

放射能汚染地域における シイタケ原木林の利用再開・再生



国立研究開発法人 森林研究・整備機構

森林総合研究所

Forestry and Forest Products Research Institute

はじめに



2011年3月、東日本大震災後の東京電力福島第一原子力発電所事故によって放射性物質が大気中に飛散し、東日本の森林は広く汚染されてしまいました。森林の汚染は、樹木、土壌、林床植物、菌類（きのこ）および動物へと食物連鎖などの生態系プロセスを通じて進行しています。放射性物質の一つである放射性セシウム137の半減期（放出する放射線量が半分になるに要する時間）は、約30年とされており、放射能汚染の影響は一時的なものではなく、長期にわたると考えるべきです。森林の放射能汚染は、山村地域における人々の暮らしにも大きな影響を及ぼしています。木材だけでなく、山菜、野生きのこ、溪流の魚類など、貴重な地域の森林資源には様々な規制がかかっています。その規制解除に向けた科学的データに基づく放射能汚染の低減対策や将来の汚染の変動予測は、地域住民の生活の将来を考える上で欠かせません。

福島県を中心にした地域は、シイタケの原木栽培が行われているとともに、日本有数のシイタケ栽培用原木の生産地でした。しかし、この地域の原木の汚染は指標値を超えたため、この地域から原木が供給できなくなりました。その結果、原木価格の高騰をもたらし、その影響は東日本以外の地域にも及んでいます。原木供給を再開させるために、原木汚染を低減させる様々な対策が求められています。

以上のことを踏まえて、森林研究・整備機構は、3公設林業試験研究機関、1高等専門学校と1大学との共同で、平成28年度から3カ年にわたり、農林水産省予算によるイノベーション創出強化研究推進事業課題「放射能汚染地域におけるシイタケ原木林の利用再生技術の開発」を実施し、利用可能な原木およびホダ木の選定技術、並びに原木林の再生技術の開発に取り組んできました。本冊子は、その研究プロジェクトで得られた成果を取りまとめたものです。原木の選定については、伐採現場やホダ場などで使用可能な可搬型測定機器の開発を行い、原木林再生については、材中の放射性セシウム濃度が低い原木の生産を再開するための道筋を明らかにしています。本研究成果が、放射能汚染によって甚大な被害を被った山村地域の原木シイタケ関連産業の再生、維持に向けた取り組みに活用されることを期待します。

研究ディレクター 生物機能研究担当 山中 高史

放射能汚染地域におけるシイタケ原木林の利用再開・再生

目次

I	本事業の目的と成果について	02
	森林総合研究所 平出政和、三浦覚、小松雅史	
II-1	原木林の伐採前判定方法	04
	栃木県林業センター 石川洋一、今井芳典、杉本恵里子、齊藤佳緒里	
II-2	汚染されたホダ木の判定方法	06
	仙台高等専門学校 加賀谷美佳	
	茨城県林業技術センター 山口晶子、小林久泰、金田一美有	
III-1	当年枝を使った原木使用部位の放射性セシウム濃度の推定	08
	森林総合研究所 齊藤哲、三浦覚	
III-2	放射性セシウムが降ってきた林地での原木生産	10
	東京大学 益守眞也、小林奈通子、二瓶直登、田野井慶太郎	
	森林総合研究所 三浦覚、金指努、伊東宏樹、長倉淳子、平井敬三	
III-3	原木林へのカリ肥料の散布	12
	茨城県林業技術センター 福田研介	
	千葉県農林総合研究センター 荒木功介	
III-4	中長期的な原木林の生産再開に向けて	14
	森林総合研究所 三浦覚、平出政和、小松雅史、金指努	
	用語集※	16
	関連リンク先	17

※：本文各トピックで用語集の用語を初めて使う際には「↑」を付記しています。

本冊子は、農研機構生研支援センター「イノベーション創出強化研究推進事業（旧農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業）」の支援を受けて行った「放射能汚染地域におけるシイタケ原木林の利用再開・再生技術の開発（実施年度：平成28年度～30年度）」の成果です。

I 本事業の目的と成果について

森林総合研究所 平出 政和、三浦 覚、小松 雅史

シイタケ原木生産再開に向けて求められる技術

2011年3月に生じた東京電力福島第一原子力発電所の事故により、放射性セシウム[†]が東日本の広い範囲に飛散しました。放射性セシウムにより汚染された地域において原木栽培シイタケ関連産業を再開するためには、汚染レベルに応じた短期的な課題と中長期的な課題を整理する必要があります（図1）。これに取り組んだ本事業の主要な成果を紹介します。

Ⅱ－1 原木林の伐採前判定方法

現在、原木林の伐採適否は対象林分から3本を検査して判定し、その後地域によっては非破壊検査装置（コラム）などを用いて利用可能か判定しています。しかし、原木林の汚染のばらつきが大きいため伐採適否の判定精度は低く、精度を高めた適否判定ができる検査方法の開発が求められています。本事業では、原木林の伐採適否を立木のまま検査可能な検査装置の開発とそれを用いた抜取検査による原木林の判定方法、即ち「伐採前判定方法」を開発しました。

Ⅱ－2 汚染されたホダ木の判定方法

現在、ホダ木の放射性セシウム濃度はオガコにしてから測定しているため、ホダ場でほだ木のまま判定可能な検査装置の開発が求められています。また、手間のかかる全数検査ではなく、抜取検査によりロット[†]単位で汚染ホダ木を判定する検査方法の開発も必要と考えられます。本事業では、ホダ場において、ホダ木の利用適否を非破壊的に検査する装置とそれを用いた汚染ホダ木のロット単位の判定方法を開発しました。

Ⅲ－1 当年枝を使った原木使用部位の放射性セシウム濃度の推定

中長期的な原木生産の再開に向けて、将来の伐期に原木として利用される幹の放射性セシウム濃度を推定することが基本となります。そのため、枝及び幹等樹木各部の太さと放射性セシウム濃度の関係を調べ、成長に伴う放射性セシウム濃度の減少を考慮した幹の放射性セシウム濃度を推定する手法の開発に取り組みました。

Ⅲ－2 放射性セシウムが降ってきた林地での原木生産

原発事故により降下した放射性セシウムによって汚染された森林で、樹木の放射性セシウムを低減させる手法開発への期待も根強くあります。そのために、新規植栽の有効性について検討しました。また、樹木による土壌からの放射性セシウムの吸収を抑える手法として、農作物で明らかにされているカリウムの放射性セシウム吸収抑制効果をコナラについても検討しました。

Ⅲ－3 原木林へのカリ肥料の散布

カリ肥料の散布により樹木へ移行する放射性セシウムは抑制されるか、コナラの原木林を伐採更新して数年経った若い萌芽林と収穫時期のコナラ原木林において調査を行いました。また、カリ肥料散布を事業レベルで実施した場合のコストについても試算しました。

Ⅲ－4 中長期的な原木林の生産再開に向けて

コナラの放射性セシウム吸収には表層土壌の交換性カリウム[†]量が強く影響すること等が明らかになりましたが、放射性セシウムの吸収抑制対策技術を体系化するためには未解決の課題が残っています。中長期的な原木林再生のために、この事業で明らかにされたことを整理し、さらに調査研究が必要な課題について考察しました。

