

ワラビとタケノコのカリウム施肥による
放射性セシウム移行抑制効果について

長峯秀和、小林勇介、小川秀樹

目 次

I	はじめに	2
II	ワラビのコンテナ栽培試験	3
III	タケノコのカリウム施肥効果の検証	8
IV	まとめ	12
V	引用文献	13

要旨

県内では東京電力福島第一原子力発電所事故から後 12 年が経過した現在でも野生山菜類 13 品目が出荷制限等となっている。本研究は出荷制限解除に資するため、ワラビとタケノコについて、カリウム施肥による放射性セシウム（以下 ^{137}Cs ）の移行抑制効果を確認することを目的とした。ワラビに関しては 3 種類の栽培試験を実施した。一つ目の試験では、放射性物質による汚染度合が異なる 4 地区から採取したワラビ地下茎を汚染土壌あるいは無汚染土壌に移植して、ワラビ地上部の ^{137}Cs 濃度を測定した。その結果、移植 1 年目では地下茎からの ^{137}Cs 移行と考えられる影響により、両区で差は認められなかったが、移植 2 年目では無汚染土壌に対して汚染土壌のワラビ地上部の ^{137}Cs 濃度が高くなる傾向が認められた。二つ目の試験では、土壌交換性カリウム濃度を高低 2 つの区に変えた試験を実施した。その結果、交換性カリウム濃度が高い方がワラビの ^{137}Cs 移行係数は低くなる結果が得られた。タケノコに関しては竹林内に施肥量を変えた 4 つの試験区を設け、試験区設置から 4 年後のタケノコおよび土壌の ^{137}Cs 濃度、土壌交換性カリウム濃度を測定した。その結果、地下茎深度土壌の ^{137}Cs 濃度から算出した移行係数が、施肥量に応じて低下する傾向が認められた。

キーワード：山菜類、放射性物質低減対策、カリウム施肥

受付日 令和 5 年 12 月 20 日

受理日 令和 6 年 3 月 19 日

課題名 山菜類の放射性物質汚染動態の把握と汚染低減対策
(県単課題 平成 30～令和 4 年度)

I はじめに

2011年3月に発生した東京電力福島第一原子力発電所事故（以下、事故）により、福島県内の多くの森林が放射性物質による汚染を受けた。県内の森林では事故後12年が経過した現在でも野生山菜類13品目が出荷制限あるいは出荷自粛となり¹⁾、主要な山菜類の生産量は大きく低下した²⁾。農業分野では放射性セシウム（以下¹³⁷Cs）移行抑制対策として、カリウム施肥が行われている。そのため、山菜類についてもカリウム施肥による効果が期待される。一方、山菜類が生育する森林等の環境は、農作物の栽培環境とは大きく異なるため、カリウム施肥による移行抑制効果は明らかにされていない。

ワラビは県内で生産量が多い山菜品目であり³⁾、タケノコは県内の生産量は全国的には少ないものの、自家消費や直売所等で人気があり、出荷制限解除への要望が高いことから本研究ではこの2種目を対象とした。

ワラビは、2023年9月現在、県内の10市町村で出荷制限となっている¹⁾。県内のワラビ生産量については、事故前の10年間（2000年から2010年）の生産量は31.2トン/年であったが、事故後は15.7トン/年（2013年）に大きく減少した³⁾。なお、出荷制限となっている10市町村のうち5市町村では、一部生産者で出荷制限が解除されるなど、生産再開に向けた取り組みが進められている。

今回の試験では、3種類の栽培試験を実施した。一つ目の試験では、ワラビ地下茎から地上部（可食部）への¹³⁷Cs移行を確認するため、¹³⁷Csを吸収したワラビ地下茎を無汚染土壌と汚染土壌に移植する栽培試験を行った。二つ目の試験では、カリウム肥料による¹³⁷Cs汚染低減効果を確認するためカリウム濃度が高低2区で栽培試験を実施した。三つ目の試験では、移行抑制効果をより詳細に確認するために、カリウム施肥量を段階的に変えた試験を実施した。

