

平成 30 年 6 月 4 日現在

機関番号：12605

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H04511

研究課題名(和文) 森林小流域における放射性セシウムの移動・蓄積・流出を予測する林床有機物動態の解析

研究課題名(英文) Influence of organic matter of forest floor on radioactive cesium movement, accumulation and outflow in the small watersheds.

研究代表者

戸田 浩人(Toda, Hiroto)

東京農工大学・(連合)農学研究科(研究院)・教授

研究者番号：00237091

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,700,000円

研究成果の概要(和文)：森林生態系の放射性Cs動態について林床有機物を中心に調査し、以下の成果が得られた。有機物分解が速く有機物層が薄い立地(ムル型)では、鉱質土層への放射性Csの浸透が多かった。一方、有機物層の厚い立地(モル型)は、その層に放射性Cs蓄積と樹木(ナラ類)細根が多く、ムル型よりもナラの葉・枝・幹材など樹体の放射性Cs濃度が高かった。また、土壌有機物の分解程度を表すC/Nと放射性Cs濃度には負の相関が、土壌炭素と放射性Csの存在量比には正の相関が認められた。このように森林では林床有機物の状態が放射性Cs動態を左右していた。今後の森林利用を考えるうえで、放射性Csの循環機構を解明していく必要がある。

研究成果の概要(英文)：The movement of radioactive cesium (Cs-137) in forest ecosystems were investigated. In particular, the investigation was focused on the organic layer of forest floor. In the mull type, where the decomposition rate of the organic layer is fast and thin, there was high migration rate of Cs-137 to the mineral soil. In the mor type, where the organic layer is thick, there was much accumulation of Cs-137 in the organic layer. There was a lot of fine root of oak in the organic layer of the mor type, and Cs-137 concentration of oak tree at the mor type was greater than at the mull type. There was a negative correlation between the soil C/N and Cs-137 concentration, and a positive correlation between the abundance ratio of soil carbon and Cs-137. These results suggested that the forest floor type, namely the decomposition rate of organic layer, influenced Cs-137 movement. In future, in order to use the forest, we have to research to clarify Cs-137 cycle of the forest ecosystems.

研究分野：森林立地学、森林生態学

キーワード：有機物分解 土壌有機物 モル型土壌 ムル型土壌 溪流生態系 外生菌根菌 ナラ林 萌芽更新

1. 研究開始当初の背景

福島第一原発事故を受け、福島県から北関東の森林には多量の放射性セシウム (Cs) が沈着した。その動態予測は、水源林等の公益的機能を高度に発揮させる森林管理上急務である。

2011年以前の森林における土壌浸食の研究では、大気から降下した放射性 Cs は、攪乱を受けない表層土壌に吸着していることが前提となっている。しかし、我々は事故後の福島県から北関東の森林ではいまだ落葉落枝 (リターフォール) や林床の堆積有機物層に多くの放射性 Cs が存在していること、林床での落葉等の細片化・分解によって表層の鉱物質土層に移行しつつあること、それが樹種や地形による落葉等の移動性によって異なること、土壌動物の攪乱や微生物の取り込みが移動性に影響を及ぼす可能性があること、などを明らかにしてきた。また、森林から溪流への放射性 Cs の流出に関して、流域に沈着した量に対して溪流から流出する割合はわずか (1%未満) であること、直接溪流に落下するリターフォールが溪流の底生生物を介した食物網に強く影響していること、里山の萌芽試験地において、伐採による攪乱が土壌表層への放射性 Cs の移動を促すこと、萌芽枝が放射性 Cs を吸収することも明らかにしてきた。さらに、農耕地の土壌において逐次抽出法を用いて放射性 Cs の存在形態を調査したところ、不明確な残渣画分に次いで有機物吸着態が多いこと、地質等によって存在形態の割合が異なることなどもわかってきた。

以上のように、事故後3年間の研究で、落葉等の細片化と移動性、分解による土壌への腐食浸透、植生や土壌動物等による吸収が、森林生態系での放射性 Cs の移動・蓄積・流出に大きな影響を及ぼすことが示唆された。

2. 研究の目的

前項の研究背景から、森林生態系における放射性 Cs の今後の動態を予測し流出抑制を考えていくためには、森林の小流域においてリターフォール・堆積有機物層・土壌腐植に至る有機物の移動・蓄積・流出をその影響要因 (樹種・立地・森林施業など) とともに捉え、そこに存在する放射性 Cs 濃度・量と存在形態を把握し、土壌動物・微生物・植生等の吸収も含めた解析が不可欠といえる。

