズ果実の維管束(白いすじ状の部分)は、果皮とじょうのう膜の両者に含まれていたため、各部位の濃度評価に影響を及ぼした可能性がある。また、原発事故直後には、果実表面に放射性セシウムが付着したと考えられ、その場合には、各部位の濃度比が今回の結果と異

なることが予想される。

V. 結語

本研究では、原発事故後のユズを対象として、放射性セシウム濃度に関する知見を収集した。ユズの放射性セシウム検出率は低くはないものの、濃度自体は高くはなく、検出率や放射性セシウム濃度は低下傾向にあった。部位別には、種子、果皮の濃度が相対的に高く、主に直接的に喫食される果汁の濃度は低かった。また、調理加工(ドレッシング作製)によって、放射性セシウム濃度が大きく低下することが確認できた。

利益相反 開示すべき利益相反はありません。

謝辞 本研究の一部は、福島イノベーション・コースト構想推進機構による大学等の「復興知」を活用した人材育成基盤構築事業の助成を受け、「浪江町の復興をフォローアップする地域人材育成のための保健・環境・防災教育プログラム」の一環として行ったものです。

ユズを提供くださった住民の方、試料準備・ドレッシング調製や放射性セシウムの濃度測定に御協力くださいました、浪江町役場、浪江町の皆様に心より感謝申し上げます。

引用文献

- 1) International Atomic Energy Agency: Technical Volume 1; Description and Context of the Accident, The Fukushima Daiichi Accident. pp.134-163, International Atomic Energy Agency Publishing Section, Vienna, 2015.
- 2) 厚生労働省: 厚生労働省医薬食品局食品安全部長通知(食安発 0317 第 3 号). 放射能汚染された食品の取り扱いについて. 平成 23 年 3 月 17 日:
-Shokuhinanzanbu-Kanshianzenka/3-17.pdf (2025-3-12)
- 3) 厚生労働省: 薬事・食品衛生審議会食品衛生分科会放射性物質対策部会報告書「食品中の放射性物質に係る規格基準の設定について」. 平成 24 年 2 月 23 日:
<https://www.mhlw.go.jp/stf/shingi/2r98520000023nbs-att/2r98520000023ng2.pdf> (2025-3-12)
- 4) Iwaoka K: The current limits for radionuclides in food in Japan. Health Phys, 111(5): 471-478, 2016.
- 5) 山口一郎, 寺田宙, 志村勉, 温泉川肇彦, 牛山明: 東京電力福島第一原子力発電所事故後の食品の放射線安全確保に向けた対策-10 年間の対応のまとめ. 保健医療科学, 70(3): 273-287, 2021.
- 6) 厚生労働省: 厚生労働省医薬食品局食品安全部長通知(食安発 0315 第 1 号). 乳及び乳製品の成分規格等に関する省令の一部を改正する省令、乳及び乳製品の成分規格等に関する省令別表の二の(一)の(1)の規定に基づき厚生労働大臣が定める放射性物質を定める件及び食品、添加物等の規格基準の一部を改正する件について. 平成 24 年 3 月 15 日:
<https://www.mhlw.go.jp/file/04-Houdouhappyou-11135000-Shokuhinanzanbu-Kanshianzenka/3-15.pdf> (2025-3-12)
- 7) 原子力災害対策本部: 検査計画、出荷制限等の品目・区域の設定・解除の考え方. 令和 6 年 3 月 26 日:

