

令和4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5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. 森林施業等が空間線量率に与える影響の検証	9
2.1. 調査目的	9
2.2. 皆伐が空間線量率に与える影響の把握（広野試験地）	9
(1) 目的	9
(2) 試験地と試験方法	9
(3) 空間線量率の測定	11
(4) 試験結果及び考察	12
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））	14
(1) 目的	14
(2) 試験地と試験方法	14
(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	28
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）	34
(1) 目的	34
(2) 試験地と試験方法	34
(3) 調査結果及び考察	37
2.6. 森林施業が空間線量率に与える影響の把握（過年度事業地）	41
(1) 目的	41
(2) 過年度事業地と施業内容	41
(3) 共通事項	42
(4) 調査結果	43
(5) 考察	85
3. 森林生態系内の放射性セシウム現存量分布の把握	90
3.1. 目的	90
3.2. 試験地と試験方法	91

(1) 試験地の概要	91
(2) 調査方法.....	93
(3) 試験結果及び考察.....	103
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	127
4.1. 目的	127
4.2. 事業地の概要	128
4.3. 事業地の選定	131
(1) 事業地選定にあたっての考え方.....	131
(2) 試験設計の概要.....	132
(3) 事業地選定条件.....	133
4.4. 森林施業の実施.....	134
(1) 森林施業内容の概要	134
(2) 森林施業内容.....	135
4.5. 土壌浸透水に含まれる放射性物質濃度の把握.....	155
(1) 試験地と試験方法.....	155
(2) 試験結果.....	161
4.6. 細根等による放射性物質移動の把握	165
(1) 試験地と試験方法.....	165
(2) 試験結果及び考察.....	173
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）.184	
(1) 試験地と試験方法.....	184
(2) 試験結果.....	186
4.8. 空間線量率の測定	192
(1) 試験方法.....	192
(2) 調査結果.....	196
5. 調査・分析方法	198
5.1. 空間線量率等の測定.....	198
5.2. 放射性セシウム濃度の測定	198
解釈に関する補足・用語解説	
(1) 放射性物質の単位.....	199
(2) グラフ図示方法（箱ひげ図）	199
(3) 平均値	200
(4) 緩衝深度.....	200

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、避難指示区域が順次解除されてきたところである。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、令和 4 年度より事業を開始したスギ林の 3 事業地（図 1-1）、コナラ林主体の 3 事業地（図 1-2）及び過年度事業において設定した下記 2 試験地及び 10 事業地（図 1-3～図 1-11）である。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

事業地	所在地	所有別	章			主な試験内容	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 林班の 1 小班、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
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
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
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
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
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
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
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
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
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

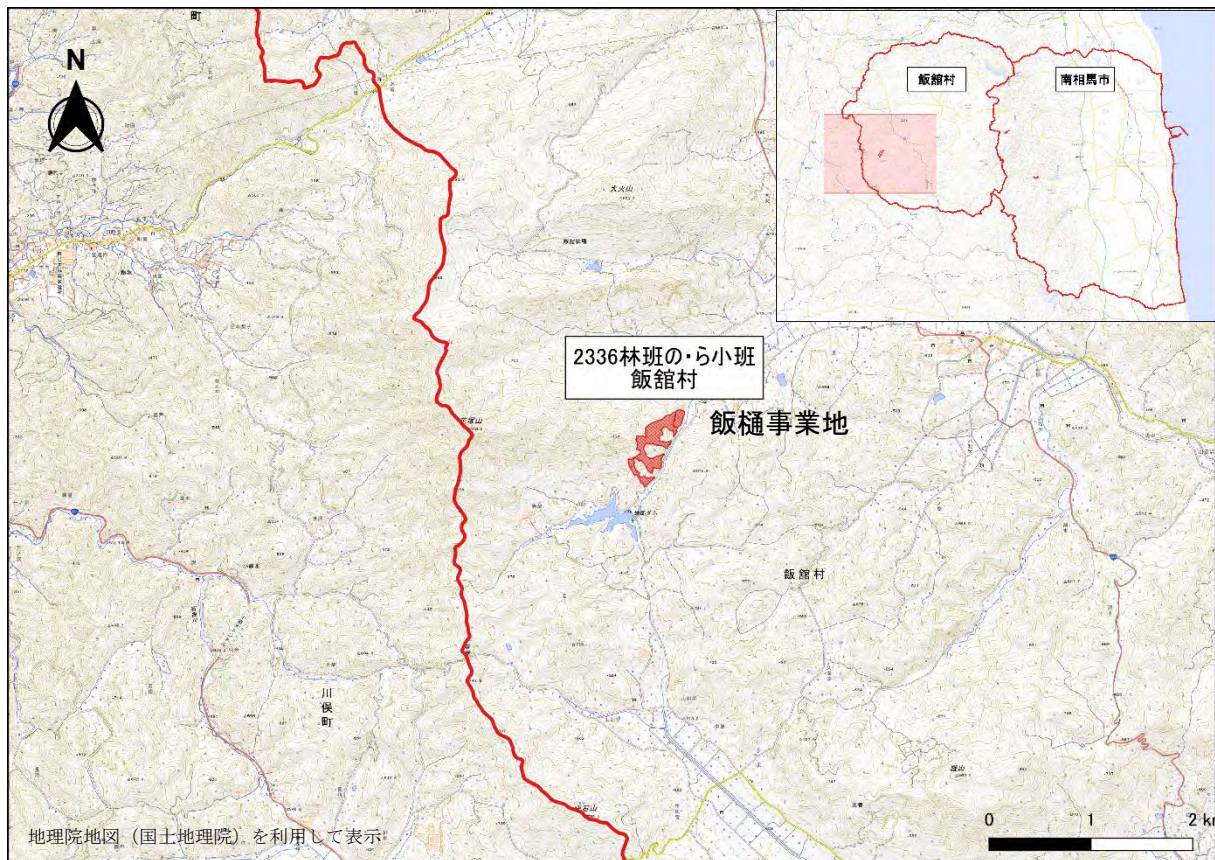
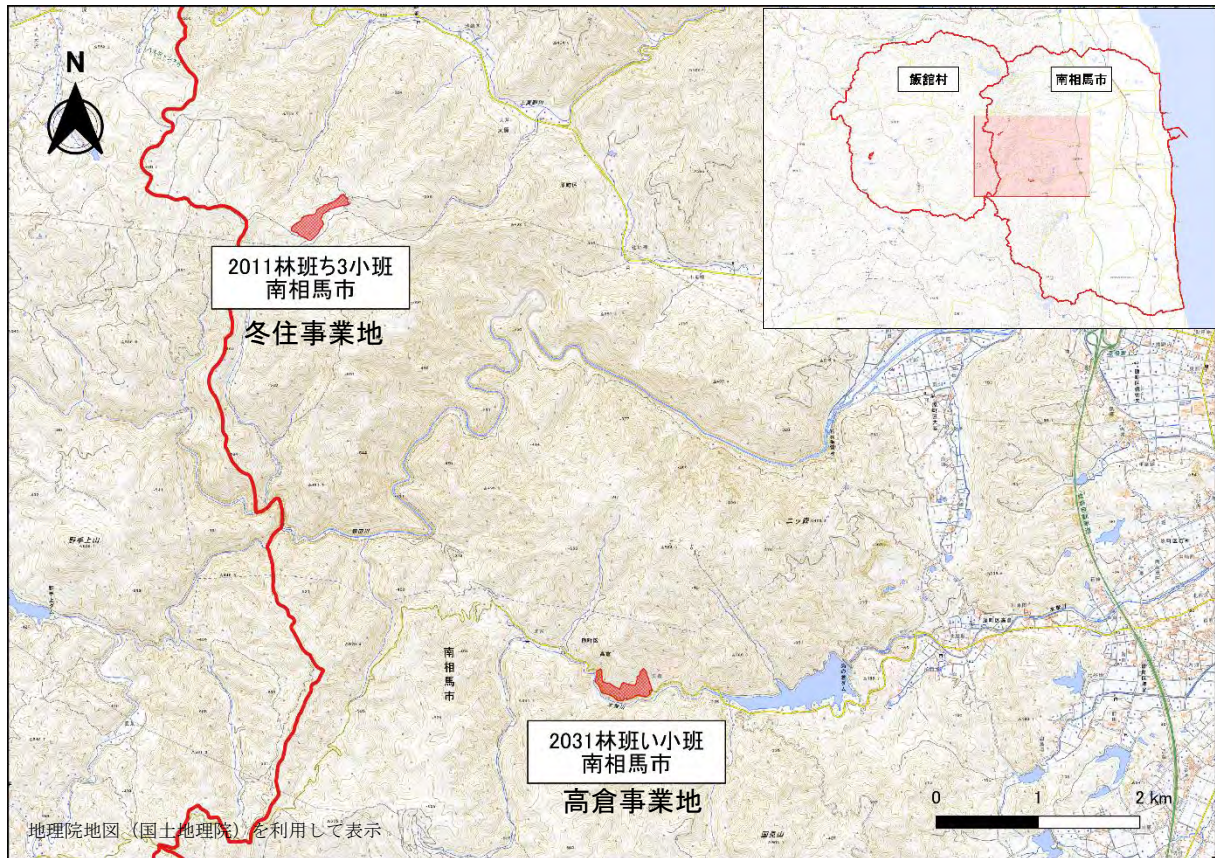


図 1-1 令和 4 年度より事業を開始したスギ林の事業地



図 1-2 令和 4 年度より事業を開始したコナラ林主体の事業地

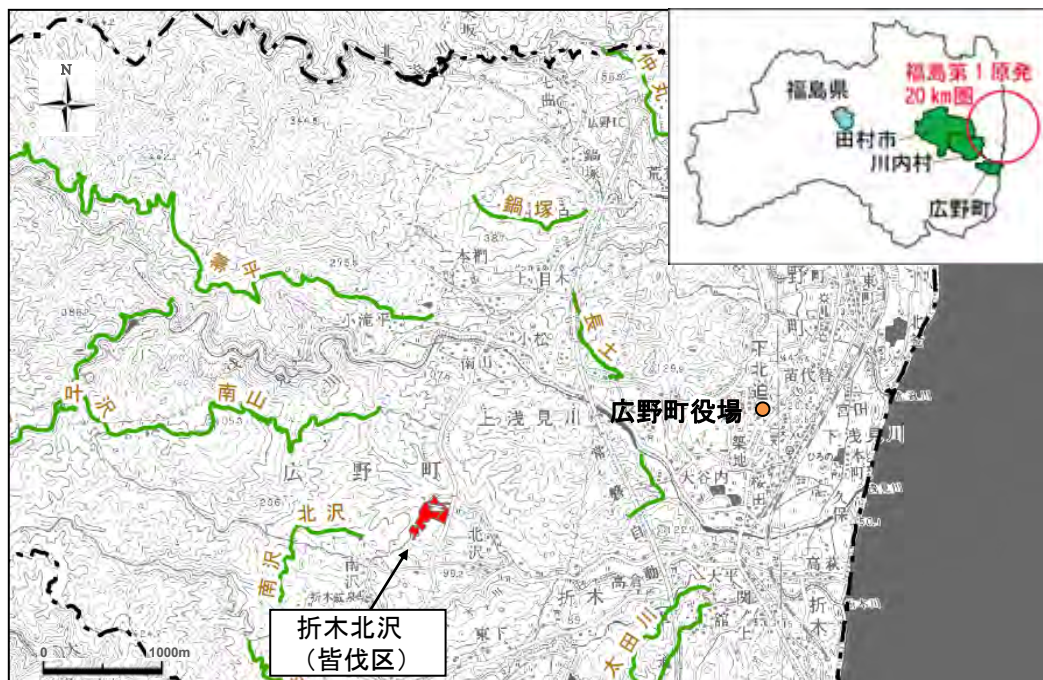


図 1-3 広野試験地位置図

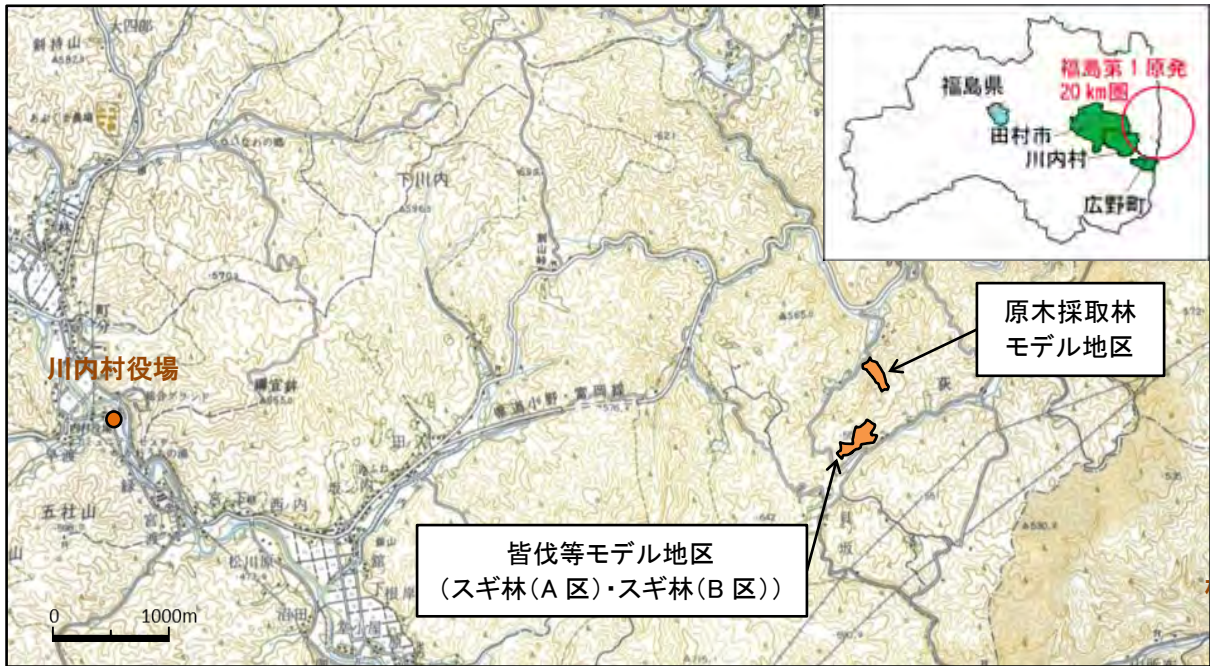


図 1-4 川内試験地位置図

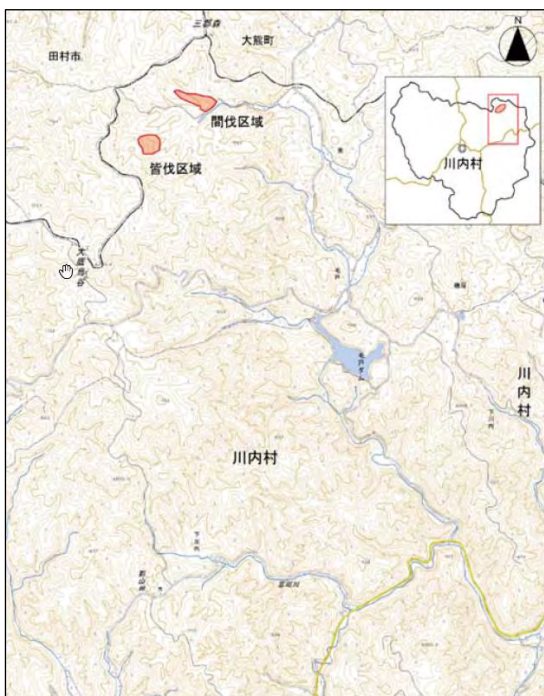


図 1-5 毛戸事業地位置図



図 1-6 大笹事業地位置図



図 1-7 大谷事業地位置図



図 1-8 羽倉事業地位置図



图 1-9 関沢事業地位置図



图 1-10 二枚橋、臼石事業地位置図

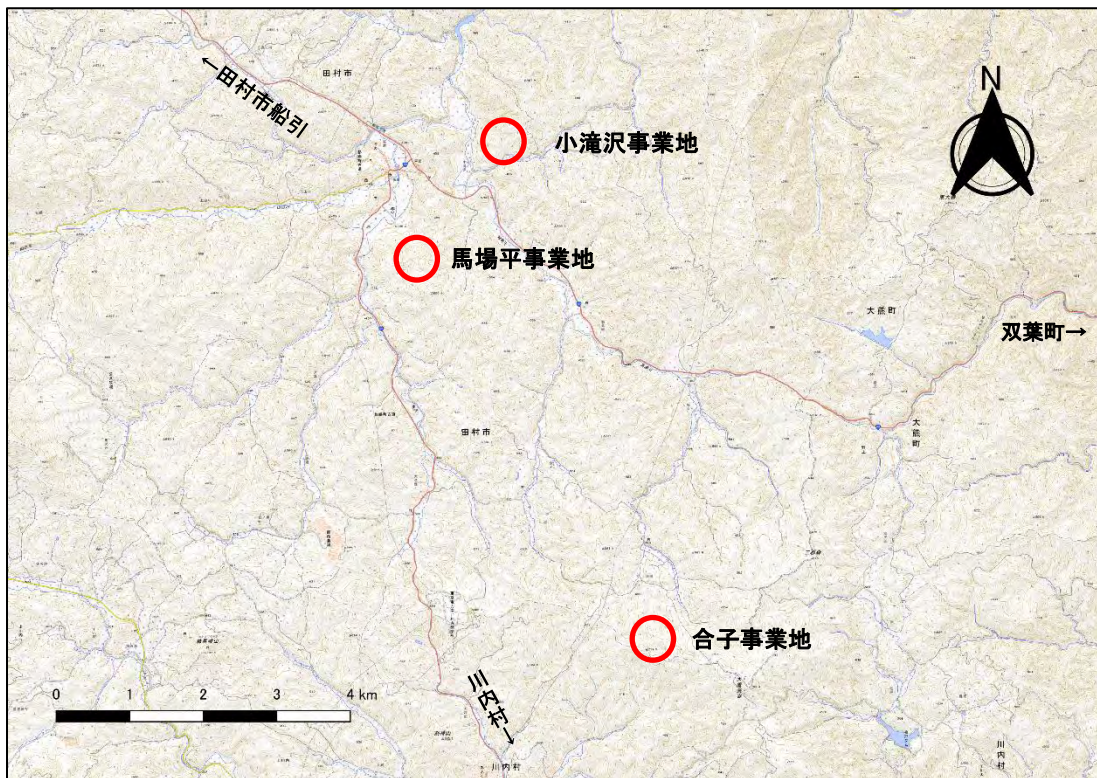


图 1-11 小滝沢、馬場平、合子事業地位置図

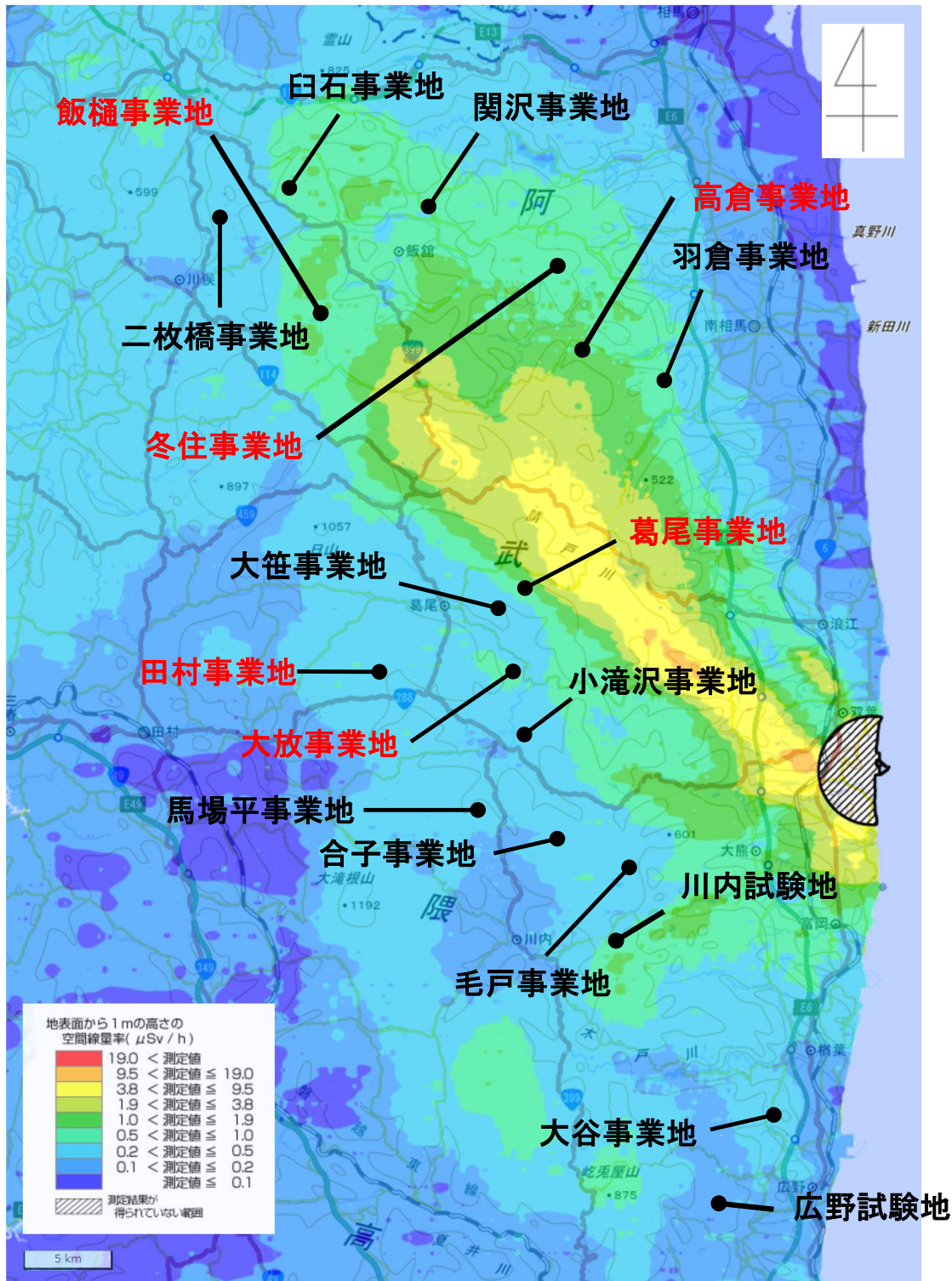


図 1-12 調査対象地位置と空間線量率

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）

※赤字で示した事業地は令和4年度より新規に開始した事業地を示す。このうち、高倉事業地、冬住事業地、飯樋事業地は「森林生態系内の放射性セシウム現存量分布の把握」及び「森林内の放射性物質の移動（下方浸透）の検証」を実施するスギ林分を指し、葛尾事業地、大放事業地、田村事業地は「森林生態系内の放射性セシウム現存量分布の把握」を実施するコナラ主体の林分を指す。

1.3. 事業の履行期間

本事業は、令和4(2022)年6月2日から令和5(2023)年3月17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」に係る調査及び、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」に係る調査並びに、その成果の取りまとめを目的として実施した。

(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4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に示したとおり、計3回開催して、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
丹治 俊宏	福島県森林組合連合会 代表理事専務
星 正治 (座長)	広島大学名誉教授 専門分野；線量測定・評価
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
吉田 好幸	福島県農林水産部 森林保全課 課長

注) 五十音順 敬称略

表 1-3 検討委員会

	開催時期
第 1 回	令和 4 (2022) 年 8 月 4 日 (木)
第 2 回	令和 4 (2022) 年 12 月 23 日 (金)
第 3 回	令和 5 (2023) 年 2 月 21 日 (火)

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 0.65 μ Sv/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 μ Sv/h	110kBq/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)

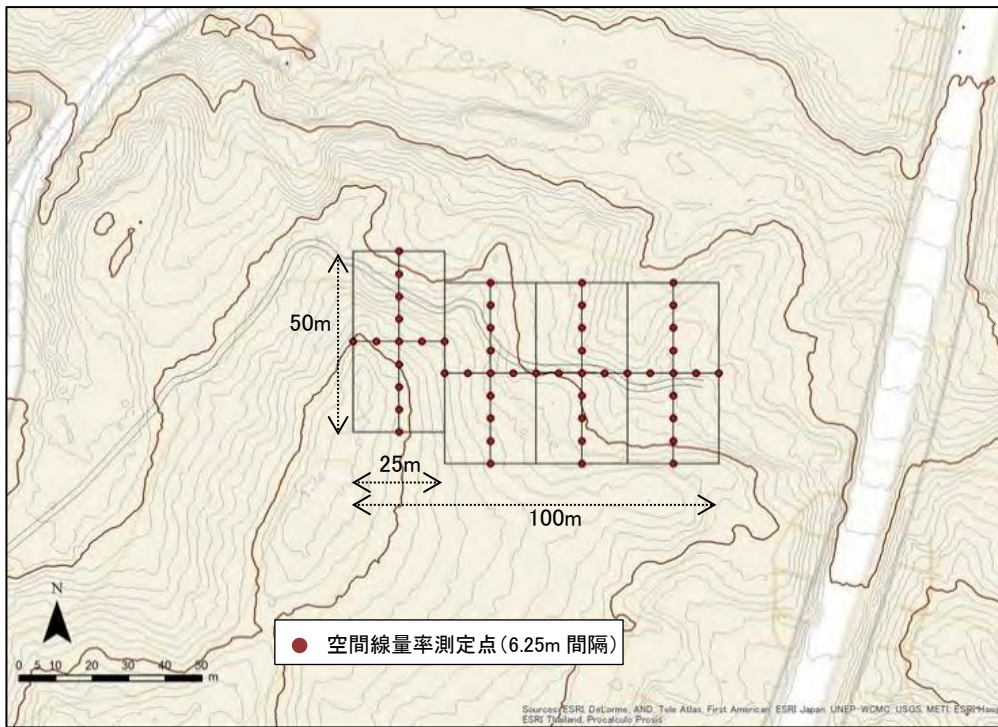


図 2-1 皆伐区



皆伐区 作業前



皆伐後



令和 3(2021)年 7 月時点



令和 4(2022)年 6 月時点



令和 4(2022)年 10 月時点



令和 5(2023)年 1 月時点

写真 2-1 皆伐区の概況

(3) 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、年度毎に3～4回ずつ、概ね3ヶ月毎に測定した(表 2-2)。測定点は、作業区の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0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	-	
10年4ヶ月	6/29	晴れ	-		
10年8ヶ月	10/28	晴れ	-		
10年11ヶ月	2023/1/20	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。

(4) 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 11 年間の空間線量率は、図中の赤色の破線で示す物理的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、物理的減衰に対する比率を表 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、物理的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、物理的減衰よりもやや低減が進んで推移していた。

作業完了後から約 11 年目となる今年度 (2021/7~2023/1) の空間線量率は、計測時期による差異はあるものの、物理的減衰による低減よりも 30~44%低減したことが示された。

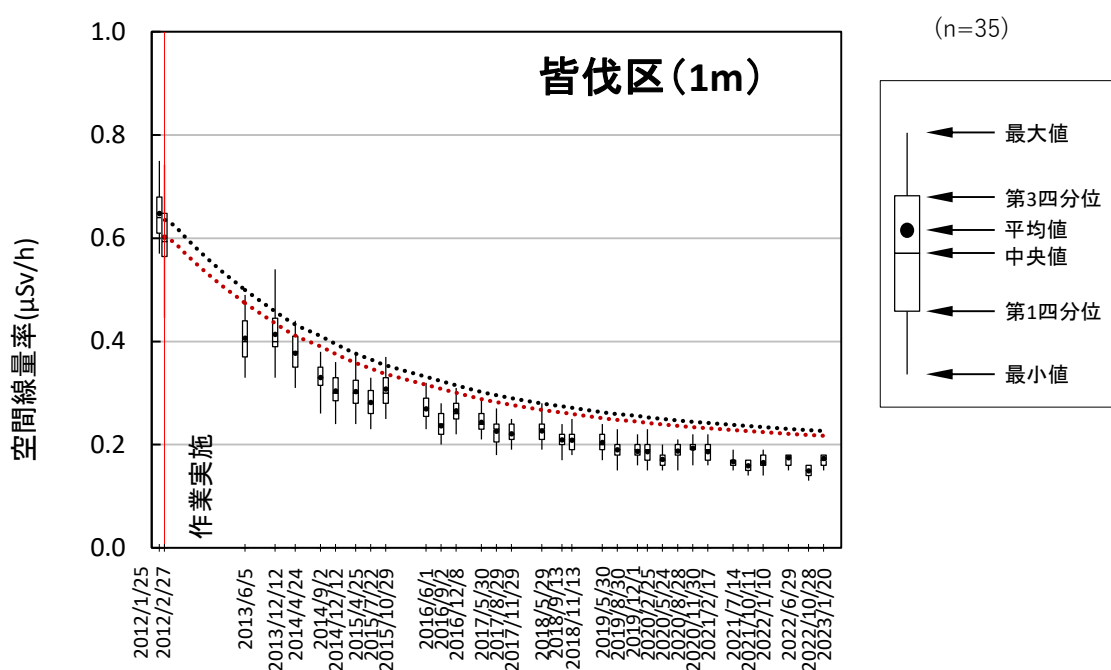


図 2-2 広野試験地における皆伐 (アカマツ広葉樹混交林) 実施後の空間線量率の推移

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的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的減衰による空間線量率の低減を示す。

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

表 2-3 物理的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	-28.5	±6.6
6月29日	-30.6	±7.0
10月28日	-44.2	±6.2
2023年 1月20日	-30.1	±6.7

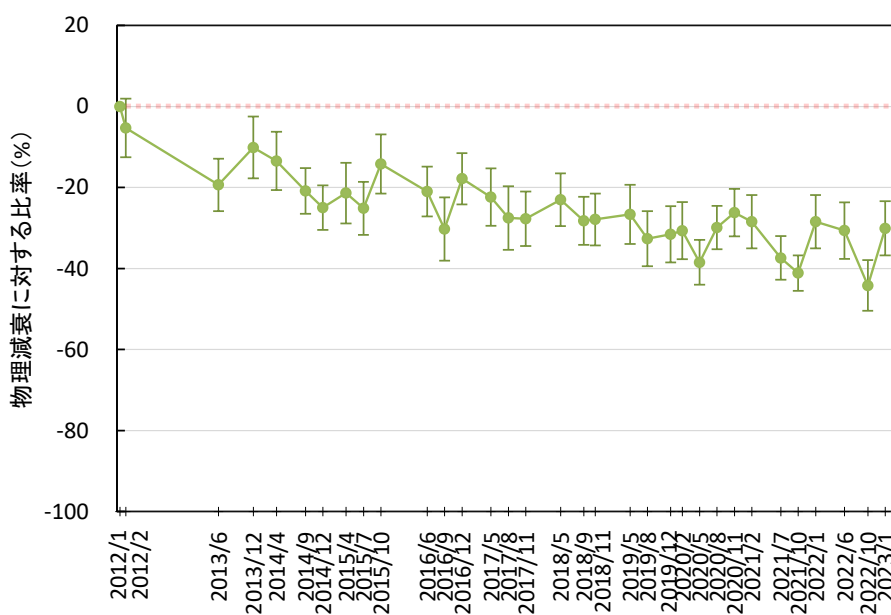


図 2-3 物理的減衰に対する空間線量率の比率の推移

※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。

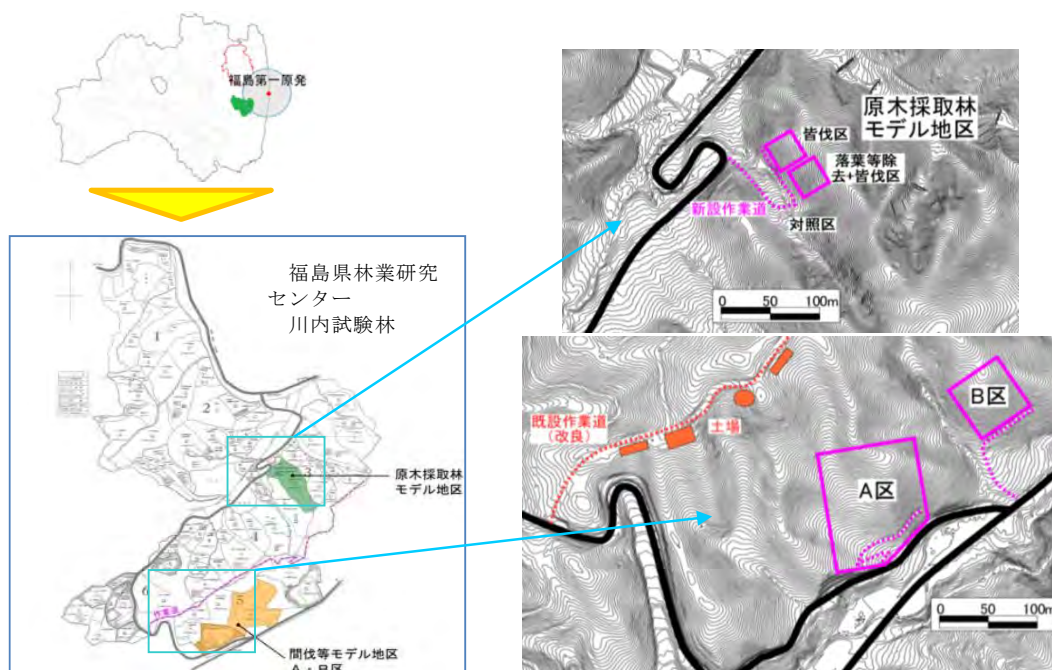


図 2-4 各試験区の位置図

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、5 m 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 5 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 5（2023）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。

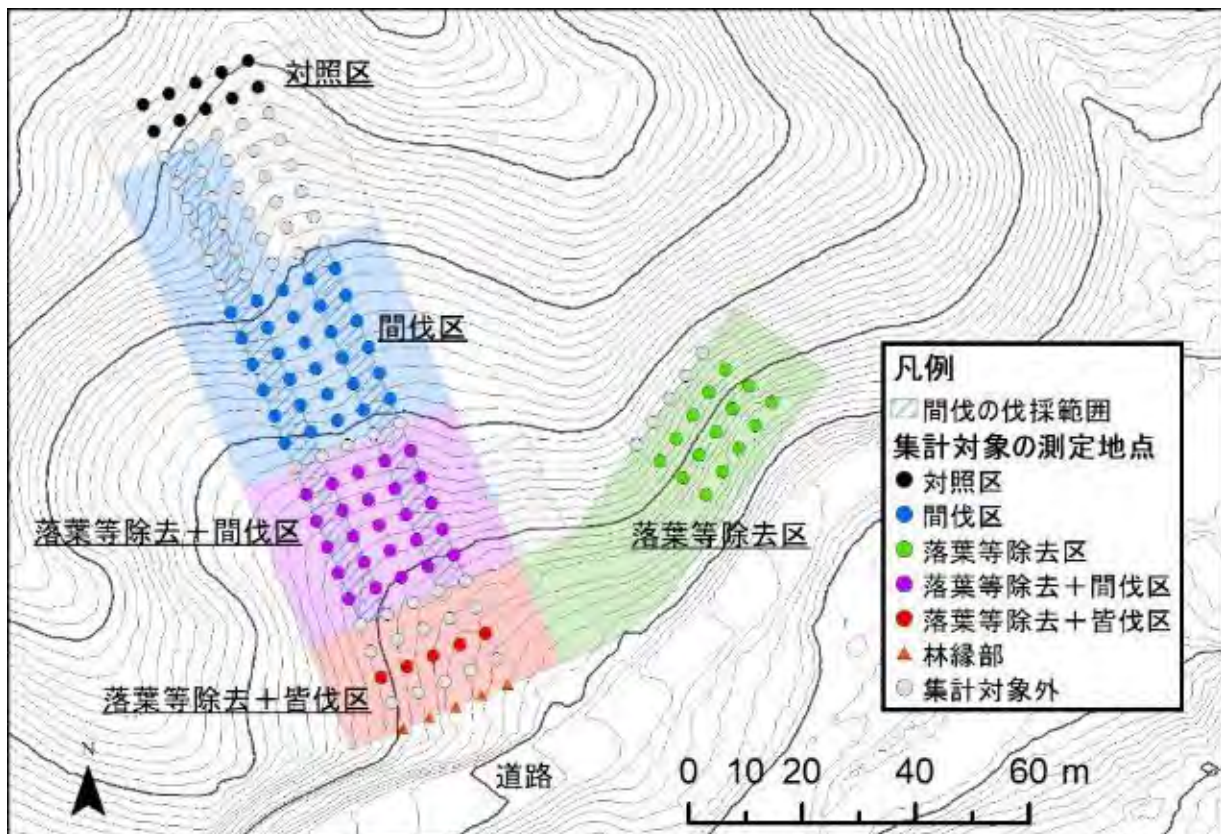


図 2-5 作業区の配置と空間線量率の測定範囲

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
37	令和 4(2022)年 8 月 29～30 日	10	30	15	25	5	5		雨、晴	無
38	令和 4(2022)年 11 月 22 日	10	30	15	25	5	5		晴	無
39	令和 5(2023)年 2 月 27 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。



対照区(林床)



間伐区(林床)



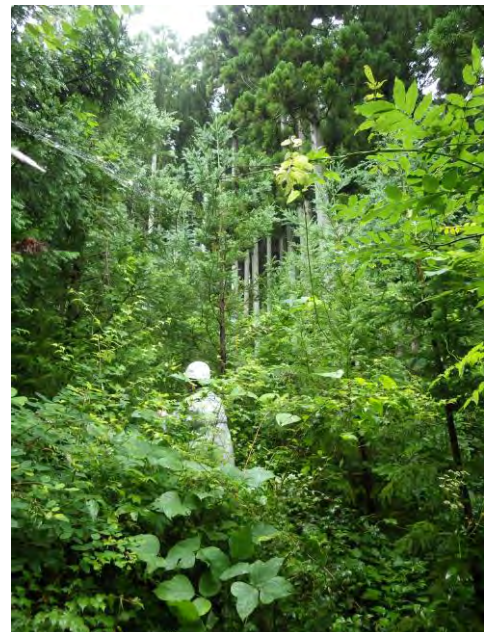
落葉等除去+間伐区(林床)



落葉等除去+皆伐区(林床)



落葉等除去区(林床)



落葉等除去+皆伐区

写真 2-2 スギ林 (A 区) の現地状況 (2022 年 7 月、8 月、11 月撮影)

(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、物理的減衰を考慮しても、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、物理的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、物理的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 4 (2022) 年 11 月、令和 5 (2023) 年 2 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。

測定回ごと (令和 4 (2022) 年 2 月 21 日、8 月 29 日、11 月 22 日、令和 5 (2023) 年 2 月 27 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 4 (2022) 年 2 月と 11 月では、林縁部の方が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、間伐区よりもこの空間線量率の比率が有意に低かったが、令和 4 (2022) 年 8 月と令和 5 年 2 月で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 10 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

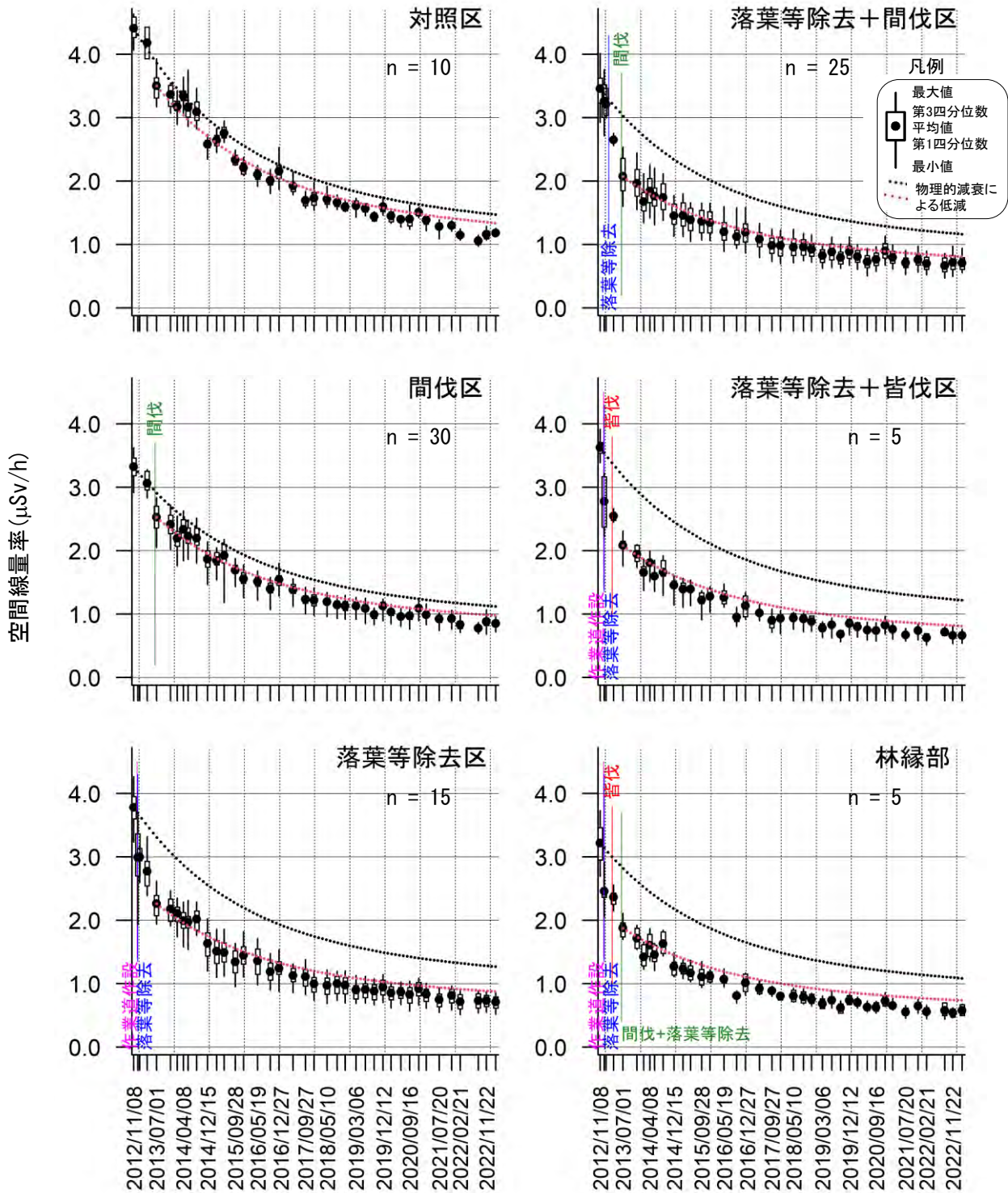


図 2-6 スギ林 (A区) の各作業区における空間線量率の推移

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。

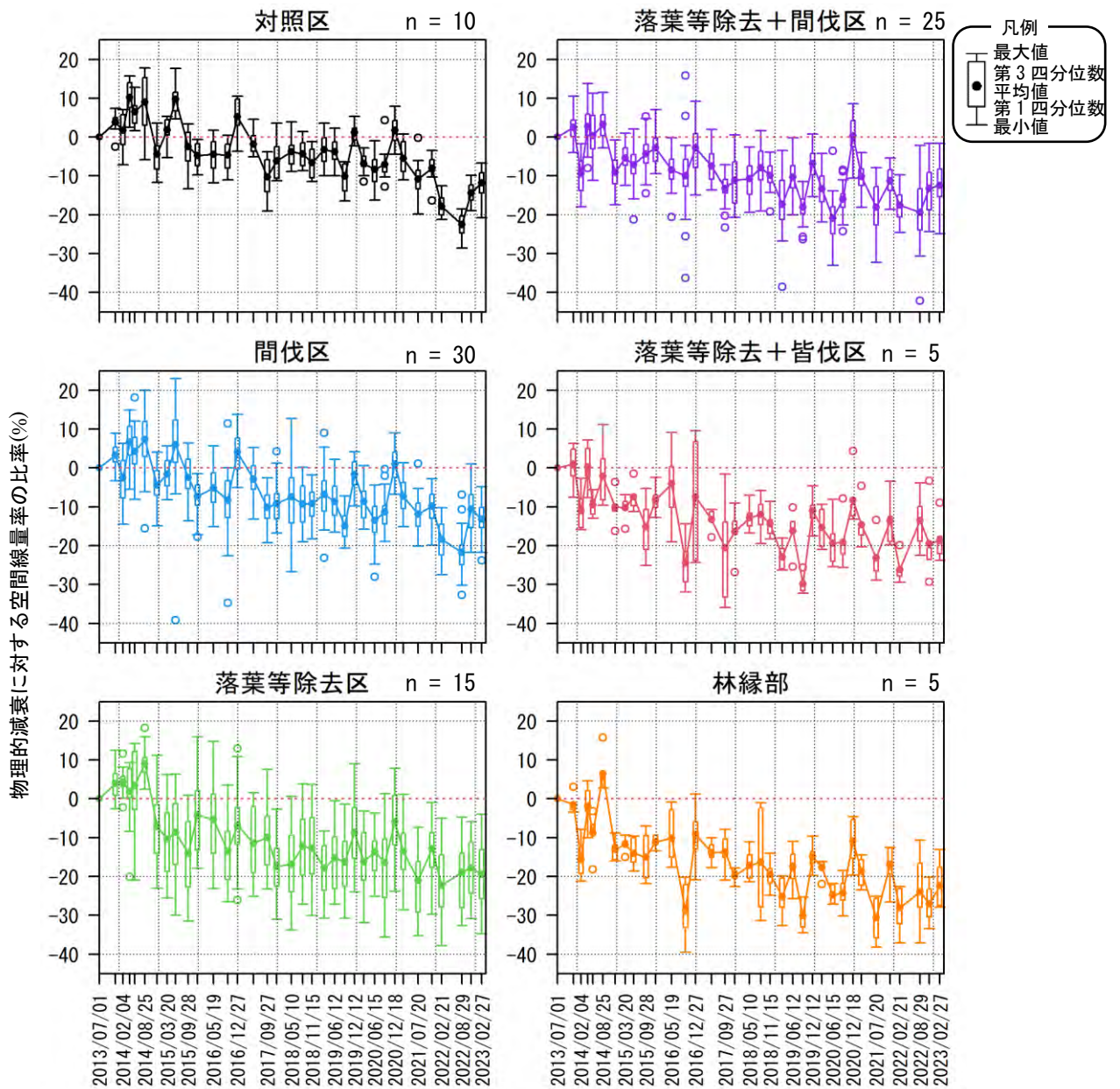


図 2-7 スギ林（A区）の各作業区における各種作業完了後の物理的減衰に対する空間線量率の比率の推移

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。

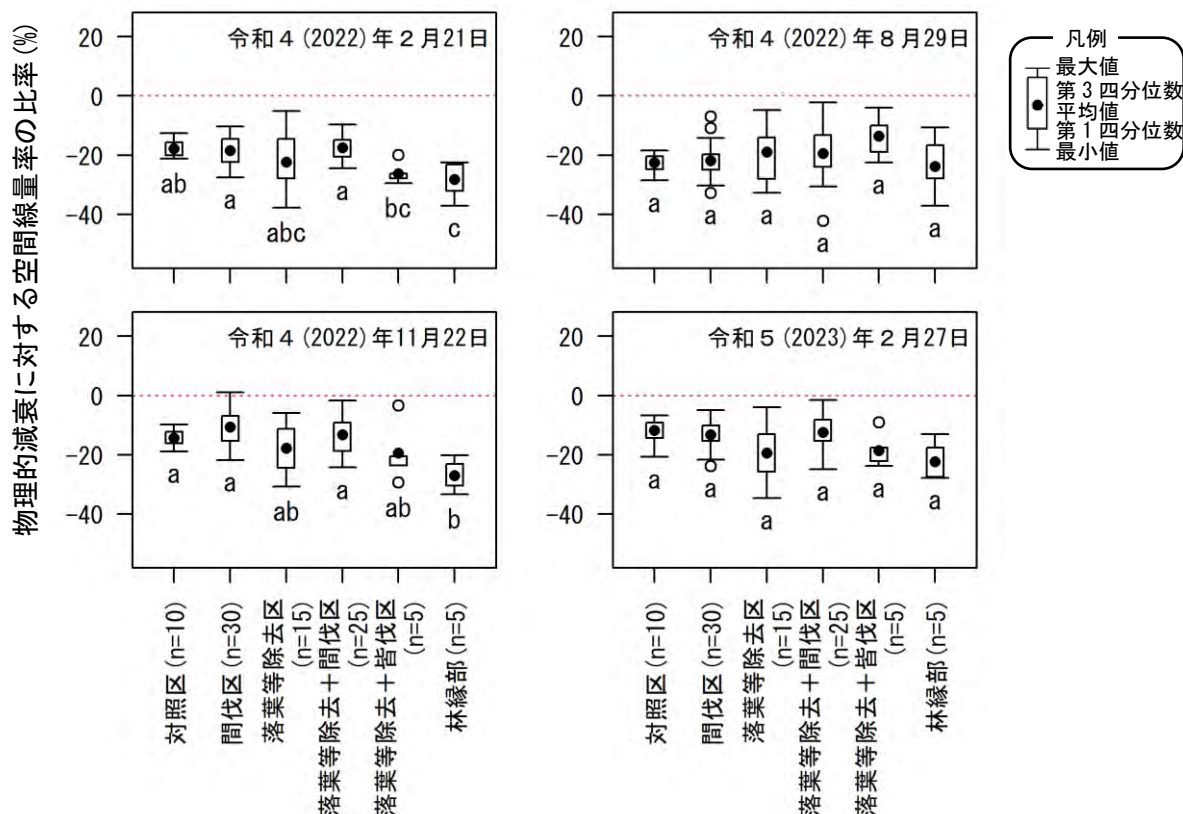


図 2-8 川内試験地スギ林（A区）の各作業区における各種作業完了後の物理的減衰に対する空間線量率の比率の比較

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、物理的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) 年以降は、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、長期的には物理的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 ((空間線量率の該当年平均値) / (前年平均値) - 1) × 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
令和4(2022)年	-11.4	-8.5	-5.1	-4.3	-3.4	-6.2

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 4（2022）年の年間被ばく線量は、対照区では、2.3 mSv、林縁及び各種作業実施範囲では、1.2～1.7 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)	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)	令和 4 (2022)
対照区	3.50	3.07	2.48	2.09	1.78	1.66	1.55	1.44	1.32	1.12
間伐区	2.53	2.16	1.75	1.48	1.28	1.15	1.08	1.01	0.95	0.83
落葉等除去区	2.26	1.93	1.45	1.26	1.08	0.98	0.91	0.87	0.80	0.73
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	0.69
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	0.67
林縁部	1.88	1.48	1.16	0.96	0.87	0.78	0.69	0.67	0.62	0.56

作業区	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)	令和 4 (2022)
対照区	7.3	6.4	5.2	4.3	3.7	3.4	3.2	3.0	2.7	2.3
間伐区	5.3	4.5	3.6	3.1	2.7	2.4	2.3	2.1	2.0	1.7
落葉等除去区	4.7	4.0	3.0	2.6	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7	1.5
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	1.4
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	1.4
林縁部	3.9	3.1	2.4	2.0	1.8	1.6	1.4	1.4	1.3	1.2

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 11 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×60m 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×40m 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、5m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 5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。刈り払いを行った枝葉はその場に残置した。

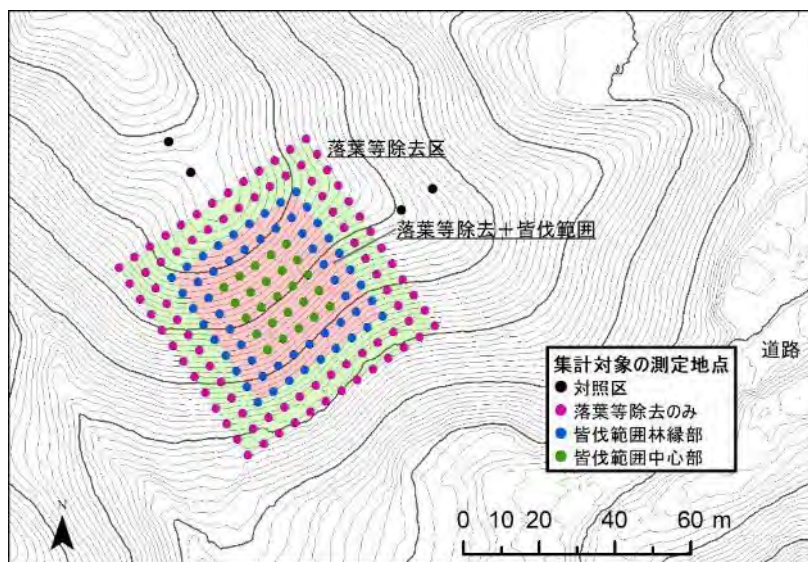


図 2-9 作業区の配置と空間線量率の測定範囲

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）

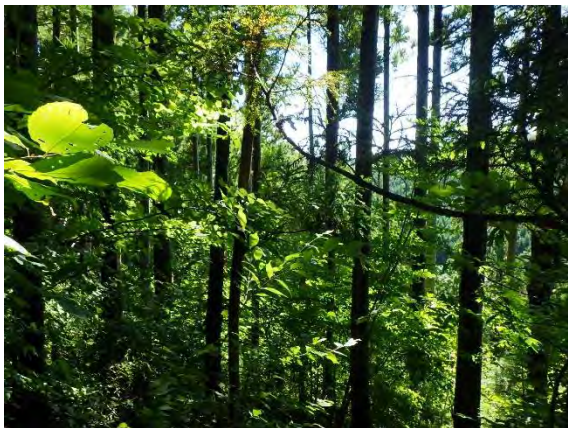
回数	測定日	測定地点数					作業との関係	天候	積雪
		対照区	落葉等 除去のみ	皆伐範囲 林縁部	皆伐範囲 中心部	皆伐範囲 中心			
12	平成 25(2013)年 1 月 31 日	4	88	56	25	1	40m×40m 皆伐後	晴	0~20cm
13	平成 25(2013)年 4 月 10 日	4	88	56	25	1		晴	無
14	平成 25(2013)年 11 月 15 日	4	88	56	25	1		曇	無
15	平成 26(2014)年 2 月 6 日	4	88	56	25	1		晴	有
16	平成 26(2014)年 4 月 10 日	4	88	56	25	1		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
46	令和 4(2022)年 8 月 29 日	4	88	56	25	1		晴	無
47	令和 4(2022)年 11 月 22 日	4	88	56	25	1		晴	無
48	令和 5(2023)年 2 月 20 日	4	88	56	25	1		晴	無



落葉等除去(林床)



落葉等除去+皆伐区(林床)



落葉等除去



皆伐区林縁部



落葉等除去+皆伐区



落葉等除去+皆伐区

写真 2-3 スギ林 (B区) の現地状況 (2022年7月、8月撮影)

(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、物理的減衰を考慮しても、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、物理的減衰を考慮しても、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。

なお、平成 30 (2018) 年 8 月に皆伐範囲で下刈りを実施し、下刈り前 (平成 30 (2018) 年 8 月 22 日)、皆伐範囲の半分の範囲での下刈り後 (8 月 23 日)、皆伐を実施した全範囲での下刈り後 (8 月 24 日) の 3 回分の空間線量率の推移を確認したところ、下刈りの前後で、皆伐範囲内の空間線量率はほとんど変動しておらず、測定地点ごとの顕著な変動も、特に確認されなかった。

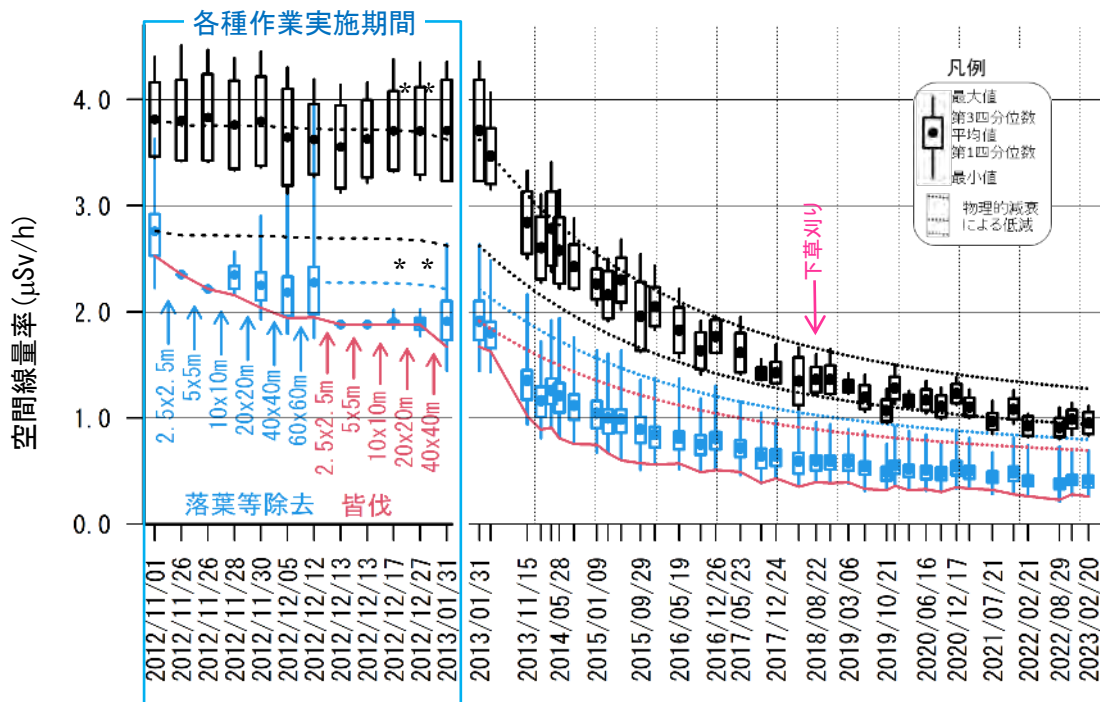


図 2-10 スギ林（B区）における対照区（黒色）、作業範囲（青色）及び作業範囲中心点（赤色）の空間線量率の推移

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作図したが、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作図した。

