

令和 6 年 6 月 20 日現在

機関番号：82110

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K12284

研究課題名（和文）きのこ枯死後のセシウム溶出挙動に着目した森林内セシウム循環機構解明研究

研究課題名（英文）Elucidation of

研究代表者

香西 直文（Kozai, Naofumi）

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構・原子力科学研究部門 原子力科学研究所 先端基礎研究センター・研究主席

研究者番号：80354877

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：野生きのこ子実体からの放射性Csの溶出を正しく評価するためには、液相への浸せきを少なくとも3回繰り返すとともに、子実体内に取り込まれている多様な鉱物微粒子に含まれる放射性Csを考慮する必要があることを明らかにした。森林では、一般的なきの子実体は土壌あるいは樹木から溶存形Csを吸収蓄積し、蓄積されたCsは子実体枯死後に溶出し土壌あるいは樹木に戻る、という形でCsが循環している可能性が高い。

研究成果の学術的意義や社会的意義

生物濃縮の観点で森林のきのこによる放射性Cs（以下Csとする）の蓄積が注目されているが、野生きのこ子実体のほとんどは動物に摂取されずに枯死するため、子実体へのCs蓄積は生物濃縮よりも森林でのCs挙動の観点から考えるべきである。本研究の意義の一つは、野生きのこからのCs溶出を正しく評価するための実験方法を構築したことである。もう一つは森林でのCs挙動について、子実体が溶存形Csを吸収蓄積し、枯死後にCsは溶出し土壌あるいは樹木に戻るといふ、発生場所と子実体という系におけるCs循環を明確化したことである。

研究成果の概要（英文）：This study established an experimental method to accurately evaluate leaching out of radioactive Cs (hereafter referred to as Cs) from wild mushroom fruit bodies. To do it, immersion of fruit body specimen in leachate must be repeated at least three time with fresh leachate, and fine mineral particles must be removed between fruit body mycelia to eliminate contribution of Cs on/in these mineral particles. This study also revealed Cs circulation between mushroom and its growing substrate in forest; common mushroom fruit bodies absorb aqueous Cs from soil or trees and store it, the Cs in fruit bodies is leached out of it after their death, and the Cs returns to soil or trees.

研究分野：放射性核種環境動態

キーワード：福島第一原子力発電所事故 セシウム きのこ 土壌 溶出

様式 C-19、F-19-1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

大気圏核実験以来、生物濃縮の観点からきのこによる放射性 Cs 蓄積が注目されているが、野生きのこ子実体のほとんどは動物に摂取されずに枯死する。一方、蓄積の機構や蓄積された放射性 Cs の挙動についてはほとんど解明が進んでいなかった。研究代表者等はシイタケをモデルきのことして選定し、Cs-137 を添加したおがくず培地を用いて室内で栽培したシイタケ子実体からの Cs-137 溶出実験を行った(文献)。子実体内に蓄積された Cs-137 のほとんどは純水に溶出した(純水に 5 回浸せきした結果)。溶出後の残渣を過酸化水素で処理して色素を分解する溶出実験によって、シイタケの色素に Cs-137 がまったく結合していなかったことも明らかになった。これらの処理後の残渣には極微量の Cs-137 に残留した。この研究及びシイタケの Cs 吸収に関する研究(文献)から、原木を含む樹木に発生するシイタケは、樹木中の溶存形 Cs を吸収蓄積しながら成長し、蓄積された Cs のほとんどは枯死後に雨水により溶出し、樹木または土壤に戻ることが明らかとなった。他の研究者等により行われた数種類の野生きのこ子実体を用いた溶出実験では、純水への浸せきを 1 回しか行わなかったため、溶出せず子実体に残る Cs-137 が報告された(文献)。研究代表者等の研究(文献)ではシイタケ子実体の色素には Cs が結合しないことが明らかになったが、ニセイロガワリの色素に Cs が結合すること可能性が報告されている(文献)。森林における放射性 Cs の挙動を解明するためには、きのこ子実体からの放射性 Cs 溶出を正しい方法で評価することが重要である。

2. 研究の目的

実験室で栽培したシイタケからの Cs-137 溶出実験により、純水による Cs-137 の溶出は 1 回で完了せず、数回繰り返して行うことが必要であることがわかった。本研究では、このような正しい方法によって他のきのこからの Cs-137 溶出実験を行い、きのこ子実体からの Cs 溶出挙動を明らかにする。これにより森林における放射性 Cs の挙動解明に資することが本研究の目的である。

