

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 8 日現在

機関番号：82105

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H04522

研究課題名(和文) 安定セシウム循環の組み込みによる森林生態系内の放射性セシウム移行予測の高度化

研究課題名(英文) Improvement of model prediction of radiocesium cycling in forested ecosystem by adaptation of stable cesium dynamics

研究代表者

小林 政広 (Kobayashi, Masahiro)

国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所・主任研究員 等

研究者番号：50353686

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 11,600,000円

研究成果の概要(和文)：福島県および茨城県の森林において放射性および安定セシウム動態を観測した。林内の雨および堆積有機物を通過する水に含まれる放射性セシウム濃度は、夏季に濃度が上昇する変動を示しながら徐々に低下した。土壌水中では、放射性セシウム濃度は深度を増すことにより急激に低下したが、安定セシウム濃度は深度を増しても必ずしも低下せず、鉱物風化による供給と粘土鉱物による捕捉がバランスしていることが示唆された。観測データに放射性セシウム動態モデルを適用したところ、安定セシウムのデータは樹木による土壌中の放射性セシウム吸収量の場所による違いを表現することに利用可能で、モデルの高度化に役立つと考えられた。

研究成果の概要(英文)：We monitored the inventory and transport of radioactive and stable cesium isotopes in forests in Fukushima and Ibaraki prefectures. Radiocesium concentrations in litterfall, throughfall, litter leachate, and soil water gradually decreased throughout the monitoring period. Following infiltration, the radiocesium concentration in soil water rapidly decreased with depth, demonstrating the strong ability of clay minerals to capture radiocesium. In contrast, the stable cesium concentration in soil water was almost constant with depth. These findings suggest that the supply of stable cesium from soil material due to weathering is balanced by its capture by clay minerals and leaching by flowing water. Observed data was adapted to improve the prediction of radiocesium dynamics using in forest ecosystem. The stable cesium data improve the model parameterization through expressing the difference of the root uptake of radiocesium by sites.

研究分野：森林土壌学

キーワード：森林 放射性セシウム 安定セシウム モデル 予測

1. 研究開始当初の背景

福島第一原子力発電所事故により放出された多量の放射性物質は、福島県および周辺の広範囲の森林を汚染した。長期的影響が懸念される放射性セシウム (Cs-134 および Cs-137) は、事故直後には樹冠および堆積有機物に多くが分布し、その後土壌に移行していることが初期3年間の樹木 - 土壌モニタリングで明らかにされた(林野庁, 2014 など)。土壌中では放射性セシウムは最表層に集積しており、これは土壌中の粘土鉱物がセシウムを強く捕捉するためと見られる。一方、樹木の材内部や事故以降に形成されたスギ雄花から放射性セシウムが検出されている。このことは福島原発事故由来の放射性セシウムが樹体に吸収されたことを意味する。ただし、吸収経路としては葉、樹皮、根が考えられ、それぞれの寄与は明らかになっていない。チェルノブイリ原発事故後の周辺地域の森林では、事故から数年後に樹体の放射性セシウム濃度が高まったことが報告されており (Sheglov, 1999) これは根からの吸収によると考えられている。福島原発事故由来の放射性セシウムが根から吸収されて森林生態系内を多量に循環するか、土壌による捕捉が卓越してほとんど循環しないかの違いは、森林の取り扱いを左右する重要事項である。継続的モニタリングにより放射性セシウム循環を追跡することに加えて、科学的根拠に基づく予測により放射能汚染影響低減のための対策を支援することが求められている。セシウムには安定同位体が天然で存在する。この安定セシウム (Cs-133) は、同族元素であるカリウムとともに森林生態系内を循環し、動的な平衡状態にあると見られる。セシウムの化学的性質は安定、放射性で同じであるため、福島原発事故由来の放射性セシウムは安定セシウムの循環に組み込まれて平衡に向かうと考えられる。放射性および安定セシウムの動態に関するデータをモデルに適用することで放射性セシウム循環予測を高度化できると期待される。

2. 研究の目的

本研究課題では、事故後初期にモニタリングを開始した福島県郡山市の森林および茨城県石岡市の森林において、福島事故由来放射性セシウムの動態を継続して追跡する。また、モニタリングで取得した試料の安定セシウム分析を行い、森林生態系における安定セシウム動態を明らかにする。そして、放射性および安定セシウムに関する精緻なデータを活用して放射性セシウム循環モデルを改良し、森林生態系における福島原発事故由来放射性セシウムの循環の将来予測を高度化する。