*: 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。

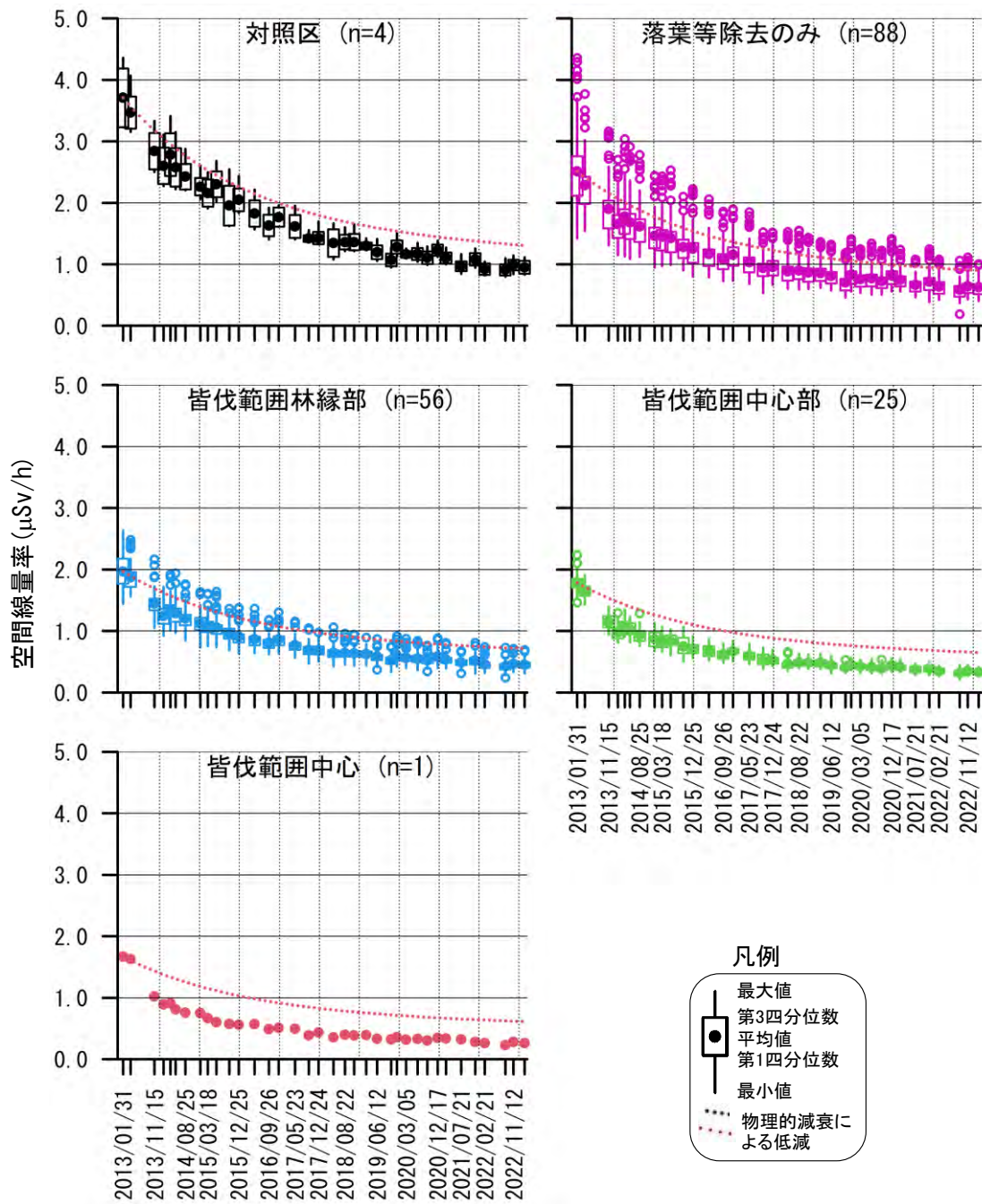


図 2-11 スギ林（B区）における各種作業完了後の対照区及び作業範囲ごとの空間線量率の推移

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。

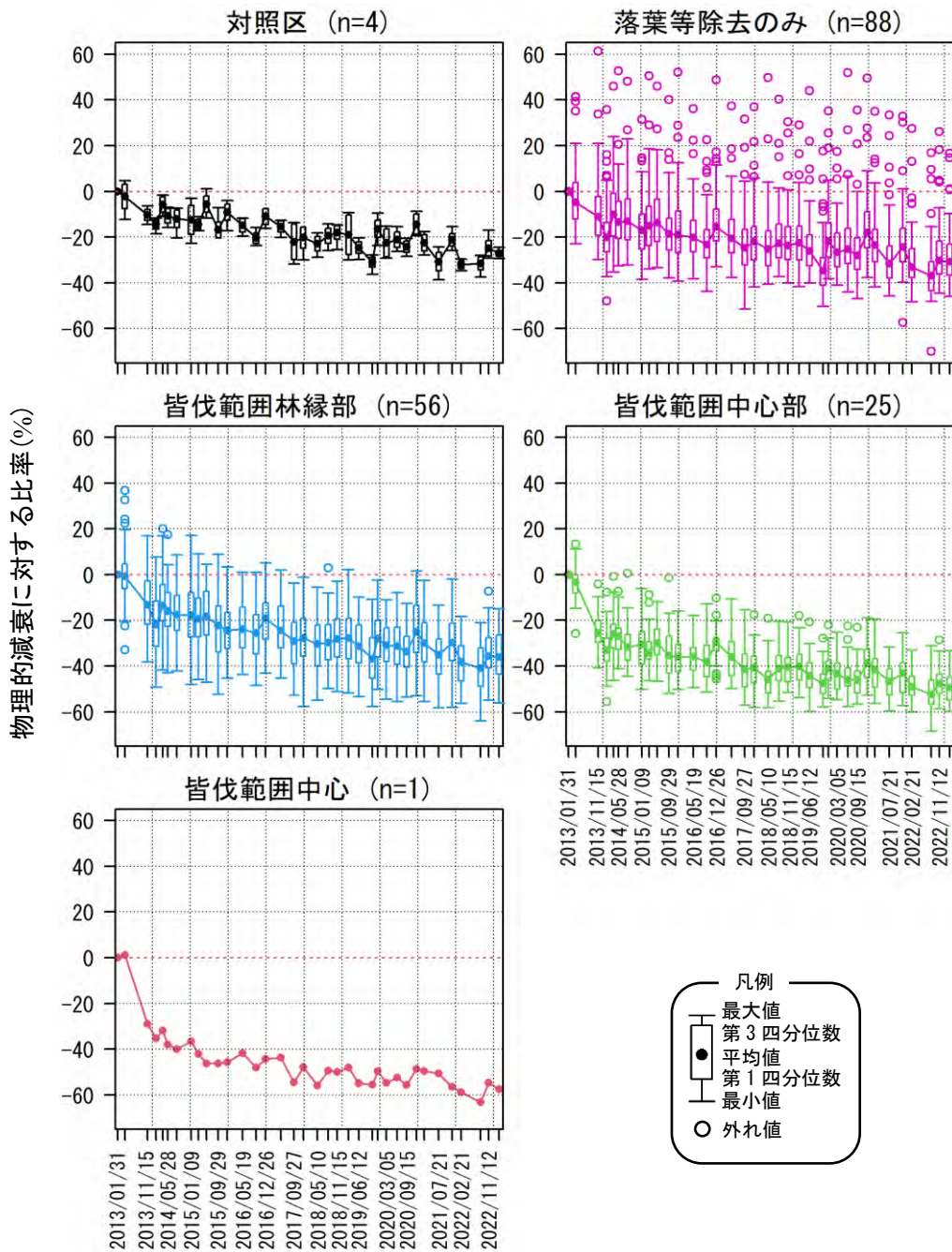


図 2-12 スギ林（B区）における各種作業完了後の物理的減衰に対する空間線量率の比率の作業範囲ごとの推移

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、図中に表示していない。

令和4（2022）年2月21日から令和5（2023）2月20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4（2022）年8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、及び令和3（2021）年の皆伐範囲中心部を除き、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。

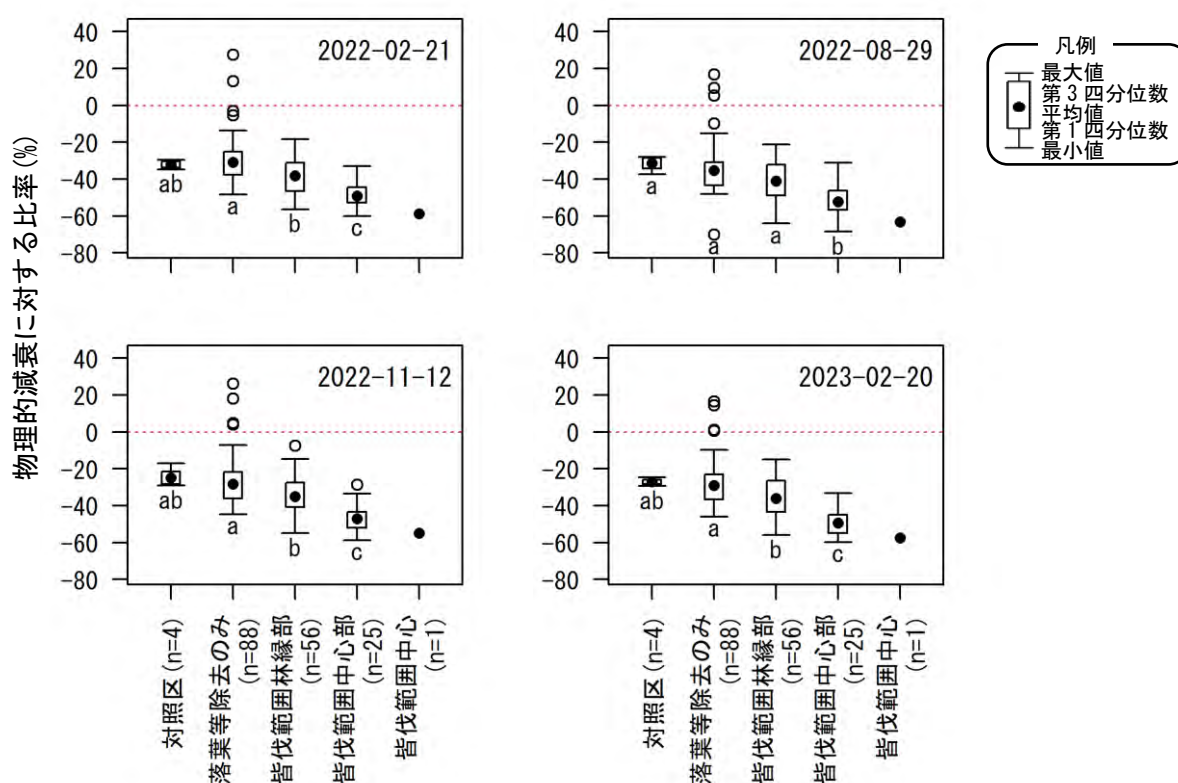


図 2-13 川内試験地スギ林（B区）における各種作業完了後の物理的減衰に対する空間線量率の比率の比較

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
令和 4(2022)年	-6.6	-9.7	-10.4	-11.8	-17.0

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 4（2022）年の年間被ばく線量は、対照区では 2.0 mSv、各種作業実施範囲では 0.5～1.3mSv 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)	令和 4 (2022)
対照区	3.71	2.60	2.14	1.74	1.49	1.36	1.21	1.17	1.05	0.94
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	0.62
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	0.45
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	0.34
皆伐範囲中心	1.67	0.84	0.63	0.52	0.44	0.38	0.35	0.32	0.31	0.26

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)	令和 4 (2022)
対照区	7.7	5.4	4.5	3.6	3.1	2.8	2.5	2.4	2.2	2.0
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	1.3
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	0.9
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	0.7
皆伐範囲中心	3.5	1.8	1.3	1.1	0.9	0.8	0.7	0.7	0.7	0.5

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⁶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

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、5 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、表 2-15）。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。

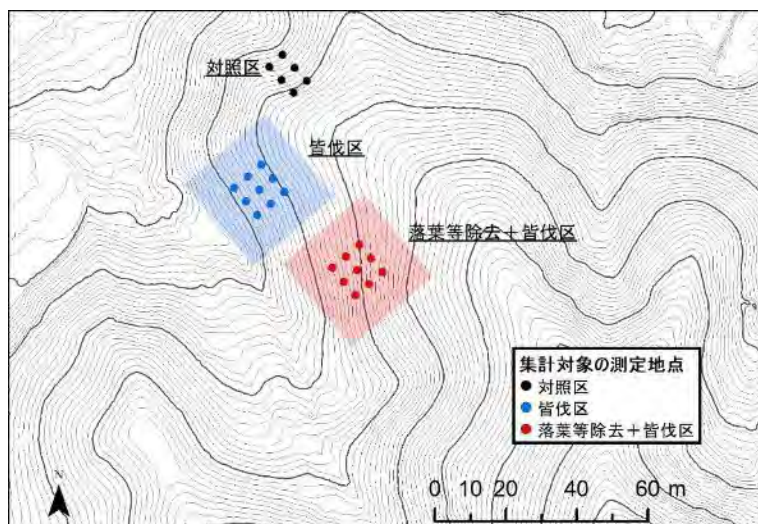


図 2-14 作業区の配置と空間線量率の測定範囲

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（1）

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。

表 2-15 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（2）

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			
33	令和 4(2022)年 8 月 30 日	6	9	9		雨	無
34	令和 4(2022)年 11 月 22 日	6	9	9		晴	無
35	令和 5(2023)年 2 月 20 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。



対照区(林床)



皆伐区(林床)



落葉等除去+皆伐区(林床)



落葉等除去+皆伐区



皆伐区



皆伐区

写真 2-4 スギ林（原木）の現地状況（2022年7月、8月撮影）

(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、物理的減衰よりも約 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。

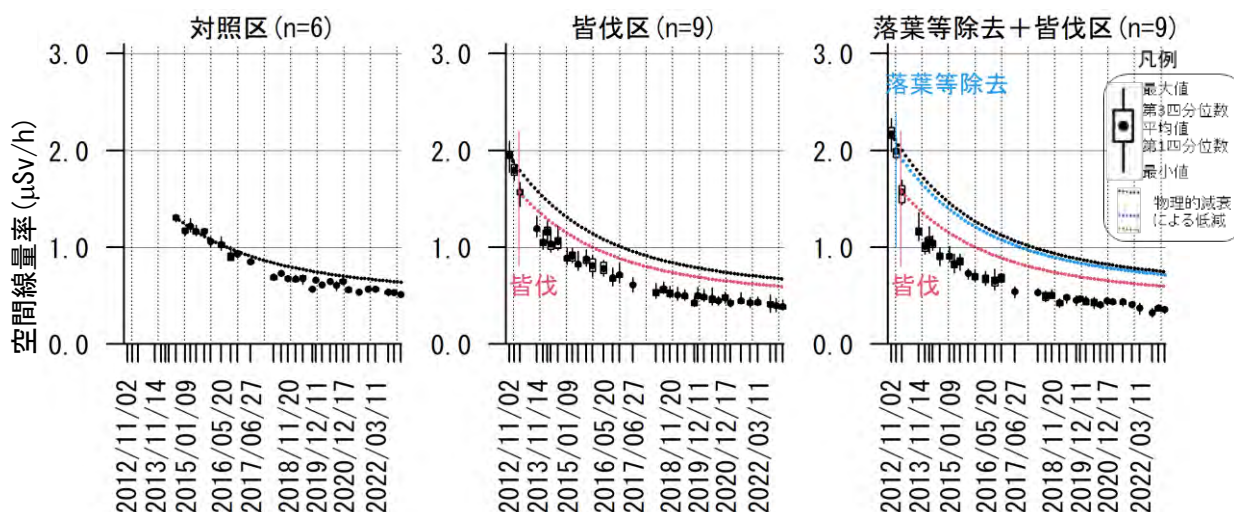


図 2-15 原木採取林モデル地区における各作業区の空間線量率の推移

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。

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 5 (2023) 年 2 月では、この比率は皆伐区、落葉等除去+皆伐区ともに前月並みであった。測定時点で積雪はなかったが、積雪や土壌凍結がしばしば起こっていたため、場所によって土壌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。

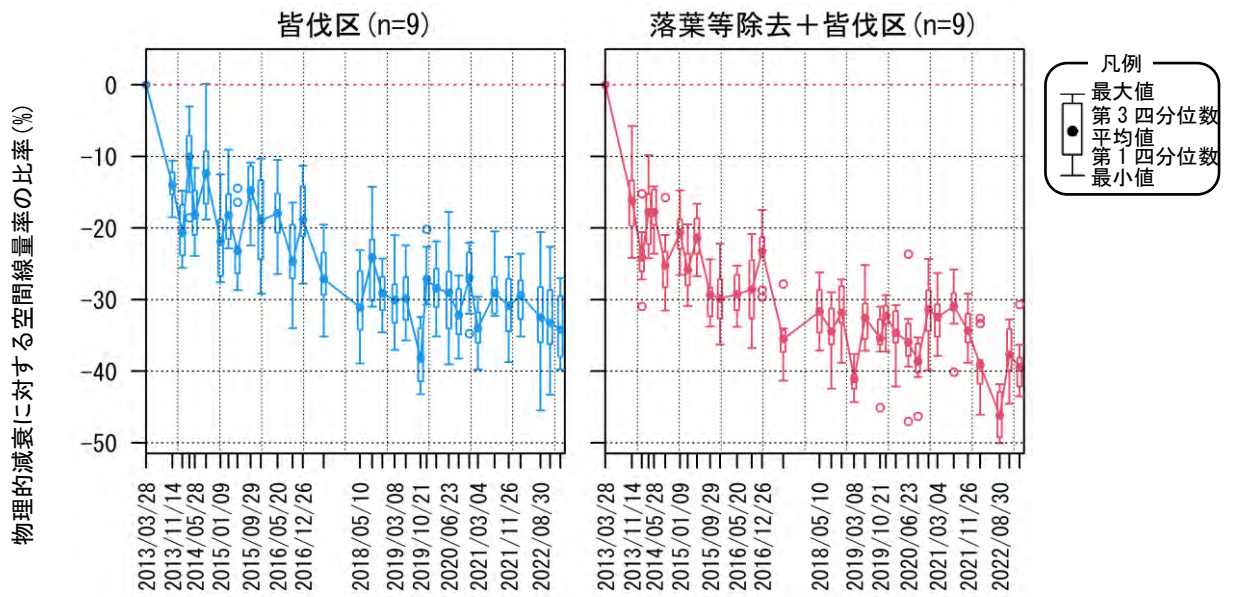


図 2-16 原木採取林モデル地区の各作業区における各種作業完了後の物理的減衰に対する空間線量率の比率の推移

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 11 月の測定回を除き、作業区間の統計的な有意差が認められた (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 2-16 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 10 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。

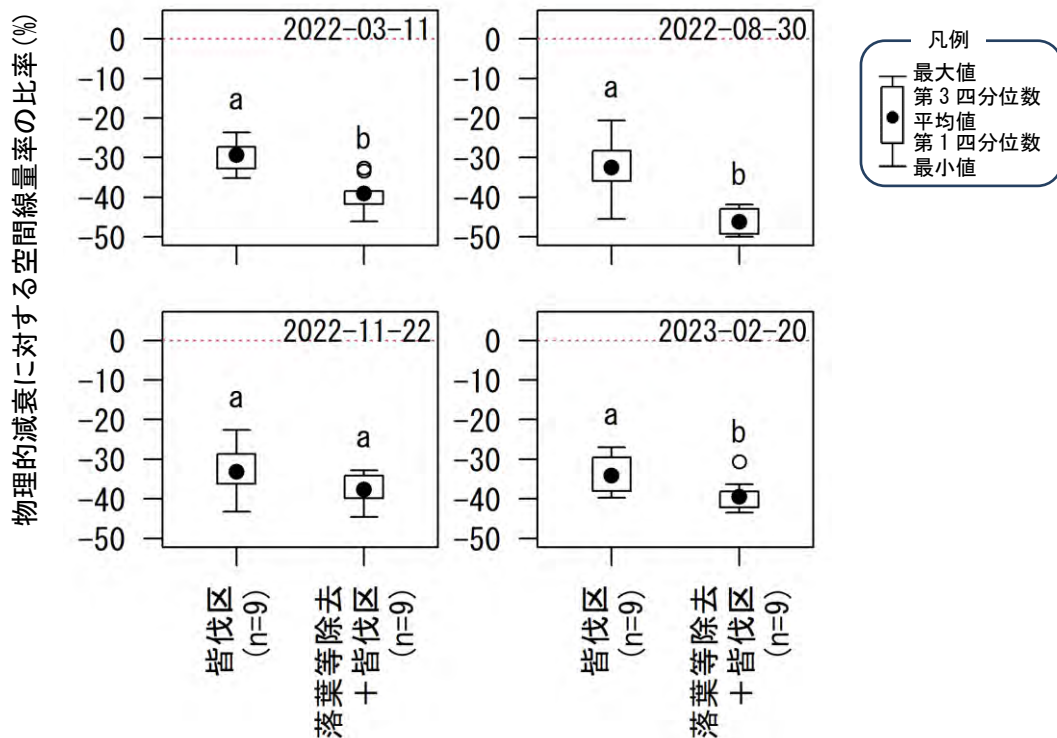


図 2-17 川内試験地原木採取林モデル地区の各作業区における各種作業完了後の物理的減衰に対する空間線量率の比率の比較

※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 2-16 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
令和 4(2022)年	-1.0	-14.2	2.6

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 2-17 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 4（2022）年の年間被ばく線量は、対照区では 1.1 mSv、皆伐区及び落葉等除去+皆伐区では 0.7～0.9 mSv と推定された。

表 2-17 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(μ Sv/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)	令和 4 (2022)
対照区	-	1.31	1.16	0.96	0.85	0.70	0.65	0.63	0.56	0.55
皆伐区	1.56	1.08	0.86	0.73	0.61	0.55	0.49	0.47	0.44	0.41
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	0.36

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)	令和 4 (2022)
対照区	-	2.7	2.4	2.0	1.8	1.5	1.3	1.3	1.2	1.1
皆伐区	3.3	2.2	1.8	1.5	1.3	1.1	1.0	1.0	0.9	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	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で使用している想定と同一であり、空間線量率 2.5 μ Sv/h が年間被ばく量 5mSv に相当する。

2.6. 森林施業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森林施業について、作業前後の空間線量率の変化等を測定し、森林施業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。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 2-18 に示す。

表 2-18 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)		
こたぎざわ 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
はのくら 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
もうど 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		
にまいぼし 二枚橋	アカマツ	36~48	2014	定性間伐(15%)	1.97	2.16	1500
ごうし 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	0.37	
おおさき 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
うすいし 臼石	スギ	38	2015	定性間伐(24%)	0.25	2.22	1200
ぼばたいら 馬場平	アカマツ ヒノキ スギ	40 30 60	2016	皆伐・新植 列状間伐(2伐8残) 定性間伐(30%)	0.55 1.16 1.19	0.39	230
せきさわ 関沢	ヒノキ	34	2016	定性間伐(23.4%)	1.16	1.55	1500
おおや 大谷	スギ ヒノキ	37、56 37	2017	利用型定性間伐 保育型定性間伐	0.63 1.00	0.38	450

※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 1 m 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。

(3) 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。本事業においては森林施業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 1 m の高さで測定した。

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 2-19 に、使用された測定器の外観を写真 2-5 に示した。

表 2-19 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(日本レイテック製、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(日本レイテック製、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		



日本レイテック製
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 2-5 過年度実証事業の測定で使用されていた放射線測定器

(4) 調査結果

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 1 m 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。
- ・図中の測点番号は、写真 2-6 に示した林況写真の撮影箇所である。

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 2-20 に施業種別の空間線量率測定結果、写真 2-6 に今年度調査における森林内の状況を示す。

小滝沢事業地の現況としては、更新伐や植栽が行われた箇所に関しては、ススキ類などの下層植生が繁茂している箇所が散見されるが歩行困難なほどではなく、過去に刈払い等が行われた可能性がある。

表 2-20 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 8 日	—	—	43	0.477	20	0.513	16	0.376	
6	平成 29(2017)年 11 月 9 日	—	—	43	0.384	20	0.417	16	0.310	
7	平成 30(2018)年 11 月 4 日	—	—	43	0.365	20	0.389	16	0.294	
8	令和 1(2019)年 11 月 8 日	—	—	43	0.342	20	0.369	16	0.275	
9	令和 2(2020)年 7 月 22 日	—	—	43	0.320	20	0.343	16	0.264	
10	12 月 8 日	—	—	43	0.309	20	0.342	16	0.265	
11	令和 3(2021)年 8 月 24 日	—	—	43	0.296	20	0.327	16	0.256	
12	12 月 6 日	—	—	43	0.304	20	0.331	16	0.253	
13	令和 4(2022)年 8 月 27 日	—	—	43	0.306	20	0.330	16	0.255	
14	11 月 10 日	—	—	43	0.310	20	0.337	16	0.256	

- ・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 4 地点、沢地形 2 地点、作業道作設箇所 12 地点、チップ散布箇所 3 地点（計 21 地点）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）89 地点の測定は、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（日本レイテック製、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（日本レイテック製、TCS-172B）のみを用いて測定を実施している。



2022年8月撮影



2022年11月撮影

(a) コナラ等広葉樹 除伐：測点 5H 付近



2022年8月撮影



2022年11月撮影

(b) コナラ等広葉樹 人力更新伐：測点 9N 付近



2022年8月撮影



2022年11月撮影

(c) コナラ等広葉樹 機械更新伐：測点 8L 付近

写真 2-6 小滝沢事業地の林況

・無施業地については、測定点がないため、林況写真は未撮影である。

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的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。

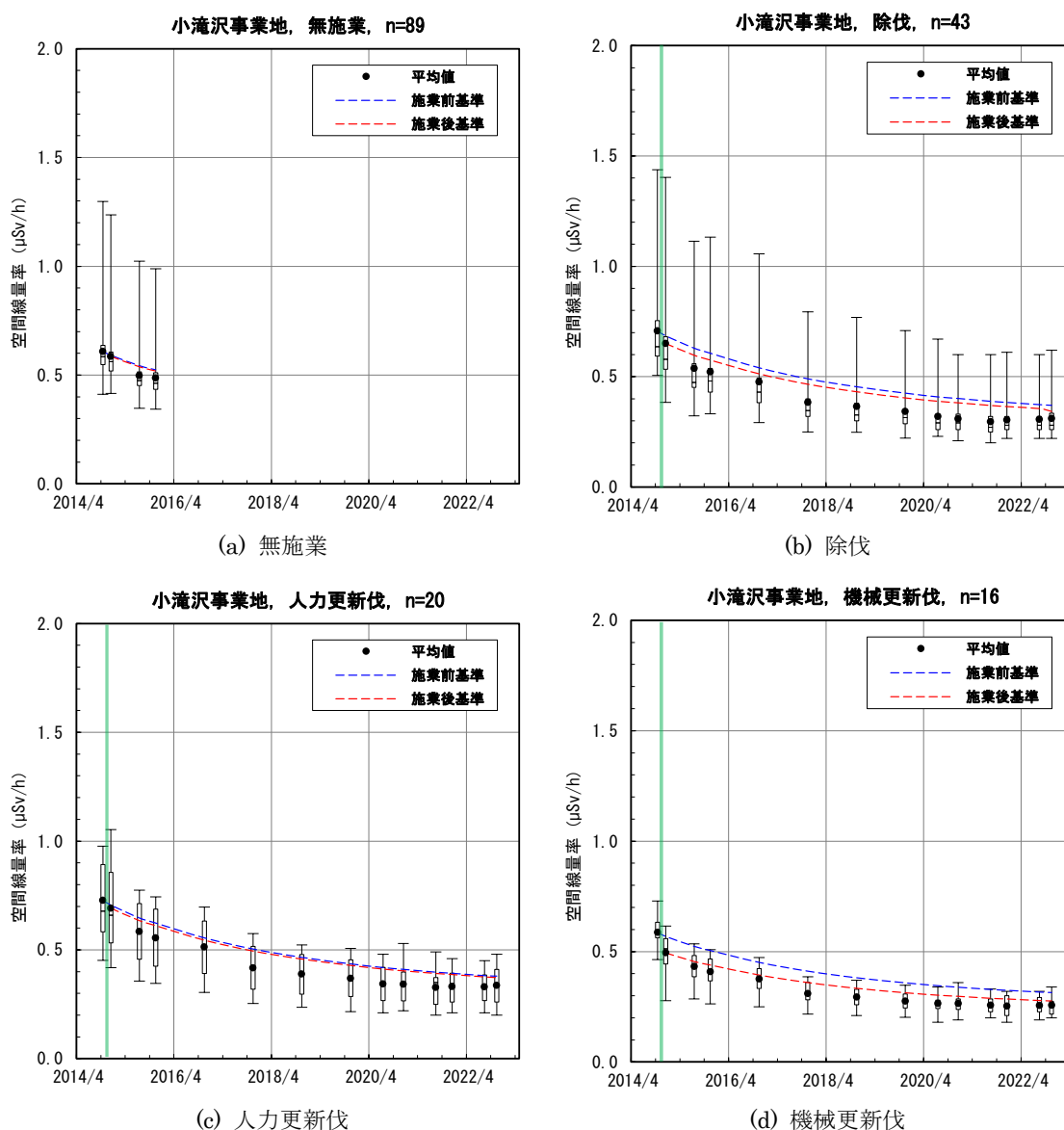


図 2-19 小滝沢事業地における空間線量率推移

- ・空間線量率は実測値（地上 1 m）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的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的減衰による空間線量率の低減を示す。物理的減衰補正は、放射性セシウム Cs-134 と Cs-137 の初期の存在比と物理学的半減期の違いを考慮して算出したものである。

② ^{はのくら}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。

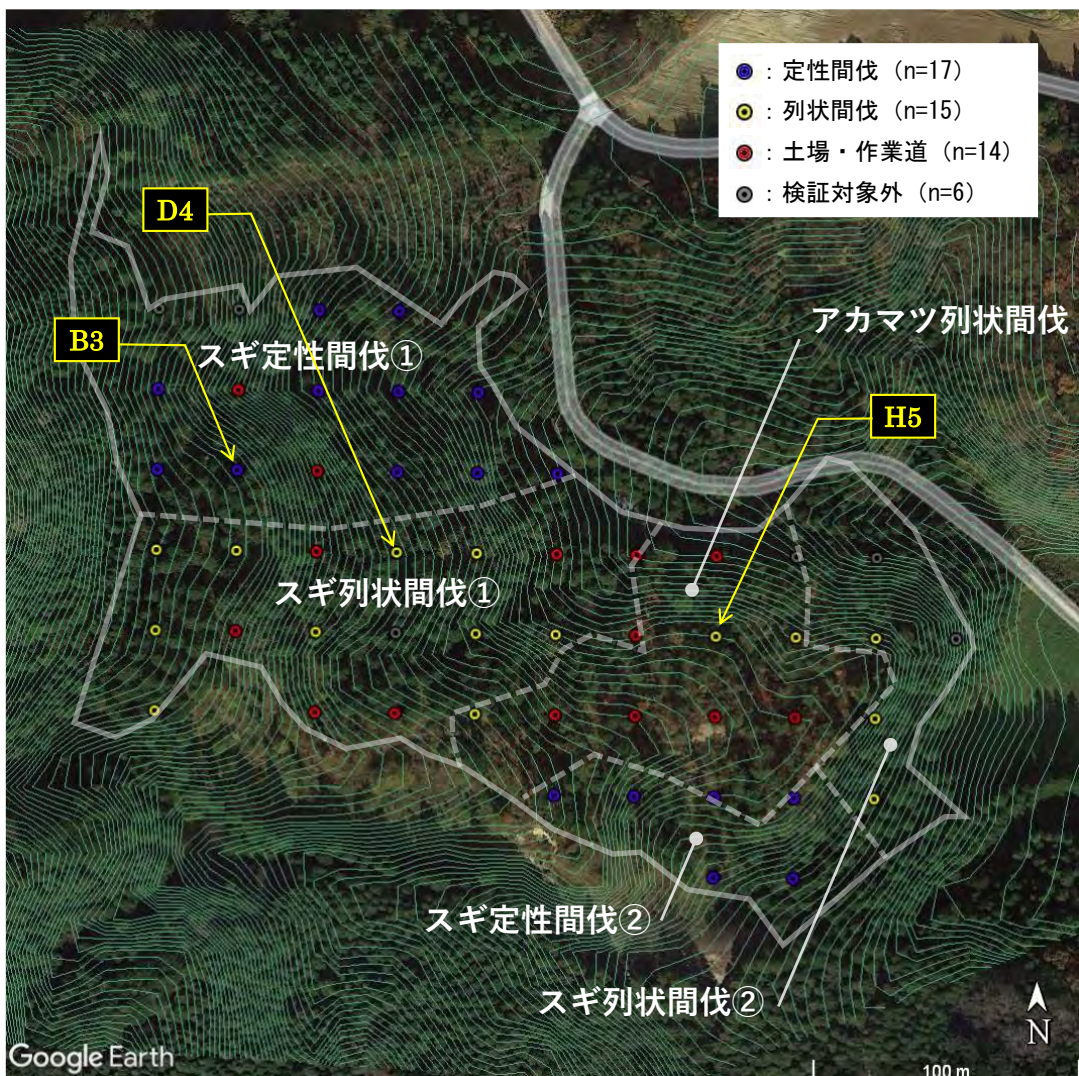


図 2-20 羽倉事業地空間線量率測定点

- ・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。
- ・図中の測点番号は、写真 2-7 に示した林況写真の撮影箇所である。

間伐は、2014年10月16日から12月9日に実施された。表 2-21 に施業種別の空間線量率測定結果、写真 2-7 に今年度調査における森林内の林況を示す。

羽倉事業地の現況としては、アカマツ林は林冠が疎で林内はやや明るく、スギ林はいずれの間伐区においても林冠が覆われており林内は暗い。

表 2-21 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	
18	令和 4 (2022)年 9月 13日	3	0.466	17	0.481	12	0.538	
19	11月 16日	3	0.502	17	0.510	12	0.566	

- ・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 14 地点、施業後に崩落が確認された箇所 6 地点 (計 20 地点) の測定結果は、検証対象外として本表に整理していない。



2022年8月撮影



2022年11月撮影

(a) アカマツ 列状間伐(1伐2残) : 測点 H5 付近



2022年8月撮影



2022年11月撮影

(b) スギ 定性間伐(本数率 31.4%) : 測点 B3 付近



2022年8月撮影



2022年11月撮影

(c) スギ 列状間伐(1伐2残) : 測点 D4 付近

写真 2-7 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、いずれの施業区においても物理的減衰に従って減衰してい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。

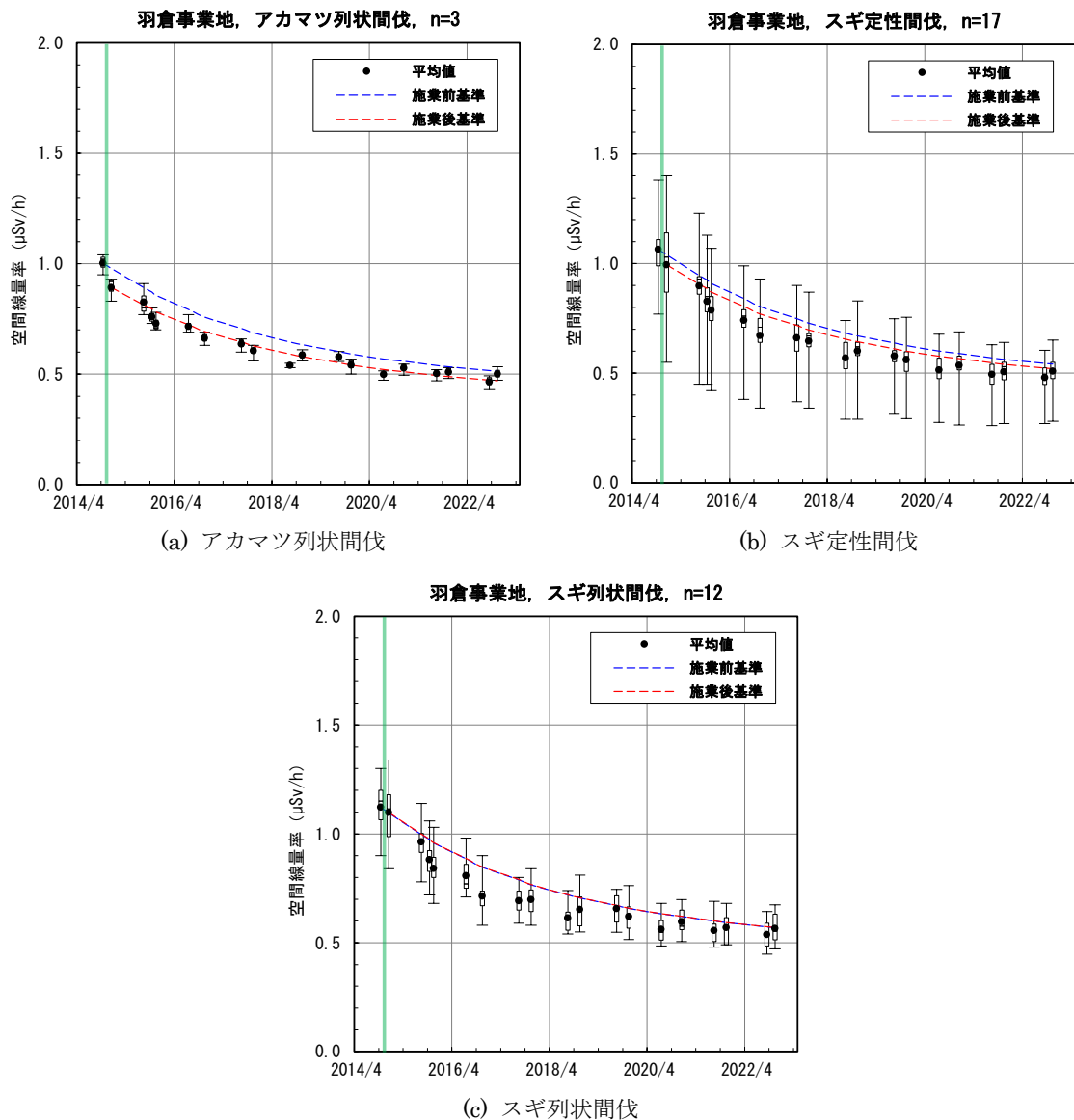


図 2-21 羽倉事業地における空間線量率推移

- ・空間線量率は実測値（地上 1 m）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的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的減衰による空間線量率の低減を示す。物理的減衰補正は、放射性セシウム Cs-134 と Cs-137 の初期の存在比と物理学的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。なお、皆伐区について、令和 4（2022）年調査において、2 測定点のうち 1 測定点について杭を亡失し、位置を再現できなくなったことから欠測し、今後の解析データからも除外することとした。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。
- ・皆伐区について、令和 4（2022）年調査において、2 測定点のうち、1 測定点が欠測となった。
- ・図中の測点番号は、写真 2-8、写真 2-9 に示した林況写真の撮影箇所である。

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 2-22 に施業種別の空間線量率測定結果を、写真 2-8、写真 2-9 に今年度調査における森林内の林況を示す。

毛戸事業地の現況としては、間伐区はスギの林冠が鬱閉しており森林作業道周辺を除くと林内は暗いイメージである。皆伐区の林内は明るい箇所が多いが、植栽木が樹高 3～4m 程度に生長しており、一部の樹高が高い箇所では林内が暗く、下層植生が少なくなっている。

表 2-22 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	1	0.900	施業前測定(間伐区)
2	10 月 23 日	1	0.920	2	0.770	1	0.910	施業前測定(皆伐区)
3	11 月 10 日	1	0.970	2	0.790	1	0.900	施業後測定(間伐区)
4	11 月 27 日	1	0.940	2	0.755	1	0.830	
5	12 月 12 日	1	0.910	2	0.730	1	0.830	施業前測定(皆伐区)
6	12 月 25 日	1	0.850	2	0.700	1	0.790	
7	平成 27(2015)年 1 月 13 日	1	0.810	2	0.695	1	0.750	
8	4 月 15 日	1	0.870	2	0.710	1	0.810	
9	6 月 3 日	1	0.930	2	0.785	1	0.890	
10	9 月 28 日	1	0.850	2	0.710	1	0.780	
11	10 月 28 日	1	0.850	2	0.705	1	0.790	
12	12 月 1 日	1	0.750	2	0.625	1	0.720	
13	平成 28(2016)年 1 月 6 日	1	0.750	2	0.625	1	0.720	
14	3 月 1 日	1	0.690	2	0.530	1	0.630	
15	6 月 6 日	1	0.750	2	0.635	1	0.710	
16	7 月 4 日	1	0.710	2	0.635	1	0.710	
17	7 月 28 日	1	0.710	2	0.615	1	0.690	
18	8 月 24 日	1	0.670	2	0.580	1	0.660	
19	9 月 27 日	1	0.700	2	0.575	1	0.640	
20	10 月 25 日	1	0.700	2	0.580	1	0.680	
21	11 月 21 日	1	0.680	2	0.565	1	0.650	
22	12 月 26 日	1	0.640	2	0.540	1	0.620	
23	平成 29(2017)年 8 月 1 日	1	0.680	2	0.570	1	0.640	
24	11 月 30 日	1	0.640	2	0.550	1	0.600	
25	平成 30(2018)年 8 月 1 日	1	0.580	2	0.505	1	0.580	
26	11 月 20 日	1	0.600	2	0.500	1	0.540	
27	令和 1(2019)年 7 月 19 日	1	0.560	2	0.473	1	0.510	
28	11 月 25 日	1	0.555	2	0.473	1	0.500	
29	令和 2(2020)年 7 月 15 日	1	0.538	2	0.448	1	0.470	
30	12 月 2 日	1	0.575	2	0.468	1	0.515	
31	令和 3(2021)年 8 月 7 日	1	0.555	2	0.459	1	0.468	
32	11 月 22 日	1	0.530	2	0.449	1	0.450	
33	令和 4(2022)年 8 月 18 日	1	0.458	2	0.388	1	0.373	
34	11 月 11 日	1	0.520	2	0.434	1	0.433	

- ・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。
- ・皆伐区について、令和 4 (2022) 年調査において、2 地点のうち、1 地点が欠測となったため、第 1 回調査から第 34 回調査までの 1 地点 (No.4) のデータとした。



2022年8月撮影



2022年11月撮影

(a) スギ、アカマツ、カラマツ 定性間伐：測点 No.3 付近



2022年8月撮影



2022年11月撮影

(b) スギ、アカマツ、カラマツ (26%) 列状間伐：測点 No.1 付近

写真 2-8 毛戸事業地（間伐区）の林況



2022年8月撮影



2022年11月撮影

スギ、アカマツ、カラマツ 皆伐：測点 No.4 付近

写真 2-9 毛戸事業地（皆伐区）の林況

施業前後の測定結果について、定性間伐区域では約 5.4%増、列状間伐区域では増減なし(1.0%以下)、皆伐区域では約 5.8%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、間伐区については、施業完了後約 3 年目までは物理的減衰を僅かに上回る低減傾向にあったが、4 年目以降は物理的減衰に従って低減していることが確認された。皆伐区については、物理的減衰に従って減衰してい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。

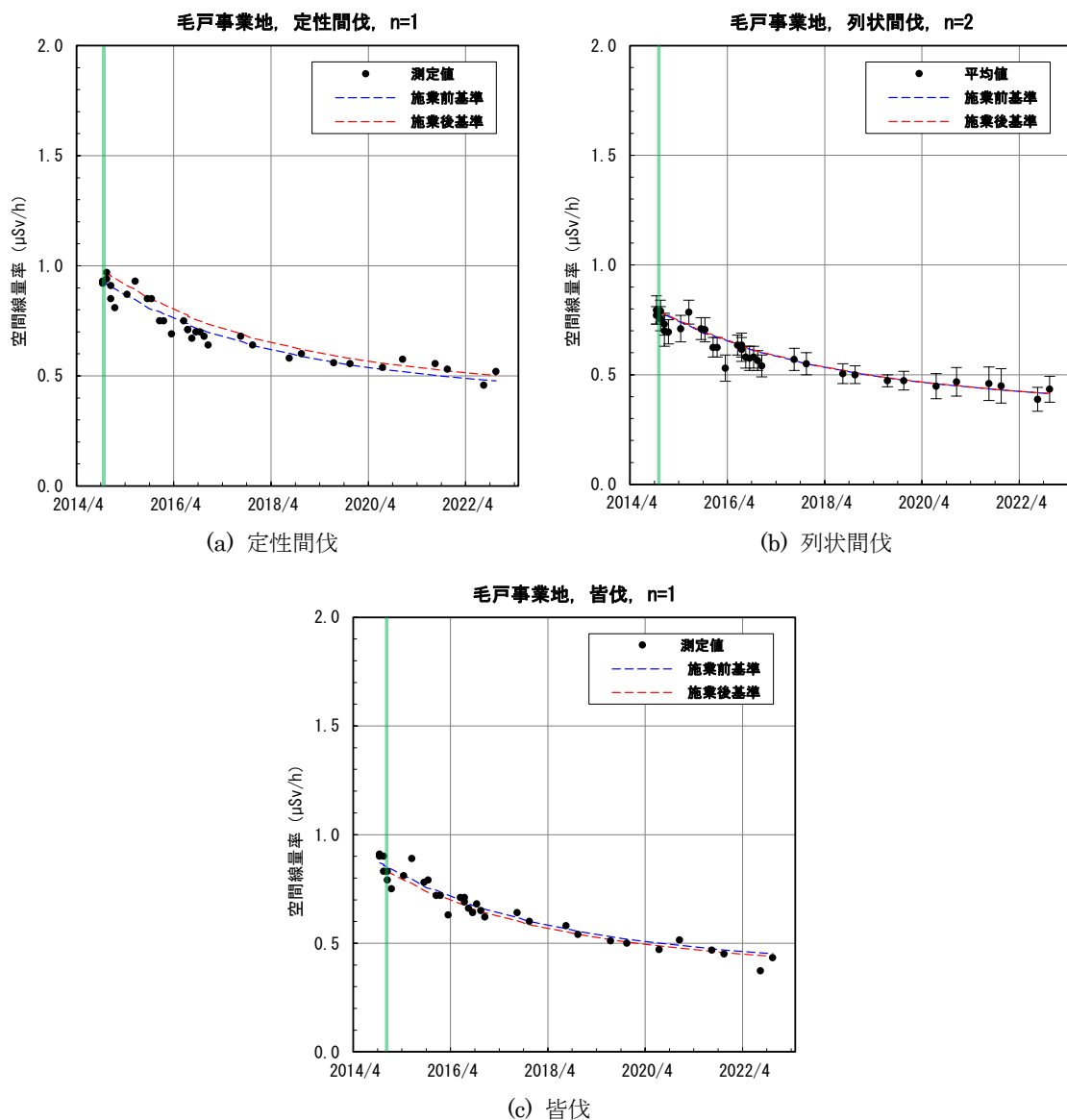


図 2-23 毛戸事業地における空間線量率推移

- ・空間線量率は実測値(地上1 m)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的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的減衰による空間線量率の低減を示す。物理的減衰補正は、放射性セシウム Cs-134 と Cs-137 の初期の存在比と物理学的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^{にまいばし}

相馬郡飯館村西部の二枚橋地区に所在する飯館村村有林（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 1 m 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。

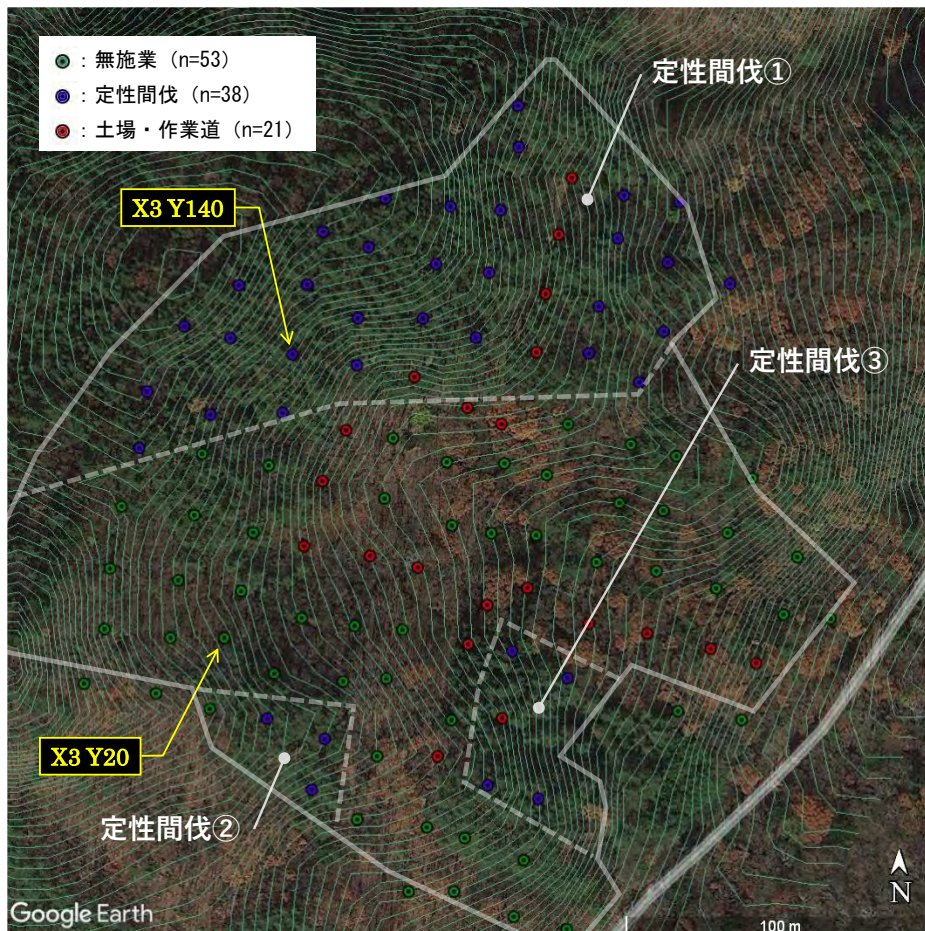
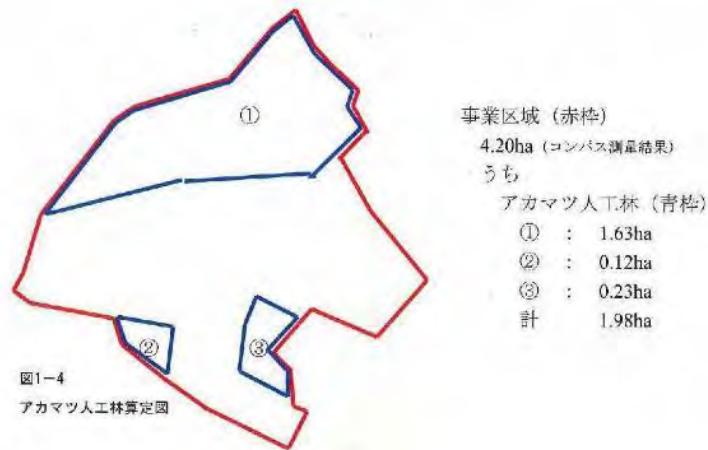
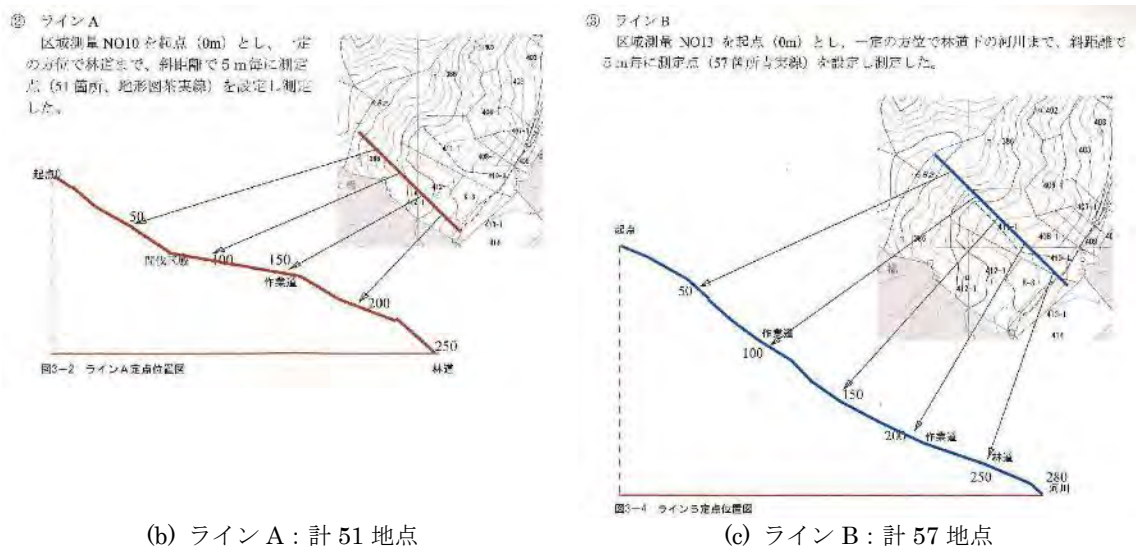


図 2-24 二枚橋事業地空間線量率測定点（2015 年 8 月測定以降）

- ・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。
- ・図中の測点番号は、写真 2-10 に示した林況写真の撮影箇所である。



(a) 事業区域と間伐範囲の関係



(b) ライン A : 計 51 地点

(c) ライン B : 計 57 地点

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2-23に施業種別の空間線量率測定結果、写真2-10に今年度調査における森林内の林況を示す。

二枚橋事業地の現況としては、アカマツ林ではあるがスギやモミなどの常緑針葉樹も散見され、林内は明るくない。下層植生はササ類が非常に繁茂しており歩行困難な箇所が散見される林分であったが、令和5年度にササ類の一斉枯死があったとみられ、林内は歩行しやすくなっていた。

表 2-23 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
9	10 月 7 日	71	2.004	13	2.855	確認測定
10	11 月 30 日	53	1.924	31	2.217	20m メッシュ、ライン状
11	12 月 1 日	71	1.876	13	2.693	確認測定
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	
26	令和 4(2022)年 8 月 20 日	53	1.084	31	1.230	
27	11 月 8 日	53	1.124	31	1.275	

- ・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。
- ・第 13 回調査以降、施業前の測定範囲外となっていた定性間伐区② 3 地点、定性間伐区③ 4 地点に加え、作業道作設箇所 21 地点（計 28 地点）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、第 1 回～第 5 回調査において、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（日本レイテック製、TCS-172B）の 2 台で測定し、その平均値を用いていた。第 6 回調査以降の測定は、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。第 1 回～第 5 回調査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。



2022年8月撮影



2022年11月撮影

(a) アカマツ 無施業：測点 X3 Y20 付近



2022年8月撮影



2022年11月撮影

(b) アカマツ 定性間伐(15%)：測点 X4 Y140 付近

写真 2-10 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 $\mu\text{Sv/h}$ 、第1間伐区は2.5~3.0 $\mu\text{Sv/h}$ 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。

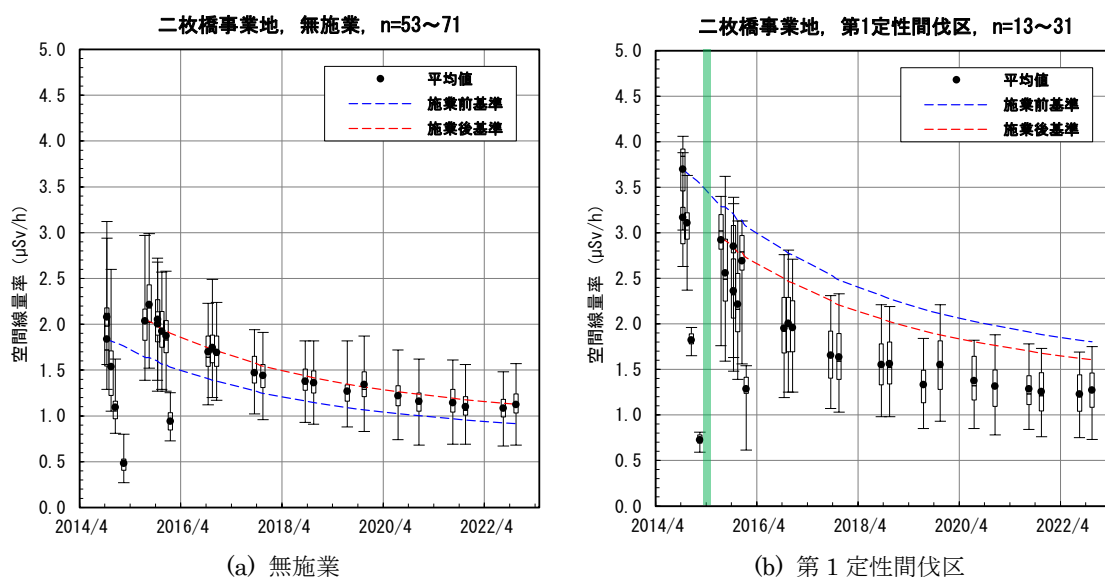


図 2-26 二枚橋事業地における空間線量率推移

- 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的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的減衰による空間線量率の低減を示す。物理的減衰補正は、放射性セシウム Cs-134 と Cs-137 の初期の存在比と物理学的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、林内作業区域に計 119 点の 20m メッシュを設定し、地上高 1 m 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。
- ・図中の測点番号は、写真 2-11 に示した林況写真の撮影箇所である。

下刈は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2-24に施業種別の空間線量率測定結果、写真2-11に今年度調査における森林内の林況を示す。

合子事業地の現況としては、更新伐及び植栽が行われた林分であるが、全体的に明るい林分であるとともに、定期的な下刈りが入っているため、林内は一部箇所を除いて歩行しやすい。

表 2-24 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 1(2019)年 12月 3日	38	0.256	33	0.267	16	0.258	
8	令和 2(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 3(2021)年 8月 11日	38	0.237	33	0.247	16	0.234	
11	12月 9日	38	0.222	33	0.235	16	0.223	
12	令和 4(2022)年 9月 7日	38	0.222	33	0.234	16	0.238	
13	11月 30日	38	0.215	33	0.224	16	0.213	

- ・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3地点、作業道27地点、土場作設箇所2地点（計32地点）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年度の第1回調査から2019年度の第7回調査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（日本レイテック製、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ベイメータ（日本レイテック製、TCS-172B）のみを用いて測定を実施している。



2022年8月撮影



2022年11月撮影

(a) コナラ等広葉樹 機械更新伐(伐採率60%) 平成27(2015)年施業：測点I7付近



2022年8月撮影



2022年11月撮影

(b) コナラ等広葉樹 人力更新伐(伐採率60%)：測点J5付近



2022年8月撮影



2022年11月撮影

(c) コナラ等広葉樹 機械更新伐(伐採率60%) 平成28(2016)年施業：測点Q13付近

写真 2-11 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的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。

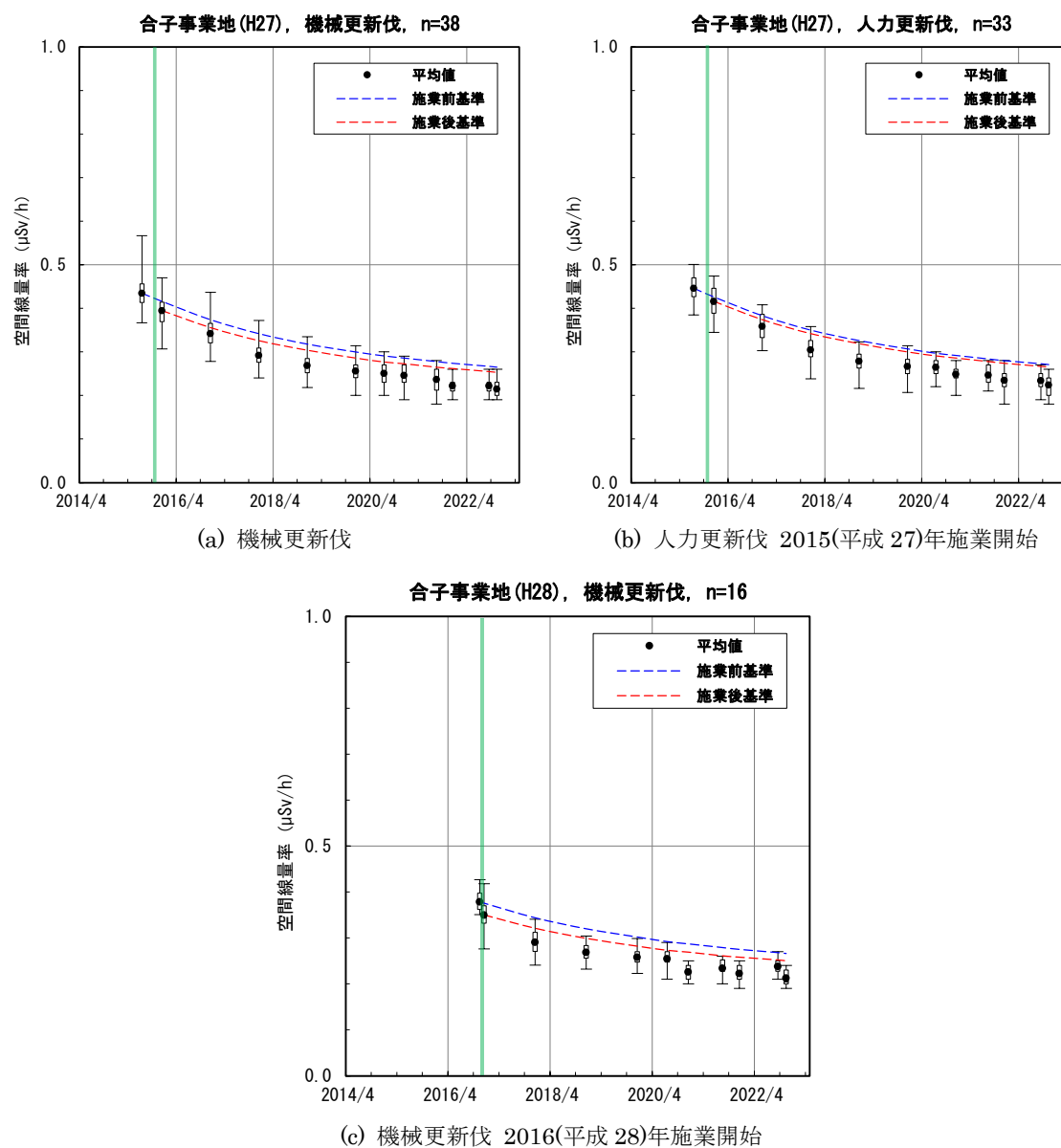


図 2-28 合子事業地における空間線量率推移

- ・空間線量率は実測値（地上 1 m）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的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的減衰による空間線量率の低減を示す。物理的減衰補正は、放射性セシウム Cs-134 と Cs-137 の初期の存在比と物理学的半減期の違いを考慮して算出したものである。

