

4章

森林施業と 放射性物質の影響

林野庁では、間伐等による空間線量率への影響や放射性セシウムの移動抑制を目的とした技術の検証、林内作業における作業者の被ばく線量低減等のため、福島県内に試験地を設けて様々な取組を行っています。

森林の放射性物質対策①

森林施業(皆伐、間伐、下刈)による空間線量率への影響とその効果

林野庁では、皆伐及び間伐の作業前後に空間線量率を測定して、森林施業に伴う空間線量率への影響と効果を調査しています。施業実施後の空間線量率は施業前に比べて低下しており、間伐区に比べて皆伐区ではやや大きく低下しました。

施業による空間線量率の低減効果は間伐より皆伐の方が大きい

福島県広野町では、次の2つの試験区を設置し調査を行いました(表4-1)。

①間伐区(スギ林)

間伐区を2か所設置し、2012年1月から3月にかけて定性間伐(本数間伐率25%、材積間伐率15.4%)と、列状間伐(本数間伐率25%(1伐3残)、材積間伐率21.7%)を実施しました。

②皆伐区(アカマツ広葉樹混交林)

皆伐区を4か所設置し、2012年1月から3月にかけて、皆伐と作業区ごとに異なる地ごしらえ(枝条散布、坪刈り、棚積み、枝条除去)を実施しました。その後、2012年12月に低木等の刈り払いをした上で、コナラ苗木を植栽しました。

試験区・作業区	林相(林齢)*1 (立木密度)	面積	平均斜度*2	作業内容	空間線量率*3	放射性セシウム(Cs-137)平均沈着量*4
定性間伐区	スギ林(53年生)(870本/ha)	0.36 ha (60m×60m)	23°	定性間伐(本数間伐率25%)、落葉等除去	0.52 μSv/h	95 kBq/m ²
列状間伐区	スギ林(53年生)(1460本/ha)	0.36 ha (60m×60m)	24°	列状間伐(1伐3残)、落葉等除去	0.48 μSv/h	95 kBq/m ²
皆伐区	アカマツ・広葉樹混交林(46~63年生)	0.50 ha (25m×50m×4区画)	20°	皆伐、地椿え(枝条散布、坪刈り、棚積み、枝条除去)	0.65 μSv/h	110 kBq/m ²

