

2. 森林施業等が空間線量率に与える影響の検証

2.1. 皆伐及び間伐が空間線量率に与える影響の把握（広野試験地）

(1) 目的

皆伐及び間伐の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) 試験地と試験方法

1) 試験地及び作業の概要

調査は、広野試験地で実施した。各作業区の概要を表 2-1 に、配置を図 2-1、図 2-2 に示す。

間伐区は、広野町上浅見川東黒森のスギ人工林内に位置する (37° 12'45"N, 140° 55'13"E 付近)。ここに 60m×60m の作業区を 2 箇所設置し、平成 24(2012)年 1 月から 3 月にかけて定性間伐 (本数間伐率 25%、材積間伐率 15.4%) と、列状間伐 (本数間伐率 25% (1 伐 3 残)、材積間伐率 21.7%) を実施した。作業実施前の空間線量率は、平成 24(2012)年 1 月時点で、定性間伐区が 0.52 μ Sv/h、列状間伐区が 0.48 μ Sv/h であった。

なお、間伐区は、林業専用道開設事業により林道が区画内を横断したため、令和元 (2019) 年 5 月までの調査で終了とした。

皆伐区は、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、皆伐区では、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 各作業区の概要

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
定性間伐区	スギ林 (55 年生) (870 本/ha)	0.36ha (60m×60m)	23°	定性間伐 (本数間伐率 25%)、落葉等除去	0.52 μ Sv/h	95 kBq/m ²
列状間伐区	スギ林 (55 年生) (1460 本/ha)	0.36ha (60m×60m)	24°	列状間伐 (1 伐 3 残)、落葉等除去	0.48 μ Sv/h	95 kBq/m ²
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	110 kBq/m ²

*1 間伐区は平成 31(2019)年度(調査終了)時点、皆伐区は伐採を行った時点(2012 年 1 月)のもの

*2 試験区に設置した試験斜面枠の平均斜度

*3 作業前の平成 24(2012)年 1 月 25~26 日に、地上 1m の高さで測定

*4 第 3 次航空機モニタリング公表値(平成 23(2011)年 7 月 2 日時点)