⑥ ^{おおきさ}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 1 m 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。
- ・図中の測点番号は、写真 2-12 に示した林況写真の撮影箇所である。

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 2-25 に施業種別の空間線量率測定結果、写真 2-12 に今年度調査における森林内の林況を示す。

大笹事業地の現況としては、ヒノキ林であるため林内は暗い箇所が多いが、高密度に路網が入っている林分であり、列状間伐を実施した箇所や森林作業道上は明るく、伐採列跡には下層植生が繁茂している。

表 2-25 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	—	—	
15	令和 4(2022)年 8 月 23 日	47	0.371	65	0.391	—	—	
16	11 月 23 日	47	0.350	65	0.374	—	—	

- ・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 1 地点の測定結果は、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 (日本レイテック製、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バイメータ (日本レイテック製、TCS-172B) のみを用いて測定を実施している。



2022年8月撮影



2022年11月撮影

(a) ヒノキ、アカマツ 作業道：測点 E10 付近



2022年8月撮影



2022年11月撮影

(b) ヒノキ、アカマツ 列状間伐(2伐8残)：測点 G7 付近



2022年8月撮影



2022年11月撮影

(c) ヒノキ、アカマツ 定性間伐：測点 H4 付近

写真 2-12 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、いずれの施業区においても物理的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 に施業種別の空間線量率推移を示す。

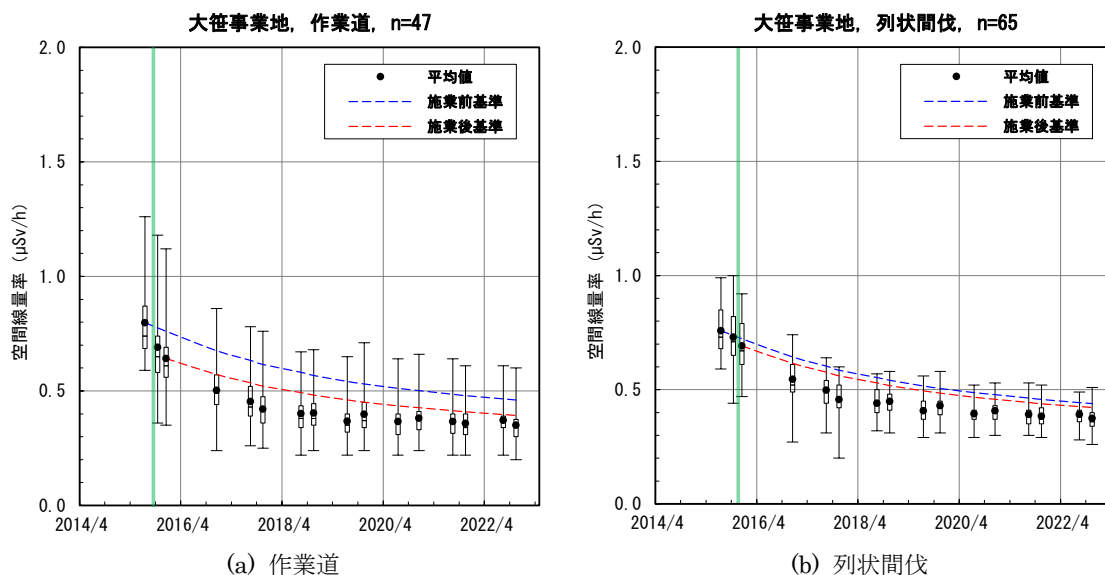


図 2-30 大笹事業地における空間線量率推移

- ・空間線量率は実測値（地上 1 m）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的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的減衰による空間線量率の低減を示す。物理的減衰補正は、放射性セシウム Cs-134 と Cs-137 の初期の存在比と物理学的半減期の違いを考慮して算出したものである。

⑦ ^{うすいし}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。
- ・図中の測点番号は、写真 2-13 に示した林況写真の撮影箇所である。

間伐は、2015年8月5日から10月6日に実施された。表 2-26 に施業種別の空間線量率測定結果、写真 2-13 に今年度調査における森林内の林況を示す。

臼石事業地の現況としては、スギ林であるが作業道が入っていること、公道が直近を走っていることにより、比較的林内は明るく、下層植生や低灌木が繁茂している箇所が散見される。

表 2-26 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	
19	令和 4(2022)年 8 月 10 日	6	1.130	4	1.053	
20	11 月 21 日	6	1.097	4	1.003	

- ・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。
- ・作業道作設箇所3地点の測定結果は、検証対象外として本表に整理していない。



2022年8月撮影



2022年11月撮影

(a) スギ 無施業：測点 1-20 付近



2022年8月撮影



2022年11月撮影

(b) スギ 定性間伐(24%)：測点 2-20 付近

写真 2-13 白石事業地の林況

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的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。

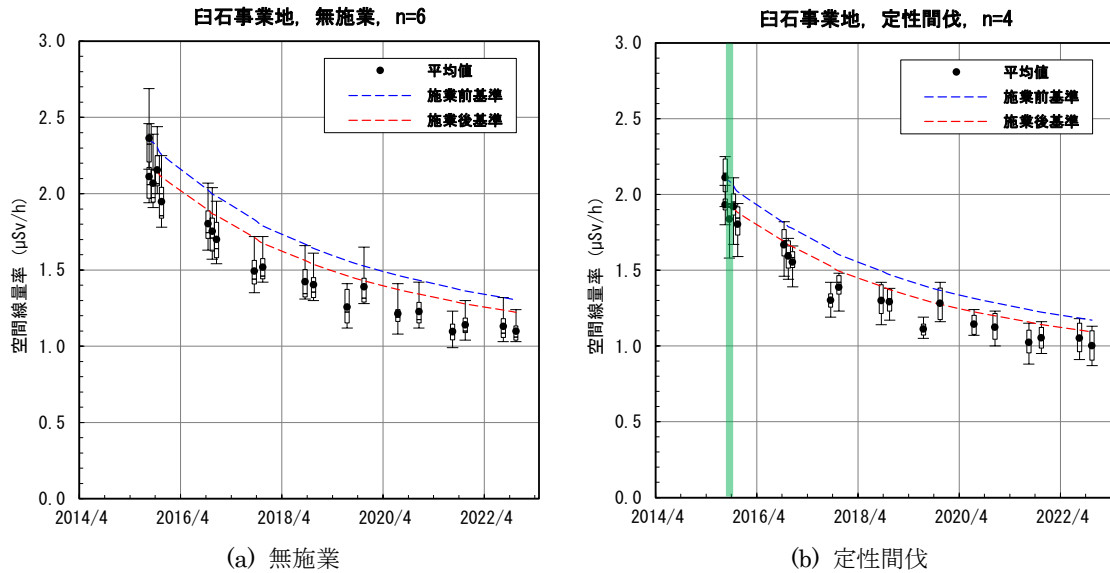


図 2-32 白石事業地における空間線量率推移

- 空間線量率は実測値（地上 1 m）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的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的減衰による空間線量率の低減を示す。物理的減衰補正は、放射性セシウム Cs-134 と Cs-137 の初期の存在比と物理学的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 1 m 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。
- ・図中の測点番号は、写真 2-14 に示した林況写真の撮影箇所である。

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 2-27 に施業種別の空間線量率測定結果、写真 2-14 に今年度調査における森林内の林況を示す。

馬場平事業地の現況としては、列状間伐箇所はスギ・ヒノキが主体の林分であり比較的暗いが、森林作業道上などの明るい箇所には下層植生の繁茂が多くみられる。定性間伐箇所はヒノキ林は暗いが、アカマツ林は明るく下層植生や低灌木が非常に密に繁茂しており、歩行が困難である。皆伐箇所はスギが植栽されており、樹高 4m 程度に生長していることから、林内は植栽列ではない箇所を除くと暗い。

表 2-27 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 5月 31日	44	0.340	15	0.393	20	0.464	15	0.383	施業前測定
2	6月 22日	44	0.325	15	0.335	20	0.447	15	0.365	
3	7月 1日	44	0.298	15	0.307	20	0.416	15	0.334	
4	8月 3日	44	0.304	15	0.314	20	0.420	15	0.336	
5	9月 7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 5日	44	0.270	15	0.268	20	0.354	15	0.275	
8	平成 30(2018)年 10月 2日	44	0.244	15	0.248	20	0.324	15	0.250	
9	令和 1(2019)年 10月 3日	44	0.234	15	0.239	20	0.308	15	0.244	
10	令和 2(2020)年 7月 20日	44	0.219	15	0.213	20	0.273	15	0.220	
11	12月 7日	44	0.220	15	0.208	20	0.266	15	0.223	
12	令和 3(2021)年 8月 5日	44	0.204	15	0.201	20	0.256	15	0.209	
13	12月 7日	44	0.213	15	0.207	20	0.267	15	0.208	
14	令和 4(2022)年 9月 1日	44	0.203	15	0.199	20	0.254	15	0.201	
15	11月 29日	44	0.203	15	0.195	20	0.261	15	0.199	

- ・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。
- ・道路6地点、作業道作設箇所29地点（計35点）の測定結果は、検証対象外として本表に整理していない。
- ・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（日本レイテック製、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ベイメータ（日本レイテック製、TCS-172B）のみを用いて測定を実施している。



2022年8月撮影



2022年11月撮影

(a) アカマツ、ヒノキ、スギ 無施業：測点 2F 付近



2022年8月撮影



2022年11月撮影

(b) アカマツ、ヒノキ、スギ 皆伐：測点 13C 付近



2022年8月撮影



2022年11月撮影

(c) アカマツ、ヒノキ、スギ 列状間伐(2伐8残)：測点 17F 付近



2022年8月撮影



2022年11月撮影

(d) アカマツ、ヒノキ、スギ 定性間伐(30%)：測点 8E 付近

写真 2-14 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的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。

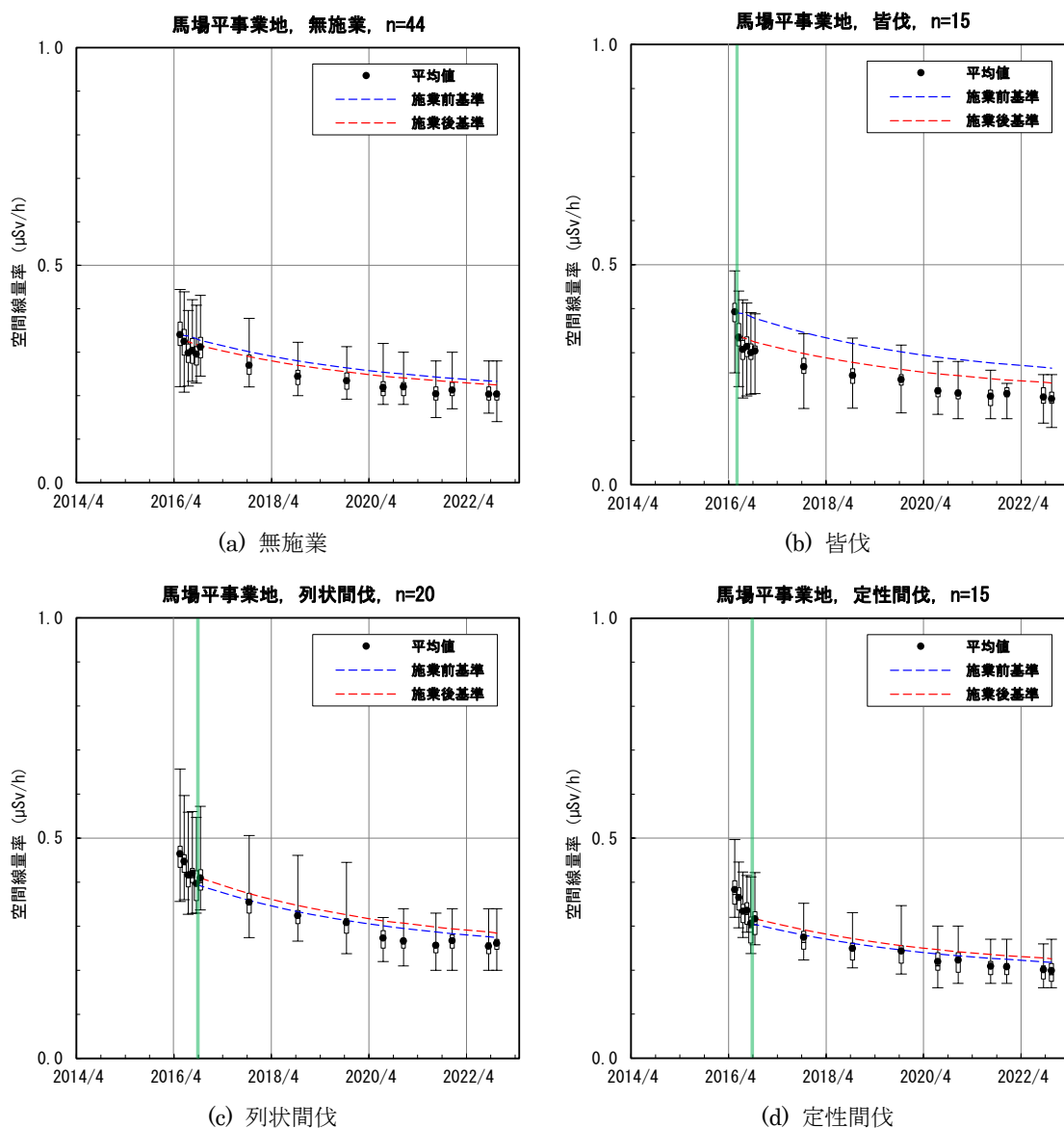


図 2-34 馬場平事業地における空間線量率推移

- ・空間線量率は実測値（地上 1 m）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的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的減衰による空間線量率の低減を示す。物理的減衰補正は、放射性セシウム Cs-134 と Cs-137 の初期の存在比と物理学的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

相馬郡飯館村中央部の関沢地区に所在する飯館村村有林であり、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。
- ・図中の測点番号は、写真 2-15 に示した林況写真の撮影箇所である。

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2-28に施業種別の空間線量率測定結果、写真2-15に今年度調査における森林内の林況を示す。

関沢事業地の現況としては、主林木がヒノキであることから下層植生は少ないが、南向き斜面であるためヒノキ林としては明るい印象の林分となっている。

表 2-28 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 9月 2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 2日	15	1.671	12	1.204	施業後測定
4	平成 29(2017)年 3月 8日	15	1.515	12	1.084	
5	8月 1日	15	1.424	12	1.041	
6	11月 24日	15	1.331	12	0.975	
7	平成 30(2018)年 8月 1日	15	1.171	12	0.861	
8	11月 21日	15	1.287	12	0.953	
9	令和 1(2019)年 7月 23日	15	1.248	12	0.806	
10	11月 22日	15	1.161	12	0.793	
11	令和 2(2020)年 7月 13日	15	1.178	12	0.844	
12	12月 1日	15	1.211	12	0.818	
13	令和 3(2021)年 8月 11日	15	1.175	12	0.814	
14	11月 19日	15	1.131	12	0.819	
15	令和 4(2022)年 8月 10日	15	1.081	12	0.792	
16	11月 16日	15	1.143	12	0.823	

- ・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。
- ・谷地形に多量堆積物があり、立ち入りが困難となっている1地点、作業道作設箇所12地点（計13点）の測定結果は、検証対象外として本表に整理していない。



2022年8月撮影



2022年11月撮影

(a) ヒノキ 人力定性間伐(23.4%) : 測点 D6 付近



2022年8月撮影



2022年11月撮影

(b) ヒノキ 機械定性間伐(23.4%) : 測点 F5 付近

写真 2-15 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、施業完了後約 3 年目までは物理的減衰を上回る低減傾向にあったが、4 年目以降は物理的減衰に従って低減してい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。

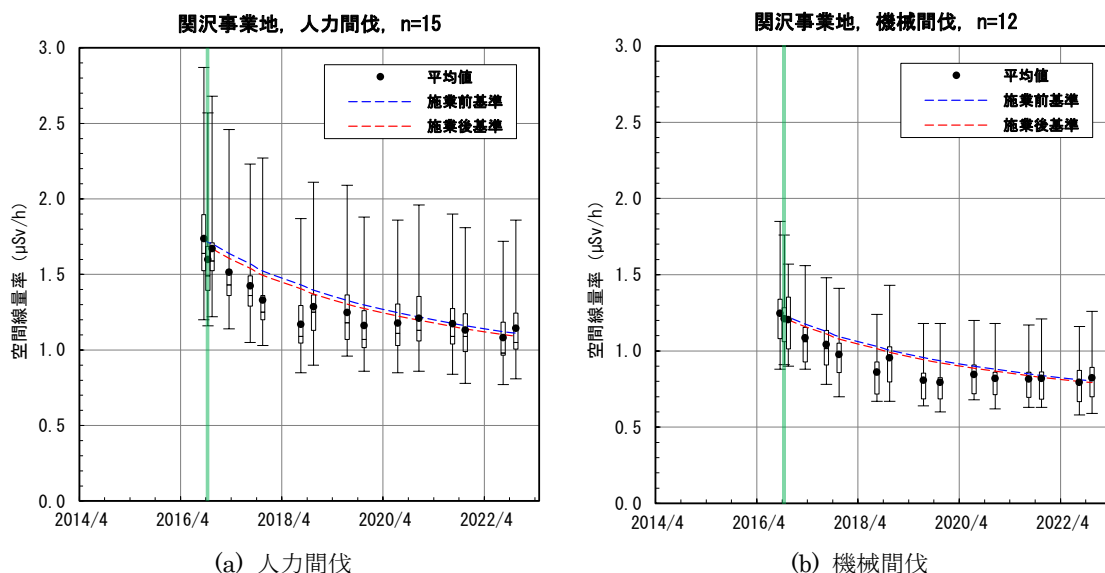


図 2-36 閑沢事業地における空間線量率推移

- 空間線量率は実測値（地上 1 m）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的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的減衰による空間線量率の低減を示す。物理的減衰補正は、放射性セシウム Cs-134 と Cs-137 の初期の存在比と物理学的半減期の違いを考慮して算出したものである。

⑩ ^{おおや}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 1 m において空間線量率を測定した。配置図を図 2-37 に示す。

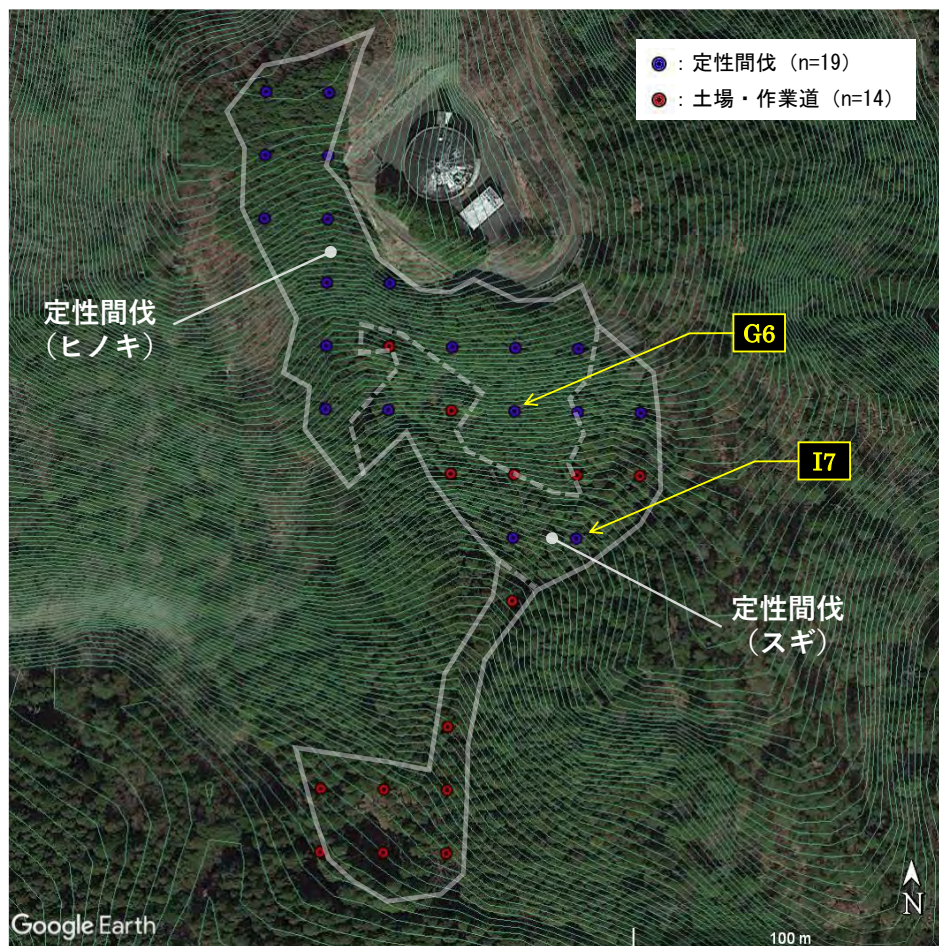


図 2-37 大谷事業地空間線量率測定点

- ・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。
- ・図中の測点番号は、写真 2-16 に示した林況写真の撮影箇所である。

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2-29に施業種別の空間線量率測定結果、写真2-16に今年度調査における森林内の林況を示す。

大谷事業地の現況としては、スギ林は暗めであるが、森林作業道や土場は明るく、また南向き斜面であることもあり下層植生が多くみられる。ヒノキ林も下層植生は少な目であるものの、スギ林同様、南向き斜面であることから比較的明るい印象である。

表 2-29 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 4 月 28 日	14	0.376	5	0.364	施業後測定
3	6 月 20 日	14	0.350	5	0.340	
4	8 月 1 日	14	0.354	5	0.344	
5	11 月 30 日	14	0.360	5	0.334	
6	平成 30(2018)年 8 月 1 日	14	0.322	5	0.330	
7	11 月 20 日	14	0.332	5	0.318	
8	令和 1(2019)年 7 月 24 日	14	0.304	5	0.300	
9	11 月 25 日	14	0.307	5	0.306	
10	令和 2(2020)年 7 月 16 日	14	0.295	5	0.294	
11	12 月 3 日	14	0.317	5	0.316	
12	令和 3(2021)年 8 月 9 日	14	0.299	5	0.294	
13	11 月 25 日	14	0.290	5	0.284	
14	令和 4(2022)年 8 月 29 日	14	0.276	5	0.272	
15	11 月 11 日	14	0.283	5	0.278	

- ・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。
- ・作業道作設箇所11地点、土場作設箇所3地点（計14点）の測定結果は、検証対象外として本表に整理していない。



2022年8月撮影



2022年11月撮影

(a) ヒノキ 定性間伐(23.2%) : 測点 G6 付近



2022年8月撮影



2022年11月撮影

(b) スギ 定性間伐(17.6~19.3%) : 測点 I7 付近

写真 2-16 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物理的減衰に従って減衰してい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。

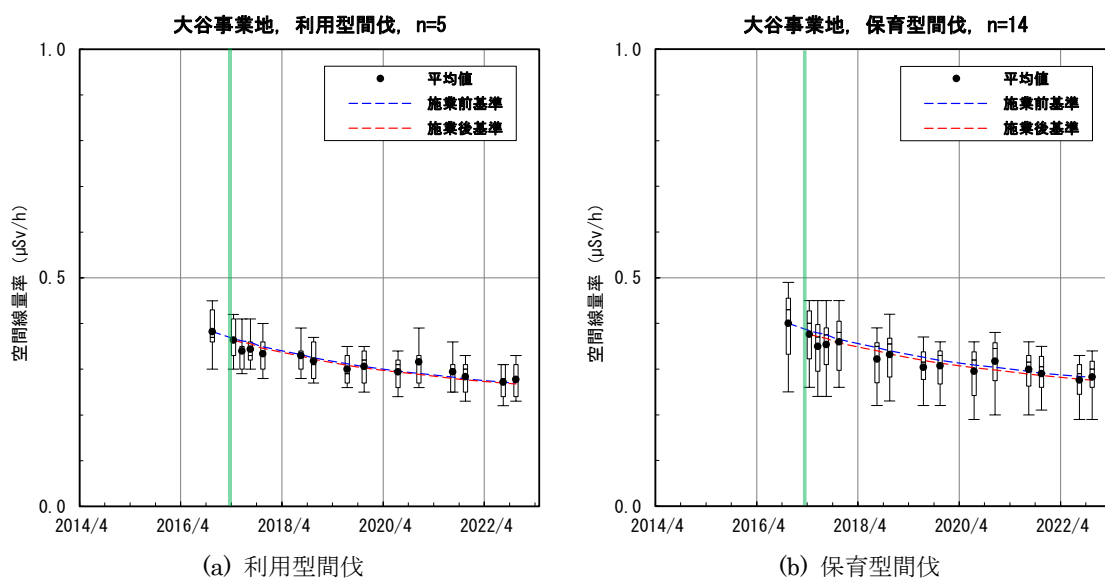


図 2-38 大谷事業地における空間線量率推移

- 空間線量率は実測値(地上1 m)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的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的減衰による空間線量率の低減を示す。物理的減衰補正は、放射性セシウム Cs-134 と Cs-137 の初期の存在比と物理学的半減期の違いを考慮して算出したものである。

(5) 考察

① 森林施業による空間線量率の変化

森林施業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 2-30 に示す。なお、二枚橋事業地については、施業期間中の積雪の影響や使用した放射線測定器にエネルギー補償機能のない結果が含まれていたことから、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 2-30 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 ^{※1}	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
臼石	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

※1：皆伐区について、令和4(2022)年調査において、2測定点のうち、1測定点が欠測となったが、本表においては、施業前後の低減率を比較することから、測定点亡失前のn=2データを用いた。

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、空間線量率低減は僅かであった。

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、施業期間中の積雪の影響やエネルギー補償機能のない放射線測定器を用いた結果が含まれていたことから、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的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。

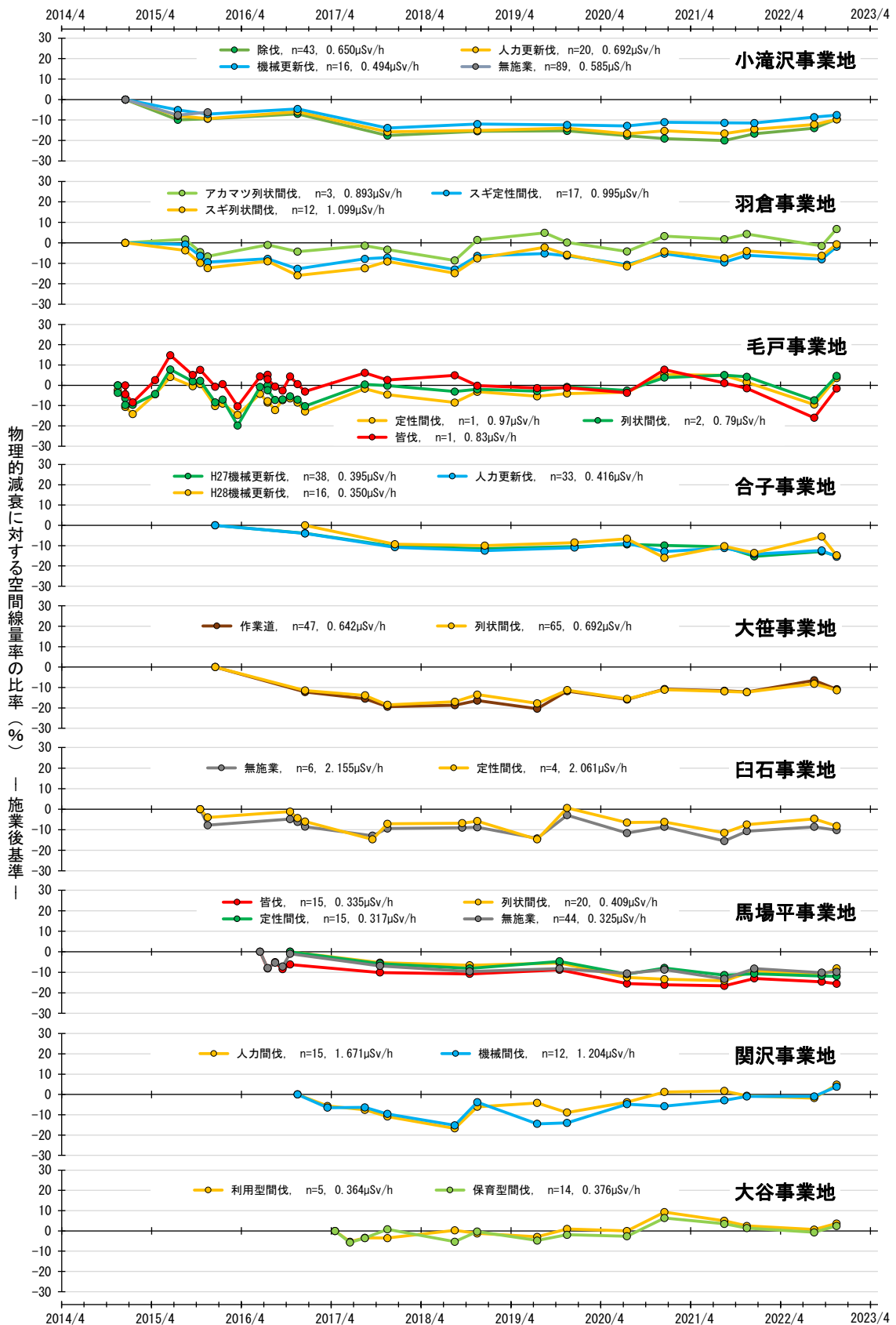


図 2-39 各事業地における施業後の物理的減衰に対する空間線量率の比率の推移

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

③ 初期沈着量の異なる事業地間の空間線量率

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確認されている事業地のうち、初期の放射性 Cs 沈着量の異なる事業地と

して、関沢事業地（2011年7月時点の放射性 Cs 沈着量 1500kBq/m²）、大笹事業地（同 690 kBq/m²）、馬場平事業地（同 230 kBq/m²）について図 2-40 に示すとおり、空間線量率の推移を確認した。空間線量率に比例して誤差棒も長くなり、バラツキが大きいように見えるが、表 2-31 に示したとおり、各事業地の変動係数⁷は、関沢事業地について最大 0.220、

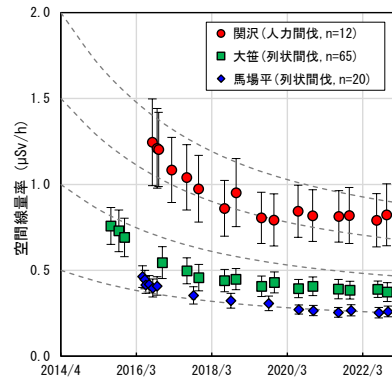


図 2-40 初期沈着量の異なる事業地間の空間線量率推移

- ・破線は、物理学的半減期を示した補助線である。
- ・誤差棒は、標本標準偏差である。

最小 0.175、幅は 0.045 であった。同様に、大笹事業地は最大 0.170、最小 0.12

2、幅は 0.048、馬場平事業地は最大 0.141、最小 0.098、幅は 0.043 であり、事業地間に差異は見られなかった。また、最大の変動係数を示した調査回についても一定の傾向はなく、調査開始当初からの変動係数の傾向もほとんど変わらないことが確認された。このことから、異なる初期沈着量の事業地間でも空間線量率の推移を比較可能であることを示唆している。

表 2-31 初期沈着量の異なる事業地間の空間線量率変動係数推移

調査回	関沢事業地 (人力間伐, n=12)			大笹事業地 (列状間伐, n=65)			馬場平事業地 (列状間伐, n=20)		
	空間線量率(μSv/h)		変動係数	空間線量率(μSv/h)		変動係数	空間線量率(μSv/h)		変動係数
	平均値	標準偏差		平均値	標準偏差		平均値	標準偏差	
1	1.246	0.253	0.203	0.758	0.107	0.141	0.464	0.063	0.136
2	1.210	0.232	0.192	0.730	0.122	0.167	0.447	0.054	0.121
3	1.204	0.216	0.179	0.692	0.112	0.162	0.416	0.050	0.120
4	1.084	0.190	0.175	0.545	0.093	0.171	0.42	0.050	0.119
5	1.041	0.190	0.183	0.497	0.075	0.151	0.397	0.052	0.131
6	0.975	0.194	0.199	0.457	0.077	0.168	0.409	0.054	0.132
7	0.861	0.162	0.188	0.440	0.065	0.148	0.354	0.050	0.141
8	0.953	0.198	0.208	0.448	0.062	0.138	0.324	0.043	0.133
9	0.806	0.149	0.185	0.407	0.060	0.147	0.308	0.042	0.136
10	0.793	0.152	0.192	0.430	0.061	0.142	0.273	0.027	0.099
11	0.844	0.151	0.179	0.394	0.053	0.135	0.266	0.029	0.109
12	0.818	0.150	0.183	0.407	0.054	0.133	0.256	0.028	0.109
13	0.814	0.150	0.184	0.391	0.057	0.146	0.267	0.033	0.124
14	0.819	0.163	0.199	0.384	0.052	0.135	0.254	0.031	0.122
15	0.792	0.155	0.196	0.391	0.048	0.123	0.261	0.031	0.119
16	0.823	0.181	0.220	0.374	0.055	0.147	0.464	0.063	0.136
		最大	0.220		最大	0.171		最大	0.141
		最小	0.175		最小	0.123		最小	0.099
		幅	0.045		幅	0.048		幅	0.042

・各事業地で観測された変動係数について、最大値を赤字で、最小値を青字で強調表示した。

⁷ 変動係数は標準偏差を平均値で割った数。変動係数を用いてデータ群間のバラツキを相対的に比較することができる。

④ 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いることから、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、チェー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。

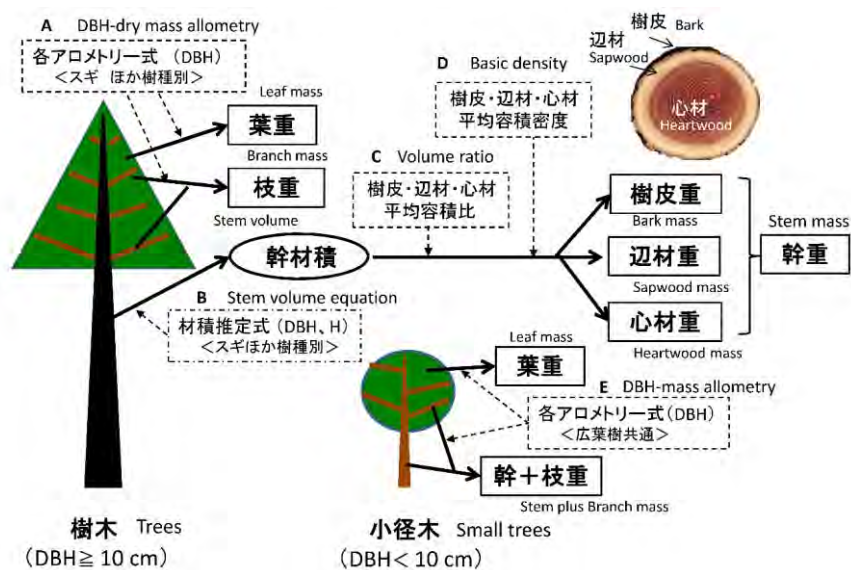
施業の有無による比較を目的とした無施業区域が設定されていない事業地が多く、小滝沢事業地については無施業区域の測定を中断してしまった事業地もある。これらの事業地について、施業初期に設定されていた周囲測量点や無施業区域等の測定点を復元し、測定した結果を比較検討することで、今までの測定結果を補い得る可能性がある。ただし、施業当時の杭表示は経年によって失われている可能性が高く、復元には再度の測量等が必要となる可能性がある。

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（スギ林及びコナラ主体林）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、スギ林やコナラ主体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。併せて土壌調査結果を基に森林土壌中の放射性物質現存量を推定し、森林の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の森林生態系内における割合を明らかにすることとした。



※枝と葉の乾重は (A) DBH を変数とする各アロメトリー式から、幹は (B) 総幹材積を計算して、それに樹皮・辺材・心材それぞれの (C) 容積比と (D) 容積密度を乗じて部位別の乾重に換算する方法で求めた。小径木は、木部（幹と枝合計）と葉の2つに分けて、(E) 各アロメトリー式から推定した。

出典：森林総合研究所研究報告 Vol13-No. 3 (No. 432)

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

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館村のスギ林、田村市及び葛尾村のコナラ主体の林分で実施した（写真 3-1、写真 3-2、図 3-2）。なお、スギ林は次章「4. 森林内の放射性物質移動（下方浸透）の検証」において設定した間伐区の対照区に該当する箇所の林分である。

		
冬住事業地 <南相馬市 2011 林班ち 3 小班> 林地面積：4.2ha 林齢：38 年生 空間線量率：0.96 μ Sv/h 初期沈着量：720kBq/m ²	高倉事業地 <南相馬市 2031 林班い 1 小班> 林地面積：7.94ha 林齢：55 年生 空間線量率：0.9 μ Sv/h 初期沈着量：990kBq/m ²	飯樋事業地 <飯館村 2336 林班ら 1 小班> 林地面積：10.04ha 林齢：65 年生 空間線量率：1 μ Sv/h 初期沈着量：900kBq/m ²

写真 3-1 事業地概要（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

※林齢は令和 5 年現在

		
田村事業地 <田村市 261 林班ろ 1 小班> 林地面積：2.53ha 林齢：67 年生 空間線量率：0.41 μ Sv/h 初期沈着量：400kBq/m ² コナラ以外の樹木：ミズナラ、サクラ類等	葛尾事業地 <葛尾村 1236 林班い 5 小班> 林地面積：3.26ha 林齢：38 年生 空間線量率：0.97 μ Sv/h 初期沈着量：1,020kBq/m ² コナラ以外の樹種：ミズナラ、ミヤマガマズミ、エゴノキ等	大放事業地 <葛尾村 1286 林班い 2 小班> 林地面積：13.55ha 林齢：38 年生 空間線量率：0.54 μ Sv/h 初期沈着量：400kBq/m ² コナラ以外の樹種：チョウジサクラ、クヌギ、クリ等

写真 3-2 事業地概要（コナラ主体林）

※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

※林齢は令和 5 年現在

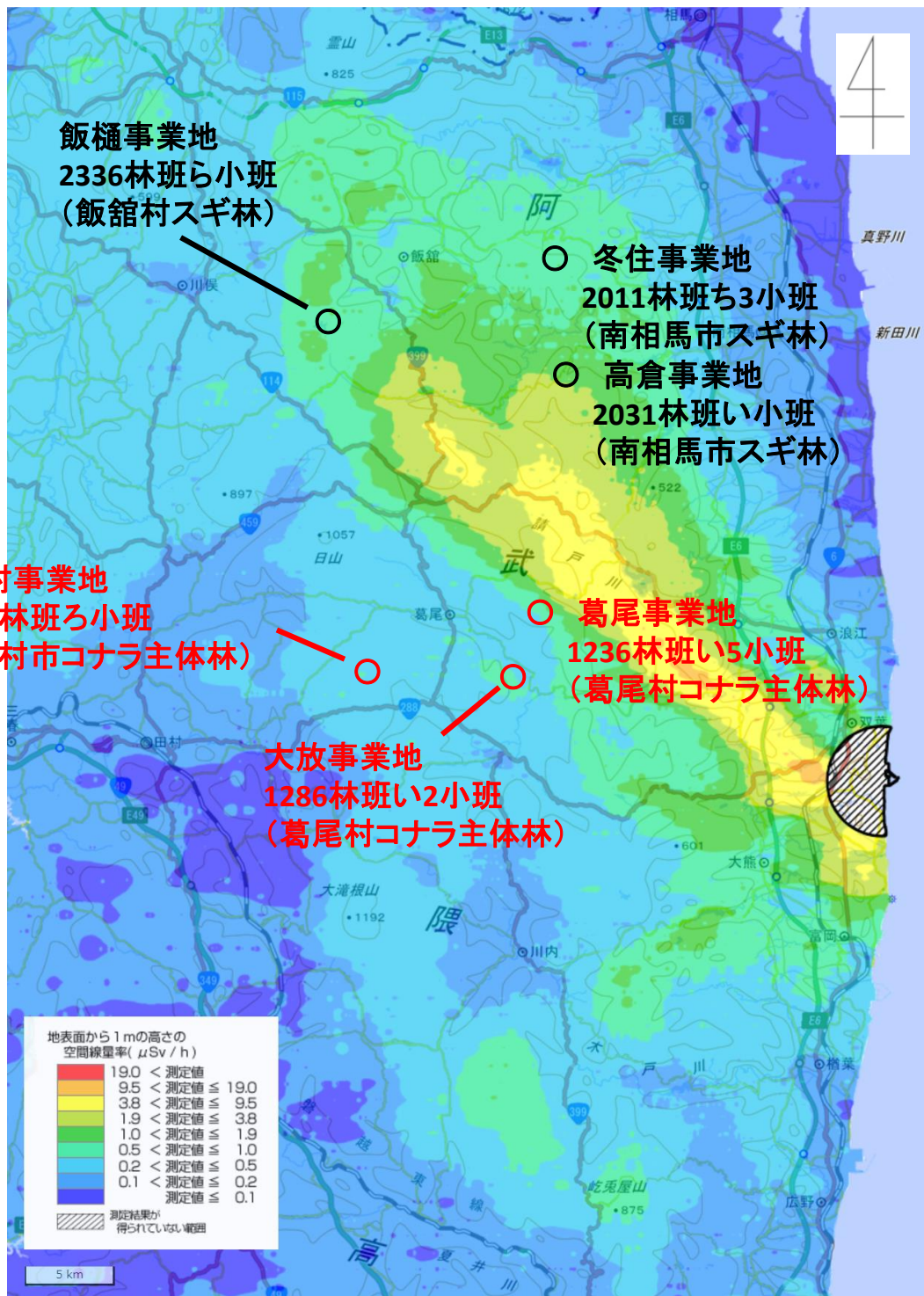


図 3-2 事業地位置図

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）

※○は事業地の位置を示す。

(2) 調査方法

1) 調査スケジュール

本事業は令和3年度より開始し、初年度にあたる令和3年度は毎木調査、土壌調査、リターフォール調査の全てを実施し、材、樹皮、枝葉、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を調べた。

2年目にあたる令和4年度は、リターフォール調査のみ実施し、令和5年度も同様に実施する予定である。令和6年度もしくは令和7年度を最終年度とする予定であり、最終年度に再度毎木調査と土壌調査を実施し、調査を完結させるスケジュールとなっている（図3-3）。

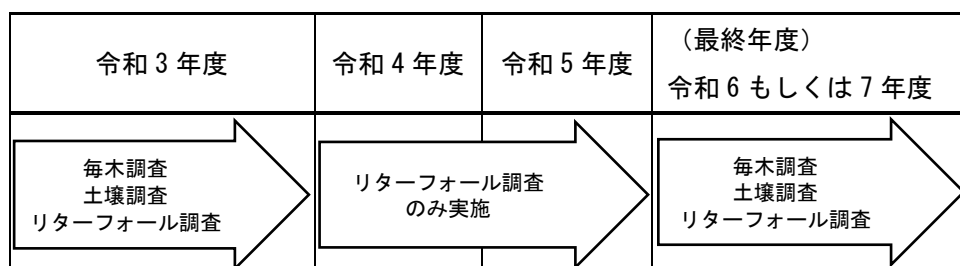


図 3-3 調査スケジュール（複数年度）

2) 毎木調査（令和3年度報告書内容再掲）

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以上の林分では短辺を20m、長辺を平均樹高以上の長さとした長方形とする⁸）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5cm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。

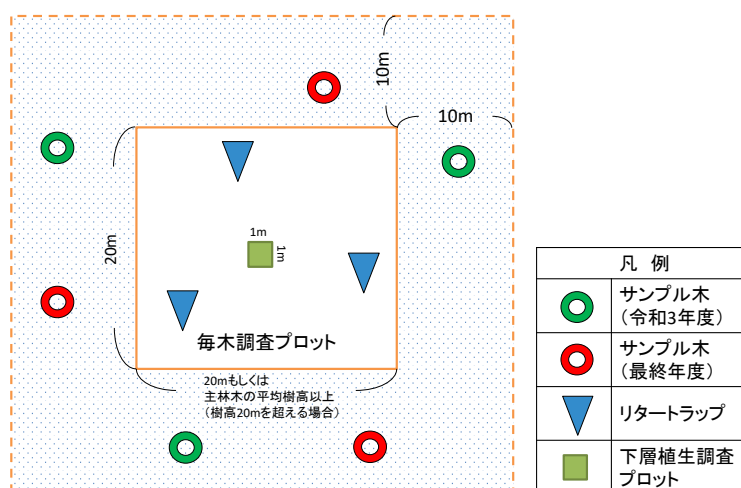


図 3-4 試験設定のイメージ

⁸ 毎木調査プロットにおいて長辺が生じた事業地はいずれもスギ林であり、冬住事業地（2011 林班ち3 小班）が24m、高倉事業地（2031 林班い小班）が23m、飯桶事業地（2336 林班ら小班）が27mであった。

3) サンプル木の選定と試料採取（令和3年度報告書内容再掲）

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 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。
- ③②で決定した値に近い値の立木を各 1 本（サイズ大・中・小）、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）

事業地名 林小班名	採取日 (2021 年)	サイズ	胸高直径	樹高	生枝下高	生枝下直径
			(cm)	(m)	(m)	(cm)
冬住事業地 2011 林班 ち 3 小班	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
高倉事業地 2031 林班 い 1 小班	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
飯樋事業地 2336 林班 ら 1 小班	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

表 3-3 サンプル木の胸高直径、樹高等基礎データ（コナラ主体林）

事業地名 林小班名	採取日 (2021 年)	サイズ	胸高直径	樹高	生枝下高	生枝下直径
			(cm)	(m)	(m)	(cm)
葛尾事業地 1236 林班 い 5 小班	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
大放事業地 1286 林班 い 2 小班	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
田村事業地 261 林班 ろ 1 小班	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

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/m^3) 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 ($\text{Bq}/\text{kg-wet}$ 、 $\text{Bq}/\text{kg-dry}$) 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 ($\text{Bq}/\text{kg-wet}$ 、 $\text{Bq}/\text{kg-dry}$) 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

4) 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)				広葉樹 DBH class (cm)			
	a	b	c		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)

事業地名	本数 (本/ha)	本数割合	材積 (m ³ /ha)	材積割合
冬住事業地	1,938	97%	1,040	99%
高倉事業地	2,543	99%	1,056	98%
飯樋事業地	852	73%	1,166	99%

表 3-6 毎木調査結果 (コナラ主体林分)

事業地名	本数 (本/ha)	本数割合	材積 (m ³ /ha)	材積割合
葛尾事業地	775	31%	99	70%
大放事業地	700	34%	103	52%
田村事業地	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

事業地名	樹種	容積比		
		樹皮	辺材	心材
冬住事業地	スギ	0.062	0.591	0.347
高倉事業地	スギ	0.077	0.597	0.326
飯樋事業地	スギ	0.090	0.524	0.386
葛尾事業地	コナラ	0.186	0.618	0.196
大放事業地	コナラ	0.170	0.563	0.268
田村事業地	コナラ	0.182	0.422	0.396

※採取試料データより算出

表 3-8 樹種別の容積密度

事業地名	樹種	容積密度 (kg/m ³)		
		樹皮	辺材	心材
冬住事業地	スギ	400	341	384
高倉事業地	スギ	388	384	430
飯樋事業地	スギ	273	317	427
葛尾事業地	コナラ	587	683	626
大放事業地	コナラ	564	687	617
田村事業地	コナラ	581	651	623

※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

5) 堆積有機物及び土壌の採取（令和3年度報告書内容再掲）

令和3年度にサンプル木から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

6) リタートラップの設置とリターフォール試料の採取

令和3年度から、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基設置している。設定にあたっては、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とした（写真 3-5）。

リタートラップは令和3年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。試料は毎月末頃に収集し、令和3年度は9~11月の3か月間、12~2月の3ヶ月間分をまとめて放射性セシウム濃度等を分析、令和4年度は3~5月分、6~8月分、9~11月分、12~2月分をそれぞれまとめて分析した。

なお、スギ林に関しては、リターフォールの中身を主林木であるスギの葉とそれ以外のリターフォールに選別し分析した。



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
（コナラ主体林）

写真 3-5 リタートラップの設置状況

7) 下層植生調査（令和3年度報告書内容再掲）

令和3年度に、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
（コナラ主体林）

写真 3-6 下層植生プロットの設定状況

8) 試験地の設定状況（令和3年度報告書内容再掲）

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。

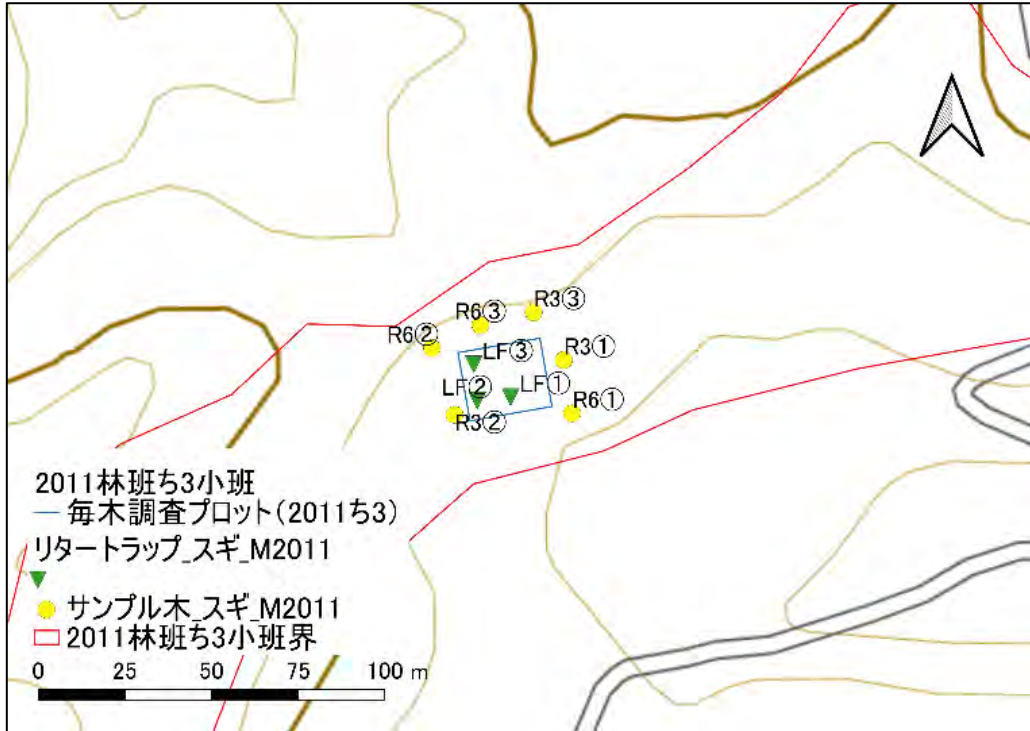


図 3-5 冬住事業地（南相馬市スギ林_2011 林班ち3小班）

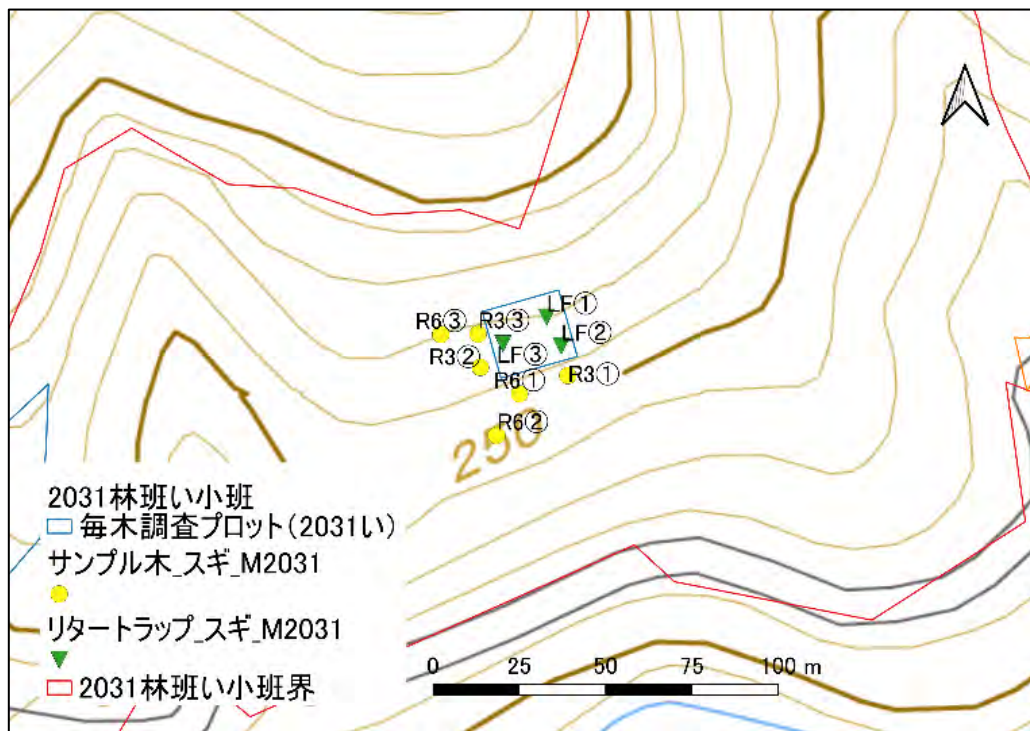


図 3-6 高倉事業地（南相馬市スギ林_2031 林班い小班）

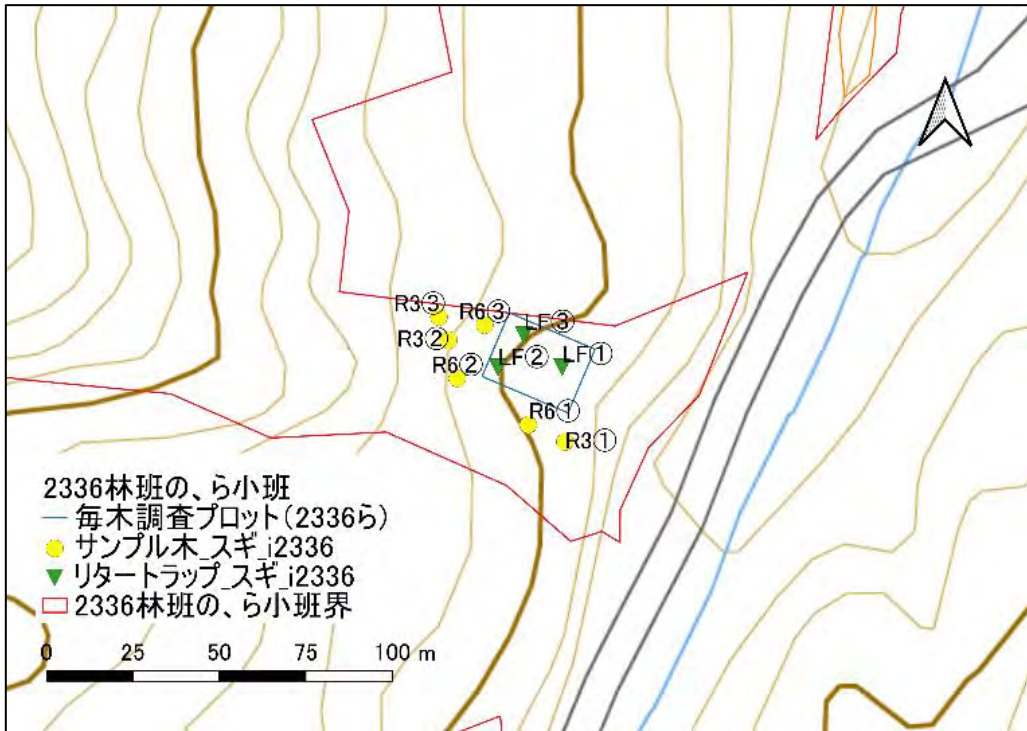


図 3-7 飯樋事業地 (飯館村スギ林_2336 林班ら小班)

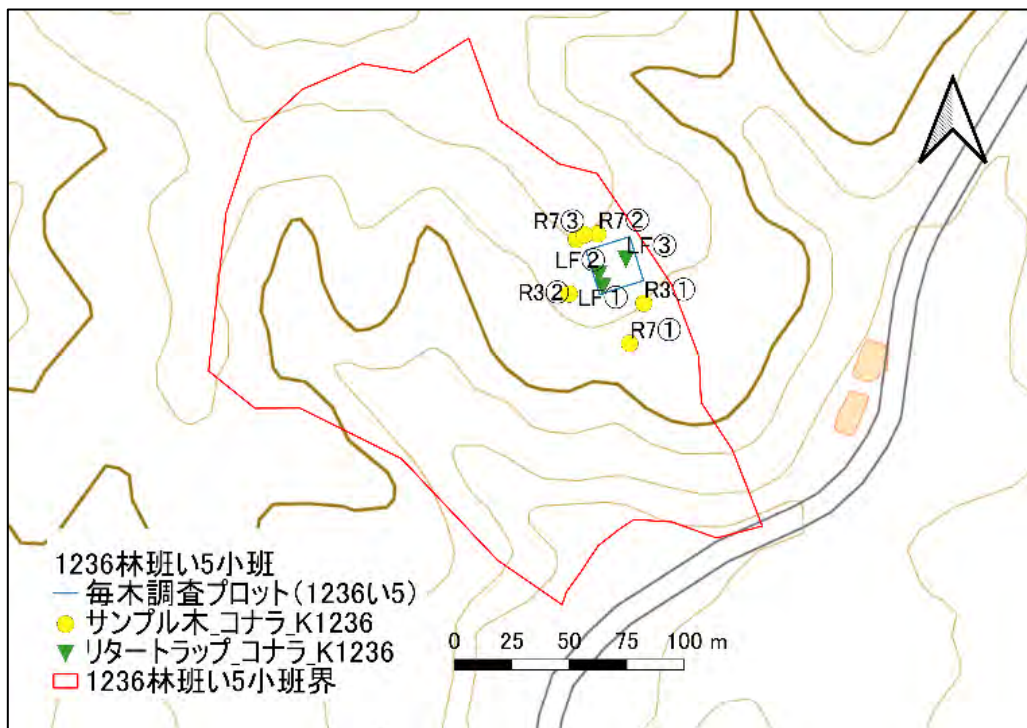


図 3-8 葛尾事業地 (葛尾村コナラ主体林_1236 林班い5小班)

