

令和3年度
避難指示解除区域等における
森林施業等実証事業(土壌等調査)

報 告 書

令和4年3月

林野庁

目次

1. 事業の概要	1
1.1. 事業の目的	1
1.2. 事業対象地	1
1.3. 事業の履行期間	7
1.4. 事業内容	7
(1) 検討委員会の設置及び運営	7
(2) 主な調査項目	8
(3) 報告書の作成	9
2. 森林施業等が空間線量率に与える影響の検証	10
2.1. 調査目的	10
2.2. 皆伐が空間線量率に与える影響の把握（広野試験地）	10
(1) 目的	10
(2) 試験地と試験方法	10
(3) 試験結果及び考察	13
2.3. 落葉等除去や樹木の伐採が林縁部の空間線量率に与える影響の把握（川内試験地スギ林（A区））	15
(1) 目的	15
(2) 試験地と試験方法	15
(3) 調査結果及び考察	18
2.4. 作業範囲の拡大が空間線量率に与える影響の把握（川内試験地スギ林B区）	24
(1) 目的	24
(2) 試験地と試験方法	24
(3) 調査結果及び考察	27
2.5. 落葉等除去及び皆伐が空間線量率に与える影響の把握（原木採取林モデル地区）	33
(1) 目的	33
(2) 試験地と試験方法	33
(3) 調査結果及び考察	35
2.6. 皆伐及び間伐が空間線量率に与える影響の把握（過年度事業地）	39
(1) 目的	39
(2) 過年度事業地と施業内容	39
(3) 考察	73
3. 森林生態系内の放射性セシウム現存量分布の把握	76
3.1. 目的	76
3.2. 試験地と試験方法	78
(1) 試験地の概要	78

(2) 調査方法.....	80
(3) 試験結果及び考察.....	90
4. 森林内の放射性物質の移動（下方浸透）の検証と予備調査.....	108
4.1. 目的.....	108
4.2. 試験地の概要.....	108
4.3. 試験地の選定.....	111
(1) 試験地選定にあたっての考え方.....	111
(2) 試験設計の概要.....	112
(3) 試験地選定条件.....	113
(4) 試験地の決定.....	114
4.4. 森林施業内容の設計.....	115
(1) 森林施業内容（案）（令和4年度実施）の概要.....	115
(2) 森林施業内容の設計.....	117
4.5. 土壌浸透水に含まれる放射性物質濃度の把握.....	122
(1) 試験地と試験方法.....	122
(2) 試験結果.....	127
4.6. 細根等による放射性物質移動の把握.....	131
(1) 試験地と試験方法.....	131
(2) 試験結果及び考察.....	135
4.7. 土壌等の放射性物質濃度の測定（スクレーパープレートによる深度別土壌調査）.....	143
(1) 試験地と試験方法.....	143
(2) 試験結果.....	145
4.8. 空間線量率の測定.....	149
(1) 試験方法.....	149
(2) 調査結果.....	151
5. 調査・分析方法.....	152
5.1. 空間線量率等の測定.....	152
5.2. 放射性セシウム濃度の測定.....	152
解釈に関する補足・用語解説	
(1) 放射性物質の単位.....	153
(2) グラフ図示方法（箱ひげ図）.....	153
(3) 平均値.....	154
(4) 緩衝深度.....	154

1. 事業の概要

1.1. 事業の目的

東京電力福島第一原子力発電所事故により放出された放射性物質の影響を受けた地域では住居等周辺地域の除染等が行われ、避難指示区域についても帰還困難区域を除き順次解除されてきている。これらの地域において、林業は基幹産業の一つであり、避難していた住民の帰還後の林業・木材産業の再開が重要な課題となっている。

林野庁では、平成 23 年度より、森林における放射性物質の実態把握調査事業や、森林・林業の再生に向けた検証事業、実証事業を実施し、森林内の放射性物質の動態等に関する基本的な情報や、森林施業と空間線量率等との関係を明らかにしてきた。

一方、空間線量率等に影響を与える森林内の放射性セシウムは、その 9 割が表層土壌に滞留しているが、森林施業によってこれらの放射性セシウムがどのような影響を受けるかは未解明なままとなっている。

このため、森林施業と放射性セシウムの下方移動及び空間線量率の変動との関係を明らかにするとともに、空間線量率の低減に資する放射性セシウムの下方移動対策の検討を行った。

1.2. 事業対象地

事業対象地は、福島県浜通り地方に新規として 6 箇所設定（対照区 3 箇所を含む）したスギ林の森林施業区（以下、「新規試験区」という（図 1-1）。）、3 箇所のコナラ林の調査区（以下、「コナラ調査区」という（図 1-2）。）及び過年度事業により設定した下記 2 試験地及び 10 事業地（以下、「過年度試験地等」という。）で実施した。参考として、令和 2 年 10 月 29 日時点の航空機モニタリングによる空間線量率分布マップにおける事業地の位置関係を図 1-12 に示す。

表 1-1 事業対象地一覧

試験地・事業地	所在地	所有別	章			主な試験対象	樹種等	図表 No.
			2	3	4			
冬住事業地	南相馬市原町区大原大芦, 2011 林班ち 3 小班	国有林		○	○	下方浸透, 森林内 Cs 分布	スギ	図 1-1
高倉事業地	南相馬市原町区高倉, 2031 林班い 1 小班	国有林		○	○	下方浸透, 森林内 Cs 分布	スギ	図 1-1
飯樋事業地	相馬郡飯館村飯樋, 2336 林班ら 1 小班	国有林		○	○	下方浸透, 森林内 Cs 分布	スギ	図 1-1
田村事業地	田村市都路町岩井沢馬酔木沢, 261 林班ろ 1 小班	国有林		○		森林内 Cs 分布	コナラ等広葉樹	図 1-2
大放事業地	双葉郡葛尾村落合大放, 1286 林班い 2 小班	国有林		○		森林内 Cs 分布	コナラ等広葉樹	図 1-2
葛尾事業地	双葉郡葛尾村落合大笹, 1236 林班い 5 小班	国有林		○		森林内 Cs 分布	コナラ等広葉樹	図 1-2
広野試験地	双葉郡広野町折木北沢	町有林	○			空間線量率	アカマツ広葉樹混交	図 1-3 図 2-1
川内試験地	双葉郡川内村下川内字鍋倉地内	村有林	○			空間線量率	スギ、落葉広葉樹	図 1-4 図 2-4
毛戸事業地	双葉郡川内村大字下川内	村有林	○			空間線量率	スギ、アカマツ、カラマツ	図 1-5 表 2-17
大笹事業地	双葉郡葛尾村落合字大笹	村有林	○			空間線量率	ヒノキ、アカマツ	図 1-6 表 2-17
大谷事業地	双葉郡檜葉町大谷	町有林	○			空間線量率	スギ、ヒノキ	図 1-7 表 2-17
羽倉事業地	南相馬市小高区羽倉	市有林	○			空間線量率	スギ、アカマツ	図 1-8 表 2-17
関沢事業地	相馬郡飯館村関沢	村有林	○			空間線量率	ヒノキ	図 1-9 表 2-17
二枚橋事業地	相馬郡飯館村大字二枚橋	村有林	○			空間線量率	アカマツ	図 1-10 表 2-17
白石事業地	相馬郡飯館村大字白石	村有林	○			空間線量率	スギ	図 1-10 表 2-17
小滝沢事業地	田村市都路町古道字小滝沢	共有林	○			空間線量率	コナラ等広葉樹	図 1-11 表 2-17
合子事業地	田村市都路町古道字南作	共有林	○			空間線量率	コナラ等広葉樹	図 1-11 表 2-17
馬場平事業地	田村市都路町古道字馬場平	市有林	○			空間線量率	アカマツ、ヒノキ、スギ	図 1-11 表 2-17

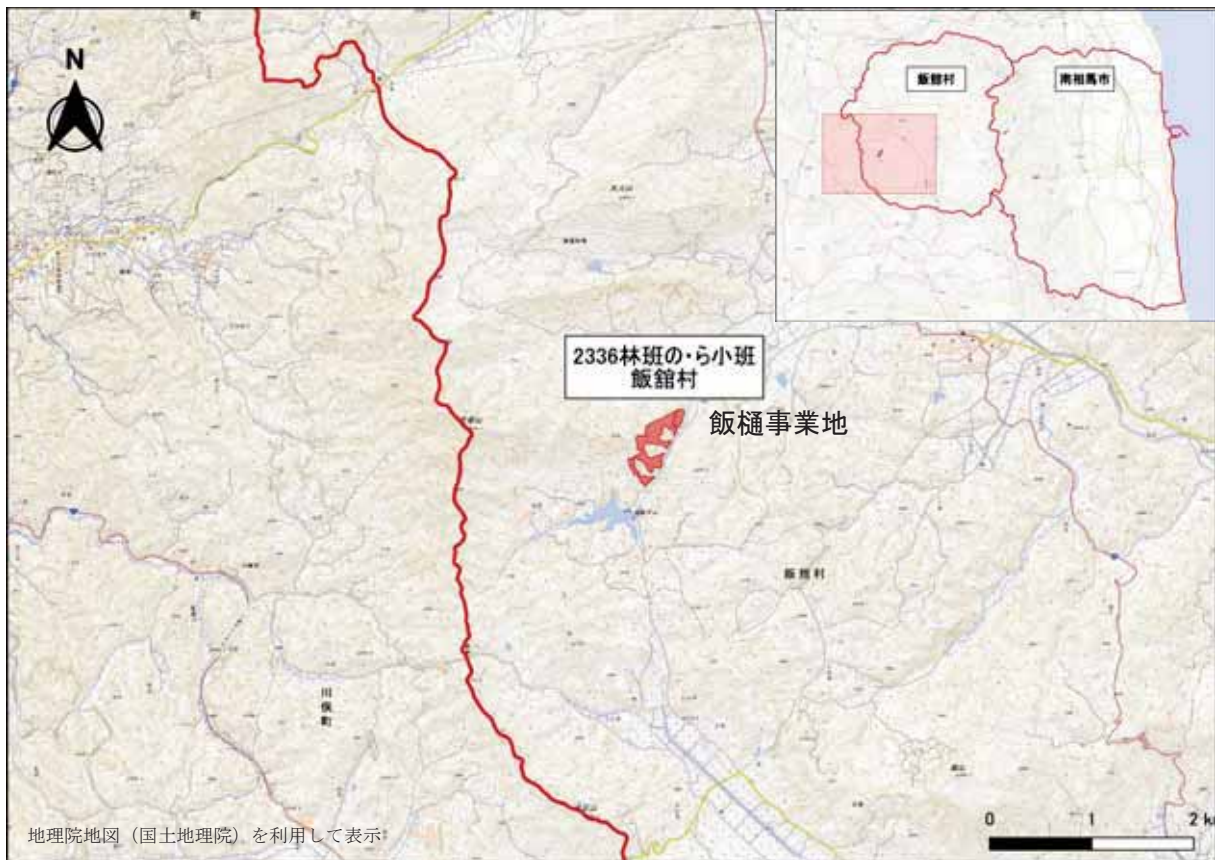
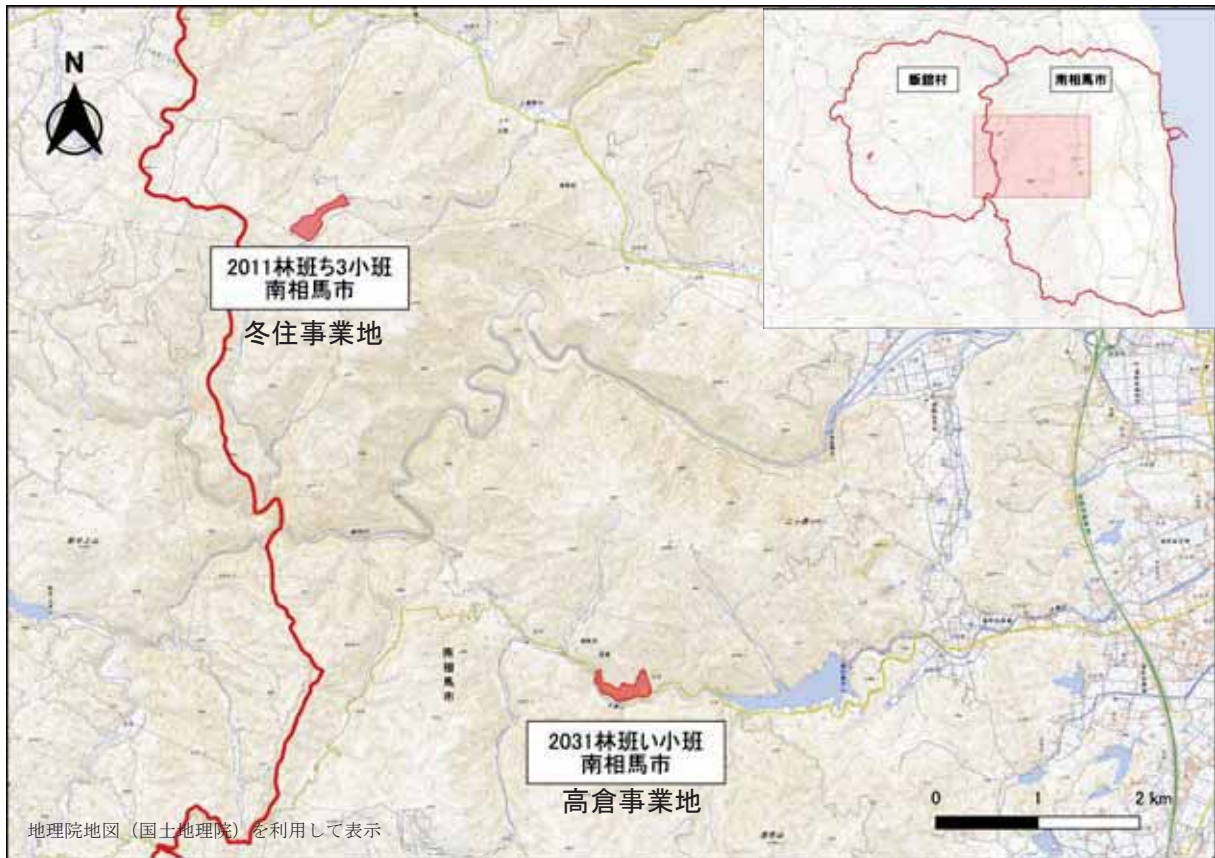


図 1-1 新規試験区位置図



図 1-2 コナラ調査区位置図

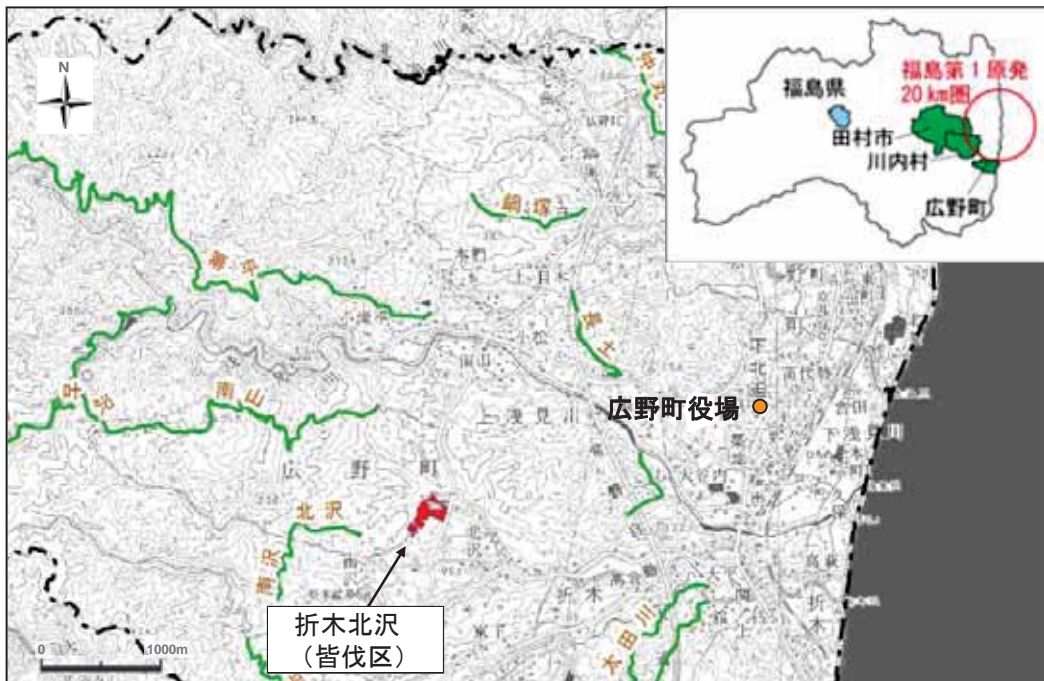


図 1-3 広野試験地位置図

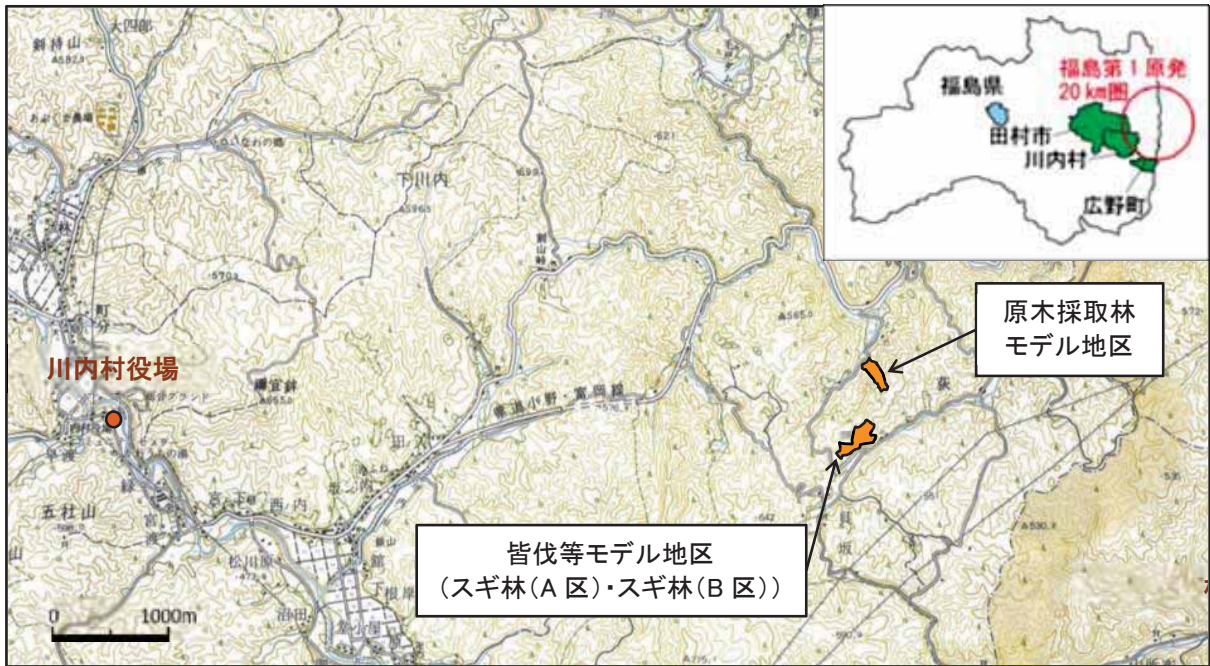


図 1-4 川内試験地位置図



図 1-5 調査対象地 (毛戸事業地)



図 1-6 調査対象地 (大笹事業地)



図 1-7 調査対象地 (大谷事業地)



図 1-8 調査対象地 (羽倉事業地)



図 1-9 調査対象地（関沢事業地）



図 1-10 調査対象地（二枚橋、白石事業地）

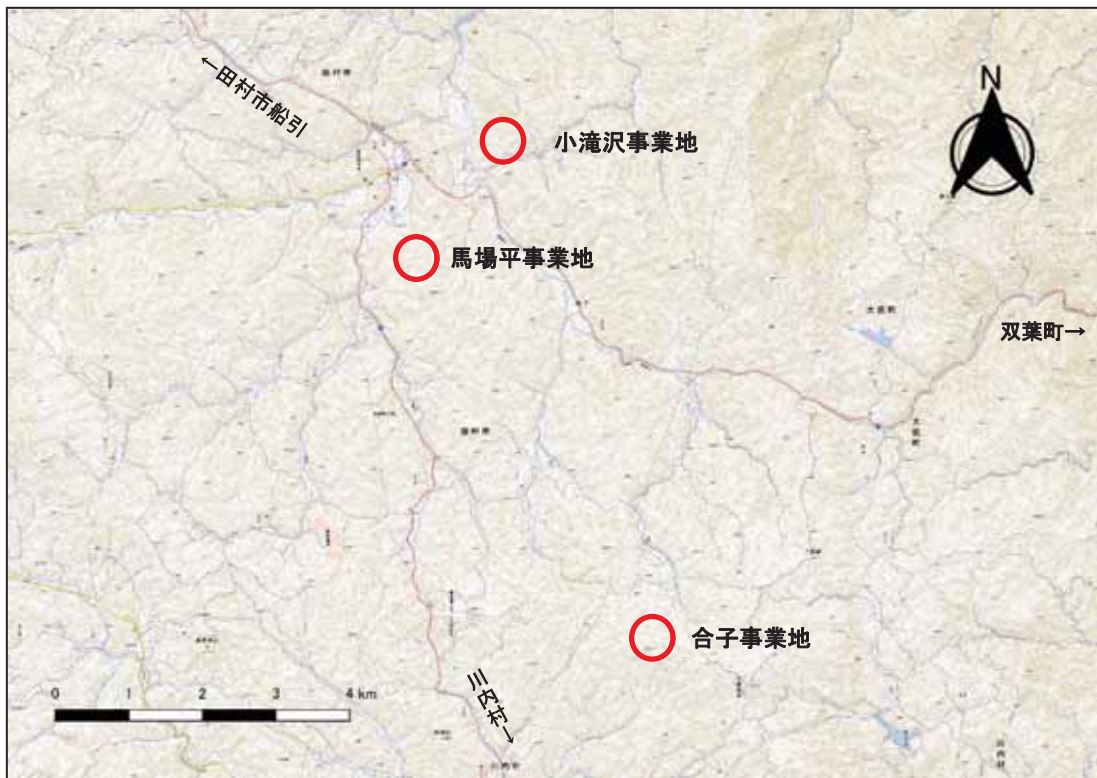


図 1-11 調査対象地（小滝沢、馬場平、合子事業地）

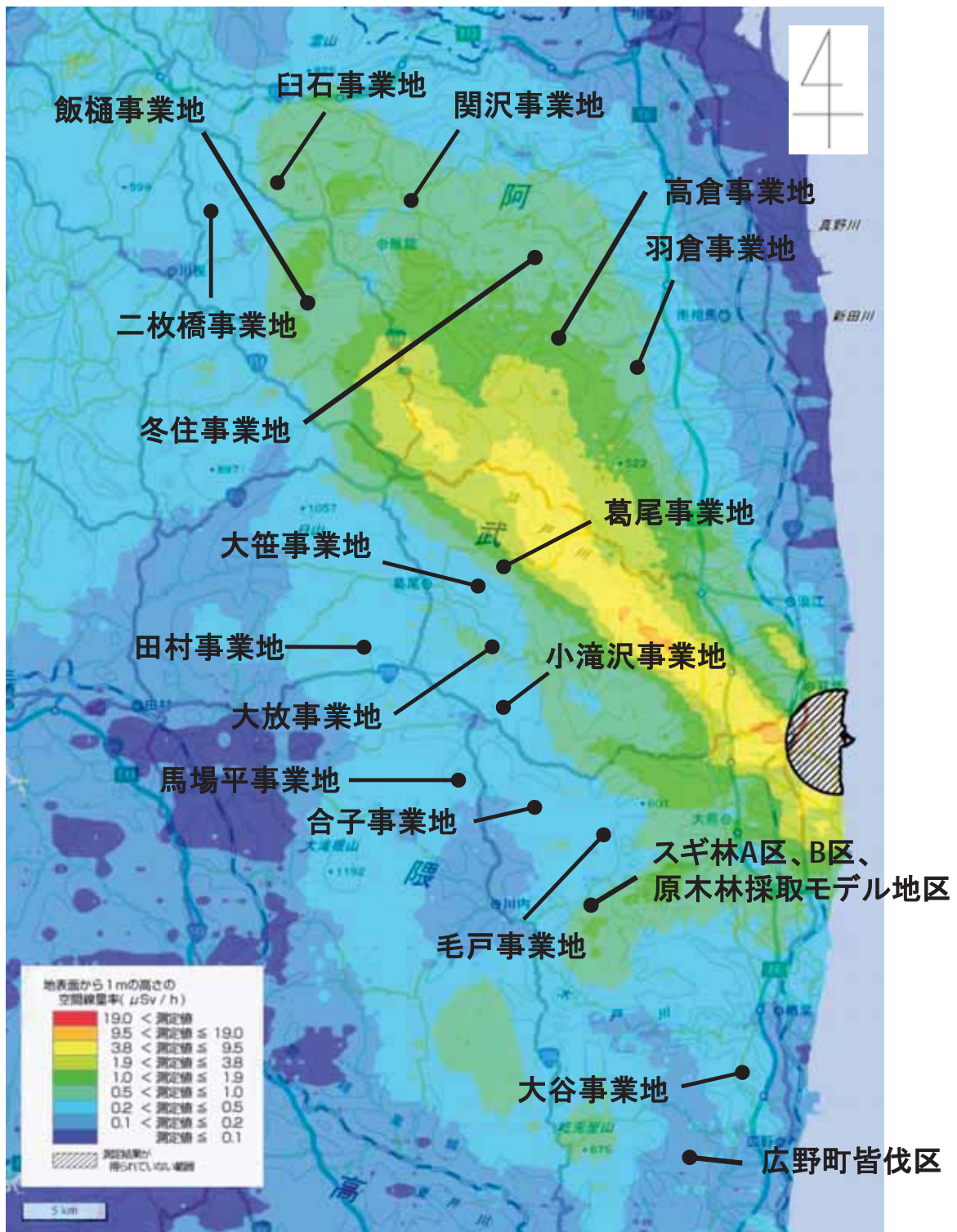


図 1-12 調査対象地位置と空間線量率

資料：原子力規制委員会 放射線量等分布マップ（令和2年10月29日時点）

1.3. 事業の履行期間

本事業は、令和3（2021）年7月7日から令和4（2022）年3月18日の期間に実施した。

1.4. 事業内容

本事業は、過年度より行ってきた複数の事業からの継続的な内容を主とする「森林施業等が空間線量率等に与える影響の検証」に係る調査と、新たな検証項目である「森林内の放射性物質の移動（下方浸透）の検証」に係る調査及び、その成果の取り纏めを目的として、以下の事業を実施した。

(1) 検討委員会の設置及び運営

事業の実施に当たっては、「令和3年度避難指示解除区域等における森林施業等実証事業（土壌等調査）検討委員会」を設置した。委員は、森林施業・造林、治山・砂防、森林土壌、放射線影響評価等に関する学識経験者等がバランスよく含まれるよう配慮し、表1-2に示す6名とした。

検討委員会は、表1-3に示した時期に開催して、専門家からの技術的な指導及び助言を得た。検討委員会で出された意見（巻末資料参照）については、林野庁と協議し、対応が可能なものについては、現地調査及び解析等に反映した。また、検討委員会以外においても、必要に応じて専門家の指導助言を仰いだ。

表 1-2 検討委員会委員一覧

氏名	所属
恩田 裕一	筑波大学 アイソトープ環境動態研究センター長 教授 専門分野；水文学・地形学
櫻井 正明	株式会社 山地防災研究所 代表取締役 専門分野；治山
星 正治 (座長)	広島大学名誉教授 専門分野；線量測定・評価
松本 秀樹	福島県森林組合連合会 代表理事専務
三浦 覚	国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所 震災復興・放射性物質研究拠点 研究専門員
柳田 範久	福島県農林水産部森林計画課 課長

注) 五十音順 敬称略

表 1-3 令和3（2021）年度の検討委員会の開催実績

区分	日時及び場所	検討事項等
第1回	令和3（2021）年8月3日 9：30～12：00 日林協会館（東京都千代田区）+ Web 会議	調査計画・方法の検討等
第2回	令和3（2021）年12月10日 14：00～16：00 日林協会館（東京都千代田区）+ Web 会議	事業の取組状況、来年度以降の施業方針等
第3回	令和4（2022）年2月16日 10：00～12：00 日林協会館（東京都千代田区）+ Web 会議	調査結果の報告等

(2) 主な調査項目

1) 森林施業等が空間線量率等に与える影響の検証

① 空間線量率の測定

新規試験区及び過年度試験地等において、3か月毎に空間線量率を測定した。

② 土壌等の放射性物質濃度の測定

新規試験区の試験区及び対照区において、スクレーパープレート及び円筒管を用いて土壌等を採取し、放射性物質濃度を測定した。

③ リターフォールの量及び放射性セシウム濃度等の測定

新規試験区及びコナラ調査区にリタートラップを設置するとともに、現存量調査として、標準地毎木調査、標準地下層植生調査、標準木3本の伐倒調査（材・樹皮・枝葉の部位別バイオマス量とセシウム量）、堆積有機物、土壌4層のスクレーパープレート調査をおこなった。

2) 森林内の放射性物質の移動（下方浸透）の検証

森林施業の実施による放射性セシウムの土壌下方への移動は、森林内の空間線量率の低減や植物体に取り込む放射性セシウムの減少に寄与すると考えられ、また放射性セシウムが土壌の下方へ移動する要因としては、主に以下の4つがある。

要因①：自然状態の土壌における鉛直下方への物理的移動

要因②：水に溶けたイオン（溶存態の放射性セシウム）となって土壌中を移動

要因③：適度な土壌の攪乱を伴う森林施業による鉛直下方への物理的移動

要因④：土壌中の細根の成長枯死（毎年2～3トン/ヘクタール程度）に伴う生物的移動

特に、要因③及び④については、森林施業の実施がその効果を促進する可能性がある。本試験は上記4要因を検証するために、以下の調査を行った。

① 土壌浸透水に含まれる放射性物質濃度の把握

要因②の影響を把握するため、新規試験地の森林施業区及び対照区において、ゼロテ
ンションライシメーターを設置し、浸透水の採取・分析を行った。

② 細根等による放射性物質移動の把握

要因④の影響を把握するため、新規試験地の森林施業区及び対象区においてそれぞれ
3地点ずつ堆積有機物及び土壌の試料を採取し、放射性物質濃度を測定した。

③ 森林内の放射性物質の移動（下方浸透）の新たな試験地の事前調査

来年度以降に要因③の影響を把握するため、新規試験地において来年度の森林施業に
向けて樹種や材積、施業内容等の事前調査を行った。

(3) 報告書の作成

試験結果は、検討委員会等で専門家から指導助言を得て、報告書として取り纏めた。

2. 森林施業等が空間線量率に与える影響の検証

2.1. 調査目的

過年度に林野庁が行った実証事業等の実施箇所において空間線量率を計測し、過年度の結果も含めてデータを取りまとめ、その推移の傾向を把握した。これにより、過去、もしくは現在の森林施業による空間線量率の低減状況を視覚的に示すことで、森林内における空間線量率の将来予測の基礎資料とすることを目的とした。

- ①過年度事業「森林施業等による放射性物質拡散防止等検証事業」事業地における空間線量率測定：広野試験地皆伐区及び川内試験地（スギ林 A 区、スギ林 B 区、原木林採取モデル地区）
- ②過年度事業「避難指示解除区域等の林業再生に向けた実証事業（双葉郡）（相馬地区）（田村市）」事業地における空間線量率測定

2.2. 皆伐が空間線量率に与える影響の把握（広野試験地）

(1) 目的

皆伐の作業前後の空間線量率の変化等を測定し、皆伐が空間線量率に与える影響を検証した。

(2) 試験地と試験方法

1) 試験地及び過年度事業の概要

調査は、広野試験地で実施した（各作業区の概要は表 2-1、配置は図 2-1 参照）。

試験区は、広野町折木北沢のアカマツ・広葉樹混交林内に位置する（37° 12'25"N, 140° 57'48"E 付近）。ここに 25m×50m の作業区を 4 箇所設置し、平成 24(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拵え（枝条散布、坪刈り、棚積、枝条除去）を実施した。作業実施前の空間線量率は、平成 24(2012)年 1 月時点で 0.65μSv/h であった。

なお、試験区では、平成 24(2012)年 12 月上旬に低木等の刈払いをした上で、コナラ苗木を植栽した。

表 2-1 作業区の概要

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
皆伐区	アカマツ・ 広葉樹混交林 (46～63 年生)	0.50ha (25m×50m ×4 区画)	20°	皆伐、地拵え(枝条散布、坪刈り、棚積、枝条除去)	0.65 μSv/h	110 kBq/m ²

*1 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)

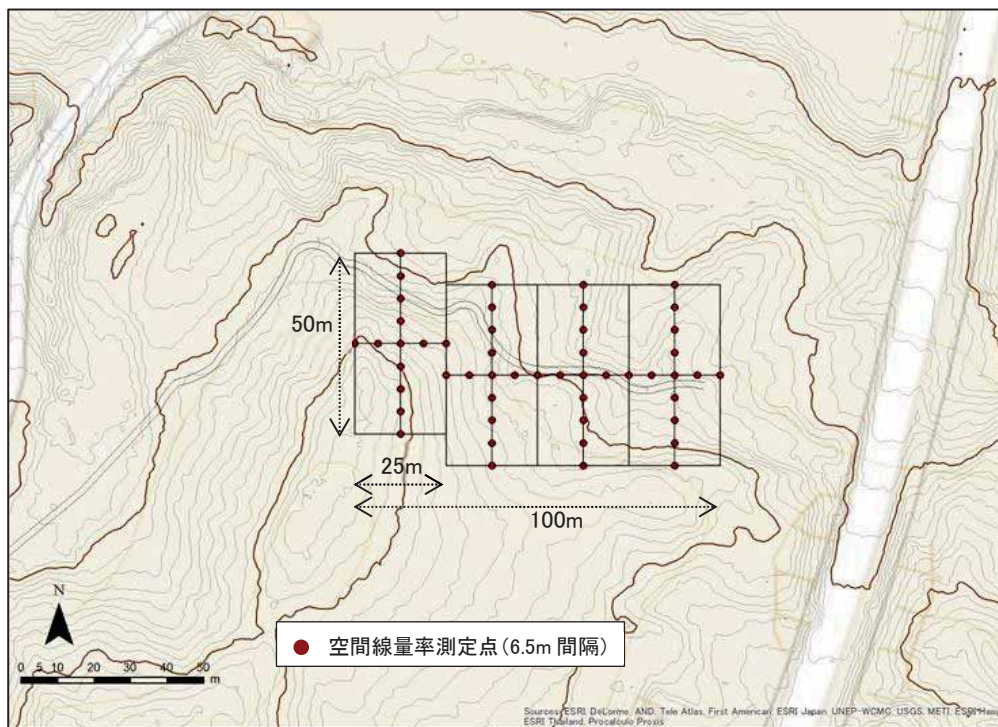


図 2-1 皆伐区



皆伐区 作業前

皆伐後

令和 3(2021)年 7 月時点

写真 2-1 皆伐区の概況

2) 空間線量率の測定

空間線量率は、5章に記載の方法に従って、3ヶ月毎に測定した(表 2-2)。測定点は、作業区を中心を通過する十字状に配置しており、6.25m 間隔で 50 地点を設定した(図 2-1)。なお、チップを散布した作業道上の測定点 7 点及び林縁部(各区長手方向の両端)の 8 点を解析時に除外した。

測定は、原則として、空間線量率に影響を与える可能性がある降雨及び積雪を避けて実施した。

表 2-2 空間線量率の測定日（皆伐区）

作業区	作業後の経過年月	測定日	天気	積雪	測定点数
皆伐区	作業前	2012/1/25	(曇り)	-	50 (35)
	作業直後	2/27	(晴れ)	-	
	1年4ヶ月	2013/6/5	晴れ	-	
	1年10ヶ月	12/12	晴れ	-	
	2年3ヶ月	2014/4/24	晴れ	-	
	2年8ヶ月	9/2	曇り	-	
	2年11ヶ月	12/12	曇り	-	
	3年3ヶ月	2015/4/25	晴れ	-	
	3年6ヶ月	7/22	晴れ	-	
	3年9ヶ月	10/29	晴れ	-	
	4年4ヶ月	2016/6/1	晴れ	-	
	4年7ヶ月	9/2	晴れ	-	
	4年10ヶ月	12/8	晴れ	-	
	5年4ヶ月	2017/5/30	晴れ	-	
	5年7ヶ月	8/29	晴れ	-	
	5年10ヶ月	11/29	晴れ	-	
	6年4ヶ月	2018/5/29	晴れ	-	
	6年7ヶ月	9/13	晴れ	-	
	6年9ヶ月	11/13	晴れ	-	
	7年4ヶ月	2019/5/30	晴れ	-	
	7年7ヶ月	8/30	曇り	-	
	7年10ヶ月	12/1	晴れ	-	
	8年1ヶ月	2020/2/25	曇り	-	
	8年4ヶ月	5/24	晴れ	-	
	8年7ヶ月	8/28	晴れ	-	
	8年10ヶ月	11/30	晴れ	-	
	9年1ヶ月	2021/2/17	晴れ	-	
9年5ヶ月	7/14	晴れ	-		
9年8ヶ月	10/11	晴れ	-		
9年11ヶ月	2022/1/10	晴れ	-		

()の天気は、公表されている広野町の過去の天気情報による。

試験区の測定点 50 点のうち、チップを散布した作業道上の測定点 7 点及び林縁部(各区長手方向の両端)の 8 点を除外した計 35 点を解析に用いた。

(3) 試験結果及び考察

試験区における空間線量率の推移を図 2-2 に示す。

作業完了後から約 10 年間の空間線量率は、図中の赤色の破線で示す物理減衰よりも低く推移した。

この空間線量率の推移について、物理減衰に対する比率で表 2-3、図 2-3 に示した。

作業直後から 1 年 4 ヶ月 (2013/6) の間に、作業 (皆伐) の効果により、空間線量率の低減が進み、1 年 4 ヶ月 (2013/6) 以降は、物理減衰に対する比率は、上昇と下降を繰り返したが、全期間で見るとさらに下方への推移を示した。つまり空間線量率は、物理減衰よりもやや低減が進んで推移したことを表す。

作業完了後から約 10 年目となる今年度 (2021/7~2022/1) の空間線量率は、物理減衰による低減よりも 37~41%低減したことが示された。

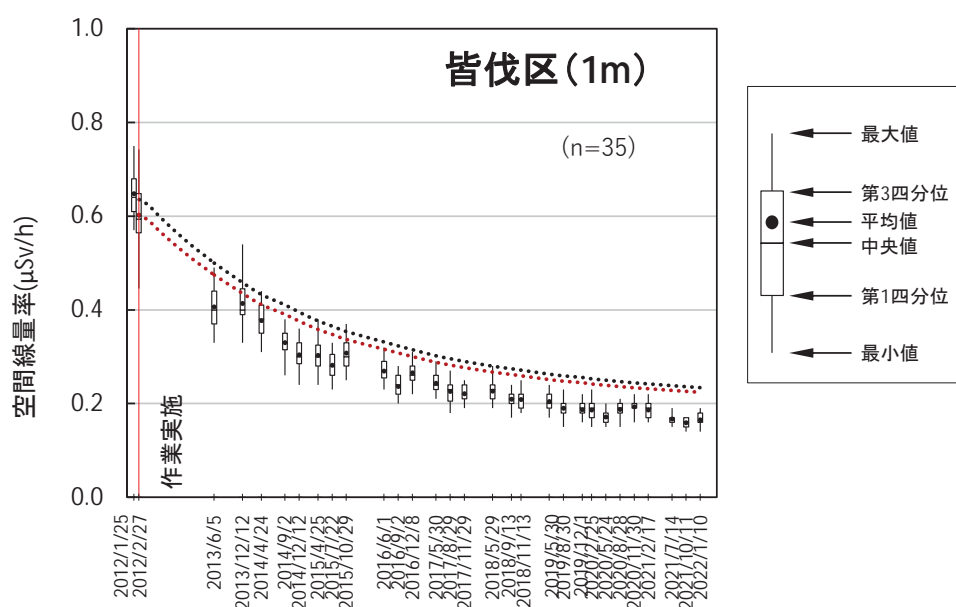


図 2-2 広野試験地における皆伐 (アカマツ広葉樹混交林) 実施後の空間線量率の推移

空間線量率は実測値 (地上 1m) を示す。黒丸は平均値、誤差線は、最大値及び最小値を示し、誤差線に付属する矩形の上下端は、第 3 四分位数及び第 1 四分位数を示す。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減衰による空間線量率の低減を示し、赤色の破線は作業後の空間線量率を基準とした物理減衰による空間線量率の低減を示す。

物理減衰補正は、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である。

表 2-3 物理減衰に対する空間線量率の比率

測定日	物理減衰に対する比率(%)	
	平均値	±標準偏差
作業前 2012年 1月24日	0	
作業後 2月9日	-5.3	±7.2
2013年 6月7日	-19.4	±6.5
12月12日	-10.1	±7.6
2014年 4月25日	-13.5	±7.2
9月2日	-20.9	±5.6
12月12日	-24.9	±5.5
2015年 4月25日	-21.4	±7.5
7月22日	-25.2	±6.6
10月29日	-14.2	±7.3
2016年 6月1日	-21.0	±6.2
9月2日	-30.2	±7.8
12月8日	-17.8	±6.3
2017年 5月30日	-22.3	±7.1
8月29日	-27.5	±7.9
11月29日	-27.7	±6.7
2018年 5月29日	-23.0	±6.5
9月13日	-28.3	±5.9
11月14日	-27.9	±6.4
2019年 5月30日	-26.7	±7.3
8月30日	-32.6	±6.8
12月1日	-31.6	±6.9
2020年 2月25日	-30.7	±7.1
5月24日	-38.5	±5.5
8月28日	-29.9	±5.4
11月30日	-26.2	±5.9
2021年 2月17日	-28.5	±6.6
7月14日	-37.4	±5.4
10月11日	-41.1	±4.4
2022年 1月10日	-37.0	±5.9

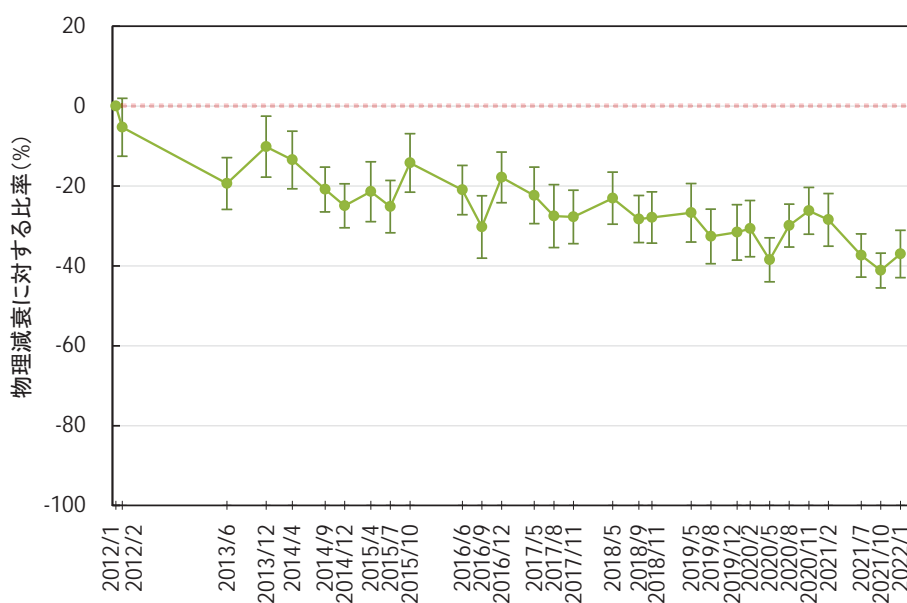


図 2-3 物理減衰に対する空間線量率の比率の推移

※エラーバーは標準偏差を示す。

2.3. 落葉等除去や樹木の伐採が林縁部の空間線量率に与える影響の把握

(川内試験地スギ林 (A区))

(1) 目的

過年度（平成 24（2012）～平成 31（2019）年度）事業では、住居等近隣を想定した森林において、落葉等除去や樹木の伐採等の作業を行い、作業前後の空間線量率の変化等を測定し、落葉等除去や樹木の伐採による林縁部及び作業実施範囲内の空間線量率等に与える影響を検証した。

本年度事業では、これらの各種森林施業による放射性物質分布の変化とその影響の把握を目的として、その後の空間線量率等の変化をモニタリングした。

(2) 試験地と試験方法

1) 試験地の概要

調査は、平成 24（2012）年度に設定した川内試験地スギ林(A区)で実施した（図 2-4）。

試験地は、設定時には、54年生のスギ林で、放射性セシウム（Cs-134+Cs-137）の平均沈着量¹は1,110kBq/m²、平成 24（2012）年 11月時点での空間線量率は、2.4～5.0 μSv/hであった。ここに、落葉等除去+皆伐区、落葉等除去+間伐区、落葉等除去区、間伐区、対照区の5つの作業区を設定した（表 2-4）。落葉等除去+皆伐区での皆伐作業は、落葉等除去後に伐採、ウインチで集材し、作業区内で造材、搬出、その後コナラ（1,000本/ha）及びスギ（3,000本/ha）の苗木を植栽した。落葉等除去+間伐区での間伐作業は、落葉等除去後に、2伐4残の列状に伐採し、スイングヤードで皆伐区内に集材し、造材した上で搬出した。間伐区では、落葉等除去を行わず、同様に列状間伐を行った。

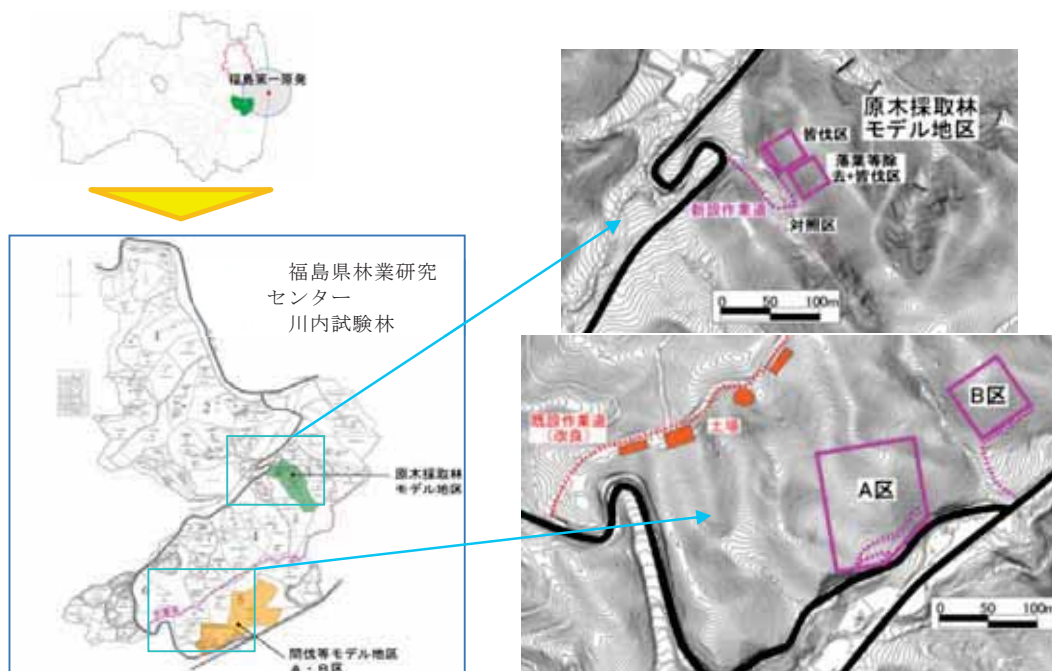


図 2-4 各試験区の位置図

¹ 第3次航空機モニタリング結果として公表された、放射性セシウム（Cs-134+Cs-137）の地表面への沈着量の算定値に基づき、10m×10mメッシュごとの沈着量を算出し、スギ林（A区）の各作業区と重なるメッシュの沈着量の平均値を算出した。

表 2-4 スギ林（A区）の各作業区での作業の概要

作業区	作業内容	作業日
落葉等除去+皆伐区	作業道作設 落葉等除去 皆伐 コナラ植栽 スギ植栽	平成 24(2012)年 12 月 11～15 日 平成 24(2012)年 12 月 16 日～平成 25(2013)年 1 月 10 日 平成 25(2013)年 3 月 9～13 日 平成 25(2013)年 4 月 6 日 平成 25(2013)年 7 月 9 日
落葉等除去+間伐区	落葉等除去 列状間伐	平成 25(2013)年 1 月 31 日～2 月 6 日 平成 25(2013)年 6 月 6 日～24 日
落葉等除去区	落葉等除去	平成 24(2012)年 12 月 16 日～平成 25(2013)年 1 月 10 日
間伐区	列状間伐	平成 25(2013)年 6 月 6 日～24 日
対照区	—	—

2) 空間線量率の測定

空間線量率は、5mメッシュ上に設定された測定点（図 2-5）で継続的に測定した。測定は、後述の第 7 章に記載した方法に従って、作業道作設、落葉等除去、皆伐等の各種作業の前後に実施し、その後は約 2～5 ヶ月間隔で令和 4（2022）年 2 月まで継続した（表 2-5）。なお、作業範囲外からの影響も考慮し、林縁及び各作業区の空間線量率は、図 2-5 に図示した位置における測定値をそれぞれ集計した²。

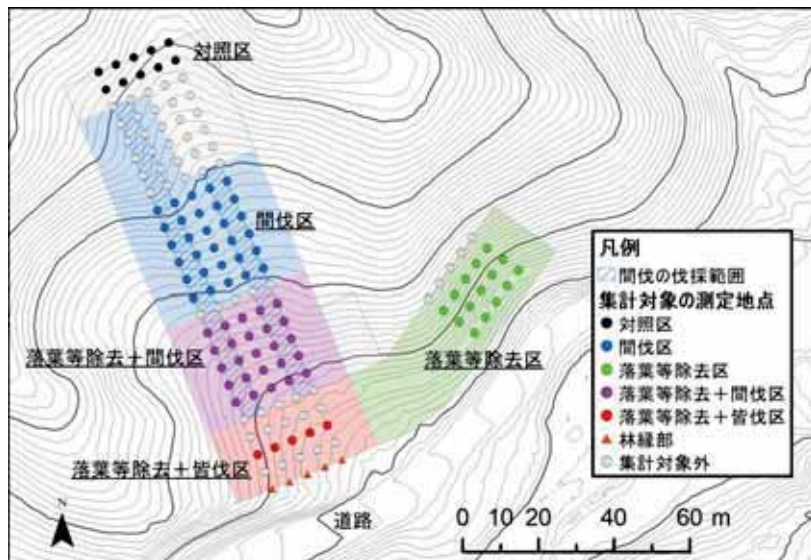


図 2-5 作業区の配置と空間線量率の測定範囲

図中の点の位置が空間線量率の測定地点を示す。青色の斜線の範囲は間伐実施時の伐採範囲を示す。

² 落葉等除去+皆伐区は、作業区外からの影響を除外するため、作業区境界から、10m 以上離れた測定地点のみを集計対象とした。

表 2-5 スギ林（A区）における空間線量率測定日及び測定地点数

回数	測定日	測定地点数						作業との関係	天候	積雪
		対照区	間伐区	落葉等 除去区	落葉等 除去+ 間伐区	落葉等 除去+ 皆伐区	林縁部			
1	平成 24(2012)年 11月 8~9日	10	30	15	25	5	5	作業前	晴	無
2	平成 24(2012)年 12月 20日	-	-	15	25	5	5	作業道作設後	晴	無
3	平成 25(2013)年 1月 8日	-	-	-	25	5	5	低灌木等除去後	晴	無
4	平成 25(2013)年 3月 27日	2	6	15	5	5	5	皆伐後	小雨	無
5	平成 25(2013)年 7月 1~3日	10	30	15	25	5	5	間伐後	曇	無
6	平成 25(2013)年 11月 26~28日	10	30	15	25	5	5		晴	無
7	平成 26(2014)年 2月 3~5日	10	30	15	25	5	5		雪	有
8	平成 26(2014)年 4月 7~8日	10	30	15	25	5	5		晴	無
9	平成 26(2014)年 5月 26日	10	30	15	25	5	5		曇	無
10	平成 26(2014)年 8月 25日	10	30	12	25	5	5		曇	無
11	平成 26(2014)年 12月 15日	10	30	15	25	5	5		晴	無
12	平成 27(2015)年 3月 20日	10	30	15	25	5	5		曇	無
13	平成 27(2015)年 6月 4日	10	30	15	25	5	5		晴	無
14	平成 27(2015)年 9月 28日	10	30	15	25	5	5		晴	無
15	平成 27(2015)年 12月 24日	10	30	15	25	5	5		曇	無
16	平成 28(2016)年 5月 19日	10	30	15	25	5	5		晴	無
17	平成 28(2016)年 9月 27日	10	30	15	25	5	5		曇	無
18	平成 28(2016)年 12月 27日	10	30	15	25	5	5		曇	無
19	平成 29(2017)年 5月 23日	10	30	15	25	5	5		曇	無
20	平成 29(2017)年 9月 27日	10	30	15	25	5	5		曇	無
21	平成 29(2017)年 12月 25日	10	30	15	25	5	5		晴	無
22	平成 30(2018)年 5月 10日	10	30	15	25	5	5		晴	無
23	平成 30(2018)年 8月 22~23日	10	30	15	25	5	5		晴	無
24	平成 30(2018)年 11月 15日	10	30	15	25	5	5		晴	無
25	平成 31(2019)年 3月 6日	10	30	15	25	5	5		曇	無
26	令和元(2019)年 6月 12日	10	30	15	25	5	5		曇	無
27	令和元(2019)年 9月 13~14日	10	30	15	25	5	5		曇	無
28	令和元(2019)年 12月 12日	10	30	15	25	5	5		晴	無
29	令和 2(2020)年 3月 6日	10	30	15	25	5	5		晴	無
30	令和 2(2020)年 6月 15日	10	30	15	25	5	5		晴	無
31	令和 2(2020)年 9月 16日	10	30	15	25	5	5		晴	無
32	令和 2(2020)年 12月 18日	10	30	15	25	5	5		晴	無
33	令和 3(2021)年 3月 5日	10	30	15	25	5	5		晴	無
34	令和 3(2021)年 7月 20日	10	30	15	25	5	5		晴	無
35	令和 3(2021)年 11月 26日	10	30	15	25	5	5		晴	無
36	令和 4(2022)年 2月 21日	10	30	15	25	5	5		晴	無

平成 24(2012)年 12月 20日、1月8日及び平成 25(2013)年3月 27日は、一部の範囲のみで測定を実施した。

(3) 調査結果及び考察

平成 28 (2016) 年度までの事業で得られた試験結果の概要は、以下のとおりである。

<平成 28 (2016) 年度までの試験結果の概要>

- ① 作業道作設及び落葉等除去等により、林縁部と対象作業区の空間線量率は、物理減衰を考慮しても、2～3割程度低減した。
- ② 間伐及び皆伐による空間線量率への影響は、作業完了時点は、明瞭ではなかった。
- ③ 作業完了後も空間線量率は、林縁部及び全ての作業区で、物理減衰よりも低下した (-29～-5%)。空間線量率は、複雑に変動しながら、低下していたが、林床における放射性物質の分布の変化やリターフォール等が影響した可能性がある。

(平成 28 (2016) 年度報告書より抜粋)

本年度までの、スギ林 (A 区) の各作業区における空間線量率の推移を図 2-6 に示す。各作業区の空間線量率は、作業道作設や落葉等除去、皆伐等の作業により低下した後も、引き続き、物理減衰のみによる推移よりも低い水準での低下傾向が続いており、本年度もその傾向に大きな変化はない。

落葉等除去、皆伐、間伐等の各種作業が完了後 (平成 25 (2013) 年 7 月 1 日以降) の各作業区における物理的減衰に対する空間線量率の比率³の推移を図 2-7 に示す。この比率は、短期的には、変動が大きかったものの、各作業区及び林縁部で、緩やかな低下傾向が続いている。これは、作業後も、空間線量率が物理的減衰による低減幅よりも、大きく低下する傾向が続いていることを示している。この比率は、全作業区で一部同調的に、毎年晩秋から初冬の時期に一旦低下し、その後冬季にやや上昇する変動パターンが見られており、本年度も同様の傾向が見られた。令和 3 (2021) 年 11 月にも、過年度の同時期と同様に、各作業区及び対照区で、この比率が同調的に上昇していたが、この時期の少雨による土壌と堆積有機物層の乾燥により、遮蔽効果が低下した影響と考えられる。ただし、令和 2 (2020) 12 月には、対照区、間伐区、落葉等除去+間伐区で、この比率の平均値が一旦正の値に転じたが、その後は負の値で推移しているため、一時的な現象であったものと考えられる。

測定回ごと (令和 3 (2021) 年 3 月 5 日、7 月 20 日、11 月 26 日、令和 4 (2022) 年 2 月 21 日) に作業完了後の物理的減衰に対する空間線量率の比率を作業区間で比較した結果を図 2-8 に示す。この比率は、令和 3 (2021) 年 11 月を除き、林縁部では対照区や間伐区等よりも有意に低く推移していた。令和 4 (2022) 年 2 月には、落葉等除去+皆伐区でも、間伐区及び落葉等除去+間伐区よりもこの空間線量率の比率が有意に低かったが、令和 3 (2021) 年 11 月には作業区間の統計的な有意差が全く見られなかった。作業からすでに約 9 年が経過した現時点では、落葉等除去、皆伐、間伐等の作業種ごとの追加的な空間線量率の低減は、次第に差異が不明瞭になってきている可能性がある。

³ 各種作業完了後の物理的減衰に対する空間線量率の比率 (%) は以下のように定義した。

{ (各測定回の空間線量率 / 各種作業完了時点 (平成 25 (2013) 年 7 月 1 日) の空間線量率が物理的減衰のみで低減した場合の空間線量率) - 1 } × 100

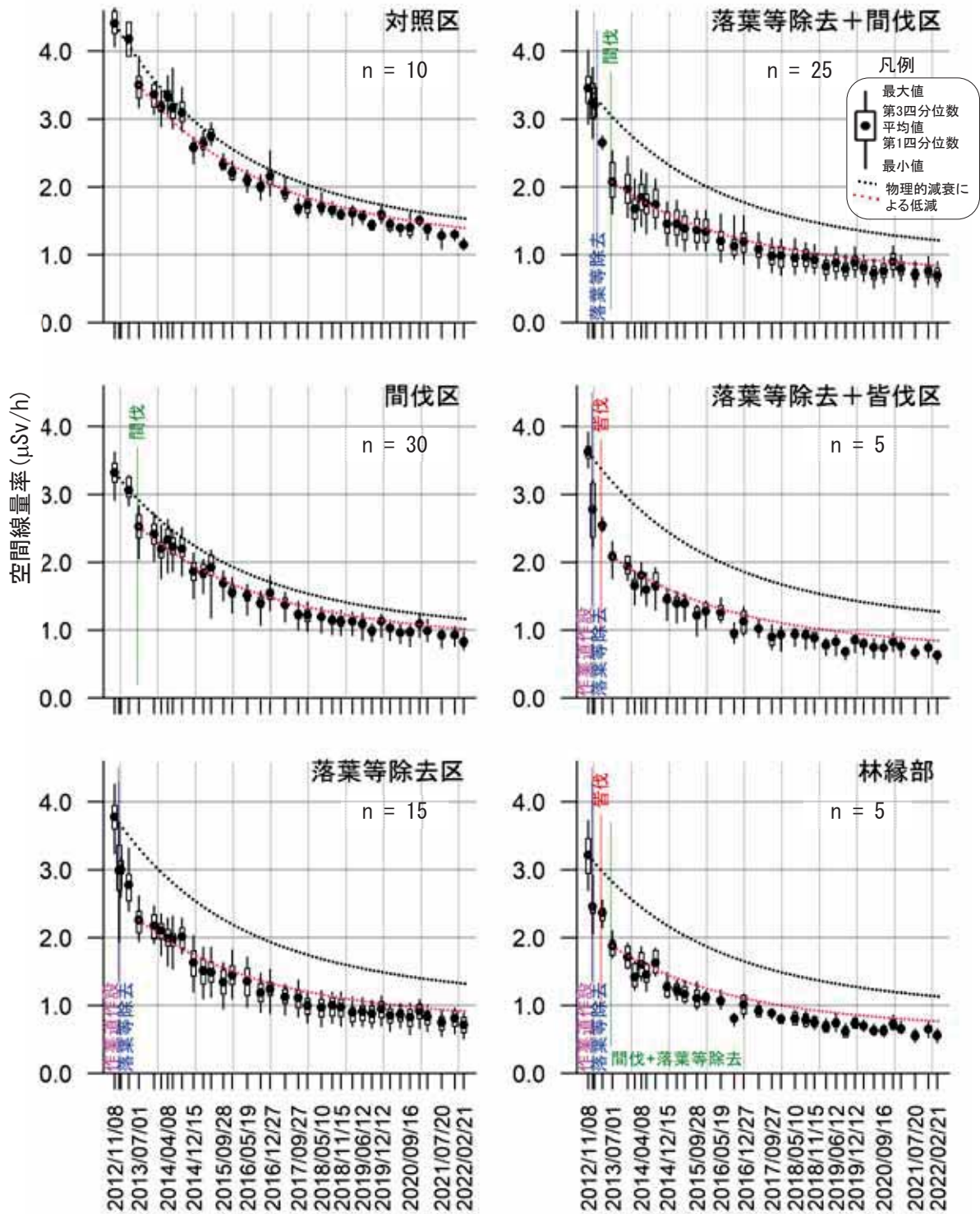


図 2-6 スギ林（A区）の各作業区における空間線量率の推移

図中の黒の点線は、作業開始前(平成 24(2012)年 11 月 8 日)、赤の点線は、作業完了時点(平成 25(2013)年 7 月 1 日)からの空間線量率の物理的減衰をそれぞれ示す。積雪があった測定回(平成 25(2013)年 1 月 30 日と同 年 2 月 8 日)は、除外して作図した。図中の黒い点は、空間線量率の平均値、誤差線は、最大値及び最小値、誤 差線に付属する矩形の上下端は、第 3 四分位数及び第 1 四分位数を示す。なお、四分位数とは、全てのデータを 小さい順に並べて四等分したときの三つの区切りの値を示す。誤差線の長さが短く、矩形の上下端の間隔が小さ いほど、測定値のバラつきが小さかったことを示す。

