J. Jpn. Soc. Soil Phys.
土壌の物理性
No. 152 p.31 ～ 38 (2022)

森林総合研究所における森林内の放射性セシウムに関する最近の研究成果

篠宮佳樹 [1]

Recent researches for radiocesium in forests at the Forestry and Forest Products Research Institute

Yoshiki SHINOMIYA[1]

1. はじめに

2022 年 7 月現在，東日本大震災に伴い東京電力福島第一原子力発電所（以降，福島原発と表記）で原子力災害が発生してから 11 年 4 か月が経過した．国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所（以降，森林総研と表記）では，福島原発事故が起きた 2011 年の夏から福島県の川内村，大玉村，只見町の複数の森林で，森林内の放射性セシウムの分布実態を調査してきた．その調査を毎年継続することにより，森林内の放射性セシウムの動態を明らかにしてきた（Komatsu et al., 2016; Imamura et al., 2017; Ohashi et al., 2017）．この間，研究成果の解説や普及に努めた（小林, 2014; 小林, 2017）．本報告では，森林総研で実施された福島原発事故由来の放射性セシウムに関する調査・研究のうち，2017 年以降の成果について解説する．

2. 森林内の放射性セシウムの動態

森林総研では，森林生態系におけるセシウム 137（以降 ^{137}Cs と表記）の森林内の分布の経年変化を明らかにするため，^{137}Cs 沈着量や樹種の異なる 10 の森林で葉，枝，材，土壌の ^{137}Cs の濃度や蓄積量を事故後 10 年間調査した．2011，2012 年の事故直後 1 ～ 2 年で，葉や枝の ^{137}Cs は地表へ移動し，次第に鉱質土壌の表層に多く溜まっていく傾向を示した．2016 年以降，鉱質土壌の表層に 90 % 以上存在し，その傾向はここ数年変化していないという実態が明らかになった．この傾向は，樹種や地域に関わらずどこも概ね同じような状況であった．森林生態系に沈着した ^{137}Cs は，数年 ～ 十数年経過すると，大部分が鉱質土壌表層に存在し，ごく一部が樹木根系により吸収，落葉落枝により地表に還元される，吸収量と還元量が見かけ上釣り合った状態（平衡状態）になると言われている．これらの調査地での森林土壌（落葉層と鉱質土壌）における ^{137}Cs の経年変化を定量的に解析するため，指数回帰モデル（^{137}Cs の移行と分配がまだ活発であると想定）と指数オフセット回帰モデル（平衡状態と定義される，安定した ^{137}Cs 分布への移行を想定）を用いて深度別の ^{137}Cs 蓄積量の経年変化を解析した（Manaka et al., 2022）．落葉層では，^{137}Cs 蓄積量は指数関数的に減少した（Fig. 1）．一部の調査地では減少する程度が異なっていた．鉱質土壌に関して，表層（0 ～ 5 cm）では，^{137}Cs 蓄積量は当初増加し，その後比較的一定となり，ほとんどの調査地で指数オフセット回帰モデルが選択され，現在既に平衡状態に入っていることが示唆された．また，鉱質土壌の次表層（5 ～ 10 cm）では指数関数的な増加傾向がみられたが，より深い鉱質土壌（10 ～ 15 および 15 ～ 20 cm）では ^{137}Cs 蓄積量の明確な増加傾向や減少傾向はみられなかった．Relaxation depth（緩衝深度；一般的に土壌中放射性セシウム濃度は地表から深層に指数関数的に減少する。その濃度が地表面の $1/e$（≒ 1/2.7）となる深さ），Migration center（移

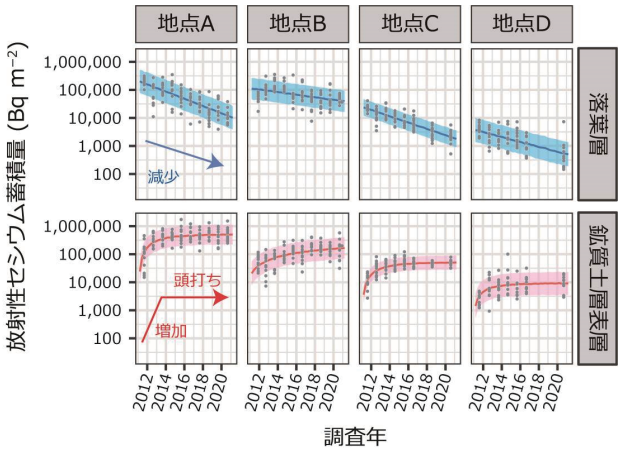


Fig. 1　落葉層および鉱質土層表層（深さ 0～5 cm）の放射性セシウム（^{137}Cs）蓄積量の経年変化（スギ林 4 調査地の結果を表示）．○は観測値を，線と帯はそれぞれ回帰曲線と 80 % 信頼区間を表す．Manaka et al. (2022) を改変．

[1] 森林総合研究所
2022 年 8 月 16 日受稿　2022 年 10 月 21 日受理

動の中心位置；放射性セシウム蓄積量の重心を表す深さ）（Imamura et al., 2020）の 2 つの指標を使って検討した結果からも，^{137}Cs の下方への移行は進んでいないことが明らかになった．

同じ調査地点で樹木（スギ，コナラ，アカマツ，ヒノキ）の木材と樹皮の ^{137}Cs 濃度の事故後 10 年間の変化が解析された（Ohashi et al., 2022）．木材中の ^{137}Cs 濃度は事故後数年間，多くの森林で増加傾向にあったが，その後増加が頭打ちあるいは減少に転じたことが明らかになった（Fig. 2）．一方，樹皮中の ^{137}Cs 濃度は全体的に減少傾向にあった．土壌からの ^{137}Cs の吸収量が多いと考えられた森林では濃度の減少率が低い傾向にあることがわかった．