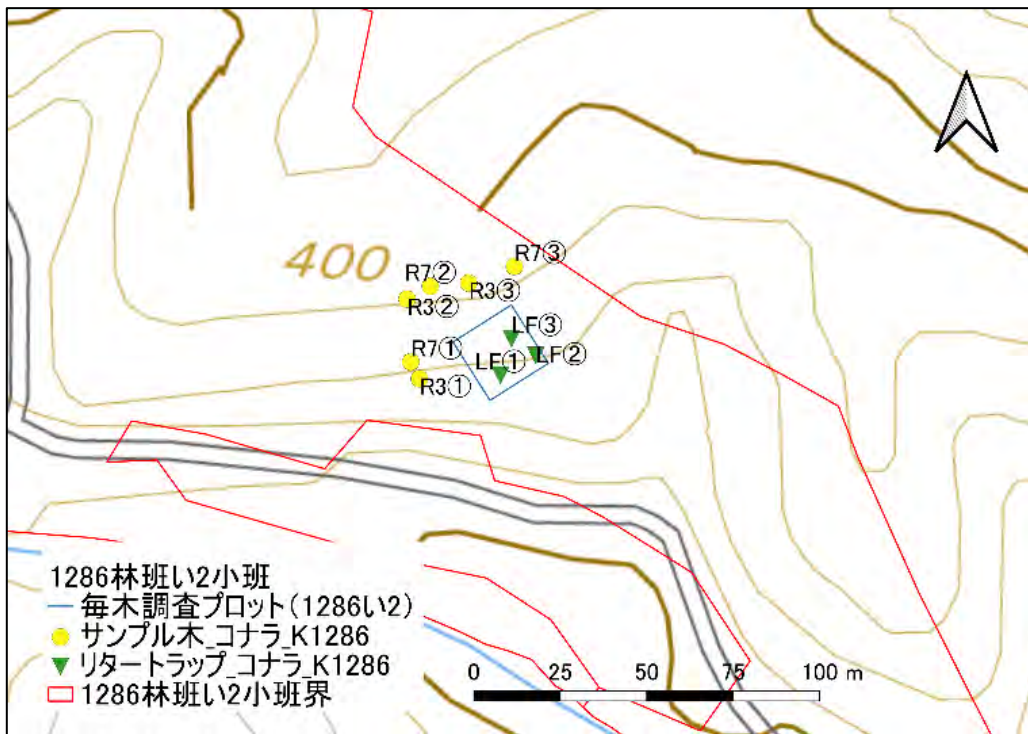


図 3-9 大放事業地（葛尾村コナラ主体林_1286 林班い2 小班）

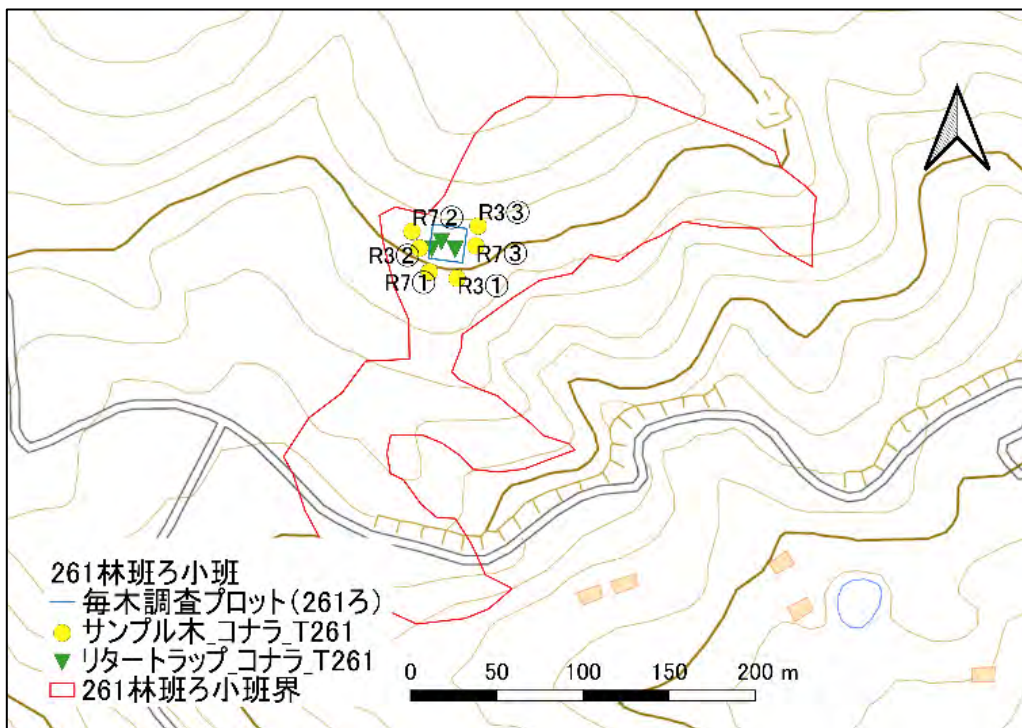


図 3-10 田村事業地（田村市コナラ主体林_261 林班ろ 小班）

(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（令和3年度報告書内容再掲）

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、コナラ主体林については図 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、コナラ主体林で 2cm 台を示しており、本調査地においては、コナラ主体林と比較して、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。

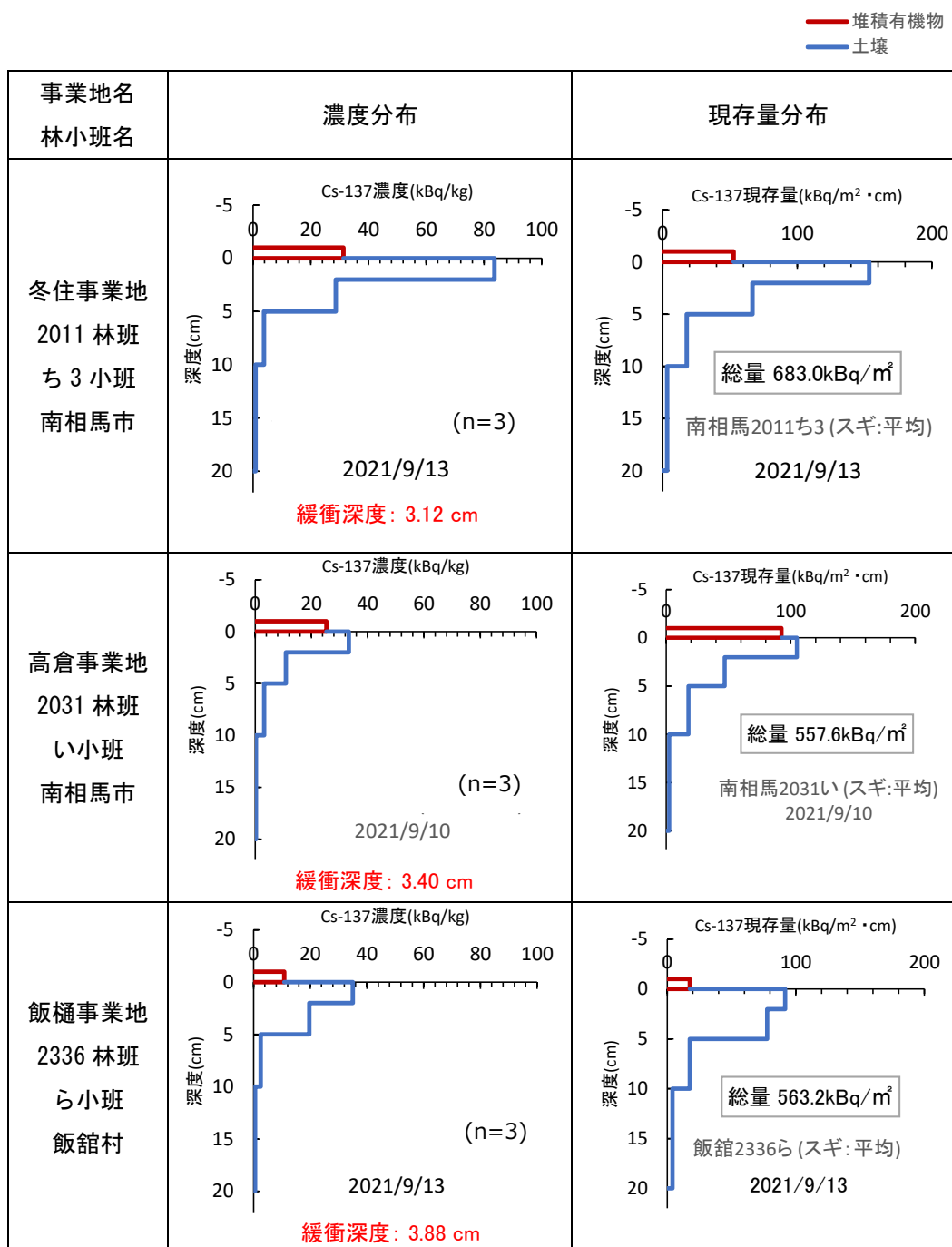


図 3-11 土壌中の放射性セシウム濃度及び現存量分布（スギ林）

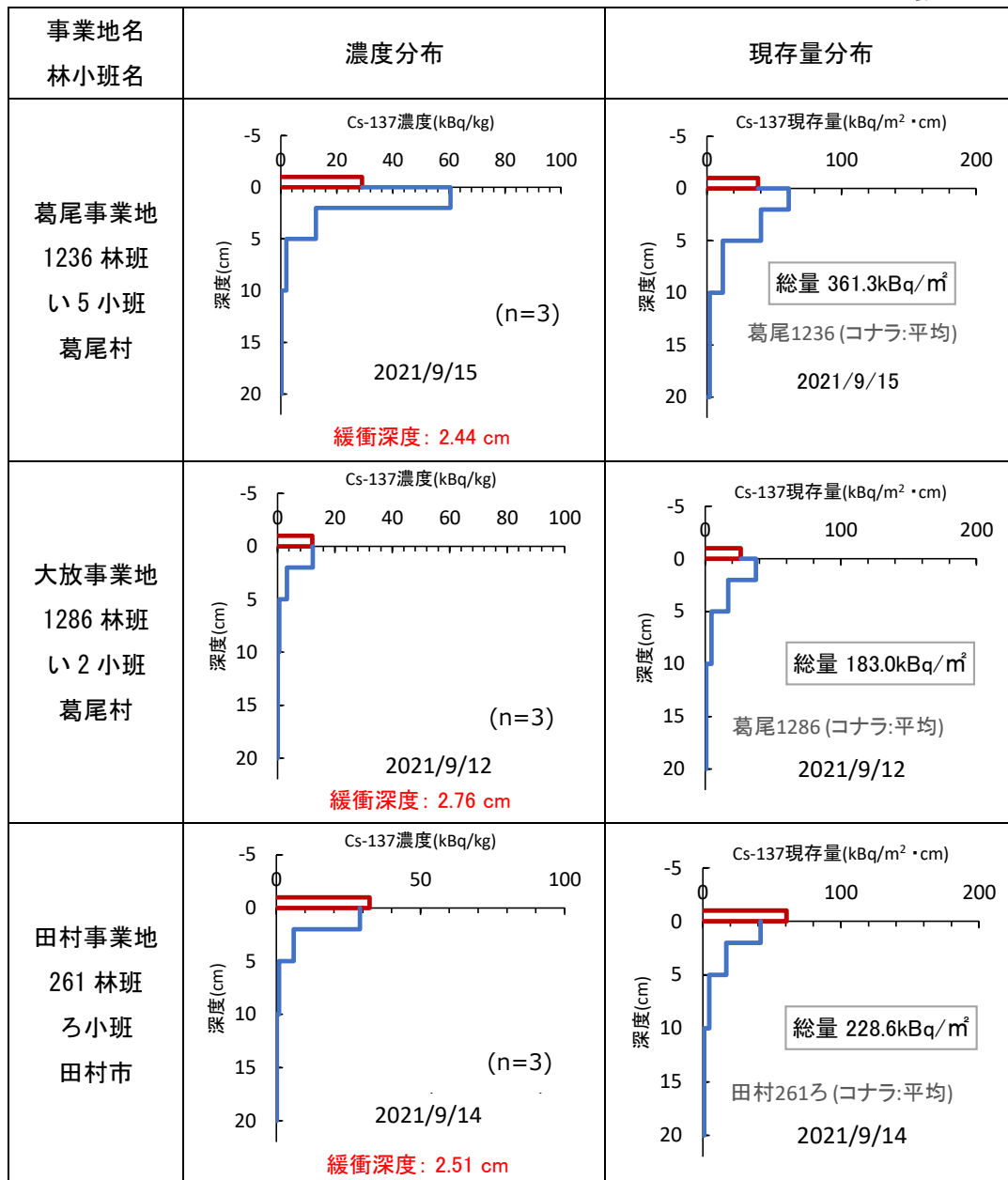


図 3-12 土壌中の放射性セシウム濃度及び現存量分布 (コナラ主体林)

2) リターフォール中の放射性セシウム濃度及び現存量

リターフォールの重量、リターフォール中の放射性セシウム 137 の濃度及び現存量の分析結果を表 3-10～表 3-12 及び図 3-13～図 3-15 に示す。

全般的な傾向としては、①コナラ主体林は 9～11 月のリターフォールが多いことから、これに伴い放射性セシウムの現存量も多くなる、②スギ林はコナラ主体林ほど落葉時期が偏らない、③といったことが挙げられる。

表 3-10 リターフォールの単位面積当たり重量

(kg-dry/m²)

		スギ林			コナラ主体林			
		冬住事業地	高倉事業地	飯樋事業地	葛尾事業地	大放事業地	田村事業地	
		2011 林班 ち 3 小班	2031 林班 い 1 小班	2336 林班 ら 1 小班	1236 林班 い 5 小班	1286 林班 い 2 小班	261 林班 ろ 1 小班	
2021 年 9～11 月	リターフォール全体	280.2	188.7	242.8	325.4	358.9	452.3	
	(内訳)	主林木の葉	210.0	93.4	175.3	-		
		その他 ^{※1}	70.2	95.3	67.6			
2021 年 12 月 ～2022 年 2 月	リターフォール全体	-	123.2	174.8	-	5.5 ^{※4}	3.1 ^{※5}	
	(内訳)	主林木の葉	-	91.0	138.8	-		
		その他	-	32.2	35.9			
2022 年 3～5 月	リターフォール全体	354.4 ^{※2}	49.7	275.8	36.0 ^{※3}	36.6	34.5	
	(内訳)	主林木の葉	250.8	12.2	128.0	-		
		その他	103.7	37.4	147.8			
2022 年 6～8 月	リターフォール全体	20.3	29.5	21.2	22.1	40.8	23.2	
	(内訳)	主林木の葉	10.0	2.1	7.4	-		
		その他	10.3	27.5	13.7			
2023 年 9～11 月	リターフォール全体	271.8	170.0	237.1	450.1	383.4	482.8	
	(内訳)	主林木の葉	188.7	67.4	117.9	-		
		その他	83.1	102.6	119.2			

※1：「その他」とは主林木の葉以外の全てのリターフォールを指す。

※2：2011 林班ち 3 小班は、2021 年 12 月～2022 年 2 月のリターフォールが冬季積雪により回収できなかったため、本表中の 2022 年 3～5 月分の値は 2021 年 12 月～2022 年 5 月分の値を示す。

※3：1236 林班い 5 小班は、2021 年 12 月～2022 年 2 月のリターフォールは冬季積雪及びリタートラップ破損により回収できなかったためデータなし。

※4：1286 林班い 2 小班は、2021 年 12 月～2022 年 2 月のリターフォールのうち、2022 年 2 月のトラップ 1 箇所分のみ冬季積雪及びリタートラップ破損により回収できなかったためデータなし。

※5：261 林班ろ 1 小班は、2021 年 12 月～2022 年 2 月のリターフォールのうち、トラップ 2 箇所分について、2021 年 12 月～2022 年 2/17 まで冬季積雪及びリタートラップ破損により回収できなかったため、当該期間のデータを含まない。

(kg-dry/m²)

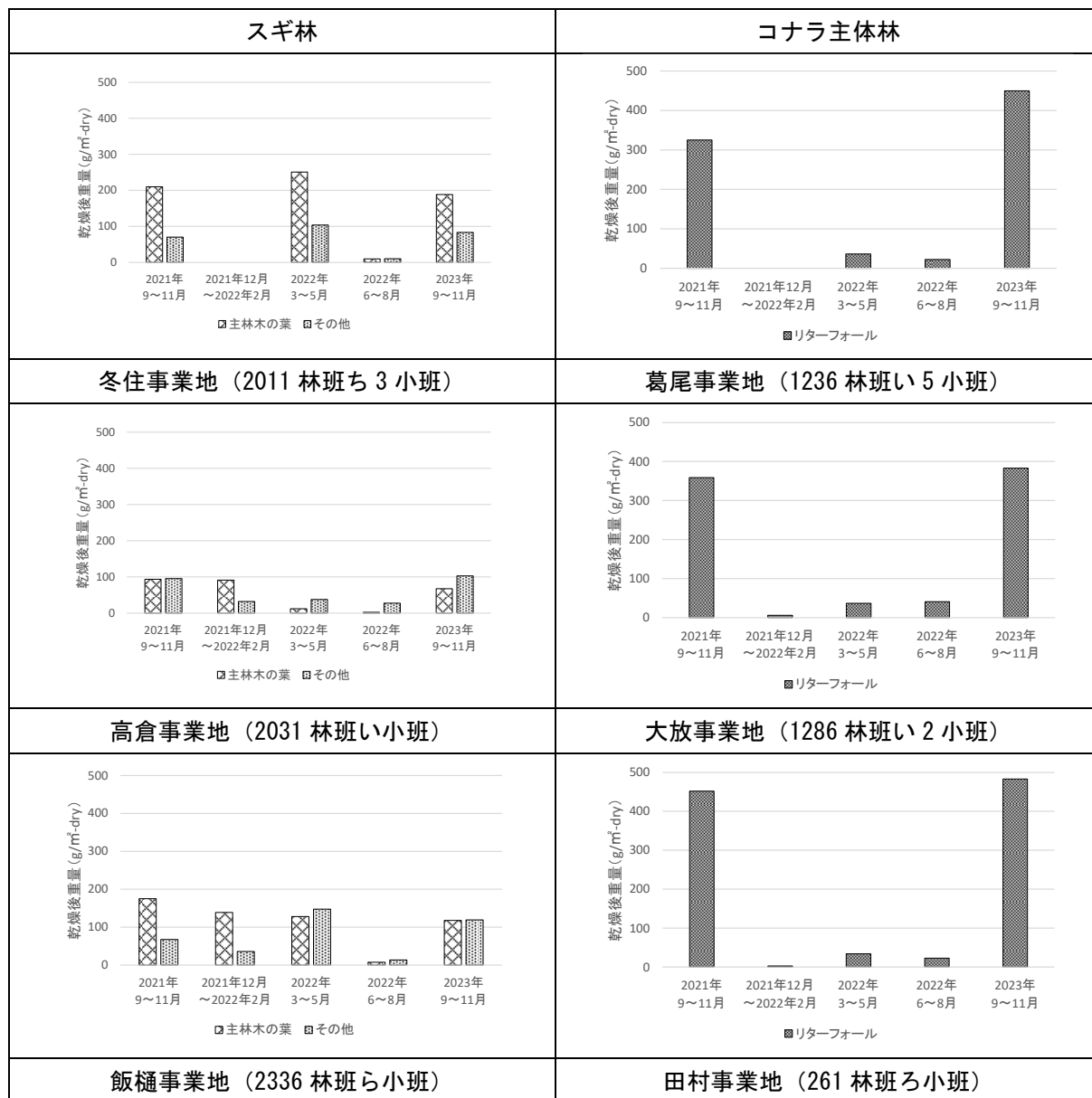


図 3-13 リターフォールの単位面積当たり重量

※1：「その他」とは主林木の葉以外の全てのリターフォールを指す。

※2：2011 林班ち3 小班は、2021 年12 月～2022 年2 月のリターフォールが冬季積雪により回収できなかったため、本グラフ中の2022 年3～5 月分の値は2021 年12 月～2022 年5 月分の値を示す。

※3：1236 林班い5 小班は、2021 年12 月～2022 年2 月のリターフォールは冬季積雪及びリタートラップ破損により回収できなかったためデータなし。

※4：1286 林班い2 小班は、2021 年12 月～2022 年2 月のリターフォールのうち、2022 年2 月のトラップ1 箇所分のみ冬季積雪及びリタートラップ破損により回収できなかったためデータなし。

※5：261 林班ろ1 小班は、2021 年12 月～2022 年2 月のリターフォールのうち、トラップ2 箇所分について、2021 年12 月～2022 年2/17 まで冬季積雪及びリタートラップ破損により回収できなかったため、当該期間のデータを含まない。

表 3-11 リターフォール中の放射性 Cs137 濃度

(Bq/kg-dry)

		スギ林			コナラ主体林			
		冬住事業地	高倉事業地	飯樋事業地	葛尾事業地	大放事業地	田村事業地	
		2011 林班 ち 3 小班	2031 林班 い 1 小班	2336 林班 ら 1 小班	1236 林班 い 5 小班	1286 林班 い 2 小班	261 林班 ろ 1 小班	
2021 年 9~11 月	リターフォール全体	2,057	1,000	840	4,978	823	1,105	
	(内訳)	主林木の葉	701	180	391	-		
		その他 ^{※1}	6,109	1,803	2,003			
2021 年 12 月 ~2022 年 2 月	リターフォール全体	-	1,137	972	-	758 ^{※4}	3,474 ^{※5}	
	(内訳)	主林木の葉	-	370	680	-		
		その他	-	3,302	2,101			
2022 年 3~5 月	リターフォール全体	1,589 ^{※2}	2,964	1,906	3,221 ^{※3}	1,056	2,261	
	(内訳)	主林木の葉	921	1,001	1,101	-		
		その他	3,204	3,605	2,603			
2022 年 6~8 月	リターフォール全体	7,397	5,638	8,187	6,940	2,280	6,511	
	(内訳)	主林木の葉	1,604	3,307	1,102	-		
		その他	13,029	5,813	12,026			
2023 年 9~11 月	リターフォール全体	1,965	1,152	1,146	5,810	1,278	1,096	
	(内訳)	主林木の葉	794	151	985	-		
		その他	4,622	1,809	1,306			

※1：「その他」とは主林木の葉以外の全てのリターフォールを指す。

※2：2011 林班ち 3 小班は、2021 年 12 月～2022 年 2 月のリターフォールが冬季積雪により回収できなかったため、本表中の 2022 年 3～5 月分の値は 2021 年 12 月～2022 年 5 月分の値を示す。

※3：1236 林班い 5 小班は、2021 年 12 月～2022 年 2 月のリターフォールは冬季積雪及びリタートラップ破損により回収できなかったためデータなし。

※4：1286 林班い 2 小班は、2021 年 12 月～2022 年 2 月のリターフォールのうち、2022 年 2 月のトラップ 1 箇所分のみ冬季積雪及びリタートラップ破損により回収できなかったためデータなし。

※5：261 林班ろ 1 小班は、2021 年 12 月～2022 年 2 月のリターフォールのうち、トラップ 2 箇所分について、2021 年 12 月～2022 年 2/17 まで冬季積雪及びリタートラップ破損により回収できなかったため、当該期間のデータを含まない。

(Bq/kg-dry)

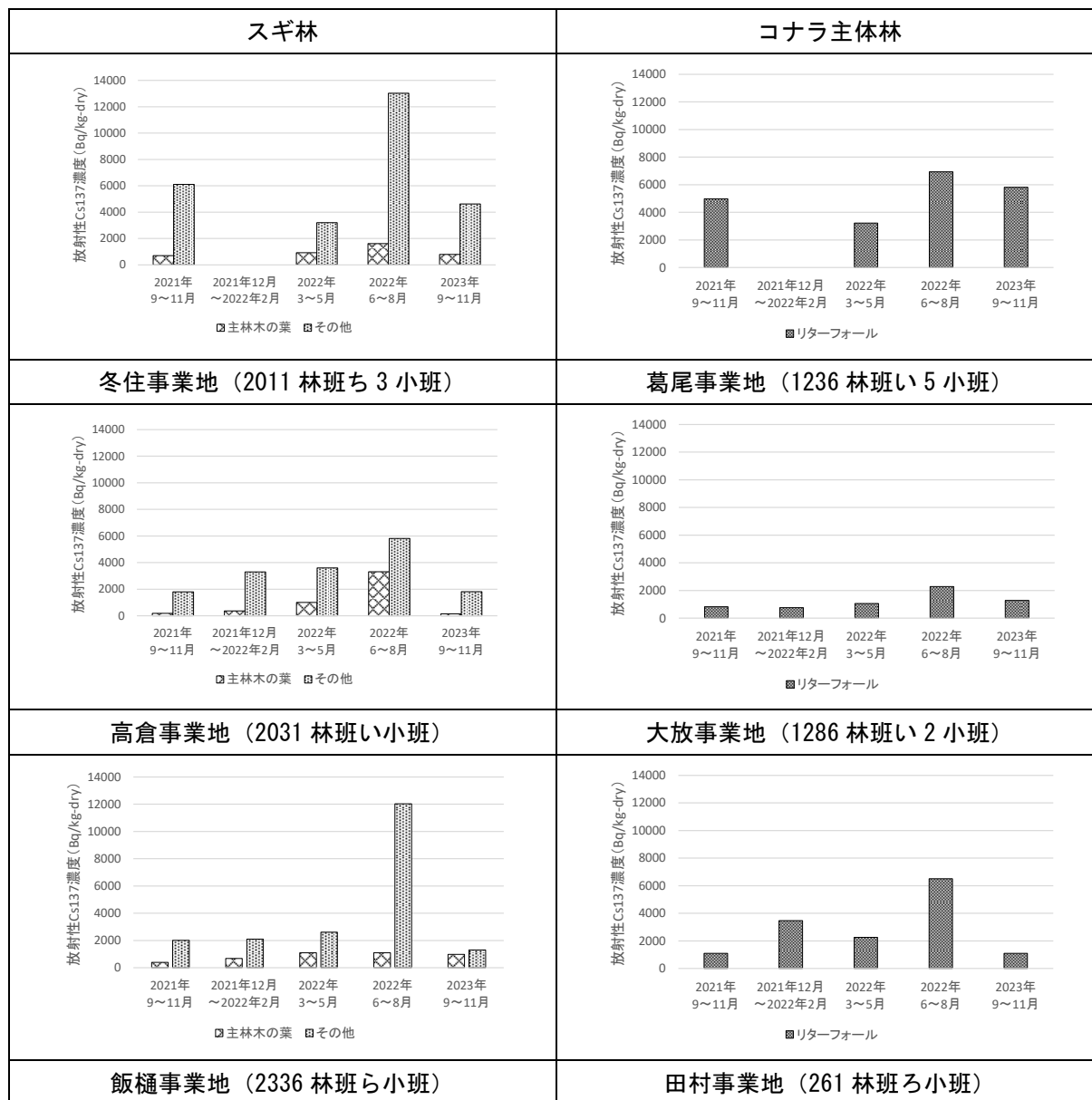


図 3-14 リターフォール中の放射性 Cs137 濃度

※1: 「その他」とは主林木の葉以外の全てのリターフォールを指す。

※2: 2011 林班ち 3 小班は、2021 年 12 月～2022 年 2 月のリターフォールが冬季積雪により回収できなかったため、本グラフ中の 2022 年 3～5 月分の値は 2021 年 12 月～2022 年 5 月分の値を示す。

※3: 1236 林班い 5 小班は、2021 年 12 月～2022 年 2 月のリターフォールは冬季積雪及びリタートラップ破損により回収できなかったためデータなし。

※4: 1286 林班い 2 小班は、2021 年 12 月～2022 年 2 月のリターフォールのうち、2022 年 2 月のトラップ 1 箇所分のみ冬季積雪及びリタートラップ破損により回収できなかったためデータなし。

※5: 261 林班ろ 1 小班は、2021 年 12 月～2022 年 2 月のリターフォールのうち、トラップ 2 箇所分について、2021 年 12 月～2022 年 2/17 まで冬季積雪及びリタートラップ破損により回収できなかったため、当該期間のデータを含まない。

表 3-12 リターフォール中の放射性 Cs137 現存量

(Bq/m²-dry)

		スギ林			コナラ主体林			
		冬住事業地	高倉事業地	飯樋事業地	葛尾事業地	大放事業地	田村事業地	
		2011 林班 ち 3 小班	2031 林班 い 1 小班	2336 林班 ら 1 小班	1236 林班 い 5 小班	1286 林班 い 2 小班	261 林班 ろ 1 小班	
2021 年 9~11 月	リターフォール全体	576	189	204	1620	295	500	
	(内訳)	主林木の葉	147	17	69	-		
		その他 ^{※1}	429	172	135			
2021 年 12 月 ~2022 年 2 月	リターフォール全体	-	140	170	-	4 ^{※4}	11 ^{※5}	
	(内訳)	主林木の葉	-	34	94	-		
		その他	-	106	76			
2022 年 3~5 月	リターフォール全体	563 ^{※2}	147	526	116 ^{※3}	39	78	
	(内訳)	主林木の葉	231	12	141	-		
		その他	332	135	385			
2022 年 6~8 月	リターフォール全体	150	167	173	153	93	151	
	(内訳)	主林木の葉	16	7	8	-		
		その他	134	160	165			
2023 年 9~11 月	リターフォール全体	534	196	272	2,615	490	528	
	(内訳)	主林木の葉	150	10	116	-		
		その他	384	186	156			

※1：「その他」とは主林木の葉以外の全てのリターフォールを指す。

※2：2011 林班ち 3 小班は、2021 年 12 月~2022 年 2 月のリターフォールが冬季積雪により回収できなかったため、本表中の 2022 年 3~5 月分の値は 2021 年 12 月~2022 年 5 月分の値を示す。

※3：1236 林班い 5 小班は、2021 年 12 月~2022 年 2 月のリターフォールは冬季積雪及びリタートラップ破損により回収できなかったためデータなし。

※4：1286 林班い 2 小班は、2021 年 12 月~2022 年 2 月のリターフォールのうち、2022 年 2 月のトラップ 1 箇所分のみ冬季積雪及びリタートラップ破損により回収できなかったためデータなし。

※5：261 林班ろ 1 小班は、2021 年 12 月~2022 年 2 月のリターフォールのうち、トラップ 2 箇所分について、2021 年 12 月~2022 年 2/17 まで冬季積雪及びリタートラップ破損により回収できなかったため、当該期間のデータを含まない。

(Bq/m²-dry)

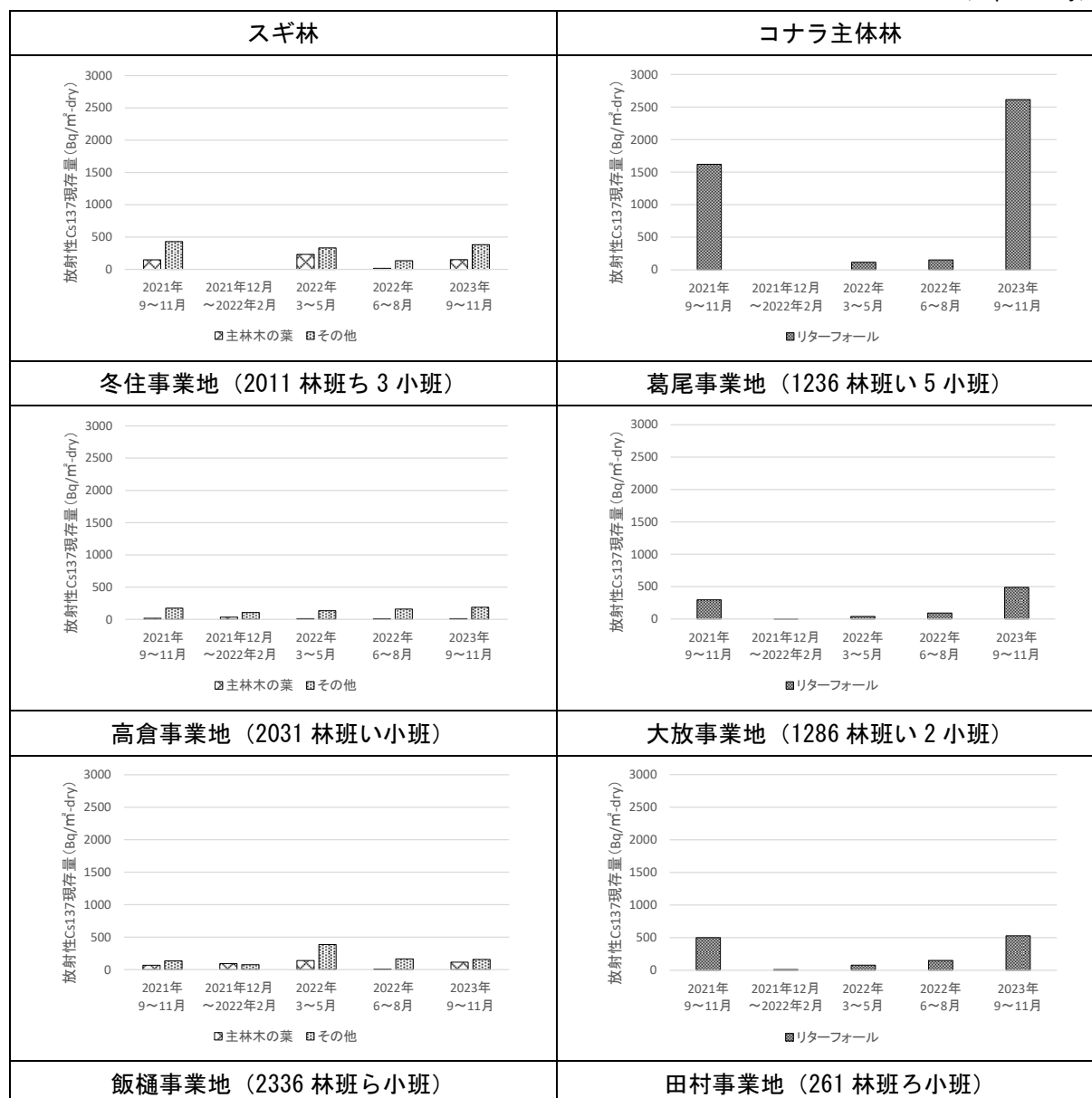


図 3-15 リターフォール中の放射性 Cs137 現存量

※1: 「その他」とは主林木の葉以外の全てのリターフォールを指す。

※2: 2011 林班ち 3 小班は、2021 年 12 月~2022 年 2 月のリターフォールが冬季積雪により回収できなかったため、本グラフ中の 2022 年 3~5 月分の値は 2021 年 12 月~2022 年 5 月分の値を示す。

※3: 1236 林班い 5 小班は、2021 年 12 月~2022 年 2 月のリターフォールは冬季積雪及びリタートラップ破損により回収できなかったためデータなし。

※4: 1286 林班い 2 小班は、2021 年 12 月~2022 年 2 月のリターフォールのうち、2022 年 2 月のトラップ 1 箇所分のみ冬季積雪及びリタートラップ破損により回収できなかったためデータなし。

※5: 261 林班ろ 1 小班は、2021 年 12 月~2022 年 2 月のリターフォールのうち、トラップ 2 箇所分について、2021 年 12 月~2022 年 2/17 まで冬季積雪及びリタートラップ破損により回収できなかったため、当該期間のデータを含まない。

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ォール中の放射性 Cs137 現存量

調査を実施したスギ林 3 小班及びコナラ主体林 3 小班について、小班毎に立木中の部位別及びリターフォール中の放射性 Cs137 現存量の結果とその分布、リターフォール中の Cs137 現存量を示した（表 3-14～表 3-19、図 3-16～図 3-27）。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。また、リターフォールは原則として令和 3 年 9 月～令和 4 年 8 月までの 1 年間の値のトータルを示したが、一部の調査地でリタートラップの破損等により欠損しているデータがある。参考として、毎木調査地における部位別のバイオマス量を示した（表 3-13）。

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。スギは心材に含まれる Cs137 現存量が大きい傾向にあった。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、樹皮中の濃度が高いことに加えて、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。

スギもしくはコナラのバイオマス量のみで計算した立木中の放射性 Cs137 量に対するリターフォール中の放射性 Cs137 量の割合は、スギ林で 3.89～5.30%、コナラ主体林で 4.87～13.35%で、コナラ主体林の方が高い傾向にあった。

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+土壌中）の放射性 Cs137 現存量の結果とその分布を示した（表 3-20～表 3-31、図 3-28～図 3-33）。

場所による差異はあるものの、立木中+土壌中の放射性 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、コナラ主体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 量に対して土壌中の放射性 Cs137 量が大きい結果となった。

土壌中のみでみると、スギ林・コナラ主体林ともに堆積有機物及び 0～5 cmの土壌層に 75%以上、土壌層 10 cm深度まで含めると 90%以上の放射性 Cs137 が分布する傾向にあった。

スギもしくはコナラ以外の林木をスギもしくはコナラと仮定して計算した立木中の放射性 Cs137 量に対するリターフォール中の放射性 Cs137 量の割合は、スギ林で 3.84～5.24%、コナラ主体林で 3.55～6.99%であった。なお、スギ林と比較するとコナラ主体林のリターフォール中放射性 Cs137 の割合が多い傾向にあった。また、コナラ主体林は、秋季に落葉したコナラの葉に含まれる放射性セシウム量が多い傾向にあった。

表 3-13 毎木調査地における部位別バイオマス量

主林木 樹種	事業地名	部位	主林木 (kg-dry)	主林木以外 (kg-dry)	合計 (kg-dry)	主林木の割合 (%)
スギ	冬住事業地 2011 林班 ち3 小班 (調査面積 480 m ²)	樹皮	1,235	40	1,275	96.9%
		辺材	10,054	138	10,191	98.6%
		心材	6,668	68	6,736	99.0%
		枝	1,260	23	1,283	98.2%
		葉	1,925	5	1,930	99.7%
		合計	21,140	274	21,414	98.7%
	高倉事業地 2031 林班 い1 小班 (調査面積 460 m ²)	樹皮	1,455	94	1,549	93.9%
		辺材	11,134	329	11,463	97.1%
		心材	6,809	163	6,972	97.7%
		枝	1,319	194	1,513	87.2%
		葉	2,014	37	2,051	98.2%
		合計	22,731	817	23,548	96.5%
	飯樋事業地 2336 林班 ら1 小班 (調査面積 540 m ²)	樹皮	1,550	46	1,597	97.1%
		辺材	10,466	162	10,628	98.5%
		心材	10,362	80	10,442	99.2%
		枝	2,130	39	2,169	98.2%
		葉	2,642	9	2,652	99.7%
		合計	27,152	336	27,488	98.8%
コナラ	葛尾事業地 1236 林班 い5 小班 (調査面積 400 m ²)	樹皮	434	178	613	70.9%
		辺材	1,679	620	2,299	73.0%
		心材	489	308	797	61.4%
		枝	387	127	514	75.3%
		葉	86	30	116	73.8%
		合計	3,075	1,264	4,339	70.9%
	大放事業地 1286 林班 い2 小班 (調査面積 400 m ²)	樹皮	393	395	789	49.9%
		辺材	1,592	1,374	2,967	53.7%
		心材	679	681	1,361	49.9%
		枝	403	309	712	56.6%
		葉	88	70	158	55.5%
		合計	3,156	2,830	5,986	52.7%
	田村事業地 261 林班 ろ1 小班 (調査面積 400 m ²)	樹皮	962	348	1,310	73.4%
		辺材	2,495	1,210	3,704	67.3%
		心材	2,244	600	2,844	78.9%
		枝	1,251	479	1,730	72.3%
		葉	257	102	360	71.6%
		合計	7,209	2,739	9,948	72.5%

表 3-14 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
（冬住事業地）

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	18.9%	-
辺材	10,054	393	480	8,238	24.9%	-
心材	6,668	943	480	13,104	39.6%	-
枝	1,260	480	480	1,260	3.8%	-
葉	1,925	1,063	480	4,264	12.9%	-
立木合計	21,140	-	-	33,126	-	-
LF(主)	226	837	480	394	30.6%	1.19
LF(他)	88	4,862	480	896	69.4%	2.70
LF合計	314	-	-	1,290	-	3.89

※放射性 Cs 濃度・現存量ともにセシウム 137 の値から算出

※本表の値は、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

※リターフォールは令和 3 年 9 月～令和 4 年 8 月までの 1 年間の値を用いた

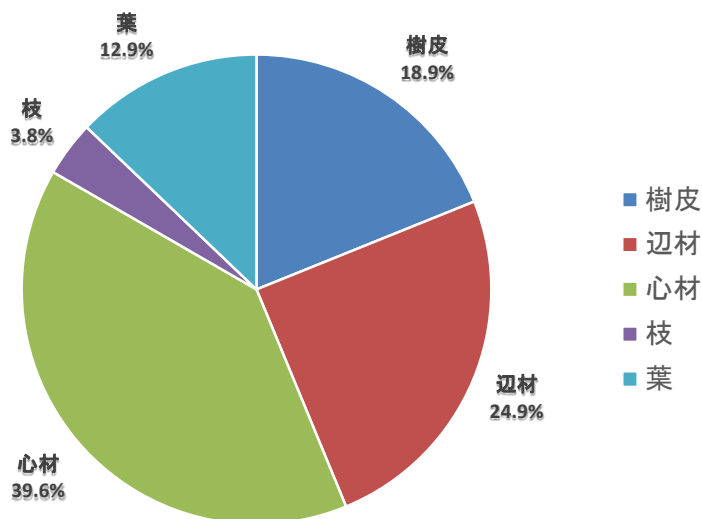


図 3-16 立木（スギのみ）中部位別放射性 Cs 現存量分布割合（冬住事業地）

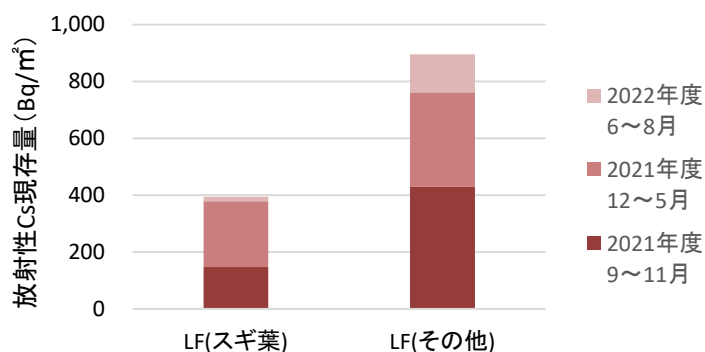


図 3-17 リターフォール中の放射性 Cs 現存量（冬住事業地）

※2021 年 9 月～2022 年 8 月の 1 年分

表 3-15 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
（高倉事業地）

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	27.2%	-
辺材	11,134	138	460	3,348	23.6%	-
心材	6,809	318	460	4,712	33.2%	-
枝	1,319	340	460	975	6.9%	-
葉	2,014	300	460	1,314	9.2%	-
立木合計	22,731	-	-	14,207	-	-
LF(主)	91	350	460	70	10.8%	0.49
LF(他)	89	2,977	460	573	89.2%	4.03
LF合計	180	-	-	642	-	4.52

※放射性 Cs 濃度・現存量ともにセシウム 137 の値から算出

※本表の値は、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

※リターフォールは令和 3 年 9 月～令和 4 年 8 月までの 1 年間の値を用いた

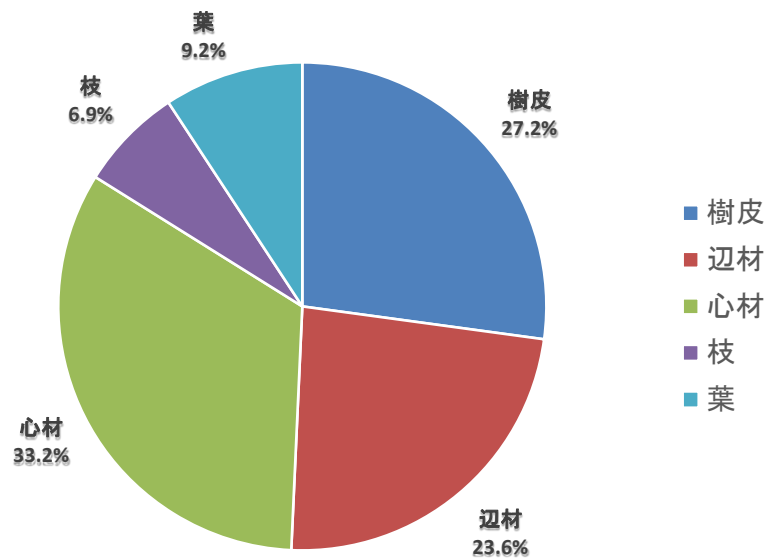


図 3-18 立木（スギのみ）中部位別放射性 Cs 現存量分布割合（高倉事業地）

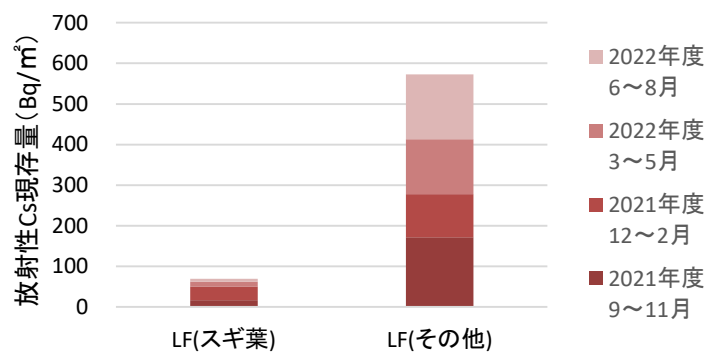


図 3-19 リターフォール中の放射性 Cs 現存量（高倉事業地）

※2021 年 9 月～2022 年 8 月の 1 年分

表 3-16 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
（飯樋事業地）

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	10.4%	-
辺材	10,466	172	540	3,334	16.5%	-
心材	10,362	360	540	6,908	34.1%	-
枝	2,130	453	540	1,788	8.8%	-
葉	2,642	1,247	540	6,100	30.1%	-
立木合計	27,152	-	-	20,246	-	-
LF(主)	243	694	540	312	29.1%	1.54
LF(他)	143	2,870	540	761	70.9%	3.76
LF合計	386	-	-	1,073	-	5.30

※放射性 Cs 濃度・現存量ともにセシウム 137 の値から算出

※本表の値は、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

※リターフォールは令和 3 年 9 月～令和 4 年 8 月までの 1 年間の値を用いた

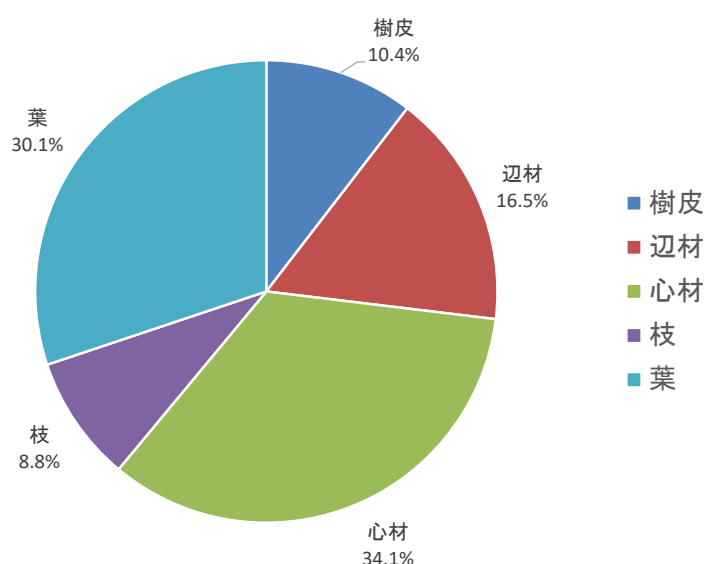


図 3-20 立木（スギのみ）中部位別放射性 Cs 現存量分布割合（飯樋事業地）

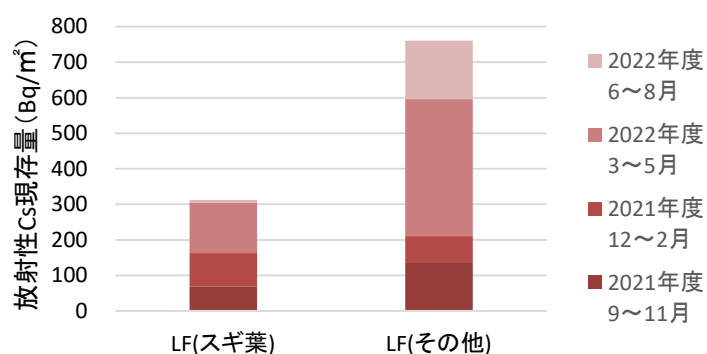


図 3-21 リターフォール中の放射性 Cs 現存量（飯樋事業地）

※2021 年 9 月～2022 年 8 月の 1 年分

表 3-17 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
（葛尾事業地）

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)	放射性物質現存量 (%)	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	24.7%	-
辺材	1,679	2,367	400	9,931	40.0%	-
心材	489	970	400	1,187	4.8%	-
枝	387	5,300	400	5,127	20.7%	-
葉	86	11,367	400	2,435	9.8%	-
立木合計	3,075	-	-	24,798	-	-
LF合計	153	4,926	400	1,889	-	7.62

※放射性 Cs 濃度・現存量ともにセシウム 137 の値から算出

※本表の値は、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

※リターフォールは令和 3 年 9 月～令和 4 年 8 月までの 1 年間の値を用いた

※2021 年 12 月～2022 年 2 月のリターフォールは冬季積雪及びリタートラップ破損により回収できなかったためデータなし。

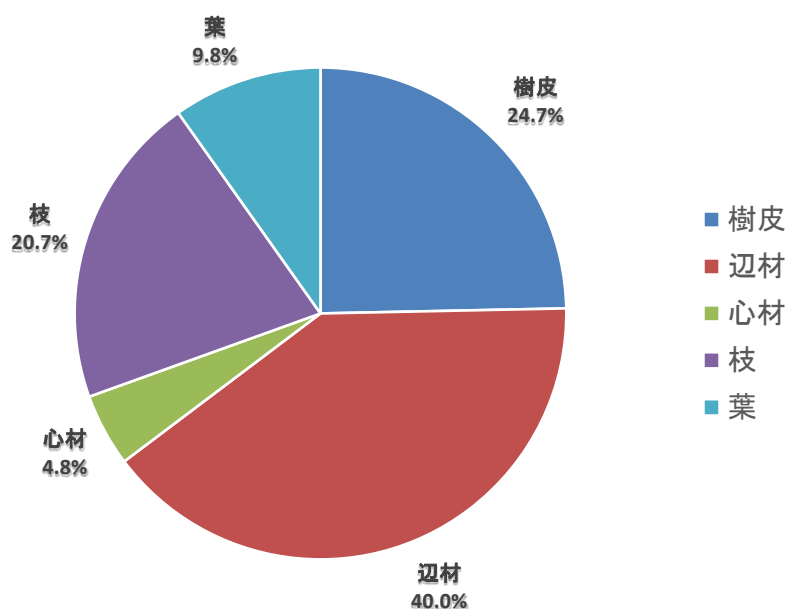


図 3-22 立木（コナラのみ）中部位別放射性 Cs 現存量分布割合（葛尾事業地）

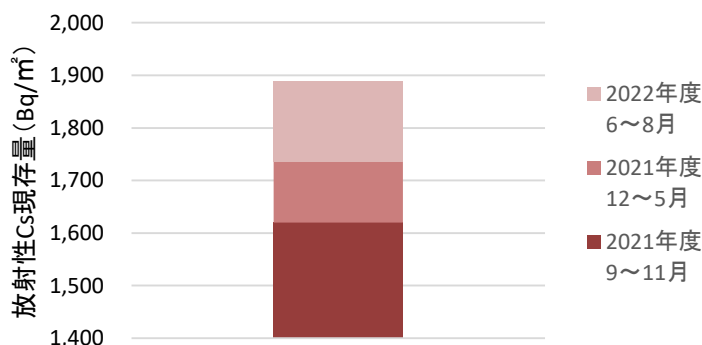


図 3-23 リターフォール中の放射性 Cs 現存量（葛尾事業地）
※2021 年 9 月～2022 年 8 月の 1 年分

表 3-18 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
（大放事業地）

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	47.7%	-
辺材	1,592	203	400	809	25.1%	-
心材	679	99	400	168	5.2%	-
枝	403	487	400	490	15.2%	-
葉	88	1,000	400	219	6.8%	-
立木合計	3,156	-	-	3,228	-	-
LF合計	177	976	400	431	-	13.35

※放射性 Cs 濃度・現存量ともにセシウム 137 の値から算出

※本表の値は、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

※リターフォールは令和 3 年 9 月～令和 4 年 8 月までの 1 年間の値を用いた

※2021 年 12 月～2022 年 2 月のリターフォールのうち、2022 年 2 月のトラップ 1 箇所のみ冬季積雪及びリタートラップ破損により回収できなかったためデータなし。

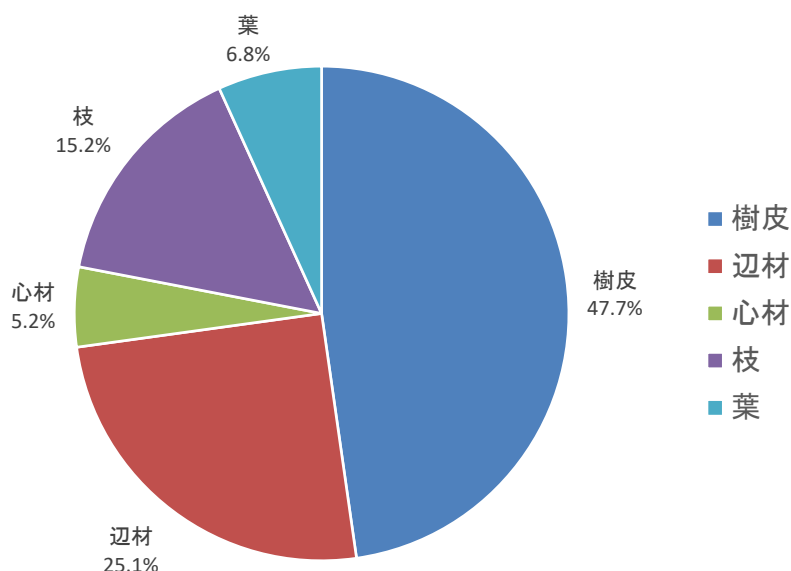


図 3-24 立木（コナラのみ）中部位別放射性 Cs 現存量分布割合（大放事業地）

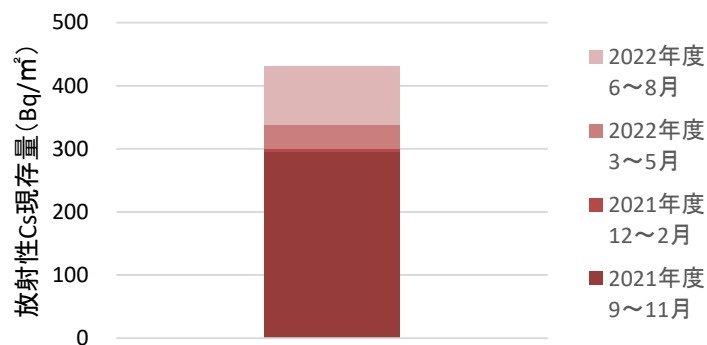


図 3-25 リターフォール中の放射性 Cs 現存量（大放事業地）
※2021 年 9 月～2022 年 8 月の 1 年分

表 3-19 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
（田村事業地）

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	70.8%	-
辺材	2,495	229	400	1,428	9.4%	-
心材	2,244	84	400	473	3.1%	-
枝	1,251	557	400	1,741	11.5%	-
葉	257	1,210	400	779	5.1%	-
立木合計	7,209	-	-	15,165	-	-
LF合計	205	1,441	400	739	-	4.87

※放射性 Cs 濃度・現存量ともにセシウム 137 の値から算出

※本表の値は、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

※リターフォールは令和 3 年 9 月～令和 4 年 8 月までの 1 年間の値を用いた

※2021 年 12 月～2022 年 2 月のリターフォールのうち、トラップ 2 箇所分について、2021 年 12 月～2022 年 2/17 まで冬季積雪及びリタートラップ破損により回収できなかったため、当該期間のデータを含まない。

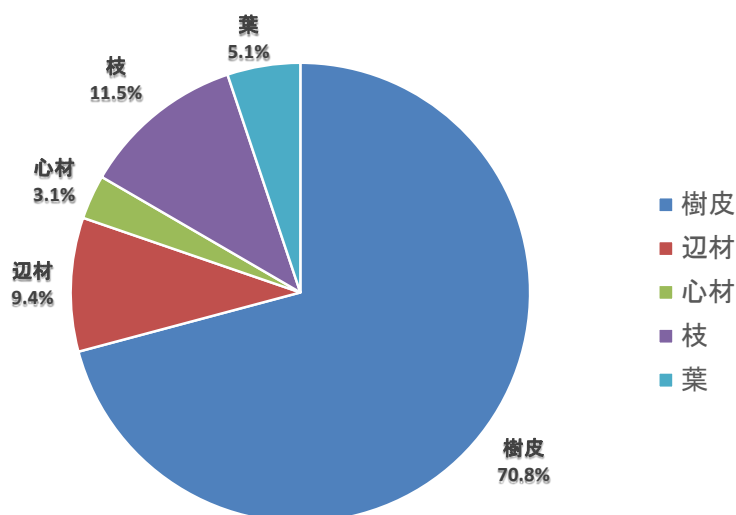


図 3-26 立木（コナラのみ）中部位別放射性 Cs 現存量分布割合（田村事業地）

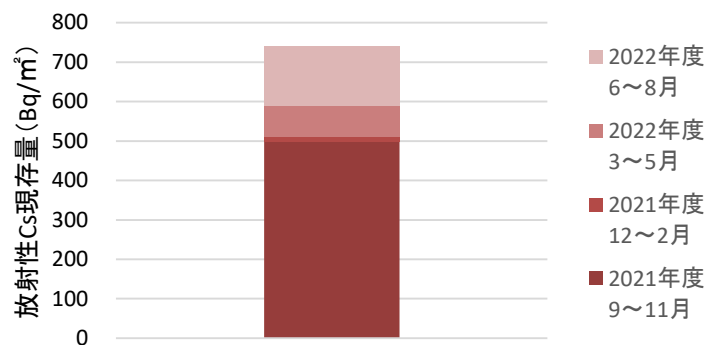


図 3-27 リターフォール中の放射性 Cs 現存量（田村事業地）
※2021 年 9 月～2022 年 8 月の 1 年分

表 3-20 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
（冬住事業地）

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	19.2%	-
辺材	10,191	393	480	8,351	24.8%	-
心材	6,736	943	480	13,238	39.4%	-
枝	1,283	480	480	1,283	3.8%	-
葉	1,930	1,063	480	4,275	12.7%	-
立木合計	21,414	-	-	33,608	-	-
LF(主)	226	837	480	394	30.6%	1.17
LF(他)	88	4,862	480	896	69.4%	2.66
LF合計	314	-	-	1,290	-	3.84

