

7. 調査・分析方法

調査・分析方法は以下を基本とし、検討委員会の指導・助言を得て実施した。

7.1. 空間線量率等の測定

空間線量率及び放射線量 (cpm) の測定は、「放射線測定に関するガイドライン (文部科学省、日本原子力開発機構 平成 23 年 10 月 21 日)」に基づき、校正済みの NaI (TI) シンチレーション式サーベイメータ及び GM 管式サーベイメータを用いて行った。なお、測定値の信頼性を確保するため、測定時には、同ガイドラインで定められた時定数 (10 秒) の 3 倍にあたる 30 秒以上はサーベイメータの検出部を静置した。

また、測定時に積雪がある場合及び雨天時には測定を延期した。既設測定点の木杭またはプラスチック杭が消失している場合には、左右前後に残された杭から再計測して測定点を再現し、測定を継続した。その際、杭の再設置も行った。毎回の測定時に各測定点の周囲状況をデジタルカメラで記録し、必要が生じた際にはいつでも確認できるようにした。

空間線量率の測定結果は測定後速やかに整理し、測定値の異常が疑われる場合には現地の状況の再確認等を行った。

7.2. 放射性セシウム濃度の測定

【対象】

固体試料 (堆積有機物・土壌、土砂等、リターフォール、植物体)

【前処理】

試料は、湿重量を計測した後、乾燥機を用いて 105°C で乾燥し、絶乾重量を計測した。次に、粉砕器等で 4mm 以下に粉砕した。破砕した試料は、均質とした後、分取し、専用治具を用いて U-8 容器に充填した後、重量等 (供試重量、充填高さ等) を測定した。

【測定】

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法 (以下「ガンマ線スペクトロメトリ法」という。) により放射性セシウム (Cs-134 及び Cs-137) を定量し、単位試料重量当たりの放射性セシウム濃度 (Bq/kg) を求めた。

7.3. 降水量の測定

林内及び林外に設置した転倒升式雨量計を用いて 10 分間隔で降雨量を計測し、データは原則 1 ヶ月ごとに回収した。

解釈に関する補足・用語解説

(1) 放射性物質の単位

放射性物質が放射線を出す能力の強さを表す単位をベクレル (Bq) という。

一方、人体が受けた放射線による健康影響と関連づけられた被ばく線量を表す単位としては、シーベルト (Sv) が用いられる。

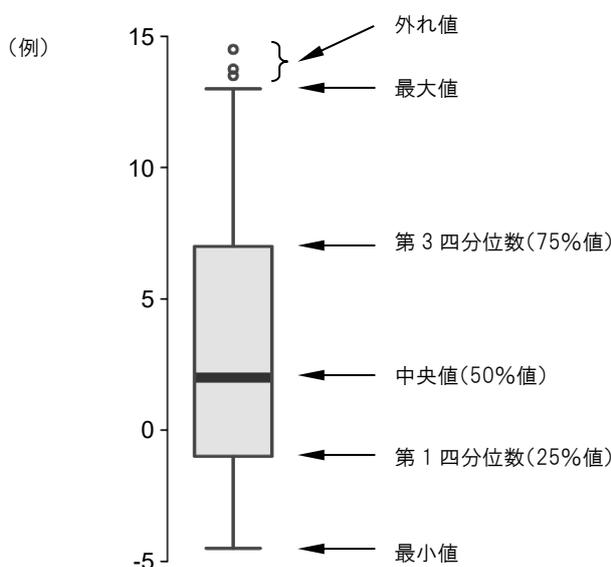
放射性物質の量を扱う上では、「重さとしての情報」と「面としての情報」の2種類の扱いがある。前者は、物質の単位重量当たりの放射エネルギーであり、「放射性物質濃度」を指す。単位は [Bq/kg] を用いる。後者は、単位面積当たりの総放射エネルギーであり、「放射性物質現存量」「放射性物質沈着量」を指す。「インベントリ (Inventory)」と表現することもある。単位は [Bq/m²] を用いる。