森林土壌や樹体の ^{137}Cs の経年変化から，多くの森林で樹木による土壌からの ^{137}Cs 吸収と落葉落枝による地表への ^{137}Cs 還元が次第に釣り合ってきていると考えられる．^{137}Cs の吸収量や還元量は，鉱質土壌に存在する ^{137}Cs 量に比べてわずかであると予想されている．しかし，わずかな量であっても循環する ^{137}Cs が木材中の ^{137}Cs 濃度を左右するので，吸収量，還元量そのものを定量的に明らかにする必要がある．それらの解明は，林産物の将来の ^{137}Cs 濃度予測の精度向上につながると期待される．また，一部の調査地では，落葉層の ^{137}Cs 蓄積量や木材・樹皮中の ^{137}Cs 濃度の変動傾向が異なることが認められた．それらの動向を注視するとともに，調査地間で ^{137}Cs の変動傾向が異なる要因を明らかにすることも重要である．

3. 停滞した林業の再生

福島県は阿武隈地方を中心にきのこ栽培に用いる原木の生産が盛んで，他県にも多くの原木を供給していた．しかし，福島原発事故後，食品の放射性セシウムの基準値（100 Bq kg^{-1}）を超えないようにするため，2012 年 3 月にきのこ原木に対して指標値 50 Bq kg^{-1} が設定された．そのため，原木の放射性セシウムがこの値を超えた地域では，きのこ原木の生産が停止してしまった．この影響は福島県だけにとどまらず，周辺の他県にも及んだ．原木きのこの生産者は，原木きのこ栽培を再開するため，西日本など遠方から原木を取り寄せるなどの努力をしている．その一方で，地元の原木を利用したいという根強い要望がある．そのような要望に応えることを念頭に，原木に利用される代表的な樹種であるコナラを対象に原木林の利用再開につながる研究を実施している．土壌から樹体に吸収されたセシウムは，成長部位に集積する傾向がある．そのため，成長が盛んな当年枝の ^{137}Cs 濃度を ^{137}Cs 吸収の指標として利用した．そして，コナラ当年枝（その年に新たに伸びた枝）の ^{137}Cs 濃度と土壌の化学性や放射性セシウム量との関係を調べた（Kanasashi et al., 2020）．調査は，2016 年から 2017 年の冬季に，きのこ原木の主産地であった福島県田村市都路町で実施した．冬季に実施したのは，冬季は成長が休止し，^{137}Cs 濃度が安定すると考えられるためである．原発事故後に伐採更新されたコナラ萌芽林（34 か所）で，放射性セシウムが蓄積している深さ 0 ～ 5 cm の土壌の ^{137}Cs 総量，交換性 ^{137}Cs 量，交換性カリウム，交換性カルシウム，pH 等の土壌化学性とコナラ当年枝の ^{137}Cs 濃度との関係を解析した．コナラ当年枝の ^{137}Cs 濃度に有意な影響が認められたのは，土壌中の交換性カリウム量と交換性 ^{137}Cs 量であった．特に，土壌中の交換性カリウム量の影響が大きかった．土壌中の交換性カリウム蓄積量が多いとコナラ当年枝の ^{137}Cs 濃度が低く，両対数グラフ上で負の相関が認められた（Fig. 3）．土壌中の ^{137}Cs

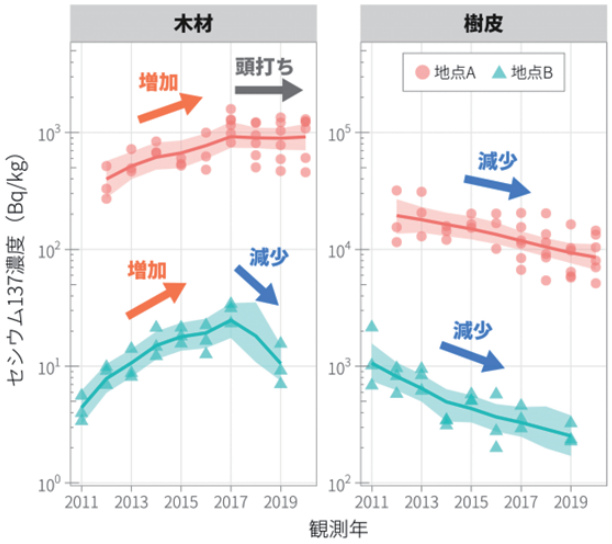


Fig. 2　木材・樹皮中の ^{137}Cs 濃度の経年変化（2 つの落葉広葉樹林調査地のコナラの結果を表示）．○と△は観測値を，線と帯はそれぞれ推定された傾向の中央値と 95 % 信頼区間を示す．森林総研プレスリリース（https://www.ffpri.affrc.go.jp/press/2022/20220804/index.html）より作成．

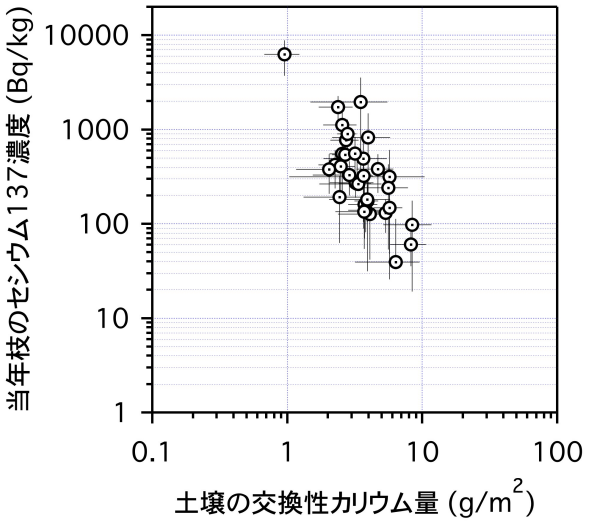


Fig. 3　土壌の交換性カリウムとコナラ当年枝の ^{137}Cs 濃度との関係．森林総研プレスリリース（https://www.ffpri.affrc.go.jp/press/2020/20201028/index.html）より作成．