※放射性 Cs 濃度・現存量ともにセシウム 137 の値から算出

※本表の値は、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

※リターフォールは令和 3 年 9 月～令和 4 年 8 月までの 1 年間の値を用いた

表 3-21 系内全体の放射性 Cs 現存量（冬住事業地）

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

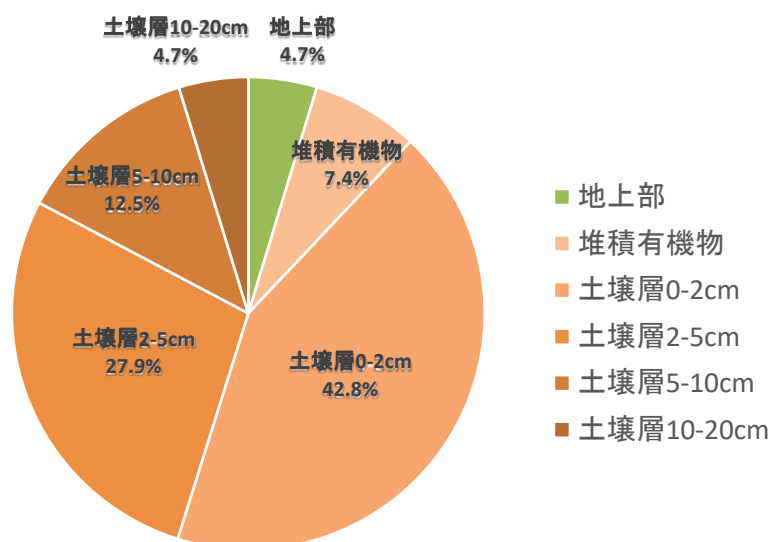


図 3-28 系内全体の放射性 Cs 現存量分布割合（冬住事業地）

表 3-22 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
（高倉事業地）

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	27.7%	-
辺材	11,463	138	460	3,447	23.2%	-
心材	6,972	318	460	4,825	32.5%	-
枝	1,513	340	460	1,118	7.5%	-
葉	2,051	300	460	1,338	9.0%	-
立木合計	23,548	-	-	14,836	-	-
LF(主)	91	350	460	70	10.8%	0.47
LF(他)	89	2,977	460	573	89.2%	3.86
LF合計	180	-	-	642	-	4.33

※放射性 Cs 濃度・現存量ともにセシウム 137 の値から算出

※本表の値は、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

※リターフォールは令和 3 年 9 月～令和 4 年 8 月までの 1 年間の値を用いた

表 3-23 系内全体の放射性 Cs 現存量（高倉事業地）

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

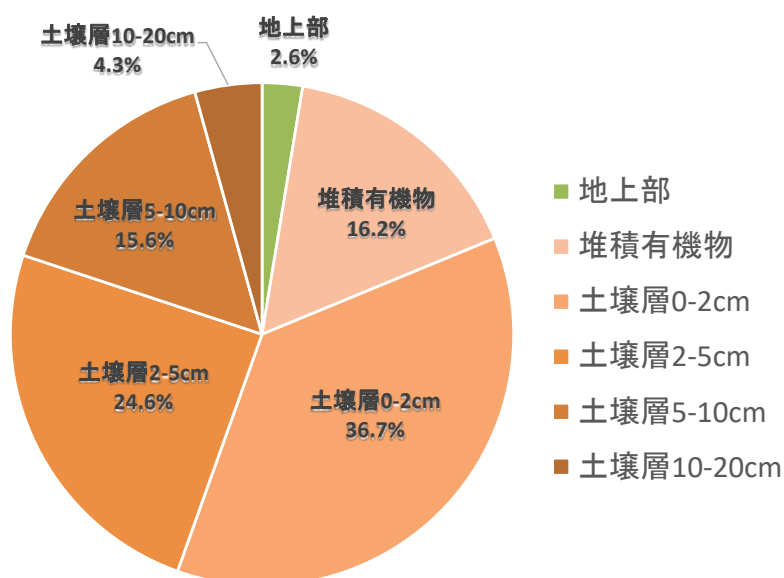


図 3-29 系内全体の放射性 Cs 現存量分布割合（高倉事業地）

表 3-24 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
（飯樋事業地）

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	10.6%	-
辺材	10,628	172	540	3,385	16.5%	-
心材	10,442	360	540	6,961	34.0%	-
枝	2,169	453	540	1,821	8.9%	-
葉	2,652	1,247	540	6,122	29.9%	-
立木合計	27,488	-	-	20,468	-	-
LF(主)	243	694	540	312	29.1%	1.52
LF(他)	143	2,870	540	761	70.9%	3.72
LF合計	386	-	-	1,073	-	5.24

※放射性 Cs 濃度・現存量ともにセシウム 137 の値から算出

※本表の値は、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

※リターフォールは令和 3 年 9 月～令和 4 年 8 月までの 1 年間の値を用いた

表 3-25 系内全体の Cs 現存量（飯樋事業地）

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

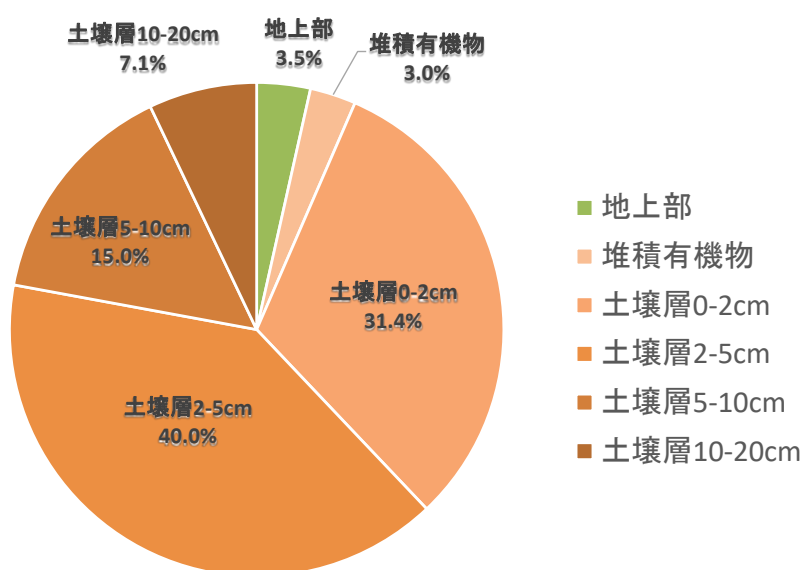


図 3-30 系内全体の放射性 Cs 現存量分布割合（飯樋事業地）

表 3-26 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
（葛尾事業地）

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	25.2%	-
辺材	2,299	2,367	400	13,602	39.7%	-
心材	797	970	400	1,933	5.6%	-
枝	514	5,300	400	6,810	19.9%	-
葉	116	11,367	400	3,298	9.6%	-
立木合計	4,339	-	-	34,274	-	-
LF合計	153	4,926	400	1,889	-	5.51

※放射性 Cs 濃度・現存量ともにセシウム 137 の値から算出

※本表の値は、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

※リターフォールは令和 3 年 9 月～令和 4 年 8 月までの 1 年間の値を用いた

※2021 年 12 月～2022 年 2 月のリターフォールは冬季積雪及びリタートラップ破損により回収できなかったためデータなし。

表 3-27 系内全体の放射性 Cs 現存量（葛尾事業地）

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

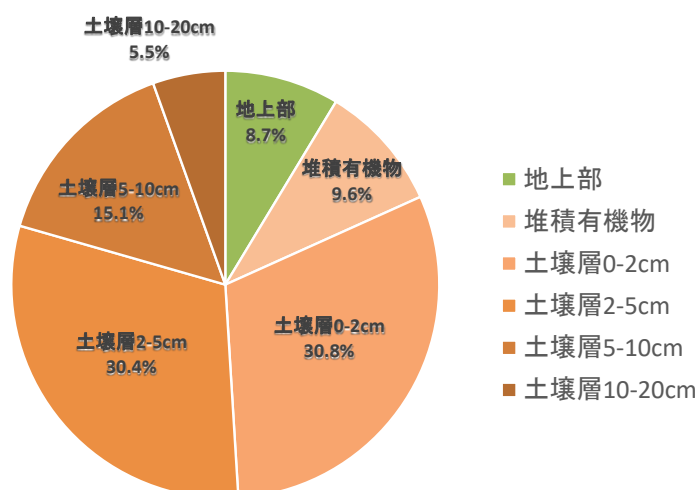


図 3-31 系内全体の放射性 Cs 現存量分布割合（葛尾事業地）

表 3-28 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
（大放事業地）

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	49.9%	-
辺材	2,967	203	400	1,508	24.3%	-
心材	1,361	99	400	337	5.4%	-
枝	712	487	400	867	14.0%	-
葉	158	1,000	400	395	6.4%	-
立木合計	5,986	-	-	6,195	-	-
LF合計	177	976	400	431	-	6.96

※放射性 Cs 濃度・現存量ともにセシウム 137 の値から算出

※本表の値は、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

※リターフォールは令和 3 年 9 月～令和 4 年 8 月までの 1 年間の値を用いた

※2021 年 12 月～2022 年 2 月のリターフォールのうち、2022 年 2 月のトラップ 1 箇所のみ冬季積雪及びリタートラップ破損により回収できなかったためデータなし。

表 3-29 系内全体の放射性 Cs 現存量（大放事業地）

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

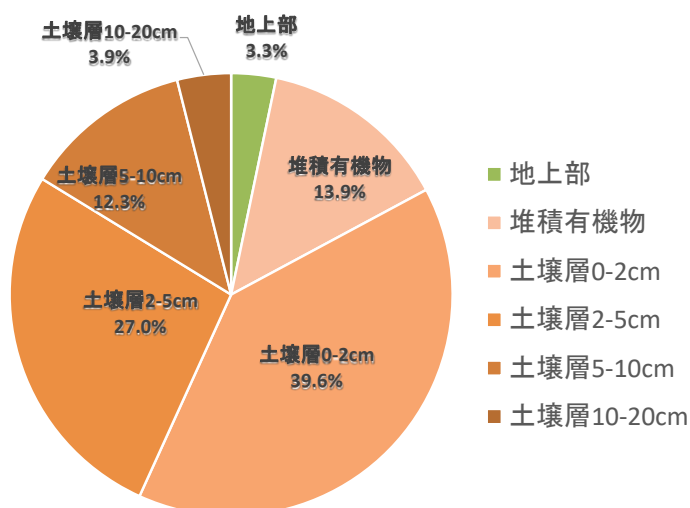


図 3-32 系内全体の放射性 Cs 現存量分布割合（大放事業地）

表 3-30 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
（田村事業地）

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	70.2%	-
辺材	3,704	229	400	2,121	10.2%	-
心材	2,844	84	400	600	2.9%	-
枝	1,730	557	400	2,408	11.6%	-
葉	360	1,210	400	1,088	5.2%	-
立木合計	9,948	-	-	20,844	-	-
LF合計	205	1,441	400	739	-	3.55

※放射性 Cs 濃度・現存量ともにセシウム 137 の値から算出

※本表の値は、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

※リターフォールは令和 3 年 9 月～令和 4 年 8 月までの 1 年間の値を用いた

※2021 年 12 月～2022 年 2 月のリターフォールのうち、トラップ 2 箇所分について、2021 年 12 月～2022 年 2/17 まで冬季積雪及びリタートラップ破損により回収できなかったため、当該期間のデータを含まない。

表 3-31 系内全体の放射性 Cs 現存量（田村事業地）

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

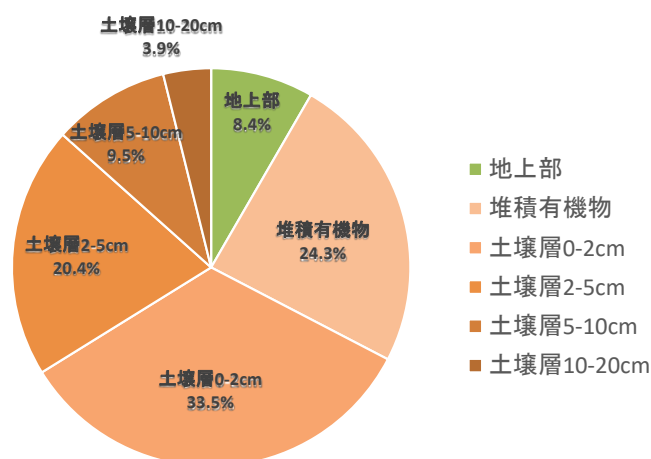


図 3-33 系内全体の放射性 Cs 現存量分布割合（田村事業地）

4) 下層植生（令和3年度報告書内容再掲）

スギ林の下層植生出現種数は2種～14種、コナラ主体林では2～9種であった（表 3-32～表 3-37）。また、スギ林の被度は8～35%程度、コナラ主体林の被度は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 3-32 冬住事業地（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 3-33 高倉事業地（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 3-34 飯樋事業地（2336 林班ら5 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 3-35 葛尾事業地（1236 林班い5 小班_コナラ主体林）

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 3-36 大放事業地 (1286 林班い2 小班_コナラ主体林)

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 3-37 田村事業地 (261 林班ろ小班_コナラ主体林)

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

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・5cm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）、d:空間線量率の変動の把握）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とともに空間線量率の変動状況についても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。

今年度（令和4年度）は令和3年度に引き続き、森林施業実施前のデータを取得するとともに、年度後半に森林施業を実施した。なお、森林施業後のモニタリング用機器の設置は令和5年度事業において実施予定である。

4.2. 事業地の概要

本調査は以下の3箇所の国有林の林小班を事業地として実施した（表 4-1、図 4-1～図 4-4）。

表 4-1 事業地一覧

事業地名	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 事業地	南相馬市 和田城 2011ち3	間伐区 及び 対照区	スギ	37	7.50	0.96	720
高倉 事業地	南相馬市 国見 2031い	間伐区 及び 対照区	スギ	54	7.94	0.9	990
飯樋 事業地	飯舘村 花塚山 2336の	間伐区	スギ	55	1.24	0.9～1.1	900
	飯舘村 花塚山 2336ら	対照区	スギ	64	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）

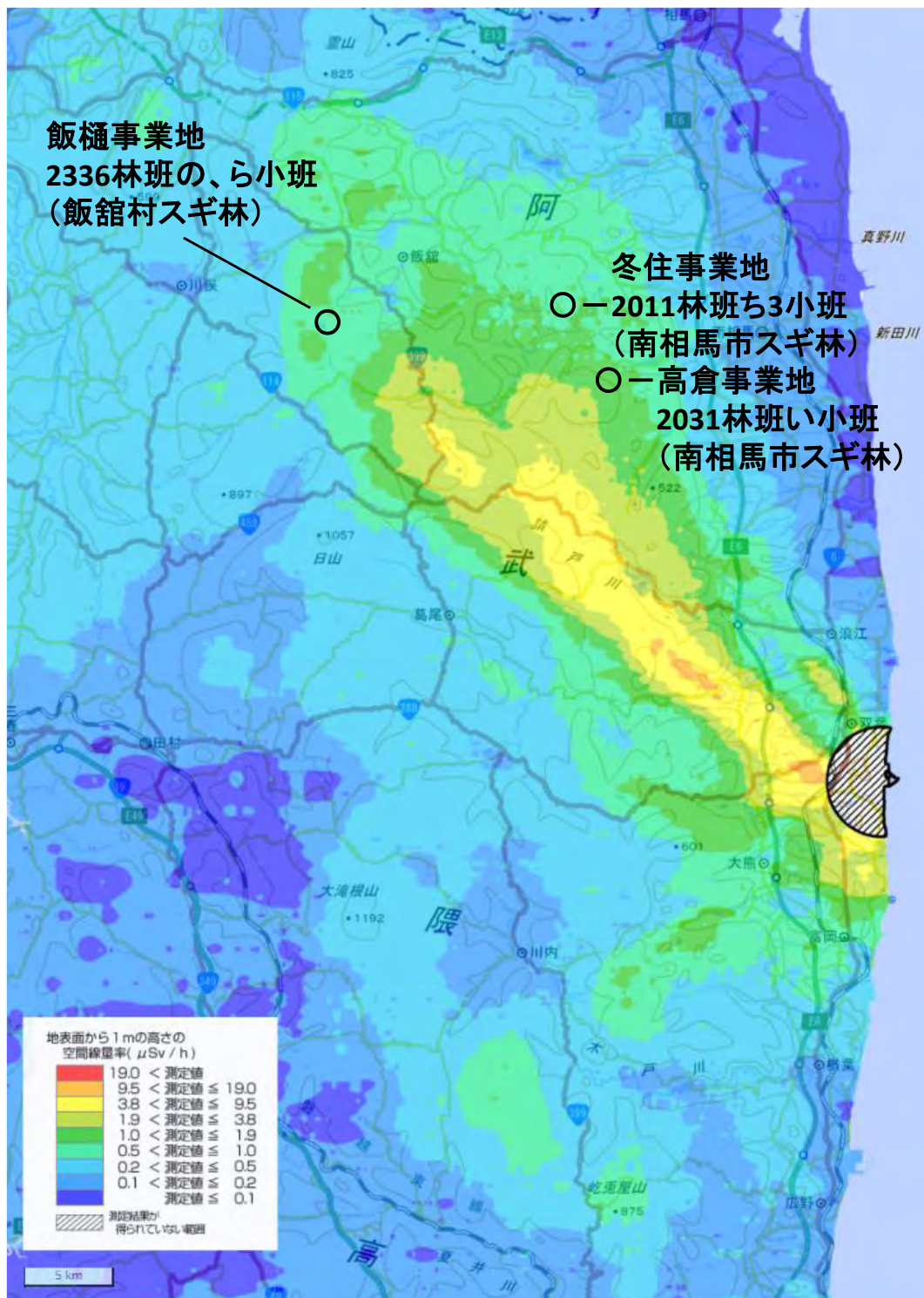


図 4-1 調査対象地の空間線量率(航空機モニタリング)

※ 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)

※ ○は事業地位置。

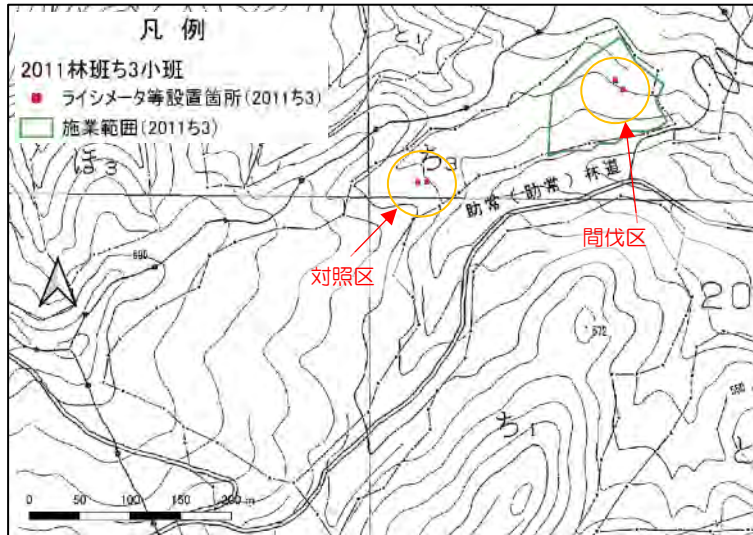


図 4-2 間伐区と対照区 (冬住事業地_2011 林班ち3 小班)

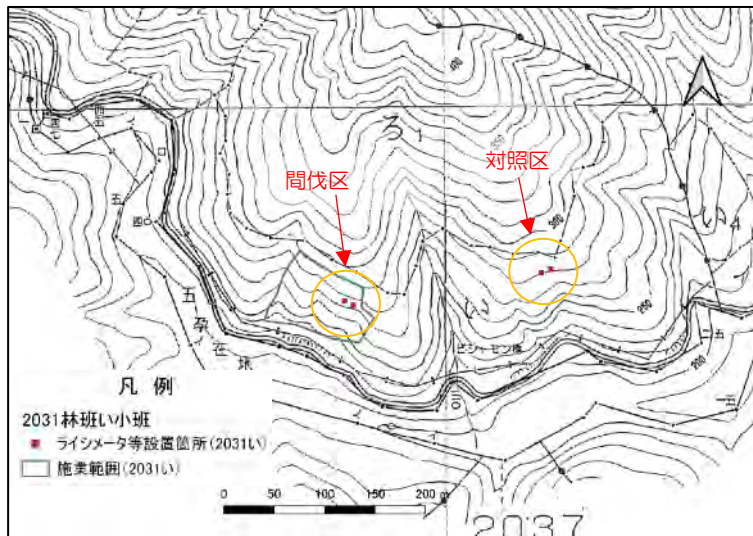


図 4-3 間伐区と対照区 (高倉事業地_2031 林班い1 小班)

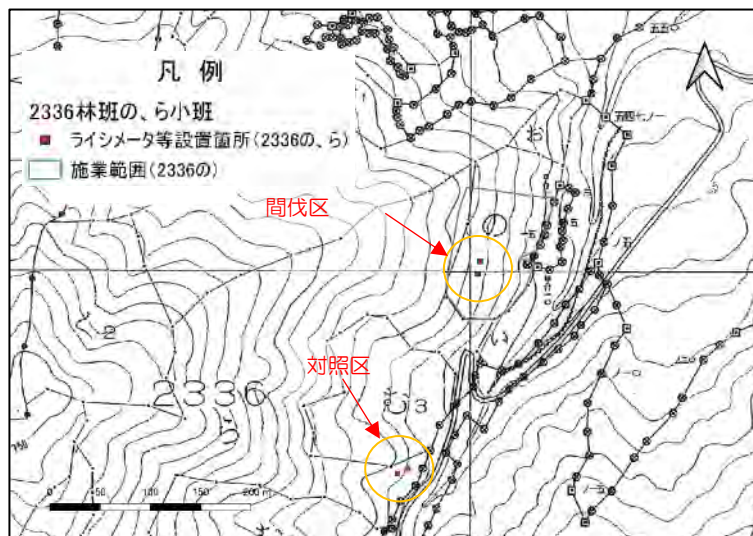


図 4-4 間伐区と対照区 (飯樋事業地_2336 林班の1 小班及びら1 小班)

4.3. 事業地の選定

(1) 事業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林床に降下し、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推察される。

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、林内作業員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ことが期待される。

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つが推測される。

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动

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、間伐区と対照区を設定することとした（図 4-5）。設定に当たっては、同一林小班内、もしくは隣接する2小班において、間伐区と対照区を設けることを想定した。また、間伐区は面積 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、間伐区からは数 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。

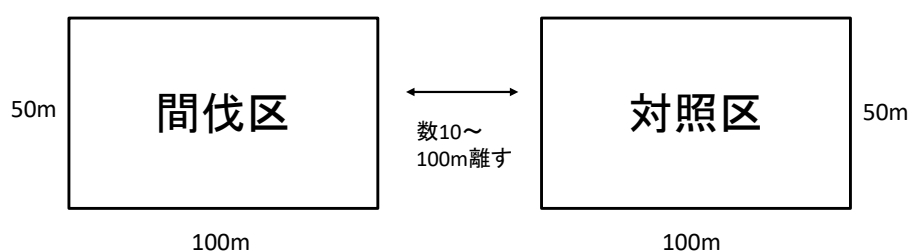


図 4-5 試験区設定イメージ

新規試験では、森林施業を実施する前年度に、間伐区、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。

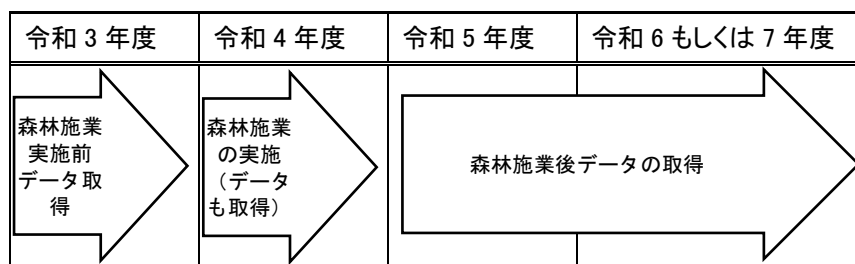


図 4-6 試験スケジュール概要

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) 事業地選定条件

以上の考え方や調査設計を基に、机上調査により事業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令和 3 年度に行い、表 4-1 の事業地を選定した。

表 4-2 事業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、土壌中の団粒状構造(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事業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。
事業地へのアクセス	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ため。

4.4. 森林施業の実施

(1) 森林施業内容の概要

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した。

具体的には、以下の方法で実施した。

①間伐方法は列状間伐とする。

②伐採は 3 伐 6 残とし、列が明瞭でない場合は、伐採列幅を 5.4m、残存列幅を 10.8m（1 列を 1.8m として計算）と想定して伐採する。

③森林作業道を作設する。

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を基本とし、作業道近くの伐採木はグラップルで、作業道からグラップルが届かない箇所の伐採木についてはウインチ引きで実施する。

搬出型の間伐を実施するにあたっては 2 伐 4 残の列状間伐が一般的に選ばれる方法であるが、本事業の目的に沿ったものとするため、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、伐採幅が広がる 3 伐 6 残で実施することとした。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) 森林施業内容

1) 森林施業範囲

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 4-3 森林施業実施面積等

市町村名	事業地名	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
飯舘村	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。

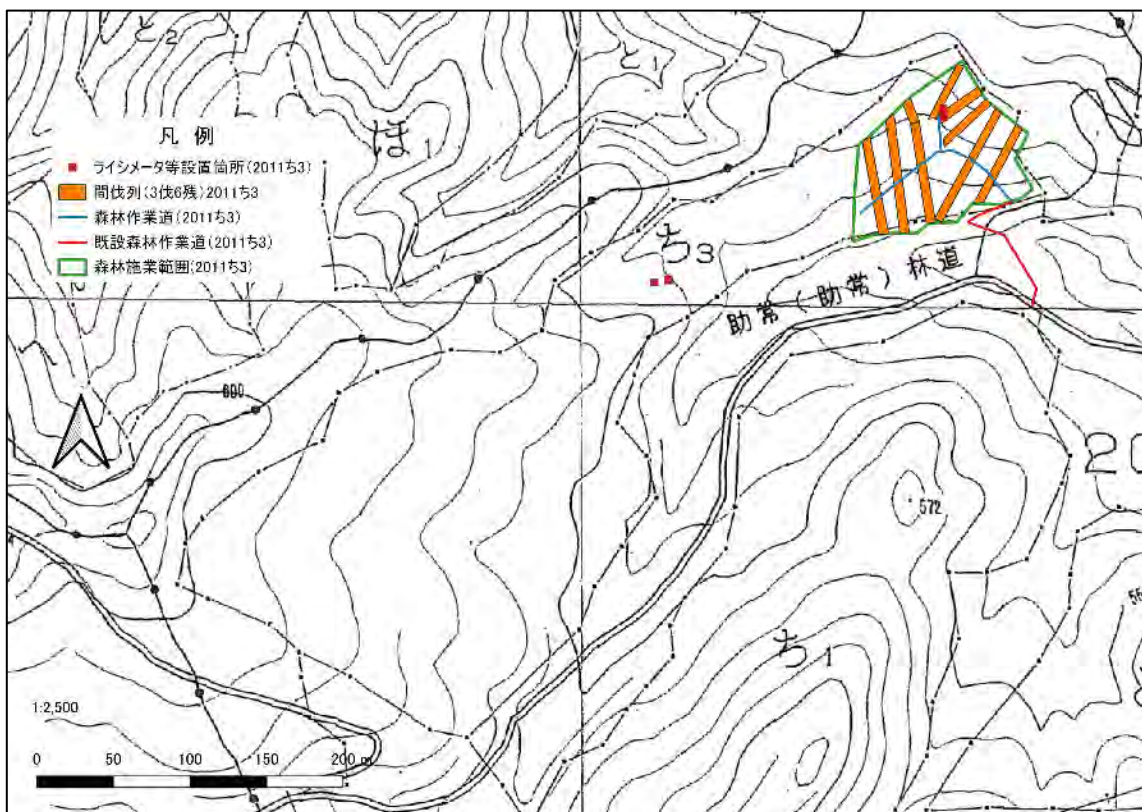


図 4-7 森林施業範囲及び森林作業道 (冬住事業地_2011 林班ち 3 小班)

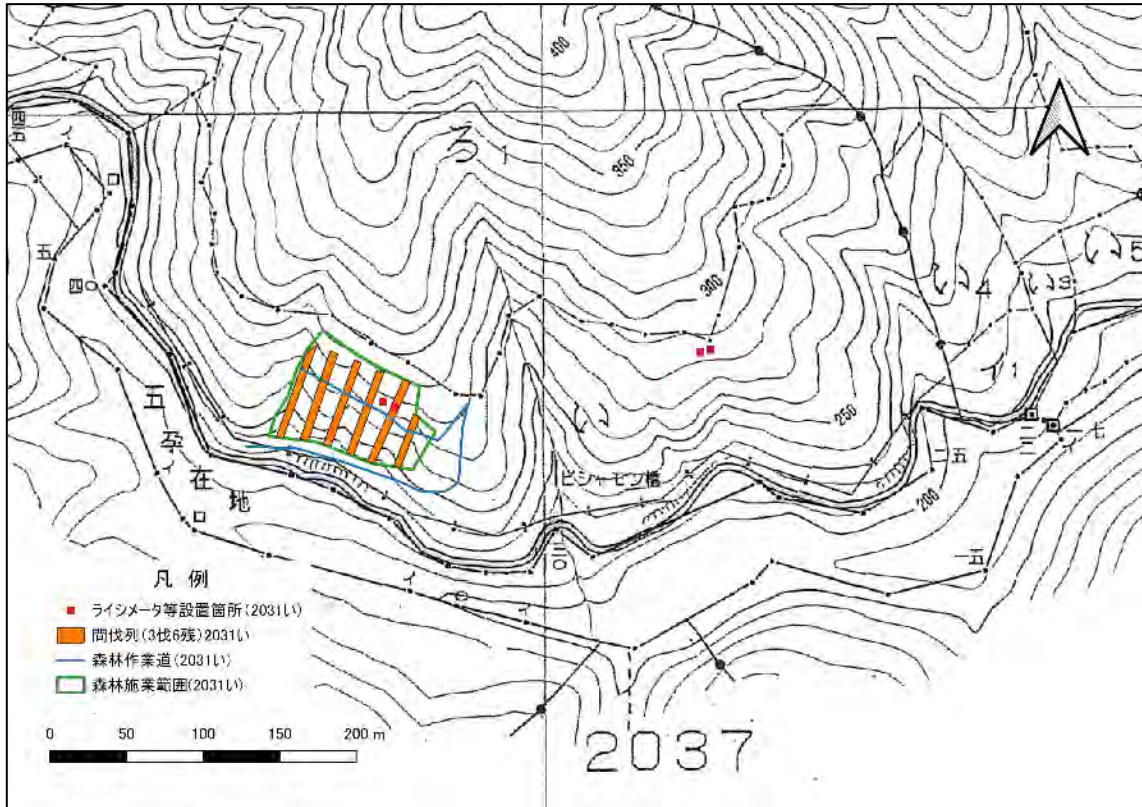


図 4-8 森林施業範囲及び森林作業道 (高倉事業地_2031 林班い小班)

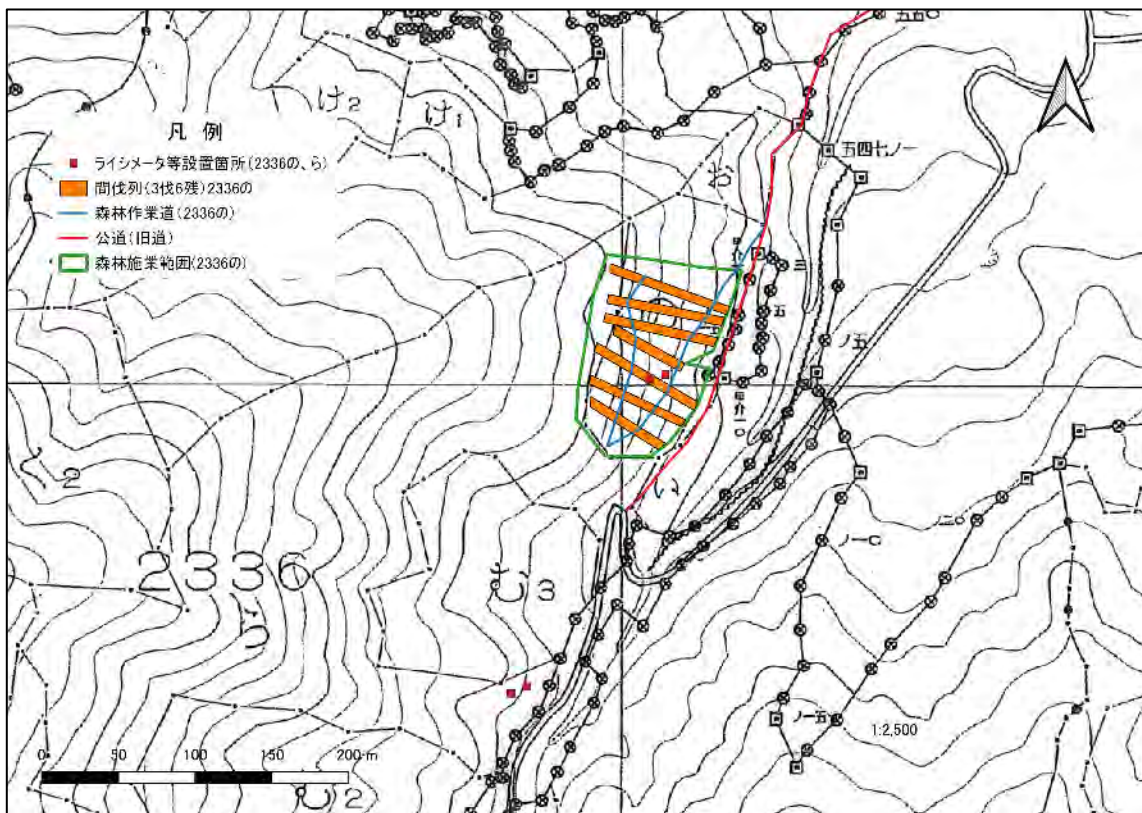


図 4-9 森林施業範囲及び森林作業道 (飯樋事業地_2336 林班の小班)

2) 標準地調査（令和3年度実施内容再掲）

標準地調査は、令和3年度の本事業において、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4-4）。プロットは間伐区域の代表的な林況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間伐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間伐区域内の本数や材積は表4-5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4-6に示した。2011林班ち3小班の間伐区域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林班い小班の間伐区域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林班の小班の間伐区域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 4-4 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
冬住事業地	2011 ち 3	スギ	400	18.5×21.6	2 区画
高倉事業地	2031 い	スギ	400	18.5×21.6	2 区画
飯樋事業地	2336 の	スギ	400	18.5×21.6	2 区画

表 4-5 標準地調査結果（間伐区域の立木本数及び材積等）

事業地名 林小班	樹種	間伐区域 面積 (ha)	作業種	間伐区域 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)	材積 伐採率 (%)
冬住事業地 2011 ち 3	スギ	0.85	列状間伐 (搬出)	1,849	649	752.7	251.2	33.3
高倉事業地 2031 い	スギ	0.57	列状間伐 (搬出)	1,874	595	346.3	114.7	33.1
飯樋事業地 2336 の	スギ	0.99	列状間伐 (搬出)	903	300	671.2	219.7	32.7

表 4-6 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	間伐区域 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)	材積 伐採率 (%)
冬住事業地 2011 ち 3	スギ	0.85	列状間伐 (搬出)	2,175	763	885.5	295.5	33.3
高倉事業地 2031 い	スギ	0.57	列状間伐 (搬出)	3,287	1,043	607.5	201.2	33.1
飯樋事業地 2336 の	スギ	0.99	列状間伐 (搬出)	912	303	678.0	221.9	32.7

表 4-7 標準地調査結果（立木の平均直径及び樹高等）

事業地名 林小班	樹種	間伐区域 面積 (ha)	作業種	平均直径 (cm)	平均樹高 (m)
冬住事業地_2011 林班ち3 小班	スギ	0.85	列状間伐(搬出)	21.8	18.8
高倉事業地_2031 林班い 小班	スギ	0.57	列状間伐(搬出)	17.2	14.2
飯樋事業地_2336 林班の 小班	スギ	0.99	列状間伐(搬出)	27.1	20.8

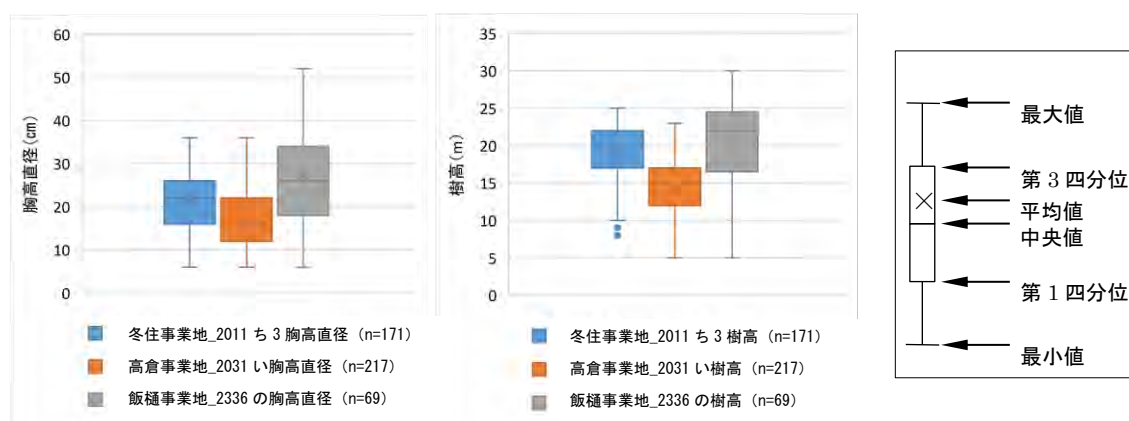


図 4-10 標準地内立木の胸高直径（左図）と樹高（右図）分布

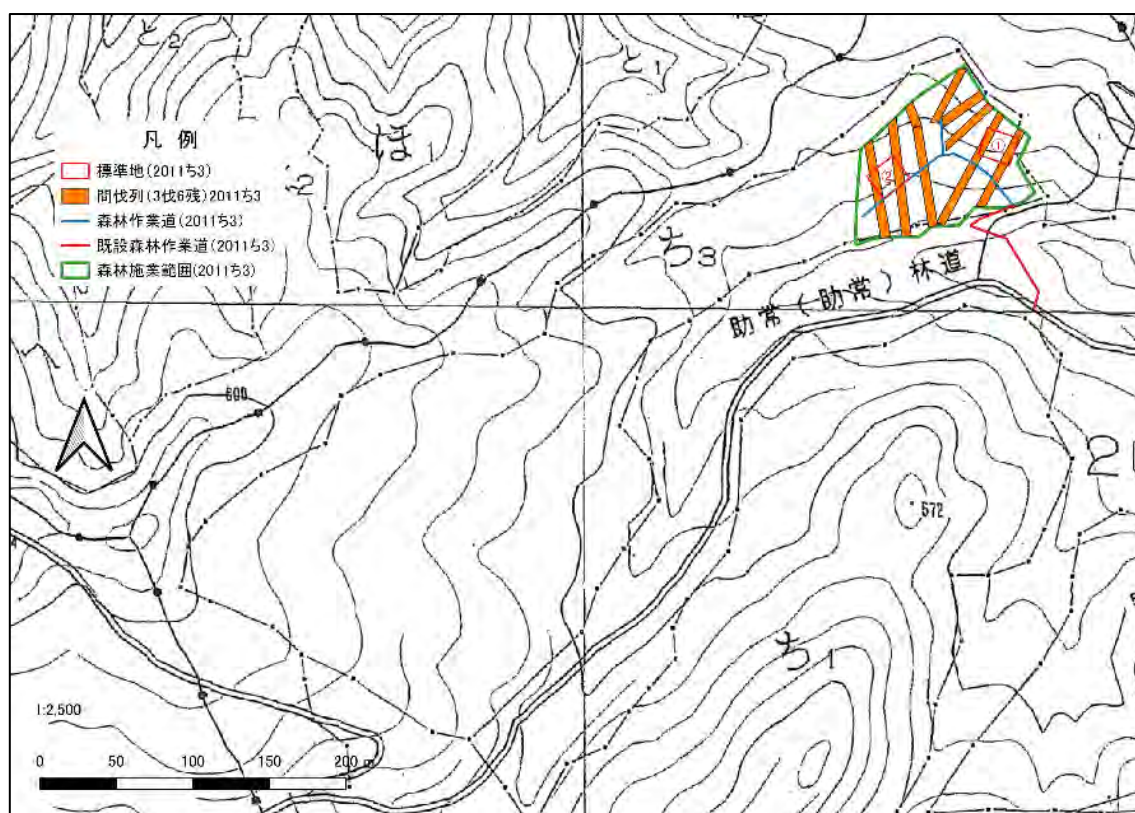


図 4-11 標準地位置図（冬住事業地_2011 林班ち3 小班）

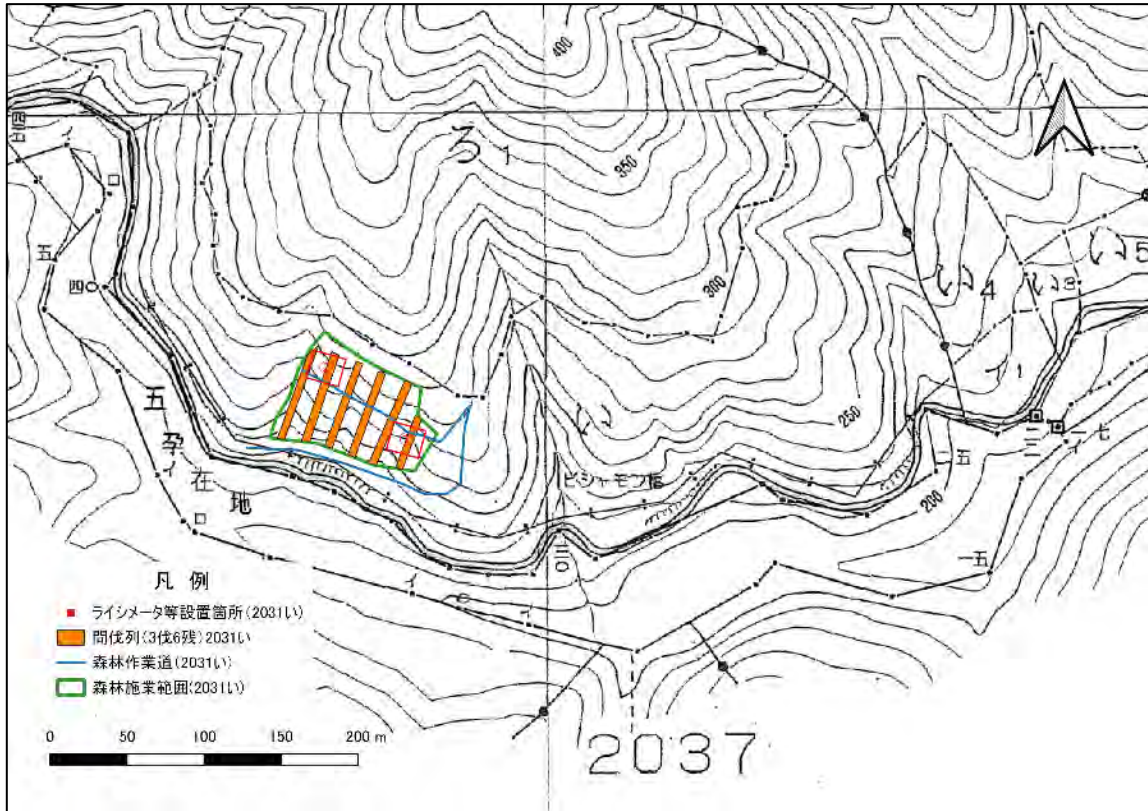


図 4-12 標準地位置図 (高倉事業地_2031 林班い小班)

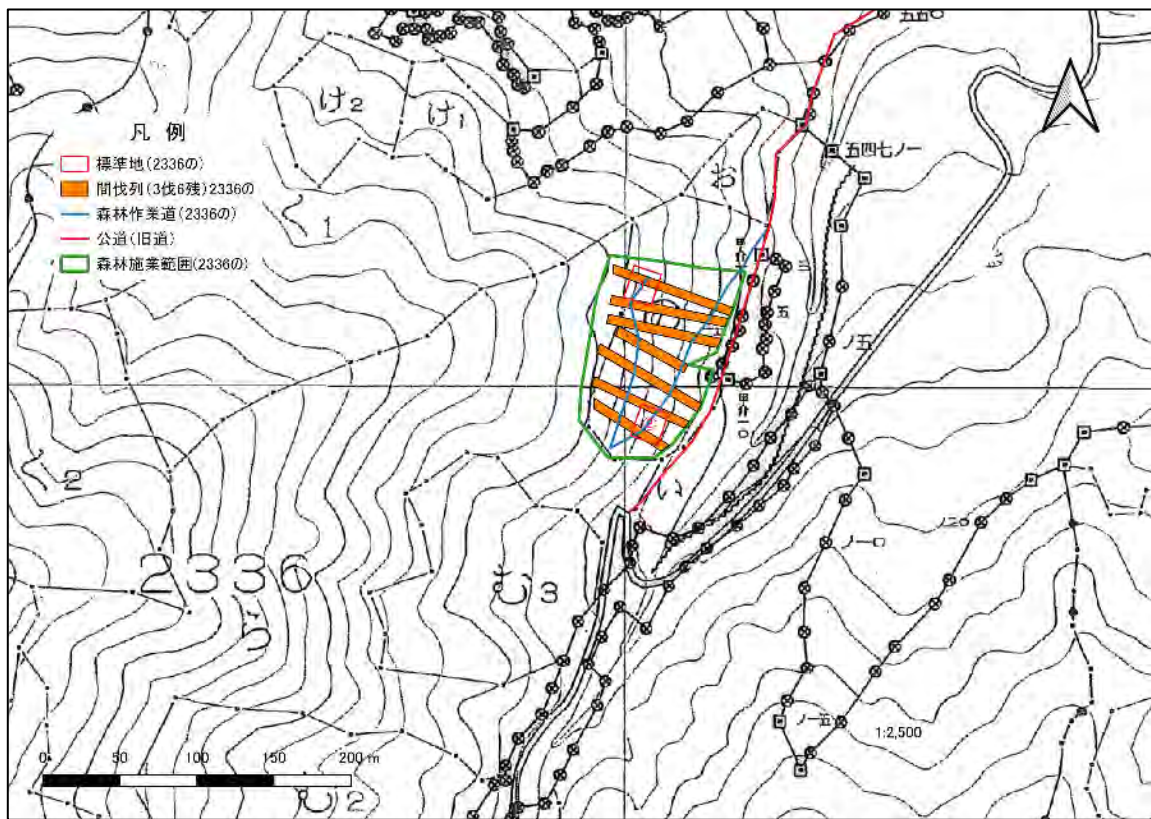


図 4-13 標準地位置図 (飯樋事業地_2336 林班の小班)

3) 森林施業の実施

森林施業は大まかに分けて、①森林作業道の作設、②伐採、③集材、④造材、⑤運材・はい積みの順で実施した。

森林施業の実施にあたっては、写真 4-1 に示す重機を使用した。

森林施業実施期間（作業道作設開始を始まりとして事業地からの運材終了まで）は、飯樋事業地は 2022 年 10 月 4 日～27 日、冬住事業地は 11 月 9 日～12 月 1 日、高倉事業地は 12 月 7 日～12 月 24 日であった。



バケット付バックホー
(ウインチ付き)



グラップル付きバックホー
(ウインチ付き)



フォワーダ

写真 4-1 使用した重機一覧

①森林作業道の作設

森林作業道作設は、チェーンソーを用いた支障木の先行伐倒を行い、その後、バケット機能付きバックホーによる土工作業で天地返しを行い実施した。チェーンソーにより先行伐倒後、路線線形に掛かる伐採木はその場でチェーンソーを用いて枝払い・玉切りの造材作業を行い、林内や路肩等に集積移動した。あわせてバケット付バックホーにより、抜根・掘削・整地作業を行い、森林作業道を作設した。

②伐採

列状間伐は、人力によるチェーンソー伐倒、0.25 m³クラスのグラップル・ウインチ付バックホーで木寄せ・集材し、チェーンソーにより造材作業を行う作業システムを基本とした。伐採列は、植栽列が不明瞭な箇所については幅 5.4mの伐採列に対し幅 10.8mの保残列で、植栽列が明瞭である場合は3列分を伐採列、6列分を残存列として設定した。また、森林施業の実施を正確に効率的に進めることを目的として、標識テープ（白）を伐採木に巻き付け、伐採対象である旨を明示した。

③集材

グラップルの作業機が届く範囲は伐採した材を作業機で掴み集材し、届かない範囲の材については、ウインチ引きによる全木集材を行った。ただし、作業時に枝葉が支障となる際には適宜枝払いを集材前に行った。集材作業の際には荷掛け作業員とオペレーターがペアとなって行った。

④造材

伐倒した材はチェーンソーにより枝払い・玉切りし、丸太は森林作業道沿いに仮置きした。また、枝払いした枝条等は、まとめて作業道沿いに集積した。

⑤運材・はい積み

森林作業道沿いに仮置きした丸太はグラップルでフォワーダに積み込み、土場へ運搬しはい積した。それ以外の残材は作業道脇に集積した。



森林作業道作設



伐採



集材



枝払い・玉切り



運材



はい積み

写真 4-2 森林施業の様子

4) 森林施業実施による森林環境の変化

森林施業（列状間伐）の実施による森林環境の変化について、森林施業前後の写真（林況写真、全天空写真、オルソ写真）による現況把握、全天空写真から得られた開空率、林床被覆率の変化、林床の攪乱状況について調査した内容を参考として示す。

① 間伐実施による森林環境変化の状況

間伐予定列内の2本の立木がなるべく水平に位置する箇所を選定し、間伐列毎に1箇所、調査プロットとして設定した（図 4-14～図 4-16）。なお、一部の調査プロットは間伐後に森林作業道作設に伴い消失した。調査プロットの中心から、伐採列の斜面上部方向と下部方向の林況写真を間伐前後に撮影し、その変化を記録した（写真 4-4）。また、調査プロットの中心において、360°カメラ（RICOH THETA S）により全天空写真を間伐前後に撮影した（写真 4-5）。

オルソ写真は小型無人航空機による空中写真撮影から得られた写真データを用いて作成した。飛行ルートは、GPS プログラミングにより設定した飛行ルート上を自動撮影したほか、必要に応じて適宜マニュアルによる空撮を実施した。撮影時期は、いずれの事業地においても施業前写真が2022年9月、施業後写真が2022年12月である。また、使用した小型無人航空機は、写真 4-3 に示すとおりである。撮影時は、オペレーター以外に1名以上の補助員を配置し、第三者の立ち入りの制限や飛行状態の確認、異常時の対応に備えた。



写真 4-3 使用した小型無人航空機（Mavic 2 Pro）

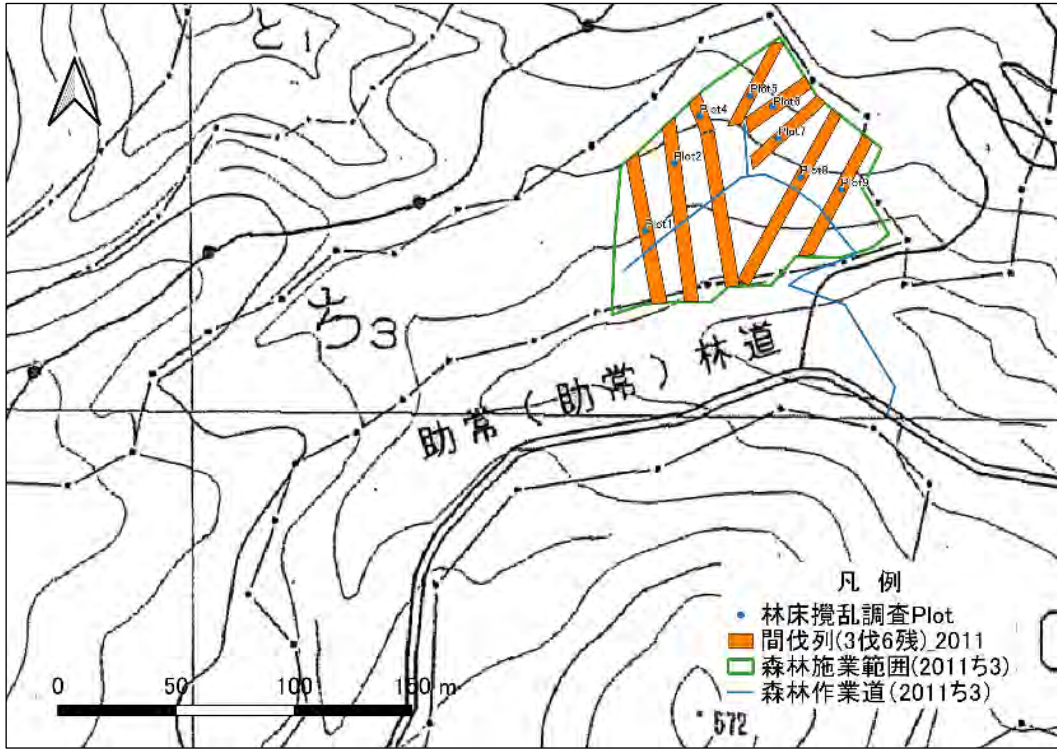


図 4-14 林床攪乱調査プロット位置 (冬住事業地_2011 林班ち3 小班)

※Plot3 は森林作業道作設に伴い消失

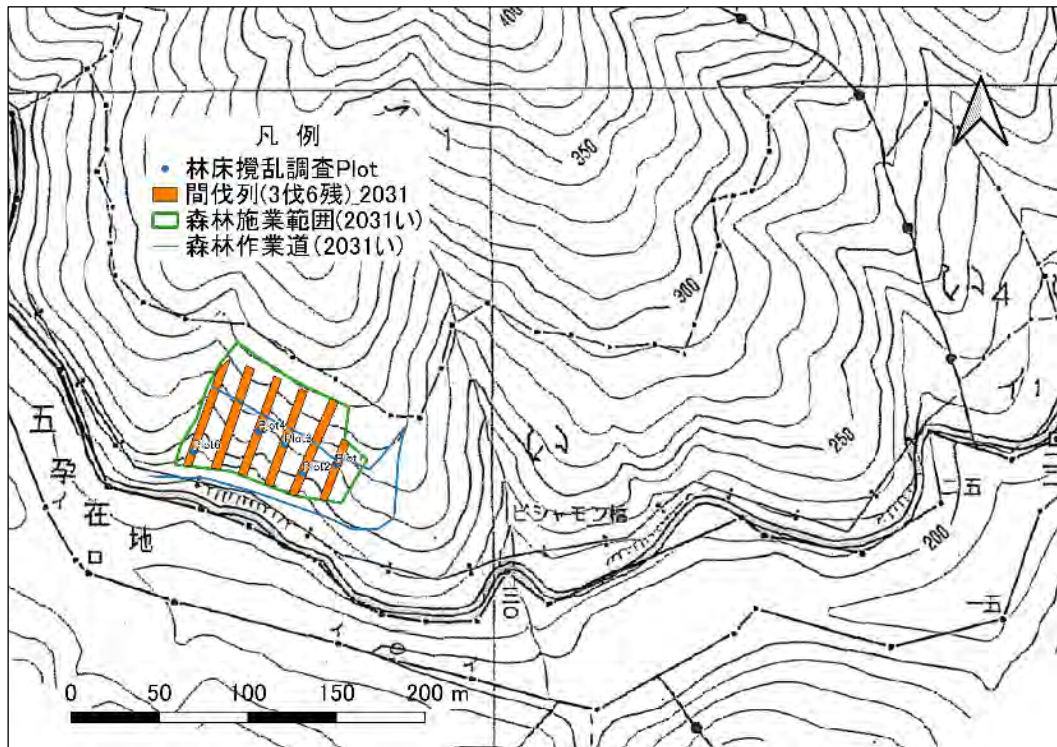


図 4-15 林床攪乱調査プロット位置 (高倉事業地_2031 林班い小班)

※Plot5 は森林作業道作設に伴い消失

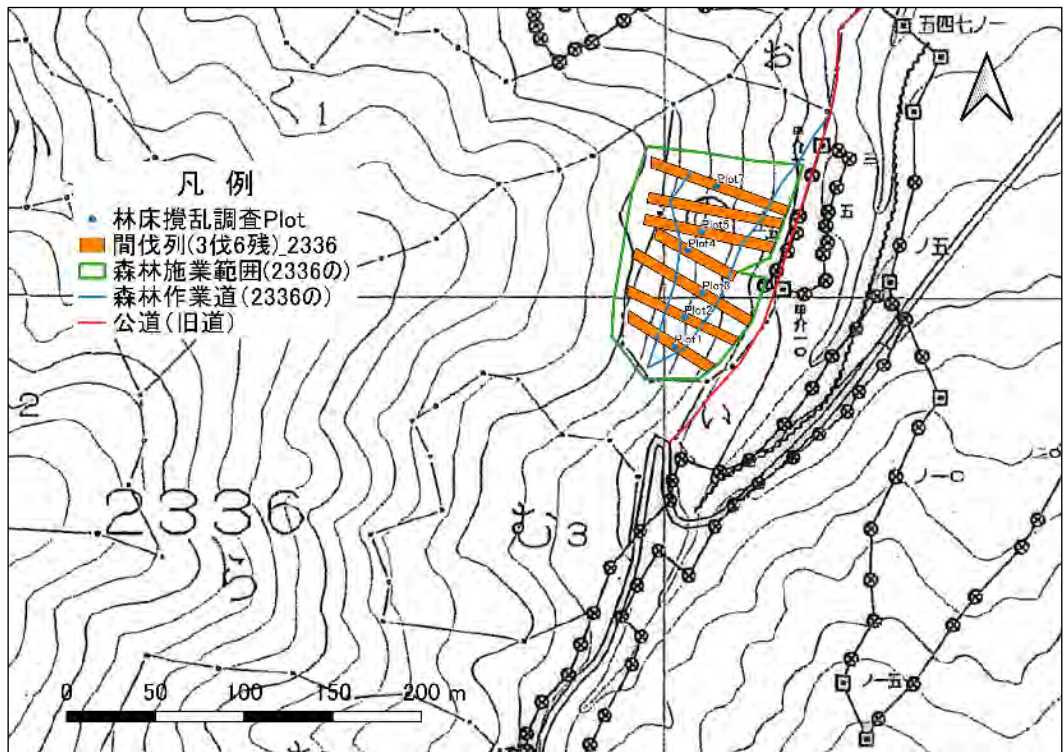


図 4-16 林床攪乱調査プロット位置 (飯樋事業地_2336 林班の小班)