タケノコは、2023年9月現在、県内の27市町村で出荷制限あるいは出荷自粛となっている¹⁾。事故前の6年間の年間生産量の平均値は、25.7トン/年（2005年から2010年）であったが、事故後は4.0トン（2012年）に減少し、その後回復傾向にあるものの、震災前の水準には至っていない³⁾。

当センターにおいて、タケノコを対象とした試験は2011年から2017年まで行われてきた。その結果、落葉除去、伐程、施肥の竹林施業の組み合わせを行うことで、タケノコの¹³⁷Cs濃度を低減できることを確認している^{4)、5)}。その後、カリウム施肥の効果のみを検証する試験を2018年より開始した。この試験では、タケノコとタケノコ採取位置の表層土壌及び地下茎深度における土壌のそれぞれから移行係数を算出し、評価することで、施肥後3年目におけるカリウム施肥の移行抑制効果を確認した⁷⁾。本研究は、その研究の続報として、カリウム施肥後4年目の移行抑制効果を調査した。

II ワラビのコンテナ栽培試験

1 調査地及び調査方法

(1) 県内4地区から採取したワラビ地下茎の移植試験

2020年6月に空間線量率が異なる県内の4地区からワラビ地下茎を採取し、当センター

に持ち帰った。4地区の地下茎採取日、空間線量率、表層土壌の¹³⁷Cs濃度を表-1に示す。持ち帰ったワラビ地下茎はコンテナ（W620×D465×H195 mm）に移植した。コンテナは各地区9基とし、その内訳は無汚染土壌（¹³⁷Cs濃度約20 Bq/kg）が3基、汚染土壌（¹³⁷Cs濃度約2,500 Bq/kg）が6基とした。コンテナの底に土壌を10 cmほど入れ、その上に採取したワラビ地下茎（生重量約1 kg）を均一に敷き詰め、再び覆土した。設置したコンテナは適宜散水、除草等の管理を行い、追肥は行わなかった。

2021年5月から6月及び2022年5月から6月に、葉が展開する前の地上部（可食部）を地際から採取し、それぞれを試料とした。

採取した試料はコンテナ毎にまとめて粉砕し、U8容器に充填し、ゲルマニウム半導体検出器を用いたガンマ線スペクトロメトリーによる核種分析法により、測定時間6,000秒で湿重量あたりの¹³⁷Cs濃度を測定した。また、別途測定した試料の含水率を元に、乾燥重量あたりの¹³⁷Cs濃度に換算した。

表-1 ワラビ採取箇所

	地下茎採取日	空間線量率 (μ Sv/h)	土壌 ¹³⁷ Cs (Bq/kg,DW)
		地上高1.0m	地表0-3cm
I地区	2020/6/12	0.564	4561.51
O地区	2020/6/8	0.374	6846.95
H地区	2020/6/15	0.380	1088.64
M地区	2020/6/19	1.377	16707.58

(2) カリウム施肥によるワラビ可食部への¹³⁷Cs移行抑制効果

2018年に当センター内から採取したワラビ地下茎を用い、ポット栽培したワラビ苗を2019年7月に12基のコンテナ（W535×D370×H305mm）に6株ずつ植栽した。コンテナ内の土壌の¹³⁷Cs濃度は約10,000 Bq/kg, DWとした。試験区は2区（低濃度カリウム区、高濃度カリウム区）とし、各区6基ずつ設置した。各区の土壌交換性カリウム濃度は、硫酸加里（三井物産株式会社50.0硫酸加里）を用いて、低濃度カリウム区は約12.5 mg/100 g、高濃度カリウム区は約25.0 mg/100 gに調整した。設置したコンテナは適宜散水、除草等の管理を行った。なお、追肥は行わなかった。

2020年5月から6月に、葉が展開する前の地上部（可食部）を地際から採取し、試料（図-1）とした。採取した試料はコンテナ毎にまとめて粉砕し、U8容器に充填し、ゲルマニウム半導体検出器を用いたガンマ線スペクトロメトリーによる核種分析法により、湿重量あたりの¹³⁷Cs濃度を、測定時間6,000秒で測定した。また、別途測定した試料の平均含水率（90%）換算値とし、土壌は絶乾重量換算値とした。また各試料の¹³⁷Cs濃度は、2020年8月1日を基準日として減衰補正した。