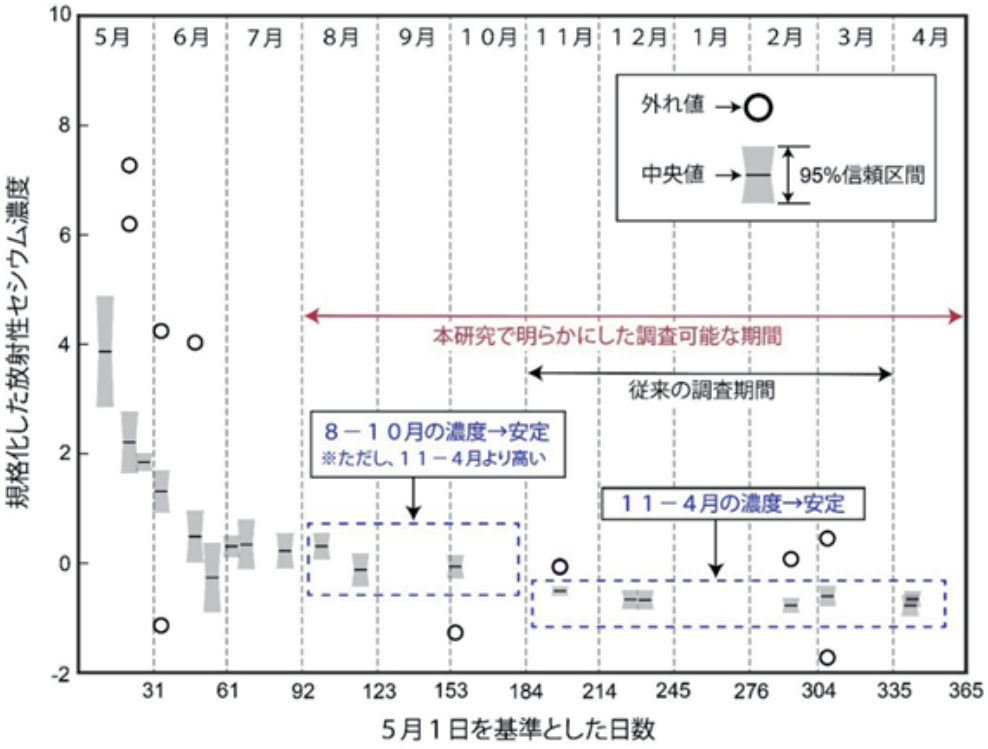


Fig. 4 コナラ当年枝の放射性セシウム濃度の季節変動．くぼみのある灰色の四角の中央の線が中央値，その上下の灰色の範囲が中央値の 95 %信頼区間を示す．この灰色の範囲を横軸方向に比較した際に，点線で囲まれた部分のように重複が見られる場合は，その中央値に統計的な差がないことを意味する．森林総研プレスリリース（https://www.ffpri.affrc.go.jp/press/2022/20220113/index.html）より作成．

総量が同じ程度（50 ～ 70 kBq m^{-2}）の 2 つの調査区を比べると，土壌中の交換性カリウム量が 1.0 g m^{-2} の調査区では当年枝の ^{137}Cs 濃度は 6300 Bq kg^{-1} であったが，交換性カリウム量が 6.4 g m^{-2} の調査区の当年枝の ^{137}Cs 濃度は 39 Bq kg^{-1} と，約 160 分の 1 であった．また，土壌の交換性 ^{137}Cs 量が多い場所でコナラ当年枝の ^{137}Cs 濃度が高い傾向があり，コナラの ^{137}Cs 吸収には土壌の ^{137}Cs 総量よりも交換性 ^{137}Cs 量のほうが影響していることもわかった．これらの成果は，きのこ原木として利用できる原木林を探すための手がかりになると考えられる．

停滞したきのこ原木林の利用再開に向けて，伐倒することなく幹の放射性セシウム濃度を推定する手法についても研究が進められた．当年枝を用いた方法では，放射性セシウム濃度が安定していると想定される 11 月から翌年 3 月までに採取していた．試料採取期間が限られるため，調査を進める上で大きな制約となっていた．そこで調査可能な期間について拡大可能かどうか検討するため，福島県田村市都路町の複数のコナラ萌芽林で当年枝を年間を通じて数度採取し，その放射性セシウム濃度の季節変動を調査した（Fig. 4）．Fig. 4 の横軸の「5 月 1 日を基準とした日数」は，福島県田村市都路町でコナラが展葉を始める時期を基準にした．縦軸の「規格化した放射性セシウム濃度」は，観測期間の放射性セシウム濃度の平均値をゼロに設定し，その変動幅を標準偏差で割ったものである．この変換により，複数の調査地で得られた様々なコナラ当年枝の放射性セシウム濃度を比較することが可能になる．全ての観測結果は，2018 年 6 月 1 日時点での濃度に再計算した値を用いた．解析の結果，コナラ当年枝の規格化された放射性セシウム濃度は 11 月から翌年 3 月だけでなく，8 月から 10 月と 4 月でも安定していた（Fig. 4）．つまり，幹の濃度推定に利用可能な当年枝の採取時期は，8 月から翌年 4 月までの 9 か月間に拡大できることが分かった（Sakashita et al., 2021）．なお，田村市と気候（気温など）が異なる地域では，図中の調査可能な期間が変化する事に注意を要する．今回の成果は，きのこ原木林の放射性セシウム濃度に関連する事業を推進する際の活用が期待される．