本文各トピックで用語集の用語を初めて使う際には「[†]」を付記しています。

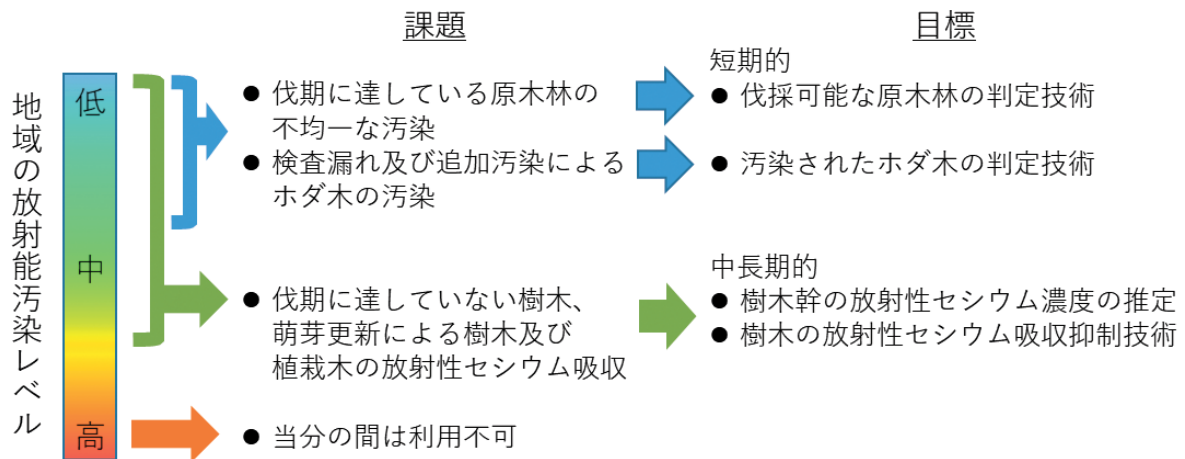


図1 放射能汚染地域の原木・ホダ木を利用するための課題と目標

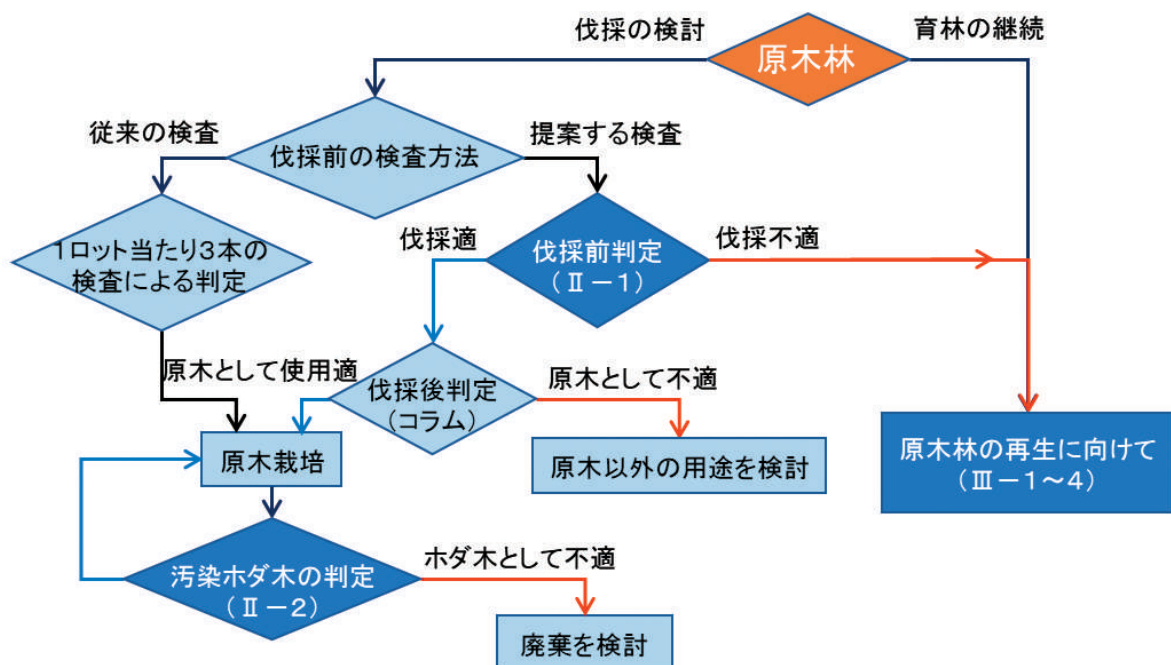


図2 本事業における研究の関係を示した簡略図

括弧内の数字は当該研究の章番号等を示す。

コラム 伐採後判定（原木の判定）



写真1 原木用非破壊検査装置

原木の適否は、原木をオガコにしてから判定していました。しかし、平成27年に栃木県林業センターと古河機械金属（株）が共同して原木のまま判定可能な検査装置（写真1）を開発しました。この検査装置による抜取検査により、原木ロットの適否を判定しています。これまで「適」と判定した原木からは全て基準値以下のシイタケが生産されています。

Ⅱ-1 原木林の伐採前判定方法

栃木県林業センター 石川 洋一、今井 芳典、杉本 恵里子、齊藤 佳緒里

放射性物質による森林の汚染は不均一であるため、伐採を検討している原木林の適否を原木林毎に判定する簡易な方法が必要とされています。そのため、原木の指標値50Bq/kgを下回る35Bq/kgを樹木のスクリーニングレベルとして、遮蔽材無しに判定可能な可搬型検査装置を開発すると共に、伐採予定原木林の樹木を伐採せずに抜取検査によって判定する伐採前判定方法を開発しました。伐採予定の原木林に伐採前判定方法を適用したところ、2つの原木林を伐採不適と判定できました。

成果

遮蔽材を必要としない可搬型検査装置

放射性セシウム[†]により汚染された原木林内にて樹木の放射性セシウム濃度を測定するためには、検査する樹木以外からの放射線を遮蔽する必要があります。開発した可搬型検査装置は検査する樹木自身を遮蔽材として利用し、樹木に開けた穴へ検査装置の検出器を挿入して樹木の放射性セシウム濃度を測定しています（図1）。開発した検査装置の検査結果とGe検出器[†]の測定値は、ばらつきはあるものの一定の相関が認められました（図2）。

適用範囲

樹木による遮蔽効果は空間線量率及び材径により変化します。そのため、斜面の方位、樹齢、周辺の土地利用状況及び植生等の変動が少なく、空間線量率が大きく変化しない原木林の範囲を判定対象としました。また、測定対象となる樹木の最小材径で検査装置の下限値がスクリーニングレベル[†]を下回ることを適用範囲の条件にしました。

樹木の放射性セシウム濃度の測定位置とスクリーニングレベル

本事業では作業性を考慮して測定位置は胸高（地上高1.2m）と想定しましたが、調査した樹木10本では上部の放射性セシウム濃度は下部と同程度が高くなりました。原木林30箇所の調査結果から、1原木林において胸高の放射性セシウム濃度が35Bq/kgを超過する樹木（不適樹木率）が10%程度以下であればこの原木林は伐採適となりました。そこで、スクリーニングレベルを35Bq/kg、伐採不適樹木率を10%としました（図3）。

伐採前判定方法

品質管理[†]の手法に準じて、当事業では1ロット[†]の原木林における樹木を1,000本、不適樹木率10%及び見逃危険率5%として、伐採前判定方法に必要な樹木数を29本と算出しました（図4）。順次29本を測定し、全ての樹木がスクリーニングレベル以下であれば想定した不適樹木率未満で伐採「適」と判定することにしました。

原木林の判定

伐採予定の2つの原木林、平均放射性セシウム濃度51 Bq/kg（不適樹木率45%）及び42Bq/kg（20%）の原木林に伐採前判定を適用したところ、伐採不適と判定できました。

1ロットの判定作業は、現地踏査及び検査装置の適用判定に3.0時間、29本の樹木測定は約14.5時間となり、現場で約17.5時間（2.5日）かかりました。「平成30年度公共工事実施設計労務資材単価表（普通作業員）」を適用して算出すると、人件費は44,800円、原木1本当たりの検査コストは最小約4.5円となります。検査装置は現在市販されていませんが、購入価格は約百万円程度となる見込みです。