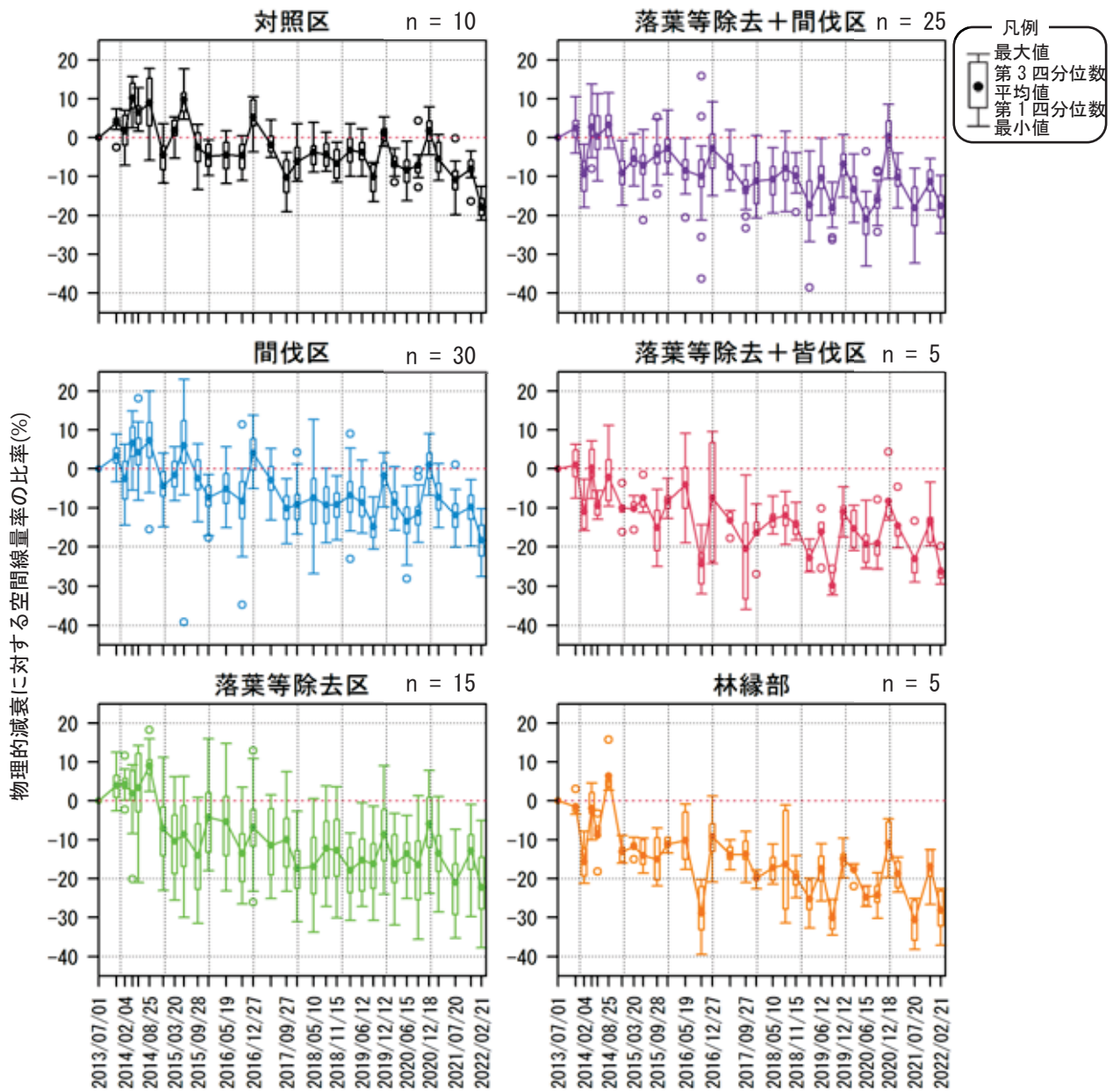


図 2-7 スギ林（A区）の各作業区における各種作業完了後の物理的減衰に対する空間線量率の比率の推移

各種作業完了時点(平成 25(2013)年7月1日)の各測定地点の空間線量率が物理的減衰のみで推移した場合の空間線量率に対する実際の空間線量率の比率を計算し、作業区ごとにその平均値の推移を示した。図中の黒い点は、空間線量率の平均値、誤差線は、最大値及び最小値、誤差線に付随する矩形の上下端は第3四分位数及び第1四分位数を示す。なお、四分位数とは、全てのデータを小さい順に並べて四等分したときの三つの区切りの値を示す。誤差線の長さが短く、矩形の上下端の間隔が小さいほど、測定地点ごとに算出した比率のバラつきが、小さかったことを示す。また、白抜きの点は、外れ値を示す。第3四分位数+(第3四分位数-第1四分位数)×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)×1.5を下回る値を外れ値とした。

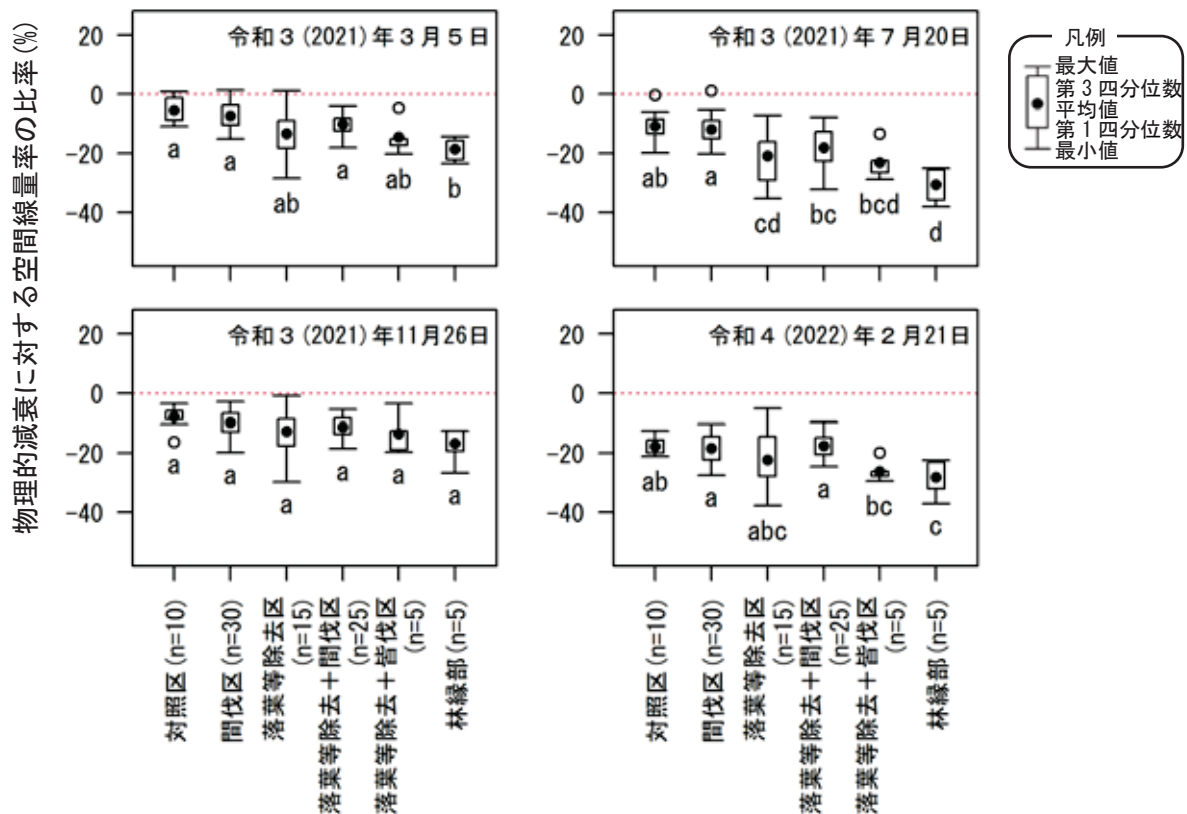


図 2-8 川内試験地スギ林（A区）の各作業区における各種作業完了後の物理的減衰に対する空間線量率の比率の比較

図中の黒い点は、空間線量率の平均値、白い丸は、外れ値を示す。誤差線は、最大値及び最小値を示し、誤差線に付属する矩形の上下端は、第3四分位数及び第1四分位数を示す。なお、四分位数とは、全てのデータを小さい順に並べて四等分したときの三つの区切りの値を示す。誤差線の長さが短く、矩形の上下端の間隔が小さいほど、測定値のバラつきが小さかったことを示す。同じ符号(a,b または c)を付した作業区間は有意差なし(Steel-Dwass 多重比較検定;5%水準)。図中の赤色の点線は、物理的減衰に対する空間線量率の比率がゼロ(物理的減衰と等しい空間線量率の減衰)となる水準を示す。

各作業区および林縁部における、物理減衰補正を行った空間線量率の年平均値の前年平均値に対する比率⁴の推移を表 2-6 に示す。この集計値は、平成 25 (2013) 年 7 月 1 日を基準日とした物理的減衰補正後の空間線量率に基づいて算出しており、物理的減衰による空間線量率低下の影響は除去されている。

この比率は、一部の期間や作業区等を除いて概ね負の値をとり、空間線量率は物理的減衰以上に低減し続けてきた。平成 30 (2018) 年から令和 2 (2020) 年にかけて、この比率は一部の作業区で正の値に転じていたが、令和 3 (2021) 年には、再びすべての作業区で負の値に戻っている。少雨による乾燥等の影響でこの比率は上下を繰り返しながら、長期的には物理減衰以上の低減傾向が継続しているものと考えられる。

⁴ $((\text{空間線量率の該当年平均値}) / (\text{前年平均値}) - 1) \times 100 (\%)$

表 2-6 スギ林（A区）における物理的減衰補正を行った空間線量率年平均値の前年平均値に対する比率（％）

	対照区	間伐区	落葉等除去区	落葉等除去＋間伐区	落葉等除去＋皆伐区	林縁部
平成 26(2014)年	4.6	2.3	1.8	-2.4	-6.5	-6.6
平成 27(2015)年	-3.3	-3.5	-11.0	-2.6	-4.2	-7.0
平成 28(2016)年	-2.3	-1.8	0.9	-2.3	-1.6	-3.7
平成 29(2017)年	-4.9	-4.4	-4.7	-3.9	-5.1	0.4
平成 30(2018)年	1.4	-1.4	-1.4	1.3	4.9	-2.4
令和元(2019)年	0.9	0.9	-0.5	-4.3	-8.4	-5.4
令和2(2020)年	-1.1	-0.1	1.8	0.8	5.7	3.3
令和3(2021)年	-3.3	-1.8	-3.3	-0.9	-2.0	-3.8

空間線量率は、平成 25(2013)年7月1日を基準日として、物理的減衰補正した値を用いた。

平成 26(2014)年の数値は、平成 25(2013)年7月、それ以外の年は、前年の年平均値に対する比率を示す。

スギ林（A区）の各作業区及び林縁における空間線量率の年平均値及び年間被ばく線量の推定値を表 2-7 に示す。空間線量率の低減に伴い、スギ林（A区）の各作業区及び林縁では、年間被ばく線量の推定値は、年々低下しており、令和 3（2021）年の年間被ばく線量は、対照区では、2.7 mSv、林縁及び各種作業実施範囲では、1.3～2.0 mSv と推定された。

表 2-7 スギ林（A区）の各作業区における空間線量率の年平均値及び年間被ばく線量の推定値

作業区	空間線量率の年平均値(μSv/h)								
	平成 25 (2013)年	平成 26 (2014)年	平成 27 (2015)年	平成 28 (2016)年	平成 29 (2017)年	平成 30 (2018)年	令和元 (2019)年	令和 2 (2020)年	令和 3 (2021)年
対照区	3.50	3.07	2.48	2.09	1.78	1.66	1.55	1.44	1.32
間伐区	2.53	2.16	1.75	1.48	1.28	1.15	1.08	1.01	0.95
落葉等除去区	2.26	1.93	1.45	1.26	1.08	0.98	0.91	0.87	0.80
落葉等除去＋間伐区	2.07	1.69	1.39	1.17	1.02	0.95	0.85	0.80	0.75
落葉等除去＋皆伐区	2.08	1.63	1.32	1.11	0.95	0.91	0.78	0.78	0.72
林縁部	1.88	1.48	1.16	0.96	0.87	0.78	0.69	0.67	0.62

作業区	年間被ばく線量推定値 (mSv/年)								
	平成 25 (2013)年	平成 26 (2014)年	平成 27 (2015)年	平成 28 (2016)年	平成 29 (2017)年	平成 30 (2018)年	令和元 (2019)年	令和 2 (2020)年	令和 3 (2021)年
対照区	7.3	6.4	5.2	4.3	3.7	3.4	3.2	3.0	2.7
間伐区	5.3	4.5	3.6	3.1	2.7	2.4	2.3	2.1	2.0
落葉等除去区	4.7	4.0	3.0	2.6	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7
落葉等除去＋間伐区	4.3	3.5	2.9	2.4	2.1	2.0	1.8	1.7	1.6
落葉等除去＋皆伐区	4.3	3.4	2.7	2.3	2.0	1.9	1.6	1.6	1.5
林縁部	3.9	3.1	2.4	2.0	1.8	1.6	1.4	1.4	1.3

年間被ばく線量は、週 40 時間、年間 52 週、林内で作業する想定で算出した。なお、この想定は、厚生労働省が特定線量下業務特別教育テキスト等で使用している想定と同一であり、空間線量率 2.5 μSv/h が年間被ばく量 5mSv に相当する。

事故発生から 10 年が経過し、事故に由来する放射性物質の大半は、林床の堆積有機物及び土壌に移動し、さらに土壌の表層から、より深部へと移動しつつある。土壌や堆積有機物、及びそれらに含まれる水分による遮蔽により、森林内の空間線量率は、物理的減衰を上回るペースで低減していたものと考えられる。ただし、年単位の短期的な変動を繰り返しながら、この低減傾向は長期的には鈍化しつつある可能性がある。今後、本事業で蓄積されるデータに基づき、放射性物質の下方移行が空間線量率に与える影響の変化を精査する必要がある。

2.4. 作業範囲の拡大が空間線量率に与える影響の把握（川内試験地スギ林B区）

(1) 目的

過年度（平成 24（2012）～平成 31（2019）年度）事業では、作業範囲を拡大しながら、落葉等除去及び皆伐を行い、作業中及び作業後の空間線量率の変化等を測定し、作業範囲と空間線量率の関係を検証した。

本年度事業では、これらの各種森林施業による放射性物質分布の変化とその影響の把握を目的として、その後の空間線量率等の変化をモニタリングした。

(2) 試験地と試験方法

1) 試験地の概要

調査は、平成 24（2012）年度に設定した川内試験地スギ林（B区）で実施した（図 2-4）。

試験地は、設定時には、43年生のスギ林（60m×60m）、平均斜度は、34度、放射性セシウム（Cs-134+Cs-137）の平均沈着量⁵は、1,120kBq/m²で、平成 24（2012）年 11 月時点での空間線量率は 2.2～4.5 μSv/h であった。ここで、2.5m×2.5 m から 60m×60 m の範囲まで、順次面積を広げながら、落葉等除去を実施した後、また 2.5m×2.5 m から 40m×40 m の範囲まで、順次面積を広げながら皆伐作業を実施した。皆伐作業は、ウインチによる集材後、作業区域外で造材し、跡地には、スギ（3,000 本/ha）を植栽した。なお、対照区は、上記作業の範囲外に 2 箇所設定した（表 2-8）。

表 2-8 スギ林（B区）の各作業区での作業の概要と試験斜面枠の略称

作業区	作業内容	作業日
落葉等除去+皆伐区	落葉等除去	平成 24(2012)年 11 月 26 日～12 月 2 日
	皆伐(ウインチで集材)	平成 24(2012)年 12 月 13 日～平成 25(2013)年 1 月 11 日
	スギ植栽	平成 25(2013)年 10 月 29 日
対照区	—	—

2) 空間線量率の測定

空間線量率は、作業着手前から、5 m メッシュ上に設定された測定点（図 2-9）で、継続的に測定されている。本事業では、作業完了時（平成 25（2013）年 1 月）までは、各作業の前後、作業完了後は、約 2～5 ヶ月間隔で、後述の第 7 章に記載した方法に従って、継続的に空間線量率を測定した（表 2-9、表 2-10）。

試験結果のうち各種作業範囲の拡大による影響については、作業範囲中心点及び作業範囲内平均値により評価した。なお、作業範囲内平均値は、作業により測定の範囲及び測定点数が異なる（最小 2.5m×2.5m 1 点、最大 60m×60m 169 点）ため、評価に当たっては、その点について留意した。

⁵ 第 3 次航空機モニタリング結果として公表された、放射性セシウム（Cs-134+Cs-137）の地表面への沈着量の算定値に基づき、10m×10m メッシュごとの沈着量を算出し、スギ林（B区）と重なるメッシュの沈着量の平均値を算出した。

各種作業後の影響については、表 2-10 に示すように、作業範囲の中心点及び中心点から 10m 以内の測定点（皆伐範囲中央部；赤色点線の範囲内）、中心点から 15～20m の測定点（皆伐範囲林縁部）、落葉等除去のみを実施した範囲に分けて、集計し解析した。

なお、下刈りによる空間線量率への影響を検証するため、平成 30（2018）年 8 月 22 日から 24 日の期間には、下刈り前、皆伐範囲の半分の範囲での下刈り後、皆伐範囲全域の下刈り後の 3 回、空間線量率を測定した。

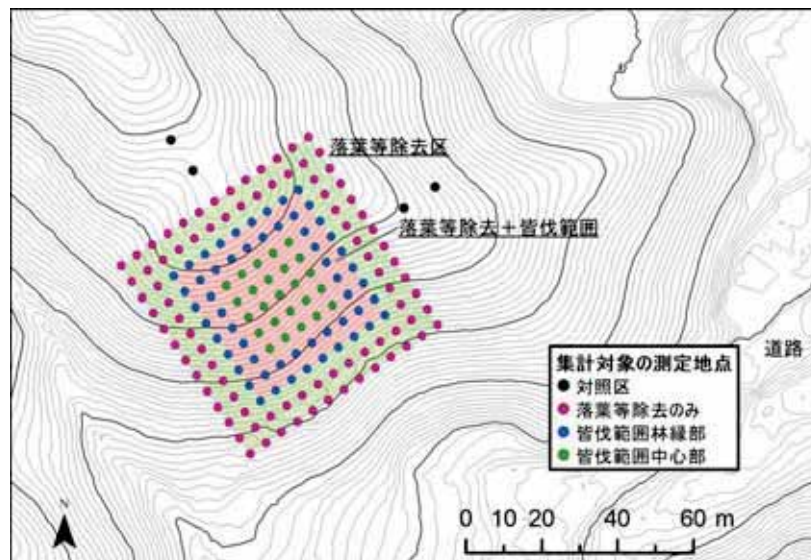


図 2-9 作業区の配置と空間線量率の測定範囲

図中の点の位置は、空間線量率の測定地点及び各範囲の集計対象区分を示す。

表 2-9 スギ林（B区）における空間線量率測定日及び測定地点数（各種作業実施期間）

回数	測定日	測定地点数			作業との関係	天候	積雪
		作業範囲	皆伐範囲中心	対照区			
1	平成 24(2012)年 11 月 1 日	81	1	4	作業前	晴	無
2	平成 24(2012)年 11 月 26 日	1	1	4	2.5m×2.5m 落葉等除去後	曇	無
3	平成 24(2012)年 11 月 26 日	1	1	4	5m×5m 落葉等除去後	曇	無
4	平成 24(2012)年 11 月 28 日	9	1	4	10m×10m 落葉等除去後	曇	無
5	平成 24(2012)年 11 月 30 日	25	1	4	20m×20m 落葉等除去後	曇	無
6	平成 24(2012)年 12 月 5 日	81	1	4	40m×40m 落葉等除去後	晴	無
7	平成 24(2012)年 12 月 12 日	169	1	4	60m×60m 落葉等除去後	晴	無
8	平成 24(2012)年 12 月 13 日	1	1	4	2.5m×2.5m 皆伐後	晴	無
9	平成 24(2012)年 12 月 13 日	1	1	4	5m×5m 皆伐後	晴	無
10	平成 24(2012)年 12 月 17 日	9	1	4	10m×10m 皆伐後	曇	無
11	平成 24(2012)年 12 月 27 日	25	1	4	20m×20m 皆伐後	晴	有 (0~1.5cm)
12	平成 25(2013)年 1 月 31 日	81	1	4	40m×40m 皆伐後	晴	有 (0~20cm)

表 2-10 スギ林（B区）における空間線量率測定日及び測定地点数（各種作業完了後）

回数	測定日	測定地点数					作業との関係	天候	積雪
		対照区	落葉等 除去のみ	皆伐範囲 林縁部	皆伐範囲 中心部	皆伐範囲 中心			
12	平成 25(2013)年 1 月 31 日	4	88	56	25	1	40m×40m 皆伐後	晴	0~20cm
13	平成 25(2013)年 4 月 10 日	4	88	56	25	1		晴	無
14	平成 25(2013)年 11 月 15 日	4	88	56	25	1		曇	無
15	平成 26(2014)年 2 月 6 日	4	88	56	25	1		晴	有
16	平成 26(2014)年 4 月 10 日	4	88	56	25	1		晴	無
17	平成 26(2014)年 5 月 28 日	4	88	56	25	1		晴	無
18	平成 26(2014)年 8 月 25 日	4	88	56	25	1		曇	無
19	平成 27(2015)年 1 月 9 日	4	88	56	25	1		晴	無
20	平成 27(2015)年 3 月 18 日	4	88	56	25	1		晴	無
21	平成 27(2015)年 6 月 15 日	4	88	56	25	1		晴	無
22	平成 27(2015)年 9 月 29~30 日	4	88	56	25	1		晴	無
23	平成 27(2015)年 12 月 25 日	4	88	56	25	1		晴	無
24	平成 28(2016)年 5 月 19 日	4	88	56	25	1		晴	無
25	平成 28(2016)年 9 月 26 日	4	88	56	25	1		曇	無
26	平成 28(2016)年 12 月 26~27 日	4	88	56	25	1		曇、小雨	無
27	平成 29(2017)年 5 月 23 日	4	88	56	25	1		曇	無
28	平成 29(2017)年 9 月 23 日	4	88	56	25	1		晴	無
29	平成 29(2017)年 12 月 24 日	4	88	56	25	1		曇	無
30	平成 30(2018)年 5 月 10 日	4	88	56	25	1		曇、小雨	無
31	平成 30(2018)年 8 月 22 日	4	88	56	25	1	下刈り前	晴	無
32	平成 30(2018)年 8 月 23 日	4	88	56	25	1	西半分下刈り後	晴	無
33	平成 30(2018)年 8 月 24 日	4	88	56	25	1	全域下刈り後	曇	無
34	平成 30(2018)年 11 月 15 日	4	88	56	25	1		晴	無
35	平成 31(2019)年 3 月 6 日	4	88	56	25	1		曇	無
36	令和元(2019)年 6 月 12 日	4	88	56	25	1		曇	無
37	令和元(2019)年 10 月 21 日	4	88	56	25	1		晴	無
38	令和元(2019)年 12 月 11 日	4	88	56	25	1		晴	無
39	令和 2(2020)年 3 月 5 日	4	88	56	25	1		晴	無
40	令和 2(2020)年 6 月 16 日	4	88	56	25	1		晴	無
41	令和 2(2020)年 9 月 15 日	4	88	56	25	1		曇	無
42	令和 3(2021)年 3 月 4 日	4	88	56	25	1		晴	無
43	令和 3(2021)年 7 月 21 日	4	88	56	25	1		晴	無
44	令和 3(2021)年 11 月 26 日	4	88	56	25	1		晴	無
45	令和 4(2022)年 2 月 21~22 日	4	88	56	25	1		晴	無

(3) 調査結果及び考察

平成 28 (2016) 年度までの事業で得られた試験結果等の概要は、以下のとおりである。

<平成 28 (2016) 年度までの試験結果の概要>

- ① 作業範囲中心点から 20m 範囲 (40m×40m) までの落葉等除去では、作業範囲の拡大に従い空間線量率は、低減し、中心点における空間線量率は、物理減衰を考慮しても、約 2 割低下した。皆伐に伴う空間線量率の変化は、不明瞭であった。
- ② 作業完了後も空間線量率は、低下傾向が続き、作業範囲中心の空間線量率は、平成 28 (2016) 年 9 月には、物理減衰を考慮しても、48%低下した (但し、対照区においても 20%低下)。
- ③ 作業範囲周辺部の空間線量率の変化は、作業範囲中心点よりも緩やかであったが、範囲外の森林からの影響と考えられる。 (平成 28 (2016) 年度報告書より抜粋)

スギ林 (B 区) の対照区、作業範囲及び作業範囲中心点における空間線量率の推移を図 2-10 に、各種作業完了後の対照区及び作業範囲ごとの空間線量率の推移を図 2-11 にそれぞれ示す。各作業範囲の空間線量率は、作業範囲の拡大に従って低減した。空間線量率は、作業完了後も、引き続き、物理的減衰よりも低い水準で低減が続いており、本年度もその傾向に大きな変化はなかった。また、空間線量率は、皆伐範囲中心に近い場所の方が、林縁やその周囲の範囲及び対照区よりも低い値で推移しており、本年度も、この傾向に大きな変化は見られなかった。

スギ林 (B 区) における作業完了後 (平成 25 (2013) 年 1 月 31 日以降) の物理的減衰に対する空間線量率の比率の推移を図 2-12 に示す。この比率は、測定地点や時期による変動も大きかったが、各種作業完了後も、年ごとの変動や、土壌が乾燥等の影響と思われる一時的な増減はあるものの、長期的に緩やかな低下傾向が続いている。ただし、この傾向は次第に鈍化している可能性がある。

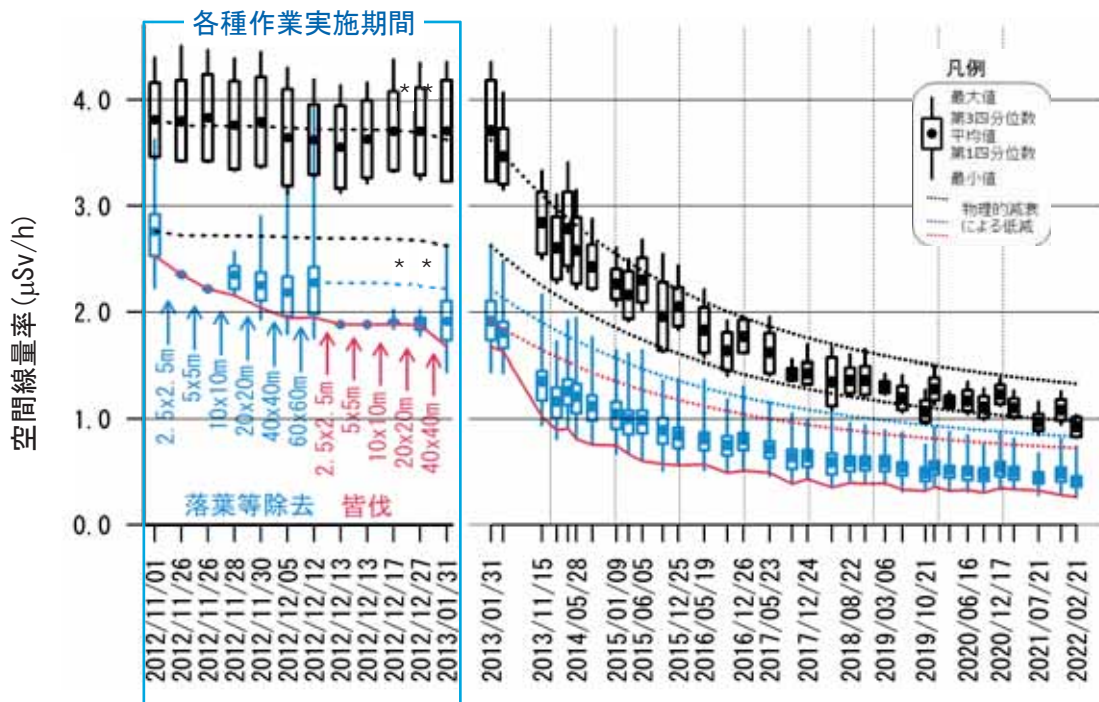


図 2-10 スギ林（B区）における対照区（黒色）、作業範囲（青色）及び作業範囲中心点（赤色）の空間線量率の推移

各作業範囲の各測定回の測定地点数は図 2-9 及び表 2-9 参照。なお、平成 25(2013)年1月 31 日以降の作業範囲は、皆伐範囲全域（皆伐林縁部、及び皆伐範囲中心部、n=81）を集計対象とした。平成 30(2018)年8月 23 日（西半分下刈り後）及び8月 24 日（全域下刈り後）の測定値については測定間隔が短く、測定値の変動も小さいため、図中に表示していない。黒、青及び赤色の点線は、作業開始時（平成 24(2012)年 11 月 1 日）、落葉等除去作業完了時（平成 24(2012)年 12 月 12 日）及び全作業完了時（平成 25(2013)年1月 15 日）からの空間線量率の物理的減衰をそれぞれ示す。また、図中の矩形の中央の点は、平均値、誤差線は最大値及び最小値、誤差線に付属する矩形の上下端は第3四分位数及び第1四分位数を示す。なお、四分位数とは、全てのデータを小さい順に並べて四等分したときの三つの区切りの値を示す。誤差線の長さが短く、矩形の上下端の間隔が小さいほど、測定値のバラつきが小さかったことを示す。横軸は各種作業期間（平成 24(2012)年 11 月 1 日～平成 25(2013)年1月 31 日）は作業段階ごとに等間隔で図したが、作業完了後（平成 25(2013)年1月 31 日以降）は日数に比例した間隔で図した。

*: 20m×20m 皆伐後（平成 24(2012)年 12 月 27 日）及び 40m×40m 皆伐後（平成 25(2013)年1月 31 日）には、積雪があったため、対照区において積雪があった測定回に、他の測定回よりも空間線量率が低下した比率を積雪補正值とし、集計対象範囲の空間線量率をこの補正值で割戻して積雪による遮蔽の影響を補正した。

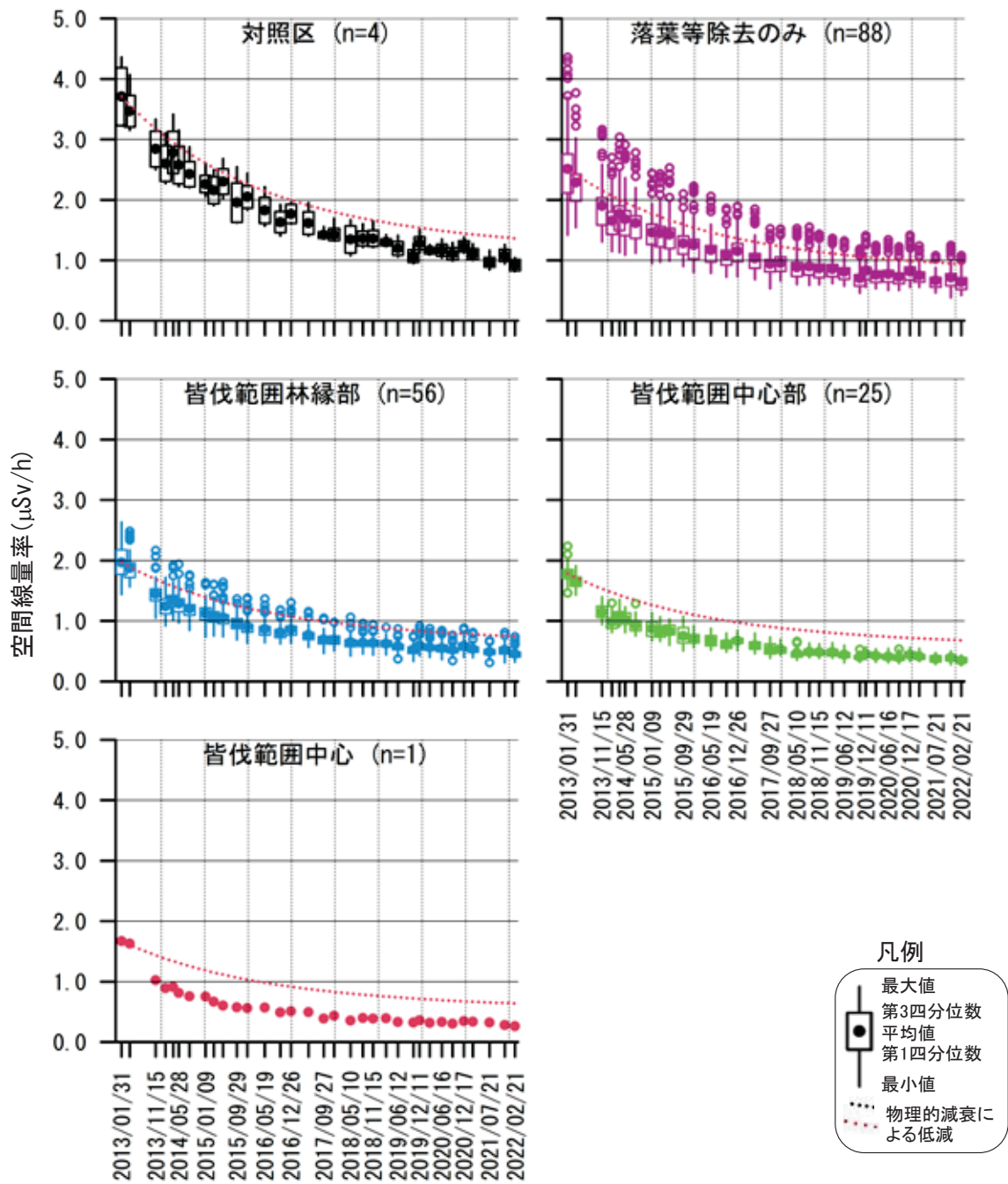


図 2-11 スギ林（B区）における各種作業完了後の対照区及び作業範囲ごとの空間線量率の推移

赤色の点線は、各種作業完了時(平成 25(2013)年1月 31 日)からの対照区及び各作業範囲における空間線量率の物理的減衰を示す。第3四分位数+(第3四分位数-第1四分位数)×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)×1.5 を下回る値を外れ値とした。なお、四分位数とは、全てのデータを小さい順に並べて四等分したときの三つの区切りの値を示す。誤差線の長さが短く、矩形の上下端の間隔が小さいほど、測定値のバラつきが小さかったことを示す。平成 30(2018)年8月 23 日(西半分下刈り後)及び8月 24 日(全域下刈り後)の測定値については測定間隔が短く、測定値の変動も小さいため、図中表示していない。

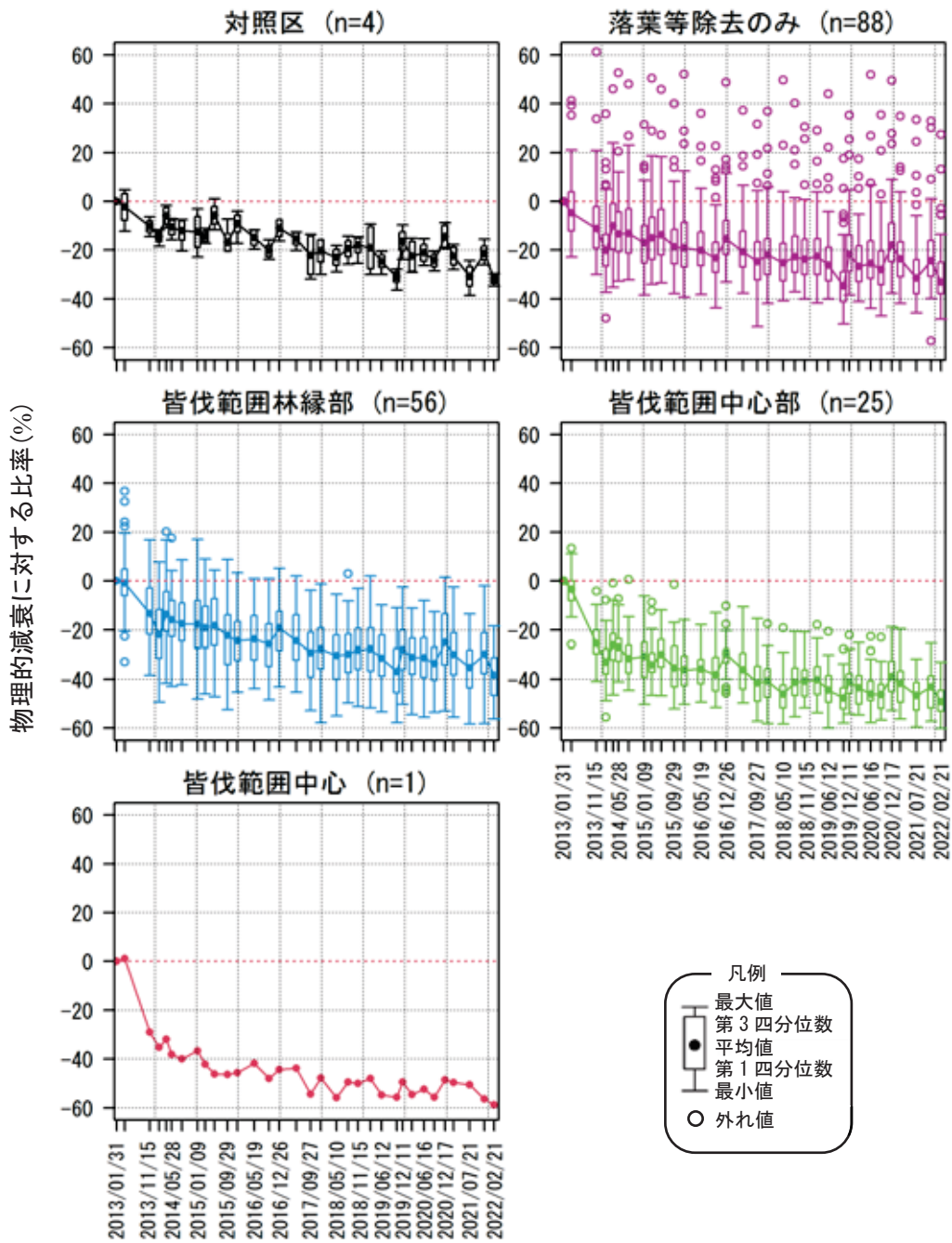


図 2-12 スギ林 (B区) における各種作業完了後の物理的減衰に対する空間線量率の比率の作業範囲ごとの推移

各種作業完了時点(平成 25(2013)年1月31日)の各測定地点の空間線量率が物理的減衰のみで推移した場合の空間線量率に対する実際の空間線量率の比率の平均値の推移を示した。第3四分位数+(第3四分位数-第1四分位数)×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)×1.5を下回る値を外れ値とした。なお、四分位数とは、全てのデータを小さい順に並べて四等分したときの三つの区切りの値を示す。誤差線の長さが短く、矩形の上下端の間隔が小さいほど、測定地点ごとに算出した比率のバラつきが、小さかったことを示す。平成 30(2018)年8月23日(西半分下刈り後)及び8月24日(全域下刈り後)の測定値については測定間隔が短く、測定値の変動も小さいため、図中表示していない。

令和3（2021）年3月4日から令和4（2022）2月21日までの4回の測定回における物理的減衰に対する空間線量率の比率の比較を図 2-13 に示す。この比率は、これらの全ての測定回において、皆伐範囲中心部でその他の領域よりも有意に低く、皆伐範囲林縁部では、令和3（2021）年7月の測定を除いて、落葉等除去のみの範囲よりも有意に低い値をとった。これは、皆伐範囲の中心に近いほど、作業範囲外の未伐採の森林からの放射線の入射や、落葉等の供給等による直接・間接的な影響を受けにくかったためと推察される。

スギ林（B区）の対照区及び各作業範囲における空間線量率の年平均値と前年平均値の比率の推移を表 2-11 に示す。この比率は、令和2（2020）年の皆伐範囲中心部、及び本年度の皆伐範囲中心を除き、負の値を取り続けていたが、低減のペースは次第に鈍化している可能性がある。

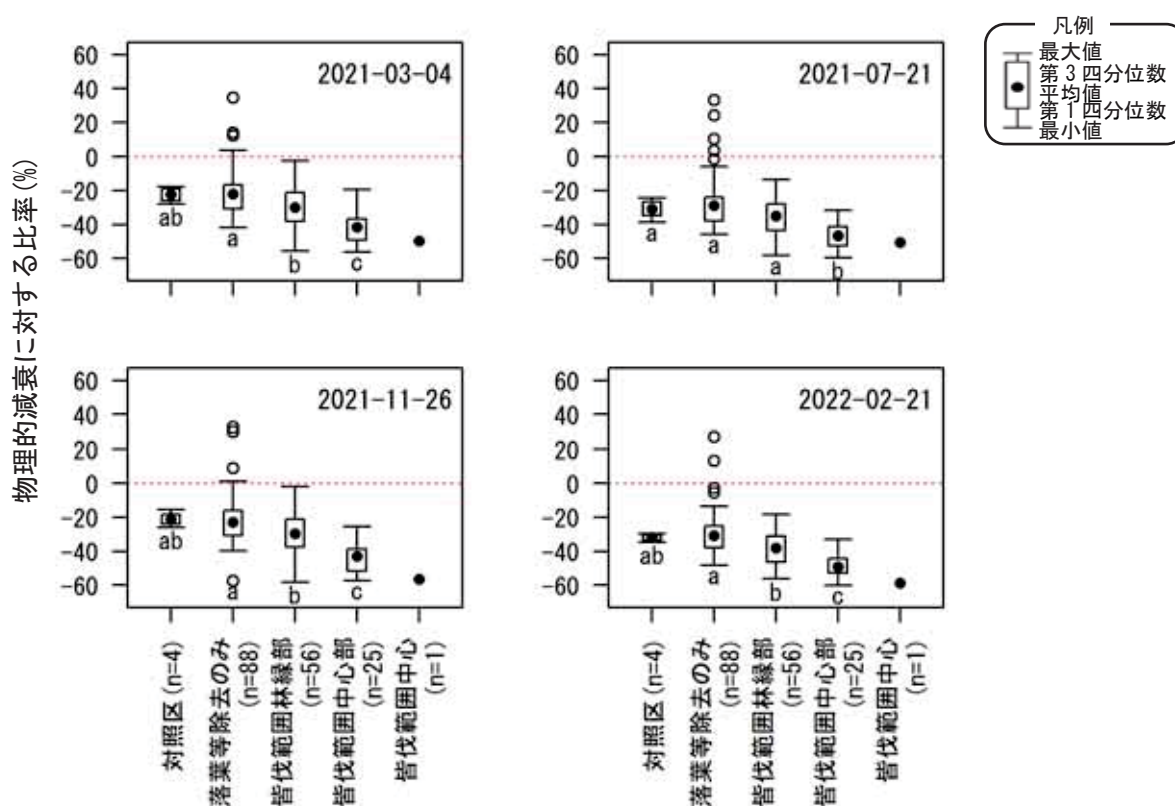


図 2-13 川内試験地スギ林（B区）における各種作業完了後の物理的減衰に対する空間線量率の比率の比較

図中の黒い点は、空間線量率の平均値、白い丸は、外れ値を示す。誤差線は、最大値及び最小値を示し、誤差線に付属する矩形の上下端は、第3四分位数及び第1四分位数を示す。なお、四分位数とは、全てのデータを小さい順に並べて四等分したときの三つの区切りの値を示す。誤差線の長さが短く、矩形の上下端の間隔が小さいほど、測定値のバラつきが小さかったことを示す。同じ符号(a,b または c)を付した作業区間は有意差なし(Steel-Dwass 多重比較検定;5%水準)。作業範囲中心は、1測点のみのため検定不可。図中の赤色の点線は、物理的減衰に対する空間線量率の比率がゼロ(物理的減衰と等しい空間線量率の減衰)となる水準を示す。

表 2-11 スギ林（B区）における物理的減衰補正を行った空間線量率年平均値の前年平均値に対する比率（％）

	対照区	落葉等除去のみ	皆伐範囲林縁部	皆伐範囲中心部	皆伐範囲中心
平成 26(2014)年	-10.8	-12.9	-17.1	-28.9	-36.7
平成 27(2015)年	-1.2	-2.9	-4.6	-6.3	-12.1
平成 28(2016)年	-4.2	-3.1	-3.1	-3.4	-3.4
平成 29(2017)年	-4.8	-4.0	-6.1	-7.6	-8.5
平成 30(2018)年	-1.0	-2.1	-3.2	-5.5	-7.4
令和元(2019)年	-3.5	-3.0	-3.1	-0.8	-1.4
令和 2(2020)年	3.0	2.4	1.2	-1.4	-2.8
令和 3(2021)年	-5.6	-2.8	-2.6	-2.0	0.8

空間線量率は、平成 25(2013)年 1 月 31 日を基準日として、物理的減衰補正した値を用いた。

平成 26(2014)年の数値は、平成 25(2013)年 1 月、それ以外の年は、前年の年平均値に対する比率を示す。

スギ林（B区）における空間線量率の年平均値及び年間被ばく線量の推定値を表 2-12 に示す。空間線量率の低減に伴い、スギ林（B区）の対照区及び各作業範囲での年間被ばく線量の推定値は、年々低下しており、令和 3（2021）年の年間被ばく線量は、対照区では 2.2 mSv、各種作業実施範囲では 0.7～1.5mSv と推定された。

表 2-12 スギ林（B区）の対照区及び各作業範囲における空間線量率の年平均値及び年間被ばく線量の推定値

作業範囲	空間線量率の年平均値(μSv/h)								
	平成 25 (2013)	平成 26 (2014)	平成 27 (2015)	平成 28 (2016)	平成 29 (2017)	平成 30 (2018)	令和元 (2019)	令和 2 (2020)	令和 3 (2021)
対照区	3.71	2.60	2.14	1.74	1.49	1.36	1.21	1.17	1.05
落葉等除去のみ	2.51	1.68	1.36	1.13	0.97	0.88	0.80	0.77	0.71
皆伐範囲林縁部	1.97	1.27	1.02	0.85	0.72	0.64	0.58	0.55	0.52
皆伐範囲中心部	1.78	1.00	0.79	0.65	0.55	0.48	0.45	0.42	0.39
皆伐範囲中心	1.67	0.84	0.63	0.52	0.44	0.38	0.35	0.32	0.31

作業範囲	年間被ばく線量推定値 (mSv/年)								
	平成 25 (2013)	平成 26 (2014)	平成 27 (2015)	平成 28 (2016)	平成 29 (2017)	平成 30 (2018)	令和元 (2019)	令和 2 (2020)	令和 3 (2021)
対照区	7.7	5.4	4.5	3.6	3.1	2.8	2.5	2.4	2.2
落葉等除去のみ	5.2	3.5	2.8	2.4	2.0	1.8	1.7	1.6	1.5
皆伐範囲林縁部	4.1	2.6	2.1	1.8	1.5	1.3	1.2	1.2	1.1
皆伐範囲中心部	3.7	2.1	1.6	1.4	1.1	1.0	0.9	0.9	0.8
皆伐範囲中心	3.5	1.8	1.3	1.1	0.9	0.8	0.7	0.7	0.7

年間被ばく線量は、週 40 時間、年間 52 週、林内で作業する想定で算出した。なお、この想定は、厚生労働省が特定線量下業務特別教育テキスト等に使用している想定と同一であり、空間線量率 2.5 μSv/h が年間被ばく量 5mSv に相当する。

2.5. 落葉等除去及び皆伐が空間線量率に与える影響の把握（原木採取林モデル地区）

(1) 目的

過年度（平成 24（2012）～平成 31（2019）年度）事業では、落葉広葉樹林において、落葉等除去及び皆伐を行い、作業前後の空間線量率の変化等を測定し、空間線量率等に与える影響を検証した。

本年度事業では、これらの各種森林施業による放射性物質分布の変化とその影響の把握を目的として、その後の空間線量率等の変化をモニタリングした。

(2) 試験地と試験方法

1) 試験地の概要

調査は、平成 24（2012）年度に設定した原木採取林モデル地区で実施した（図 2-4）。

原木採取林モデル地区は、コナラを優占種とする 57 年生（設定時）の広葉樹林（0.18 ha）で、平均斜度は 39 度、放射性セシウム（Cs-134+Cs-137）の平均沈着量は、1,160kBq/m²、平成 24（2012）年 11 月時点での空間線量率は 1.7～2.4 μSv/h、であった。この試験区では、落葉等除去をせずに、皆伐のみを実施した作業区（皆伐区）と、落葉等除去作業後に、皆伐を実施した区（落葉等除去+皆伐区）の 2 つの作業区が設定されている（表 2-13、図 2-14）。皆伐作業は、ウインチによる集材後、作業区外で造材した。

表 2-13 原木採取林モデル地区の各作業区での作業の概要と試験斜面枠の略称

作業区	作業内容	作業日
皆伐区	皆伐(ウインチで集材)	平成 25(2013)年 3 月 16 日～18 日
落葉等除去 +皆伐区	落葉等除去 皆伐(ウインチで集材)	平成 25(2013)年 1 月 8 日～9 日 平成 25(2013)年 3 月 11 日～15 日
対照区	—	—

2) 空間線量率の測定

空間線量率は、作業着手前から、5 m メッシュ上に設定された測定点（図 2-14 参照）で、継続的に測定されている。本調査では、同一測定点において、7 章の方法に従って、約 2～5 ヶ月間隔で空間線量率を測定した（表 2-14）。なお、対照区における測定は平成 26（2014）年 9 月 3 日より開始した。範囲外からの影響を除外するため、作業範囲境から 10m 以上離れた測定点のみを空間線量率の集計対象とした（図 2-14）。

⁶ 第 3 次航空機モニタリング結果として公表された、放射性セシウム（Cs-134+Cs-137）の地表面への沈着量の算定値に基づき、10m×10m メッシュごとの沈着量を算出し、原木採取林モデル地区の各作業区と重なるメッシュの沈着量の平均値を算出した。

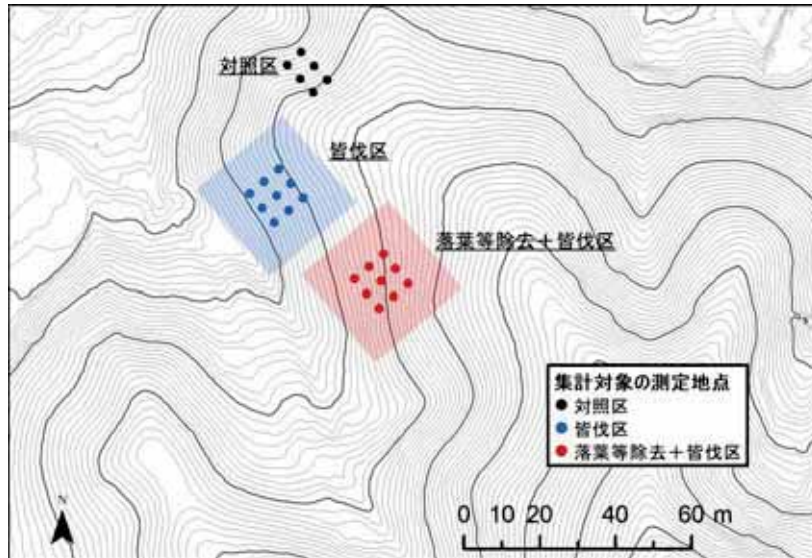


図 2-14 作業区の配置と空間線量率の測定範囲

図中の点の位置は、空間線量率の測定地点及び各範囲の集計対象区分を示す。

表 2-14 原木採取林モデル地区における空間線量率測定日及び測定地点数

回数	測定日	測定地点数			作業との関係	天候	積雪
		対照区	皆伐区	落葉等除去+皆伐区			
1	平成 24(2012)年 11 月 2 日	—	9	9	作業前	曇	無
2	平成 25(2013)年 1 月 9 日	—	9	9	落葉等除去後	曇	無
3	平成 25(2013)年 3 月 28 日	—	9	9	皆伐後	晴	無
4	平成 25(2013)年 11 月 14 日	—	9	9		晴	無
5	平成 26(2014)年 2 月 10 日	—	9	9		雨	有
6	平成 26(2014)年 4 月 10 日	—	9	9		晴	無
7	平成 26(2014)年 5 月 28 日	—	9	9		晴	無
8	平成 26(2014)年 9 月 3 日	6	9	9		曇	無
9	平成 27(2015)年 1 月 9 日	6	9	9		晴	無
10	平成 27(2015)年 3 月 18 日	6	9	9		晴	無
11	平成 27(2015)年 6 月 5 日	6	9	9		晴	無
12	平成 27(2015)年 9 月 29 日	6	9	9		晴	無
13	平成 27(2015)年 12 月 25 日	6	9	9		曇	無
14	平成 28(2016)年 5 月 20 日	6	9	9		曇	無
15	平成 28(2016)年 9 月 27 日	6	9	9		晴	無
16	平成 28(2016)年 12 月 26 日	6	9	9		曇	無
17	平成 29(2017)年 6 月 27 日	6	9	9		曇	無
18	平成 30(2018)年 5 月 10 日	6	9	9		晴/小雨	無
19	平成 30(2018)年 8 月 23 日	6	9	9		晴	無
20	平成 30(2018)年 11 月 20 日	6	9	9		晴	無
21	平成 31(2019)年 3 月 8 日	6	9	9		晴	0.5cm
22	令和元(2019)年 6 月 13 日	6	9	9		晴	無
23	令和元(2019)年 10 月 21 日	6	9	9		曇	無
24	令和元(2019)年 12 月 11 日	6	9	9		曇	無
25	令和 2(2020)年 3 月 5 日	6	9	9		晴	無
26	令和 2(2020)年 6 月 23 日	6	9	9		曇	無
27	令和 2(2020)年 9 月 16 日	6	9	9		晴/曇	無
28	令和 2(2020)年 12 月 17 日	6	9	9		曇	無
29	令和 3(2021)年 3 月 4 日	6	9	9		晴	無
30	令和 3(2021)年 7 月 26 日	6	9	9		曇	無
31	令和 3(2021)年 11 月 26 日	6	9	9		晴	無
32	令和 4(2022)年 2 月 22 日	6	9	9		晴	無

対照区における測定は平成 26(2014)年 9 月 3 日より開始した。

(3) 調査結果及び考察

平成 28 (2016) 年度までの事業で得られた試験結果等の概要は、以下のとおりである。

<平成 28 (2016) 年度までの結果の概要>

- ① 皆伐のみの作業区と、落葉等除去と皆伐の両方を実施した区の作業前後の空間線量率を比べると、落葉等除去後には、差がなく、その後の皆伐では、落葉等除去を実施した区画の方が 10%程度多く低下した。
- ② 作業完了後の空間線量率は、皆伐作業完了後約 1 年間で、物理減衰よりも約 2 割程度低下したが、両作業区で違いは、明瞭ではなかった。

(平成 28 (2016) 年度報告書より抜粋)

原木採取林モデル地区の各作業区における空間線量率の推移を図 2-15 に示す。川内試験地の原木採取林モデル地区 (コナラ) 林でも、各作業区の空間線量率は、皆伐等の作業完了後も、物理的減衰を上回るペースで低減が続いている。

各種作業完了後 (平成 25 (2013) 年 3 月 28 日以降) の物理的減衰に対する空間線量率の比率の推移を図 2-16 に示す。どちらの作業区でも、作業完了後約 1 年間でこの比率は、約 2 割低下したが、その後も、両作業区で、それぞれ大きく変動しながら低下傾向が続いている。令和元年 (2019) 年以降は、両作業区でこの低下傾向が鈍化している可能性があり、時期による比率の変動が大きくなっている。直近の令和 4 (2022) 年 3 月には、この比率は落葉等除去+皆伐区では前月よりも減少していたが、皆伐区では前月並みであった。測定時点で積雪はなかったが、積雪や土壤凍結がしばしば起こっていたため、場所によって土壤含水率等に差異が生じやすく、空間線量率にも影響していた可能性がある。

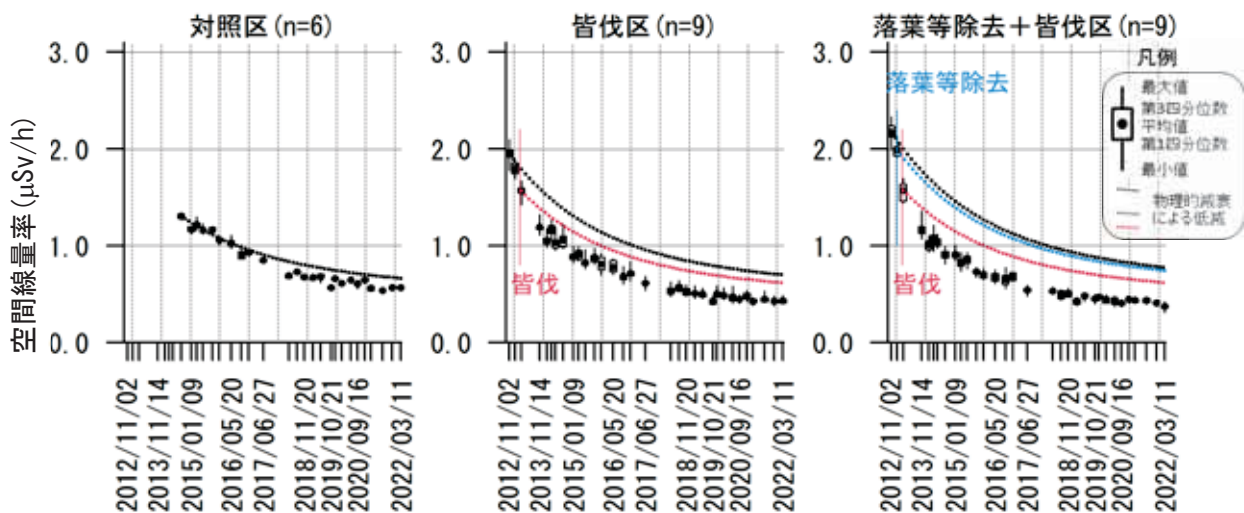


図 2-15 原木採取林モデル地区における各作業区の空間線量率の推移

図中の黒、青及び赤の点線は、作業開始前(平成 24(2012)年 11 月 2日)、落葉等除去後、及び皆伐作業完了時点(平成 25(2013)年 3 月 28 日)からの空間線量率の物理的減衰をそれぞれ示す。図中の黒い点は、空間線量率の平均値、誤差線は、最大値及び最小値、誤差線に付随する矩形の上下端の辺は、第3四分位数及び第1四分位数を示す。なお、四分位数とは、全てのデータを小さい順に並べて四等分したときの三つの区切りの値を示す。誤差線の長さが短く、矩形の上下端の間隔が小さいほど、測定値のバラつきが小さかったことを示す。

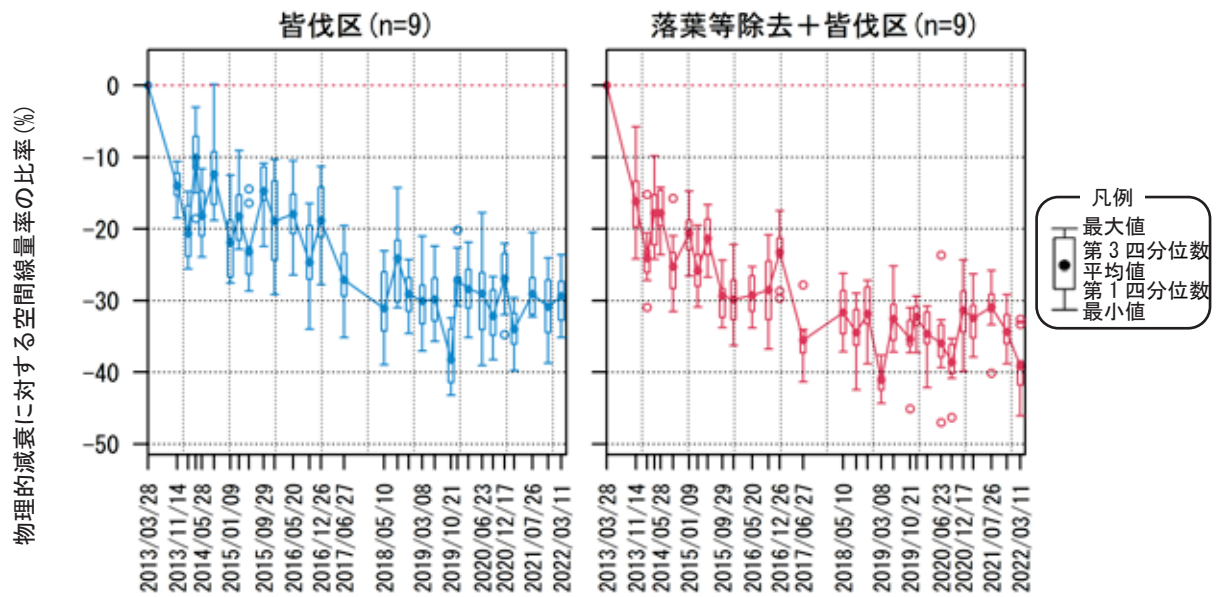


図 2-16 原木採取林モデル地区の各作業区における各種作業完了後の物理的減衰に対する空間線量率の比率の推移

各種作業完了時点(平成 25(2013)年 3 月 28 日)の各測定地点の空間線量率が物理的減衰のみで推移した場合の空間線量率に対する実際の空間線量率の比率の平均値の推移を示した。図中の黒い点は、空間線量率の平均値、誤差線は、最大値及び最小値、矩形の上下の辺は、第 3 四分位数及び第 1 四分位数を示す。なお、四分位数とは、全てのデータを小さい順に並べて四等分したときの三つの区切りの値を示す。誤差線の長さが短く、矩形の上下端の間隔が小さいほど、測定値のバラつきが小さかったことを示す。第 3 四分位数 + (第 3 四分位数 - 第 1 四分位数) × 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) × 1.5 を下回る値を外れ値とした。

