

論文 (Original article)

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

清野 嘉之^{1)*}、赤間 亮夫²⁾

要旨

¹³⁷Cs 量に及ぼす調理影響の解明を目的に 2011 年福島第一原発事故で被ばくした土地の山菜 10 種 11 部位 [スギナ胞子茎 (ツクシ)、フキの花蕾 (フキノトウ) と葉柄、イタドリ、ウド、モミジガサ、ハンゴンソウ、ワラビ、ゼンマイ、コシアブラ、タラノキの新芽] を調理した。湯浸しはイタドリの ¹³⁷Cs 量を減らし [食品加工残存係数 *Fr* (調理後 / 調理前検体 ¹³⁷Cs 量比) が 0.14 ± 0.11 (平均値と標準偏差)]、塩茹ではフキノトウ、ウド、モミジガサ、コシアブラ、タラノキの ¹³⁷Cs 量を減らした (*Fr* の範囲 $0.41 \pm 0.14 \sim 0.99 \pm 0.09$)。重曹によるあく抜きはワラビ (*Fr* = 0.089)、ゼンマイ (*Fr* = 0.32 ± 0.04) の ¹³⁷Cs 量を減らし、ゼンマイの長期保存のための乾燥重曹あく抜きはゼンマイの ¹³⁷Cs 量を著しく減らした (*Fr* = 0.009 ± 0.012)。塩漬け-塩抜きもワラビ、ゼンマイ、コシアブラの ¹³⁷Cs 量を著しく減らした (*Fr* の範囲 $0.016 \pm 0.015 \sim 0.041 \pm 0.012$)。しかし、ハンゴンソウでは効果が小さかった (*Fr* = 0.24 ± 0.15)。食用に不適な部位の除去と天ぷらに特段の ¹³⁷Cs 削減効果はなかった。削減効果は長期保存調理法である乾燥重曹あく抜きと塩漬け-塩抜きが最大であった。

キーワード：塩茹で、塩漬け-塩抜き、*Fr*、*Pf*、あく抜き、湯浸し、天ぷら

1. はじめに

チェルノブイリ原子力発電所事故の後、ヨーロッパでは野生のベリー類や蜜源植物の放射能汚染が問題視された (Assmann-Werthmüller et al. 1991, Lehto et al. 2013)。日本は生物相が豊か (Conservation International Japan 2005) で、食用になる野生植物が 300 種を超える。それらは山菜と呼ばれる (池田 1984, 林野庁 2004)。木の芽は生のまま食べ、ウドは汁の実や天ぷら、キイチゴはジャム、ゼンマイやワラビはあく抜きして食べるなど調理法は多様である。雪国では春以外の季節にも食べられるよう、乾燥や塩漬けなど長期保存用の調理技術が発達している。

2011 年 3 月の東京電力福島第一原子力発電所事故の後、日本の山菜について調理が放射性セシウムの濃度や総量に及ぼす影響が調べられた (桑守ら 2014, 中日新聞東京本社 2016, 長谷川・竹原 2016, 鍋師ら 2016, 田上・内田 2012, 2015)。これらの研究から山菜の放射性セシウムを調理で減らせる場合があり、調理も野生山菜を安全に利用するための手段になることが示唆される。しかし、たくさんある日本の山菜の種や調理法に比べて、既存のデータはわずかである。概要は判明しているが、同じ種でも調理法によって放射性セシウムの状態への影響は異なると推察される。市場に流通している山菜でも調理の影響が未知のものがある。そこで、本研究では、新芽を食べる山菜を対象に、報告

のないイタドリ、モミジガサ、ハンゴンソウを含む 10 種 11 部位への調理の影響を明らかにすることを目的に、それぞれの種の下準備 (食用に不適な部位の除去) を含む代表的調理法のセシウム 137 (¹³⁷Cs) の食品加工係数 (*Pf* ¹³⁷Cs, 調理後 / 調理前 ¹³⁷Cs 乾燥重量濃度比) と食品加工残存係数 (*Fr* ¹³⁷Cs, 調理後 / 調理前 ¹³⁷Cs 量比) (Kashparov et al. 2009) を求めた。¹³⁷Cs *Pf*により食材の放射性セシウム濃度、¹³⁷Cs *Fr*により食材を食べたときの放射性セシウムの摂取量に及ぼす調理の影響をそれぞれ評価できる。

2. 材料と方法

2.1 検体の採取

2015 年 4 ~ 6 月、2016 年 4 ~ 6 月、2017 年 3 ~ 6 月に福島県南会津郡只見町、郡山市、相馬郡飯舘村、双葉郡葛尾村、川内村、大熊町、富岡町、楡葉町、茨城県常陸大宮市、石岡市、つくば市 (Fig. 1) で、食用に適した生育段階のツクシ (スギナ *Equisetum arvense* の胞子茎)、フキノトウ (フキ *Petasites japonicus* の花蕾)、フキの葉柄、イタドリ (*Fallopia japonica*) の新芽、ゼンマイ (*Osmunda japonica*) とワラビ (*Pteridium aquilinum*) の各幼葉、ウド (*Aralia cordata*)、モミジガサ (*Parasenecio delphinifolius*)、ハンゴンソウ (*Senecio cannabifolius*)、タラノキ (*Aralia elata*)、コシアブラ (*Eleutherococcus sciadophylloides*) の各新芽

原稿受付：平成 31 年 2 月 27 日 原稿受理：令和元年 8 月 15 日

1) 森林総合研究所 植物生態研究領域

2) 森林総合研究所 震災復興・放射性物質研究拠点

* 森林総合研究所 植物生態研究領域 〒 305-8687 茨城県つくば市松の里 1

を計 118 検体採取した。野生植物は一般にサイズや発芽の時期が揃わない。小さくひねた新芽か、大きく柔らかい新芽かによって化学成分含有量が異なり(池田ら 2016)、調理による放射性セシウムの削減効果も異なると考えられる。しかし、現時点では山菜の育ち(形質)の影響は明らかでないので、ここでは採取した検体の標準的な生育地と生育状態を記録するにとどめた。モミジガサは水分条件に恵まれた半日蔭に育つものが多かった。他の種は、水分条件が中庸で、林外の日当たりの良い土地(ツクシ、フキ、ワラビ)、林縁(タラノキ、ウド、ハンゴンソウ、イタドリ)、林縁から林内の半日蔭の土地(ゼンマイ、コシアブラ)に育つものが多かった。検体はゼンマイとワラビは地際以上の葉、他の草本は地際以上の茎葉、木本は当年シュート(枝葉)で、決まった一検体、あるいは互いに近接する複数個体ないし群生から採取した。

本研究では、予め重量や放射性セシウム濃度を測定した検体を調理して、調理後の重量、放射性セシウム濃度を測定するのではなく、調理用検体と調理しない検体を対比し、後者を調理用検体の調理前と同じと見做して、「調理前」とした。すなわち、同じ個体(群)の生育段階が同程度の部分を対にして採取して、調理用検体の調理前と調理しない検体を同重量に調整し、両検体間で放射性セシウム、カリウム濃度は同じと見做して、調理の影響を評価した。

検体採取地を以下、地点と呼ぶ。計 34 地点の気候帯は暖温帯ないし冷温帯で、採取地の地質(産業技術総合研究所地質調査総合センター 2015)は花崗岩類、斑れい岩質の深成岩類、変成岩類、堆積岩類、段丘堆積物のいずれかであった。各地点で地形(斜面上部、中部、下部、また、傾斜角 10 度未満は平坦地に区分)、上木の被覆(疎開地、林縁、林内を目視判定)、空間線量率[地上高 1 m の $\mu\text{Sv h}^{-1}$ 。シンチレーションサーベイメータ(日立アロカメディカル株式会社 TCS-172B)]を記録した。検体採取個体の全体と検体の写真を撮った。検体の長さ(m)を記録した。

地点数で見ると、斜面上部はなく、斜面中部ないし平坦地が 88%、斜面下部が 13%、また、森林との関係では疎開地が 27%、林縁が 51%、林内が 23%で、10 種の主要な生育地の範囲を反映していた。空間線量率は $0.06 \sim 12.0 \mu\text{Sv h}^{-1}$ であった。検体長はツクシ 0.16 ± 0.04 m (平均値と標準偏差, SD)、フキノトウ 0.08 ± 0.02 m、フキの葉柄 0.35 ± 0.11 m、イタドリ 0.48 ± 0.30 m、ゼンマイ 0.39 ± 0.17 m、ワラビ 0.46 ± 0.09 m、ウド 0.34 ± 0.05 m、モミジガサ 0.22 ± 0.04 m、ハンゴンソウ 0.27 ± 0 m、タラノキ 0.26 ± 0.08 m、コシアブラ 0.12 ± 0.01 m であった。