図1 可搬型検査装置による検査概要

検査装置本体は支持治具上に設置する。測定部位は地上高1.2mとした。樹木自身の遮蔽効果を利用するため、直径25mmの穿孔に検出器を挿入して検査する。

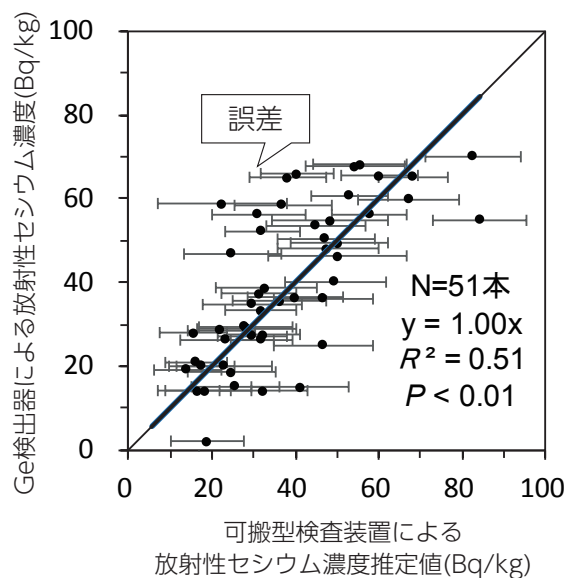


図2 可搬型検査装置による樹木放射能の推定

可搬型検査装置による放射性セシウム濃度推定値（空間線量率 $0.06\mu\text{Sv/h}$ 、20分間測定）とGe検出器による放射性セシウム濃度の関係を示した。なお、各値は含水率12%に補正済み。統計的に有意な相関が得られている。

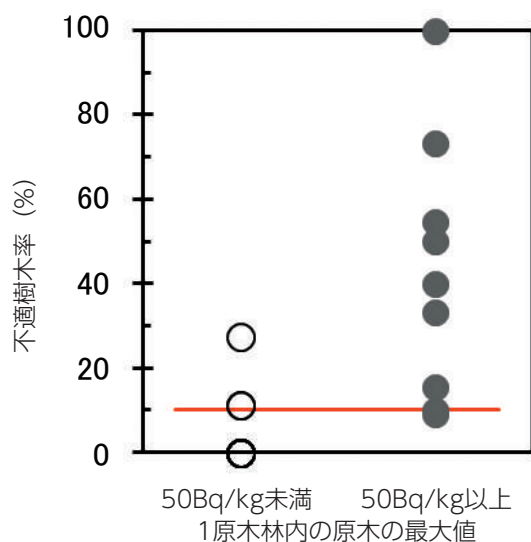


図3 不適樹木率と原木放射性セシウム濃度の最大値

原木林30箇所の調査結果から、1原木林内で、胸高位置の放射性セシウム濃度が 35Bq/kg を超過する樹木（不適樹木）の割合が10%程度以下であれば、原木の放射性セシウム濃度の最大値は指標値 50Bq/kg を超過しなかった。このためスクリーニングレベルを 35Bq/kg 、不適樹木率を10%とした。

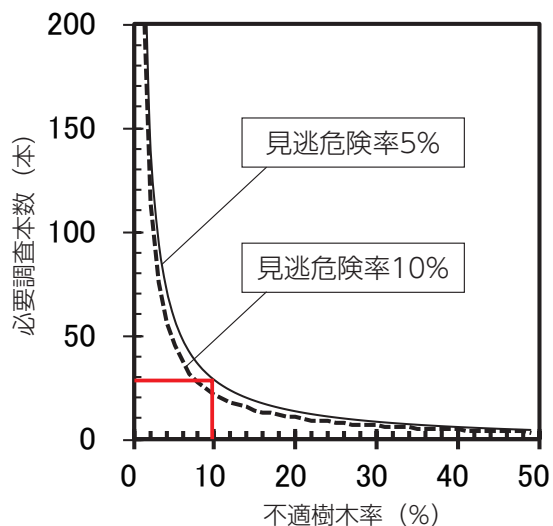


図4 伐採前判定方法に必要な調査本数

品質管理の手法に準じて伐採前判定に必要な調査本数を算出する。図3より不適樹木率10%、また見逃危険率5%とすると必要調査本数は、赤線で示した29本と算出された。

Ⅱ-2 汚染されたホダ木の判定方法

仙台高等専門学校 加賀谷 美佳

茨城県林業技術センター 山口 晶子、小林 久泰、金田一 美有

ホダ木の検査精度向上が望まれ、また栽培中の追加汚染が懸念されていることから、汚染されたホダ木の判定方法が必要とされています。そのため、ホダ木の指標値50Bq/kgを下回る24Bq/kgをホダ木のスクリーニングレベルとして、遮蔽材無しにホダ場等にて判定可能な可搬型検査装置を開発すると共に、ロット単位での汚染ホダ木判定方法を開発しました。3ロットのホダ木に判定方法を適用したところ、全てのロットを利用不適と判定出来ました。

成果

ホダ木用可搬型検査装置

ホダ場等の栽培現場においてホダ木の放射性セシウム[†]濃度を推定可能とするため、バッテリーで駆動する本体重量約5kgの可搬型検査装置を開発しました（図1）。本検査装置は、ホダ木を20分測定して得られるイベント数[†]からGe検出器[†]によるホダ木の放射性セシウム濃度を推定可能とし（図2）、また空間線量率0.1μSv/hにおける測定下限値約20Bq/kgを達成しました。なお、10分でも十分なイベント数が得られたため、ホダ木の検査時間は10分としました。また、測定に際して検査装置の検出器上部には板状の治具を設置し、検出器にホダ木を設置する時間を短縮すると共に測定中にホダ木が動かないようにしました。

ホダ木のスクリーニングレベル

ホダ木ロットの放射性セシウム濃度の変動係数[†]は、平均0.33の正規分布を示していました（図3）。そのため、小さい方から数えて全体の95%に位置する0.57を用いて、ホダ木ロットの95%が含まれるスクリーニングレベル[†]を算出したところ23.7Bq/kgでした（図4）。そのため、当事業ではスクリーニングレベルを24Bq/kgとしました。

判定方法

汚染されたホダ木を抜取検査によりロット[†]単位で判定するため、品質管理[†]の手法に準じて測定本数を決定しました。ホダ木の測定値50Bq/kg以上を不良ホダ木として、ロット単位で不良ホダ木が存在する割合を調査した結果、不良ホダ木の存在割合は最低で25%でした。このため、本事業では、1ロット1,000本、不良ホダ木の割合をより安全に寄って10%、及び見逃危険率5%として、測定本数を29本としました。すなわち、順次29本を検査し、全てのホダ木がスクリーニングレベル以下であれば、対象ロットは栽培「適」と判定することにしました。

判定の実際

3つのロットを測定したところ、Ge検出器による平均放射性セシウム濃度56Bq/kg（不良ホダ木率80%）、45（43）及び40（13）のロットを利用不適と判定できました。

提案した判定方法を実施したところ、1ロットのホダ木測定には延べ約7時間、そして、測定の準備及び後片付け等を含めると現場での1ロットの測定には約8時間かかりました。その際の人件費は、「平成30年度公共工事設計労務単価表(普通作業員)」より約19,000円と算出されました。