両作業区における空間線量率の減衰比率を測定回ごとに比較した結果を図 2-17 に示す。この比率は、本年度は令和 4 (2022) 年 3 月の測定回を除き、作業区間の統計的な有意差は認められなかった (Kruskal-Wallis 検定 ; $p < 0.05$)。

各作業区における物理的減衰補正済の空間線量率年平均値と前年平均値の比率の推移を表 2-15 に示す。この比率は、各作業区及び対照区で概ね負の値が続いてきたが、変動が大きく、平成 30 (2018) 年以降は、年により正の値もとるようになってきている。この比率は両作業区及び対照区で、長期的には減少傾向が続いているものと思われる。

皆伐作業の完了時点から約 9 年を経て、皆伐範囲内では下層植生や、コナラ等のぼう芽枝、アカマツの実生等が成長し、林内の環境も安定しつつあるものと思われる。急激な変化は起こりにくくなっているものと思われるが、単年ごとの変動だけでは判断できないような、長期的な傾向の変化に引き続き注意が必要と思われる。

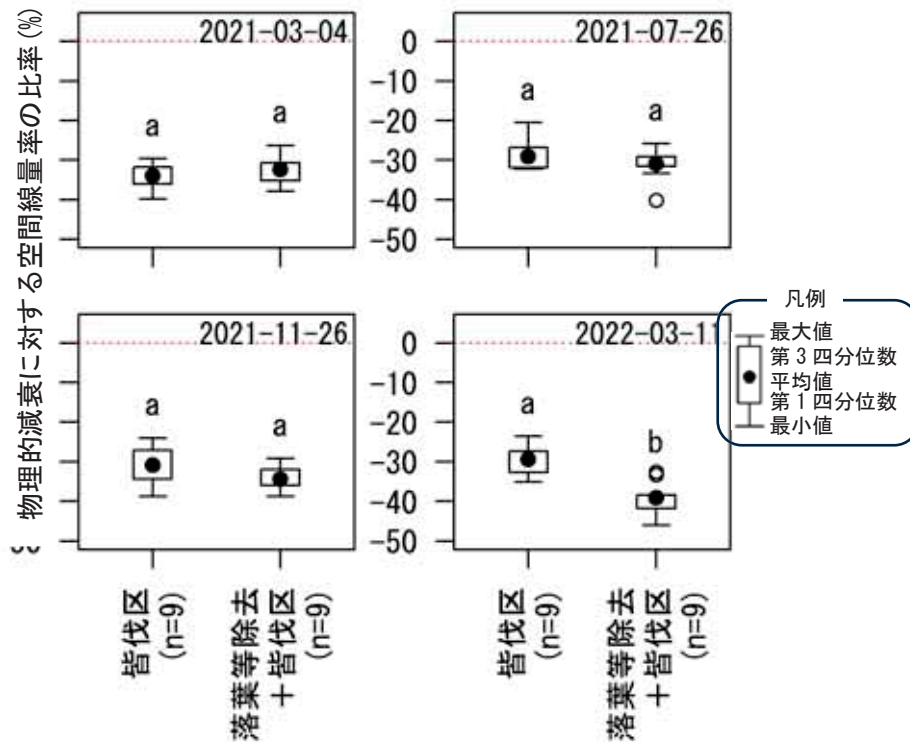


図 2-17 川内試験地原木採取林モデル地区の各作業区における各種作業完了後の物理的減衰に対する空間線量率の比率の比較

※図中の黒い点は、空間線量率の平均値、白い丸は、外れ値を示す。誤差線は、最大値及び最小値を示し、誤差線に付属する矩形の上下端は、第3四分位数及び第1四分位数を示す。なお、四分位数とは、全てのデータを小さい順に並べて四等分したときの三つの区切りの値を示す。誤差線の長さが短く、矩形の上下端の間隔が小さいほど、測定値のバラつきが小さかったことを示す。図中で異なる符号(aとb)を付した測定回には作業区間で有意差があり、同符号(aとa)を付した測定回には作業区間では有意差がなかったことを示す(Kruskal-Wallis 検定;5%水準)。図中の赤色の点線は、物理的減衰に対する空間線量率の比率がゼロ(物理的減衰と等しい空間線量率の減衰)となる水準を示す。

表 2-15 原木採取林モデル地区における物理的減衰補正を行った空間線量率年平均値の前年平均値に対する比率 (%)

	皆伐区	落葉等除去 +皆伐区	対照区
平成 26(2014)年	-15.5	-21.5	-
平成 27(2015)年	-5.1	-5.6	-0.3
平成 28(2016)年	-1.6	-2.6	-3.0
平成 29(2017)年	-8.9	-12.5	-3.2
平成 30(2018)年	-1.7	4.5	-9.6
令和元(2019)年	-5.0	-4.6	-1.1
令和 2(2020)年	3.2	-0.2	3.9
令和 3(2021)年	-3.6	4.2	-7.4

空間線量率は、平成 25(2013)年3月 28 日を基準日として物理的減衰補正した値を用いた。平成 26(2014)年の数値は、平成 25(2013)年3月、それ以外の年は、前年の年平均値に対する比率を示す。

対照区における空間線量率の測定は、平成 26(2014)年9月に開始した。

原木採取林モデル地区の各作業区における空間線量率の年平均値及び年間被ばく線量の推定値を表 2-16 に示す。空間線量率の低減に伴い、原木採取林モデル地区の各作業区では、年間被ばく線量の推定値は、年々低下している。令和 3（2021）年の年間被ばく線量は、対照区では 1.2 mSv、皆伐区及び落葉等除去+皆伐区では、0.9 mSv と推定された。

表 2-16 原木採取林モデル地区における空間線量率の年平均値及び年間被ばく線量の推定値

作業範囲	空間線量率の年平均値(μSv/h)								
	平成 25 (2013) 年	平成 26 (2014) 年	平成 27 (2015) 年	平成 28 (2016) 年	平成 29 (2017) 年	平成 30 (2018) 年	令和元 (2019) 年	令和 2 (2020) 年	令和 3 (2021) 年
対照区	-	1.31	1.16	0.96	0.85	0.70	0.65	0.63	0.56
皆伐区	1.56	1.08	0.86	0.73	0.61	0.55	0.49	0.47	0.44
落葉等除去 +皆伐区	1.57	1.01	0.80	0.67	0.54	0.51	0.46	0.43	0.43

作業範囲	年間被ばく線量推定値 (mSv/年)								
	平成 25 (2013) 年	平成 26 (2014) 年	平成 27 (2015) 年	平成 28 (2016) 年	平成 29 (2017) 年	平成 30 (2018) 年	令和元 (2019) 年	令和 2 (2020) 年	令和 3 (2021) 年
対照区	-	2.7	2.4	2.0	1.8	1.5	1.3	1.3	1.2
皆伐区	3.3	2.2	1.8	1.5	1.3	1.1	1.0	1.0	0.9
落葉等除去 +皆伐区	3.3	2.1	1.7	1.4	1.1	1.1	1.0	0.9	0.9

年間被ばく線量は、週 40 時間、年間 52 週、林内で作業する想定で算出した。なお、この想定は、厚生労働省が特定線量下業務特別教育テキスト等で使用している想定と同一であり、空間線量率 2.5 μSv/h が年間被ばく量 5mSv に相当する。

2.6. 皆伐及び間伐が空間線量率に与える影響の把握（過年度事業地）

(1) 目的

過年度事業において実施した皆伐及び間伐について、作業前後の空間線量率の変化等を測定し、皆伐及び間伐が空間線量率に与える影響を検証した。

(2) 過年度事業地と施業内容

過年度事業は平成 26（2014）年から平成 29（2017）年にかけて、森林施業が空間線量率に与える影響に加え、立木伐採時の作業被ばく低減措置、放射性物質の拡散抑制策、伐採木の林内活用を通じた放射性物質の拡散抑制策等を実証することを主目的として、避難指示解除準備区域に設定されていた森林において実施された。なお、実証を行った森林はいずれも共有林または公有林である。過年度事業地の森林情報、施業情報、施業時の平均空間線量率、平成 23（2011）年 7 月時点の放射性 Cs 平均沈着量を表 2-17 に示す。

表 2-17 過年度事業地の諸元

事業地名	森林情報		施業情報			平均空間線量率 ($\mu\text{Sv/h}$) ^{※3}	放射性 Cs 平均沈着量 (kBq/m^2) ^{※4}
	樹種	林齢 ^{※1} (年生)	施業年	主な施業内容 ^{※2}	施業面積 (ha)		
小滝沢	コナラ等 広葉樹	50	2014	除伐 更新伐 植栽	3.44 1.67 3.44	0.62	390
羽倉	スギ アカマツ	66 62	2014	定性間伐（31.4%） 列状間伐（1 伐 2 残）	1.69 2.62	1.04	760
毛戸	スギ アカマツ カラマツ	60	2014	列状間伐（2 伐 4 残） 定性間伐（26%）	1.87 1.87	0.85	570
		55	2014	皆伐・新植	2.29		
二枚橋	アカマツ	36~48	2014	定性間伐（15%）	1.97	2.16	1500
合子	コナラ等 広葉樹	50	2015	更新伐（60%） 植栽	2.60 2.50	0.43	410
			2016	更新伐（60%）	0.67		
大笹	ヒノキ アカマツ	28 54	2015	定性間伐（20%） 列状間伐（2 伐 8 残）	0.01 2.94	0.78	690
白石	スギ	38	2015	定性間伐（24%）	0.25	2.22	1200
馬場平	アカマツ ヒノキ スギ	40	2016	皆伐・新植 列状間伐（2 伐 8 残） 定性間伐（30%）	0.55	0.39	230
		30			1.16		
		60			1.19		
関沢	ヒノキ	34	2016	定性間伐（23.4%）	1.16	1.55	1500
大谷	スギ ヒノキ	37、56	2017	利用型定性間伐 保育型定性間伐	0.63	0.38	450
		37			1.00		

※1：施業開始時の林齢（年生）を示す。

※2：本項の検証対象である皆伐、間伐に関する施業内容を抜粋したものである。

※3：森林施業前に地上 1m 高で測定した事業地内全測定点の平均値である。

※4：第 3 次航空機モニタリング結果（2011 年 7 月 2 日時点）より算出したものである。

1) 共通事項

① 空間線量率測定点

過年度事業において、各種施業による空間線量率の経時変化を観測するため、事業地範囲内、事業地外周境界、作業道中心、土場作設範囲内に測定点が設定された。本事業においては皆伐及び間伐が空間線量率に与える影響を検証することから、事業地範囲内に設定された測定点を対象として解析した。なお、沢地形、木材チップを散布するなど測定結果に与える可能性のある個別試験に供した測定点、施業後に斜面崩壊などで現況が大きく変化した測定点は解析の対象から除外した。

② 測定高

空間線量率の測定高は、いずれの事業地においても林内作業者の全身均等被ばく評価を前提とした地上高より 1m の高さで測定されていた。

③ 放射線測定器

空間線量率の測定にあたって、放射線測定に関するガイドライン（平成 23 年 10 月 21 日、文部科学省、日本原子力研究開発機構）に、参考資料として例示されていないエネルギー補償機能がない測定器で測定した結果が含まれており、この結果は採用しなかった。また、エネルギー補償機能のないサーベイメータで測定した結果をエネルギー補償機能のあるサーベイメータで測定された値に換算している結果については、正しく換算されたものとみなして換算後の値を採用した。対象となる事業地、該当の年度、本事業における取り扱いを表 2-18 に、使用された測定器の外観を写真 2-2 に示した。

表 2-18 エネルギー補償機能のない測定器を用いた測定結果の取り扱い

事業地	年度	過年度実証事業における測定値	本事業における取り扱い
二枚橋	2014	エネルギー補償機能がない CsI シンチレーションサーベイメータ（日本精密測器社製、DC-100）とエネルギー補償機能がある NaI シンチレーションサーベイメータ（日立製作所製、TCS-172B）の 2 台で測定し、その平均値を用いていた。	TCS-172B に対する DC-100 の測定結果は、0.534～1.838 倍のばらつきがあり、TCS-172B の測定結果のみ採用した。
大笹	2015～2016	エネルギー補償機能がない CsI シンチレーションサーベイメータ（堀場製作所製、PA-1000）とエネルギー補償型 NaI シンチレーションサーベイメータ（日立製作所製、TCS-172B）の相関関係を調査して求めた換算係数を乗じて補正していた。	PA-1000 の測定結果から、TCS-172B の測定値に補正するための係数は年度ごとに、使用した機器別に調査されており、0.746～0.886 の範囲内であった。正しく補正されているとみなして換算後の値を使用した。
小滝沢	2014～2018		
合子	2015～2018		
馬場平	2015～2018		



日立製作所製
TCS シリーズ



ATOMTEX 社製
AT1125



日本精密測器製
DC-100



堀場製作所製
PA-1000

(a) エネルギー補償あり

(b) エネルギー補償なし

写真 2-2 過年度実証事業の測定で使用されていた放射線測定器

2) 過年度事業の概要

① 小滝沢事業地

田村市東部に位置する都路地区に所在する小滝沢共有林であり、間伐時点で概ね 50 年生の広葉樹林である。

共有林の西側半域 (37°26'17"N, 140°48'53"E, 3.44ha) で除伐を行い、ぼう芽更新が見込める箇所として樹高 10m 程度のコナラを対象に計 1.67ha (更新伐 0.84ha、機械化更新伐 0.83ha) で更新伐、その後全域に相当する計 3.44ha に 2,000~3,000 本/ha の密度でサクラを植栽した。

施業前後の変化状況を把握するために、施業を実施しない東側半域を含め、計 235 点の 20m メッシュ測定点を設定し、地上高 1m において空間線量率を測定した。なお、平成 28 (2016) 年度からは林内作業区域である共有林の西側半域の 100 点のみ、測定が実施されている。配置図を図 2-18 に示す。

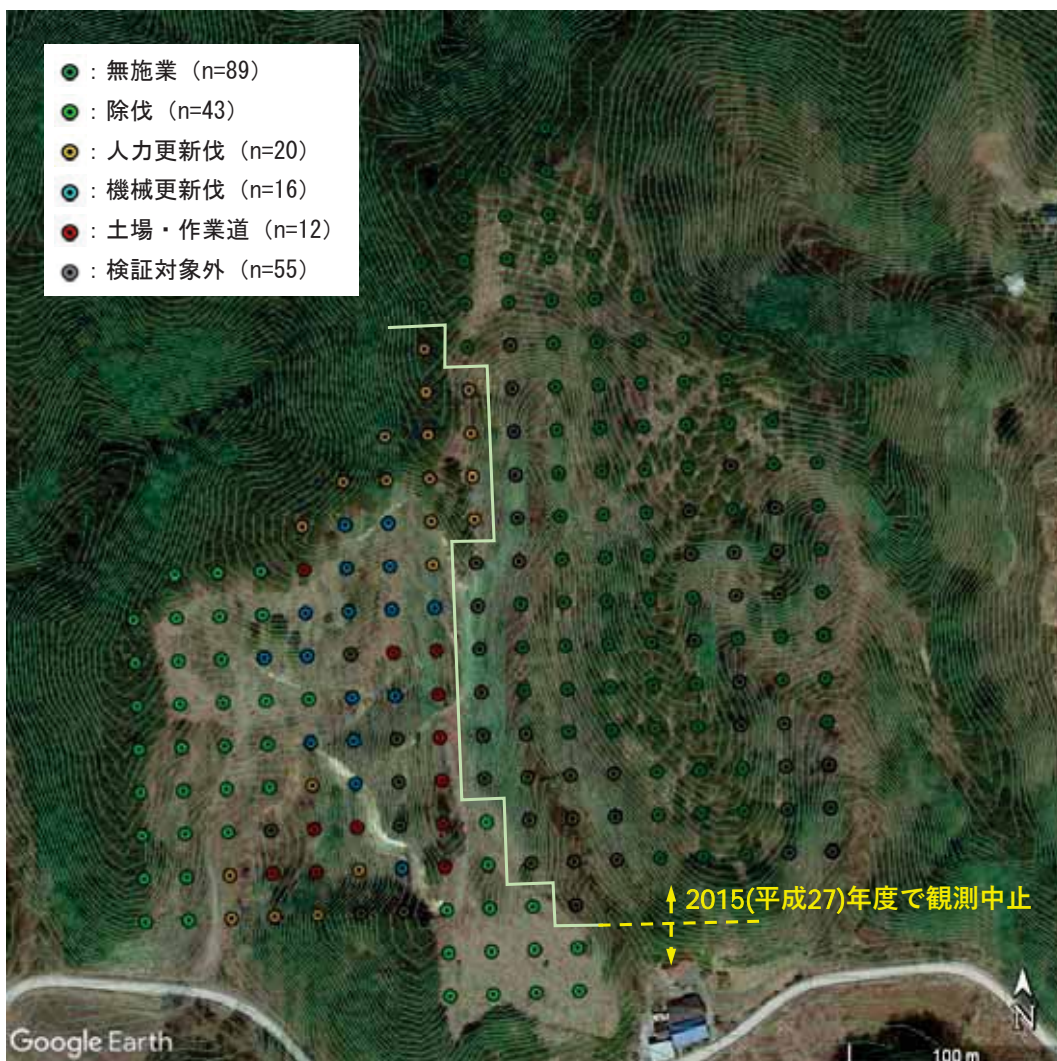


図 2-18 小滝沢事業地空間線量率測定点

・航空写真は、令和 2 (2020) 年 3 月 19 日に取得されたものである。

除伐は平成 26（2014）年 10 月 30 日から 11 月 12 日、更新伐は 11 月 17 日から 11 月 26 日、植栽は 11 月 27 日から 12 月 10 日に実施された。表 2-19 に施業種別の空間線量率測定結果、写真 2-3 に施業前と直近同時季の森林内の状況を示す。

表 2-19 小滝沢事業地の施業種別測定結果

回数	測定日	コナラ等広葉樹								備考
		無施業		除伐		人力更新伐		機械更新伐		
		地点数	平均値	地点数	平均値	地点数	平均値	地点数	平均値	
1	平成 26(2014)年 10 月 03 日	89	0.609	43	0.707	20	0.727	16	0.587	施業前測定
2	12 月 18 日	89	0.585	43	0.650	20	0.692	16	0.494	施業後測定
3	平成 27(2015)年 7 月 29 日	89	0.497	43	0.538	20	0.584	16	0.432	
4	11 月 10 日	89	0.487	43	0.521	20	0.555	16	0.408	
5	平成 28(2016)年 11 月 08 日	—	—	43	0.477	20	0.513	16	0.376	
6	平成 29(2017)年 11 月 09 日	—	—	43	0.384	20	0.417	16	0.310	
7	平成 30(2018)年 11 月 04 日	—	—	43	0.365	20	0.389	16	0.294	
8	令和 01(2019)年 11 月 08 日	—	—	43	0.342	20	0.369	16	0.275	
9	令和 02(2020)年 7 月 22 日	—	—	43	0.320	20	0.343	16	0.264	
10	12 月 08 日	—	—	43	0.309	20	0.342	16	0.265	
11	令和 03(2021)年 8 月 24 日	—	—	43	0.296	20	0.327	16	0.256	
12	12 月 06 日	—	—	43	0.304	20	0.331	16	0.253	

- ・当該事業地の放射性 Cs 沈着量（2011 年 7 月 2 日時点の第 3 次航空機モニタリング結果より算出）は、390kBq/m²であった。
- ・事業地外、沢地形、作業道作設箇所、チップ散布箇所の測定結果は、検証対象外として本表に整理していない。
- ・無施業箇所（共有林の東側半域）の測定は、2015 年度以後は実施されていない。
- ・2014 年度から 2019 年度までの測定には可搬性の優れたエネルギー補償機能がない CsI シンチレーションサーベイメータ（堀場製作所製、PA-1000）を使用し、エネルギー補償型 NaI シンチレーションサーベイメータ（日立製作所製、TCS-172B）との相関関係を調査して求めた係数を乗じて補正していた。2020 年度以降は、NaI シンチレーションサーベイメータ（日立製作所製、TCS-172B）を用いて測定を実施していた。



(a) D5 付近：2014 年 9 月頃撮影



(b) 測点 5D 付近：2021 年 8 月 24 日撮影

写真 2-3 小滝沢事業地の林況

施業前後の測定結果について、平成 27（2015）年度まで測定されていた無施業区について約 1.0%減、除伐区域では約 5.1%減、人力更新伐区域では約 1.8%減、機械更新伐区域では約 13.2%減の空間線量率変化が確認されていた。機械更新伐区域の変化は林業機械の走行による放射性物質を含む林床土壌の攪乱による希釈効果によるものと考えられる。

その後の空間線量率の推移は、いずれの施業区においても僅かに物理減衰を上回る低減傾

向にあることが確認された。図 2-19 に施業種別の空間線量率推移を示す。

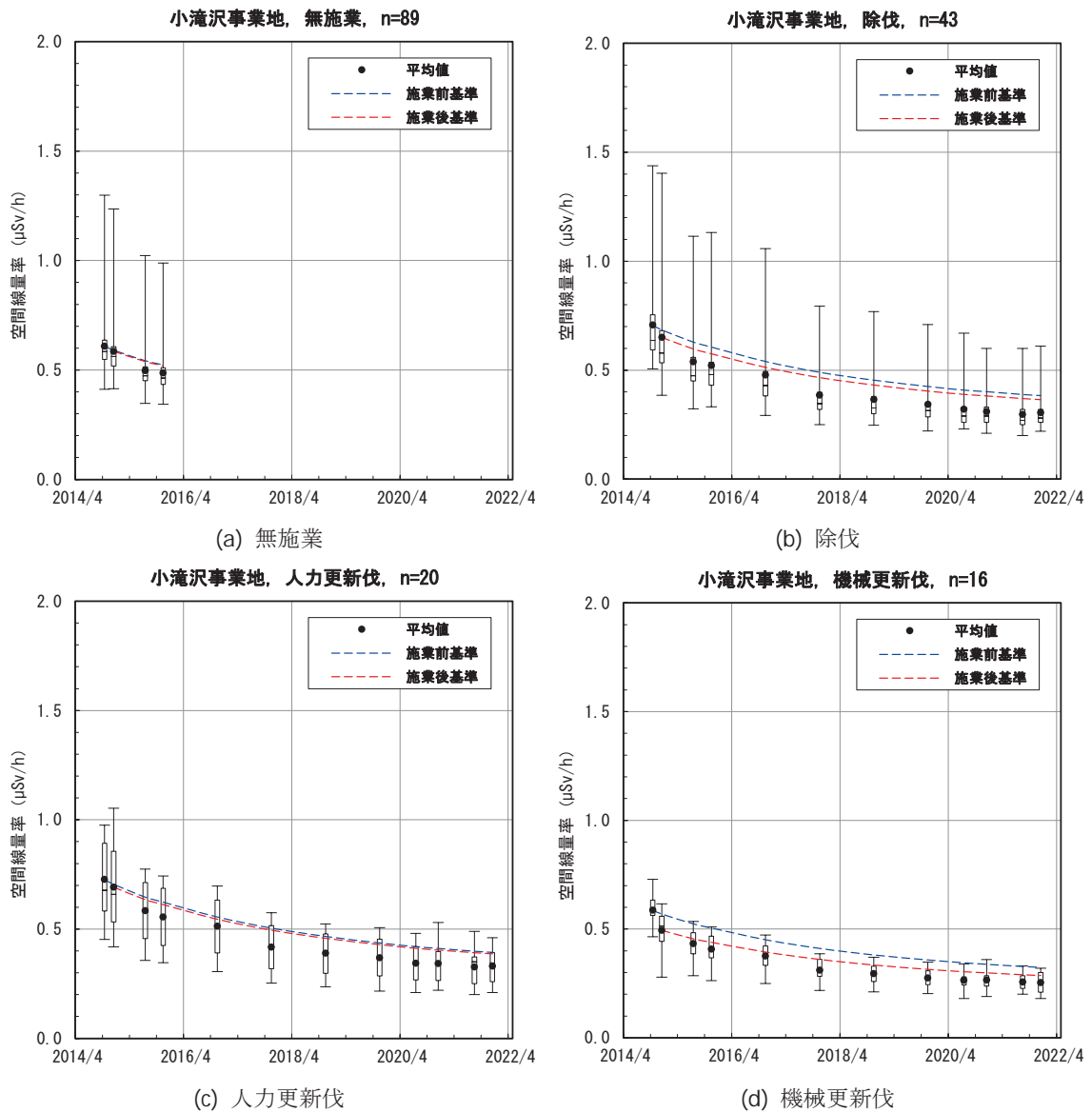


図 2-19 小滝沢事業地における空間線量率推移

- 空間線量率は実測値（地上 1m）を示す。
- 黒丸は平均値、誤差線は、最大値及び最小値を示し、誤差線に付属する矩形の上下端は、第 3 四分位数及び第 1 四分位数を示す。
- 青色の破線は作業前の空間線量率を基準とした物理減衰による空間線量率の低減を示し、赤色の破線は作業後の空間線量率を基準とした物理減衰による空間線量率の低減を示す。物理減衰補正は、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である。

② 羽倉事業地

南相馬市南西部の小高区羽倉に所在する南相馬市市有林であり、スギ（間伐時点で 66 年生、3.44ha）、アカマツ（間伐時点で 62 年生、0.87ha）の人工林である。

事業地全域（37°35'16"N, 140°54'41"E, 4.31ha）で間伐を実施した。列状間伐は計 2.62ha（アカマツ：0.87ha、スギ第 1 間伐区：1.21ha、スギ第 2 間伐区：0.54ha）を対象に 1 伐 2 残を基本として、定性間伐は計 1.69ha を対象に本数率 31.4% で実施された。施業には計 820m の作業道、1 箇所あたり 100～200 m² の土場が計 7 箇所利用された。

施業前後の変化状況を把握するために、間伐区内に計 52 点（スギ第 1 列状間伐区：17 点、スギ第 2 列状間伐区：5 点、スギ第 1 定性間伐区：15 点、スギ第 2 定性間伐区：6 点、アカマツ列状間伐：9 点）の 30m メッシュ測定点を設定した。ただし、現場の状況を鑑みて、分析に用いた点数は異なる。配置図を図 2-20 に示す。

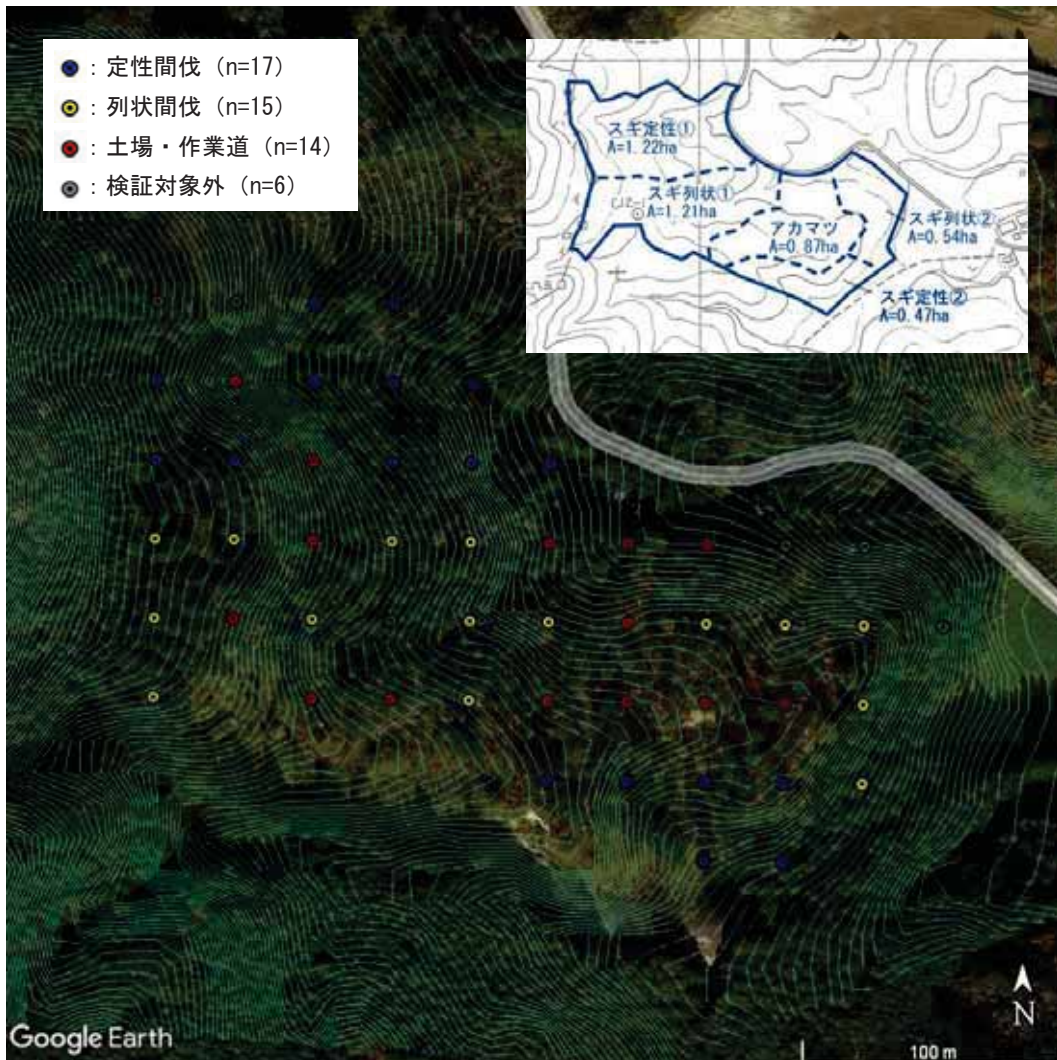


図 2-20 羽倉事業地空間線量率測定点

・航空写真は、令和 2（2020）年 11 月 17 日に取得されたものである。

間伐は、2014年10月16日から12月9日に実施された。表 2-20 に施業種別の空間線量率測定結果、写真 2-4 に施業前と直近同時季の森林内の林況を示す。

表 2-20 羽倉事業地の施業種別測定結果

回数	測定日	アカマツ		スギ				備考
		列状間伐 (1 伐 2 残)		定性間伐 (本数率 31.4%)		列状間伐 (1 伐 2 残)		
		地点数	平均値	地点数	平均値	地点数	平均値	
1	平成 26 (2014)年 10 月 15 日	3	1.003	17	1.065	12	1.122	施業前測定
2	12 月 10 日	3	0.893	17	0.995	12	1.099	施業後測定
3	平成 27 (2015)年 8 月 3 日	3	0.827	17	0.899	12	0.963	
4	10 月 2 日	3	0.760	17	0.829	12	0.881	
5	11 月 19 日	3	0.730	17	0.788	12	0.842	
6	平成 28 (2016)年 7 月 4 日	3	0.717	17	0.742	12	0.808	
7	11 月 26 日	3	0.663	17	0.672	12	0.714	
8	平成 29 (2017)年 8 月 3 日	3	0.637	17	0.662	12	0.693	
9	11 月 24 日	3	0.607	17	0.647	12	0.698	
10	平成 30 (2018)年 8 月 21 日	3	0.540	17	0.570	12	0.614	
11	11 月 21 日	3	0.587	17	0.602	12	0.653	
12	令和 1 (2019)年 8 月 8 日	3	0.579	17	0.579	12	0.657	
13	11 月 25 日	3	0.542	17	0.562	12	0.621	
14	令和 2 (2020)年 7 月 27 日	3	0.499	17	0.515	12	0.561	
15	12 月 4 日	3	0.528	17	0.536	12	0.596	
16	令和 3 (2021)年 8 月 20 日	3	0.503	17	0.495	12	0.556	
17	11 月 27 日	3	0.510	17	0.507	12	0.569	

- ・当該事業地の放射性 Cs 沈着量（2011年7月2日時点の第3次航空機モニタリング結果より算出）は、760kBq/m²であった。
- ・作業道作設箇所、施業後に崩落が確認された箇所の測定結果は、検証対象外として本表に整理していない。



(a) 地点不明：2014年9月頃撮影



(b) 測点 4D 付近：2021年8月20日撮影

写真 2-4 羽倉事業地の林況

施業前後の測定結果について、アカマツ列状間伐区域では約 8.8%減、スギ定性間伐区域では約 4.3%減、スギ列状間伐区域では増減なし（1.0%以下）の空間線量率変化が確認されていた。

その後の空間線量率の推移は、アカマツ列状間伐区については物理減衰と同程度、スギ間伐区においては僅かに物理減衰を上回る低減傾向にあることが確認された。図 2-21 に施業種別の空間線量率推移を示す。

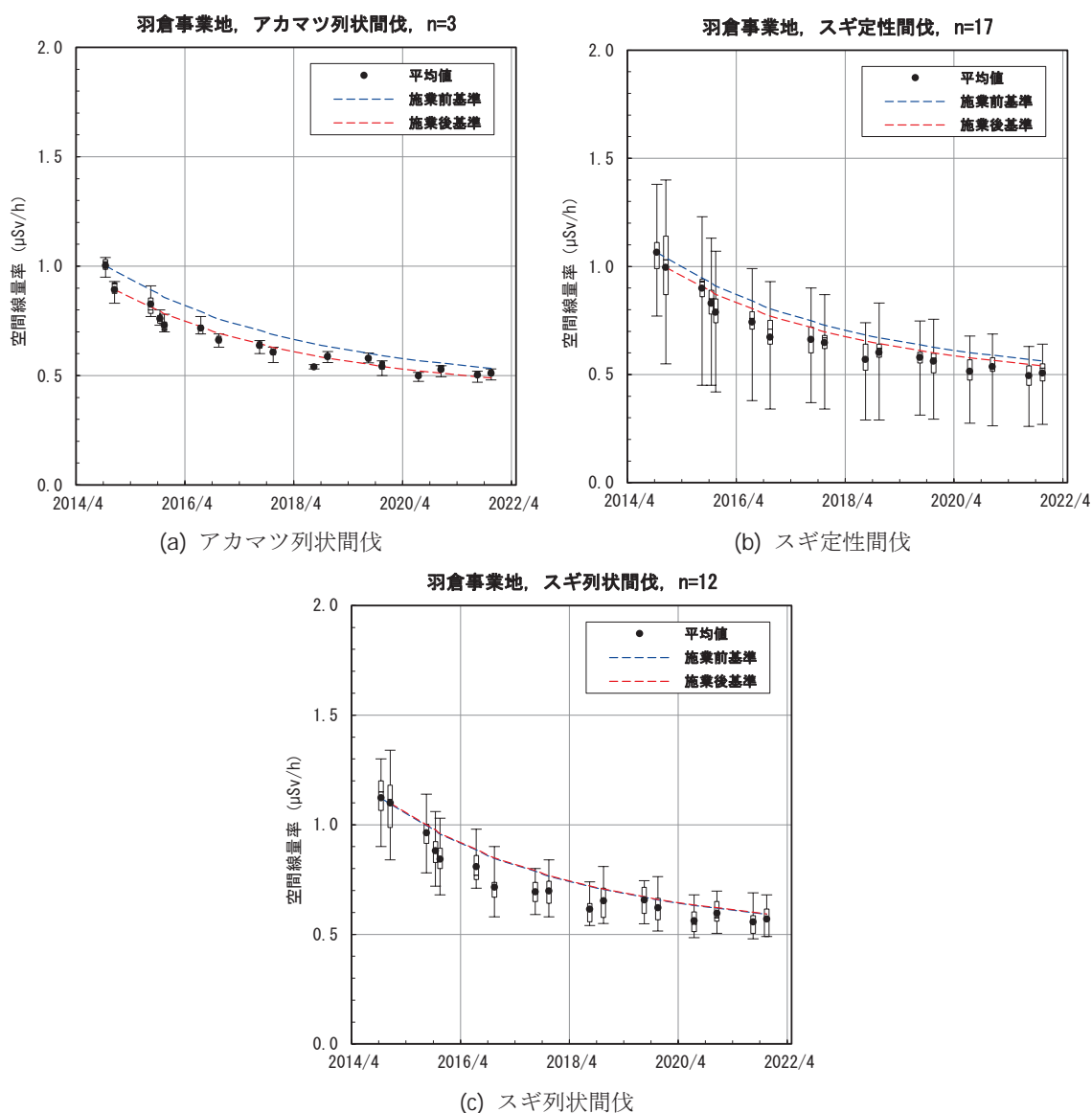


図 2-21 羽倉事業地における空間線量率推移

- ・空間線量率は実測値（地上1m）を示す。
- ・黒丸は平均値、誤差線は、最大値及び最小値を示し、誤差線に付随する矩形の上下端は、第3四分位数及び第1四分位数を示す。
- ・青色の破線は作業前の空間線量率を基準とした物理減衰による空間線量率の低減を示し、赤色の破線は作業後の空間線量率を基準とした物理減衰による空間線量率の低減を示す。物理減衰補正は、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である。

③ 毛戸事業地

川内村北東部の毛戸地区に所在する川内村村有林であり、2 事業地（北東部 2.97ha、南西部 2.29ha）で間伐、皆伐を実施した。

間伐区は毛戸試験の北東部に位置（37°22'59"N, 140°51'31"E）し、皆伐区は南西部に位置（37°22'47"N, 140°51'18"E）し、約 500m 離れている。

いずれの事業地もスギ人工林であり、単位面積あたりの立木数が多く、胸高直径が小さく樹高の低い 2.97ha の林分を間伐区、立木数が少なく胸高直径が大きく樹高の高い 2.29ha の林分を皆伐区とした。

施業前後の変化状況を把握するために、間伐区内に計 3 点（列状間伐：2 点、定性間伐：1 点）、皆伐区内に 2 点の測定点を設定した。図 2-22 に配置図を示す。



図 2-22 毛戸事業地空間線量率測定点

・航空写真は、令和 2（2020）年 3 月 19 日に取得されたものである。

間伐区（間伐時点 60 年生、2.97ha）は、2014 年 10 月 16 日から 11 月 5 日に間伐（1.87ha で 2 伐 4 残の列状間伐、1.87ha で 26%の定性間伐）が実施された。皆伐区（間伐時点 55 年生、2.29ha）は、2014 年 11 月 7 日から 12 月 12 日に皆伐を、2015 年 4 月 14 日から 21 日に植栽（3,000 本/ha、スギ 1.10ha、ヒノキ 1.00ha）を実施している。施業には作業道（間伐区計 368m、皆伐区計 774m）が利用された。表 2-21 に施業種別の空間線量率測定結果、写真 2-5 及び写真 2-6 に施業直後と直近同時季の森林内の林況を示す。

表 2-21 毛戸事業地の施業種別測定結果

回数	測定日	スギ、アカマツ、カラマツ						備考
		定性間伐 (26%)		列状間伐 (2 伐 4 残)		皆伐		
		地点数	平均値	地点数	平均値	地点数	平均値	
1	平成 26(2014)年 10 月 16 日	1	0.930	2	0.795	2	0.860	施業前測定（間伐区）
2	10 月 23 日	1	0.920	2	0.770	2	0.870	施業前測定（皆伐区）
3	11 月 10 日	1	0.970	2	0.790	2	0.880	施業後測定（間伐区）
4	11 月 27 日	1	0.940	2	0.755	2	0.780	
5	12 月 12 日	1	0.910	2	0.730	2	0.760	施業前測定（皆伐区）
6	12 月 25 日	1	0.850	2	0.700	2	0.715	
7	平成 27(2015)年 1 月 13 日	1	0.810	2	0.695	2	0.690	
8	4 月 15 日	1	0.870	2	0.710	2	0.725	
9	6 月 3 日	1	0.930	2	0.785	2	0.805	
10	9 月 28 日	1	0.850	2	0.710	2	0.715	
11	10 月 28 日	1	0.850	2	0.705	2	0.730	
12	12 月 1 日	1	0.750	2	0.625	2	0.655	
13	平成 28(2016)年 1 月 6 日	1	0.750	2	0.625	2	0.655	
14	3 月 1 日	1	0.690	2	0.530	2	0.590	
15	6 月 6 日	1	0.750	2	0.635	2	0.645	
16	7 月 4 日	1	0.710	2	0.635	2	0.650	
17	7 月 28 日	1	0.710	2	0.615	2	0.640	
18	8 月 24 日	1	0.670	2	0.580	2	0.600	
19	9 月 27 日	1	0.700	2	0.575	2	0.585	
20	10 月 25 日	1	0.700	2	0.580	2	0.620	
21	11 月 21 日	1	0.680	2	0.565	2	0.595	
22	12 月 26 日	1	0.640	2	0.540	2	0.565	
23	平成 29(2017)年 8 月 1 日	1	0.680	2	0.570	2	0.595	
24	11 月 30 日	1	0.640	2	0.550	2	0.570	
25	平成 30(2018)年 8 月 1 日	1	0.580	2	0.505	2	0.530	
26	11 月 20 日	1	0.600	2	0.500	2	0.510	
27	令和 01(2019)年 7 月 19 日	1	0.560	2	0.473	2	0.480	
28	11 月 25 日	1	0.555	2	0.473	2	0.478	
29	令和 02(2020)年 7 月 15 日	1	0.538	2	0.448	2	0.447	
30	12 月 2 日	1	0.575	2	0.468	2	0.497	
31	令和 03(2021)年 8 月 7 日	1	0.555	2	0.459	2	0.457	
32	11 月 22 日	1	0.530	2	0.449	2	0.437	

・当該事業地の放射性 Cs 沈着量（2011 年 7 月 2 日時点の第 3 次航空機モニタリング結果より算出）は、間伐区・皆伐区ともに 570kBq/m²であった。



(a) 測点 No.3 付近：2014 年 8 月頃撮影



(b) 測点 No.3 付近：2021 年 8 月 7 日撮影

写真 2-5 毛戸事業地（間伐区）の林況



(a) 新植箇所：2015 年 4 月頃撮影



(b) 測点 No.5 付近：2021 年 8 月 7 日撮影

写真 2-6 毛戸事業地（皆伐区）の林況

施業前後の測定結果について、定性間伐区域では増減なし（1.0%以下）、列状間伐区域では約 2.9%減、皆伐区域では約 10.8%減の空間線量率変化が確認されていた。皆伐区域の低減率が大きかったことについて、区域内全域でバックホウ等が稼働し、放射性物質を含む表土の攪乱による希釈効果の影響を受けたことによる可能性が高いと推測される。

その後の空間線量率の推移は、いずれの施業区においても物理減衰と同程度が僅かに下回る低減傾向にあることが確認された。図 2-23 に施業種別の空間線量率推移を示す。

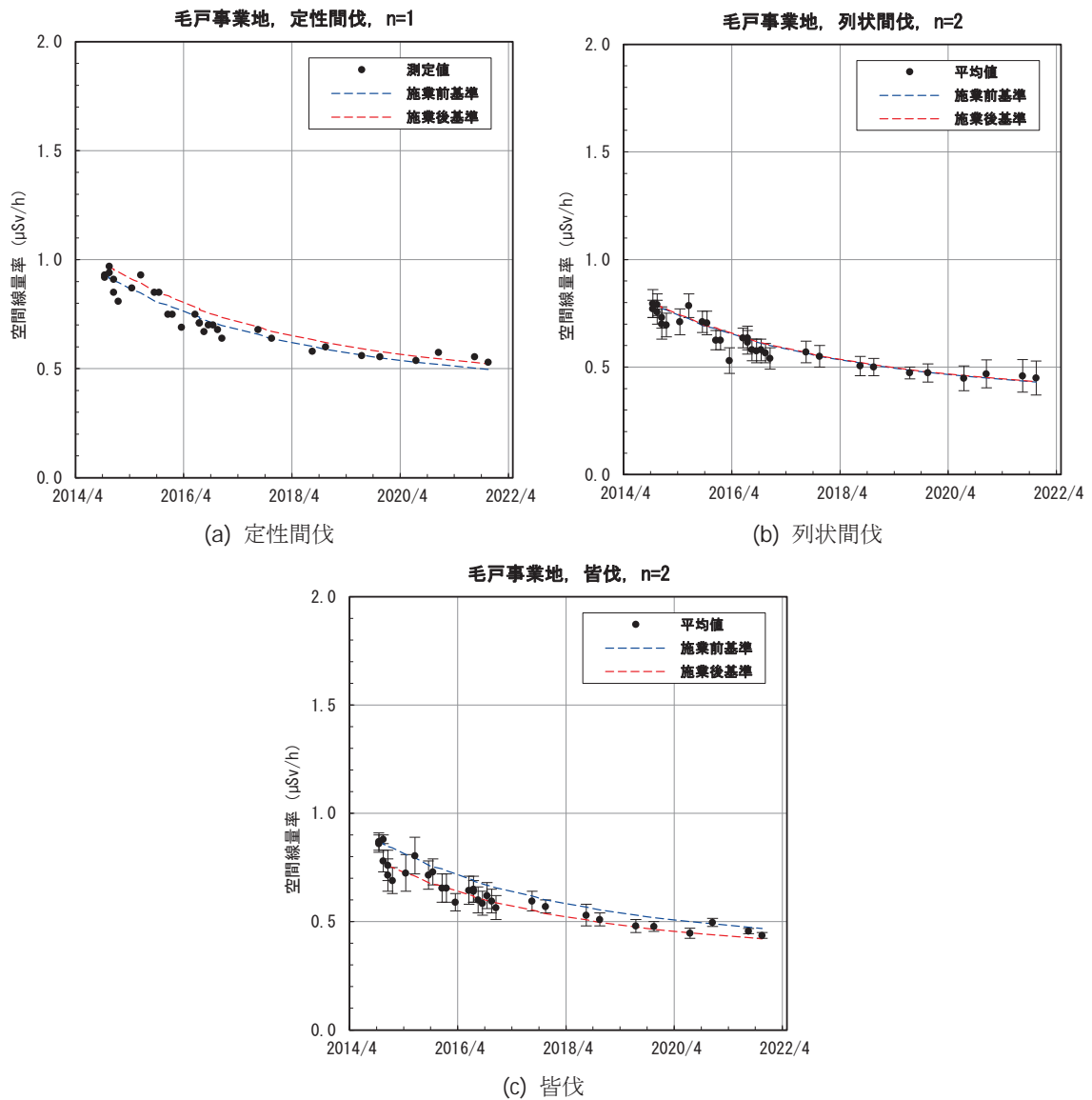


図 2-23 毛戸事業地における空間線量率推移

- 空間線量率は実測値（地上 1m）を示す。
- 黒丸は測定値もしくは 2 点の平均値（中央値）、誤差線は最大値と最小値を示す。
- 青色の破線は作業前の空間線量率を基準とした物理減衰による空間線量率の低減を示し、赤色の破線は作業後の空間線量率を基準とした物理減衰による空間線量率の低減を示す。物理減衰補正は、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である。

④ 二枚橋事業地

相馬郡飯舘村西部の二枚橋地区に所在する飯舘村村有林（37°40'52"N, 140°40'50"E, 4.20ha）であり、間伐時点 36～48 年生のアカマツ人工林である。林内 3 箇所、計 1.97ha で定性間伐を実施した。

間伐を実施した 2014 年度において、事業区域内の空間線量率を把握するために、尾根上部から谷に向かって横断するライン 2 本に斜距離 5m 間隔で測定点を設定（ライン A : 51 点、ライン B : 57 点）し、地上高 1m の空間線量率を測定していた。ライン A は間伐区域に干渉しておらず、ライン B は 57 点のうち尾根上部の 13 点が間伐区域内に位置していた。

2015 年度からは、より詳細に事業区域内の空間線量率を把握するために、新たに 20m メッシュ（計 112 点）を設定し、その交点において地上高 1m の空間線量率を測定することとした。なお、ライン状の空間線量率測定は 2015 年度以降実施されていない。2015 年 8 月に新たに設定した配置図を図 2-24 に、2016 年 1 月まで実施していたライン状の測定点と間伐施業区域の関係を図 2-25 に示す。

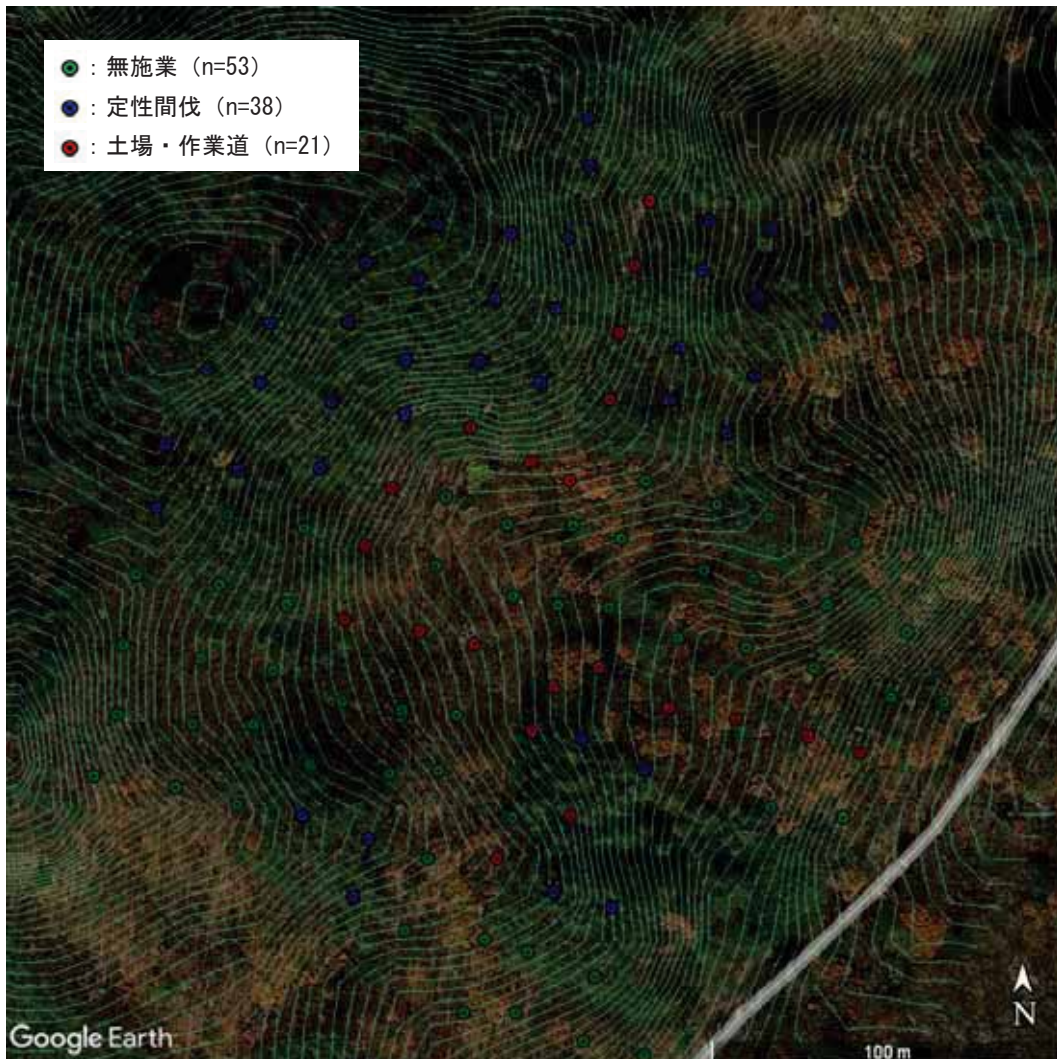


図 2-24 二枚橋事業地空間線量率測定点（2015 年 8 月測定以降）

・航空写真は、2020（令和 2）年 11 月 17 日に取得されたものである。



(a) 事業区域と間伐範囲の関係

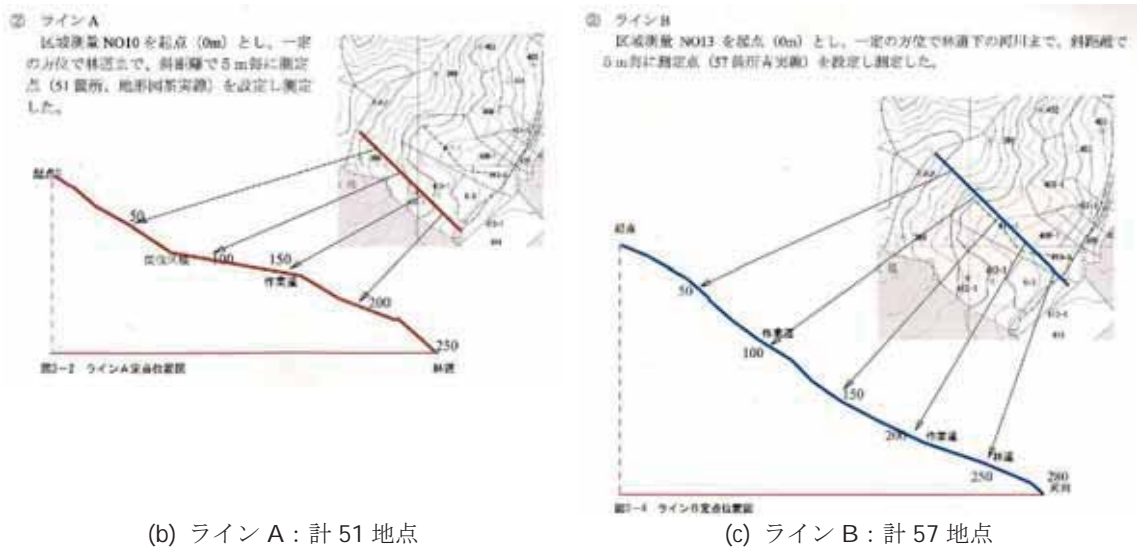


図 2-25 二枚橋事業地空間線量率測定点（2016 年 1 月測定まで）

間伐は、2014 年 11 月 19 日から 2015 年 1 月 23 日に実施された。アカマツ林の急激な環境変化を避けるため、伐採本数率 15%程度の定性間伐で実施された。施業には計 420m の作業道、土場（施工面積、箇所数不明）が利用された。また、施業期間中から施業終了まで降雪があり、施業直後の測定は実施できなかった。表 2-22 に施業種別の空間線量率測定結果、写真 2-7 に施業前と直近同時季の森林内の林況を示す。

表 2-22 二枚橋事業地の施業種別測定結果

回数	測定日	アカマツ				備考
		無施業		定性間伐 (15%)		
		地点数	平均値	地点数	平均値	
1	平成 26(2014)年 10月 24日	71	2.080	13	3.170	
2	10月 30日	71	1.838	13	3.700	
3	11月 26日	71	1.536	13	3.109	施業前測定、雨
4	12月 18日	71	1.095	13	1.825	積雪あり
5	平成 27(2015)年 2月 5日	71	0.484	13	0.728	積雪あり
6	7月 30日	71	2.038	13	2.925	施業後測定
7	8月 6日	53	2.214	31	2.560	20m メッシュ設定
8	10月 6日	53	2.053	31	2.365	20m メッシュ、ライン状確認測定
9	10月 7日	71	2.004	13	2.855	
10	11月 30日	53	1.924	31	2.217	20m メッシュ、ライン状確認測定
11	12月 1日	71	1.876	13	2.693	
12	平成 28(2016)年 1月 27日	71	0.943	13	1.289	積雪あり
13	10月 6日	53	1.699	31	1.955	
14	11月 16日	53	1.745	31	2.006	
15	12月 6日	53	1.694	31	1.962	
16	平成 29(2017)年 9月 5日	53	1.473	31	1.657	
17	11月 30日	53	1.441	31	1.637	
18	平成 30(2018)年 9月 8日	53	1.378	31	1.556	
19	11月 21日	53	1.362	31	1.563	
20	令和 1(2019)年 7月 23日	53	1.269	31	1.334	
21	11月 22日	53	1.342	31	1.555	
22	令和 2(2020)年 7月 13日	53	1.219	31	1.377	
23	12月 1日	53	1.159	31	1.319	
24	令和 3(2021)年 8月 3日	53	1.145	31	1.288	
25	11月 24日	53	1.102	31	1.258	

- ・当該事業地の放射性 Cs 沈着量（2011年7月2日時点の第3次航空機モニタリング結果より算出）は、1500kBq/m²であった。
- ・施業前の測定範囲外となっていた定性間伐区②、③に加え、事業地外、作業道作設箇所等の測定結果は、検証対象外として本表に整理していない。
- ・測定は、2014年度においてのみ、エネルギー補償機能がない CsI シンチレーションサーベイメータ（日本精密測器社製、DC-100）とエネルギー補償型 NaI シンチレーションサーベイメータ（日立製作所製、TCS-172B）の2台で測定し、その平均値を用いていた。2015年度以降の測定は、エネルギー補償型 NaI シンチレーションサーベイメータのみで行われている。2014年度の測定データを検証したところ、エネルギー補償機能のあるサーベイメータと比べ、0.534～1.838 倍の測定結果となっていたことから、本事業ではエネルギー補償機能なしの測定結果を採用しないこととした。



(a) 地点不明：2014年10月中旬頃撮影



(b) 測点 X30Y80 付近：2021年8月3日撮影

写真 2-7 二枚橋事業地の林況

無施業区域では、施業前の測定結果が、2015年7月に積雪がない状態で測定した施業後の測定結果よりも約24.3%高い結果であった。間伐区域では、無施業区域とは逆に施業に約11.2%減の空間線量率低減が観測されていた。

施業前の空間線量率測定は雨の天候下で実施されていたこと、測定高さが適切な高さに保たれていなかったなど、いくつかの原因が考えられる。いずれの事業地についても、その後の空間線量率測定結果から、無施業区域の施業前空間線量率は2.0~2.5 μ Sv/h、第1間伐区は2.5~3.0 μ Sv/hの範囲内であったものと推測される。図2-26に施業種別の空間線量率推移を示す。

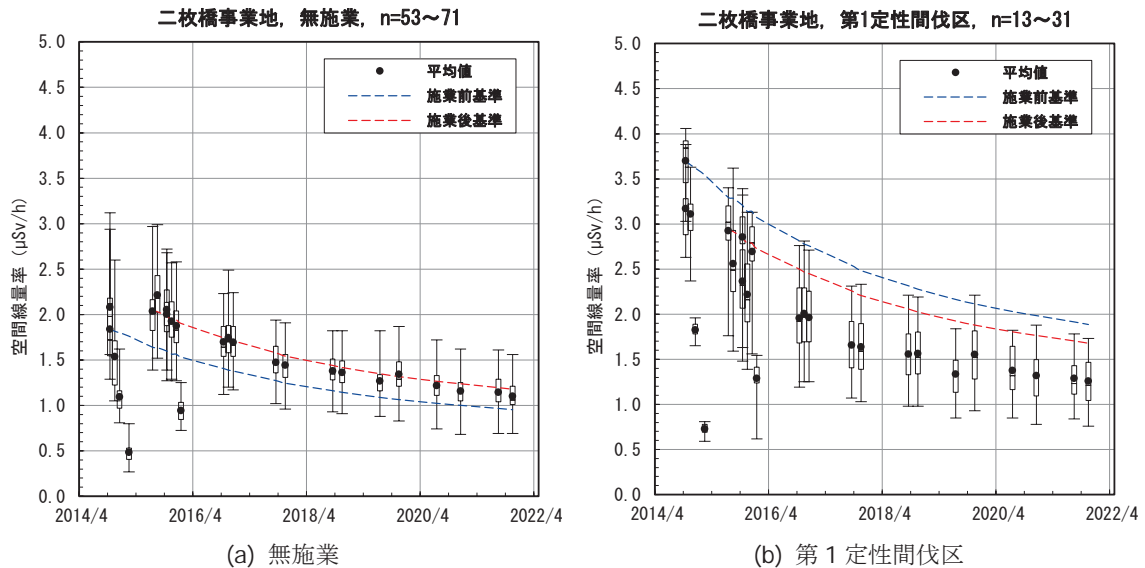


図 2-26 二枚橋事業地における空間線量率推移

- 空間線量率は実測値（地上1m）を示す。
- 黒丸は平均値、誤差線は、最大値及び最小値を示し、誤差線に付属する矩形の上下端は、第3四分位数及び第1四分位数を示す。
- 青色の破線は作業前の空間線量率を基準とした物理減衰による空間線量率の低減を示し、赤色の破線は作業後の空間線量率を基準とした物理減衰による空間線量率の低減を示す。物理減衰補正は、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である。

⑤ 合子事業地

田村市東部の都路地区に所在する田村市市有林であり、間伐時点で概ね 50 年生の広葉樹林である。

平成 27 (2015) 年は、林小班 21.34ha のうち北側入口 (37°22'46"N, 140°50'6"E, 2.79ha) の全域で下刈を行い、1.04ha で人力による更新伐 (伐採率 60%)、1.56ha で機械を併用した更新伐 (伐採率 60%)、チップ散布箇所、作業道を除く 2.50ha で 2,000 本/ha の密度でヤマザクラを改植した。施業には、計 985m の作業道を利用した。2016 (平成 28) 年は、隣接する南東側 0.67ha について、下刈と機械を併用した更新伐 (伐採率 60%) が実施された。