2.2 検体の調理法

調理法は 池田ら (2016) を参考にした。調理には水

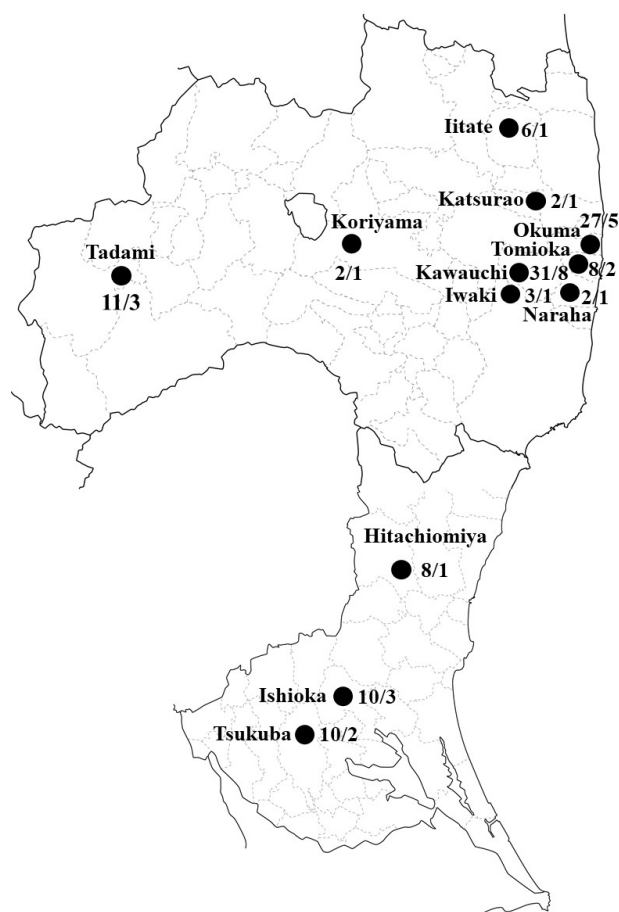


Fig. 1. 食用野生植物の検体を採取した市町村
Localities where the edible wild plant samples were collected.
● 市町村, 検体数/検体植物種数
● Municipalities, number of samples/number of sampled plant species.

道水を使用した。検体は水で軽く洗って土などの汚れを落とし、キッチンペーパーで水を取った後、生重を測定し、室内で調理した。1 検体の生重は 2.5 ~ 249 g であった。

下準備: 生の検体から食べるのに適さない部位を除去することを下準備として一括した。下準備の影響評価のため、除去部位も検体とした。ツクシ ($n = 2$) は、はかま(葉鞘)を除去部位、茎と頭(孢子嚢穂)を食用部位とした。フキの葉柄 ($n = 13$) は包丁で表皮と主だったすじ(維管束)を剥き、表皮とすじを食べない部分としてまとめて除去部位とした。フキノトウの枯れた苞、ウドの展開葉と固い葉柄は少量であったので切り取って捨て、測定に供さなかった。イタドリ ($n = 6$) は包丁で茎の表皮を剥き、シュートの先端、幼葉とともにまとめて除去部位とした。ワラビ ($n = 3$) は先端(葉身)を食べない地域もあることから、先端、食用部位(まだ柔らかい葉柄)、固く食用に適さない葉柄基部(固くなった葉柄)に分けた。ゼンマイ ($n = 3$) は先端(葉身)を除去部位、葉柄を食用部位とした。綿(綿毛)

は捨てた。モミジガサ、ハンゴンソウ、タラノキ、コシアブラには特段の下準備はしなかった。

湯浸し：下準備したイタドリ ($n = 5$) の重量を測定した後に、包丁で約 0.2 m 長に切り揃え、縦に 2 分割して浅い鍋に入れ、熱湯を被るくらいまで注いで一晩 (12 ~ 15 時間) 置いて水から引き上げた。このとき 3 検体について、強めに握って水をしぼり、重量を測定した。別に、湯浸しした検体それぞれに対応する、同じ下準備を施した調理しない検体を作成した。

塩茹で：フキノトウ ($n = 2$)、ウド ($n = 3$)、モミジガサ ($n = 2$)、タラノキ ($n = 4$)、コシアブラ ($n = 2$) の検体を重量測定した後に、検体ごとに鍋に 1 ~ 1.5 L の湯を沸かし、食塩を 3 ~ 5 g 加え、検体を丸ごと入れて、柔らかくなるまで 1 ~ 2 分茹で、冷水に移して 3 ~ 5 分間さらした後、水から上げた。各種 1 ~ 2 の検体について、強めに握って水をしぼり、重量を測定した。別に、塩茹でした検体それぞれに対応する、同じ下準備を施した調理しない検体を作成した。

あく抜き：下準備したワラビ ($n = 1$) を重量測定した後、葉柄 (食用部位) を重曹 6 g と沸騰したお湯 1.5 L に入れ、ひと煮立ち後、火を止めて一晩 (10 時間) 置き、朝水を替えてひと煮立ちさせ、冷水に移して 2 時間置いた後、水から引き上げた。このとき強めに握って水をしぼり、検体の重量を測定した。ゼンマイは 2 通りのあく抜きを施した。一つはワラビと同じあく抜き ($n = 2$) である。下準備後に重量測定した葉柄を一晩重曹であく抜きし、1 検体について、あく抜きの最後、水から引き上げた際に、強めに握って水をしぼり、重量を測定した。もう一つは長期保存用のあく抜き ($n = 2$) で、下準備後に重量測定した葉柄を重曹 6 g と沸騰したお湯 1.5 L に入れ、ひと煮立ち後、火を止めて一晩 (10 時間) 置いた朝、水から引き上げ、ザルに並べ、乾かしながら繰り返し揉んで、数日かけて良く風乾させてから、ビニール袋に入れて約 4 か月保存した後、鍋で水から茹でて沸騰したら引き上げて揉む工程を 2 回繰り返した後、再度水から茹でて沸騰後 30 時間置き、水から引き上げた。このとき 1 検体について、強めに握って水をしぼり、重量を測定した。別に、あく抜きした検体それぞれに対応する、同じ下準備を施した調理しない検体を作成した。

塩漬け-塩抜き：下準備したワラビ ($n = 2$)、ゼンマイ ($n = 2$)、下準備不要のハンゴンソウ ($n = 2$)、コシアブラ ($n = 2$) を重量測定した後に、各検体に検体生重の 1/4 重量の食塩をまぶし、検体ごとに分けたビニール袋に入れて、冷蔵庫の野菜室 (3 ~ 7 °C) で約 4 か月塩漬けした。その後、薄い塩水から水に替えながら 8 ~ 12 時間水にさらして適度の塩味になるまで塩抜きした。このとき各種 1 検体について、強めに握って水をしぼり、重量を測定した。別に、塩漬け-塩抜きした検体それぞれに対応する、同じ下準備を施した調理しな

い検体を作成した。

天ぷら：下準備したフキノトウ ($n = 2$)、タラノキ ($n = 2$)、コシアブラ ($n = 2$) の新芽を重量測定した後に薄力粉を薄く塗した。これに鶏卵 1 個 (約 60 g) に対して水 150 g、薄力粉 200 g (検体に塗した粉を含む) の割合で溶いた衣をつけ、約 170 °C に熱した菜種油で揚げた。タラノキを揚げた後に油を交換してから、フキノトウ (Fig. 2)、コシアブラの順に揚げた。天ぷらの鶏卵や小麦粉は市販品で、その ^{137}Cs 濃度は測っていないが、販売者による検出下限値 3 Bq kg⁻¹ 以下の自主検査で放射性セシウムは検出されていない (<https://www.pal-system.co.jp/item/radiation/?via=j-item-top>)。このため、鶏卵と小麦粉の ^{137}Cs の影響は無視した。別に、天ぷらにした検体それぞれに対応する、同じ下準備を施した調理しない検体を作成した。



Fig. 2. 天ぷらにされているフキノトウ
Flower buds of the wild butterbur, *Petasites japonicus*
made into tempura.