本研究では、これまで福島県二本松市と北関東の群馬県みどり市の東京農大農学部附属フィールドミュージアム (FM) 大谷山・草木および栃木県佐野市の同 FM 唐沢山における森林小流域等で実施してきた放射性 Cs のモニタリングを継続するとともに、現在、放射性 Cs 動態に最も深く関わる有機物動態を詳細に調査し、森林生態系における放射性 Cs の移動・蓄積・流出に影響する要因を解析した。

3. 研究の方法

1) 森林小流域の有機物と放射性 Cs の詳細な動態把握

リターフォールと林床および溪床堆積有機物の移動・蓄積・流出と細片化・分解にともなう放射性 Cs 動態を把握するとともに、土壌動物や底生生物による放射性 Cs 動態への影響も評価した。具体的には、まずリターフォールを樹種別にリタートラップで捉えた。林床の堆積有機物のサイズごとの割合をハンドソーティングで調べ、細片化による表層の鉱物質土層へ移動・蓄積を明らかにした。溪畔にもリタートラップと側方移動トラップを設置し、溪流に直接落下するリターフォールと林床からの移動による溪流への流入も含めて把握した。溪畔を優占する林相 (スギ林が落葉広葉樹林か) 別に、溪流の断面形状や溪床勾配とともに溪床堆積物を粗大 (> 2mm)・細粒 (< 2mm) のサイズに分けて採取し、溪流を通した放射性 Cs の流下と底生生物からイワナに至る食物連鎖による移動を評価した。

2) 有機物分解にともなう土壌系での放射性 Cs の分布と蓄積

有機物分解で土粒子へ移動する放射性 Cs を捉え、地質や有機物の質・量が異なる土壌での差異を明らかにし、土壌化学性の影響を評価した。具体的には、福島県二本松市で2012年からモニタリングを継続している、スギ、アカマツ、ナラ林において、スクレーパープレートを用いて 0.5~1.0cm 厚の薄層ごとの放射性 Cs 濃度変化とともに土壌全炭素および全窒素を測定した。また、福島県二本松市のスギおよびナラ林から、A₀層 (林床堆積有機物) を採取し、L層 (落葉層) と F層 (腐葉層) に分け、放射性 Cs を含まない森林土壌カラムの表層に設置した室内培養実験を行い、放射性 Cs の浸透移動を把握した。

3) 表層土壌における植生の放射性 Cs 吸収

放射性 Cs の土壌からの経根吸収や菌根菌などの共生微生物を介した吸収を、萌芽更新や新植を想定した試験で把握し、有機物の分解過程での微生物への放射性 Cs の移行も含め、植生の吸収に及ぼす影響要因を解析した。具体的には、福島県二本松市で2013年に萌芽更新を行った試験地の調査を継続するとともに、2種類のコナラ苗木の外生菌根菌接種の試験を行い放射性 Cs 吸収の評価を行った。放射性 Cs を含む土壌への菌根菌接種・非接種コナラ苗ポット植栽試験、放射性 Cs を含まない土壌を入れ土壌水分を乾燥・中庸・適潤の3段階とした大型トレイにコナラ苗を植栽し、半面の表層に放射性 Cs を含むナラ林の A₀層を設置、非設置側と細根は通れず菌根菌系が通過できるネットで隔て、菌根菌共生による放射性 Cs 吸収への影響を考察した。また、ナラ林の立地の違いを、尾根 (A₀層が厚いモル型) と沢部 (A₀層が薄いムル型) として捉え、福島県二本松市および群馬県みどり市のミズナラおよびコナラの葉・枝・樹

皮・辺材・心材といった器官別の放射性 Cs 濃度を把握し、 A_0 層および鉍質土層の放射性 Cs 分布との関係を考察した。

4. 研究成果

1) 森林小流域の有機物と放射性 Cs の詳細な動態把握

落葉の放射性 Cs 濃度の高低は立地の初期沈着量に依存していた。ミズナラとクリで原発事故前の 2010 年の落葉からも、わずかに放射性 Cs が検出され核実験等のグローバルフォールアウトの影響が示唆された。ナラ類（コナラ・クリ・ミズナラ）落葉の経年による濃度低下が他の樹種より鈍く供給量も多いことから、ナラ類が放射性 Cs の樹体内保持や経根吸収による循環を繰り返す特性を有する可能性がある。放射性 Cs が降下したスギ林では、樹上に滞留した枯死枝葉において放射線量が高いという報告がある。葉リターの異なる齢ごとに葉から洗浄された溶存物およびその残渣の化学組成を分析したところ、枯死後 2 年以上経過した葉リターからの溶存物内の無機イオン濃度は高い値となり、その重要性が示された。

