

森林除染に係る知見の整理等について

資料5

- 平成24年9月に「今後の森林除染の在り方に関する当面の整理」を取りまとめ。
- 「当面の整理」から約1年が経過したことから、得られた知見を整理。

「今後の森林除染の在り方に関する当面の整理」の骨子

エリアA 住居等近隣の森林 → 得られた知見 p3～17

- ・ 特措法基本方針に基づき、平成24・25年度においては、優先的に落葉落枝の除去を実施
- ・ 線量が高く谷間の居住地を取り囲む森林等では空間線量率の低減効果を評価した上で対応を検討
- ・ 住民が利用する沢水のモニタリングを強化

エリアB 作業者等が日常的に立ち入る森林 → 得られた知見 p18～19

- ・ 利用の目的や利用頻度等の活動形態、空間線量率の高低等を踏まえつつ、除染の具体的な進め方を検討

エリアC その他の森林 → 得られた知見 p20～25、資料6～7

- ・ 放射性物質の流出、拡散や森林除染の方法等の知見が現時点で十分ではないことから、今後、調査・研究を進め、その結果を踏まえた上で判断することが適当
- ・ 地域の振興に向けた政府の対応といった大きな視点からの検討が必要であり、森林施業と放射性物質対策を組み合わせた方策を検討していくことも肝要

森林除染に係る知見(目次)

エリアA 住居等近隣の森林

- エリアA-1 森林の本格除染の結果(田村市) 3
- エリアA-2 森林内の放射性物質の分布状況と経時変化 4
- エリアA-3 森林除染モデル事業の結果 6
- エリアA-4 除染による線量率の低減に関する感度解析 15
- エリアA-5 住民が飲用する沢水のモニタリング結果 17

エリアB 作業者等が日常的に立ち入る森林

- エリアB 作業者等が日常的に立ち入る森林への取組 18

エリアC その他の森林

- エリアC-1 流域圏下流への放射性物質の流出 20
- エリアC-2 水環境の放射性セシウム濃度の経時変化 22
- エリアC-3 森林におけるCs-137の挙動に関する諸外国の知見 24
- エリアC-4 土壌侵食による放射性セシウム流出ポテンシャル 25

森林の本格除染の結果(田村市)

エリアA-1

○田村市においては、除染実施計画に基づき、本格除染を平成24年7月5日から平成25年6月28日において実施(宅地、農地、森林、道路)

○このうち、森林除染の結果は以下のとおり。

- 森林除染面積:192万m²(林縁部から20mの森林)

表面汚染密度の低減率※

	除染前の汚染密度帯(cpm)			
	300未満	300～600	600～900	900以上
宅地	20%	40%	55%	78%
農地	17%	34%	50%	65%
森林	1% (n=155)	19% (n=2,097)	36% (n=1,201)	58% (n=527)
道路	18%	41%	56%	71%

※表面汚染密度の平均値の低減率

空間線量率(1m)の低減率※

	除染前の線量率帯(μSv/h)			
	0.5未満	0.5～0.75	0.75～1.0	1.0以上
宅地	24%	35%	42%	56%
農地	17%	24%	30%	33%
森林	8% (n=482)	16% (n=1,800)	23% (n=1,176)	32% (n=505)
道路	21%	27%	27%	28%

※空間線量率の平均値の低減率

注1)放射線量は、除染作業の前後で測定したものであり、その後の自然減衰等は含まれていない。

(除染前測定時期:平成24年7月25日～平成25年5月23日、除染後測定時期:平成24年8月7日～平成25年5月30日)

注2)空間線量率は林縁の地点及び林縁部から森林側に10m入った地点で測定。

森林内の放射性物質の分布状況と経時変化

エリアA-2

(1) 森林内における放射性セシウムの分布と経時変化

○福島県内の3試験地の調査結果(林野庁)

- 樹木に沈着した放射性セシウムは、雨による溶脱や落葉などで地表へ移動し、森林内の分布は1年間で大きく変化。
- 落葉層における放射性セシウム蓄積量が減少。
- 森林の状態による違いも大きい。



2011年と2012年における調査地に蓄積する放射性セシウムの部位別分布割合

調査地	川内村 (福島第一原発から26km)		大玉村 (福島第一原発から66km)		只見町 (福島第一原発から134km)	
樹種	スギ林	スギ林	アカマツ林	コナラ林	スギ林	スギ林
2011年		(未測定)				
2012年						

(注1) 落葉層: 土壌の上にある落葉や落枝とそれらの腐朽した腐食からなる堆積有機物層

(注2) 放射性セシウムの総量はp20「エリアC-1」を参照。

(出典) 林野庁(森林総合研究所): 森林内の放射性物質の分布状況調査結果について(平成25年3月29日) 4

(2) 森林内土壌における放射性セシウムの深度分布と経時変化

○川俣町の調査結果(文科省)

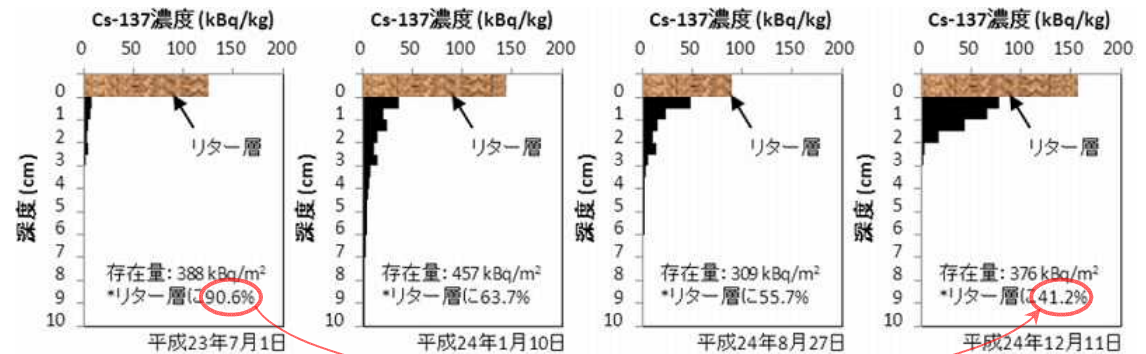
- 森林では、リター層※¹から土壌への放射性セシウムの移行が認められる。
- H23夏とH24冬のリター層中のセシウム存在量は、広葉樹混合林で90.6%から41.2%に、スギ林(壮齢林)で47.8%から42.3%に、スギ林(若齢林)で89.7%から33.8~47.9%に変化。

※1:ここでの「リター層」はA0層全てに相当。
(ただし、当該地域には、H層はほとんど存在せず、L層及びF層のみ)

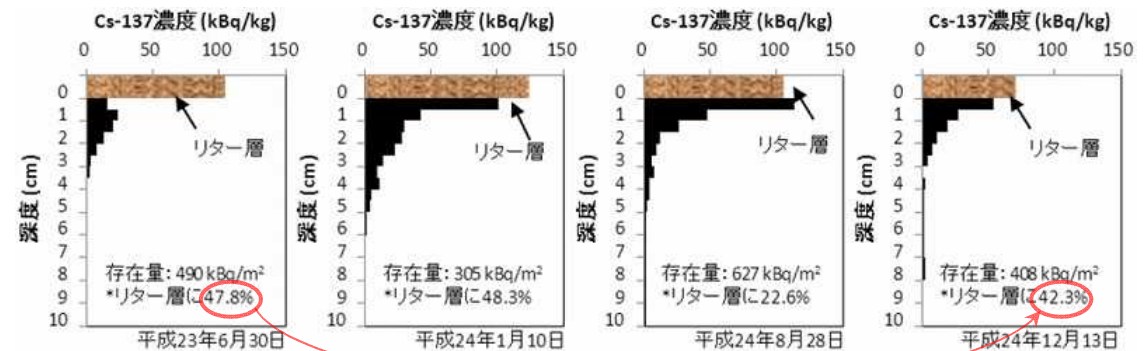
土壌中のCs-137の深度分布及び 単位面積あたりの放射性 セシウム存在量の時間変化