[表4-1] 各作業区の概要

*1間伐区は2017年度時点、皆伐区は伐採を行った時点(2012年1月)のもの

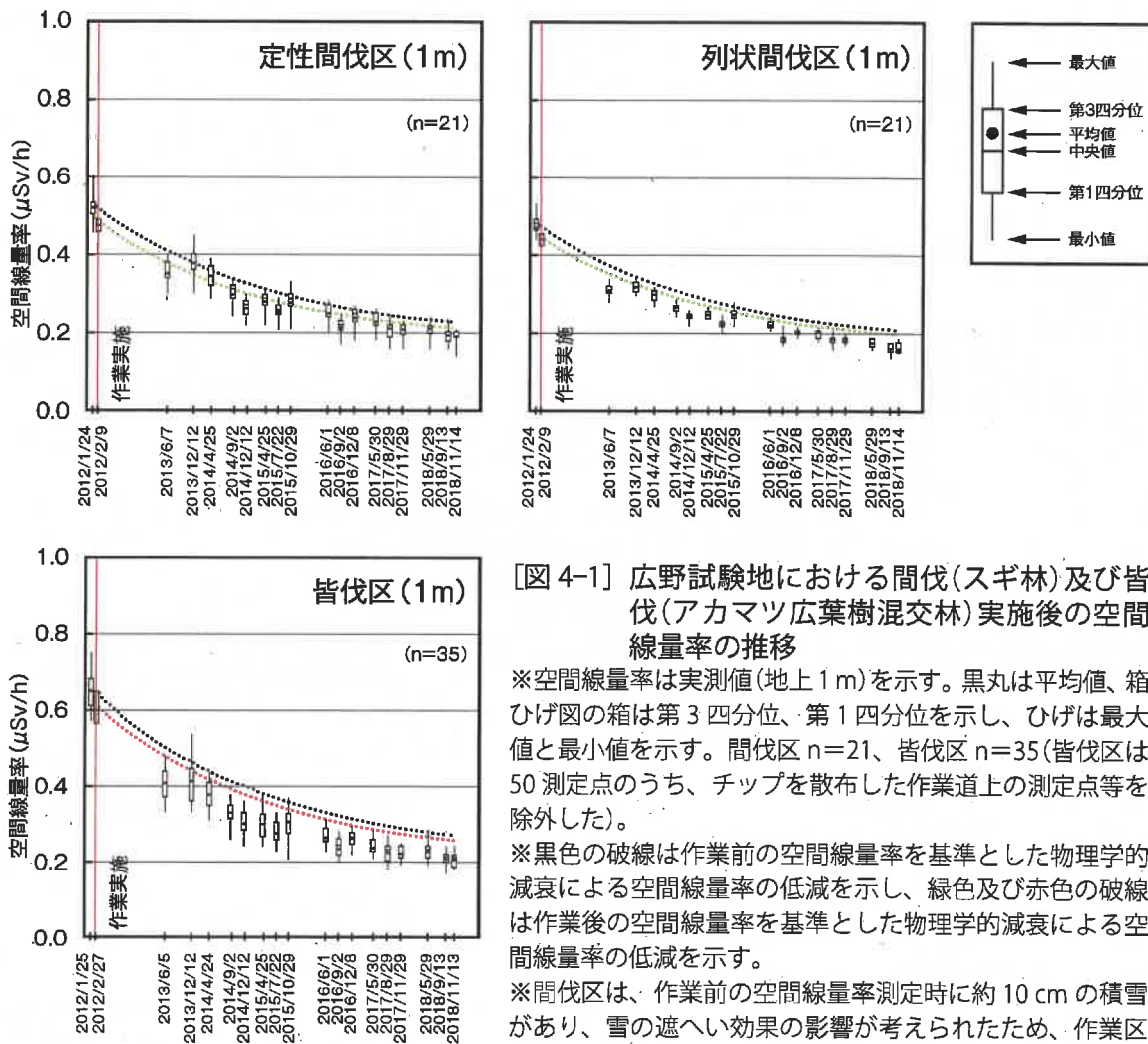
*2試験区に設置した試験斜面枠の平均斜度

*3作業前の平成24(2012)年1月25~26日に、地上1mの高さで測定

*4第3次航空機モニタリング公表値(平成23(2011)年7月2日時点)

資料：林野庁「平成30年度 森林施業による放射性物質拡散防止等検証事業報告書」2019年3月

間伐区と皆伐区の約7年間の空間線量率の変化を見ると、作業実施1年4カ月後の2013年6月以降の空間線量率は、作業実施直後の空間線量率の物理学的減衰(緑破線または赤破線)より低く推移していることが確認できます(図4-1)。施業前の空間線量率を基準とする物理学的減衰曲線に比べると、2013年6月以降の空間線量率は、平均すると定性間伐で13%、列状間伐で18%、皆伐で22%低下していました。皆伐による空間線量率の低減効果は間伐よりも大きく、定性間伐と比較すると1割程度大きな値となりました。皆伐区では、地拵えや植栽等の林業活動による影響も考えられます。



【図4-1】 広野試験地における間伐(スギ林)及び皆伐(アカマツ広葉樹混交林)実施後の空間線量率の推移

※空間線量率は実測値(地上1m)を示す。黒丸は平均値、箱ひげ図の箱は第3四分位、第1四分位を示し、ひげは最大値と最小値を示す。間伐区 n=21、皆伐区 n=35(皆伐区は50測定点のうち、チップを散布した作業道上の測定点等を除外した)。

※黒色の破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し、緑色及び赤色の破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。

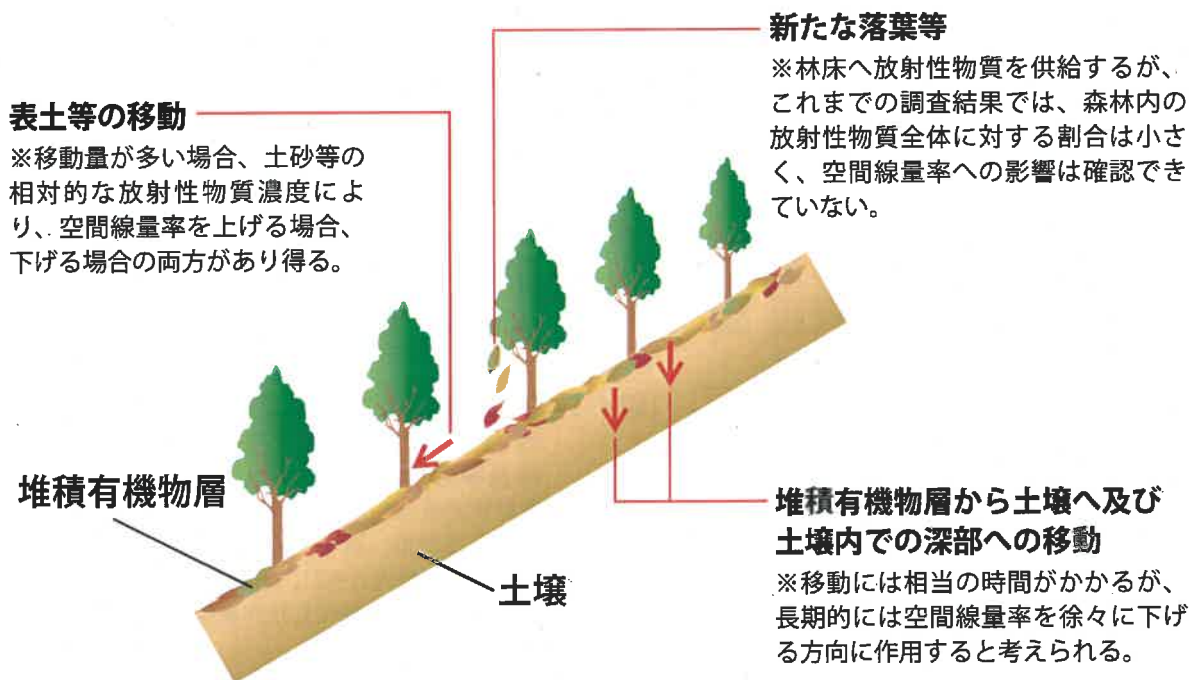
※間伐区は、作業前の空間線量率測定時に約10cmの積雪があり、雪の遮へい効果の影響が考えられたため、作業区内の10測定点における積雪前と積雪時の比率(積雪補正値:23%)を用いることで、積雪による遮へいの影響を補正。