施業前後の変化状況を把握するために、林内作業区域に 20m メッシュを設定 (2015 年当初 100 点、2016 年追加 38 点) し、地上高 1m において空間線量率を測定した。配置図を図 2-27 に示す。

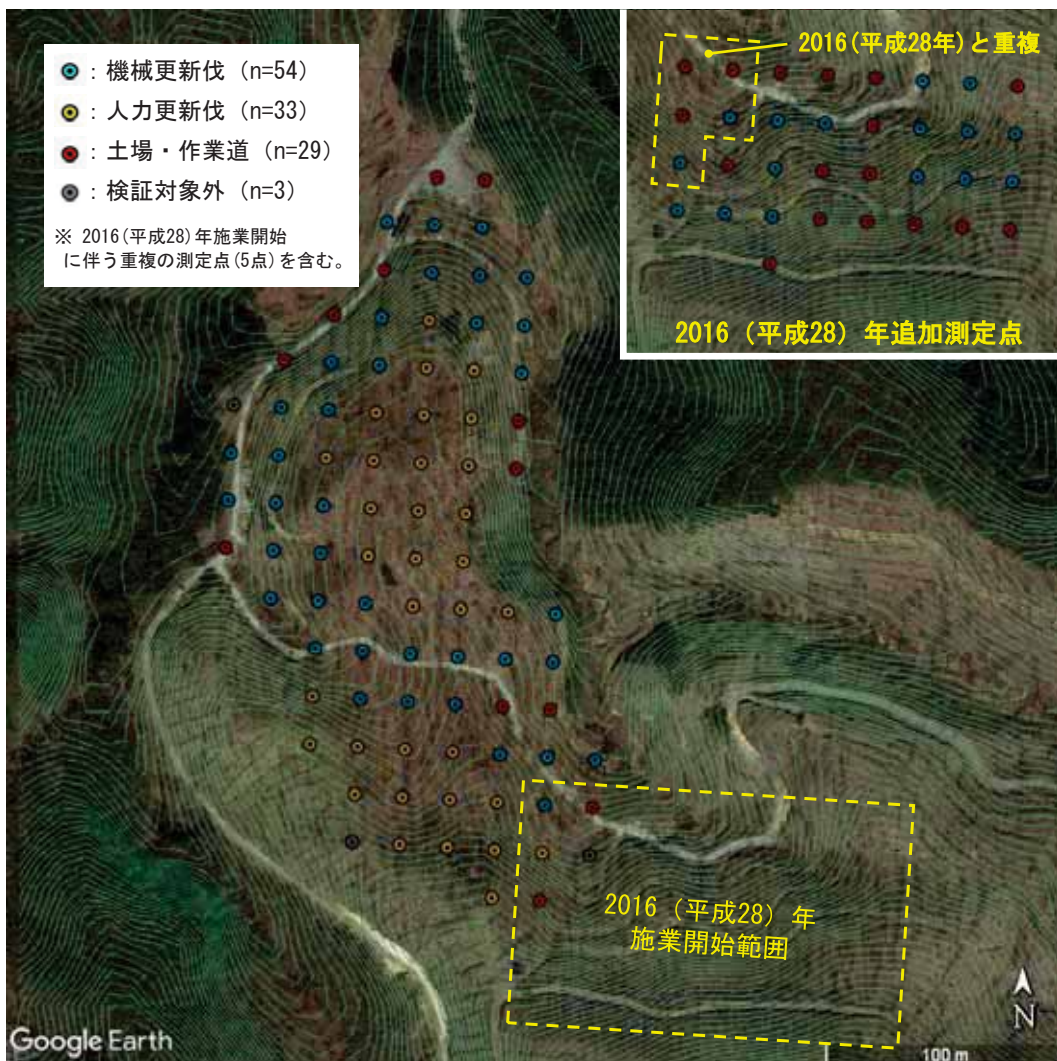


図 2-27 合子事業地空間線量率測定点

・航空写真は、令和 2 (2020) 年 3 月 19 日に取得されたものである。

下列は 2015 年 10 月 13 日から 10 月 19 日、更新伐は 10 月 23 日から 11 月 16 日、植栽は 11 月 24 日から 11 月 27 日に実施された。翌年の追加更新伐は 2016 年 11 月 3 日から 12 月 5 日に実施された。表 2-23 に施業種別の空間線量率測定結果、写真 2-8 に施業前と直近同時期の森林内の林況を示す。

表 2-23 合子事業地の施業種別測定結果

回数	測定日	コナラ等広葉樹						備考
		機械更新伐 (伐採率 60%)		人力更新伐 (伐採率 60%)		機械更新伐 (伐採率 60%)		
		地点数	平均値	地点数	平均値	地点数	平均値	
1	平成 27(2015)年 7 月 27 日	38	0.435	33	0.446	—	—	施業前測定 (H27)
2	12 月 10 日	38	0.395	33	0.416	—	—	施業後測定 (H27)
3	平成 28(2016)年 11 月 2 日	—	—	—	—	16	0.379	施業前測定 (H28)
4	12 月 6 日	38	0.342	33	0.359	16	0.350	施業後測定 (H28)
5	平成 29(2017)年 12 月 5 日	38	0.292	33	0.305	16	0.291	
6	平成 30(2018)年 12 月 3 日	38	0.269	33	0.279	16	0.269	
7	令和 01(2019)年 12 月 3 日	38	0.256	33	0.267	16	0.258	
8	令和 02(2020)年 7 月 21 日	38	0.251	33	0.265	16	0.255	
9	12 月 9 日	38	0.246	33	0.249	16	0.226	
10	令和 03(2021)年 8 月 11 日	38	0.237	33	0.247	16	0.234	
11	12 月 09 日	38	0.222	33	0.235	16	0.223	

- ・当該事業地の放射性 Cs 沈着量（2011 年 7 月 2 日時点の第 3 次航空機モニタリング結果より算出）は、410kBq/m²であった。
- ・事業地外、作業道・土場作設箇所の測定結果は、検証対象外として本表に整理していない。
- ・2015 年度から 2019 年度までの測定には可搬性の優れたエネルギー補償機能がない CsI シンチレーションサーバイメータ（堀場製作所製、PA-1000）を使用し、エネルギー補償型 NaI シンチレーションサーバイメータ（日立製作所製、TCS-172B）との相関関係を調査して求めた換算係数を乗じて補正していた。2020 年度以降は、NaI シンチレーションサーバイメータ（日立製作所製、TCS-172B）を用いて測定を実施していた。



(a) 測点 8N 付近：2015 年 7 月頃撮影



(b) 測点 8N 付近：2021 年 8 月 11 日撮影

写真 2-8 合子事業地の林況

施業前後の測定結果について、機械更新伐区域では 2015 年施業区域で約 5.0%減、2016 年施業区域で約 6.9%減、人力更新伐区域では約 2.3%減の空間線量率変化が確認されていた。

その後の空間線量率の推移は、いずれの施業区においても僅かに物理減衰を上回る低減傾向にあることが確認された。図 2-28 に施業種別の空間線量率推移を示す。

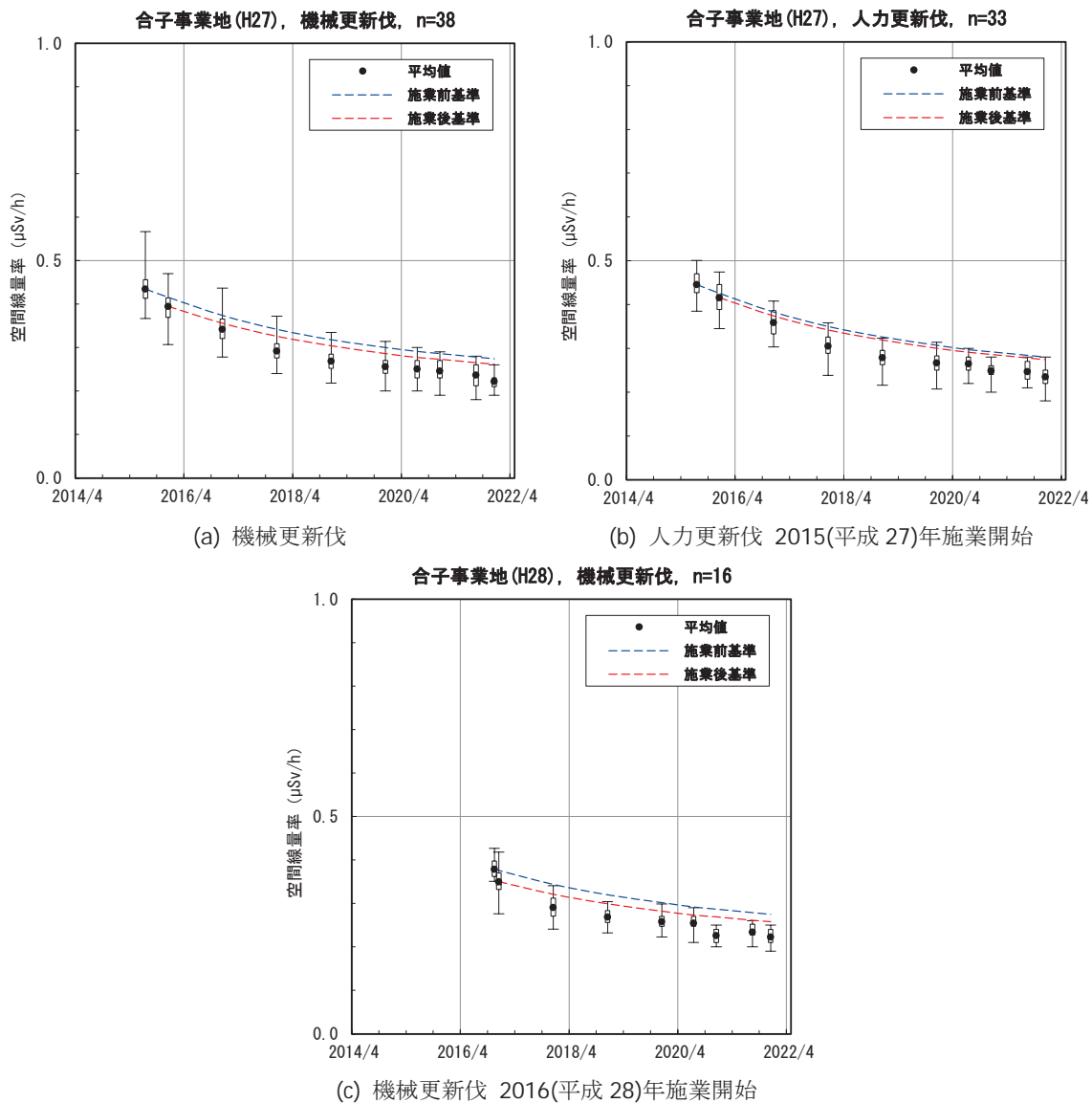


図 2-28 合子事業地における空間線量率推移

- 空間線量率は実測値（地上 1m）を示す。
- 黒丸は平均値、誤差線は、最大値及び最小値を示し、誤差線に付属する矩形の上下端は、第 3 四分位数及び第 1 四分位数を示す。
- 青色の破線は作業前の空間線量率を基準とした物理減衰による空間線量率の低減を示し、赤色の破線は作業後の空間線量率を基準とした物理減衰による空間線量率の低減を示す。物理減衰補正は、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である。

⑥ 大笹事業地

双葉郡葛尾村中央部の大笹地区に所在する葛尾村村有林であり、間伐時点で 54 年生のアカマツ、間伐で時点 28 年生のヒノキ混交人工林である。

事業地全域 (37°30'14"N, 140°47'48"E, 2.95ha) で間伐施業 (2 伐 8 残を基本とし、列が不明な場合は 4m 伐採 16m 残)、事業地西側の 0.01ha で定性間伐を実施した。加えて、高性能林業機械を最大限に活用することを念頭に、事業地全体に 25~30m を目安に等高線に平行な作業道を複数段作設 (計 9 路線、総延長 1,157m) した。

施業前後の変化状況を把握するために、林内作業区域に 20m メッシュを設定 (計 113 点) し、地上高 1m において空間線量率を測定した。配置図を図 2-29 に示す。



図 2-29 大笹事業地空間線量率測定点

・航空写真は、令和 2 (2020) 年 3 月 19 日に取得されたものである。

2015年9月20日から10月18日に作業道の作設を、12月7日までに間伐を実施した。表 2-24 に施業種別の空間線量率測定結果、写真 2-9 に施業直後と直近同時季の森林内の林況を示す。

表 2-24 大笹事業地の施業種別測定結果

回数	測定日	ヒノキ、アカマツ						備考
		作業道		列状間伐 (2伐8残)		定性間伐		
		地点数	平均値	地点数	平均値	地点数	平均値	
1	平成 27(2015)年 7月 30日	47	0.797	65	0.758	—	—	施業前測定
2	10月 14日	47	0.690	65	0.730	—	—	
3	12月 8日	47	0.642	65	0.692	—	—	施業後測定
4	平成 28(2016)年 12月 8日	47	0.502	65	0.545	—	—	
5	平成 29(2017)年 8月 2日	47	0.453	65	0.497	—	—	
6	11月 25日	47	0.420	65	0.457	—	—	
7	平成 30(2018)年 8月 2日	47	0.401	65	0.440	—	—	
8	11月 20日	47	0.403	65	0.448	—	—	
9	令和 1(2019)年 7月 25日	47	0.367	65	0.407	—	—	
10	11月 26日	47	0.398	65	0.430	—	—	
11	令和 2(2020)年 7月 17日	47	0.366	65	0.394	—	—	
12	12月 02日	47	0.381	65	0.407	—	—	
13	令和 3(2021)年 8月 7日	47	0.366	65	0.391	—	—	
14	11月 26日	47	0.359	65	0.384	—	—	

- ・当該事業地の放射性 Cs 沈着量（2011年7月2日時点の第3次航空機モニタリング結果より算出）は、690kBq/m²であった。
- ・崩落箇所測定結果は、検証対象外として本表に整理していない。
- ・0.01ha を対象に実施した定性間伐については、いずれの測定点とも干渉しておらず、施業前後を通じて測定できていない。
- ・2015年度から2016年度までの測定には可搬性の優れるエネルギー補償機能がない CsI シンチレーションサーベイメータ（堀場製作所製、PA-1000）を使用し、エネルギー補償型 NaI シンチレーションサーベイメータ（日立製作所製、TCS-172B）との相関関係を調査して求めた換算係数を乗じて補正していた。2017年度以降は、NaI シンチレーションサーベイメータ（日立製作所製、TCS-172B）を用いて測定を実施していた。



(a) 地点不明：2015年12月頃撮影



(b) 測点 12D 付近：2021年11月26日撮影

写真 2-9 大笹事業地の林況

施業前後の測定結果について、作業道作設箇所では約 15.5%減、間伐区域では約 4.3%減の空間線量率変化が確認されていた。

その後の空間線量率の推移は、いずれの作業区においても物理減衰を僅かに上回る低減傾向にあることが確認された。図 2-30 に作業種別の空間線量率推移を示す。

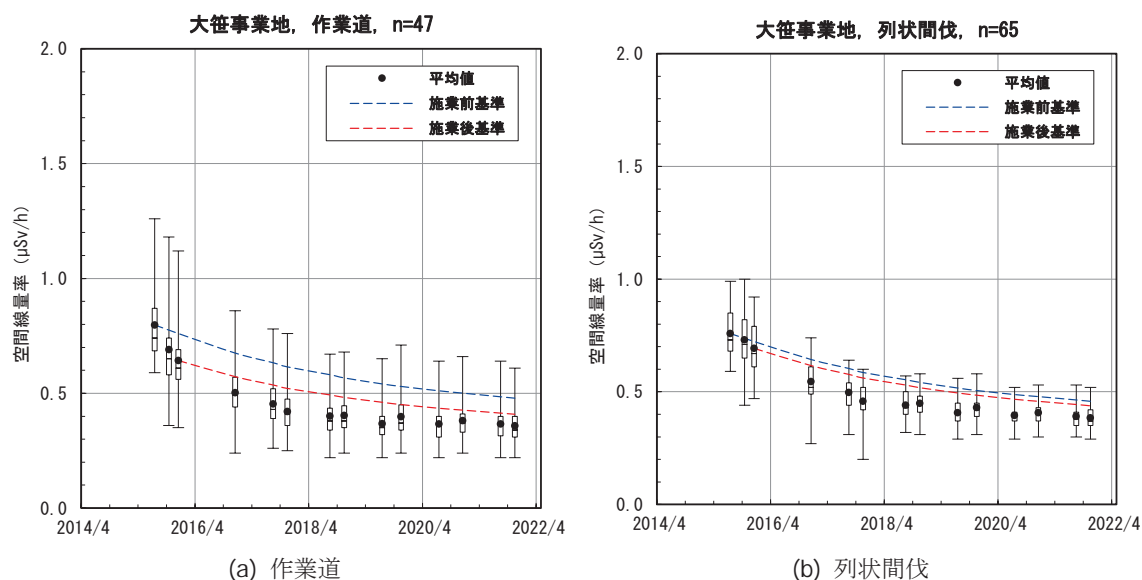


図 2-30 大笹事業地における空間線量率推移

- ・空間線量率は実測値（地上 1m）を示す。
- ・黒丸は平均値、誤差線は、最大値及び最小値を示し、誤差線に付属する矩形の上下端は、第 3 四分位数及び第 1 四分位数を示す。
- ・青色の破線は作業前の空間線量率を基準とした物理減衰による空間線量率の低減を示し、赤色の破線は作業後の空間線量率を基準とした物理減衰による空間線量率の低減を示す。物理減衰補正は、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である。

⑦ 白石事業地

相馬郡飯館村西部の白石地区に所在する飯館村村有林であり、間伐時点で 38 年生のスギ人工林である。

事業地 (37°41'21"N, 140°41'38"E, 0.56ha) のうち、生活圏に近い北西側 0.25ha で定性間伐 (間伐率 24%) を実施した。施業には計 100m の作業道が利用された。

施業前後の変化状況を把握するために、間伐区内に計 13 点の測定点を設定した。配置図を図 2-31 に示す。



図 2-31 白石事業地空間線量率測定点

・航空写真は、令和 2 (2020) 年 11 月 17 日に取得されたものである。

間伐は、2015年8月5日から10月6日に実施された。表 2-25 に施業種別の空間線量率測定結果、写真 2-10 に施業約2年後と直近の森林内の林況を示す。

表 2-25 臼石事業地の施業種別測定結果

回数	測定値	スギ				備考
		無施業		定性間伐(24%)		
		地点数	平均値	地点数	平均値	
1	平成 27(2015)年 8月 4日	6	2.362	4	2.113	施業前測定
2	8月 18日	6	2.112	4	1.933	
3	9月 2日	6	2.067	4	1.838	
4	10月 7日	6	2.155	4	1.920	施業後測定
5	11月 30日	6	1.947	4	1.805	
6	平成 28(2016)年 10月 5日	6	1.803	4	1.668	
7	11月 17日	6	1.752	4	1.595	
8	12月 7日	6	1.700	4	1.555	
9	平成 29(2017)年 9月 7日	6	1.492	4	1.303	
10	11月 29日	6	1.518	4	1.388	
11	平成 30(2018)年 9月 7日	6	1.422	4	1.300	
12	11月 21日	6	1.402	4	1.293	
13	令和 1(2019)年 7月 23日	6	1.255	4	1.113	
14	11月 22日	6	1.388	4	1.283	
15	令和 2(2020)年 7月 13日	6	1.213	4	1.145	
16	12月 1日	6	1.227	4	1.125	
17	令和 3(2021)年 8月 3日	6	1.095	4	1.025	
18	11月 19日	6	1.140	4	1.055	

・当該事業地の放射性Cs沈着量(2011年7月2日時点の第3次航空機モニタリング結果より算出)は、1200kBq/m²であった。



(a) 地点不明：2017年頃撮影



(b) 測点 0-80 付近：2021年8月3日撮影

写真 2-10 臼石事業地の林況

施業前後の測定結果について、無施業箇所でも約6.5%減、間伐区域でも約6.8%減の空間線量率変化が確認されていた。無施業箇所の低減を考慮すると、間伐区域における空間線量率の低減効果は大きくなかったものと推測された。

その後の空間線量率の推移は、いずれの施業区においても物理減衰を僅かに上回る低減傾向にあることが確認された。図 2-32 に施業種別の空間線量率推移を示す。

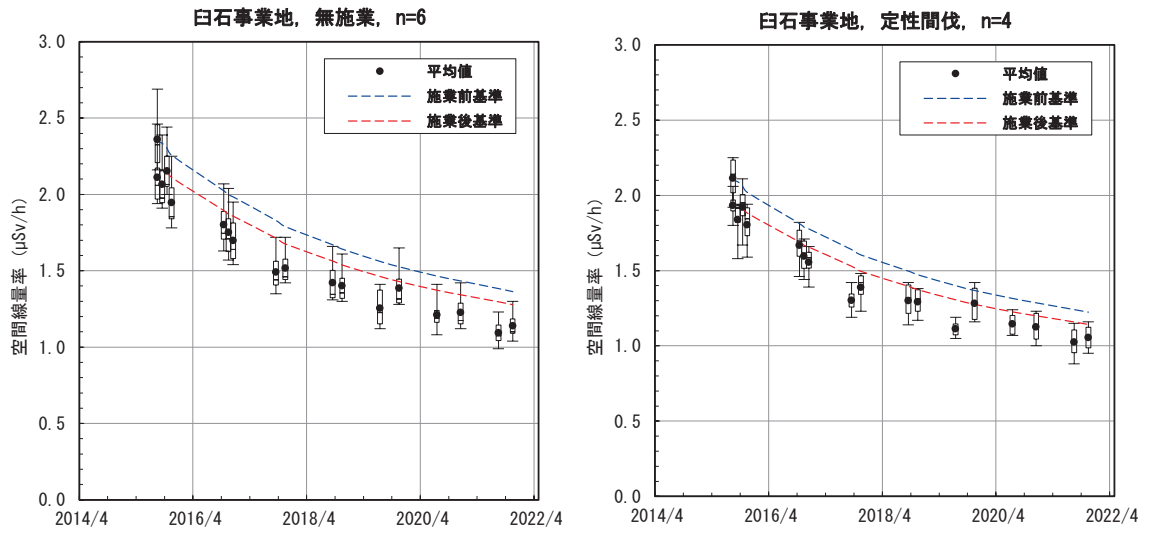


図 2-32 白石事業地における空間線量率推移

- ・空間線量率は実測値（地上1m）を示す。
- ・黒丸は平均値、誤差線は、最大値及び最小値を示し、誤差線に付属する矩形の上下端は、第3四分位数及び第1四分位数を示す。
- ・青色の破線は作業前の空間線量率を基準とした物理減衰による空間線量率の低減を示し、赤色の破線は作業後の空間線量率を基準とした物理減衰による空間線量率の低減を示す。物理減衰補正は、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である。

⑧ 馬場平事業地

田村市東部の都路地区に所在する田村市市有林 (37°25'18"N, 140°48'1"E, 5.80ha) であり、スギ、ヒノキ、アカマツから構成される人工林 (間伐時点の林齢はスギ 60 年生程度、ヒノキ 30 年生程度、アカマツ 40 年生程度) である。

事業地面積 5.80ha のうち、事業地中央の 0.55ha で皆伐新植、事業地北側の 1.16ha で列状間伐 (2 伐 8 残)、事業地南側の 1.19ha で定性間伐 (間伐率 30%程度) を実施した。施業に伴い列状間伐区 490m、定性間伐区 654m、計 1,144m の作業道を作設した。

施業前後の変化状況を把握するために、林内作業区域に 20m メッシュを設定 (計 129 点) し、地上高 1m において空間線量率を測定した。配置図を図 2-33 に示す。



図 2-33 馬場平事業地空間線量率測定点

・航空写真は、令和 2 (2020) 年 3 月 19 日に取得されたものである。

皆伐を2016年6月8日から6月14日、新植を6月29日に、作業道作設を8月22日から9月12日、列状間伐を9月14日から9月16日、定性間伐を9月21日から9月23日に実施した。表 2-26 に施業種別の空間線量率測定結果、写真 2-11 に施業直後と直近同時季の森林内の林況を示す。

表 2-26 馬場平事業地の施業種別測定結果

回数	測定日	アカマツ、ヒノキ、スギ								備考
		無施業		皆伐		列状間伐 (2伐8残)		定性間伐 (30%)		
		地点数	平均値	地点数	平均値	地点数	平均値	地点数	平均値	
1	平成 28(2016)年 05 月 31 日	44	0.340	15	0.393	20	0.464	15	0.383	施業前測定
2	06 月 22 日	44	0.325	15	0.335	20	0.447	15	0.365	
3	07 月 01 日	44	0.298	15	0.307	20	0.416	15	0.334	
4	08 月 03 日	44	0.304	15	0.314	20	0.420	15	0.336	
5	09 月 07 日	44	0.295	15	0.300	20	0.397	15	0.307	
6	10 月 18 日	44	0.312	15	0.304	20	0.409	15	0.317	施業後測定
7	平成 29(2017)年 10 月 05 日	44	0.270	15	0.268	20	0.354	15	0.275	
8	平成 30(2018)年 10 月 02 日	44	0.244	15	0.248	20	0.324	15	0.250	
9	令和 01(2019)年 10 月 03 日	44	0.234	15	0.239	20	0.308	15	0.244	
10	令和 02(2020)年 07 月 20 日	44	0.219	15	0.213	20	0.273	15	0.220	
11	12 月 07 日	44	0.220	15	0.208	20	0.266	15	0.223	
12	令和 03(2021)年 08 月 05 日	44	0.204	15	0.201	20	0.256	15	0.209	
13	12 月 07 日	44	0.213	15	0.207	20	0.267	15	0.208	

- ・当該事業地の放射性 Cs 沈着量（2011 年 7 月 2 日時点の第 3 次航空機モニタリング結果より算出）は、230kBq/m²であった。
- ・2016 年度から 2019 年度までの測定には可搬性の優れるエネルギー補償機能がない CsI シンチレーションサーバイメータ（堀場製作所製、PA-1000）を使用し、エネルギー補償型 NaI シンチレーションサーバイメータ（日立製作所製、TCS-172B）との相関関係を調査して求めた換算係数を乗じて補正していた。2020 年度以降は、NaI シンチレーションサーバイメータ（日立製作所製、TCS-172B）を用いて測定を実施していた。



(a) 新植箇所：2016 年 7 月頃撮影



(b) 測点 12A 付近：2021 年 8 月 5 日撮影

写真 2-11 馬場平事業地の林況

施業前後の測定結果について、無施業区域では約 3.8%減、皆伐区域では約 14.1%減、列状間伐区域、列状間伐区域ではともに約 4.3%増の空間線量率変化が確認されていた。

皆伐区域の低減率が大きかったことについて、区域内全域で高性能林業機械が稼働し、造材で発生した末木枝条の集積作業により表土が攪乱された状況が認められていた。このこと

から、低下の主要因は放射性物質を含む表土の攪乱による希釈効果の影響を受けたことによる可能性が高いと推測される。

その後の空間線量率の推移は、いずれの施業区においても僅かに物理減衰を上回る低減傾向にあることが確認された。図 2-34 に施業種別の空間線量率推移を示す。

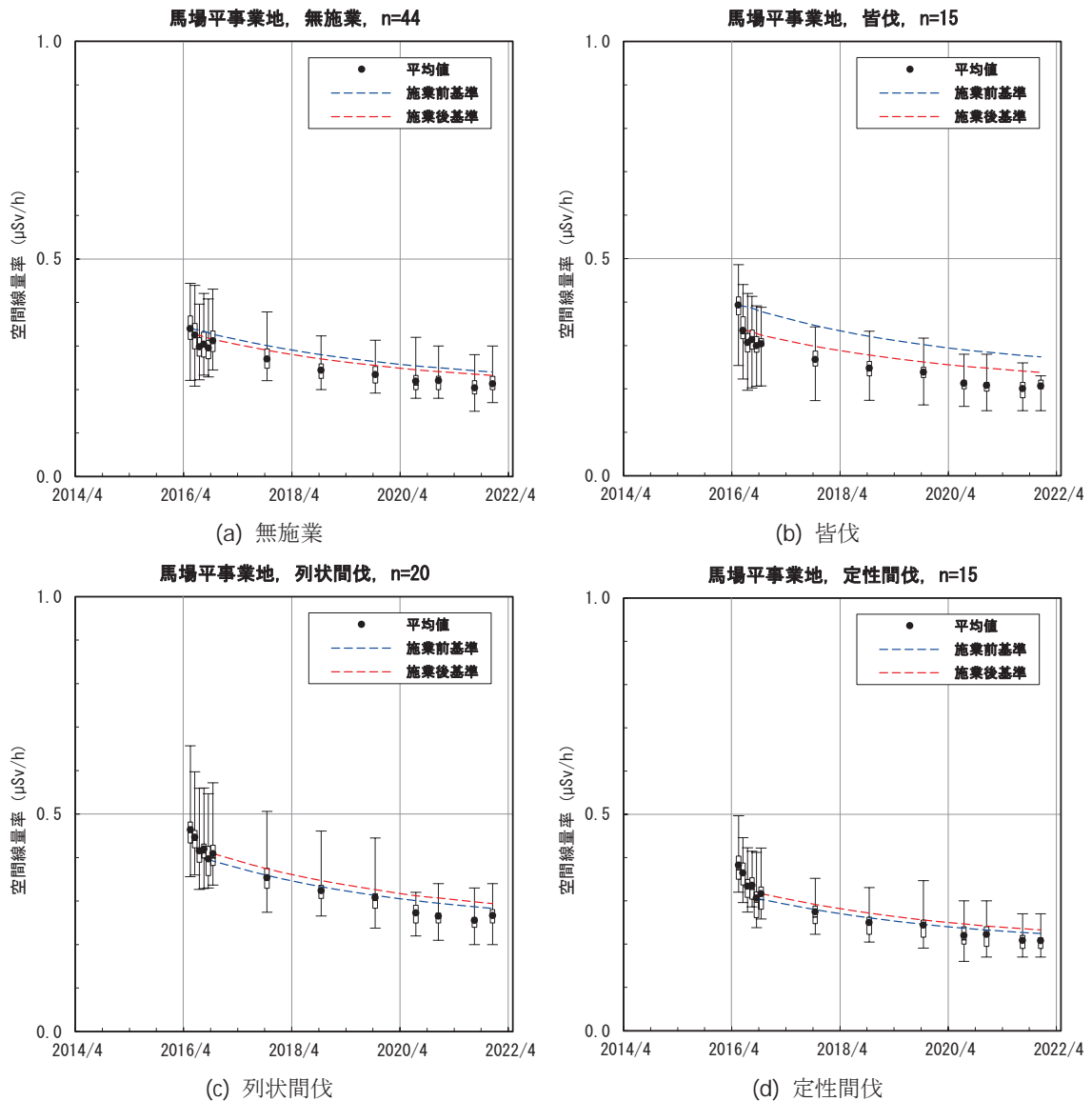


図 2-34 馬場平事業地における空間線量率推移

- ・空間線量率は実測値（地上1m）を示す。
- ・黒丸は平均値、誤差線は、最大値及び最小値を示し、誤差線に付随する矩形の上下端は、第3四分位数及び第1四分位数を示す。
- ・青色の破線は作業前の空間線量率を基準とした物理減衰による空間線量率の低減を示し、赤色の破線は作業後の空間線量率を基準とした物理減衰による空間線量率の低減を示す。物理減衰補正は、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である。

⑨ 関沢事業地

相馬郡飯舘村中央部の関沢地区に所在する飯舘村村有林であり、間伐時点で 34 年生のヒノキ人工林 (37°40'41"N, 140°47'36"E, 1.61ha) である。

全域で定性間伐を実施した。事業地中央部に形成された沢の左岸では作業道を作設し高性能林業機械を用いた機械定性間伐を、右岸ではチェーンソーを用いた人力定性間伐を実施した。いずれの間伐も、材積間伐率 23.4%の切捨間伐で実施された。施業には 200m の作業道が利用された。

施業前後の変化状況を把握するために、間伐区内に土砂受け箱に干渉しないように配慮して、計 40 点の測定点 (沢の左岸は機械伐採用 12 点、沢の右岸はチェーンソー伐採用 15 点) を設定した。配置図を図 2-35 に示す。



図 2-35 関沢事業地空間線量率測定点

・航空写真は、令和 2 (2020) 年 11 月 17 日に取得されたものである。

間伐は、2016年10月11日から2016年10月27日のうち計14日間で実施された。表2-27に施業種別の空間線量率測定結果、写真2-12に施業前と直近同時季の森林内の林況を示す。

表 2-27 関沢事業地の施業種別測定結果

回数	測定日	ヒノキ				備考
		人力定性間伐 (23.4%)		機械定性間伐 (23.4%)		
		地点数	平均値	地点数	平均値	
1	平成 28(2016)年 09 月 02 日	15	1.737	12	1.246	施業前測定
2	10 月 19 日	15	1.599	12	1.210	
3	11 月 02 日	15	1.671	12	1.204	施業後測定
4	平成 29(2017)年 03 月 08 日	15	1.515	12	1.084	
5	08 月 01 日	15	1.424	12	1.041	
6	11 月 24 日	15	1.331	12	0.975	
7	平成 30(2018)年 08 月 01 日	15	1.171	12	0.861	
8	11 月 21 日	15	1.287	12	0.953	
9	令和 01(2019)年 07 月 23 日	15	1.248	12	0.806	
10	11 月 22 日	15	1.161	12	0.793	
11	令和 02(2020)年 07 月 13 日	15	1.178	12	0.844	
12	12 月 01 日	15	1.211	12	0.818	
13	令和 03(2021)年 08 月 11 日	15	1.175	12	0.814	
14	11 月 19 日	15	1.131	12	0.819	

・当該事業地の放射性Cs沈着量(2011年7月2日時点の第3次航空機モニタリング結果より算出)は、1500kBq/m²であった。



(a) 上流部付近：2016年8月頃撮影



(b) 測点 H9 付近：2021年8月11日撮影

写真 2-12 関沢事業地の林況

施業前後の測定結果について、人力間伐区域では約1.9%減、機械間伐区域では約1.5%減の空間線量率変化が確認されていた。

その後の空間線量率の推移は、いずれの施業区においても僅かに物理減衰を上回る低減傾向にあることが確認された。図2-36に施業種別の空間線量率推移を示す。

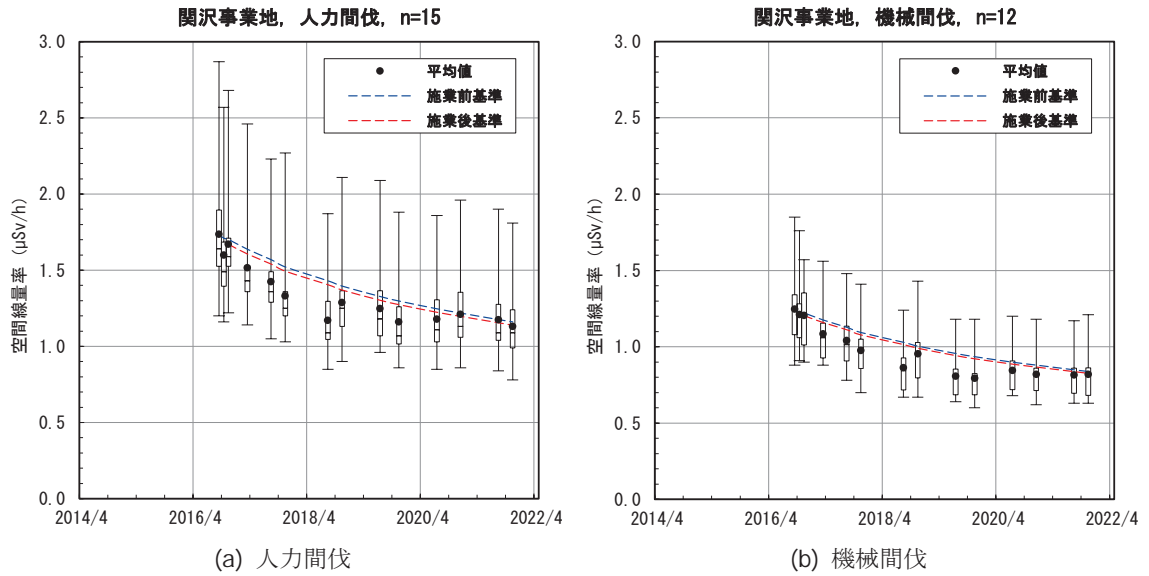


図 2-36 閑沢事業地における空間線量率推移

- ・空間線量率は実測値（地上 1m）を示す。
- ・黒丸は平均値、誤差線は、最大値及び最小値を示し、誤差線に付属する矩形の上下端は、第 3 四分位数及び第 1 四分位数を示す。
- ・青色の破線は作業前の空間線量率を基準とした物理減衰による空間線量率の低減を示し、赤色の破線は作業後の空間線量率を基準とした物理減衰による空間線量率の低減を示す。物理減衰補正は、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である。

⑩ 大谷事業地

双葉郡檜葉町中央部の大谷地区に所在する町有林であり、間伐時点で、スギ 56 年生(0.26ha)及び37 年生(0.37ha)、ヒノキ 37 年生(0.63ha)から構成される人工林(37°17'8"N, 140°58'2"E, 1.26ha)である。

56 年生及び 37 年生のスギ林については利用型定性間伐を、37 年生のヒノキ林は保育型定性間伐を実施した。それぞれの材積間伐率は、56 年生スギ林は土場を除き 19.3%、37 年生スギ林は 17.6%、ヒノキ林は 23.2%であった。施業実施にあたって、既設の作業道(5 路線計 385m)を改修して使用し、伐採木搬出保管のために林道近くの緩斜面に土場 1 箇所(0.03ha)を作設した。

施業前後の変化状況を把握するために、林内作業区域に 20m メッシュを設定(計 33 点)し、地上高 1m において空間線量率を測定した。配置図を図 2-37 に示す。

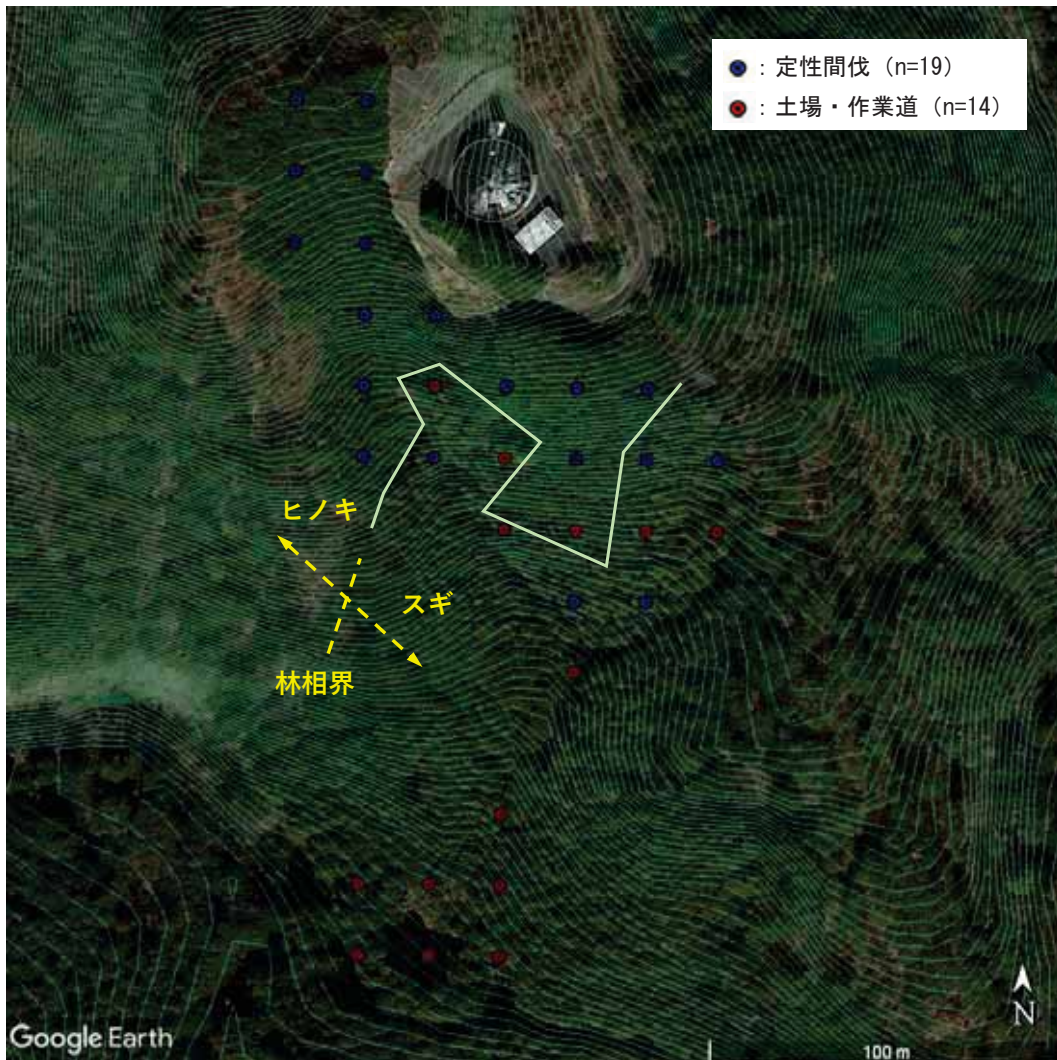


図 2-37 大谷事業地空間線量率測定点

・航空写真は、令和 2 (2020) 年 3 月 19 日に取得されたものである。

ヒノキ林定性間伐を4月19日、土場の作設、作業道の改修（刈払いのみ）、スギ定性間伐は2017年4月21日に実施された。表2-28に施業種別の空間線量率測定結果、写真2-13に施業前と直近同時季の森林内の林況を示す。

表 2-28 大谷事業地の施業種別測定結果

回数	測定日	ヒノキ		スギ		備考
		定性間伐 (23.2%)		定性間伐 (17.6~19.3%)		
		地点数	平均値	地点数	平均値	
1	平成 28(2016)年 11 月 23 日	14	0.400	5	0.382	施業前測定
2	平成 29(2017)年 04 月 28 日	14	0.376	5	0.364	施業後測定
3	06 月 20 日	14	0.350	5	0.340	
4	08 月 01 日	14	0.354	5	0.344	
5	11 月 30 日	14	0.360	5	0.334	
6	平成 30(2018)年 08 月 01 日	14	0.322	5	0.330	
7	11 月 20 日	14	0.332	5	0.318	
8	令和 01(2019)年 07 月 24 日	14	0.304	5	0.300	
9	11 月 25 日	14	0.307	5	0.306	
10	令和 02(2020)年 07 月 16 日	14	0.295	5	0.294	
11	12 月 03 日	14	0.317	5	0.316	
12	令和 03(2021)年 08 月 09 日	14	0.299	5	0.294	
13	11 月 25 日	14	0.290	5	0.284	

・当該事業地の放射性 Cs 沈着量（2011年7月2日時点の第3次航空機モニタリング結果より算出）は、450kBq/m²であった。



(a) 測点 17 付近：2016 年 8 月頃撮影



(b) 測点 17 付近：2021 年 8 月 9 日撮影

写真 2-13 大谷事業地の林況

施業前後の測定結果について、スギ林を対象に実施した利用型間伐区域では増減なし（1.0%以下）、ヒノキ林を対象に実施した保育型間伐区域では約 2.1%減の空間線量率変化が確認されていた。それぞれ、樹種は異なるものの、材を林外に搬出利用型間伐、材を林内に残す保育型間伐において、差は認められなかった。

その後の空間線量率の推移は、いずれの施業区においても僅かに物理減衰を上回る低減傾向にあることが確認された。図 2-38 に施業種別の空間線量率推移を示す。

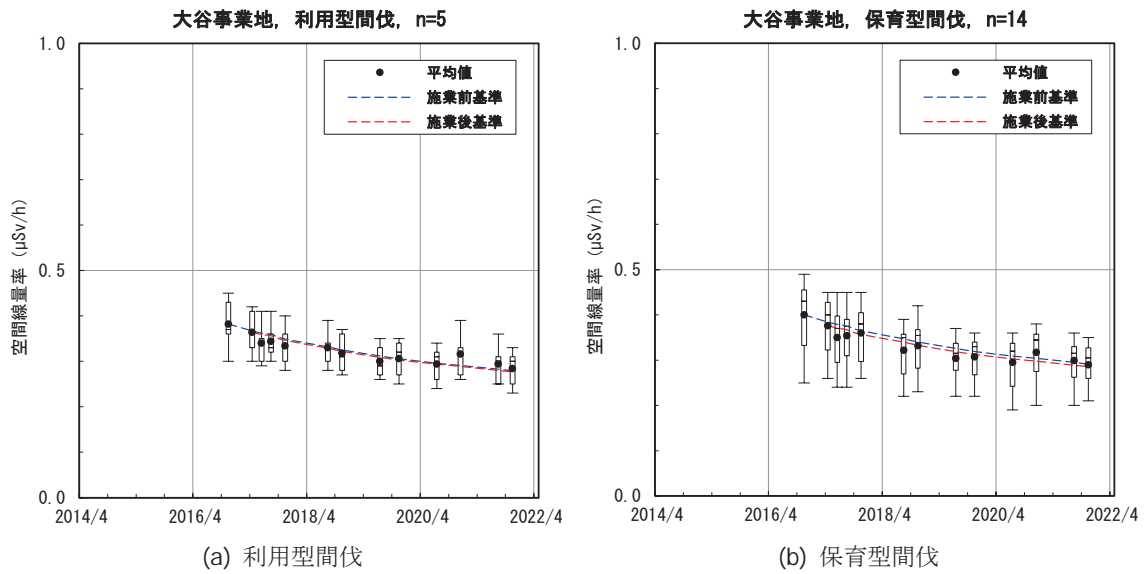


図 2-38 大谷事業地における空間線量率推移

- 空間線量率は実測値（地上 1m）を示す。
- 黒丸は平均値、誤差線は、最大値及び最小値を示し、誤差線に付属する矩形の上下端は、第 3 四分位数及び第 1 四分位数を示す。
- 青色の破線は作業前の空間線量率を基準とした物理減衰による空間線量率の低減を示し、赤色の破線は作業後の空間線量率を基準とした物理減衰による空間線量率の低減を示す。物理減衰補正は、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である。

(3) 考察

① 皆伐及び間伐による空間線量率の変化

皆伐及び間伐による空間線量率の変化として、以下の計算式を用いて施業前後の空間線量率低減率を計算した。結果を表 2-29 に示す。なお、二枚橋事業地については、積雪や測定方法等の影響から、施業前後の空間線量率測定結果に疑義があるため、作表の対象から除外した。

$$\text{空間線量率低減率(\%)} = \left(1 - \frac{\text{施業直後の空間線量率}}{\text{施業後測定日に減衰補正した施業前の空間線量率}} \right) \times 100$$

表 2-29 過年度事業地施業種別空間線量率増減率

事業地名	施業種	地点数	施業前空間線量率 (μSv/h)			施業後空間線量率 (μSv/h)		増減率 (%)
			測定日	測定日 平均値	施業後 補正值	測定日	測定日 平均値	
小滝沢	無施業	89	2014年10月3日	0.609	0.591	2014年12月18日	0.585	1.02
	除伐	43		0.707	0.685		0.650	5.11
	機械更新伐	16		0.587	0.569		0.494	13.18
	人力更新伐	20		0.727	0.705		0.692	1.84
羽倉	アカマツ定性間伐	3	2014年10月15日	1.003	0.979	2014年12月10日	0.893	8.78
	スギ定性間伐	17		1.065	1.040		0.995	4.33
	スギ列状間伐	12		1.122	1.095		1.099	-0.37
毛戸	定性間伐	1	2014年10月16日	0.930	0.920	2014年11月10日	0.970	-5.43
	列状間伐	2		0.795	0.787		0.790	-0.38
	皆伐	2	2014年10月23日	0.870	0.852	2014年12月12日	0.760	10.80
合子	機械更新伐(H27)	38	2015年7月27日	0.435	0.416	2015年12月10日	0.395	5.05
	人力更新伐	33		0.446	0.426		0.416	2.35
	機械更新伐(H28)	16	2016年11月2日	0.379	0.376	2016年12月6日	0.350	6.91
大笹	作業道	47	2015年7月30日	0.797	0.760	2015年12月8日	0.642	15.53
	列状間伐	65		0.758	0.723		0.692	4.29
白石	無施業	6	2015年8月4日	2.113	2.061	2015年10月7日	1.920	6.84
	定性間伐	4		2.362	2.304		2.155	6.47
馬場平	無施業	44	2016年5月31日	0.340	0.338	2016年6月22日	0.325	3.85
	皆伐	15		0.393	0.390		0.335	14.10
	列状間伐	20	2016年9月7日	0.397	0.392	2016年10月18日	0.409	-4.34
	定性間伐	15		0.307	0.304		0.317	-4.28
関沢	人力定性間伐	15	2016年9月2日	1.737	1.703	2016年11月2日	1.671	1.88
	機械定性間伐	12		1.246	1.222		1.204	1.47
大谷	利用型間伐	5	2016年11月23日	0.382	0.367	2017年4月28日	0.364	0.82
	保育型間伐	14		0.400	0.384		0.376	2.08

皆伐が行われた毛戸事業地と馬場平事業地の2事業地について、毛戸事業地では約10.8%、馬場平事業地では無施業区の結果を考慮すると約10.3%の空間線量率低減が観測されていた。

小滝沢事業地で行われた機械更新伐では無施業区の結果を考慮すると約12.2%であり、前述の皆伐と同等の空間線量率低減が観測されていたが、合子事業地で行われた機械更新伐では、2015(平成27)年施業地では約5.1%、2016(平成28)年施業地においても約6.9%であり、小滝沢事業地で行われた機械更新伐ほどの空間線量率低減は観測されていなかった。

羽倉事業地で実施したアカマツ定性間伐で約 8.8%の空間線量率の低減効果が観測されていたものの、その他の間伐施業種では、僅かな空間線量率低減しか観測されていなかった。

以上の結果から、皆伐と間伐を比較した結果、間伐と比べた場合、皆伐のほうが空間線量率低減の傾向が強く、その低減率は 10%程度であった。

② 施業後の空間線量率の傾向

各事業地における施業後の物理的減衰に対する空間線量率の比率の推移を図 2-39 に示す。なお、二枚橋事業地については、積雪や測定方法等の影響から、施業前後の空間線量率測定結果に疑義があるため、作図の対象から除外した。

各事業地間の傾向について比較した結果、小滝沢事業地、合子事業地、大笹事業地、白石事業地、馬場平事業地など、間伐や皆伐、更新伐等の森林施業後も、引き続き物理的減衰による推移を上回る空間線量率の低下傾向が継続されている事業地がある一方、羽倉事業地、毛戸事業地、関沢事業地、大谷事業地など、直近で測定された空間線量率が、施業後の物理的減衰による低減傾向と殆ど差がみられない事業地があった。

測定点の数が少ない羽倉事業地のアカマツ列状間伐区、毛戸事業地の各区・白石事業地の各区については、推移の変動幅が大きく、得られた測定結果が安定していない可能性がある。関沢事業地については、施業 2 年後までは物理的減衰を上回る低減傾向がみられたものの、徐々に低減傾向が縮まり、直近の測定では施業直後の物理減衰と変わらない結果になっていた。これらの原因については不明である。

③ 今後の検討事項

空間線量率測定点は、当時の実証事業で想定された伐採方法（列状間伐・皆伐等）の違いに基づいて区分けされており、小滝沢事業地の人力更新伐区、機械更新伐区のように入り組んだ配置となっており、各施業区の測定地点数に差が生じている。これらのことから、同一事業地、異なる事業地間の空間線量率の傾向を横並びで比較するためには、他の施業の影響を受けていない点を特定し、測定点を絞り込むことができれば事業地間の差を小さくすることができると考えられる。ただし、当時の実証事業では、チェンソーを用いた伐採の後に、玉切りや集材を機械で実施している場合や小規模ではあるものの放射性物質を含む土砂等の拡散防止のために木材チップや枝条を敷設している場合があるため、測定点の絞り込みには注意を要する。

施業の有無による比較を目的とした無施業区域が設定されていない事業地が多く、小滝沢事業地については無施業区域の測定を中断してしまった事業地もある。これらの事業地について、施業初期に設定されていた周囲測量点や無施業区域等の測定点を復元し、測定した結果を比較検討することで、今までの測定結果を補い得る可能性がある。ただし、施業当時の杭表示は経年によって失われている可能性が高く、復元には再度の測量等が必要となる可能性がある。

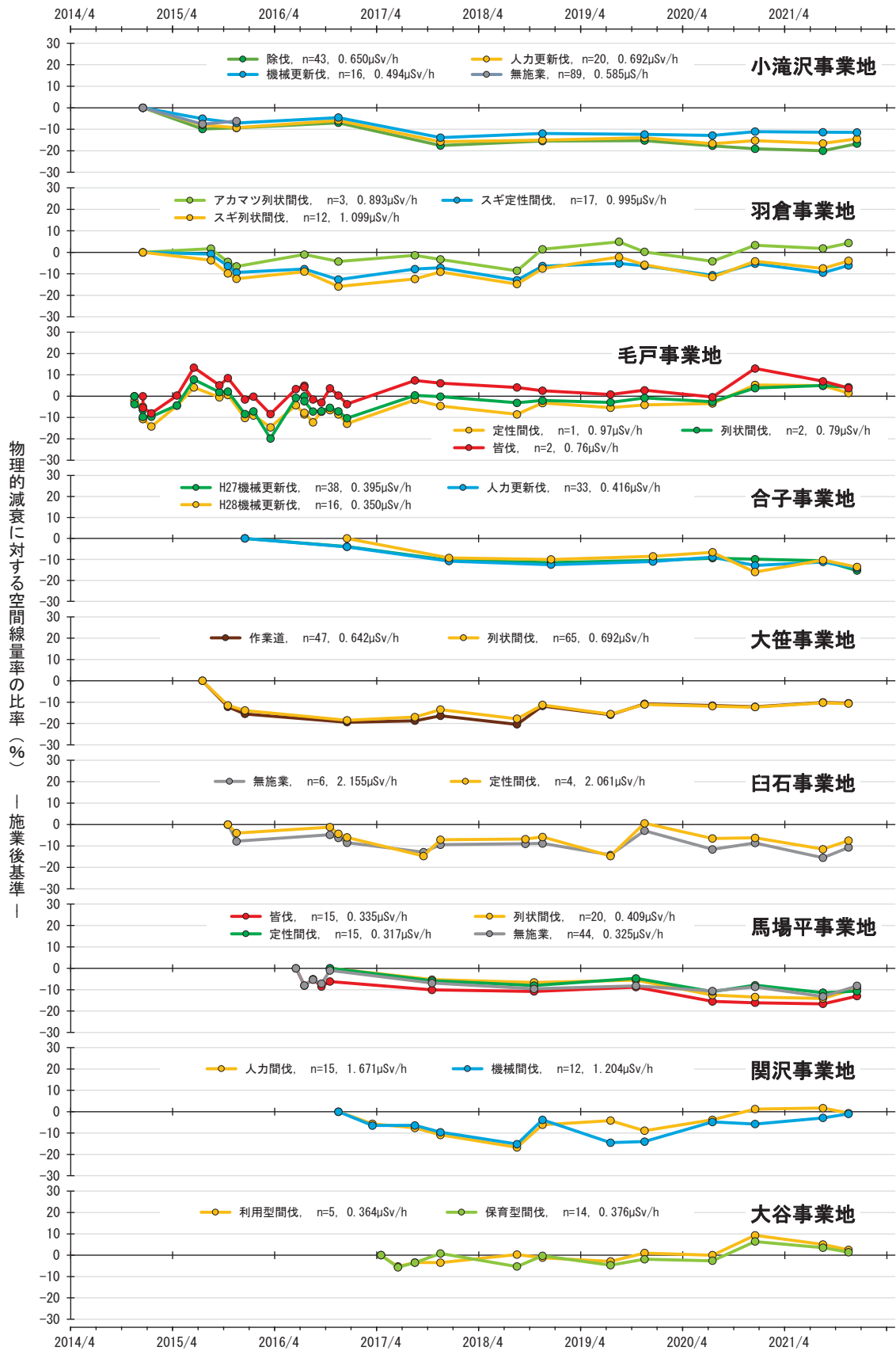


図 2-39 各事業地における施業後の物理的減衰に対する空間線量率の比率の推移

- ・プロットは施業後を起点としている。
- ・二枚橋事業地については、施業前後空間線量率に疑義があるため、作図対象から除外した。

3. 森林生態系内の放射性セシウム現存量分布の把握

3.1. 目的

森林生態系（スギ林及びコナラ林）内における放射性セシウムの現存量分布を把握するとともに、リターフォール中の放射性セシウム現存量を分析し、系内における放射性セシウム移動の実態を把握した。これにより、スギ林やコナラ林内の放射性セシウム動態を予測し、これらの林分の今後の活用を検討する際の基礎資料とすることを目的とした。調査対象は、立木（材・枝葉・樹皮）、堆積有機物・土壌、リターフォール中の放射性セシウム濃度等である。

葉、枝、樹皮、材については標準地調査で得られた毎木データを用い、図 3-1、表 3-1 に示す森林総合研究所報告書の方法に基づき、各部位別の放射性物質現存量を、樹種別に部位別バイオマス現存量 (kg/m²) に部位別放射性物質濃度 (Bq/kg) を乗じて推定した。なお、本調査では放射性セシウム 137 の値を用いて各種データを整理した。

最終的なアウトプットとしては、図 3-2 に示すような円グラフで単位面積当たりの放射性セシウム分布割合を提示するとともに、リターフォール中の放射性セシウム現存量を示し、系内における割合を明らかにすることとした。

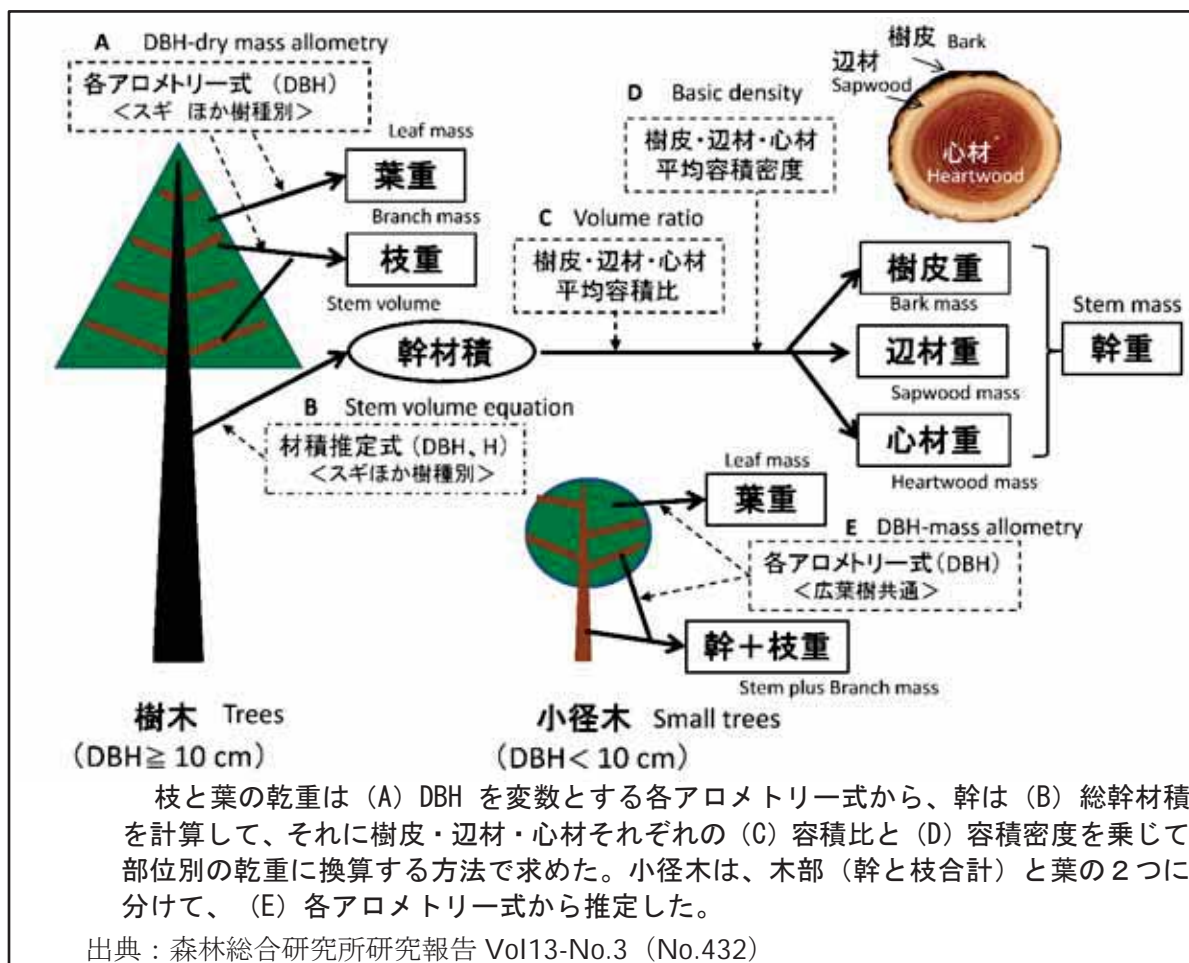


図 3-1 個体の部位別の現存量（バイオマス現存量）の推定手順

表 3-1 樹木のバイオマス現存量の推定方法

区分	変数	推定式	備考
樹木 DBH 4 cm以上	葉・枝	DBH	アロメトリー式
	樹皮・材	DBH、H	材積推定式⇒ 容積比×容積密度 地上高 1.2m で測定、 サンプル採取