林床における鉛直方向の放射性 Cs の移動と蓄積をみると、放射性 Cs 濃度は細粒（2mm 以下）の画分で高く、鉍物質土層へはこの細粒画分の有機物とともに移動していると考えられた。有機物分解の指標である C/N と放射性 Cs 濃度の関係をみても、C/N < 30 の分解の進んだ画分で濃度が急増した。これは、微生物による窒素不動化過程から純無機化に転じる有機物の変化と放射性 Cs の濃縮との関連性を示唆している。

渓流の幅 1m、長 100m へのリターフォールおよび林床移動リターによる年間供給放射性 Cs 量は、スギ林が 699 kBq、広葉樹林が 312 kBq と推定された。スギ林は上方から直達する放射性 Cs 濃度が広葉樹林より約 5 倍高く、事故当時着葉していた影響が大きかった。落葉期と落葉前の渓床の堆積有機物量は、スギ林は $0.90 \pm 0.42 \text{ kg/m}^2$ 、広葉樹林は $0.80 \pm 0.70 \text{ kg/m}^2$ でほぼ同程度の堆積量であったが、スギ林は落葉前 = 落葉後と変動が小さいのに対し、広葉樹林は落葉期 > 落葉前となった。渓床 1 m^2 に供給される年間有機物量に対して、この堆積量はスギ林が 1.18 倍、広葉樹林は 0.62 倍と、スギ林の比率が大きく、スギ林渓床の有機物は流下しにくいと推測された。また、渓床堆積有機物の C/N と放射性 Cs 濃度の関係をみると、C/N が 30 以下で濃度が大きく上昇し放射性 Cs の溶脱から濃縮・再吸着に転じると推測された（図 1）。上方リターの C/N が 90.7 と高いスギは、リターの分解に伴う放射性 Cs の溶脱から濃縮・再吸着まで時間がかかるのに対し、広葉樹林は C/N が 32.7 と低く浸水後速やかにこの溶脱・濃縮・再吸着が生じたと考えられる。

福島県二本松市および群馬県みどり市の森林小流域における、事故 1 年後のイワナの

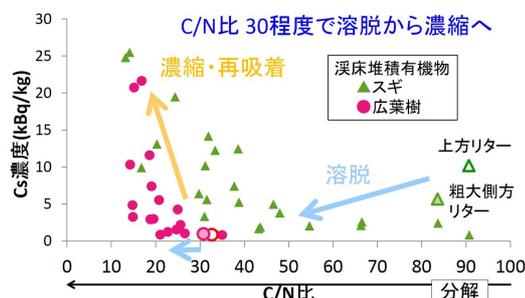


図1 渓床リターのC/Nと放射性Cs濃度

放射性 Cs 濃度は、1.2~6.1 kBq/kg、5 年後は 0.08~3.4 kBq/kg で、体長が大きいほど濃度が高い傾向であった。事故 1 年後に季節性は見られなかったが、5 年後は冬季が最も濃度が高かった。餌資源の放射性 Cs 濃度は、事故 1 年後で陸生昆虫は 1.0~4.3 kBq/kg、水生昆虫が 0.061~5.1 kBq/kg、5 年後ではそれぞれ 0.13~1.0、0.08~1.5 kBq/kg であった。イワナの胃内容物は、夏季に陸生昆虫の割合が約 80% と高く、秋季は体長 < 130mm で 8%、130mm で 35% であった。イワナの放射性 Cs 濃度の決定要因として、水温による代謝率の変化と餌資源内容の変化が示唆された。

2) 有機物分解にともなう土壌系での放射性 Cs の分布と蓄積

事故 5 年後の土壌深さ別の放射性 Cs 分布をみると、いずれの調査地も大部分が表層 1.0cm に分布していた（図 2）。樹種別にはスギ > ナラ・マツで、より深い層への分布がみ