※物理学的減衰補正は、放射性セシウムCs-134とCs-137の初期の存在比と半減期の違いを考慮して算出したもの。

資料：林野庁「平成30年度 森林施業による放射性物質拡散防止等検証事業報告書」2019年3月

皆伐、間伐等により伐採木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効果があるとみられます。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、皆伐や間伐による施業が空間線量率の低減に与える効果は限定的とみられます。

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。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。森林施業はそのような変化を促進する可能性があります。下記は、森林内の放射性物質の移動における概念図を示しています(図 4-2)。

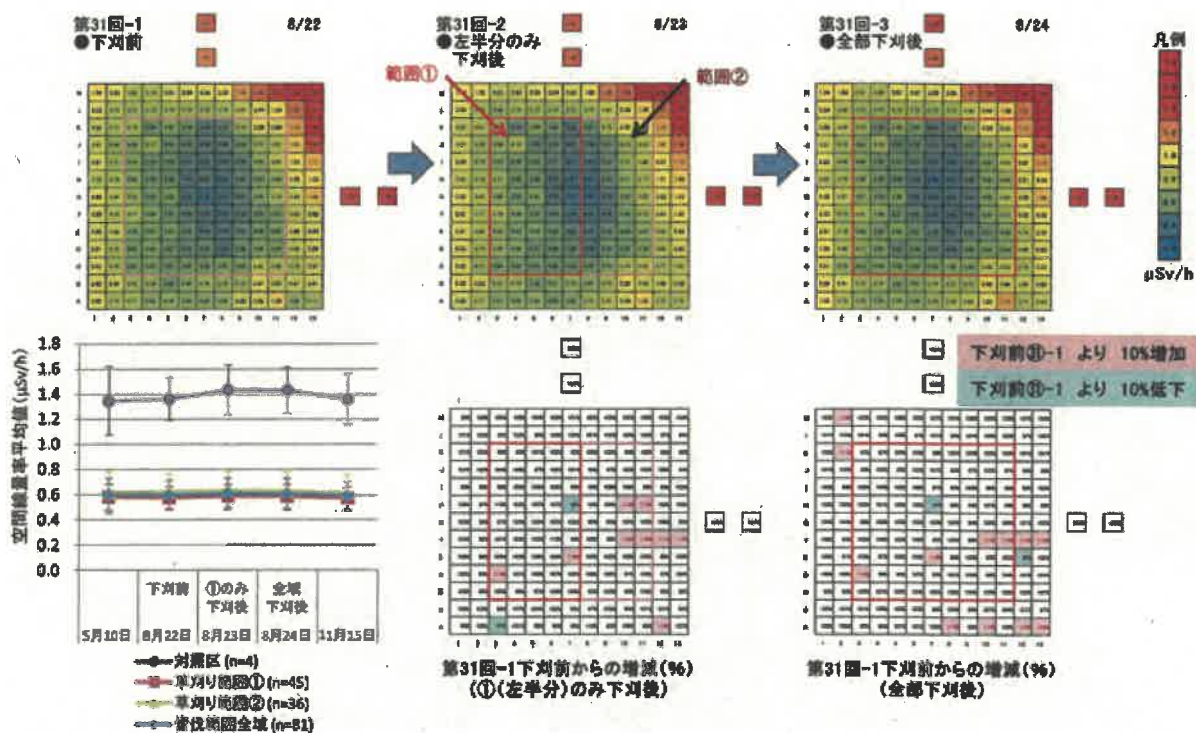


[図 4-2] 森林内の放射性物質の移動にかかる概念図

資料：林野庁「森林における放射性物質対策技術検証・開発事業の成果」2017年度

下刈りによる空間線量率への影響は認められない

川内試験地に設置したスギ林では、2012年12月から2013年1月に皆伐を実施した後、スギを植栽しました。その後、スギの稚樹が低木や草本等に被圧されていたため、2018年に下刈りを行いました。刈った草木はその場に残しました。皆伐範囲において、(1)下刈り前、(2)半分のみ下刈り後、(3)全部下刈り後に空間線量率を計測したところ、ほとんど変化は見られませんでした(図4-3)。下層植生に含まれる放射性物質の濃度は、堆積有機物層や土壌と比較して小さいため、下層植生が空間線量率を上昇させるような効果はなかったと考えられます。