- <https://www.mhlw.go.jp/content/001233146.pdf> (2025-3-12)
- 8) Nabeshi H, Tsutsumi T, Imamura M, et al: Continuous estimation of annual committed effective dose of radioactive cesium by market basket study in Japan from 2013 to 2019 after Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident. *Food Safety*, 8(4): 97-114, 2020.
 - 9) Yamaguchi I, Takahashi H: Estimating of internal radiation doses due to food consumption and its reduction applying the food regulation after the Fukushima nuclear accident using national food-monitoring data. *Journal of the National Institute of Public Health*, 70(1): 61-75, 2021.
 - 10) 小山内暢, 工藤幸清, 岩岡和輝, 山口一郎, 對馬恵, 齋藤陽子, 細川洋一郎: 福島第一原子力発電所事故に係る食品中の放射性物質に関する現行の基準値の検証—海産物中の規制対象核種による線量への寄与割合に対する仮定の妥当性—. *Radioisotopes*, 66(7): 259-269, 2017.
 - 11) Osanai M, Hirano D, Mitsuhashi S, Kudo K, Hosokawa S, Tsushima M, Iwaoka K, Yamaguchi I, Tsujiguchi T, Hosoda M, Hosokawa Y, Saito Y: Estimation of effect of radiation dose reduction for internal exposure by food regulations under the current criteria for radionuclides in foodstuff in Japan using monitoring results. *Foods*, 10(4): 691, 2021.
 - 12) Osanai M, Noro T, Kimura S, Kudo K, Hosokawa S, Tsushima M, Tsuchiya R, Iwaoka K, Yamaguchi I, Saito Y: Longitudinal verification of post-nuclear accident food regulations in Japan focusing on wild vegetables. *Foods*, 11(8): 1151, 2022.
 - 13) Osanai M, Miura M, Tanaka C, Kudo K, Hosokawa S, Tsushima M, Noro T, Iwaoka K, Hosoda M, Yamaguchi I, Saito Y: Long-term analysis of internal exposure dose-reduction effects by food regulation and food item contribution to dose after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident. *Foods*, 12(6): 1305, 2023.
 - 14) 消費者庁食品と放射能に関する消費者理解増進チーム: 風評に関する消費者意識の実態調査 (第 17 回) 報告書. 令和 6 年 3 月 7 日:
https://www.caa.go.jp/notice/assets/consumer_safety_cms103_2403_07_02.pdf (2025-3-12)
 - 15) 消費者庁. 食品と放射能 Q&A (第 18 版). 令和 6 年 7 月 1 日:
https://www.caa.go.jp/policies/policy/consumer_safety/food_safety_portal/radioactive_substance/assets/consumer_safety_cms203_24_0701_01.pdf (2025-3-12)
 - 16) 沢村正義, 黒岩範久, 栗山敏直, 他: ユズと無核ユズの果実特性について. *日本食品工業学会誌*, 33(11): 773-778, 1986.
 - 17) 野村佳歩, 君羅好史, 山崎優貴, 他: 埼玉県産ゆず果実ホールペーストの成分特徴と機能性. *日本食品保蔵科学会誌*, 47(1): 3-9, 2021.
 - 18) JA 高知県: こうぐり. 2023 12 月号:
<https://ja-kochi.or.jp/root/wp-content/uploads/2023/12/9e1a3d5ce98814c6e535dbdfc73b3516.pdf> (2025-3-12)
 - 19) 日本貿易振興機構: ゆず, 日本産食材ピックアップ, 農林水産物・食品の輸出支援ポータル:
<https://www.jetro.go.jp/agriportal/pickup/yuzu.html> (2025-3-12)
 - 20) 農林水産省: プレスリリース「タイ向け日本産ゆず、きんかんの輸出が解禁! 〜日本産かんきつ類の輸出可能品目が拡大しました〜」. 令和 7 年 2 月 7 日:
<https://www.maff.go.jp/j/press/syouan/syokubo/attach/pdf/250207-3.pdf>
 - 21) 農林水産省: かんきつ類の果樹, 種類別栽培状況 (都道府県), 令和 3 年産特産果樹生産動態等調査. 令和 6 年 2 月 1 日:
<https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&oukei=00500503&tstat=000001020907&cycle=7&year=20210&month=0&tclass1=000001032892&tclass2=000001213907> (2025-3-12)
 - 22) 福島県: 福島県果樹農業振興計画書. 令和 4 年 3 月:
<https://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/501307.pdf> (2025-3-12)
 - 23) 農林水産省: 果樹をめぐる情勢. 令和 6 年 10 月:
<https://www.maff.go.jp/j/seisan/ryutu/fruits/attach/pdf/index-184.pdf> (2025-3-12)
 - 24) 浪江町: 令和 3 年度自家消費食品等の放射能簡易分析結果まとめ. 2022 年 4 月 10 日:
<https://warp.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/12307202/www.town.namie.fukushima.jp/soshiki/6/30442.html> (2025-3-22)
 - 25) 原子力環境整備促進・資金管理センター: 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—. 環境パラメータ・シリーズ 4 増補版 (2013 年). 平成 25 年 12 月改定:
https://www.rwmc.or.jp/library/file/RWMC-TRJ-13001-2_zyokyoritu_kaitei_honpen.pdf (2025-3-13)
 - 26) 関澤春仁, 山下慎司, 丹治克男, 他: 果実の加工と放射性セシウムの動態. *日本食品科学工学会誌*, 60(12): 718-722, 2013.
 - 27) 渡邊善仁, 遠藤敦史, 南春菜, 他: 果樹の葉及び果実中セシウム 137 濃度の経年変化. 放射線関連支援技術情報:
<https://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/438368.pdf> (2025-3-13)
 - 28) 厚生労働省: 月別検査結果. 食品中の放射性物質, 東日本大震災関連情報:
<https://www.mhlw.go.jp/stf/kinkyu/0000045250.html> (2025-3-13)
 - 29) 鍋師裕美, 堤智昭, 植草義徳, 他: 調理による牛肉・山菜類・果実類の放射性セシウム濃度及び総量の変化. *RADIOISOTOPES*, 65(2): 45-58, 2016.
 - 30) 清野嘉之, 赤間亮夫: 日本の山菜 10 種、11 部位のセシウム 137 の食品加工係数と食品加工残存係数: 長期保存のためのレシピが放射性セシウム量を最も減らした. *森林総合研究所研究報告*, 18(4): 369-380, 2019.
 - 31) 桑守豊美, 宮地洋子, 桑守正範, 他: 福島県川内村産食品の放射性セシウム 137 の調理の下処理前の含量および下処理による減少率. *仁愛大学研究紀要人間生活学部篇*, 6: 15-20, 2014.
 - 32) 農林水産省農林水産技術会議事務局: 農地等の放射性物質の除去・低減技術の開発—果樹・茶における放射性物質移行低減対策技術の開発—. プロジェクト研究成果シリーズ 565, 2017 年 3 月
 - 33) 日本アイソトープ協会: アイソトープ手帳 11 版. pp. 63-64, 丸善出版, 東京, 2011.
 - 34) 福島県農林水産部: 放射性物質試験の最新成果情報〜ユズの放射性セシウム対策〜. 農業技術情報, 第 27 号, 平成 24 年 5 月 10 日:
<https://www.pref.fukushima.lg.jp/download/1/future-27H240510.pdf> (2025-3-21)
 - 35) 古川純: 土壌から作物へ, セシウムの移行とその要因. *生物工学*, 92: 284-287, 2014.
 - 36) 文部科学省: 食品成分データベース:
<https://fooddb.mext.go.jp/index.pl> (2025-3-22)
 - 37) 厚生労働省: 令和 4 年国民健康・栄養調査報告. 令和 7 年 3 月:
<https://www.mhlw.go.jp/content/001435384.pdf> (2025-3-22)

