

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 9 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26511003

研究課題名(和文) 森林表層土壌および更新草地における有機物分解に伴う放射性Csの動態と汚染リスク

研究課題名(英文) Behavior of radio cesium and its risk of contamination in association with organic matter decomposition in soil surface of forest and renovated grasslands

研究代表者

齋藤 雅典 (SAITO, MASANORI)

東北大学・農学研究科・教授

研究者番号：40355079

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：福島第一原発事故による放射性Cs(以下rCs)で汚染された森林および草地における有機物層に着目してrCsの動態を明らかにしようとした。スギ林において、2011年当時にスギ木の樹冠に保持されていたrCsの大部分は2014年までに溶脱し、リター層から土壌表層(無機質層)へと移行し、そこへ保持された。2011年のフォールアウトの直接の影響を受けたリター等からのrCsの溶出率は低く、経根吸収等によって植物体等へ移行したrCsの溶出率は高かった。除染のために更新した牧草地において、反転すき込みの不十分な圃場での牧草のrCs汚染リスクが高かった。

研究成果の概要(英文)：We investigated the behavior of radio cesium (rCs) derived from Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Accident in Japanese cedar forests and grasslands with emphasis on rCs in organic matter. In the forests, a large part of rCs trapped in top part of Japanese cedar trees in 2011 was washed down to forest floor after 3 years, and it further moved down from litter layer to surface mineral soil layer and was retained therein. Solubility of rCs in organic matter such as litter differed depending on origin of rCs. The solubility was low in litter contaminated through direct fallout of rCs in 2011, while in plant tissues contaminated through root absorption the solubility was high. In grasslands which were renovated after the accident, contamination risk of forage grass with rCs was rather higher when the original surface layer was not well incorporated into sublayer.

研究分野：土壌肥料学

キーワード：福島第一原発事故 放射性セシウム 森林 草地 有機物 リター ルートマット

## 1. 研究開始当初の背景

福島第一原発事故により放出された膨大な放射性セシウム(以下、 $rCs$ )は、福島県のみならず東北や関東の広い地域へ飛散し、その地域の土壌を汚染した。これらの地域の大半は中山間地であり、森林地帯へ沈着した放射性  $Cs$  が今後のどのような挙動を示すかは、森林のみならず森林下流の流域環境にも大きな影響を及ぼすことになる。 $rCs$  で汚染された森林および草地において、 $rCs$  の大部分が有機物層(森林リター層および牧草地ルートマット層)に分布している。しかし、有機物層に保持されている  $rCs$  が、今後、有機物の分解に伴って、どのように挙動するかはほとんど分かっていない。

これまでの研究では、森林地帯に沈着した放射性  $Cs$  が森林地帯から下流へ流出している量はきわめて少ないと推定されている。また、リター層に保持されていた  $rCs$  は徐々に土壌層へ移行しているらしいことが示唆されている。森林中の  $rCs$  の挙動を予測し、これらを今後の汚染流出リスク、さらにはキノコ等の特用林産物汚染のリスク評価を行うためには、経時的なモニタリングに基づき、 $rCs$  の挙動を支配している因子を明らかにすることが必要である。また、将来の  $rCs$  汚染リスクを最小にするためには、これら有機物層に保持されている  $rCs$  の挙動を予測することが重要である。

そこで、本研究では、森林土壌表層のリター層、草地土壌のルートマット層に注目し、それらに保持された  $rCs$  の有機物分解に伴う挙動を解析し、それらに基づき、更新された草地における牧草再汚染のリスクなどを評価するための基盤とする。

## 2. 研究の目的

(1) これまでに汚染実態について調査が進められてきた東北大学・複合生態フィールド教育センター(宮城県大崎市)の間伐強度の異なる森林を対象に、表層土壌における  $rCs$  の分布を調査し、2011年調査時との比較によって、3年間の  $rCs$  の動態を明らかにする。

(2) 各地から採取・収集した有機物試料(牧草、イネワラ、森林表層リター、草地ルートマット)について逐次抽出法により  $rCs$  溶出特性を明らかにするとともに、それらの土壌中での分解に伴う溶出特性を培養実験で明らかにする。

(3) 東北大フィールドセンターにおいて除染のために更新された草地における  $rCs$  の土壌内分布データと牧草中の  $rCs$  モニタリングデータから汚染リスクの評価を行う。