[図4-3] 下刈り前後の空間線量率の変化

資料：林野庁「平成30年度 森林施業等による放射性物質拡散防止等検証事業報告書」2019年3月

新たな落葉等による空間線量率への影響

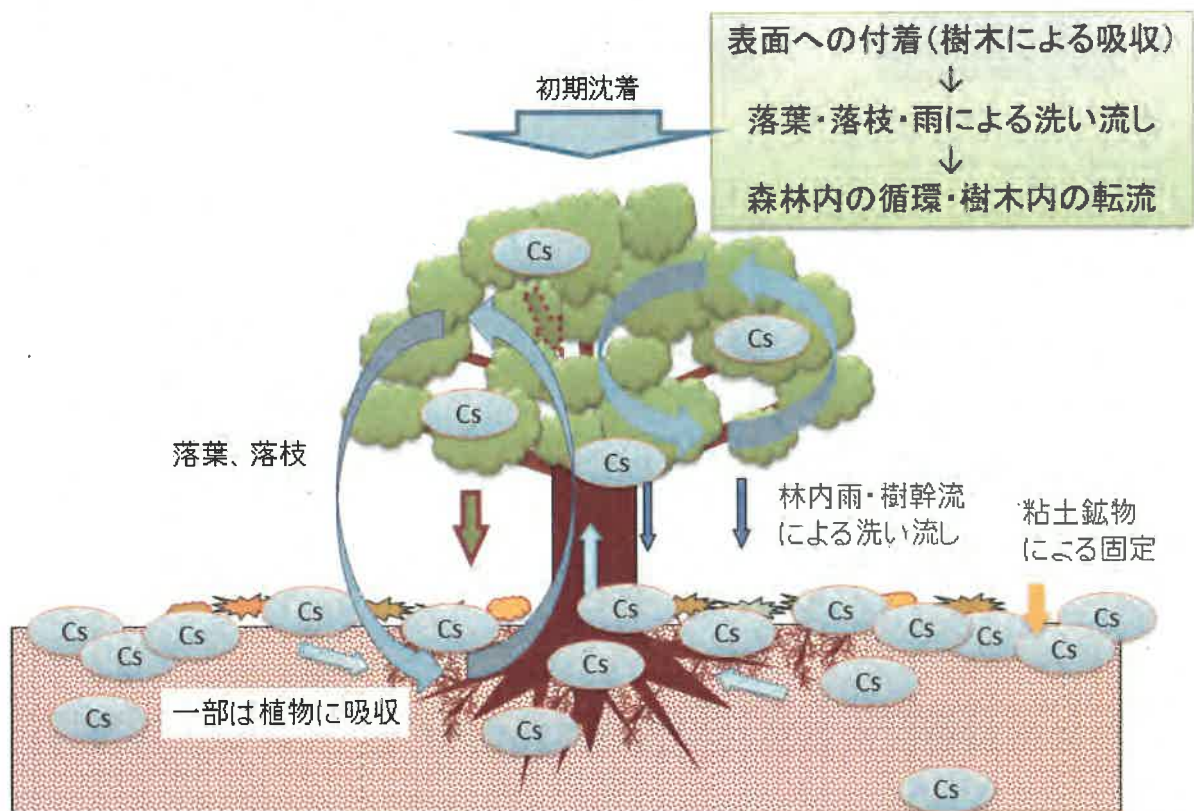
林野庁では、樹木から新たに落ちる葉が周辺の空間線量率に及ぼす影響を把握するための調査を行っています。

落葉等による空間線量率への影響は小さい

森林に降下した放射性セシウムは、まず森林の樹冠に付着します。その後、落葉や降雨などにより、地面の落葉層に移動します。さらに落葉層が分解され、土壌に移動していきます(図4-4)。

林野庁は、川内村のスギ林に間伐区と施業をしない対照区を設け、定期的に取りフォール(樹木から新たに落ちてくる葉等)を採取して放射性セシウム濃度を調査しました。その結果、リターフォール量は秋期に多く、放射性物質の濃度は夏期に高いことがわかりました(図4-5)。

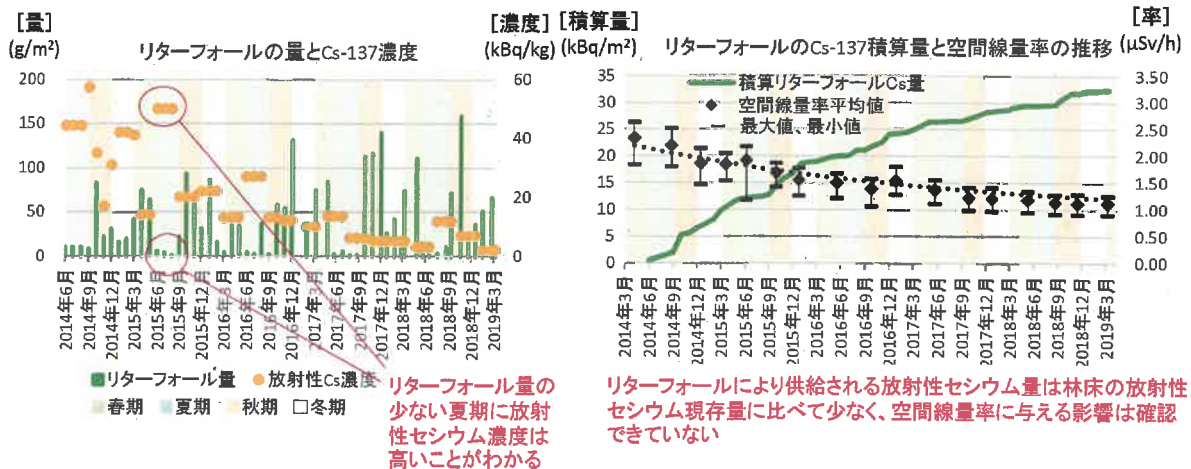
リターフォールによって落葉層にもたらされる放射性セシウムは毎年蓄積していきますが、調査前から土壌等に存在している放射性セシウムの量に比べてわずかであったために、空間線量率への影響は確認されませんでした。