特許出願

加賀谷美佳、片桐秀明、「放射能測定システム及び放射能測定方法」、特願2017-046902



図1 可搬型検査装置による検査概要

ホダ木の設置時間及び固定のため、検出部の上に板状の治具を設置して測定する。ホダ木の検査部位は中央部とする。

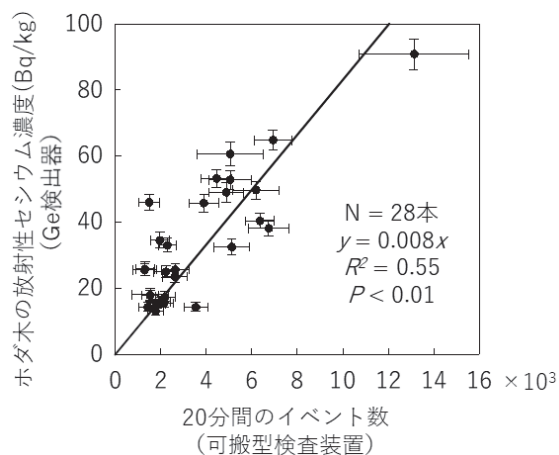


図2 可搬型検査装置による樹木放射能の推定

可搬型検査装置による放射性セシウム濃度推定値（空間線量率 $0.06 \mu\text{Sv/h}$ 、20分間測定）とGe検出器による放射性セシウム濃度の関係を示した。なお、各値は含水率12%に補正済み。統計的に有意な相関が得られている。

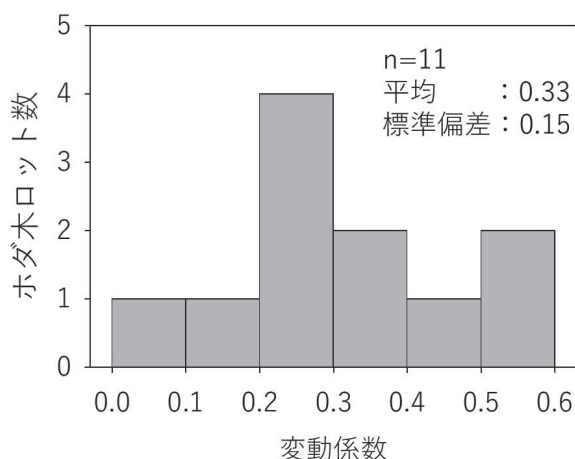


図3 ホダ木ロットの変動係数の分布

ホダ木ロットの放射性セシウム濃度について変動係数（＝標準偏差/平均）を算出したところ、 $0.07 \sim 0.59$ の範囲で正規分布し、その平均値は 0.33 であった。この変動係数の分布において、小さい方から数えて全体の95%に位置する値を算出したところ、 0.57 となった。そのため、ホダ木のスクリーニングレベルを算出するために必要な変動係数を 0.57 とした。

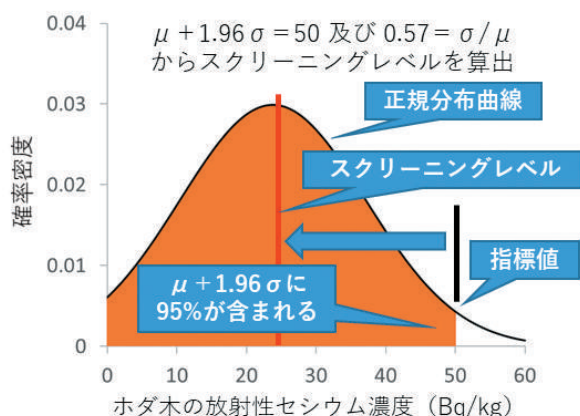


図4 スクリーニングレベルの算出

ホダ木ロットの放射性セシウム濃度分布は正規分布に従っている。そのため、平均（ μ ）に標準偏差（ σ ）の 1.96 倍を加算した範囲に、分布の95%が含まれる（図の橙色）。図3より得られた変動係数 0.57 を用いて 50 Bq/kg の範囲にロットの95%が含まれる μ 、即ちスクリーニングレベル 24 Bq/kg （赤線）を算出した。

Ⅲ-1 当年枝を使った原木使用部位の放射性セシウム濃度の推定

森林総合研究所 齊藤 哲、三浦 寛

原発事故により放出された放射性セシウムは林内に長くとどまり、土壌を通して樹木に吸収されることが分かってきました。原木林の生産再開を判断するには、原木に使う幹の放射性セシウム濃度を知する必要があります。原発事故後に伐採し、再生したコナラ萌芽林では、同じ株の中でも幹が太くなると放射性セシウム濃度は低くなることがわかりました。その関係をもとに、直径10cmの原木が放射性セシウム濃度50Bq/kg以下になる当年枝の放射性セシウム濃度を推定しました。

成果

原木使用部位の放射性セシウム濃度を推定する

原木の指標値は50Bq/kgとされており、生産再開のためには原木の放射性セシウム濃度を知する必要があります。ここでは、事故後に伐採再生した萌芽林での調査結果を基に、当年枝から原木として使用する幹の放射性セシウム濃度を推定した例を紹介します。樹木を伐倒しなくても先端の枝を測定することによって、原木使用部位の放射性セシウム濃度を推定することが出来ます。

原発事故後に萌芽再生したコナラ林から採取した株で、太さの異なる部位ごとに放射性セシウム濃度を測定しました（図1）。その結果、太さと放射性セシウム濃度との間に一定の法則性がみられました。

法則性1：ひとつの株の中でも直径が大きくなるほど放射性セシウム濃度（常用対数値）は直線的に減少する（図2）。

法則性2：図2の直線は当年枝の放射性セシウム濃度が大きくなるほど上にくる、つまりy軸との交点（y切片）の値は大きくなり、以下の式1）に近似する（図3）。

$$y \text{ 切片} = 0.86 \log(R_B) + 0.15 \quad (R^2 = 0.70) \quad \dots\dots\dots \text{式1)}$$

R_B ：当年枝の放射性セシウム濃度（Bq/kg）

法則性3：図2の直線の傾きは当年枝の放射性セシウム濃度と特に明瞭な関係はみられないことから（ $r = 0.12$ 、 $P > 0.05$ ）、全調査木の平均値を傾きとする（図4）。

これらの法則性を統合したところ、当年枝の放射性セシウム濃度と原木として推定したい幹の直径から、推定したい幹の放射性セシウム濃度を推定する以下の式2）が得られました（図2）。

$$R_T = 10^{-0.045DT + 0.86 \log(R_B) + 0.15} \quad \dots\dots\dots \text{式2)}$$

R_T ：推定したい幹の放射性セシウム濃度（Bq/kg）

D_T ：推定したい幹の直径（cm）

この関係から、事故後に伐採して萌芽再生したコナラの当年枝の放射性セシウム濃度が約210Bq/kg（含水率12%）以下であれば、直径10cmの幹は平均的に50Bq/kg以下になると推定されました。当年枝は樹体の中で成長が活発な部位の1つで、コナラによる土壌からの放射性セシウム吸収の強さを指標していると考えられます。この先、当年枝の放射性セシウム濃度をモニタリングすることによって、将来的に原木として使用できるかを検討するための重要な判断材料が得られます。

ただし、近似式から推定した値と実際に測定した値との間には誤差もみられます（図2～4）。今回得られた法則性を、より多くの原木林で調べて確認することによってより確からしいものにしてゆく必要があります。