2.3 ^{137}Cs と ^{40}K 濃度の測定

検体は森林総合研究所で熱風乾燥器により 75 °C、48 時間以上の条件で乾燥 (乾燥後の含水率約 4 %, 経験値) させ、重量測定後、U-8、U-9 容器または 0.7 L マリネリ容器に入れ、同軸型ゲルマニウム半導体検出器 (セイコー・イージーアンドジー株式会社 GEM40P4-76) でガンマ線スペクトロメトリにより検体のセシウム 134 (^{134}Cs , 604.66 keV の 1 ピークで算出)、 ^{137}Cs (661.64 keV)、カリウム 40 (^{40}K , 1460.75 keV) のガンマ線エネルギーを計測 (長時間測定時のバックグラウンド補正有り) し、計測誤差、検出下限値とともに含水率 0 % 当たりの濃度を算出した。計測の条件は以下の①~④とした。① ^{137}Cs は計測誤差が 10 % 以内に達した時点の値とし、② ^{134}Cs は計測誤差が 10 % 以下にならない場合でも測定値がバックグラウンドに対して 3 σ で有意になった時点の値とした。③これらの条件を満たさない場合は計測時間 24 時間の値とした。④ ^{40}K は ^{137}Cs や ^{134}Cs の計測を打ち切ったときの値と

した。

^{134}Cs 濃度は 118 検体中 42 検体が検出下限値未満で、検出下限値以上の 76 検体の濃度は 4 ~ 38000 Bq dry kg⁻¹ であった。 ^{137}Cs 濃度は湯浸処理を施したイタドリ 1 検体が検出下限値 (6 Bq dry kg⁻¹) 未満で、他は 4 ~ 150000 Bq dry kg⁻¹ であった。下限値未満の 1 検体の濃度は、検出下限値で代用した。 ^{134}Cs 濃度が検出下限値以上の 76 検体の、Bq dry kg⁻¹ 値の $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 比は 0.25 ± 0.12 (平均値 ± SD) であった。 ^{40}K 濃度は 36 検体が検出下限値未満で、検出下限値以上の 82 検体の濃度は 10 ~ 4250 Bq dry kg⁻¹ であった。 ^{137}Cs 濃度は全て 2015 年 9 月 1 日を基準日に減衰補正した。

2.4 調理の影響の評価

下準備を含む調理の影響を以下の (1) ~ (8) 式で評価した：

下準備：

下準備後/下準備前検体乾燥重量比 = 食用部位乾燥重量/(除去部位乾燥重量 + 食用部位乾燥重量) (dry kg/dry kg) (1)

ただし、乾燥重量は含水率 0 % のときの重量 (dry kg)。

下準備 ^{137}Cs Pf = 下準備後 / 下準備前検体乾燥重量当たり ^{137}Cs 濃度 = 食用部位乾燥重量当たり ^{137}Cs 濃度 / [(除去部位乾燥重量当たり ^{137}Cs 濃度 × 除去部位乾燥重量 + 食用部位乾燥重量当たり ^{137}Cs 濃度 × 食用部位乾燥重量) / (除去部位乾燥重量 + 食用部位乾燥重量)] (Bq dry kg⁻¹/Bq dry kg⁻¹) (2)

下準備 ^{137}Cs Fr = 下準備後/下準備前検体 ^{137}Cs 量 = (食用部位乾燥重量当たり ^{137}Cs 濃度 × 食用部位乾燥重量) / (除去部位乾燥重量当たり ^{137}Cs 濃度 × 除去部位乾燥重量 + 食用部位乾燥重量当たり ^{137}Cs 濃度 × 食用部位乾燥重量) (Bq 検体⁻¹/Bq 検体⁻¹) (3)

下準備 ^{40}K Fr = 下準備後/下準備前検体 ^{40}K 量 = (食用部位乾燥重量当たり ^{40}K 濃度 × 食用部位乾燥重量) / (除去部位乾燥重量当たり ^{40}K 濃度 × 除去部位乾燥重量 + 食用部位乾燥重量当たり ^{40}K 濃度 × 食用部位乾燥重量) (Bq 検体⁻¹/Bq 検体⁻¹) (4)

湯浸し、塩茹で、あく抜き、塩漬け-塩抜き、天ぷら：

調理後/調理前検体乾燥重量比 = 調理後食用部位乾燥重量/調理しない検体の食用部位乾燥重量 (dry kg/dry kg) (5)

ただし、調理は湯浸し、塩茹で、あく抜き、塩漬け-塩抜き、天ぷらのいずれか。調理用検体の調理前の食用部位生重量 = 調理しない検体の食用部位生重量。

調理 ^{137}Cs Pf = 調理後/調理前検体乾燥重量 ^{137}Cs 濃度 = 調理後食用部位乾燥重量当たり ^{137}Cs 濃度/調理しない検体の食用部位乾燥重量当たり ^{137}Cs 濃度 (Bq dry kg⁻¹/Bq dry kg⁻¹) (6)

調理 ^{137}Cs Fr = 調理後/調理前検体 ^{137}Cs 量 = (調理後食用部位 ^{137}Cs 乾燥重量当たり濃度 × 調理後食用部位乾燥重量) / (調理しない検体の食用部位乾燥重量当たり ^{137}Cs 濃度 × 調理しない検体の食用部位乾燥重量) (Bq 検体⁻¹/Bq 検体⁻¹) (7)

調理 ^{40}K Fr = 調理後/調理前検体 ^{40}K 量 = (調理後食用部位 ^{40}K 乾燥重量当たり濃度 × 調理後食用部位乾燥重量) / (調理しない検体の食用部位 ^{40}K 濃度 × 調理しない検体の食用部位乾燥重量 (Bq 検体⁻¹/Bq 検体⁻¹) (8)

2.5 食品としての放射性セシウム量の推定

事故で放出された $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ Bq 量比 ≒ 1 (河田・山田 2012) であることから、事故以前の大気圏核実験等由来の ^{137}Cs の割合が小さい地域では、事故後の時間と半減期から $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 量比の理論値を計算し、 ^{137}Cs 量から ^{134}Cs 量を推定できる。本研究で基準日とした 2015 年 9 月 1 日の理論値は 0.25 で、本研究の検体で得られた 0.25 ± 0.12 はそれに近い値であった。以下では、簡略のため ^{137}Cs のみを扱うが、必要な場合は、 $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 比がほぼ一定であることを利用し、以下の ^{137}Cs 量に 1.25 を掛けて、放射性セシウム総量を推定して食品中の放射性物質の基準値などと比較できる。

3. 結果

3.1 調理と山菜のセシウム 137

3.1.1 下準備

検体の下準備後 / 下準備前乾燥重量比 (Table 1) は、ツクシ 0.81 ± 0.04 (平均値と SD) (対応のある *t* 検定, $P = 0.091, n = 2$)、フキ葉柄 0.73 ± 0.03 ($P < 0.001, n = 13$)、イタドリ 0.37 ± 0.05 ($P < 0.001, n = 6$)、ゼンマイ 0.52 ± 0.16 ($P = 0.036, n = 3$)、ワラビ 0.57 ± 0.09 ($P = 0.014, n = 3$) で、ツクシ以外の 4 種や、5 種全体 ($P = 0.007, n = 5$, 下準備後 / 下準備前乾燥重量比の種ごとの平均値を使用) では下準備により乾燥重量は 16 ~ 65 % 減少した。また、下準備 ^{137}Cs Pf (Table 1) は、ツクシ 0.72 ± 0.14 (平均値と SD) (対応のある *t* 検定, $P = 0.219, n = 2$)、フキ葉柄 0.93 ± 0.16 ($P = 0.164, n = 13$)、イタドリ 1.03 ± 0.36 ($P = 0.862, n = 6$)、ゼンマイ 0.76 ± 0.13 ($P = 0.080, n = 3$)、ワラビ 0.84 ± 0.14 ($P = 0.092, n = 3$) で、いずれの種も、また、5 種全体 ($P = 0.063, n = 5$, 下準備 ^{137}Cs Pf の種ごとの平均値を使用) でも下準備の有無間で濃度の有意差はなかった。この結果、下準備 Fr (Table 1) は、ツクシ 0.69 ± 0.004 (平

Table 1. 種・部位、調理法と乾燥重量変化率、¹³⁷Cs の食品加工係数 (P_f)、食品加工残存係数 (Fr).
The dry weight ratio, ¹³⁷Cs concentration ratio (food-processing factor, P_f), and ¹³⁷Cs mass ratio (food-processing retention factor, Fr) of processed/unprocessed samples in the matrix of species-organ and recipes.

