

森林における放射性物質の拡散防止 技術検証・開発事業の結果について

平成25年8月
林野庁

1 事業の概要

(1) 川内試験地	1
(2) 広野試験地	2
(3) 飯舘試験地	3

2 試験結果

(1) 落葉等除去や伐採による線量低減効果	4
(2) 放射性物質の森林内の部位別分布状況	6
(3) 木材チップを用いた被覆による線量低減効果	8
(4) 落葉等除去や間伐実施箇所における放射性物質移動量	9
(5) 表土流出防止工における吸着材の効果	10
(6) 濁水防止工における吸着材の効果	11
(7) 作業者の被ばく低減と作業の効率化	12
(8) 丸太の現地保管	15

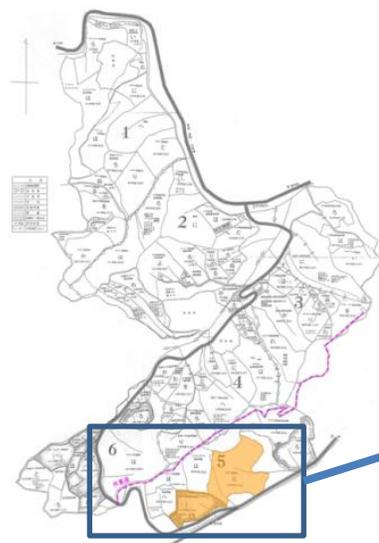
1 事業の概要

(1)川内試験地

- 落葉等の除去、伐採等の森林施業や森林土木の手法による放射性物質の拡散防止技術の検証・開発を実施。
- 平成24年度から、新たに川内村の福島県林業研究センター試験林に試験地を設定し、以下の取組を実施。
 - ① 落葉等除去や伐採に伴う線量低減効果の検証と放射性物質の分布状況の把握(p.4,6-7)
 - ② 機械化による作業効率化や被ばく低減効果の検証(p.12-14)

○ 川内試験地の概況

試験区	樹種	林齢	面積	作業内容	空間線量率 (作業前)	備考
A区	スギ	54年生	1.0ha(100m×100m)	落葉等除去	2.4～5.0 μSv/h	居住制限区域
B区	スギ	43年生	0.36ha(60m×60m)	落葉等除去、皆伐	2.2～4.5 μSv/h	〃



(2) 広野試験地

○ 平成23年度に間伐・皆伐や落葉等除去を行った広野町の試験地において、引き続き以下の取組を実施。

- ① 作業後の土砂や放射性セシウムの移動状況の把握(p.9)
- ② 表土流出防止工や濁水防止工に用いた吸着材の効果の検証(p.10-11)
- ③ 現地発生材の活用と被覆による線量低減効果の検証(p.8)

○ 広野試験地の概況

試験区	樹種	林齢	面積	作業内容	空間線量率 (作業前)
間伐区	スギ	50年生	0.72ha(60m×60m×2箇所)	落葉等除去、間伐(定性・列状)	0.48-0.52 μSv/h
表土流出防止工区	〃	〃	0.30ha(30m×25m×4箇所)	土のう積、丸太柵工、むしろ張り工	〃
濁水防止工区	—	—	(集水面積140ha)	鋼製枠工、布団かご工	—
皆伐区	アカマツ・広葉樹	47-64年生	0.50ha(25m×50m×4箇所)	落葉等除去、皆伐	0.65 μSv/h
不要木除去区	広葉樹	60年生	0.36ha(60m×60m×1箇所)	不要木除去	0.82 μSv/h



間伐区
(スギ人工林)



不要木除去区
(広葉樹二次林)



皆伐区
(アカマツ・広葉樹混交林)



(3) 飯舘試験地

○ 落葉等除去や間伐・皆伐の実施に必要な仕様や歩掛を調査するとともに、その効果を実証するため、飯舘村の国有林2地区(佐須及び八木沢地区)において事業を実施。

- ① 落葉等除去や間伐・皆伐による線量低減効果の検証と放射性物質の分布状況の把握(p.5-6)
- ② 被覆による線量低減効果の検証(p.8)
- ③ 作業に伴い発生する丸太の現地保管(p.15)

○ 飯舘試験地の概況

地区	樹種	林齢	主な作業内容と実施面積※	空間線量率 (作業前)	備考
佐須地区	スギ (一部ヒノキ)	25年生	落葉等除去 0.76ha(20m×380m) 皆伐 0.19ha 間伐 1.98ha(列状2箇所(0.59ha、0.76ha)、定性1箇所(0.63ha))	1.88 μSv/h	避難指示解除準備区域
八木沢地区	アカマツ	40年生	落葉等除去 0.74ha(20m×370m) 皆伐 0.19ha 間伐 2.25ha(列状2箇所(0.71ha、0.75ha)、定性1箇所(0.79ha))	2.18 μSv/h	避難指示解除準備区域

※ 作業実施面積には重複を含む。



2 試験結果

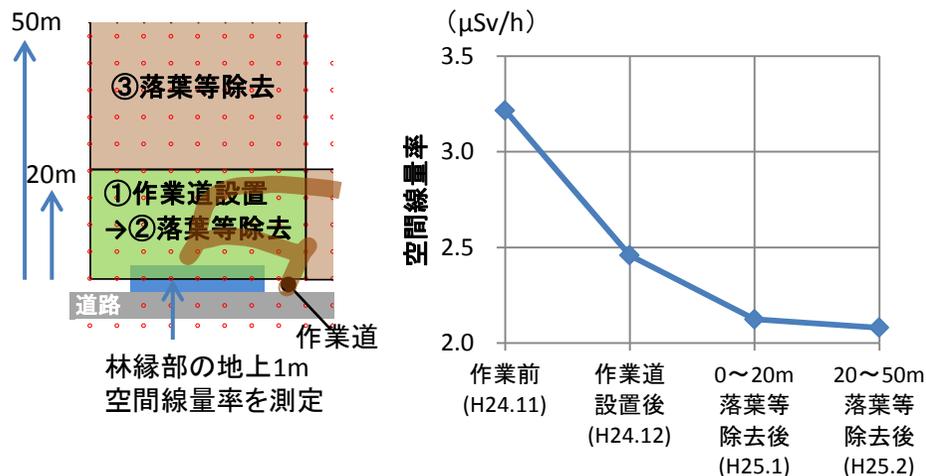
(1) 落葉等除去や伐採による線量低減効果

(川内試験地)