(出典) JAEA(文部科学省): 平成24年度放射能測定調査
委託事業「福島第一原子力発電所事故に伴う放射性物質の長期的影響把握手法の確立」成果報告書

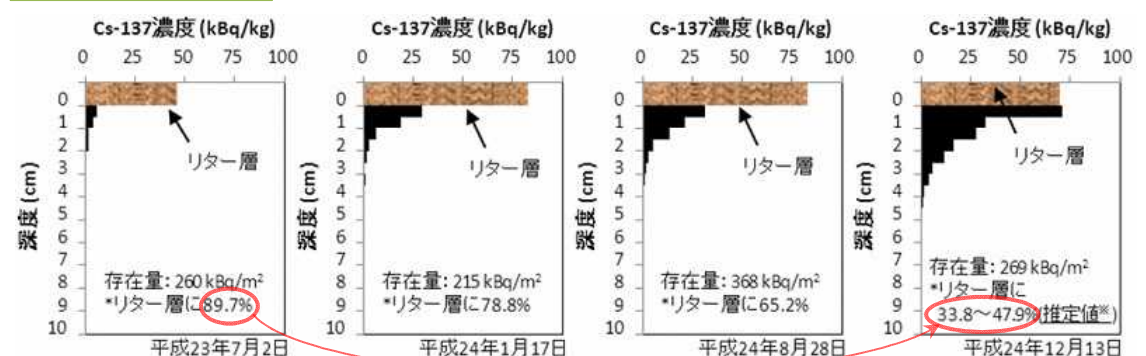
広葉樹混合林



スギ林(壮齢林)



スギ林(若齢林)



※リター量を補正した推定値

H23年6~7月

H24年1月

H24年8月

H24年12月

(1) 環境省：森林除染モデル事業概要(大熊町大川原地区)

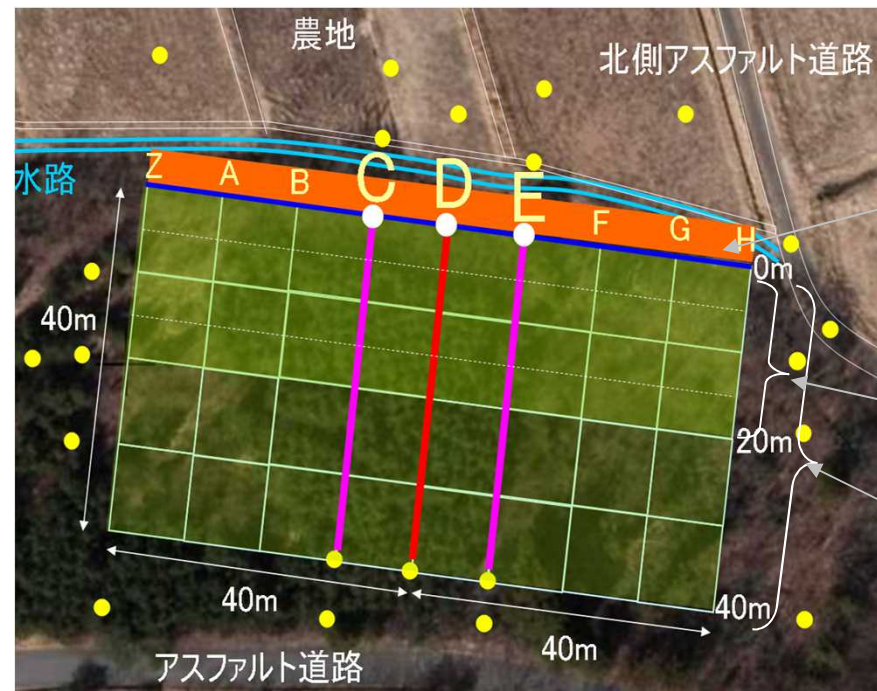
○目的

- 林縁の空間線量率の低減のための最適な除染範囲, 除染方法の検証

○実施事項

- 林縁の空間線量率の低減効果の調査
 - 堆積有機物の除去範囲を拡大した場合の効果を確認する。(林縁から20m→40m)
 - 林縁から20mの範囲内で堆積有機物残さ※の除去を行った場合の効果を確認する。

※堆積有機物の残ったくず



林縁部除染

堆積物有機物残さの除去
及び除去土壌

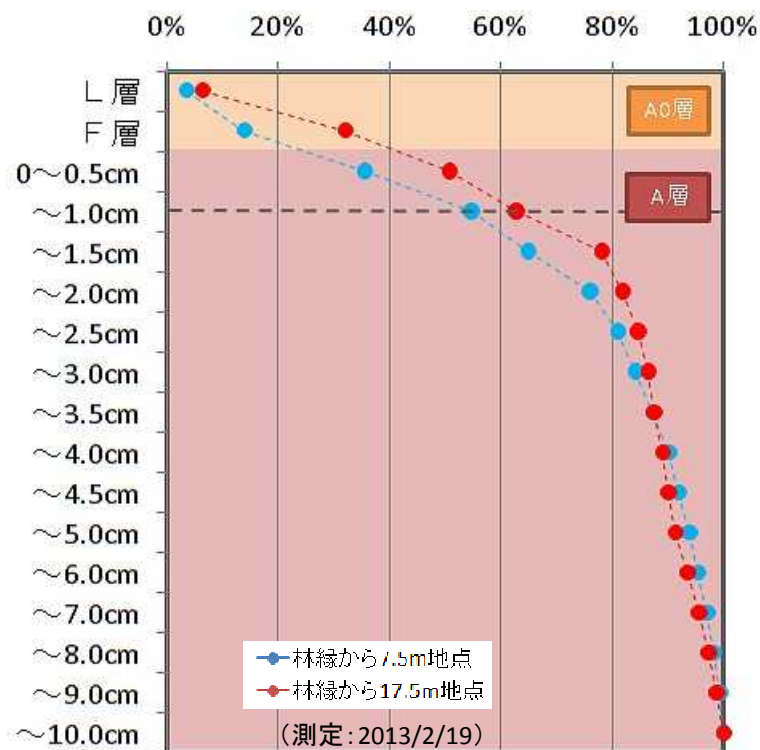
落葉等堆積有機物の除去

試験地における放射性Csの深度分布

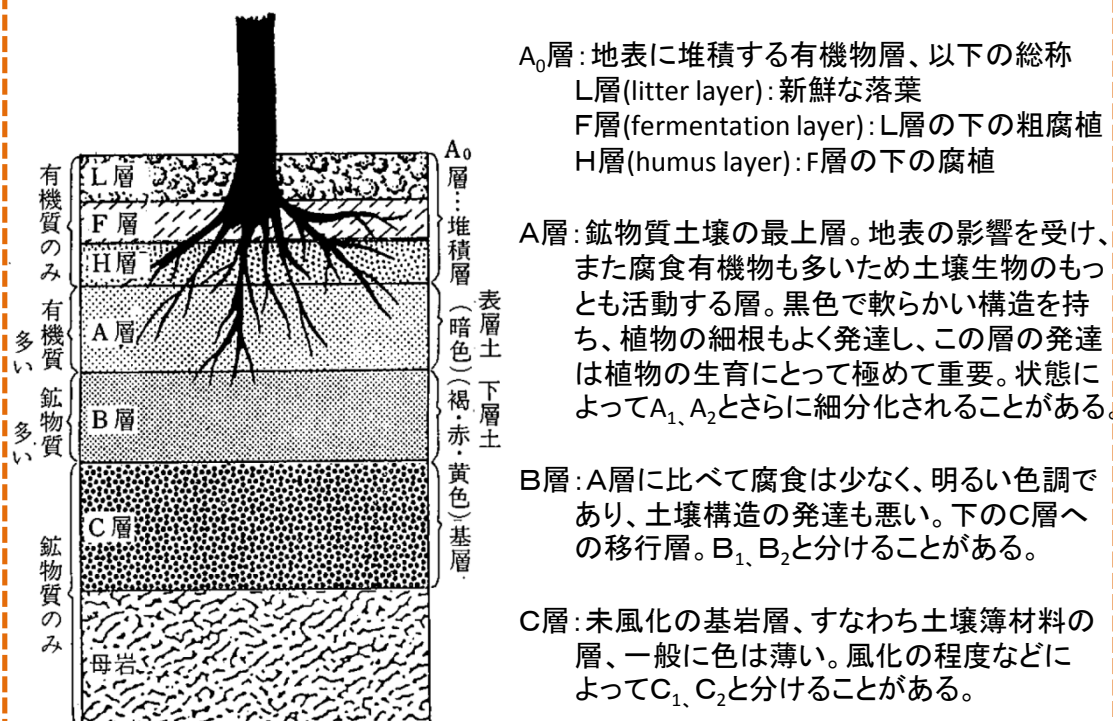
○除染の深さを検討するため、放射性Csの深度分布を測定

- 放射性Csは、A₀層(L層、F層)に全体の10～30%程度が含まれていた。
- A層の1cm深さまでに全体の50～60%程度、2cmまでに75～80%程度、3cmまでに85～90%含まれていた。

