

森林における放射性物質対策技術検証・開発事業の成果

東京電力福島第一原子力発電所の事故により放出された放射性物質の影響を受けた地域の約7割は森林です。森林は、水源涵養や山地災害の防止など多様な機能を有していますが、これらの機能を発揮させるためには、間伐等森林の手入れ（森林施業）が必要です。

このため、林野庁では、平成23年（2011）年度から、福島県田村市、広野町、川内村等に試験地を設け、森林施業を実施していく際の留意事項や必要な対策など、森林内の放射性物質対策技術の検証等に取り組んできています。

※ 調査方法や調査結果の分析等については、学識経験者の指導・助言を得ながら行ってきています。なお、本事業では試験地及び調査試料数が限られていること等から、本資料に記したことが全ての森林にそのまま当てはまるとは限りません。

【田村試験地】

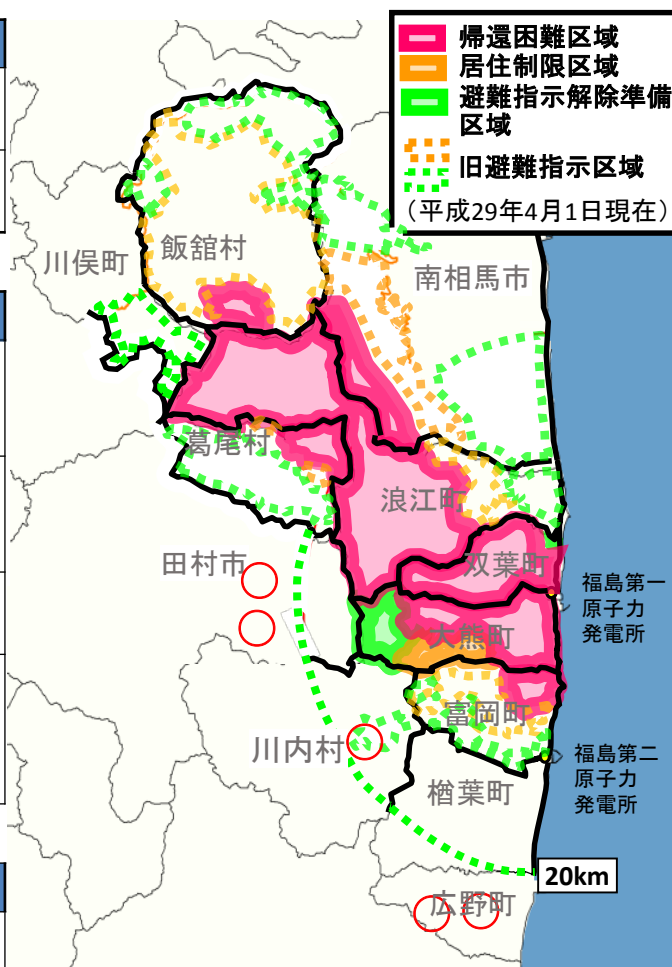
主な試験内容	試験区樹種
● 放射性物質の移動抑制方策の検証	アカマツ・広葉樹混交林
● ぼう芽の放射性物質吸収状況の検証	コナラ・クリ・サクラ・クヌギ人工林

【川内試験地】

主な試験内容	試験区樹種
● 森林施業が空間線量率に与える影響の検証 ● 新たな落葉等の影響の検証	スギ人工林、広葉樹天然生林
● 林業機械の活用による作業員への放射性物質の影響低減効果の検証	スギ人工林
● ぼう芽の放射性物質吸収状況の検証	広葉樹天然生林
● 林床の表土及び放射性物質の移動状況の検証 ● 放射性物質の移動抑制方策の検証	スギ人工林

【広野試験地】

主な試験内容	試験区樹種
● 森林施業が空間線量率に与える影響の検証	スギ人工林、アカマツ・広葉樹混交林
● ぼう芽更新木の放射性物質濃度の把握	アカマツ・広葉樹混交林



主な成果(森林施業を実施する際の留意事項等)

● 原発事故から5年以上経過した現在では、間伐等により樹木を伐採しても空間線量率は大きく変化しないと考えられます

原発事故により放出された放射性物質は、当初、樹木の葉や枝等にも付着しましたが、現在では、大部分が森林内の土壌表層部に滞留しています。

森林内の空間線量率は、森林内の放射性物質の総量とその分布状況により変化します。

樹木の伐採・搬出や落葉等除去などにより放射性物質を森林外に持ち出すことは、その割合に応じて森林内の空間線量率に影響を与えるとみられますが、現時点では樹木に含まれる放射性物質の割合は小さいことから、樹木の伐採・搬出による空間線量率への直接的な影響は限定的とみられます。

● 林床の放射性物質は、主に土砂とともに移動します

森林内の地表流水や移動土砂等について調べたところ、地表流水からは放射性物質はほとんど検出されず、林床の放射性物質の移動は、主に土砂に付着したものであることがわかりました。