## 3. 研究の方法

(1) 2014年6月に、東北大学フィールドセンターのスギ人工林の間伐強度の異なる試

験地(無間伐区、弱度間伐区、強度間伐区)において、2011年6月の調査と同様の方法で、リター層・有機物層を採取した。すなわち、0層と表層土壌0-30cmの試料を採取し、0層は形態からスギ葉、草本、枝、広葉樹、その他の画分に分類し、土壌は2011年には0-15cm、15-30cmの2層、2014年には0-5cm、5-10cm、10-15cm、15-30cmの4層に分けた。それらの  $rCs$  含量を  $NaI$  シンチレーション検出器ガンマカウンターで測定した。

(2) 2011~2015年に各地で採取した牧草、草地ルートマット、スギ落葉、リター、イネワラなどを供試し、水(1:20, 18h)、1M酢酸アンモニア(1:20, 4h)、10%硫酸(1:30, 90分, 1h)の逐次抽出後、抽出液および残渣の  $rCs$  を測定した。

$rCs$  の溶出特性の異なる牧草、イネワラ、スギ落葉等の6種類の有機物試料を供試し、 $rCs$  吸着特性の異なる3種類の土壌(アロフェン質黒ボク土(盛岡)、非アロフェン質黒ボク土(川渡)、褐色森林土(福島))に添加して培養試験を行った。すなわち、風乾土に、ポリエステル製不織布メッシュ袋に入れた粉碎有機物を埋設し、畑状態水分30%で3ヶ月間培養し、メッシュ袋内の有機物の分解量と有機物中に残存する  $rCs$  量および培養土壌中の  $rCs$  量を測定した。土壌の  $rCs$  量の測定にはゲルマニウム半導体測定器を用いた。

(3) 東北大学・複合生態フィールド教育センターにおいて、2012年に除染のために更新された草地8圃場について、層位別(0-10cm, 10-20cm, 20-30cm)に土壌を採取し、 $rCs$  量をガンマカウンターで測定した。2014~2016年に同センター内で更新後に採草・調製されたロールペールから採取した1番草および2番草の  $rCs$  量をゲルマニウム半導体測定器で測定した。

## 4. 研究成果

(1) 面積あたり  $rCs$  量( $^{137}Cs$  インベントリ)は、2011年には無間伐区(18kBq/m<sup>2</sup>)が強度、弱度間伐区(34kBq/m<sup>2</sup>)比べ低い傾向であったが、2014年では43~65kBq/m<sup>2</sup>といずれの処理においても  $rCs$  量が増加し、間伐強度による差は見られなかった。これは、事故直後にスギ樹冠に保持されていた  $rCs$  の大部分が3年間に溶脱し林床に降下し、間伐による影響が小さくなったためと考えられた。また、3年間でリター層の面積あたり  $rCs$  量は減少し、土壌上層(0~15cm)で増加傾向が認められた。しかし、土壌下層(15~30cm)では明確な増加は認められなかった。 $rCs$  はリター層から土壌層へと移行したが、その大部分は上層に留まり、下層への移行は小さかったと考えられた。これら  $rCs$  の移動について模式的に図1に示す。

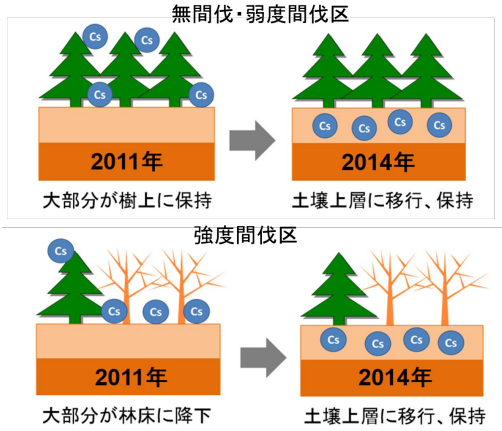


図1 間伐強度の異なるスギ林における rCs の挙動 (模式図)

(2) 供試した有機物試料の  $^{137}\text{Cs}$  は 1 ~ 23kBq/kg であった。これらについて逐次抽出を行ったところ、水抽出後の酢酸アンモニアでは新たに抽出される rCs はほとんど検出できなかった。そこで、水抽出、硫酸抽出、抽出残渣の3画分の抽出割合から、溶出特性を比較した。

