

主論文の要約

論文題目 福島の自生植物における放射性セシウム集積特性と
それらの除染への利用可能性

氏名 杉浦 佑樹

第1章 序論

東京電力福島第一原子力発電所事故により環境中に放射性核種が放出された。特にセシウム ^{137}Cs による汚染は、その発生量と約 30 年の半減期から長期にわたる問題となる。福島県は面積の約 7 割を森林が占め、建築用のスギ木材の生産やコナラ等を利用したきのこの原木栽培、山菜の採取等により森林が盛んに利用されてきた。特に居住地周辺の森林は里山と呼ばれ、材や食料の提供だけでなく、生物多様性保持や水源涵養等の公益的機能を持つ。里山は定期的に人の手が加わることで維持されてきたが、森林資源の ^{137}Cs 汚染により利用が減少し、公益的機能が失われる可能性がある。現在森林の除染は空間線量率低減のための林縁の落ち葉除去にとどまっており、土壌や樹木には ^{137}Cs が残ったままとなる。畑地で行われている土壌の剥ぎ取りは適用面積の広さや発生廃棄物の量、生態系維持の観点から森林には不向きである。そこで、環境負荷の少ないファイトレメディエーションが期待される。ファイトレメディエーションは里山で行われる伐採や下草刈り、落ち葉掻き等の森林管理と組み合わせることで、森林機能を維持しながら低コストに除染を行うことができると考えられる。

本研究では、森林域におけるファイトレメディエーションの実行可能性の検討のため、福島県に自生する植物から ^{137}Cs 集積種を見出してその集積特性を評価すること、および効率化のための土壌改良剤の影響を評価することを目的として調査を行った。

第2章 福島第一原子力発電所事故後2年間における福島県の自生植物新葉中の放射性セシウム濃度の評価

事故直後の ^{137}Cs の陸域生態系への沈着および植物による吸収はその後の ^{137}Cs の動態に大きな影響を与えると考えられ、多くの環境における野生植物の ^{137}Cs 吸収について情報を集めることは重要である。また、 ^{137}Cs 集積傾向のある種を見つけ出すことはファイトレメディエーション実用化の第一歩となる。本章では、2011年5月から2012年11月にかけて福島県内の20地点で複数回にわたって植物の新葉および土壌を採取し、両者の濃度比(CR)値を計算・比較した。

木本植物は事故後に幹や枝、さらに常緑樹では葉に ^{137}Cs が付着し、その後表面から吸収されたことで草本植物よりも CR 値が高くなる傾向が確認された。また、木本

・草本植物ともに 2012 年は 2011 年と比較して CR 値が低下する傾向が見られた。環境の異なる 5 地点において土壤中の交換態 ^{137}Cs の割合を比較したところ、4 地点において 2012 年は 2011 年よりも割合が低下していた。これは時間経過による ^{137}Cs の粘土鉱物への固定によると考えられ、粘土鉱物や有機物の組成・含有量の違いが地点間の差に影響していると推察された。また、植物の 2012 年における CR 値の減少は交換態 ^{137}Cs の減少に影響を受けていると考えられたが、その程度は植物種毎に異なり、 ^{137}Cs 吸収能力に種間差があることが示唆された。既往の報告によりヒユ科、アカザ科、およびタデ科の植物は ^{137}Cs を特異的に吸収する傾向が示唆されているが、本調査ではこれら 3 つの科において特異的な ^{137}Cs 吸収をしている種は確認されなかった。一方で、落葉樹のコシアブラおよびウリカエデ、多年生草本のドクダミは 2012 年においても複数の地点で CR 値の高い個体が見られ、 ^{137}Cs を特異的に吸収している可能性が示唆された。

第 3 章 コシアブラの放射性セシウム集積特性

第 2 章において、コシアブラが ^{137}Cs を特異的に集積している可能性が示唆された。本種のファイトレメディエーションへの適用を考えるにあたり、 ^{137}Cs をどの部位にどのような機構で集積しているのかは有用な情報となる。本章ではコシアブラにおける ^{137}Cs の吸収能力、樹体内の分布、および他元素との関係を調べた。