放射性Csの深度別累積存在割合



(参考) 森林の土壌断面(層の区分)



(出典) 只木良也『森林環境科学』(朝倉書店、1996)

試験における森林の除染方法

①堆積有機物除去

鉄熊手により、
堆積有機物を除去。



堆積有機物除去後の土表面



堆積有機物の残さが存在

②堆積有機物残さ除去

さらに、竹箒*により、
残渣を除去。

* 先端20cm程度をカットし弾力性を確保
したもの。



堆積有機物残さ除去後の土表面



根が露出し始め

③土壌除去

さらに、鉄熊手と竹箒で、露出した
根の周りの土を強く掻き出し、
A層3cm程度を除去。



土壌除去後の土表面

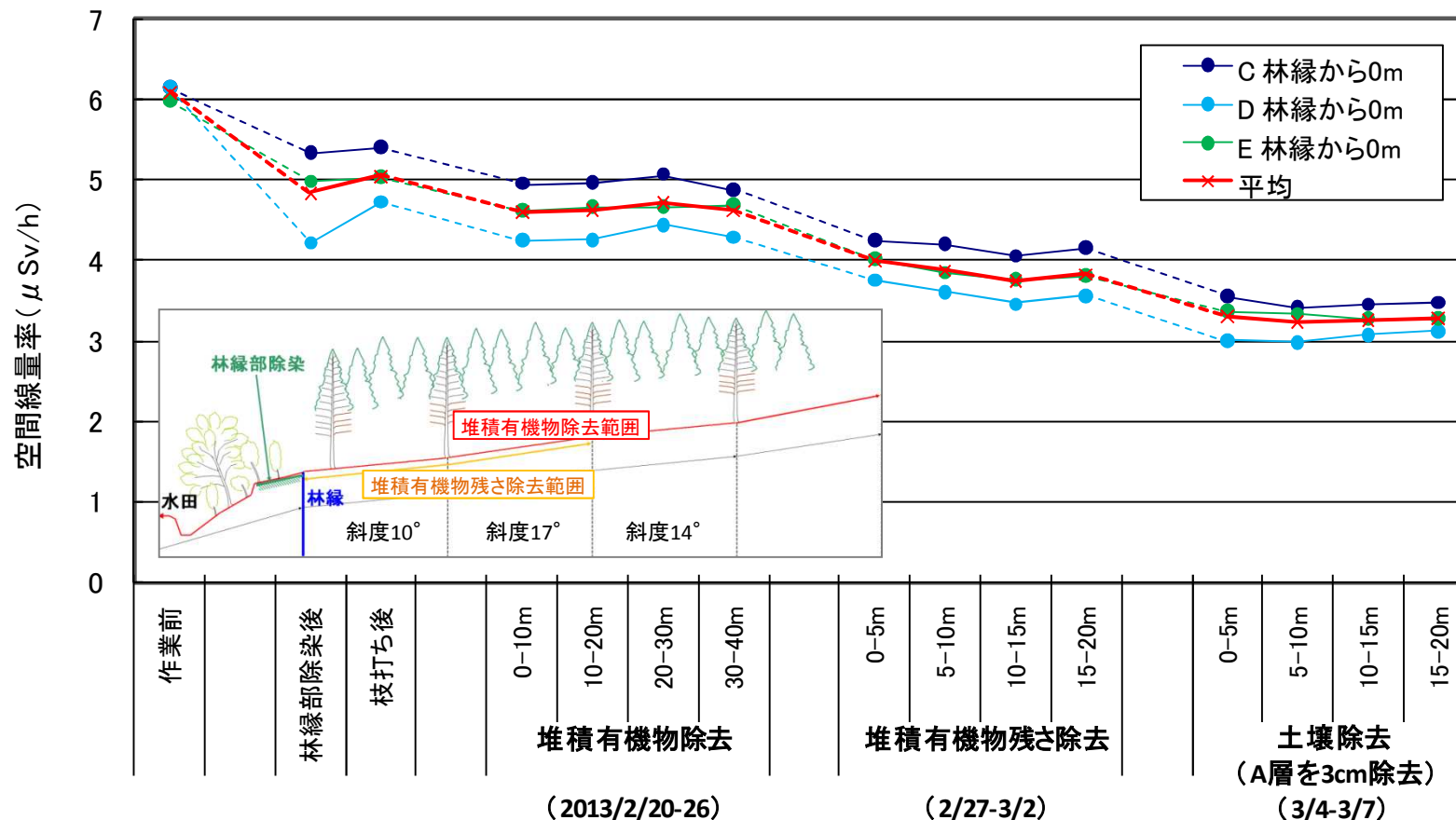


根がむき出しの状態

試験結果

○除染範囲、除染方法の違いによる林縁の空間線量率

- 堆積有機物除去の範囲を拡大(20m⇒40m)することによる効果なし。
- 堆積有機物除去に加えて、堆積有機物残さ除去を実施することで林縁の空間線量率は低減。
- 堆積有機物残さ除去は、林縁から5mが効果的。



注) 本結果における空間線量率は、試験区間周囲の農地等の除染が未実施の状態にて測定されたもの。

林縁の空間線量率(1m高さ)の推移

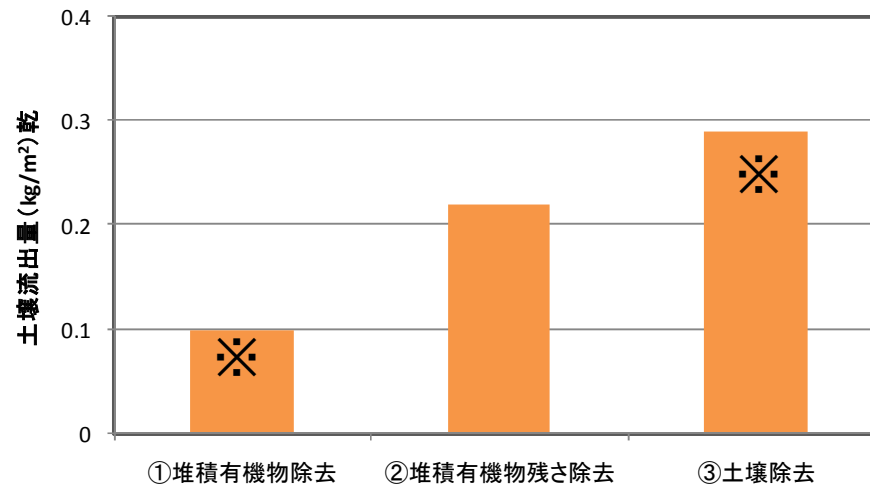
土壤流出量(積算値)

3種類の除染手法(土壤除去、堆積有機物残さ除去、堆積有機物除去)を施工した斜面に試験枠を設置し、約3ヶ月間の土壤流出量を調査

- 土壤流出量は、除染深度が深くなるにつれて多くなっている。

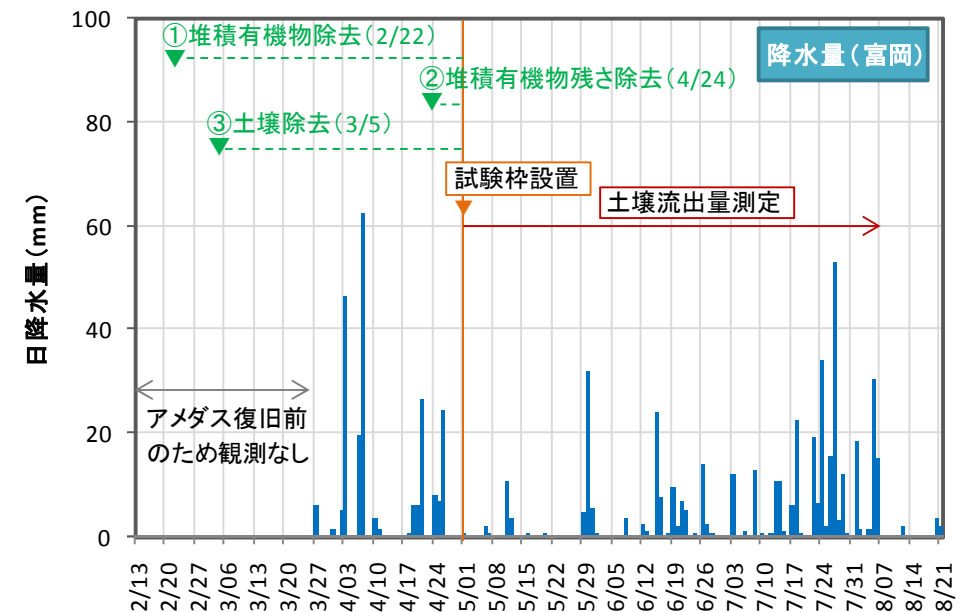


斜面試験枠(幅2m×奥行き5m)