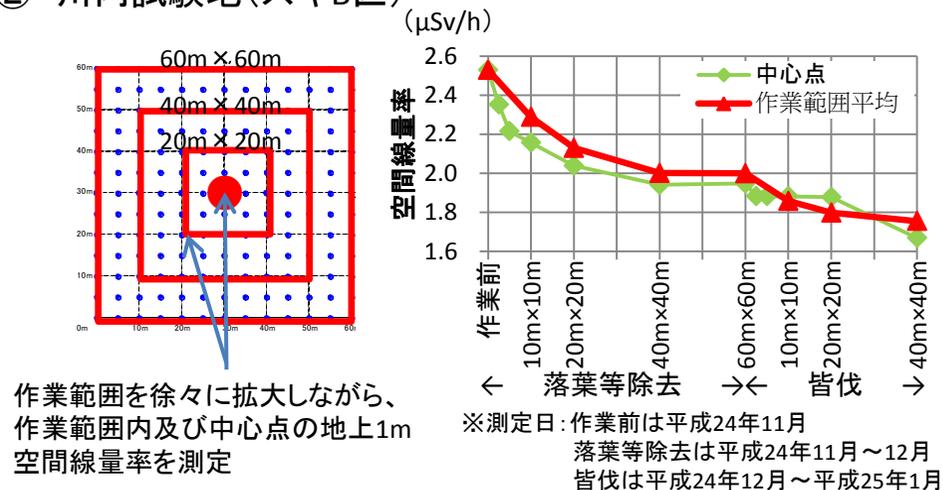
- 川内試験地において、5mメッシュで測点を設け、以下の作業に伴う空間線量率の変化を計測。
 - ① スギA区(54年生): 林縁から0~20mの落葉等除去後、さらに奥まで(林縁から20~50m)落葉等除去を実施。
 - ② スギB区(43年生): 正方形の試験区を中心から外側に向けて徐々に範囲を拡大しながら60m×60mまで落葉等除去を実施。その後、同様に皆伐を40m×40mまで実施。
- スギA区では、林縁部(道路端)の空間線量低減効果は、作業前を基準として、
 - ① 作業道設置及び林縁から0~20mの落葉等除去で34%
 - ② 林縁から20~50mの落葉等除去で追加的に1%(合計35%の低減)
- スギB区では、作業範囲内の空間線量低減効果は、作業前を基準として、
 - ① 落葉等除去で16% (20m×20m)→21%(40m×40m)→21%(60m×60m)
 - ② 皆伐で追加的に8% (20m×20m)→10%(40m×40m) (合計31%の低減)

○ 川内試験地における作業に伴う地上1m空間線量率の変化

① 川内試験地(スギA区)



② 川内試験地(スギB区)

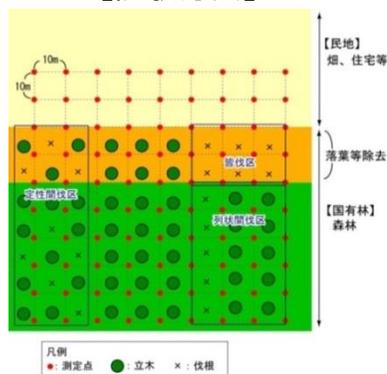


(飯館試験地)

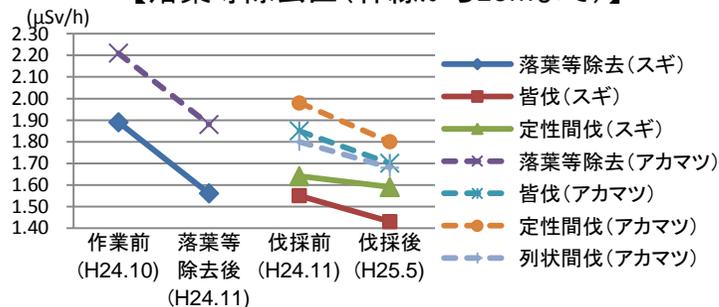
- 飯館試験地(スギ25年生(佐須地区)、アカマツ40年生(八木沢地区))において、10mメッシュで測点を設け、以下の作業に伴う空間線量率の変化を計測。
 - ① 落葉等除去区(林縁から20mまで):落葉等除去後、一部でさらに皆伐や間伐を実施。
 - ② 間伐区(林縁から20m以遠):定性間伐または列状間伐(間伐率(材積)はいずれも33%)を実施。
- 作業範囲内の空間線量率低減効果は、各作業の実施前を基準として、
 - ① 落葉等除去区では、落葉等除去で15~18%、その後の皆伐で8%、間伐で3~9%
 - ② 間伐区では、間伐の実施で4~13%

