

## 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 $\mu$ 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

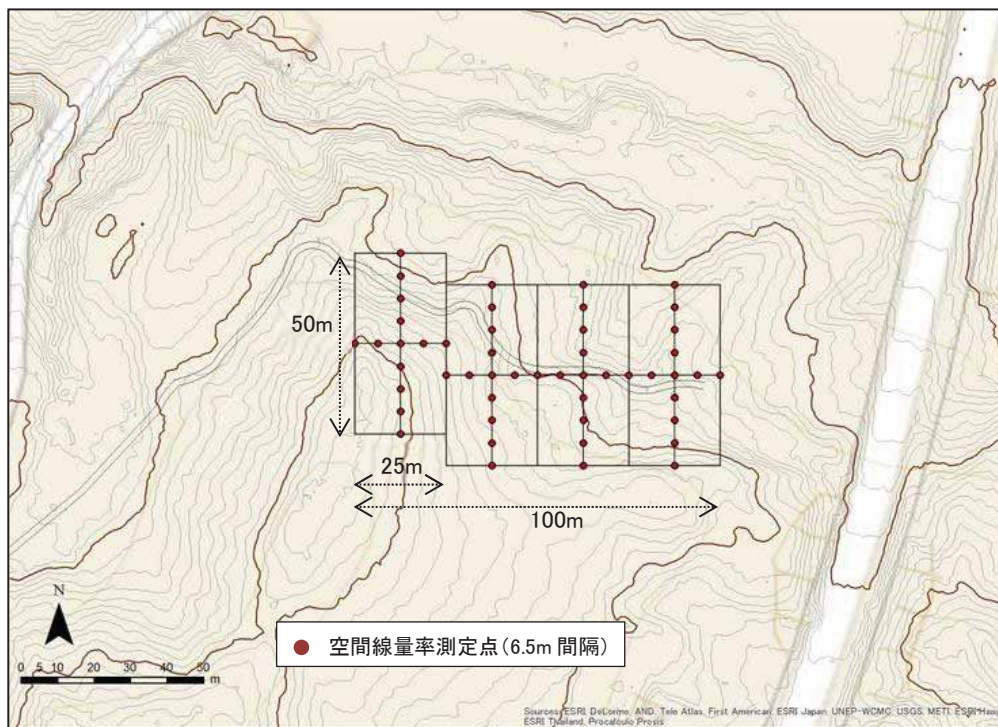
試験区・作業区	林相 (林齢)*1 (立木密度)	面積	平均 斜度*2	作業内容	空間 線量率*3	放射性セシウム (Cs-137) 平均沈着量*4
皆伐区	アカマツ・ 広葉樹混交林 (46～63 年生)	0.50ha (25m×50m ×4 区画)	20°	皆伐、地拵え(枝条散布、坪刈り、棚積、枝条除去)	0.65 $\mu$ Sv/h	110kBq/m <sup>2</sup>

\*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)



皆伐区 作業前

皆伐後

令和 3(2021)年 7 月時点

写真 2-1 皆伐区の概況

## 2) 空間線量率の測定

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

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

表 2-2 空間線量率の測定日（皆伐区）

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

( )の天気は、公表されている広野町の過去の天気情報による。

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

### (3) 試験結果及び考察

試験区における空間線量率の推移を図 2-2 に示す。

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

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

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

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

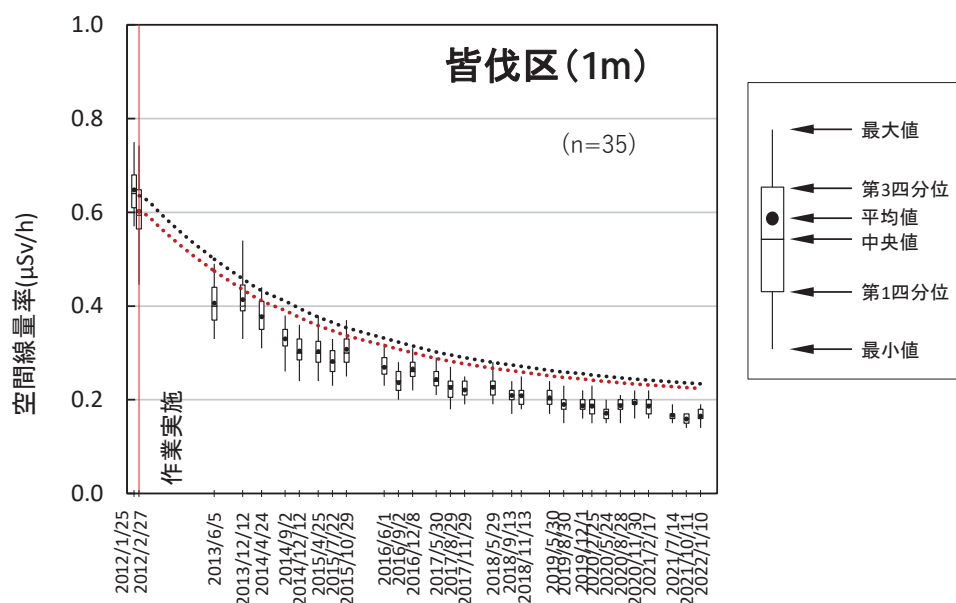


図 2-2 広野試験地における皆伐 (アカマツ広葉樹混交林) 実施後の空間線量率の推移

空間線量率は実測値(地上 1m)を示す。黒丸は平均値、誤差線は、最大値及び最小値を示し、誤差線に付属する矩形の上下端は、第 3 四分位数及び第 1 四分位数を示す。皆伐区 n=35(皆伐区は 50 測定点のうち、チップを散布した作業道上の測定点等を除外した)。

黒色の破線は作業前の空間線量率を基準とした物理減衰による空間線量率の低減を示し、赤色の破線は作業後の空間線量率を基準とした物理減衰による空間線量率の低減を示す。

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

表 2-3 物理減衰に対する空間線量率の比率

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

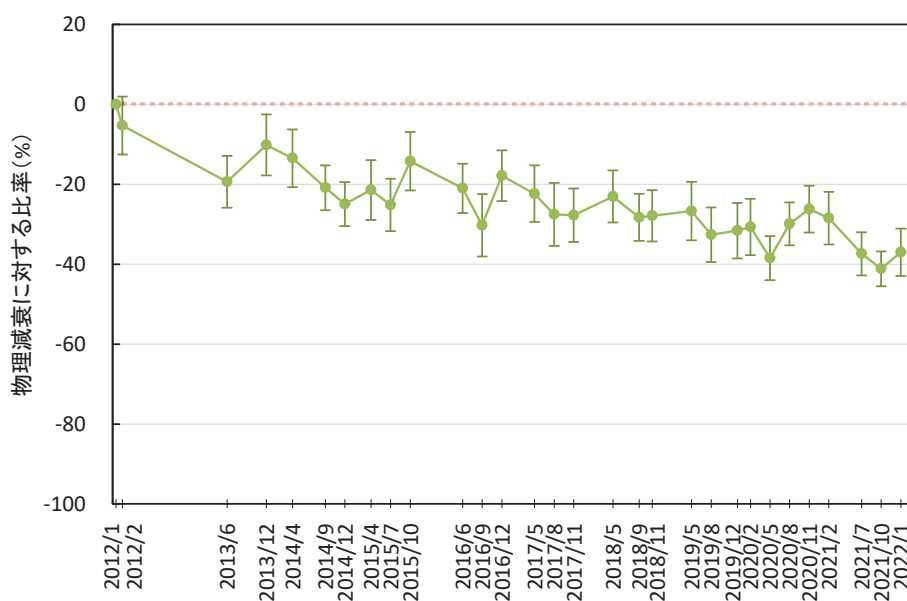


図 2-3 物理減衰に対する空間線量率の比率の推移

※エラーバーは標準偏差を示す。

## 2.3. 落葉等除去や樹木の伐採が林縁部の空間線量率に与える影響の把握

### (川内試験地スギ林 (A区))

#### (1) 目的

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

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

#### (2) 試験地と試験方法

##### 1) 試験地の概要

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

試験地は、設定時には、54年生のスギ林で、放射性セシウム（Cs-134+Cs-137）の平均沈着量<sup>1</sup>は1,110kBq/m<sup>2</sup>、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。

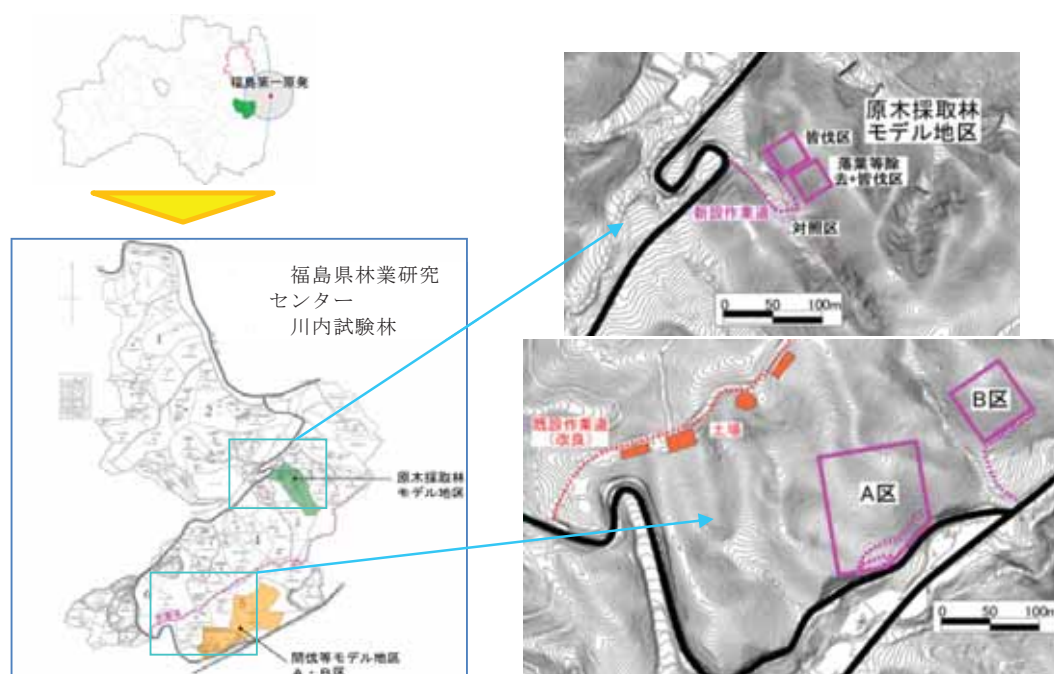


図 2-4 各試験区の位置図

<sup>1</sup> 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 7 章に記載した方法に従って、作業道作設、落葉等除去、皆伐等の各種作業の前後に実施し、その後は約 2～5 ヶ月間隔で令和 4（2022）年 2 月まで継続した（表 2-5）。なお、作業範囲外からの影響も考慮し、林縁及び各作業区の空間線量率は、図 2-5 に図示した位置における測定値をそれぞれ集計した<sup>2</sup>。

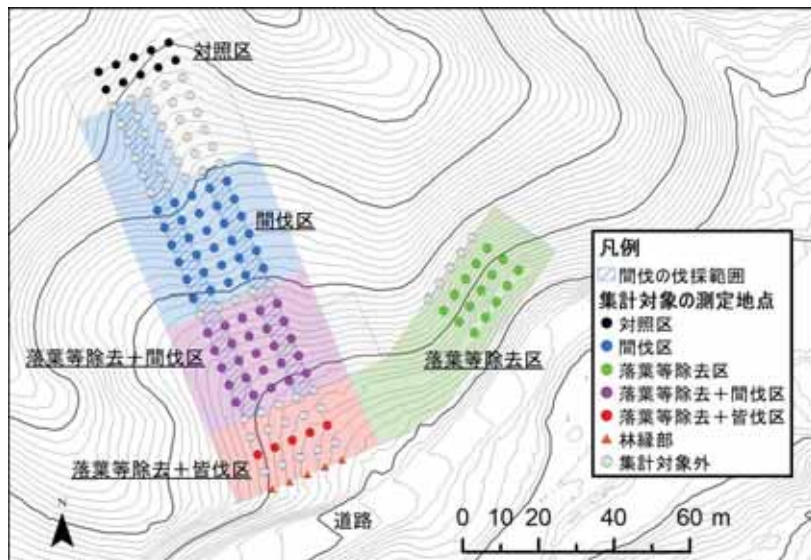


図 2-5 作業区の配置と空間線量率の測定範囲

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。

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

表 2-5 スギ林（A区）における空間線量率測定日及び測定地点数

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

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



### (3) 調査結果及び考察

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

#### <平成 28 (2016) 年度までの試験結果の概要>

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

(平成 28 (2016) 年度報告書より抜粋)