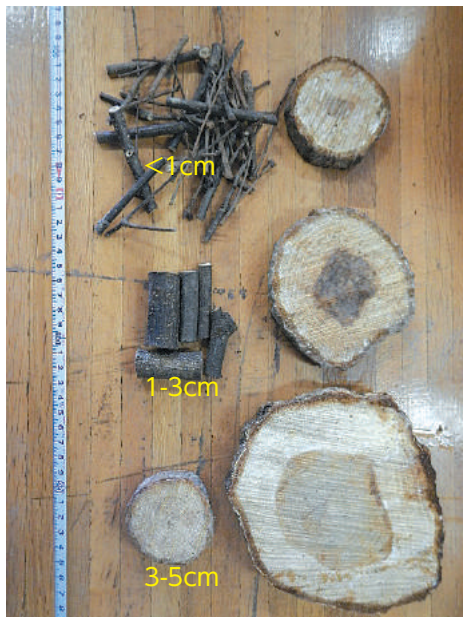


図1 同じ株の中でも太さの異なる部位ごとに放射性セシウム濃度を測定。

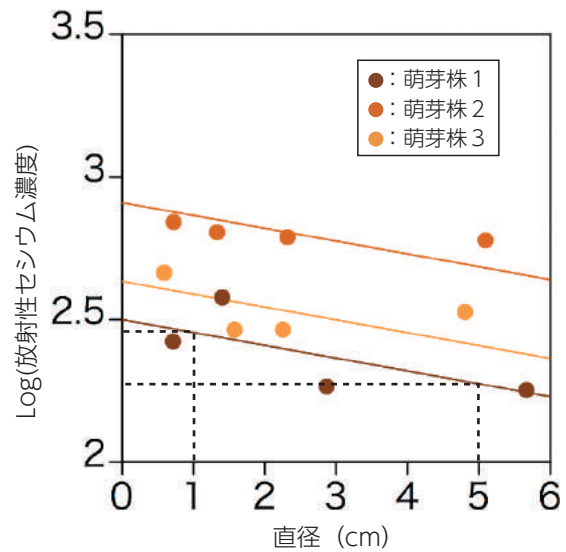


図2 原発事故後に伐採・再生したコナラ萌芽林における幹（3株）の直径と放射性セシウム濃度（含水率12%、対数値）との関係

幹が太くなるほど放射性セシウム濃度（対数値）は直線的に減少する。

例えば、萌芽株1の直径1及び5cmの部位（ $x=1, 5$ ）はそれぞれ、 $y=2.48, 2.30$ 、つまり $10^{2.48}$ （＝約300）、 $10^{2.30}$ （＝約200）Bq/kgとなる。

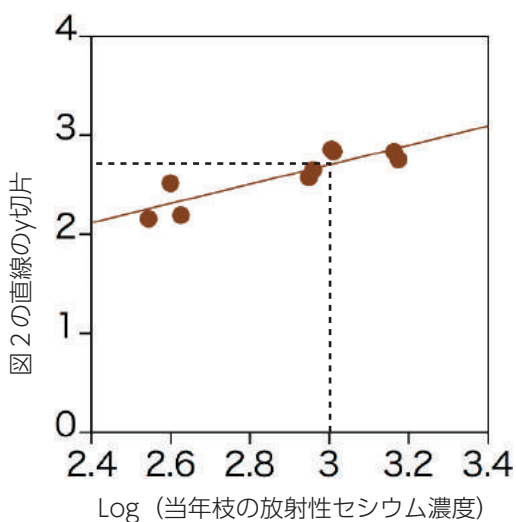


図3 当年枝の放射性セシウム濃度と図2の回帰直線のy切片との関係

当年枝の放射性セシウム濃度が高いほど図2のy切片は大きく、その値は直線的に増加する。

例えば当年枝の放射性セシウム濃度が1000（ $=10^3$ 、図3では $x=3$ ）Bq/kgのとき、 $y=2.72$ つまり $10^{2.72}$ （＝約520）Bq/kgとなる。

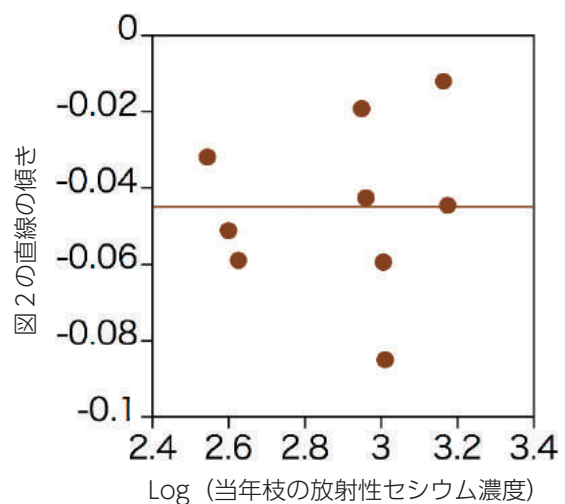


図4 当年枝の放射性セシウム濃度と図2の回帰直線の傾きとの関係

図2の直線の傾きと当年枝の放射性セシウム濃度とは関係がみられず、平均値（-0.045）を傾きの値とする。

Ⅲ-2 放射性セシウムが降ってきた林地での原木生産

東京大学 益守 眞也、小林 奈通子、二瓶 直登、田野井 慶太郎
森林総合研究所 三浦 覚、金指 努、伊東 宏樹、長倉 淳子、平井 敬三

放射性セシウムが降ってきた林地でシイタケ原木を生産するには、土壌中の放射性セシウムの吸収を抑えることが重要です。今回の調査で、土壌中の交換性カリウム量が多い林地では、枝の放射性セシウム濃度は少ないことがわかりました。カリ肥料を地表に散布して土壌中の交換性カリウム量を増やしておく、新たに植えたコナラの放射性セシウム吸収が抑えられることも明らかにしました。

成果

樹皮と土壌に残っている放射性セシウム

事故時に幹や枝の表面に付着した放射性セシウム[†]は樹皮とともに少しずつ剥げ落ちていきますが、数年を経た現在でも樹皮には放射性セシウムが残っています（図1）。これらの樹木を伐倒して萌芽更新すれば、新たな萌芽枝の放射性セシウム濃度は元の樹木より低くなります。新しく苗を植えた場合でも、伐期が萌芽更新よりさらに遅くなりますが、事故時から立っている幹よりは放射性セシウム濃度の低い原木が得られるでしょう。

萌芽枝や新植苗も、成長の過程で土壌にとどまっている放射性セシウムを少なからず根から吸収してしまいます。放射性セシウムが降下し残っている林地でシイタケ原木を生産するには、放射性セシウムの吸収をできるだけ抑えることが重要です。

放射性セシウム吸収を抑える土壌のカリウム

放射性セシウムが蓄積している各地の原木林で、どれくらいの放射性セシウムが当年枝[†]に移動してくるか調べました。その結果、汚染レベルが同じであっても、林によって当年枝の面移行係数[†]に大きな差があることがわかりました。そして、土壌中の交換性カリウム[†]量が多い林では共通して、当年枝の面移行係数は低いことが明らかになりました（図2）。根による放射性セシウム吸収は、根の周りにカリウムが豊富に存在すると抑制されることが、多くの農作物で知られています。今回の結果は、コナラなどの樹木でも同様の効果があることを示しています。

かつて施肥を続けていた畑地跡など交換性カリウムが多く含まれている場所であれば、放射性セシウムをあまり吸収していない原木を生産できる可能性があります。

土壌の交換性カリウムを増やすためのカリ肥料散布

地表にカリ肥料（塩化カリウム）を散布して、1年後の交換性カリウム量を増やせるか調べたところ、根が多く分布する地表近くの交換性カリウム量は、たいていの林で増加することを確認できました（図3）。増加していない林もありましたが、これは土壌の種類によるものと考えています。新たに植えた苗が1年間に吸収した放射性セシウム濃度を比べると、カリ肥料を散布した林のほうが少なくなる傾向も見いだされました（図4）。今からでもカリ肥料を散布して交換性カリウム量を増やすことにより、新たな放射性セシウムの吸収を抑えることができそうです。

ただし、1㎡あたり数十g（＝数百kg/ha）程度のカリ肥料散布では、2年後の交換性カリウム量は元に戻りつつありました（図3）。伐期に達するまで効果を持続させるためには、一回あたりの散布量や散布する頻度を検討する必要があります。