(2) グラフ図示方法 (箱ひげ図)

箱ひげ図：データのばらつきをわかりやすく表現するための統計図。データの分布を視覚的に要約し、比較するために用いる (e.g. 箱が大きい=ばらつきが大きい、など)。

四分位：データを大きさの順に並べて、四等分したときの3つの区切りの値を示す。大きさの順に並べたときに下から25%・50%・75%に位置する値のことを第1四分位数・第2四分位数 (中央値) ・第3四分位数と言う。

外れ値：統計的に他の値から大きく外れた値。測定ミス等、原因がわかっているものは「異常値」であり、それとは異なる。外れ値であるか否かについて、有意水準を設けて検定した上で取り扱う必要がある。簡便な方法として、 $\mu \pm 3\sigma$ (μ : 平均値、 σ : 標準偏差) より外側の値を外れ値とする方法がある。本報告書 (2章) では、正分布を前提としない基準 (第3四分位数 + (第3四分位数 - 第1四分位数) \times 1.5 を上回る値、または、第1四分位数 - (第3四分位数 - 第1四分位数) \times 1.5 を下回る値) を用いた。



(3) 平均値

一般的には算術平均値を用いるが、算術平均値は、大きな値があるとそれに引きずられて大きくなりがちである。放射性物質濃度等、データの分布が対数正規分布と見込まれるものについては、幾何平均値を用いる場合がある。IAEA Technical Documents (IAEA-TECDOC) 等をはじめとして、本分野においては上記の扱いが多くみられる。

本報告書では、土壌や植物体の試料に含まれる放射性セシウム濃度等の平均値を算出する際に幾何平均値を用いたものがあり、幾何平均値を用いた場合には、図表に注釈を加えた。