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

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

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

<sup>3</sup> 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

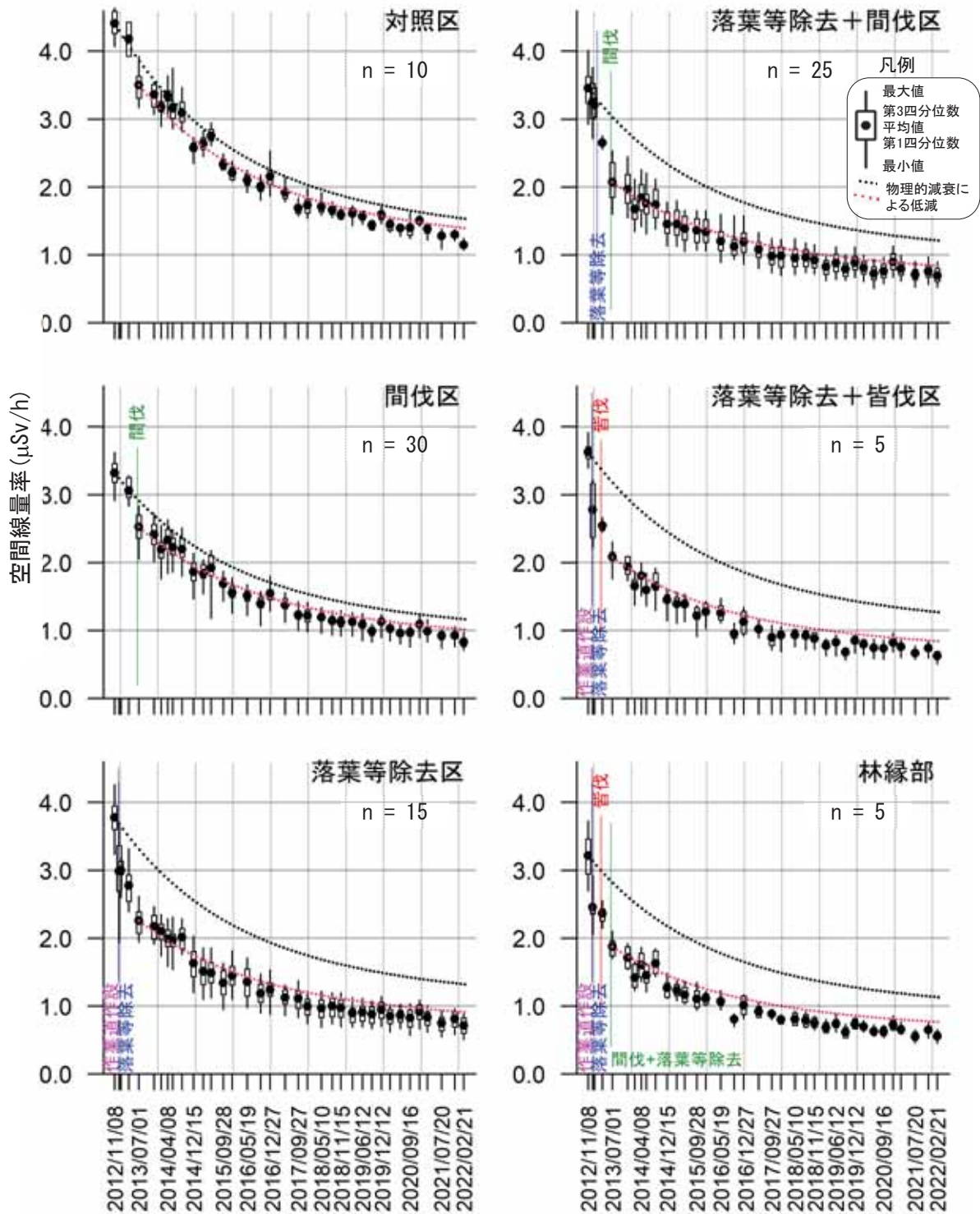


図 2-6 スギ林（A区）の各作業区における空間線量率の推移

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、誤差線に付随する矩形の上下端は、第 3 四分位数及び第 1 四分位数を示す。なお、四分位数とは、全てのデータを小さい順に並べて四等分したときの三つの区切りの値を示す。誤差線の長さが短く、矩形の上下端の間隔が小さいほど、測定値のバラつきが小さかったことを示す。

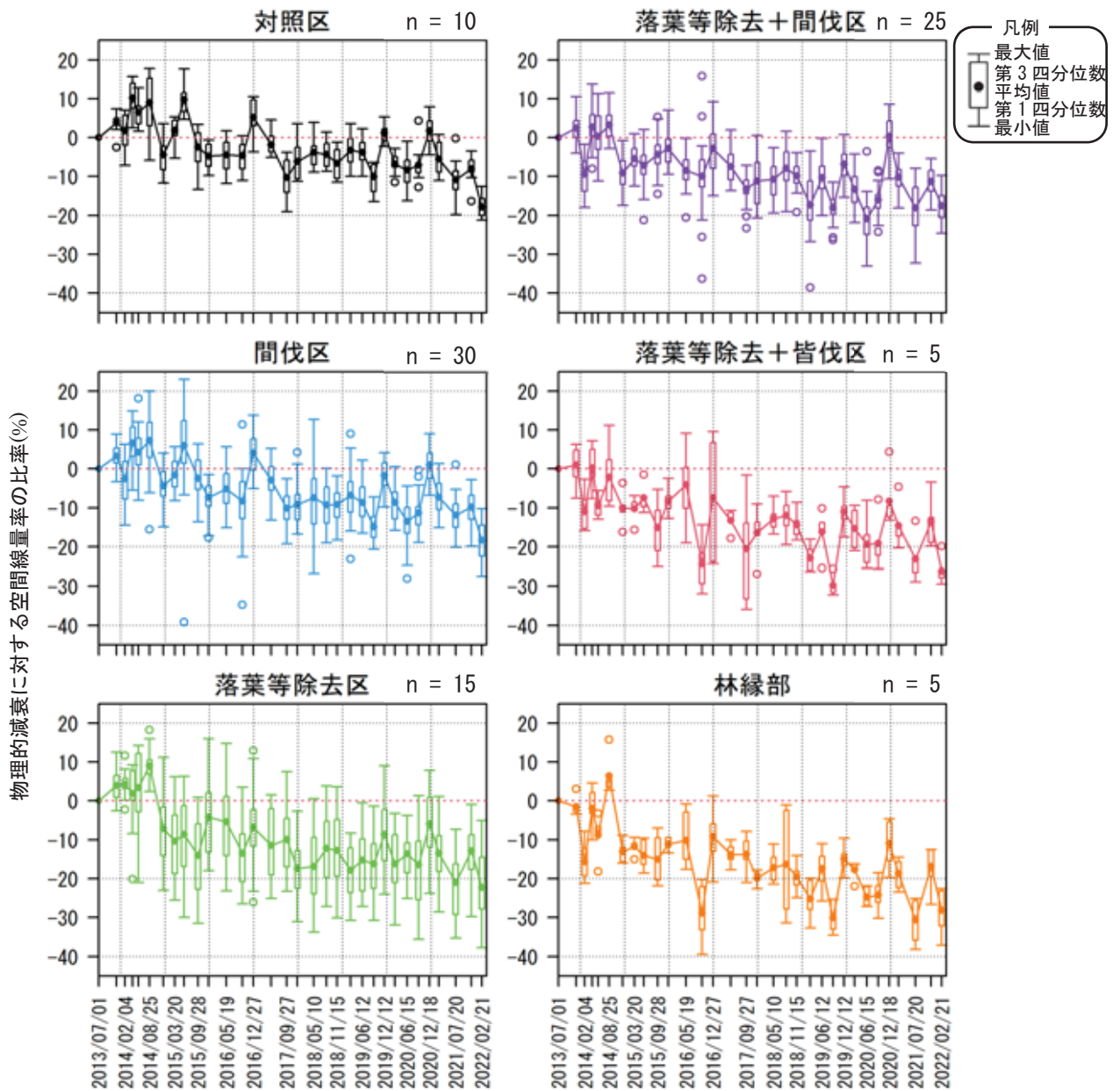


図 2-7 スギ林（A区）の各作業区における各種作業完了後の物理的減衰に対する空間線量率の比率の推移

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。

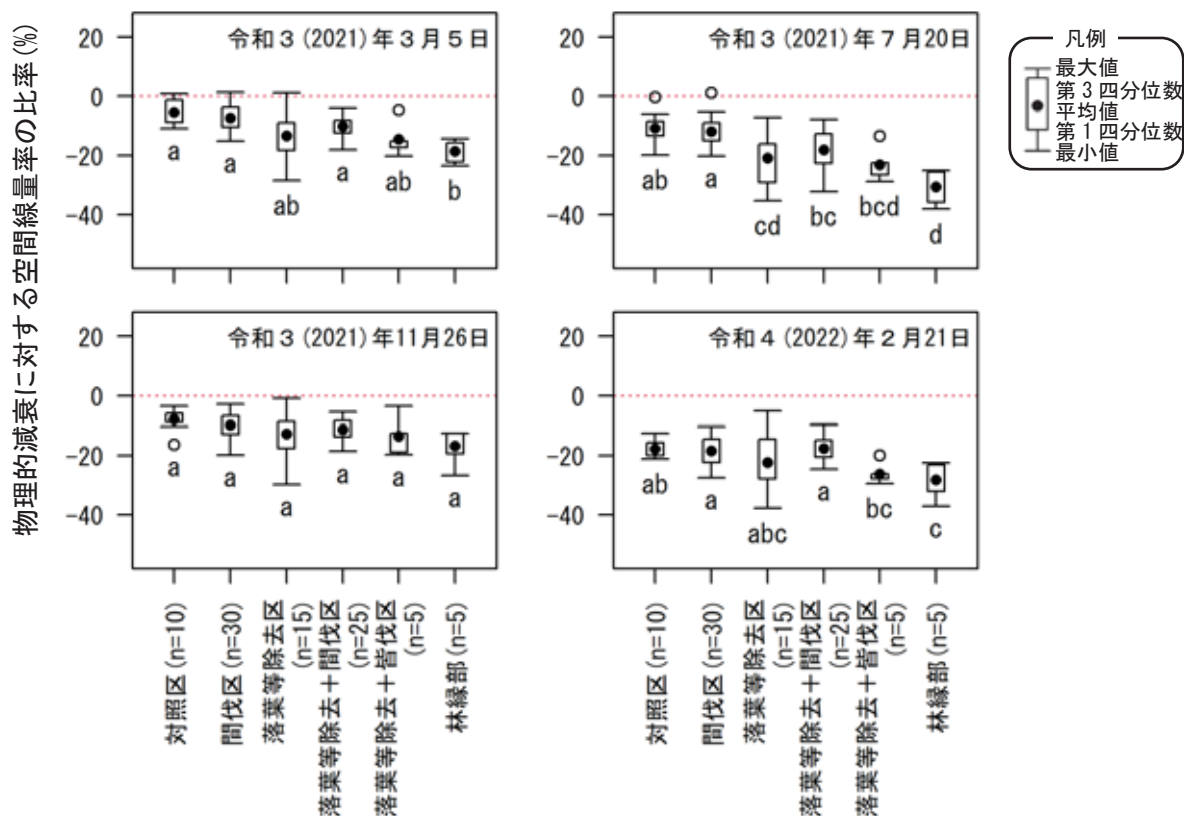


図 2-8 川内試験地スギ林（A区）の各作業区における各種作業完了後の物理的減衰に対する空間線量率の比率の比較

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<sup>4</sup>の推移を表 2-6 に示す。この集計値は、平成 25（2013）年 7 月 1 日を基準日とした物理的減衰補正後の空間線量率に基づいて算出しており、物理的減衰による空間線量率低下の影響は除去されている。