Species	<i>Equisetum arvense</i>	<i>Petasites japonicus</i>	<i>Artemisia indica</i>	<i>Fallopia japonica</i>	<i>Aralia cordata</i>	<i>Parasenecio delphinifolius</i>	<i>Periderium aquilinum</i>	<i>Osmunda japonica</i>	<i>Elentherococcus sciadophyloides</i>	<i>Aralia elata</i>	<i>Senecio camabylophilus</i>	<i>Phyllotachys</i> sp.
Organ	Spore stem	Petiole	var. <i>maximowiczii</i>	Inflorescence	Udo	Momijigasa	Warabi	Zenmai	Koshabura	Taranoki	Hangonsou	Shouto
Organ	Flower bud	Lamina	Yomogi	Inflorescence	Udo	Momijigasa	Warabi	Zenmai	Koshabura	Taranoki	Hangonsou	Shouto
Dry weight												
Preparation	0.84 ± 0.04 (2) ¹	0.73 ± 0.03 (1.3) ¹		0.37 ± 0.05 (6) ¹			0.57 ± 0.19 (3) ¹	0.52 ± 0.16 (3) ¹				
Soaking in hot water				0.52 ± 0.03 (5) ¹								
Boiling in hot water with salt		0.89 ± 0.06 (2) ¹			0.97 ± 0.00 (3) ¹	0.97 ± 0.00 (2) ¹			0.93 ± 0.04 (2) ¹	0.97 ± 0.02 (4) ¹		
Tempura		13.5 ± 2.9 (2) ¹					0.80 (1) ¹	0.87 ± 0.08 (2) ¹	9.4 ± 4.5 (2) ¹	7.1 ± 0.5 (2) ¹		
Stringent removal using baking soda												
Stringent removal using baking soda and drying for long-term preservation							0.75 ± 0.01 (2) ¹	0.65 ± 0.28 (2) ¹	0.82 ± 0.05 (2) ¹		0.66 ± 0.01 (2) ¹	
Desalting after prolonged salting												
P_f												
Preparation	0.72 ± 0.14 (2) ¹	0.93 ± 0.16 (1.3) ¹		1.08 ± 0.36 (6) ¹			0.84 ± 0.14 (3) ¹	0.76 ± 0.13 (3) ¹				
Soaking in hot water				0.15 ± 0.08 (5) ¹								
Boiling in hot water with salt		1.15 ± 0.04 (2) ¹			0.87 ± 0.23 (3) ¹	0.41 ± 0.13 (2) ¹			0.70 ± 0.04 (2) ¹	0.87 ± 0.23 (4) ¹		
Tempura		0.09 ± 0.02 (2) ¹					0.11 (1) ¹	0.37 ± 0.01 (2) ¹	0.19 ± 0.08 (2) ¹	0.12 ± 0.02 (2) ¹		
Stringent removal using baking soda												
Stringent removal using baking soda and drying for long-term preservation												
Desalting after prolonged salting												
Fr												
Preparation	0.69 ± 0.004 (2) ¹	0.69 ± 0.13 (1.3) ¹		0.38 ± 0.15 (6) ¹			0.022 ± 0.016 (2) ¹	0.022 ± 0.013 (2) ¹	0.050 ± 0.011 (2) ¹		0.36 ± 0.24 (2) ¹	
Soaking in hot water				0.08 ± 0.04 (5) ¹								
Boiling in hot water with salt	0.50 (0.32-0.72) ¹ , 0.42 (0.16-0.68) ²	0.79 (0.59-0.92) ² , 0.39 (0.33-0.47) ²	0.38 (0.22-0.52) ²		0.56 ± 0.18 (3) ¹	0.41 ± 0.14 (2) ¹			0.65 ± 0.04 (2) ¹	0.85 ± 0.22 (4) ¹		
Tempura		1.12 ± 0.19 (2) ¹					0.08 ¹ , 0.089 (1) ¹	0.19 ³ , 0.32 ± 0.04 (2) ¹	0.97 ³ , 1.11 ± 0.02 (2) ¹	1.07 ³ , 0.83 ± 0.19 (2) ¹		0.73 (0.65-0.94) ²
Stringent removal using baking soda							0.72 ³	0.81 ³				
Stringent removal using wheat flour												
Stringent removal using baking soda and drying for long-term preservation								0.009 ± 0.012 (2) ¹				
Desalting after prolonged salting							0.017 ± 0.012 (2) ¹	0.016 ± 0.015 (2) ¹	0.041 ± 0.012 (2) ¹		0.24 ± 0.15 (2) ¹	

平均値 ± SD (n), 平均値 (最小 - 最大).¹ 田上・内田 2012,² 田上・内田 2015,³ 鍋師ら 2016,⁴ 本研究.

Values are mean ± SD (n) or mean (min.-max.).¹ Tagami and Uchida 2012,² Tagami and Uchida 2015,³ Nabeshi et al. 2016,⁴ this study.

均値とSD) (対応のある t 検定, $P = 0.005$, $n = 2$)、フキ葉柄 0.69 ± 0.13 ($P < 0.001$, $n = 13$)、イタドリ 0.38 ± 0.15 ($P = 0.001$, $n = 6$)、ゼンマイ 0.39 ± 0.14 ($P = 0.016$, $n = 3$)、ワラビ 0.53 ± 0.05 ($P = 0.003$, $n = 3$) で、いずれの種も、また、5種全体 ($P = 0.002$, $n = 5$, 下準備 Fr の種ごとの平均値を使用) でも下準備により ^{137}Cs 量は有意に減少した。

なお、ワラビの葉身を1としたときの ^{137}Cs 相対濃度は葉柄中上部 (最も普通に食べる部分) が 0.84 ± 0.14 ($P = 0.196$, $n = 3$)、基部が 0.40 ± 0.12 ($P = 0.014$, $n = 3$) で、地際に近いほど ^{137}Cs 濃度は低かった (ANOVA, $P = 0.0023$)。

3.1.2 湯浸し

下準備後のイタドリ食用部位の湯浸し水しぼり後 / 湯浸し前生重量比の平均値 \pm SD は 1.03 ± 0.03 ($n = 3$) で、湯浸しの前後であまり変わらなかった。湯浸し後 / 湯浸し前乾燥重量比は 0.52 ± 0.03 で、湯浸しにより乾燥重量は半分強に減った (対応のある t 検定, $P < 0.001$, $n = 5$) (\diamond , Fig. 3)。

湯浸し ^{137}Cs Pf の平均値 \pm SD は 0.15 ± 0.08 で、湯浸しによって検体 ^{137}Cs 濃度は有意に低下した ($P < 0.001$, $n = 5$)。この結果、湯浸し ^{137}Cs Fr (\diamond , Fig. 3, Table 1) は 0.08 ± 0.04 で、湯浸しにより ^{137}Cs 量の9割以上が除かれた ($P = 0.001$, $n = 5$)。なお、先述の通り、5検体中1検体は ^{137}Cs を検出下限値で代用したが、この1検体を除外しても、結果に大きな違いはなかった (例えば、湯浸し ^{137}Cs Pf は 0.14 ± 0.08 , $P < 0.001$, $n = 4$)。

3.1.3 塩茹で

塩茹で水しぼり後 / 塩茹で前食用部位生重量比の平均値 \pm SD はフキノトウ 1.15 ± 0.17 ($n = 2$)、モミジガサ 0.94 ($n = 1$)、ウド 1.01 ($n = 1$)、タラノキ 1.04 ($n = 1$)、コシアブラ 1.05 ($n = 1$) で、塩茹での前後で大きくは変わらなかった。塩茹で後 / 塩茹で前食用部位乾燥重量比 (\circ , Fig. 3) はフキノトウ 0.89 ± 0.06 (対応のある平均値を比較する t 検定, $P = 0.236$, $n = 2$)、モミジガサとウドがともに 0.97 ± 0.00 ($P < 0.001$, $n = 2$)、タラノキ 0.97 ± 0.02 ($P = 0.107$, $n = 4$)、コシアブラ 0.93 ± 0.04 ($P = 0.233$, $n = 2$) で、有意であったのはモミジガサとウドだけであった。しかし、5種全体 ($P = 0.030$, $n = 5$, 乾燥重量比の種ごとの平均値を使用) では低下傾向が有意で、塩茹ですると乾燥重量は減る傾向があることが示唆された。

塩茹で ^{137}Cs Pf の平均値とSDはモミジガサ 0.41 ± 0.13 (対応のある t 検定, $P = 0.096$, $n = 2$)、ウド 0.58 ± 0.18 ($P = 0.058$, $n = 3$)、タラノキ 0.87 ± 0.23 ($P = 0.351$, $n = 4$)、コシアブラ 0.70 ± 0.04 ($P = 0.054$, $n = 2$) で、いずれの種も塩茹ですると濃度は下がるようであったが有意にはならなかった。4種全体では濃度低下は

有意であった ($P = 0.035$, $n = 4$, 塩茹で ^{137}Cs Pf の種ごとの平均値を使用)。一方、フキノトウでは濃度低下が見られなかった (1.15 ± 0.04 , $P = 0.115$, $n = 2$)。この結果、塩茹で ^{137}Cs Fr (\circ , Fig. 3, Table 1) はフキノトウ 0.99 ± 0.09 ($P = 0.857$, $n = 2$)、モミジガサ 0.41 ± 0.14 ($P = 0.109$, $n = 2$)、ウド 0.56 ± 0.18 ($P = 0.0509$, $n = 3$)、タラノキ 0.85 ± 0.22 ($P = 0.283$, $n = 4$)、コシアブラ 0.65 ± 0.004 ($P = 0.006$, $n = 2$) で、 ^{137}Cs 量の減少が有意であったのはコシアブラだけであるが、5種全体では塩茹でによる ^{137}Cs 量の減少は有意であった ($P = 0.039$, $n = 5$, 塩茹で ^{137}Cs Fr の種ごとの平均値を使用)。塩茹ですて乾燥重量が大きく減る検体において、 ^{137}Cs 量の減少量が多く、塩茹で ^{137}Cs Fr が小さくなる傾向が認められた (Fig. 3)。