※Plot6 は森林作業道作設に伴い消失



間伐実施前



間伐実施後

冬住事業地



間伐実施前



間伐実施後

高倉事業地



間伐実施前



間伐実施後

飯樋事業地

写真 4-4 列状間伐実施前後の状況



間伐実施前



間伐実施後

冬住事業地



間伐実施前



間伐実施後

高倉事業地



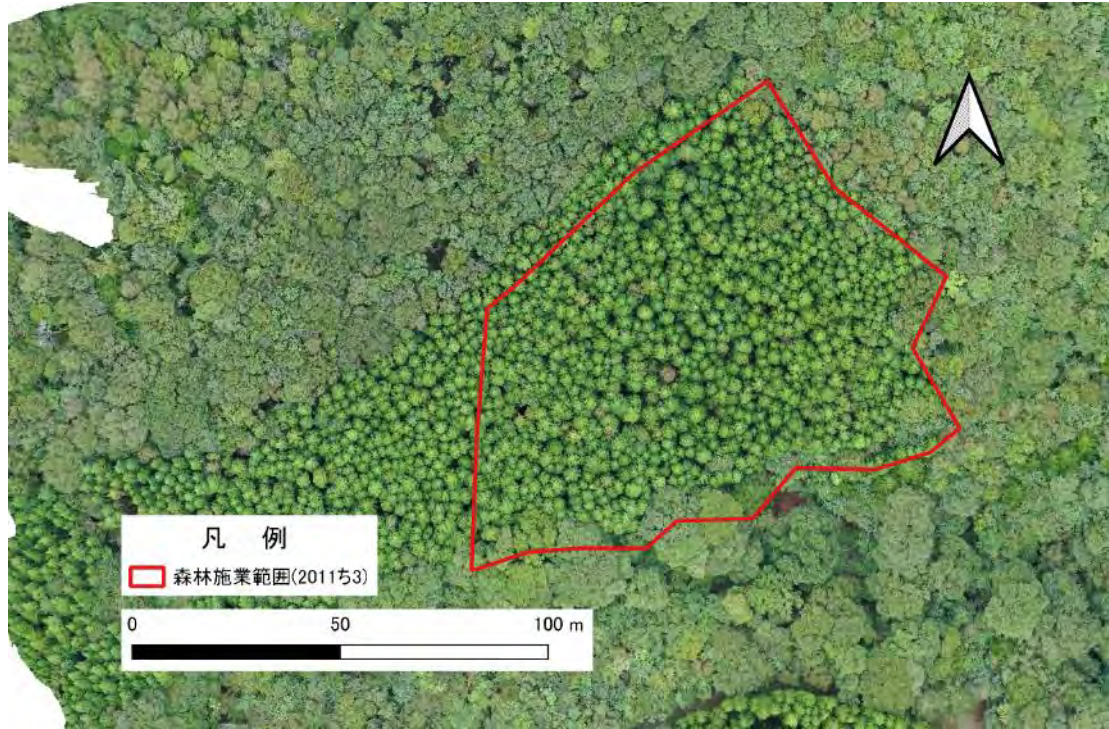
間伐実施前



間伐実施後

飯樋事業地

写真 4-5 列状間伐実施前後の開空状況（全天空写真）



間伐前

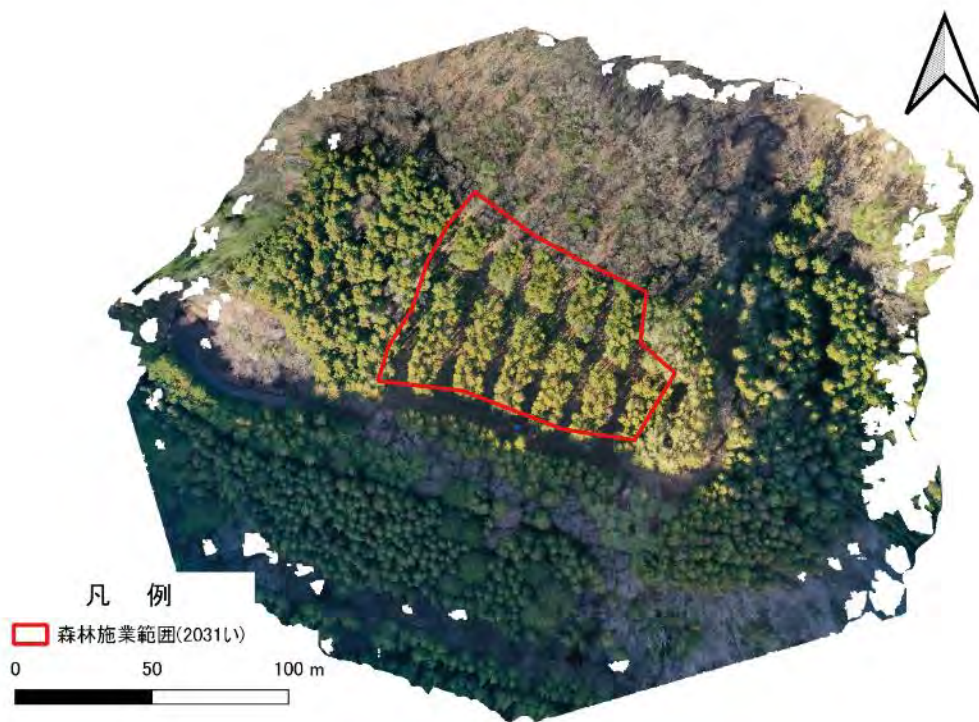


間伐後

写真 4-6 森林施業前後の環境変化 (冬住事業地_2011 林班ち3 小班)



間伐前



間伐後

写真 4-7 森林施業前後の環境変化（高倉事業地_2031 林班い小班）



間伐前



間伐後

写真 4-8 森林施業前後の環境変化（飯樋事業地_2336 林班の小班）

②森林施業実施による間伐列の開空率の変化

得られた全天球写真（画角 360°）を全天空写真（画角 180°）に加工した後（写真 4-9）、ソフトウェアにて開空率を算出した。詳しい算出の手順は次ページを参考にさせていただきたい。なお、一部の調査プロットは森林作業道作設にあたって消失したため、森林施業前に撮影した写真から得られたデータは使用していない。

間伐列における施業前後の開空率の変化を表 4-8 に示す。全ての事業地において、開空率が施業前後で 2 倍程度大きくなり、日光を取り込む量が増えたことが示唆される。

表 4-8 間伐列における施業前後の開空率変化

事業地	開空率±標準偏差(%) 森林施業前	開空率±標準偏差(%) 森林施業後
冬住事業地 2011 林班ち 3 小班	12.9±0.4(n=8)	24.2±1.6(n=8)
高倉事業地 2031 林班い小班	11.4±1.9(n=5)	22.8±0.8(n=5)
飯樋事業地 2336 林班の小班	13.1±0.7(n=6)	24.2±2.3(n=6)



全天球写真は、RICOH THETA などのソフトウェアを用いると球状の画像をソフトウェア上で回転させることもできる。



全天空写真は、RICOH THETA などのソフトウェアを用いると球状の画像をソフトウェア上で回転させることもできる。

写真 4-9 全天球写真と全天空写真

(参考：開空率算出手順)

①RICOH 製の 360°カメラ THETA で撮影。

②撮影した写真を水平に撮影した全天空写真にする準備

1. フリーソフトウェア「RICOH THETA」を使用。
2. 撮影写真をソフト画面上にドラッグ&ドロップ。
3. 「ファイル」→「天頂補正書き出し」を実施し、保存。

③全天空写真の作成

1. フリーソフトウェア「paint.net」を使用。
2. ②で作成したファイルを開く。
3. 「イメージ」→「キャンパスサイズ」でピクセルサイズの高さを 2 分の 1 にして、OK ボタンを押す。例えば、THETAS の場合は、得られる全天球写真の画像サイズが横 5376×縦 2688 であるが、縦を上半分にしたいため 1344 を入力して処理する。
4. 「効果」→「THETA」→「FishEye」で Y Direction を -90.00、Magnification を 0.50 に設定し、OK ボタンを押す (Projection は Equidistance とする)。
5. 名前を付けて保存するが、ファイルの種類を BMP ファイルにして保存する。
(※)「THETA」の拡張機能である「FishEye」は「paint.net」にリコーシート関連のプラグイン「THETATools1_2」にある 4 つのプラグイン (EqRectLevel、FishEyeProjection、MercatorProjection、PersProjection) を、エクスプローラー上で「Program Files」→「paint.net」→「Effects」に入れると使用できるようになる。プラグイン「THETATools1_2」は以下の URL からダウンロード可能。

<https://github.com/aitech-two/THETATools>

④開空率の算出

1. フリーソフトウェア「CanopOn2」を使用。以下のホームページも参照のこと。ホームページ内では開空率を開空率と表現している。

<http://takenaka-akio.org/etc/canopon2/>

2. 「CanopOn2」の Load Image から③で作成した全天空写真を開く。
3. BW/Color で白黒写真にする。このとき、exposure の値を 0.85 くらいにすると、空が見えている部分と木や枝葉にさえぎられている部分との区別が適切に二値化されることが多いが丁寧な確認が必要。この値の適切な設定が極めて重要。適切に二値化されない場合、RGB の設定を適切に行うとうまくいくこともある。
4. 表示されている青い円をマウスで操作し、全天空写真にぴったり合わせる。
5. 表示画面左の中ほどにある Eval ボタンを押すと表示される Mean open の数値が開空率。

③森林施業実施による林床の攪乱状況

列状間伐時の集材作業にあたっては、グラップルによる集材においてもウインチを使った地曳集材においても、伐採木が地面を引きずられる際に、伐採木の幹や枝葉の部分によって、写真 4-10 に示すような攪乱が生じる。とくに、かかり木となった伐採木の根元にワイヤーを括り付け、ウインチで引き出す際には、伐採木が立った状態で元口部分が林床をえぐることになるため、攪乱が非常に大きい。

ライシメータ等機器の設置に当たっては、攪乱の極端に多い箇所もしくはあまり攪乱されていない箇所は避け、事業地全体を見渡して平均的な攪乱具合の箇所を選定するように留意する必要がある。



グラップルによる集材



ウインチ引きによる集材



ウインチ引き時に梢端部が
林床を引きずった跡



ウインチ引き時に元口部が
林床をえぐった跡



かかり木をウインチ引きし
たときに元口部が林床をえ
ぐった跡



伐採木の枝葉が伐採列を
覆っている状況

写真 4-10 集材時の林床攪乱状況

参考までに、林床の攪乱の程度を簡易的に調査した内容を示す。「①森林施業実施による森林環境変化」で示した調査箇所において、2本の立木の根元に近い部分に洋灯吊りをねじ込み、これに鎖をピンと張り、立木間の距離を計測した。さらに、鎖の左から4分の1(左)、2分の1(中)、4分の3(右)の箇所において、鎖から堆積有機物のA₀層表面までの重心方向距離(深さ)、A₀層表面からA層表面までの重心方向距離(深さ)について、森林施業前後の2回計測した(図 4-17)。なお、森林施業後のA₀層については、森林施業前に堆積していた有機物が森林施業後にも現存していることは少なく、伐採木からの枝葉由来のものが多くを占めた。

森林施業前後における林床の削れ程度について表 4-9 に示す。林床の削れ程度とは、調査内容で示した「鎖から堆積有機物のA₀層表面までの重心方向距離(深さ)」に「A₀層表面からA層表面までの重心方向距離(深さ)」を加えた値であり、鎖からA層表面までの距離を示す。なお、林床の削れ程度を「鎖からA層表面までの距離」で評価するのは、森林施業前

の A₀ 層については A 層の上層部分と併せて森林施業により削れてしまい、新しく上に堆積した A₀ 層の直下に、削れた地表の最上部があると仮定しているためである。

結果として、急傾斜で伐採本数が多い高倉事業地の林床の削れが大きい結果となった。高倉事業地の場合は削られた土砂は斜面下方へ移動した可能性が考えられる。他の事業地は平均としては大きな削れはみられなかった。また、バラツキの指標となる標準偏差は各事業地で大きくは変わらなかった。なお、森林施業によって林床の削れた部分が他の箇所に盛られるといった状態を反映したものがバラツキと考えられる。

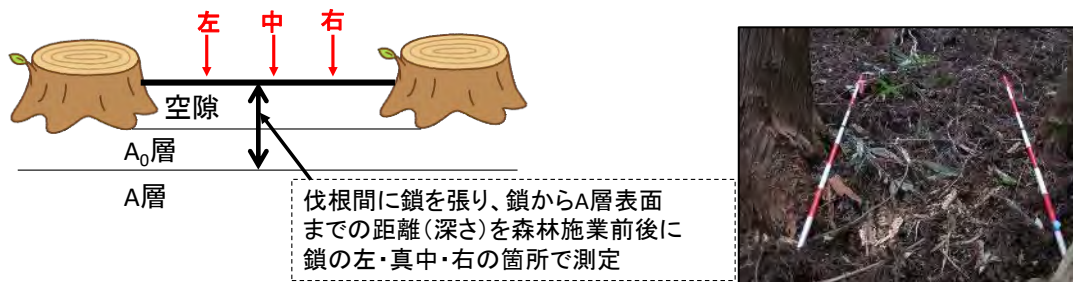


図 4-17 林床攪乱調査箇所設定イメージ

表 4-9 事業箇所別_林床の削れ程度

事業地	鎖から A 層表面までの距離変化 ±標準偏差 (cm)
冬住事業地 (n=8) 2011 林班ち 3 小班	1.5 ± 5.0 (左)
	-1.1 ± 6.0 (中)
	1.8 ± 4.2 (右)
高倉事業地 (n=5) 2031 林班い 1 小班	5.0 ± 5.2 (左)
	9.2 ± 4.4 (中)
	5.0 ± 7.7 (右)
飯樋事業地 (n=6) 2336 林班の 1 小班	0.3 ± 4.2 (左)
	1.7 ± 4.4 (中)
	0.3 ± 4.8 (右)

併せて上記調査と同一の箇所において、2本の立木を中心とする1.8m×1.8mの範囲の林床の被覆率を目視により把握した（写真4-11）。

林床被覆率の森林施業前後における変化について、表4-10に示す。列状間伐により伐採列の林床被覆率は20%前後減少する結果となった。

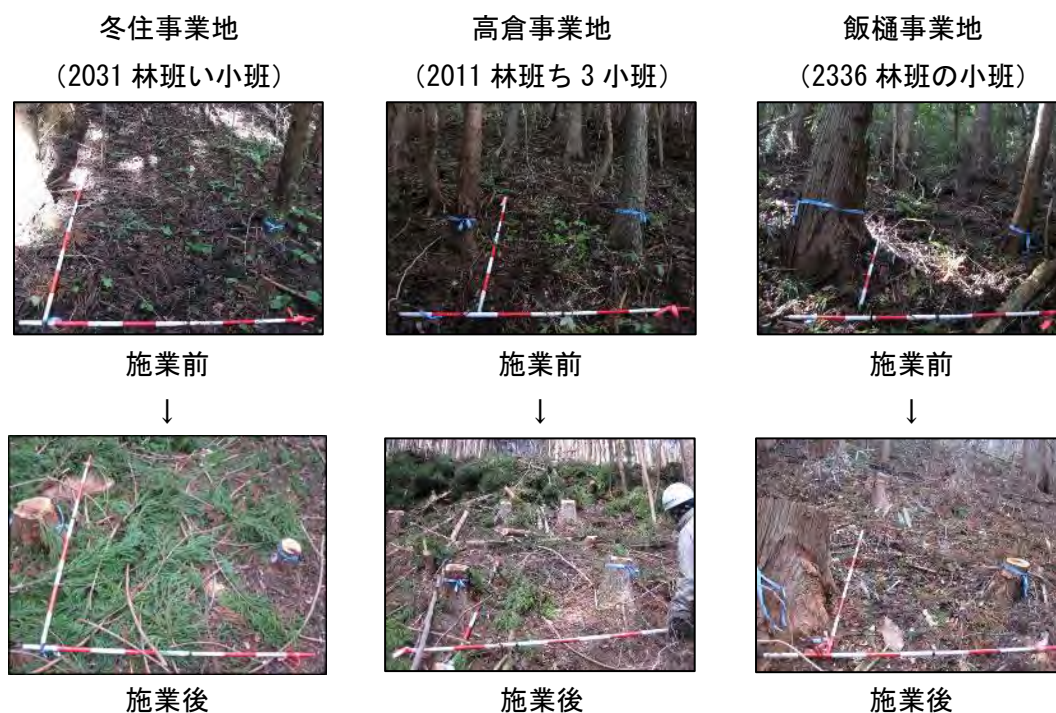


写真 4-11 伐採列の林床変化の状況

表 4-10 伐採列の林床被覆率の変化

事業地	林床被覆率±標準偏差(%) 森林施業前	林床被覆率±標準偏差(%) 森林施業後
冬住事業地(n=8) 2011 林班ち3小班	100±0(n=8)	86±13(n=8)
高倉事業地(n=5) 2031 林班い小班	100±0(n=5)	79±22(n=5)
飯樋事業地(n=6) 2336 林班の小班	98±2(n=6)	77±15(n=6)

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、表 4-1 に示す 3 箇所の事業地の施業区及び対照区において試験を実施した。各事業地のゼロテンションライシメータ設置位置を図 4-18、図 4-19、図 4-20 に示す。本年度は、令和 3（2021）年度に設置したゼロテンションライシメータ（図 4-21）を 6 月にメンテナンス・清掃した後に観測を開始した。

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 5 cm 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 プリント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。各事業地におけるゼロテンションライシメータの観測期間を表 4-11 に、設置状況を写真 4-12、写真 4-13 に示した。

浸透水の試料回収は 1 か月に 1 回を基本として計画し、6 月から間伐施業前の 9 月末までの約 3 か月の観測を予定していたが、期間中の降水量が少なかったため、間伐施業が始まる直前まで延長し、飯樋事業地は 10 月末、高倉および冬住事業地は 11 月末まで観測を実施した。試料回収状況を表 4-11 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、観測期間中にタンクに貯まった量を按分し、混合して 1 試料とした。混合した試料は、孔径 0.45 μ m のメンブレンフィルターでろ過し、フィルターに残ったものを残渣、通り抜けた濾液を溶存態の試料として、5 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 として測定を行った。

また、下方浸透の調査に併せて、放射性セシウムの方浸透量把握のための環境要因の基礎情報把握のため、自記式の観測機器（気温・湿度、雨量、空間線量率、照度計、土壌水分計、地温計、水位計）による 10 分毎（空間線量率のみ 1 時間毎）の観測を行った。観測機器およびデータ回収状況を写真 4-12～写真 4-14 に示す。なお、間伐施業によりゼロテンションライシメータおよび観測機器が破損するおそれがあったため、間伐区については施業前に機器を撤去し、林内の伐採の影響がない場所に仮置きした。

間伐施業後のゼロテンションライシメータおよび観測機器の設置は、令和 5 年（2023 年）6 月頃を予定している。

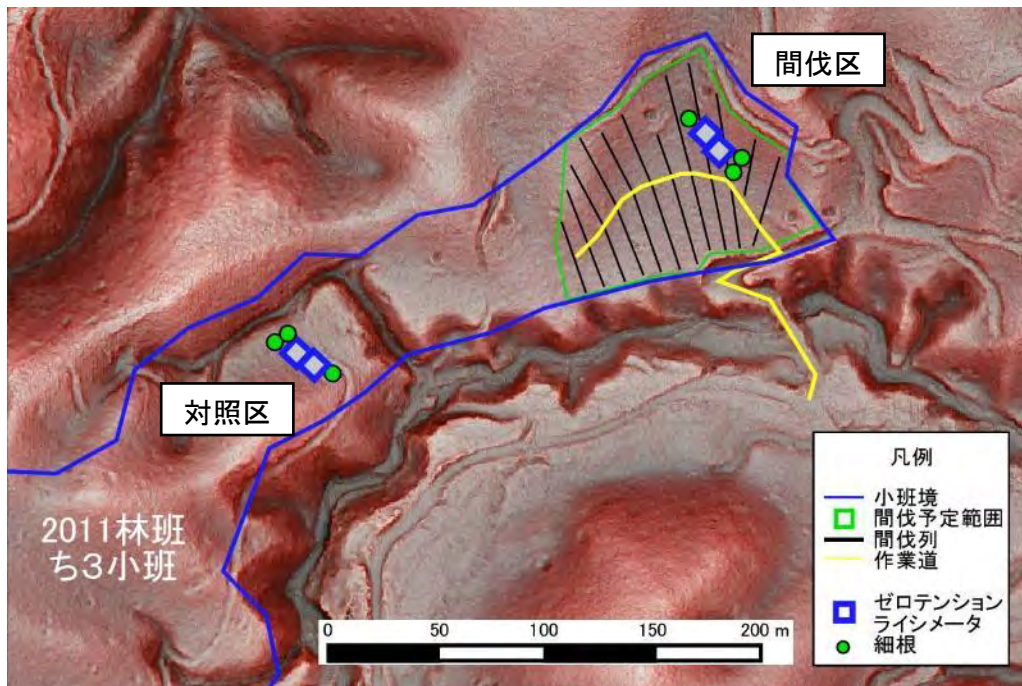


図 4-18 冬住事業地（2011 林班ち 3 小班）配置

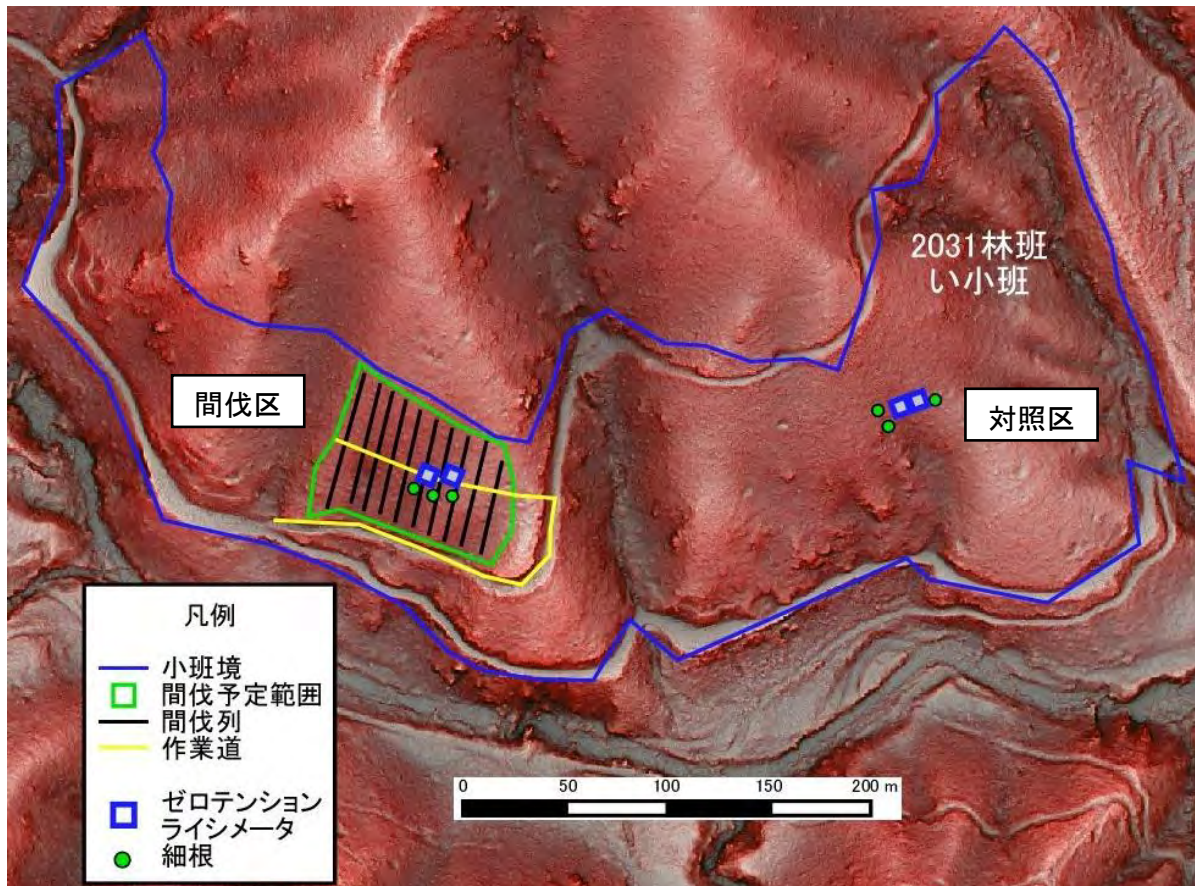


図 4-19 高倉事業地（2031 林班い小班）配置

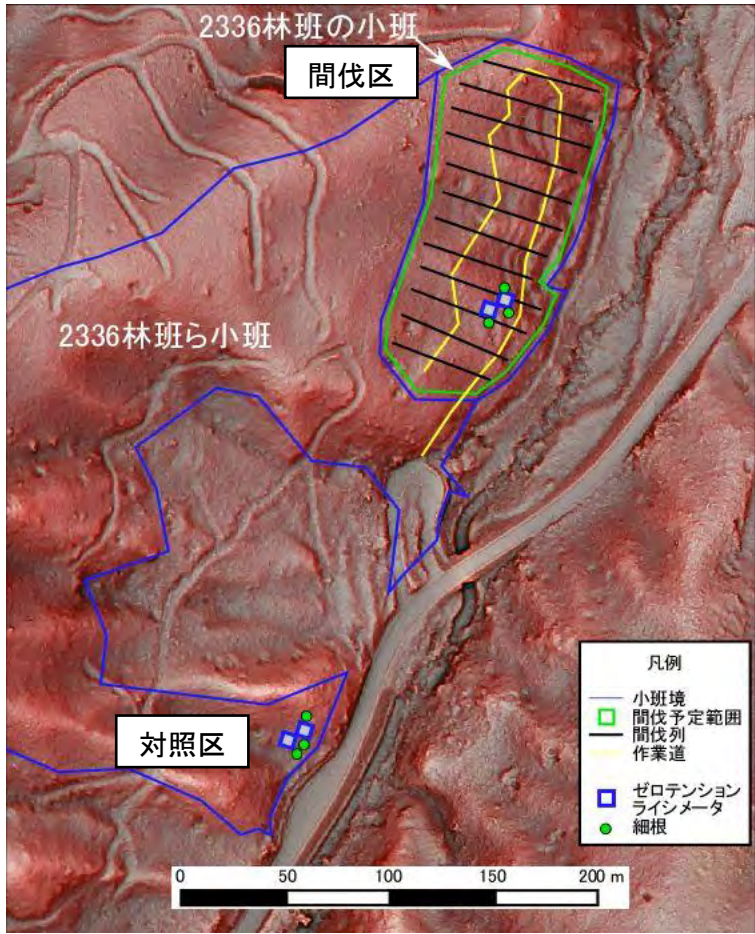


図 4-20 飯館事業地（2336 林班の、ら小班）配置

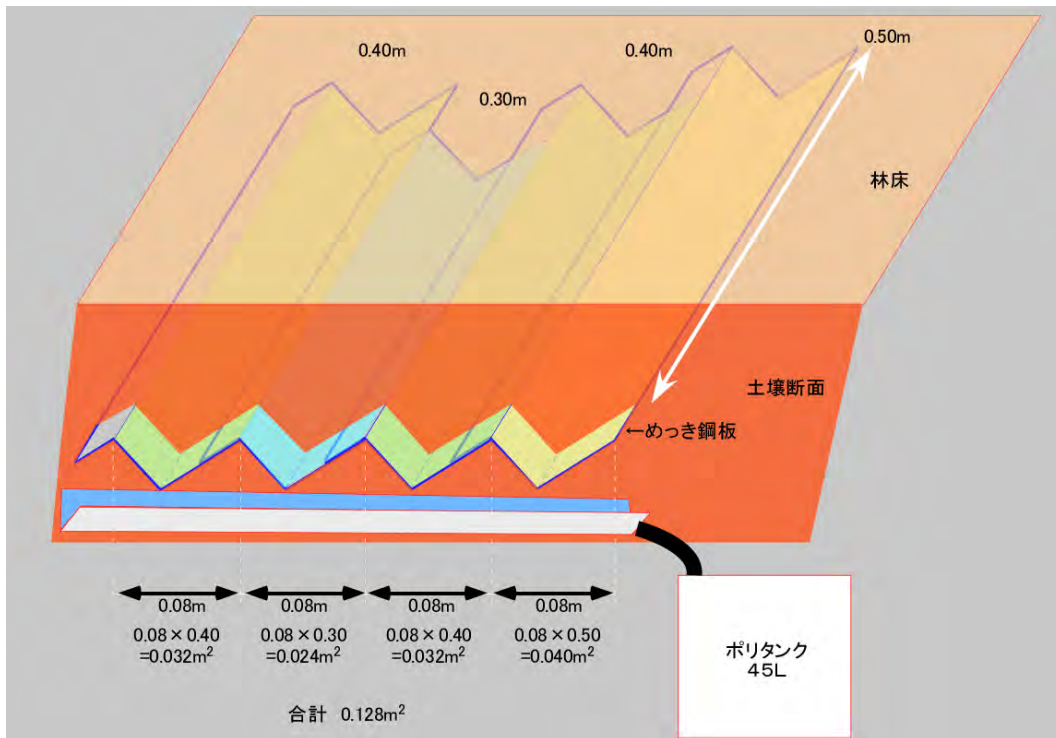


図 4-21 ゼロテンションライシメータ構造図

表 4-11 ゼロテンションライシメータ観測期間

事業地	施業区	林相	傾斜角	設置	令和3(2021)年				令和4(2022)年			
					観測期間	日数	期間雨量 (mm)	年降水量 (mm/年)	観測期間	日数	期間雨量 (mm)	年降水量 (mm/年)
冬住 試験地	間伐区 (施業前)	スギ	13~23°	2021年7月 ~8月24日	2021年 10月21日~ 12月18日	58	183	1,444	2022年 6月15日~ 10月25日	132	497	1,081
	対照区	スギ	13~26°	2021年7月 ~8月25日			192	1,517				
高倉 試験地	間伐区 (施業前)	スギ	25~33°	2021年7月 ~9月29日	2021年 10月22日~ 12月16日	55	157	1,285	2022年 6月14日~ 10月24日	132	393	963
	対照区	スギ	25~40°	2021年7月 ~9月10日			151	1,237				
飯樋 試験地	間伐区 (施業前)	スギ	25~33°	2021年7月 ~9月10日	2021年 10月23日~ 12月21日	59	127	1,053	2022年 6月13日~ 9月26日	105	346	1,054
	対照区	スギ	23~30°	2021年7月 ~9月9日			119	988				

期間雨量は各事業地に設置した雨量計の観測値。令和3年度の年降水量は、試験地の期間雨量と、同じ期間で付近のAMeDAS観測所の雨量で割り、30年間の年間降水量から割り戻して算出した。令和4年度は雨量計目詰まりが多かったため、間伐区対照区の雨量計を平均して観測値とした。



設置状況全景



浸透水集水状況



メッキ鋼板打ち込み状況



トタン水受けと 3D プリンタで作成した治具を設置

写真 4-12 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)



浸透水採水タンク・自記水位計



堆積有機物用トレイ



堆積有機物移設状況



ゼロテンションライシメータ埋設後



ゼロテンションライシメータ浸透水試料回収状況

写真 4-13 ゼロテンションライシメータ設置状況と試料回収状況



ロガーボックス外観



温湿度計設置状況



D-シャトル設置状況



データ回収状況



照度計設置状況近景



照度計設置状況遠景



土壌水分計、地温計設置状況



写真 4-14 ゼロテンションライシメータ周囲に設置した観測装置およびデータ回収状況

(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 4-22 に、年間の下方向移動量推定値を表 4-13、図 4-23 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（0.05～0.91Bq/L）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、おおむね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。冬住事業地の対照区については、土壌深度 5～10cm、10～20cm の 2 深度で 3.65 Bq/L および 11.7Bq/L であり、上層より高い濃度が確認された。

本年度は目視では異常を確認できなかったが、来年度はライシメータの周辺に表流水の流路や野生生物によるかく乱の痕跡等がないか、より入念な状況確認と、必要に応じてライシメータの移設検討を行うことが望ましい。

土壌等浸透水による放射性セシウム（Cs-137）の 1 年当たりの下方向移動量推定値は、おおむね堆積有機物層で最も大きく、土壌深度が深くなるほど低下する傾向が見られたが、冬住事業地の対照区では、移動量は下層の方が大きくなる傾向が見られた。また、現存量に対する浸透水による下方向移動量推定値は、冬住事業地の堆積有機物層で大きかった他は、事業地間に明瞭な違いが見られなかった

また、伐採前後の間伐区および対照区の条件の違いによる下方向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、土壌水分等の観測を行った。さらに、降雨イベント（降雨強度）毎の雨水の下方向浸透水量（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向浸透状況等の記録を行った。記録したデータは報告書付属のデータ集にまとめた。

表 4-12 土壤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
(n=2 平均値)

事業地	作業区	深度	令和3(2021)年度			令和4(2022)年度		
			Cs-134 (Bq/L)	Cs-137 (Bq/L)	浸透水量 (L)	Cs-134 (Bq/L)	Cs-137 (Bq/L)	浸透水量 (L)
冬住 事業地	間伐区 (施業前)	堆積	N.D.(0.19)	1.76	6.1	N.D.(0.52)	1.94	25.1
		0-5cm	N.D.(0.25)	0.55	6.1	N.D.(0.38)	0.53	16.3
		5-10cm	N.D.(0.20)	0.29	5.1	N.D.(0.17)	0.24	9.3
		10-20cm	N.D.(0.26)	0.49	2.2	N.D.(0.14)	0.33	1.4
	対照区	堆積	N.D.(0.74)	2.08	10.1	N.D.(0.58)	1.24	39.1
		0-5cm	N.D.(0.17)	0.33	7.0	N.D.(0.23)	0.38	28.3
		5-10cm	N.D.(0.17)	0.45	3.8	N.D.(0.55)	3.65 *	13.3
		10-20cm	N.D.(0.09)	0.17	0.7	N.D.(0.91)	11.7 *	5.1
高倉 事業地	間伐区 (施業前)	堆積	N.D.(0.09)	0.56	9.4	N.D.(0.09)	0.74	31.0
		0-5cm	N.D.(0.08)	0.39	6.1	N.D.(0.08)	0.56	18.2
		5-10cm	N.D.(0.09)	0.20	4.1	N.D.(0.08)	0.36	18.4
		10-20cm	N.D.(0.09)	0.14	1.8	N.D.(0.08)	0.24	8.0
	対照区	堆積	N.D.(0.09)	0.58	8.9	N.D.(0.07)	0.78	25.2
		0-5cm	N.D.(0.08)	0.36	6.5	N.D.(0.08)	0.43	20.3
		5-10cm	N.D.(0.09)	0.26	4.2	N.D.(0.08)	0.21	16.8
		10-20cm	N.D.(0.09)	0.28	1.8	N.D.(0.08)	0.10	10.2
飯樋 事業地	間伐区 (施業前)	堆積	N.D.(0.42)	0.90	8.5	N.D.(0.30)	1.06	18.7
		0-5cm	N.D.(0.32)	0.41	4.6	N.D.(0.37)	0.61	19.5
		5-10cm	N.D.(0.34)	0.54	3.3	N.D.(0.18)	0.31	15.0
		10-20cm	N.D.(0.14)	0.18	1.8	N.D.(0.14)	0.25	11.8
	対照区	堆積	N.D.(0.39)	0.58	8.7	N.D.(0.22)	0.54	22.8
		0-5cm	N.D.(0.14)	0.15	3.5	N.D.(0.11)	0.13	13.0
		5-10cm	N.D.(0.15)	0.18	2.9	N.D.(0.06)	0.08	8.3
		10-20cm	N.D.(0.29)	0.32	0.7	N.D.(0.05)	0.05	5.1

測定値が不検出(N.D.)の試料については、括弧内に測定下限値を示した。

* 試験地の攪乱が疑われるため、状況について精査中

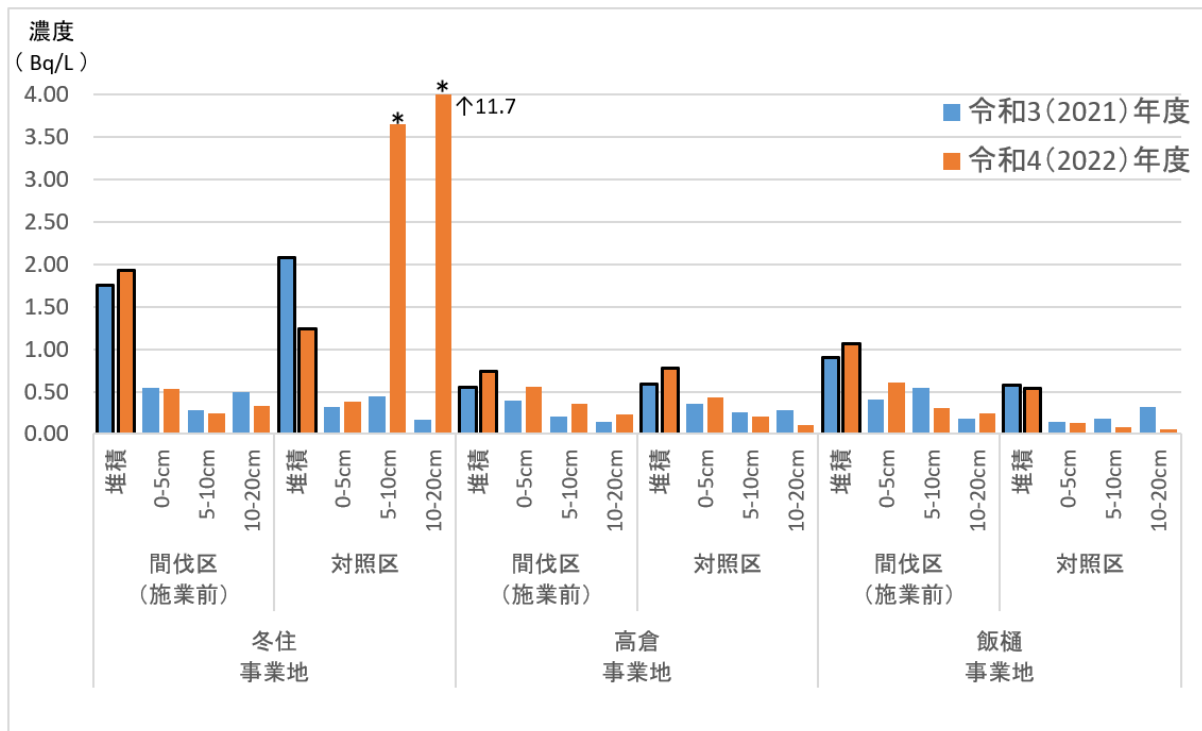


図 4-22 土壤等浸透水に含まれる放射性セシウム (Cs-137) 濃度

* 試験地の攪乱が疑われるため、状況について精査中

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

事業地	作業区	深度	令和3(2021)年度				令和4(2022)年度			
			Cs-137 濃度 (Bq/L)	下方移行量 試算値 (kBq/m ² ・年)	設置箇所 周辺の現存量 (kBq/m ²)	Cs-137 下方移行量 (1年間)	Cs-137 濃度 (Bq/L)	下方移行量 試算値 (kBq/m ² ・年)	設置箇所 周辺の現存量 (kBq/m ²)	Cs-137 下方移行量 (1年間)
冬住事業地	間伐区 (施業前)	堆積	1.76	1.15	1,022	0.11%	1.94	1.42	1,060	0.13%
		0-5cm	0.55	0.35		0.034%	0.53	0.24		0.023%
		5-10cm	0.29	0.15		0.014%	0.24	0.07		0.0064%
		10-20cm	0.49	0.13		0.013%	0.33	0.02		0.0019%
	対照区	堆積	2.08	1.85	678	0.27%	1.24	1.18	633	0.19%
		0-5cm	0.33	0.25		0.037%	0.38	0.36		0.057%
		5-10cm	0.45	0.10		0.015%	3.65 *	0.72 *		0.11% *
		10-20cm	0.17	0.01	0.0021%	11.7 *	2.12 *	0.33% *		
高倉事業地	間伐区 (施業前)	堆積	0.56	0.48	735	0.066%	0.74	0.64	734	0.088%
		0-5cm	0.39	0.29		0.039%	0.56	0.41		0.056%
		5-10cm	0.20	0.10		0.013%	0.36	0.33		0.045%
		10-20cm	0.14	0.03		0.0042%	0.24	0.11		0.015%
	対照区	堆積	0.58	0.47	1,015	0.046%	0.78	0.53	1,137	0.047%
		0-5cm	0.36	0.30		0.030%	0.43	0.31		0.027%
		5-10cm	0.26	0.12		0.011%	0.21	0.13		0.011%
		10-20cm	0.28	0.05	0.0052%	0.10	0.05	0.0040%		
飯桶事業地	間伐区 (施業前)	堆積	0.90	0.60	758	0.079%	1.06	0.47	693	0.068%
		0-5cm	0.41	0.19		0.025%	0.61	0.42		0.061%
		5-10cm	0.54	0.15		0.020%	0.31	0.17		0.025%
		10-20cm	0.18	0.03		0.0041%	0.25	0.12		0.017%
	対照区	堆積	0.58	0.47	581	0.080%	0.54	0.42	502	0.084%
		0-5cm	0.15	0.05		0.0080%	0.13	0.07		0.013%
		5-10cm	0.18	0.05		0.0088%	0.08	0.02		0.0046%
		10-20cm	0.32	0.02	0.0042%	0.05	0.01	0.0019%		

令和 3(2021)年度の年間移動量は「期間降水量÷AMeDAS 期間降水量×AMeDAS30 年平均降水量」より推定した。
* 試験地の攪乱が疑われるため、状況について精査中

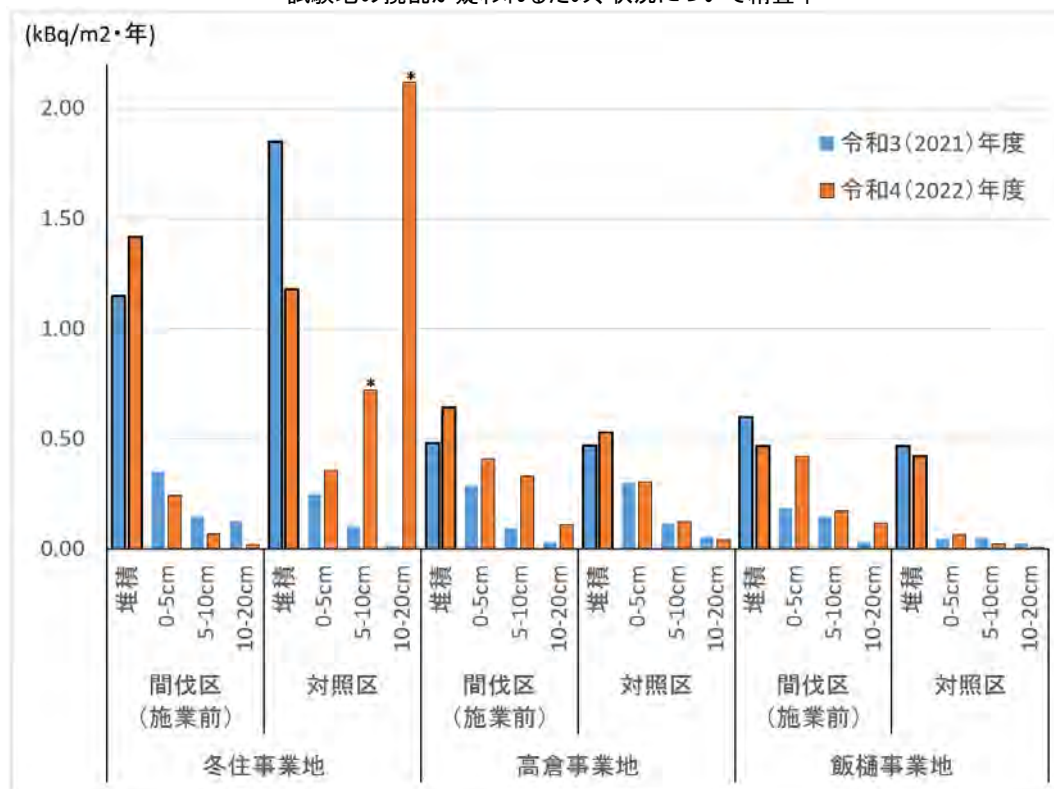


図 4-23 土壌等浸透水に含まれる放射性セシウム (Cs-137) 年間移動量推定値
令和 3(2021)年度の年間移動量は「期間降水量÷AMeDAS 期間降水量×AMeDAS30 年平均降水量」より推定した。
* 試験地の攪乱が疑われるため、状況について精査中

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。

本年度の残渣の放射性セシウム（Cs-137）濃度は、令和 3（2021）年度と比較し、全体的に上昇していることが確認でき、飯樋事業地で最大 158kBq/kg、冬住事業地で最大 739kBq/kg、高倉事業地で最大 105kBq/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（1.1mg～123.1mg 程度）であったため、誤差が大きく出ている可能性がある。

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

事業地	作業区	深度	令和3(2021)年						令和4(2022)年					
			No.1			No.2			No.1			No.2		
			Cs-134 (kBq/kg)	Cs-137 (kBq/kg)	重量 (mg)	Cs-134 (kBq/kg)	Cs-137 (kBq/kg)	重量 (mg)	Cs-134 (kBq/kg)	Cs-137 (kBq/kg)	重量 (mg)	Cs-134 (kBq/kg)	Cs-137 (kBq/kg)	重量 (mg)
冬住 事業地	間伐区 (施業前)	堆積	N.D.	N.D.	5.3	N.D.	76	11.7	N.D.	254	26.4	N.D.	303	10.0
		0-5cm	N.D.	N.D.	12.5	N.D.	N.D.	14.0	N.D.	60	10.6	N.D.	91	12.5
		5-10cm	N.D.	N.D.	10.1	N.D.	N.D.	12.5	N.D.	68	10.0	N.D.	101	10.6
		10-20cm	/	/	/	N.D.	N.D.	11.4	/	/	/	N.D.	N.D.	10.0
	対照区	堆積	N.D.	283	18.4	N.D.	N.D.	11.5	N.D.	392	10.8	N.D.	739	4.7
		0-5cm	N.D.	188	9.4	N.D.	N.D.	5.4	N.D.	194	21.2	N.D.	160	30.8
		5-10cm	N.D.	N.D.	14.1	N.D.	N.D.	12.0	N.D.	130	33.8	N.D.	281	10.6
		10-20cm	N.D.	N.D.	13.0	/	/	/	N.D.	126	36.7	/	/	/
高倉 事業地	間伐区 (施業前)	堆積	N.D.	N.D.	0.7	N.D.	1,350	1.3	N.D.	19	119.4	N.D.	105	34.1
		0-5cm	N.D.	N.D.	10.0	N.D.	N.D.	6.8	N.D.	185	2.1	N.D.	47	21.7
		5-10cm	N.D.	N.D.	3.2	N.D.	79	7.7	N.D.	80	17.6	N.D.	49	11.3
		10-20cm	N.D.	N.D.	0.8	N.D.	N.D.	5.4	N.D.	54	16.3	N.D.	36	17.3
	対照区	堆積	N.D.	N.D.	6.4	N.D.	N.D.	6.7	N.D.	135	4.2	N.D.	110	4.0
		0-5cm	N.D.	37	20.9	N.D.	N.D.	1.1	N.D.	76	19.7	N.D.	37	17.8
		5-10cm	N.D.	N.D.	3.2	N.D.	N.D.	10.2	N.D.	N.D.	1.4	N.D.	31	29.8
		10-20cm	N.D.	N.D.	9.0	N.D.	N.D.	1.1	N.D.	32	15.6	N.D.	N.D.	18.3
飯樋 事業地	間伐区 (施業前)	堆積	N.D.	N.D.	9.1	N.D.	N.D.	6.7	N.D.	60	85.3	N.D.	39	123.1
		0-5cm	N.D.	81	10.8	N.D.	N.D.	10.1	N.D.	122	86.1	N.D.	158	46.5
		5-10cm	N.D.	54	11.5	N.D.	N.D.	15.9	N.D.	159	30.6	N.D.	99	101.7
		10-20cm	N.D.	N.D.	9.9	N.D.	N.D.	8.0	N.D.	50	82.6	N.D.	39	59.1
	対照区	堆積	N.D.	N.D.	9.3	N.D.	N.D.	11.3	N.D.	67	86.0	N.D.	95	21.7
		0-5cm	N.D.	N.D.	5.7	N.D.	N.D.	6.9	N.D.	188	26.1	N.D.	44	30.8
		5-10cm	N.D.	N.D.	63.6	N.D.	N.D.	14.7	N.D.	N.D.	4.9	N.D.	15	98.5
		10-20cm	N.D.	N.D.	11.5	N.D.	N.D.	14.9	N.D.	48	40.6	N.D.	26	23.0

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

スギ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、表 4-1 に示す 3 箇所の事業地の間伐区及び対照区において、試験を実施した。細根採取位置を図 4-24、図 4-25、図 4-26 に、スギ林における細根分布イメージを図 4-27 示す。細根分別用の採取地点は、図 4-18、図 4-19、図 4-20 に示した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、後述の「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）」と併せて行った。スクレーパープレート（面積 15cm×30cm）を用いて、堆積有機物層および土壌深度 0～1 cm、1～2 cm、2～5 cm、5～10 cm、10～15 cm、15～20cm の計 7 深度で行った。試料採取日を表 4-15 に、採取状況写真を写真 4-15 に、細根縮分、測定状況写真を写真 4-16 に示す。

採取した試料は、まず、「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）」の測定用の未分別試料「土+細根」として 5 章に記載した方法により核種測定を行った後に、細根調査用試料とした。なお、土壌深度 0～1 cm、1～2 cm については、「土+根」測定後に混合して細根調査用の 1 試料とした。細根分別する試料はバット等に広げ、ピンセットで土塊を崩しながら「粗根（直径 φ 2 mm～20mm の根）」、「細根（直径 φ 2 mm 未満の根）」を分別した。分別した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。

なお、層厚 5 cm の深度については、細根分別作業量が膨大となり、事業期間内に終わらない可能性があったため、比較試験を行い、検討委員会です承を得た上で、試料を 1/4 に均等案分し（縮分）して細根分別を行うこととした。縮分を行う試料については、「粗根（直径 φ 2 mm～20mm の根）」、「長い細根（直径 φ 2 mm 以下、長さ 1 mm 以上の根）」を分別後、よく攪拌し、重量で 1/4 に均等に案分（縮分）し、縮分した 1/4 の試料について、「短い細根（直径 φ 2 mm 未満、長さ 1 mm 未満）の根」、「土」の分別を行った。「粗根」、「細根」、「長い細根」、「短い細根」と「土」に分別した試料は、それぞれ後段の「調査・分析方法」に記載した方法により核種測定を行った。令和 3（2021）年度事業の細根採取・分別のイメージを図 4-28 に、本年度事業の細根分別のイメージを図 4-29 に、測定フローを図 4-30 に示す。

層厚 5 cm 採取試料の細根分別作業は、1 深度当たり 2 日かかっていたが、縮分を実施することにより、半日から 1 日での仕分けが可能となり、縮分対象となった 54 検体で合計 27 日以上の日数削減を行うことができた。

また、放射性物質の存在量は、水平面の 1m²当たりの放射性セシウム量（Bq/m²）で評価を行うことにより、他の森林や平地の調査結果と比較することが可能となるが、本事業地においては傾斜地となっており、水平面での評価に比べて過小となるため、水平面に投影する傾斜補正を実施した。傾斜補正のイメージを図 4-31 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 $0.157\text{kg/m}^2/\text{year}^9$ 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。

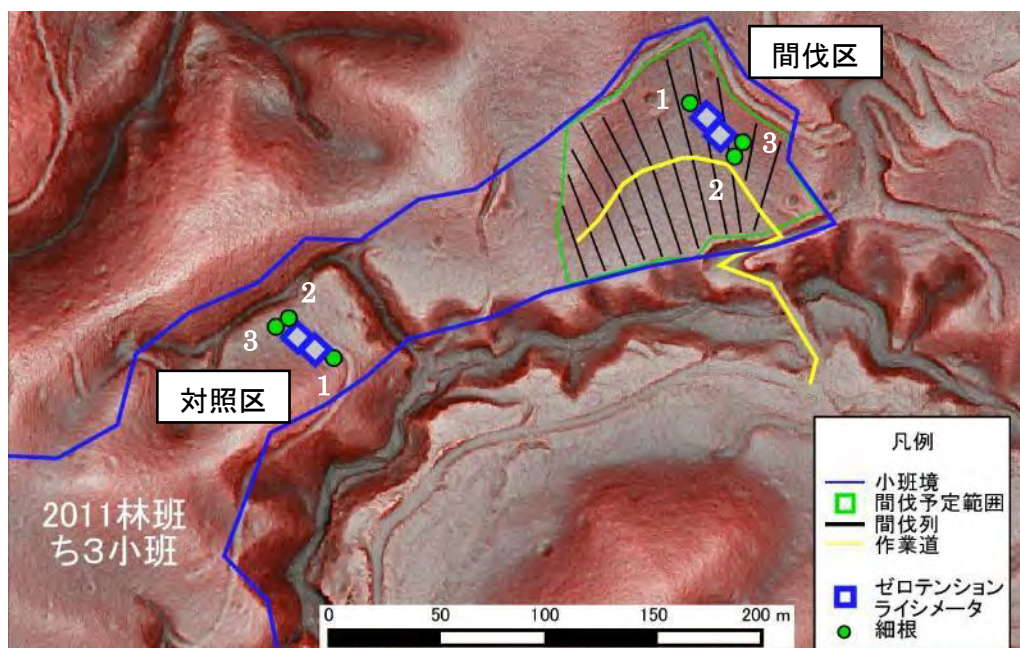


図 4-24 冬住事業地 細根採取位置

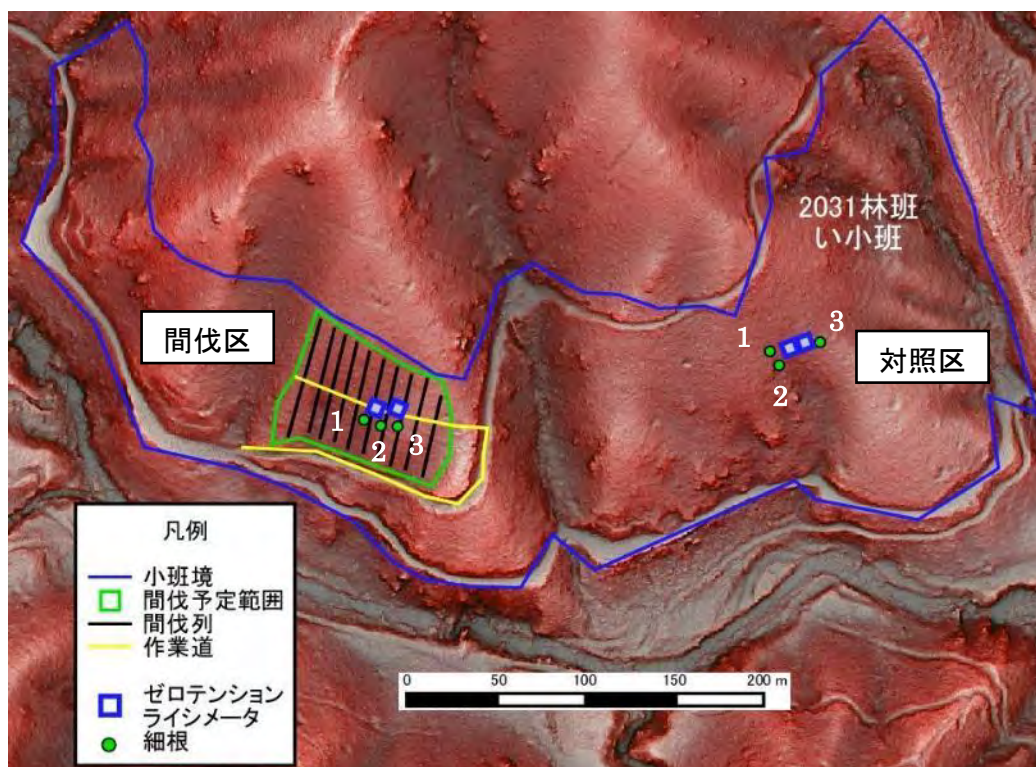


図 4-25 高倉事業地 細根採取位置

⁹ 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)

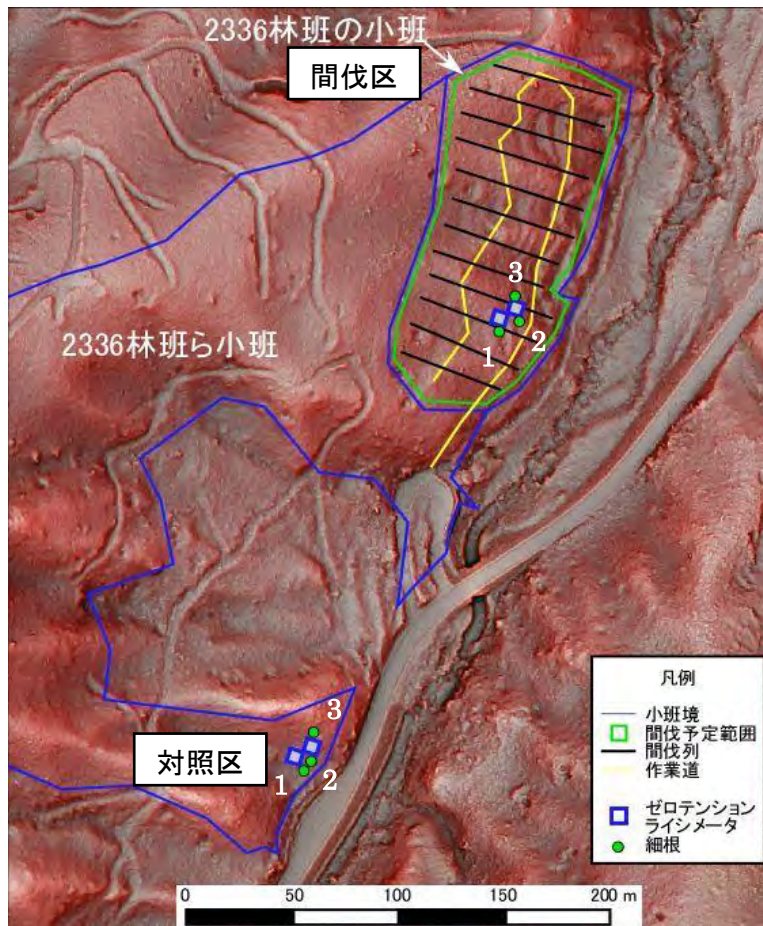


図 4-26 飯樋事業地 細根採取位置

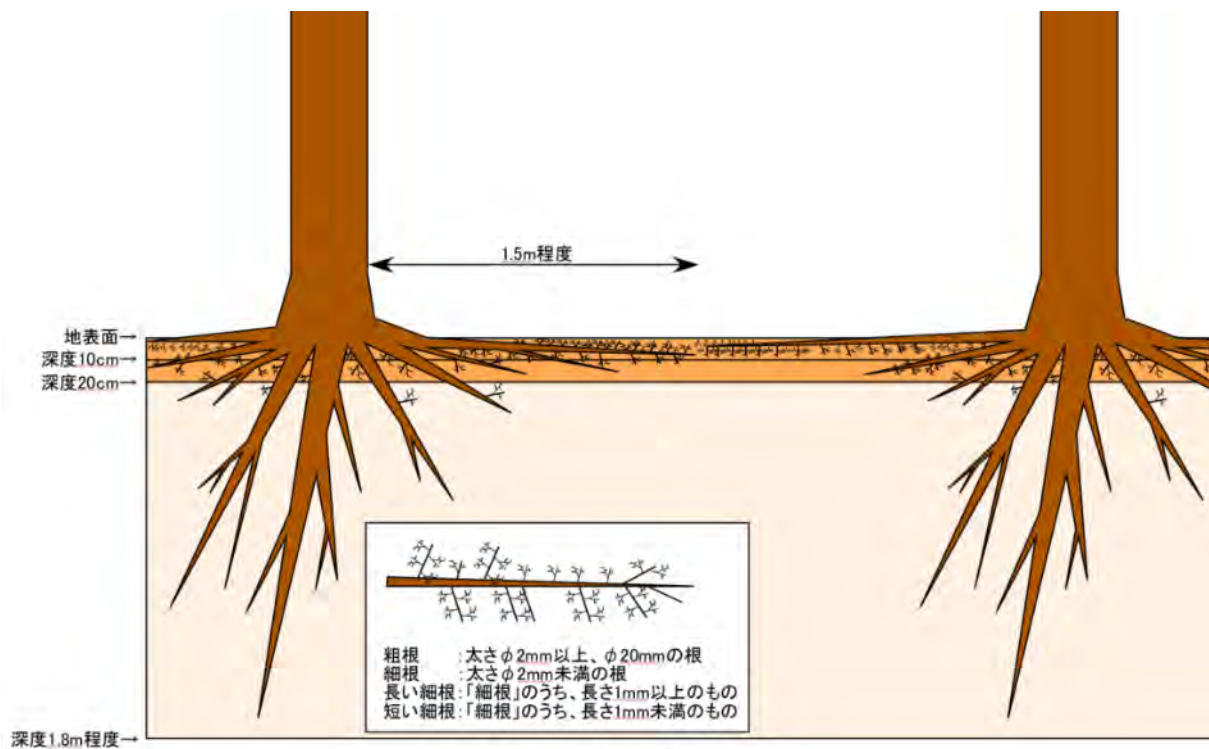


図 4-27 スギ林における細根分布イメージ

表 4-15 各作業区の細根試料採取日

試験地	作業区	地点	令和3(2021)年	令和4(2022)年
冬住 事業地	間伐区 (施業前)	1	9月14日	7月21日
		2	9月14日	7月11日
		3	9月15日	7月11日
	対照区	1	9月15日	7月21日
		2	9月15日	7月20日
		3	9月15日	7月20日
高倉 事業地	間伐区 (施業前)	1	9月29日	7月5日
		2	9月28日	7月5日
		3	9月28日	7月29日
	対照区	1	9月22日	7月12日
		2	9月22日	7月12日
		3	9月28日	7月25日
飯樋 事業地	間伐区 (施業前)	1	9月17日	7月14日
		2	9月17日	7月14日
		3	9月17日	7月1日
	対照区	1	9月17日	7月28日
		2	9月21日	7月4日
		3	9月21日	7月22日