3. 研究の方法

(1) 放射性セシウム動態の観測

福島県および茨城県内の森林において、林

外雨、林内雨、堆積有機物層通過水、土壌水、リターフォールを定期的に採取し、放射性セシウム濃度を測定した。また、土壌を深度別に採取し、各深度の放射性セシウム濃度を測定した。加えて、樹木の材、樹皮、葉を採取し、それぞれ放射性セシウム濃度を測定した。放射能測定はゲルマニウム半導体検出器を用いたガンマ線スペクトロメトリーにより行った。

(2) 安定セシウム動態の観測

放射性セシウムの測定を行った雨水、土壌水、土壌、植物体試料の安定セシウム濃度を測定した。分析には ICP 質量分析装置を用いた。個体試料の測定は酸分解処理をしてから行った。

(3) 放射性セシウム循環のモデリング

モデルには、Shaw らにより開発された森林内の各部位 (枝・葉・土壌) に蓄積する放射性セシウムの単位面積当たりの量を年単位でシミュレーションするコンパートメントモデルである RIFE (Radionuclides in forest ecosystems) を採用した。オリジナルモデルを改良して精緻化するため、水移動や温度反応を組み、原発事故後初期から蓄積した観測データを用いて貯留および移動に関するパラメータをチューニングした。

4. 研究成果

(1) 樹冠から林床への放射性セシウムの移動

福島県郡山市のスギヒノキ林および落葉広葉樹林における林内雨中の放射性セシウム濃度 (溶存態および懸濁態) は、2012 年以降変動しながら徐々に低下した。生物の活動が活発になる夏季に濃度が上昇することがあり、このときは特に懸濁態の濃度上昇が顕著であった。リターフォールの放射性セシウム濃度も 2012 年以降低下した (蛭田ら, 2016)。濃度と採取量から移動量を計算したところ、樹冠から林床への放射性セシウムの移動における林内雨とリターフォールの寄与は 2012 年においてはほぼ同等であったが、2013 年以降においてはリターフォールの寄与が大きくなった。また、林内雨による放射性セシウムの移動における溶存態の寄与は時間の経過とともに低下した。林内雨中の溶存態放射性セシウム濃度は、スギヒノキ林では 2012 年から 2017 年まで低下傾向が続いたが、落葉広葉樹林では 2015 年以降ほぼ横ばいとなった。事故当時、樹冠での放射性セシウムの捕捉が常緑針葉樹では多く、落葉広葉樹では少なかったことが反映されている可能性がある。

(2) 土壌中の放射性セシウムの移動

リター層通過水中の放射性セシウム濃度も林内雨と同様、2012 年以降変動しながら低下し、夏季には特に懸濁態の濃度が上昇した。

リター層通過水中の溶存態放射性セシウム濃度は、2014年以降においては 10^{-1} Bq/Lのオーダーであり、林内雨と同レベルであった。土壌水中の溶存態放射性セシウム濃度は、深度10cmでは 10^{-2} Bq/Lのオーダーであった。深度30cmでは、 10^{-3} Bq/Lのオーダーであり、土壌中を移動する過程で放射性セシウム濃度が著しく低下した(小林, 2017)。2012年4月にリター層に大部分が存在していた放射性セシウムは、時間の経過とともに鉍質土壌層へ移行し、大半は0~5cmの深度に留まっていた。0~5cmの土壌粒子を比重分画法により主に植物遺体からなる低比重の画分と、鉍物粒子から構成される高比重の画分に分け、それぞれの画分に含まれる放射性セシウム量を測定した(Toriyama et al., 2018)。その結果、2014年の時点で低比重の画分も約4割の放射性セシウムを保持していた。

(3) 森林内における安定セシウム動態

福島県郡山市のスギヒノキ林の林内雨、リター層通過水、土壌水中には、おおむね 10^{-2} µg/Lのオーダーで安定セシウムが含まれていた。林内雨、リター層通過水では安定セシウム濃度が初夏に高い傾向が認められた。土壌水では放射性セシウム濃度が深度増加とともに急激に低下するのに対して、安定セシウム濃度は深度を増しても濃度はあまり変わらなかった(図1)。土壌固相の安定セシウム濃度は深度による違いが顕著ではなかった。本試験地においては、土壌水中の安定セシウムは、鉍物の風化による供給と粘土鉍物による捕捉がバランスしていることが示唆された。