3.1.4 重曹によるあく抜き

あく抜き水しぼり後 / あく抜き前食用部位生重量比は、一晚重曹あく抜きのワラビ 1.06 ($n = 1$)、同ゼンマイ 1.04 ($n = 1$)、長期保存用の乾燥ゼンマイ 0.85 ($n = 1$) で、一晚重曹あく抜きではあまり変わらないが、長期保存用ではあく抜き後の重量が小さくなるようであった。あく抜き / あく抜き前食用部位乾燥重量比 (\bullet , Fig. 3) はワラビの一晚あく抜き 0.80 ($n = 1$)、同ゼンマイ 0.87 ± 0.08 (平均値 \pm SD, 対応のある t 検定, $P = 0.272$, $n = 2$)、ゼンマイの長期保存のための乾燥重曹あく抜きは 0.66 ± 0.04 ($P = 0.052$, $n = 2$) であく抜きにより乾燥重量は減るようであったが、傾向は有意でなかった。3処理全体 ($P = 0.270$, $n = 3$, 乾燥重量比の処理ごとの平均値を使用) でも有意でなかった。

あく抜き ^{137}Cs Pf はワラビの一晚重曹あく抜き 0.11 ($n = 1$)、同ゼンマイ 0.37 ± 0.01 (平均値 \pm SD, 対応のある t 検定, $P = 0.0083$, $n = 2$)、ゼンマイの乾燥重曹あく抜き 0.014 ± 0.019 ($P = 0.0084$, $n = 2$) とゼンマイの濃度低下が有意で、3処理全体 (各平均値を使用, $P = 0.016$, $n = 3$) も有意であった。この結果、あく抜き ^{137}Cs Fr (\bullet , Fig. 3, Table 1) はワラビの一晚重曹あく抜き 0.089 ($n = 1$)、同ゼンマイ 0.32 ± 0.04 ($P = 0.027$, $n = 2$)、ゼンマイの乾燥重曹あく抜き 0.0088 ± 0.012 ($P = 0.0053$, $n = 2$) で、程度の差はあれ、いずれも ^{137}Cs 除去の効果があり、3処理全体 ($P = 0.012$, $n = 3$, あく抜き ^{137}Cs Fr の処理ごとの平均値を使用) でも傾向は有意であった。

3.1.5 塩漬けと塩抜き

約4か月の塩漬け保存後の、塩抜き水しぼり後 / 塩漬け前食用部位生重量比は、ワラビ 0.98 ($n = 1$)、ゼンマイ 0.93 ($n = 1$)、コシアブラ 0.97 ($n = 1$)、ハンゴンソウ 0.79 ($n = 1$) で、塩漬け-塩抜きにより、生重量は小さくなるようであった。塩抜き後/塩漬け前食用部分乾燥重量比 (\times , Fig. 3) の平均値 \pm SD はワラビ

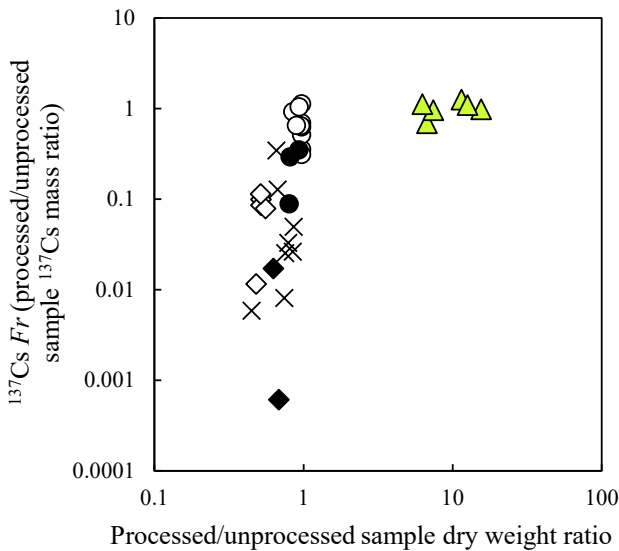


Fig. 3. 調理後/調理しない検体の乾燥重量比と ¹³⁷Cs 量比 (¹³⁷Cs Fr)

Dry weight and ¹³⁷Cs mass ratios (¹³⁷Cs Fr) of processed/unprocessed samples.

◇湯浸し, ○塩茹で, ●重曹あく抜き, ◆長期保存のための乾燥重曹あく抜き, ×塩漬け-塩抜き, ▲天ぷら。下準備は除いた。

◇ Soaking in hot water, ○ Boiling in hot water with salt, ● Stringent removal using baking soda, ◆ Stringent removal using baking soda and drying for long-term preservation, × Desalting after prolonged salting, ▲ Tempura. Data of preparation were not shown.

0.75 ± 0.0058 (P = 0.010, n = 2)、ゼンマイ 0.65 ± 0.28 (P = 0.329, n = 2)、コシアブラ 0.82 ± 0.047 (P = 0.120, n = 2)、ハンゴンソウ 0.66 ± 0.01 (P = 0.013, n = 2) で、有意であったのはワラビとハンゴンソウであるが、4 種全体 (P = 0.0063, n = 4, 乾燥重量比の種ごとの平均値を使用) で傾向は有意で、塩漬け-塩抜きで乾燥重量は減る傾向があることが示唆された。

塩漬け-塩抜き ¹³⁷Cs Pf の平均値 ± SD はワラビ 0.022 ± 0.016 (P = 0.0074, n = 2)、ゼンマイ 0.022 ± 0.013 (P = 0.0059, n = 2)、コシアブラ 0.050 ± 0.011 (P = 0.0054, n = 2) と濃度は著しく低下した。しかし、ハンゴンソウは 0.36 ± 0.24 (P = 0.163, n = 2) で効果はそれほど大きくなかった。ハンゴンソウでは 2 回の調理いずれも濃度は低下したが、塩漬け-塩抜き ¹³⁷Cs Pf が 0.525, 0.187 と大きく異なったため、塩漬け-塩抜き処理の有無間で平均値の差が有意にならなかった。この結果、塩漬け-塩抜き ¹³⁷Cs Fr (×, Fig. 3; Table 1) はワラビ 0.017 ± 0.012 (P = 0.0056, n = 2)、ゼンマイ 0.016 ± 0.015 (P = 0.0066, n = 2)、コシアブラ 0.0415 ± 0.012 (P = 0.0055, n = 2) と著しい ¹³⁷Cs 除去効果があったが、ハンゴンソウは 0.24 ± 0.15 (P = 0.090, n = 2) で、効果はそれほど大きくなかった。ハンゴンソウの塩漬け-塩抜き Fr 値が有意にならなかった理由は Pf

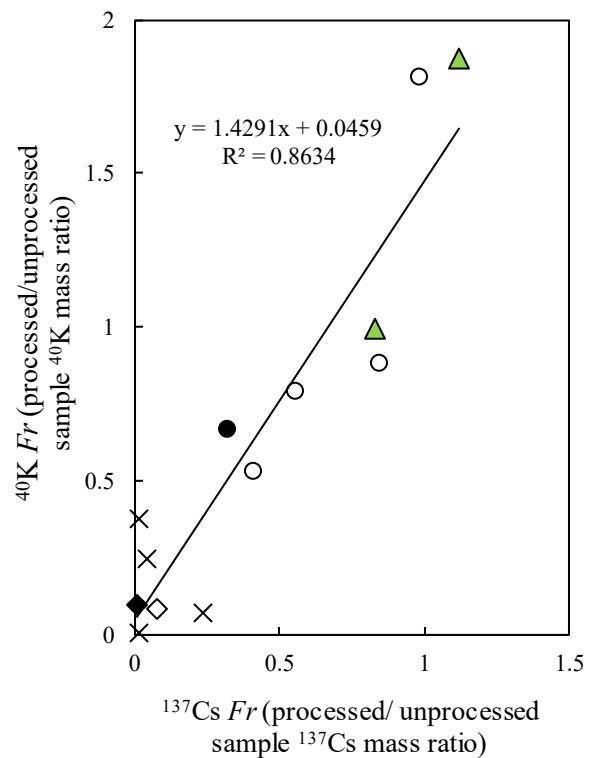


Fig. 4. 調理後 / 調理しない検体の ¹³⁷Cs 量比 (¹³⁷Cs Fr) と ⁴⁰K 量比 (⁴⁰K Fr)

Relationship between the ¹³⁷Cs mass ratio (¹³⁷Cs Fr) and ⁴⁰K mass ratio (⁴⁰K Fr) of processed/unprocessed samples.