また、間伐等樹木の伐採では、作業の際に林床を大きく攪乱しなければ土砂の移動を顕著に増加させるような変化はみられませんでした。

● 土砂の移動抑制は、一定の管理がされている森林では間伐等による下層植生の繁茂が、荒廃林地等では林床を覆うタイプの工法が有効です

一定の管理がされている森林において、山腹工等で用いられている表土流出防止工の放射性物質の移動抑制効果を調べたところ、林地を覆うタイプの植生シート工、チップ散布工で最も効果がみられました。ただし、チップ散布工は植物の生育に影響を与えるおそれがあり広範囲の施工には不向きです。

一方、土砂の移動を抑制するには、下層植生の繁茂等による林床被覆が重要であることが知られています。間伐は森林内に光を取り込み下層植生の繁茂を促すことから、森林内の放射性物質の移動を抑制する効果的な方法です。

したがって、表土流出防止工は、土砂流出のおそれのある荒廃林地等必要な場合に施工することが効果的です。

● 林内作業への放射性物質の影響低減には、キャビン付高性能林業機械等を活用した効率的な作業システムが有効です

高性能林業機械等のキャビン内は、外部と比べて空間線量率が3～4割低くなります。また、高性能林業機械等を活用した効率的な作業システムは、単位事業量あたりの作業時間を大幅に短縮できます。

施業地の平均空間線量率が $2.5\mu\text{Sv/h}$ 以下のところでは、林内作業に際して放射線対策等は義務付けられていませんが、キャビン付高性能林業機械等の活用は、作業への放射性物質の影響低減に有効です。