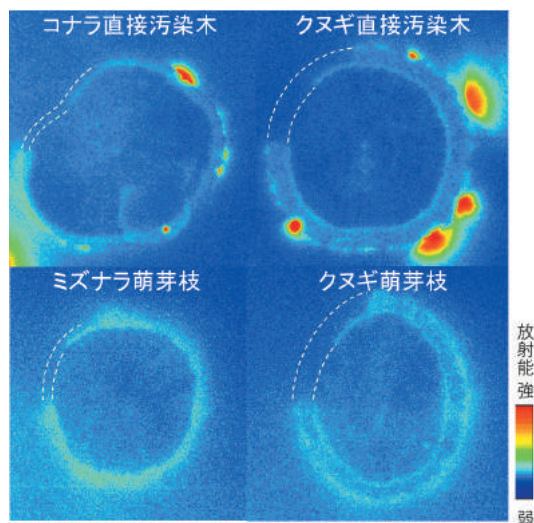


図1 汚染地域に生育する樹幹断面の放射能分布

円周左上（破線部分）は樹皮を一部剥いだである。事故時に放射性物質が直接付着した幹では樹皮表面に部分的に強い放射能が見られる（上2本）。事故後に更新伐した根株から萌芽した枝でも樹皮付近に放射性物質が含まれている（下2本）。

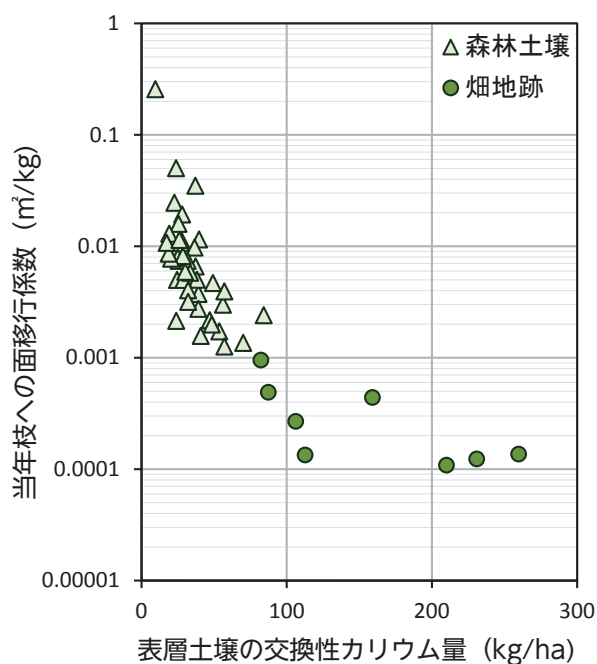


図2 土壌のカリウムと当年枝の放射能

土壌中にカリウムが多く含まれていると、土壌から根を通して当年枝に移行する放射性セシウムの量が少なくなる。

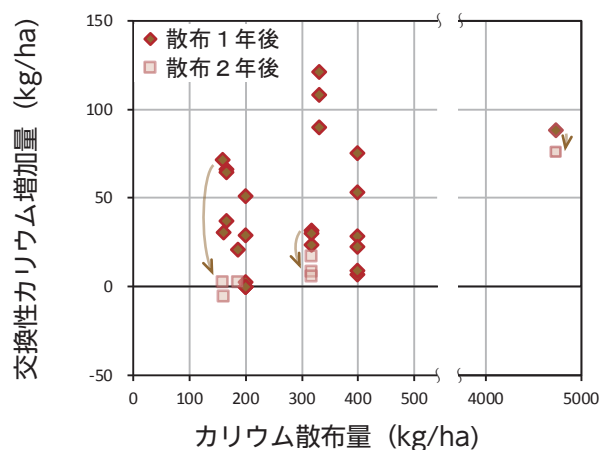


図3 地表へのカリ肥料散布に伴う表層土壌のカリウム濃度の増加

地表にカリ肥料を散布すると、1年後の土壌中のカリウムが散布前より増加する調査地が多い。散布量が少ないと2年後には元の含量に戻っている（2年後までの調査は7林分だけ）。

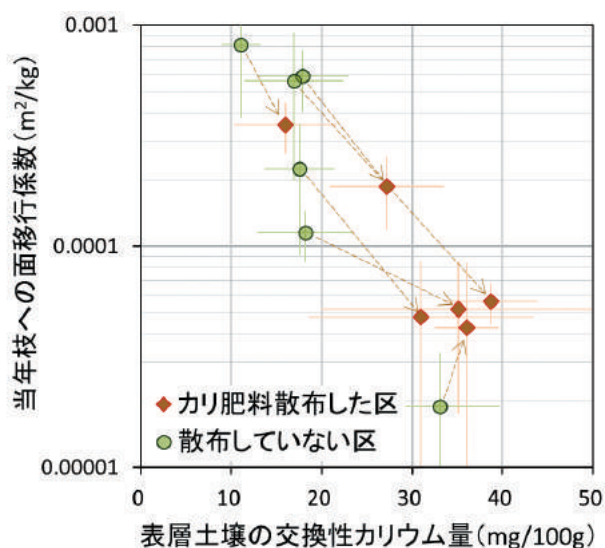


図4 地表へのカリ肥料散布による新植苗の放射能低減

地表にカリ肥料を散布すると（◇）、散布していない区（○）より、土壌中のカリウムが増加し、新たな植栽苗の枝に移行する放射性セシウムの量が減少した。ただしカリウムを元々多く含む調査地（最も下の点）では低減効果が見られなかった。

Ⅲ-3 原木林へのカリ肥料の散布

茨城県林業技術センター 福田 研介

千葉県農林総合研究センター 荒木 功介

原木林を伐採更新して数年経った若い萌芽林と収穫時期の原木林において、カリ肥料散布1年後における放射性セシウムの吸収抑制効果及び土壌中の交換性カリウム量の関係について調査しました。一部の調査区では放射性セシウムの吸収抑制効果が確認されました。また、調査区により放射性セシウム吸収抑制効果及び土壌中の交換性カリウム量は異なることが明らかになりました。さらに、実際に一林分全体にカリ肥料を散布する試験を行い、事業規模で散布する場合のコストについても試算しました。

成果

伐採更新後、数年経過した萌芽林へのカリウム散布事例（茨城県）

原発事故後に伐採更新してから1～6年経過したコナラ萌芽林へカリ肥料（塩化カリウム）を散布し、1年後の当年枝[†]放射性セシウム[†]濃度を散布前と比較しました。カリ肥料を散布した2つの調査区における放射性セシウム濃度は37～49%に低下しました（図1 A及びC調査区）。また、1調査区における放射性セシウム濃度の変動係数[†]は34～50%に低下し、ばらつきが小さくなる傾向も見られました（図1 C調査区）。

収穫期の原木林へのカリウム散布事例（千葉県）

幹の放射性セシウム濃度が約50Bq/kgの14～48年生コナラ原木林へカリ肥料を散布し、1年後の幹の放射性セシウム濃度を散布前と比較しました。14及び24年生の原木林では、散布区と無散布区間に有意な差は認められませんでした（図1 D及びE調査区）。一方、48年生原木林の放射性セシウム濃度は、無散布区は約2.6倍に上昇したのに対して、散布区では63～67%に低下しました（図1 F調査区）。

土壌の交換性カリウム量と当年枝の放射性セシウム濃度減少量の関係

カリ肥料を散布した調査区において、土壌の交換性カリウム量と当年枝の放射性セシウム濃度減少量の関係について調査しました。カリ肥料散布により土壌の交換性カリウム量は増加し、当年枝の放射性セシウム濃度は減少する傾向が認められました（図2）。しかし、カリ肥料の散布量に応じた交換性カリウム量の増加は、G及びH調査区以外では認められませんでした（図2）。樹木による放射性セシウムの吸収を抑制させるためにカリ肥料を散布するには、土壌によるカリ肥料散布の効果の違いを詳しく調べる必要があります。