4. 野生きのこや山菜に関する研究成果

原発事故から 10 年が経過したが，依然として野生きのこや山菜の放射性セシウム濃度が高い地域が残っており，広い範囲で出荷制限が課されるなど，その影響はまだ続いている．また，放射性セシウム濃度が高い野生きのこや山菜を自家消費することによる内部被ばくの心配もある．こうしたことから，野生きのこや山菜の種や採取地点による放射性セシウム濃度の違いを把握することは重要である．

Komatsu et al.（2019）は，原発事故後に各自治体にお

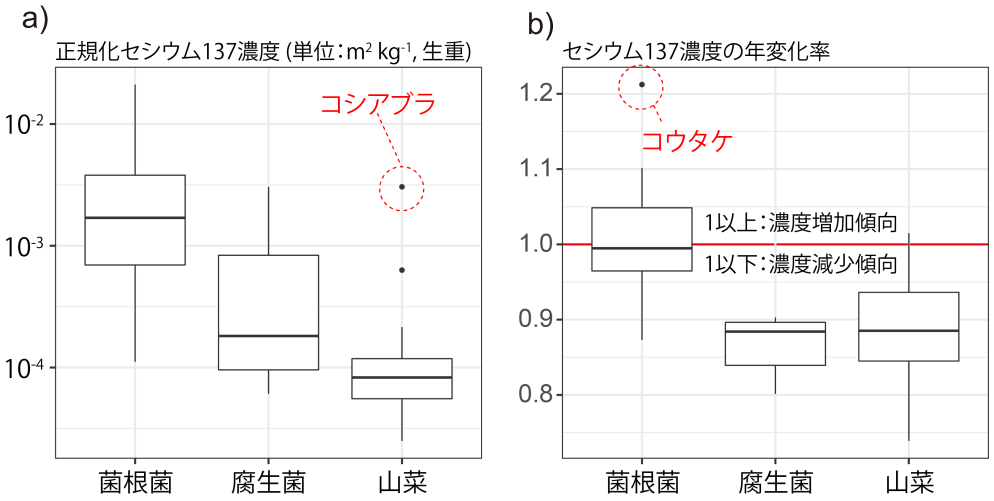


Fig. 5　野生きのこ・山菜の区分ごとに示した種の濃度特性値（a）と ^{137}Cs 濃度の年変化率（b）．森林総研研究成果（https://www.ffpri.affrc.go.jp/research/saizensen/2022/20220325-01.html）より作成．

いて食品の安全性確認のために行われている食品の放射能検査データに着目し，東日本 14 県 265 市町村から産出された野生きのこ 107 種 3189 検体の測定データを解析した．その際，野生きのこの放射性セシウムの吸収しやすさをセシウム吸収度（$m^2\ kg^{-1}$）で評価した．これは，野生きのこの放射性セシウム濃度（$Bq\ kg^{-1}$ 生重）を航空機モニタリングで観測した樹木など地上物を含めた単位面積あたりの総放射性セシウム沈着量（$Bq\ m^{-2}$）で割った値である。解析の結果，セシウム吸収度の高いグループには菌根菌とよばれる樹木の根と共生する種類のきのこが多く属し，低いグループには主に腐生菌とよばれる落ち葉や枯れ木などを分解して養分を得る種類のきのこが属していた．セシウム吸収度の最も小さいハタケシメジ（腐生菌）と最も大きいショウゲンジ（菌根菌）では 100 倍以上も異なっていた．こうした違いは，菌糸の分布する場所が木材か落葉か，土壌の浅い場所か深い場所かの違いが影響していると考えられる．野生のきのこは，「きのこ（野生のもの）」として一括りにして出荷制限が行われている．今回の研究成果は野生きのこの出荷制限は種やグループごとに適用できる可能性を示した点に大きな意味がある．

さらに Komatsu et al.（2021）では，福島県川内村の住民が採取した野生きのこや山菜の放射性セシウム濃度の検査結果にも着目し，川内村から提供された膨大な数の検査結果をもとに，種，採取日，採取地がそれらの ^{137}Cs 濃度に及ぼす影響を解析した（Fig. 5）．Fig. 5a の「正規化セシウム 137 濃度」も，きのこや山菜の ^{137}Cs 濃度（$Bq\ kg^{-1}$）を，採取した地点における面積あたりの ^{137}Cs 沈着量（$Bq\ m^{-2}$）で割った値であり，種ごとの ^{137}Cs の吸収しやすさを表す．山菜は野生きのこよりも正規化セシウム 137 濃度が低い傾向であった．ただし，コシアブラは山菜のなかでも特別に高い値を示した．また，種の濃度特性は採取地によらず共通であること，また山菜の濃度傾向も野生きのこと同様に種によって 100 倍程度ばらつくことがわかった．さらに時間経過による ^{137}Cs 濃度変化傾向を解析した（Fig. 5b）．同図で，年変化率が 1 以上の場合は濃度が増加する傾向，1 以下の場合は濃度が減少する傾向があることを示す．菌根菌には増加傾向のものと減少傾向のものの両方が含まれており，特にコウタケの濃度は顕著な増加傾向であった．腐生菌や山菜の放射性セシウム濃度は減少傾向にあることがわかった（Fig. 5）．村内の「小字」の位置情報を考慮したモデルを用いて解析した結果は，位置情報を考慮しない場合より濃度の誤差が 40 % 減少した．このことから，詳細な位置情報を含めることにより，濃度の推定精度が向上することがわかった．これらの結果は，今後の野生きのこや山菜の出荷制限の見直しの端緒になる可能性がある．加えて，これらの食品を自家利用する際の参考になると考えられる．