	堆積有機物除去	堆積有機物残さ除去	土壤除去
試験斜面枠設置時期	2013/5/1	2013/5/1	2013/5/1
除染時期	2013/2/22	2013/4/24	2013/3/5
(参考) 流出土壌の放射性Cs濃度	28 kBq/kg	147 kBq/kg	154 kBq/kg

※①定積有機物除去及び③土壤除去を実施してから試験枠を設置するまで約2ヶ月間の土砂流出が捕らえられていないことに留意が必要。



日降水量の推移と試験実施時期

土壤流出量の積算値(5月1日～8月7日)

除去土壌等の発生量

○除染により発生した除去土壌等については、1haあたりに換算すると、堆積有機物除去で146袋（うち、可燃物102袋）、堆積有機物残さ除去で75袋、土壌除去で59袋発生。

（ ）内は1ha当たり

	枝打ち	堆積有機物 除去	堆積有機物 残さ除去	土壌除去
除染面積 (奥行き×幅)	5m×80m =400m ²	40m×80m =3,200m ²	20m×80m =1,600m ²	20m×80m =1,600m ²
除去土壌等 発生量※	2袋 (50袋)	46.5袋 うち、可燃物 32.5袋 (146袋) (うち、可燃物102袋)	12袋 (75袋)	9.5袋 (59袋)

※発生した耐久性大型土のう袋(フレコンパック)の実数量
(なお、枝打ちにより発生した廃棄物はチップ化後に封入)

(2) 福島市：大波地区生活圈森林モデル除染

○目的

- 住宅を中心とした生活圈森林や斜面を除染することで、住宅内の空間線量率を低減させること

○除染手順

1. 下草刈り、落葉等の堆積有機物除去

手順① 1面(斜面下から5m)の下草刈りと堆積有機物除去 → 効果の確認

手順② 2面(5mから10m)の下草刈りと堆積有機物除去 → 効果の確認

手順③ 3面(10mから奥方向)の下草刈りと堆積有機物除去 → 効果の確認

2. 竹箒による植物の根を残しながらの堆積有機物残さ除去

手順④ 1面(斜面下から5m)の堆積有機物残さ除去 → 効果の確認

手順⑤ 2面(5mから10m)の堆積有機物残さ除去 → 効果の確認

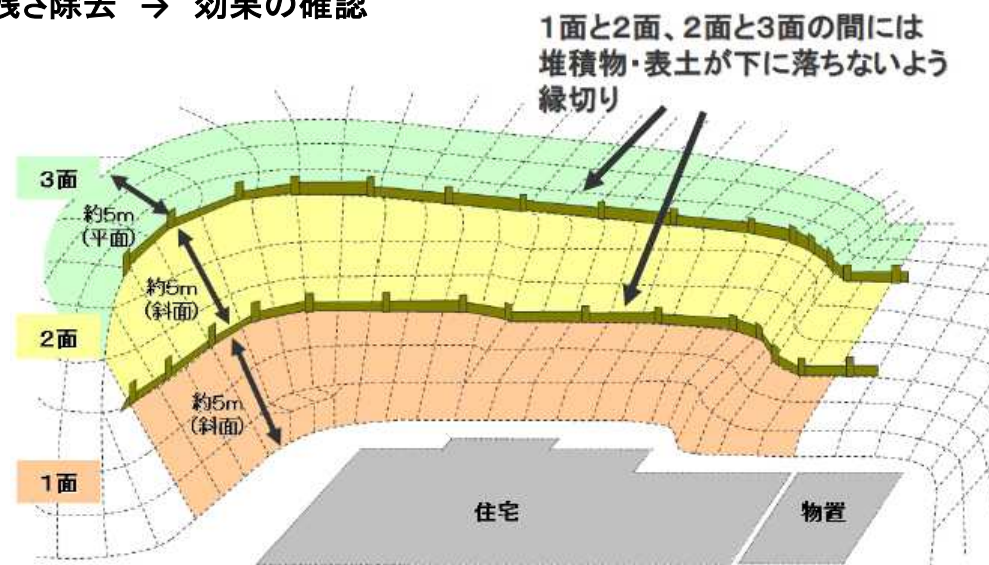
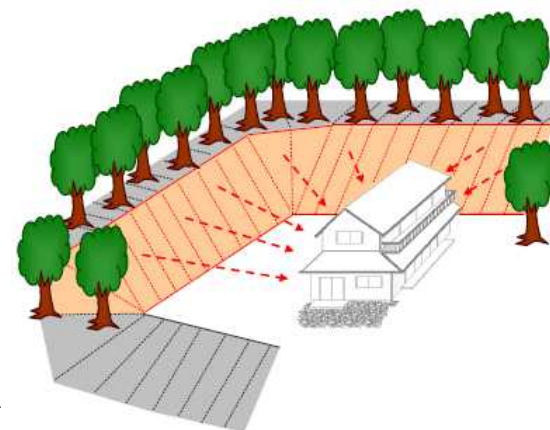
手順⑥ 3面(10mから奥方向)の堆積有機物残さ除去 → 効果の確認

3. 再汚染防止

土のうによる斜面への雨水流入防止

○除染期間

- 2013年4月15日～4月17日



※当該モデル除染では3軒を対象に実施しているが、ここでは2軒目のモデル除染を掲載

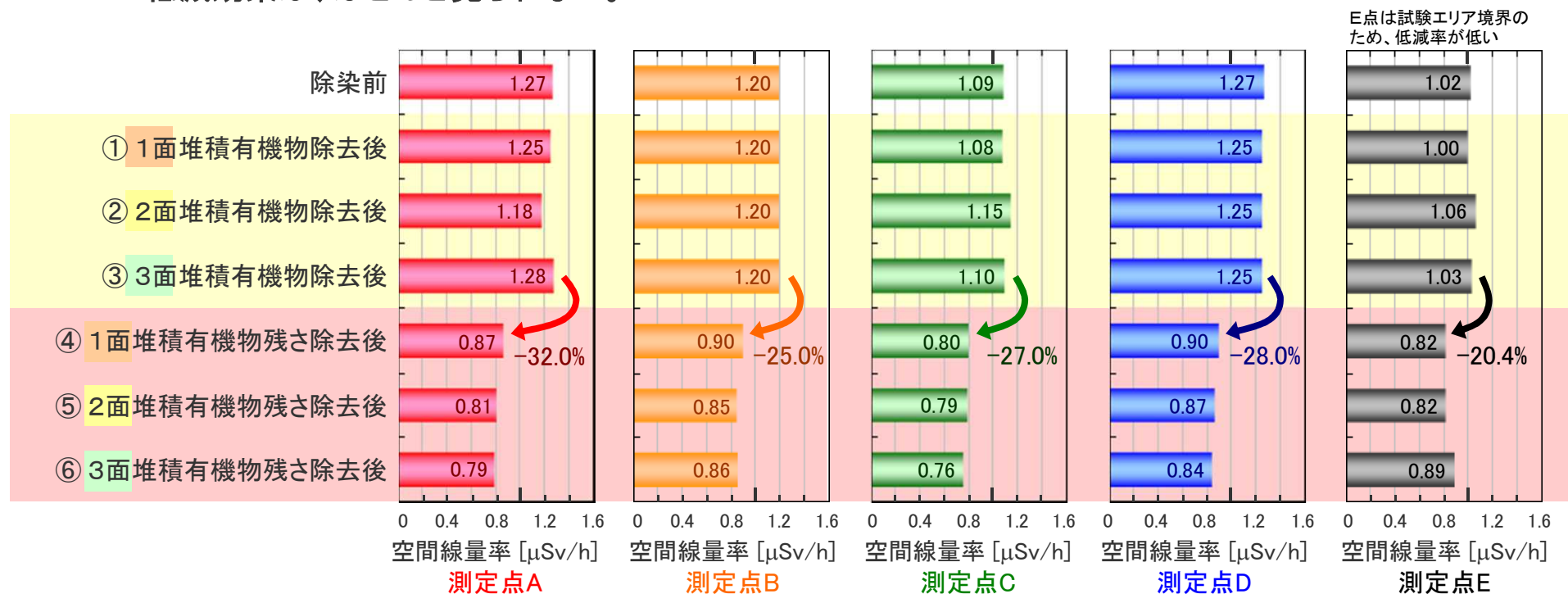
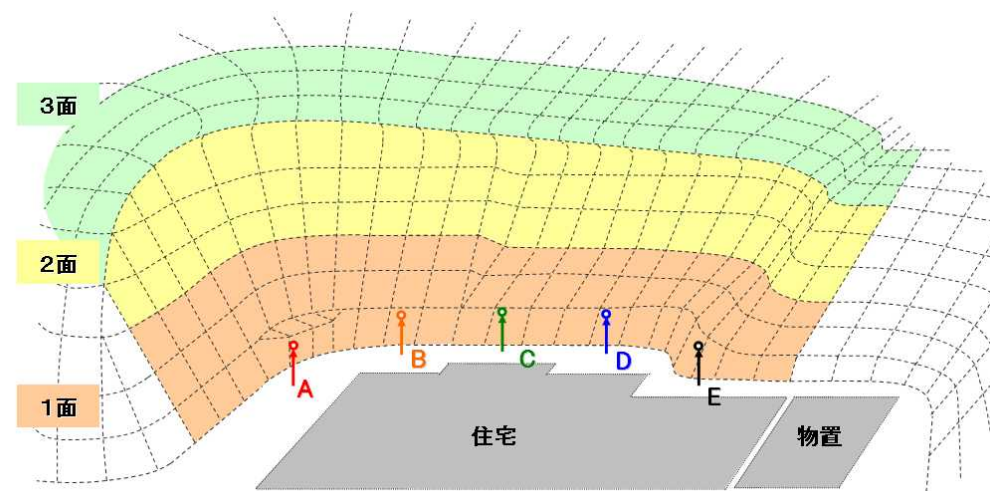
除染結果(斜面下の空間線量率:高さ1m)