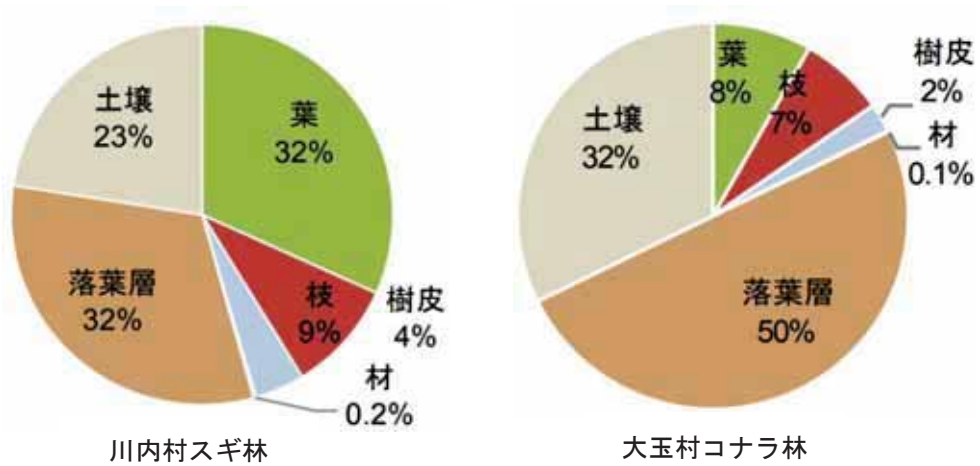


図 3-2 放射性セシウム現存量の分布図のイメージ

※「令和元年度森林内における放射性物質実態把握調査事業報告書」(林野庁)より抜粋

3. 2. 試験地と試験方法

(1) 試験地の概要

本調査は、国有林の南相馬市及び飯舘村のスギ林、田村市及び葛尾村のコナラ林で実施した（写真 3-1、写真 3-2、図 3-3）。なお、スギ林は令和 3 年度に新規試験箇所として設定した森林施業区の対照区に該当する箇所の林分である。

		
<南相馬市 2011 林班ち 3 小班> 林地面積：4.2ha 林齢：36 年生 空間線量率：0.96 μ Sv/h 初期沈着量：720kBq/m ²	<南相馬市 2031 林班い 1 小班> 林地面積：7.94ha 林齢：53 年生 空間線量率：0.9 μ Sv/h 初期沈着量：990kBq/m ²	<飯舘村 2336 林班ら 1 小班> 林地面積：10.04ha 林齢：63 年生 空間線量率：1 μ Sv/h 初期沈着量：900kBq/m ²

写真 3-1 試験地概要（スギ林）

※空間線量率は航空機モニタリング結果（令和 2 年 10 月 29 日）より抽出

		
<田村市 261 林班ろ 1 小班> 林地面積：2.53ha 林齢：65 年生 空間線量率：0.41 μ Sv/h 初期沈着量：400kBq/m ²	<葛尾村 1236 林班い 5 小班> 林地面積：3.26ha 林齢：36 年生 空間線量率：0.97 μ Sv/h 初期沈着量：1,020kBq/m ²	<葛尾村 1286 林班い 2 小班> 林地面積：13.55ha 林齢：36 年生 空間線量率：0.54 μ Sv/h 初期沈着量：400kBq/m ²

写真 3-2 試験地概要（コナラ林）

※空間線量率は航空機モニタリング結果（令和 2 年 10 月 29 日）より抽出

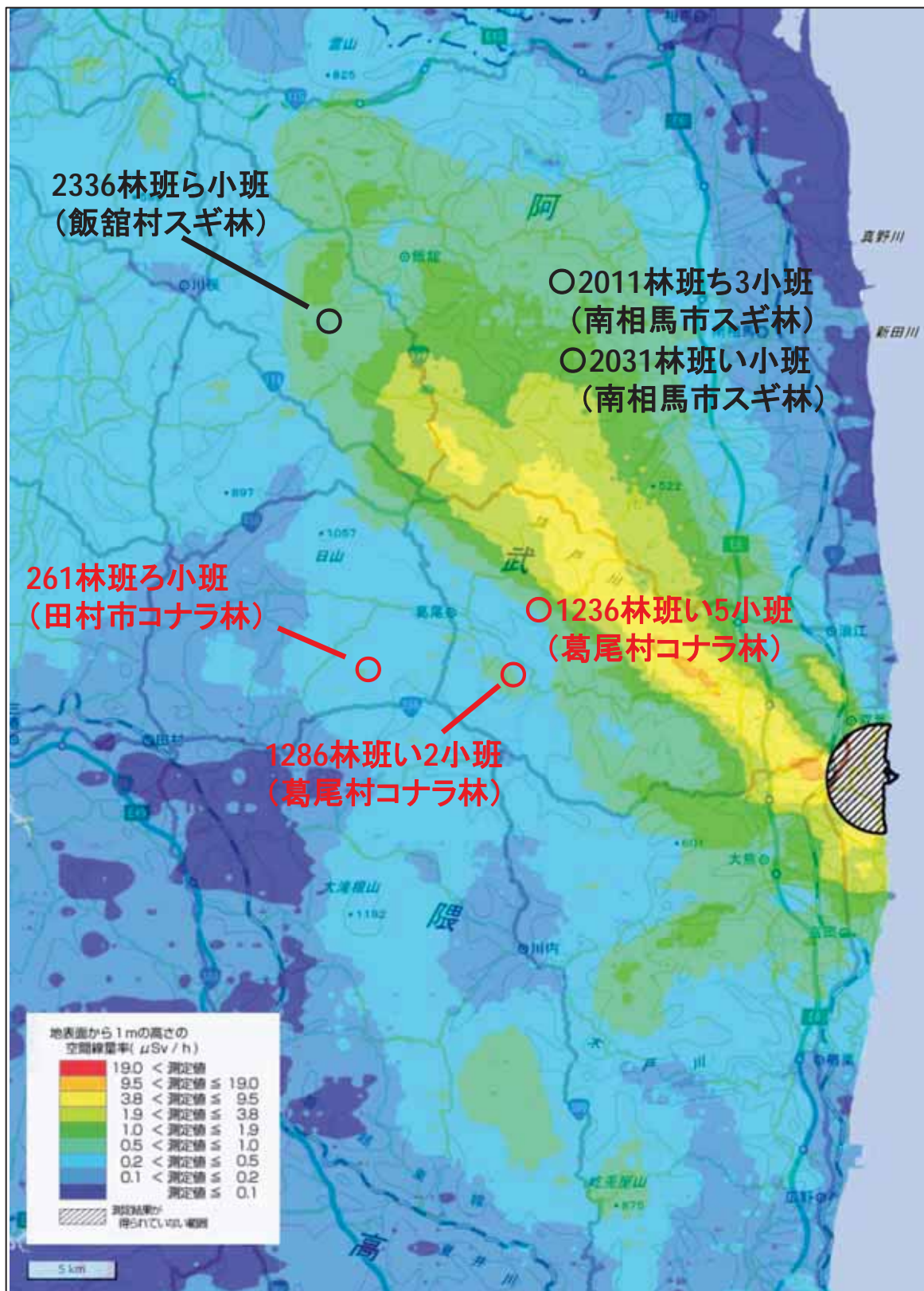


図 3-3 調査地位置

資料：原子力規制委員会 放射線量等分布マップ（令和2年10月29日時点）

(2) 調査方法

1) 毎木調査

調査林分内の標準的な林相の箇所において、20m 四方（ただし、平均樹高が 20m 以上の林分では一辺を平均樹高以上とする）の毎木調査プロットを設定（試験地の設定イメージは図 3-4 参照）し、胸高直径 5 cm 以上の立木の樹高、胸高直径（1.2m 高さ）を計測した。これらのデータを基に、林分の単位面積あたり材積推定量等を算出した。

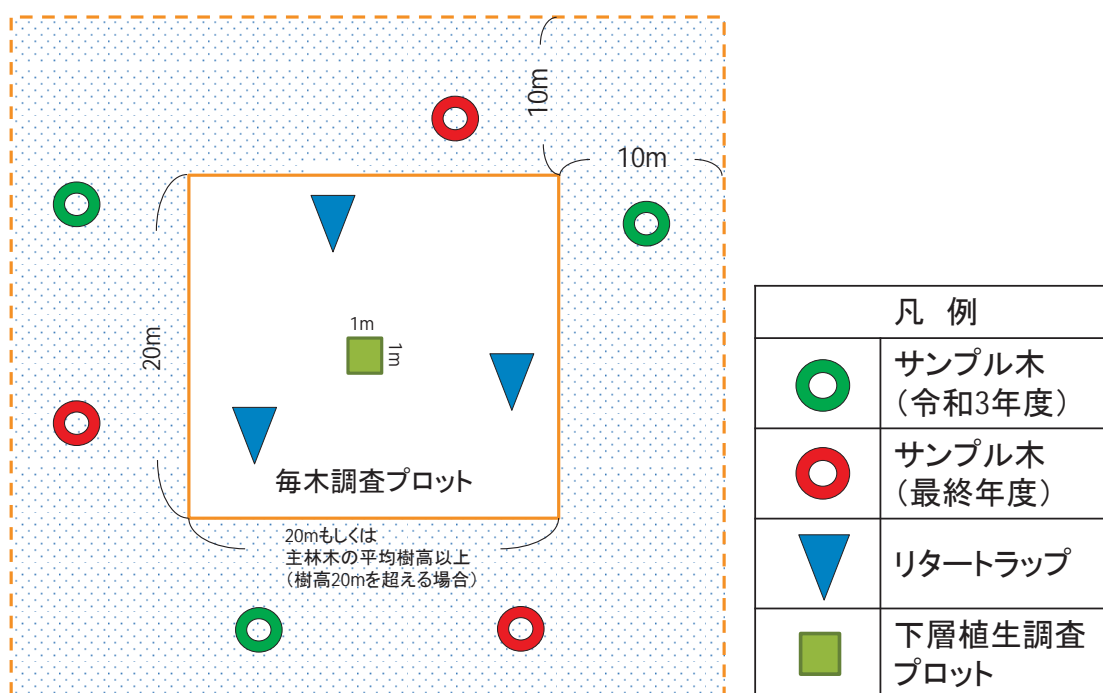


図 3-4 試験設定のイメージ

2) サンプル木の選定と試料採取

毎木調査プロット周辺においてサンプル木を選定し採取した。サンプル木の選定は以下のように実施した。

- ① 明らかな劣勢木を除いた主林木から胸高直径の大きさに偏りが生じないように 10 本程度選定。
- ② 胸高直径を計測した結果を基に、胸高直径について最大値・中央値・最小値付近の目安となる値をおおまかに決定。
- ③ ②で決定した値に近い値の立木を各 1 本、合計 3 本を試験地毎にプロット周辺 10m 程度以内の箇所から選定。

選定したサンプル木の胸高直径、樹高等のデータは表 3-2、表 3-3 に示すとおりである。

表 3-2 サンプル木の胸高直径、樹高等基礎データ（スギ林）

林小班名	採取日	サイズ	胸高直径	樹高	生枝下高	生枝下直径
			(cm)	(m)	(m)	(cm)
2011 林班 ち3小班 南相馬市	11月5日	大	29.7	22.0	10.1	20.0
	11月5日	中	24.2	19.7	8.4	17.9
	11月5日	小	18.6	17.8	5.1	14.5
2031 林班 い小班 南相馬市	10月25日	大	31.1	23.1	11.4	21.8
	10月28日	中	25.9	19.5	8.4	18.4
	10月28日	小	17.7	18.6	8.8	13.0
2336 林班 ら小班 飯館村	10月27日	大	40.5	27.7	7.7	33.4
	10月27日	中	31.5	20.0	7.1	24.7
	10月27日	小	26.1	17.0	7.3	20.0

※サイズの大中小は胸高直径（1.2m高さ）の大きさによる

※採取日の西暦年はいずれも2021年

表 3-3 サンプル木の胸高直径、樹高等基礎データ（コナラ林）

林小班名	採取日	サイズ	胸高直径	樹高	生枝下高	生枝下直径
			(cm)	(m)	(m)	(cm)
1236 林班 い5小班 葛尾村	10月21日	大	19.9	15.8	6.9	15.8
	10月18日	中	17.1	16.6	6.4	13.0
	10月21日	小	14.3	14.2	9.2	9.2
1286 林班 い2小班 葛尾村	10月19日	大	22.7	20.6	9.6	16.8
	10月19日	中	19.9	19.5	11.2	14.9
	10月19日	小	16.4	20.0	7.9	15.7
261 林班 ろ小班 田村市	10月20日	大	30.3	19.6	10.7	21.0
	10月20日	中	20.3	18.2	7.0	15.9
	10月20日	小	15.2	14.7	2.6	14.0

※サイズの大中小は胸高直径（1.2m高さ）の大きさによる

※採取日の西暦年はいずれも2021年

サンプルの採取は以下のように行った（写真 3-3）。

- ①樹皮が地面に接しないよう樹幹の地上高約 2.0m までブルーシートを巻き、サンプル木をチェーンソーで伐倒した。
- ②立木状態で地上高 1.3m の箇所を中心に全長 1.0m の丸太を採取し、樹皮、辺材、心材ごとにそれぞれ 1 kg 程度採取して容積密度 (kg/m³) を計算した。なお、樹皮は、地上高 1.3m 箇所を中心に、上下同程度の幅（直径 20 cm の場合、上下約 20 cm 幅）で樹幹を

一周するように 500g 程度採取し、放射性物質濃度 (Bq/kg-wet、Bq/kg-dry) を測定した。

③枝葉は、樹幹の上、中、下層から地面に接していないものを 500g 程度それぞれ採取・混合し、放射性物質濃度 (Bq/kg-wet、Bq/kg-dry) を測定した。



ブルーシートによる保護



枝葉採取



枝葉分別



円板採取



樹皮採取



採取した試料

写真 3-3 サンプル木の枝・葉・樹皮試料採取の様子

3) 部位別バイオマス量の算出方法

毎木調査プロット内の胸高直径 5 cm 以上の立木について、樹種・樹高・胸高直径を記録し、樹高と胸高直径を基に「立木幹材積表 東日本編」の前橋スギと前橋広葉樹(前橋広葉樹は「細田ほか、2010」により修正された値を使用)の幹材積式(以下の①式及び表 3-4)を使用し、材積を算出した(表 3-5、表 3-6)。

なお、プロット内の全ての調査対象木に、経年調査が可能となるようナンバーテープを打ち付けた。

$$\log V = a + b \times \log D + c \times \log H \dots\dots\dots \textcircled{1}$$

※V は材積、D は胸高直径、H は樹高、a 及び b 及び c は樹種別に定められた計数

表 3-4 樹種別の材積式計数

スギ DBH class (cm)	a	b	c	広葉樹 DBH class (cm)	a	b	c
<11	-4.1231	1.7454	1.014	<11	-4.20067295	1.94019664	0.84689666
<21	-4.26496	1.83346	1.06569	<41	-4.32216295	1.93813902	0.96697002
<31	-4.28486	1.74357	1.17719	>=41	-4.15096808	1.82464098	0.97625989
<41	-4.17044	1.76381	1.06412				
>=41	-4.11774	1.79204	0.99303				

※現行立木幹材積表と材積式による計算値との相違およびその修正方法
(森林計画誌 2010 細田ほか) より

表 3-5 毎木調査結果 (スギ林分)

林小班	本数 (本/ha)	本数割合	材積 (m ³ /ha)	材積割合
2011 林班ち 3 小班	1,938	97%	1,040	99%
2031 林班い 1 小班	2,543	99%	1,056	98%
2336 林班ろ 1 小班	852	73%	1,166	99%

表 3-6 毎木調査結果 (コナラ林分)

林小班	本数 (本/ha)	本数割合	材積 (m ³ /ha)	材積割合
1236 林班い 5 小班	775	31%	99	70%
1286 林班い 2 小班	700	34%	103	52%
261 林班ろ 1 小班	750	51%	227	73%

このうち、幹の部分にあたる樹皮・材のバイオマス現存量については、上記により得られた材積を基に、表 3-7、表 3-8 に示す容積比及び容積密度から推定した。

表 3-7 樹種別の容積比

Sp class	容積比			林小班名
	樹皮	辺材	心材	
コナラ1	0.182	0.422	0.396	田村261
コナラ2	0.186	0.618	0.196	葛尾1236
コナラ3	0.170	0.563	0.268	葛尾1286
スギ1	0.062	0.591	0.347	南相馬2011
スギ2	0.077	0.597	0.326	南相馬2031
スギ3	0.090	0.524	0.386	飯館2336

※採取試料データより算出

表 3-8 樹種別の容積密度

Sp class	容積密度 (kg/m ³)			林小班名
	樹皮	辺材	心材	
コナラ1	581	651	623	田村261
コナラ2	587	683	626	葛尾1236
コナラ3	564	687	617	葛尾1286
スギ1	400	341	384	南相馬2011
スギ2	388	384	430	南相馬2031
スギ3	273	317	427	飯館2336

※採取試料データより算出

葉・枝のバイオマス現存量については、樹種別の胸高直径データから、②のアロメトリー式を基に算出した。

$$Y=a \times D^b \dots \dots \dots \textcircled{2}$$

※Yは重量、Dは胸高直径、a及びbは樹種別に定められた係数

表 3-9 樹種別枝・葉アロメトリー式の計数

	葉		枝	
	a	b	a	b
スギ	0.004370	2.61	0.000436	3.17
落葉広葉樹	0.000590	3.04	0.001500	3.24

※森林総合研究所研究報告（2014）より

4) 堆積有機物及び土壌の採取

サンプル木から 1~2m 程度離れた地表面にスクレーパープレート枠 (15 cm×30 cm) を設置し、堆積有機物及び土壌を採取した。土壌は深度別に 0-2 cm、2-5 cm、5-10 cm、10-20 cm の 4 層採取した (写真 3-4)。

試料採取後は、今後モニタリング的に調査することに留意し、採取箇所が明らかになるよう目印となるポールを立てた。



サンプル木と土壌採取箇所



堆積有機物



サンプル採取後

写真 3-4 堆積有機物・土壌の採取

5) リタートラップの設置とリターフォール試料の採取

毎木調査プロット内において、リタートラップを 1 林分につき 3 基設置した。樹冠部をスギもしくはコナラの葉が多く占める箇所を選定するよう留意した。リタートラップの採取面積は 0.5 m²である (写真 3-5)。

リタートラップは 8 月上旬付近に現地に設定し、8 月下旬にトラップの中身を全て取り出しリセットしてから、試料採取を開始した。また、試料は毎月末頃に収集し、9~11 月の 3 か月間、12~2 月の 3 ヶ月間分をまとめて分析することとした。



リタートラップ



トラップ設置状況 (スギ林)



トラップ設置状況 (コナラ林)

写真 3-5 リタートラップの設置状況

6) 下層植生調査

毎木調査プロット内の中央付近において 1m×1m の方形プロットを設定し、下層植生の出現種毎の本数、平均高さ、平均根元直径を記録した (写真 3-6)。



下層植生調査プロット
(スギ林)



下層植生調査プロット
(コナラ林)

写真 3-6 下層植生プロットの設定状況

7) 試験地の設定状況

以上をまとめた試験地の設定イメージは図 3-4 に示すとおりである。また、各調査林分における試験地の設定状況を図 3-5～図 3-10 に示した。

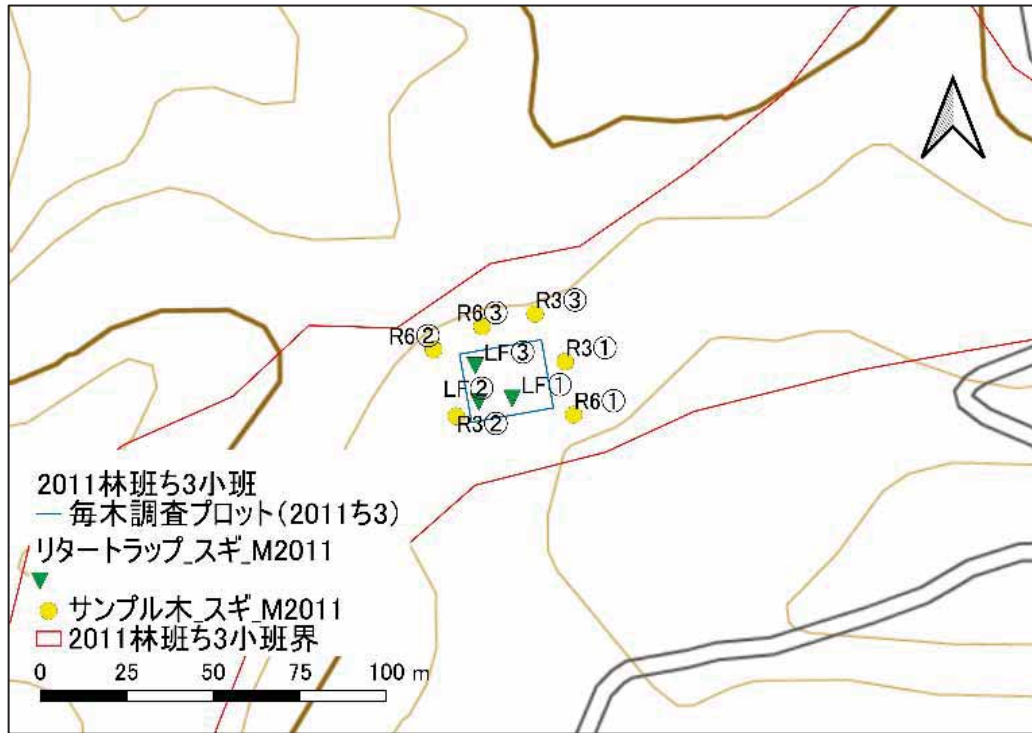


図 3-5 南相馬市スギ林_2011 林班ち3小班

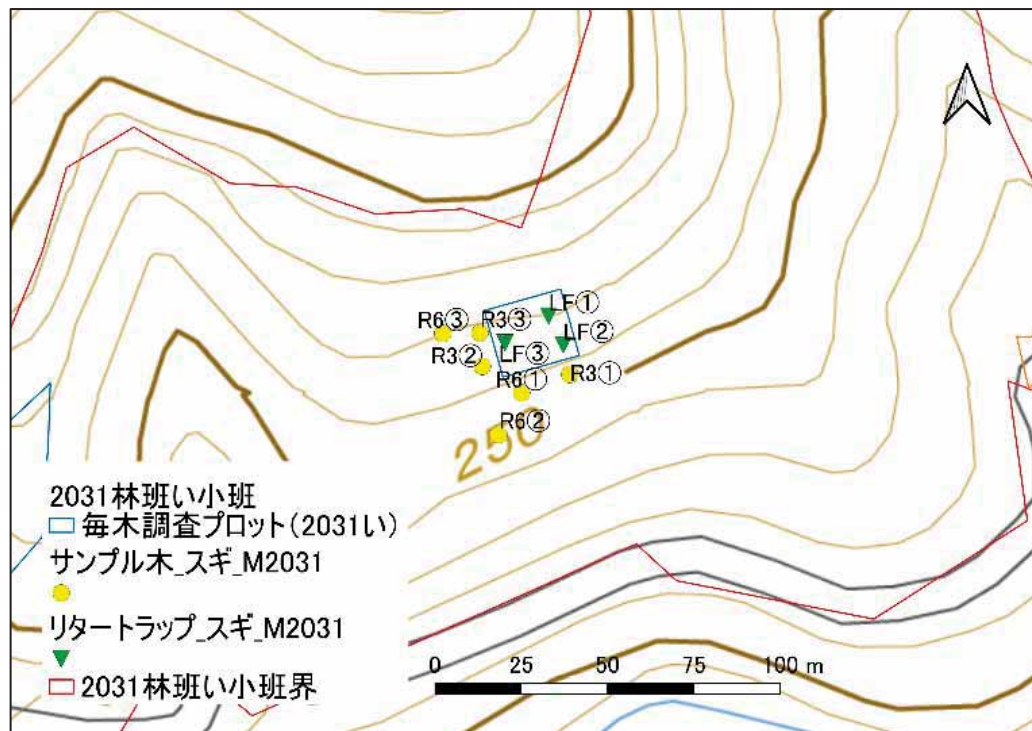


図 3-6 南相馬市スギ林_2031 林班い小班

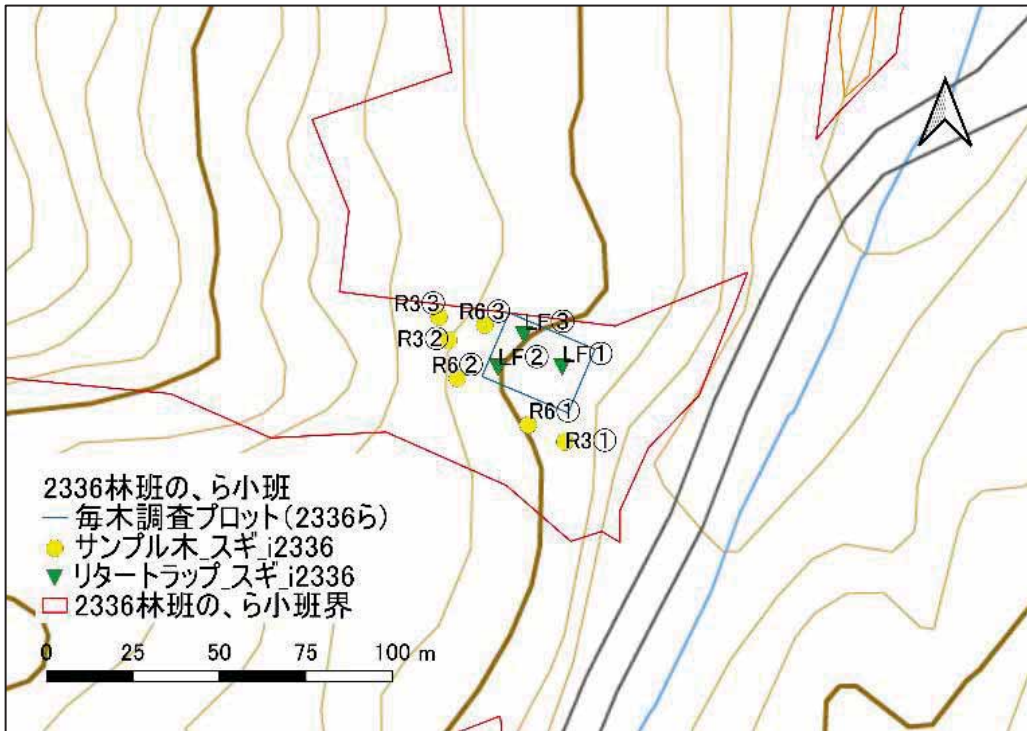


図 3-7 飯館村スギ林_2336 林班ら小班

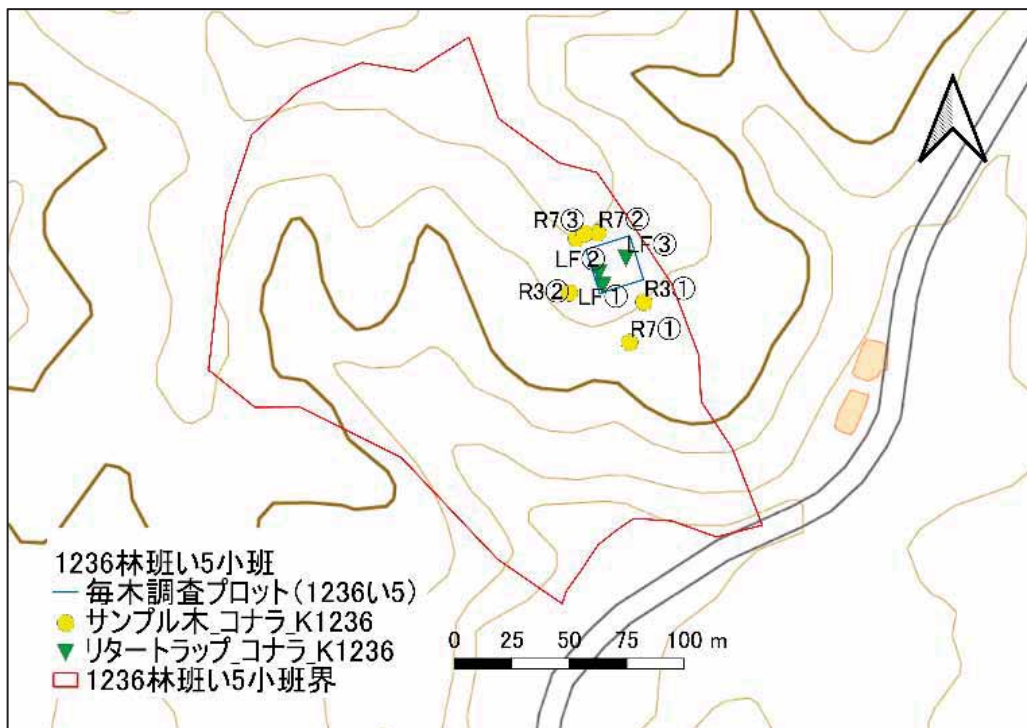


図 3-8 葛尾村コナラ林_1236 林班い5小班

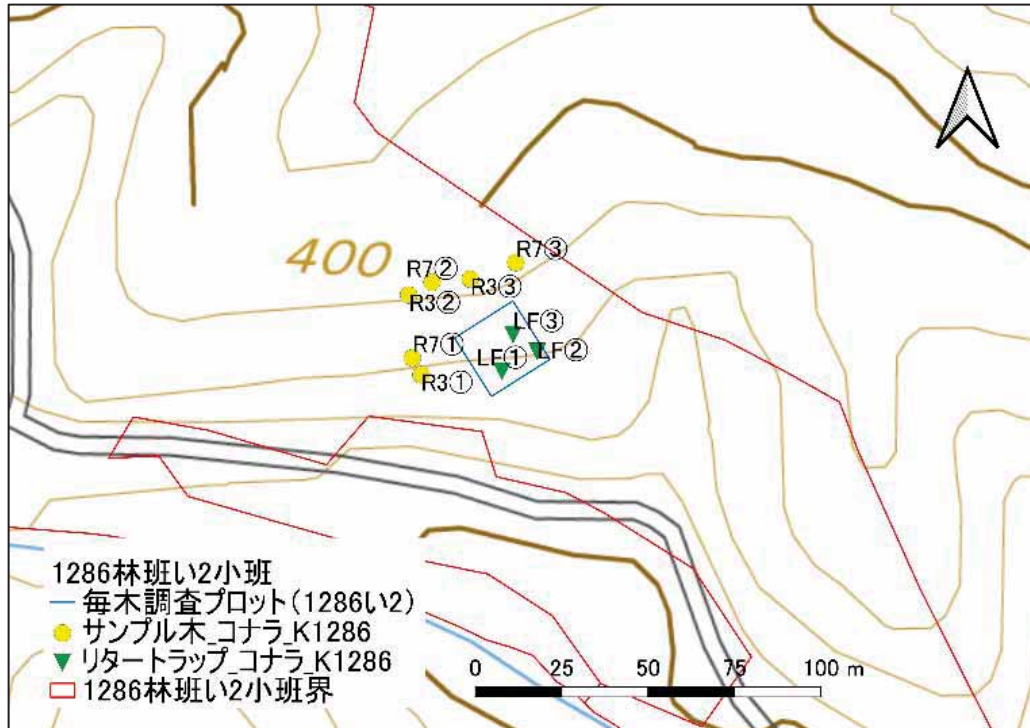


図 3-9 葛尾村コナラ林_1286 林班い2 小班

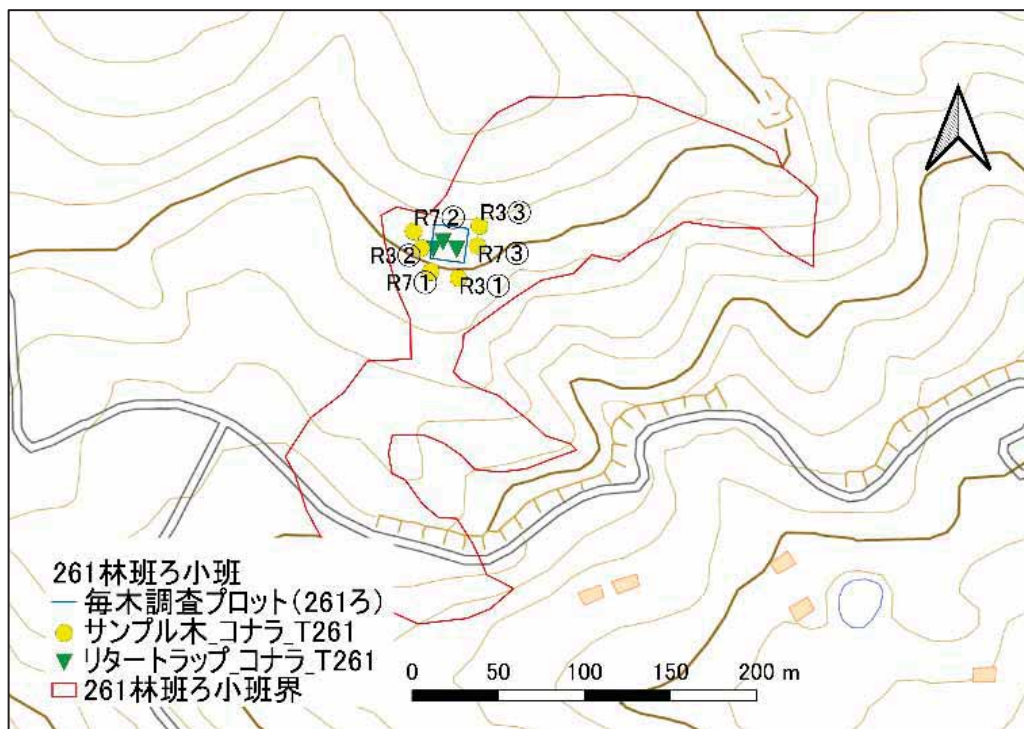


図 3-10 田村市コナラ林_261 林班ろ 小班

(3) 試験結果及び考察

1) 土壌中放射性セシウム濃度及び現存量

土壌中の放射性セシウム濃度及び現存量について、スギ林については図 3-11、コナラ林については図 3-12 に示す。濃度、現存量ともに、深度 0-2 cm における値が最も大きくなり、深度が深くなるにしたがって減少する傾向がみられる。緩衝深度（巻末 用語解説 (4) 参照）はスギ林で 3cm 台、コナラ林で 2cm 台を示しており、本調査地においては、コナラ林と比較して、スギ林でより下方まで放射性セシウムが分布する傾向がみられた。

2) リターフォール中のセシウム濃度及び現存量

リターフォール中の放射性セシウム 137 濃度及び現存量の分析結果を表 3-10 に示す。なお、12～2 月分のリターフォールについては試料採取のみ実施している。

表 3-10 リターフォール中の放射性 Cs137 濃度及び現存量

(Bq/m²)(n=3)

		スギ林			コナラ林		
		南相馬市 2011 林班 ち 3 小班	南相馬市 2031 林班 い 1 小班	飯館村 2336 林班 ら 1 小班	葛尾村 1236 林班 い 5 小班	葛尾村 1286 林班 い 2 小班	田村市 261 林班 ろ 1 小班
リターフォール総量		575	189	203	1,617	295	499
(内訳)	主林木の葉	146	17	68	1,140	64	283
	その他	429	172	135	477	231	216

※観測期間は 2021 年 9～11 月の 3 か月間

— 堆積有機物
— 土壌

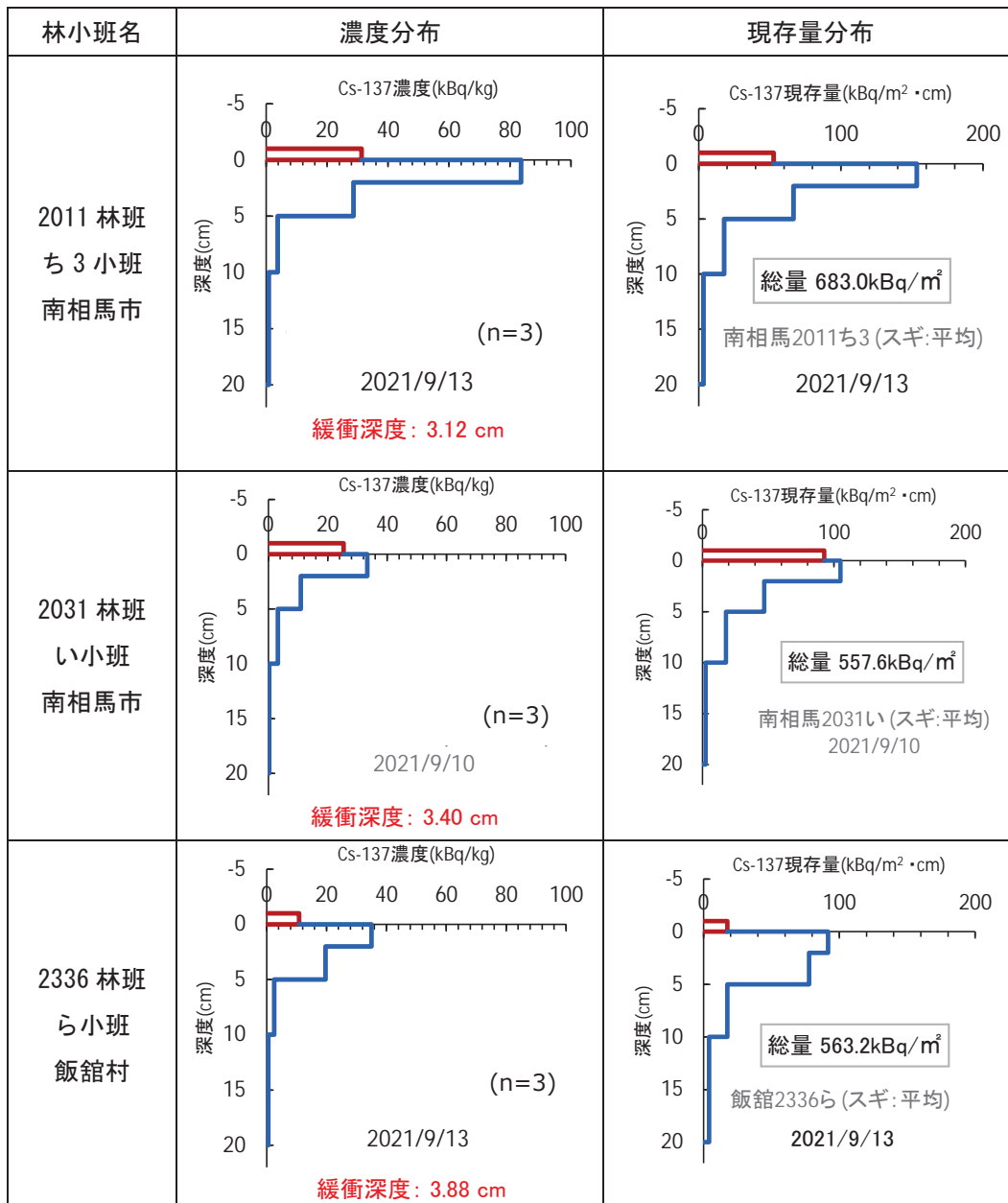


図 3-11 土壌中の放射性セシウム濃度及び現存量分布 (スギ林)

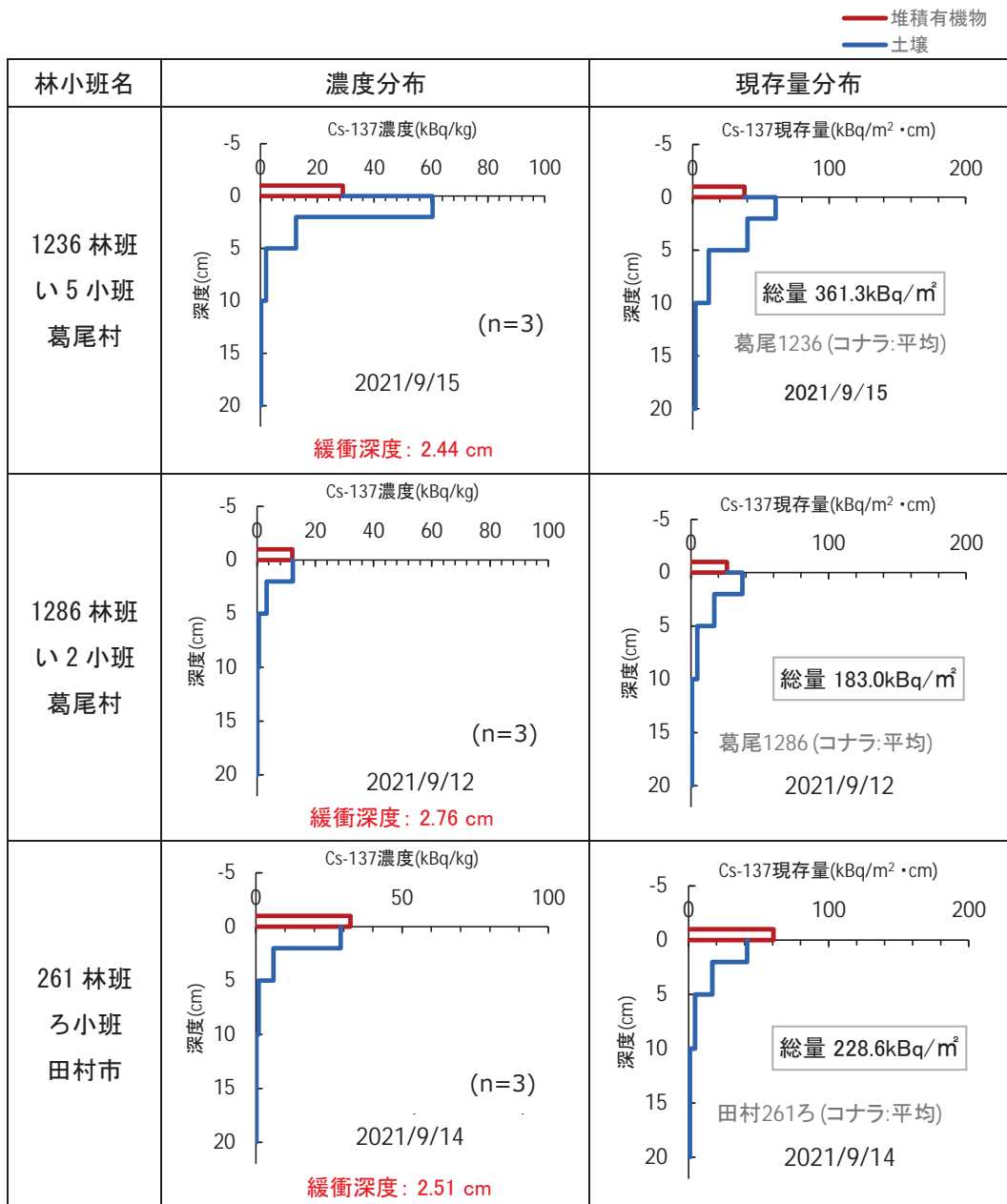


図 3-12 土壤中の放射性セシウム濃度及び現存量分布 (コナラ林)

3) 立木中及び系内全体における放射性 Cs137 濃度及び現存量分布割合とリターフール中の放射性 Cs137 現存量

調査を実施したスギ林 3 小班及びコナラ林 3 小班について、小班毎に立木中の部位別及びリターフール中の放射性 Cs137 現存量の結果とその分布、リターフール中の Cs137 現存量を示した（表 3-11～表 3-16、図 3-13～図 3-24）。ここで示した数値は毎木調査における主林木のみを用いて計算した値であり、試料数（n=3）の平均値である。

スギ、コナラに共通する傾向としては、樹皮や心材、辺材など幹に含まれる Cs137 現存量が多いことが挙げられる。スギはコナラと比較して葉に含まれる Cs137 現存量の割合が高い。これはスギの葉のバイオマス量が多いことと関係していると考えられる。コナラの特徴としては樹皮の Cs137 現存量が多く、スギの 10%～27%程度と比較して、24%～70%程度と多い。これは、葉の場合とは逆に、コナラの樹皮のバイオマス量がスギと比較して多いことと関係していると考えられる。

また、毎木調査プロット内の調査対象木を全て主林木（スギもしくはコナラ）であると仮定して、系内全体（立木中+土壤中）の放射性 Cs137 現存量の結果とその分布を示した（表 3-17～表 3-28、図 3-25～図 3-30）。

場所による差異はあるものの、立木中+土壤中の放射性 Cs137 総量に対して立木中の放射性 Cs137 量が占める割合は、スギ林で 2.6～4.7%であった。一方、コナラ林ではスギ林と比較すると割合は多少高くなり、立木中の放射性 Cs137 が 3.3～8.7%を占めた。いずれも森林の地上部バイオマス中の放射性 Cs137 量に対して土壤中の放射性 Cs137 量が大きい結果となった。

土壤中のみでみると、スギ林・コナラ林ともに堆積有機物及び 0～5 cmの土壤層に大半の放射性 Cs137 が分布する傾向にあるが、5～20 cmの層にも 20%前後の放射性 Cs137 が存在する結果となった。

また、立木中の放射性 Cs137 量に対するリターフール中の放射性 Cs137 量の割合は、スギ林で 0.72～1.43%、コナラ林で 2.39～4.76%であった。なお、スギ林と比較するとコナラ林のリターフール中放射性 Cs137 の割合が多い傾向にあった。

なお、今回の調査のリターフール中の放射性 Cs137 の値は、2021 年 9～11 月の 3 か月分のみの値を基に結果を示している。年間を通しての値ではないうえ、あくまでも予備的なデータであり不確かさを大きく含むものであるため、今後の調査結果の蓄積が重要であることに留意する必要がある。

表 3-11 立木（スギのみ）中部位別及びリターフォール中の放射性 Cs 現存量
（南相馬市 2011 林班ち 3 小班）

部位	バイオマス現存量 (kg)	平均濃度 (Bq/kg)	調査面積 (m ²)	放射性物質現存量 (Bq/m ²)	放射性物質現存率 (%)	立木の放射性物質現存量 に対するLFの割合(%)
樹皮	1,235	2,433	480	6,260	18.90	-
辺材	10,054	393	480	8,238	24.87	-
心材	6,668	943	480	13,104	39.56	-
枝	1,260	480	480	1,260	3.80	-
葉	1,925	1,063	480	4,264	12.87	-
立木合計	21,140	-	-	33,126	-	-
LF(主)	84	700	480	122	25.54	0.37
LF(他)	28	6,100	480	357	74.46	1.08
LF合計	112	-	-	480	-	1.45

※放射性 Cs 濃度・現存量ともにセシウム 137 の値から算出

※毎木調査結果からスギのみ抽出し算出した値

※LF=リターフォール、2021 年 9~11 月のデータのみであることに注意

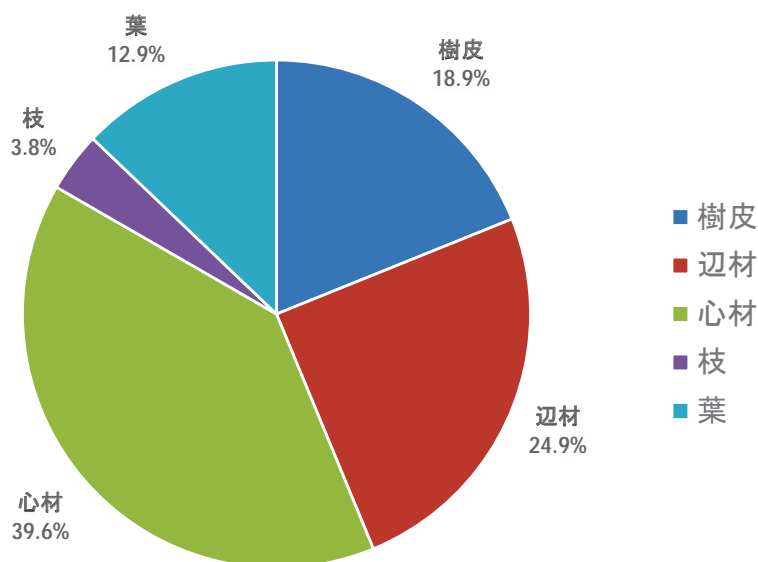


図 3-13 立木（スギのみ）中部位別放射性 Cs 現存量分布割合（南相馬市 2011 林班ち 3 小班）

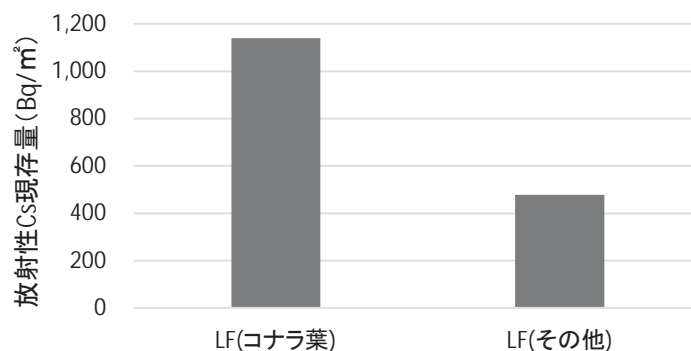


図 3-14 リターフォール中の放射性 Cs 現存量（南相馬市 2011 林班ち 3 小班）

表 3-12 立木（スギのみ）中部位別及びリターフォール中の放射性 Cs 現存量
（南相馬市 2031 林班い小班）

部位	バイオマス現存量 (kg)	平均濃度 (Bq/kg)	調査面積 (m ²)	放射性物質現存量 (Bq/m ²)	放射性物質現存率 (%)	立木の放射性物質現存量 に対するLFの割合(%)
樹皮	1,455	1,220	460	3,858	27.15	-
辺材	11,134	138	460	3,348	23.57	-
心材	6,809	318	460	4,712	33.17	-
枝	1,319	340	460	975	6.86	-
葉	2,014	300	460	1,314	9.25	-
立木合計	22,731	-	-	14,207	-	-
LF(主)	37	180	460	15	8.92	0.10
LF(他)	38	1,800	460	149	91.08	1.05
LF合計	76	-	-	164	-	1.15

※放射性 Cs 濃度・現存量ともにセシウム 137 の値から算出

※毎木調査結果からスギのみ抽出し算出した値

※LF＝リターフォール、2021 年 9～11 月のデータのみであることに注意

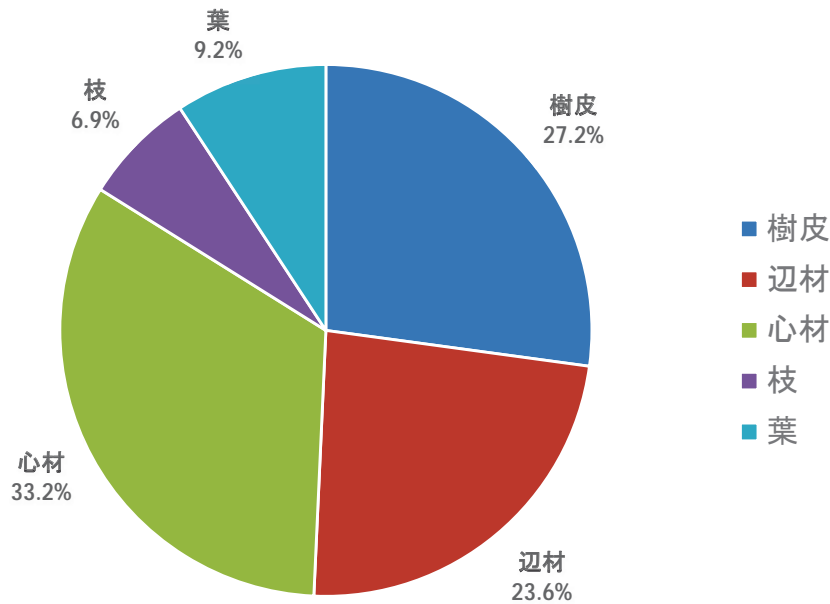


図 3-15 立木（スギのみ）中部位別放射性 Cs 現存量分布割合（南相馬市 2031 林班い小班）

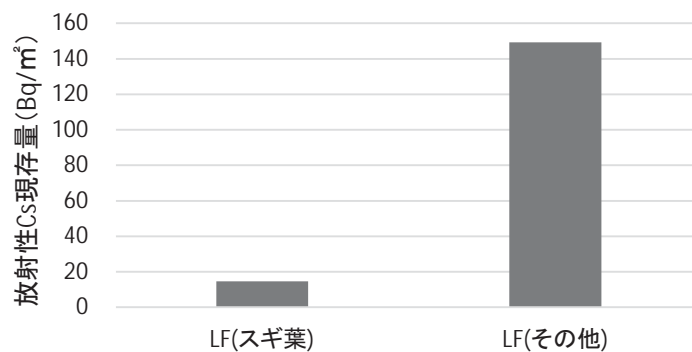


図 3-16 リターフォール中の放射性 Cs 現存量（南相馬市 2031 林班い小班）

表 3-13 立木（スギのみ）中部位別及びリターフォール中の放射性 Cs 現存量
（飯館村 2336 林班ら小班）

部位	バイオマス現存量 (kg)	平均濃度 (Bq/kg)	調査面積 (m ²)	放射性物質現存量 (Bq/m ²)	放射性物質現存率 (%)	立木の放射性物質現存量に対するLFの割合(%)
樹皮	1,550	737	540	2,115	10.45	-
辺材	10,466	172	540	3,334	16.47	-
心材	10,362	360	540	6,908	34.12	-
枝	2,130	453	540	1,788	8.83	-
葉	2,642	1,247	540	6,100	30.13	-
立木合計	27,152	-	-	20,246	-	-
LF(主)	70	390	540	51	33.59	0.25
LF(他)	27	2,000	540	100	66.41	0.49
LF合計	97	-	-	151	-	0.74

※放射性 Cs 濃度・現存量ともにセシウム 137 の値から算出

※毎木調査結果からスギのみ抽出し算出した値

※LF=リターフォール、2021年9～11月のデータのみであることに注意

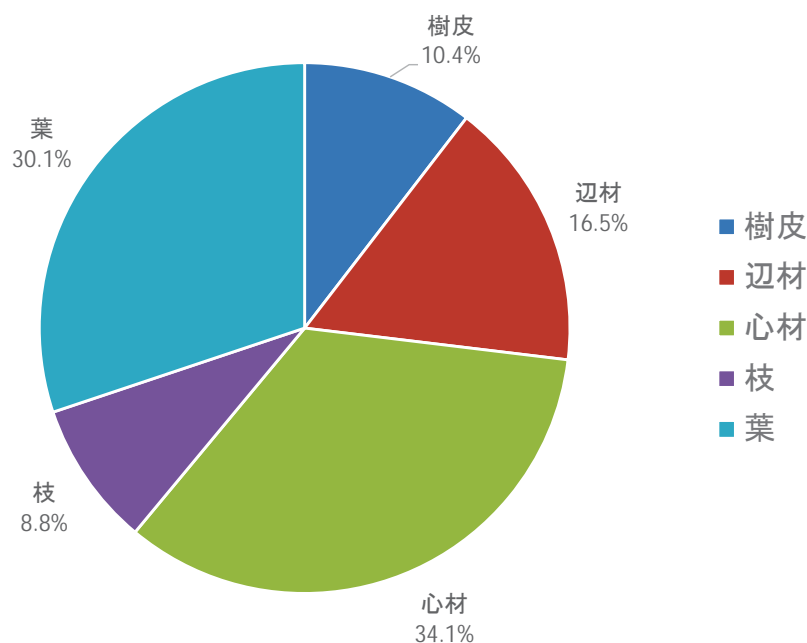


図 3-17 立木（スギのみ）中部位別放射性 Cs 現存量分布割合（飯館村 2336 林班ら小班）

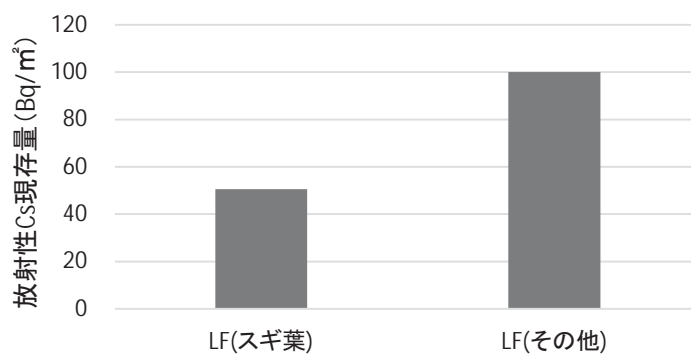


図 3-18 リターフォール中の放射性 Cs 現存量（飯館村 2336 林班ら小班）

表 3-14 立木（コナラのみ）中部位別及びリターフォール中の放射性 Cs 現存量
（葛尾村 1236 林班い 5 小班）

部位	バイオマス現存量 (kg)	平均濃度 (Bq/kg)	調査面積 (m ²)	放射性物質現存量 (Bq/m ²)	放射性物質現存率 (%)	立木の放射性物質現存量に対するLFの割合(%)
樹皮	434	5,633	400	6,118	24.67	-
辺材	1,679	2,367	400	9,931	40.05	-
心材	489	970	400	1,187	4.79	-
枝	387	5,300	400	5,127	20.67	-
葉	86	11,367	400	2,435	9.82	-
立木合計	3,075	-	-	24,798	-	-
LF(主)	91	5,000	400	1,140	70.48	4.60
LF(他)	39	4,900	400	477	29.52	1.93
LF合計	130	-	-	1,617	-	6.52

※放射性 Cs 濃度・現存量ともにセシウム 137 の値から算出

※毎木調査結果からコナラのみ抽出し算出した値

※LF=リターフォール、2021 年 9~11 月のデータのみであることに注意

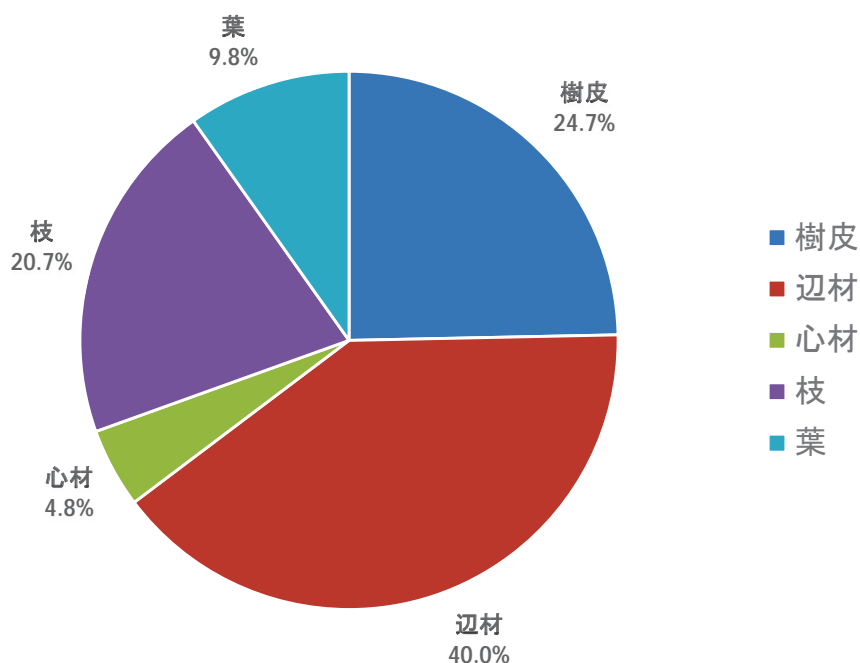


図 3-19 立木（コナラのみ）中部位別放射性 Cs 現存量分布割合（葛尾村 1236 林班い 5 小班）

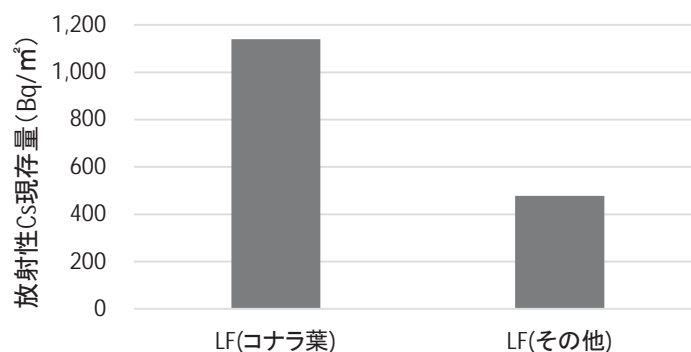


図 3-20 リターフォール中の放射性 Cs 現存量（葛尾村 1236 林班い 5 小班）

表 3-15 立木（コナラのみ）中部位別及びリターフォール中の放射性 Cs 現存量
（葛尾村 1286 林班い 2 小班）

部位	バイオマス現存量 (kg)	平均濃度 (Bq/kg)	調査面積 (m ²)	放射性物質現存量 (Bq/m ²)	放射性物質現存率 (%)	立木の放射性物質現存量に対するLFの割合(%)
樹皮	393	1,567	400	1,541	47.74	-
辺材	1,592	203	400	809	25.08	-
心材	679	99	400	168	5.21	-
枝	403	487	400	490	15.18	-
葉	88	1,000	400	219	6.79	-
立木合計	3,156	-	-	3,228	-	-
LF(主)	115	800	400	231	78.29	7.15
LF(他)	28	910	400	64	21.71	1.98
LF合計	144	-	-	295	-	9.13