● きのご原木生産林の対策の具体化には、引き続き調査等が必要です

原発事故後に伐採した樹木の根株から発生したぼう芽枝には、放射性物質が含まれていました。

コナラとクヌギの比較では、クヌギの放射性物質濃度が低い傾向にありましたが、放射性物質濃度の今後の変化については、引き続き調査を継続する必要があります。

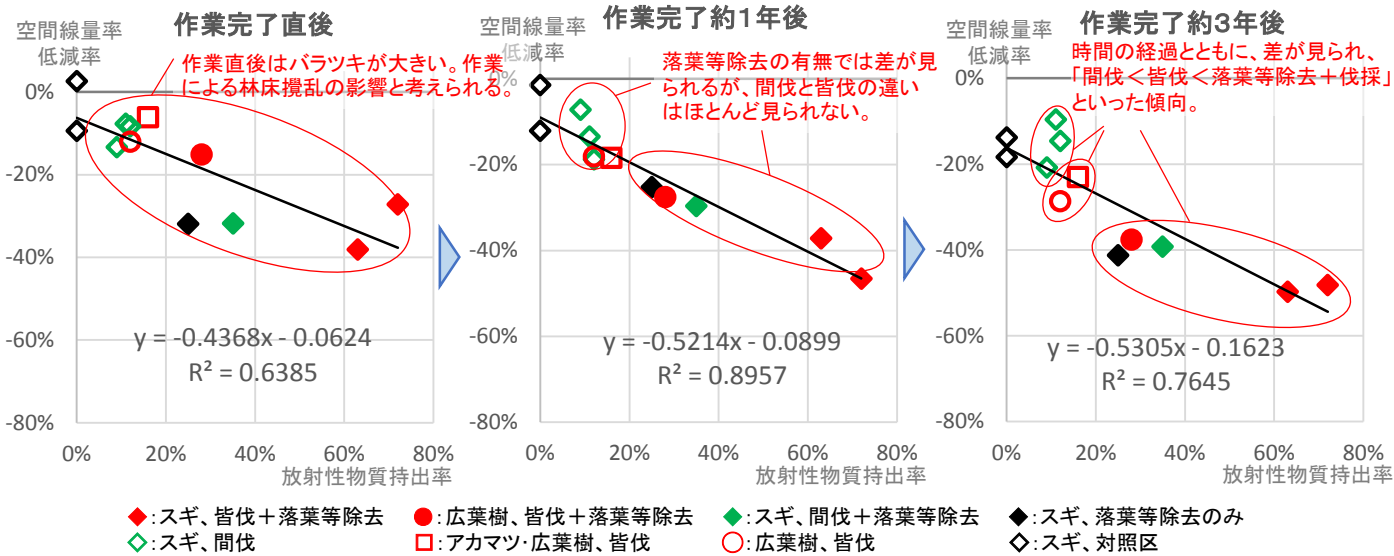
森林施業が空間線量率に与える影響

原発事故後1～2年の間に伐採（皆伐及び間伐）や落葉等の除去を行い、これら作業が空間線量率に与える影響を継続的に調査してきました。

伐採のみをしたところのその前・後の空間線量率を比較すると、1～2割程度低減していました。（ただし、伐採等作業を行っていない対照区の一部でも低減）

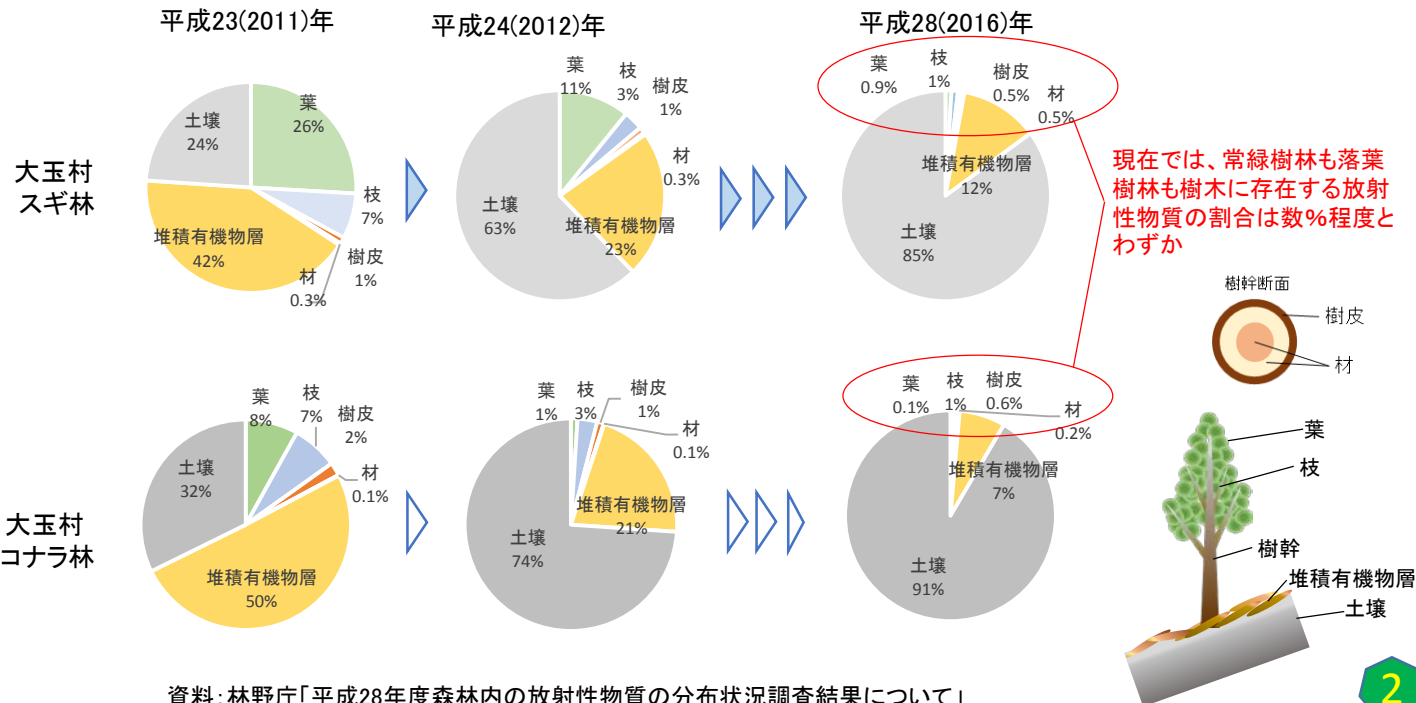
伐採や落葉等除去により、放射性物質を森林外に持ち出すことは、その持出割合に応じて森林内の空間線量率の低減に影響を与えるとみられます。ただし、現在では、森林内の放射性物質の多くは土壌表層部に滞留しており、樹木に含まれる放射性物質の割合は小さいことから、伐採が空間線量率の変化に与える直接的な影響は限定的とみられます。

【放射性セシウム持出率と空間線量率の低減率との関係】



注1: 空間線量率の増減率は、作業前を基準に物理学的減衰を補正した値により算出。
 注2: 放射性物質の持出率は、初期沈着量に対する落葉等除去や樹木の伐採で除去した放射性セシウム量の割合。

