

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 27 日現在

機関番号：12501

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25281051

研究課題名(和文) 丘陵地森林の放射性物質の流出・循環の景観生態学的分析と里山の生態的再生の検討

研究課題名(英文) Landscape-ecological analysis of runoff and cycling of radioactive nuclides in the hilly forest and the study of ecological restoration of satoyama

研究代表者

小林 達明 (Kobayashi, Tatsuaki)

千葉大学・園芸学研究科・教授

研究者番号：40178322

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,300,000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汚染に対する除染作業による里山森林生態系の反応を3年間継続測定した。137Csの初期沈着量は500kBq/m<sup>2</sup>だった。137Csの林冠から林床への供給は、2013年7kBq/m<sup>2</sup>だったのが2014年4.4kBq/m<sup>2</sup>に減少したが、2015年には4.7 kBq/m<sup>2</sup>に増加した。これは137Cs動態が平衡状態に移行しつつあることを示す。林床の137Cs蓄積量は有機物層除去で79%、リター除去で43%減少した。林冠から林床への137Cs供給はそれぞれ38%と33%減少した。処理効果は見られたが、有機物層下層の除去は可給態Csの減少にあまり貢献しなかったと考えられる。

研究成果の概要(英文)：The response of forest ecosystem to the remediation work against the contamination of radiocesium by the accident of Fukushima Daiichi NPP was monitored for three years. The initial deposition of 137Cs was 500kBq/m<sup>2</sup>, and 94% of it was located at the forest floor in 2015. The supply of 137Cs from canopy to forest floor was decreased from 7kBq/m<sup>2</sup> in 2013 to 4.4kBq/m<sup>2</sup> in 2014, but it was increased to 4.7 kBq/m<sup>2</sup> in 2015. It suggests that the phase of 137Cs dynamics is changing from the dynamic state to the equilibrium state. Runoff of 137Cs has stayed less than 0.4kBq/m<sup>2</sup> for 3 years. The stock of 137Cs in the forest floor was reduced for 79% due to the removal of whole organic horizon and for 43% due to the removal of fresh litter. The supply of 137Cs from canopy to forest floor was reduced for 38% and 33%, respectively. The effect of treatment was observed in the flux of 137Cs, however, the removal of lower layer of organic horizon might not affect the reduction of available radiocesium.

研究分野：再生生態学

キーワード：放射性セシウム 可給性 循環 流出 森林生態系 除染 福島第一原子力発電所事故

### 1. 研究開始当初の背景

福島第一発電所の原子炉事故による放射性物質広域汚染対策として除染作業が進んでいるが、これまで国は原則として森林を除染の対象として考えてこなかった。しかし、主な被災地である福島の県土の7割は森林であり、しかも線量が高い計画的避難区域は阿武隈山系を被っており、森林と生活圏が融合したいわゆる里山環境にある。住民は里山と生活の深い結びつきを保持してきたため、森林対策への住民の要求はきわめて強く、国の対策を審議する環境回復検討会では、「現時点で得られている知見は十分ではなく、例えば、流域からの放射性物質の流出実態等について、福島県内でのデータが十分でないなど、今後とも、データを蓄積し、森林外への流出、拡散に係る挙動について明らかにしていく必要がある。」と報告している。

申請者らのチームは、原発事故後いち早く、福島県川俣町山木屋地区農業振興協議会と連携して研究を進めてきたが、やはり住民の森林対策の要望は高く、丘陵地の地形と土地利用の実態、そして主な汚染物質である放射性セシウムの移行が主として水の動きにもなって移行することを考えると、小流域を単位とした対策をたてるべきで景観レベルの把握が必要と考えている。