図－1 採取したワラビ可食部（幼葉）

2 結果及び考察

(1) 県内4地区から採取したワラビ地下茎の移植試験

図-2 に4地区のワラビ地下茎を無汚染土壌及び汚染土壌で栽培し、2021年に採取した可食部の ^{137}Cs 濃度の測定結果を示す。有意差が認められたのは、4地区中1地区であり（Welch検定、0地区の無汚染土壌と汚染土壌間： $p < 0.05$ ）、他の3地区では有意差は認められなかった。また、地下茎を採取した地区によって ^{137}Cs 濃度に差異が認められた。

2022年の結果（図-7）では、4地区中3地区において汚染土壌に比べて無汚染土壌に移植したワラビ可食部の ^{137}Cs 濃度は、有意に高かった（Welch検定、I地区の無汚染土壌と汚染土壌間： $p < 0.05$ 、0地区の無汚染土壌と汚染土壌間： $p < 0.01$ 、H地区の無汚染土壌と汚染土壌間： $p < 0.01$ 、）。また、4地区のワラビ可食部の ^{137}Cs 濃度は2021年と比較して大幅に低くなった。また、4地区における ^{137}Cs 濃度の差異も2021年に比べると小さくなり、0地区以外の ^{137}Cs 濃度はほぼ同程度であった。地下茎を移植後、可食部の採取が初年となる2021年において汚染土壌と無汚染土壌で差が認められなかった原因は、移植したワラビ地下茎に含まれていた ^{137}Cs が地上部である可食部に転流したためと考えられる。特に採取地の空間線量率及び表層土壌の ^{137}Cs 濃度が特に高かったM地区の ^{137}Cs 濃度が最も高かったことから、ワラビ地下茎に多くの ^{137}Cs が蓄積されていたと考えられる。

一方、2022年に可食部の ^{137}Cs 濃度が大幅に低下したこと、4地区中3地区において汚染土壌と無汚染土壌で差が認められたことから、地下茎の ^{137}Cs の影響は移植後初年までで、その後は、移植後の土壌 ^{137}Cs 濃度の影響を受けた根からの ^{137}Cs 吸収の影響が大きくなったと考えられる。