牧草についてみると、2011年にフォールアウトの直接の影響を受けたと思われる牧草 A では、水可溶画分の割合が低く、硫酸可溶画分あるいは抽出残渣が大半を占めた。一方、2012年以降に採取した牧草 N およびイナワラでは、ほぼ全量が水で抽出された。これらの試料の rCs は、根からの吸収プロセスを経て植物細胞の液胞などに蓄積されたため、風乾後もきわめて易溶性であったと考えられた。草地ルートマットについては、土壌が混入しており、rCs が土壌粒子へ吸着される比率が高いため硫酸抽出および抽出残渣が大半を占めた。一方、スギ落葉については採取年時によらず水可溶：硫酸可溶：残渣は 10%:60%:30%程度でほぼ同様であった。これはフォールアウトでスギ葉に沈着した rCs の溶出特性が比較的安定していることを意味しているのかも知れない。

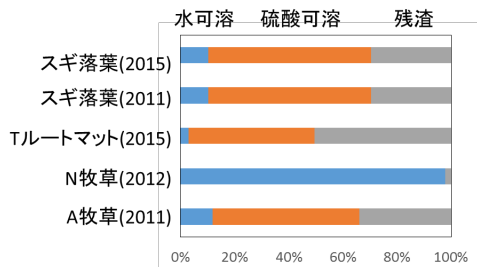


図2 各種有機物試料の rCs 溶出特性

培養実験により有機物の分解を調べたところ、牧草(2種)、イナワラは1ヶ月で50%程度が分解され、その後、分解速度はきわめて緩やかになった。一方、スギ落葉および腐朽リターの分解はきわめて遅く3ヶ月で15~20%程度の分解であった。これらの分解速度について3種の土壌の間で差は認められな

かった。

分解に伴う rCs の土壌中への移行については、rCs がきわめて易溶性である牧草 N およびイナワラでは、分解1ヶ月目には大部分の rCs が有機物から土壌へ移行した。一方、難溶性の rCs を含む牧草 A では、分解が進行した3ヶ月目でも土壌への移行はわずかに留まっていた。スギ落葉および腐朽リターでは3ヶ月で5~20%の rCs が土壌へ移行した。また、これら rCs の移行に、土壌の違いを認めることはできなかった。

これらのことから、リター等の有機物中の rCs の挙動は、主にその溶出特性を調べることによって、予測できる可能性が示された。(3) 除染のために更新された草地8圃場の rCs の鉛直分布を図3に示した。図の中央に、rCs が土壌表層 0-10cm 以内に留まる割合が40%以下の圃場を黄色で示し、40%以上の圃場を赤色で示した。赤色で示された圃場は礫が多いため深耕が難しく、結果としてルートマット等の表層に蓄積している rCs への下層への反転すき込みが不十分であった。

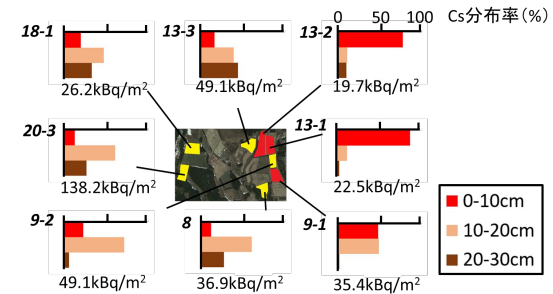


図3 更新草地圃場の rCs 鉛直分布および各圃場の rCs インベントリ

更新草地において生産された牧草中の rCs 濃度は、いずれの試料も飼料として安全基準値以下であり、年次ごとに低下傾向にあった。同一年度内で見ると1番草と2番草の濃度は相関し、1番草に比べ2番草での濃度は上昇傾向にあった(図4)。

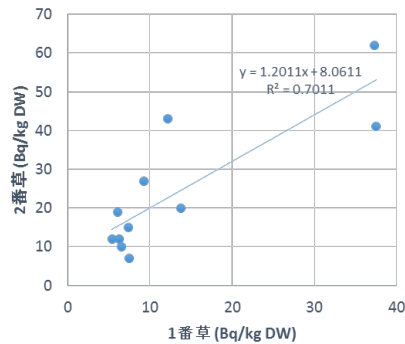


図4 2016年産牧草の1番草と2番草の rCs 含量の関係

圃場ごとの rCs インベントリと牧草 rCs 濃度との関係は小さく、むしろ、土層内分布、すなわち、土層内(0-30cm)の rCs の 20-30cm

層への分布比率が全体に対して 20%以下になると(下層への反転すき込みが不十分な圃場)では、牧草の rCs 濃度が相対的に高くなり、汚染リスクが高まることが認められた(図 5)。