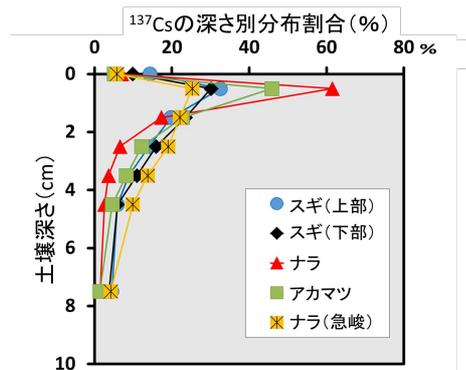


図2 土壌深さ別の放射性Cs分布割合

られた。ただし、急峻で A_0 層や表層土壌が浸食移動しているようなナラ林では、表層部分の放射性 Cs 量が少なくなり、比率として深い層へスギ並みに分布していた。土壌各層の全炭素の分布割合と放射性 Cs の分布割合の間には正の相関がみられ（図 3）、有機物分解と土壌への移行が放射性 Cs の分布に強い影響を及ぼしていることが示唆された。

事故 3 年を経て A_0 層の放射性 Cs 濃度は、L 層より F 層で高く、樹種別ではナラがスギよりも高かった。その分解や溶脱によって表層土壌へ浸透移動する放射性 Cs を室内カラム実験で調査したところ、森林土壌で水田土壌より著しかった。このことは有機物が浸透しやすい森林土壌系では、より深い層にも放射

性Csが浸透移動し蓄積する可能性を示している。

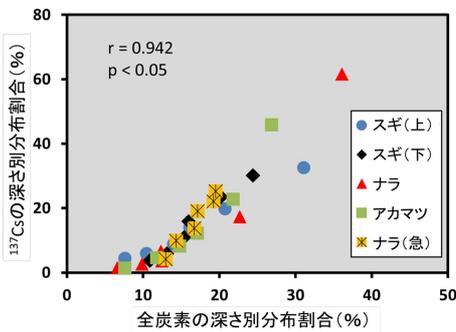


図3 土壌深さ別の全炭素および¹³⁷Cs分布割合の関係

3) 表層土壌における植生の放射性Cs吸収

福島県二本松市の伐採萌芽試験地で発生した萌芽枝の放射性Cs濃度は、葉と枝で相関があり枝は葉の40%程度であった。ナラ類の萌芽は3年間で伸長・肥大ともに成長し、本数が自然淘汰で減少した。萌芽がたく成長するに従い放射性Cs濃度が低下するものの、3年目ではまだ指標値(50 Bq/kg)未滿に達さなかった。

ポット栽培のコナラ苗木は、福島で栽培した苗の葉と茎において東京で栽培したものより放射性Cs濃度が高く、福島では湿性・乾性沈着が葉で17%、枝で13%程度存在した。また、外生菌根菌を接種したコナラ苗への放射性Csの移行係数は非接種のものより有意に低下、葉と茎の濃度も有意に低下した結果、葉と茎の放射性Csの分配率も有意に低下した。なお、菌根菌接種苗の光合成速度は、未接種よりも有意に増加したが成長に有意な差はみられなかった。

一方、大型トレイでのコナラ苗植栽調査では、乾燥した土壌ほど外生菌根菌の感染率が高く、成長が低下し、特に地上部の成長が低下した。葉の放射性Cs濃度は、放射性Csを含むA₀層を設置した区で有意に高く、乾燥した土壌の苗ほど高い傾向がみられ、A₀層未設置区でも放射性Csが検出された(図4)。根

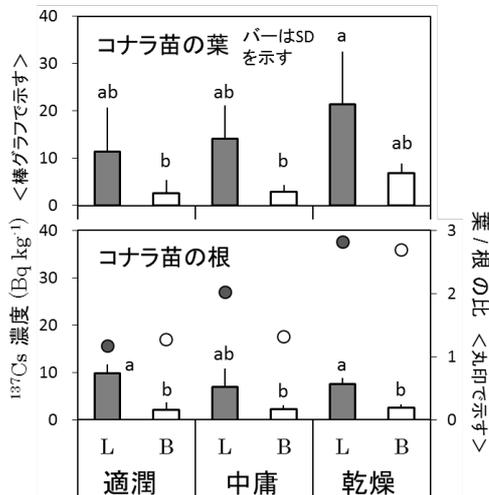


図4 葉と根の¹³⁷Cs濃度とその比
L: ¹³⁷Cs含有リター設置 B: 無設置

の放射性Cs濃度もA₀層設置区で有意に高かったが、土壌の水分状態では明確な傾向がみられなかった。以上2種の外生菌根菌の実験から、成長に適切な土壌水分下では菌根菌感染で放射性Csの地上部への移行の抑制が示唆された一方、土壌の乾燥で成長が低下するような条件下では菌根菌感染により堆積有機物層からの放射性Csの吸収が高まり、地上部への移行も進みやすいと考えられた。