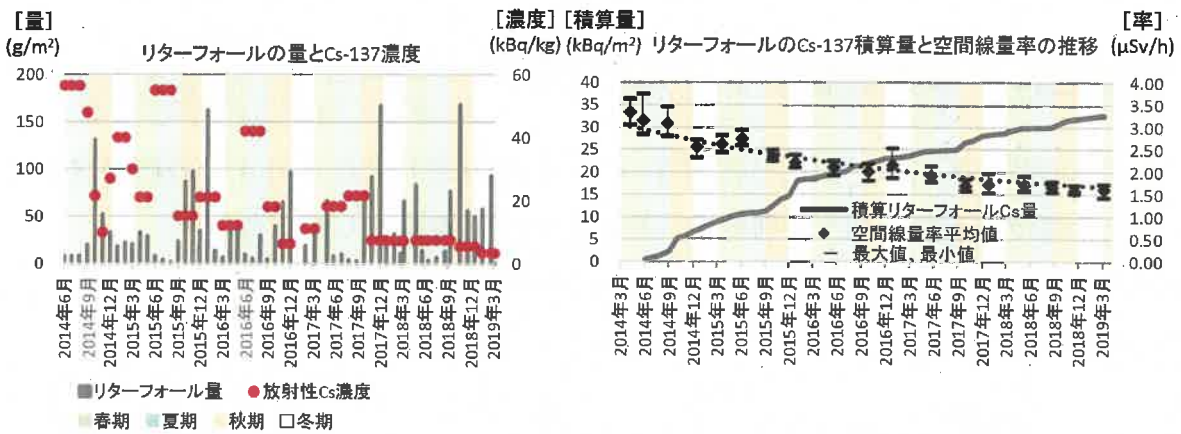
[図4-4] 森林生態系におけるセシウム動態の現状

資料：林野庁「福島其林業再生に向けた出前講座」(平成30年度)資料より、森林総合研究所「森林の放射性セシウム分布の現状と今後の見通し」

間伐区 (2018/11時点の放射性セシウム現存量 堆積有機物層:41.7kBq/m² 土壌:463kBq/m² 計:505kBq/m²)



対照区(施業等なし) (2018/11時点の放射性セシウム現存量 堆積有機物層:69.5kBq/m² 土壌:403.9Bq/m² 計:473kBq/m²)



[図 4-5] 間伐区と対照区における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(川内村)

注1: 数値はいずれも実測値

注2: 空間線量率の黒色の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

資料: 林野庁 HP「平成 30 年度 森林施業等による放射性物質拡散防止等検証事業の概要」



[写真 4-1] リタートラップの設置状況

資料: 林野庁 HP「平成 30 年度 森林施業等による放射性物質拡散防止等検証事業の概要」

森林の放射性物質対策②

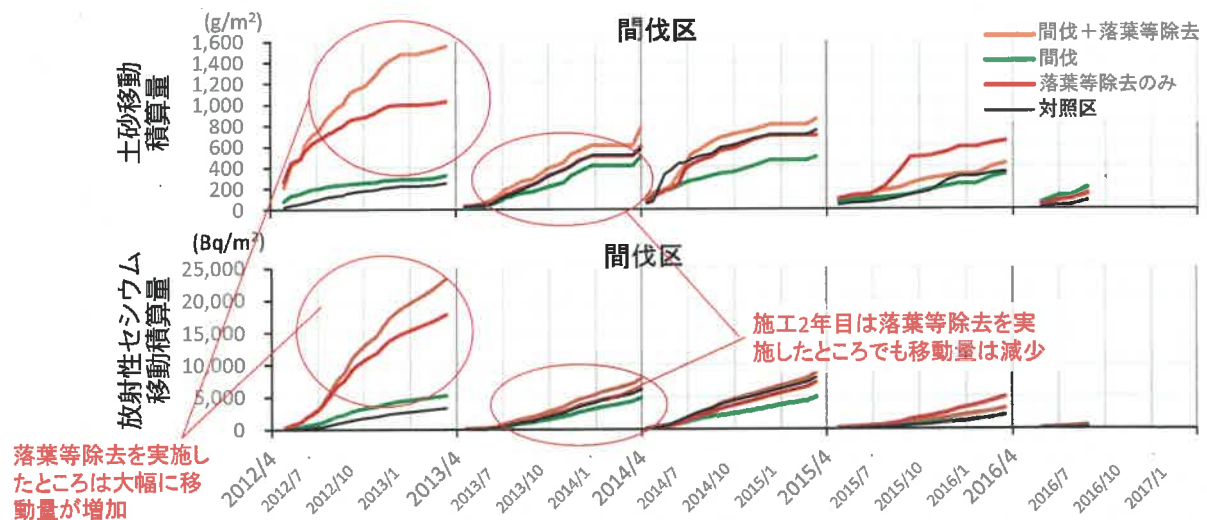
森林施業による放射性物質等の移動

林野庁では、森林施業が森林内の放射性物質の分布に与える影響について調査しています。広野町に設定した試験地で2012年に間伐や皆伐を行い、その後の地表流水や移動した土砂の放射性セシウム濃度についての取りまとめを行いました。

間伐区による放射性セシウムの移動

スギ林の間伐区では、間伐と落葉等の除去を組み合わせた次の4つの試験区を設け、土砂等及びそれに伴う放射性セシウムの移動量を調査しました。

- ①間伐と落葉等除去を実施した区画
- ②間伐のみを実施した区画
- ③落葉等除去のみを実施した区画
- ④作業を実施しない対照区



[図 4-6] 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(間伐)

資料：林野庁 HP「森林における放射性物質対策技術検証・開発事業の成果」2017 年度
林野庁「平成 28 年度 森林における放射性物質拡散防止等技術検証・開発事業報告書」