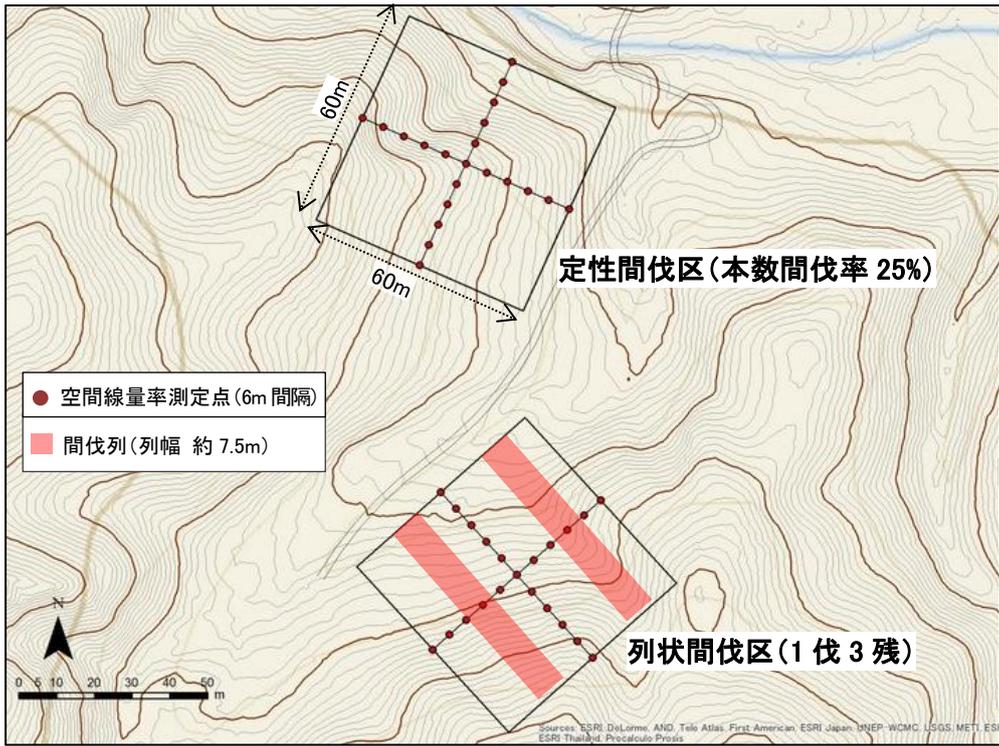


図 2-1 間伐区

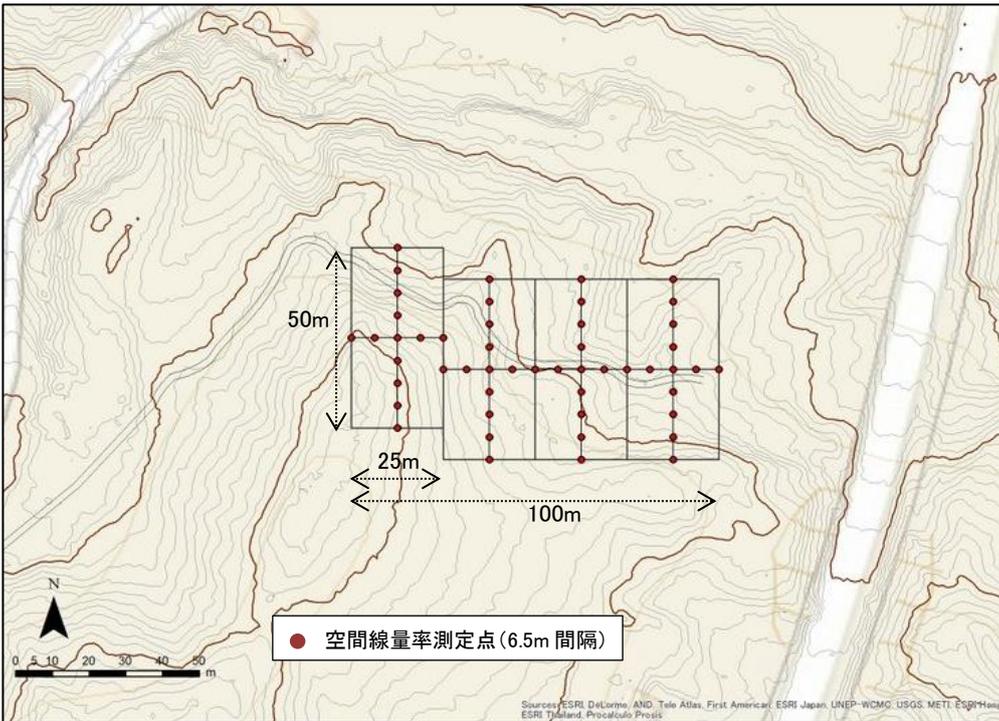


図 2-2 皆伐区



定性間伐区 作業前



定性間伐後



平成 30(2018)年 5 月時点



列状間伐区 作業前



列状間伐後



平成 30(2018)年 5 月時点



皆伐区 作業前



皆伐後



令和 2(2020)年 5 月時点

写真 2-1 各作業区の概況

2) 空間線量率の測定

空間線量率は、7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、作業区の中心を通過する十字状に配置しており、間伐区には、6m 間隔で 21 地点、皆伐区には 6.25m 間隔で 50 地点を設定した(図 2-1、図 2-2)。ただし、皆伐区の測定点については、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が、定性間伐区と列状間伐区では、作業実施前の平成 24(2012)年 1 月の測定時に約 10cm の積雪があり、雪の遮蔽効果による空間線量率の低減が考えられたため、作業区内の 10 測定点の積雪前と積雪時の測定値の比率を積雪補正值(23%)として用いることで、積雪による遮蔽の影響を補正した。