福島県二本松市と群馬県みどり市の尾根(モル型土壌)および沢部(ムル型土壌)のナラ林において、ミズナラおよびコナラの高さ層別に器官別の放射性CsをA₀層と表層土壌や細根量とともに調査した結果、樹体各器官の放射性Cs濃度は、広域的には事故当初の沈着量に依存して高まり、器官別では葉>枝 樹皮>辺材>心材となった(図5)。

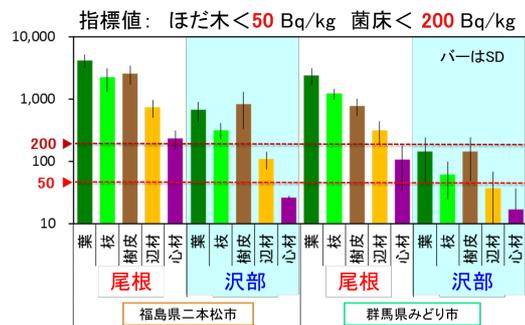


図5 ミズナラ・コナラの器官別放射性Cs濃度

同地域内の放射性Cs蓄積は、樹体が尾根>沢部、A₀層が尾根>沢部、鉍質土表層が尾根<沢部であった(図6)。沢部では土壌のより深い層まで放射性Csが分布し、細根は尾根でA₀層から表層に多いことから、表層が乾燥しやすい尾根(モル型土壌)はナラ林が放射性Csを吸収しやすい立地であると考えられた(図7)。みどり市でも尾根のナラ材は200 Bq/kgを上回るものがあり、菌床材の尾根付近から収穫は留意が必要である。

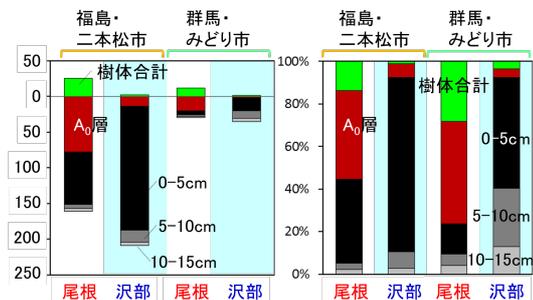


図6 各ナラ林の樹体と土壌の放射性Cs蓄積と割合

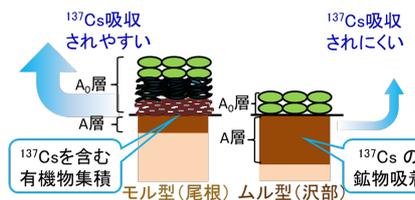


図7 堆積有機物層の類型と植生の¹³⁷Cs吸収

放射性 Cs 汚染により林産物が指標値を超えるため出荷が困難な地域において、今後どのような立地条件の森林で指標値を超えるか、更新などの森林施業により指標値を下回る林産物生産が可能か予測モデル構築と、そのための簡易なモニタリング方法、森林流域からの放射性 Cs 流出を低減する施業法を明らかにしていく必要がある。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計9件)

Dongsu Choi, Hiroto Toda, Robert D Guy, Characteristic of ¹³⁷Cs accumulation by *Quercus serrata* seedlings infected with ectomycorrhizal fungi, *Journal of Forest Research*. 査読有、23 巻、2018 年、21-27
DOI:10.1080/13416979.2017.1411420

Gomi T, Sakai M, Haque ME, Hosoda, K, Toda H, Evaluating ¹³⁷Cs detachment from coniferous needle litter in a headwater stream: a litter bag field experiment, *Landscape and Ecological Engineering*, 査読有、14 巻、2018 年、17-27
DOI:10.1007/s11355-017-0337-7

Fujino T, Kobori S, Nomoto T, Sakai M, Gomi T, Radioactive cesium contamination and its biological half-life in larvae of *Stenopsyche marmorata* (Trichoptera: Stenopsychidae), *Landscape and Ecological Engineering*, 査読有、14 巻、2018 年、37-43
DOI:10.1007/s11355-017-0339-5