3. 研究の方法

様々なきのこ子実体からの放射性 Cs 溶出を調べることが望ましいが、栽培可能なきのこの種類はわずかであり、ほぼ腐生性のものに限られる。そこで、放射性 Cs に汚染した数種類の野生きのこ子実体を福島県で採取した。シイタケ、イッポンシメジ、ホオベニシロアシグチと考えられるもの、ケショウハツである。表面の土壤を洗浄除去したあと乾燥あるいは冷凍させ実験に用いるまで保存した。子実体をハサミで 1cm 角程度に切断し、重量と Cs-137 放射能を測定したのちに、純水による溶出実験を行った。切断した子実体を容器に入れ純水に 1 日以上室温で浸漬させ、浸せき後の液相を回収・ろ過した後に液相の Cs-137 放射能を測定した。同じ子実体を新しい純水に浸漬させ、溶出した Cs-137 放射能を測定することを繰り返した。純水による溶出実験の後、子実体を過酸化水素に浸漬させ子実体の色素を分解した。

比較のため、茨城県の海岸の黒松林からコツブタケの子実体を採取し、同様の実験を試みた。コツブタケは、ヨーロッパで Cs 濃集力が高いことが知られているニセイロガワリに含まれているのと同じ色素を持つと考えられている。

4. 研究成果

福島県の 2 箇所から採取した野生シイタケの乾燥子実体 2 試料をそれぞれ純水に 7 回浸せきさせ Cs-137 の溶出を調べたところ、液相に Cs-137 が検出されなくなるまでには少なくとも浸せきを 3 回繰り返すことが必要であることがわかった。引き続き行った過酸化水素による浸せきでは液相に Cs-137 は検出されなかった。これらの溶出実験後の子実体残渣には有意量の Cs-137 が残った一方で、溶出実験後の容器に砂粒が認められた。子実体残渣の一部を採取し、光学顕微鏡で観察すると、菌糸体内に微細な鉍物粒子が含まれていることがわかった。菌糸体内の鉍物粒子は、子実体表面に付着した鉍物粒子が子実体の成長過程で子実体内部に移動したことを示唆する。このことは、菌糸体内のすべての鉍物粒子を除去することによってのみ野生きのこ子実体からの放射性 Cs 溶出挙動を正しく評価できることを意味する。

福島県で採取した野生きのこ 3 種類(イッポンシメジ、ホオベニシロアシグチと考えられるもの、ケショウハツ)を用いて同様の溶出実験を行った(写真 1)。いずれのきのこからもほとんどの Cs は水に溶け出した。過酸化水素により脱色したが、浸せき後の過酸化水素には Cs-137 がほとんど検出されなかった。これは、3 種類のきのこの色素には Cs-137 がほとんど結合していなかったことを示す。溶出実験後の子実体残渣を光学顕微鏡下でピンセットを使い分解したところ、有意量の鉍物粒子が含まれていた(写真 2)。これらをほぼすべて回収したところ、雲母を含む鉍物粒子には Cs があつたが、全体に対しての寄与は小さかった。ただし、鉍物粒子の種類と量は子実体生育環境により大きく異なると考えられるため、他の野生きのこ子実体の Cs-137 量に対する鉍物粒子の Cs-137 の寄与量を本研究結果から見積もることはできない。鉍物粒子を除去したあとの残渣には Cs-137 が少し残っていた。このことは、極わずかではあるが、菌

糸体に Cs が固着する可能性を示唆する。残渣をフーリエ変換赤外分光法により調べたところ、 $-COOH$ 、 $-CH_2-$ 等の官能基が存在することがわかった。そこで残渣に安定 Cs を吸着させ、過剰な Cs を除去したのちに放射光 EXAFS 分析したところ、Cs は外圏錯体として残渣に含まれることがわかった。この結果は大部分が水溶性であった結果と一致する。菌糸体内に溶存形で含まれる Cs の他にもそれらの官能基と弱く結合して Cs が存在する可能性が高い。