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	-		

()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。

皆伐区の測定点 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

各作業区における空間線量率の推移を図 2-3 に示す。

作業完了後から約 9 年間の空間線量率は、皆伐区で物理学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、表 2-3、図 2-4 のとおり、作業前を基準（100%）として、比率で示した（測定精度を踏まえ、低減率は、有効数字 2 桁で扱うものとし、表中には参考として小数点以下 1 桁も示した）。さらに、作業種間の違いを Steel-Dwass 多重比較検定を用いて求めた。その結果、作業直後（間伐区 2012/2/9、皆伐区 2012/2/27）の空間線量率は、作業種による違いがみられなかった。

皆伐区は、作業直後から 1 年 4 ヶ月（2013/6）の間に他の作業種よりも空間線量率の低減が進んだ。1 年 4 ヶ月（2013/6）以降の推移においては、物理学的減衰に対する比率は、上下しながら推移しており、作業種間の相対関係に変化がない。作業の効果が表れた後、安定して推移したと言える。

物理学的減衰に対する比率は、上昇と下降を繰り返し、平成 28（2016）年度までは全体的にはほぼ横ばいもしくは、わずかに下方に推移していたが、平成 29（2017）年度以降は下方への推移を示した。空間線量率は、物理学的減衰よりもやや低減が進んで推移したとみられる。

長期モニタリングにより、作業完了後の空間線量率の推移の傾向として、一定期間（1 年 4 ヶ月）経過後、安定して推移したことが確認された。推移が安定したとみなされた平成 25(2013)年 6 月以降の期間平均値をみると、作業完了後の空間線量率は、間伐（2019/5 まで）で 13～19%、皆伐（2019/12 まで）で 23%低減したことが示された。皆伐による低減率は、間伐による低減率よりも有意に低く、定性間伐と比較すると 1 割程度低かった。