○ 飯館試験地における作業に伴う地上1m空間線量率の変化

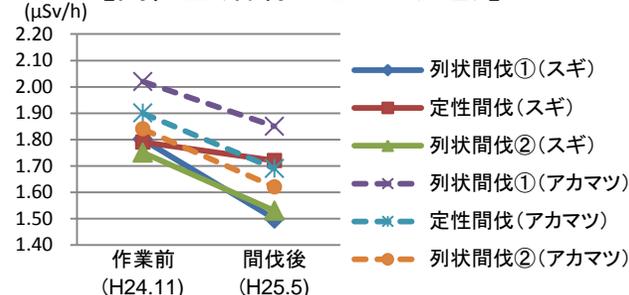
【試験方法】



【落葉等除去区(林縁から20mまで)】



【間伐区(林縁から20m以遠)】



※空間線量率は作業範囲内の平均値。

→ 落葉等除去は20%程度の線量低減効果があり、さらに伐採を行うことによって10%程度の追加的な線量低減効果が得られた。なお、森林の状態や今後の森林内の放射性セシウムの分布変化によって効果は変わりうることに留意が必要。

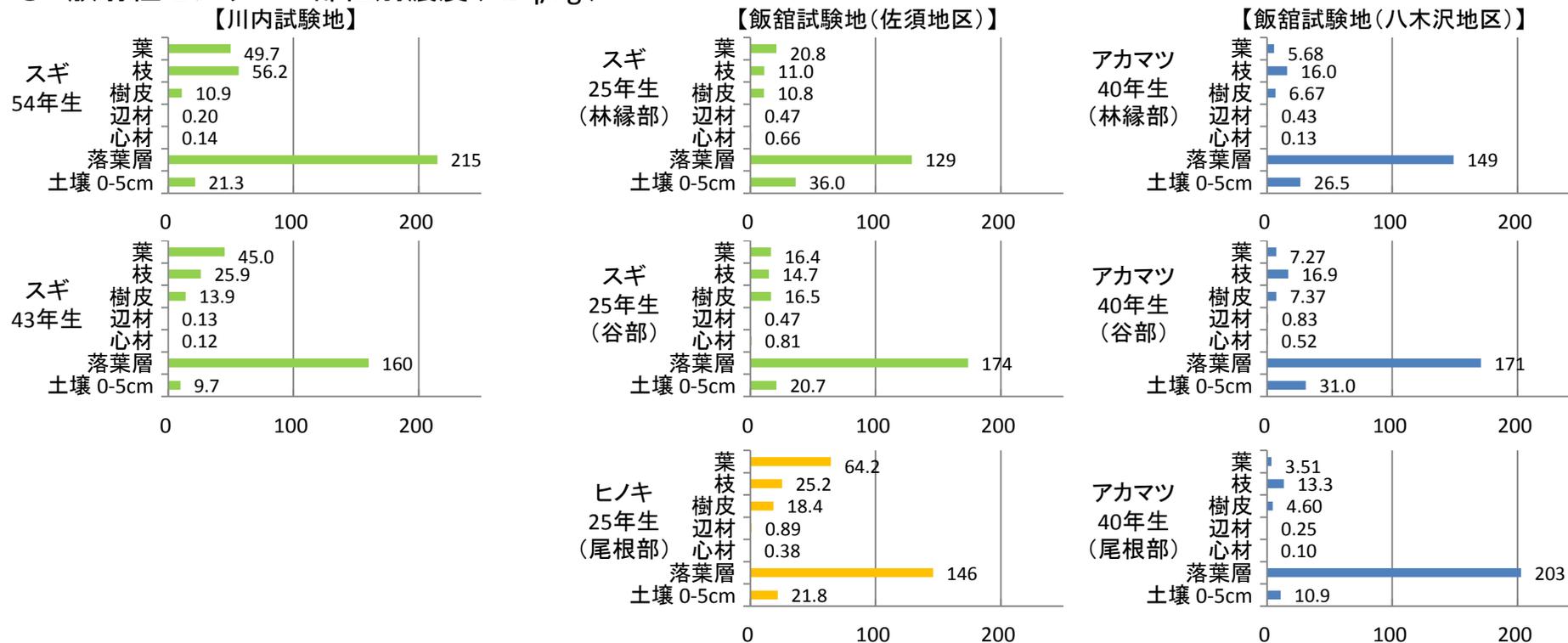
※ 落葉等除去の低減割合はH23年度に実施された調査結果(20m×20m実施の中心点で26%(スギ・ヒノキ林)~37%(コナラ林)の低減)よりも小さくなっており、森林内での放射性セシウムの沈着状況の違いや土壌への移行等の影響が考えられる。

→ 生活空間における被ばく線量低減の観点からは、生活空間に近い箇所での除去割合を高めることが効果的と考えられる。20m以上に実施範囲を拡大することは、空間線量率だけでなく、斜面上部からの拡散リスクの低減等の効果も勘案して検討する必要。

(2) 放射性物質の森林内の部位別分布状況 (濃度)

- 川内試験地及び飯館試験地において、それぞれ太さが異なる3本を調査対象木として伐採し、各部位の放射性セシウム濃度を測定。(調査結果は3本の平均値)
※ 試験地はいずれも除染特別地域内であり、当該地域からの材は流通していない。
- 部位別の放射性セシウム濃度は、落葉層がもっとも高く、土壌(0-5cm)は落葉層の1/4~1/20程度。樹木の部位別では、葉や枝が高く、次に樹皮で、幹材にはわずか。
- 樹種別には、ヒノキで葉の濃度が高く、アカマツで低い傾向。また、所在箇所(林縁部・谷部・尾根部)による傾向の違いはみられなかった。

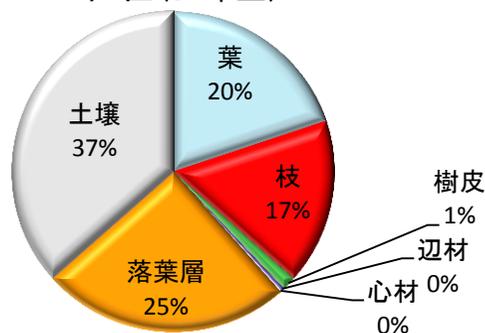
○ 放射性セシウムの部位別濃度 (kBq/kg)