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

### (1) 目的

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

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

### (2) 試験地と試験方法

#### 1) 試験地の概要

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

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

表 2-8 スギ林（B区）の各作業区での作業の概要と試験斜面枠の略称

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

#### 2) 空間線量率の測定

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

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

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

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

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

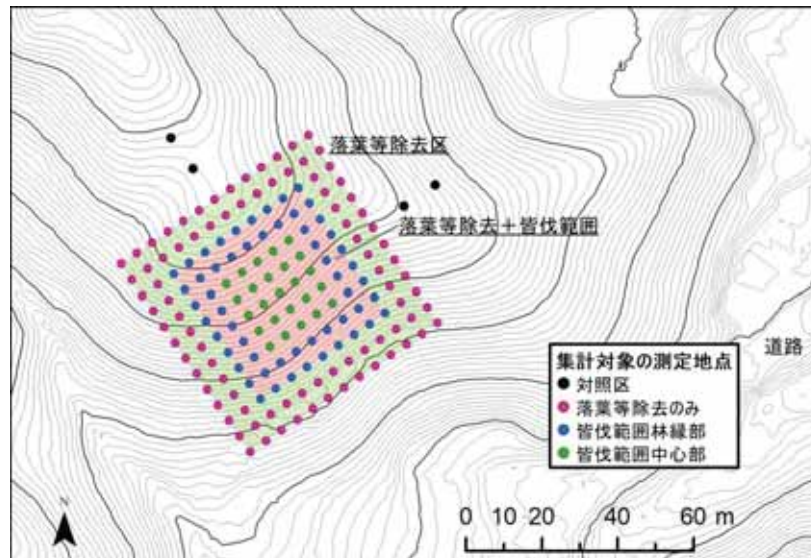


図 2-9 作業区の配置と空間線量率の測定範囲

図中の点の位置は、空間線量率の測定地点及び各範囲の集計対象区分を示す。

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

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



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

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

### (3) 調査結果及び考察

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

#### <平成 28 (2016) 年度までの試験結果の概要>

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

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

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

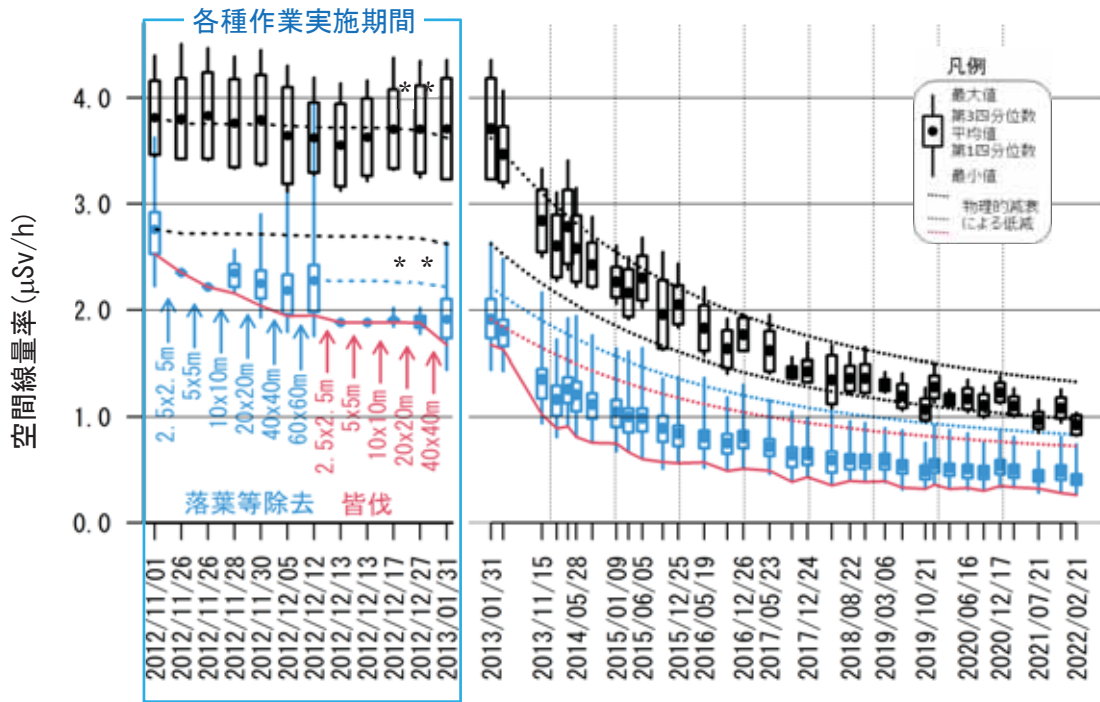


図 2-10 スギ林（B区）における対照区（黒色）、作業範囲（青色）及び作業範囲中心点（赤色）の空間線量率の推移

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

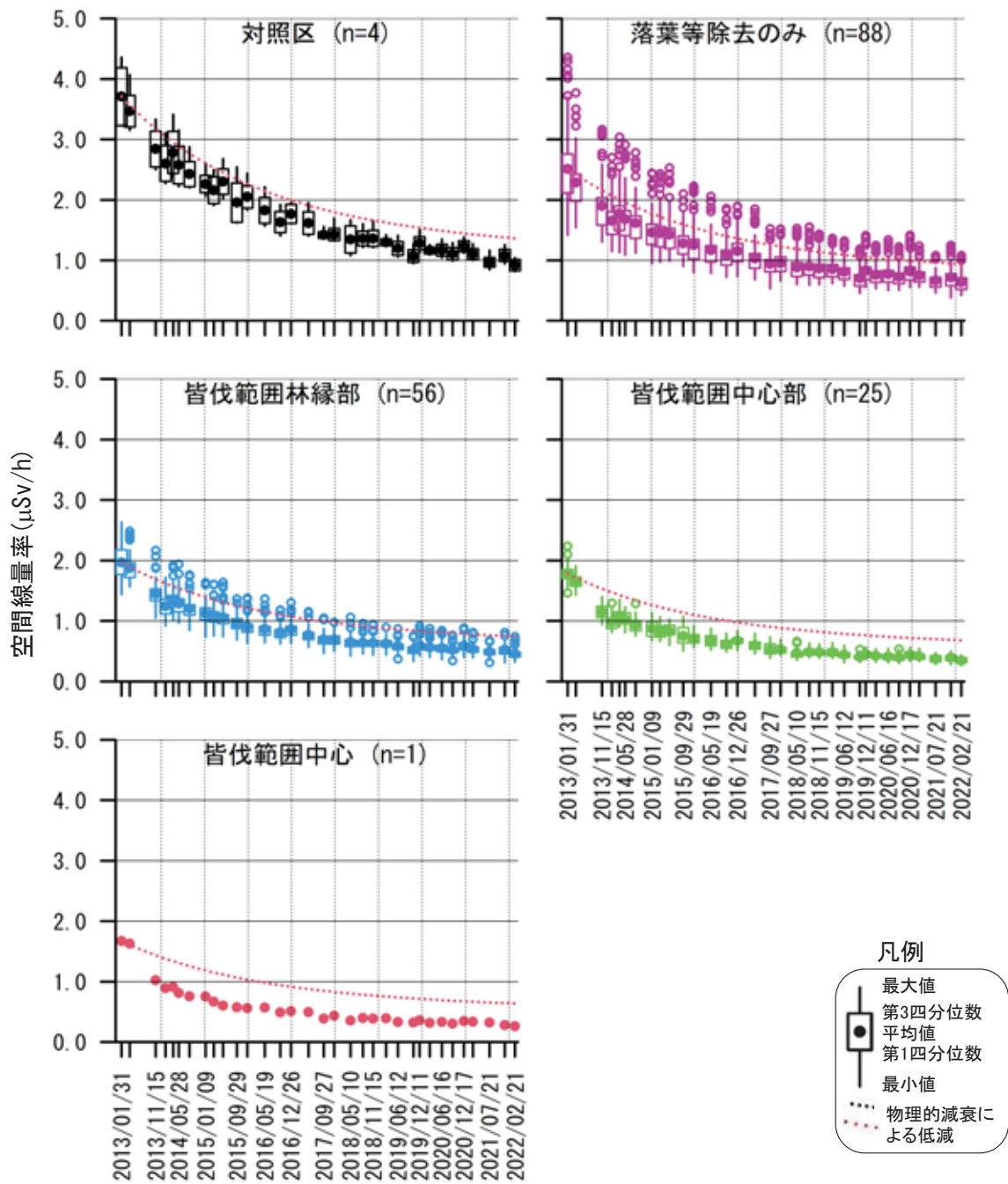


図 2-11 スギ林 (B区) における各種作業完了後の対照区及び作業範囲ごとの空間線量率の推移

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。

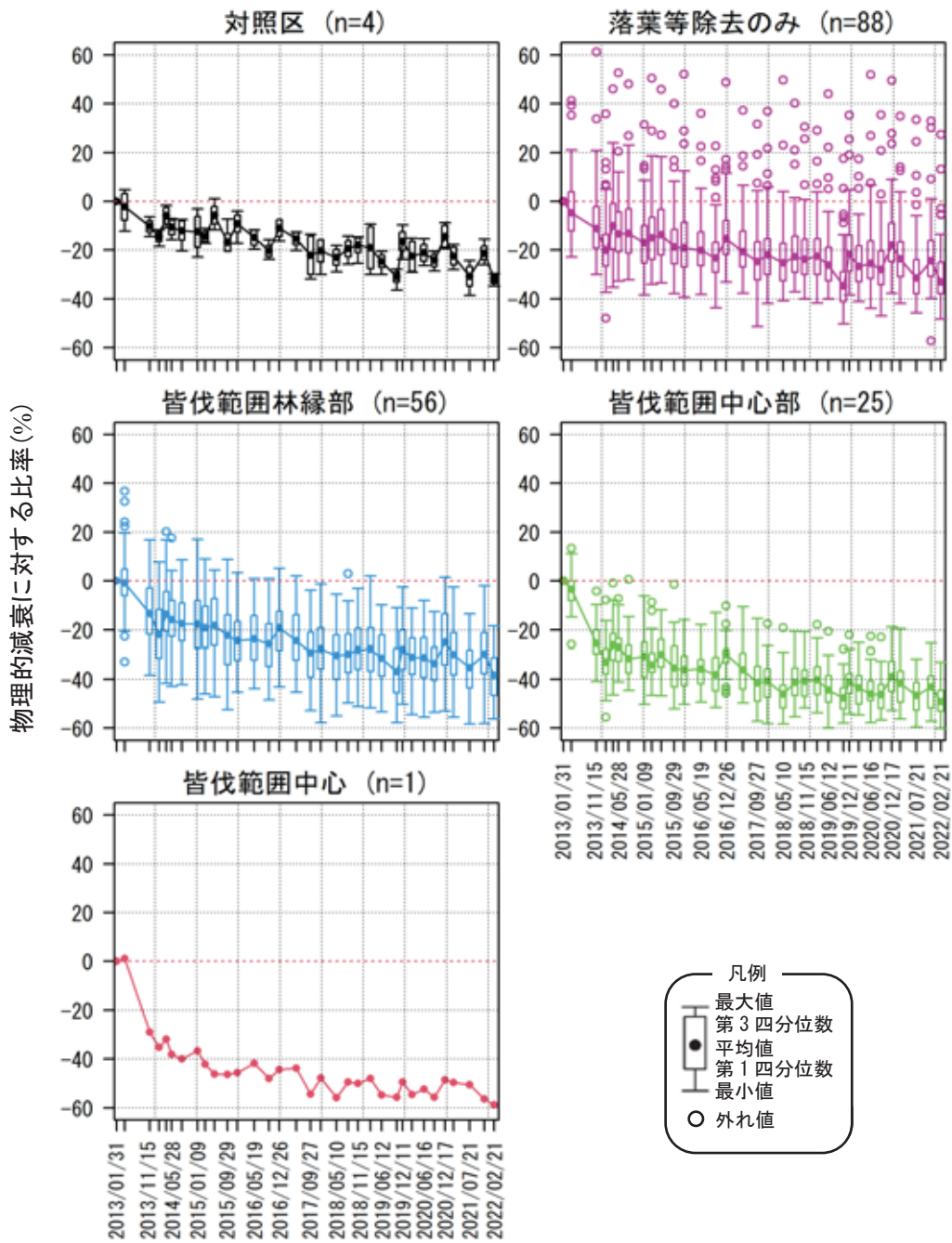


図 2-12 スギ林 (B区) における各種作業完了後の物理的減衰に対する空間線量率の比率の作業範囲ごとの推移

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

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

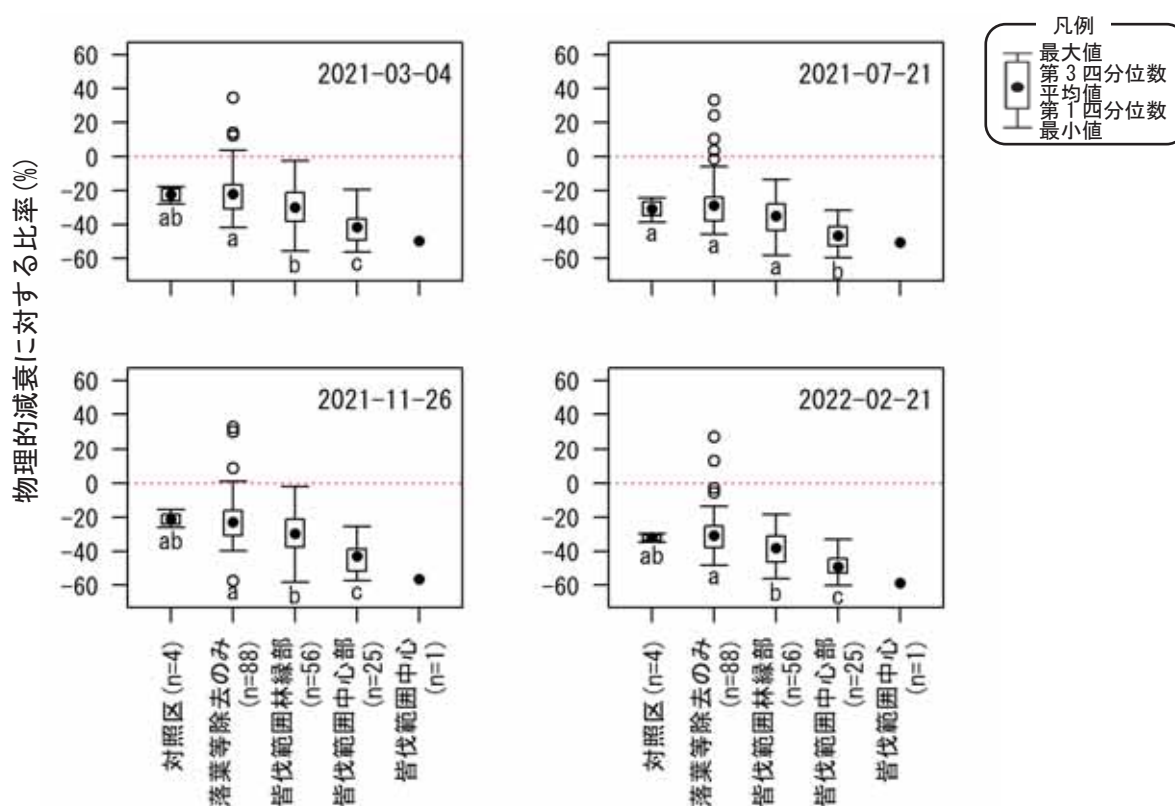


図 2-13 川内試験地スギ林（B区）における各種作業完了後の物理的減衰に対する空間線量率の比率の比較

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

### (1) 目的

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

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

### (2) 試験地と試験方法

#### 1) 試験地の概要

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

原木採取林モデル地区は、コナラを優占種とする 57 年生（設定時）の広葉樹林（0.18 ha）で、平均斜度は 39 度、放射性セシウム（Cs-134+Cs-137）の平均沈着量<sup>6</sup>は、1,160kBq/m<sup>2</sup>、平成 24（2012）年 11 月時点での空間線量率は 1.7～2.4 μSv/h、であった。この試験区では、落葉等除去をせずに、皆伐のみを実施した作業区（皆伐区）と、落葉等除去作業後に、皆伐を実施した区（落葉等除去+皆伐区）の 2 つの作業区が設定されている（表 2-13、図 2-14）。皆伐作業は、ウインチによる集材後、作業区外で造材した。

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

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

#### 2) 空間線量率の測定

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

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



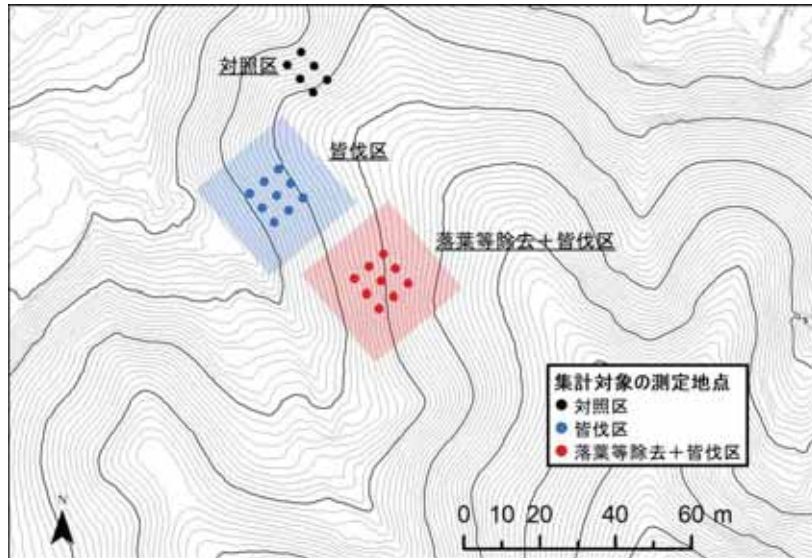


図 2-14 作業区の配置と空間線量率の測定範囲

図中の点の位置は、空間線量率の測定地点及び各範囲の集計対象区分を示す。

表 2-14 原木採取林モデル地区における空間線量率測定日及び測定地点数

回数	測定日	測定地点数			作業との関係	天候	積雪
		对照区	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