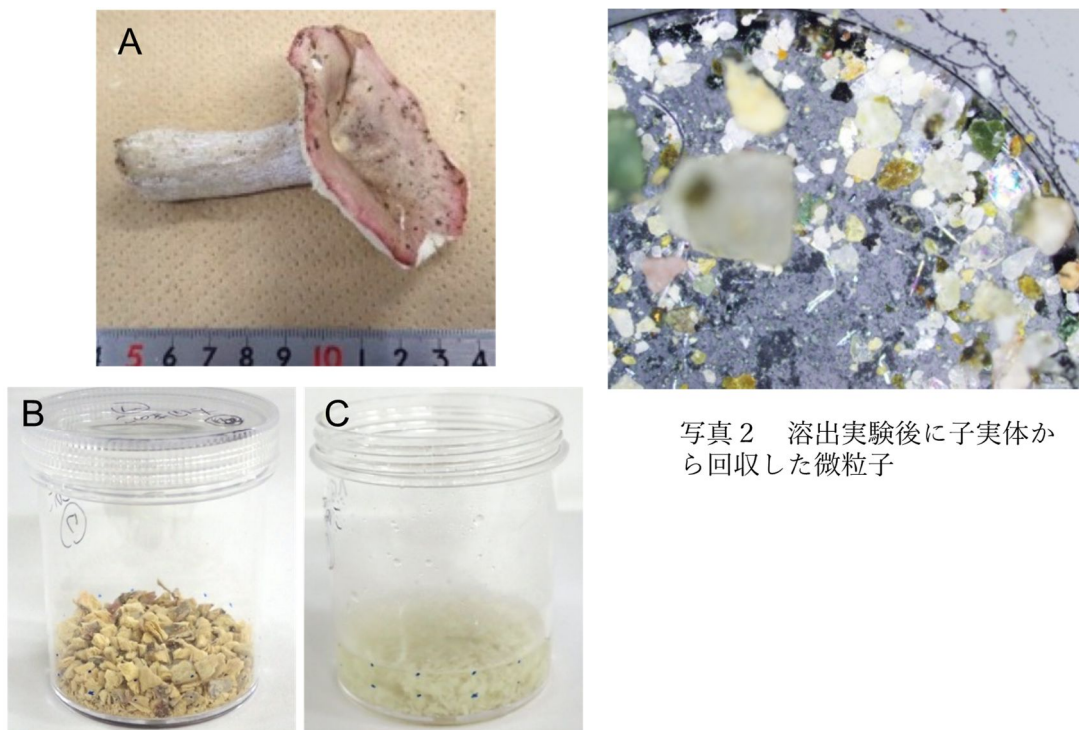


写真1 ケンヨウハツ A:洗浄後の子実体、
B: 溶出実験前、C: 超純水と過酸化水素による溶出実験後

写真2 溶出実験後に子実体から回収した微粒子

コツブタケは特殊なきのこである。子実体には柄がほとんどなく大部分が傘(球状)であり(写真3)傘の内部には多量の胞子が含まれていた。傘を切断すると胞子が飛散し、子実体を純水に浸せきしても胞子の回収が困難であったため、純水等による Cs-137 溶出実験は断念した。また、子実体内の砂粒子を回収し砂粒子の Cs-137 を評価することも、溶出実験ができなかったことにより断念した。コツブタケの色素に結合している Cs-137 の子実体全体に対する割合は、純水等による溶出実験をしない場合であっても子実体の Cs-137 を定量したのちに色素を抽出し、その Cs-137 を定量することにより求めることができるが、子実体の全色素の抽出には多量の有機溶媒が必要であることがわかり断念した。試みに子実体の一部から色素を抽出したが、抽出された色素が微量であるためか Cs-137 は検出できなかった。



写真3 コツブタケの子実体

本研究期間においては、きのこの色素と Cs-137 が結合する可能性は明らかにできなかったが、少なくとも一般的なきのこでは Cs が色素と結合して固定される可能性は低い。本研究結果等から、きのこは以下のように Cs の環境動態に関わると考えられる。きのこは、その生存期間の大部分を菌糸体として生息するが、土中あるいは樹木中の菌糸体も Cs を吸収蓄積する。子実体として成長するときも Cs を溶存形で吸収蓄積する。きのこ子実体が枯死すると、蓄積された Cs のほとんどは子実体から溶け出し、土壌等に戻る。ごく一部(おそらく子実体全体の1%未満)の Cs は菌糸体に保持されたまま菌糸体が分解されるまで菌糸体に残存すると思われる。

<引用文献>

F. Guido-Garcia 他, Chemosphere, 279, 130511 (2021)

T. Ohnuki 他, *Scientific Reports*, 6, 29866 (2016)
山口敏朗他, *環境放射能除染学会誌*, 4, 253 (2016)
D.C. Aumann 他, *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.*, 28, 453 (1989)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	数納 広哉 (Suno Hiroya) (50399309)	法政大学・情報メディア教育研究センター・准教授 (32675)	
研究分担者	徳永 紘平 (Tokunaga Kohei) (50814729)	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構・核燃料・バックエンド研究開発部門 人形峠環境技術センター・研究職 (82110)	
研究分担者	上田 祐生 (Ueda Yuki) (80806638)	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構・原子力科学研究部門 原子力科学研究所 物質科学研究センター・研究職 (82110)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関