対策の課題の一つは、森林から隣接する農地・住宅地への放射性物質の流出移行に関する問題である。昨年来の数少ない研究報告では、流域の放射性物質総量に対して流出した森林の放射性物質の割合は年間1%以下とされているが、主たる汚染地の福島の落葉広葉樹林についての結果は報告されていない。やはり昨年来の研究報告より、落葉広葉樹林では、落葉落枝に放射性物質の5割が蓄積していると言われる。セシウムは土壌の粘土成分に吸着され安定するが、落葉落枝層のセシウムは不安定な状態にあるので、汚染された落葉落枝層の除去は生態系内のセシウムのストックとフローの両方を減少させる有効な方法と言われるが、森林を放置した場合と除染を行った場合で、セシウムの流出移行がどのように変化するか追跡する必要がある。一方、落葉落枝除去によって引き起こされる浸食量増加によりセシウムの流出が増加するとも考えられ、その防止法についても検討する必要がある。

もう一つの課題は、落葉落枝層から土壌あるいは植物へのセシウムの移行である。チェルノブイリ事故の例においては、森林の放射性セシウムは生態系内をずっと循環していて、空間線量の経年減衰はきわめてゆるやかだった (IAEA, 2006)。一方、より降水量が多く、気温も高く、森林の主たる構成樹種が落葉広葉樹であるわが国の汚染地のケースでは、落葉落枝の分解速度が速いため、落葉落枝層に蓄えられたセシウムはより早く土壌層に移行吸着されて、植物へは移行しにくいとする意見もある。里山の植物やキノコ

はシイタケほだ木や木炭の原料・山菜として重要な資源であるため、森林を汚染状態のまま放置した場合と除染処理を行った場合でどのようになるのか、生態系構成要素間の移行状況を監視する必要がある。

### 2. 研究の目的

(1) 空間線量の里山景観における分布変化の把握と山菜放射能リスク地図の作成

(2) 里山広葉樹斜面林における林床放射能低減試験による放射性セシウムの森林生態系循環量および系外流出量の変化の把握

(3) 森林生態系を循環する可給態放射性セシウムの定量

(4) 林床への木質チップの敷き均しによる放射性セシウム捕集効果の評価と生態系影響の分析

(5) 有機物層の微生物による放射性セシウム利用量の評価

### 3. 研究の方法

(1) 地図化対象地は、福島県川俣町山木屋地区のある農家の生活圏にとった。空間線量の地理的モニタリングは、GPS 装備の PC 接続放射線量計 (ホットスポットファインダー、日本遮蔽技術研究所) を用いて行った。汚染の初期状況は 2012 年に測定した。部分的な森林除染のあと、2013 年 7 月に測定した。政府による除染効果は 2015 年 11 月に測定した。そのほかに 2011 年 12 月から、丘陵地森林から丘間農地にいたるトランセクトを設定し、半年あるいは一年に一回、継続的に空間線量の分布を測定した。山菜植物種の移行係数評価のために、植物と土壌が 2014 年と 2015 年に採取され、それらの放射能濃度が測定された。

(2) 川俣町山木屋地区の農家が所有する森林に、丘陵地斜面の上端から下端掘削面の上りまでをほぼカバーするように幅 9 m、斜面長 35 m の試験区 4 区 (A~D) を 2013 年 7 月初めに設けた。調査区の下端には、土砂流出防止用のポリエステル製不織布の透水マットを斜面側に敷設した人工編柵および流水採取用の雨樋を設置した。A 区は対照区とした。B~D 区ではまず熊手を用いて L 層と F 層の一部を除去した。B 区では更に鋤簾で F 層の残り と H 層を剥ぎ取り、表面汚染密度値が 3 Bq/cm<sup>2</sup> 以下となるまで鉍質土層の一部も削り取った。B・C 区には木質堆肥とバークキュライトを体積比 1:1 で混合し充填した土嚢列を 5 m ごとに設置した。

その後、3 年間にわたって、樹木の生育期間中毎月、地表面流量、斜面末端柵内リター・土砂堆積量、林内雨量、樹幹流量、リター・フール量を測定し、それぞれに含まれる放射能をゲルマニウム半導体検知器にて測定した。同じく、年に一回、各調査区の有機物層と鉍質土層の深度別放射能濃度を測定した。