同一地点に生育する落葉広葉樹 5 種の葉中 ^{137}Cs および ^{133}Cs 濃度を比較した結果、コシアブラは他種と比較して ^{137}Cs および ^{133}Cs ともに高濃度に含んでいることが確認された。また、他の 4 種における ^{137}Cs 集積の傾向と ^{133}Cs 集積の傾向は一致しなかった。コシアブラの各組織における ^{137}Cs 濃度は、葉 > 樹皮 > 材の傾向が見られた。さらに、材の中でも今後新芽を展開する頂端および葉痕では ^{137}Cs 濃度が高い傾向が見られ、成長の盛んな部位に ^{137}Cs が集積している傾向が見られた。個体内における各組織中のカリウム(K)濃度と ^{137}Cs 濃度には有意な正の相関が見られ、両者は樹体内に取り込まれた後に同じ経路で各組織へ輸送される可能性が示唆された。一方で、個体間では葉中 K 濃度と ^{137}Cs 濃度に有意な関係性は見られず、個体によって両者の取り込みの比が異なることが明らかとなった。加えて、コシアブラはマンガン(Mn)の高集積植物として知られているが、Mn と Cs の分布および吸収に明確な関係性は見いだせなかった。植物の ^{137}Cs および ^{133}Cs 吸収に影響を与える要因として、土壤中での両者と根の分布の関係、および特異的な能力を持つ共生菌の存在が示唆された。

第 4 章 土壌改良材が森林土壌における放射性セシウムの移行に及ぼす影響

ファイトレメディエーションは即効性がないことがデメリットとして指摘されている。 ^{137}Cs 汚染に対するファイトレメディエーションを効率化するには、土壌中に保持されている ^{137}Cs を脱離させて植物が吸収しやすいようにすることが有効と考えられる。本章では土壌 pH 低下作用を持つ硫酸アンモニウムおよび硫黄華が森林土壌中

の ^{137}Cs の移行に及ぼす影響を評価するため、ポット実験を行った。

森林土壌に硫酸アンモニウムを 40 g/m^2 となるように加えたものを NH_4^+ 区、硫黄華を 80 g/m^2 となるように加えたものを S 区、未処理のものを Ctr 区とした。また、森林における ^{137}Cs の移行を模擬するため、それぞれの処理区にドクダミ (Hc)、コナラの実生を植栽したグループ (Qs)、リターとして稲わらを表面に設置したグループ (Li)、および植栽を行わなかったグループ (Np) を設けた。系外への ^{137}Cs の流出を防ぐため、ポット下部にゼオライトを設置した。4 ヶ月間の栽培により、すべての区において埋没種子から植物が発芽していた。そこで、植栽した植物・稲わら、および土壌・ゼオライトに加え、発生した植物の ^{137}Cs 濃度を測定してその移行を調べた。 NH_4^+ 区では土壌 pH の低下は見られなかったが、S 区では pH の低下が見られた。硫酸アンモニウムおよび硫黄華の施肥は植栽したドクダミおよびコナラの地上部への ^{137}Cs の移行に影響を与えなかった。一方で、硫黄華は発生した植物の地上部への ^{137}Cs の移行を促進させた。有意な差は見られなかったが、 NH_4^+ 区および S 区では稲わらへの ^{137}Cs の移行量が増えている傾向が見られた。硫酸アンモニウムによる効果が見られなかった要因として、即効性の肥料であることから反応が初期にしか起こらなかったことが考えられた。一方で、硫黄華は実験終了後も残っており、長期にわたって pH を低下させ続ける能力を持つことが示された。本実験では植栽した植物の順化による影響や自然発生した植物との ^{137}Cs 吸収の競合が考えられたため、実地での実験や植物の自然発生を抑制した単一の系での実験により影響を明確化できると考えられる。

第 5 章 総合考察

硫黄華は森林土壌の pH を長期間にわたって低く保ち、新たに発生する植物への ^{137}Cs の移行を促進する可能性が示された。したがって、予め硫黄華を施肥することで土壌から下草への ^{137}Cs の移行を促進し、下草刈りにより効率よく ^{137}Cs を回収できる。また、立木への ^{137}Cs の移行も促進されると仮定すると、伐採および落ち葉掻きが ^{137}Cs の除去につながる。伐採後、コシアブラやウリカエデなどの ^{137}Cs 集積傾向のある木本を導入することで、土壌から葉への ^{137}Cs の移行および材への ^{137}Cs の蓄積が期待できる。また、ドクダミのような草本は土壌からの ^{137}Cs 吸収だけでなく、土壌表面の被覆による伐採後の ^{137}Cs 流出の防止機能も期待できる。加えて、地上部バイオマスの大部分を占める材への ^{137}Cs の移行・蓄積機構や、共生菌による土壌からの ^{137}Cs の脱離および植物への輸送能力の解明により、更なる効率化を図ることができる。以上より、森林管理に土壌改良材の使用や ^{137}Cs 集積種の植栽を導入することで、ファイトレメディエーションの利用可能性が示された。