●除染結果

1. 斜面下の空間線量率(高さ1m)

<知見>

- ・ 落葉等の堆積有機物除去による線量低減効果は、－1%程度で誤差の範囲。
- ・ 1面(住宅から5m)の堆積有機物残さ除去による線量低減効果は、－30%程度。
- ・ 2面以降の堆積有機物残さ除去による線量低減効果は、ほとんど見られない。



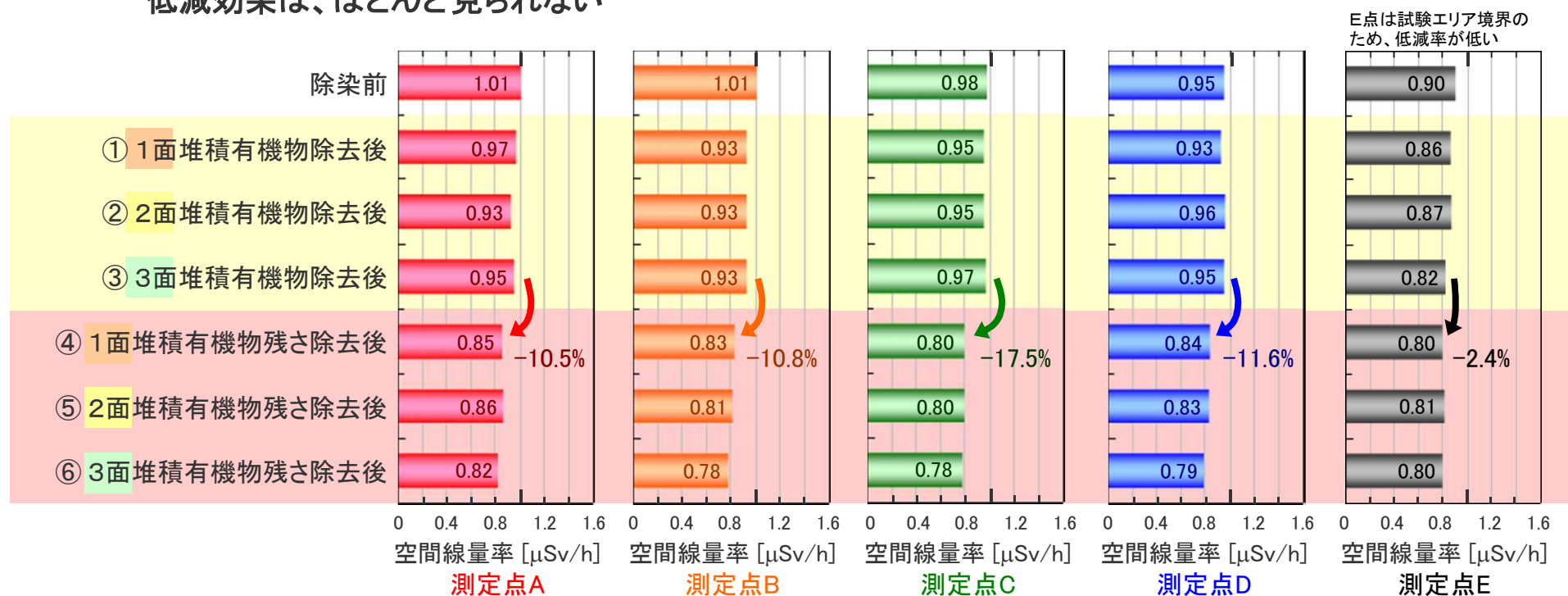
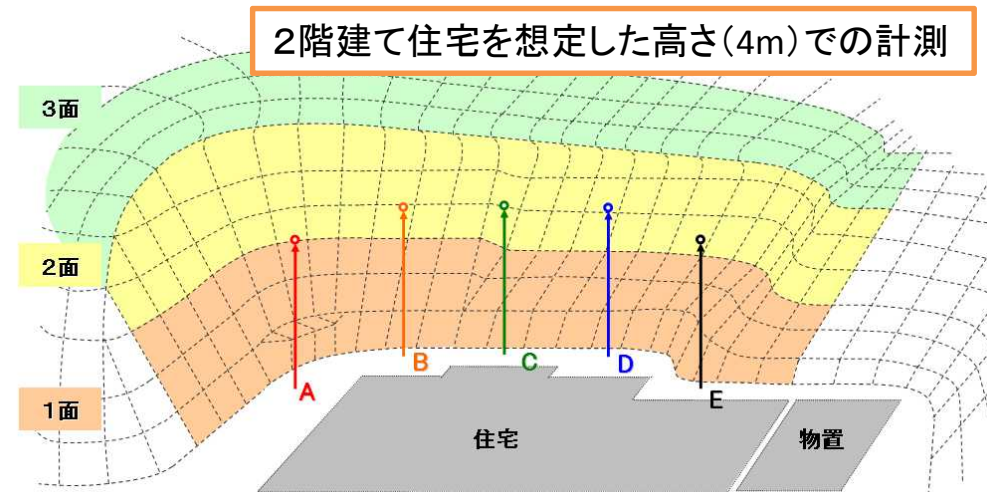
除染結果(斜面下の空間線量率:高さ4m)

●除染結果

2. 斜面下の空間線量率(高さ4m)

<知見>

- ・ 落葉等の堆積有機物除去による線量低減効果は、-3%程度で誤差の範囲
- ・ 1面(住宅から5m)の堆積有機物残さ除去による線量低減効果は、-10~-18%
- ・ 2面以降の堆積有機物残さ除去による線量低減効果は、ほとんど見られない



