



Title	栗の木のCs挙動調査による、可食部を用いない安全性の評価についての検討：福島浜通り地域の環境回復から、将来への必要性に応える準備
Author(s)	
Citation	令和5（2023）年度学部学生による自主研究奨励事業研究成果報告書．2024
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/95186
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

令和5年度大阪大学未来基金「学部学生による自主研究奨励事業」研究成果報告書

ふりがな 氏名	きたがわ ある 北川 有	学部 学科	工学部 環境・エネルギー工学科	学年	3年				
ふりがな 共同 研究者氏名	いしかわ さわ 石川 爽	学部 学科	工学部 応用理工学科	学年	2年				
	おおたに まさき 大谷 将輝		法学部 法学科		3年				
					年				
アドバイザー教員 氏名	たかはし まさおみ 高橋 賢臣	所属	安全衛生管理部						
研究課題名	栗の木のCs挙動調査による、可食部を用いない安全性の評価についての検討 ～福島浜通り地域の環境回復から、将来への必要性に応える準備～								
研究成果の概要	研究目的、研究計画、研究方法、研究経過、研究成果等について記述すること。必要に応じて用紙を追加してもよい。(先行する研究を引用する場合は、「阪大生のためのアカデミックライティング入門」に従い、盗作剽窃にならないように引用部分を明示し文末に参考文献リストをつけること。)								

今回の調査研究の目的・趣旨

2011年の東北地方太平洋沖地震とその津波によって東京電力福島第一原子力発電所事故が発生し、その過程で周辺環境に放射性物質が放出・拡散・沈降しました。放出された放射性物質の一部は福島県浜通り地域に降着し、住宅地や農地では住民や農作物が放射線や放射性物質の影響を受けないように、除染が進められています。しかし、頻繁に人が立ち入らない森林については住環境への影響度が低いため除染が行われないことが法律(放射性物質汚染対処特措法)によって定められています。しかし、里山のような生態系・環境・人間にとって必要とされるにおいては¹、住宅地や農地に続いて除染を進め、人と自然の共生社会が回復できる状況を作らねばなりません。

私たちは、今回の調査で森林地域における果樹からの放射性セシウムの取り除きを効率的に行う方法を考えるため、葉に着目して調査を行った。定量的に樹木と葉の間における¹³⁷Csの移行量を季節別に比較することで、樹木から葉への循環の挙動を把握することを目的としました。

今回の調査では福島県大熊町と飯舘村のクリの木を対象にしました。クリは日本全国に分布しており²、里山や一部の農地で比較的良好に見かけられます。また、可食部が果実ではなく種子ではあるものの、他の果実と比べて、クリの実には¹³⁷Csの濃度が高くなりやすいこと³がわかっています。栗の実が森林からの食品産物になりうる点、比較的にセシウム濃度が高い点、サンプルを収集しやすいことからクリの木を対象としてセシウムの挙動を調査しました。植物分類で同じブナ目であるコナラにつ

¹ : <https://www.env.go.jp/nature/satoyama/top.html> 環境省自然環境局「里地里山の保全・活用」

² <http://www.ffpri.affrc.go.jp/labs/prdb/kuri.html> 国立研究開発法人 森林研究・整備機構「植物社会学ルベデータベースに基づく植物散布図 クリ Castanea crenata Siebold & Zucc.」

³ https://www.pref.fukushima.lg.jp/download/1/2-4-s_kajyu_h250329.pdf (p,74)

いては落葉樹として 2017 年に調査が行われていました⁴がクリを対象とした研究はほぼありませんでした。

調査方法

福島県飯舘村で4本のクリの木、大熊町で5本のクリの木を調査対象として選定し、それぞれ葉と枝の成長が終わった夏の時期(8月)と、落葉した後の冬の時期(12月)に葉の採取を行い、サンプルとしました。サンプル情報を如何に記します。