5. 放射性セシウムの森林流域外への流出

森林から渓流水を通じて流出する放射性セシウムについて，Shinomiya et al.（2014）, Iwagami et al.（2017）などにより極めて少ないことが水文観測に基づいて明らかにされている．一方，渓流水を通じて流出する放射性セシウムを実測するのではなく，森林に残留している ^{137}Cs に着目した，下記研究（Ito et al., 2020）によっても森林に沈着した放射性セシウムは森林外へは流出せず，森林内にとどまっていることが明らかとなった．この研究は，福島原発事故発生の直前に採取された全国の森林土壌（316 地点）について，1960 年前後に大気圏内核実験で放出された ^{137}Cs が現在（約 50 年後）の森林土壌にどの程度蓄積しているか調査し，解析したものである．その結果，日本の森林域の ^{137}Cs 蓄積量の算術平均と標準偏差は 2.27 ± 1.73 $kBq\ m^{-2}$（2008 年 10 月 1 日時点，土壌 0 ～ 30 cm）であった（Fig. 6）．降下から約 50 年が経過しているため，^{137}Cs 蓄積量は放射性壊変によりピー

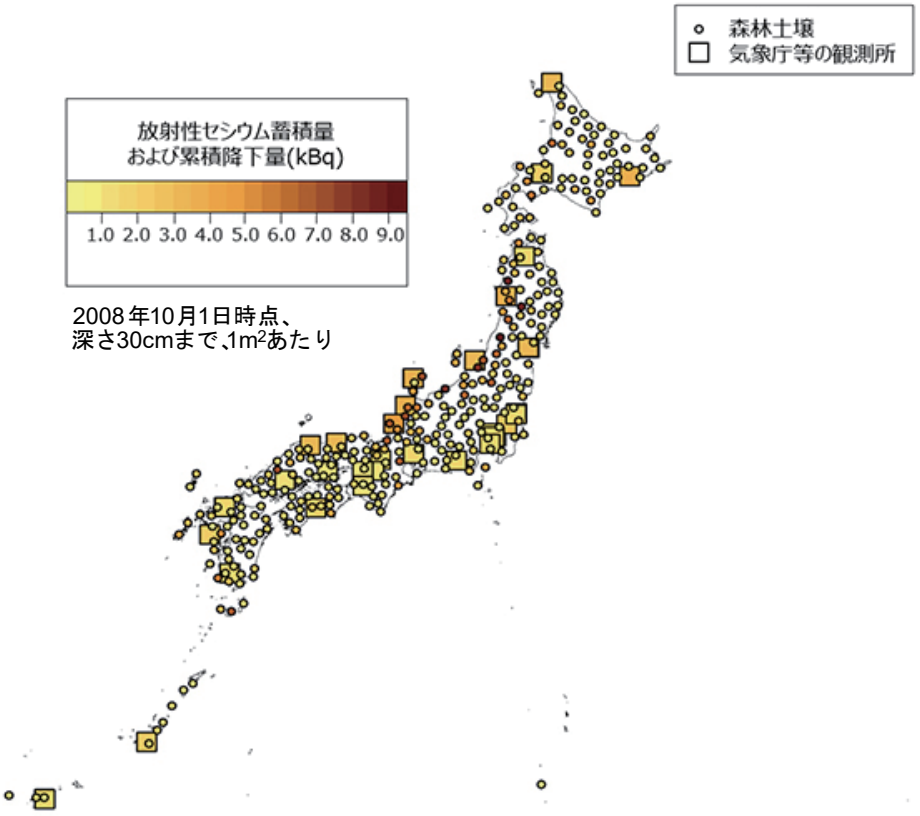


Fig. 6 日本の森林域の大気圏内核実験に由来する放射性セシウム（^{137}Cs）蓄積量の分布．森林総研プレスリリース（https://www.ffpri.affrc.go.jp/press/2021/20210112/index.html）より作成.

ク時蓄積量の半分以下になっていた．また，日本海側で年間総降水量と比較して相対的に高い ^{137}Cs 蓄積量が観測された．気象庁等の降下物観測所の放射性壊変を補正した累積 ^{137}Cs のデータセットを入手したところ，その累積量は 2008 年 10 月 1 日現在，平均 2.47 ± 0.95 kBq m^{-2}（n = 39）で，今回算出した森林域で ^{137}Cs 蓄積量と同程度であり，日本海側で多いという同様の空間変動を示した．これらのことから，森林流域外への顕著な流出はなかったと考えられる．また，3 つの土壌層における ^{137}Cs の鉛直分布パターンから，地表に到達した ^{137}Cs は再分布している可能性が高いことが示唆された．表土とともに移動した ^{137}Cs は移動した先の土壌に取り込まれて，森林内に留まっていたと考えられる．以上のことより，森林に降下した大気圏内核実験に由来する ^{137}Cs は森林内を移動しつつも，放射性壊変により減少した残りの大半は降下から半世紀後も森林内に留まっていると考えることができた．