对照区における測定は平成 26(2014)年 9 月 3 日より開始した。

### (3) 調査結果及び考察

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

#### <平成 28 (2016) 年度までの結果の概要>

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

(平成 28 (2016) 年度報告書より抜粋)

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

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

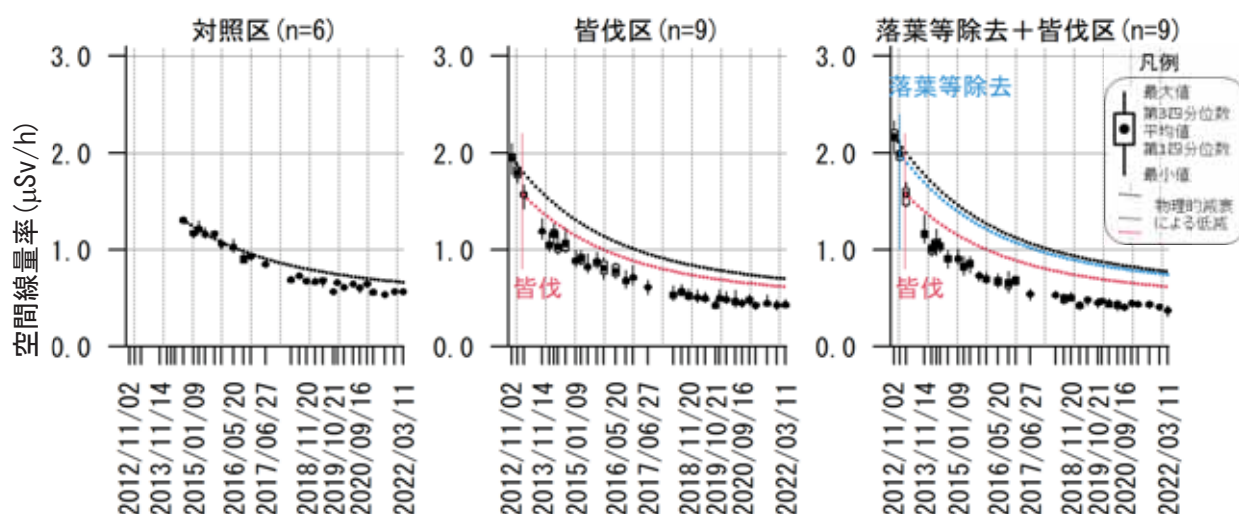


図 2-15 原木採取林モデル地区における各作業区の空間線量率の推移

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、誤差線に付属する矩形の上下端の辺は、第 3 四分位数及び第 1 四分位数を示す。なお、四分位数とは、全てのデータを小さい順に並べて四等分したときの三つの区切りの値を示す。誤差線の長さが短く、矩形の上下端の間隔が小さいほど、測定値のバラつきが小さかったことを示す。