※放射性 Cs 濃度・現存量ともにセシウム 137 の値から算出

※毎木調査結果からコナラのみ抽出し算出した値

※LF=リターフォール、2021 年 9~11 月のデータのみであることに注意

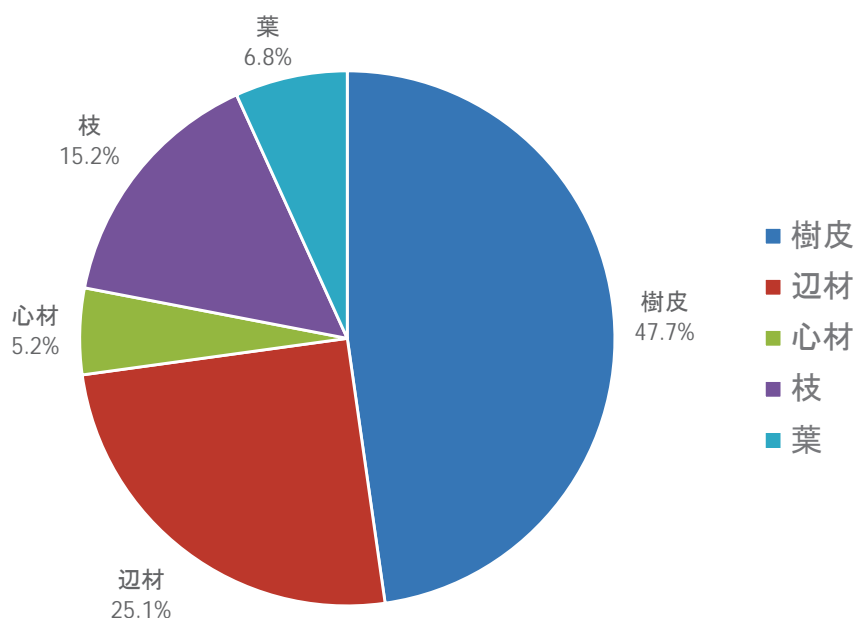


図 3-21 立木（コナラのみ）中部位別放射性 Cs 現存量分布割合（葛尾村 1286 林班い 2 小班）

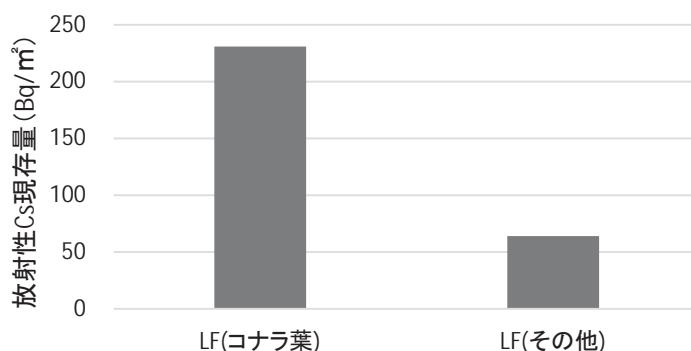


図 3-22 リターフォール中の放射性 Cs 現存量（葛尾村 1286 林班い 2 小班）

表 3-16 立木（コナラのみ）中部位別及びリターフォール中の放射性 Cs 現存量
（田村市 261 林班ろ小班）

部位	バイオマス現存量 (kg)	平均濃度 (Bq/kg)	調査面積 (m ²)	放射性物質現存量 (Bq/m ²)	放射性物質現存率 (%)	立木の放射性物質現存量に対するLFの割合(%)
樹皮	962	4,467	400	10,744	70.85	-
辺材	2,495	229	400	1,428	9.42	-
心材	2,244	84	400	473	3.12	-
枝	1,251	557	400	1,741	11.48	-
葉	257	1,210	400	779	5.13	-
立木合計	7,209	-	-	15,165	-	-
LF(主)	119	950	400	283	56.77	1.87
LF(他)	62	1,400	400	216	43.23	1.42
LF合計	181	-	-	499	-	3.29

※放射性 Cs 濃度・現存量ともにセシウム 137 の値から算出

※毎木調査結果からコナラのみ抽出し算出した値

※LF=リターフォール、2021 年 9～11 月のデータのみであることに注意

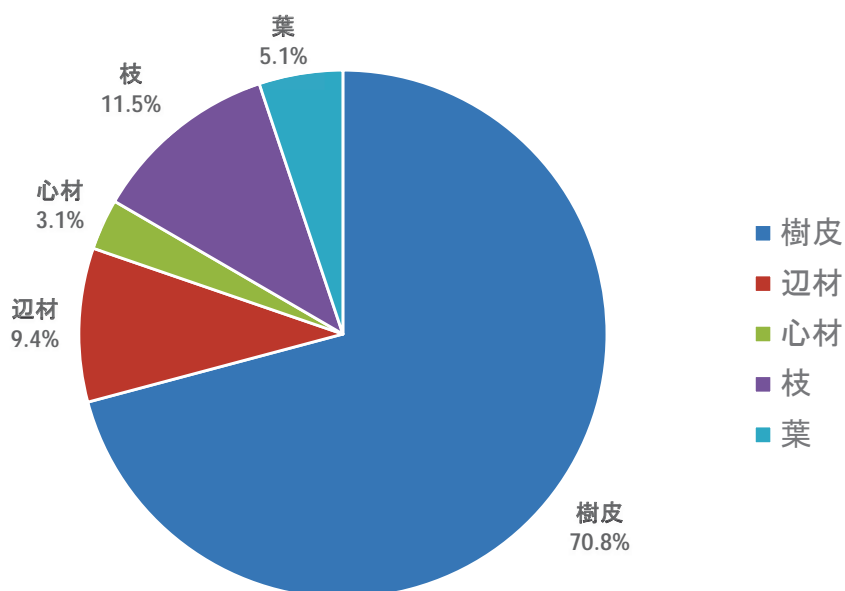


図 3-23 立木（コナラのみ）中部位別放射性 Cs 現存量分布割合（田村市 261 林班ろ小班）

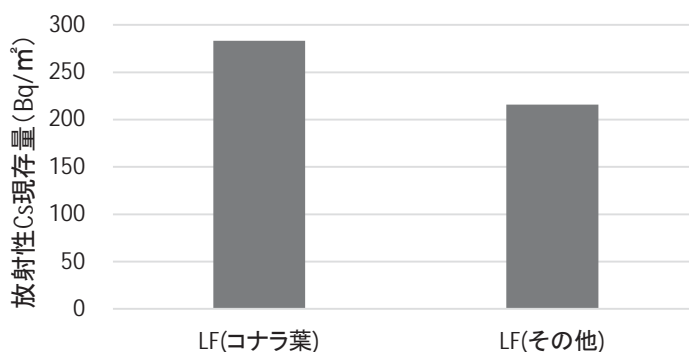


図 3-24 リターフォール中の放射性 Cs 現存量（田村市 261 林班ろ小班）

表 3-17 立木（全樹種）中部位別及びリターフォール中の放射性 Cs 現存量
（南相馬市 2011 林班ち 3 小班）

部位	バイオマス現存量 (kg)	平均濃度 (Bq/kg)	調査面積 (m ²)	放射性物質現存量 (Bq/m ²)	放射性物質現存率 (%)	立木の放射性物質現存量 に対するLFの割合(%)
樹皮	1,275	2,433	480	6,461	19.22	-
辺材	10,191	393	480	8,351	24.85	-
心材	6,736	943	480	13,238	39.39	-
枝	1,283	480	480	1,283	3.82	-
葉	1,930	1,063	480	4,275	12.72	-
立木合計	21,414	-	-	33,608	-	-
LF(主)	84	700	480	122	25.54	0.36
LF(他)	28	6,100	480	357	74.46	1.06
LF合計	112	-	-	480	-	1.43

※放射性 Cs 濃度・現存量ともにセシウム 137 の値から算出

※毎木調査の全木をスギと仮定して算出した値

※LF=リターフォール、2021 年 9~11 月のデータのみであることに注意

表 3-18 系内全体の放射性 Cs 現存量（南相馬市 2011 林班ち 3 小班）

部位	絶乾重量 (g)	平均濃度 (Bq/kg)	放射性物質現存量 (Bq/m ²)	放射性物質現存率 (%)
地上部	-	-	33,608	4.69
堆積有機物	76	31,333	52,688	7.35
土壌層0-2cm	165	83,667	306,667	42.79
土壌層2-5cm	314	28,667	200,000	27.91
土壌層5-10cm	1,071	3,767	89,667	12.51
土壌層10-20cm	1,651	927	34,000	4.74
合計	3,277	-	716,630	-

※放射性 Cs 濃度・現存量ともにセシウム 137 の値から算出

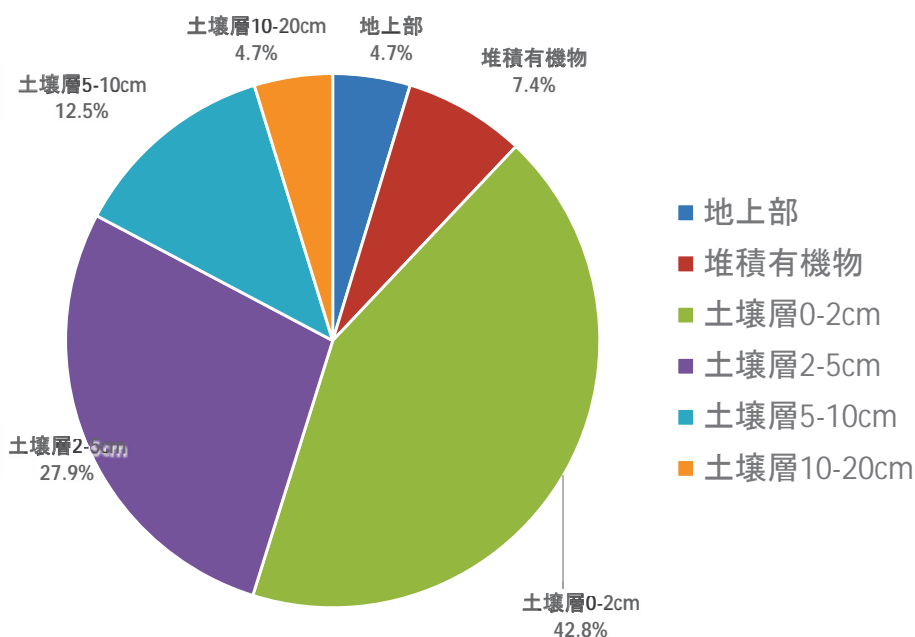


図 3-25 系内全体の放射性 Cs 現存量分布割合（南相馬市 2011 林班ち 3 小班）

表 3-19 立木（全樹種）中部位別及びリターフォール中の放射性 Cs 現存量
（南相馬市 2031 林班い小班）

部位	バイオマス現存量 (kg)	平均濃度 (Bq/kg)	調査面積 (m ²)	放射性物質現存量 (Bq/m ²)	放射性物質現存率 (%)	立木の放射性物質現存量 に対するLFの割合(%)
樹皮	1,549	1,220	460	4,108	27.69	-
辺材	11,463	138	460	3,447	23.23	-
心材	6,972	318	460	4,825	32.52	-
枝	1,513	340	460	1,118	7.54	-
葉	2,051	300	460	1,338	9.02	-
立木合計	23,548	-	-	14,836	-	-
LF(主)	37	180	460	15	8.92	0.10
LF(他)	38	1,800	460	149	91.08	1.01
LF合計	76	-	-	164	-	1.10

※放射性 Cs 濃度・現存量ともにセシウム 137 の値から算出

※毎木調査の全木をスギと仮定して算出した値

※LF＝リターフォール、2021 年 9～11 月のデータのみであることに注意

表 3-20 系内全体の放射性 Cs 現存量（南相馬市 2031 林班い小班）

部位	絶乾重量 (g)	平均濃度 (Bq/kg)	放射性物質現存量 (Bq/m ²)	放射性物質現存率 (%)
地上部	-	-	14,836	2.59
堆積有機物	165	25,333	92,620	16.18
土壌層0-2cm	284	33,333	210,000	36.68
土壌層2-5cm	580	10,933	141,000	24.63
土壌層5-10cm	1,243	3,233	89,333	15.61
土壌層10-20cm	3,330	333	24,667	4.31
合計	5,602	-	572,456	-

※放射性 Cs 濃度・現存量ともにセシウム 137 の値から算出

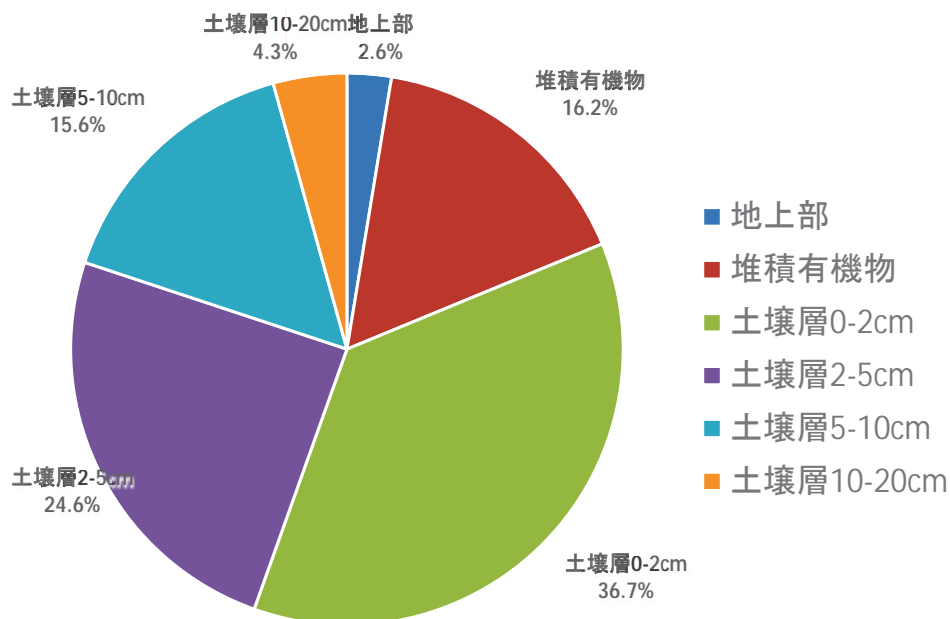


図 3-26 系内全体の放射性 Cs 現存量分布割合（南相馬市 2031 林班い小班）

表 3-21 立木（全樹種）中部位別及びリターフォール中の放射性 Cs 現存量
（飯館村 2336 林班ら小班）

部位	バイオマス現存量 (kg)	平均濃度 (Bq/kg)	調査面積 (m ²)	放射性物質現存量 (Bq/m ²)	放射性物質現存率 (%)	立木の放射性物質現存量 に対するLFの割合(%)
樹皮	1,597	737	540	2,178	10.64	-
辺材	10,628	172	540	3,385	16.54	-
心材	10,442	360	540	6,961	34.01	-
枝	2,169	453	540	1,821	8.90	-
葉	2,652	1,247	540	6,122	29.91	-
立木合計	27,488	-	-	20,468	-	-
LF(主)	70	390	540	51	33.59	0.25
LF(他)	27	2,000	540	100	66.41	0.48
LF合計	97	-	-	151	-	0.72

※放射性 Cs 濃度・現存量ともにセシウム 137 の値から算出

※毎木調査の全木をスギと仮定して算出した値

※LF=リターフォール、2021 年 9~11 月のデータのみであることに注意

表 3-22 系内全体の Cs 現存量（飯館村 2336 林班ら小班）

部位	絶乾重量 (g)	平均濃度 (Bq/kg)	放射性物質現存量 (Bq/m ²)	放射性物質現存率 (%)
地上部	-	-	20,468	3.51
堆積有機物	73	10,867	17,568	3.01
土壌層0-2cm	236	35,000	183,333	31.41
土壌層2-5cm	534	19,667	233,333	39.97
土壌層5-10cm	1,578	2,500	87,667	15.02
土壌層10-20cm	3,554	523	41,333	7.08
合計	5,975	-	583,703	-

※放射性 Cs 濃度・現存量ともにセシウム 137 の値から算出

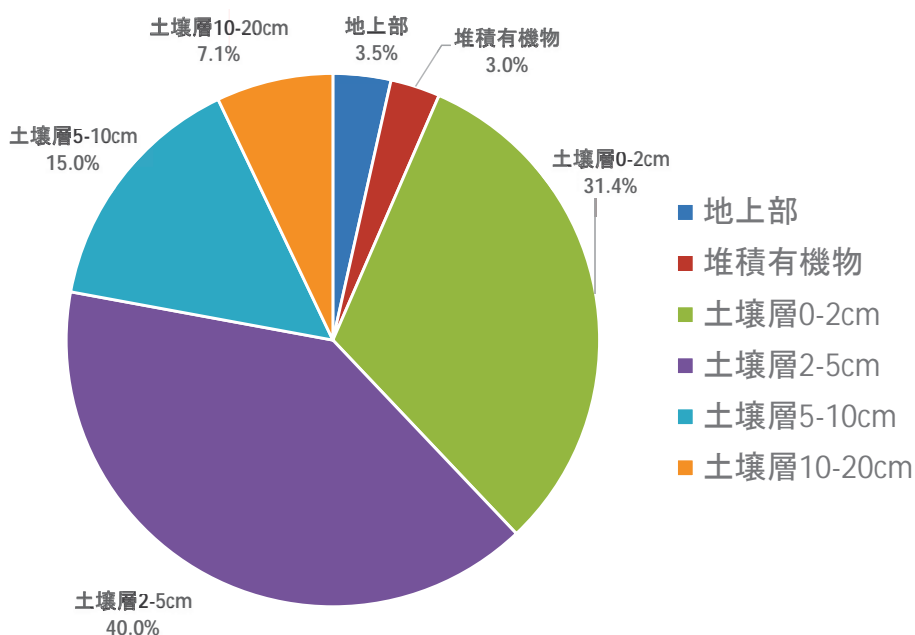


図 3-27 系内全体の放射性 Cs 現存量分布割合（飯館村 2336 林班ら小班）

表 3-23 立木（全樹種）中部位別及びリターフォール中の放射性 Cs 現存量
（葛尾村 1236 林班い 5 小班）

部位	バイオマス現存量 (kg)	平均濃度 (Bq/kg)	調査面積 (m ²)	放射性物質現存量 (Bq/m ²)	放射性物質現存率 (%)	立木の放射性物質現存量 に対するLFの割合(%)
樹皮	613	5,633	400	8,631	25.18	-
辺材	2,299	2,367	400	13,602	39.69	-
心材	797	970	400	1,933	5.64	-
枝	514	5,300	400	6,810	19.87	-
葉	116	11,367	400	3,298	9.62	-
立木合計	4,339	-	-	34,274	-	-
LF(主)	91	5,000	400	1,140	70.48	3.33
LF(他)	39	4,900	400	477	29.52	1.39
LF合計	130	-	-	1,617	-	4.72

※放射性 Cs 濃度・現存量ともにセシウム 137 の値から算出

※毎木調査の全木をコナラと仮定して算出した値

※LF=リターフォール、2021年9~11月のデータのみであることに注意

表 3-24 系内全体の放射性 Cs 現存量（葛尾村 1236 林班い 5 小班）

部位	絶乾重量 (g)	平均濃度 (Bq/kg)	放射性物質現存量 (Bq/m ²)	放射性物質現存率 (%)
地上部	-	-	34,274	8.66
堆積有機物	59	29,000	38,009	9.61
土壌層0-2cm	90	60,533	121,667	30.75
土壌層2-5cm	432	12,533	120,333	30.42
土壌層5-10cm	1,325	2,027	59,667	15.08
土壌層10-20cm	3,145	310	21,667	5.48
合計	5,051	-	395,616	-

※放射性 Cs 濃度・現存量ともにセシウム 137 の値から算出

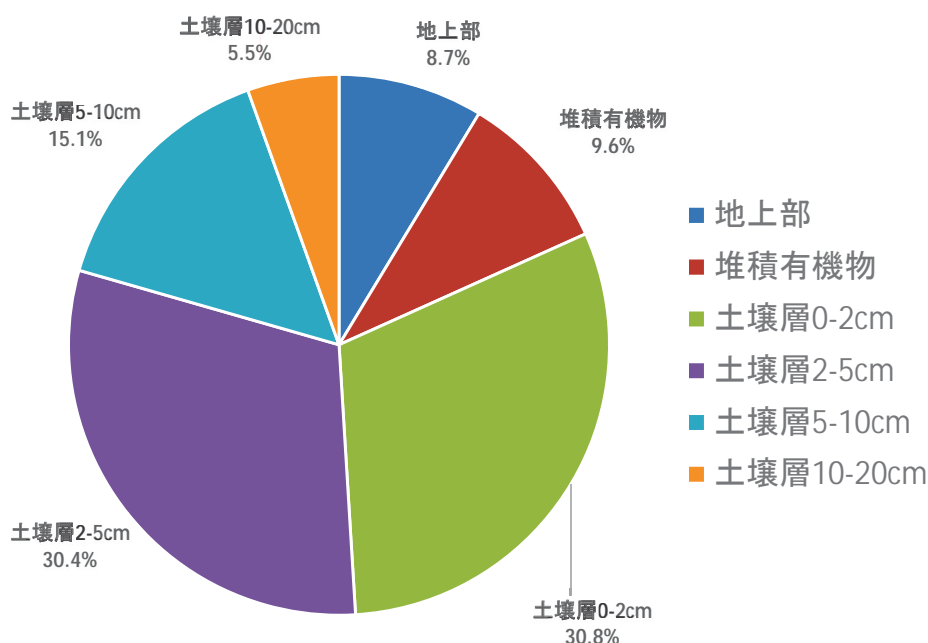


図 3-28 系内全体の放射性 Cs 現存量分布割合（葛尾村 1236 林班い 5 小班）

表 3-25 立木（全樹種）中部位別及びリターフォール中の放射性 Cs 現存量
（葛尾村 1286 林班い 2 小班）

部位	バイオマス現存量 (kg)	平均濃度 (Bq/kg)	調査面積 (m ²)	放射性物質現存量 (Bq/m ²)	放射性物質現存率 (%)	立木の放射性物質現存量 に対するLFの割合(%)
樹皮	789	1,567	400	3,089	49.86	-
辺材	2,967	203	400	1,508	24.34	-
心材	1,361	99	400	337	5.44	-
枝	712	487	400	867	13.99	-
葉	158	1,000	400	395	6.37	-
立木合計	5,986	-	-	6,195	-	-
LF(主)	115	800	400	231	78.29	3.73
LF(他)	28	910	400	64	21.71	1.03
LF合計	144	-	-	295	-	4.76

※放射性 Cs 濃度・現存量ともにセシウム 137 の値から算出

※毎木調査の全木をコナラと仮定して算出した値

※LF=リターフォール、2021年9~11月のデータのみであることに注意

表 3-26 系内全体の放射性 Cs 現存量（葛尾村 1286 林班い 2 小班）

部位	絶乾重量 (g)	平均濃度 (Bq/kg)	放射性物質現存量 (Bq/m ²)	放射性物質現存率 (%)
地上部	-	-	6,195	3.27
堆積有機物	98	12,100	26,271	13.88
土壌層0-2cm	274	12,333	75,000	39.63
土壌層2-5cm	695	3,300	51,000	26.95
土壌層5-10cm	1,750	600	23,333	12.33
土壌層10-20cm	4,113	81	7,433	3.93
合計	6,930	-	189,233	-

※放射性 Cs 濃度・現存量ともにセシウム 137 の値から算出

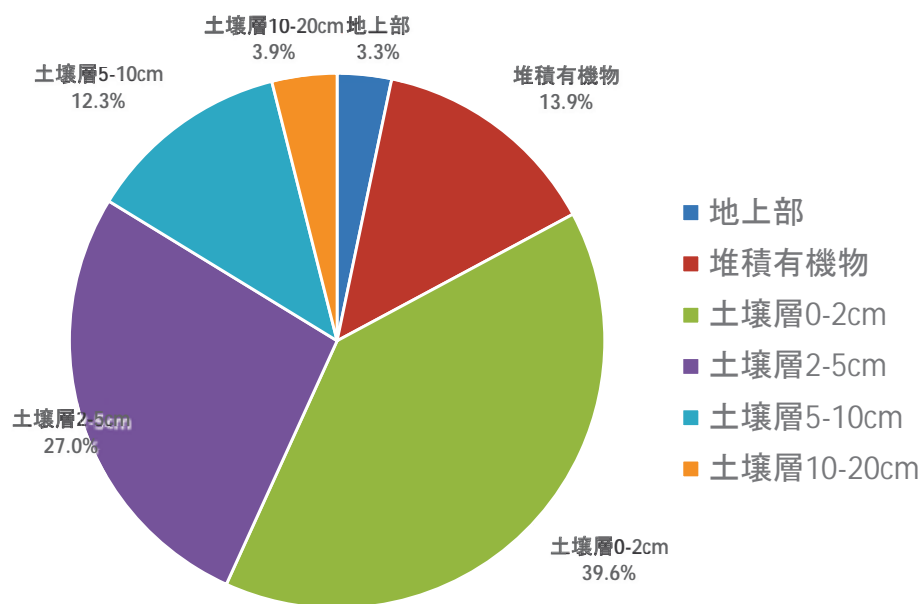


図 3-29 系内全体の放射性 Cs 現存量分布割合（葛尾村 1286 林班い 2 小班）

表 3-27 立木（全樹種）中部位別及びリターフォール中の放射性 Cs 現存量
（田村市 261 林班ろ小班）

部位	バイオマス現存量 (kg)	平均濃度 (Bq/kg)	調査面積 (m ²)	放射性物質現存量 (Bq/m ²)	放射性物質現存率 (%)	立木の放射性物質現存量 に対するLFの割合(%)
樹皮	1,310	4,467	400	14,628	70.18	-
辺材	3,704	229	400	2,121	10.17	-
心材	2,844	84	400	600	2.88	-
枝	1,730	557	400	2,408	11.55	-
葉	360	1,210	400	1,088	5.22	-
立木合計	9,948	-	-	20,844	-	-
LF(主)	119	950	400	283	56.77	1.36
LF(他)	62	1,400	400	216	43.23	1.03
LF合計	181	-	-	499	-	2.39

※放射性 Cs 濃度・現存量ともにセシウム 137 の値から算出

※毎木調査の全木をコナラと仮定して算出した値

※LF=リターフォール、2021 年 9~11 月のデータのみであることに注意

表 3-28 系内全体の放射性 Cs 現存量（田村市 261 林班ろ小班）

部位	絶乾重量 (g)	平均濃度 (Bq/kg)	放射性物質現存量 (Bq/m ²)	放射性物質現存率 (%)
地上部	-	-	20,844	8.36
堆積有機物	84	32,333	60,562	24.28
土壌層0-2cm	130	29,000	83,667	33.54
土壌層2-5cm	383	6,000	51,000	20.44
土壌層5-10cm	1,116	957	23,733	9.51
土壌層10-20cm	2,377	183	9,667	3.87
合計	4,090	-	249,473	-

※放射性 Cs 濃度・現存量ともにセシウム 137 の値から算出

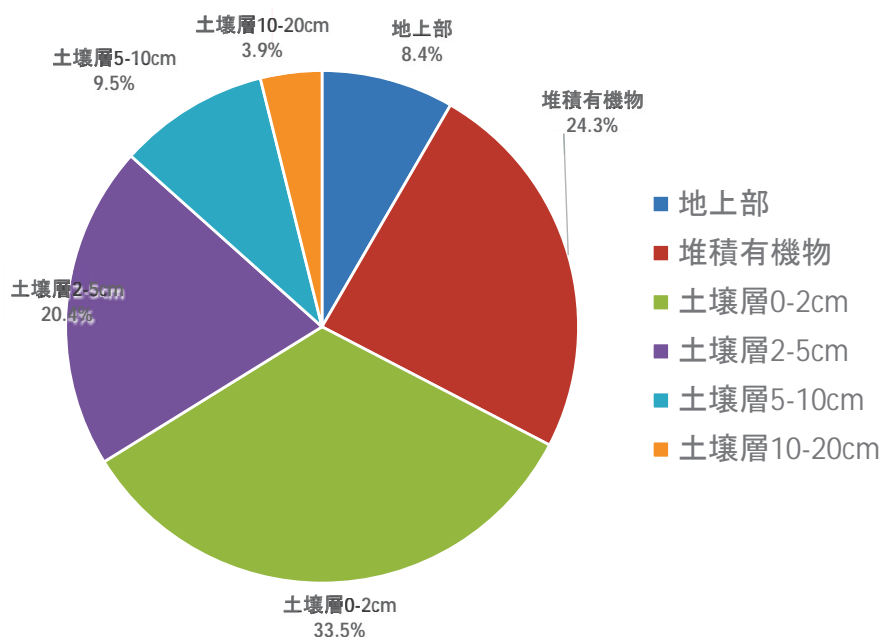


図 3-30 系内全体の放射性 Cs 現存量分布割合（田村市 261 林班ろ小班）

4) 下層植生

スギ林の下層植生出現種数は2種～14種、コナラ林では2～9種であった(表 3-29～表 3-34)。また、スギ林の被度は8～35%程度、コナラ林の被度は27～85%程度であった。出現種数も被度も林分によりバラつきがみられた。

表 3-29 南相馬市 2011 林班ち3小班 (スギ林)

被群	種名	高さ(cm)	根本直径(cm)	本数	被度(%)
1・1	ケヤキ	15	0.2	11	2
1・1	ウリハダカエデ	6	0.2	3	2
2・2	イワガラミ	20	0.2	5	12
1・1	リョウブ	13	0.1	5	5
1・1	クリ	20	0.2	1	2
1・1	アカショウマ	20	0.3	2	5
+	ヤマウルシ	15	0.2	1	1
1・1	フジ	15	0.3	2	2
1・1	ミツバアケビ	10	0.1	1	2
+	ノササゲ	10	0.1	1	1
+	チゴユリ	10	0.1	1	0.5
+	コブシ	12	0.2	1	0.5
+	コシアブラ	4	0.1	1	0.2
+	エゴノキ	10	0.2	1	0.5

表 3-30 南相馬市 2031 林班い5小班 (スギ林)

被群	種名	高さ(cm)	根本直径(cm)	本数	被度(%)
2・2	イワガラミ	17	0.2	5	15
+	ムラサキシキブ	12	0.2	1	1
1・1	ミツバアケビ	13	0.2	4	2
+	ノブドウ	15	0.1	2	1
+	ハエドクソウ	25	0.2	1	1
+	ケチジミザサ	10	0.1	2	0.5
+	ツユクサ	5	0.1	1	0.3

表 3-31 飯館村 2336 林班の小班 (スギ林)

被群	種名	高さ(cm)	根本直径(cm)	本数	被度(%)
1・1	スズダケ	100	0.6	4	5
1・1	ムカゴイラクサ	10	0.2	5	3

表 3-32 葛尾村 1236 林班い5小班 (コナラ林)

被群	種名	高さ(cm)	根本直径(cm)	本数	被度(%)
4・4	ミヤコザサ	100	0.5	12	65
+	ウワミズザクラ	5	0.1	1	0.4

表 3-33 葛尾村 1286 林班い 2 小班 (コナラ林)

被群	種名	高さ(cm)	根本直径(cm)	本数	被度(%)
2・2	ミヤコザサ	80	0.5	17	15
1・1	オトコヨモギ	5	0.3	4	3
1・1	ヒカゲスゲ	7	0.1	2	3
1・1	コバギボウシ	12	0.4	1	2
1・1	サワフタギ	15	0.3	1	3
+	クリ	8	0.2	1	0.5

表 3-34 田村市 261 林班ろ 小班 (コナラ林)

被群	種名	高さ(cm)	根本直径(cm)	本数	被度(%)
4・4	ミヤコザサ	70	0.5	50	70
1・1	シオデ	23	0.3	1	3
1・2	チゴユリ	13	0.2	14	3
1・1	ミツバアケビ	10	0.1	4	2
1・1	ガマズミ	10	0.2	3	2
+	アケボノスミレ	5	0.1	3	1
1・1	コバギボウシ	13	0.3	2	2
+	イヌシデ	3	0.1	2	1
+	イチヤクソウ	5	0.2	2	0.5

4. 森林内の放射性物質の移動（下方浸透）の検証と予備調査

4.1. 目的

過年度に林野庁が実施した「森林施業等による放射性物質拡散防止等検証事業」等において、樹木の伐採等を伴う森林施業が空間線量率に与える影響の検証等を行い、現在、森林内の空間線量率が物理学的減衰よりも早く低減していることが明らかとなっている。この主な要因として、森林内の放射性物質の大部分が樹木から林床に移行し、林床の堆積有機物の放射性物質は徐々に土壌側に移行、土壌内でも表層からより深層への移動が進んでいることが考えられる。森林施業を実施することにより、樹木の養分吸収が多いとされる 0-5 cm の土壌層より下方へ放射性セシウムが移動することにより、林内の空間線量率の低減、あるいは森林内での放射性セシウムの内部循環を減少させることが期待される。

本項目では、主として 3 つの調査（a:土壌浸透水に含まれる放射性物質濃度の把握（浸透水調査）、b:細根等による放射性物質移動の把握（細根調査）、c:土壌等の放射性物質濃度の測定（深度別土壌調査））を実施することにより、土壌中の深さごとの放射性物質濃度の変化等のモニタリングや、放射性物質の下方移動状況を定量的に把握することを目的とした。これにより、森林土壌中の放射性セシウムの動態を把握するとともに、森林施業が放射性セシウムの下方移動を促進する可能性があることを科学的に示すための基礎資料とする。

4.2. 試験地の概要

施業前の予備調査は、以下の 3 箇所の国有林の林小班を試験地として実施した（表 4-1、図 4-1～図 4-4）。

表 4-1 試験地一覧

試験地名	市町村 国有林名 林小班	試験区 種別	樹種	林齢	面積 ^{※1} (ha)	空間線量率 ^{※3} ($\mu\text{Sv/h}$)	初期沈着量 ^{※4} (kBq/m^2)
冬住 試験地	南相馬市 和田城 2011 ち 3	森林施業区 及び 対照区	スギ	36	7.50	0.96	720
高倉 試験地	南相馬市 国見 2031 い	森林施業区 及び 対照区	スギ	53	7.94	0.9	990
飯樋 試験地	飯館村 花塚山 2336 の	森林施業区	スギ	54	1.24	0.9~1.1	900
	飯館村 花塚山 2336 ら	対照区	スギ	63	1.00 ^{※2}		

※1 面積は森林簿上の値

※2 小班面積 10.19ha のうちスギが占める面積

※3 文部科学省 放射線量等分布マップ（令和 2 年 10 月 29 日時点）

※4 文部科学省 放射線量等分布マップ（平成 23 年 7 月 22 日時点）

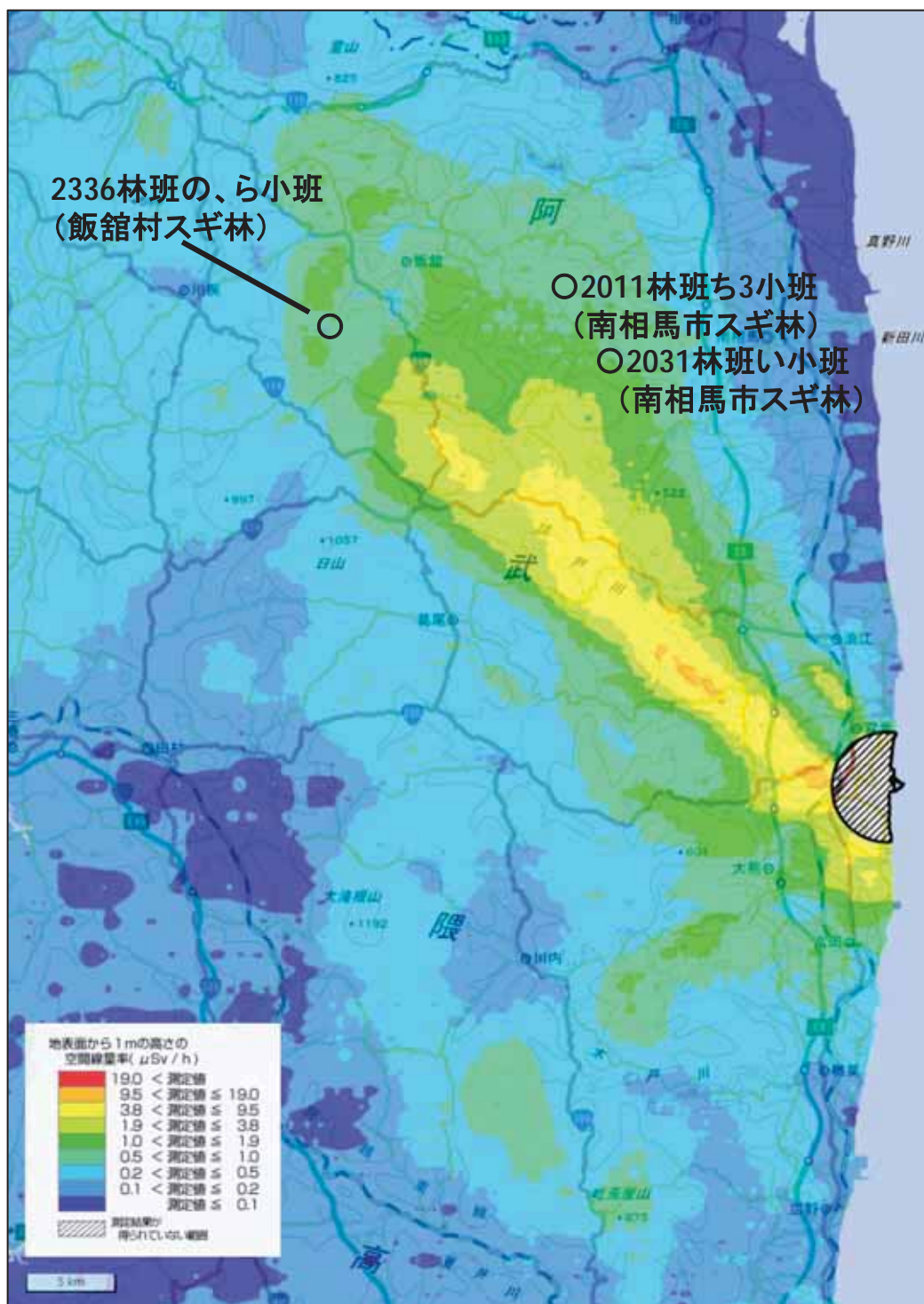


図 4-1 調査対象地の空間線量率(航空機モニタリング)

※ 令和 2(2020)年 10 月 29 日時点の空間線量率マップ(「第 15 次航空機モニタリング」(原子力規制委員会)より作成)

※ ○は試験地位置。

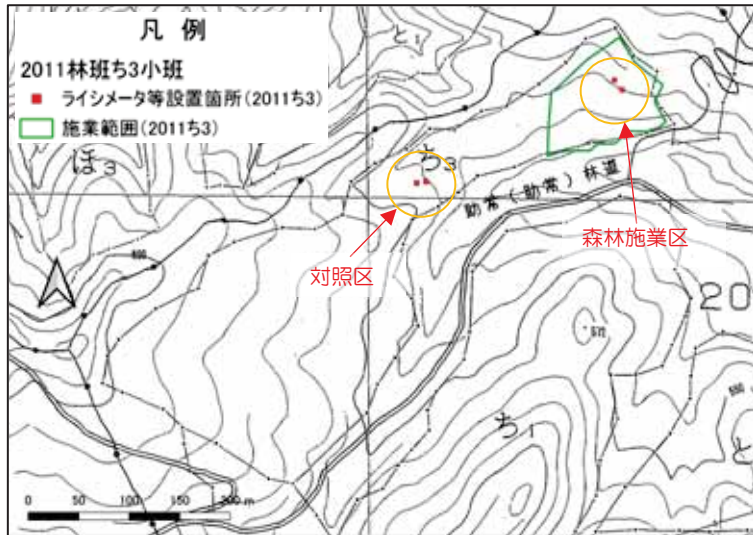


図 4-2 森林施業区と対照区 (2011 林班ち 3 小班)

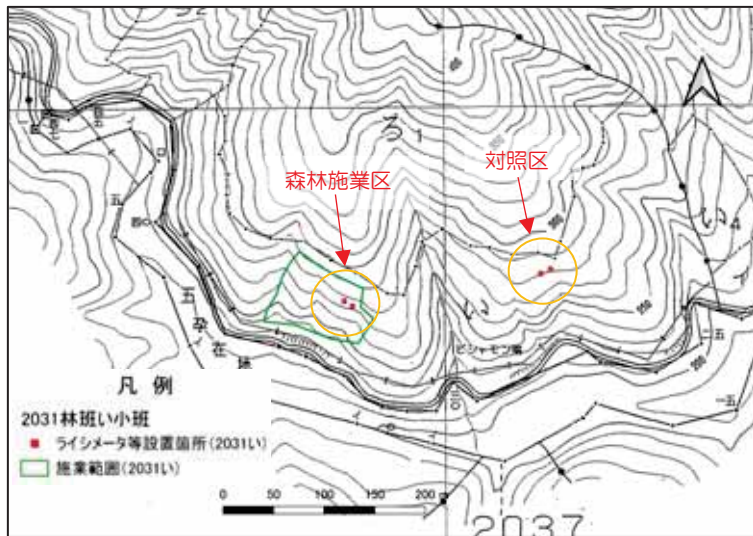


図 4-3 森林施業区と対照区 (2031 林班い1 小班)

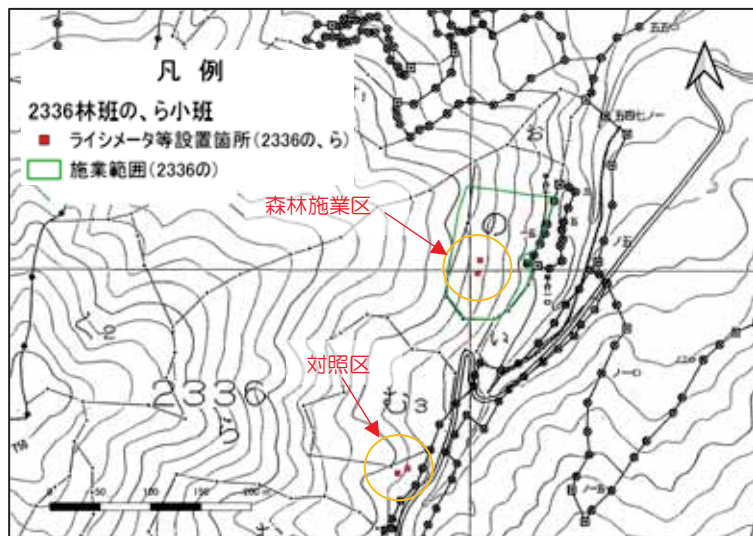


図 4-4 森林施業区と対照区 (2336 林班の小班及びら小班)

4.3. 試験地の選定

(1) 試験地選定にあたっての考え方

福島第一原発事故により森林生態系に降下した放射性セシウムは、主に枝葉や樹皮といった植物体の表面や林床の堆積有機物上に付着した。令和4年3月時点で事故から11年が経過したが、その間、放射性セシウムが付着した枝葉・樹皮等はリターフォールとして徐々に降下し、現在ではその多くが林床や土壌中に存在している。林床内でみると、放射性セシウムは堆積有機物から土壌への移行が徐々に進んでいる。さらに、土壌中の放射性セシウムは、土壌の深い層へ移動していると考えられるが、その過程は緩やかであると考えられる。これは、放射性セシウムが土壌中の粘土鉱物に電子的に吸着され、下方への移動が困難になるためである。なお、土壌中の放射性セシウムの一部は植物体中に根から取り込まれるが、このうち枝葉へ移動したものは再度リターフォールとして林床に降下するという循環を繰り返すと考えられる。

このように、森林生態系内の放射性セシウムの分布は、この循環を経て平衡状態に向かっていると考えられる一方、森林施業における土壌の攪乱により、少しでも早く土壌の深い層への移動が進めば、森林における空間線量率が低下することが想定される。これにより、林内作業者の被ばく量が低減するとともに、植栽樹木が根から取り込む放射性セシウムの量が減少することで、木材中の放射性セシウム濃度も低下し、材の搬出、利用に繋がることで林業再生に資すると考えられる。

放射性セシウムが土壌の下方へ移動する要因としては、主に以下の4つが考えられる。

要因①：自然状態の土壌における鉛直下方への物理的移動

要因②：土壌中を移動する水に溶けてイオンとなって移動する溶存態の放射性セシウム

要因③：多少の土壌の攪乱を伴う森林施業による鉛直下方への物理的移動

要因④：毎年2～3トン/ヘクタール程度発生する土壌中の細根の成長枯死に伴う生物的移動

要因①は、粘土鉱物に吸着された放射性セシウムが、粘土鉱物とともに重力による作用で下方へ移動することを想定したものである。

要因②は、粘土鉱物に吸着されていない放射性セシウムが水に溶けた状態で土壌下方へと移動している状態を想定したものであり、ライシメータによる調査で移動量を把握することができる。

要因③は、重機等による森林作業道や土場等の作設、伐採木集材時のウインチ引きなどにより表層土壌と深部の土壌が逆転することを想定したものである。

要因④は、表層土壌に近いところにある細根が土壌深部へ伸長することにより、細根中に含まれる放射性セシウムが細根とともに土壌深部へ移動し、細根が枯死したときにそのまま土壌深部へ残るイメージである。とくに間伐実施後は林内照度が高くなり下層植生が生育しやすくなるため、暗い林内よりは細根量が多くなり、これらの枯死とともに放射性セシウムが土壌深部にとどまることが想定される。

こうした要因を人為的に実現するための現実的な手段として、間伐等による森林施業の実

施が考えられ、森林施業が土壌中の放射性セシウムの下方移動に与える効果を検証することが本調査の目的である。

(2) 試験設計の概要

まず、森林施業箇所と施業を実施していない箇所を比較するため、森林施業区と対照区を設定することとした(図 4-5)。設定にあたっては、同一林小班内、もしくは隣接する2小班において、森林施業区と対照区を設けることを想定した。また、森林施業区は面積0.5ha程度以上を想定し、対照区は間伐による影響をできるだけ少なくする必要があることから、森林施業区からは数10~100m程度離すこととした。これらのセットを福島県原子力被災12市町村の林分から選定することとした。

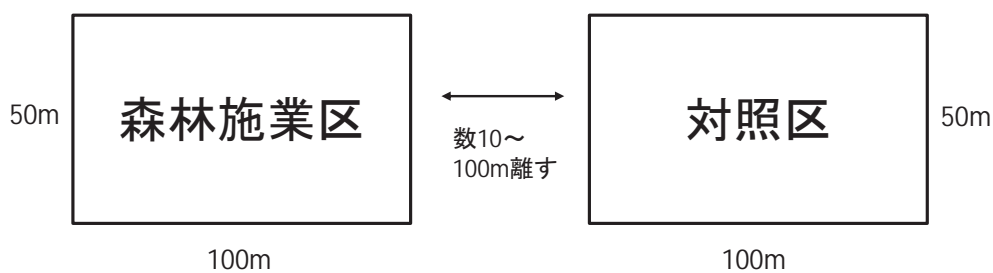


図 4-5 試験区設定イメージ

新規試験では、森林施業を実施する前年度に、森林施業区、対照区ともに施業を実施する前の初期値に該当するデータを取得することとした。また、森林施業実施年度とさらにその翌年度から3年程度はモニタリング的にデータを取得することとした。

これらを踏まえたスケジュールの概要は、図 4-6 に示すとおりである。

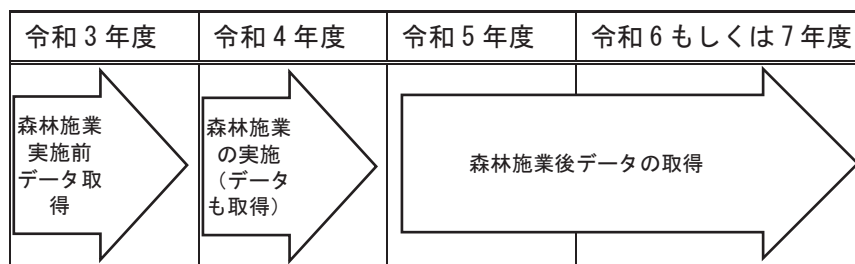


図 4-6 試験スケジュール(案)概要

対象樹種は福島県の人工林の植栽樹種として多くみられるスギを、また森林施業方法は福島県浜通り地方の国有林で主に実施されている列状間伐を想定した。

(3) 試験地選定条件

以上の考え方や調査設計を基に、机上調査により試験地として条件のよい林小班を抽出した後、現地確認を行い、表 4-2 の条件をできるだけ満たす林小班の絞り込みを行った。

表 4-2 試験地選定のための条件

条 件	内 容
初期沈着量	学識経験者の意見を参考として 300kBq/m ² 以上を目安とした。第 3 次航空機モニタリング（平成 23 年 7 月 2 日時点）の結果から得られた値を活用した。
一斉林である	現地確認箇所から 360° 見渡して混植もしくは、広葉樹の侵入等が顕著でなければ、一斉林とした。0.5ha 内が単一種であること。
林齢 40～50 年生以上である	40～50 年生以上の林であれば、土壤中の団粒状構造（下層植生にとって生育しやすい条件）が発達していることを見込んでいる。
一様な平衡斜面である	一般的に斜面の傾斜方向の凹凸が少ない斜面のことを平衡斜面というが、ここでは等高線方向の凹凸も含む。目視により小尾根等の微地形で 50m 程度先が見えない場合は、平衡斜面ではないとした。
表流水の有無（地下水が多くない）	表流水がみられるだけでなく、歩行中にぬかるむ場所は不適とした。地下からの水分上昇があるとライシメータ調査の実行が困難となる。
対照区の確保	同一林小班内に対照区を確保可能な面積があるかどうか、もしくは直近に条件に近い小班が存在するかどうかで判断した。また、200～300m が限界距離で、これ以上離れるのは林相やその他の環境条件が異なる可能性があり好ましくない。同一林小班内もしくは隣接する林小班が対照区になる場合は問題ない。
石礫が少なく、ササが密生していない	ライシメータの設置やスクレーパープレートによる土壌調査が可能な試験地であることが必須。
斜面方位	間伐実施後に下層植生が生育しやすくなることを考慮し、南向き斜面が望ましいとした。
傾斜	30° 程度であること。これ以上の傾斜では調査中の移動時等に土壌攪乱が大きくなる可能性がある。
原発事故以降、手が入っていない	放射性セシウム降下後に土壌攪乱や森林施業がされておらず、条件ができるだけ均質であることを必要とするため。
試験地へのアクセス	林小班直近の既設林道まで車でアクセスが可能かどうか。駐車箇所から徒歩 5 分以内でアクセス可能かどうか。歩きやすさも考慮。試験機器や試料の重量が大きいいため。

(4) 試験地の決定

以上を踏まえ、令和2年度に候補地とした2つの小班に、新たに南相馬市の2小班を加えた4小班を最終候補地(写真4-1)とした。さらに令和3(2021)年7月13日に検討委員の恩田裕一委員(筑波大学)及び三浦覚委員(森林総合研究所)の現地指導を受け、試験地の絞り込みを実施し、その後の第1回検討委員会において、表4-1に示した3林小班を新規試験地とすることに決定した。

4箇所の林小班のうち、表4-2の条件を完全に満たす林小班は無かったが、檜葉町652林班へ小班は、①傾斜が35°以上の急峻な箇所が多く、ライシメータ設置が困難な上、斜面上方からの土砂による影響を受ける可能性が高い、②土壌中の礫が他の小班と比較して多い、③初期沈着量が他と比較して低い、といった理由から、他の3小班と比較して試験地には適していないと判断し調査対象地から除外した(表4-3)。

表4-3 試験地選定から外れた652林班へ小班の森林情報

市町村 国有林名 林小班	試験区 種別	樹種	林齢	面積 ^{※1} (ha)	空間線量率 ^{※2} ($\mu\text{Sv/h}$)	初期沈着量 ^{※3} (kBq/m^2)
檜葉町 羽山 652へ	施業区 及び 対照区	スギ	38	3.80	0.48	340

※1 面積は森林簿上の値

※2 文部科学省 放射線量等分布マップ(令和2年10月19日時点)

※3 文部科学省 放射線量等分布マップ(平成23年7月22日時点)



候補地1(南相馬市2011林班ち3小班)



候補地2(南相馬市2031林班い小班)



候補地3(飯館村2336林班の小班)



候補地4(檜葉町652林班へ小班)

写真4-1 試験候補地の林況

4.4. 森林施業内容の設計

(1) 森林施業内容（案）（令和4年度実施）の概要

1) 森林施業内容（案）

図 4-6 に示したように、本事業では令和4年度に森林施業を実施し、令和5年度以降数年間のモニタリング調査を実施することを想定している。選定した3箇所の林小班については、全ての林小班で可能な限り森林施業内容を一致させることとする。

具体的には、以下の方法で実施する。

①間伐方法は列状間伐とする。

②伐採は2伐4残もしくは3伐6残を基本とし、列が明瞭でない場合は、伐採列幅を3.6mもしくは5.4m（1列を1.8m）と想定して伐採する。伐採率は3割程度とする。

③森林作業道を作設するほか、必要であれば土場を設置する。

④伐採はチェーンソーによる人力作業、集材方法は全木集材とし、枝葉がついたままウインチ引きで実施する。

2伐4残の列状間伐については、搬出型の間伐を実施する際に一般的に選ばれる方法であることによるが、雨水の浸透が進みやすく、光量や地温が上昇しやすい環境となるよう留意が必要であるため、伐採幅が広がる3伐6残も検討することとした。また、伐採をチェーンソーで実施し、集材をウインチ引きで実施する方法もよく採用されるシステムであり、実際の林業の現場に即した内容であることから、本調査でもこの方法を採用することとした。

2) 樹皮中の放射性セシウム濃度測定

令和4年度に実施する森林施業後の木材の搬出可否を判断するため、「福島県民有林の伐採木の搬出に関する指針について」（平成26年 福島県森林整備課）（以下、「県指針」という）に従い、樹皮中の放射性セシウム濃度を調べた。

県指針によれば、営林活動による搬出を伴う立木伐採作業を実施する際は、以下の2点を確認し、伐採・搬出の判断を行うこととしている。

ア 空間放射線量率の測定

伐採予定地の空間の放射線量率を測定し、 $0.50\mu\text{Sv/h}$ 以下であれば伐採・搬出を可とする。

イ 樹皮の放射性物質濃度の測定

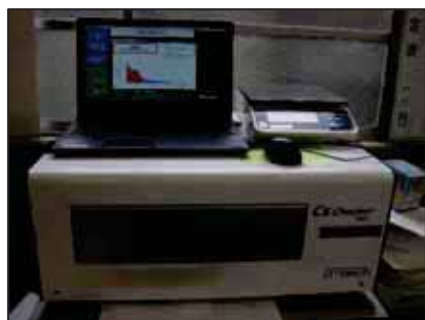
伐採予定地の空間放射線量率が $0.50\mu\text{Sv/h}$ 超の場合には、抽出により樹皮の放射性物質濃度を確認し、 $6,400\text{Bq/kg}$ 以下の場合には搬出・伐採を可とする。

伐採予定地の空間線量率を測定するときの測定点数は、県指針のフローによれば1ha以下の施行地においては2点とされている。本事業の3箇所の調査地はいずれも1haであったため、調査地内で適度に距離が離れるように予め調査点を2点設定し、空間線量率を測定した。結果、いずれの測定点においても空間線量率が $0.5\mu\text{Sv/h}$ を超えたため、樹皮の放射性

物質濃度測定に移った。

樹皮の放射性物質濃度測定にあたっては、県指針のフローによると 1ha あたり 3 本を抽出し、内外樹皮を含めて剥皮し、放射性物質濃度を測定することとなっている。本調査では、2 点の空間線量率を測定したが、値が高かった方の測定箇所周辺の立木を 3 本選定し剥皮した。剥皮重量は、後述する測定機器での測定の際に必要な最低重量である 500g とした。なお、剥皮による立木への影響を鑑み、劣勢木やつる絡みのある一般材になりにくい立木を選定するとともに、剥皮後の幹には材の腐敗を防ぐため、殺菌剤（日本曹達株式会社製：トップジンMペースト）を塗布した。

剥皮した樹皮は、福島県木材協同組合連合会の協力を仰ぎ、放射性物質濃度をセシウムチェッカーミニ（ナニワプロジェクト社製）（写真 4-2）を用いて測定した。結果、最高値が飯舘村 2336 林班の小班の 2,517Bq/kg-wet といずれの樹皮も 6,400Bq/kgを下回る結果となった（表 4-4）。



セシウムチェッカーミニ

樹皮

写真 4-2 セシウムチェッカーミニと採取した樹皮

表 4-4 搬出可否のための樹皮中放射性セシウム濃度測定結果

場所	林小班名	測定木 No	セシウムチェッカーミニ測定結果 (Bq/kg-wet)	樹木直近空間線量率 (μSv/h)
南相馬市	2011 ち 3	スギ①	1,453	1.04
		スギ②	1,507	1.04
		スギ③	1,863	1.06
南相馬市	2031 い	スギ①	1,439	0.87
		スギ②	923	0.95
		スギ③	1,175	0.89
飯舘村	2336 の	スギ①	2,517	1.02
		スギ②	1,752	1.00
		スギ③	1,342	0.99

(2) 森林施業内容の設計

1) 森林施業範囲の確定

森林施業範囲を設定するにあたっては、図 4-5 の試験区設定イメージを満たすよう 0.5ha 以上の面積を確保するとともに、100m 前後離れた箇所に対照区を設定できるよう考慮した。

表 4-5 森林施業実施面積等

事業地	試験地名	林小班	森林簿面積 (ha)	実測施業面積 (ha)	林況	備考
南相馬市	冬住	2011 ち 3	7.50	0.85	スギ	土場・作業道含む
	高倉	2031 い	7.94	0.57	スギ	土場・作業道含む
飯館村	飯樋	2336 の	1.24	0.99	スギ	土場・作業道含む
計			16.68	2.41		