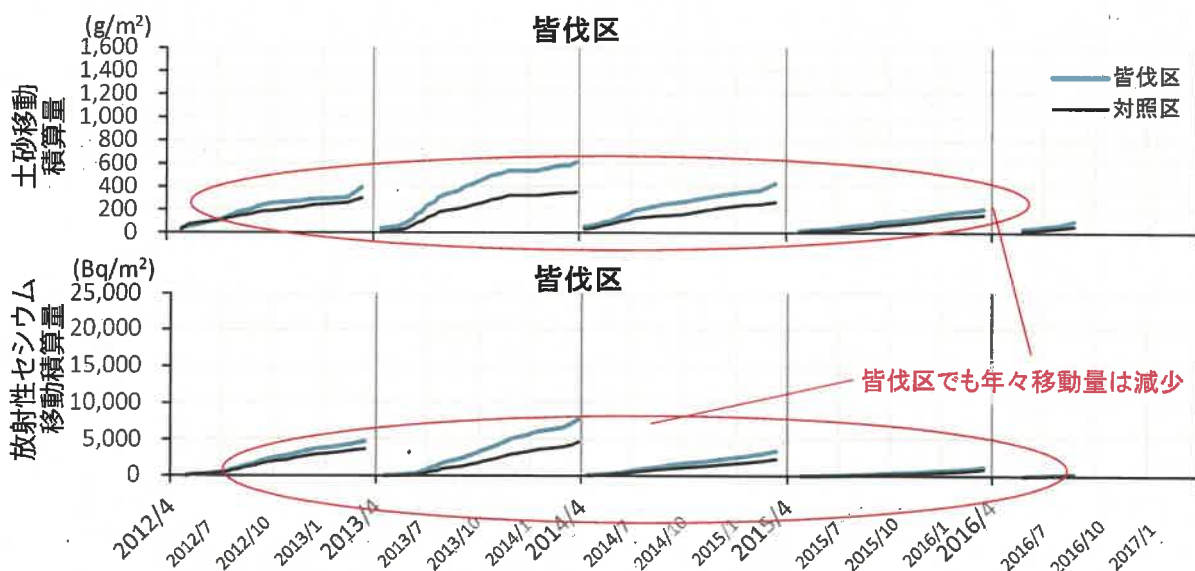
間伐後の地表流水からは放射性物質はほとんど検出されませんでした。また、土砂移動量と放射性セシウム移動量の変動傾向が似ていることから、林床の放射性物質は主に土砂に付着して移動すると推察されました。

落葉等除去区では1年目には土砂等移動量が大きく増加しました。これは落葉等の除去に伴い林床が大きく攪乱されたためと考えられます。土砂移動量は2年目には減少し、その後、対照区と同程度の傾向が継続しました。林床の攪乱による土砂移動への影響は1年以内に収まり2年目以降は小さかったことから、間伐の際には林床を大きく攪乱しなければ、土砂の移動が少なくなり、放射性セシウムの移動も抑えられると考えられます。地表が堆積有機物や下層植生で覆われた森林内では、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と考えられています。

皆伐区による放射性セシウムの移動

アカマツ広葉樹混交林の皆伐区では、2012年2月に皆伐を実施した後、隣接する林内に設置した対照区と土砂及び放射性セシウムの移動量を比較しました。

皆伐の実施後、土砂と放射性セシウムの移動量が顕著に増加する傾向はみられず、土砂と放射性セシウムの移動が年々減っていることが分かりました。



注：間伐、皆伐等は2012年2月に実施。
間伐区は平均傾斜は23度、皆伐区は平均傾斜は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



[図 4-7] 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(皆伐)
資料：林野庁 HP「森林における放射性物質対策技術検証・開発事業の成果」2017年度

植栽木の放射性セシウム濃度の調査

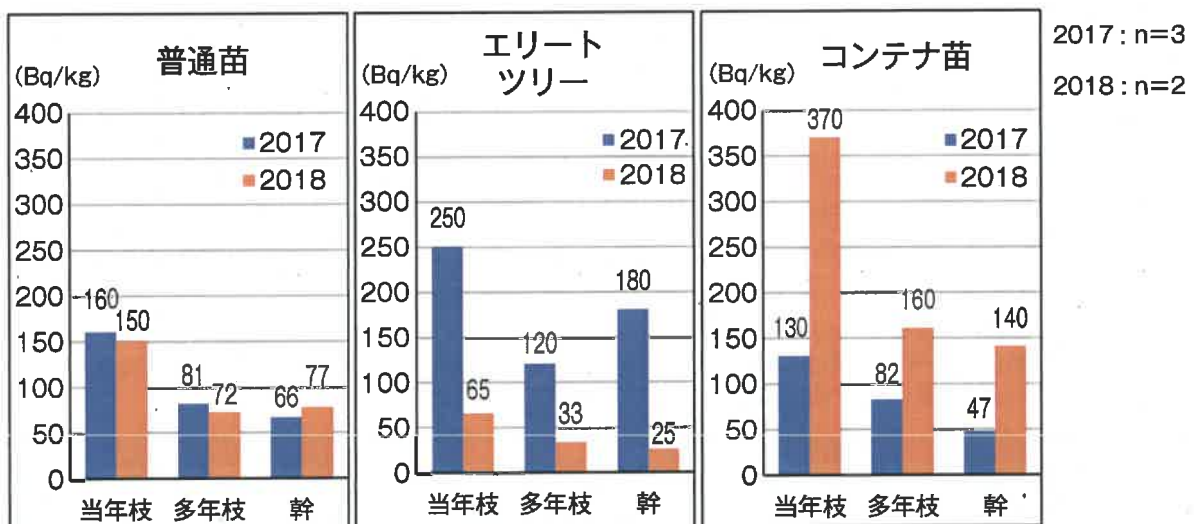
林野庁では、原発事故後に植栽した苗木の放射性セシウム濃度について調べています。

原発事故後に植栽した苗木の放射性セシウム濃度の変化

福島県田村市では、2016年度に皆伐跡地へスギの普通苗、エリートツリー*¹、コンテナ苗*²を植栽し、苗木の当年枝、多年枝及び幹の放射性セシウム濃度を測定しています。