一般に平均と呼ばれる算術平均が、和の平均

$$(x_1 + x_2 + x_3 \dots + x_n)/n \quad \text{であるのに対し、}$$

幾何平均は、相乗平均（相乗積の n 乗根）であり、

$$\sqrt[n]{x_1 \times x_2 \times x_3 \dots \times x_n} \quad \text{である。}$$

巻末資料

< 検討委員会における主な意見及び対応状況 >

➤ 検討委員会（第1回） 主な意見等及び対応状況

委員	意見等	対応状況
4 要約版及びその英訳版について		
櫻井	(資料4-2)3年間で試験が終了したが、今5年を経過した段階で、状況を確認してもらいたい。特にチップは、腐朽の状況等により問題を起こしやすい。可能であれば、厚さ等を確認して、反映してもらいたい。	7月に現地を確認。櫻井委員に報告の上、写真を調査結果レポートに掲載しました。
5-1 森林施業等が空間線量率等に与える影響の検証		
恩田	ドローン空撮データ等を使用した地形データを背景図に使用してもらいたい。	恩田先生ご提供のドローン空撮データの使用(解析)には追加的な作業が必要となりますが、航空レーザ計測データ(平成24年度 林野庁業務成果)と重ねた図には差し替え可能です。見やすさ等も考慮して、適切な背景図を使用したいと考えております。
三浦	下方浸透の影響は、事故後の初期の皆伐・間伐と比べると小さい変化と思われるため、本格的に取り組むのであれば、長期的な計画を立てながら覚悟を持って調査をする必要がある。	来年度以降の方針にも関わりますので、本年度の調査結果もふまえて、ご相談させてください。
三浦、星	今後の調査では対照区を適切に設定し、評価する必要がある。調査地点数等や調査設定等は委員にもご相談すること。	下方浸透の追加調査では、慎重に対照区を設定しました。ライシメータ調査については、筑波大恩田先生・高橋先生にご相談させていただきました。細根調査については、仕様によって調査設定しておりますが、今回の委員会でもご相談させてください。
三浦	場合によってはJAEAの協力も得て、下方浸透が空間線量率の低減に及ぼす効果についての試算に着手すべき。	JAEAが開発したシミュレーションモデルの適用が効果的と思われる。計算方法や段取り等について、JAEAともご相談したいと思っております。
星	Dシャトル等は適切に校正し、結果は分かりやすく図示すること。(校正は比較校正でも良い。)	定期的にNaIシンチとの比較を行っていますが、今後、Dシャトルの校正や校正済機器追加購入によるリプレースも検討いたします。
星	含水率と放射線被ばく(空間線量)との関係を定量化したデータは画期的。測定器の信頼度も確認しながら、これは貫徹してやってもらいたい。	機器を適切にメンテナンスし、計測を継続します。
5-2 きこの原木への放射性物質吸収抑制手法の開発		
飯塚評価官	予算には限りがあり、多点調査地の継続分6箇所も新規調査に回すのを優先した方がよいのではないかと。	今年度は、多点の継続も実施する方針とします。調査時には、マーキングを十分にいたうえで、次年度以降の継続については改めて検討することとします。
三浦	多点の継続は毎年実施しないで、2、3年後に実施することも可能。調査地のマーキングを十分にしておく必要がある。	
松本	「原木林再生事業」のデータも参考になるのではないかと。	次年度以降は、情報・データを有効活用できるように把握に努めます。
飯塚評価官	「原木林再生事業」では今年度事業から当年枝の採取を実施するので、来年度以降、データが出てくれば使えるようになる。	
4-3 森林内の空間線量率の変動要因の把握(22ライン)		
恩田	今後調査を継続していくと、リターから土壌へどのように移っていき、除染の効果がどのように表れるかを評価できる。できれば樹種ごとの特性をみることが望ましい。	本年度の調査結果を加えて、樹種ごとに調査結果を提示いたします。
三浦	先行降雨指数等、土壌水分環境の影響について解析結果を示してほしい。	
櫻井	先行降雨指数の解析に用いる雨量に、アメダスと実測の林内雨とでは違う解釈になる。	実測値はないため、調査ライン直近のアメダス観測所の雨量データを用いて解析を試行します。
櫻井	豪雨のあるときは地点によりばらつきが出るため注意が必要。11月は降雨量が少ないためいいかもしれない。	

4-4 表土流出防止工による放射性物質の移動抑制効果の検証		
恩田	植被率は落ち着いてきたが、それだけでは測れないリターの集積によって(移動レートが)下がってきているところがある。移動が落ち着いたかどうか、そのあたりに着目して整理し、確認した上で、今後も調査を継続するか判断するとよい。	調査内容・方法は変えずに、今年度の調査を継続します。 (今後の継続の要否検討に当たっては) 中間とりまとめを行い、委員に提示します。
三浦	2016年以降、施工区の移動レートがほぼ一定に収まっており、あともう1年やれば4年分になり、この事業の目的(被覆の回復による移動抑制)の確認は十分にとれるため、予想通りのデータが取れ、目的に達する場合、今年度で終了してもよい。	
櫻井	(三浦委員と同様)	
小野	2018年の植被率が前年よりも低下しており、福島県の調査においてもその傾向が出ている。木の成長と林内照度の関係からによるものではないか。植被率が下がった場合の土壌の流出がどうなるのか分からない。可能であれば、引き続きこの1箇所だけでも調査を継続してもらえないか。	
恩田	(上記について) 植被率の低下の理由としては、林内照度の関係もあると考えられるが、スギ林の場合、リターが落ちた後は(土砂等は)ほとんど動かない。	
恩田	ヒノキ林の場合、(リターが流亡しやすいので) 植被率の低下の影響はみられるかもしれない。本調査の継続ではなく、ヒノキ林での調査を1、2地点つくるのも一つの手である。	
櫻井	予算の問題であれば、土砂の移動(重量計測)だけでも継続するという考え方もある。	
三浦	(恩田委員と同じで) スギ林では出てこない。植被はこのまま継続すれば徐々に下がる可能性が高い。間伐を入れて植被を回復させるという見せ方もある。	
三浦、星	この1年間の観測結果をみて、検討する。	
星	丸太筋工や土のう筋工を施工した場合に、効果がなかったという結論ではなく、結果の生かし方は考えたい	中間とりまとめ時に委員指導を受けて検討します。