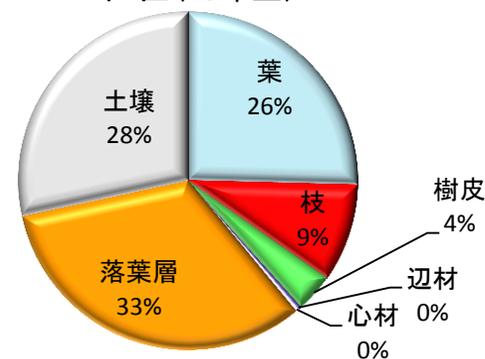
(現存量)

- 川内試験地において、単位面積当たりの落葉層、土壌及び樹木の各部位の現存量を推計し、それぞれの放射性セシウム濃度を乗じて放射性セシウムの現存量を求め、部位別分布割合を算出。
- 部位別放射性セシウム分布割合は、樹木部38～39%、落葉層25～33%、土壌(0-5cm)28～37%。
- 放射性セシウムの部位別分布割合

スギA区(54年生)



スギB区(43年生)



※ 現存量の傾斜補正については、サンプル採取箇所周辺の平均値を用いた。
 ※ 土壌は0-5cmの深さの合計である。

【参考】平成24年度森林内における放射性物質分布状況調査結果(平成25年3月29日農林水産省)より

川内(スギ43年生)



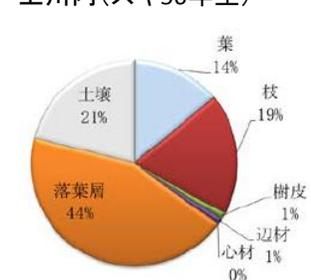
大玉(スギ42年生)



只見(スギ41年生)



上川内(スギ56年生)



※ 土壌は0-20cmの深さの合計である。

→ 平成25年3月29日の調査結果(上川内を除く)に比べ、樹木部の分布割合が高いのは、枝葉の現存量が多いためと考えられる。一方、上川内で落葉層の分布割合が高いのは、落葉層が発達しているためであり、森林の状態によって分布割合の違いが大きい。

(3) 木材チップを用いた被覆による線量低減効果

- 木材チップによる被覆の効果について、以下の作業前後の空間線量率の変化を計測して検証。
 - ① 飯館試験地において、別途搬入した木材チップで林床を被覆（被覆厚5cmと10cm）。
 - ② 広野試験地において、現地で発生した伐採木等をチップ化したもので作業道を被覆（被覆厚10cm）。
- 飯館試験地では、5cm厚で8%、10cm厚で12%の低減となり、被覆の厚さに応じた線量低減効果を確認。
- 広野試験地では、空間線量率は場所によってばらつきがあり、チップの被覆によって間伐区と不要木除去区では12～14%低減したが、皆伐区では大きな差は見られなかった。

○ 木材チップを用いた被覆による地上1m空間線量率の増減率



① 飯館試験地

【被覆厚5cm】

区分	空間線量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	増減率 (%)
被覆前	1.70	▲8.2
被覆後	1.56	

② 広野試験地

【間伐区(スギ50年生)】

区分	空間線量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	増減率 (%)
被覆前	0.35	▲13.9
被覆後	0.30	

【不要木除去区(広葉樹60年生)】

区分	空間線量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	増減率 (%)
被覆前	0.96	▲12.0
被覆後	0.85	



【被覆厚10cm】

区分	空間線量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	増減率 (%)
被覆前	1.86	▲12.4
被覆後	1.63	

【皆伐区(アカマツ・広葉樹47～64年生)】

区分	空間線量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	増減率 (%)
被覆前	0.36	2.4
被覆後	0.37	

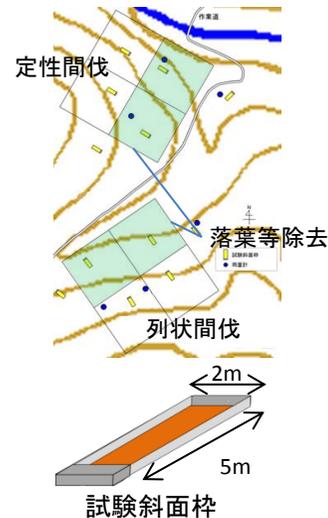
チップによる被覆前(写真上)と被覆後(写真下)の状況(広野試験地)

→ 林床や作業道を木材チップを用いて被覆することにより、概ね10%程度の線量低減効果が得られた。なお、現地発生材を活用することにより、除去物の抑制にも貢献できる。

(4) 落葉等除去や間伐実施箇所における放射性物質移動量

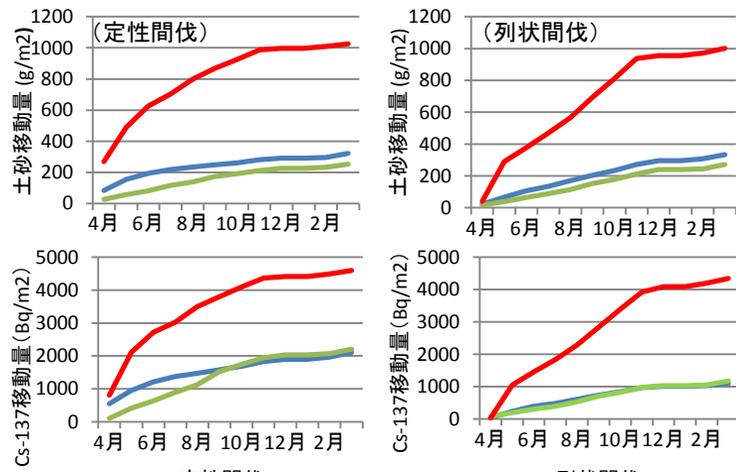
- 広野試験地(間伐区、スギ50年生)において、①定性間伐または列状間伐を実施した区画、②落葉等除去を実施した区画、③対照区にそれぞれ試験斜面枠を設置。枠内下部の捕捉箱で定期的に土砂を回収して放射性セシウム濃度を測定し、捕捉した土砂の量に乗じて放射性セシウムの移動量を推定。
- Cs-137移動量は、土砂の移動量と同様の傾向を示し、1年間(2012年4月～2013年3月)の累計では、間伐を実施した区画では対照区とほぼ同程度なのに対し、落葉等除去を実施した区画は対照区の2～4倍。
- 時系列でみると、土砂とCs-137の移動量は、間伐を実施した区画では2012年7月以降は対照区と同程度か少なくなっており、落葉等除去を実施した区画でも2012年9月以降は対照区と同程度となるケースもあった。