各苗の当年枝、多年枝及び幹の放射性セシウム濃度について、2017年度と2018年度の2か年の変化を分析しました。作業にあたっては、2017年度は各苗3本、2018年度は各苗2本を地際から切断し、当年枝、多年枝、幹に分別した上で混合し、放射性セシウム濃度を測定することとしています。

2017年度の調査では、いずれの部位でもエリートツリーの濃度が高くなってお



[図 4-8] 植栽木(スギ)の部位別放射性セシウム濃度(福島県田村市)

資料: 林野庁「平成30年度 避難指示解除区域等の林業再生に向けた実証事業(分析・取りまとめ)」2019年3月

り、2018年度の調査では、いずれの部位でもコンテナ苗の濃度が高くなっていました。

また、2017年度と2018年度の苗の部位別濃度を比較すると、普通苗は各部位同程度の濃度ですが、エリートツリーは幹の濃度が1/7に減少するなど、いずれの部位でも濃度が減少し、コンテナ苗は当年枝と幹の濃度が3倍になるなど、いずれの部位でも濃度が上昇していました。

このように苗の種類によって異なる傾向が見られますが、調査した苗の本数も少なく、短時間の結果でもあることから、今後も引き続き調査を行い、植栽木における放射性セシウムの吸収の特性を明らかにすることが必要です。

*1 成長や材質等の形質が良い精英樹同士的人工交配等により得られた次世代の個体の中から選抜される、成長等がより優れた精英樹。

*2 容器内面にリブ(縦筋状の突起)を設け、容器の底面を開けるなどによって根巻きを防止できる容器(林野庁が開発したマルチキャビティーコンテナ、宮崎県林業技術センターが開発したMスターコンテナなど)で育成した苗。

4章

森林施業と
放射性物質の影響

林内作業者の外部被ばく線量と防護衣等による被ばく低減効果

森林内の主に地表に存在する放射性物質、あるいは衣服や体表面に付いた放射性物質等から放射線を受けることを外部被ばくといいます。間伐等の森林整備を行う際、放射性物質による作業者の健康への影響が心配されます。そこで、福島県田村市のスギ林と川内村のヒノキ林に設けた実証試験地で作業に伴う被ばく線量の測定を行い、作業者の被ばく低減につながる手法を検証しました。

林業機械による放射線遮へい効果

作業員全員が電子式個人被ばく線量計を装着し、累積被ばく線量を記録するとともに作業種ごとに集計し、作業員の被ばく線量管理及び作業種別の被ばく線量を調査しました。

以下の2つの作業システムで測定、比較しています。

- ①人力作業システム：チェーンソー(伐倒、枝払い)
- ②機械作業システム：ハーベスタ(伐倒、集材、玉切)

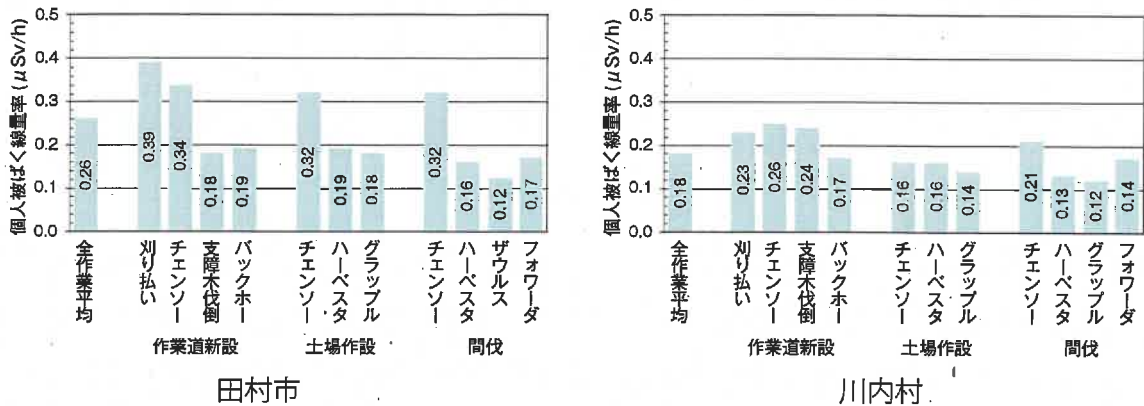


[図 4-9] 人力と機械を用いた2つの作業システムで比較調査

その結果、田村実証試験地の間伐時のチェーンソー作業の平均被ばく線量は $0.32 \mu\text{Sv/h}$ 、ハーベスタ作業は $0.16 \mu\text{Sv/h}$ であり、ハーベスタ作業では被ばくが 50% 低減することが分かりました。また川内実証試験地の間伐時のチェーンソー作業の平均被ばく線量は $0.21 \mu\text{Sv/h}$ 、ハーベスタ作業の平均被ばく線量は $0.13 \mu\text{Sv/h}$ であり、ハーベスタ作業によって被ばく線量を約 38% 低減できました。