参考【森林内の放射性物質の分布状況】



資料: 林野庁「平成28年度森林内の放射性物質の分布状況調査結果について」

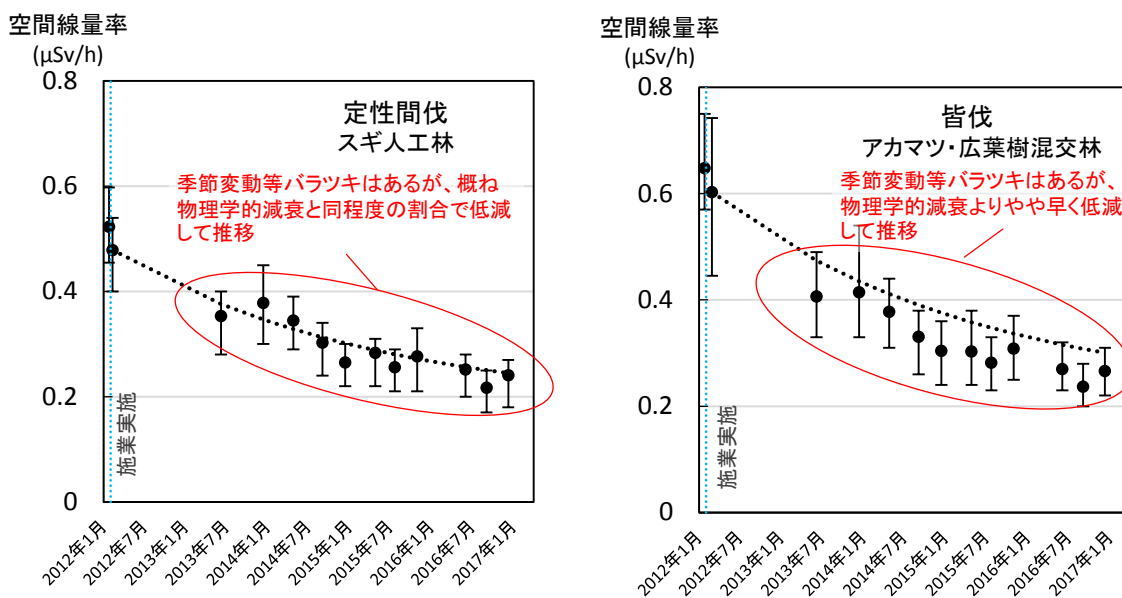
森林施業等実施後の空間線量率の推移

森林施業等実施後の空間線量率の推移は、測定時期等によりバラツキがありますが、概ね物理学的減衰と同程度の割合で低減してきています。

森林内の空間線量率は、主に森林内の放射性物質の総量とその分布状況によって決まると考えられます。原発事故により放出された放射性物質は、当初、樹木の葉や枝等に多く付着していましたが、現在では大部分が土壌表層部に安定して滞留しています。

今後、森林内の空間線量率は、放射性物質の物理学的減衰（半減期）に応じた低減を基本に、堆積有機物から土壌への移行、土壌内での深部への移動、さらに降雨等による表土の移動や新たな落葉等の影響を受け変化していくとみられます。

【広野試験地の空間線量率の推移】



- 注 1: 空間線量率は実測値。
 2: 黒丸は平均値、ひげは最大値と最小値。
 3: 青点線は施業実施時点を示し、近接する両側の測定値が施業の直前と直後の値を示す。
 3: 黒点線は作業後の空間線量率を基準とした物理学的減衰による空間線量率の低減を示す。
 4: 間伐区は、作業前の空間線量率測定時に約10cmの積雪があり、雪の遮蔽効果による空間線量率の低減が考えられたため、作業区内の10測定点の積雪前と積雪時の測定値を基に推定した遮蔽率(23%)を用いて測定値を補正した。