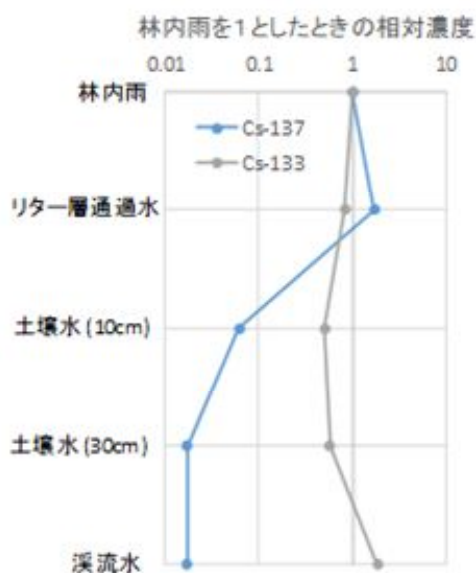


図1 森林内を移動する水に含まれる放射性および安定セシウム濃度(値は林内雨の濃度に対する相対値)

(4) 放射性セシウム循環のモデリング
得られた観測データを用いてRIFE1モデルを改良し、森林内での放射性セシウム動態をより細かくトレースできるモデルを試作した。植物体は、樹皮、枝、葉、材のコンポーネントに分け、土壌はリター、鉍質土壌0-5cm, 5-10cm, 10-20cmのコンポーネントに分けた。またタイムステップを月単位とし、月ごとの最高・最低気温を入力とし、CENTURYモデルの地温推定サブモデルを用いて月平均地温を計算した。土壌部分においては次のプールへの移行は地温に指数関数的に反応する構造にした。本課題で得られたデータに加え、本試験地に距離・条件の近い森林総合研究所の大玉村モニタリングデータを用いてパラメータを決定し、シミュレーションを試行した(図2)。ばらつきがあるものの、観測ではリター層から鉍質土壌層への移行は、夏高く、冬低い値をとり、また事故後年を追って年ごとに夏のピークが低下する。モデルにおいてもおよそそれらの特徴を捉えることができた。冬期の値の低下がモデルでは過小評価となっているが、季節性及びピークの時間的低下を表現することができた。森林内の放射性セシウムの年ごとの蓄積量データ(ストック)に加え(森林総合研究所の大玉村モニタリングデータ)、本研究で得られた各プール間の短い時間スケールでの移動量データ(フラックス)を用いることで、森林内の放射性セシウム動態の詳細をトレースできるモデルを構築することができた。また検討の結果、安定セシウムのデータは少なくとも樹木による土壌中の放射性セシウム吸収量の場所による違いを表現することに利用可能で、パラメタリゼーションの高度化に利用できると考えられた。今後はさらなるパラメタリゼーションと観測データを用いた検証を継続し、精度向上を進めていく必要がある。

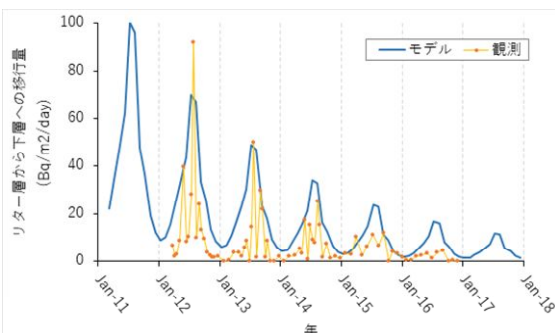


図2 モデル適用例(リター層から鉍質土壌層への放射性セシウムの移行)

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3件)

Toriyama J, Kobayashi M, Hiruta T, Sichi K (2018) Distribution of radiocesium in different density

fractions of temperate forest soils in Fukushima. Forest Ecology and Management, 409:260-266, doi.org/10.1016/j.foreco.2017.11.024. (査読有)

小林政広 (2017) 森林における福島原発事故由来放射性 Cs の現状. 土壌の物理性, 135:41-46, https://js-soilphysics.com/downloads/pdf/135041.pdf. (査読有)
蛭田利秀, 川口知穂, 壽田智久, 坪山良夫, 大谷義一, 小林政広, 篠宮佳樹 (2016) 落葉・落枝および林床における放射性セシウムの動態. 東北森林科学会誌, 21(2):43-49, doi.org/10.18982/tjfs.21.2_43. (査読有)

[学会発表](計15件)

Kobayashi M, Itoh Y, Hiruta T, Ogawa H, Hashimoto M, Shinomiya Y, Imaya A, Ohnuki Y, Dynamics of radioactive and stable cesium in a forest in Fukushima, Japan. 日本地球惑星科学連合 2018 年大会, (2018).