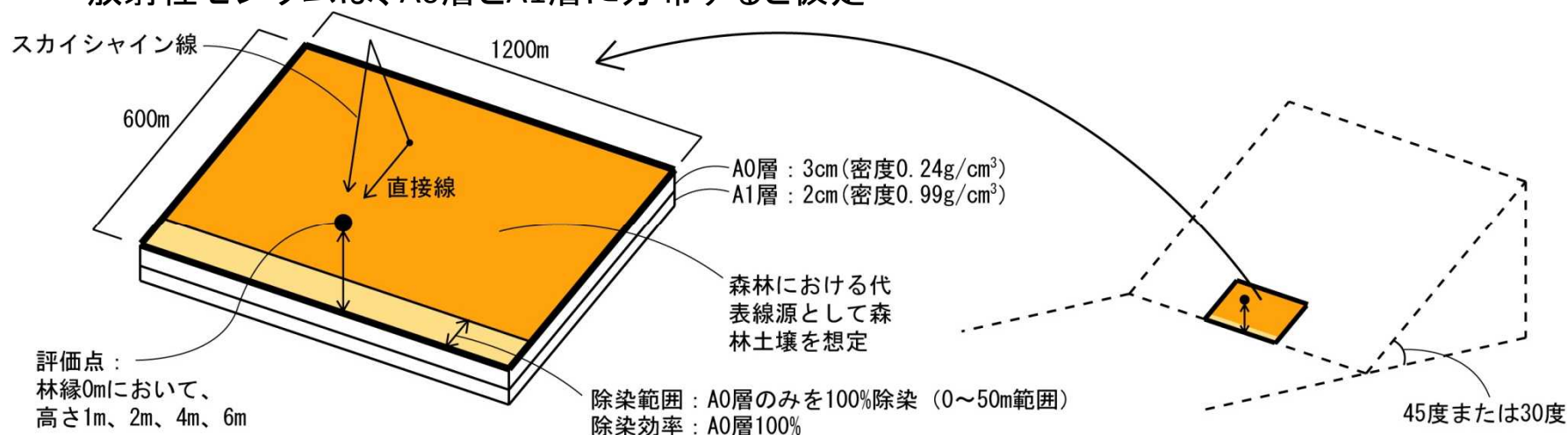
JAEAによるシミュレーション解析

○目的

- 林縁での2階建て住宅に相当する高さまでの条件に対し、除染による線量率の低減の効果を把握する。

○数値シュミレーションモデルの概要

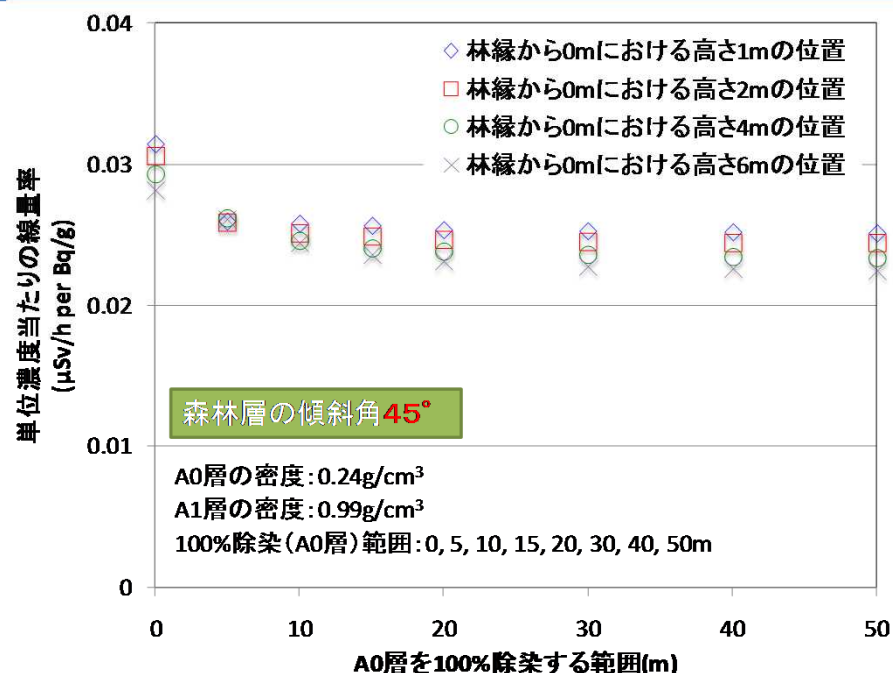
- 除染範囲としてA0層を想定、面的な線源からの直接線及びスカイシャイン線による生活圏における線量率(線源の単位濃度あたりの実効線量)を計算
- 線源の三次元の幾何形状を模擬することが可能であり、スカイシャインを考慮した外部被ばく線量の評価に関して使用実績のあるモンテカルロ法による3次元輸送計算コードMCNP-4Cを使用して、線量率($\mu\text{Sv/h per Bq/g}$)を計算
- 単位濃度(1Bq/g)を放射線源として計算(Cs-134:Cs-137=0.446:0.554)
- 放射性セシウムは、A0層とA1層に分布すると仮定



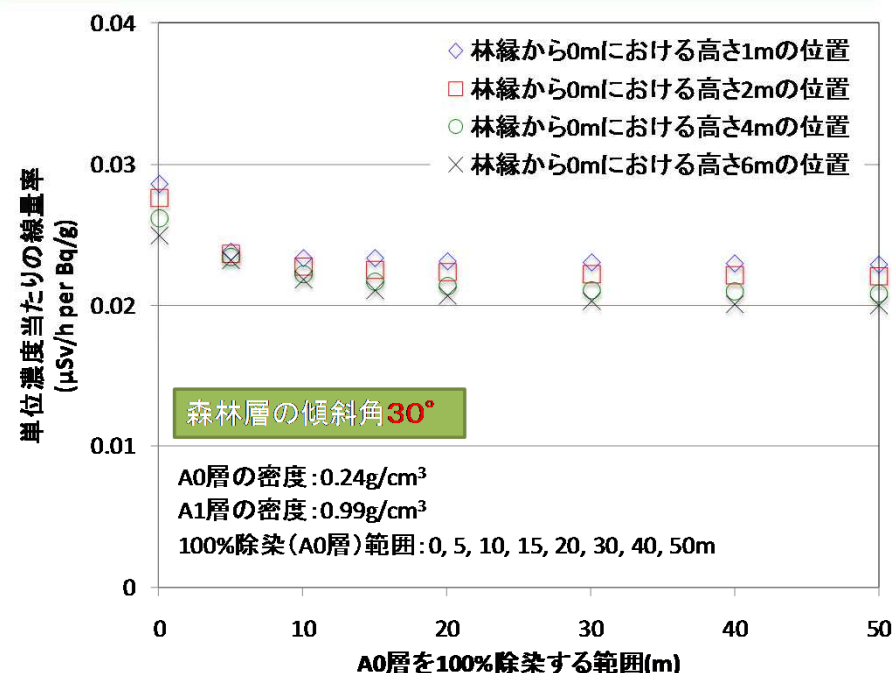
林縁の空間線量率の低減に有効な森林除染の範囲

○数値シミュレーション(森林斜面角度・除染範囲・評価点高さの関係)

- 森林斜面の傾斜角45°の方が、30°よりも大きな線量率となる。
- 林縁から5～10m程度の堆積有機物除去が林縁の空間線量率の低減に効果的。
- 林縁から20m以上堆積有機物を除去しても、森林斜面の傾斜角や評価点の高さによらず、低減効果はほとんど変わらない。



低減効果	5m	10m	20m		50m
高さ1m	-17 %	-18 %	-19 %		-20 %
高さ4m	-11 %	-16 %	-19 %		-20 %



低減効果	5m	10m	20m		50m
高さ1m	-17 %	-18 %	-19 %		-20 %
高さ4m	-10 %	-15 %	-18 %		-20 %

森林除染による線量率低減に関する感度解析(森林斜面角度・除染範囲・評価点高さの関係)

住民が飲用する沢水のモニタリング結果

エリアA-5

○福島県内の避難区域等のうち、要望のあった市町村において**住民が飲用する沢水のモニタリング**を実施(平成24年12月から採水開始)

調査対象

飯舘村*、大熊町、葛尾村、川内村、川俣町*、田村市*、浪江町、楡葉町、広野町

*平成25年3月から採水開始

○採水頻度・箇所(平成25年5月時点)

- 毎月の採水 : 117箇所(うち、10箇所は年度に1回の採水)
- 毎日の採水 : 15箇所(自動採水装置)

○結果概要

- 平成24年12月～平成25年5月に採取した**約2,200検体のうち、10検体で放射性セシウムが検出**(Cs-134: 検出下限値未満～2.3Bq/L、Cs-137: 1.2～4.4Bq/L)され、その他は検出下限値未満(検出下限値: 1Bq/L)
- 放射性セシウムの検出が見られた検体について、孔径1 μ mのガラス繊維ろ紙等により**ろ過し、再度測定した結果、全検体で検出限界値未満**(検出下限値: 1Bq/L)。



毎月の採水状況の例(川俣町)



自動採水装置の設置例(飯舘村)

(出典) 環境省：避難等区域における沢水モニタリングの測定結果について(平成24年12月～平成25年2月採取分)
環境省：避難等区域における沢水モニタリングの測定結果について(平成25年3月～5月採取分)