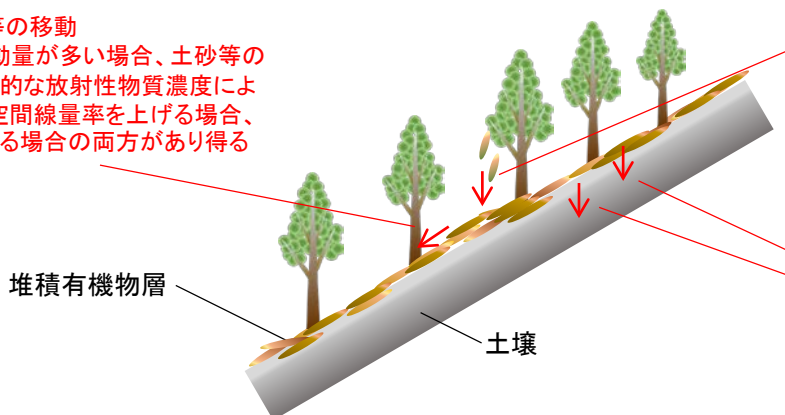
【現時点における森林内の主な放射性物質の移動】

表土等の移動

※ 移動量が多い場合、土砂等の相対的な放射性物質濃度により、空間線量率を上げる場合、下げる場合の両方あり得る

新たな落葉等

※ 林床へ放射性物質を供給するが、これまでの調査結果では、森林内の放射性物質全体に対する割合は小さく、空間線量率への影響は確認できていない



堆積有機物層から土壌へ及び土壌内での深部への移動

※ 移動には相当の時間がかかるが、長期的には空間線量率を徐々に下げる方向に作用すると考えられる

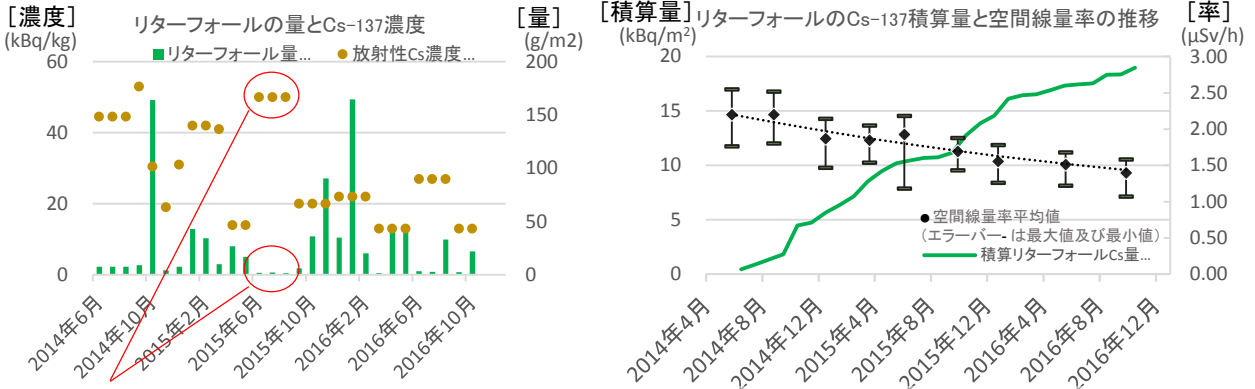
新たな落葉等による影響

森林施業等実施後のリターフォール（樹木から新たに落ちてくる葉等）を調査したところ、その量は秋期に多く、放射性物質の濃度は夏期に高いことがわかりました。

しかし、現時点では、リターフォールによる放射性物質の積算量は土壌等の現存量と比べて少なく、空間線量率への影響は確認されませんでした。

【リターフォールの量及びそれに含まれる放射性セシウム濃度等の推移】

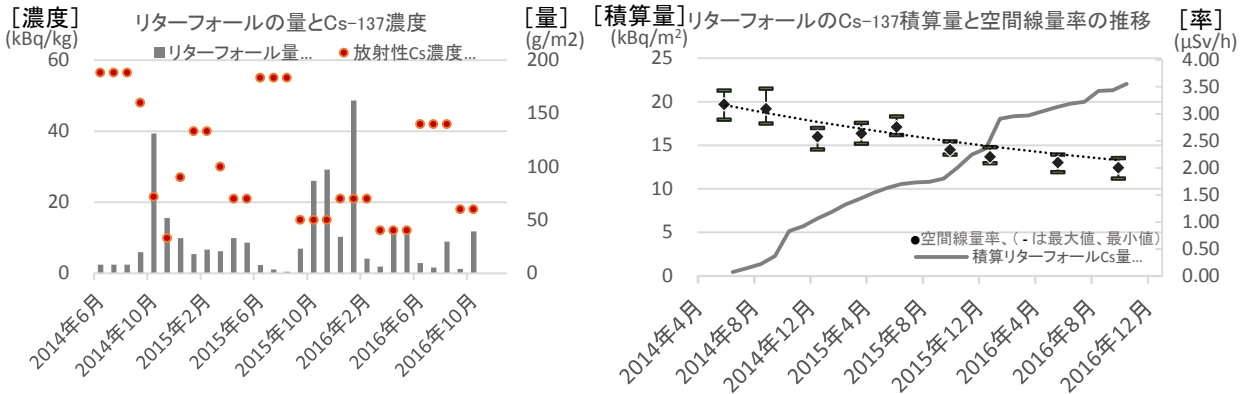
間伐区（2016/11時点の放射性セシウム現存量 堆積有機物層：114kBq/m² 土壌：516kBq/m² 計：630kBq/m²）