➤ 検討委員会 (第2回) 主な意見等及び対応状況

委員	意見等	対応状況
3-1 森林施業等が空間線量率等に与える影響の検証		
3-1①		
恩田	ゼロテンションライシメータの測定値には捕集面積に応じて不飽和水の補正が必要。	補正式を適用します。
三浦	今後も細根の調査を続けるのであれば、細根のターンオーバー(枯死、生産量)の評価も必要。	追加的な試料採取が必要で、大幅なコスト増と調査地かく乱が懸念されます。R2年度の追加実施は困難と考えますが、それ以降については要否をご相談させていただきます。
三浦、星	皆伐・間伐の作業による空間線量の追加的低減は、除染ほどの大きな寄与は見込めないが、本格的に試験に取り組む方向性で良いか、来年1年でよく検討すべき。	測定結果に基づき、委員の先生方にご指導いただくようにいたします。
恩田	リターフォールによる継続的な付加と下方浸透の両比を注意して見る必要がある。前者はだんだん影響が大きくなるが、それがどの程度かは見てみなければ分からない。	リターフォールと下方浸透の比を確認します。
三浦、星	空間線量率に対する土壌水分の遮蔽の効果について、追加データや再解析結果を次回委員会で示してほしい。	準備いたします。
3-1②③ (国有林スクレーパープレート)		
恩田	調査地の勾配は書いてあるか	調査地の概要を整理します。
3-1 (全体)		
三浦	2021年以降の試験デザインにおける留意点 (1) 対照区をしっかりとつくる (2) 繰り返し: 対照区と処理区を1セットとしてnは3以上 (3) 処理前のデータを取ること	試験設計時に改めて指導いただくものとします。

3-2 きのご原木への放射性物質吸収抑制手法の開発		
櫻井	(地形や斜面位置で土壌の特性(水分条件、化学性)が決まる傾向があることを踏まえ)採取した株の位置を記録しておいてもらいたい。	報告書には個体ごとの採取位置については掲載を考慮していませんが、データに紐づけて整理します。
恩田	土壌水分条件が違えば、(根の)吸収深度に違いがあるかもしれないため、土壌は色々な深度をとってみるとよい。	今年度は調査点数を多くするため、昨年度と同様、堆積有機物と0-5cmの土壌の採取としました。今後の調査において、改めて検討を行います。
3-3 森林内の空間線量率の変動要因の把握(22ライン)		
恩田	22ラインの場合は傾斜地であり、土壌の含水率の推定式が変わるので、APIの遡りの日数の値を短くしてより当てはまりのよいものを探したり、1点1点を吟味しながら、時間をかけて分析する必要がある。	先行降雨指数の計算パターンを複数試す、調査箇所1点毎に精査するなどして、最適な空間線量率の推定式を模索します。
三浦	空間線量率は、遮蔽で決まるのは間違いない。川内スギA区のデータも用いて整理を行うと、より理解も進むし、議論も可能になる。	22ラインのデータに加えて、川内スギA区のデータでも整理を実施します。
3-4 表土流出防止工による放射性物質の移動抑制効果の検証		
恩田	(5ページ)土壌侵食量はRファクタを使うとうまく表すことができる。土砂移動量が下がっている傾向がもう少しきれいにみえるのではないかと。Rファクタを簡単に求められるサイトもあるので検討してもらいたい。	Rファクタを過去に遡って算出し、移動量/Rファクタの推移を確認しました。林内かつ長期間の試験のため、傾向が明瞭ではありませんでした(短期間では、降雨強度と移動量にきれいな相関が示される(既往研究))。推移グラフの採用は保留としました。
三浦	下がり続けていた無作業区の土砂等移動レートが、箱の補修後に正しく計測できたか確認するため、次回の委員会では、年間値として整理して示してもらいたい。	資料に年間平均値のグラフを示しました。
櫻井	植被率が落ちていることについては、もう少し推移をみないとわからない(要因として、林内照度の変化、降雨量など)。	
三浦	照度の関係からは、次の間伐を入れないと下層植生が維持できない状況である可能性があるが、(林床被覆はほぼ100%を維持できているため土砂流出を防げており、植生があれば落葉も止めて非常に安定することなど)被覆・植被との検証の上で、いいデータが取れている。	報告書とりまとめにおいて、成果及び課題を整理します。