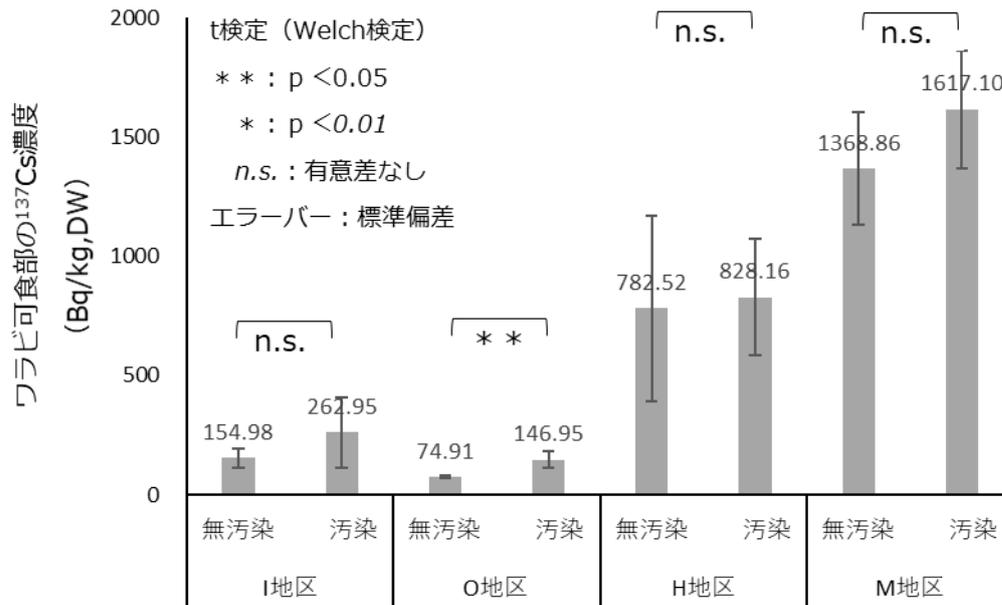


図-2 2021年における各地区ワラビ可食部¹³⁷Cs濃度の測定結果

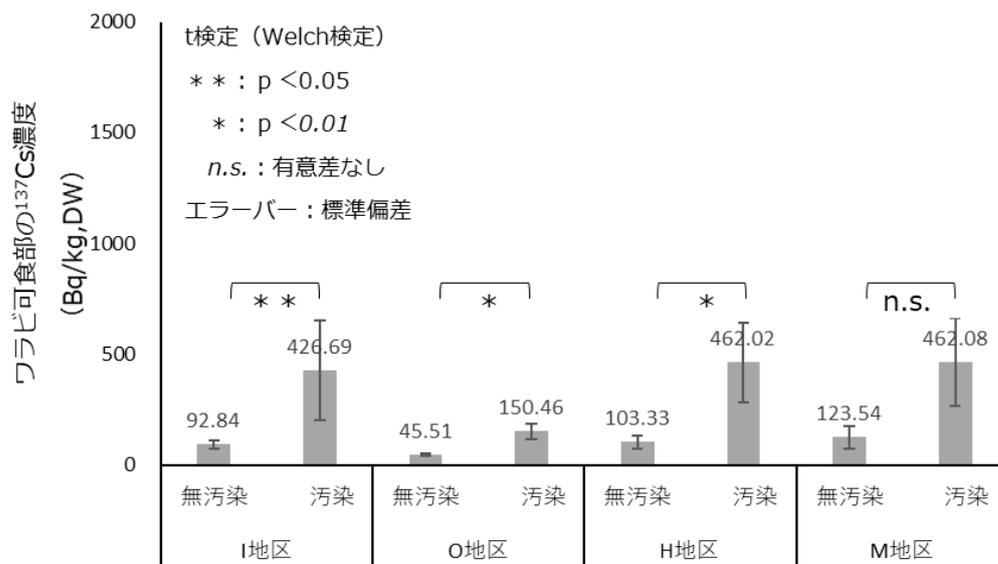


図-3 2022年における各地区ワラビ可食部¹³⁷Cs濃度の測定結果

(2) カリウム施肥によるワラビ可食部への¹³⁷Cs移行抑制効果

各土壌からワラビ可食部への¹³⁷Csの移行のしやすさを評価するため、ワラビ可食部の¹³⁷Cs濃度を各コンテナにおける土壌の¹³⁷Cs濃度で除した値である移行係数を算出した。低カリウム区と高カリウム区におけるワラビ可食部の移行係数を図-4に示す。その結果、高カリウム区におけるワラビ可食部の移行係数は、低カリウム区に比べて有意に低い結果となった。このことから、ワラビにおいてもカリウム施肥は有効な汚染低減対策となりうる可能性が示唆された。