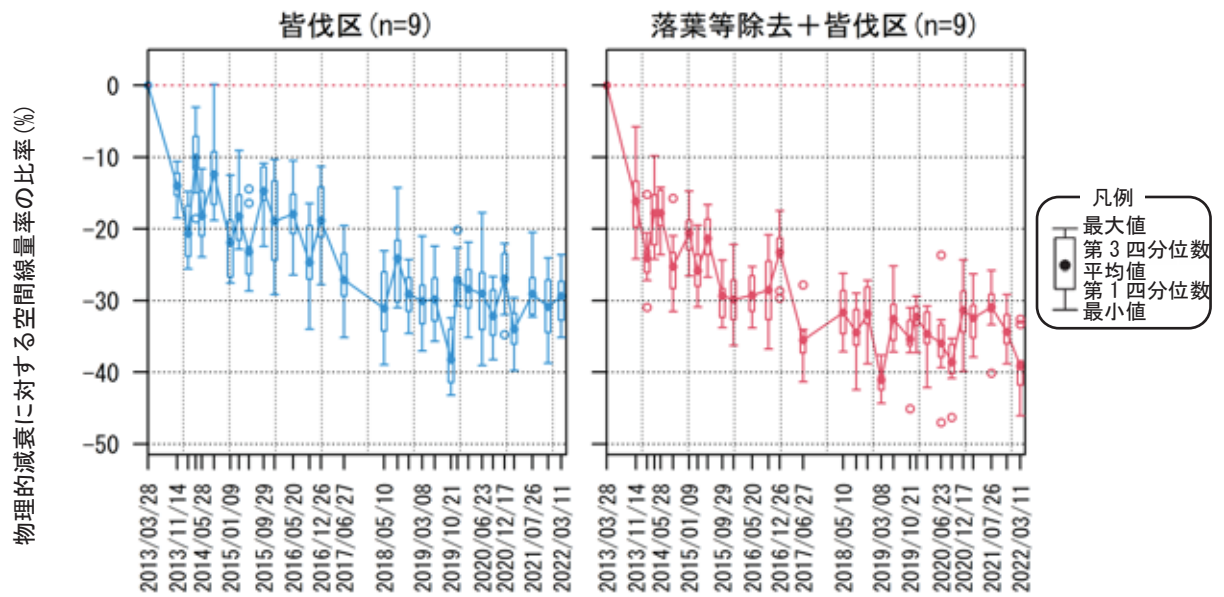


図 2-16 原木採取林モデル地区の各作業区における各種作業完了後の物理的減衰に対する空間線量率の比率の推移

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

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

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

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

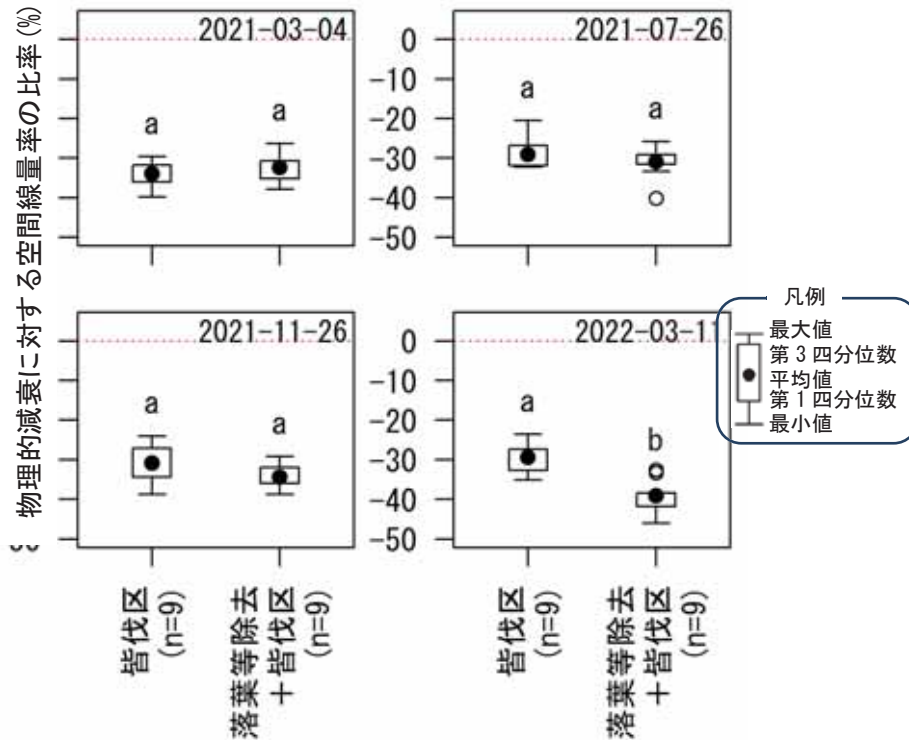


図 2-17 川内試験地原木採取林モデル地区の各作業区における各種作業完了後の物理的減衰に対する空間線量率の比率の比較

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

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

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

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

対照区における空間線量率の測定は、平成 26(2014)年9月に開始した。

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

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

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

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

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

## 2.6. 皆伐及び間伐が空間線量率に与える影響の把握（過年度事業地）

### (1) 目的

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

### (2) 過年度事業地と施業内容

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

表 2-17 過年度事業地の諸元

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

※1：施業開始時の林齢（年生）を示す。

※2：本項の検証対象である皆伐、間伐に関する施業内容を抜粋したものである。

※3：森林施業前に地上 1m 高で測定した事業地内全測定点の平均値である。

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

## 1) 共通事項

### ① 空間線量率測定点

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

### ② 測定高

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

### ③ 放射線測定器

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

表 2-18 エネルギー補償機能のない測定器を用いた測定結果の取り扱い

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



日立製作所製  
TCS シリーズ



ATOMTEX 社製  
AT1125



日本精密測器製  
DC-100



堀場製作所製  
PA-1000

(a) エネルギー補償あり

(b) エネルギー補償なし

写真 2-2 過年度実証事業の測定で使用されていた放射線測定器

## 2) 過年度事業の概要

### ① 小滝沢事業地

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

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

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

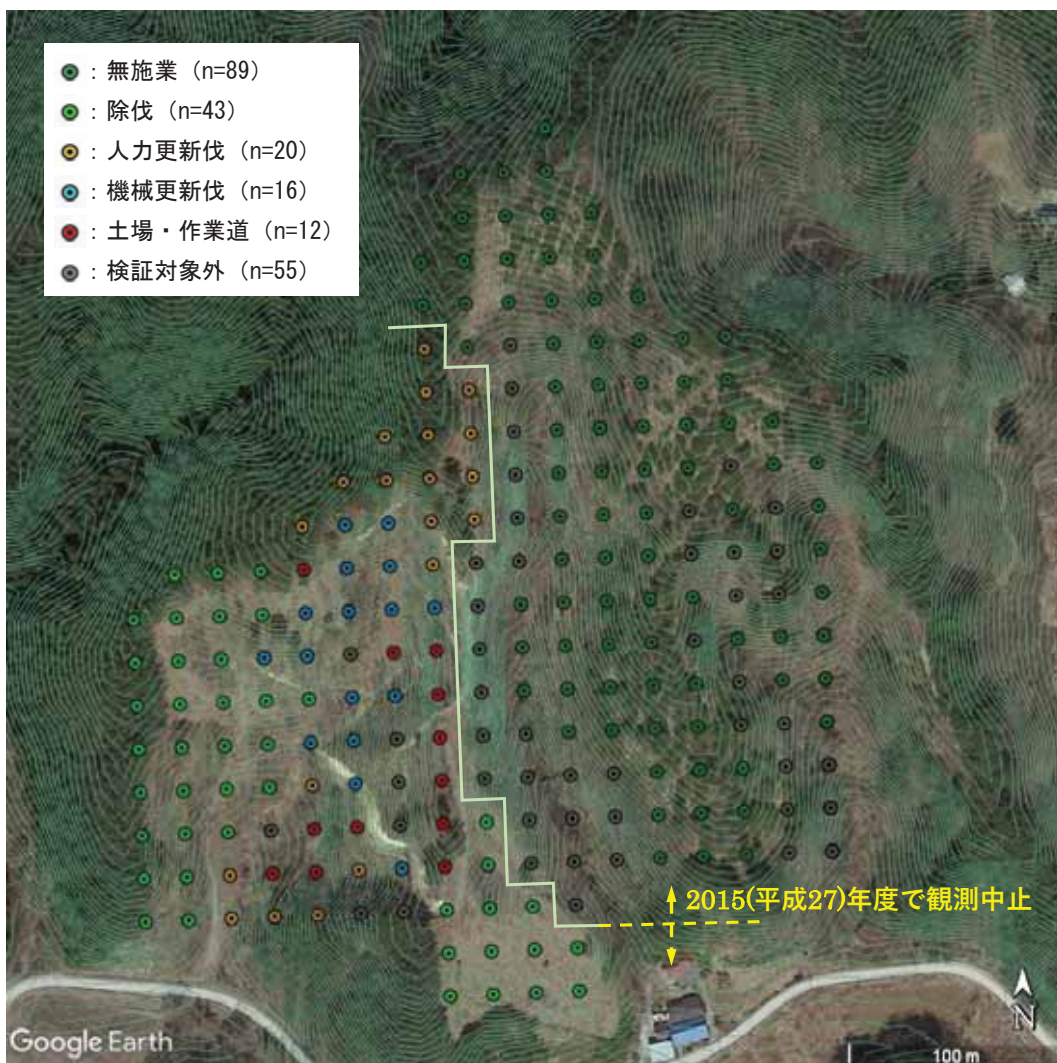


図 2-18 小滝沢事業地空間線量率測定点

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



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

表 2-19 小滝沢事業地の施業種別測定結果

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

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



(a) D5 付近 : 2014 年 9 月頃撮影



(b) 測点 5D 付近 : 2021 年 8 月 24 日撮影

写真 2-3 小滝沢事業地の林況

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

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

向にあることが確認された。図 2-19 に施業種別の空間線量率推移を示す。

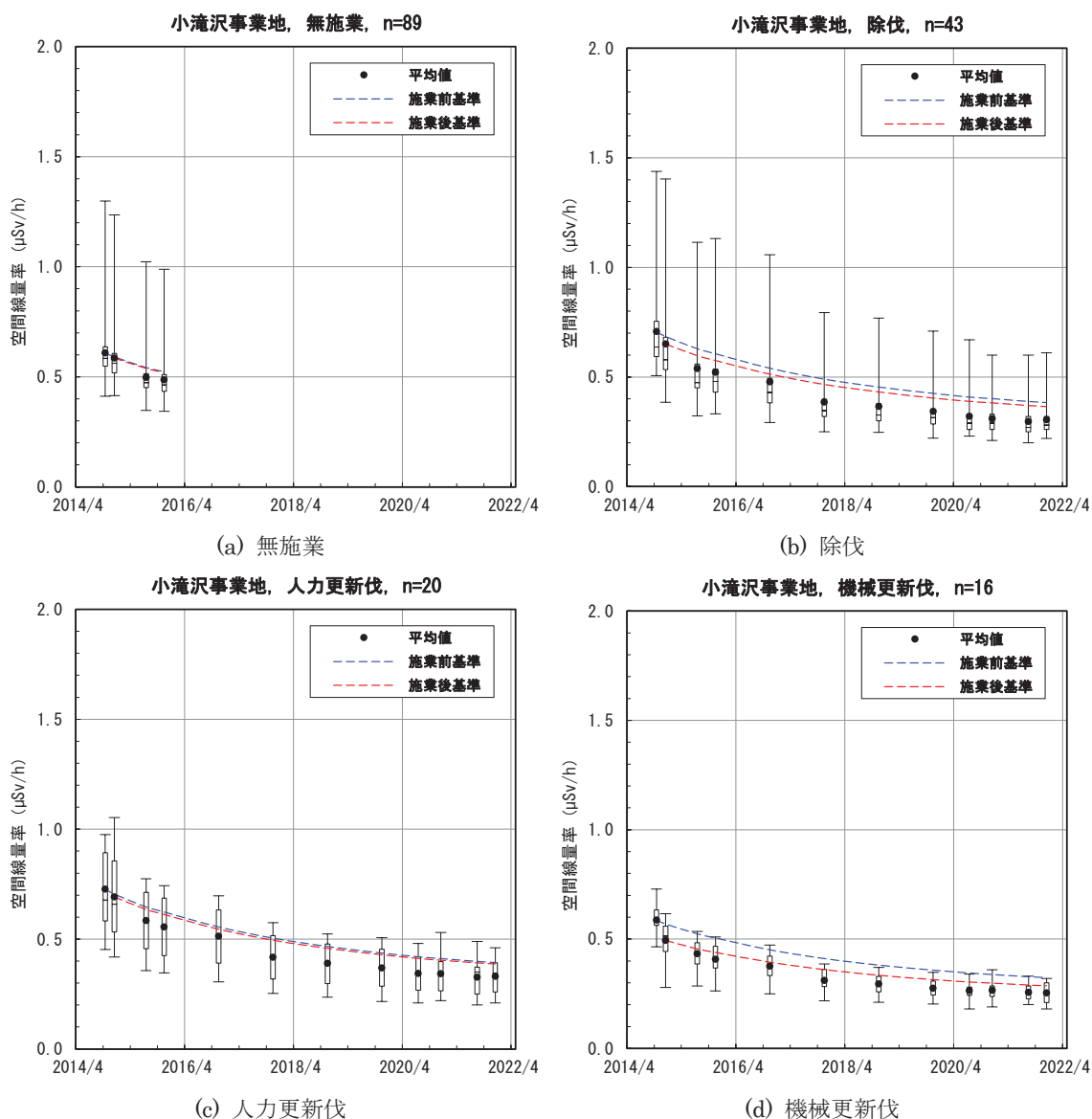


図 2-19 小滝沢事業地における空間線量率推移

- 空間線量率は実測値（地上 1m）を示す。
- 黒丸は平均値、誤差線は、最大値及び最小値を示し、誤差線に付属する矩形の上下端は、第 3 四分位数及び第 1 四分位数を示す。
- 青色の破線は作業前の空間線量率を基準とした物理減衰による空間線量率の低減を示し、赤色の破線は作業後の空間線量率を基準とした物理減衰による空間線量率の低減を示す。物理減衰補正は、放射性セシウム Cs-134 と Cs-137 の初期の存在比と半減期の違いを考慮して算出したものである。

## ② 羽倉事業地

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

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

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

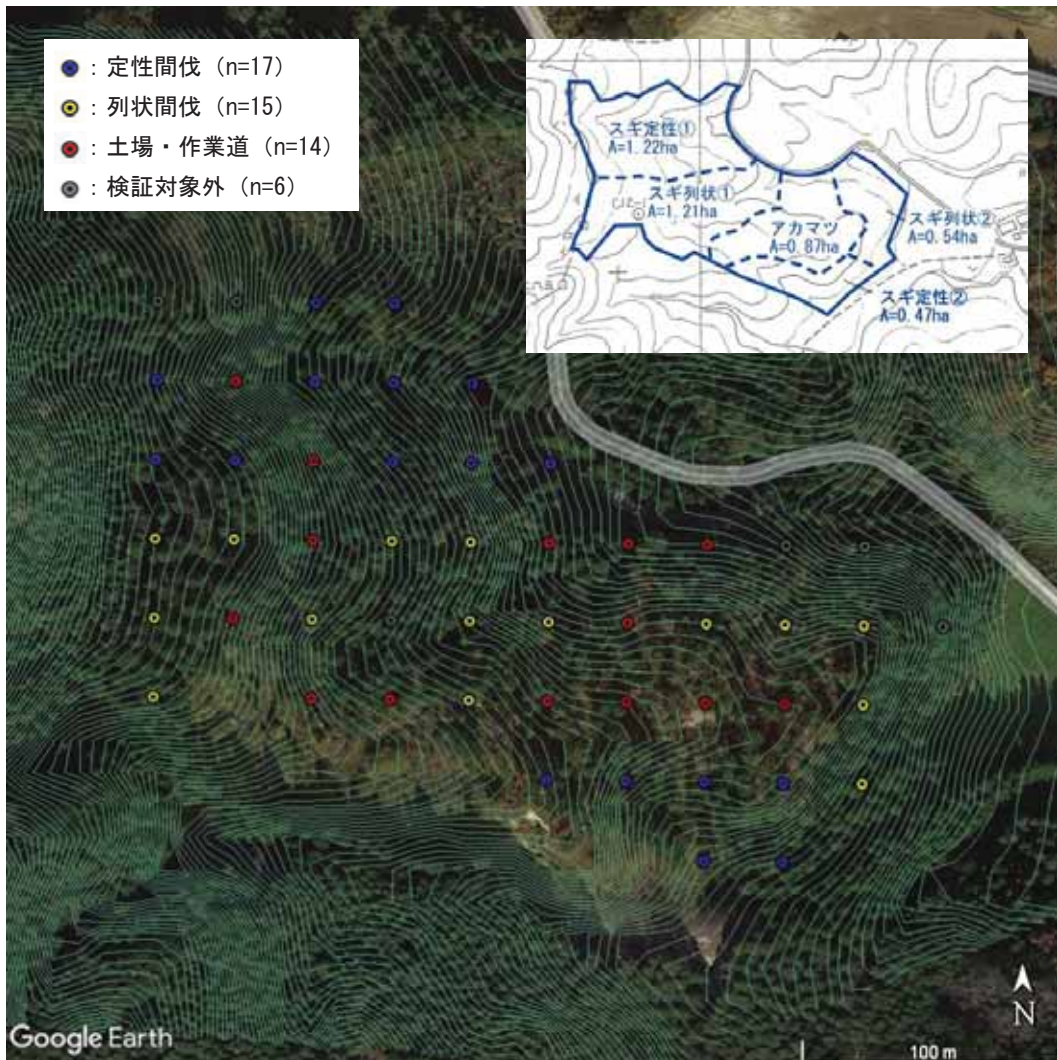


図 2-20 羽倉事業地空間線量率測定点

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

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

表 2-20 羽倉事業地の施業種別測定結果

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

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



(a) 地点不明：2014 年 9 月頃撮影



(b) 測点 4D 付近：2021 年 8 月 20 日撮影

写真 2-4 羽倉事業地の林況

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

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

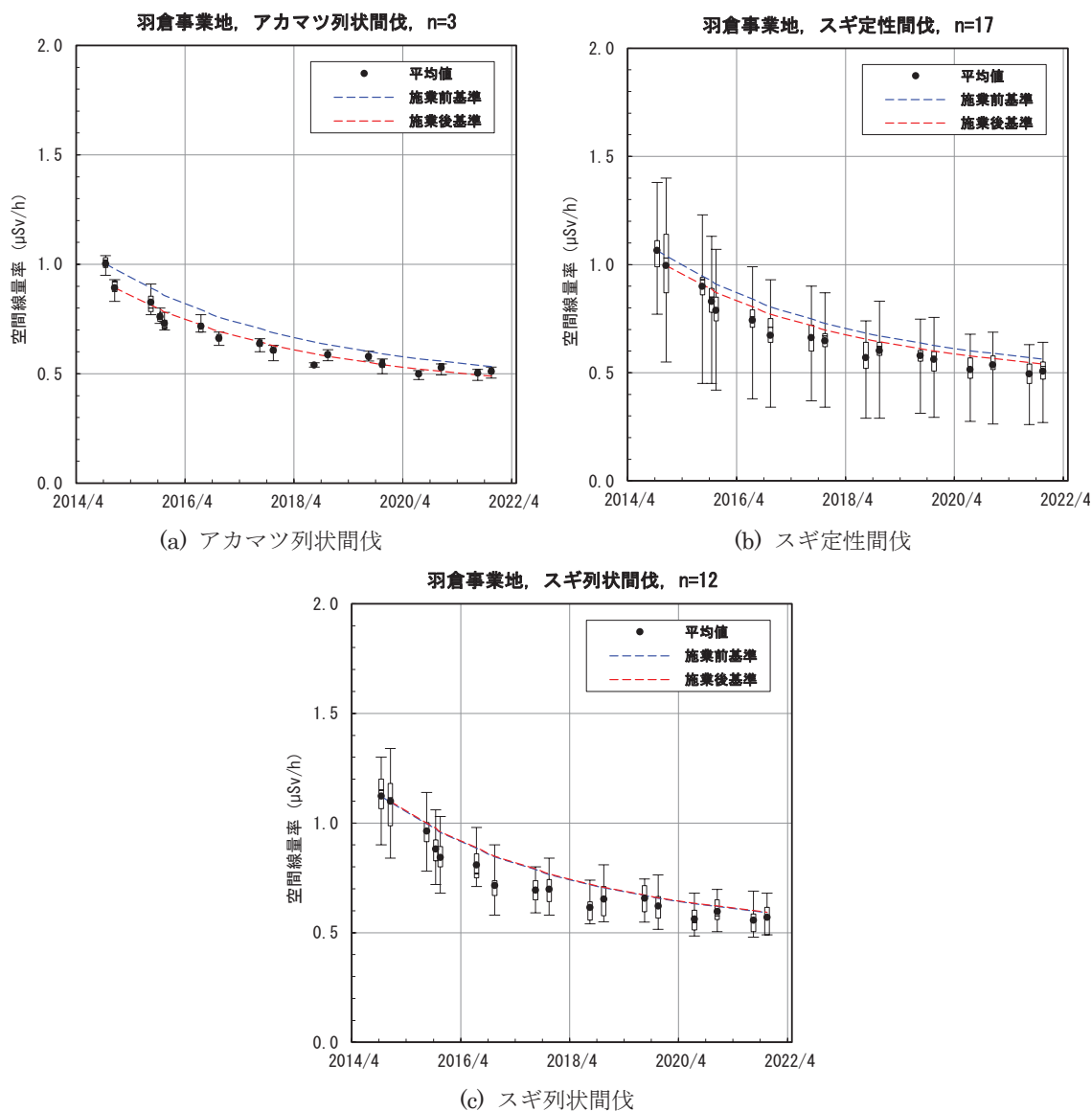


図 2-21 羽倉事業地における空間線量率推移

- ・空間線量率は実測値（地上 1m）を示す。
- ・黒丸は平均値、誤差線は、最大値及び最小値を示し、誤差線に付属する矩形の上下端は、第 3 四分位数及び第 1 四分位数を示す。
- ・青色の破線は作業前の空間線量率を基準とした物理減衰による空間線量率の低減を示し、赤色の破線は作業後の空間線量率を基準とした物理減衰による空間線量率の低減を示す。物理減衰補正は、放射性セシウム Cs-134 と Cs-137 の初期の存在比と半減期の違いを考慮して算出したものである。