➤ 検討委員会(第3回) 主な意見等及び対応状況

委員	意見等	対応状況
3-1 森林施業等が空間線量率等に与える影響の検証 及び 森林内の放射性物質の移動(下方浸透)の検証		
恩田	スクレーパの解析については、例えば全部が100%になるような積み上げの棒グラフで深さごとのグラフをつくり、有機物は別にしたほうが良い。	土壌深さ階層ごとの放射性セシウム(^{137}Cs)の存在割合の経年変化の図を修正し、堆積有機物分は除外しました。
三浦	「物理減衰をより上回るペースでの低減傾向が続いている」のほうが「物理学的減衰を下回る水準で推移」よりも誤解がない。前者で統一すべき。	前者の表現で統一します。
三浦、星	各種機器の精度管理は、今後のモニタリングの信頼性にも関わる。長期にわたって年間の空間線量率をきちんと評価できる方法は何かということを見極めていくことが必要。Dシヤトル以外のOSL等については、NaIの測定値に合わせるのが良い。Polimasterについては仕様等を確認したい。	Polimasterについては仕様情報を星先生にご提出します。来年度以降のNaI以外での計測は未定ですが、今後検討いたします。
恩田	スクレーパープレートの緩衝深度は、リターは除外して計算したほうが良い。	リターを除外した緩衝深度を報告書に掲載します。

3-2 きのご原木への放射性物質吸収抑制手法の開発		
恩田	初期沈着量について、航空機モニタリングの第3次と第5次をとりまとめたデータがあり、そのデータを使ってよい。	今後の参考とします。
恩田	もっと多く施肥をして、効果を確認してはどうか。	(座長による意見集約) 当面は継続とする。
三浦	原木林へのカリウム施肥については、効果の見極めが難しく、今のところ優先順位の対策として検討されていない。本事業の結果が参考になる場面もあるが、仕切り直しを考える必要もある。あと1、2年で見通しがつくものでもない。	
星	(上記について)事業費も考慮した上で方針を決める必要がある。施肥の効果の継続性については重要と考える。	
松本	都路地区の原木林は、約20年の施業サイクルでまわしてきた。そのサイクルに戻すには何らかの方策が必要。伐ったあとに更新をどうするか、検討する上では参考になる。	
恩田	県などで施肥試験がされていないのであれば、モニタリングを続けていくというのもひとつの手である。	
三浦	(6ページ)前年比の分布が1よりも低いところに偏っており、中央値で0.84というのはかなり低い値である。継続調査が有効である。	幾何平均に修正しました。
恩田	中央値でなく、幾何平均がよい。	
3-3 森林内の空間線量率の変動要因の把握(22ライン)		
恩田	堆積有機物及び土壌の放射性セシウム現存量について、樹種別、除染実施未実施別に1箇所ごと意味があるため、これを踏まえてもう一度解析を行ってほしい。	今後の課題とします。
3-4 表土流出防止工による放射性物質の移動抑制効果の検証		
三浦	被覆の効果が土砂の移動、特に細土に伴う放射性セシウムの移動に反映されるということがデータから示されており、成果がまとまっている。	-
櫻井	無作業区の移動レートと作業区の移動レートが近い値になってきたことがみえており、(必要な観測ができていたので)よい。	-
恩田	林床被覆との関係がみえており、その観点でデータの再解析をしてはどうか。(林床被覆率と、各工法の土砂流出率の関係?)	今後の課題とします。
櫻井	(余力があれば)今年の台風のような異常値が出たときと、平常時を比較して何か傾向があるか確認できるとよい。	今後の課題とします。