渓流水を通じた放射性セシウムの流出と森林施業との関係についても報告された．福島原発の南西約 120 km，流域面積 59.9 ha の森林流域で，渓流水を通じた懸濁物質（SS）と SS に含まれる ^{137}Cs の流出量を間伐前後の約 8 年間継続して観測した（Shinomiya et al., 2020）．試験流域の斜面中 ～ 下部はスギ人工林で，斜面上部は落葉樹林で覆われていた．2012 年から 2013 年にかけて，間伐率 35 % の列状間伐が実施された（2012 年は流域北東部の面積 17 % で実施）．恒常的な水流のない谷沿いに新規に作業道が開設され，路網密度は 25 m ha^{-1} から 108 m ha^{-1} へと上昇した．伐採木はウインチで引き出され，林業機械で掴みどりされ，林業用作業車両に載せられて搬出された．試験流域の最下端に流量堰と水位計を設置し，平水時には月 2 回，出水時には自動採水器を用いて 1 時間ごとに 1 L の渓流水を採取した．渓流水は 0.5 μm のガラス繊維フィルターでろ過され，SS 濃度を測定した．出水時の SS 濃度のデータは，間伐前の 21 出水と間伐後の 37 出水について収集された．また，時間積分型 SS サンプラーを堰近くの渓流内に設置し，2 ～ 3 ヶ月ごとに SS を採取し，SS の ^{137}Cs 濃度を測定した．間伐前（2010 年 7 月から 2012 年 8 月）と間伐後（2013 年 10 月から 2018 年 12 月）の出水時の最大 SS 濃度，1 回の出水での SS 流出量を比較したところ，いずれも間伐実施後の方が間伐実施前より大きかった．間伐直後，SS 流出は増加する．しかし，SS 流出が増加しても SS に含まれる ^{137}Cs 流出は制限されていることが明らかになった（Fig. 7）．この要因として，間伐に伴う SS 起源の変化，落葉層の ^{137}Cs 濃度の経時変化から予想される SS 中の有機物の ^{137}Cs 濃度の減少，侵食保護効果が予想される作業道表面の植生の回復が考えられる．以上より，間伐が森林流域からの ^{137}Cs 流出を劇的に増加させることはないと考えられた．国立環境研究所で実施された観測（Nishikiori et al., 2019）において，部分皆伐に伴う SS 流出と SS に含まれる ^{137}Cs 流出が検討され，同様の傾向が得られている．

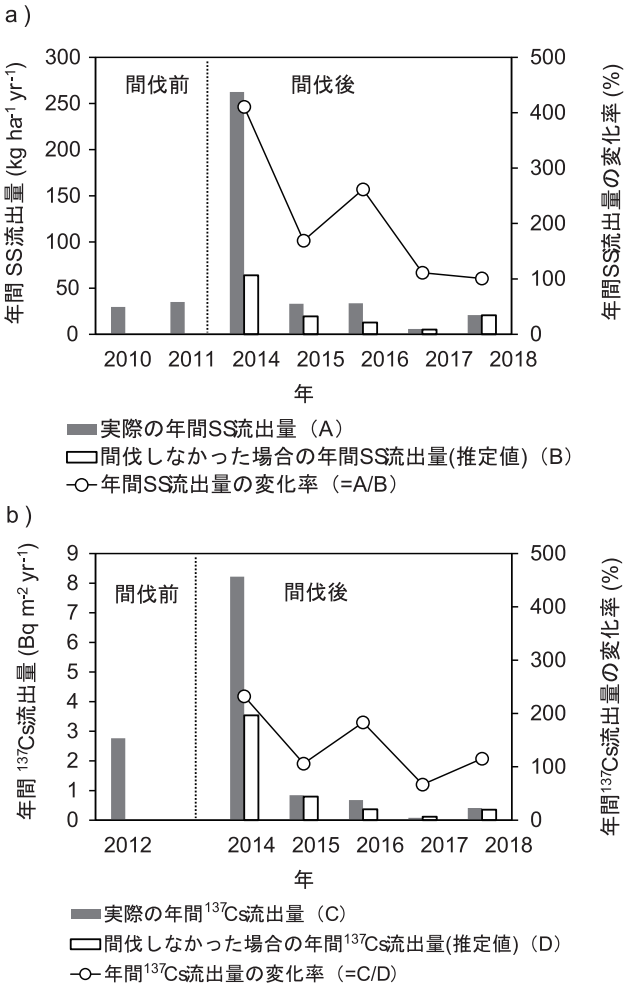


Fig. 7 列状間伐前後の SS 流出量の経年変化（a）と SS に含まれる ^{137}Cs 流出量の経年変化（b）．Shinomiya et al. (2020) を改変.

6. 森林関連の放射性セシウムのデータベース

将来，世界の別の地域での原子力災害が起きた場合に役立てられるよう福島原発事故で得られた科学的知見とデータを整理しておくことは重要である．森林総研の複数の研究者は，国内の他研究機関や大学の研究者とともに，国際原子力機関（IAEA）のプロジェクト（MODARIA II: Modelling and Data for Radiological Impact Assessments II）に加わり，福島原発事故から 9 年間の間に発表された学術論文，各種機関による報告書，ウェブ上で公開されたモニタリングデータなどを海外の専門家とも協力して収集し，福島原発事故の影響下にある森林生態系の放射性物質動態の実態把握とその時間経過について取りまとめ，データベースを作成した（Hashimoto et al., 2020）．また，その全容を IAEA 技術報告書として報告した（IAEA, 2020）．作成されたデータベースには，樹木，土壌，きのこの放射性セシウム濃度がそれぞれ 8593 件，4105 件，3189 件，樹木，土壌における放射性セシウム蓄積量がそれぞれ 471 件，3521 件収録されている．そのうち，森林の放射性セシウム動態に関するデータを精査し，樹木から土壌への移動，樹木内部への取り込み，土壌内の分布，きのこや山菜，野生動物への取り込み率（移行係数），環境半減期などについて，報告書に取りまとめている．これらの値は，福島の森林での放射性セシウムの動態を網羅的に集約し，一般性のあるデータとして表現した唯一のデータセットである．また，IAEA のプロジェクトという国際的枠組として全世界に広く発信されており，世界中の研究者や行政担当者に活用されると期待される．