◇湯浸し (イタドリ), ○塩茹で (モミジガサ、タラノキ、フキノトウ), ●一晩重曹あく抜き (ゼンマイ), ◆長期保存のための乾燥重曹あく抜き (ゼンマイ), ×塩漬け-塩抜き (ゼンマイ、ワラビ、コシアブラ、ハンゴンソウ), ▲天ぷら (フキノトウ)。実線は ¹³⁷Cs Fr と ⁴⁰K Fr の関係の回帰式。下準備と ⁴⁰K 濃度が検出限界値以下の検体データは示されていない。

◇ Soaking in hot water (*Fallopia japonica*), ○ Boiling in hot water with salt (*Parasenecio delphiniifolius*, *Aralia elata*, and flower buds of *Petasites japonicus*), ● Stringent removal using baking soda (*Osmunda japonica*), ◆ Stringent removal using baking soda and drying for long-term preservation (*Osmunda japonica*), × Desalting after prolonged salting (*Osmunda japonica*, *Pteridium aquilinum*, *Eleutherococcus sciadophylloides*, and *Senecio cannabifolius*), ▲ Tempura (flower buds of *Petasites japonicus*). The solid line is the equation of the relationship between Frs of the ¹³⁷Cs and ⁴⁰K. Data of preparation (removing the less edible parts before processing the remainder) and the samples whose ⁴⁰K concentration were below the detection limit were not shown.

で述べたのと同じである。4 種全体 (P < 0.001, n = 4, 塩漬け-塩抜き Fr の種ごとの平均値を使用) の傾向は有意で、塩漬け-塩抜きで ¹³⁷Cs 量は減る傾向があることが示唆された。

3.1.6 天ぷら

天ぷら/天ぷらにする前の食用部位乾燥重量比 (▲, Fig. 3) の平均値 \pm SD は、フキノトウ 13 ± 2.9 ($P = 0.104$, $n = 2$)、タラノキ 7.1 ± 0.5 ($P = 0.037$, $n = 2$)、コシアブラ 9.4 ± 4.5 ($P = 0.229$, $n = 2$) といずれも 1 より大きくなった。これは食用部位に天ぷらの衣と菜種油が加わったことによる。種ごとには有意でないものもあったが、3 種全体では乾燥重量の増加傾向は有意であった ($P = 0.041$, $n = 3$, 乾燥重量比の種ごとの平均値を使用)。

天ぷら ^{137}Cs *Pf* の平均値 \pm SD は、フキノトウ 0.088 ± 0.018 ($P = 0.0087$, $n = 2$)、タラノキ 0.12 ± 0.019 ($P = 0.0096$, $n = 2$)、コシアブラ 0.19 ± 0.08 ($P = 0.046$, $n = 2$) でいずれも有意に小さくなった。衣中の ^{137}Cs を含む天ぷら ^{137}Cs *Fr* (▲, Fig. 3; Table 1) はフキノトウ 1.12 ± 0.19 ($P = 0.548$, $n = 2$)、タラノキ 0.83 ± 0.19 ($P = 0.422$, $n = 2$)、コシアブラ 1.11 ± 0.02 ($P = 0.071$, $n = 2$) と 1 に近い値で、 ^{137}Cs 量は天ぷらにする前後であまり違いがなかった。3 種全体 ($P = 0.879$, $n = 3$, 天ぷら ^{137}Cs *Fr* の種ごとの平均値を使用) でも同様で、天ぷらで ^{137}Cs 量が減るとは言えなかった。

3.2 調理と山菜のカリウム 40

生重を測定し、 ^{40}K 濃度を検出した 20 検体の種と調理法の組み合わせは、イタドリの湯浸し、モミジガサ、タラノキ、フキノトウの塩茹で、フキノトウの天ぷら、ゼンマイの 2 種のあく抜き、ゼンマイ、ワラビ、コシアブラ、ハンゴンソウの塩漬けの 11 通りであった。種と調理法の組合せごとに求めた ^{137}Cs *Fr* (平均値) と ^{40}K *Fr* (同) との間には、強い正の相関 ($r = 0.932$, $P < 0.001$) があった (Fig. 4)。例えば、モミジガサを塩茹ですると、*Fr* の平均値 \pm SD は ^{137}Cs が 0.41 ± 0.14 、 ^{40}K が 0.52 ± 0.00 ($n = 2$) で平均値はいずれも 0.5 に近い値、フキノトウを塩茹ですると ^{137}Cs が 0.99 ± 0.09 、 ^{40}K が 1.81 ± 0.69 ($n = 2$)、天ぷらにすると ^{137}Cs が 1.12 ± 0.19 、 ^{40}K が 1.88 ± 1.64 ($n = 2$) と ^{40}K の方がより大きいものの、 ^{40}K と ^{137}Cs の *Fr* 値はおおむね対応して変化した。

4. 考察

4.1 調理と山菜中の放射性セシウムに及ぼす影響

4.1.1 下準備

下準備は食味を良くするための調理で、山菜の種類によって除去される部位が異なる。このため、下準備の ^{137}Cs 濃度への影響は同じではないと考えられるが、今回の 5 種の山菜では、下準備で検体 ^{137}Cs 濃度はいくらも変わらなかった。

ワラビの新芽の ^{137}Cs 濃度は地面に近い基部で低かったが、基部は固く食用に適さないので普通、収穫されないか除去される。収穫部位について見ると、葉身を

除去しても ^{137}Cs 濃度が下がるとは言えなかった ($P = 0.196$)。これは下がるとした長谷川・竹原 (2016) と異なる結果であったが、濃度比が本研究は乾重当たり、長谷川・竹原 (2016) は生重当たりと異なるので、単純な比較はできない。例えば、含水率は部位によって異なるので、葉身 << 葉柄の場合、葉身除去で ^{137}Cs 濃度が生重ベースでは低下し、乾重ベースでは低下しないこともあり得る。

4.1.2 調理

山菜の含水率は調理によって変化する。調理による成分変化の評価では調理前と後の食品の含水率を考慮する (渡邊ら 2003, 2004) が、放射性セシウムに及ぼす調理の影響報告の中には含水率の変化を考慮せず、生重当たりの放射性セシウム含有量 (濃度) を直接比較しているものもあった。このため、ここでは調理の有無による放射性セシウム総量の変化 (*Fr*) が分かるデータ (田上・内田 2012, 2015, 鍋師ら 2016) を Table 1 に収めた。

本研究の結果にもとづき、調理と ^{137}Cs の *Fr* との関係 (Fig. 3) を概観すると、天ぷら以外の調理では、乾燥重量の減少以上に ^{137}Cs が減少しており、植物体中の ^{137}Cs が ^{137}Cs 以外の総乾物量と比べて調理によって除かれ易いことが分かる。熱湯処理はあくの少ない山菜に最も普通の調理法 (池田 1984) で、熱湯に長時間浸したり、茹でたりすることで植物体の組織が壊れ、水溶性の成分が水に溶け出し易くなる。下準備を施したイタドリは湯浸しにより乾燥重量の約半分に相当する成分、 ^{137}Cs の 9 割以上が水に出た (Fig. 3)。モミジガサ、ウド、コシアブラ、タラノキ、フキノトウの 5 種では、塩茹ですることで乾燥重量 ($P = 0.032$)、 ^{137}Cs 量 ($P = 0.039$) とともに有意に減少したが、乾燥重量の減少は最大 11% でどの種も比較的小さかったのに対して、 ^{137}Cs 量の減少はフキノトウの 1% からモミジガサの 59% まで大きな違いがあった。本研究では、フキノトウの ^{137}Cs が除かれにくいようであったが、田上・内田 (2015) では茹でたフキノトウで ^{137}Cs は 58% 減少 (*Fr* 0.42, Table 1) しており、本研究の値と比べてかなり大きい。このフキノトウを除くと、 ^{137}Cs の除去率 ($1 - Fr$) $\times 100\%$ は本研究のモミジガサ、ウド、タラノキ、コシアブラで 15~59% (*Fr* 0.41~0.85, Table 1)、田上・内田 (2012, 2015) のツクシ、フキ葉身、葉柄、ヨモギで 38~79% (*Fr* 0.21~0.62, Table 1) で、種は異なるものの平均値に有意差はなかった ($P = 0.949$)。

ワラビ、ゼンマイに重曹を使った一晩のあく抜きは有効で ^{137}Cs を数分の一以下に減らした (Fig. 3)。*Fr* 値 (Table 1) はそれぞれ 0.089 と 0.32 ± 0.04 で、鍋師ら (2016) の 0.08 と 0.19 と同程度であった (Table 1)。重曹を使ったあく抜きが山菜の放射性セシウム濃度を減らすのに有効であることは複数報告がある (桑守ら