### ③ 毛戸事業地

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

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

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

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



図 2-22 毛戸事業地空間線量率測定点

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

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

表 2-21 毛戸事業地の施業種別測定結果

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

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



(a) 測点 No.3 付近：2014 年 8 月頃撮影



(b) 測点 No.3 付近：2021 年 8 月 7 日撮影

写真 2-5 毛戸事業地（間伐区）の林況



(a) 新植箇所：2015 年 4 月頃撮影



(b) 測点 No.5 付近：2021 年 8 月 7 日撮影

写真 2-6 毛戸事業地（皆伐区）の林況

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

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



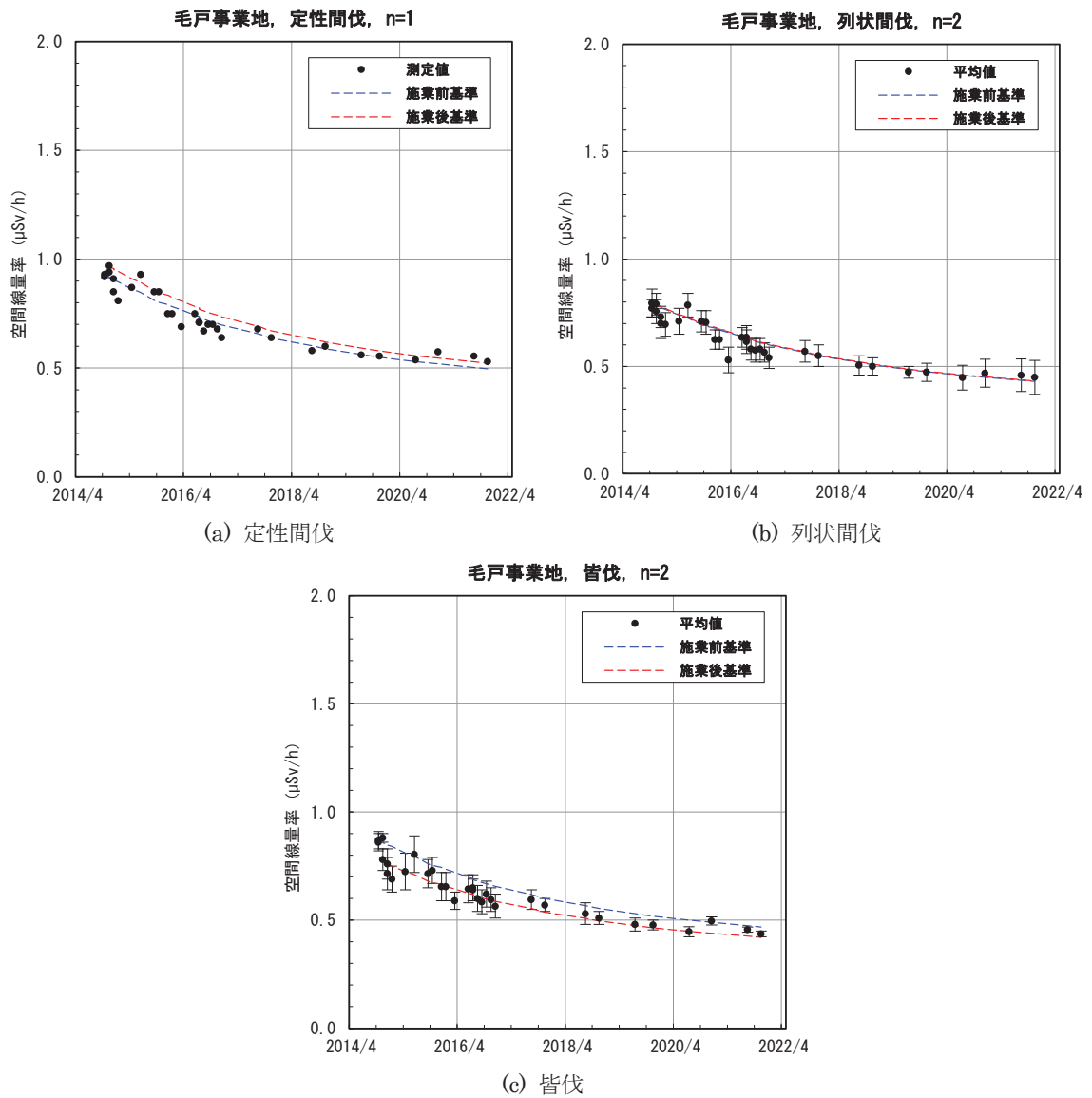


図 2-23 毛戸事業地における空間線量率推移

- ・空間線量率は実測値（地上 1m）を示す。
- ・黒丸は測定値もしくは 2 点の平均値（中央値）、誤差線は最大値と最小値を示す。
- ・青色の破線は作業前の空間線量率を基準とした物理減衰による空間線量率の低減を示し、赤色の破線は作業後の空間線量率を基準とした物理減衰による空間線量率の低減を示す。物理減衰補正は、放射性セシウム Cs-134 と Cs-137 の初期の存在比と半減期の違いを考慮して算出したものである。

#### ④ 二枚橋事業地

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

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

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

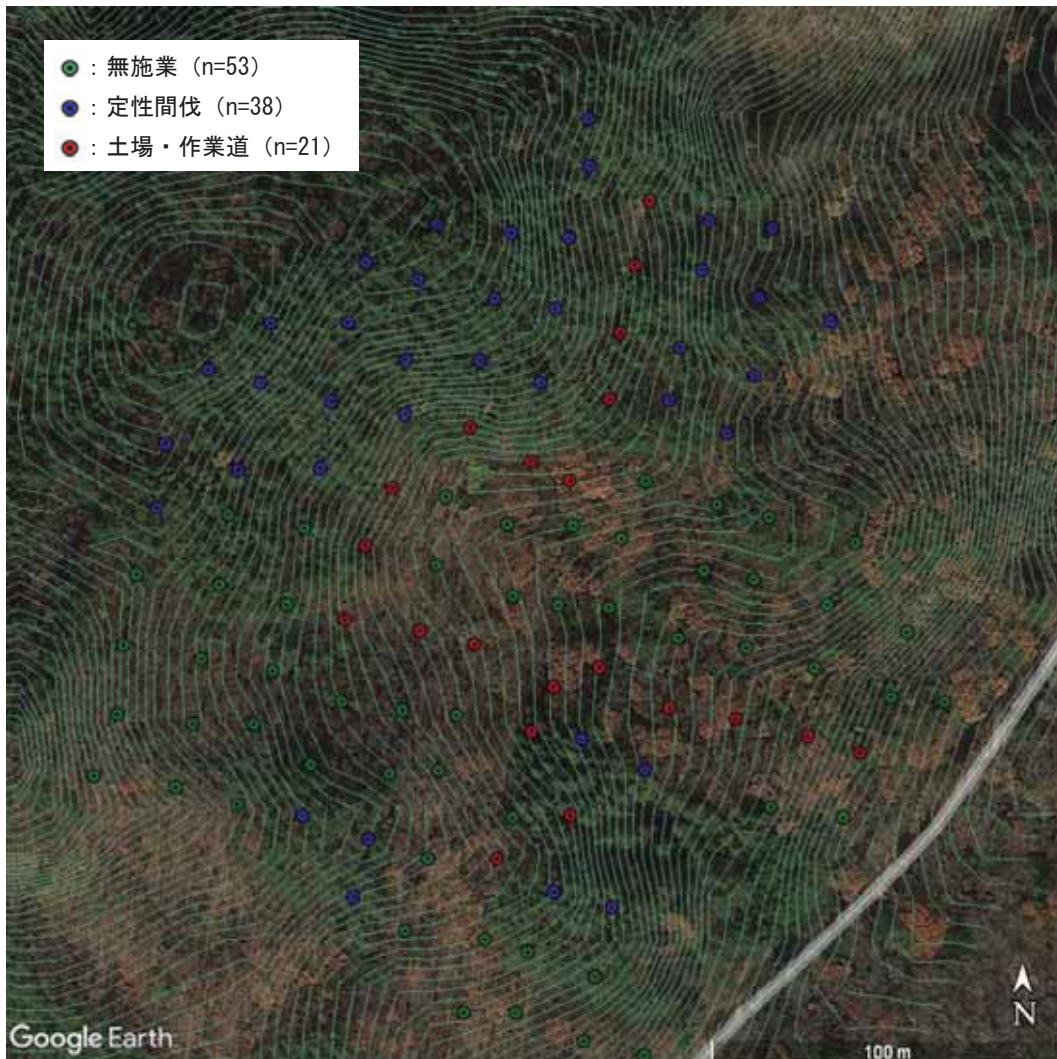


図 2-24 二枚橋事業地空間線量率測定点（2015 年 8 月測定以降）

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



(a) 事業区域と間伐範囲の関係

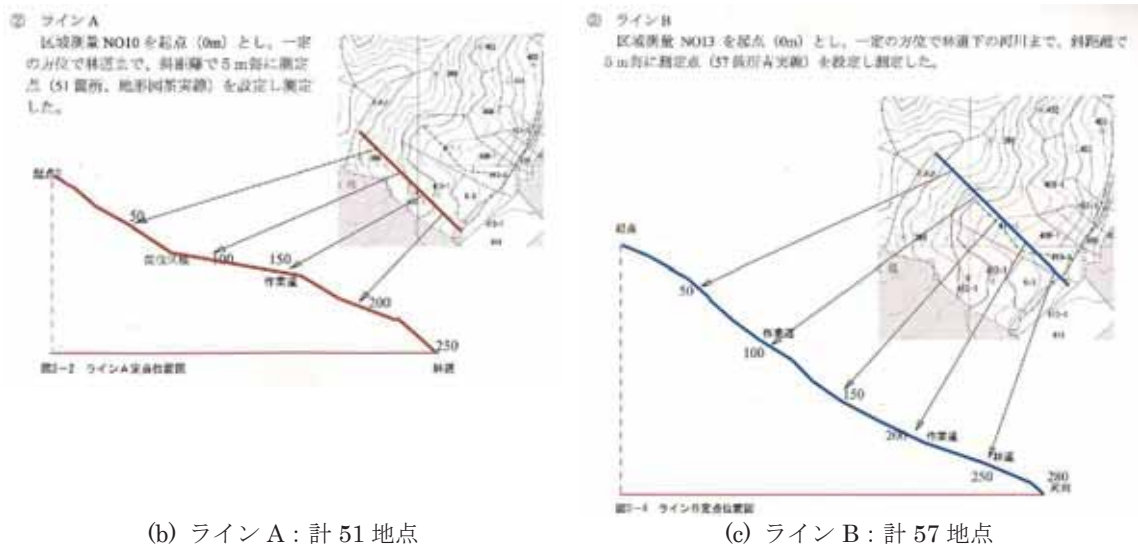


図 2-25 二枚橋事業地空間線量率測定点 (2016 年 1 月測定まで)

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

表 2-22 二枚橋事業地の施業種別測定結果

回数	測定日	アカマツ				備考
		無施業		定性間伐 (15%)		
		地点数	平均値	地点数	平均値	
1	平成 26(2014)年 10月 24日	71	2.080	13	3.170	
2	10月 30日	71	1.838	13	3.700	
3	11月 26日	71	1.536	13	3.109	施業前測定、雨
4	12月 18日	71	1.095	13	1.825	積雪あり
5	平成 27(2015)年 2月 5日	71	0.484	13	0.728	積雪あり
6	7月 30日	71	2.038	13	2.925	施業後測定
7	8月 6日	53	2.214	31	2.560	20m メッシュ設定
8	10月 6日	53	2.053	31	2.365	20m メッシュ、ライ
9	10月 7日	71	2.004	13	2.855	ン状確認測定
10	11月 30日	53	1.924	31	2.217	20m メッシュ、ライ
11	12月 1日	71	1.876	13	2.693	ン状確認測定
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	

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



(a) 地点不明：2014年10月中旬頃撮影



(b) 測点 X30Y80 付近：2021年8月3日撮影

写真 2-7 二枚橋事業地の林況

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

施業前の空間線量率測定は雨の天候下で実施されていたこと、測定高さが適切な高さに保たれていなかったなど、いくつかの原因が考えられる。いずれの事業地についても、その後の空間線量率測定結果から、無施業区域の施業前空間線量率は2.0~2.5 $\mu$ Sv/h、第1間伐区は2.5~3.0 $\mu$ 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。

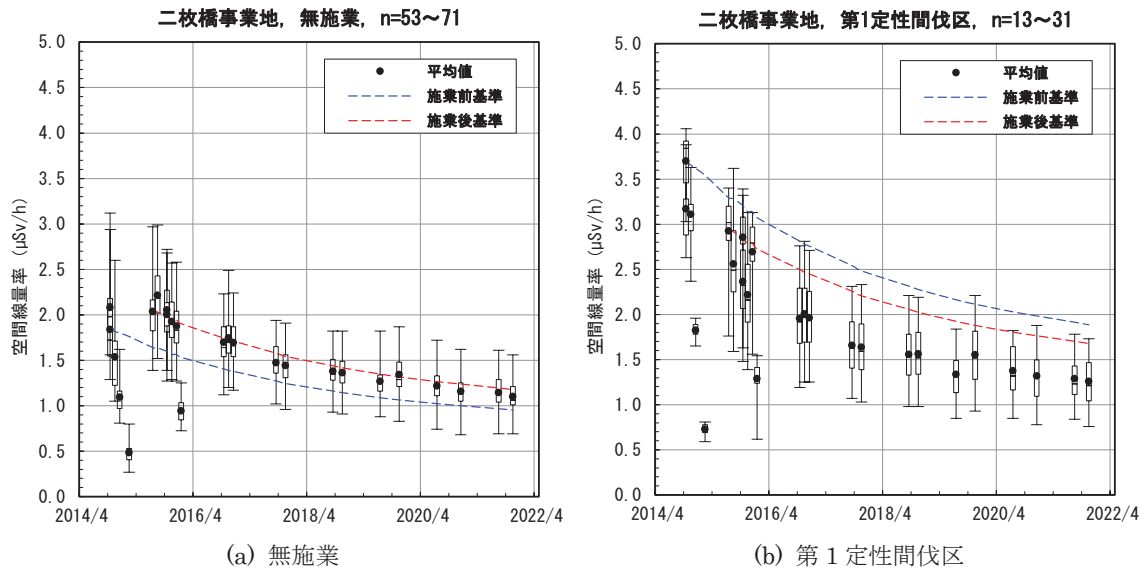


図 2-26 二枚橋事業地における空間線量率推移

- 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、誤差線に付随する矩形の上下端は、第3四分位数及び第1四分位数を示す。
- 青色の破線は作業前の空間線量率を基準とした物理減衰による空間線量率の低減を示し、赤色の破線は作業後の空間線量率を基準とした物理減衰による空間線量率の低減を示す。物理減衰補正は、放射性セシウム Cs-134 と Cs-137 の初期の存在比と半減期の違いを考慮して算出したものである。