○試験地の概況



試験斜面枠
(金属製の枠を設置し、その内部で移動する土砂の量を測定する装置)

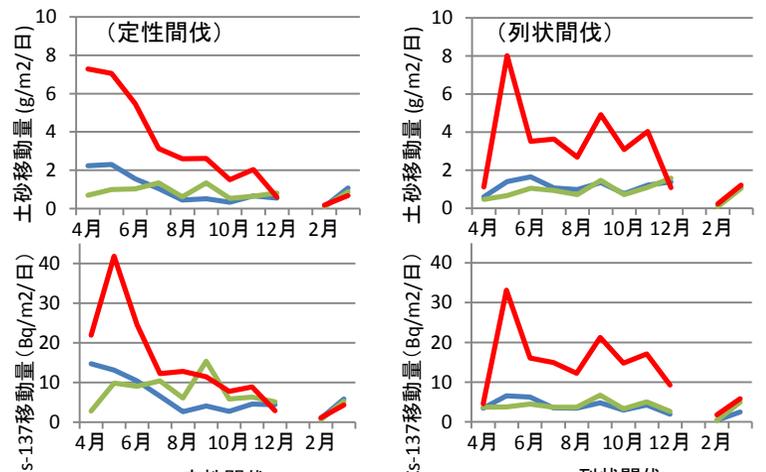
○作業に伴う土砂とCs-137の移動量(累計)



— 定性間伐
— 対照区
— 落葉等除去

— 列状間伐
— 対照区
— 落葉等除去

○作業に伴う土砂とCs-137の移動量(1日当たり)



— 定性間伐
— 対照区
— 落葉等除去

— 列状間伐
— 対照区
— 落葉等除去

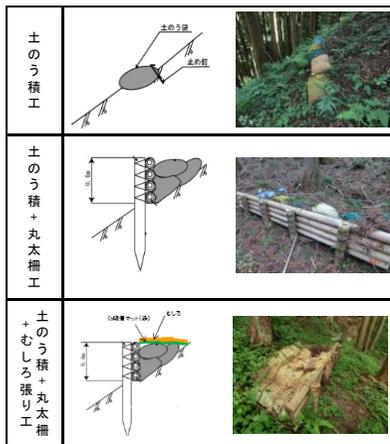
→ 間伐作業に伴う土砂等の移動の影響は軽微。落葉等除去作業に伴い土砂や放射性セシウムの移動が増加するが、徐々に収まっていく傾向。下層植生の回復状況とCs-137移動量の関係は継続的にモニタリングが必要。

→ 住居等近隣の森林で落葉等除去を実施した場合、実施箇所からの土砂等の移動により生活空間へ影響を与えるおそれがあり、必要に応じて表土流出防止効果の高い措置を実施することが望ましい。

(5) 表土流出防止工における吸着材の効果

- 広野試験地(スギ50年生)において、落葉等除去区と対照区にそれぞれ3工法(土のう積工、土のう積+丸太柵工、土のう積+丸太柵+むしろ張り工)の表土流出防止工を吸着材入りの土のうやマットを用いて施工。1年間(2012年3月~2013年2月)経過後の吸着材の放射性セシウム濃度を測定し、吸着材の効果と比較、検証。
- 吸着材のCs-137濃度は、木炭(最大約1,200Bq/kg)やプルシアンブルー(最大約7,600Bq/kg)で高い傾向。
- 吸着材によるCs-137吸着量は、
 - ①土のう積工では落葉等除去区で多い傾向が認められたが、他の工法では認められなかった。
※土砂等の移動に伴うCs-137移動量は、落葉等除去区で対照区の約2倍。
 - ②土のう積+丸太柵+むしろ張り工(吸着マットを設置)では、全体的に土のうへのCs-137吸着量が少なかった。

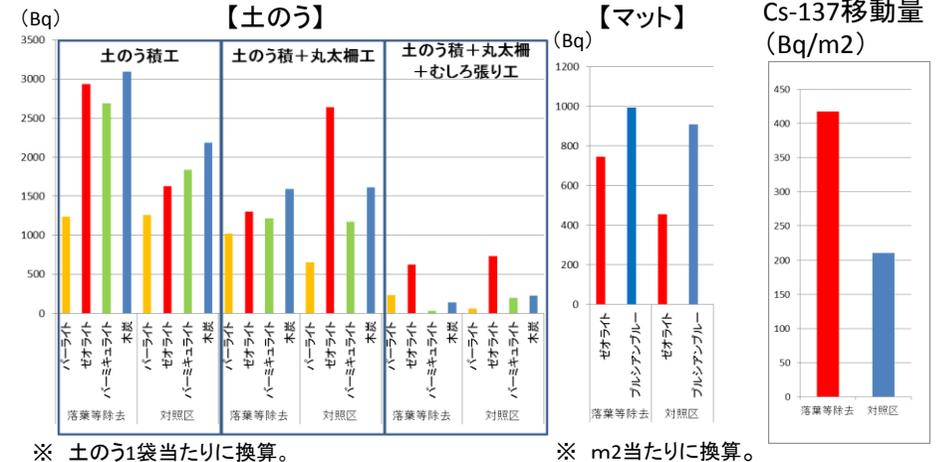
○施工方法



○吸着材のCs-137濃度(Bq/kg)