Haque ME, Gomi T, Sakai M, Negishi JN., Developing a food web-based transfer factor of radiocesium for fish, whitespotted char (*Salvelinus leucomaenis*) in headwater streams, *Journal of Environmental Radioactivity*, 査読有、172 巻、2017 年、191-200
DOI:10.1016/j.jenvrad.2017.02.020

A. Matsushita, T. Yoshida, N. Hijii, C. Takenaka, Changes in the chemical compositions of leaf litter in the canopy of a Japanese cedar plantation, *Journal of Forest Research*, 査読有、22 巻、2017 年、256-270
DOI:10.1080/13416979.2017.1339941

Dongsu Choi, Yoko Watanabe, Robert D. Guy, Tetsuto Sugai, Hiroto Toda, Takayoshi Koike, Photosynthetic characteristics and nitrogen allocation in the black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) grown in a FACE system, *Acta Physiologiae Plantarum*, 査読有、39 巻、2017 年、71, pp.12
DOI:10.1007/s11738-017-2366-0

Sakai M, Gomi T, Negishi JN., Fallout volume and litter type affect ¹³⁷Cs

concentration difference in litter between forest and stream environments., *Journal of Environmental Radioactivity*, 査読有、164 巻、2016 年、169-173
DOI:10.1016/j.jenvrad.2016.07.030

Sakai M, Gomi T, Negishi JN, Iwamoto A, Okada K., Different cesium-137 transfers to forest and stream ecosystems., *Environmental Pollution*, 査読有、209 巻、2016 年、42-52
DOI:10.1016/j.envpol.2015.11.025

Nam S, Hiraoka M, Gomi T, Dung BX, Onda Y, Kato H., Suspended-sediment responses after strip thinning in headwater catchments., *Landscape and Ecological Engineering*, 査読有、12 巻、2016 年、197-208
DOI:10.1007/s11355-015-0284-0

[学会発表](計23件)

戸田浩人・河野沙紀・崔東寿・吉田智弘・渡辺直明、立地の違いによるミズナラ林の放射性 Cs 蓄積への影響、第 129 回日本森林学会大会、2018 年

Menash Akwasi・Toda Hiroto・Choi Dongsu, The influence of forest environment on the ¹³⁷Cs distribution in five Fukushima forest soil, 第 129 回日本森林学会大会、2018 年

Omar Abdulhaq・Toda Hiroto・Choi Dongsu, Effect of Ectomycorrhiza on the Growth of Container Grown *Q. serrata* (Konara) Seedlings in Dry Condition, 第 129 回日本森林学会大会、2018 年

森戸航平・吉田智弘、コナラ倒木の直径と腐朽段階に沿った無脊椎動物の利用パターン、第 129 回日本森林学会大会、2018 年

千野結子・Md. Enamul Haque・大山義人・五味高志, Changes in ¹³⁷Cs concentration in riparian-stream ecosystems in a headwater stream of Fukushima, 第 65 回日本生態学会、2018 年

武藤芽依・金子信博・綾部慈子・吉田智弘・渡邊菜月・竹中千里・肘井直樹・林愛佳音、腐食昆虫を介した土壌から地上への放射性セシウムの移動、第 40 回日本土壌動物学会大会、2017 年

戸田浩人、森林の放射性 Cs 動態と里山の持続的活用に向けて、東京農工大学・NPO 法人ゆうきの里東和ふるさとづくり協議会合同シンポジウム、2017 年

五味高志、森林 溪流生態系での放射性 Cs の 5 年間の動態、東京農工大学・NPO 法人ゆうきの里東和ふるさとづくり協議会合同シンポジウム、2017 年

綾部慈子・吉田智弘・肘井直樹・竹中千里、ジョロウグモを用いた福島県森林域における可給態放射性セシウム循環量の推定、第 64 回日本生態学会大会、2017 年

綾部慈子・吉田智弘・肘井直樹・竹中千里、ジョロウグモは森林環境および生息節足動物の放射性セシウム汚染の指標となるか?、第 128 回日本森林学会大会、2017 年

武藤芽依・金子信博・綾部慈子・吉田智弘・渡邊菜月・竹中千里・肘井直樹・林愛佳音、腐食昆虫による森林土壌からの放射性セシウムの移動、第 128 回日本森林学会大会、2017 年