飯舘村小宮地区 サンプル名 Itate-1,2:(N 37.65833° ,E140.79480°) 空間線量率 1.0 μ Sv/h

飯舘村小宮地区 サンプル名 Itate-3,4:(N 37.65832° ,E140.79180°) 空間線量率 1.3 μ Sv/h

大熊町 熊川地区 サンプル名 okuma-1:(N37.38218° E141.03129°) 空間線量率 3.4 μ Sv/h

大熊町小良浜地区 サンプル名 okuma-2:(N37.37729° ,E141.02866°) 空間線量率 7.9 μ Sv/h

大熊町夫沢地区 サンプル名 okuma-3,4:(N37.41875° ,E141.00348°) 空間線量率 8.7 μ Sv/h

大熊町夫沢地区 サンプル名 okuma-5:(N 37.42397° , E141.00235°) 空間線量率 9.0 μ Sv/h

全ての樹木において、樹木の成長度合いから事故前より存在する木と判断し、落葉樹であることから事故当時は全ての葉が落葉した状態で放射性物質の降着を受けたと考えられ、事故当時の放射性セシウム(¹³⁷Cs や ¹³⁴Cs など)の吸入経路は樹皮からが主である⁵と考えられる。しかし、事故後13年の現在は根からの吸収もあると考えられる。水・養分を吸収する毛根などの細根が多いのは表層近くであり、栗と同じ科目のコナラでは土壌方面から30cmまでのところで細根の分布が多いためである⁶。(栗の木の根全体は、7年生樹の栗の木で水平50cm深さ30-60cmに太根が多く150cmでは細根がほとんどである⁷という報告があり、調査対象の栗の木は10年生以上の木であるので、これ以上の根の大きさと深さであると考えられる。)

夏の採取、冬の採取で共に新生器官である葉について調査を行った。これは、¹³⁷Csの挙動を定量的に測る上で、落葉樹においては枝よりも新生器官である葉に養分が集まりやすく⁸濃度の同定が比較的容易で、調査に適していると考えたためである。原発事故後、数年で一年生の枝と二年生、三年生の枝において¹³⁷Csの濃度に差がなくなっており^{9,10}事故後13年経過した現在においては葉の採取

⁴ Kenzo, T., Saito, S., Miura, S., Kajimoto, T., Kobayashi, N. I., & Tanoi, K. (2020). Seasonal changes in radiocesium and potassium concentrations in current-year shoots of saplings of three tree species in Fukushima, Japan. *Journal of Environmental Radioactivity*, 223, 106409.

⁵ Ota, M., & Koarashi, J. (2022). Contamination processes of tree components in Japanese forest ecosystems affected by the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident ¹³⁷Cs fallout. *Science of The Total Environment*, 816, 151587.

⁶ 牧田直樹, 平野恭弘, 溝口岳男, 小南裕志, 檀浦正子, & 金澤洋一. (2009). 広葉樹二次林におけるコナラとソヨゴの細根の分布と形態特性. In *日本森林学会大会発表データベース 第120回日本森林学会大会* (pp. 257-257). 日本森林学会.

⁷ 稲生稔. (1965). 栗のネグサレ症状について. *関東東山病害虫研究会年報*, 1965(12), 106-107.

⁸ https://www.naro.go.jp/project/results/laboratory/fruit/2011/a00a0_01_71.html

農研機構 果樹研究所 2011年の成果情報 クリ園における放射性セシウムの蓄積

⁹ Kusaba, S., Matsuoka, K., Saito, T., Kihou, N., & Hiraoka, K. (2015). Changes in radiocesium concentration in a Japanese chestnut (*Castanea crenata* Sieold & Zucc.) orchard following radioactive fallout. *Soil science and plant nutrition*, 61(1), 165-168.