		【落葉除去区】	【対照区】
土のう	パーライト	65~343	17~349
	ゼオライト	35~163	40~147
	パーミキュライト	7~560	41~382
	木炭	54~1,172	87~828
マット	ゼオライト	5,070	3,090
	プルシアンブルー	7,644	6,980
(参考)	試験区 土壌(0~5cm)	435~823	
	試験区 落葉層	11,000~17,000	

○吸着材によるCs-137吸着量



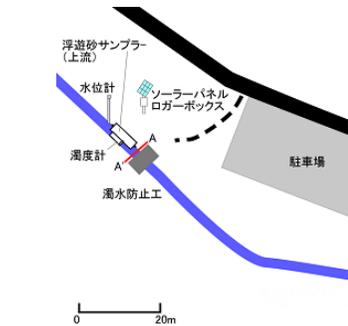
→ 回収した吸着材の放射性セシウム濃度は試験区の落葉層より低く、森林内の放射性物質を吸着・除去する観点からは、十分な効果は期待できないと考えられる。

→ 土砂等の移動が多い箇所では吸着量の増加があまり見られず、吸着マットを設置した工法で土のうへの吸着量が少ないことから、林内雨由来の放射性セシウムを多く吸着している可能性がある。森林内を土砂等とともに移動する放射性セシウムの拡散を抑制する観点からは、施工による物理的な効果について引き続き検証が必要。

(6) 濁水防止工における吸着材の効果

- 広野町の溪流(集水面積140ha、周辺はスギ人工林)において、中詰めに吸着材入りの土のうを用いた濁水防止工を施工するとともに、その上流部に浮遊砂サンプラー等を設置。2012年12月～2013年3月にかけて、渓流水や浮遊砂、回収した吸着材の放射性セシウム濃度の測定等を行い、吸着材による放射性物質の拡散抑制効果を検証。
- 放射性セシウム濃度は、渓流水では検出限界未満、浮遊砂では8,400～11,200 Bq/kgとなった。これに3ヶ月間の期間流量、浮遊砂流出量を乗じ、放射性セシウム流出量は120,000 kBqと推計。
※ 集水域の放射性Cs現存量(67～103 kBq/m² × 140ha)に対する流出割合は0.08～0.13%と推計。
- Cs-137吸着量は合計53.8 kBq/基であり、流出量に対する吸着割合は0.1%未満と推計

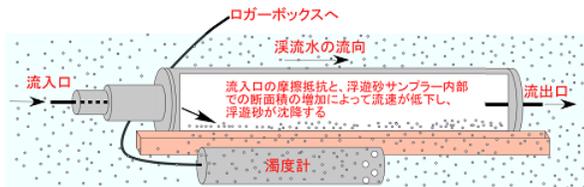
○ 濁水防止工試験地の概況



吸着材の中詰め



施工後の状況



浮遊砂サンプラーの構造



浮遊砂サンプラー設置状況

○ 渓流水、浮遊砂の放射性Cs濃度、放射性Cs流出量

年月日	放射性Cs濃度		期間平均 浮遊砂量 (g/L)	期間 流量 (m ³)	期間 浮遊砂 流出量 (kg)	期間 放射性Cs 流出量 (kBq)
	渓流水 (Bq/L)	浮遊砂 (Bq/kg)				
2012/12/14	N.D.(0.139)	—	—	—	—	—
2013/2/15	N.D.(0.136)	11,200	0.182	49,000	8,930	103,000
2013/3/12	N.D.(0.141)	8,400	0.192	10,200	1,950	17,000
計(12/14～3/12)	—	—	—	59,200	10,880	120,000

※N.Dは検出下限未満、()内は検出下限値。

※放射性Cs流出量の推計に当たっては、渓流水の放射性Cs濃度を検出下限値の1/2とした。

○ 吸着材による効果

区分	ゼオライト	パーライト	バーミキュライト	木炭	合計
3ヶ月経過後の放射性Cs濃度(Bq/kg)	164	290	310	320	—
使用した吸着材の量(kg/基)	157	35	42	15	—
3ヶ月間の放射性Cs吸着総量(kBq/基)	25.7	10.2	13.1	4.8	53.8