Abdulhaq Omari・Hiroto Toda・Dongsu Choi、Effect of soil moisture and phosphorus fertility on mycorrhizal colonization and nutrient uptake in oak seedlings、第 128 回日本森林学会大会、2017 年

河野沙紀・戸田浩人・崔東壽、ミズナラの各器官における高さ別の放射性セシウム量、第 128 回日本森林学会大会、2017 年

Akwasi Mensah・Hiroto Toda・Dorothea Sonoko Bellingrath-Kimura・Yoshiharu Fujii、The migration of 137Cs from different contaminated Fukushima forest litters in two soil conditions、第 128 回日本森林学会大会、2017 年

崔東壽・藤原佳祐・戸田浩人、外生菌根菌に感染したコナラ苗木の放射性セシウム吸収特性、第 128 回日本森林学会大会、2017 年

金子信博・渡邊菜月・武藤芽依・綾部慈子・吉田智弘・竹中千里、森林の腐食連鎖と放射性セシウム汚染 生物濃縮と土壌による保持のバランス、第 23 回森林昆虫談話会、2017 年

岩本愛夢・境 優・岡田健吾・根岸淳二郎・布川雅典・五味高志、森林流域における溪畔林と川のつながりと放射性セシウムの動態、第 23 回森林昆虫談話会、2017 年

河野沙紀・戸田浩人・崔東壽、落葉広葉樹の落葉における放射性セシウム濃度の樹種による違い、第 127 回日本森林学会大会、2016 年

峯澤知里・戸田浩人・崔東壽、溪流中におけるスギと落葉広葉樹のリターの混交が溪床堆積物の放射性セシウム動態に与える影響、第 127 回日本森林学会大会、2016 年

Mensah Akwasi・Fujii Yoshiharu・Toda Hiroto・Bellingrath-Kimura Sonoko Dorothea、The release of Cs-137 from the decomposition of contaminated forest litters and its migration in two soil conditions、第 127 回日本森林学会大会、2016 年

- ① 佐々木道子・峯澤知里・戸田浩人・崔東壽、萌芽更新から 3 年経過したコナラ、クヌギ萌芽枝の Cs-137 濃度、第 127 回日本森林学会大会、2016 年

- ② 金指努、竹中千里、飯塚和也、大久保達

弘、関本均、王華、杉浦佑樹、肘井直樹、綾部慈子、古川純、金子信博、小金澤正昭、福島和彦、青木弾、吉田智弘、逢沢峰昭、小澤創、第 127 回日本森林学会大会、2016 年

- ②③ Enamul MD H. Gomi T. Sakai M.、Applying ecosystem based transfer factor of radiocesium (137Cs) for white-spotted char in a headwater stream: A case study in Osawa-gawa of Fukushima.、第 19 回応用生態工学会研究発表会

〔図書〕(計 3 件)

五味高志・戸田浩人・境優、共立出版株式会社、原子力災害がもたらす森林-溪流生態系の放射性セシウム汚染(森林と災害、中村太・菊沢喜八郎編、pp.231) 2018 年、198-226

戸田浩人・崔東壽・佐々木道子・藤原佳祐・金田百合子・峯澤知里・河野沙紀、東京農工大学農学部文部科学省特別経費プロジェクト バイオ肥料 (ISBN 978-4-9906944-3-2-C3045) 森林における放射性核種の分布・蓄積と移動(福島農業復興支援バイオ肥料プロジェクト最終報告、pp.250) 2017 年、1-9

五味高志・境優・岡田健吾・岩本愛夢・千野結子・Enamul MD Haque、東京農工大学農学部文部科学省特別経費プロジェクトバイオ肥料 (ISBN 978-4-9906944-3-2 -C3045) 森林-溪流生態系の放射性物質移動と生物移行の評価(福島農業復興支援バイオ肥料プロジェクト最終報告、pp.250) 2017 年、10-17

6. 研究組織

(1) 研究代表者

戸田 浩人 (TODA, Hiroto)

東京農工大学・大学院農学研究院・教授
研究者番号：00237091

(2) 研究分担者

五味 高志 (GOMI, Takashi)

東京農工大学・大学院農学研究院・教授
研究者番号：30378921

崔 東壽 (CHOI, Dongsu)

東京農工大学・大学院農学研究院・准教授
研究者番号：20451982

吉田 智弘 (YOSHIDA, Tomohiro)

東京農工大学・農学部・講師
研究者番号：60521052