¹⁰ https://www.naro.go.jp/project/results/laboratory/fruit/2014/fruit14_s23.html 農研機構 果樹研究所 2014年の成果情報 フォールアウトを受けた栗園における放射性セシウムの動態

において何年生の枝から発生したのかによる有意な差がないと見込まれ区別しなかった。

夏のサンプルは同じ木において採取する場所によって濃度が異なることがあることが分かっていたため¹¹、高さを変えて1つの木につき2,3箇所からサンプルを回収した。測定のための処理は裁断した後に自然乾燥させ、粉碎しU-8容器に入れ¹³⁷CsをHP Ge検出器(CANBERRA社)2台で3000秒から84000秒間程度計測することで濃度を決定した。

Ge検出器は、標準線源でない濃度既知のサンプルで、サンプル充填高さについてのみ効率を補正して¹³⁷Cs濃度について定量を行った。

冬のサンプルは枯葉回収用ネットを設置する関係で複数箇所からのサンプル回収が困難であったため、夏のサンプリングで回収した最も低い高さの部分から採取した。既に枯葉であったため、直接に裁断・粉碎してU-8容器に入れ、同じくGe検出器で計測を行い、濃度の同定を行なった。

可能な限りにおいて、U-8容器をサンプル形状の幾何的限界まで封入し、そうでない場合は可能な限り測定効率が高くなるようにした。サンプル重量は乾燥状態で12.1 g-38.9 gであった。

また、栗の根元の土壌については、標本木1本に対して、表面から5cmのみ土壌を採取することによって土壌の¹³⁷Csインベントリ(Bq/kg)を決定した。

最終的に、Itate-4は秋の段階で全て落葉してしまっており、冬に落葉が回収できず、Okuma-3の木においては、12月のサンプリング時において、まだ落葉していなかったため、冬に落葉が回収できなかったため、調査対象から除外し、7本の木について調査を行なった。

調査・測定結果

Ge検出器で測定した結果のサンプル¹³⁷Csについて表1にまとめる。全てのサンプルは基本的に1回測定で濃度を決定している。また、葉の採取量が多かったOkuma-2の夏サンプルについては、サンプルの同質性を確かめるため4つサンプルを作成した。

表1：サンプル測定結果

¹¹ <https://ir.library.osaka-u.ac.jp/repo/ouka/all/90986/>

	夏サンプル		冬サンプル			土壌濃度	
	Cs-137濃度 [Bq/kg]	誤差	Cs-137濃度 [Bq/kg]	誤差	冬/夏 比	Cs-137濃度 [Bq/kg]	見かけの移行率
Itate-1-2m	706.79	8.95	569.46	8.93	80.57%	20552	0.0344
Itate-1-5m	490.32	21.39					
Itate-2-1m	137.27	16.58	104.05	4.84	75.80%	3726.9	0.0368
Itate-2-5m	1386.09	20.83					
Itate-3-1m	458.55	6.61					
Itate-3-3m	132.03	4.92	540.37	8.69	117.84%	14785	0.0089
Itate-3-5m	594.93	29.23					
Okuma-1-3m	620.02	14.4	489.59	14	78.96%	30745.05	0.0202
Okuma-1-5m	775.75	16.23					
Okuma-2-1m	547.57	8.26	430.2	5.72	78.57%	282976.5	0.0019
Okuma-2-3m	747.87	9.28					
Okuma-2-5m	1389.99	31.3					
Okuma-4-1m	5436.25	37.52					
Okuma-4-3m	9752.45	25.96	8522.61	22.9	87.39%	415430.29	0.0235
Okuma-4-5m	5706.64	38.36					
Okuma-5-1m	2038.95	136.1	2114.6	17.9	103.71%	431815.02	0.0047
Okuma-5-5m	1895.17	14.16					
Okuma-2-1m	503.51	4.84					
	487.17	4.69					
	547.57	8.26					
	438.97	14.87					

Okuma-2-1m の複数個のサンプルの測定結果より、測定したサンプルは採取した葉の濃度と考えて概ね差し支えないことを確認した。同じ木の中で複数箇所サンプルを採取したが、これについては、同じ木の中でも採取する場所によって濃度が大きく異なることが見受けられた。