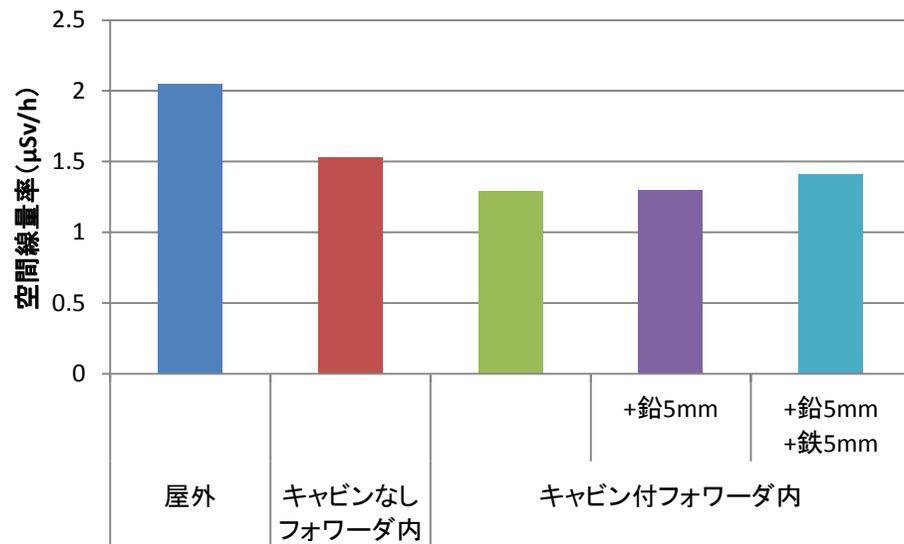
※濁水防止工1基には、各吸着材を土のう10袋ずつ使用。

- 渓流水の放射性セシウム濃度は検出限界未満であり、拡散抑制効果は検証できなかった。浮遊砂に含まれる放射性セシウムに対する吸着量は小さく、下流域への拡散抑制の観点からは、十分な効果は期待できないと考えられる。
- 放射性セシウムの森林からの流出割合は小さいが、その多くは土砂とともに流出することから、放射性セシウムの拡散抑制の観点からは、森林からの土砂の流出を抑制することが重要。

(7) 作業者の被ばく低減と作業の効率化

- 高性能林業機械の活用による作業者の被ばく低減効果について、川内試験地において、屋外と林業機械内の空間線量率を測定したところ、
 - ① キャビン付フォワーダ内の地上2m空間線量率(運転席に座ったときの胸高)は、屋外の地上1m空間線量率(屋外作業者の胸高)と比べ3割程度低減
 - ② 鉛等による遮蔽は大きな効果なし(効果が出る厚みにすると作業に支障)
- 川内試験地において作業種ごとの被ばく線量をみると、キャビン付林業機械による作業の被ばく線量は、屋外作業と比べて35～40%少ない。
 ※ 作業に当たっては、除染電離則に基づく放射線障害防止措置(個人線量管理や汚染検査等)を実施。

○ 作業者が受ける放射線の量の比較



※ 空間線量率は、屋外は地上1m(屋外作業者の胸高)、フォワーダ内はキャビンなしが地上1.2m、キャビン付が地上2m(それぞれの運転席に座ったときの胸高)の値である。

○ 主な作業ごとの被ばく線量

主な作業	日平均被ばく線量(μSv)
落葉等除去	11.1
伐倒(チェーンソー)	10.4
重機オペレーション(キャビンなし)	9.5
重機オペレーション(キャビン付)	6.8

※ 実働時間は1日5時間～5時間30分程度である。

(7) 作業者の被ばく低減と作業の効率化

- キャビン付の高性能林業機械を活用した場合、屋外作業やキャビンなし機械による作業と比べ、被ばく線量が35%低減すると仮定し、一定の作業(3haの皆伐)を異なる作業システムで実施した場合の作業者の被ばく量を推計。
- 作業システムの違いにより、総被ばく量で最大約7倍、一人当たり被ばく量で最大約5倍の差。
 ハーベスタ伐倒・造材＋フォワーダ集材・樅積(下表No.2)や
 人力伐倒＋タワーヤーダ集材＋プロセッサ造材＋グラップル樅積(下表No.4)が有効

○ 作業システムの異なる皆伐作業に伴う作業者の被ばく量の試算

No	作業システム							作業者被ばく量(mSv)	
	伐倒	伐倒・造材	集材	造材	搬出	樅積み	作業人数	総量	一人当たり
1	ハーベスタスキッド		同左	同左		同左	1	0.28	0.28
2		ハーベスタ	フォワーダ			同左	2	0.31	0.15
3	人力(兼荷掛)		スイングヤーダ	プロセッサ	フォワーダ	同左	4	1.39	0.35
3'	人力(兼荷掛)		スイングヤーダ	プロセッサ	フォワーダ	同左	4	1.16	0.29
4	人力(兼荷掛)2人		タワーヤーダ	プロセッサ		グラップル	4	0.51	0.13
5		人力	ウインチスキッド		同左	グラップル	3	1.86	0.62
5'		人力	ウインチスキッド		同左	グラップル	3	1.49	0.50
6	人力(兼荷掛)		グラップル	人力		グラップル	4	1.86	0.47

注1) 空間線量率は、屋外(地上1m)で2.8 μ Sv/h、車両内(地上2m)で1.82 μ Sv/h(屋外と比べ35%低減)とした。

注2) 事業地面積3ha、立木蓄積700m³/ha、作業時間6時間/日とした。

注3) 赤字の高性能林業機械はキャビン付である。

注4) No4の作業は、伐倒とその他の作業間で被ばく量の差が大きいため、作業に当たっては担当内容のローテーションが必要である。

→ 高性能林業機械の活用により、林業に従事する作業者の被ばくを低減させることができる。

(7) 作業者の被ばく低減と作業の効率化

- 川内試験地において、落葉等除去作業の一部にバキューム装置を用いた場合と、全て手作業で行った場合で、作業工程や作業後の状態を比較。
- バキューム装置を用いることにより、作業時間は約3%短縮。さらに、作業後の地表面の放射性物質含有量は45～50%低減。これは、手作業では回収できずに残ってしまう微粒子を吸引できるためと考えられる。

○100m²当たりの作業時間の比較

手作業		バキューム装置を用いた作業	
作業内容	一人当たり作業時間 (単位:時間)	作業内容	一人当たり作業時間 (単位:時間)
手作業による大枝集め (大枝を6箇所を集めてロール化)	2.2	手作業による大枝集め (大枝を6箇所を集めてロール化)	2.2
手作業による落葉掻き (熊手による落葉掻き、フレコンバッグへの詰め込み)	2.28		
		手作業による落葉粗掻き (熊手による落葉粗掻き)	0.72
		バキューム装置の吸引による回収 (落葉粗掻き作業で残った落葉、小枝を吸引し、フレコンバッグへ直接投入)	1.62
落葉掻きで回収できなかった落葉、小枝の手回収	0.19		
作業時間合計(A)	4.67	作業時間合計(B)	4.54