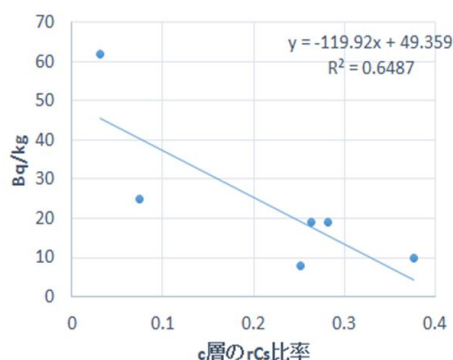


図 5 2016 年 2 番草の牧草中 rCs(乾物<sup>1</sup>-s)と各圃場の rCs の下層への分布比率

(4) 以上の一連の研究により、rCs に汚染された森林土壌表層のリター、草地土壌のルートマット等の有機物の土壌中における分解に伴う rCs の挙動は、有機物に含まれる rCs の溶出特性に支配されること、リター等から溶出する rCs は土壌表層に保持され下層へ移動しにくいこと、更新草地における牧草の再汚染リスクは、rCs に汚染された元の表層の下層へのすき込み程度によって大きな影響を受けていること、を明らかにした。これらの知見は今後の rCs 汚染対策に活用することができる。

##### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 6 件)

Mikhail Komissarov, Shin-ichiro Ogura, Hiroaki Kato and Masanori Saito: Effects of plowing on vertical distribution of radioactive Cs and soil physicochemical properties in temperate pastures, *Grassland Science*, 印刷中 (査読有)  
DOI: 10.1111/grs.12172

小倉振一郎・渋谷暁一・遊佐良一・千葉孝・遊佐健司・狩野 広・佐藤衆介・齋藤雅典: 川渡フィールドセンター草地・飼料畑における放射性セシウム汚染の実態と耕起除染効果、東北大学・複合生態フィールド教育研究センター報告、印刷中 (査読無)

Noriko YAMAGUCHI, Ichiro TANIYAMA, Takeshi KIMURA, Kunio YOSHIOKA, Masanori SAITO: Contamination of agricultural products and soils with radiocesium derived from the accident at Fukushima Daiichi Nuclear Power Station: Monitoring, case studies and countermeasures, *Soil Science and Plant Nutrition*, 62(3), 303-314 (2016) (査読有)  
DOI: 10.1080/00380768.2016.1196119

Shin-ichiro Ogura, Takae Suzuki,

Masanori Saito: Distribution of radioactive cesium in soil and its uptake by herbaceous plants in temperate pastures with different management after the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Station accident, *Soil Science and Plant Nutrition*, 60(6), 790-800 (2014) (査読有)  
DOI: 10.1080/00380768.2014.954269

[学会発表](計 10 件)

Chinatsu YONEZAWA, Shin-ichiro Ogura and Masanori SAITO: Spatial distribution of radiation dose in grassland area on Kawatabi Field Science Center, 12th International Symposium on Integrated Field Science, 2016 年 3 月 10 日、東北大学農学部(仙台)

関根 綾・榎並麻衣・宇野 亨・田島亮介・伊藤豊彰・菅野均志・高橋 正・齋藤雅典: 間伐強度の異なるスギ林の表層土壌における放射性セシウムの分布状況: 3 年間の変化、土壤肥料学会 2015 年大会、2015 年 9 月 9 日、京都大学(京都)

Shinichiro Ogura, Takae Suzuki, Masanori Saito: Distribution of Radioactive Cesium in Soil and Its Uptake by Herbaceous Plants in Temperate Pastures with Different Management after Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant Accident, 20th World Congress of Soil Science, 2014 年 6 月 9 日、済州島(韓国)

[図書](計 0 件)

[産業財産権]

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

[その他]

##### 6. 研究組織

###### (1) 研究代表者

齋藤 雅典(SAITO, MASANORI)

東北大学・大学院農学研究科・教授

研究者番号: 40355079

###### (2) 研究分担者

高橋 正(TAKAHASHI, TADASHI)

秋田県立大学・生物資源科学部・教授

研究者番号: 80132009

菅野 均志(KANNO, HITOSHI)

東北大学・大学院農学研究科・准教授

研究者番号: 30250731

###### (3) 連携研究者

浅川 晋(ASAKAWA, SUSUMU)

名古屋大学・大学院生命農学研究科・教授

研究者番号: 50335014

塚田 祥文(TSUKADA, HIROFUMI)

福島大学・教授

研究者番号: 50715498