リターフォール量の少ない夏期に放射性セシウム濃度は高いことがわかる

リターフォールにより供給される放射性セシウム量は林床の放射性セシウム現存量に比べて少なく、空間線量率に与える影響は確認できていない

対照区（施業等なし）（2016/11時点の放射性セシウム現存量 堆積有機物層：219kBq/m² 土壌：474kBq/m² 計：693kBq/m²）



注1: 各試験区ともスギ林内。

注2: 数値はいずれも実測値。

注3: 空間線量率の黒色の点線は作業前の空間線量率を基準とした物理学的減衰による空間線量率の低減を示す。



リタートラップの設置状況

林床の表土等の移動状況

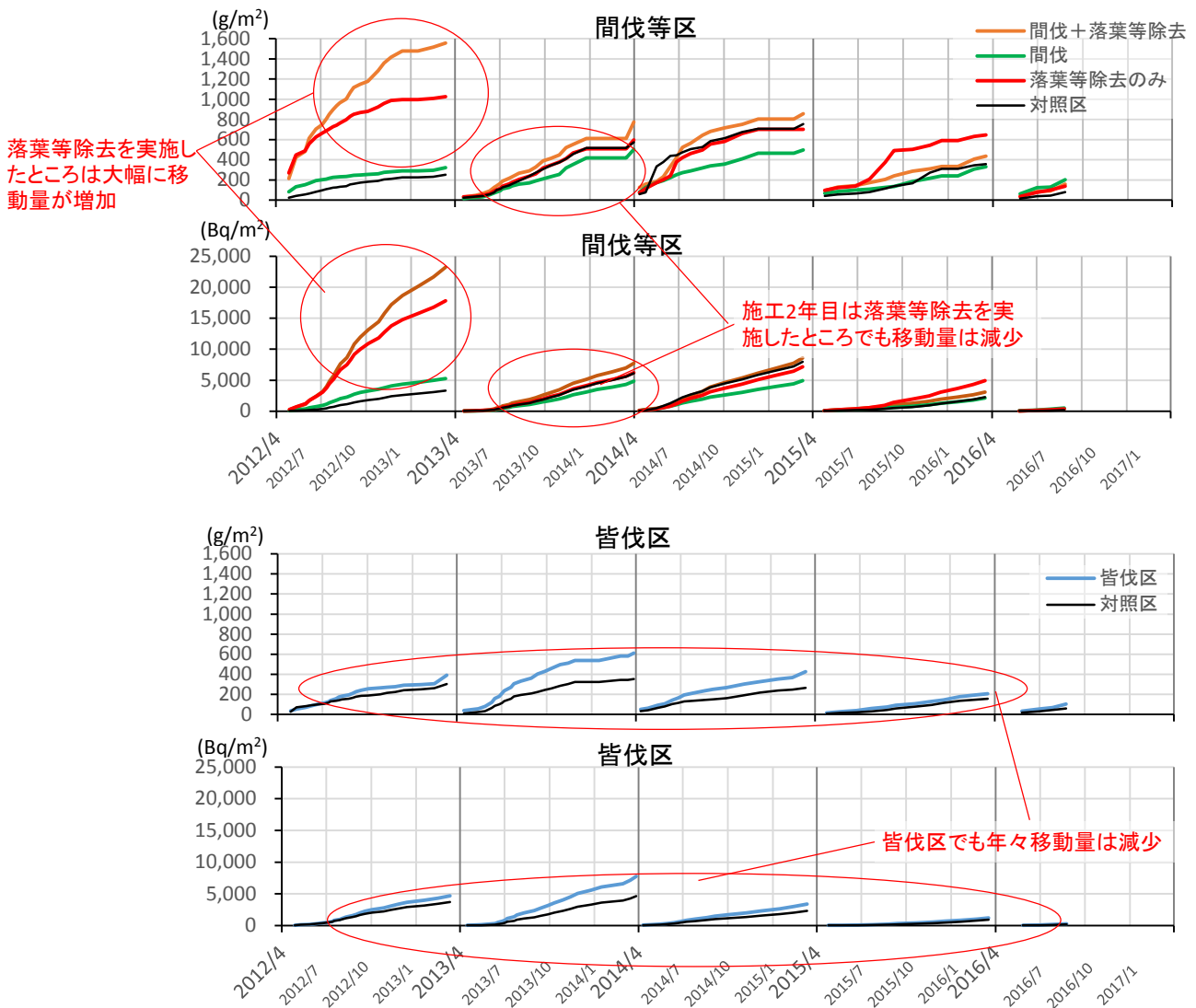
森林施業等実施後の林床の土砂等（土壌と堆積有機物）と地表流水を調査したところ、地表流水からは放射性物質はほとんど検出されず、林床の放射性物質は主に、土砂とともに移動することがわかりました。

森林内では、地表が堆積有機物や下層植生で覆われ、雨滴が直接地面に当たりにくいため、耕地や荒廃地等と比べて土砂の移動が少ないことが知られています。

間伐や皆伐を実施した後でも、林床に大きな攪乱がない場合は、土砂の移動量が顕著に増加する傾向はみられませんでした。

なお、森林除染の方法として一般的な堆積有機物除去の後には、施工1年目に土砂等移動量が増加しましたが、2年目には減少し、対照区と同程度となりました。

【森林施業等実施後の土砂等及び放射性セシウムの移動積算量の推移】



注：間伐、皆伐等は2012年2月に実施。

間伐区の平均傾斜は23度、皆伐区の平均傾斜は20度だが、グラフの土砂移動量等はRUSLE法により30度（リルや流水の影響が小さい場合）に補正した値。

広野試験地
皆伐区



森林における放射性物質の移動抑制方策

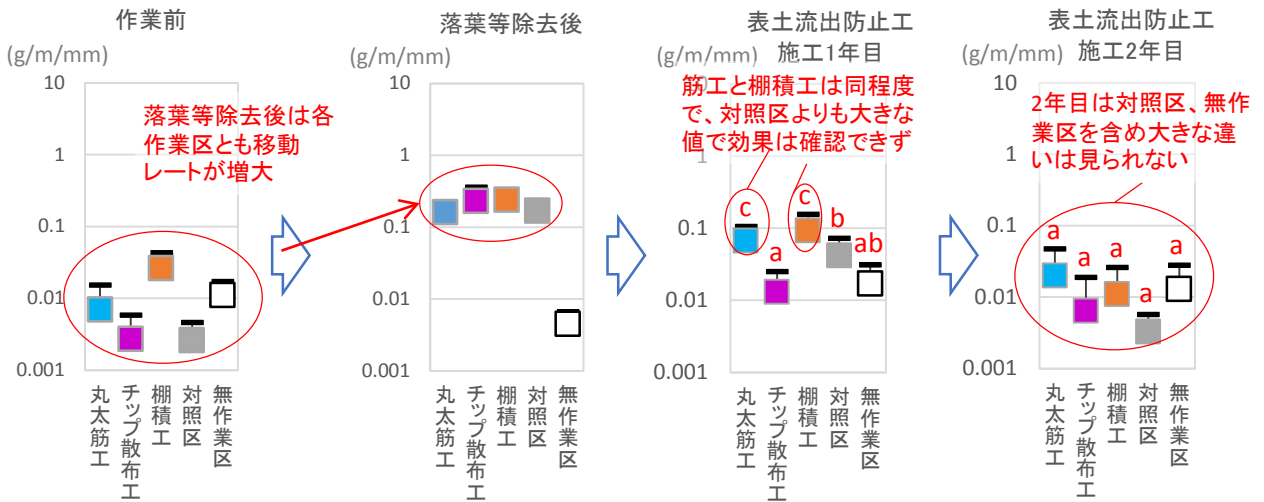
森林土木で一般的に用いられる表土流出防止工による放射性物質の移動抑制効果について検証しました。