(3) 2014 年 8 月 2 日に調査地の各試験区で

直径 5cm のライナーチューブを用いて、有機物層を含めて地表から 10cm 深以上の土壌コアサンプルを採取し、それぞれのサンプルを FH 層、鉍質土層 0-3cm、3-10cm と分け、試料を作成した。次に、国立環境研究所(2011)が浄水処理発生土や下水汚泥焼却灰などに対して行った逐次抽出試験を一部簡略化して、<sup>137</sup>Cs を水溶態画分、交換態画分、有機態画分、その他の画分の 4 つの吸着様式にわけた。それらの画分について、それぞれ放射能濃度を測定し、画試験区の土壌各層の放射性セシウムの可給性について評価した。

(4) 2013 年 7 月に、斜面上部、中部、下部にそれぞれおよそ 40 m<sup>2</sup> の調査区を設け、林床の L 層を除去して、スギを粉碎したチップ材を 3 kg/m<sup>2</sup>(斜面上部)~5 kg/m<sup>2</sup>(斜面中部、下部)敷きならした。チップ材敷きならし後、1~6 ヶ月の間隔でチップ材を採取し、篩い分けて、粒径毎にチップ材の量と Cs 濃度を毎年測定し、Cs 吸収量を算出した。また、2015 年には試験区内に生育するコナラ葉を採取し、チップ敷き均しによる樹木への影響について調査した。

(5) 林床へ降下した放射性セシウムの移行における有機物と微生物の関わりを解明するため、福島県川俣町山木屋地区にて、土壌中の放射性セシウム、有機物量、クロロホルム燻蒸抽出法による微生物のバイオマス量および放射性セシウム吸収量の測定を行った。2014 年 8 月と 2015 年 8 月に KA 区では段丘面アカマツ、丘頂ナラ・マツ、斜面ナラの 3 か所、GK 区では斜面下スギと斜面上スギの 2 か所にてサンプルの採取を行った。13cm×13cm の枠組みを地面に設置し、その枠内にある有機物層と鉍質土層(土壌深 0-2cm)の採取を各箇所ですべて 3 反復行い、合計 30 サンプルを採取した。クロロホルム燻蒸抽出法にて有機物層と表層土層の土壌微生物の放射性 Cs 吸収量と炭素量の測定を行った。

#### 4. 研究成果

(1) 2015 年現在の空間線量は少ないところで 0.1 μSv/hr、多いところで 1.5 μSv/hr だった。家屋周辺と最近耕起された除染草地でもっとも低かった。除染農地で次に低く、除染されていない森林でもっとも高かった。広汎に農地除染が行われた 2015 年以前は、農地と森林の空間線量の低下はほぼ物理的半減期にしたがっていた。除染によって農地の空間線量は 1/3 近くに低下し、近隣の森林の空間線量も若干低下した。家屋周辺菜園の山菜の放射能濃度は厚生労働省の基準である 100Bq/kg より低かった。春の新芽や林床の植物では、放射能濃度が 1000Bq/kg 以上あった。ほとんどのキノコの放射能濃度は、シヨウ口を除き、1000Bq/kg をこえていた。

(2) 福島第一原子力発電所事故による放射性セシウム汚染に対する森林除染作業による森林生態系の反応を、福島県川俣町の里山にて 3 年間継続測定した。以下の数値はすべ

て 2011 年 3 月 15 日基準で半減期補正した。<sup>137</sup>Cs の初期沈着量は 500kBq/m<sup>2</sup>であり、2015 年段階では 94%が林床に存在した。<sup>137</sup>Cs の林冠から林床への供給は、2013 年 7kBq/m<sup>2</sup>だったのが 2014 年 4.4kBq/m<sup>2</sup>に減少したが、2015 年には 4.7 kBq/m<sup>2</sup>に増加した。これは<sup>137</sup>Cs 動態が動的状態から平衡状態に移行しつつあることを示す。系外への<sup>137</sup>Cs 流出量は 2013 年から 2015 年にかけていずれも 0.4kBq/m<sup>2</sup>以下で安定していた。林床の<sup>137</sup>Cs 蓄積量は有機物層除去で 79%、リター除去で 43%減少した。林冠から林床への<sup>137</sup>Cs 供給はそれぞれ 38%と 33%減少した。処理効果は見られたが、それは処理強度と相関しなかった。有機物層下層の除去は可給態放射性セシウムの減少にあまり貢献しなかったと考えられる。