これらの条件を基に図 4-7～図 4-9 に示す内容で森林施業内容を検討した。

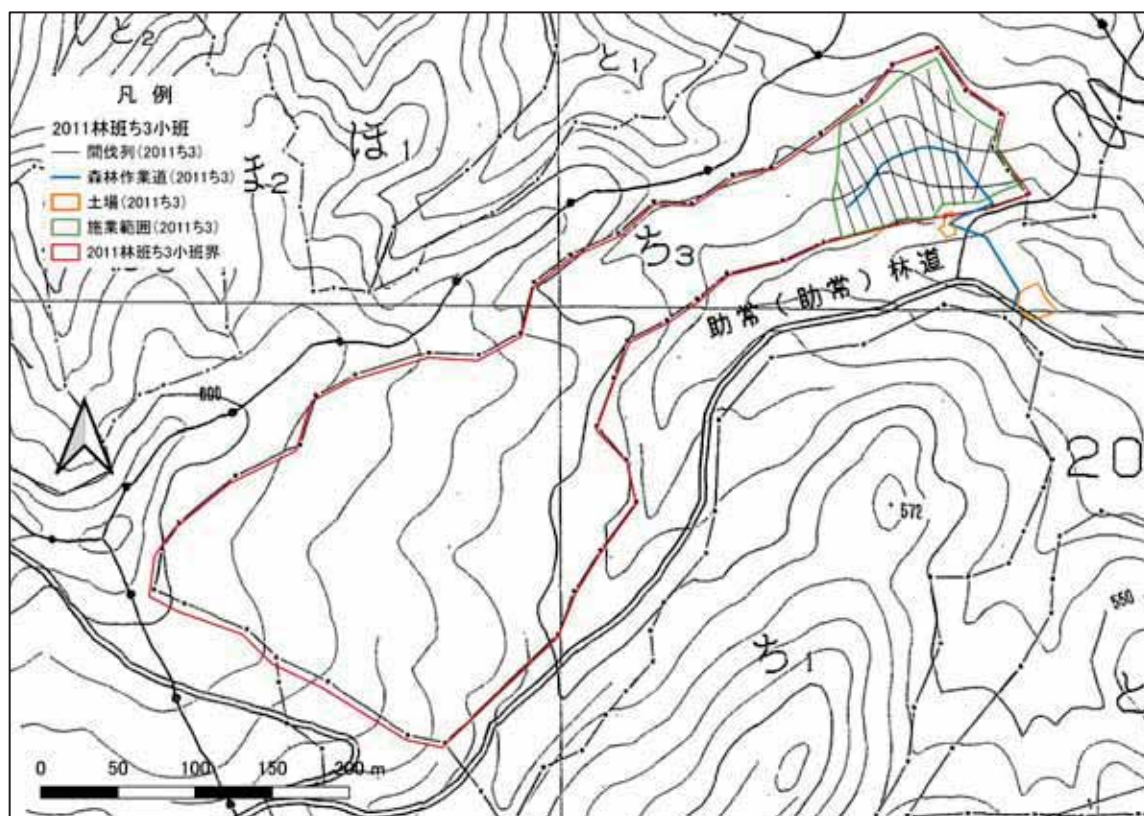


図 4-7 森林施業範囲及び森林作業道・土場（南相馬市 2011 林班ち 3 小班）

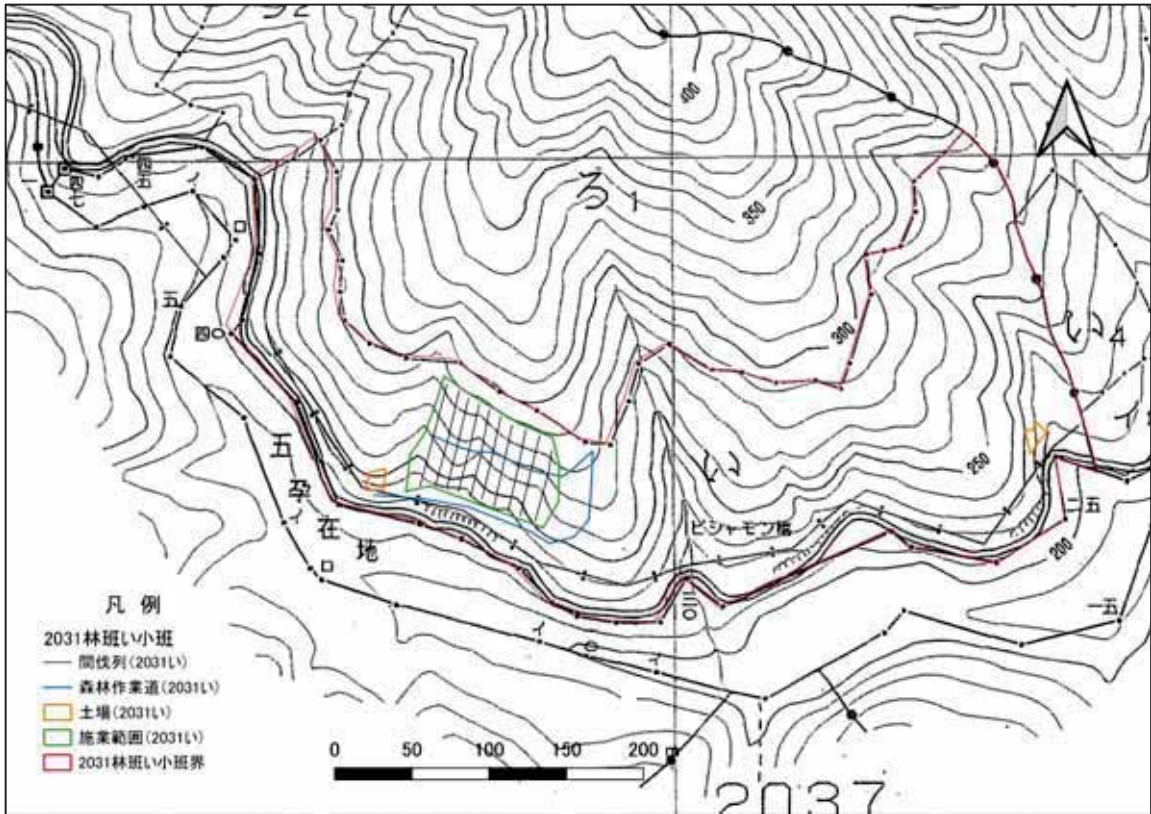


図 4-8 森林施業範囲及び森林作業道・土場（南相馬市 2031 林班い小班）

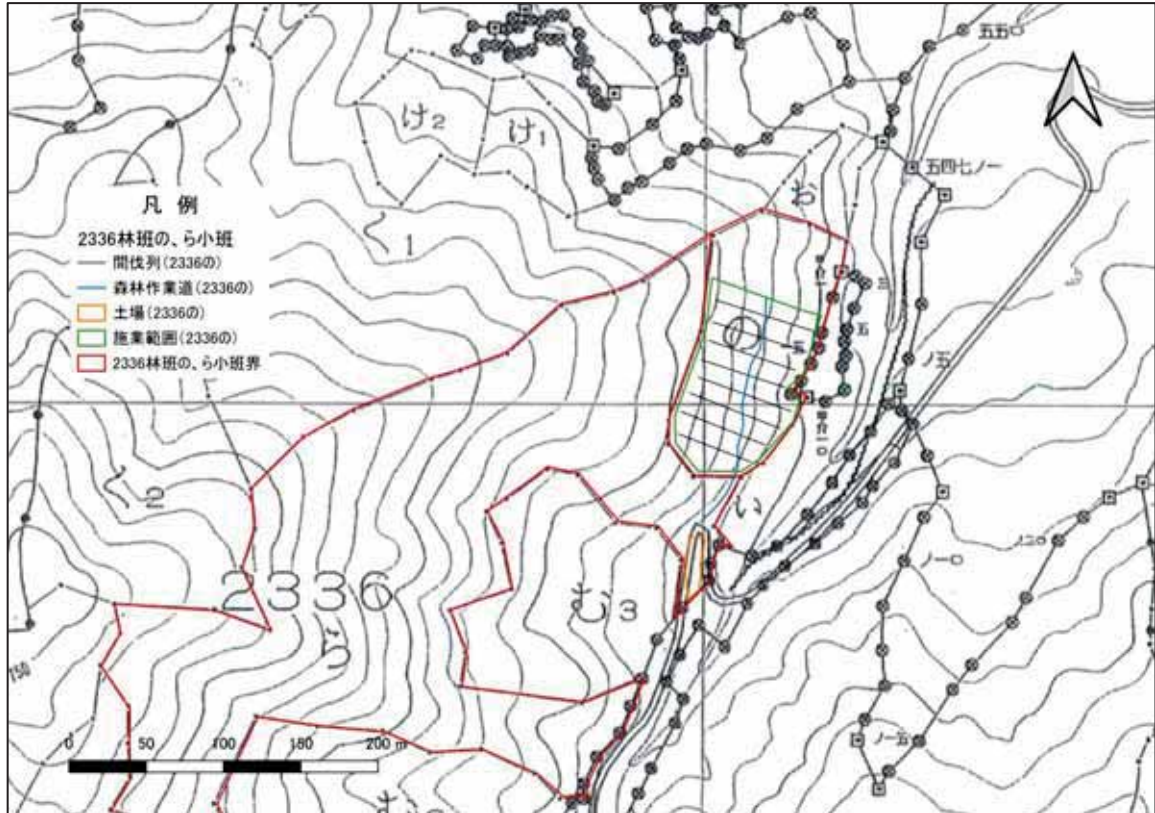


図 4-9 森林施業範囲及び森林作業道・土場（飯館村 2336 林班の小班）

2) 標準地調査

標準地調査は、各小班内に0.04haの方形プロットを2箇所設定し実施した(表4-6)。プロットは施業区域の代表的な林況を示していると考えられる箇所に設定し、プロット内の胸高直径5cm以上の立木について、樹種、樹高及び胸高直径(地上高1.2m)を記録した。得られたデータを基に森林施業区域内の総材積及び伐採材積を推定した。

標準地調査を基に算定した森林施業区域内の本数や材積は表4-7に示すとおりである。併せて、面積当たりの本数や材積等を表4-8に示した。2011林班ち3小班の施業区域0.85haの総材積は752.7m³となり、列状間伐材積251.2m³を計画した。2031林班い小班の施業区域0.57haの総材積は346.3m³となり、列状間伐材積114.7m³を計画した。2336林班の小班の施業区域0.99haの総材積は671.2m³となり、列状間伐材積219.7m³を計画した。

表 4-6 標準地の設定情報

事業地	林小班	林相	面積 (m ²)	区画 (m)	備考
南相馬市	2011 ち 3	スギ	400	18.5×21.6	2 区画
	2031 い	スギ	400	18.5×21.6	2 区画
飯館村	2336 の	スギ	400	18.5×21.6	2 区画

表 4-7 標準地調査結果 (森林施業区域の立木本数及び材積等)

林小班	樹種	森林施業区域面積 (ha)	作業種	森林施業区域総本数(本)	伐採予定本数(本)	森林施業区域総材積 (m ³)	伐採予定材積 (m ³)	伐採率 (%)
2011 ち 3	スギ	0.85	列状間伐 (搬出)	1,849	649	752.7	251.2	33.3
2031 い	スギ	0.57	列状間伐 (搬出)	1,874	595	346.3	114.7	33.1
2336 の	スギ	0.99	列状間伐 (搬出)	903	300	671.2	219.7	32.7

表 4-8 標準地調査結果 (ha 当たり立木本数及び材積等)

林小班	樹種	森林施業区域面積 (ha)	作業種	ha 当たり立木本数 (本)	ha 当たり伐採予定本数(本)	ha 当たり立木材積 (m ³)	ha 当たり伐採予定材積(m ³)	伐採率 (%)
2011 ち 3	スギ	0.85	列状間伐 (搬出)	2,175	763	885.5	295.5	33.3
2031 い	スギ	0.57	列状間伐 (搬出)	3,287	1,043	607.5	201.2	33.1
2336 の	スギ	0.99	列状間伐 (搬出)	912	303	678.0	221.9	32.7

表 4-9 標準地調査結果（立木の平均直径及び樹高等）

林小班	樹種	森林施業 区域面積 (ha)	作業種	平均直径 (cm)	平均樹高 (m)
2011ち3	スギ	0.85	列状間伐(搬出)	21.8	18.8
2031い	スギ	0.57	列状間伐(搬出)	17.2	14.2
2336の	スギ	0.99	列状間伐(搬出)	27.1	20.8

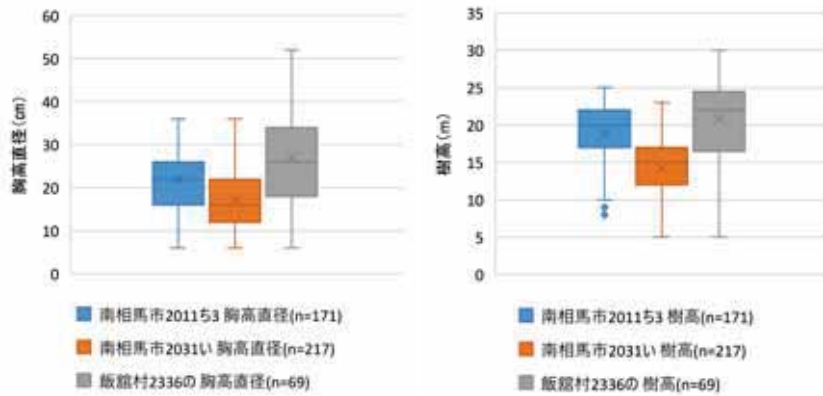


図 4-10 標準地内立木の胸高直径（左図）と樹高分布（右図）

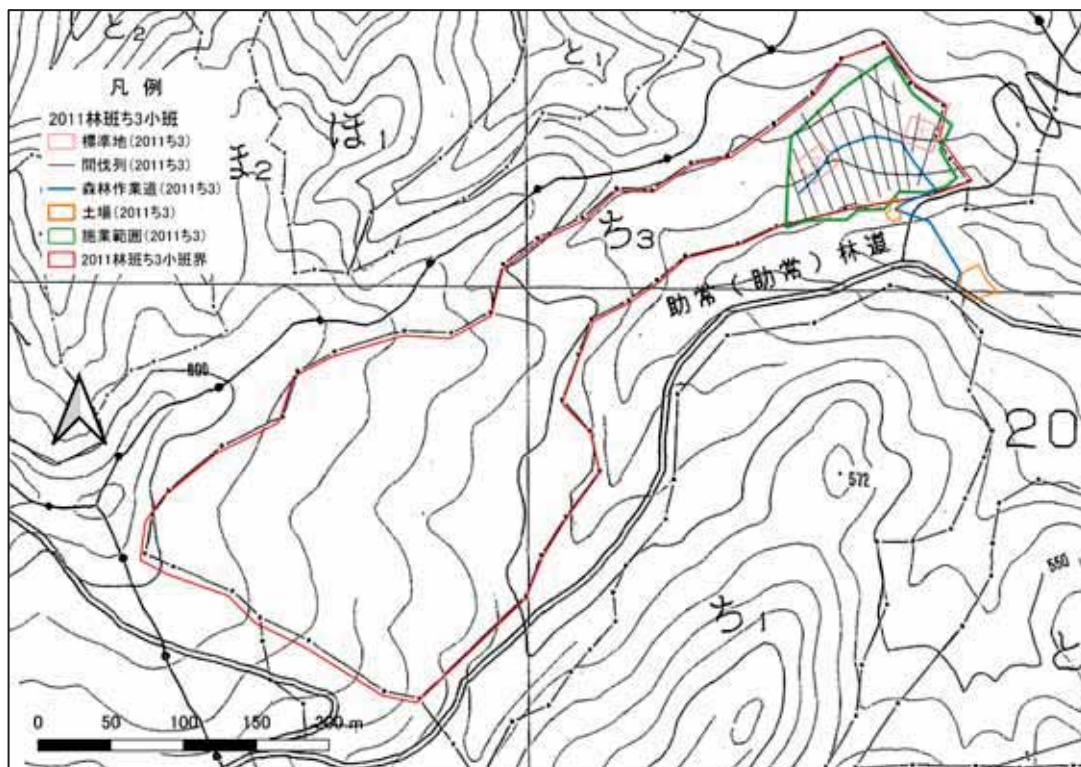


図 4-11 標準地位置図（南相馬市 2011 林班ち 3 小班）

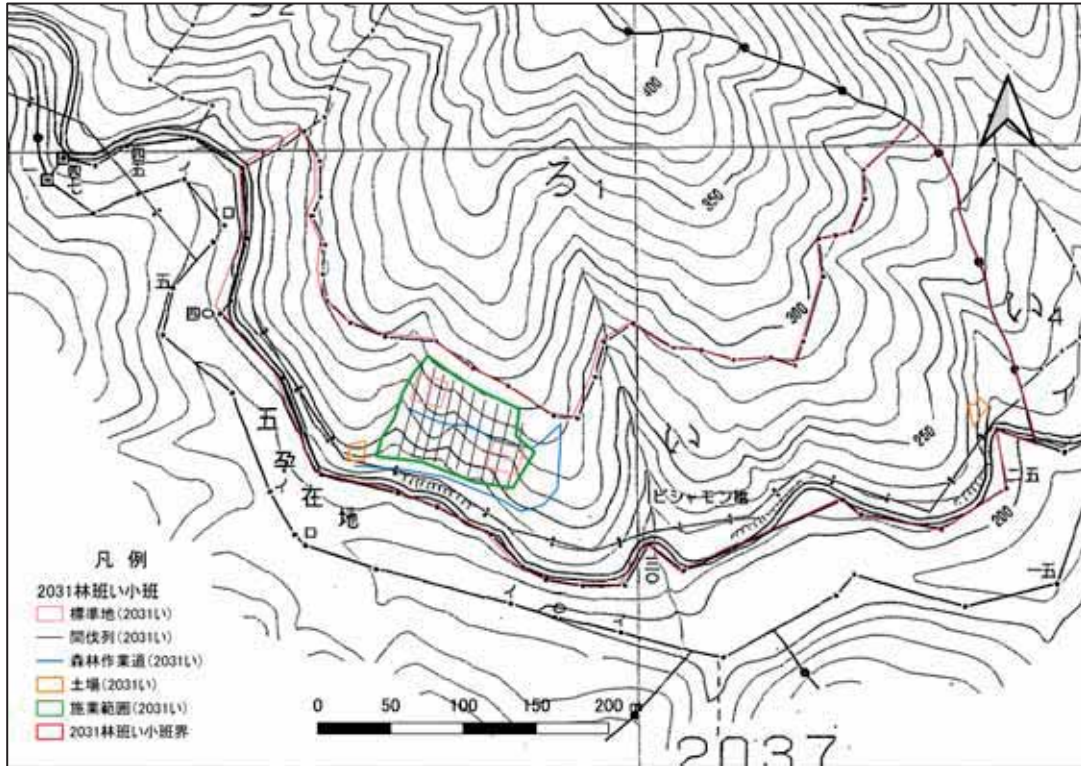


図 4-12 標準地位置図 (南相馬市 2031 林班い小班)

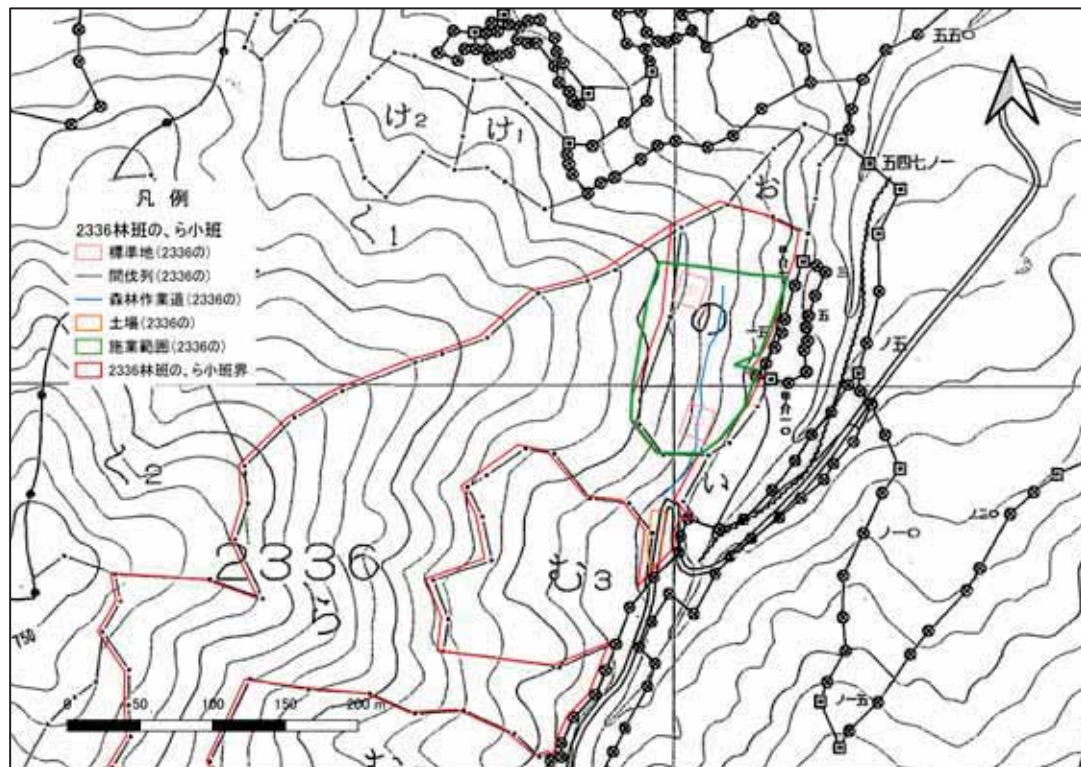


図 4-13 標準地位置図 (飯館村 2336 林班の小班)

4.5. 土壌浸透水に含まれる放射性物質濃度の把握

(1) 試験地と試験方法

土壌浸透水による放射性セシウムの方浸透量を定量化するため、4.2. に示す 3 箇所の国有林の林小班において、森林施業区及び対照区を設定して試験を実施した。各試験地の配置を図 4-14、図 4-15、図 4-16 に示す。各森林施業区及び対照区で 2 箇所ずつゼロテンションライシメータ（図 4-17）を設置し、測定を行った。

堆積有機物層の浸透水を採取するゼロテンションライシメータは、30cm×30cm のプラスチックトレイを穴空け加工し、シリコンで防水処理してホースでタンクと接続した。設置位置の堆積有機物を、立体的構造を崩さずに 30cm ×30cm の面積で掘削し、そのままプラスチックトレイの上に移設し、設置した。

土壌層の浸透水を採取するゼロテンションライシメータは、斜面の等高線方向に掘削して土壌断面を作成し、設定深度（5cm、10cm、20cm）でガルバニウム土台水切り（アルミニウム-亜鉛合金めっき鋼板；以後「めっき鋼板」と呼ぶ。）を斜面傾斜と水平に打ち込み、その打ち込んだ長さを記録した上で、土壌断面から出た部分を 5cm 程度残して切断した。さらに、土中に打ち込んだめっき鋼板から流れてきた浸透水を集められるよう、トタンで水受けを作り、3D プリンタで作成した治具を使用してホースに接続し、45L タンクに接続した。土壌断面は風雨や落枝の影響を受けないよう、ブルーシートで保護した。めっき鋼板は 1 箇所 3 枚、40cm まで打ち込むことを基本とし、支障物で 40cm まで打ち込めない場合は、長さを記録して切断した。各試験地におけるゼロテンションライシメータの設置日を表 4-10 に、設置状況を写真 4-3、写真 4-4 に示した。

ゼロテンションライシメータは令和 3（2021）年 9 月下旬に設置が完了したが、設置直後は土壌断面の土砂が流入しやすかったため、設置直後にタンクに貯まった浸透水は捨て、10 月中旬に貯水タンクを清掃した後に浸透水の採取を開始した。浸透水の試料回収は 1 ヶ月に 1 回を基本としたが、11 月中旬までの降水量が少なかったため、12 月中旬に試料回収を行った。12 月以降は積雪や配管凍結により正確に試料が採取できないため、試料採取は 12 月中旬をもって終了とした。試料回収状況を表 4-9 に示す。

タンクに貯まった浸透水の量を測定した後に攪拌し、均一となった浸透水の一部を 2L のポリビンで採取して試料とした。採取した試料は、試料重量測定後、孔径 0.45 μ m のメンブレンフィルターでろ過を行い、フィルターに残った物を残渣、通り抜けた濾液を溶存態の試料として、7 章に記載した方法により核種測定を行った。ここで、溶存態の試料は放射性セシウム濃度が低いことが想定されたため、加熱濃縮を行い、定量下限値を 0.1~0.2Bq/L とし測定を行った。

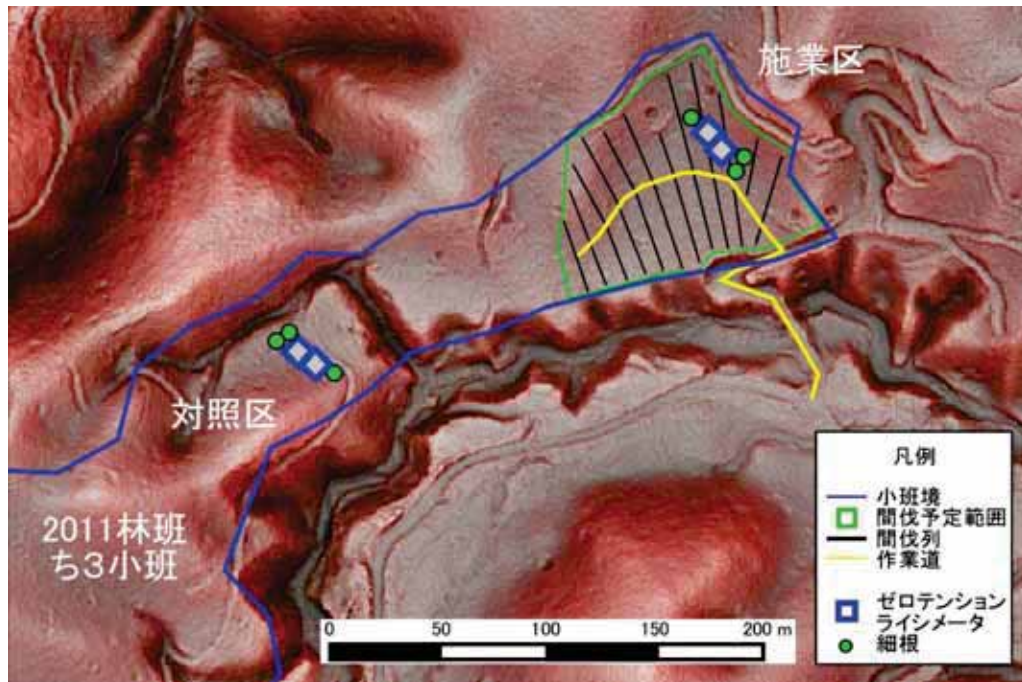


図 4-14 冬住試験地（2011 林班ち 3 小班）配置（間伐は令和 4 年度実施予定）

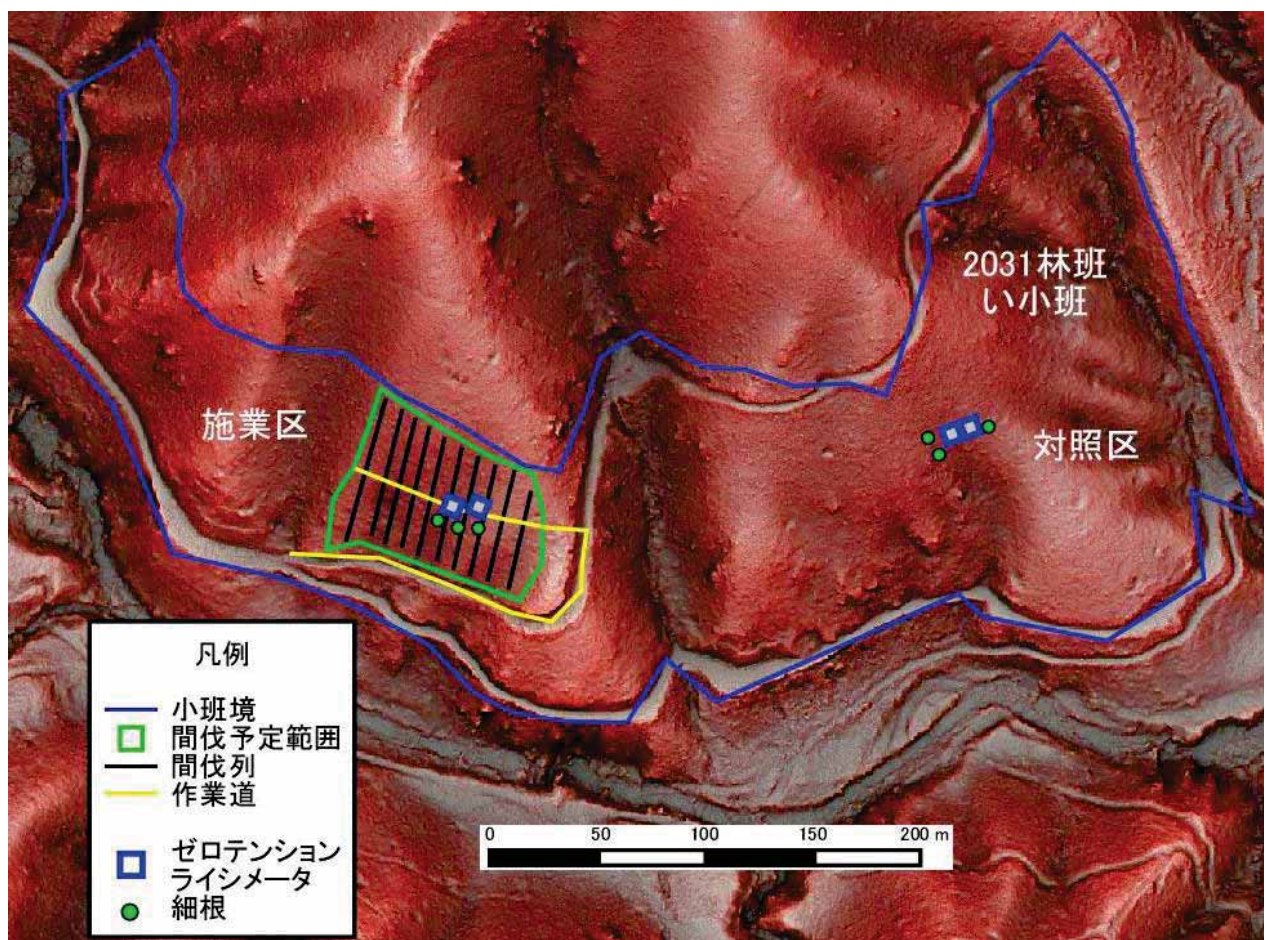


図 4-15 高倉試験地（2031 林班い小班）配置（間伐は令和 4 年度実施予定）

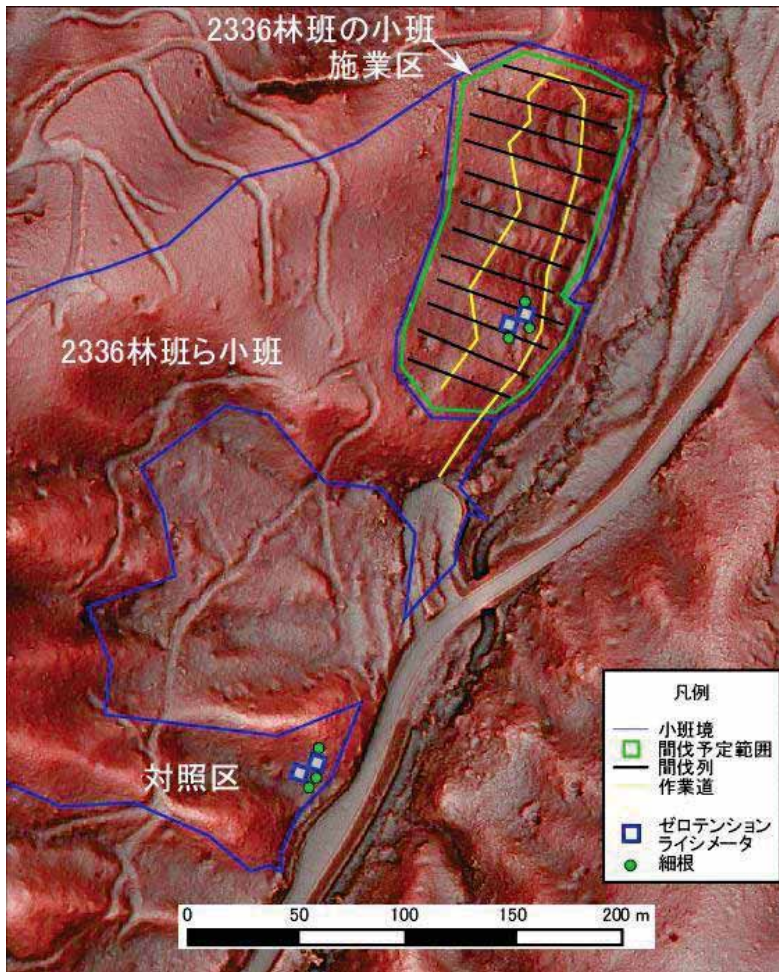


図 4-16 飯舘試験地（2336 林班の、ら小班）配置（間伐は令和 4 年度実施予定）

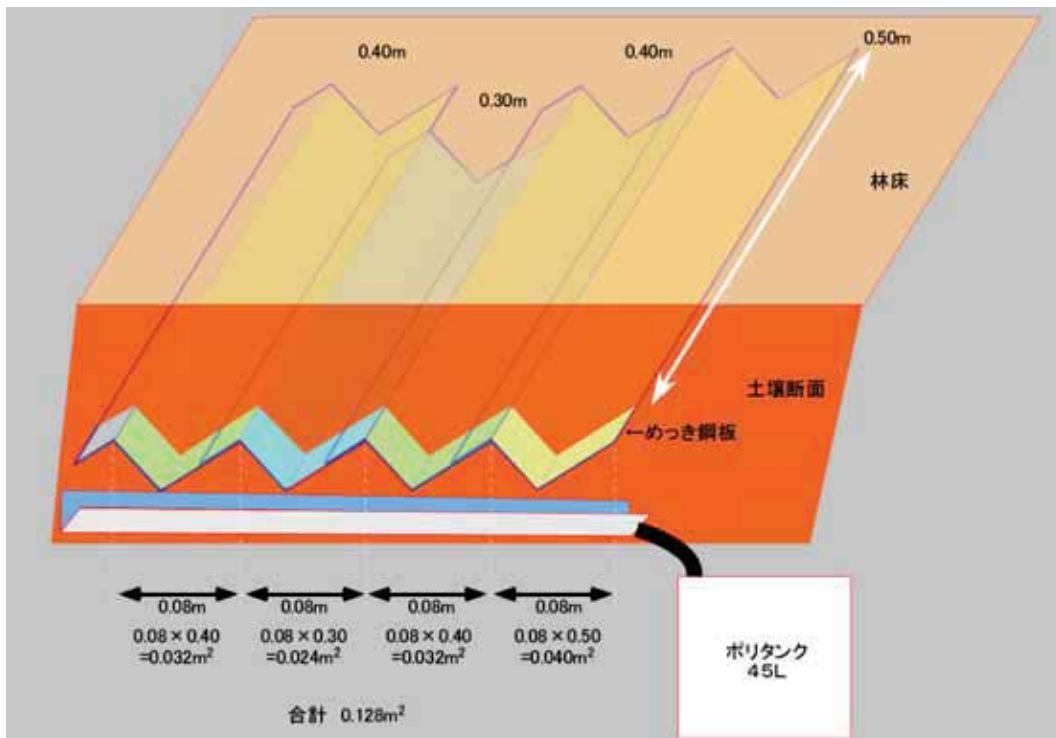


図 4-17 ゼロテンションライシメータ構造図

表 4-10 ゼロテンションライシメータ設置日

試験地	林班	小班	施業区	林相	傾斜角	設置	備考
冬住試験地	南相馬市 2011林班	ち3小班	施業区 (間伐予定地)	スギ	13~23°	2021年7月~8月24日	2区画
			対照	スギ	13~26°	2021年7月~8月25日	2区画
高倉試験地	南相馬市 2031林班	い小班	施業区 (間伐予定地)	スギ	25~33°	2021年7月~9月29日	2区画
			対照	スギ	25~40°	2021年7月~9月10日	2区画
飯舘試験地	飯舘村 2336林班	の小班	施業区 (間伐予定地)	スギ	25~33°	2021年7月~9月10日	2区画
		ら小班	対照	スギ	23~30°	2021年7月~9月9日	2区画



設置前



掘削中



メッキ鋼板打ち込み状況



メッキ鋼板打ち込み完了



トタン水受け、3D プリンタで作成した治具を設置

写真 4-3 ゼロテンションライシメータ設置状況



浸透水採水タンク（45L）



設置斜面保護状況



浸透水採水タンク保護状況



堆積有機物用トレイ



堆積有機物移設状況



ライシメータ埋設後



ライシメータ試料回収状況

写真 4-4 ゼロテンションライシメータ設置状況、試料回収状況

表 4-11 ゼロテンションライシメータによる試料水回収状況

試験地	観測開始	観測終了	期間 日数	施業区	期間雨量 (mm)	30分降雨強度 最大値 (mm/hr)	年間降水量 推定値 (mm/yr)
冬住 事業地	2021/10/21	2021/12/18	58	施業区 (間伐予定地)	157.0	21.6	1,285
				対照区	151.1	24.4	1,237
高倉 事業地	2021/10/22	2021/12/16	55	施業区 (間伐予定地)	182.8	20.8	1,444
				対照区	192.0	21.6	1,517
飯樋 事業地	2021/10/23	2021/12/21	59	施業区 (間伐予定地)	127.2	14.0	1,053
				対照区	119.4	13.2	988

期間雨量は各事業地に設置した雨量計の観測値。年間降水量推定値は試験地の期間雨量と同期間で付近のAMeDAS観測所の雨量で割り、30年間の年間降水量平均値から割り戻して算出した。

(2) 試験結果

土壌及び堆積有機物層浸透水に含まれる放射性セシウム（Cs-134 及び Cs-137）の濃度及び期間中の浸透水量を表 4-12、図 4-18 に、年間下方移動量推定値を表 4-13、図 4-19 に示す。

浸透水試料中の放射性セシウムのうち、Cs-137 については全試料で測定下限値以上の濃度が検出されたが、Cs-134 については、全て測定下限値未満の濃度であった。

浸透水中の放射性セシウム（Cs-137）濃度は、全ての設置箇所堆積有機物層浸透水のほうが、土壌浸透水よりも高かった。放射性セシウム（Cs-137）濃度は、下層に行くほど概ね低下していたが、地点によりばらつきが生じていた。

土壌等浸透水による放射性セシウム（Cs-137）の1年当たりの下方移動量推定値は、堆積有機物層で最も高く、土壌深度が深くなるほど低下する傾向が見られた。また、現存量に対する浸透水による下方移動量推定値は、冬住試験地の堆積有機物層が大きかった他は、試験地間に明瞭な違いが見られなかった

なお、本年度の採取期間が10月中旬から12月中旬の約2ヶ月間であり、年間値は期間雨量に基づく推定であったが、季節変動も見込まれるため、本来はできるだけ通年に近い長期間の観測が望ましい。令和4（2022）年度については、融雪後の4月から秋までの観測を行った後に伐採施業を行うことが望ましい。また、伐採前の施業区および対照区の条件の違いによる下方浸透量の差異とその影響を把握するために、林内・林外の降水量と空間線量率の把握とともに、日照量、地温、気温・湿度、土壌水分等の把握も必要と思われる。さらに、降雨イベント（降雨強度）毎の雨水の下方浸透水量（集水タンクへの流入量）を正しく把握するために、タンクに水位計を設置し、より詳細に雨水の下方浸透状況等を精査することが望ましい。

表 4-12 土壌等浸透水に含まれる放射性セシウム (Cs-134 及び Cs-137) 濃度、浸透水量

試験地	作業区	深度	Cs-134 (Bq/L)	Cs-137 (Bq/L)	浸透水量 (L)
冬住 事業地	作業区 (間伐予定地)	堆積有機物	N.D.	1.76	6.1
		0-5cm	N.D.	0.55	6.1
		5-10cm	N.D.	0.29	5.1
		10-20cm	N.D.	0.49	2.2
	対照区	堆積有機物	N.D.	2.08	10.1
		0-5cm	N.D.	0.33	7.0
		5-10cm	N.D.	0.45	3.8
		10-20cm	N.D.	0.17	0.7
高倉 事業地	作業区 (間伐予定地)	堆積有機物	N.D.	0.56	9.4
		0-5cm	N.D.	0.39	6.1
		5-10cm	N.D.	0.20	4.1
		10-20cm	N.D.	0.14	1.8
	対照区	堆積有機物	N.D.	0.58	8.9
		0-5cm	N.D.	0.36	6.5
		5-10cm	N.D.	0.26	4.2
		10-20cm	N.D.	0.28	1.8
飯桶 事業地	作業区 (間伐予定地)	堆積有機物	N.D.	0.90	8.5
		0-5cm	N.D.	0.41	4.6
		5-10cm	N.D.	0.54	3.3
		10-20cm	N.D.	0.18	1.8
	対照区	堆積有機物	N.D.	0.58	8.7
		0-5cm	N.D.	0.15	3.5
		5-10cm	N.D.	0.18	2.9
		10-20cm	N.D.	0.32	0.7

「N.D.」は濃度が測定下限値未満であったことを示す。

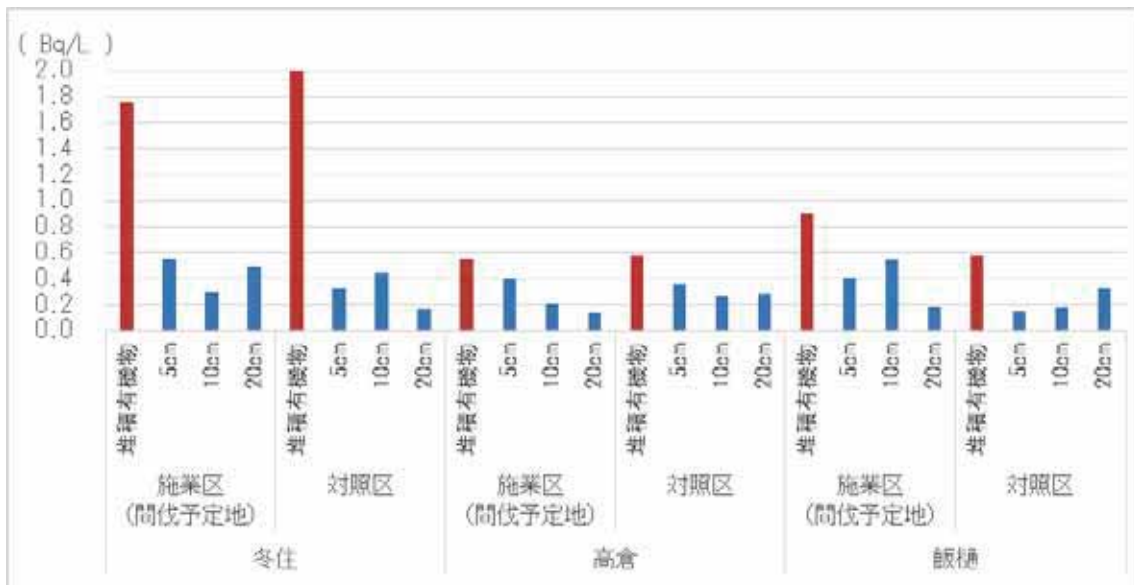


図 4-18 土壌等浸透水に含まれる放射性セシウム (Cs-137) 濃度

表 4-13 土壌等浸透水に含まれる放射性セシウム (Cs-137) 移動量・割合

試験地	作業区	深度	Cs-137下方 移行量試算値 (kBq/m ² ・年)	Cs-137下方 移行減少割合 (%)	設置箇所 周辺の現存量 (kBq/m ²)	現存量に対する Cs-137下方移行量 (1年間)
冬住 事業地	作業区 (間伐予定地)	堆積有機物	1.15	-	1,022	0.11%
		0-5cm	0.35	0.69		0.03%
		5-10cm	0.15	0.87		0.01%
		10-20cm	0.13	0.89		0.01%
	対照区	堆積有機物	1.85	-	678	0.27%
		0-5cm	0.25	0.86		0.04%
		5-10cm	0.10	0.94		0.02%
		10-20cm	0.01	0.99		0.00%
高倉 事業地	作業区 (間伐予定地)	堆積有機物	0.48	-	735	0.07%
		0-5cm	0.29	0.40		0.04%
		5-10cm	0.10	0.80		0.01%
		10-20cm	0.03	0.94		0.00%
	対照区	堆積有機物	0.47	-	1,015	0.05%
		0-5cm	0.30	0.36		0.03%
		5-10cm	0.12	0.75		0.01%
		10-20cm	0.05	0.89		0.01%
飯樋 事業地	作業区 (間伐予定地)	堆積有機物	0.60	-	758	0.08%
		0-5cm	0.19	0.69		0.02%
		5-10cm	0.15	0.75		0.02%
		10-20cm	0.03	0.95		0.00%
	対照区	堆積有機物	0.47	-	581	0.08%
		0-5cm	0.05	0.90		0.01%
		5-10cm	0.05	0.89		0.01%
		10-20cm	0.02	0.95		0.00%

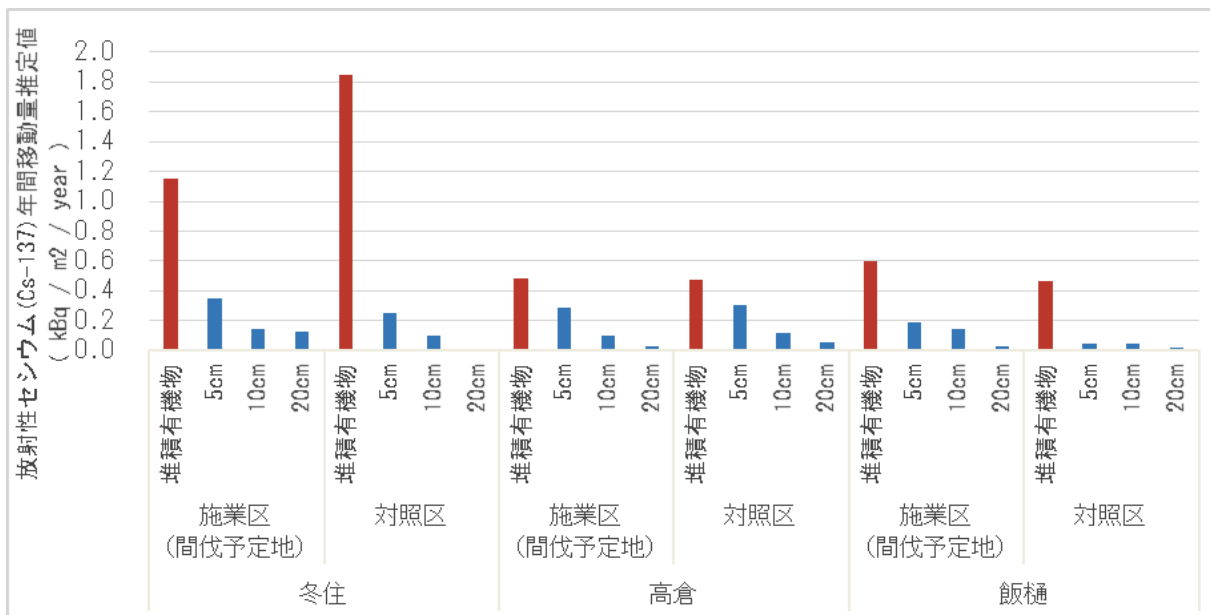


図 4-19 土壌等浸透水に含まれる放射性セシウム (Cs-137) 年間移動量推定値
 年間移動量は「期間降水量 ÷ AMeDAS 期間降水量 × AMeDAS30 年年平均降水量」より推定した。

土壌浸透水をメンブレンフィルターでろ過した残渣に含まれる放射性セシウム（Cs-134及びCs-137）の濃度を表 4-14 に示す。

残渣の放射性セシウム（Cs-137）濃度は、飯樋事業地で最大 81kBq/kg、冬住事業地で最大 283kBq/kg、高倉事業地で最大 1,350kBq/kg であった。なお、放射性セシウム（Cs-134）濃度は、全て測定下限値未満であった。ただし、残渣重量は微小（0.7mg～16mg 程度）であったため、誤差が大きく出ていた可能性がある。

なお、本事業で採取された土壌等浸透水の残渣は、土壌浸透水に伴う下方移動だけではなく、ライシメータを設置した土壌断面から落下した土砂に由来するものも多く含んでおり、評価にあたっては注意が必要である。

表 4-14 土壌等浸透水残渣に含まれる放射性セシウム（Cs-134 及び Cs-137）の濃度

試験地	作業区	深度	No.1			No.2		
			Cs-134 (Bq/kg)	Cs-137 (Bq/kg)	残渣重量 (g)	Cs-134 (Bq/kg)	Cs-137 (Bq/kg)	残渣重量 (g)
冬住 事業地	施業区 (間伐予定地)	堆積有機物	N.D.	N.D.	0.0053	N.D.	75,666	0.0117
		0-5cm	N.D.	N.D.	0.0125	N.D.	N.D.	0.0140
		5-10cm	N.D.	N.D.	0.0101	N.D.	N.D.	0.0125
		10-20cm				N.D.	N.D.	0.0114
	対照区	堆積有機物	N.D.	283,330	0.0184	N.D.	N.D.	0.0115
		0-5cm	N.D.	188,389	0.0094	N.D.	N.D.	0.0054
		5-10cm	N.D.	N.D.	0.0141	N.D.	N.D.	0.0120
		10-20cm	N.D.	N.D.	0.0130			
高倉 事業地	施業区 (間伐予定地)	堆積有機物	N.D.	N.D.	0.0007	N.D.	1,350,000	0.0013
		0-5cm	N.D.	N.D.	0.0100	N.D.	N.D.	0.0068
		5-10cm	N.D.	N.D.	0.0032	N.D.	79,300	0.0077
		10-20cm	N.D.	N.D.	0.0008	N.D.	N.D.	0.0054
	対照区	堆積有機物	N.D.	N.D.	0.0064	N.D.	N.D.	0.0067
		0-5cm	N.D.	36,700	0.0209	N.D.	N.D.	0.0011
		5-10cm	N.D.	N.D.	0.0032	N.D.	N.D.	0.0102
		10-20cm	N.D.	N.D.	0.0090	N.D.	N.D.	0.0011
飯樋 事業地	施業区 (間伐予定地)	堆積有機物	N.D.	N.D.	0.0091	N.D.	N.D.	0.0067
		0-5cm	N.D.	81,178	0.0108	N.D.	N.D.	0.0101
		5-10cm	N.D.	54,351	0.0115	N.D.	N.D.	0.0159
		10-20cm	N.D.	N.D.	0.0099	N.D.	N.D.	0.0080
	対照区	堆積有機物	N.D.	N.D.	0.0093	N.D.	N.D.	0.0113
		0-5cm	N.D.	N.D.	0.0057	N.D.	N.D.	0.0069
		5-10cm	N.D.	N.D.	0.0636	N.D.	N.D.	0.0147
		10-20cm	N.D.	N.D.	0.0115	N.D.	N.D.	0.0149

斜線は欠測を示す。

括弧内の数値は測定下限値、「N.D.」は濃度が測定下限値未満であったことを示す。残渣の放射性セシウム濃度（Cs-134及びCs-137）は、ろ紙込みの測定値を、残渣の重量比（「残渣重」/「濾紙+残渣重」）で割り戻して算出した。

4.6. 細根等による放射性物質移動の把握

(1) 試験地と試験方法

細根の枯死脱落による土壌深部への放射性セシウムの移動を把握するため、4.2. に示す3箇所の国有林の林小班において、森林施業区及び対照区を設定して試験を実施した。各試験地の配置を図4-20、図4-21、図4-22に示す。細根分別用の採取地点は、ゼロテンションライシメータ設置位置周辺で、各区3地点、合計18地点で行った。試料採取は、スクレーパープレート（面積15cm×30cm）を用い、堆積有機物層および土壌深度0～5cm、5～10cm、10～20cmの4深度で行った。試料採取日及び採取数量を表4-15に、採取状況を写真4-5、写真4-6に示す。

採取した試料は、未分別試料（土+細根）として7章に記載した方法により核種測定を行った。測定後、バット等に試料を広げ、ピンセットで土塊を崩しながら細根を分別した。分別した細根には土が付着しているため、蒸留水に浸し、超音波ホモジナイザー

（BRANSON 250-Advanced）を用いて複数回洗浄を行い、水の濁りが出なくなった後に、105℃で乾燥し、乾重量を測定した。細根（細根のみ）と土壌（土のみ）に分別した試料は、それぞれ7章に記載した方法により核種測定を行った。細根分別の流れを図4-23に示す。

ここで、日本のスギ林における細根の年間生産量を0.157kg/m²/year²⁶として、年当たりの細根により移動する放射性セシウム（Cs-137）現存量の推計を行った。

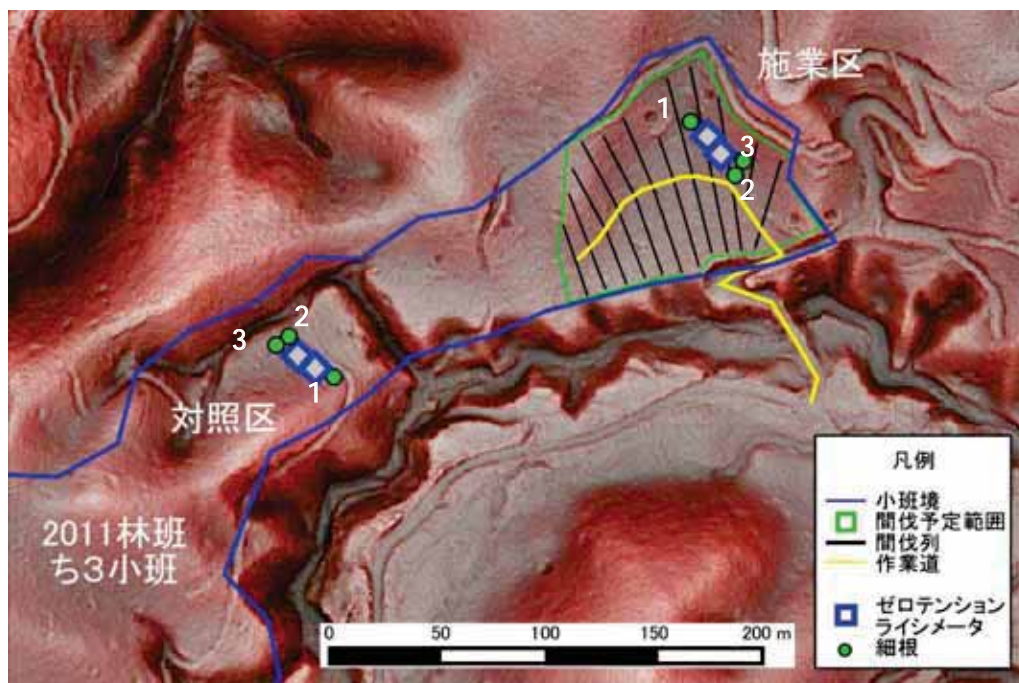


図4-20 冬住試験地 細根採取位置

²⁶ Kyotaro Noguchi et al (2007) : Biomass and production of fine roots in Japanese forests, J For Res (2007) 12:83–95, 2007,

(DATA: DOI 10.1007/s10310-006-0262-3)

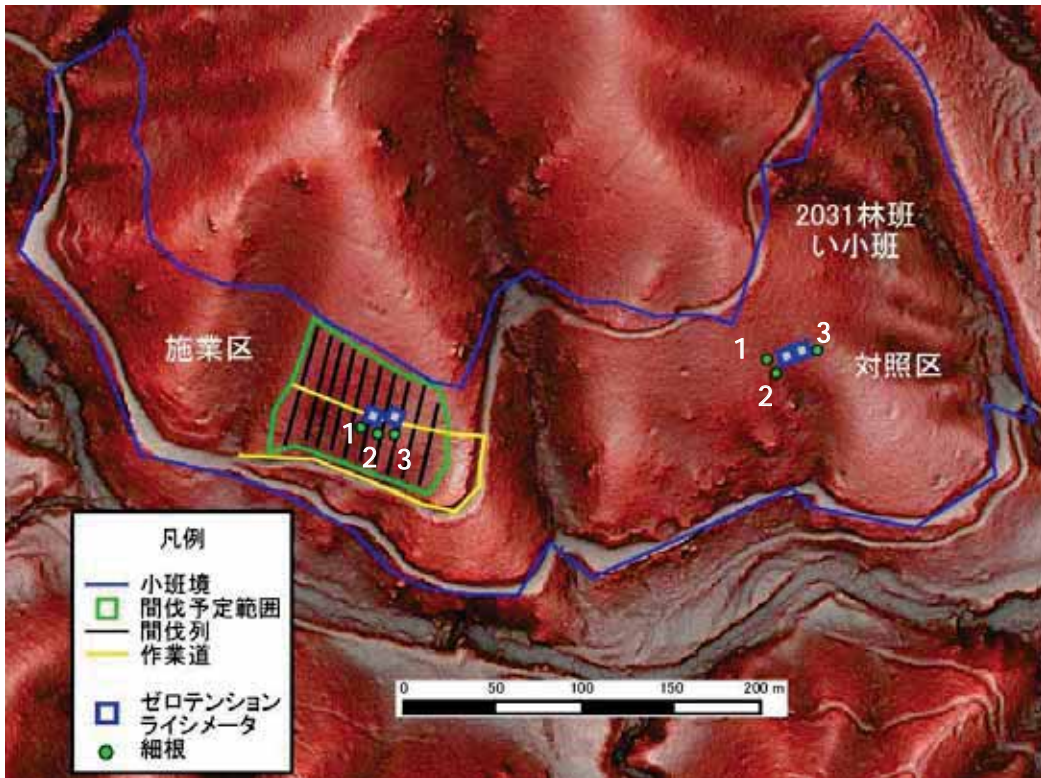


図 4-21 高倉事業地 細根採取位置

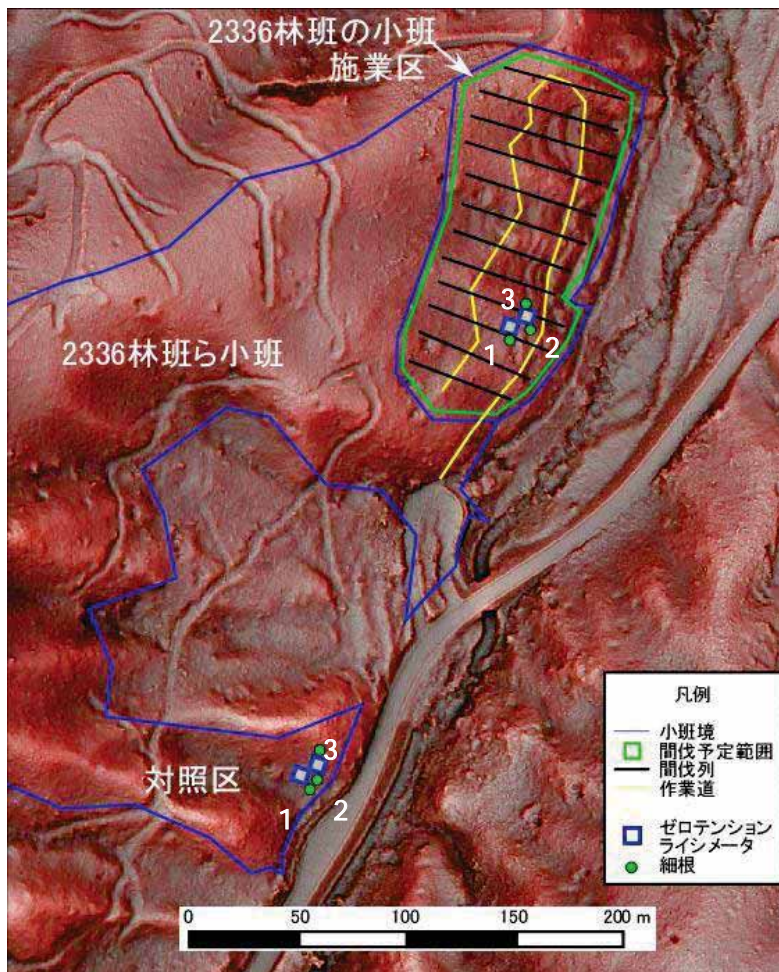


図 4-22 飯樋事業地 細根採取位置

表 4-15 各作業区の細根試料採取日、試料量

試験地	作業区	地点	採取日	細根乾燥重量		
				0-5cm (g)	5-10cm (g)	10-20cm (g)
冬住 事業地	施業区 (間伐予定地)	1	2021年 9月14日	5.2	3.5	4.1
		2	2021年 9月14日	13.7	11.0	1.6
		3	2021年 9月15日	18.0	1.7	3.7
	対照区	1	2021年 9月15日	8.8	5.5	4.2
		2	2021年 9月15日	8.1	4.2	6.2
		3	2021年 9月15日	13.6	15.1	5.2
高倉 事業地	施業区 (間伐予定地)	1	2021年 9月29日	16.3	15.0	30.0
		2	2021年 9月28日	24.4	18.8	12.9
		3	2021年 9月28日	15.6	11.0	9.6
	対照区	1	2021年 9月22日	33.2	6.9	4.9
		2	2021年 9月22日	23.6	6.7	5.7
		3	2021年 9月28日	11.8	8.8	8.6
飯樋 事業地	施業区 (間伐予定地)	1	2021年 9月17日	12.6	4.2	5.7
		2	2021年 9月17日	4.5	3.9	2.6
		3	2021年 9月17日	7.8	3.3	1.7
	対照区	1	2021年 9月17日	17.1	5.7	1.3
		2	2021年 9月21日	30.5	11.5	13.8
		3	2021年 9月21日	18.0	24.6	5.4



細根用試料採取前



堆積有機物層採取後

写真 4-5 細根用試料採取状況（スクレーパープレート）



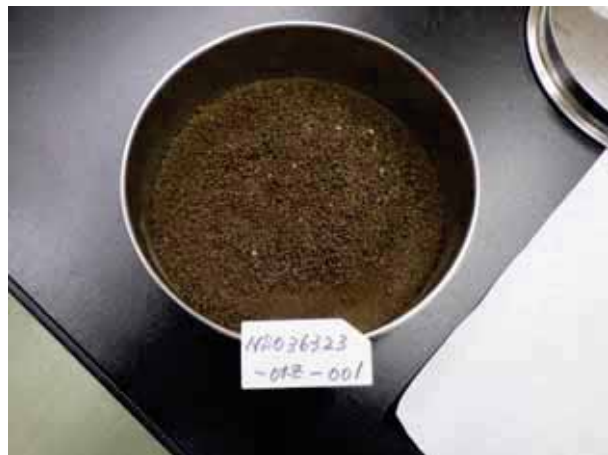
堆積有機物採取後再設置



土壌 20cm 採取後



細根分別状況



分別後土壌のみ試料



超音波ホモジナイザーによる試料洗浄



洗浄後細根分別状況（繰り返し実施）

写真 4-6 細根用試料採取状況（スクレーパープレート）、細根分別状況

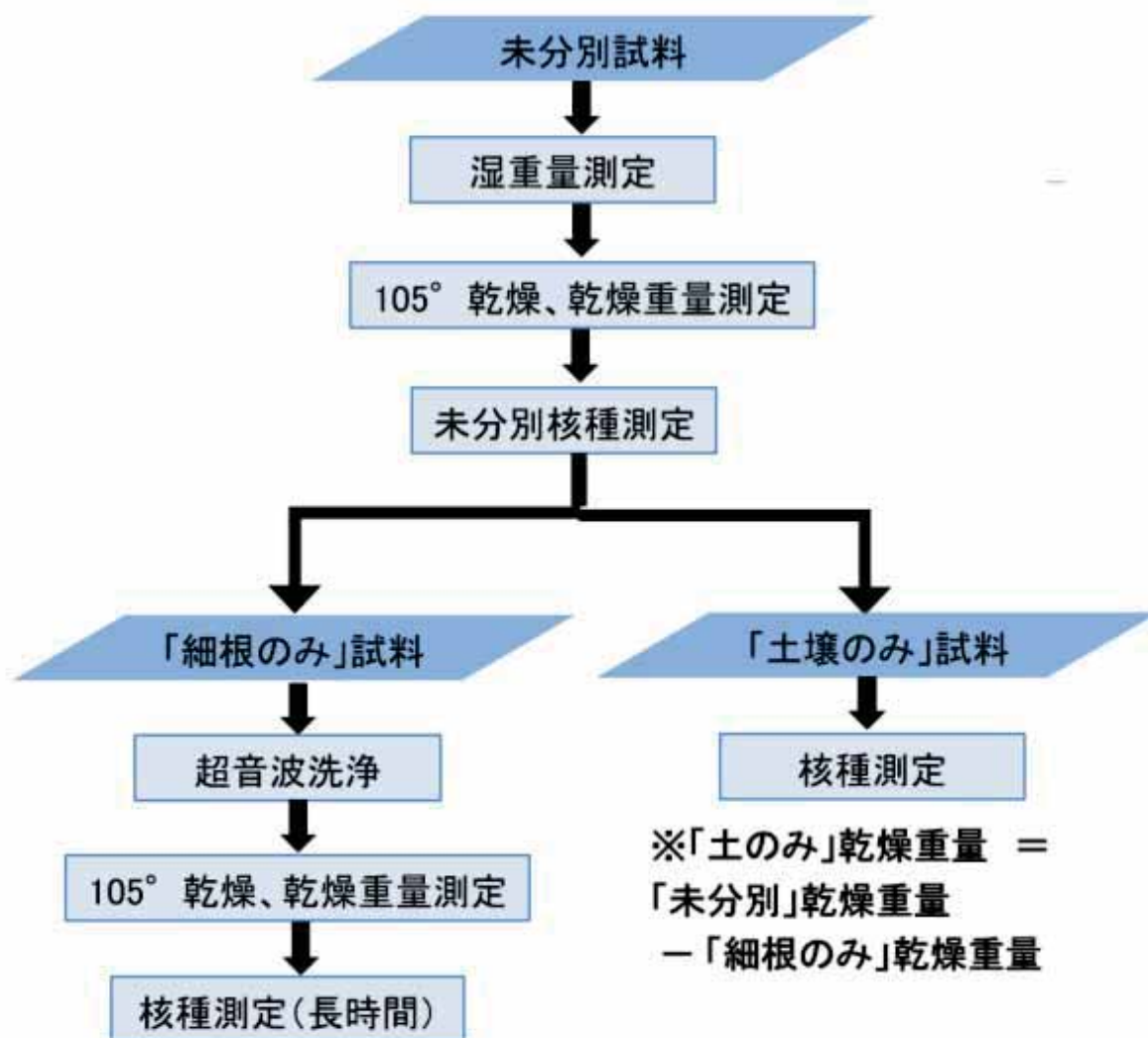


図 4-23 細根等試料測定の流れ

(2) 試験結果及び考察

土壤・細根に含まれる放射性セシウム (Cs-137) 濃度等

堆積有機物、土壤、細根の乾燥重量、細根の割合を表 4-16 に、放射性セシウム (Cs-137) の濃度を表 4-17、図 4-24 に示す。いずれの試験地においても、細根よりも、堆積有機物や土壤に含まれる放射性セシウム (Cs-137) 濃度のほうがおおむね高い傾向が見られた。また、堆積有機物及び土壤に含まれる放射性セシウム (Cs-137) の濃度は、南相馬の 2 事業地(冬住、高倉)のほうが飯櫃事業地よりも高かった。