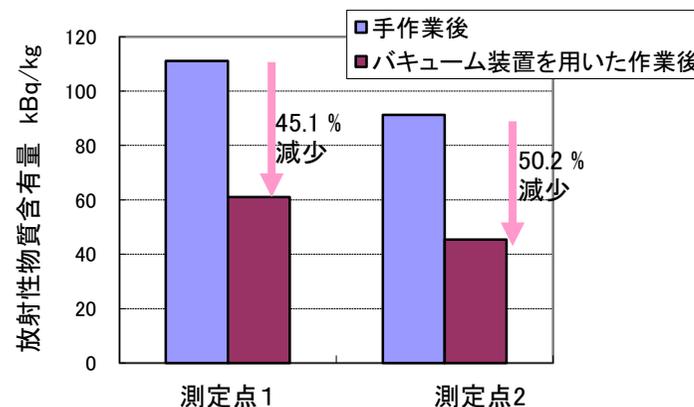
$$B/A = 97.2\%$$



作業後の地表面の比較
(左:手作業、右:バキューム)

バキューム装置を用いた作業の様子

○作業後の地表面の放射性物質含有量の比較

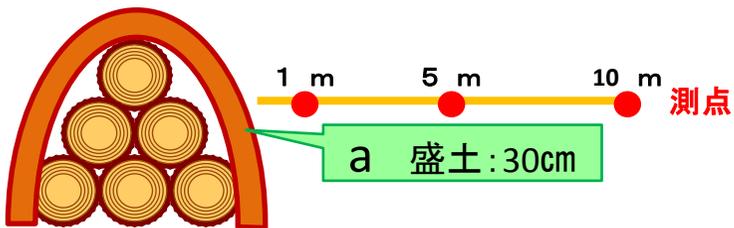


→ 落葉等除去作業にバキューム装置を活用することにより、より高い線量低減効果が期待できる。

(8) 丸太の現地保管

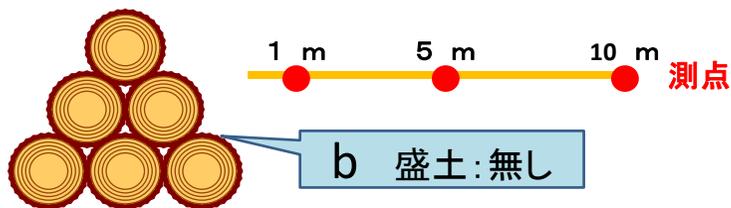
- 飯館試験地において、土場に丸太を仮置き、盛土で被覆した場合と被覆しない場合について、丸太からの距離別（1m、5m、10m）の空間線量率を測定。
- 丸太の設置や、その後の被覆の有無による空間線量率の変化はみられなかった。

○試験概要図(八木沢地区)



八木沢地区(位置a)

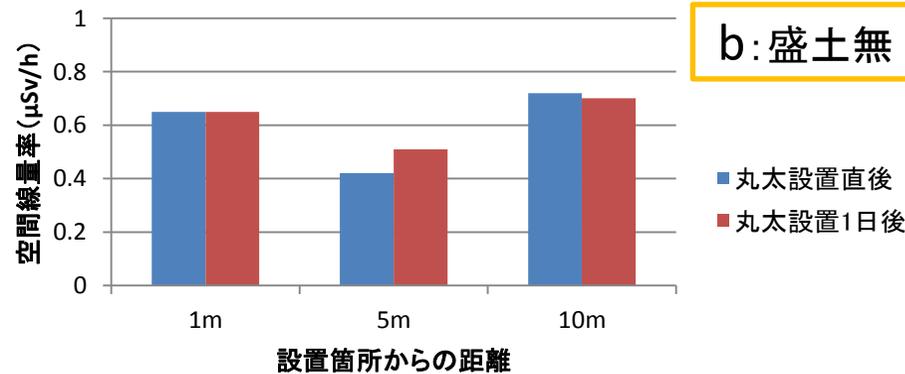
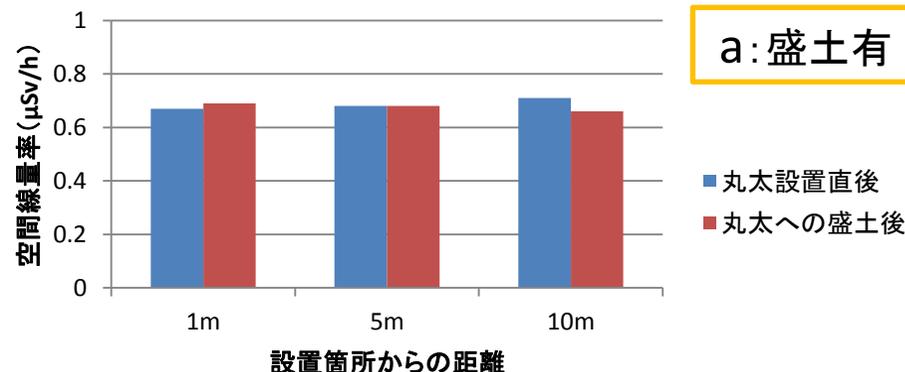
設置箇所からの距離	丸太設置直後	丸太への盛土後
1m	0.67	0.69
5m	0.68	0.68
10m	0.71	0.66



八木沢地区(位置b)

設置箇所からの距離	丸太設置直後	丸太設置1日後
1m	0.65	0.65
5m	0.42	0.51
10m	0.72	0.7

○調査結果(八木沢地区、地上1mの空間線量率)



※ 丸太設置前の空間線量率は、隣接する土場の地上1mで0.68μSv/h。

→ 被覆を行わない場合でも丸太を仮置きすることによる空間放射線量への影響はほとんどない。