(3) 水溶性の放射性セシウムは森林有機物層でわずかにあるものの、いずれの土壌でもほとんど存在しなかった。畑地では、H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>水処理によって抽出される易分解性有機物結合態やイオン交換態のものが有機物層で 13%、鉍質土層表層で 7%あったのに対し、森林では有機物層で 3%、鉍質土層表層で 2%しかなく、植物に吸収されやすい形態の放射性セシウムの割合が少なかった。放射性セシウムは粘土鉍物に固定されやすい性質を持つが、畑地土壌の粘土割合がそれぞれ 5%であるのに対し、森林土壌では 47%あり固定態放射性セシウムの割合が高いこと、森林のリターにはリグニン等難分解性有機物成分が多いことなどにより、植物に利用されにくい形態の放射性セシウムが森林では多かったと考えられる。

(4) Cs 濃度は粒径の小さいチップ材で高く、粒径の大きなチップ材でも経時的に増加した。Cs 濃度の増加はチップ材全体では敷きならし後 5 ヶ月間で特に大きかった。チップ材による Cs 吸収量は、敷きならし後 5 ヶ月間までに増加し、その後あまり増えなかった。敷きならし後 1 年間にチップ材に吸収された Cs 量は斜面上部、中部、下部でそれぞれ 19、21、15 kBq/m<sup>2</sup>であり、チップ材敷きならし時に F 層や鉍質土層に含まれていた Cs 量の 4~5%に相当した。チップ材敷きならし量は Cs 吸収量にあまり影響しなかった。チップ材敷き均し後 1 年間にチップ材に吸収された放射性セシウム量は斜面上部、中部、下部でそれぞれ 19、21、15 kBq/m<sup>2</sup>であり、チップ材敷き均し時に下層の FH 層や鉍質土層に含まれていた放射性セシウム量の 4~5%に相当した。2 年後、土壌中の放射性セシウム濃度はチップ材を敷き均し区では FH 層で最大であり、敷き均していない区では鉍質土層表層(0-1cm)で最大だった。コナラの葉の放射性セシウム濃度は、チップ材を敷き均した区で 4~7kBq/kg、敷き均していない区で約 0.7~3.5kBq/kg とチップ材敷き均しによって樹木への吸収が促進されたと考えられる。

(5) 広葉樹林・マツ林の有機物層において

は、有機物量と放射性セシウム量に正の相関がみられた。単位有機物量あたりの放射性セシウム量は前年から約 70%減少し、11~48kBq/m<sup>2</sup>であった。鈹質土層の表層では相関がみられなかったが、放射性セシウム量は前年から約 30%増加し、29~89kBq/m<sup>2</sup>であった。有機物分解により放射性セシウムの下層移行と植物吸収が進行したと考えられる。スギ林では有機物層・鈹質土層のどちらでも有機物量と放射性セシウム量に正の相関がみられ、放射性セシウム量は前年と同程度であった。微生物の放射性セシウム吸収量は、広葉樹林・マツ林の有機物層で前年度と同程度の 0.05~0.6kBq/m<sup>2</sup>であり、微生物への有機物層からの放射性セシウム供給効率は増加したと考えられる。

#### 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 4 件)

小林達明 (2015) 原発被災した里山地域の住民帰還に向けた自然環境の課題, ランドスケープ研究, 査読有, 78-8, 10-13.  
斎藤翔・小林達明・高橋輝昌・山本理恵・平野堯将 (2015) 林床処理を行った二次林と耕作地の土壤中放射性セシウムの存在形態, 日本緑化工学会誌, 査読有, 41, 3-8.