平均±標準偏差, n=6

** : 有意差あり(Mann-Whitney U検定,危険率1%)

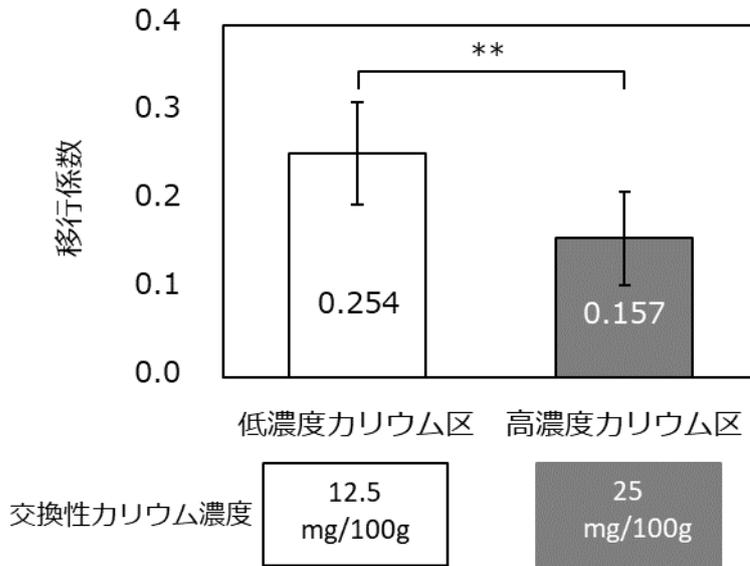


図-4 土壤交換性カリウム濃度別のワラビ可食部の移行係数

Ⅲ タケノコのカリウム施肥効果の検証

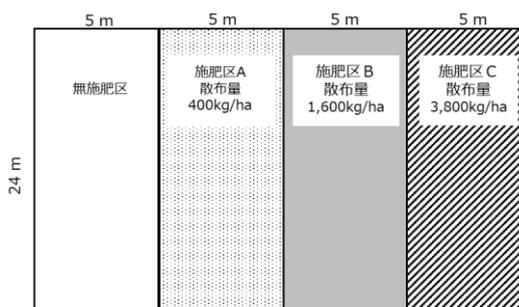
1 調査地及び調査方法

(1) 試験地の設定

試験地は福島第一原子力発電所から北西方向に約 50 km の距離に位置するモウソウチク林とした (図-5)。傾斜 20 ° 程度の東向斜面であり、また地上高 1 m での空間線量率は 0.47 μ Sv/h であった。2018 年 10 月から 12 月に施肥量の異なる 4 試験区を設置した (図-6)。1 試験区の大きさは斜面方向に 24 m (斜距離)、斜面と垂直方向に 5 m とした (各区約 120 m²)。また、試験区を設置するにあたり、¹³⁷Cs が竹の地下茎を通じて試験区間を移動することを防ぐため、試験地と周辺竹林および試験区間を根切チェーンソー (ゼノア根切機 RC6200DP) で深さ 40 cm 程度の溝を切るように地下茎を切断し、さらに畦波板 (高さ 50 cm) を 40 cm 埋設した。4 試験区のうち 1 つは無施肥区、他の 3 区を施肥区とした。施肥区の施肥量は事前に測定した表層からの深度 0-5 cm の土壤交換性カリウム濃度 (16.1 mg/100 gDRY) を基に、交換性カリウム濃度が 25 mg/100 gDRY (以下施肥区 A)、50 mg/100 gDRY (以下施肥区 B)、100 mg/100 gDRY (以下施肥区 C) を目標値とし、化成肥料 (赤城物産株式会社 DHC 普通化成 8-8-8+1.5) を人力で散布した。試験区ごとの散布量は施肥区 A で 4.9 kg (約 400 kg/ha)、施肥区 B で 18.6 kg (約 1,600 kg/ha)、施肥区 C で 50.0 kg (約 3,800 kg/ha) とした。



図-5 試験地全景



※図の実線部分を深さ40cmで根切りし、酢波板を埋設した。

図-6 試験地模式図

(2) タケノコ検体採取及び分析方法

タケノコは地際からの高さが約1 mに成長した個体を選び、唐鍬で地下茎を含めて採取した(図-7)。タケノコの採取は2019年から2022年まで毎年行った。2022年の採取日と検体数はそれぞれ、5月10日(18検体)、同16日(6検体)であり、2日間で、各区とも6検体ずつ、計24検体を採取した。

採取したタケノコは実験室に持ち帰った後、皮部分を取り除き(図-8)、可食部のみを包丁で5 mm角程度に細断して測定試料とした。測定試料は1.5 L容マリネリ容器に充填し、NaI(Tl)シンチレーションカウンタ検出器(EMFジャパン株式会社製EMF211型ガンマ線スペクトロメータ)により測定時間3,600秒~10,800秒で ^{137}Cs 濃度を測定した。



図-7 採取したタケノコ(幼竹)