なお、空間線量率の変動に明確な季節性は示されなかったが、直近の数年間においては夏季（8、9 月）にかけて空間線量率が下がる傾向がみられている（図 2-4）。

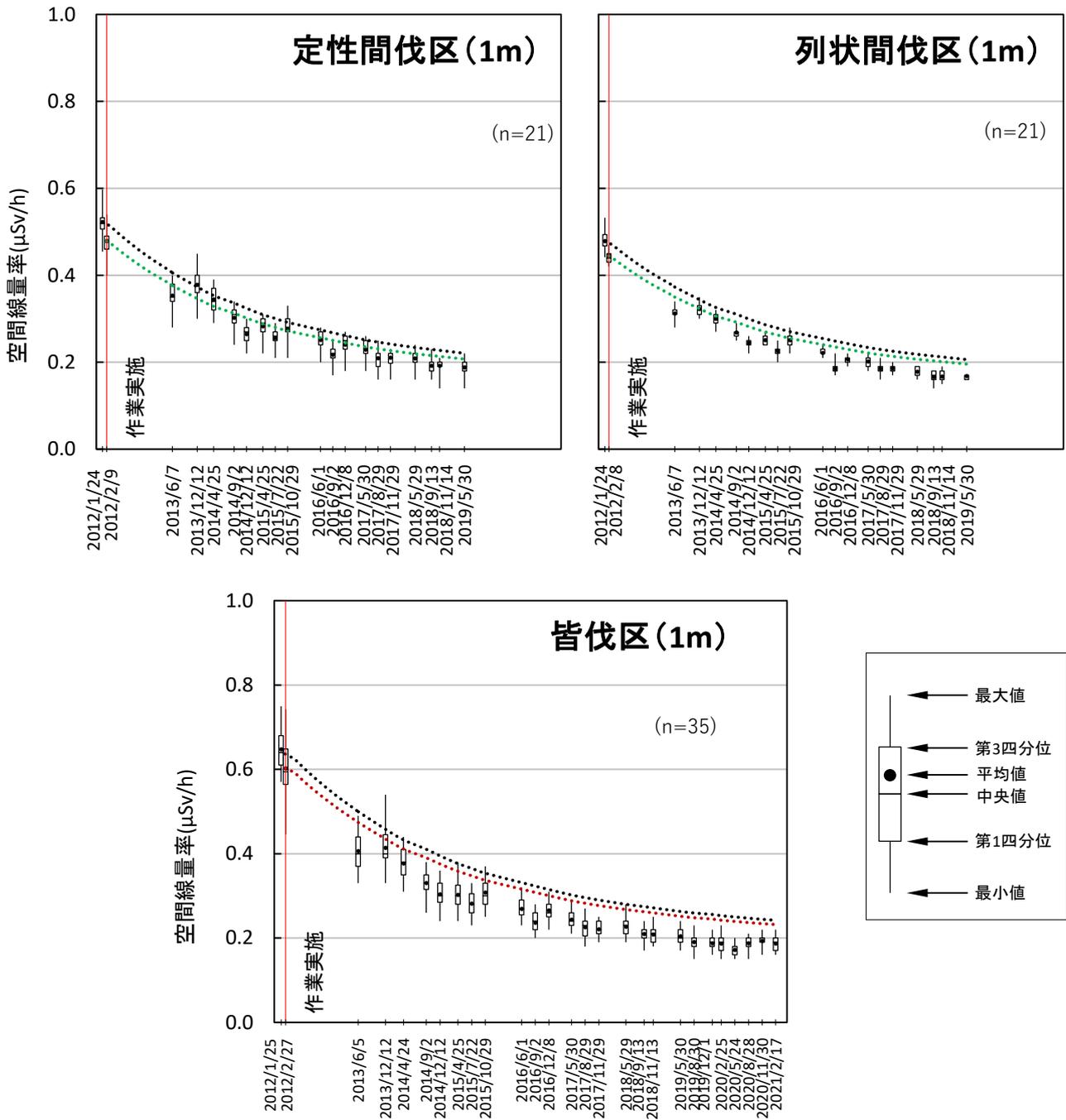


図 2-3 広野試験地における間伐（スギ林）及び皆伐（アカマツ広葉樹混交林）実施後の空間線量率の推移

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

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

間伐区は、作業前の空間線量率測定時に約 10cm の積雪があり、雪の遮蔽効果による空間線量率の低減が考えられたため、作業区内の 10 測定点の積雪前と積雪時の比率を積雪補正值(23%)として用いることで、積雪による遮蔽の影響を補正した。

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

表 2-3 物理学的減衰に対する空間線量率の比率及び作業種間比較

測定日	物理学的減衰に対する比率(%)							
	定性間伐		列状間伐		皆伐			
作業前	2012年 1月24日	0		0		0		
作業後	2月9日	-7.5 ± 4.7	a	-6.3 ± 3.9	a	-5.3 ± 7.2 a		
	2013年 6月7日 *	-13.4 ± 6.6	a	-16.9 ± 5.5	ab	-19.4 ± 6.5 b		
	12月12日 *	1.3 ± 7.7	a	-6.6 ± 5.8	b	-10.1 ± 7.6 b		
2014年	4月25日 *	-2.7 ± 7.2	a	-8.5 ± 6.3	b	-13.5 ± 7.2 b		
	9月2日 *	-11.0 ± 7.0	a	-14.8 ± 5.0	a	-20.9 ± 5.6 b		
	12月12日 *	-20.2 ± 5.6	a	-20.4 ± 4.1	a	-24.9 ± 5.5 b		
2015年	4月25日 *	-9.6 ± 7.6	a	-13.7 ± 5.5	ab	-21.4 ± 7.5 b		
	7月22日 *	-16.8 ± 7.1	a	-21.1 ± 6.1	a	-25.2 ± 6.6 b		
	10月29日 *	-5.9 ± 10.0	a	-7.9 ± 7.9	a	-14.2 ± 7.3 b		
2016年	6月1日 *	-9.4 ± 10.2	a	-15.1 ± 5.1	a	-21.0 ± 6.2 b		
	9月2日 *	-21.8 ± 9.3	a	-30.0 ± 7.5	b	-30.2 ± 7.8 b		
	12月8日 *	-9.2 ± 11.6	a	-17.6 ± 5.9	b	-17.8 ± 6.3 b		
2017年	5月30日 *	-10.2 ± 11.8	a	-16.2 ± 8.6	a	-22.3 ± 7.1 b		
	8月29日 *	-18.0 ± 12.5	a	-23.6 ± 7.4	ab	-27.5 ± 7.9 b		
	11月29日 *	-15.4 ± 11.1	a	-21.5 ± 6.3	a	-27.7 ± 6.7 b		
2018年	5月29日 *	-12.8 ± 13.4	a	-22.7 ± 7.8	b	-23.0 ± 6.5 b		
	9月13日 *	-20.1 ± 11.5	a	-28.0 ± 8.5	ab	-28.3 ± 5.9 b		
	11月14日 *	-19.1 ± 10.9	a	-26.6 ± 8.3	b	-27.9 ± 6.4 b		
2019年	5月30日	-18.5 ± 12.7		-23.5 ± 5.5		-26.7 ± 7.3		
	8月30日	(終了)		(終了)		-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		
作業後期間	2013年6月～2019年5月	-12.9 ± 6.4	a	-18.6 ± 6.8	ab	-22.3 ± 5.7 b		
平均値*	2013年6月～2021年2月					-24.8 ± 6.5		