山本理恵・小林達明・江幡知紗・篠崎敬太・小嶋大地・太田祥子・宮本ウルルマ・高橋輝昌・鈴木弘行・関崎益夫・星澤保弘・小竹守敏彦・保高徹生・辻英樹 (2014): 原発事故被災地の丘陵地広葉樹斜面林における林床放射能低減試験とその後の水土流出, 日本緑化工学会誌, 査読有, 40, 130-135.

小林達明・木村絵里・飯塚和弘・山本理恵・鈴木弘行・星澤保弘・小竹守敏彦・関崎益夫・谷口伸二 (2013): 福島第一原発事故後の丘陵地林縁部法面における放射性物質移動防止試験, 日本緑化工学会誌, 査読有, 39, 92-97.

##### [学会発表](計 20 件)

平野堯将・小林達明・高橋輝昌・恩田裕一・高橋純子・遠藤雅貴・斎藤翔 (2016) コナラとアカマツの材への放射性セシウムの固定量の推定, 第 127 回日本森林学会大会学術講演集, 186, 2016 年 3 月 28 日, 日本大学生物資源学部

斎藤翔・高橋輝昌・小林達明 (2016) 林床への木質チップ材の敷き均しが放射性セシウムの動態に及ぼす影響, 第 127 回日本森林学会大会学術講演集, 173, 2016 年 3 月 28 日, 日本大学生物資源学部

遠藤雅貴・小林達明・高橋輝昌・平野堯将・斎藤翔 (2016) 森林土壤中の放射性セシウムの移行に関わる有機物および微

生物の役割, 第 127 回日本森林学会大会学術講演集, 186, 2016 年 3 月 28 日, 日本大学生物資源学部

小林達明・降旗大樹・鈴木弘行・平野堯将・齋藤翔・遠藤雅樹・高橋輝昌 (2016) 阿武隈の落葉広葉樹林における放射性セシウム循環の経年変化, 第 127 回日本森林学会大会学術講演集, 185, 2016 年 3 月 28 日, 日本大学生物資源学部

小林達明 (2016) 東日本大震災における被害と再生の取組み 阿武隈の里山と九十九里海岸林-, 第 69 回全国植樹祭“もりがたり”シンポジウム基調講演, 2016 年 2 月 28 日, 福島県いわき市

小林達明 (2015) 広葉樹林における放射性セシウムの存在形態, 原木きのご栽培管理に関する技術交流会, 2015 年 9 月 11 日, 東京

小林達明・平野堯将・近藤昭彦・鈴木弘行 (2015) 福島県川俣町山木屋地区における山菜の放射能リスクマップ作成の試み, 日本景観生態学会第 25 回全国大会北九州大会講演要旨集, 14, 2015 年 6 月 6 日, 九州工業大学

高橋輝昌・小林達明 (2015) 林床に敷きならされた木質チップ材による放射性セシウムの吸収特性, 第 126 回日本森林学会大会学術講演集, 182, 2015 年 2 月 28 日, 北海道大学農学部

平野堯将・小林達明・高橋輝昌・鈴木弘行・恩田裕一・高橋純子・山本理恵・斎藤翔 (2015) コナラとアカマツ樹体内の放射性セシウムの季節変化と林床処理の効果, 第 126 回日本森林学会大会学術講演集, 182, 2015 年 2 月 28 日, 北海道大学農学部

斎藤翔・小林達明・高橋輝昌・山本理恵・平野堯将 (2015) 林床処理を行った二次林と耕作地の土壤中放射性セシウムの存在形態, 第 126 回日本森林学会大会学術講演集, 182, 2015 年 2 月 28 日, 北海道大学農学部

山本理恵・小林達明・高橋輝昌・保高徹夫・鈴木弘行・平野堯将・遠藤雅貴・斎藤翔 (2015) 里山広葉樹林におけるリター除去処理による放射性セシウム流出と生態系内循環の変化, 第 126 回日本森林学会大会学術講演集, 182, 2015 年 2 月 28 日, 北海道大学農学部