2014, 中日新聞東京本社 2016, 長谷川・竹原 2016, 鍋師ら 2016)。除去率はあく抜きに使う物質によって変わる(畑・南光 1983)。小麦粉を使ったあく抜きは力不足で、ワラビ、ゼンマイの ^{137}Cs を重曹の数分の一しか除けなかった(鍋師ら 2016)。同じ重曹によるあく抜きでも、重曹で湯がいて一晩水にさらすだけのやり方と比べ、長期保存のための乾燥重曹あく抜きの方法では ^{137}Cs を著しく減らせた(Fig. 3, Table 1)。また、長期保存(池田 1984)を目的にワラビ(木村・木村 1964, Cookpad 2016)やイタドリ(なんこくまほら <http://soraeki.blog84.fc2.com/blog-entry-624.html?sp>, Cookpad 2017)などに行われる塩漬け-塩抜きは、ワラビ(長谷川・竹原 2016)を始め、山菜の ^{137}Cs 除去にも非常に有効であった(Table 1)。セシウムの貫流交換容量はナトリウムより大きい(阿部 1985)が、大量に供給されたナトリウムによって他の陽イオンが置換される(金子ら 1984)なかで、セシウムも一部が置換され(田上・内田 2015)、水溶性で移動し易い形態に変化して除去され易くなったと考えられる。ハンゴンソウで ^{137}Cs が他種ほどには減らなかつた(Table 1)のは、ハンゴンソウの茎がワラビやゼンマイ、コシアブラの茎よりも太く、 ^{137}Cs を十分に溶出させるには塩抜き時間が足りなかつたことが理由として考えられる。また、ハンゴンソウの2つの検体間で、サイズ(0.27 ± 0 m)や塩漬け-塩抜きによる乾燥重量減少(塩漬け前の0.66, 0.67)はほぼ同じなのに、 Pf や Fr 値が3倍近く異なつたのは ^{137}Cs が水溶しにくい形態で植物体中に存在している場合があることを示唆する。塩ぬきの際にハンゴンソウは細かく切るなど調理の工夫の余地がある。ただ、塩抜きの際に塩を抜き過ぎると食味が悪くなる恐れもあるので、良い方法の工夫は今後の課題である。重曹を使ったあく抜きの Fr は、ワラビ0.08 ~ 0.089(鍋師ら 2016, 本研究)、ゼンマイ0.19 ~ 0.32(鍋師ら 2016, 本研究)に対し、たけのこは0.73(0.65 ~ 0.94)(田上・内田 2015)と大きかつた(Table 1)。これはたけのこが分厚いので ^{137}Cs がよく除去できなかつた(田上・内田 2015)と考えられる。

天ぷらでは検体中の油溶性成分が減る一方、衣と菜種油が加わり、検体の乾燥重量が大きくなつた。 ^{137}Cs の天ぷら Fr は1前後で、植物体から溶出した ^{137}Cs はほぼ全て衣の中にとどまっていると見られた。放射性セシウムは天ぷら油に出ていない(中日新聞東京本社 2016)ので、天ぷら ^{137}Cs Pf が小さいのは、天ぷらの衣と菜種油が加わつたことによる希釈に過ぎない。本研究でも天ぷらに放射性セシウム削減の効果は期待できない(鍋師ら 2016)ことが示唆された。

4.2 調理と山菜の ^{40}K

カリウムはセシウムの同族元素で化学的性質に類似点が多い。 ^{40}K はカリウムの0.0117%を占める自然物で、

カリウムの大半を占める安定同位体の ^{39}K や ^{41}K との質量差はわずかであることから、 ^{40}K の挙動はカリウム全体の挙動を反映する。天ぷらでは鶏卵や小麦粉の ^{40}K が加わるものの、調理が山菜の ^{40}K に及ぼす影響は、総じて ^{137}Cs に及ぼす影響とよく似ていた(Fig. 4, 田上・内田 2012, 2015, Tagami and Uchida 2013)。ただ、天ぷら以外でも ^{40}K は ^{137}Cs に比べ植物体から除かれにくい傾向があつた。これは貫流交換容量がカリウム < セシウム(阿部 1985)であるのと矛盾するので、貫流交換容量における K と Cs の流出と、有機物体中からのそれら元素の流出では機構が異なるようである。

カリウムは水やお湯に溶け、水さらしや茹でにより失われ易い(文部科学省 2015)。食品中のカリウムを減らすノウハウは高カリウム血症の人へのカリウム制限の食事療法にもある(北島 2018)。例えば、食品を小さく切って切り口をたくさん作る、切つた食品を20分以上水にさらす(水さらし)、切つた食品や水にさらした食品を水から入れ、沸騰したら一度取り出す(茹でこぼし)ことによりカリウムは減る。こうしたカリウム制限のために食品を細かく切つたりする調理の工夫は、山菜でも太い茎を割いたり、切れ目を入れたりして調理の際に水に触れる面積を大きくすることで食用部分の放射性セシウム量削減に生かせる可能性があることを示唆する。今後の検討が必要である。

4.3 含水状態で見た、山菜の食用部位の放射性セシウム濃度に及ぼす調理の影響

味付けなどさらなる調理を行う前の含水状態の食材が市場に出る場合がある。調理前、後の食用部位の含水率を利用して、乾燥重量の ^{137}Cs Pf (Table 1)から含水状態のときの ^{137}Cs Pf を計算すると、 ^{137}Cs Pf 生重量/ ^{137}Cs Pf 乾燥重量比は、茹でモミジガサが1.03となつた以外はいずれも1未満で、湯浸イタドリ0.51、茹でウド0.96、茹でタラノキ0.94、茹でコシアブラ0.88、一晩重曹あく抜きのワラビ0.75、同ゼンマイ0.84、ゼンマイの乾燥重曹あく抜き0.77、塩漬け-塩抜きのワラビ0.77、同ゼンマイ0.70、コシアブラ0.85、ハンゴンソウ0.84であつた。したがって、水を含んだ状態の放射性セシウム濃度で考えた場合でも調理は、乾燥重量で考えたときと同程度(茹でモミジガサ、ウド、タラノキ)かそれ以上(他の場合)に Pf 値を小さくする効果があるといえる。

5. 今後の課題

空間線量率が高い地域では山菜の放射性セシウム濃度も高い場合があるが、本研究で示したような調理効果も加味し、濃度の高い山菜を避けるよう注意することで、健康に影響を与えるような量の放射性セシウムを摂取しないで済むと考えられる(下 2016)。本研究では10種11部位の山菜の主に ^{137}Cs について調理の影

響を調べ、調理による除去率 (Fr) を求めた。これにより、山菜を食べるときに摂取する放射性セシウムの量を、これまでより多くの種、調理法について推定できるようになった。同じ調理法でも種によって放射性セシウムの除去効果に違いがあり、除去効果の低い種には切れ目を入れるなど調理の工夫の余地があるが、効果の評価は不十分で今後の課題である。また、野生植物は一般にサイズや発芽の時期が揃わない(例えばゼンマイ: 清野ら 2018)。小さくひねた新芽か、大きく柔らかい新芽かによって化学成分含有量が異なり(池田ら 2016)、放射性セシウムの除去効果は異なると考えられるので、山菜の育ち(形質)の影響の把握も今後の課題である。

謝 辞

福島県林業研究センター、林野庁関東森林管理局会津森林管理署南会津支署、福島森林管理署、磐城森林管理署、茨城森林管理署、飯館村役場、葛尾村役場、川内村役場、福島県森林組合連合会、布沢共用林組合、飯館村森林組合、上桶売牧野農業協同組合、福島県双葉郡大熊町と茨城県常陸大宮市、つくば市の採取地の土地所有者・管理者、日本特用林産振興会(日特振)の各位には現地調査と検体採取においてご協力を頂いた。国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所震災復興・放射性物質研究拠点の各位には検体の調整と放射性セシウムの測定をして頂いた。以上の皆様に、感謝の意を表す。本研究は JSPS 科研費 JP15K07496 の助成を受けた。