表 4-16 試料乾燥重量 (3 地点の合計値)

試験地	作業区	深度	堆積有機物 乾燥重量 (g)	土+根 乾燥重量 (g)	土のみ 乾燥重量 (g)	細根のみ 乾燥重量 (g)	細根の 割合 (%)
冬住 事業地	作業区 (間伐予定地)	堆積有機物	390	-	-	-	-
		0-5cm	-	2,140	2,100	37.0	1.7%
		5-10cm	-	3,840	3,820	16.2	0.4%
		10-20cm	-	7,550	7,540	9.3	0.1%
	対照区	堆積有機物	410	-	-	-	-
		0-5cm	-	1,180	1,140	30.5	2.6%
		5-10cm	-	2,570	2,540	24.8	1.0%
		10-20cm	-	6,310	6,300	15.5	0.2%
高倉 事業地	作業区 (間伐予定地)	堆積有機物	369	-	-	-	-
		0-5cm	-	2,460	2,400	56.3	2.3%
		5-10cm	-	3,470	3,430	44.8	1.3%
		10-20cm	-	9,030	8,970	52.5	0.6%
	対照区	堆積有機物	623	-	-	-	-
		0-5cm	-	2,380	2,310	68.5	2.9%
		5-10cm	-	4,280	4,260	22.4	0.5%
		10-20cm	-	12,400	12,300	19.3	0.2%
飯樋 事業地	作業区 (間伐予定地)	堆積有機物	303	-	-	-	-
		0-5cm	-	2,260	2,230	24.9	1.1%
		5-10cm	-	3,560	3,550	11.3	0.3%
		10-20cm	-	7,700	7,690	9.9	0.1%
	対照区	堆積有機物	298	-	-	-	-
		0-5cm	-	1,840	1,760	65.6	3.6%
		5-10cm	-	4,100	4,080	41.7	1.0%
		10-20cm	-	10,900	10,900	20.6	0.2%

細根の割合は土壌(土+根)の乾燥重量に対する細根(細根のみ)の乾燥重量

「-」は該当する試料が存在しなかったことを示す。

表 4-17 細根等に含まれる放射性セシウム (Cs-137) 濃度 (3 地点の平均値)

試験地	作業区	層位(深度)	Cs-137濃度(Bq/kg)			
			堆積有機物	土+根	土のみ	細根
冬住 事業地	作業区 (間伐予定地)	堆積有機物	46,900	-	-	-
		0-5cm	-	41,700	48,600	20,700
		5-10cm	-	2,550	2,770	1,210
		10-20cm	-	367	388	586
	対照区	堆積有機物	55,500	-	-	-
		0-5cm	-	45,500	41,400	11,900
		5-10cm	-	5,000	5,000	3,310
		10-20cm	-	797	838	2,230
高倉 事業地	作業区 (間伐予定地)	堆積有機物	54,400	-	-	-
		0-5cm	-	29,600	23,300	10,700
		5-10cm	-	2,620	2,270	817
		10-20cm	-	645	591	542
	対照区	堆積有機物	38,600	-	-	-
		0-5cm	-	43,500	29,400	19,600
		5-10cm	-	6,820	4,470	2,690
		10-20cm	-	727	521	507
飯樋 事業地	作業区 (間伐予定地)	堆積有機物	20,200	-	-	-
		0-5cm	-	27,500	30,300	3,470
		5-10cm	-	5,520	6,810	1,900
		10-20cm	-	394	398	394
	対照区	堆積有機物	25,800	-	-	-
		0-5cm	-	32,600	30,200	5,130
		5-10cm	-	1,930	1,620	699
		10-20cm	-	155	151	345

このように、土壌の深い深度で、土壌よりも細根の放射性セシウム (Cs-137) 濃度のほうが高かったケース (いずれの試験地も対照区の 10cm 以深) では、細根の成長と、その後の枯死・脱落が、土壌中の放射性セシウムの下方移動に寄与していた可能性がある。ただし、細根に含まれる放射性セシウム (Cs-137) 現存量 (後述) は、43~13,000 Bq/m² 程度であり、堆積有機物 (67,900~224,000 Bq/m²) や土壌 (13,500~778,000 Bq/m²) と比較すると極めて小さな値であった。

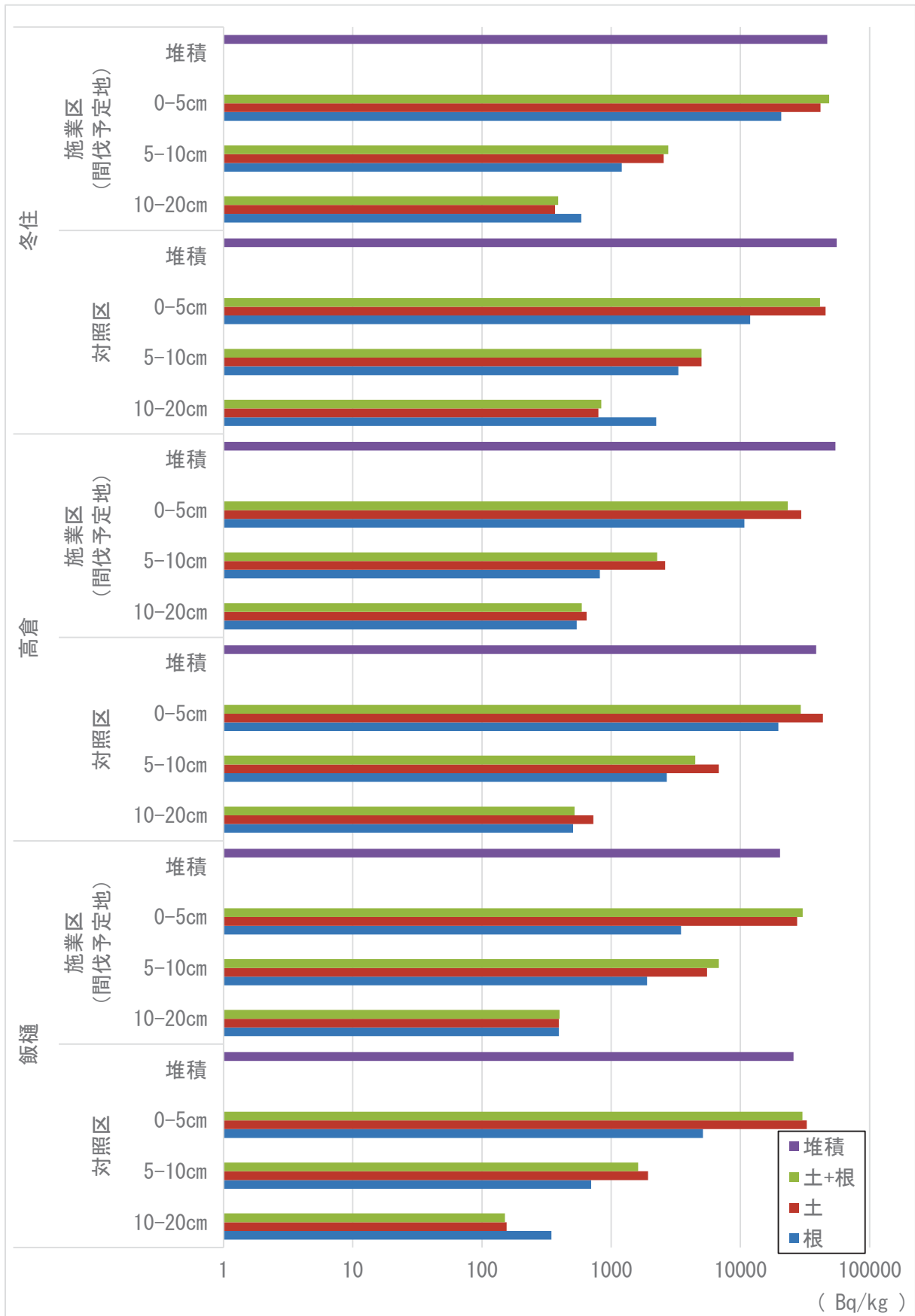


図 4-24 堆積有機物、土壌、及び細根に含まれる放射性セシウム (Cs-137) 濃度の層位・土壌深度ごとの比較 (横軸対数目盛)

堆積有機物、土壌、細根に含まれる放射性セシウム (Cs-137) 現存量を表 4-18、図 4-25 に示す。放射性セシウム (Cs-137) 現存量は、いずれの地点においても、堆積有機物層より土壌 0-5cm の方が大きく、深度が深くなるにつれて低下する傾向が見られた。

表 4-18 細根等に含まれる放射性セシウム (Cs-137) 現存量 (3 点の平均値)

試験地	作業区	層位(深度)	Cs-137現存量 (Bq/m ²)				細根の割合 (%)
			堆積有機物	土+根	土のみ	細根のみ	
冬住 事業地	作業区 (間伐予定地)	堆積有機物	146,000	-	-	-	-
		0-5cm	-	778,000	678,000	5,800	0.7%
		5-10cm	-	77,800	71,800	173	0.2%
		10-20cm	-	20,500	20,200	43	0.2%
	対照区	堆積有機物	175,000	-	-	-	-
		0-5cm	-	370,000	399,000	2,770	0.7%
		5-10cm	-	94,400	95,500	753	0.8%
		10-20cm	-	38,900	37,900	275	0.7%
高倉 事業地	作業区 (間伐予定地)	堆積有機物	166,000	-	-	-	-
		0-5cm	-	458,000	570,000	5,330	1.2%
		5-10cm	-	64,400	73,200	313	0.5%
		10-20cm	-	46,400	49,400	203	0.4%
	対照区	堆積有機物	224,000	-	-	-	-
		0-5cm	-	563,000	799,000	13,000	2.3%
		5-10cm	-	171,000	260,000	523	0.3%
		10-20cm	-	57,000	79,400	77	0.1%
飯樋 事業地	作業区 (間伐予定地)	堆積有機物	41,400	-	-	-	-
		0-5cm	-	514,000	460,000	634	0.1%
		5-10cm	-	179,000	146,000	174	0.1%
		10-20cm	-	23,700	23,500	35	0.1%
	対照区	堆積有機物	67,900	-	-	-	-
		0-5cm	-	446,000	468,000	2,980	0.7%
		5-10cm	-	54,200	63,900	352	0.6%
		10-20cm	-	13,200	13,500	71	0.5%

細根の割合は土壌(土+根)の現存量(Bq/m²)に対する細根(細根のみ)の現存量(Bq/m²)

「-」は該当する試料が存在しなかったことを示す。

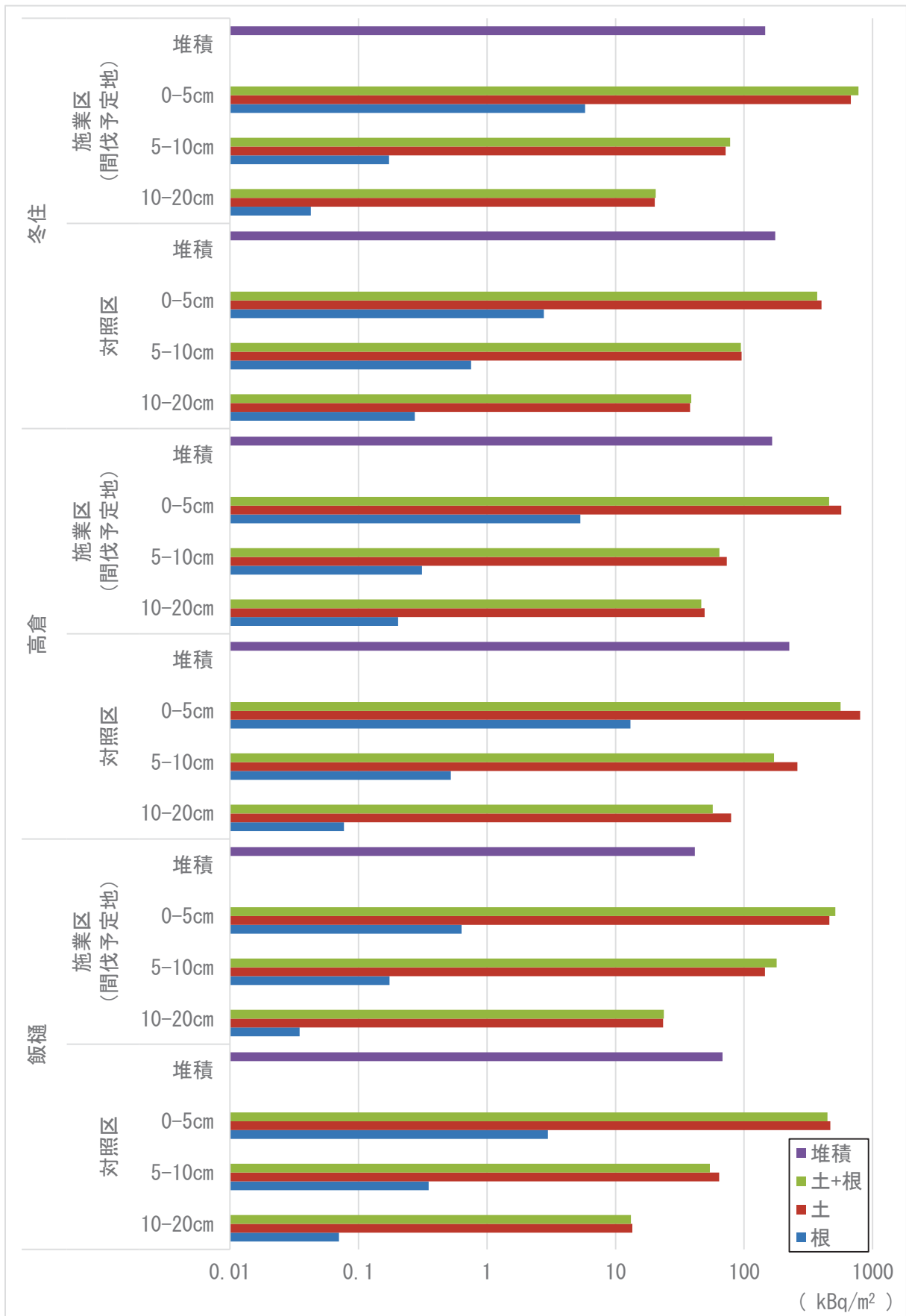


図 4-25 堆積有機物、土壌、及び細根に含まれる放射性セシウム (Cs-137) 現存量の層位・土壌深度ごとの比較 (3 点の平均値、横軸対数目盛)

1) 細根による放射性セシウム (Cs-137) 移動量

細根による放射性セシウム (Cs-137) の年間移動量を表 4-19、図 4-26、図 4-27 にそれぞれ示す。年間移動量は単位面積・深度当たりの細根量と放射性セシウム (Cs-137) 濃度を乗することにより推計した。どの作業区においても、年間移動量は 0-5cm の深さで高く、5-10cm、10-20cm と深くなるにつれて少なくなる傾向であった。

次に、各地点の現存量に対する細根による年間移動量の割合についても 0-5cm が高く、5-10cm、10-20cm と深くなるにつれ、少なくなる傾向が確認できるが、年間当たり最低 0.004% から最高 0.98% と、僅かな割合であった。

表 4-19 細根による放射性セシウム (Cs-137) 年間移行量 (3 点の平均値)

試験地	作業区	Cs-137 現存量 (kBq/m ²)	層位 (深度)	単位面積・深度 当たりの細根量 (g/m ²)	細根による 年間下方移動量 (kBq/m ² /year)	現存量に対する細根 下方移動量の割合 (%)
冬住 事業地	作業区 (間伐予定地)	1,022	0-5cm	0.27	5.68	0.56%
			5-10cm	0.12	0.14	0.014%
			10-20cm	0.07	0.04	0.004%
	対照区	678	0-5cm	0.23	2.69	0.40%
			5-10cm	0.18	0.61	0.09%
			10-20cm	0.11	0.26	0.04%
高倉 事業地	作業区 (間伐予定地)	735	0-5cm	0.42	4.48	0.61%
			5-10cm	0.33	0.27	0.04%
			10-20cm	0.39	0.21	0.03%
	対照区	1,015	0-5cm	0.51	9.97	0.98%
			5-10cm	0.17	0.45	0.04%
			10-20cm	0.14	0.07	0.007%
飯樋 事業地	作業区 (間伐予定地)	758	0-5cm	0.18	0.64	0.08%
			5-10cm	0.08	0.16	0.02%
			10-20cm	0.07	0.03	0.004%
	対照区	581	0-5cm	0.49	2.49	0.43%
			5-10cm	0.31	0.22	0.04%
			10-20cm	0.15	0.05	0.009%

細根の割合は土壌(土+根)の現存量(Bq/m²)に対する細根(細根のみ)の現存量(Bq/m²)

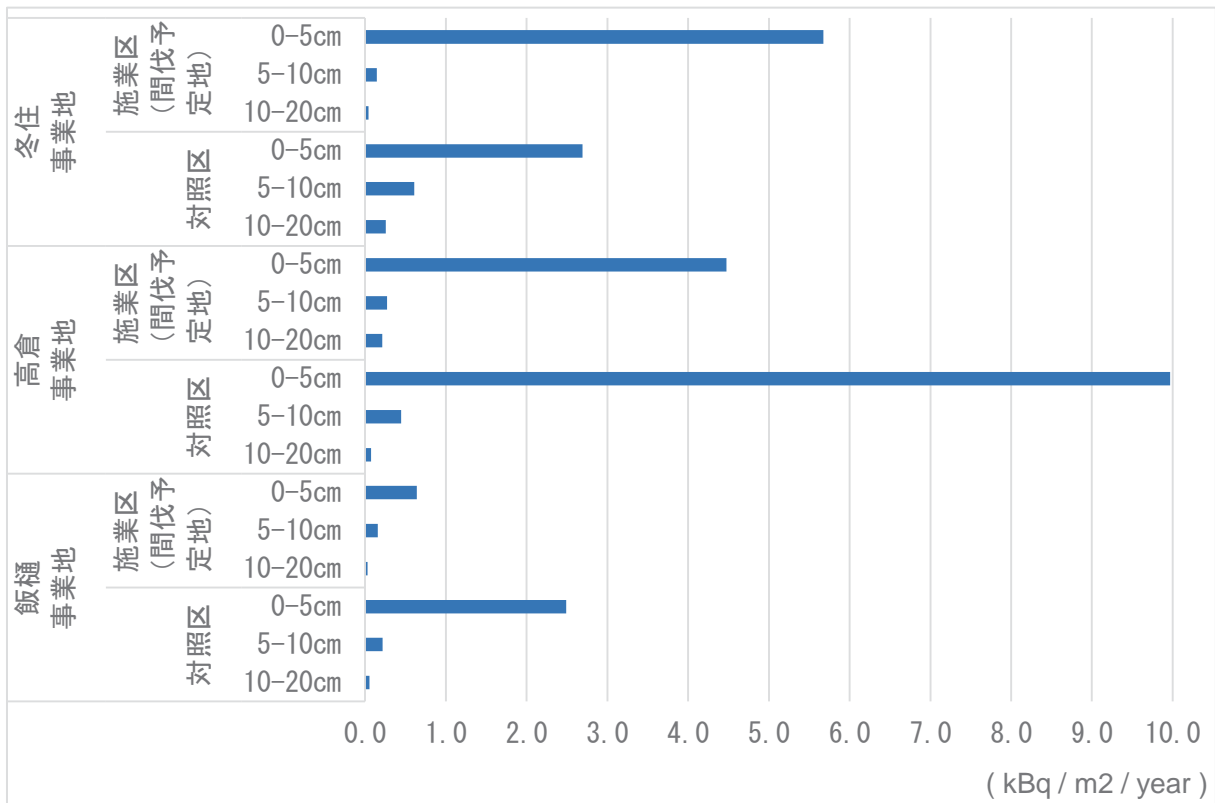


図 4-26 細根による放射性セシウム (Cs-137) 年間移行量 (kBq/m²/year) (3 点の平均値)

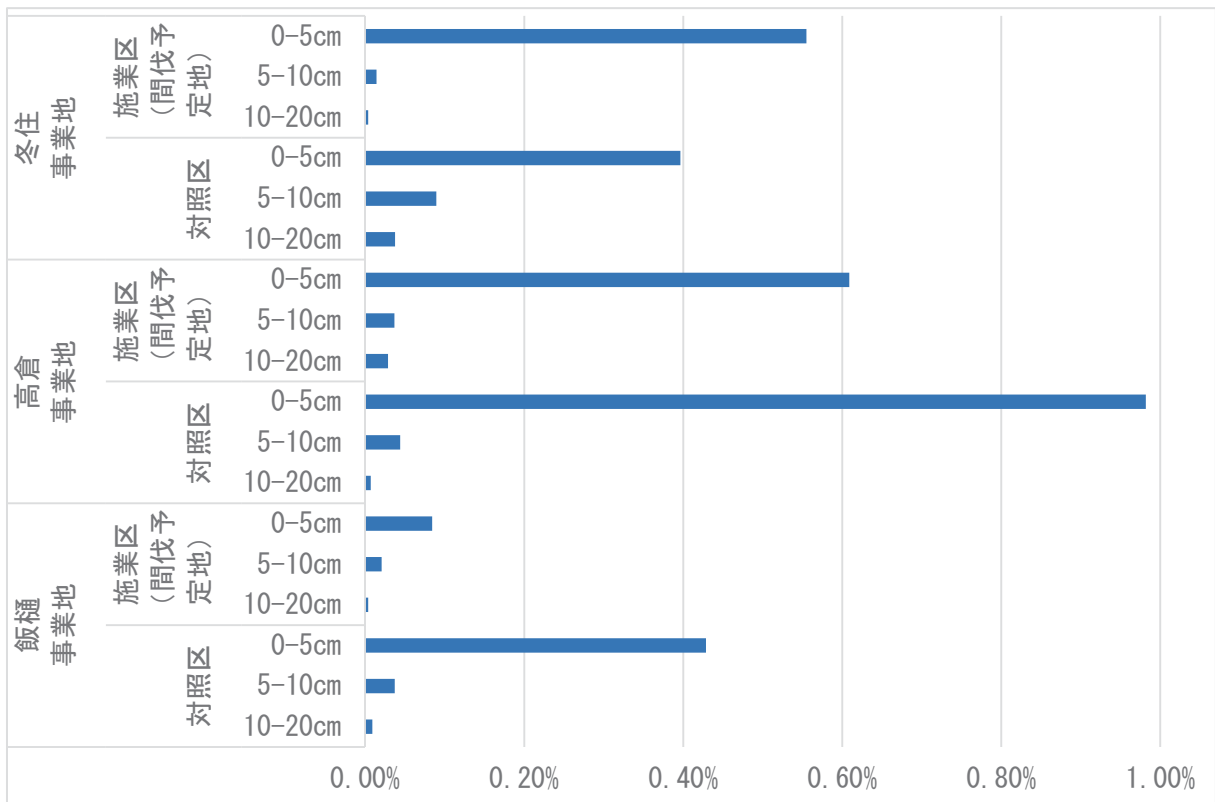


図 4-27 現存量に対する細根による放射性セシウム (Cs-137) 年間下方移行割合 (3 点の平均値)

4.7. 土壌等の放射性物質濃度の測定（スクレーパープレートによる深度別土壌調査）

(1) 試験地と試験方法

本調査は、新規試験地の森林施業区及び対照区で実施した。土壌採取地点は施業区及び対照区からそれぞれ2箇所選定した。土壌採取にあたっては、ライシメータ設置箇所から5m程度以内の地表攪乱が見られない箇所を選定した。

試料採取日及び採取地点数等を表4-20、試料採取地点を図4-28～図4-30に示す。採取範囲は、スクレーパープレートのフレームサイズである15cm×30cmとし、堆積有機物は、鉍質土層が出る深度まで全量を採取した。土壌については、スクレーパープレートを用いて、深度別の試料を採取した。採取深度は、0～2cm、2～5cm、5～10cm、10～15cm、15～20cm、20～30cmの6層とした。ただし、一部の試料は、下層の土壌を採取する際に上層の土壌がこぼれ落ちて下層土壌試料に混ざるリスクを軽減する目的から、15～20cmや20～30cmの層において円筒缶を用いて採取した。

採取した試料は、第5章に記載した方法により、放射性セシウム濃度等を測定した。

表4-20 スクレーパープレート調査実施日等

試験地	試験区別	採取地点数	土壌試料採取日 (令和3(2021)年)	初期沈着量 (kBq/m ²)
南相馬市 2011 林班ち3小班	森林施業区	2	11月15日	720
	対照区	2	11月19日	
南相馬市 2031 林班い小班	森林施業区	2	10月7日	990
	対照区	2	10月7日	
飯館村 2336 林班	の小班	2	10月8日	900
	ら小班	2	10月8日	

※「初期沈着量」は、平成23(2011)年7月2日(第3次航空機モニタリング結果と同一日)時点の放射性セシウム(Cs-137)沈着量。



堆積有機物層

土壌2cm除去後

土壌30cm除去後

写真4-7 スクレーパープレートによる土壌採取の様子

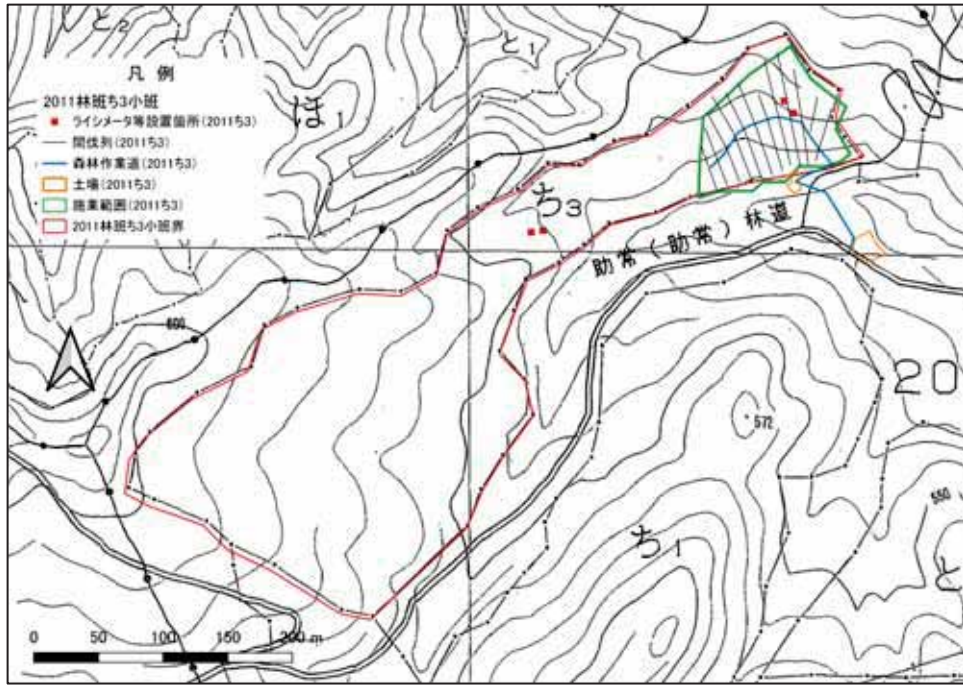


図 4-28 土壌調査箇所位置図 (2011 林班ち 3 小班)

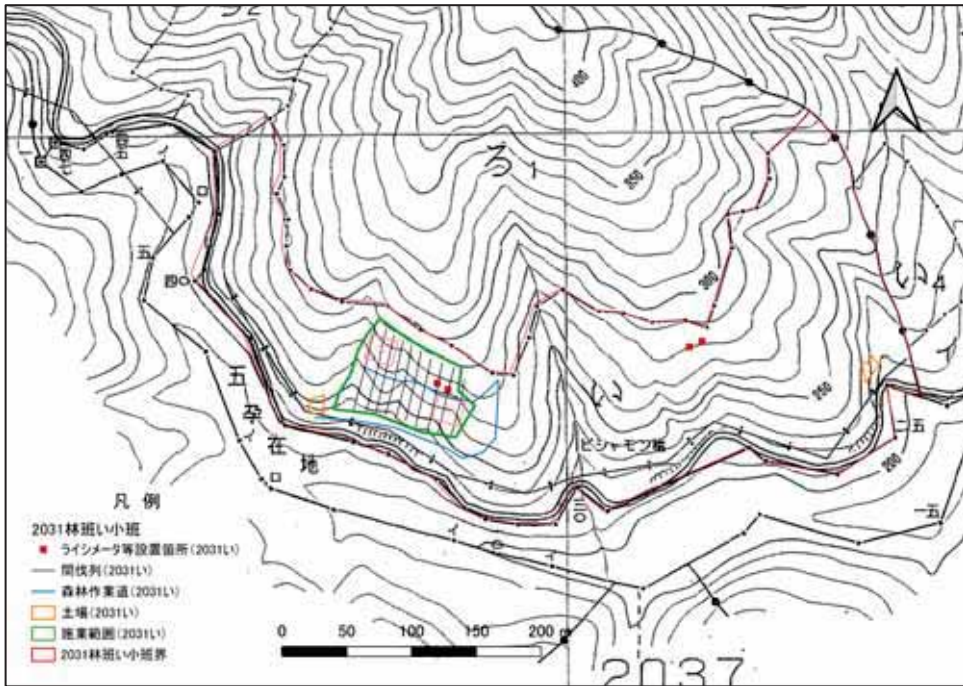


図 4-29 土壌調査箇所位置図 (2031 林班い小班)

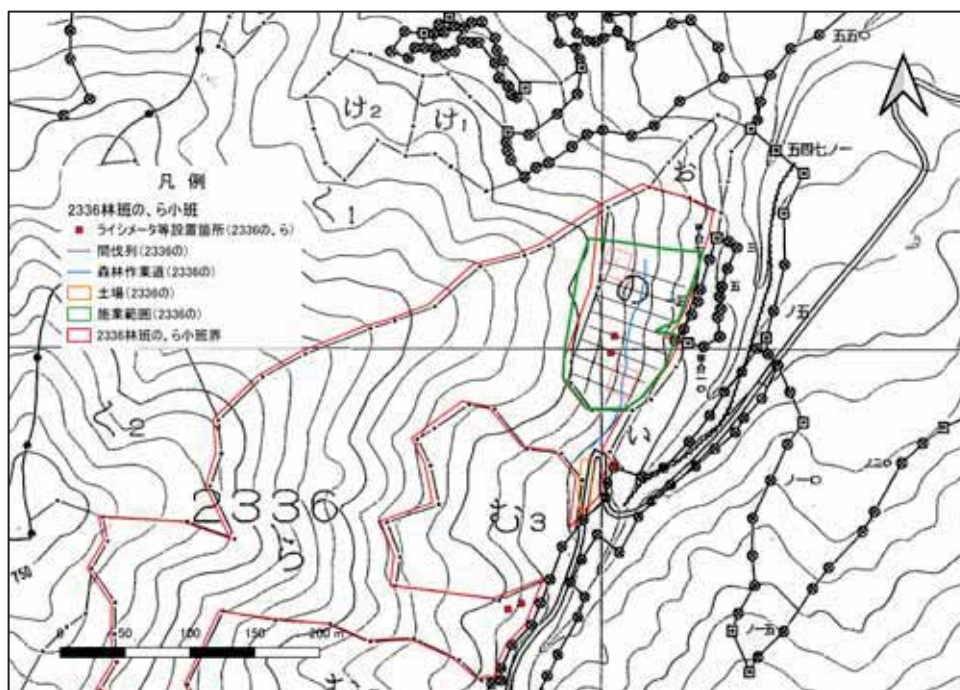


図 4-30 土壤調査箇所位置図（2336 林班の小班及びら小班）

(2) 試験結果

ライシメータ調査箇所における土壤等調査の結果を放射性セシウム濃度に関しては図 4-31～図 4-33 に、放射性セシウム現存量に関しては図 4-34～図 4-36 に整理した。

また、緩衝深度をそれぞれ求め、表 4-21 に整理した。緩衝深度は 2～3cm 台の値が多くみられた。

表 4-21 森林施業区及び対照区における緩衝深度

林小班名	森林施業区	緩衝深度 (cm)	対照区	緩衝深度 (cm)
南相馬市	森林施業区①	3.84	対照区①	2.74
2011 林班ち 3 小班	森林施業区②	3.90	対照区②	2.77
南相馬市	森林施業区①	3.19	対照区①	3.11
2031 林班い 小班	森林施業区②	3.50	対照区②	3.90
飯館村	森林施業区①	3.73	対照区①	3.12
2336 林班の、ら 小班	森林施業区②	5.61	対照区②	1.99

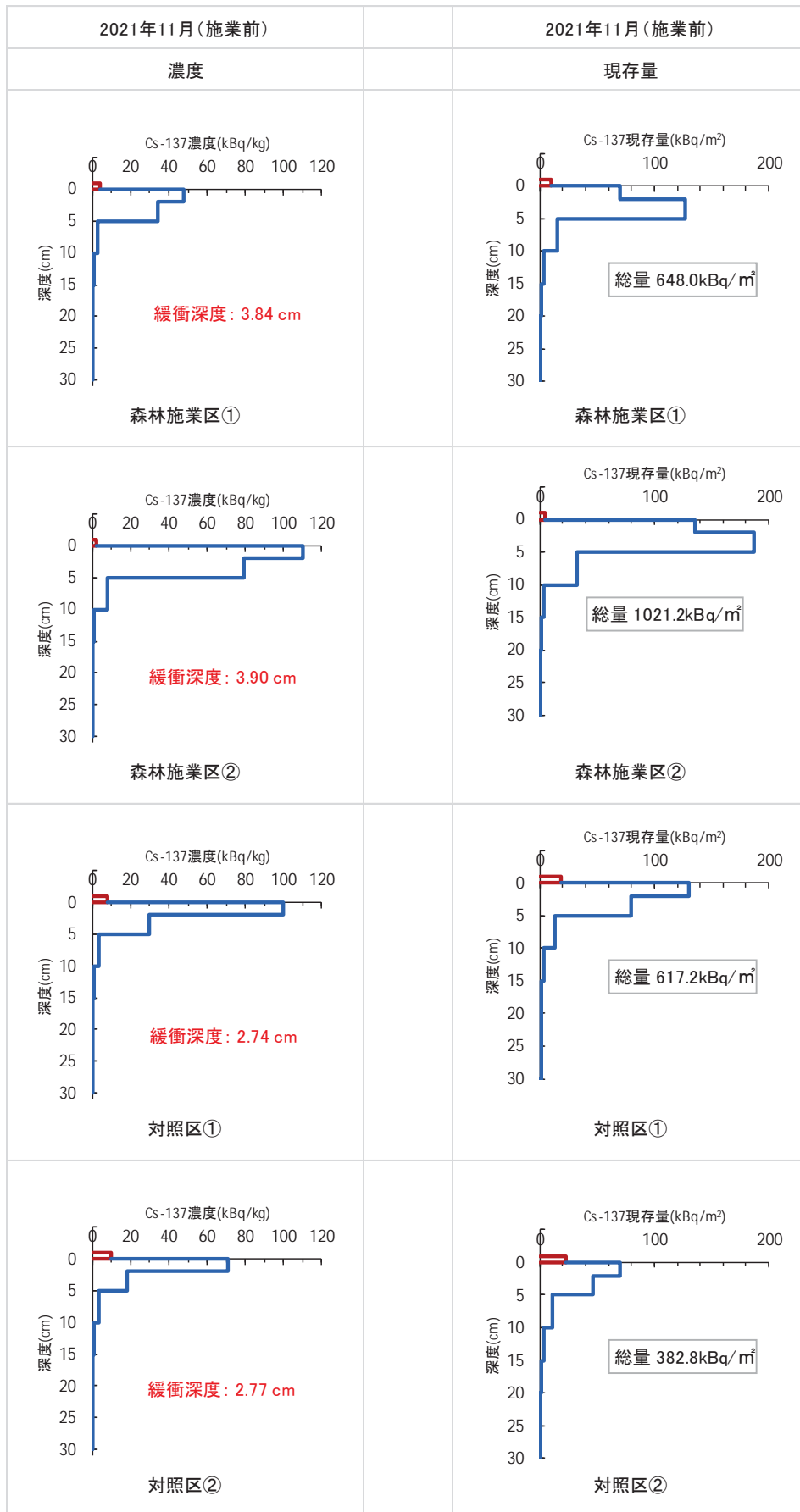


図 4-31 土壤深度別放射性セシウム濃度及び現存量 (南相馬市 2011 林班ち 3 小班)

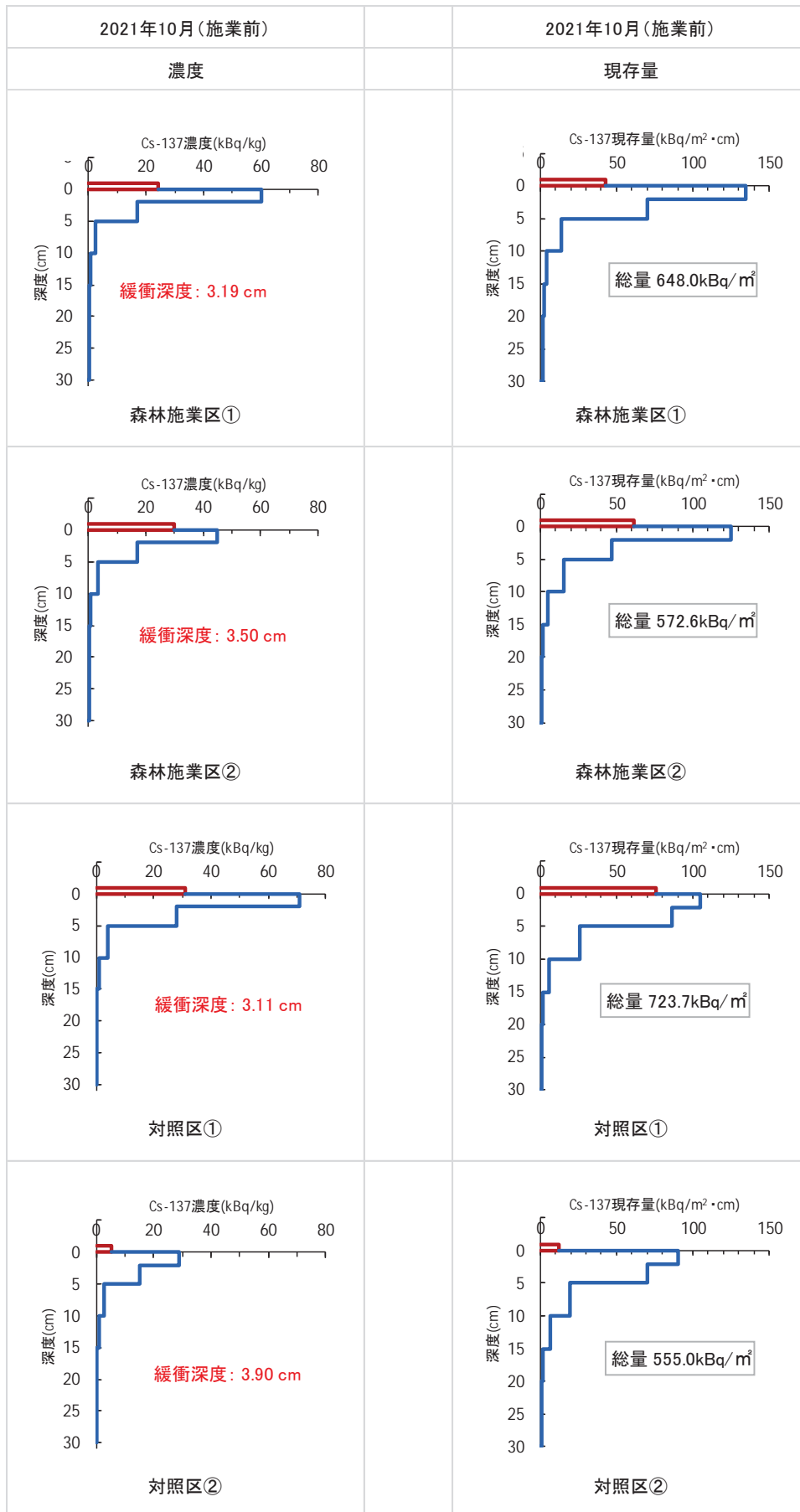


図 4-32 土壤深度別放射性セシウム濃度及び現存量 (南相馬市 2031 林班い小班)

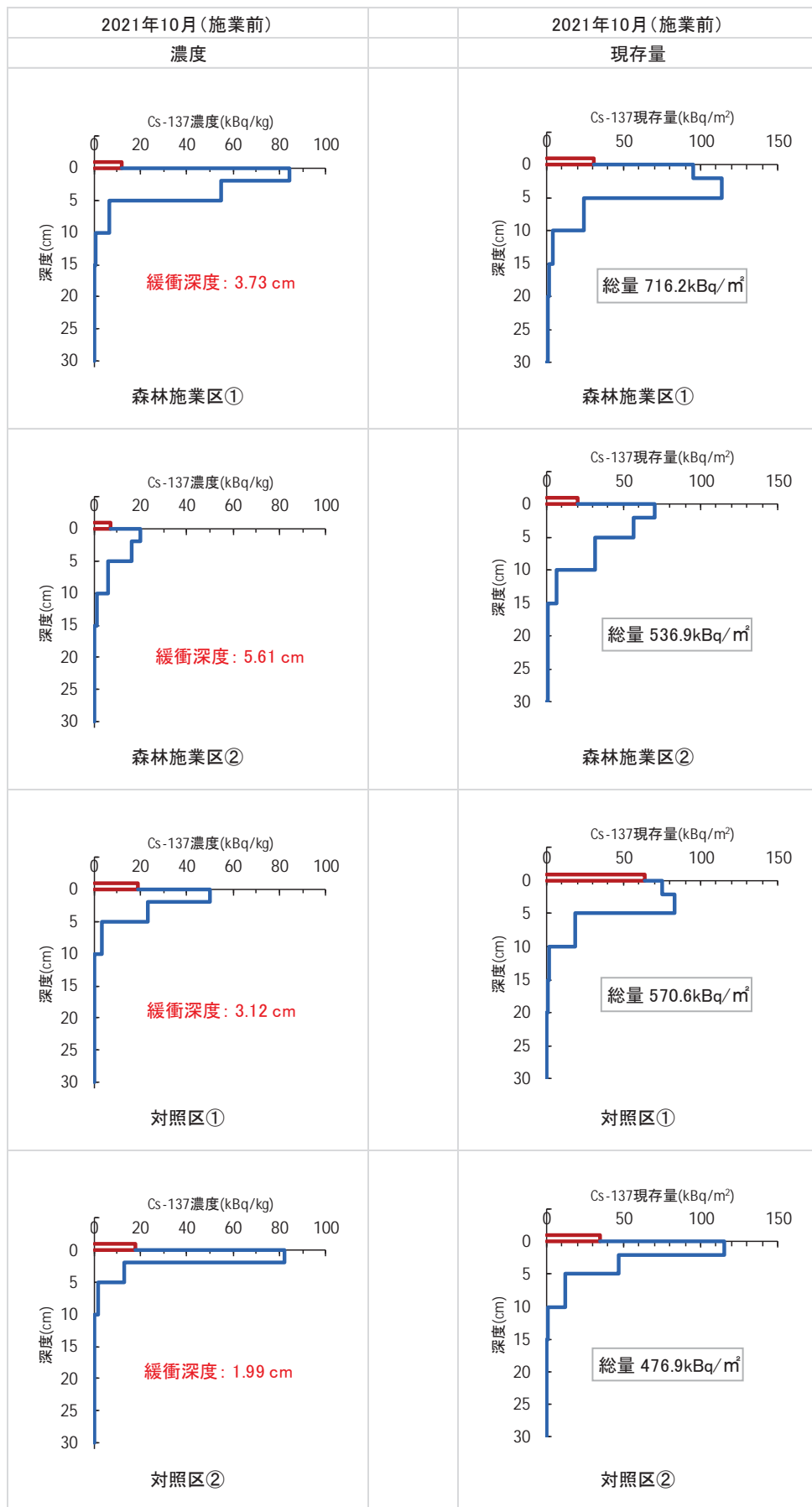


図 4-33 土壤深度別放射性セシウム濃度及び現存量 (飯館村 2336 林班の、ら小班)

4.8. 空間線量率の測定

(1) 試験方法

本調査は、新規試験地の森林施業区及び対照区で実施した(図 4-34～図 4-36)。森林施業区の空間線量率測定点は、試験区内に 20m 毎に設定した格子点とした。対照区については、毎木プロット調査の方形区上に 9 点設定した。いずれも測定点には今後のモニタリングが可能になるよう杭を打設した。

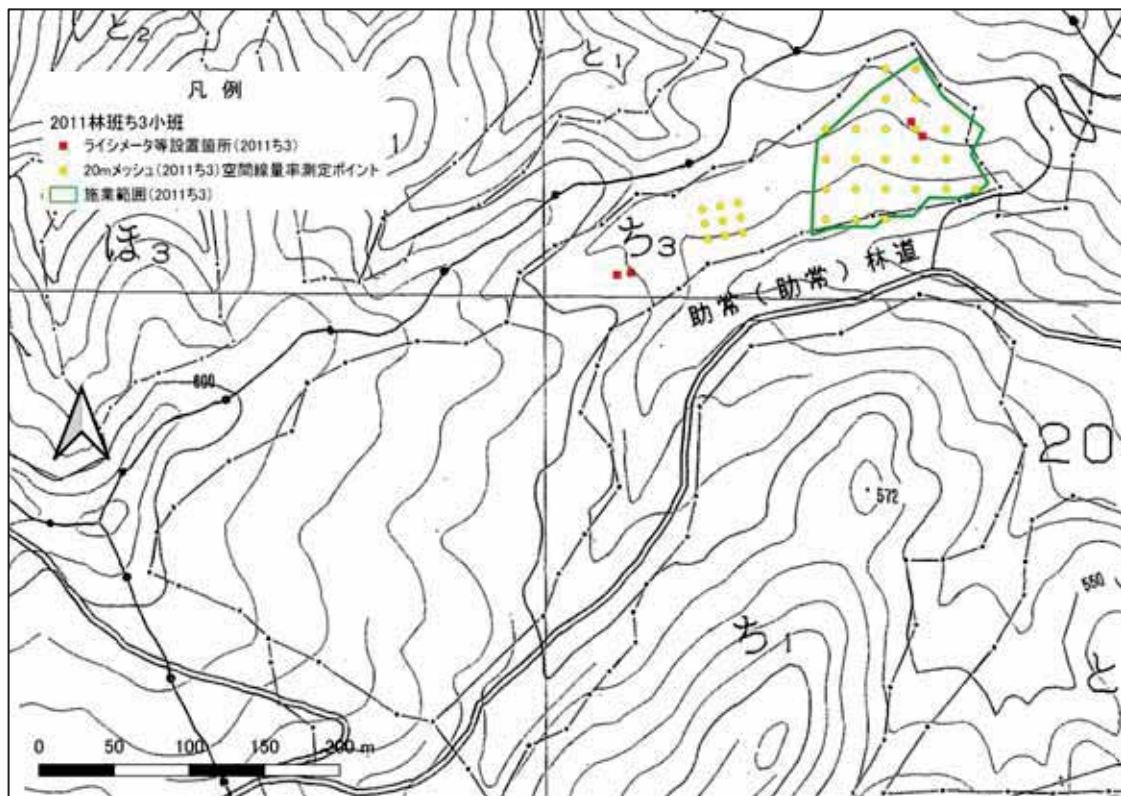


図 4-34 空間線量率測定点 (2011 林班ち 3 小班)

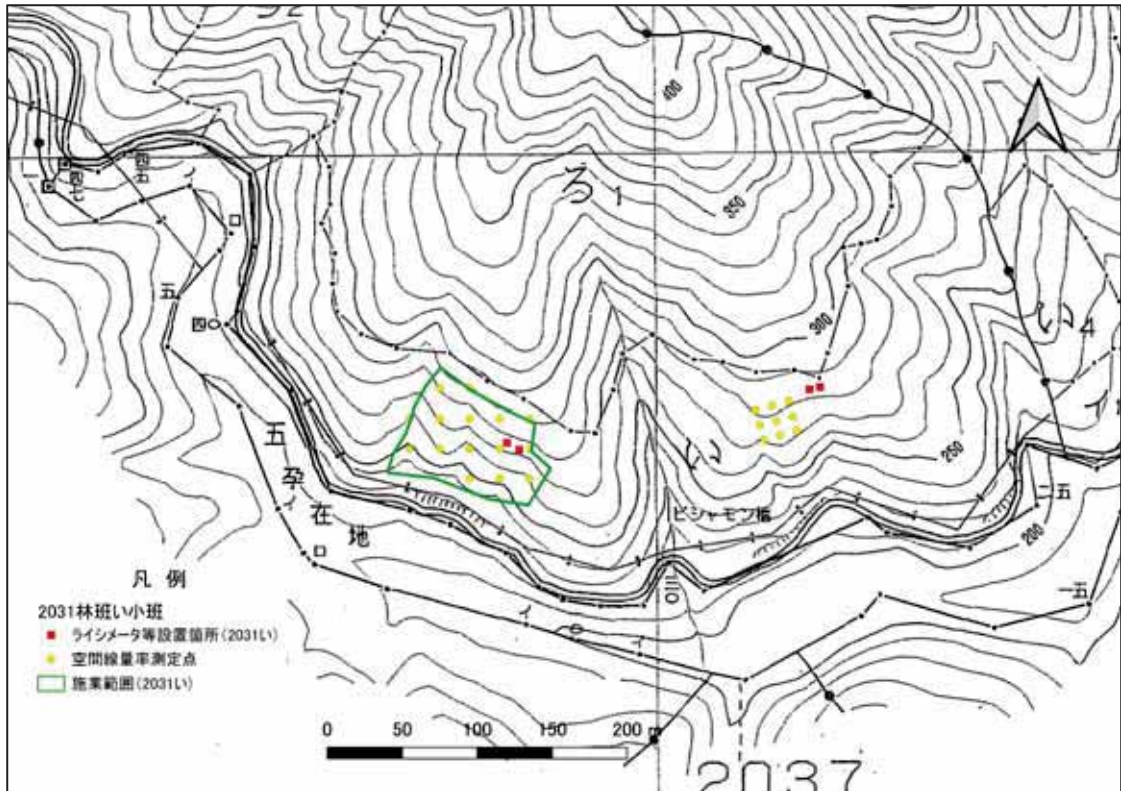


図 4-35 空間線量率測定点 (2031 林班い小班)

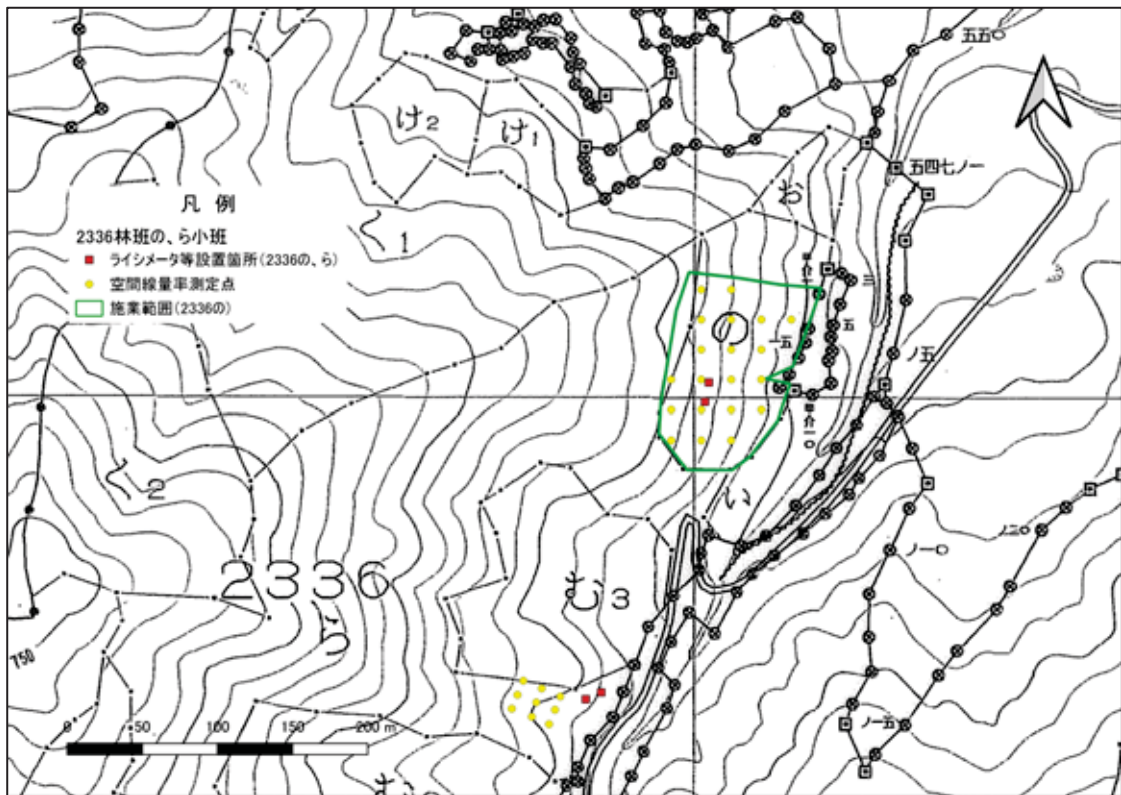


図 4-36 空間線量率測定点 (2336 林班の小班及びら小班)

(2) 調査結果

試験区別の空間線量率の測定結果を表 4-22、図 4-37 に示す。

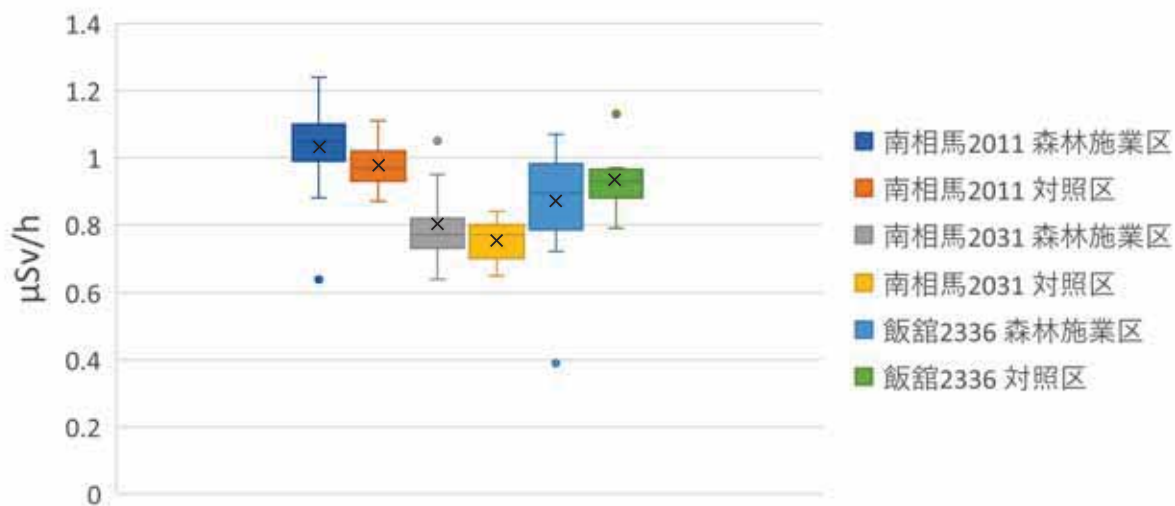
試験区別にみると、若干大きく外れた値がみられるものの、概ね平均値の $\pm 0.2\mu\text{Sv/h}$ 以内に測定値が収まっている。

表 4-22 調査地の空間線量率

樹種	林小班名 (市町村名)	測定日	種別	空間線量率※1 ($\mu\text{Sv/h}$)	初期沈着量※2 (kBq/m^2)
スギ	2011 林班ち3小班 (南相馬市)	2021年 12月7日	森林施業区 (測定点数 n=23)	1.03	720
		2021年 12月7日	対照区 (測定点数 n=9)	0.98	
	2031 林班い小班 (南相馬市)	2021年 12月15日	森林施業区 (測定点数 n=15)	0.80	990
		2021年 12月15日	対照区 (測定点数 n=9)	0.75	
	2336 林班の小班 2336 林班ら小班 (飯館村)	2021年 12月7日	森林施業区 (測定点数 n=20)	0.87	900
		2021年 12月7日	対照区 (測定点数 n=9)	0.93	

※1 空間線量率の値は平均値

※2 文部科学省 放射線量等分布マップ (平成 23 年 7 月 22 日時点)



※箱ヒゲに関しては、巻末の「解釈に関する補足・用語解説」(2) グラフ図示方法 (箱ひげ図) を参照のこと。

※×印は平均値を示す。

図 4-37 試験区別の空間線量率比較

5. 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。

5.1. 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。

5.2. 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、粉碎器等で 4mm 以下に粉碎した。破碎した試料は、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。

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。

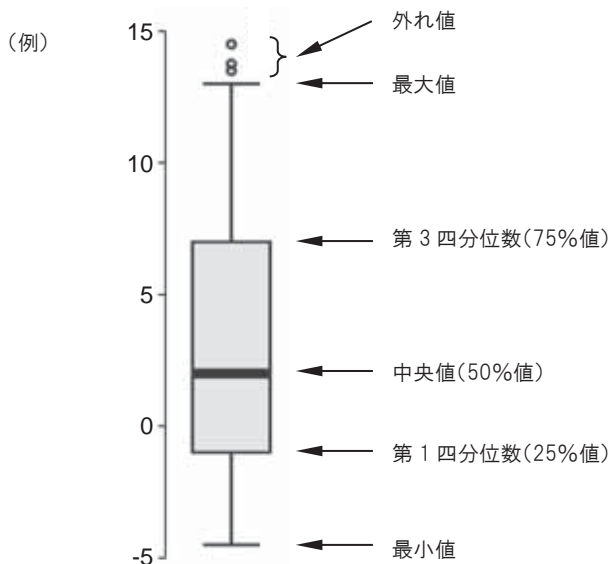
放射性物質の量を扱う上では、「重さとしての情報」と「面としての情報」の2種類の扱いがある。前者は、物質の単位重量当たりの放射エネルギーであり、「放射性物質濃度」を指す。単位は [Bq/kg] を用いる。後者は、単位面積当たりの総放射エネルギーであり、「放射性物質現存量」「放射性物質沈着量」を指す。「インベントリー (Inventory)」と表現することもある。単位は [Bq/m²] を用いる。

(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、

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

(4) 緩衝深度

緩衝深度は放射性物質濃度が地表面の $1/e$ ($\approx 1/2.7$) になる深度で、放射性物質の地中への移行の程度を表すパラメータとして用いられるものである。森林土壌中の放射性セシウム濃度分布を指数関数分布と仮定して、各調査箇所の放射性セシウムの深度分布特性（緩衝深度： β ）について、計測された土壌深度分布を基に、各層の放射性物質濃度で重み付けをした最小自乗法により緩衝深度（cm 単位）を算出した。

なお、本事業では、緩衝深度の計算に、落葉層を含めていない。緩衝深度 β を決定するための式は次のとおりである。

$$A(t) = A_0 \cdot \exp\left(\frac{-t}{\beta}\right)$$

A_0 は地表面における放射性物質濃度、 $A(t)$ は深度 t における放射性物質濃度である。