令和3(2021)年度 細根採取・分別イメージ

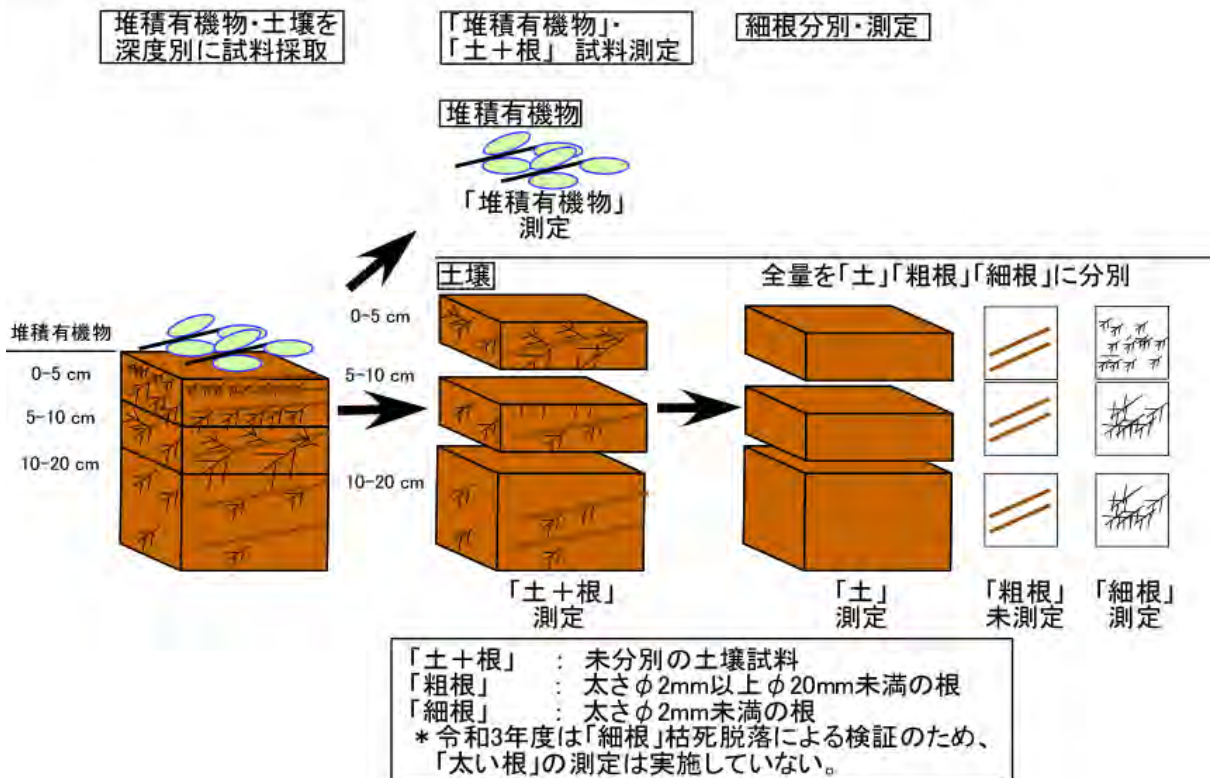


図 4-28 令和3(2021)年度実施 細根採取・試料分別イメージ

本年度実施 細根採取・分別イメージ

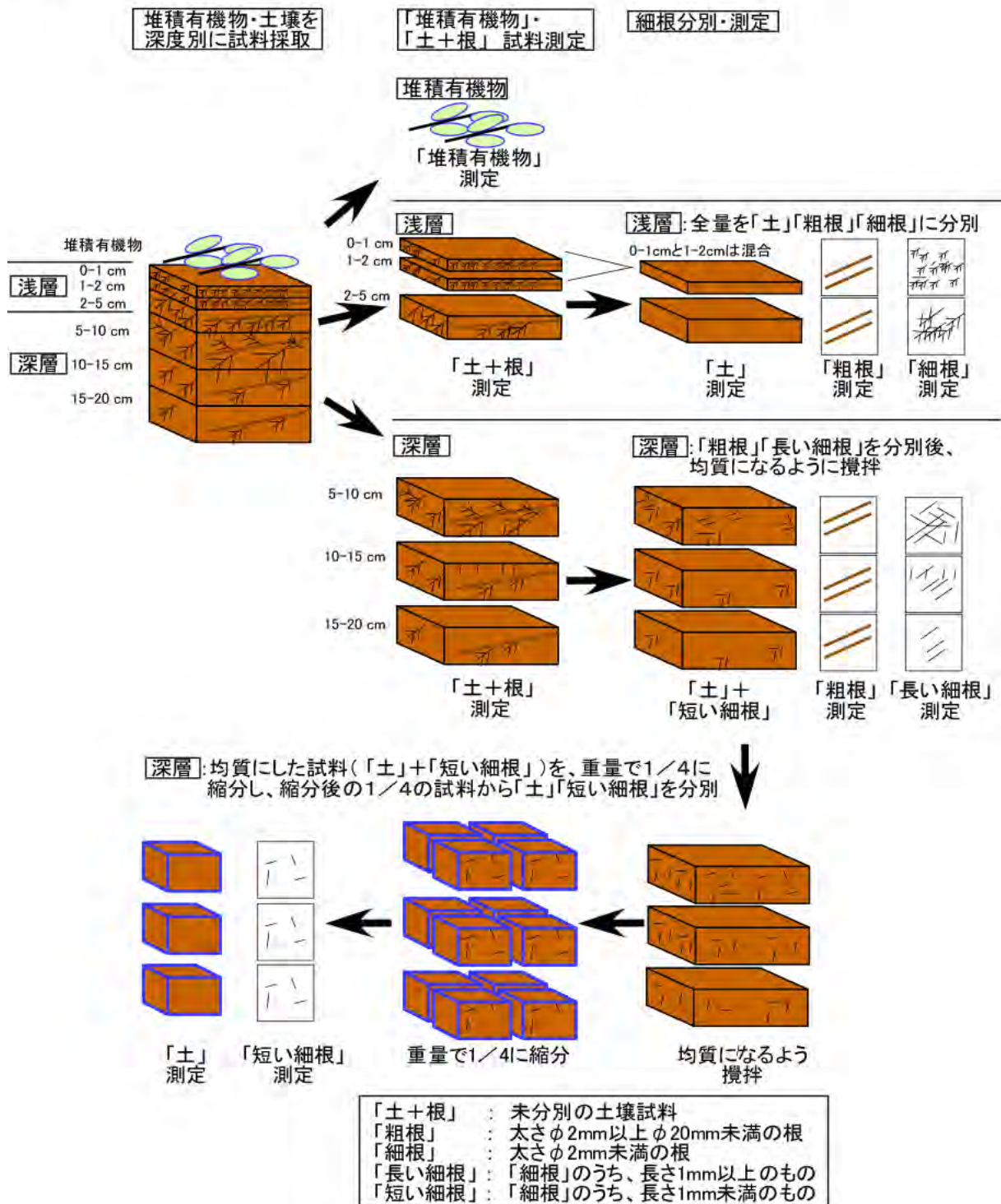


図 4-29 本年度実施 細根採取・試料分別イメージ

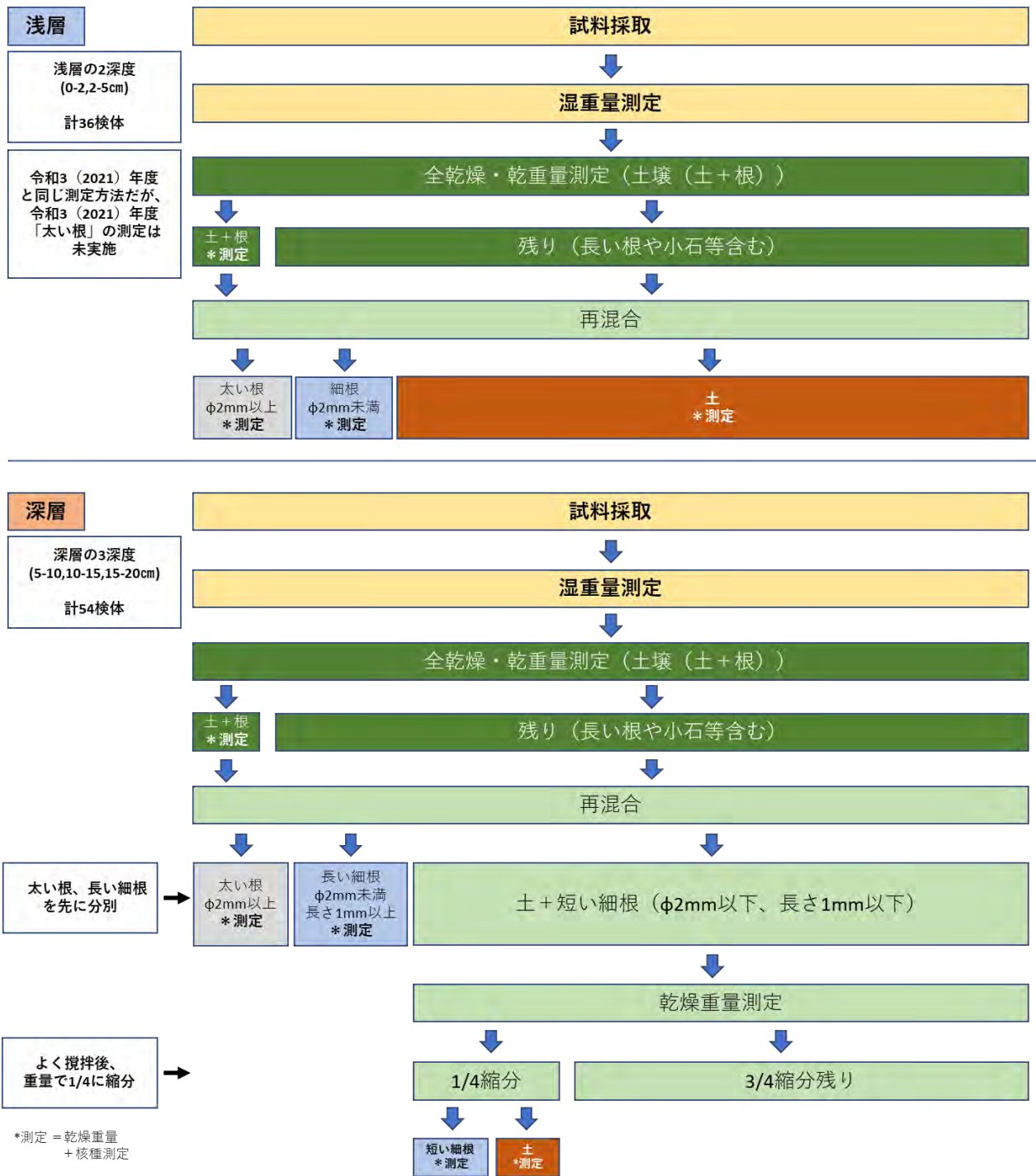
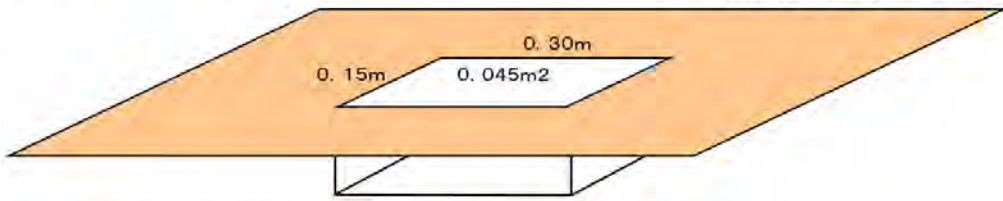


図 4-30 細根分別・測定フロー

①平地におけるスクレーパープレート面積の現存量

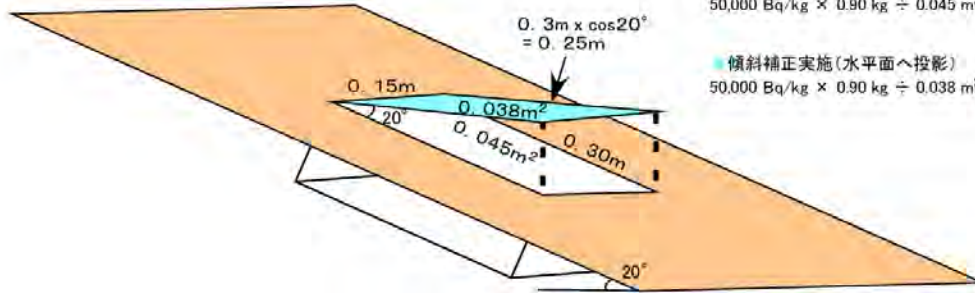
□水平面
 $50,000 \text{ Bq/kg} \times 0.90 \text{ kg} \div 0.045 \text{ m}^2 = 1,000,000 \text{ Bq/m}^2$
 $= 1,000 \text{ kBq/m}^2$



②傾斜20°の斜面におけるスクレーパープレート面積の現存量(傾斜補正による評価)

□傾斜補正未実施(傾斜20°の斜面)
 $50,000 \text{ Bq/kg} \times 0.90 \text{ kg} \div 0.045 \text{ m}^2 = 1,000,000 \text{ Bq/m}^2$
 $= 1,000 \text{ kBq/m}^2$

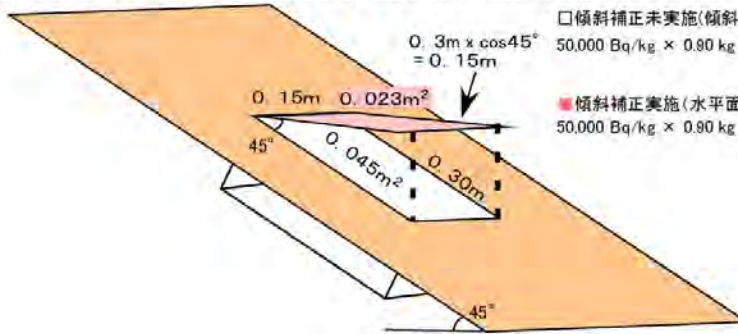
■傾斜補正実施(水平面へ投影)
 $50,000 \text{ Bq/kg} \times 0.90 \text{ kg} \div 0.038 \text{ m}^2 = 1,184,210 \text{ Bq/m}^2$
 $= 1,184 \text{ kBq/m}^2$



③傾斜45°の斜面におけるスクレーパープレート面積の現存量(傾斜補正による評価)

□傾斜補正未実施(傾斜45°の斜面)
 $50,000 \text{ Bq/kg} \times 0.90 \text{ kg} \div 0.045 \text{ m}^2 = 1,000,000 \text{ Bq/m}^2$
 $= 1,000 \text{ kBq/m}^2$

■傾斜補正実施(水平面へ投影)
 $50,000 \text{ Bq/kg} \times 0.90 \text{ kg} \div 0.023 \text{ m}^2 = 1,956,521 \text{ Bq/m}^2$
 $= 1,956 \text{ kBq/m}^2$



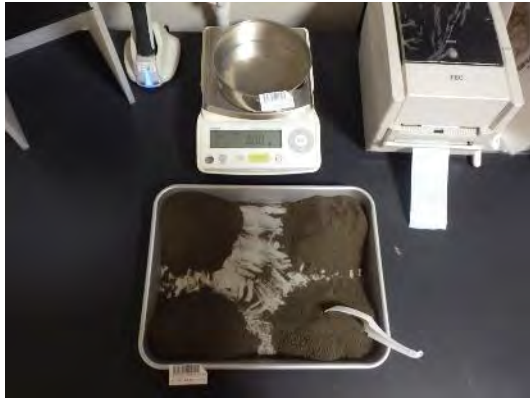
①平地: 1,000 kBq/m²、②傾斜20°: 1,184 kBq/m²、③傾斜45°: 1,956 kBq/m²
 (濃度50,000 Bq/kg、乾燥後試料重量0.90 kgの場合の比較)

傾斜角度が異なる場合、他地点と条件が異なるため、比較が行えない。
 水平面に投影し、水平面でのm²当たりの放射性セシウム量とすることで、他地点との比較を行う。

図 4-31 スクレーパープレート試料採取における傾斜補正イメージ



写真 4-15 細根試料採取状況



縮分状況



細根洗浄状況



粗根



長い細根



短い細根

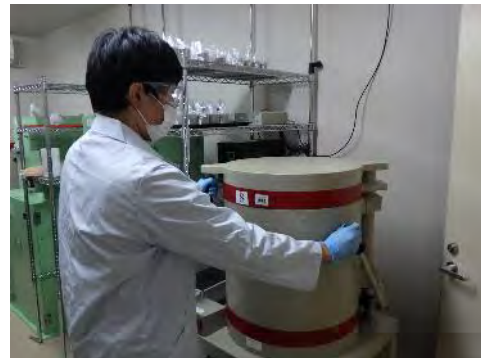


写真 4-16 細根縮分、分別、測定状況

(2) 試験結果及び考察

1) 土壌・細根に含まれる放射性セシウム (Cs-137) 濃度等

堆積有機物、土壌、細根の乾燥重量と、各層における細根の割合を表 4-16 に示す。いずれの地点においても、「短い細根」より「長い細根」の乾燥重量が多く、おおむね「粗根」より、「細根」の乾燥重量が多いことが確認できた。また、各深度における「土+根」乾燥重量に対する「細根」の割合は、0.06~2.7%であり、0~2cm が最も高く、下層の方が低くなる傾向が確認できた。

表 4-16 試料乾燥重量 (3 地点の合計値)

事業地	作業区	深度	令和3(2021)年					深度	令和4(2022)年								
			堆積有機物 (g)	土+根 (g)	土 (g)	細根 (g)	細根の割合 (%)		堆積有機物 (g)	土+根 (g)	土 (g)	粗根 (g)	細根 (g)	長い細根 (g)	短い細根 (g)	細根の割合 (%)	
冬住事業地	間伐区 (施業前)	堆積	390	-	-	-	-	堆積	460	-	-	-	-	-	-	-	-
		0-5cm	-	2,140	2,100	37	1.7%	0-2cm	-	905	897	1.7	6.8	-	-	-	0.75%
		2-5cm	-	-	-	-	-	2-5cm	-	1,640	1,630	2.8	7.8	-	-	-	0.48%
		5-10cm	-	3,840	3,820	16	0.4%	5-10cm	-	3,090	3,080	5.0	8.7	6.2	2.6	0.28%	
		10-20cm	-	7,550	7,540	9.3	0.1%	10-15cm	-	3,990	3,970	6.3	8.0	5.3	2.7	0.20%	
	対照区	15-20cm	-	-	-	-	-	15-20cm	-	4,040	4,030	1.2	3.3	2.4	0.92	0.08%	
		堆積	410	-	-	-	-	堆積	250	-	-	-	-	-	-	-	-
		0-5cm	-	1,180	1,140	31	2.6%	0-2cm	-	230	220	3.8	6.1	-	-	-	2.7%
		2-5cm	-	-	-	-	-	2-5cm	-	833	821	1.5	11	-	-	-	1.3%
		5-10cm	-	2,570	2,540	25	1.0%	5-10cm	-	2,110	2,090	3.4	15	11	4.0	0.71%	
10-20cm	-	6,310	6,300	16	0.3%	10-15cm	-	2,350	2,340	2.9	10	6.8	3.4	0.43%			
15-20cm	-	-	-	-	-	15-20cm	-	2,430	2,420	1.0	4.2	2.4	1.8	0.17%			
高倉事業地	間伐区 (施業前)	堆積	370	-	-	-	-	堆積	330	-	-	-	-	-	-	-	-
		0-5cm	-	2,460	2,400	56	2.3%	0-2cm	-	592	582	0.9	8.8	-	-	-	1.5%
		2-5cm	-	-	-	-	-	2-5cm	-	1,970	1,950	3.7	18	-	-	-	0.91%
		5-10cm	-	3,470	3,430	45	1.3%	5-10cm	-	4,130	4,100	12	27	17	9.9	0.65%	
		10-20cm	-	9,030	8,970	53	0.6%	10-15cm	-	3,640	3,610	23	13	7.5	5.5	0.36%	
	対照区	15-20cm	-	-	-	-	-	15-20cm	-	4,180	4,160	8.5	11	6.2	4.5	0.26%	
		堆積	620	-	-	-	-	堆積	250	-	-	-	-	-	-	-	-
		0-5cm	-	2,380	2,310	69	2.9%	0-2cm	-	893	879	5.2	8.9	-	-	-	1.0%
		2-5cm	-	-	-	-	-	2-5cm	-	1,820	1,810	2.1	7.7	-	-	-	0.42%
		5-10cm	-	4,280	4,260	22	0.5%	5-10cm	-	3,770	3,760	3.2	9.3	4.8	4.6	0.25%	
10-20cm	-	12,400	12,300	19	0.2%	10-15cm	-	4,960	4,950	4.1	4.2	2.6	1.6	0.08%			
15-20cm	-	-	-	-	-	15-20cm	-	4,750	4,750	1.2	2.8	2.0	0.72	0.06%			
飯桶事業地	間伐区 (施業前)	堆積	300	-	-	-	-	堆積	280	-	-	-	-	-	-	-	-
		0-5cm	-	2,260	2,230	25	1.1%	0-2cm	-	640	631	0.7	8.0	-	-	-	1.3%
		2-5cm	-	-	-	-	-	2-5cm	-	1,330	1,320	5.4	6.3	-	-	-	0.47%
		5-10cm	-	3,560	3,550	11	0.3%	5-10cm	-	3,100	3,090	6.2	4.0	2.9	1.1	0.13%	
		10-20cm	-	7,700	7,690	9.9	0.1%	10-15cm	-	3,340	3,330	6.6	1.5	0.6	0.92	0.045%	
	対照区	15-20cm	-	-	-	-	-	15-20cm	-	3,380	3,380	2.0	1.1	0.8	0.32	0.033%	
		堆積	300	-	-	-	-	堆積	350	-	-	-	-	-	-	-	-
		0-5cm	-	1,840	1,760	66	3.6%	0-2cm	-	699	681	4.5	14	-	-	-	2.0%
		2-5cm	-	-	-	-	-	2-5cm	-	1,980	1,950	12	14	-	-	-	0.71%
		5-10cm	-	4,100	4,080	42	1.0%	5-10cm	-	3,850	3,830	9.0	7.6	4.1	3.4	0.20%	
10-20cm	-	10,900	10,900	21	0.2%	10-15cm	-	4,190	4,190	1.0	4.2	2.8	1.4	0.10%			
15-20cm	-	-	-	-	-	15-20cm	-	4,940	4,930	3.8	3.7	2.1	1.6	0.07%			

「土」は、根の洗浄時に流出するため、重量の測定が正確に行えない。そのため、「土+根」から「土」、「粗根」および「細根」を除いた重量で計算している。

本表では数値を丸めているため、合計は一致しない。

「短い細根」は1/4に縮分した試料から分別しているため、重量を測定値から4倍にしている。

令和4(2022)年の5cm以深の「細根」は、「長い細根」、「短い細根」重量の合計値を示す。

放射性セシウム (Cs-137) の濃度を表 4-17 に、本事業の放射性セシウム濃度測定結果を図 4-32 に示す。放射性セシウム (Cs-137) 濃度は、いずれの事業地においても、細根よりも、積有機物や土壌のほうがおおむね高い傾向が見られた。また、堆積有機物及び土壌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) の方が飯桶事業地よりも高かった。また、冬住事業地間伐区 15-20cm、同対照区 15-20cm、高倉事業地

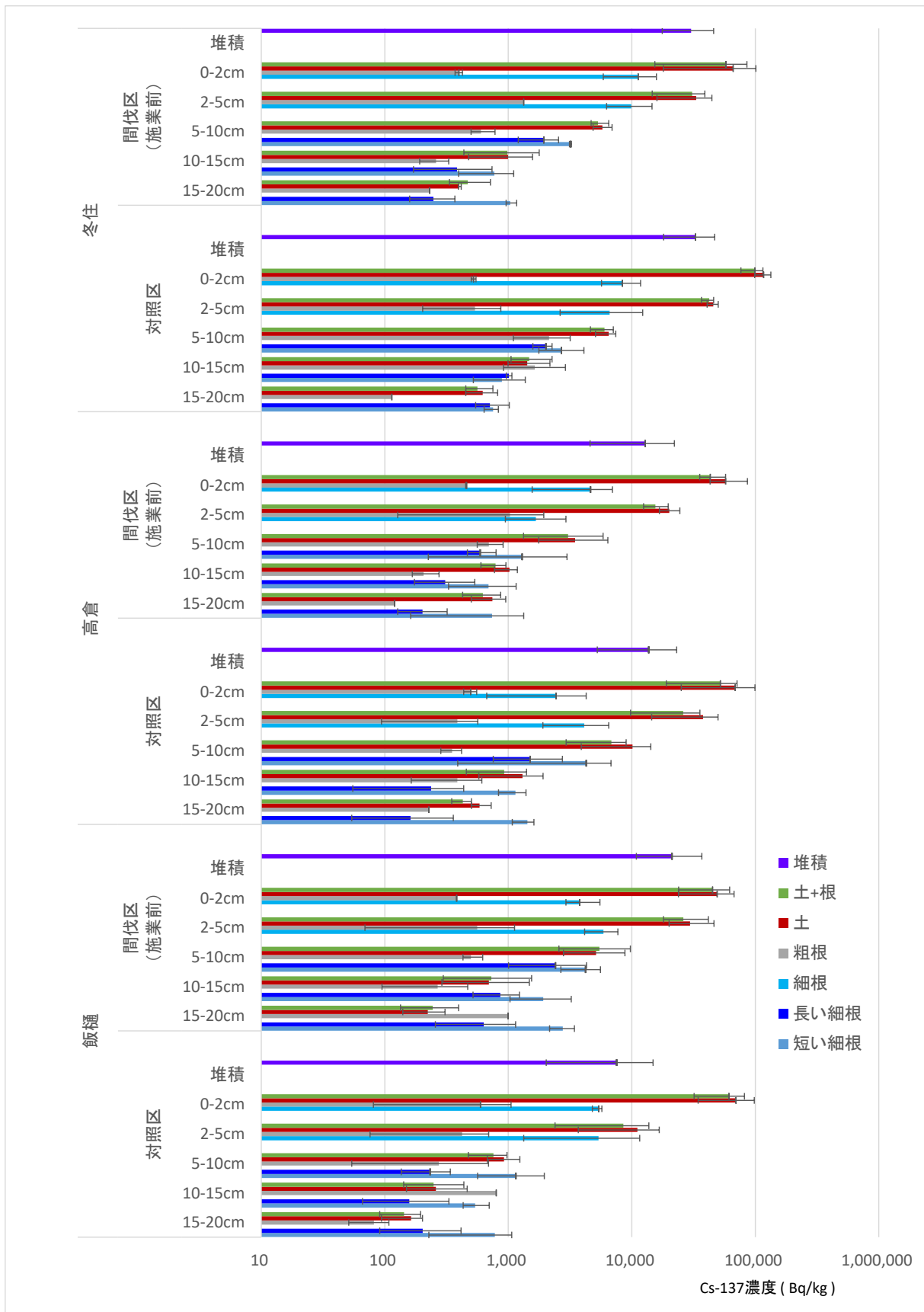
間伐区 15-20cm、同対照区 10-15cm,15-20cm、飯樋事業地間伐区 10-15cm,15-20cm、同対照区 10-15cm,15-20cm の各深度においては、土壌よりも細根の放射性セシウム (Cs-137) 濃度のほうが高かった。これらの深度では、細根の成長と、その後の枯死・脱落が、土壌中の放射性セシウムの下方移動に寄与していた可能性がある。ただし、細根に含まれる放射性セシウム (Cs-137) 現存量 (後述) は、12~1,500 Bq/m²程度であり、堆積有機物 (19,000~100,000 Bq/m²) や土壌 (15,000~1,060,000 Bq/m²) と比較すると極めて小さな値であった。また、本事業では、縮分時に、「長い細根 (太さφ 2 mm 未満、長さ 1 mm 以上)」、「短い細根 (太さφ 2 mm 未満、長さ 1 mm 未満) の測定を行っているが、18 試料中 17 試料 (全体の 94%) の試料で、「短い細根」の放射性セシウム (Cs-137) 濃度が高かったことが確認された。「粗根」については、18 試料中 17 試料 (全体の 97%) が「細根」よりも濃度が低く、「粗根」が「土」よりも濃度が高い地点は 3 試料 (冬住事業地対照区 10-15cm、飯樋事業地間伐区 15-20cm、同対照区 15-20cm) で確認された。

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)

(単位: Bq/Kg)

事業地	作業区	層位 (深度)	令和3(2021)年				層位 (深度)	令和4(2022)年						
			堆積 有機物	土+根	土	細根		堆積 有機物	土+根	土	粗根	細根	長い 細根	短い 細根
冬住 事業地	間伐区 (施業前)	堆積	47,000	-	-	-	堆積	30,000	-	-	-	-	-	-
		0-5cm	-	42,000	49,000	21,000	0-2cm	-	58,000	66,000	400	11,000	-	-
		2-5cm	-	-	-	-	2-5cm	-	31,000	33,000	1,300	9,900	-	-
		5-10cm	-	2,500	2,800	1,200	5-10cm	-	5,300	5,800	600	2,900	1,900	3,200
		10-20cm	-	370	390	590	10-15cm	-	980	1,000	260	680	390	770
	対照区	堆積	56,000	-	-	-	堆積	33,000	-	-	-	-	-	-
		0-5cm	-	46,000	41,000	12,000	0-2cm	-	99,000	120,000	520	8,400	-	-
		2-5cm	-	-	-	-	2-5cm	-	42,000	46,000	540	6,600	-	-
		5-10cm	-	5,000	5,000	3,300	5-10cm	-	6,000	6,500	2,100	2,500	2,000	2,700
		10-20cm	-	800	840	2,200	10-15cm	-	1,500	1,400	1,600	900	1,000	890
高倉 事業地	間伐区 (施業前)	堆積	54,000	-	-	-	堆積	13,000	-	-	-	-	-	-
		0-5cm	-	30,000	23,000	11,000	0-2cm	-	43,000	58,000	460	4,600	-	-
		2-5cm	-	-	-	-	2-5cm	-	16,000	20,000	1,000	1,700	-	-
		5-10cm	-	2,600	2,300	820	5-10cm	-	3,100	3,500	700	1,200	590	1,300
		10-20cm	-	650	590	540	10-15cm	-	790	1,000	210	630	310	690
	対照区	堆積	39,000	-	-	-	堆積	14,000	-	-	-	-	-	-
		0-5cm	-	43,000	29,000	20,000	0-2cm	-	52,000	69,000	500	2,400	-	-
		2-5cm	-	-	-	-	2-5cm	-	26,000	38,000	390	4,100	-	-
		5-10cm	-	6,800	4,500	2,700	5-10cm	-	6,800	10,000	350	3,400	1,500	4,300
		10-20cm	-	730	520	510	10-15cm	-	930	1,300	390	1,000	240	1,100
飯樋 事業地	間伐区 (施業前)	堆積	20,000	-	-	-	堆積	21,000	-	-	-	-	-	-
		0-5cm	-	28,000	30,000	3,500	0-2cm	-	45,000	49,000	380	3,800	-	-
		2-5cm	-	-	-	-	2-5cm	-	26,000	30,000	560	5,900	-	-
		5-10cm	-	5,500	6,800	1,900	5-10cm	-	5,500	5,100	500	3,700	2,400	4,200
		10-20cm	-	390	400	390	10-15cm	-	730	700	270	1,400	860	1,900
	対照区	堆積	26,000	-	-	-	堆積	7,600	-	-	-	-	-	-
		0-5cm	-	33,000	30,000	5,100	0-2cm	-	61,000	70,000	600	5,400	-	-
		2-5cm	-	-	-	-	2-5cm	-	8,500	11,000	420	5,400	-	-
		5-10cm	-	1,900	1,600	700	5-10cm	-	760	920	270	810	230	1,200
		10-20cm	-	160	150	350	10-15cm	-	250	260	800	410	160	540
					15-20cm	-	140	160	82	650	200	780		

令和4(2022)年の5cm以深の「細根」は、「長い細根」、「短い細根」の濃度を重量比で案分し、計算した。



誤差線は、最大値及び最小値を示す。

図 4-32 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) 令和 4 (2022) 年測定結果

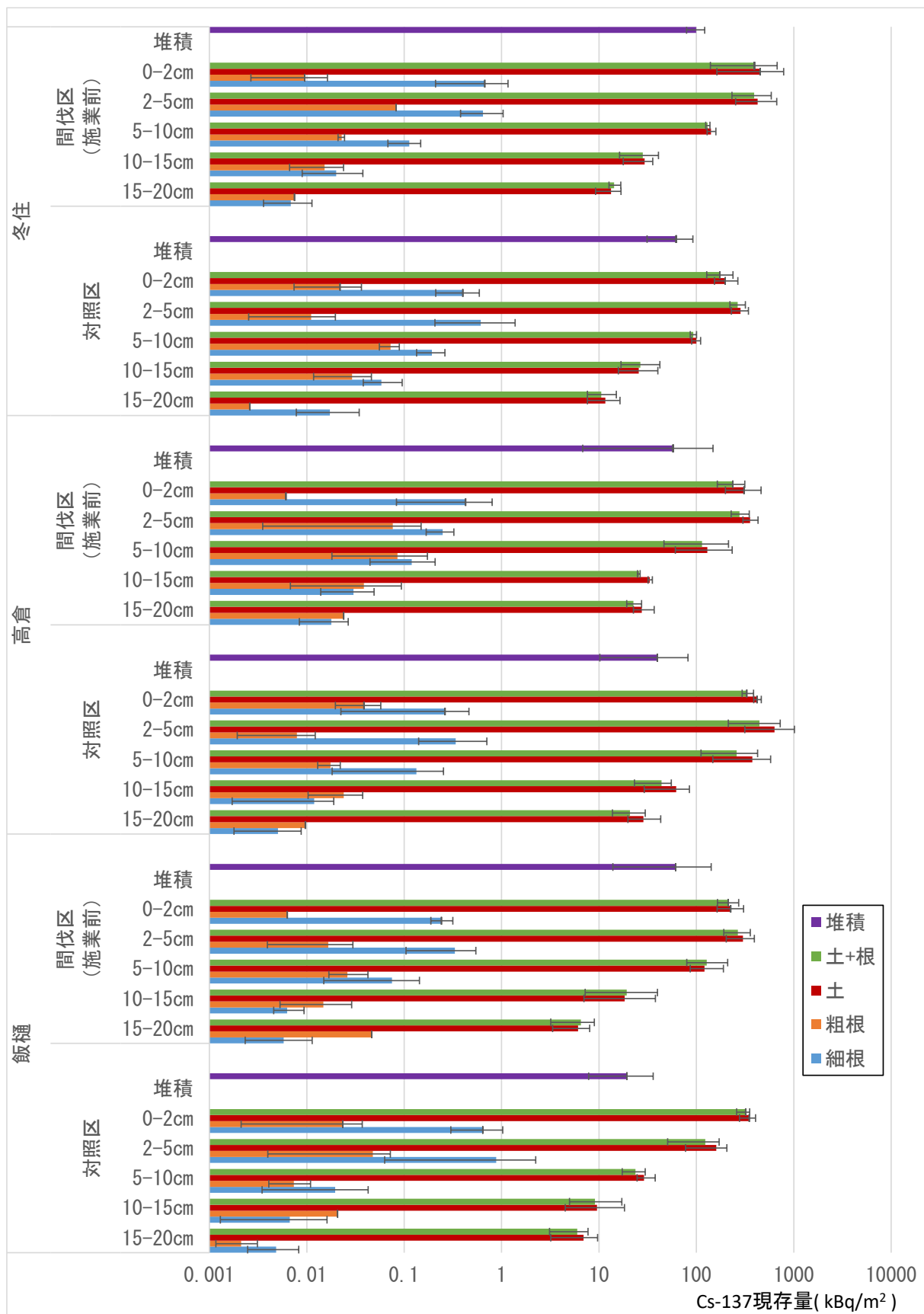
本事業の堆積有機物、土壌、細根に含まれる放射性セシウム（Cs-137）現存量を表 4-18、図 4-33 に示す。いずれの地点においても、土の 0～2 cm、2～5 cm の現存量が高く、下層ほど低下する傾向が確認された。

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）

事業地	作業区	層位 (深度)	令和4(2022)年測定結果 Cs-137現存量 (kBq/m ²)							Cs-137 全深度 現存量
			堆積 有機物	土+根	土	粗根	細根	長い細根	短い細根	
冬住 事業地	間伐区 (施業前)	堆積	100	-	-	-	-	-	-	1,052
		0-2cm	-	390	450	0.0095	0.67	-	-	
		2-5cm	-	390	430	0.082	0.64	-	-	
		5-10cm	-	130	140	0.023	0.11	0.097	0.016	
		10-15cm	-	28	29	0.015	0.020	0.016	0.0038	
	15-20cm	-	14	13	0.0075	0.0069	0.0050	0.0019		
	対照区	堆積	62	-	-	-	-	-	-	633
		0-2cm	-	170	200	0.022	0.40	-	-	
		2-5cm	-	270	280	0.011	0.61	-	-	
		5-10cm	-	93	100	0.072	0.19	0.17	0.021	
		10-15cm	-	27	26	0.029	0.058	0.052	0.0065	
15-20cm	-	11	12	0.0026	0.017	0.015	0.0027			
高倉 事業地	間伐区 (施業前)	堆積	58	-	-	-	-	-	-	737
		0-2cm	-	240	310	0.0061	0.43	-	-	
		2-5cm	-	280	360	0.076	0.25	-	-	
		5-10cm	-	110	130	0.086	0.12	0.088	0.032	
		10-15cm	-	26	33	0.039	0.030	0.023	0.0073	
	15-20cm	-	23	27	0.024	0.018	0.010	0.0076		
	対照区	堆積	40	-	-	-	-	-	-	1,135
		0-2cm	-	330	420	0.039	0.26	-	-	
		2-5cm	-	440	640	0.0079	0.34	-	-	
		5-10cm	-	260	370	0.017	0.13	0.082	0.052	
		10-15cm	-	44	62	0.024	0.012	0.0067	0.0052	
15-20cm	-	21	29	0.0096	0.0051	0.0021	0.0029			
飯樋 事業地	間伐区 (施業前)	堆積	61	-	-	-	-	-	-	697
		0-2cm	-	210	230	0.0063	0.24	-	-	
		2-5cm	-	270	300	0.017	0.33	-	-	
		5-10cm	-	130	120	0.026	0.075	0.066	0.0094	
		10-15cm	-	19	18	0.015	0.0063	0.0039	0.0024	
	15-20cm	-	6.5	6.1	0.047	0.0058	0.0040	0.0018		
	対照区	堆積	19	-	-	-	-	-	-	498
		0-2cm	-	320	350	0.023	0.64	-	-	
		2-5cm	-	120	160	0.048	0.88	-	-	
		5-10cm	-	24	29	0.0074	0.020	0.0084	0.011	
		10-15cm	-	9.1	9.5	0.021	0.0067	0.0049	0.0018	
15-20cm	-	6.0	7.0	0.0021	0.0048	0.0025	0.0023			

全深度現存量は、「堆積有機物」と「土+根」の合計値を示す

5cm以深の「細根」は、「長い細根」、「短い細根」現存量の合計値を示す



誤差線は、最大値及び最小値を示す。

図 4-33 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、横軸対数目盛)
本事業、令和4(2022)年測定結果

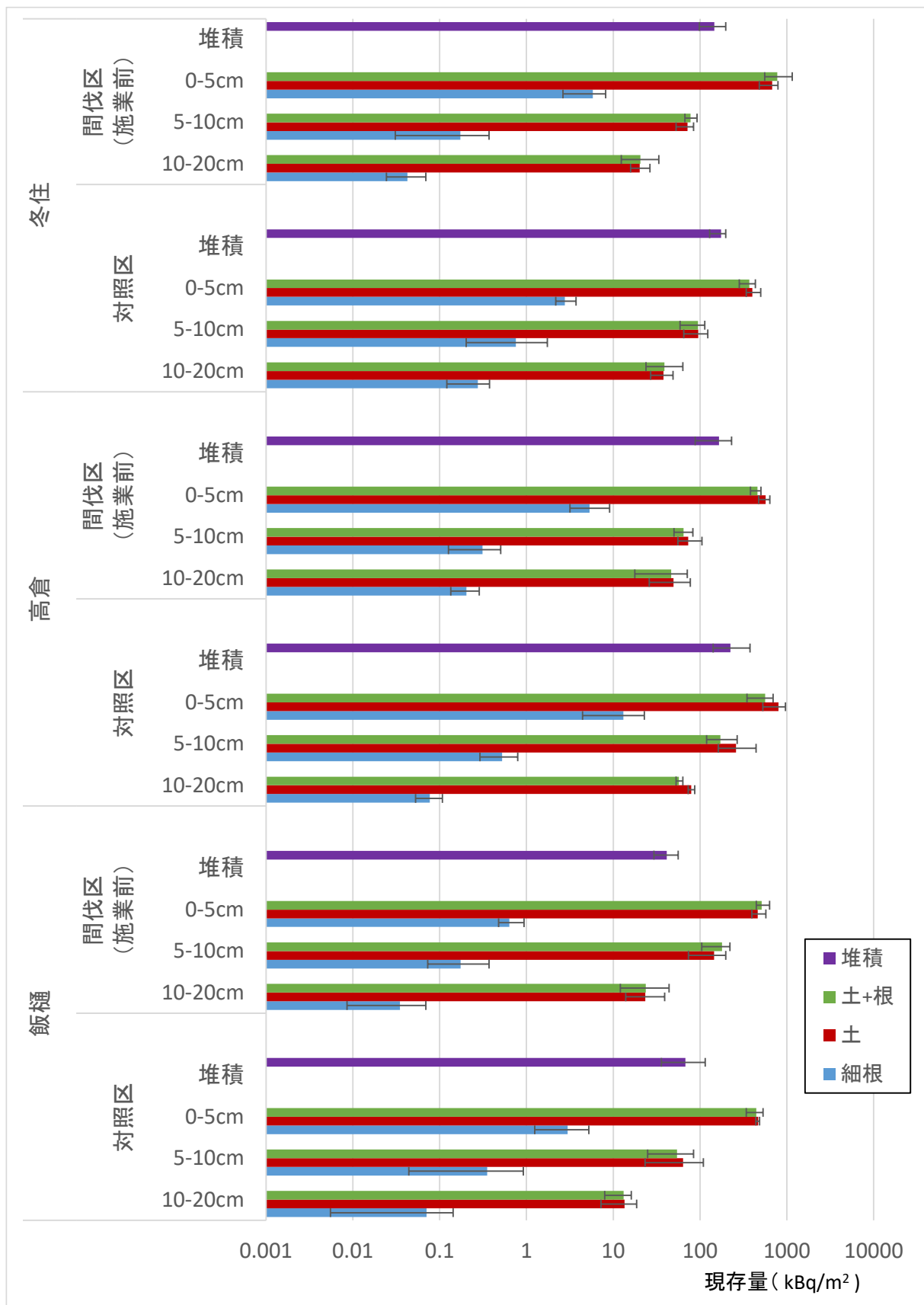
また、令和3年(2021)年事業との比較を行うため、同深度に区分した放射性セシウム(Cs-137)現存量を表4-19に、令和3年(2021)年の測定結果を図4-34に、本事業の測定結果を図4-35に示した。放射性セシウム(Cs-137)現存量は、いずれの点においても、堆積有機物層より土壌0～5cmの方が大きく、深度が深くなるにつれて低下するという令和3(2021)年の調査結果と同様の傾向が見られた。

表4-19 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)

(単位:kBq/m²)

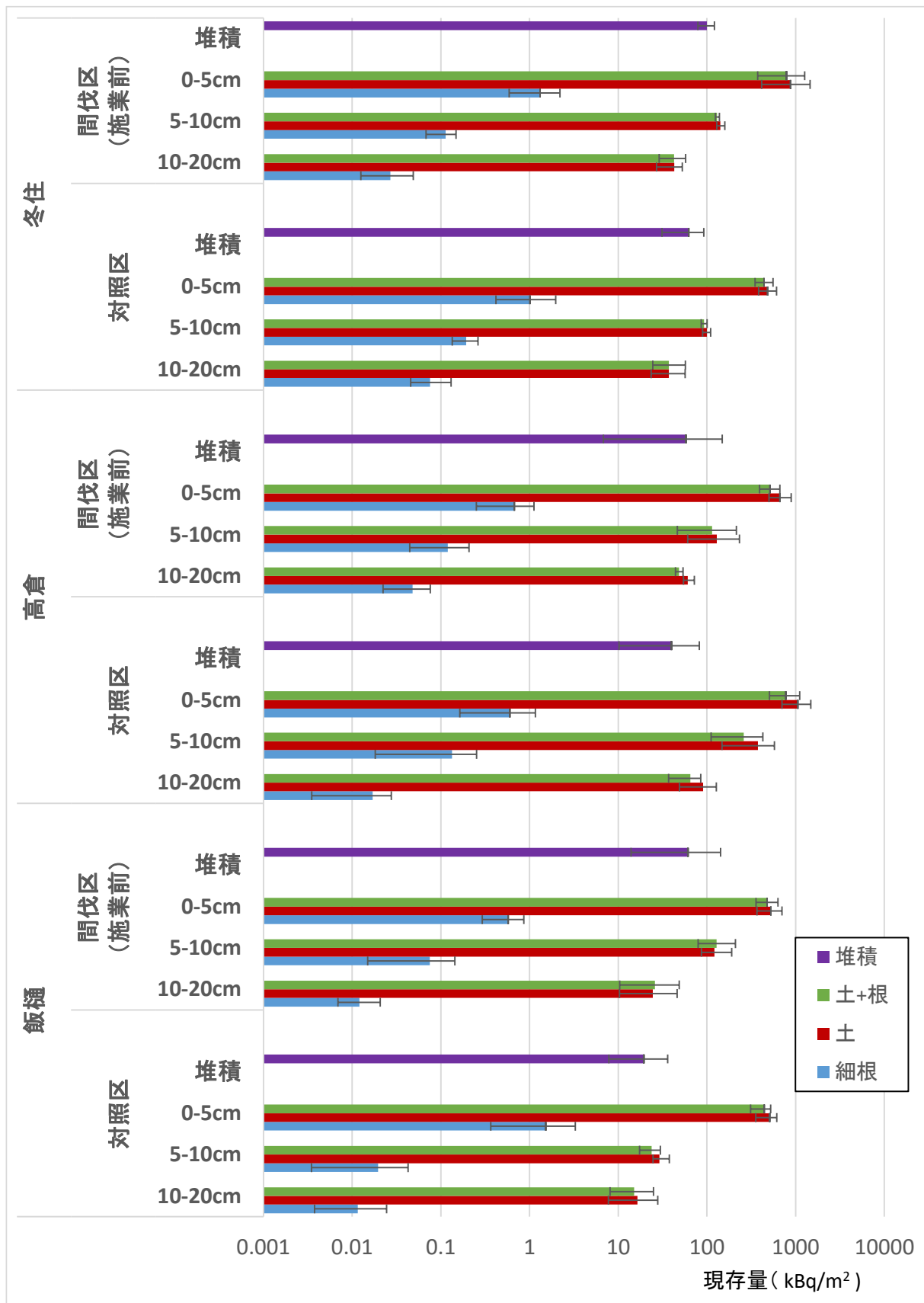
事業地	作業区	層位 (深度)	令和3(2021)年 Cs-137現存量					令和4(2022)年 Cs-137現存量					Cs-137 全深度 現存量
			堆積 有機物	土+根	土	細根	Cs-137 全深度 現存量	堆積 有機物	土+根	土	粗根	細根	
冬住 事業地	間伐区 (施業前)	堆積	150	-	-	-	1,029	100	-	-	-	-	1,052
		0-5cm	-	780	680	5.8		-	780	880	0.092	1.3	
		5-10cm	-	78	72	0.17		-	130	140	0.023	0.11	
		10-20cm	-	21	20	0.043		-	42	42	0.023	0.027	
	対照区	堆積	170	-	-	-	673	62	-	-	-	-	633
		0-2cm	-	370	400	2.8		-	440	480	0.033	1.0	
		2-5cm	-	94	96	0.75		-	93	100	0.072	0.19	
		5-10cm	-	39	38	0.27		-	38	38	0.032	0.075	
高倉 事業地	間伐区 (施業前)	堆積	170	-	-	-	740	58	-	-	-	-	737
		0-2cm	-	460	570	5.3		-	520	670	0.082	0.68	
		2-5cm	-	64.0	73	0.31		-	110	130	0.086	0.12	
		5-10cm	-	46.0	49	0.20		-	49	60	0.063	0.048	
	対照区	堆積	220	-	-	-	1,007	40	-	-	-	-	1,135
		0-2cm	-	560	800	13		-	770	1,060	0.047	0.60	
		2-5cm	-	170	260	0.52		-	260	370	0.017	0.13	
		5-10cm	-	57	79	0.077		-	65	91	0.034	0.017	
飯樋 事業地	間伐区 (施業前)	堆積	41	-	-	-	755	61	-	-	-	-	697
		0-2cm	-	510	460	0.63		-	480	530	0.023	0.57	
		2-5cm	-	180	150	0.17		-	130	120	0.026	0.075	
		5-10cm	-	24	23	0.035		-	26	24	0.062	0.012	
	対照区	堆積	68	-	-	-	585	19	-	-	-	-	498
		0-2cm	-	450	470	3.0		-	440	510	0.071	1.5	
		2-5cm	-	54	64	0.35		-	24	29	0.0074	0.020	
		5-10cm	-	13	14	0.071		-	15	17	0.023	0.012	

Cs-137全深度現存量は、「堆積有機物」と「土+根」の合計値



誤差線は、最大値及び最小値を示す。

図 4-34 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) 令和 3 (2021) 年測定結果



誤差線は、最大値及び最小値を示す。

図 4-35 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 (令和3年 (2021) 年と同深度で比較) 本事業、令和4 (2022) 年測定結果

2) 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) の年間移行量を表 4-20、図 4-36 に、年間下方移行量の割合を図 4-37 に示す。既往の研究では、細根のターンオーバー (1年に成長・枯死を行う回数) の値のばらつきが大きい。そのため、やや過小評価になる可能性があるが、控えめに見積もっても、7月時点の細根量と同量以上の細根成長量があるものと推定されるため、仮にターンオーバーを1とし、年間の細根生産量を、細根の乾燥重量に等しいものと仮定して放射性セシウム (Cs-137) の下方移行量を算定した。ただし、本事業で測定されている単位面積当たりの細根量は、既往研究で報告されているスギ林の年間の細根成長量 (0.157kg/m²) よりも大きいいため、留意が必要である。

放射性セシウム (Cs-137) 濃度と各深度の単位面積・深度当たりの細根乾燥重量を乗ずることにより年間移行量を推計した。年間移行量は、どの作業区においても、0～5cmの深さが高く、5～10cm、10～20cmと深くなるにつれて少なくなる傾向であった。

各地点の Cs-137 全深度の現存量に対する、細根による年間移行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た。なお、この割合は、0.020%から 0.44%であった。

表 4-20 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)

令和3(2021)年											
事業地	作業区	層位 (深度)	採取 面積 (m ²)	Cs-137 平均濃度 (n=3) (kBq/kg)	乾燥重量 合計 (n=3) (g)	単位面積あ たりの細根 重量 (g/m ²)	単位面積あ たりの 細根重量 (kg/m ²)	細根による Cs-137 下方移行量 (kBq/m ² /年)	Cs-137 全深度 現存量 (kBq/m ²)	全深度現存量に 対する、細根に よるCs-137下方 移行量の割合	
冬住 事業地	間伐区 (施業前)	0-5cm	0.135	20.73	36.97	274	0.27	5.68	1,022	0.56%	
		5-10cm	0.135	1.21	16.19	120	0.12	0.14		0.014%	
		10-20cm	0.135	0.59	9.34	69	0.07	0.04		0.004%	
	対照区	0-5cm	0.135	11.92	30.46	226	0.23	2.69	678	0.40%	
		5-10cm	0.135	3.31	24.80	184	0.18	0.61		0.090%	
		10-20cm	0.135	2.23	15.52	115	0.11	0.26		0.038%	
高倉 事業地	間伐区 (施業前)	0-5cm	0.135	10.73	56.30	417	0.42	4.48	735	0.61%	
		5-10cm	0.135	0.82	44.77	332	0.33	0.27		0.037%	
		10-20cm	0.135	0.54	52.52	389	0.39	0.21		0.029%	
	対照区	0-5cm	0.135	19.64	68.52	508	0.51	9.97	1,015	0.98%	
		5-10cm	0.135	2.69	22.36	166	0.17	0.45		0.044%	
		10-20cm	0.135	0.51	19.26	143	0.14	0.07		0.007%	
飯樋 事業地	間伐区 (施業前)	0-5cm	0.135	3.47	24.89	184	0.18	0.64	758	0.08%	
		5-10cm	0.135	1.90	11.28	84	0.08	0.16		0.021%	
		10-20cm	0.135	0.39	9.92	73	0.07	0.03		0.004%	
	対照区	0-5cm	0.135	5.13	65.62	486	0.49	2.49	581	0.43%	
		5-10cm	0.135	0.70	41.72	309	0.31	0.22		0.037%	
		10-20cm	0.135	0.35	20.55	152	0.15	0.05		0.009%	
令和4(2022)年											
冬住 事業地	間伐区 (施業前)	0-5cm	0.135	21.09	26.80	199	0.20	4.19	1,060	0.40%	
		5-10cm	0.135	2.90	56.60	419	0.42	1.22		0.115%	
		10-20cm	0.135	1.52	53.90	399	0.40	0.61		0.057%	
	対照区	0-5cm	0.135	15.02	16.70	124	0.12	1.86	633	0.29%	
		5-10cm	0.135	2.53	23.00	170	0.17	0.43		0.068%	
		10-20cm	0.135	1.65	13.90	103	0.10	0.17		0.027%	
高倉 事業地	間伐区 (施業前)	0-5cm	0.135	6.31	14.60	108	0.11	0.68	734	0.09%	
		5-10cm	0.135	1.19	16.40	121	0.12	0.14		0.020%	
		10-20cm	0.135	1.17	22.10	164	0.16	0.19		0.026%	
	対照区	0-5cm	0.135	6.56	16.70	124	0.12	0.81	1,137	0.07%	
		5-10cm	0.135	3.43	27.10	201	0.20	0.69		0.061%	
		10-20cm	0.135	2.11	30.20	224	0.22	0.47		0.042%	
飯樋 事業地	間伐区 (施業前)	0-5cm	0.135	9.69	14.40	107	0.11	1.03	693	0.15%	
		5-10cm	0.135	3.69	7.36	55	0.05	0.20		0.029%	
		10-20cm	0.135	2.97	6.37	47	0.05	0.14		0.020%	
	対照区	0-5cm	0.135	10.76	27.50	204	0.20	2.19	502	0.44%	
		5-10cm	0.135	0.81	17.90	133	0.13	0.11		0.021%	
		10-20cm	0.135	1.06	17.20	127	0.13	0.14		0.027%	

単位面積当たりの細根重量を1年間の細根生産量と仮定した。1年間の細根生産量に、Cs-137濃度を乗ずることにより、当該深度の細根によるCs-137下方移行量とした。

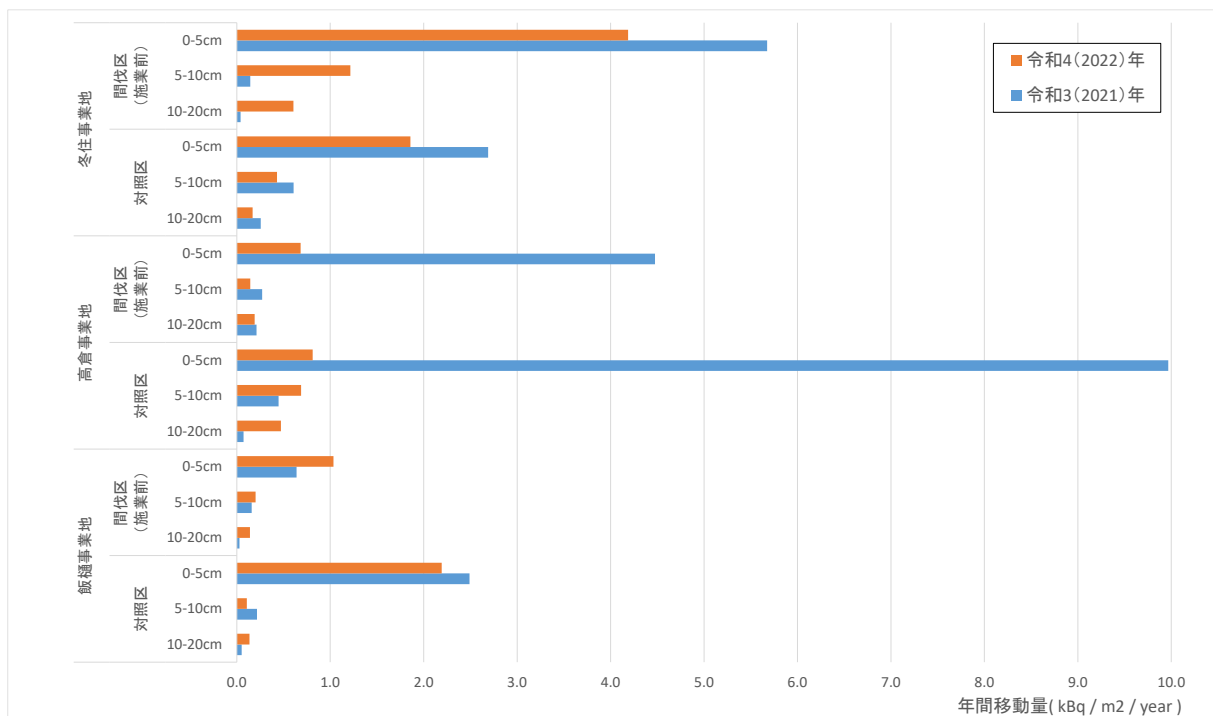


図 4-36 細根による放射性セシウム (Cs-137) 年間移行量 (kBq/m²/year) (3 点の平均値)