7 個のサンプルの内 5 つは当初期待された通り、夏のサンプルより冬のサンプルの方が葉に含まれるセシウムの濃度が低かったものの、2 つのサンプルで高くなるという結果が得られた。そのため、今回の計測結果からは落葉に伴う養分の枝・幹への引き戻しが起きていると十分な確実性を持って判断することはできなかった。

また、図 1 に示されるように見かけの移行係数と冬/夏 比率には関係が見出せなかった。これは事故後 13 年が経過し、表面土壌にあったセシウムが下方浸透し、根からも吸収されている可能性を探るために表示したが、今回は傾向を掴むことはできなかった。

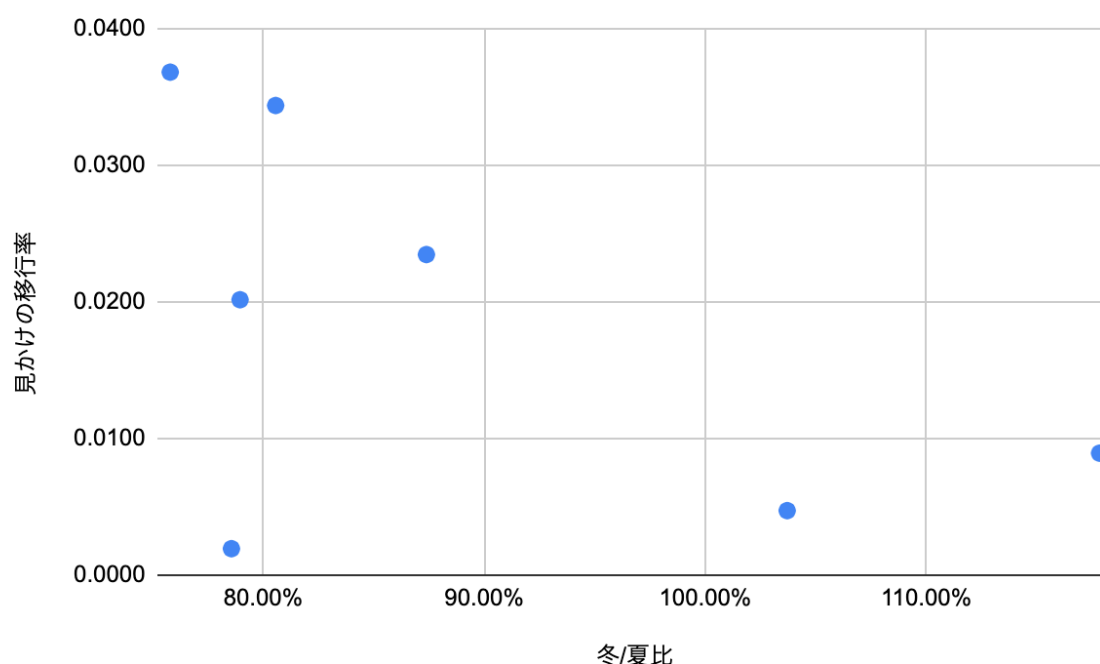


図 1：見かけの移行係数と再吸収量の関係

調査結果 詳細・考察

これまでの研究で樹木内でのセシウム挙動がカリウムとほぼ同じ経路をたどること¹²、またカリウムと同じく植物内で比較的流動しやすいこと¹¹、成長期の新生器官の成長や、pH 調整、孔辺細胞の開閉、酵素の活性化にカリウムが用いられることカリウムの濃度が高まること¹³、落葉樹は落葉する前に離層を形成する過程で養分枝・幹・根に養分を引き戻すこと¹⁴が知られています。そのため、夏の葉に比べて落葉した葉には ^{137}Cs の量が少ないと推測しました。別の樹木(コナラ)において同様の調査が行われており、夏のサンプルに比べて、落葉では 15% のセシウムの濃度が減少していた⁴と報告がなされていました。