これまでの取組

- キャンプ場など個別の状況に応じ、除染等の適切な対応を実施。
- 除染関係Q & Aにおいて、子どもが利用するキャンプ場等は、「公共施設のうち、学校等子どもが長時間生活するもの」に該当するとして、除染の対象としているところ。

ほだ場について、「放射性物質低減のための原木きのこ栽培管理に関するガイドライン案について」(栽培管理ガイドライン案)を踏まえた考え方の整理

○除染の対象

- 栽培の継続・再開が見込まれる場合、除染の対象として位置付けることを可能とする。
- 栽培を行う者において、栽培管理ガイドライン案に基づく管理を適切に実施すること。

○除染方法及び範囲

- 住居等近隣の森林の除染方法に準じ、落葉等の除去の実施を基本とする。
- ほだ木の伏せ込み等を行う場所及びその周辺20m程度の範囲の森林を目安とすることが効果的・効率的。
- ただし、落葉等の除去後の放射線量の低減状況を確認しつつ、その範囲を決定する。

○その他

- 特措法に基づく除染と栽培管理ガイドライン案に基づく措置の実施者が異なる場合は、除染の実施者である市町村と、ほだ場を管理している事業者等との間で工程調整等を行うよう努める。



(出典) 栃木県HP

(参考) 健全なほだ場の例

(参考)平成25年3月29日付 林野庁経営課特用林産対策室長 事務連絡
「放射性物質低減のための原木きのこ栽培管理に関するガイドライン案について」(概要)

1 趣旨

現時点での知見や取組状況を集積し、放射性物質の影響を低減するための具体的な栽培管理の取組事項をガイドラインとして提示。

2 栽培管理の内容

(1)都道府県が、ガイドラインを基に、出荷制限の状況、空間線量率などを勘案して、地域の実情に応じた取組事項を選択したチェックシートを作成。

(取組事項)

ア きのこ原木・ほだ木を当面の指標値以下とする必須工程	イ 放射性物質の影響を低減するための重要工程
① 原木・ほだ木の購入時の確認と管理 ② 発生前のほだ木の管理の工程における放射性物質の検査及び結果の確認 ③ 指標値を超えた原木・ほだ木の廃棄又は再検査	① 原木・ほだ木の洗浄 ② 空間線量率の測定 ③ ほだ場など作業場所の環境整備 ④ 安全性を確認するための発生したきのこの検査

(2)生産者は、チェックシートを基に栽培管理を実施。

3 出荷制限の解除等

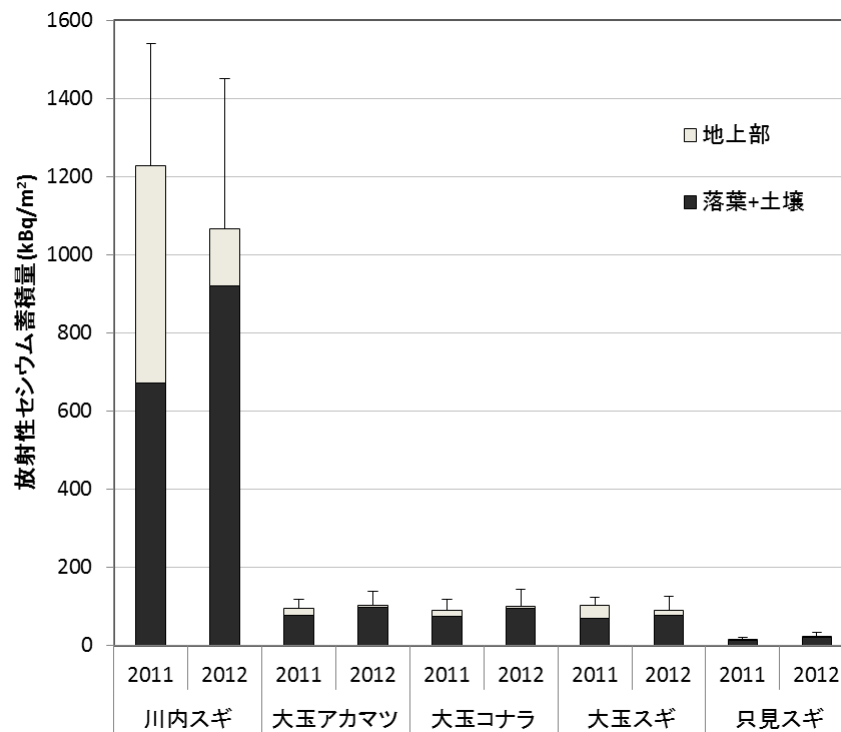
(1)本ガイドラインは、出荷制限が指示された地域か否かを問わず、安全なきのこを栽培するためのものとして位置付け。

(2)出荷制限が指示された地域については、放射性物質の影響を低減させるための本ガイドラインを活用した栽培管理の実施により、基準値を超えるきのこが生産されないと判断された場合、出荷制限の解除が可能。

(1) 森林全体の放射性セシウム蓄積量

○福島県内の3試験地の調査結果(林野庁)

- 森林全体の放射性セシウム蓄積量は、前年と比べて大きな変化はなく、減少した林でも、減少割合は放射性セシウムの物理的減衰による低減率と同程度。
- 空間線量率の低下状況や、蓄積量の変化状況から、放射性セシウムの森林外への流出量は少ないと考えられる。



川内のスギ林、大玉のスギ林の放射性セシウムの蓄積量は、両林とも前年比87%に低下。

(※物理的減衰により86%に減少)

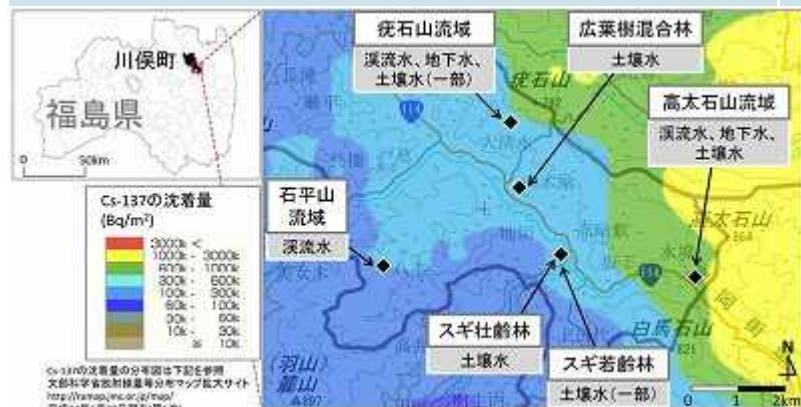
2011年と2012年における森林全体の放射性セシウム蓄積量(縦棒は標準偏差)

(2) 森林からの放射性セシウムの流出

- Cs-137はほとんどが懸濁態物質として流出。
- Cs-137の年間流出率は0.02～0.13%と試算され、過去の知見とほぼ同様の傾向。

土壌への沈着量とセシウム137流出率(川俣町の3流域:文部科学省(JAEA))

流域及びプロット	疣石山流域	石平山流域	高太石山流域
期間	3調査期間(44～45日間)※1		
Cs-137の土壌への沈着量(Bq/m ²)	544,000	298,000	916,000
Cs-137流出量※2(Bq/m ²)	87.4	26.3	20.5
Cs-137流出量に占める懸濁態物質の割合	98%	90%	97%
土壌への沈着量に対する流出率	0.016%	0.009%	0.002%



※1: 3流域の比較可能な平成24年10月1日～9・10日、10月22日～11月3日、11月29・30日～12月18・19日調査期間(44～45日間)を抽出し合計。

※2: 渓流水における溶存態、SS(懸濁態物質)、粗大有機物(渓流水中の葉や枝等)の合計

- ・溶存態: 平成24年8月、10月の平常時における溶存態放射性セシウム濃度を渓流水の流出量にかけた。
- ・SS: SSサンプラーの放射性セシウム濃度を濁度計の連続データと流量から得られたSSの流量にかけた。
- ・粗大有機物: 有機物の放射性セシウム濃度をトラップされた全量にかけた

(出典) JAEA: 平成24年度放射能測定調査委託事業「福島第一原子力発電所事故に伴う放射性物質の長期的影響把握手法の確立」成果報告書

(参考)Cs-137の年間流出率

0.13%

0.07%

0.02%

※上記データより、土壌への沈着量に対する流出率と調査期間から年間流出率に単純に換算。(環境省除染チームによる試算)
放射性セシウムの自然崩壊や対象期間内の降雨の状況等は考慮していない。