本検証で最も効果があったのは、チップ散布工や植生シート工等の林床を覆うタイプの工法でした。

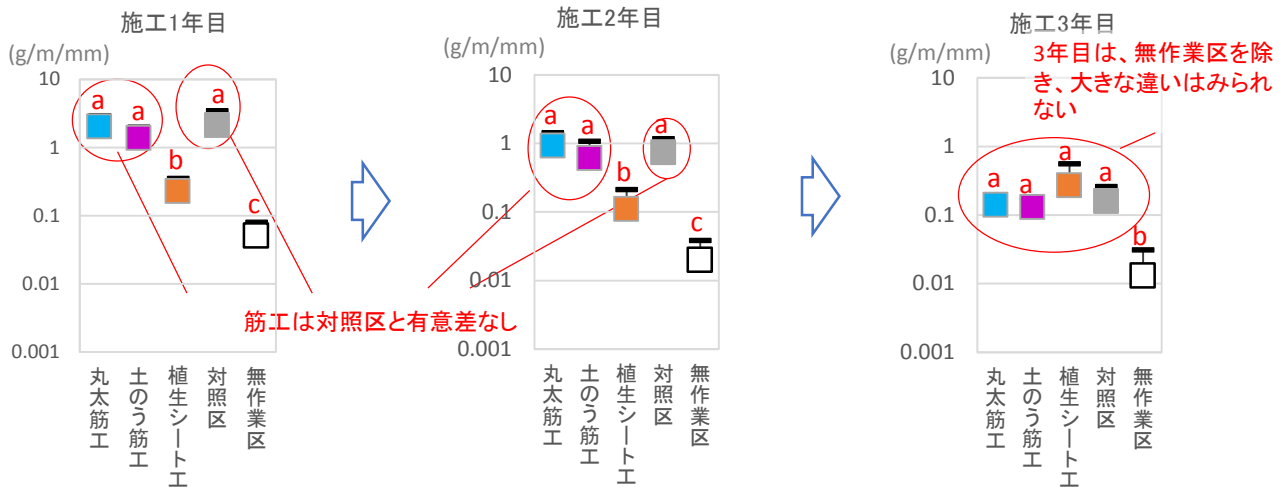
こうした土木工法だけでなく、植生等による林床の被覆も表土移動を抑制することから、間伐等により下層植生の繁茂を促すことが効果的であると考えられます。

【工法別土砂等年平均移動レートの推移】

田村試験地(アカマツ・広葉樹混交林) 細土(粒径2mm以下)



川内試験地(スギ林) 細土(粒径2mm以下)



丸太筋工



チップ散布工



棚積工



土のう筋工



植生シート工

注1: 移動レート(g/m/mm)とは、1mmの降雨により、1m幅の間で何gの土砂等が移動したかを表したものの。

注2: □は平均値、エラーバーは標準偏差を示す。

注3: アルファベットはSteel-Dwass 多重比較検定の結果。符号が異なる場合は有意差(p<0.05)が認められたことを示す。

注4: 対照区は落葉等除去のみを実施、無作業区は落葉等除去、表土流出防止工のいずれも無しの区画。

注5: 落葉等堆積有機物については、全ての工法で対照区と同程度であった。

林業機械の活用による作業者への放射性物質の影響低減効果の検証

キャビン付林業機械の運転席における空間線量率は、外部と比べて3割程度低い値でした。キャビンのない林業機械であっても、運転席の空間線量率は外部と比べて2割程度低い値でした。

生産性の高い高性能林業機械を活用して作業効率を向上させれば、単位事業量当たりの作業時間が短縮され、作業者への放射性物質の影響は更に低減させることもできます。

また、本検証では、間伐等の作業で発生する粉じん量は少なく、その粉じんから放射性物質は検出されませんでした。

【作業者の胸高での空間線量率】

機械等	空間線量率	割合
外部 (1.2m高)	1.82 $\mu\text{Sv/h}$	—
キャビン付フォワーダ (2.0m高)	1.32 $\mu\text{Sv/h}$	73 %
キャビン無フォワーダ (1.2m高)	1.42 $\mu\text{Sv/h}$	78 %



キャビン付フォワーダ



キャビン無フォワーダ

粉じん濃度は高濃度粉じん作業の基準値の10分の1程度

粉じんの放射性セシウム濃度は検出下限値未満

【林内作業における粉じん量等】

作業日	作業場所	天候	温度 湿度	インハラブル粉じん濃度測定器 粉じん濃度 (mg/m^3)	粉じんの放射性セシウム濃度 (Bq/m^3)	
					Cs-134	Cs-137
2013年 1月8日	広葉樹林	曇り	3.5°C 47%	1.01	N.D. (0.072)	N.D. (0.083)
2013年 1月9日	スギ林	曇り	2.5°C 59%	0.99	N.D. (0.065)	N.D. (0.051)
2013年 1月12日	スギ林	晴れ	7.5°C 34%	1.00	N.D. (0.062)	N.D. (0.073)