図-8 皮を剥いた検体



図-9 タケノコと地下茎の様子

(3) 土壌採取及び分析方法

1) タケノコ採取位置における土壌調査

採取するタケノコの発生点を中心として半径約 20 cm 以内において、表層からの深度 5 cm までの土壌を 300 g 程度採取した（以下、表層土壌）。さらに、タケノコを採取した後の堀穴底部から土壌を 300 g 程度採取した（以下、地下茎深度土壌）。なお、土壌調査においては、タケノコの基部から繋がる地下茎からは細根が伸びていることが確認され、タケノコ基部の深度はタケノコの地下茎深度とほぼ一致していた（図-16）。また、2022 年に採取したタケノコの地下茎深度の平均値は約 23 cm であった。

2) 土壌の ^{137}Cs 濃度及び交換性カリウム濃度の測定

各土壌試料は定温乾燥器（ヤマト科学株式会社製 DX602）を用い、60 °C で 24 時間以上乾燥させた後、2 mm 間隔の篩にかけて礫や植物体等を取り除いた。その後、100 ml 容 U8 容器に充填し、NaI (Tl) シンチレーションカウンタ検出器（EMF ジャパン株式会社製 EMF211 型ガンマ線スペクトロメータ）により測定時間 1,800 秒で ^{137}Cs 濃度を測定した。その後、土壌試料を定温乾燥器（ヤマト科学株式会社製 DX602）に 105 °C で 24 時間乾燥させ、絶乾状態とし、含水率を求め、乾燥重量あたりの ^{137}Cs 濃度を算出した。土壌の交換性カリウム濃度は「土壌環境分析法（土壌環境分析法編集委員会、簡易法・バッチ法-a（土壌環境分析法 7. A. a）1997）」に準じ、乾燥土壌 2 g あたり 1N 酢酸アンモニウム溶液 0.8 ml で抽出し、原子吸光光度計（島津土壌・作物体総合分析計 SPCA-6210）を用いて検量線法により定量した⁶⁾。

(4) 移行係数の算出

各土壌からタケノコへの ^{137}Cs の移行のしやすさを評価するため、タケノコの ^{137}Cs 濃度を各採取位置における土壌の ^{137}Cs 濃度で除した値（以下、移行係数）を算出した。なお、本調査ではタケノコの採取位置において、地表表層から深度 0-5cm の表層土壌と地下茎深度の 2 つの深度で土壌を採取しているため、表層土壌、地下茎深度土壌における移行係数をそれぞれ求めた。

2 結果及び考察

2022 年に各試験区から採取したタケノコの ^{137}Cs 濃度を図-10 に示す。 ^{137}Cs 濃度は施肥量が最も多い施肥区 C が無施肥区と比較して有意に低かった（SteelDwass 検定、 $p < 0.05$ ）。

各試験区の土壌交換性カリウム濃度を図-11 に示す。表層土壌では、施肥区 C が無施肥区及び施肥区 A と比較して、有意に高かった（SteelDwass 検定、 $p < 0.05$ ）。一方、地下茎深度土壌では、施肥量との明確な関係性は認められなかった。

タケノコの移行係数の結果を図-12 に示す。表層土壌では、施肥区 A での移行係数の平均値が他区よりも高い傾向にあったが、ばらつきが大きく有意な差は見られなかった。地下茎深度土壌では、無施肥区は、施肥区に対して平均値が高く、ばらつきが大きかったが、施肥区では施肥量に応じて移行係数が低くなる傾向が認められた。