遠藤雅貴・小林達明・高橋輝昌 (2015) 広葉樹林・マツ林・スギ林における放射性セシウムの浸透状況の違いと土壤微生物の役割について, 第 126 回日本森林学会大会学術講演集, 179, 2015 年 2 月 28 日, 北海道大学農学部

小林達明・平野堯将・鈴木弘行・近藤昭彦 (2015) 山木屋地区における山菜の放射性セシウムによる汚染状況と今後の予想, 第 126 回日本森林学会大会学術講演集, 152, 2015 年 2 月 28 日, 北海道大

学農学部.

Kobayashi, Tatsuaki (2014) Urban greening and ecological restoration in Japan after the Fukushima Accident, Invited session by Ministry of Environment of Korea, URBIO2014, 2014年10月10日, 韓国仁川

小林達明・山本理恵・高橋輝昌・近藤昭彦・鈴木弘行・保高徹生 (2014) 福島第一原子力発電所事故後の里山の放射線環境モニタリング, 日本景観生態学会第24回金沢大会大会プログラム&講演要旨, 14, 2014年6月28日, 金沢.

山本理恵・小林達明・高橋輝昌・江幡知紗・保高徹生 (2014) 林床処理による里山広葉樹林の放射性セシウムの生態系内循環と外部流出の変化, 第125回日本森林学会大会学術講演集, 208, 2014年3月27日, 大宮.

小嶋大地・小林達明・高橋輝昌・鈴木弘行・山本理恵 (2014) 落葉広葉樹体内の放射性セシウム分布特性と林床処理や周辺環境による変化, 第125回日本森林学会大会学術講演集, 207, 2014年3月27日, 大宮.

高橋輝昌・小林達明・金子信博・山本理恵・小嶋大地 (2014) 放射能汚染された林床に敷きならされた木質チップ材の分解と放射能濃度の変化, 第125回日本森林学会大会学術講演集, 159, 2014年3月27日, 大宮.

小林達明・江幡知紗・篠崎敬太・小嶋大地・太田祥子・飯塚和裕・木村絵里・山本理恵・宮本ウルルマ・高橋輝昌・鈴木弘行・近藤昭彦・関崎益夫・星澤保弘・小竹守敏彦 (2014) 川俣町山木屋地区の里山景観の放射性環境動態とレメディエーションの試み, 第125回日本森林学会大会学術講演集, 159, 2014年3月27日, 大宮.

Kobayashi, Tatsuaki (2014) Landscape Ecology of Radioactive Pollution of Satoyama in Fukushima and its Remediation, 第61回日本生態学会大会プログラム, 2014年3月17日, 広島.

〔図書〕(計 1件)

小林達明 (2016) 福島第一原子力発電所事故5年後の里山の現状と課題, 一ノ瀬友博・鎌田磨人編「森林環境 2016 特集 震災後5年の森・地域を考える」森林文化協会, 8-17.

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.h.chiba-u.jp/helloeps/homepage/fukushima/fukushima.htm>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小林 達明 (KOBAYASHI, Tatsuaki)

千葉大学・大学院園芸学研究科・教授  
研究者番号: 40178322

(2) 研究分担者

高橋 輝昌 (TKAHASHI, Terumasa)  
千葉大学・大学院園芸学研究科・准教授  
研究者番号: 20291297

保高 徹生 (YASUTAKA, Tetsuo)  
独立行政法人産業技術総合研究所・地圏資源環境部門・研究院  
研究者番号: 60610417

(3) 連携研究者

近藤 昭彦 (KONDOH, Akihiko)  
千葉大学・環境リモートセンシング研究センター・教授  
研究者番号: 30201495

鈴木 弘行 (SUZUKI, Hiroyuki)  
千葉大学・大学院薬学研究科・助教  
研究者番号: 70302578