注1: 作業は、森林除染の方法として一般的な落葉等堆積有機物の除去。

注2: 「除染等業務に従事する労働者の放射線障害防止のためのガイドライン」における高濃度粉じん作業の基準は粉じん濃度 $10\text{mg}/\text{m}^3$ 。

注3: 粉じんの放射性セシウム濃度の()内の数値は、検出下限値

ぼう芽枝に含まれる放射性物質の状況

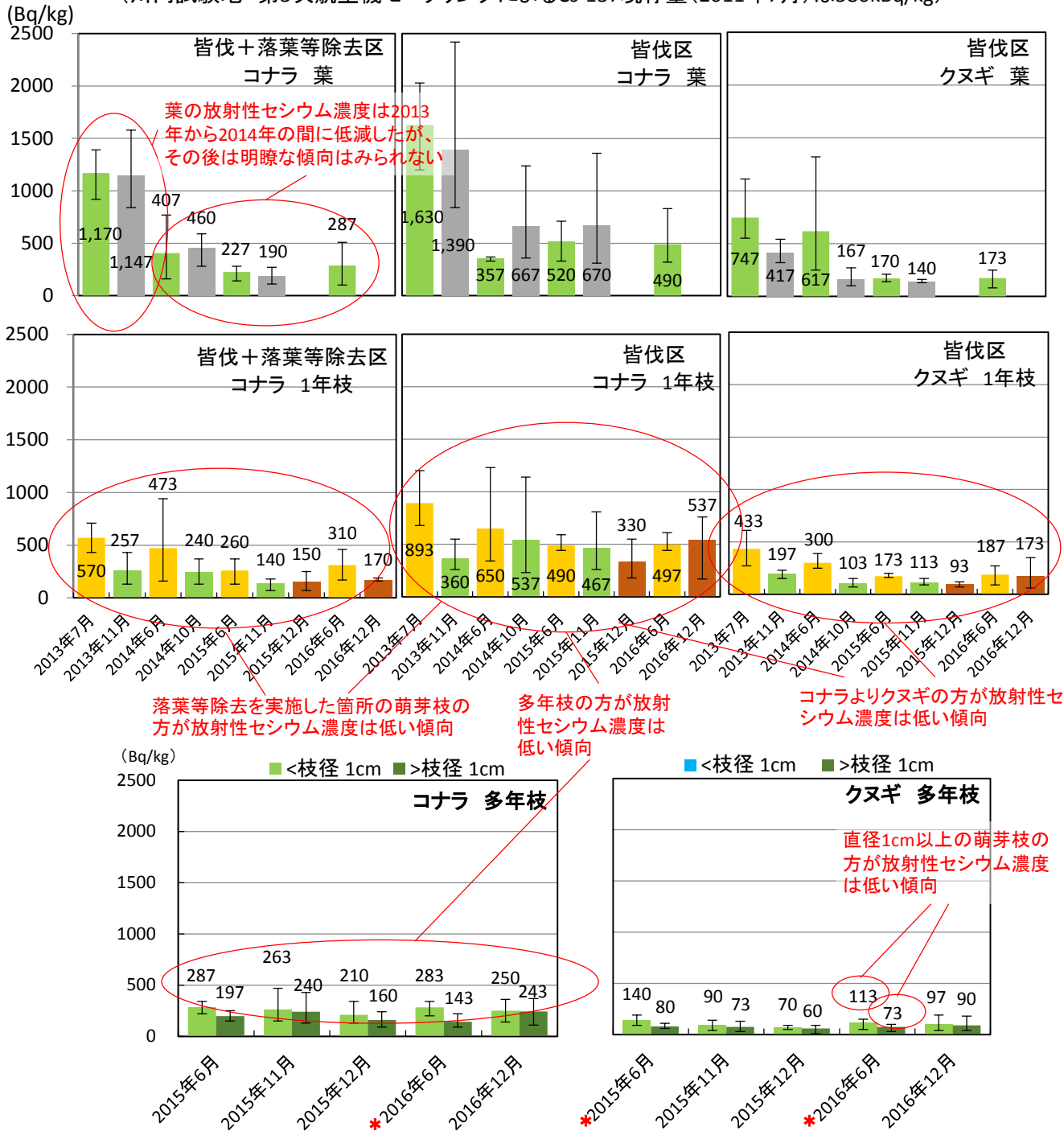
原発事故後に伐採した樹木の根株から発生したぼう芽枝を調べたところ、放射性物質が含まれていました。

発生1年目と2年目以降のぼう芽枝では2年目の方が放射性セシウム濃度が低く、コナラとクヌギではクヌギの方が低い傾向がみられました。

直径1cm未満と1cm以上の多年枝の放射性物質濃度を比べると、直径1cm以上の多年枝の方が低い傾向がみられましたが、今後の変化については、引き続き調査する必要があります。

【葉及びぼう芽枝の放射性セシウム(Cs-137)濃度の推移】

(川内試験地 第3次航空機モニタリングによるCs-137現存量(2011年7月)は580kBq/kg)



注1: * は、有意差(5%有意水準、n=3、T検定)があることを示す。

注2: 放射性セシウム濃度(Cs-137)は、2016年12月22日時点に物理学的減衰補正した値。