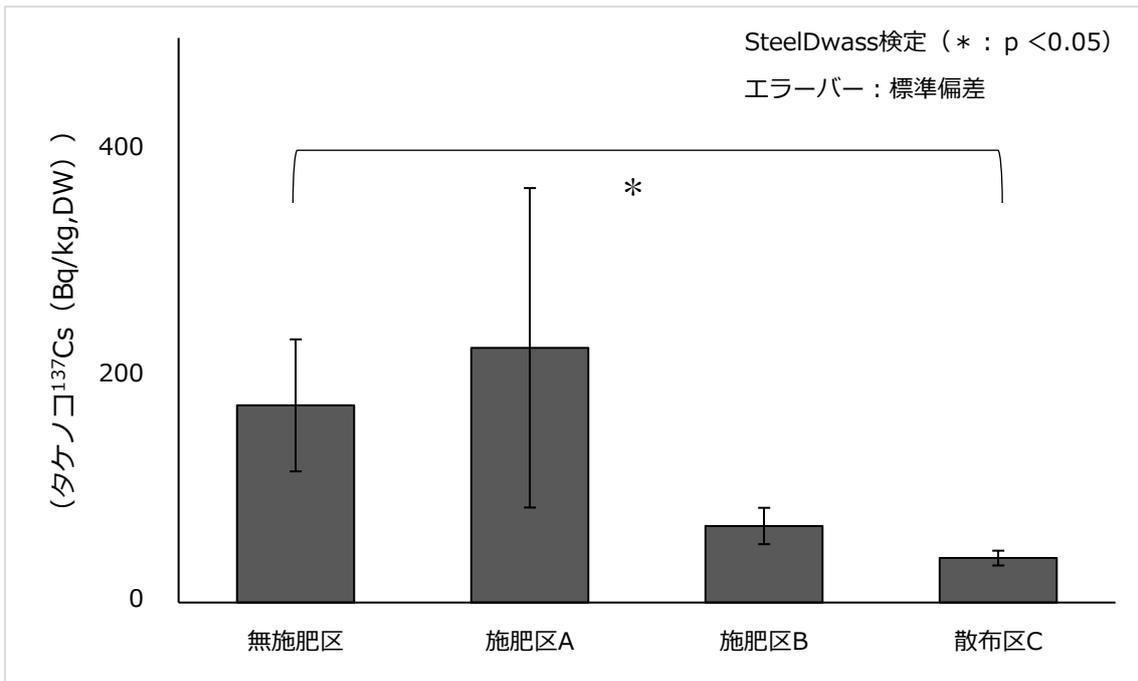


図-10 各区タケノコの ¹³⁷Cs 濃度

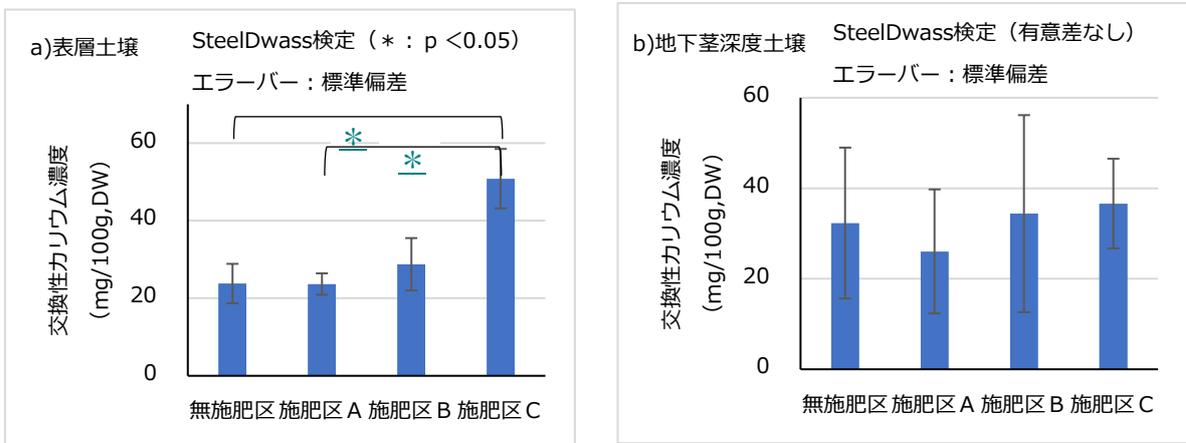


図-11 各区の交換性カリウム濃度

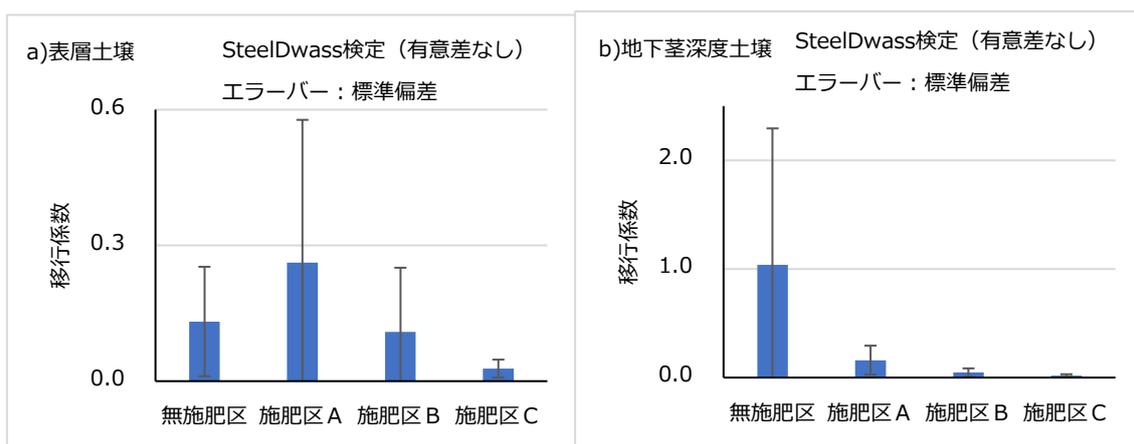


図-12 表層土壌、地下茎深度土壌それぞれにおける移行係数

IV まとめ

ワラビやタケノコの出荷制限解除に資するための、カリウム施肥等試験を実施した。ワラビでは、植栽1年目のワラビの ^{137}Cs 濃度は、地下茎に含まれる ^{137}Cs の影響が大きいことが確認された。土壌交換性カリウム濃度を段階的に変えた試験では、地下茎の ^{137}Cs の影響や、試験条件の変化からカリウムによる ^{137}Cs 移行抑制の効果は認められなかったが、高低2区に分けた試験では効果が認められた。この結果から、ワラビにおいてもカリウム施肥は有効な対策となりうる可能性が示唆された。

タケノコでは、竹林内にカリウム散布量を変えた試験区を設置した。既報では散布から3年までカリウムによる ^{137}Cs 移行抑制効果が認められていたが、4年目となる本研究でも同様の結果が認められ、施肥の効果が継続していることが分かった。施肥の効果が継続する期間については、今後も調査が必要と考えられる。以上から、ワラビ、タケノコともに、カリウム施肥が対策として有効である可能性が示唆された。一方、ワラビでは地下茎に含まれる ^{137}Cs 濃度も採取時期のワラビの濃度に影響を与えること、タケノコでは、地下茎の存在する深度の土壌から ^{137}Cs を吸収している可能性があること等、一年生草本が多い農作物とは異なる特性がワラビやタケノコにあることも確認された。今後は、このような特性に応じた効果的な対策を検討する必要がある。