水環境の放射性セシウム濃度の経時変化

エリアC-2

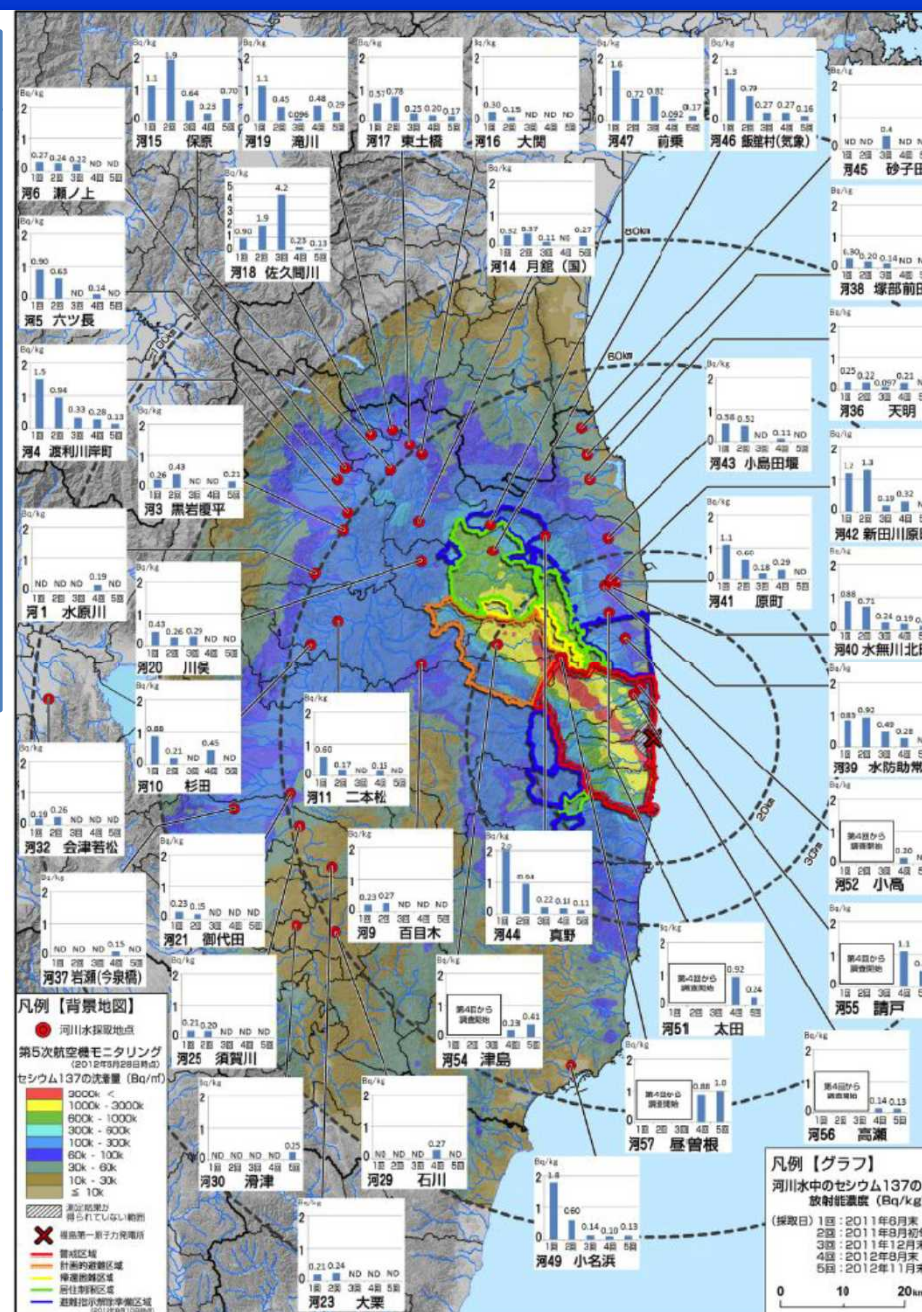
(1) 河川中の放射性セシウム濃度

○河川における放射性セシウム等の存在量の変化状況の確認

- ・第1回調査:平成23年6月
- ・第2回調査:平成23年8月
- ・第3回調査:平成23年12月
- ・第4回調査:平成24年8月
- ・第5回調査:平成24年11月

- 河川水の放射性セシウム濃度の存在量は**全体的には減少傾向**にある。

河川水中の放射性物質の放射能濃度
(セシウム137)



(出典) JAEA: 平成24年度放射能測定調査委託事業「福島第一原子力発電所事故に伴う放射性物質の長期的影響把握手法の確立」成果報告書

(2) 地下水の放射性セシウム濃度

環境省が総合モニタリング計画に基づき平成23年10月から実施している地下水のモニタリング調査の結果

○福島県内の地下水の放射性セシウム(Cs-134, Cs-137)濃度

- 採水日 : 平成23年10月～平成25年2月
- 採水検体数: 1,083検体(福島県内約300地点)
- 測定結果 : 一部を除き、**全て検出限界値未満**(検出限界値:1Bq/L)
(1地点でCs-134が、2地点でCs-137が、それぞれ検出限界値＝1Bq/Lを検出)

○福島県外の地下水の放射性セシウム(Cs-134, Cs-137)濃度

- 採水日 : 平成23年10月～平成24年12月
- 採水検体数 : 741検体(福島県外約340地点)
- 測定結果 : **全て検出限界値未満**(検出限界値:1Bq/L)

- 除染等に関する日米協力の一環として、日米間における最新の技術や知見の共有を図り、今後の除染等に役立てていくことを目的に、7月17日(水)～18日(木)に「日米ワークショップ」を開催。

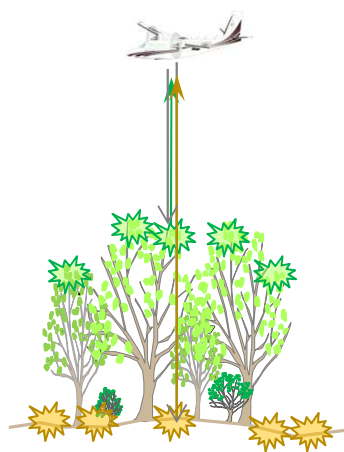
除染に関する「日米ワークショップ」からの知見

- 米国エネルギー省では福島近郊と類似の特徴を有している森林における放射性セシウム137の挙動に関する50年間にわたる長期的なデータを有している。
- ・ 森林の構成要素間における放射性セシウム137の循環は長期間継続する。
 - ・ 土壌への強い吸着及び自然崩壊により、時間の経過に伴う森林の他の構成要素への移動は少なくなる。
- 可能性のある回復方法と留意点は以下のとおり。

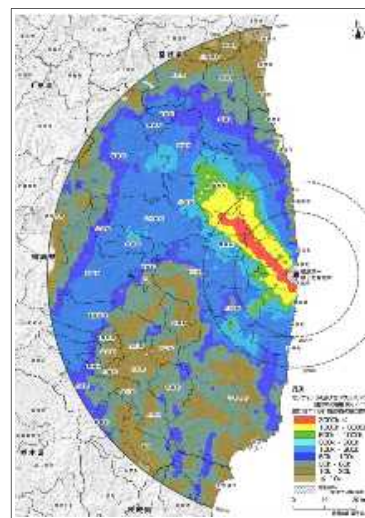
区分	備考
リター層と土壌の掘削	土壌の浸食の増大や生態系への重大な影響に注意が必要
土壌の処理	広範囲に実施した場合大きな費用が必要
減衰の監視	森林へのアクセスの制限や生物相と流れの注意深い監視が必要
各種方策の組合せ	ホットスポットの掘削、対象地域の限定、低濃度地域では自然減衰に期待、注意深い監視

林野庁：森林における放射性物質拡散防止対策のための基礎調査（実施中）

- 航空レーザ計測等により把握した土砂流出ポテンシャルや放射性物質沈着量情報から、森林からの放射性物質流出リスクを評価。
- 3箇所モデル流域を設定し、現地踏査による実際の林況（樹種、下層植生等）や下流域の土地利用状況等を加味した、間伐等の放射性物質拡散防止対策の優先度評価手法を開発。



航空レーザ計測による下層
植生繁茂状況の解析



放射性物質沈着量情報

間伐等放射性物質拡散防止対策
の優先的な実施