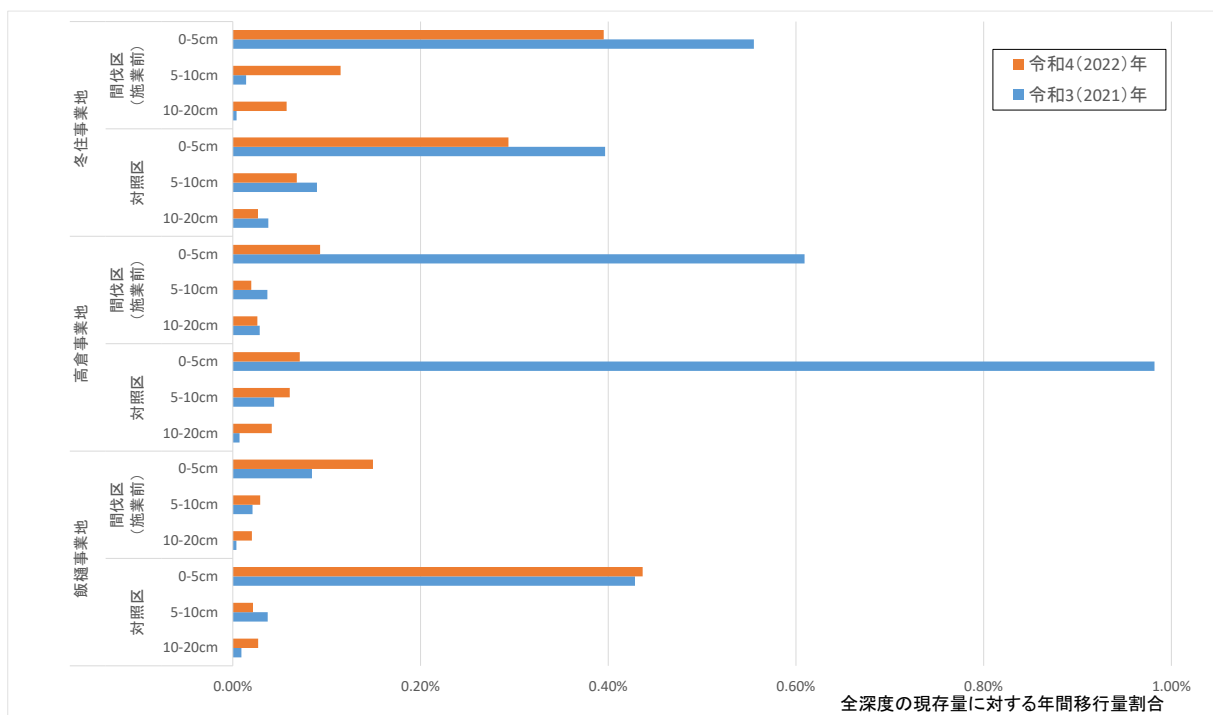


図 4-37 現存量に対する細根による放射性セシウム (Cs-137) 年間下方移行割合 (3 点の平均値)

調査対象林班ごとの細根による放射性セシウム（Cs-137）年間移行量を表 4-21 に示す。飯樋対照区を除き、0～5cmの深度が最も高く、下層が低下する傾向が見られた。また、年度で比較すると、令和3（2021）年より令和4（2022）年のほうが下層で移行量が大きくなっている傾向が確認された。

表 4-21 調査対象林班ごとの細根による放射性セシウム（Cs-137）年間移行量

事業地	作業区	林班	林班面積 (m ²)	層位 (深度)	令和3(2021)年度		令和4(2022)年度	
					細根による 年間下方移行量 (kBq/m ² /年)	林班における 移行量 (kBq/年)	細根による 年間下方移行量 (kBq/m ² /年)	林班における 移行量 (kBq/年)
冬住 事業地	間伐区 (施業前) ・ 対照区	南相馬市 2031林班 い小班	75,000	0-5cm	4.18	310,000	3.02	230,000
				5-10cm	0.38	28,000	0.82	62,000
				10-20cm	0.15	11,000	0.39	29,000
高倉 事業地	間伐区 (施業前) ・ 対照区	南相馬市 2011林班 ち3小班	79,400	0-5cm	7.22	570,000	0.75	59,000
				5-10cm	0.36	28,000	0.42	33,000
				10-20cm	0.14	11,000	0.33	26,000
飯樋 事業地	間伐区 (施業前)	飯舘村 2336林班 の小班	12,400	0-5cm	0.64	7,900	1.03	13,000
				5-10cm	0.16	2,000	0.20	2,500
				10-20cm	0.029	360	0.14	1,700
	対照区	飯舘村 2336林班 ら小班	10,000	0-5cm	2.49	25,000	2.19	22,000
				5-10cm	0.22	2,200	0.11	1,100
				10-20cm	0.053	530	0.14	1,400

冬住および高倉事業地は間伐区と対照区が同一小班であり、施業前であることから、まとめて移行量を計算した。

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、4.2. に示す3箇所の事業地の間伐区（施業前）及び対照区において試験を実施した。スクレーパープレート調査実施日を表4-22に、各事業地の細根兼土壌試料採取位置を図4-38、図4-39、図4-40に示す。試料採取は図4-18、図4-19、図4-20に示したゼロテンションライシメータ設置位置周辺で、「4.6.細根等による放射性物質移動の把握」と併せて各区3地点、合計18地点でスクレーパープレート（面積15cm×30cm）を用いて、堆積有機物層および土壌深度0～1cm、1～2cm、2～5cm、5～10cm、10～15cm、15～20cmの計7深度で行った。

令和3（2021）年事業では、堆積有機物層および、0～2cm、2～5cm、5～10cm、10～15cm、15～20cm、20～30cmの6層で試料採取を行った。同事業では一部の試料は、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、後段の「調査・分析方法」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。

なお、4.6（1）に示した傾斜補正を実施したため、令和3（2021）年度業務報告書で記載されている緩衝深度および濃度、現存量の数値とは一致しない。

表 4-22 スクレーパープレート調査実施日

事業地	施業区	林相	傾斜角	初期沈着量 (kBq/m ²)	令和3(2021)年		令和4(2022)年	
					採取地点数	採取日	採取地点	採取日
冬住 試験地	間伐区	スギ	13～23°	720	2	11月15日	1	7月21日
							2	7月11日
							3	7月11日
	対照区	スギ	13～26°		2	11月19日	1	7月21日
							2	7月20日
							3	7月20日
高倉 試験地	間伐区	スギ	25～33°	990	2	10月7日	1	7月5日
							2	7月5日
							3	7月29日
	対照区	スギ	25～40°		2	10月7日	1	7月12日
							2	7月12日
							3	7月25日
飯樋 試験地	間伐区	スギ	25～33°	900	2	10月8日	1	7月14日
							2	7月14日
							3	7月1日
	対照区	スギ	23～30°		2	10月8日	1	7月28日
							2	7月4日
							3	7月22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。）

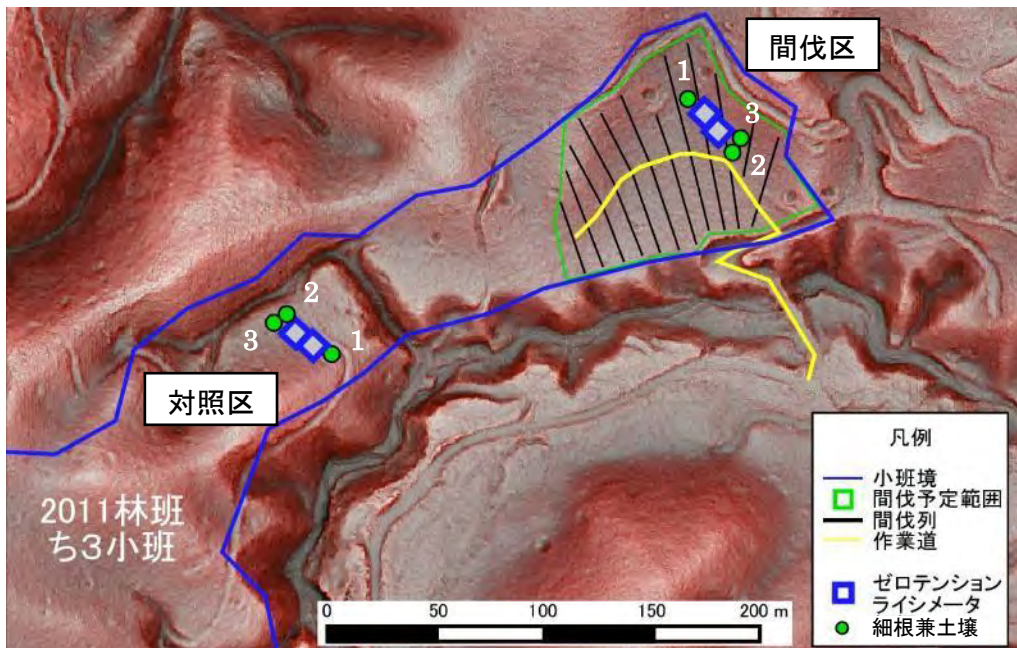


図 4-38 冬住事業地 細根兼土壤試料採取位置

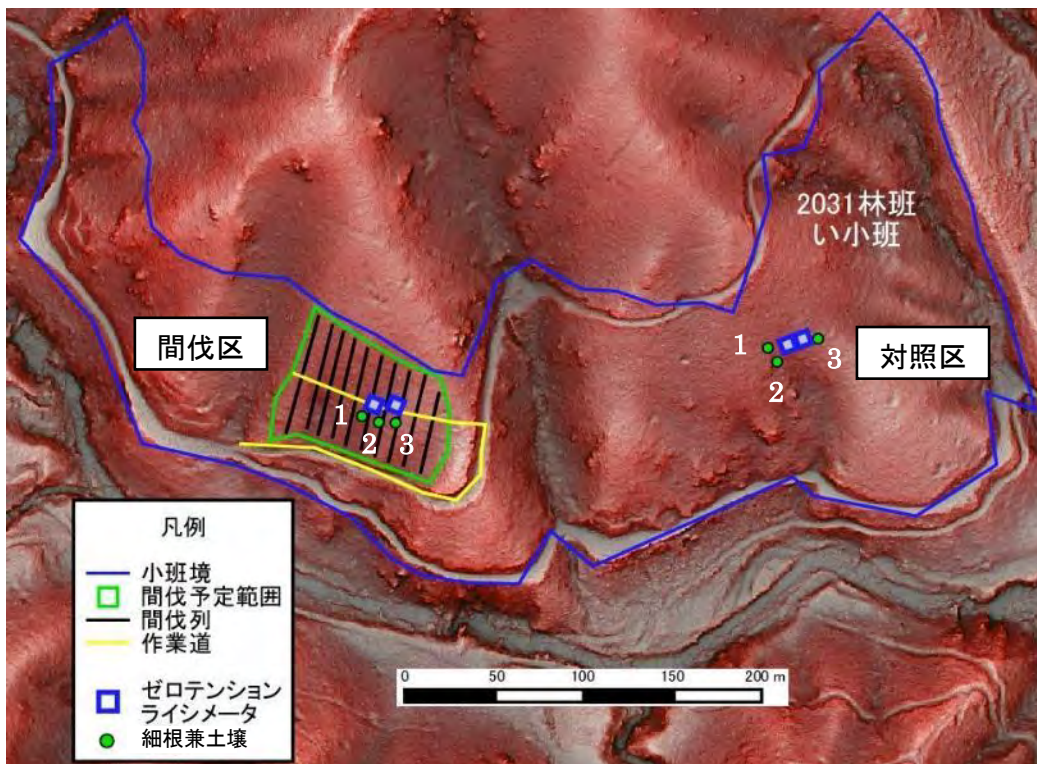


図 4-39 高倉事業地 細根兼土壤試料採取位置

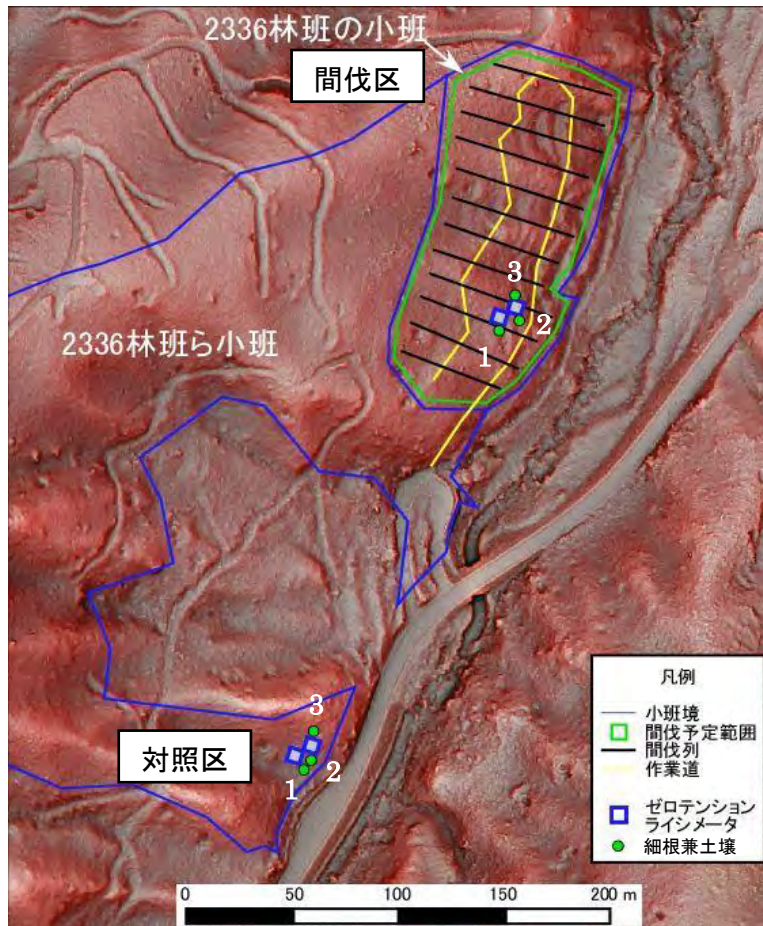


図 4-40 飯樋事業地 細根兼土壌試料採取位置

(2) 試験結果

ライシメータ調査箇所における土壌等調査の結果を図 4-41～図 4-44 に整理した。

また、緩衝深度（緩衝深度については、後段の「解釈に関する補足・用語解説」を参照）を表 4-23 に整理した。緩衝深度は2～4 cm 台の値が多くみられた。

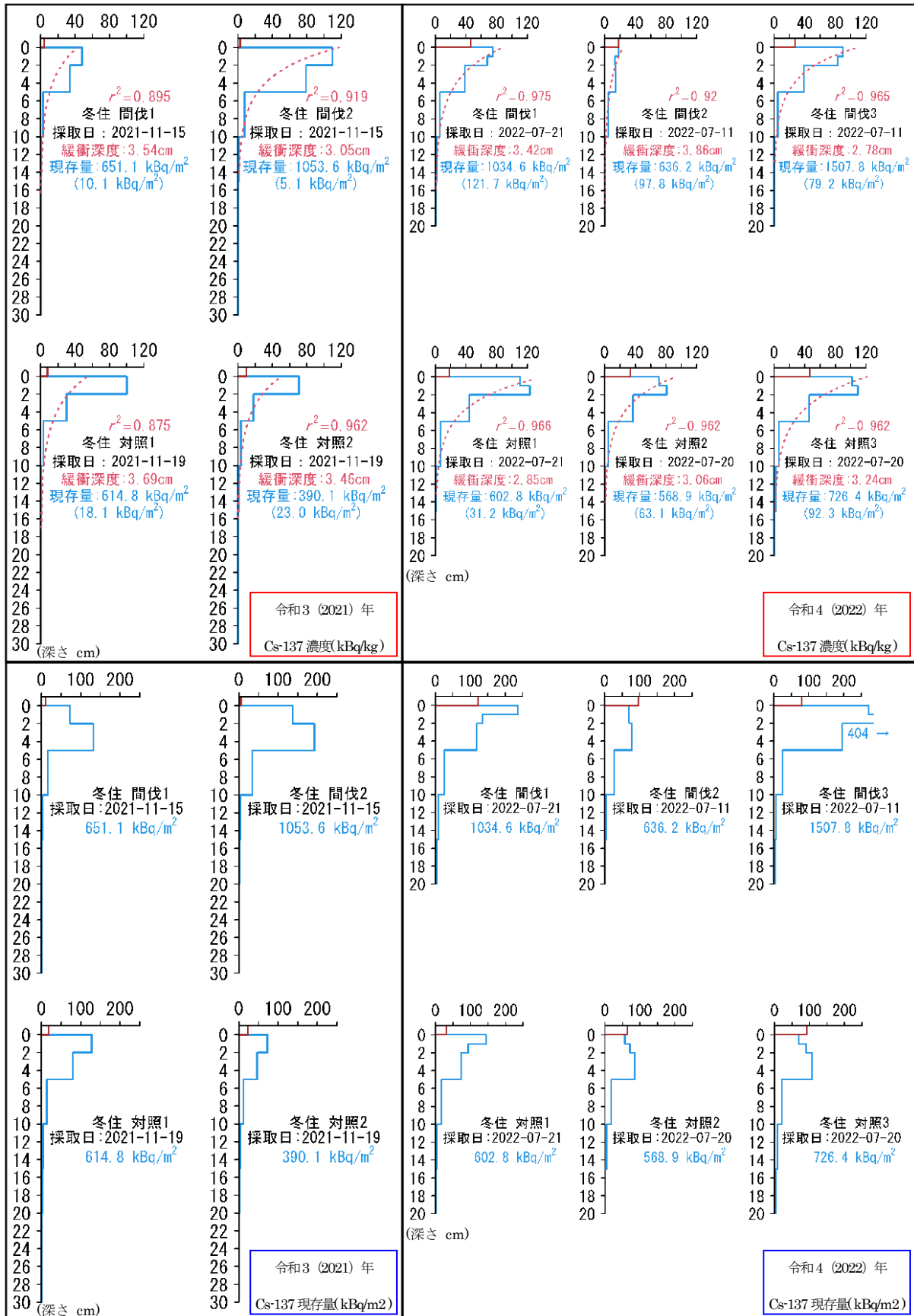


図 4-41 土壤深度別放射性セシウム濃度（上段）及び現存量（下段）（冬住事業地）

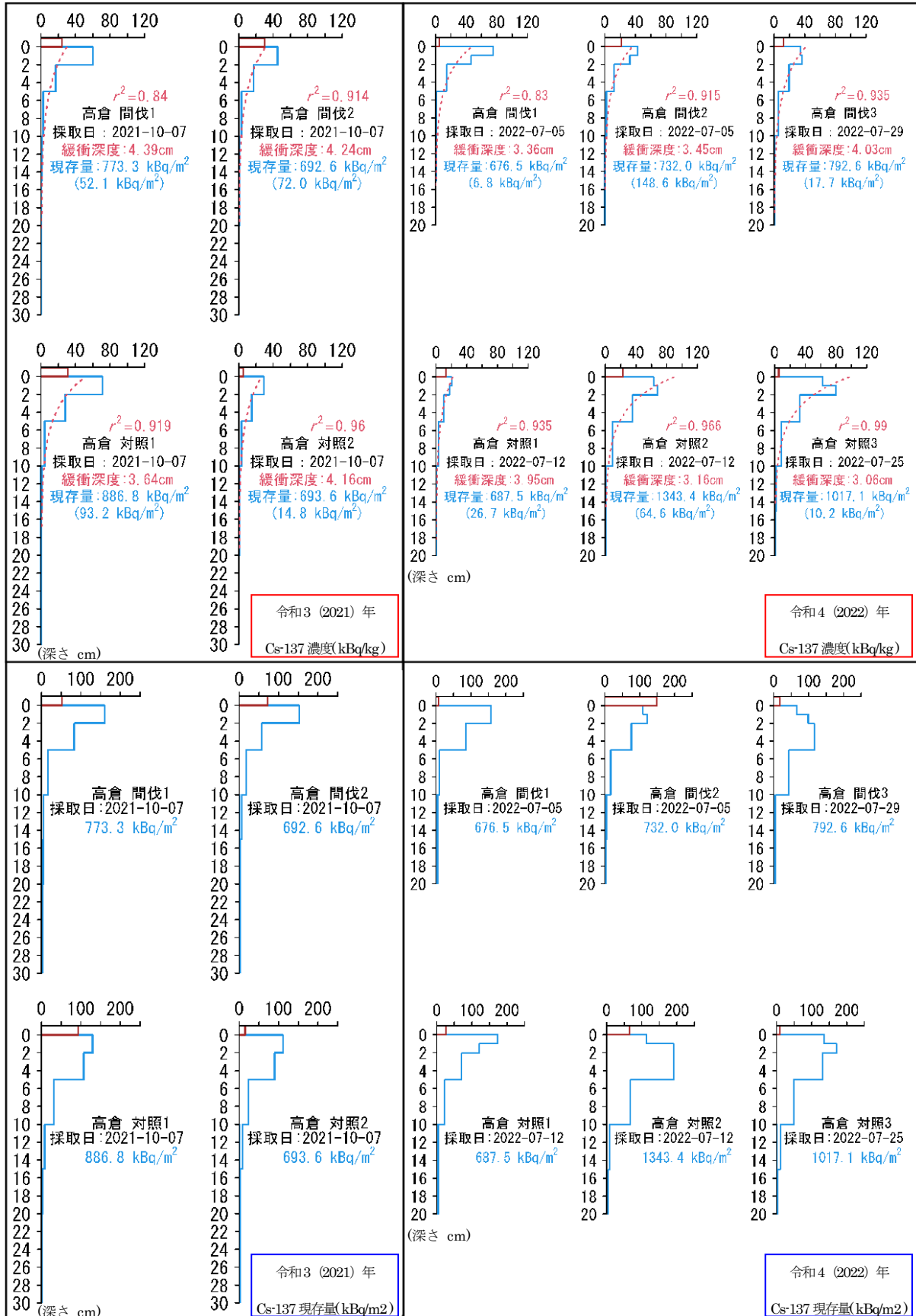


図 4-42 土壤深度別放射性セシウム濃度及び現存量 (高倉事業地)

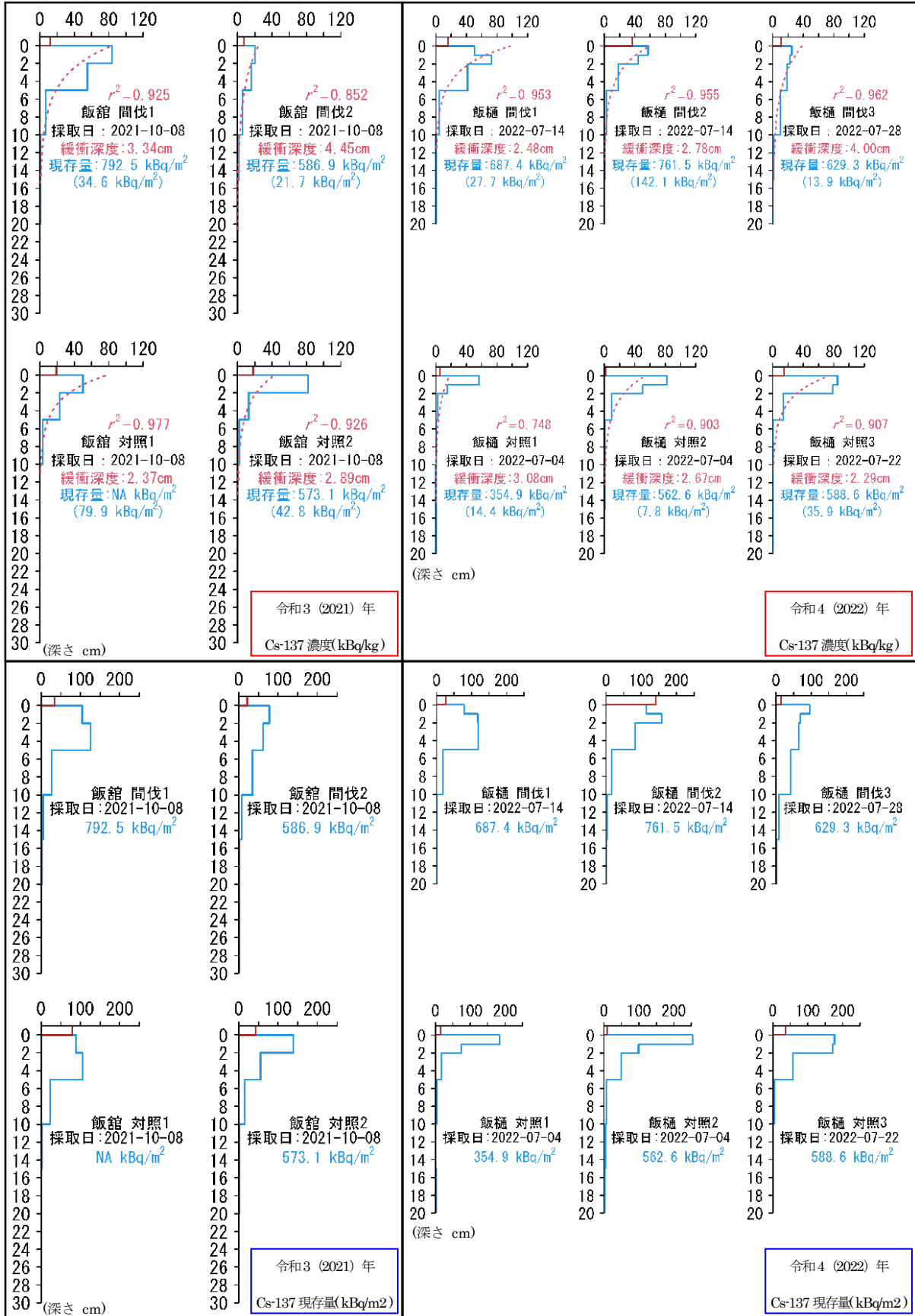


図 4-43 土壤深度別放射性セシウム濃度及び現存量 (飯樋事業地)

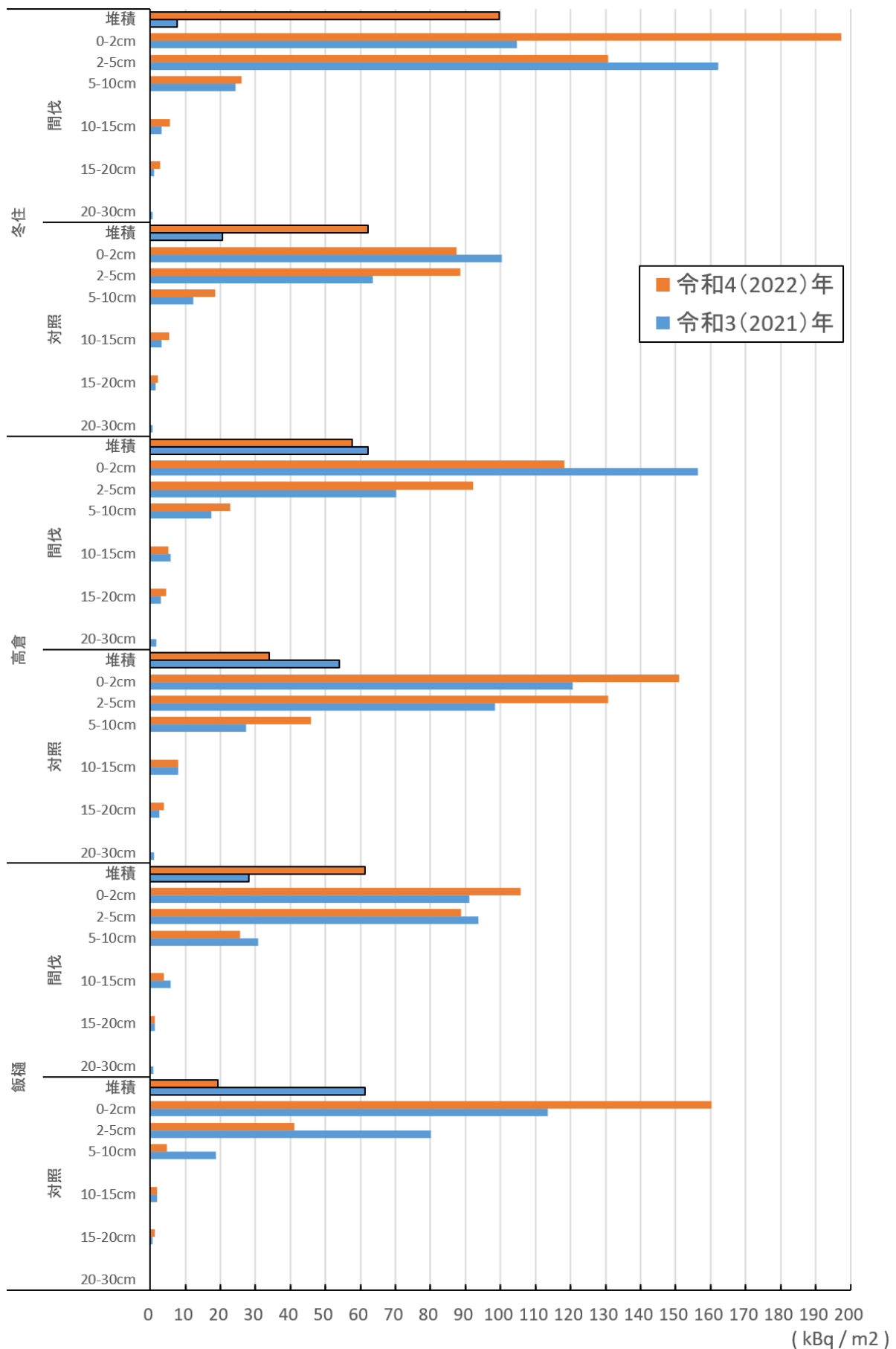


図 4-44 土壤深度別放射性セシウム現存量（平均値）の比較（令和3年、令和4年）

表 4-23 間伐区（施業前）及び対照区における緩衝深度

事業地	作業区	令和3年(2021年) 緩衝深度 (cm)	令和4年(2022年) 緩衝深度 (cm)
冬住 事業地	間伐区 (施業前)	3.54	3.42
		3.05	3.86
			2.78
	平均	3.30	3.35
	対照区	3.69	2.85
		3.46	3.06
			3.24
平均	3.58	3.05	
高倉 事業地	間伐区 (施業前)	4.39	3.36
		4.24	3.45
			4.03
	平均	4.32	3.61
	対照区	3.64	3.95
		4.16	3.16
			3.06
平均	3.90	3.39	
飯樋 事業地	間伐区 (施業前)	3.34	2.48
		4.45	2.78
			4.00
	平均	3.90	3.09
	対照区	2.37	3.08
		2.89	2.67
			2.29
平均	2.63	2.68	

4.8. 空間線量率の測定

(1) 試験方法

本調査は、各事業地の間伐区及び対照区で実施した（図 4-45～図 4-50）。令和 3 年度事業時においては、間伐区の空間線量率測定点を試験区内に 20m 毎に設定した格子点とし、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。令和 4 年度は、より空間線量率測定の密度を高めることを目的として、森林施業範囲の林縁部に近い箇所を除いた領域に 10m 格子点を設定するとともに、対照区においてもライシメータ等機器周辺に 10m 格子点を設定した。

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。また、森林施業後に消失した杭については施業後に復元し、空間線量率の測定を実施した。

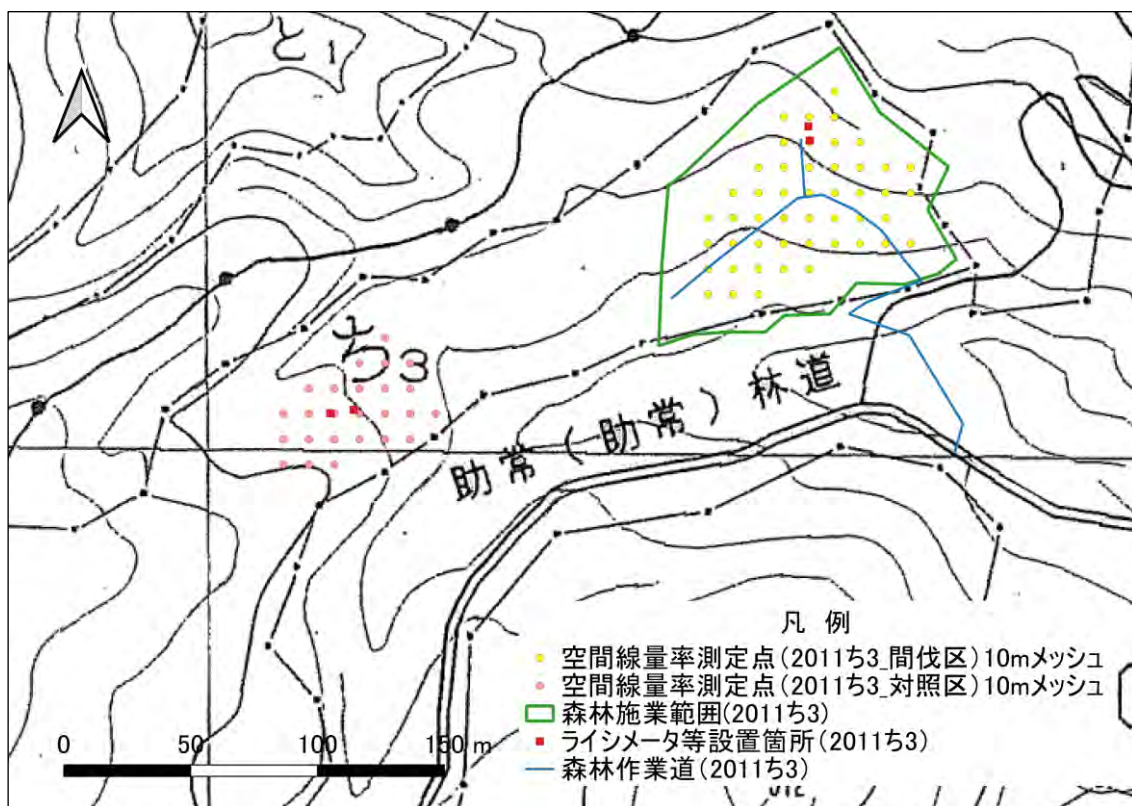


図 4-45 令和 4 年度の空間線量率測定点（冬住事業地_2011 林班ち 3 小班）

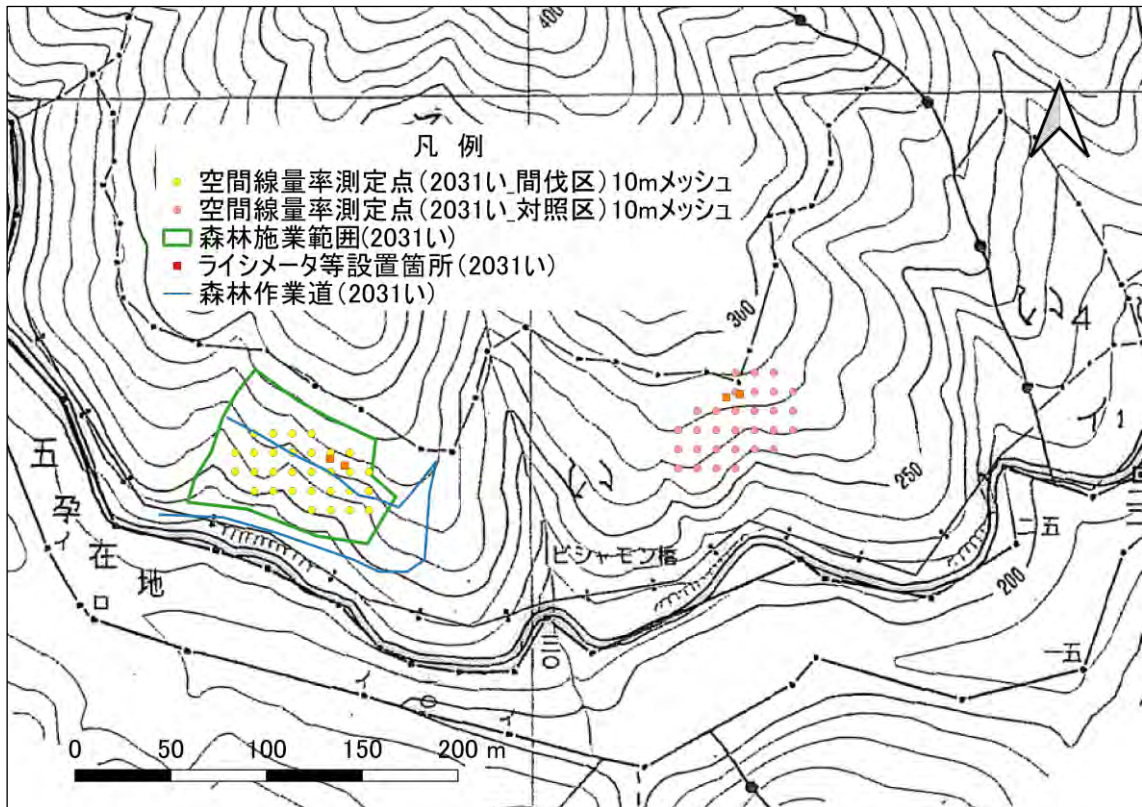


図 4-46 令和 4 年度の空間線量率測定点 (高倉事業地_2031 林班い小班)

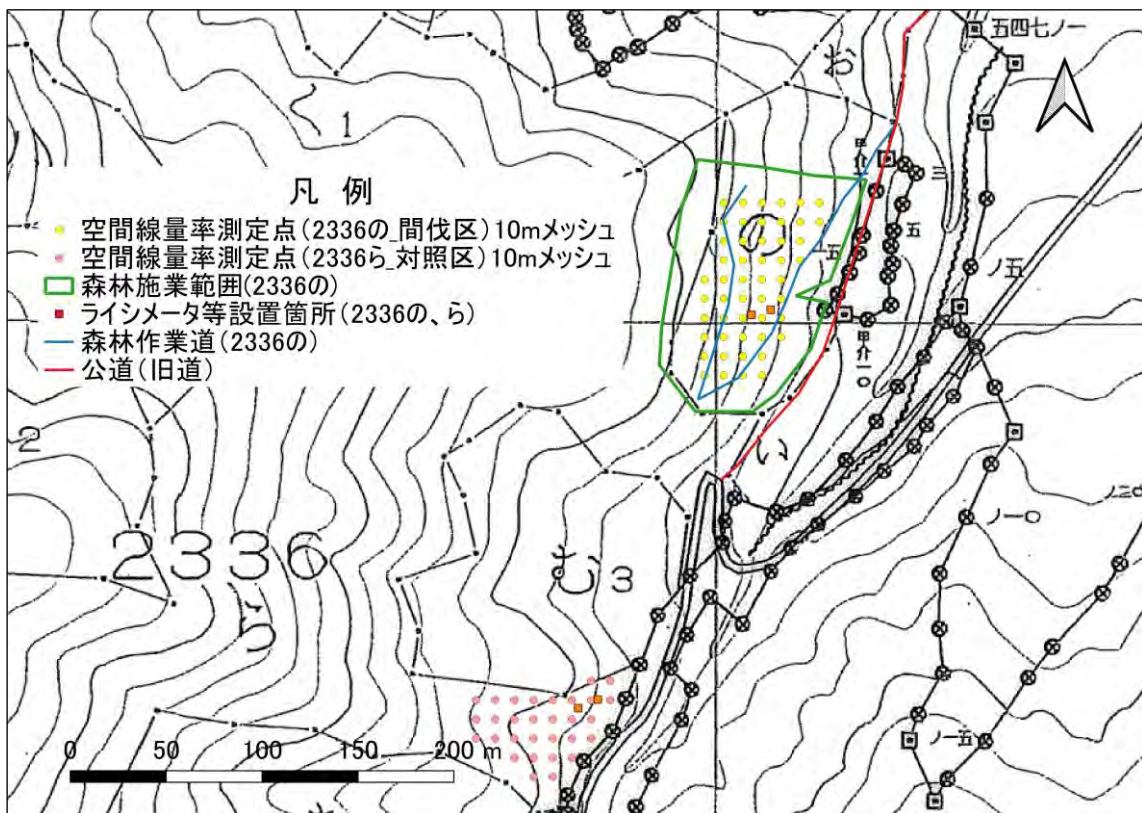


図 4-47 令和 4 年度の空間線量率測定点 (飯樋事業地_2336 林班の小班及びら小班)

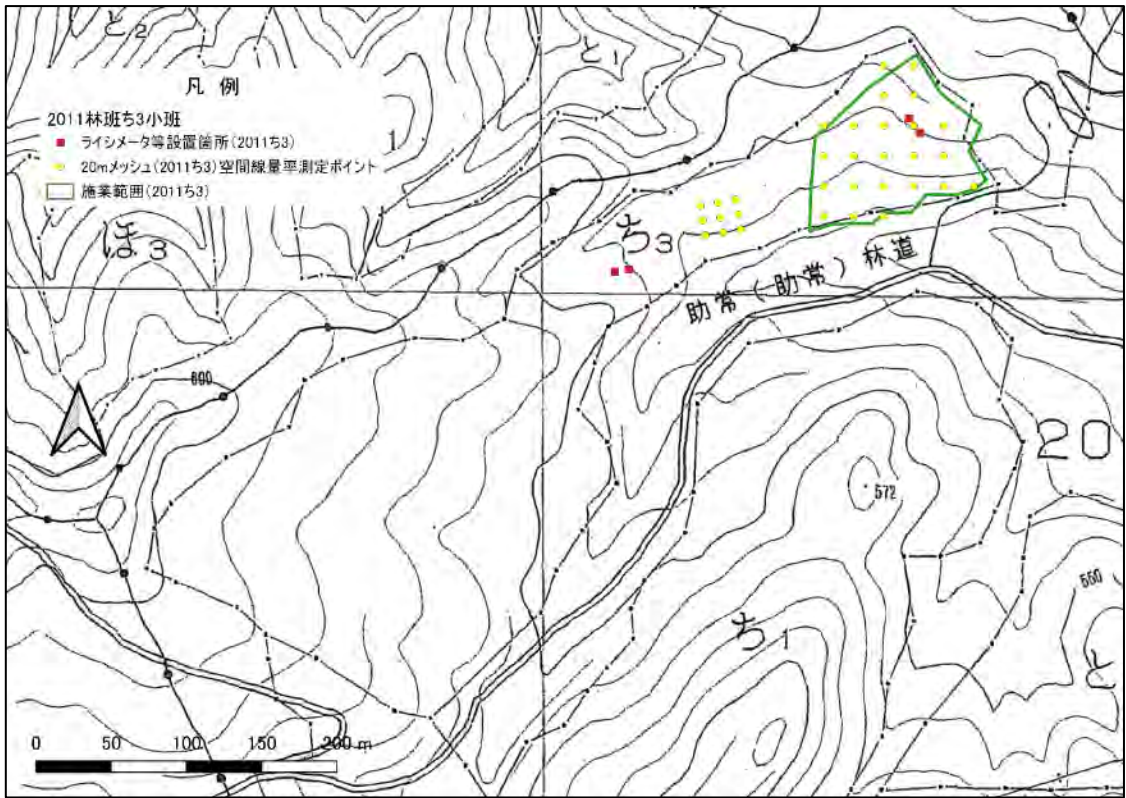


図 4-48 令和 3 年度の空間線量率測定点 (冬住事業地_2011 林班ち 3 小班)

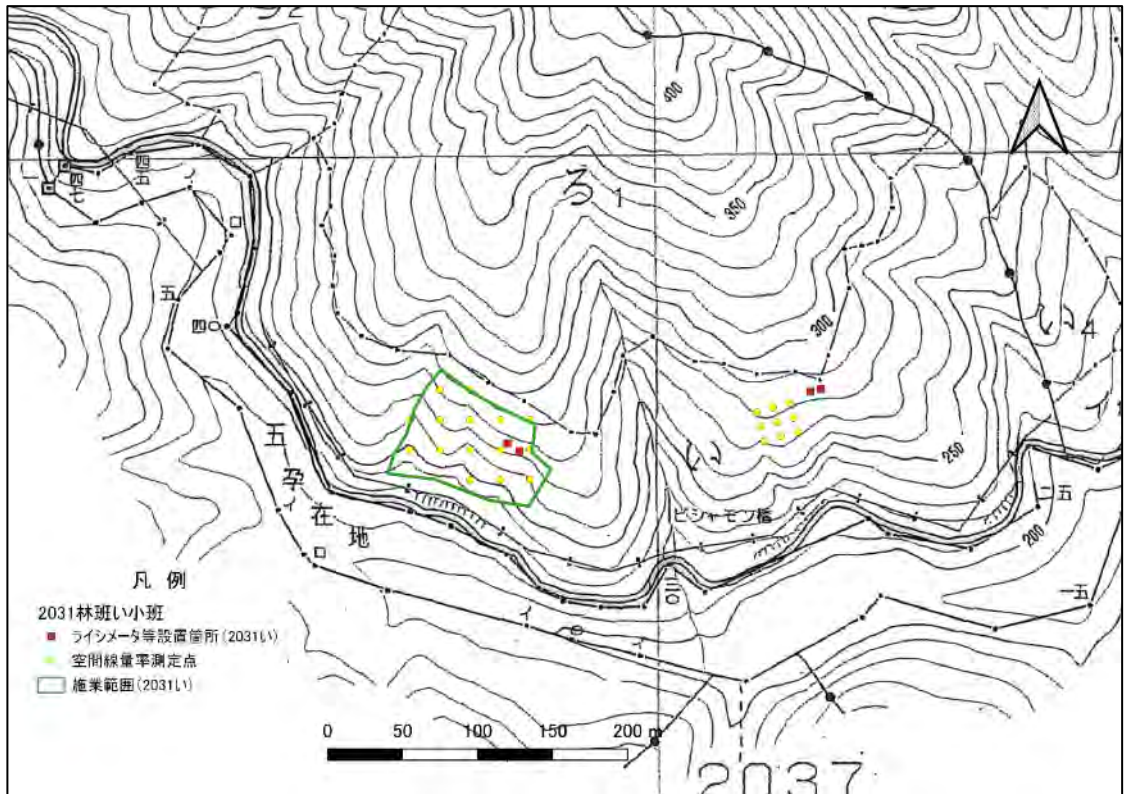


図 4-49 令和 3 年度の空間線量率測定点 (高倉事業地_2031 林班い小班)

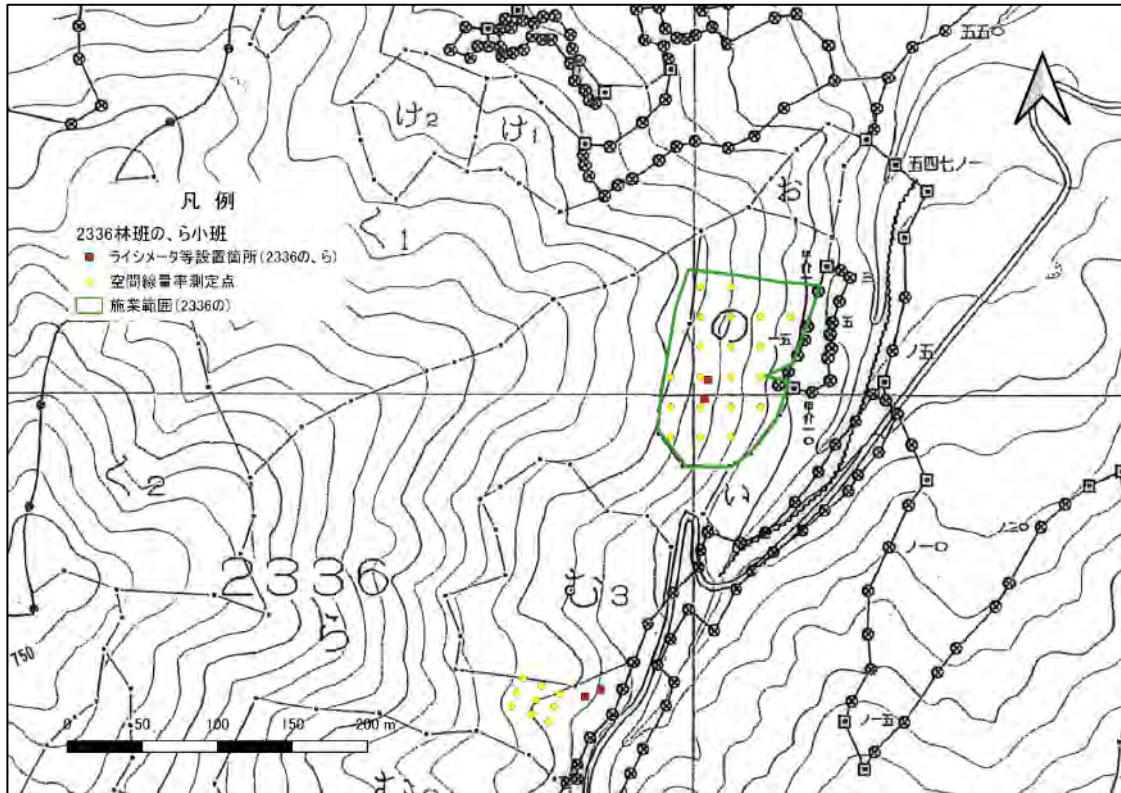


図 4-50 令和 3 年度の空間線量率測定点（飯樋事業地_2336 林班の小班及びら小班）

(2) 調査結果

試験区別の空間線量率の測定結果を表 4-24、図 4-51～図 4-53 に示す。

試験区別にみると、間伐実施前においては、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。間伐実施後は、森林作業道>間伐列>残存列の順で低減の程度が大きかった。

表 4-24 調査地の空間線量率

樹種	事業地名 林小班名	試験区 種別	空間線量率 ^{※1}	空間線量率 ^{※1}	空間線量率 ^{※1}	初期沈着量 ^{※2} (kBq/m ²)
			($\mu\text{Sv/h}$) 2021年12月計測 ^{※3}	($\mu\text{Sv/h}$) 2022年7月計測 ^{※4}	($\mu\text{Sv/h}$) 2023年1月計測 ^{※4}	
スギ	冬住事業地 2011 林班ち3 小班	間伐区	1.03 (n=23)	1.03 (n=48)	0.94 (n=48)	720
		対照区	0.98 (n=9)	0.97 (n=25)	0.99 (n=25)	
	高倉事業地 2031 林班い 小班	間伐区	0.80 (n=15)	0.76 (n=30)	0.72 (n=30)	990
		対照区	0.75 (n=9)	0.77 (n=30)	0.80 (n=30)	
	飯櫃事業地 2336 林班の 小班 2336 林班ら 小班	間伐区	0.87 (n=20)	0.91 (n=50)	0.74 (n=50)	900
		対照区	0.93 (n=9)	0.89 (n=30)	0.87 (n=30)	

※1 空間線量率の値 (1m 高さ) 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)

※3 2021 年 12 月計測のうち間伐区は 20m メッシュで実施。対照区はリタートラップ設定箇所にて測定。

※4 2022 年 7 月及び 2023 年 1 月計測は、間伐区、対照区ともに 10m メッシュ。

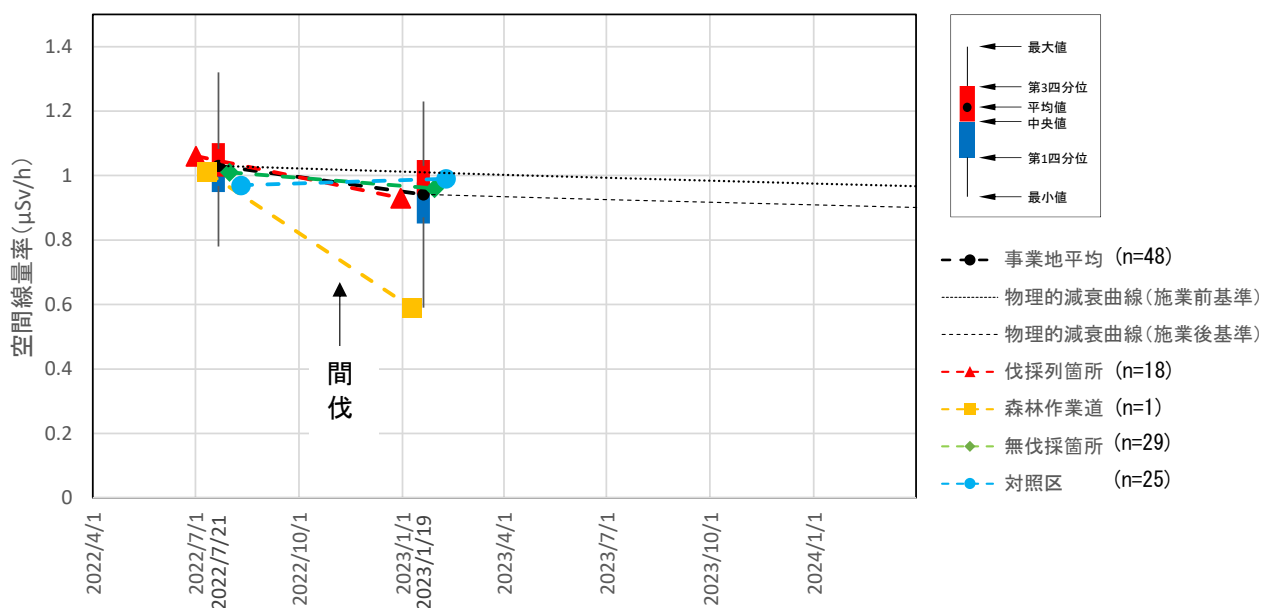


図 4-51 空間線量率推移 (冬住事業地_2011 林班ち3 小班)

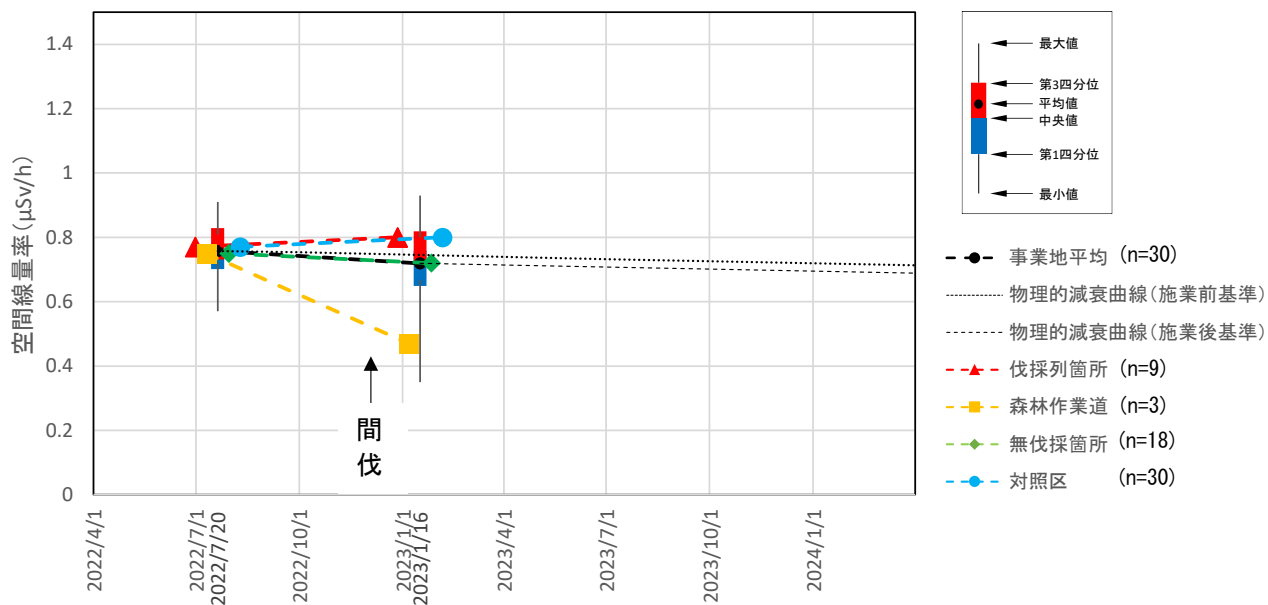


図 4-52 空間線量率推移 (高倉事業地_2031 林班い小班)

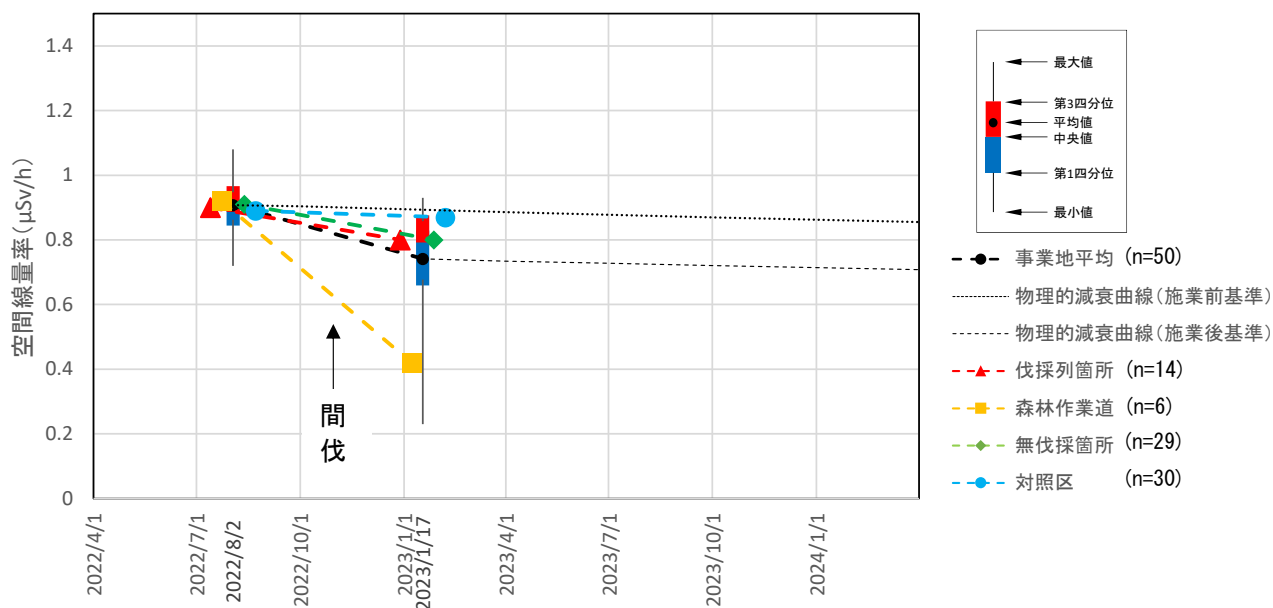


図 4-53 空間線量率推移 (飯樋事業地_2336 林班の小班)

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 (Tl) 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℃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。

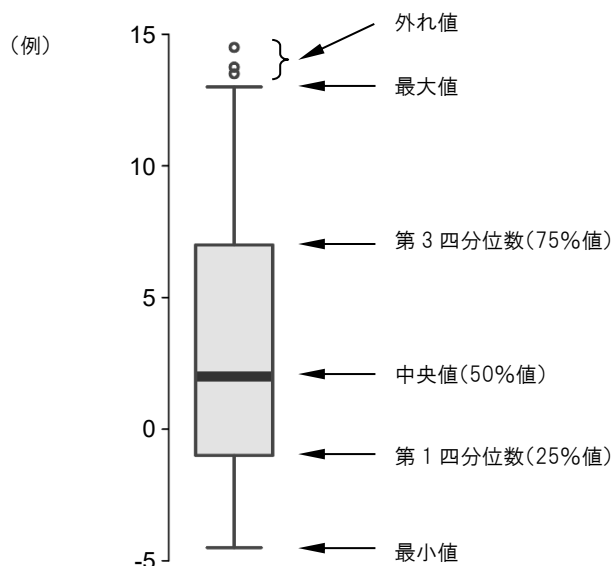
放射性物質の量を扱う上では、「重さとしての情報」と「面としての情報」の2種類の扱いがある。前者は、物質の単位重量当たりの放射エネルギーであり、「放射性物質濃度」を指す。単位は [Bq/kg] を用いる。後者は、単位面積当たりの総放射エネルギーであり、「放射性物質現存量」「放射性物質沈着量」を指す。「インベントリー (Inventory)」と表現することもある。単位は [Bq/m²] を用いる。

(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。なお、 e はネイピア数と言われ、自然対数の底に用いられる数である。緩衝深度の値が大きいほど地中の深い箇所に放射性物質が存在することを示す。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。