⑤ 合子事業地

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

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

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

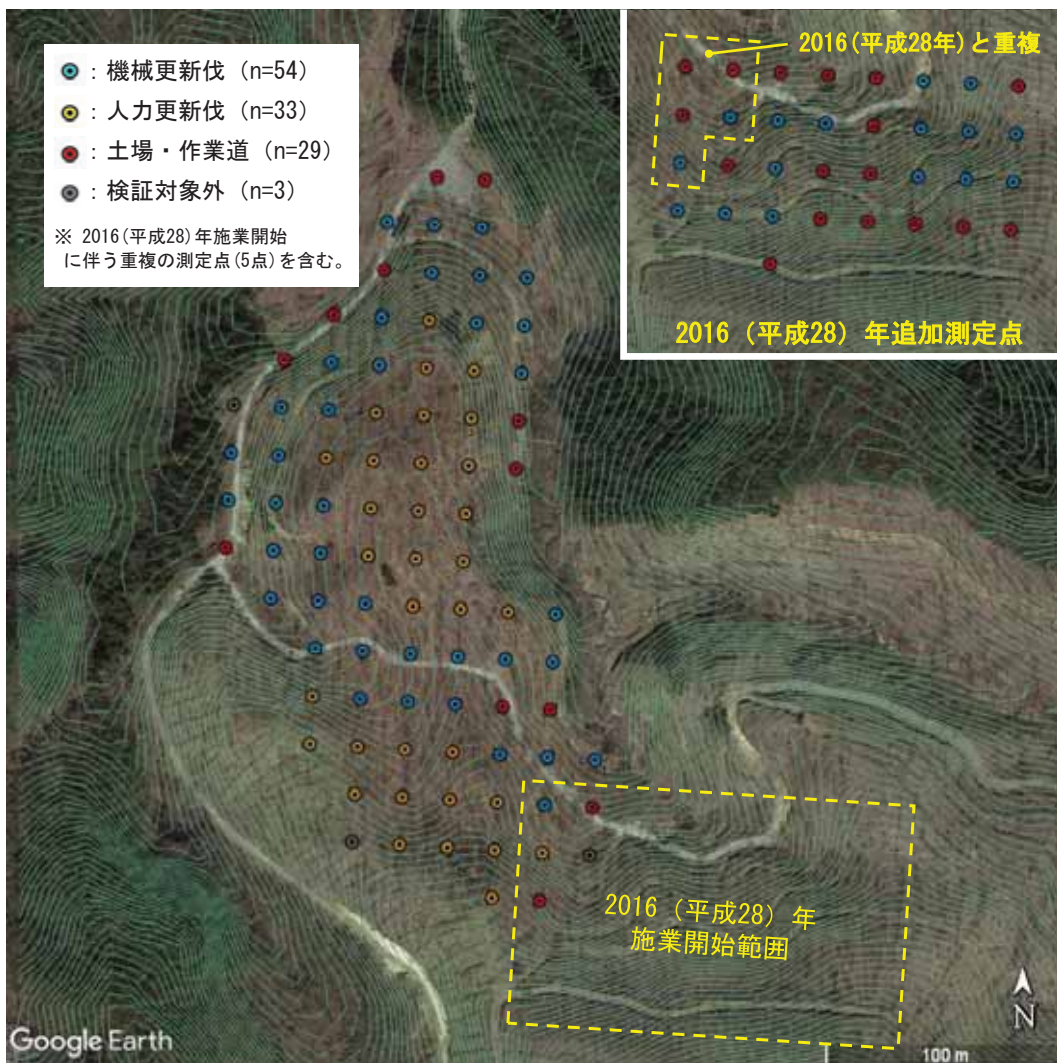


図 2-27 合子事業地空間線量率測定点

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

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

表 2-23 合子事業地の施業種別測定結果

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

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



(a) 測点 8N 付近：2015 年 7 月頃撮影



(b) 測点 8N 付近：2021 年 8 月 11 日撮影

写真 2-8 合子事業地の林況

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

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

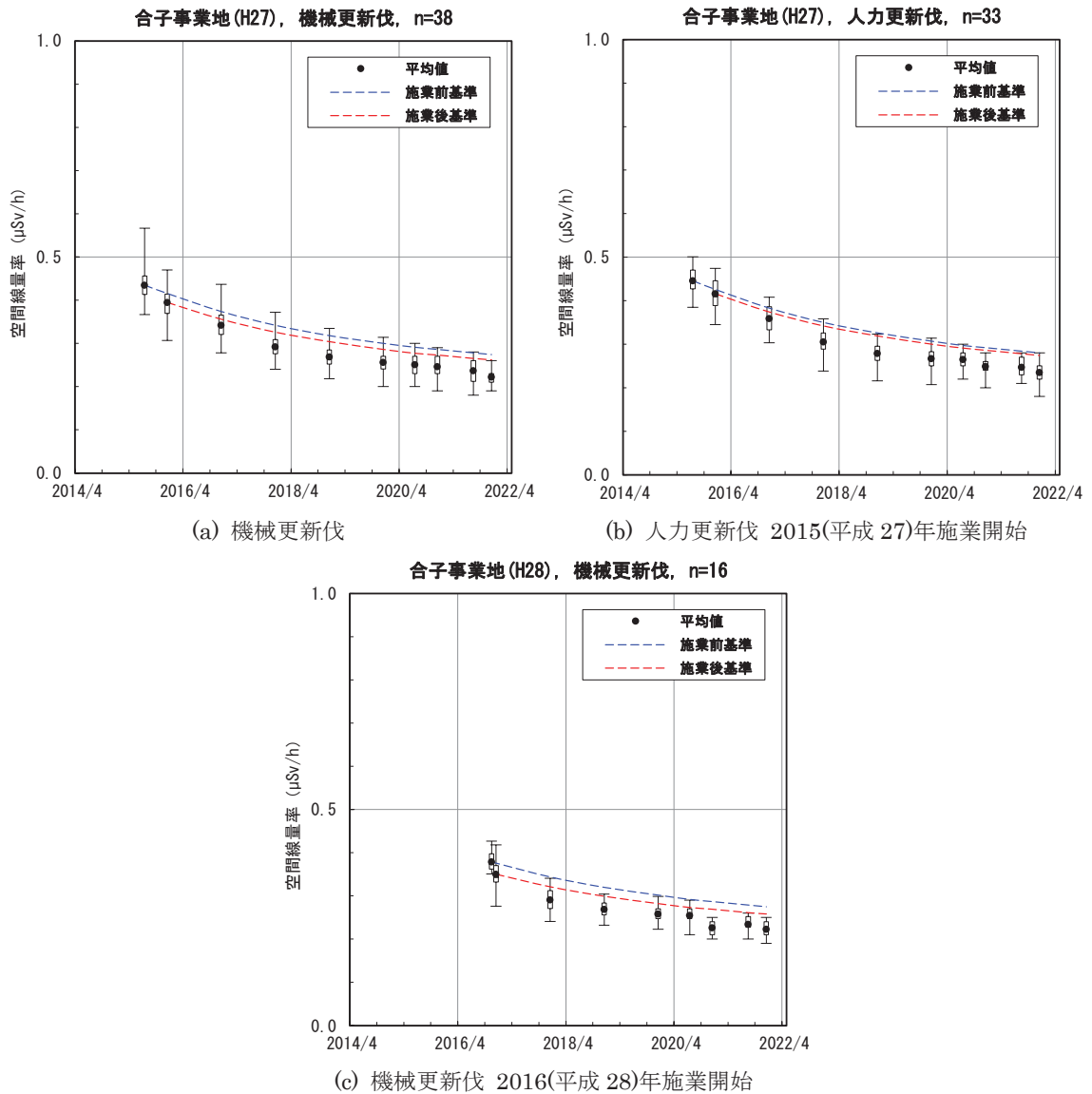


図 2-28 合子事業地における空間線量率推移

- 空間線量率は実測値（地上 1m）を示す。
- 黒丸は平均値、誤差線は、最大値及び最小値を示し、誤差線に付属する矩形の上下端は、第 3 四分位数及び第 1 四分位数を示す。
- 青色の破線は作業前の空間線量率を基準とした物理減衰による空間線量率の低減を示し、赤色の破線は作業後の空間線量率を基準とした物理減衰による空間線量率の低減を示す。物理減衰補正は、放射性セシウム Cs-134 と Cs-137 の初期の存在比と半減期の違いを考慮して算出したものである。



⑥ 大笹事業地

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

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

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



図 2-29 大笹事業地空間線量率測定点

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

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

表 2-24 大笹事業地の施業種別測定結果

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

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



(a) 地点不明：2015年12月頃撮影



(b) 測点12D付近：2021年11月26日撮影

写真 2-9 大笹事業地の林況

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

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

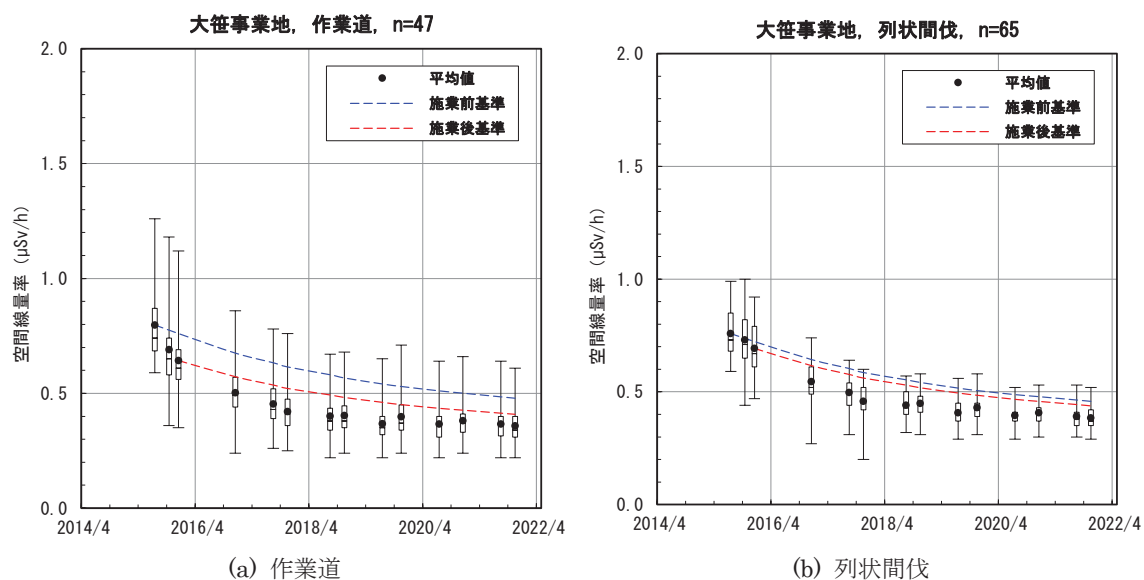


図 2-30 大笹事業地における空間線量率推移

- ・空間線量率は実測値（地上 1m）を示す。
- ・黒丸は平均値、誤差線は、最大値及び最小値を示し、誤差線に付属する矩形の上下端は、第 3 四分位数及び第 1 四分位数を示す。
- ・青色の破線は作業前の空間線量率を基準とした物理減衰による空間線量率の低減を示し、赤色の破線は作業後の空間線量率を基準とした物理減衰による空間線量率の低減を示す。物理減衰補正は、放射性セシウム Cs-134 と Cs-137 の初期の存在比と半減期の違いを考慮して算出したものである。

⑦ 白石事業地

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

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

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



図 2-31 白石事業地空間線量率測定点

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

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

表 2-25 臼石事業地の施業種別測定結果

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

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



(a) 地点不明：2017年頃撮影



(b) 測点 0-80 付近：2021年8月3日撮影

写真 2-10 臼石事業地の林況

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

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

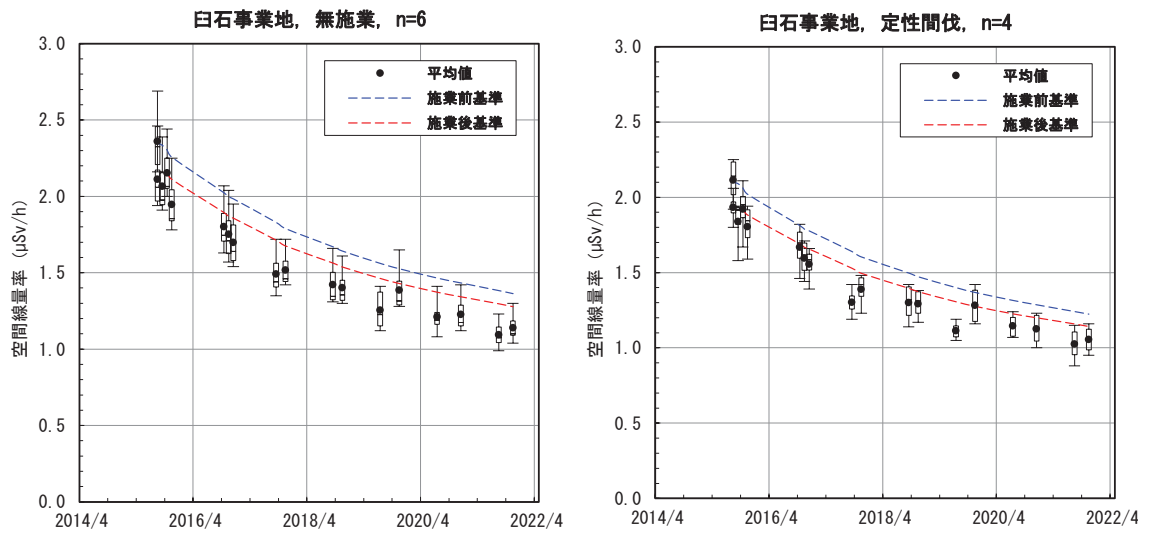


図 2-32 白石事業地における空間線量率推移

- ・ 空間線量率は実測値（地上 1m）を示す。
- ・ 黒丸は平均値、誤差線は、最大値及び最小値を示し、誤差線に付属する矩形の上下端は、第 3 四分位数及び第 1 四分位数を示す。
- ・ 青色の破線は作業前の空間線量率を基準とした物理減衰による空間線量率の低減を示し、赤色の破線は作業後の空間線量率を基準とした物理減衰による空間線量率の低減を示す。物理減衰補正は、放射性セシウム Cs-134 と Cs-137 の初期の存在比と半減期の違いを考慮して算出したものである。