引用文献

- 阿部 光男 (1985) 無機イオン体の選択性. IONICS (復刻版), 120, 7-20., [www.jaie.gr.jp/linkfile/ionics/ionics front.pdf](http://www.jaie.gr.jp/linkfile/ionics/ionics%20front.pdf) (2019-02-16 参照)
- Assmann-Werthmüller, U., Werthmüller, K. and Molzahn, D. (1991) Cesium contamination of heather honey. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 149(1), 123-129. <https://doi.org/10.1007/BF02053720>
- Conservation International Japan (2005) 日本列島を含む世界 34 カ所が生物多様性ホットスポットとして特定されました. https://www.conservation.org/global/japan/news/Pages/Japan_Hotspot.aspx. (2019-01-22 参照)
- Cookpad (2016) ワラビの塩漬け保存法. <https://cookpad.com/recipe/3873293> (2019-02-16 参照)
- Cookpad (2017) イタドリの採取から長期保存まで. <https://cookpad.com/recipe/4505546> (2019-02-16 参照)
- 中日新聞東京本社 (2016) 山菜食べる日常 遠く. 2016 年 7 月 7 日東京新聞朝刊.
- 長谷川 孝則・竹原 太賀司 (2016) 山菜類の放射性物質による汚染実態調査と汚染低減法の検討. 福島県林業研究センター研究報告, 48, 65-76.
- 畑 明美・南光 美子 (1983) ワラビ中の無機成分含量に及ぼすあく抜き処理の影響. *調理科学*, 16(2), 116-121.
- 池田 奈実子・水野 直美・田中 拓也・新井 真一郎・松延 健臣 (2016) 摘採適期前後におけるチャ品種 'やぶきた', 'りょうふう', 'ふうしゅん' の一番茶新芽の化学成分含有量の変動. 野菜茶業研究所研究報告, 15, 19-27. http://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/archive/laboratory/vegetea/report/062150.html
- 池田 洋一 (1984) 上野明・寺田洋子の山菜と野草の料理. 暮らしの設計 157, 中央公論社, 東京, 168pp.
- 金子 憲太郎・佐藤 千寿子・渡辺 光代・前田 安彦 (1984) 野菜類の塩漬けによるペクチンの溶解性と無機金属元素の変化. *日本食品工業学会誌*, 31(6), 379-383.
- Kashparov, V., Conney, S., Uchida, S., Fesenko, S. and Krasnov, V. (2009) Food processing. In: IAEA (2009) *Quantification of radionuclide transfer in terrestrial and freshwater environments for radiological assessments*. IAEA-TECDOC—1616, International Atomic Energy Agency (IAEA), 577-604. http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_1616_web.pdf; <http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/publications.asp>
- 河田 燕・山田 崇裕 (2012) 原子力事故により放出された放射性セシウムの $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 放射能比について. *Isotope News*, 697, 16-20.
- 木村 康一・木村 孟淳 (1964) 保育社薬用植物図鑑. 保育社の原色図鑑 39, 保育社, 東京, 184pp.
- 北島 幸枝 (2018) CKD における食事療法の実践と問題点 — リン・タンパク質・カリウム・塩分 C. 食事中カリウム制限の実践と問題点. *腎臓病診療の最先端*, 31. https://www.jinzou.net/01/pro/sentan/vol_31/ch03.html (2019-02-12 参照)
- 清野 嘉之・小松 雅史・赤間 亮夫・松浦 俊也・広井 勝・岩谷 宗彦・二元 隆 (2018) 2011 年の福島第一原子力発電所事故で放出された放射性セシウムの野生ゼンマイ (*Osmunda japonica*) の葉への移行. *森林総合研究所研究報告* 17 (3) (No.447) 217-232. https://doi.org/10.20756/ffpri.17.3_217
- 桑守 豊美・宮地 洋子・桑守 正範・原田 澄子・大森 聡・原田 浩二・小泉 昭夫 (2014) 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.
- Lehto, J., Vaaramaa, K. and Leskinen, A. (2013) ^{137}Cs , ^{239}Pu and ^{241}Am in boreal forest soil and their transfer into wild mushrooms and berries. *Journal of Environmental Radioactivity*, 116, 124-132. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2012.08.012>
- 文部科学省 (2015) 日本食品標準成分表 2015 年版 (七訂). http://www.mext.go.jp/a_menu/syokuhinseibun/1365297.

- htm (2019-02-16 参照)
- 鍋師 裕美・堤 智昭・植草 義徳・松田 りえ子・穂山 浩・手島 玲子・蜂須賀 暁子 (2016) 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, 45-58. <https://doi.org/10.3769/radioisotopes.65.45>
- 林野庁 (2004) 山菜文化産業懇話会報告書—山村が活性化される山菜文化・産業の振興を目指して—. www.rinya.maff.go.jp/puresu/h16-12gatu/1203s4.pdf. (2019-01-07 参照)
- 産業技術総合研究所地質調査総合センター (2015) 20 万分の 1 日本シームレス地質図 2015 年 5 月 29 日版. 産業技術総合研究所地質調査総合センター, <https://gbank.gsj.jp/seamless/seamless2015/2d/> (2019-01-07 参照).
- 下 道國 (2016) 放射線 Q&A7: 山などに生えている山菜は食べても大丈夫? 放射線 Q&A ~教えて! 下先生~, 会津若松市. <https://www.city.aizuwakamatsu.fukushima.jp/docs/2013061700022/> (2019-02-13 参照)
- 田上 恵子・内田 滋夫 (2012) 福島第一原発事故後のツクシへの ^{134}Cs , ^{137}Cs の移行と分布及び調理・加工による除去. *Radioisotopes*, 61, 511.
- Tagami, K. and Uchida, S. (2013) Comparison of food processing retention factors of ^{137}Cs and ^{40}K in vegetables. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 295, 1627-1634.
- 田上 恵子・内田 滋夫 (2015) 山菜と果実の調理・加工による放射性セシウムおよびカリウムの除去割合について. 第 4 回京都大学原子炉実験所原子力安全基盤科学研究シンポジウム 福島復興に向けての放射線対策に関するこれからの課題報告書, 平成 27 年 5 月 30 日 (土)–31 日 (日), 福島市パルセいいざか, 京都大学原子炉実験所原子力安全基盤科学研究プロジェクト, 47-50. www.rri.kyoto-u.ac.jp/anzen_kiban/outcome/Symposium'15_Proceedings_JP.pdf (2019-01-07 参照)
- 渡邊 智子・鈴木 亜夕帆・熊谷 昌士・見目 明継・萩原 清和 (2003) 五訂成分表収載食品の調理による成分変化率表. *栄養学雑誌*, 61 (4), 251-262.
- 渡邊 智子・鈴木 亜夕帆・熊谷 昌士・見目 明継・竹内 昌昭・西牟田 守・萩原 清和 (2004) 植物性食品に含まれる栄養素の調理による変化率の算定と適用. *栄養学雑誌*, 62 (3), 171-182.

Cesium-137 food-processing factors and food-processing retention factors of 11 organs and 10 edible wild plant species from Japan: recipes for long-term preservation reduced the radiocesium mass the most.

Yoshiyuki KIYONO ^{1)*} and Akio AKAMA ²⁾

Abstract

To clarify the effect of cooking on ¹³⁷Cs mass, 10 species and 11 organ samples of edible wild plants were cooked: the spore stem of *Equisetum arvense* (*Ea*), petioles and flower buds of *Petasites japonicus* (*Pj*), and sprouts of *Fallopia japonica* (*Fj*), *Aralia cordata* (*Ac*), *Parasenecio delphiniifolius* (*Pd*), *Senecio cannabifolius* (*Sc*), *Pteridium aquilinum* (*Pa*), *Osmunda japonica* (*Oj*), *Eleutherococcus sciadophylloides* (*Es*), and *Aralia elata* (*Ae*). They grew up on the land exposed to the 2011 Fukushima Daiichi Nuclear Power Station accident. Soaking in hot water reduced the ¹³⁷Cs mass of *Fj* [¹³⁷Cs food-processing retention factor or ¹³⁷Cs *Fr* = (processed/unprocessed sample ¹³⁷Cs mass ratio) = 0.14 ± 0.11 (mean ± SD)], and boiling in hot water with salt also reduced the ¹³⁷Cs masses of *Pj*, *Ac*, *Pd*, *Es*, and *Ae* (range ¹³⁷Cs *Fr* = 0.41 ± 0.14 to 0.99 ± 0.09). Stringent removal using baking soda reduced the ¹³⁷Cs masses of *Pa* (¹³⁷Cs *Fr* = 0.089) and *Oj* (¹³⁷Cs *Fr* = 0.32 ± 0.04). Stringent removal using baking soda and drying for long-term preservation markedly reduced the ¹³⁷Cs mass of *Oj* (¹³⁷Cs *Fr* = 0.009 ± 0.012). Desalting after prolonged salting also markedly reduced the ¹³⁷Cs masses of *Pa*, *Oj*, and *Es* (range ¹³⁷Cs *Fr* = 0.016 ± 0.015 to 0.041 ± 0.012). However, the effect of this recipe on *Sc* was smaller (¹³⁷Cs *Fr* = 0.24 ± 0.15). Preparation by removing the less edible parts before processing the remainder and making tempura had no significant effect on the ¹³⁷Cs mass. Cooking using baking soda and drying markedly reduced the ¹³⁷Cs mass, as did desalting after prolonged salting. Both recipes are for long-term preservation.

Key words: boiling in hot water with salt, desalting after prolonged salting, *Fr*, *Pf*, stringent removal using baking soda, soaking in hot water, tempura

Received 27 February 2019, Accepted 15 August 2019

1) Department of Plant Ecology, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI)

2) Center for Forest Restoration and Radioecology, FFPRI

* Department of Plant Ecology, FFPRI, 1 Matsunosato, Tsukuba, Ibaraki, 305-8687 JAPAN; e-mail: kiono@ffpri.affrc.go.jp