カリ肥料散布の散布方法及びコストの検討

人力で山林にカリ肥料を散布する場合、散布量を800kg/haとすると3人一組で1日に約2.5ha散布可能であり、その際のコストは、肥料代7万6千円及び「平成30年度公共工事設計労務単価表（普通作業員）」より人件費は約2万4千円、合計約10万円/haと試算されました。

傾斜地等での人力散布は労働強度が高いことから（図3上）、無人ヘリコプターでの散布を検討したところ（図3下）、1日に約2haへ散布可能であり、約10万円/haを要しました。人力散布と比較して労働強度は大幅に軽減されますが、発着場所等の制約が生じるため、状況に応じて両者を組み合わせるのが現実的と考えられます。

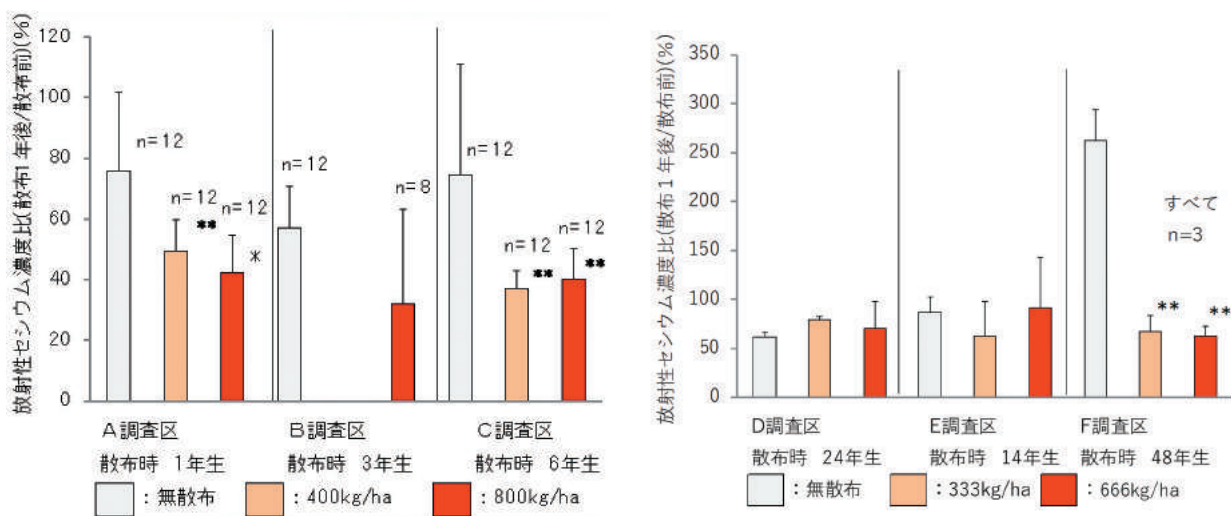


図1 萌芽林及び原生林へのカリ肥料散布の効果

左：更新年の異なる萌芽林への効果（茨城県）、右：収穫期の原生林への効果（千葉県）

カリ肥料1年後における当年枝（茨城県）及び幹（千葉県）の放射性セシウム濃度比（散布1年後/散布前）を示す。茨城県B調査区では800kg/ha散布区のみ設定。*及び*はそれぞれ危険率1%及び5%で無散布区と有意差有り、また誤差バーは標準偏差を示す。

800kg/haのカリ肥料を散布した萌芽林のA及びC調査区では、無散布区と比べ散布区における放射性セシウム濃度は低下した。また、C調査区については、ばらつきも減少した。しかし、散布量の多少による顕著な差異は認められなかった。

収穫期の原生林では1調査区でのみ、散布区の放射性セシウム濃度は無散布区と比べて低下した。

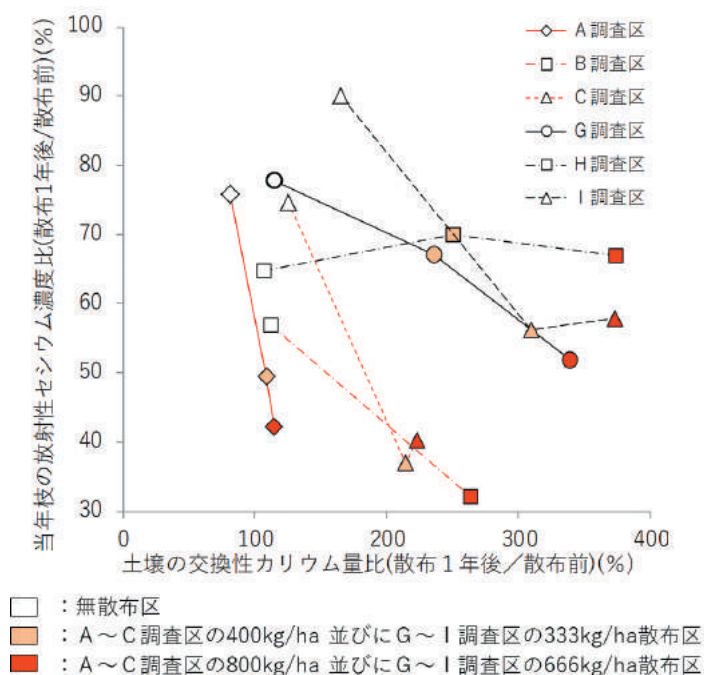


図2 カリ肥料を散布して1年経過した萌芽林における土壌の交換性カリウム量比と当年枝の放射性セシウム濃度比の関係

土壌の交換性カリウム量比の増加に伴い、当年枝の放射性セシウム濃度比は減少する傾向が見られた。

調査区により、土壌の交換性カリウム量比及び当年枝の放射性セシウム濃度比の変化は異なっていた。



図3 萌芽林及び原生林へのカリ肥料散布方法

上：人力、下：無人ヘリコプター

図上に示した枝条が折り重なった急傾斜地では、人力による散布は労働強度が高くなる。一方、図下に示した無人ヘリコプターによる散布では、労働強度が軽減されると共に飛行条件が良ければ面積の増加に対応しやすい。

Ⅲ-4 中長期的な原木林の生産再開に向けて

森林総合研究所 三浦 寛、平出 政和、小松 雅史、金指 努

第Ⅲ章では、放射性セシウムで汚染された地域で原木林の生産を再開するために必要とされる研究成果を紹介しました。しかし、それは予想以上に手強い課題であることもわかりました。おわりに、これまで分かったこととまだ分からないことを整理し、今後取り組むべき課題を明らかにします。

原木林内に長く留まる放射性セシウム

原発事故で原木林に降った放射性セシウム[†]は一部が樹木の枝や幹の表面に付着し、残りは地表に降下しました。事故から数年でその多くは土壌表層に集積し、林地にとどまって30年を半減期とする自然減衰によってしか放射性セシウム濃度は減らないと考えられています。コナラなどの樹木はその一部を吸収し、森林内で循環させています。

樹木の幹の濃度を予測する

ある広葉樹林を原木林として利用再開できるかどうか判定するには、次に伐採収穫するときの幹の放射性セシウム濃度が50Bq/kgを下回るか知る必要があります。即ち、樹木の放射性セシウム吸収を予測し、将来の幹の放射性セシウム濃度を推定するという事にほかなりません。これに必要な情報を次頁の表に整理しました。表の2、当年枝[†]を用いた調査手法が有効で、Ⅲ-1では事故後に伐採再生した萌芽株について幹の放射性セシウム濃度を推定することができました。ただし、調査事例をふやす必要があります。また、事故当時直接汚染されて樹皮に強い汚染が残っている成木の濃度を推定するには、さらなる検討が必要です。