概ねの結果としては、この予測と他の樹木での例の通りの ^{137}Cs の減少量でした。しかし、今回の調査においては逆に落葉後のサンプルが、有意に濃度が高くなってしまった事例も含まれていました。原因については、サンプル採取・処理過程でのコンタミネーションをした可能性を主に調べるなど、現在調査中であります。夏のセシウム濃度について再調査・再測定をして検証を行い、真に冬・秋のサンプルの方が、 ^{137}Cs 濃度が高くなったのかについて調べる予定です。特に、8 月は成長期が既に終わっており生育段階でのカリウムの量に比べて既に減少していた可能性もあります。Okuma-5 については、特に、土壌の濃度から期待される濃度よりも葉の ^{137}Cs 濃度が低く、より詳しい現地での調査を必要すると考えられます。

¹² 有田正規. (2013). カリウムとセシウム：放射線に対する考え方.

¹³ 東江栄,他,2021 年 11 月「植物バイオサイエンス」p,93 5.3.4 カリウム、共立出版

¹⁴ Hagen-Thorn, A., Varnagiryte, I., Nihlgård, B., & Armolaitis, K. (2006). Autumn nutrient resorption and losses in four deciduous forest tree species. *Forest Ecology and Management*, 228(1-3), 33-39.

今後への所感として、果樹の多くは表皮に ^{137}Cs を貯留していること¹³と考えられています。しかし、表皮を剥ぐと樹勢が弱まることが一般的であり、除染方法として実施は難しいものがあります。今後は、この挙動調査から森林の再活用に向けた線量低減の具体的な方法については検討したいと考えました。さらに、土壌に含まれる ^{137}Cs が下方へ浸透してきているという傾向により経根吸収の存在も無視ができなくなってきたと考え、ますます除染の難しさが進行してきていると感じました。

結論

これまでの研究において、森林環境中のセシウムは環境内で保持またはリサイクルされており^{5,15}、また今回の結果から、クリの木における挙動として放射性セシウムは、成長期に新生器官の葉へ送り込まれた ^{137}Cs は落葉の前に養分として引き戻されるものの、7割程度以上は落葉とともに落下していることがわかりました。

今後の活動

調査研究のフィールドを提供いただきました、飯舘村の伊藤延由様、大熊町へは今回の活動で得られた結果につきまして、年度末を目処に報告する予定です。

また、それに向けて、①今回の活動中に採取したサンプルをより精密に測定する予定です。具体的には複数台用いていた Ge 検出器は標準線源を用いた校正を行った上で1台のみで行い、また複数回の測定を行います。また、見かけの移行率にばらつきがあったことから②栗の木のセシウムの経根吸収についての状況を調べるために30cm以上の土壌を採取した上で、土壌中のセシウムの挙動・分布と現在の根からの吸収量について調査する予定です。

研究としては、今回求められた葉からの ^{137}Cs 排出が木全体に含まれる Cs の何%であるかを調べることで、排出された ^{137}Cs と元から土壌で捕獲されている ^{137}Cs の環境中での挙動の違いについても調べることで、物理的崩壊のスピード(年間減少割合 2%ほど)よりも速い樹木中の減少を誘導できる方法を探りたいと考えています。

謝辞

¹⁵ Yoshida, S., Muramatsu, Y., Dvornik, A. M., Zhuchenko, T. A., & Linkov, I. (2004). Equilibrium of radiocesium with stable cesium within the biological cycle of contaminated forest ecosystems. *Journal of Environmental Radioactivity*, 75(3), 301-313.

本研究を進めるにあたり、試料や、試料の採取場所を提供していただきました飯舘村と大熊町には心より御礼申し上げます。また、試料採取の際にご同行いただいた伊藤延由様、東裕之様には感謝の念に堪えません。さらに、アドバイザー教員を引き受けてくださった安全衛生管理部の高橋賢臣准教授、Ge 半導体検出器などの測定機器を快くお貸しくださった核物理研究センターの先生方など非常に多くの方にご協力いただき誠に感謝しており、この場を借りて深くお礼申し上げます。ありがとうございました。