【Report】

Concentration of radioactive cesium in yuzu citron following the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident and its changes with dressings

MINORU OSANAI^{*1} MAYUMI SHIMIZU^{*2} KAZUTAKA TANAKA^{*3}
KOHSEI KUDO^{*1} SHOTA HOSOKAWA^{*1} MEGUMI TSUSHIMA^{*1}
TERUKO HORIUCHI^{*3} RURIKO KIDACHI^{*4}

Received March 27, 2025 ; Accepted July 4, 2025

Abstract: Yuzu citron is a citrus fruit that has long been popular in Japan and, in recent years, exported to several countries. Herein, the radioactive cesium concentrations in yuzu citron were analyzed based on monitoring test results over 10 years from FY2012, when the current standard limits for radioactive materials in food were applied. Furthermore, we measured the cesium concentration in each part of yuzu and evaluated the changes in concentration through dressing preparation as an example of cooking and processing. Radioactive cesium was detected in 45.6% of all yuzu citron samples over the 10-year period. Among them, the median and 95th percentile radioactive cesium concentrations were 12 and 49 Bq/kg, respectively, with a characteristic distribution in the low-concentration range. A decrease trend in concentration was also observed over time. Further, in the actual measurements of this study, the overall cesium concentration in yuzu was 21.0 Bq/kg, with part-specific concentrations of 32.0, 24.8, 14.2, and 13.2 Bq/kg in seeds, rind, segment skin, and juice/pulp, respectively. Moreover, the concentration ratio of the dressing made from juice/pulp to the whole yuzu citron was 0.27. Thus, the concentration was low in the edible portion and decreased significantly through cooking and processing.

Keywords: Radioactive materials in foods, Yuzu citron, Radioactive cesium, Food safety, Risk analysis