⑧ 馬場平事業地

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

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

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

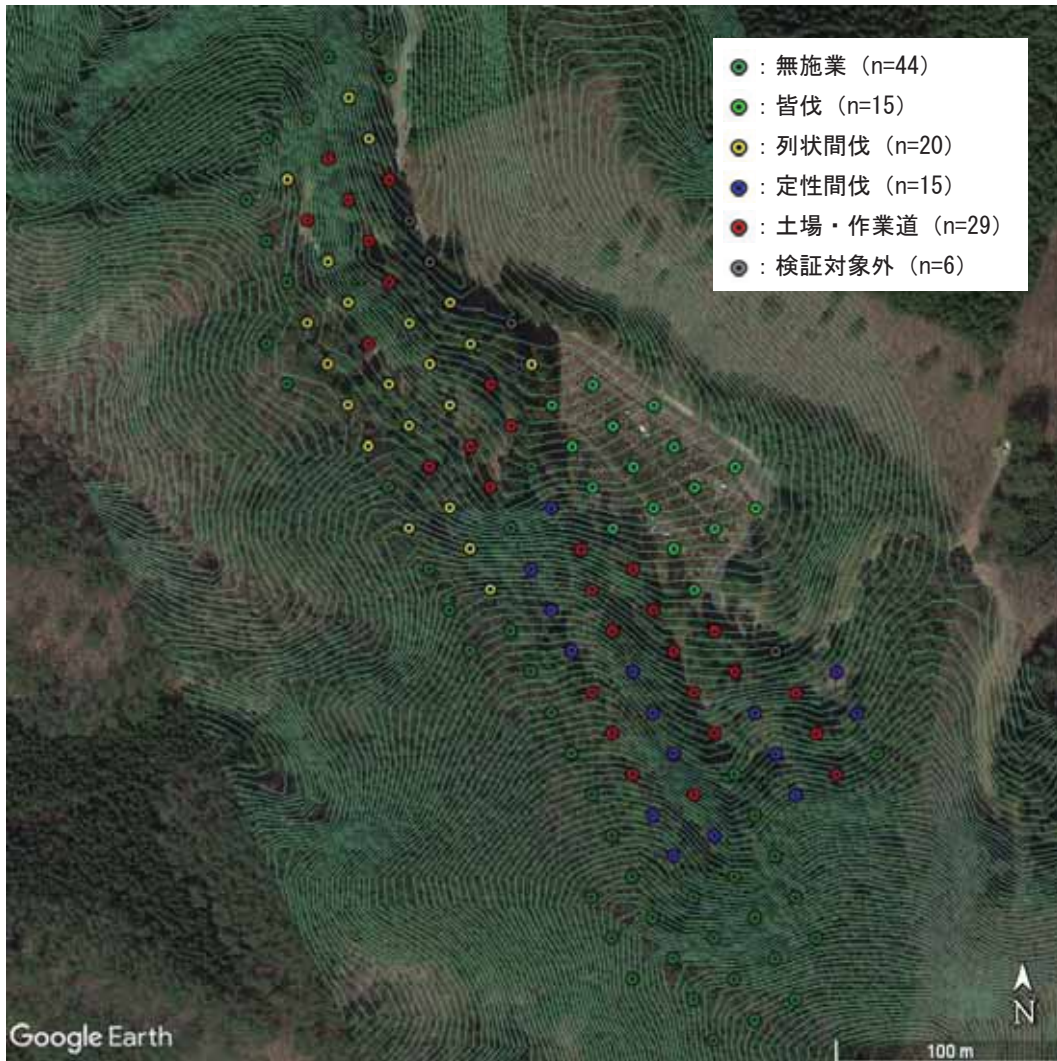


図 2-33 馬場平事業地空間線量率測定点

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

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

表 2-26 馬場平事業地の施業種別測定結果

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

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



(a) 新植箇所：2016 年 7 月頃撮影



(b) 測点 12A 付近：2021 年 8 月 5 日撮影

写真 2-11 馬場平事業地の林況

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

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



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

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

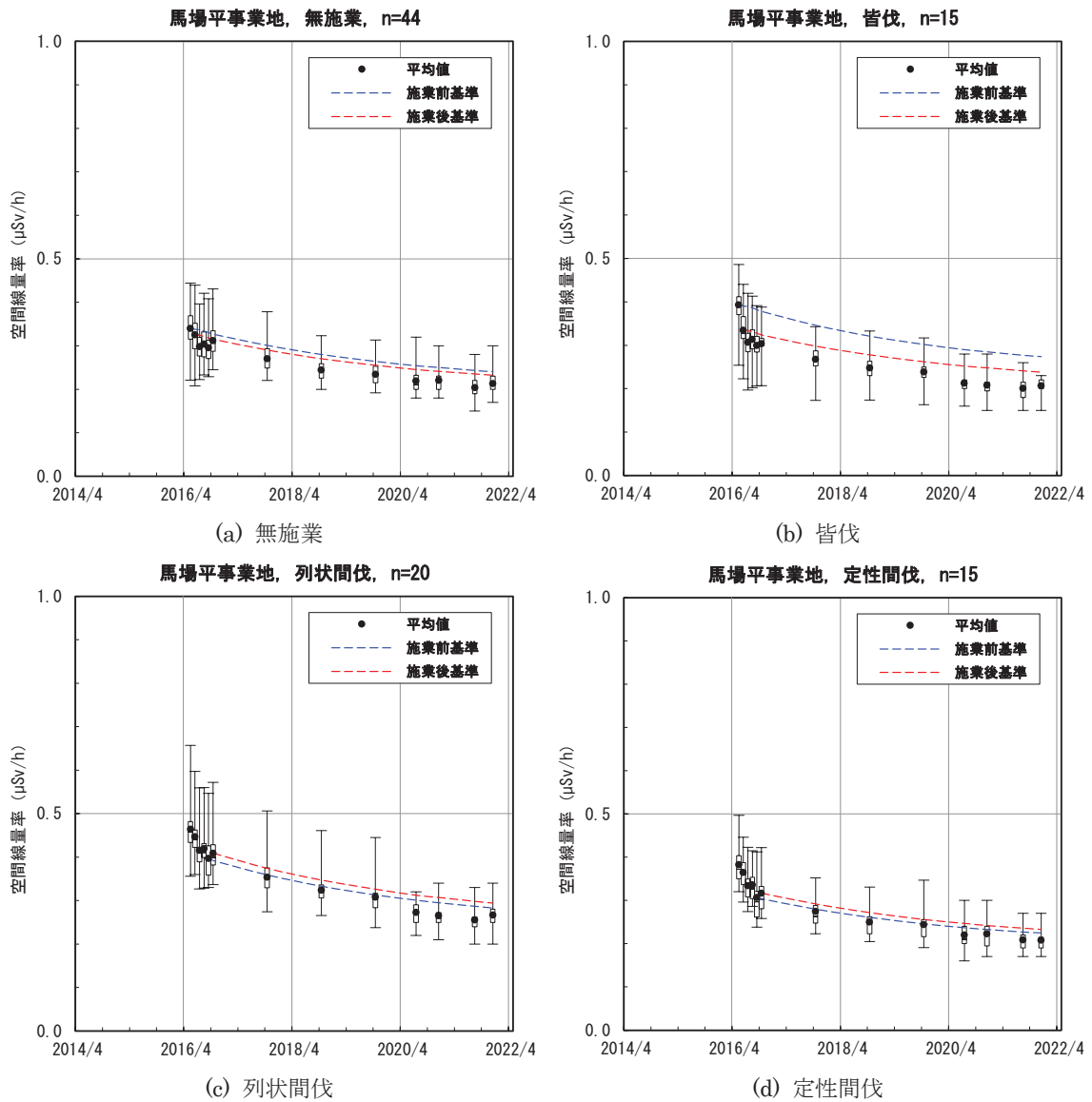


図 2-34 馬場平事業地における空間線量率推移

- ・空間線量率は実測値（地上 1m）を示す。
- ・黒丸は平均値、誤差線は、最大値及び最小値を示し、誤差線に付随する矩形の上下端は、第 3 四分位数及び第 1 四分位数を示す。
- ・青色の破線は作業前の空間線量率を基準とした物理減衰による空間線量率の低減を示し、赤色の破線は作業後の空間線量率を基準とした物理減衰による空間線量率の低減を示す。物理減衰補正は、放射性セシウム Cs-134 と Cs-137 の初期の存在比と半減期の違いを考慮して算出したものである。

### ⑨ 関沢事業地

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

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

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



図 2-35 関沢事業地空間線量率測定点

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

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

表 2-27 関沢事業地の施業種別測定結果

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

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



(a) 上流部付近：2016年8月頃撮影



(b) 測点 H9 付近：2021年8月11日撮影

写真 2-12 関沢事業地の林況

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

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



⑩ 大谷事業地

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

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

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



図 2-37 大谷事業地空間線量率測定点

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

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

表 2-28 大谷事業地の施業種別測定結果

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

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



(a) 測点 I7 付近：2016 年 8 月頃撮影



(b) 測点 I7 付近：2021 年 8 月 9 日撮影

写真 2-13 大谷事業地の林況

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

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

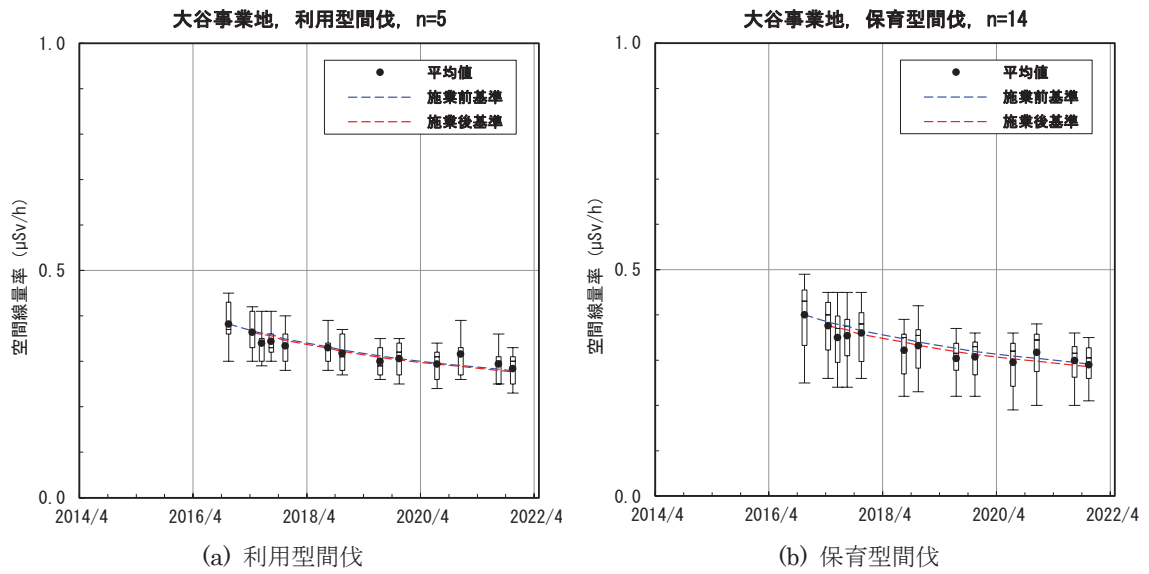


図 2-38 大谷事業地における空間線量率推移

- 空間線量率は実測値（地上 1m）を示す。
- 黒丸は平均値、誤差線は、最大値及び最小値を示し、誤差線に付属する矩形の上下端は、第 3 四分位数及び第 1 四分位数を示す。
- 青色の破線は作業前の空間線量率を基準とした物理減衰による空間線量率の低減を示し、赤色の破線は作業後の空間線量率を基準とした物理減衰による空間線量率の低減を示す。物理減衰補正は、放射性セシウム Cs-134 と Cs-137 の初期の存在比と半減期の違いを考慮して算出したものである。

### (3) 考察

#### ① 皆伐及び間伐による空間線量率の変化

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

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

表 2-29 過年度事業地施業種別空間線量率増減率

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

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

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



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

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

## ② 施業後の空間線量率の傾向

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

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

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

## ③ 今後の検討事項

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

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

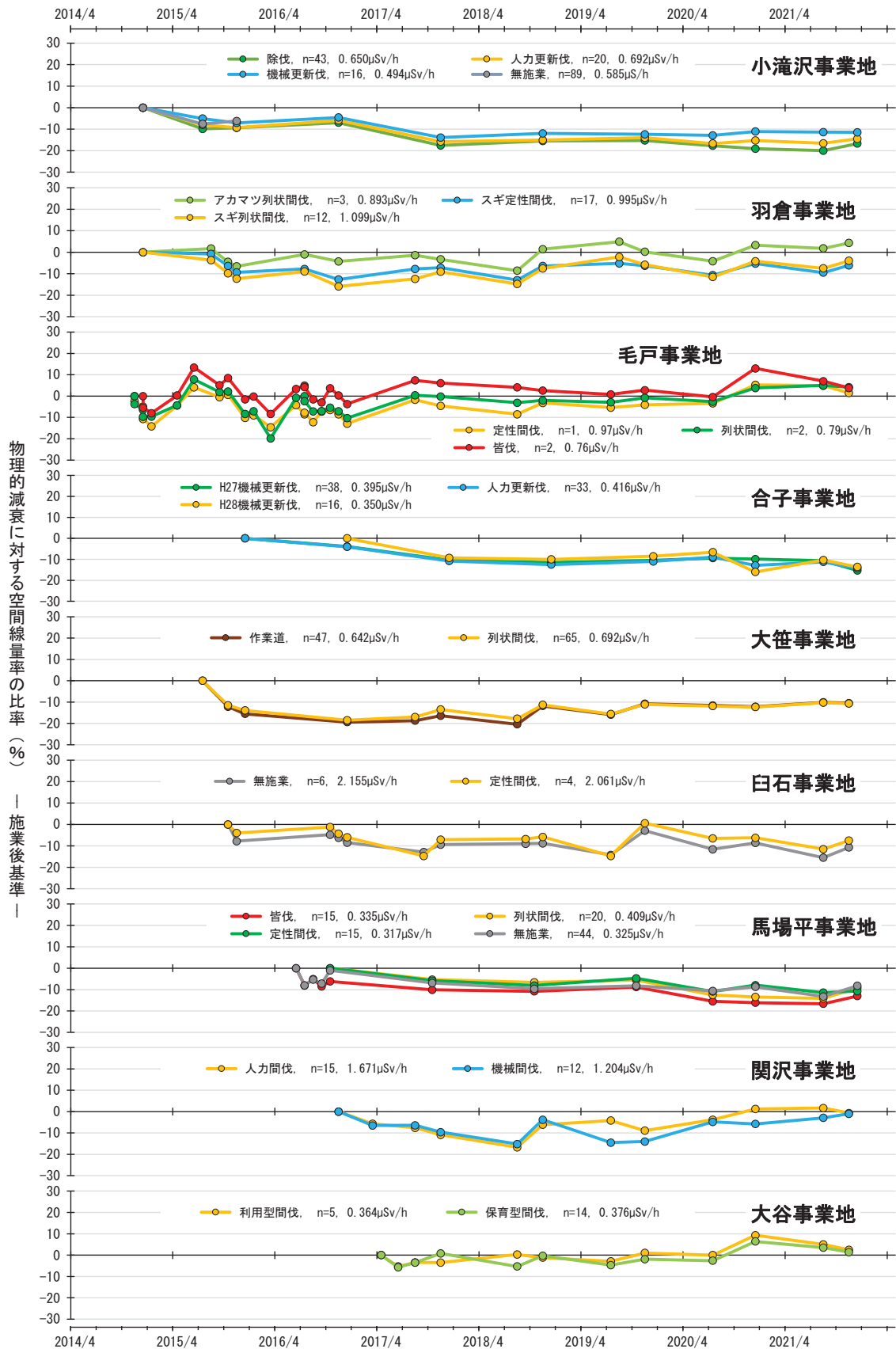


図 2-39 各事業地における施業後の物理的減衰に対する空間線量率の比率の推移

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