こうしたデータベースを利用して，木材中の ^{137}Cs 濃度の長期予測に関する研究も行われた（Hashimoto et al., 2021）．日 · 仏 · 英の 8 つの機関の研究者が複数の予測モデルを使って，森林内の ^{137}Cs 濃度の分布についてシミュレーションを行い，その予測結果を比較，検討した．その結果，事故後 10 年までは予測モデル間での差が小さいが，事故から 50 年後の木材の ^{137}Cs 濃度は予測モデルによって大きく異なることがわかった．長期的な放射性セシウムの動態を正確に捉えるためには，長期的な観測データが重要であることが示唆される．

7. おわりに

2017 年以降の研究成果から，福島原発事故により影響を受けた森林は平衡状態に入りつつあるという実態が示されてきた．今後，森林に沈着した ^{137}Cs の大部分は森林土壌の表層に留まったまま，ごく一部は土壌と樹木の間を循環しながら，半減期約 30 年の放射性壊変により減少していくと予測されている．このうち，土壌と樹木の間を循環する ^{137}Cs の実態を明らかにすることが今後の課題であり，林産物の将来濃度をより正確に推定するために大変重要である．

行政担当者や一般市民の森林の放射性セシウムへの関心に応えるため，動画や刊行図書を通じて最新の研究成果の普及に努めている．以下のウェブサイトで解説動画が公開されている．

森林立地学会 · 東京大学農学部アイソトープ農学教育研究施設 · 森林総研共催シンポジウム『森林で放射性セシウムはどう動いているのか？ — 研究者がわかりやすく解説します —』
https://shinrin-ritchi.jp/symposium/

2021 年度森林総研公開講演会「伝えたい！ 森の中の放射性セシウム — 10 年で明らかになったこと —」
https://www.youtube.com/c/FFPRIchannel

福島の森林の放射性セシウム問題の全体像を分かりやすく知りたい方には，橋本ら（2021）の書籍を推薦する．以上，森林における放射性セシウムの動態を知りたいと思ったときに活用いただければ幸いに思う．

謝辞

本稿に紹介した調査研究の一部は，林野庁「森林内における放射性物質の実態把握調査事業」により実施した．現地調査では，林野庁，福島県，関係市町村，ふくしま中央森林組合など関係各機関に多大なご協力をいただいた．国立研究開発法人森林研究・整備機構 森林総合研究所 震災復興・放射性物質研究拠点 前拠点長の三浦 覚氏には本稿にご助言をいただいた．ここに記して感謝申し上げます．

引用文献

Hashimoto, S., Imamura, N., Kawanishi, A., Komatsu, M., Ohashi, S., Nishina, K., Kaneko, S., Shaw, G. and Thiry, T. (2020): A dataset of ^{137}Cs activity concentration and inventory in forests contaminated by the Fukushima accident. Sci. Data., 7: 431, doi:10.1038/s41597-020-00770-1.

Hashimoto, S., Tanaka. T., Komatsu, M., Gonze, M., Sakashita, W., Kurikami, H., Nishina, K., Ota, M., Ohashi, S., Calmon, P., Coppin, F., Imamura, N., Hayashi, S., Hirai, K., Hurtevent, P., Koarashi, J., Manaka, T., Miura, S., Shinomiya, Y., Shaw, G. and Thiry, T. (2021): Dynamics of radiocaesium within forests in Fukushima — results and analysis of a model inter-comparison. J. Environ. Radioact., 238–239: 106721, doi:10.1016/j.jenvrad.2021.106721.

橋本昌司・小松雅史・三浦 覚 (2021): 森林の放射線生態学 — 福島の森を考える, p.219. 丸善出版, 東京.

IAEA (2020): Environmental transfer of radionuclides in Japan following the accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant. Report of working group 4 Transfer processes and data for radiological impact assessment subgroup 2 on Fukushima data. IAEA-TECDOC-1927, IAEA, Vienna, Austria.

Imamura, N., Komatsu, M., Ohashi, S., Hashimoto, S., Kajimoto, T., Kaneko, S. and Takano, T. (2017): Temporal changes in the radiocesium distribution in forests over the five years after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident. Sci. Rep., 7: 8179, doi:10.1038/s41598-017-08261-x.

Imamura, N., Komatsu, M., Hashimoto, S., Fujii, K., Kato, H., Thiry, Y. and Shaw, G. (2020): Vertical distributions of radiocesium in Japanese forest soils following the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident: A meta-analysis. J. Environ. Radioact., 225: 106422, doi:10.1016/j.jenvrad.2020.106422.

Ito, E., Miura, S., Aoyama, M. and Shichi, K. (2020): Global ^{137}Cs fallout inventories of forest soil across Japan and their consequences half a century later. J. Environ. Radioact., 225: 106421, doi:10.1016/j.jenvrad.2020.106421.

Iwagami, S., Onda, Y., Tsujimura, M. and Abe, Y. (2017): Contribution of radioactive ^{137}Cs discharge by suspended sediment, coarse organic matter, and dissolved fraction from a headwatercatchment in Fukushima after the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident. J. Environ. Radioact., 166: 466–474, doi:10.1016/j.jenvrad.2016.07.025.