樹木のセシウム吸収を決める土壌の交換性カリウム

表の4と5は、土壌の交換性カリウム[†]に関するもので、樹木による放射性セシウムの吸収に影響します。意外なこともかもしれませんが、汚染程度が大きく変わらない範囲では、樹木の放射性セシウムの吸収には土壌の放射性セシウム量よりも交換性カリウム量の方がはるかに強く影響することが明らかになりました（図1）。しかし、交換性カリウム量は土壌タイプによって大きく異なると予想され、その判定法の開発は今後取り組むべき大きな課題です。また、Ⅲ-3のようなカリウム散布を対策として行うためには、15～20年後の原木収穫期まで効果が続く散布手法を確立する必要があります。

放射性セシウム濃度のばらつきと年変動

樹木の放射性セシウム濃度の調査では、測定値が大きくばらつくことが知られています。原木林が利用可能か判定するには、平均値に加えてばらつきを正確に把握する必要があります。また、将来のコナラの放射性セシウム濃度の予測には、当年枝の放射性セシウム濃度が1年間にどのくらい変化するかが大きく影響します。自然減衰に従って減少すると予想していましたが、同じコナラの萌芽株で当年枝の放射性セシウム濃度を2016年と2017年で比較した結果は大きくばらついていました（図2）。そのため、今後も調査を継続してばらつき具合と変動傾向を明らかにする必要があります。

中長期的な原木林再生に向けた施業指針を決めるためには、ここに挙げた課題を解決して、どんな林分でも将来の幹の放射性セシウム濃度を推定できるようにすることが不可欠です。本事業により、その道筋を明らかにすることができました。

表 将来の樹木の放射性セシウム濃度予測に必要な検査項目、情報

検査項目	情報
1. 土壌の放射性セシウム量	・ 原本林の汚染レベルを決める。 ・ 当年枝の面移行係数の算出に用いる。
2. 当年枝の放射性セシウム濃度	・ 樹木の放射性セシウム吸収の指標。 ・ 幹の放射性セシウム濃度の算出に用いる。
3. 林齢と伐期齢	・ 収穫時の幹の放射性セシウム濃度を推定するために、収穫までの年数の算定に用いる。
4. 土壌の交換性カリウム量	・ 交換性カリウム量が多いほど樹木の放射性セシウム吸収が抑えられる。 ・ 畑地跡は多い。
5. カリウム施用の効果	・ カリウム散布対策が使えるかどうかを決める。

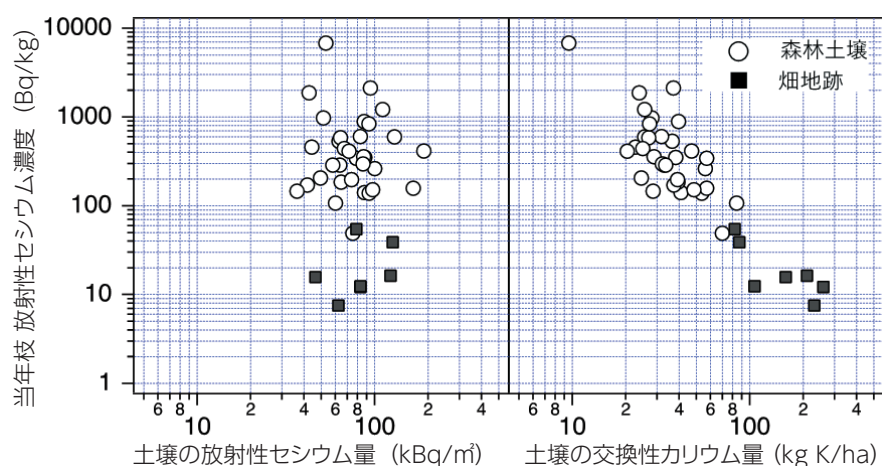


図1 当年枝の放射性セシウム濃度と土壌の放射性セシウム量(左)及び土壌の交換性カリウム量(右)の関係

福島県田村市都路町の約10km四方に分布する原本林。

当年枝の放射性セシウム濃度は、土壌の放射性セシウム量とはほとんど関係無いが、土壌の交換性カリウム量が増加すると明瞭に低下する。

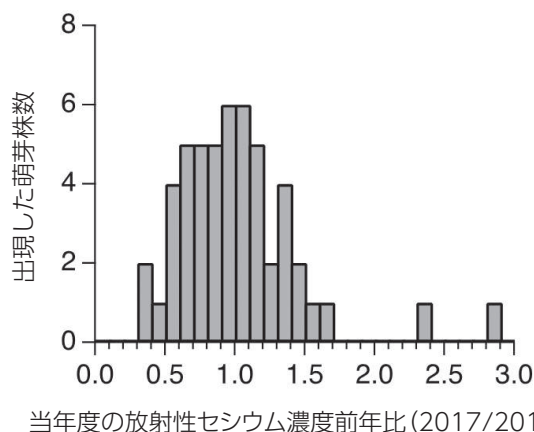


図2 2016年と2017年に同じコナラ萌芽株で採取した当年枝の放射性セシウム濃度の比較

放射性セシウムの放射能は、自然減衰により1年間に2%低下する(前年比で0.98)。原本林で多くの萌芽株を調べると、2016年と2017年の放射性セシウム濃度の比は0.98の周りで大きくばらついていた。

用語集

本文各トピックで用語集の用語を初めて使う際には「†」を付記しています。

あ

イベント数：放射性セシウムが放出したガンマ線を検出器により捕捉した数。

か

ゲルマニウム半導体検出器（Ge検出器）：放射性セシウム濃度の測定に使用される代表的な装置。

交換性カリウム：土壌中の粘土鉱物や有機物に吸着され、酢酸アンモニウム溶液で抽出されるカリウム。植物が利用できるカリウム量に相当。

さ

スクリーニングレベル：定められた値を確実に下回ると判定するための値。

た

当年枝：その年に出た新たな枝。葉が枝から直接出ていて冬芽が付いている。

は

品質管理：買手の要求に合った品質の品物等を経済的に作り出すための手段。代表例はISO9000ファミリー規格。

変動係数：相対的なばらつきを表す。次式により算出される。変動係数 = $\frac{\text{標準偏差} (\sigma)}{\text{平均} (\mu)}$

放射性セシウム：特にことわらない限り本書では半減期約30年の¹³⁷Csを表す。

ま

面移行係数：土壌等から樹木等へ放射性セシウムの移行しやすさを示す指標。次式により算出される。

面移行係数 (m²/kg) = $\frac{\text{植物の重量あたりの放射性セシウム濃度 (Bq/kg)}}{\text{土壌の単位面積あたりの放射性セシウム濃度 (Bq/m}^2\text{)}}$

ら

ロット：同一条件下にて生産された製品。

関連リンク先

国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所
森林と放射能

(<http://www.ffpri.affrc.go.jp/rad/index.html>)

林野庁

東日本大震災に関する情報

(<http://www.rinya.maff.go.jp/j/kouhou/jisin/index.html>)

東京大学大学院農学生命科学研究科・農学部

農学生命科学研究科の復興支援プロジェクト

(<http://www.a.u-tokyo.ac.jp/rpjt/index.html>)

栃木県

きのこ生産者の皆様へ

(<http://www.pref.tochigi.lg.jp/kinkyu/d07/documents/kinokomanual.html>)

千葉県

放射性セシウム濃度の低い原木シイタケを生産するために

(https://www.pref.chiba.lg.jp/ninaite/seikafukyu/documents/h2705_siitake.pdf)

国立研究開発法人森林研究・整備機構 森林総合研究所
〒305-8687 茨城県つくば市松の里1番地

編集・発行 きのこ・森林微生物研究領域
発行日 2018 (平成30) 年11月30日
お問い合わせ先 広報普及科編集刊行係
電話 029-829-8373
e-mail: kanko@fpri.affrc.go.jp

※本誌掲載内容の無断転載を禁じます。