謝辞

ワラビ地下茎採取等においては、双葉郡及び相馬郡の各市町村の関係者様に、タケノコの試験においては、竹林所有者の安田和昭様ならびに御家族の皆様、本研究の遂行にあたりご理解とご協力を賜りました。ここに深く感謝を記します。

V 引用文献

- 1) 福島県林業振興課. “きのこ、山菜類のモニタリングと出荷制限品目・市町村について” <https://www.pref.fukushima.lg.jp/sec/36055c/ringyo-monitoring.html> (参照 2023_09_25)
- 2) 木村憲一郎 (2021) 原発事故が特用林産物の生産・流通に与えた影響と今後の研究課題、

日林誌 103:13-21

- 3) 福島県農林水産部林業振興課（2000～2023）特用林産関係統計書
- 4) 武井利之ら（2014）竹林の施業がタケノコの放射性セシウム濃度に及ぼす効果、福島県林業研究センター研究報告第 47 号：79-85
- 5) 齋藤諒次ら（2020）タケの放射性物質汚染実態の把握と低減化技術の開発、福島県林業研究センター研究報告第 52 号：29-376)
- 6) 土壌環境分析法編集委員会（1997）日本土壌肥料学会監修 土壌環境分析法、博友社
- 7) 長峯秀和ら（2023）モウソウチク林における施肥によるタケノコへの ^{137}Cs 移行低減効果について、東北森林科学会誌（投稿中）