Kanasashi, T., Miura, S., Hirai, K., Nagakura, J. and Itô, H. (2020): Relationship between the activity concentration of ^{137}Cs in the growing shoots of *Quercus serrata* and soil ^{137}Cs, exchangeable cations, and pH in Fukushima, Japan. J. Environ. Radioact., 220–221: 106276, doi:10.1016/j.jenvrad.2020.106276.

小林政広 (2014): 森林における放射性 Cs の動態. 土壌の物理性, 126: 31–36, doi:10.34467/jssoilphysics.126.0_31

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. doi:10.34467/jssoilphysics.135.0_41.

Komatsu, M., Kaneko, S., Ohashi, S., Kuroda, K., Sano, T., Ikeda, S., Saito, S., Kiyono, Y., Tonosaki, M., Miura, S., Akama, A. Kajimoto, T. and Takahashi, M. (2016): Characteristics of initial deposition and behavior of radiocesium in forest ecosystems of different locations and species affected by the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident. J. Environ. Radioact., 161: 2–10, doi:10.1016/j.jenvrad.2015.09.016.

Komatsu, M., Nishina, K. and Hashimoto, S. (2019): Extensive analysis of radiocesium concentrations in wild mushrooms in eastern Japan affected by the Fukushima nuclear accident: Use of open accessible monitoring data. Environ. Pollut., 255: 113236, doi:10.1016/j.envpol.2019.113236.

Komatsu, M., Hashimoto, S. and Matsuura, T. (2021): Effects of species and geo-information on the ^{137}Cs concentrations in edible wild mushrooms and plants collected by residents after the Fukushima nuclear accident. Sci. Rep., 11: 22470, doi:10.1038/s41598-021-01816-z.

Manaka, T., Komatsu, M., Sakashita, W., Imamura, N., Hashimoto, S., Hirai, K., Miura, S., Kaneko, S., Sakata, T. and Shinomiya, Y. (2022): Ten-year trends in vertical distribution of radiocesium in Fukushima forest soils, Japan. J. Environ. Radioact., 251-252: 106967, doi:10.1016/j.jenvrad.2022.106967.

Nishikiori, T., Hayashi, S., Watanabe M. and Yasutaka, T. (2019): Impact of clearcutting on radiocesium export from a Japanese forested catchment following the Fukushima nuclear accident. PLOSone, 14 (2): e0212348, doi:10.1371/journal.pone.0212348.

Ohashi, S., Kuroda, K., Takano, T., Suzuki, Y., Fujiwara, T., Abe, H., Kagawa, A., Sugiyama, M., Kubojima, Y., Zhang, C. and Yamamoto, K. (2017): Temporal trends in ^{137}Cs concentrations in the bark, sapwood, heartwood, and whole wood of four tree species in Japanese forests from 2011 to 2016. J. Environ. Radioact., 178–179: 335–342, doi:10.1016/j.jenvrad.2017.09.008.

Ohashi, S., Kuroda, K., Abe, H., Kagawa, A., Komatsu, M., Sugiyama, M., Suzuki, Y., Fujiwara, T. and Takano, T. (2022): Decadal trends in ^{137}Cs concentrations in the bark and wood of trees contaminated by the Fukushima nuclear accident. Sci. Rep., 12: 11243, doi:10.1038/s41598-022-14576-1.

Sakashita, W., Miura, S., Nagakura, J., Kanasashi, T. and Shinomiya, Y. (2021): Seasonal stability of ^{137}Cs in coppiced *Quercus serrata* current-year branches: Toward the estimation of trunk ^{137}Cs activity concentrations without felling. Ecological Indicators, 133: 108361, doi:10.1016/j.ecolind.2021.108361

Shinomiya, Y., Tamai, K., Kobayashi, M., Ohnuki, Y., Shimizu, T., Iida, S., Nobuhiro, T., Sawano, S., Tsuboyama, Y. and Hiruta, T. (2014):Radioactive cesium discharge in stream water from a small watershed in forested headwaters during a typhoon flood event. Soil Sci. Plant Nutr., 60: 765–771, doi:10.1080/00380768.2014.949852.

Shinomiya, Y., Kobayashi, M., Tsurita, T., Tsuboyama, Y., Sawano, S., Itoh, Y., Ohnuki, Y. and Shichi, K. (2020): Discharge of suspended solids and radiocesium into stream water in a forested watershed before and after line thinning with spur road construction. J. Environ. Radioact., 225: 106418, doi:10.1016/j.jenvrad.2020.106418.

要　　旨

東京電力福島第一原発事故から 10 年以上が経過したが，森林の放射性セシウムの影響は未だに続いている．森林総研による最近の研究成果から，森林に沈着した ^{137}Cs の多くは鉱質土壌の表層部に存在し，この数年間落葉層や鉱質土壌表層の ^{137}Cs 蓄積量にほとんど変化がないこと，幹材の ^{137}Cs 濃度の増加傾向が認められなくなったことが多くの森林で示された。これらのことから，森林の ^{137}Cs は大部分が鉱質土壌表層にあり，ごく一部の ^{137}Cs が森林内を循環（樹木根系により吸収，落葉落枝とともに地表に還元）する状況になってきていることが明らかにされた．生産が停止した，きのこ原木林の利用再開のため，コナラ当年枝と交換性カリウム量との関係が解明された他，^{137}Cs の指標となるコナラ当年枝の採取期間について改良が進められた．野生きのこや山菜については，種間差などが判明し，それらの出荷制限の見直しにつながる可能性がある．

キーワード：森林，放射性セシウム，平衡状態，きのこ原木，山菜