ハーベスタでは作業員がキャビン内で作業を行うため、間伐時のチェーンソー作

業に比べて地表からの距離が遠いことや、ドアなどによる遮蔽効果もあり、被ばく量が少なかったと考えられます。



[図 4-10] 作業種ごとの1時間あたりの個人被ばく線量
資料：関東森林管理局 森林放射性物質汚染対策センター、磐城森林管理署「避難指示解除区域等における施業再開実証事業の取組状況等について」2016年

防護衣と特殊シートによる被ばく低減効果

作業者が放射線防護衣を着用した場合の被ばく低減効果を検証するため、作業者全員の防護衣の外側と内側に積算式線量計を設置し、被ばく線量の値を比較しました。3種類の防護衣を着用し、それぞれ外部被ばくの遮へい効果を計測したところ、15~20%程度の低減が確認できました。その一方で、重さや動作性の面から着用による作業者の肉体的な負担が大きいことがわかり、作業効率の低下が心配されました。

また、施業に用いた重機の操縦席に放射線遮へい効果のある特殊シートを設置した場合には、設置しない場合に比べてオペレーターの外部被ばく線量は5%程度低減しました。

	重量	遮へいの仕様	防護範囲	下半身防護パーツ
A製品	約2.3kg	タングステン機能紙	腕を除く上半身	無 ^{※1}
B製品	約5.0kg	特殊ゴム	腕を除く上半身	有 ^{※2}
C製品	約1.4kg	特殊ゴム	上半身中心部(骨髄)のみ	有 ^{※2}

※1 オプションとして販売されている製品は存在するが、本事業では不使用

※2 オプションとして販売されている製品を本事業で使用

[表 4-4] 使用した防護衣の概要

資料：林野庁「平成26年度避難指示解除準備区域等における実証事業(田村市)報告書」2015年3月

林内作業者の内部被ばく線量と被ばく低減方法

呼吸や食物などにより放射性物質を体内に取り込んだ場合の、体内の放射性物質による放射線被ばくを内部被ばくといいます。林野庁では、福島県田村市の都路地区で、森林作業の際に作業員が放射性物質を吸入した場合の内部被ばく線量について、作業種ごとに推算しました。

内部被ばく線量は非常に小さい値

作業員の内部被ばく線量を推算するために、作業種ごとに粉じん量及び粉じん中の放射性セシウム濃度を測定しました。1時間あたりの内部被ばく線量の最高値はチップ敷設実施時の $4.6 \times 10^{-5} \mu\text{Sv}$ となっており、外部被ばく線量に比べると数万分の1程度の値です(表4-5)。

作業種	平均粉じん濃度 mg/m ²	総作業時間 h	粉じん吸入量 ^{*1}		対象物の濃度 ^{*2}		内部被ばく線量 μSv/h
			mg/h	mg	¹³⁴ Cs Bg/kg	¹³⁷ Cs Bg/kg	
除伐	0.29	379.5	0.35	131.3	86	260	0.4×10^{-5}
作業路開設 ^{*3}	0.17	147.0	0.20	29.6	1500	3800	3.6×10^{-5}
更新伐	0.10	120.5	0.16	19.7	220	680	0.5×10^{-5}
地拵え	0.10	70.5	0.13	8.8	1500	3800	2.2×10^{-5}
機械化更新伐 ^{*3}	0.08	18.5	0.09	1.7	1500	3800	1.7×10^{-5}
植栽	0.10	336.5	0.12	40.7	1500	3800	2.2×10^{-5}
チップ敷設	1.24	77.0	1.48	114.2	220	680	4.6×10^{-5}

※1：作業種ごとにデジタル粉じん計により測定した粉じん濃度データを用い、作業者の呼吸量：1.2m³/h (ICRP Pub1.23 より引用)として換算

※2：除伐は下層植生濃度の平均値、作業路開設・地拵え・機械化更新伐・植栽はリター及び土壌濃度の平均値、更新伐・チップ敷設は丸太濃度の平均値を採用

※3：作業路開設と機械化更新伐は重機内での作業のため実際には粉じん吸入量・内部被ばく線量は大きく低減されると設定されるが、野外作業と同様の方法で算出

[表4-5] 内部被ばく線量推算結果

資料：林野庁「平成26年度避難指示解除準備区域等における実証事業(田村市)報告書」2015年3月

効果的な被ばく低減方法

通常の森林施業で発生する粉じんの濃度は非常に小さいため、全被ばく線量に占める内部被ばく線量の割合はごくわずかです。そのため、森林作業における被ばく線量を低減するには外部被ばく線量を低減することが重要になります。

外部被ばくを低減する方法として、主に次の3つが考えられます。

- ①作業時間の短縮
- ②防護衣などによる遮へい
- ③時間短縮と遮へい効果を併せ持つ機械化による作業

外部被ばく線量が高い作業種としては、除伐、植栽、更新伐等が挙げられるので、これらの作業の時間を短縮すれば、作業による被ばく線量は低減できます。更新伐において、集材と玉切り作業に高性能林業機械を導入した試験を行ったところ、作業時間が短縮され、外部被ばく線量を低減できることが分かりました。伐倒についても機械を導入すれば、低減効果が期待できると考えられます。

除伐や植栽については、機械化が困難なため、作業員数を増やして1人当たりの作業時間を短縮して外部被ばく線量を低減することが考えられます。また、ホットスポットでの作業や、肉体的負荷の小さい平坦な箇所での作業では、放射線防護衣を装着することで外部被ばく線量を低減させることができると考えられます。