Itoh Y, Kobayashi M, Imaya A, Ikeda S, A comparison of initial deposition and current inventory of radiocesium in forest ecosystems surrounding Tokyo metropolitan area. 日本地球惑星科学連合 2018 年大会, (2018).

小林政広, 蛭田利秀, 伊藤優子, 篠宮佳樹, 大貫靖浩, 森林内を移動する水に含まれる放射性セシウムと主要溶存成分の関係. 日本土壌肥料学会 2017 年度仙台大会, (2017).

伊藤優子, 小林政広, 今矢明宏, 池田重人, 蛭田利秀, 小川秀樹, 森林生態系における安定および放射性セシウム循環の比較. 日本土壌肥料学会 2017 年度仙台大会, (2017).

橋本昌司, 今村直広, 大橋伸太, 小林政広, 福島原発事故後 4 年間のデータを用いた森林内放射性セシウム動態のモデル予測. 第 127 回日本森林学会大会, (2016).

鳥山淳平, 蛭田利秀, 志知幸治, 小林政広, 森林土壌の比重画分における放射性セシウムの分布. 2016 年度土壌物理学会大会, (2016).

小林政広, 蛭田利秀, 篠宮佳樹, 伊藤優子, 大貫靖浩, 山口紀子, 福島県の森林における土壌水中の放射性セシウム濃度. 日本土壌肥料学会 2016 年度佐賀大会, (2016).

伊藤優子, 今矢明宏, 小林政広, 関東地方の森林域への放射性セシウムの流入と動態. 日本土壌肥料学会 2016 年度佐賀大会, (2016).

Kobayashi M, Hiruta T, Ohnuki Y,

Shinomiya Y, Itoh Y, Transport of dissolved and particulate radiocesium in Japanese forested ecosystems. 13th international conference on the biogeochemistry of trace elements, (2015).

Itoh Y, Imaya A, Kobayashi M, Initial radiocesium deposition in forest ecosystems by Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident. 13th International Conference on the Biogeochemistry of Trace Elements, (2015).

Hashimoto S, Modelling dynamics of Fukushima-derived radiocesium in forest ecosystem using RIFE1 model. 13th International Conference on the Biogeochemistry of Trace Elements, (2015).

Kobayashi M, Hiruta T, Ohnuki Y, Shinomiya Y, Itoh Y, Transport of Radiocesium by water flow through Canopy, Litter Layer, and Mineral Soils in Forests. Comet Fukushima workshop (COordination and iMplementation of a pan-Europe instrumENt for radioecology), (2015).

Hashimoto S, Modelling spatio-temporal dynamics of radiocesium onto forests following the Fukushima nuclear accident. Comet Fukushima workshop (COordination and iMplementation of a pan-Europe instrumENt for radioecology), (2015).

小林政広, 蛭田利秀, 小野賢二, 志知幸治, 鳥山淳平, 篠宮佳樹, 大貫靖浩, 伊藤優子, 森林の樹冠から土壌への放射性セシウム移動. 日本土壌肥料学会 2015 年度京都大会, (2015).

鳥山淳平, 志知幸治, 蛭田利秀, 小林政広, 森林土壌の比重画分に含まれる放射性セシウム量の評価. 日本土壌肥料学会 2015 年度京都大会, (2015).

[図書](計0件)

[産業財産権]
出願状況(計0件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小林 政広 (Kobayashi, Masahiro)
国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所・主任研究員 等
研究者番号: 50353686

(2) 研究分担者

伊藤 優子 (Itoh, Yuko)
国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所・主任研究員 等

研究者番号：60353588

橋本 昌司 (Hashimoto, Shoji)
国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林
総合研究所・主任研究員 等
研究者番号：90414490

池田 重人 (Ikeda, Shigeto)
国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林
総合研究所・主任研究員 等
研究者番号：60353570

(3)連携研究者

野口 享太郎 (Noguchi, Kotaro)
国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林
総合研究所・主任研究員 等
研究者番号：70353802

(4)研究協力者

蛭田 利秀 (Hiruta Toshihide)
福島県相双農林事務所・森林林業部・主任主
査