物理学的減衰は作業前基準: 定性間伐区及び列状間伐区(平成 24(2012)年 1 月 24 日基準)、皆伐区(平成 24(2012)年 1 月 25 日基準)。値は、測定点ごとの平均値±標準偏差を示す。作業後期間平均値*は、平成 25(2013)年 6 月以降の計 20 回(間伐区は計 18 回)の平均値を示す。異符号間(アルファベット)は作業種間の有意差(5%有意水準)を示す(Steel-Dwass 多重比較検定)。

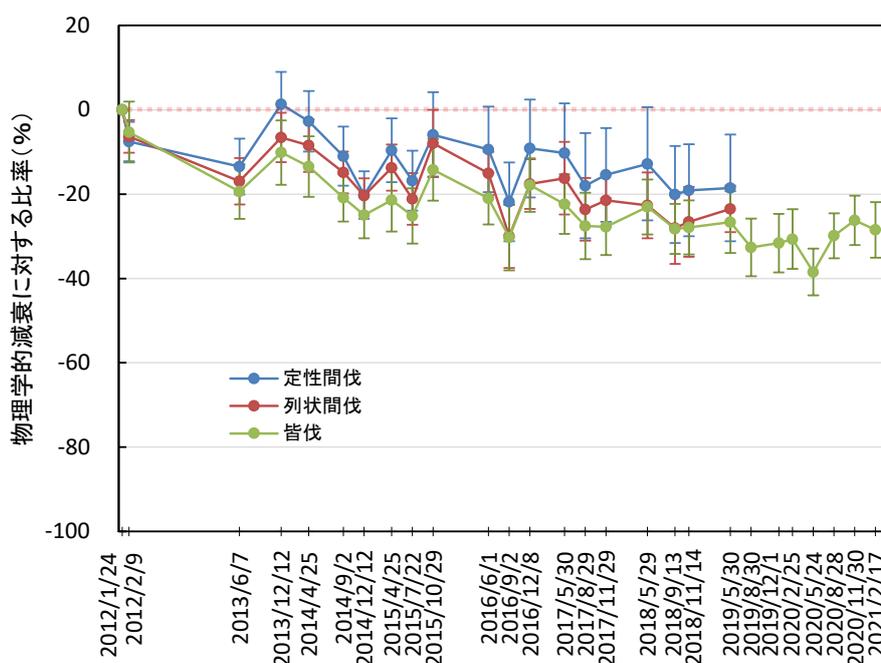


図 2-4 物理学的減衰に対する空間線量率の比率の推移及び作業種間比較
エラーバーは標準偏差を示す。

2.2. 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て、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する。

(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 2-5）。

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、図 2-6）。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。

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。

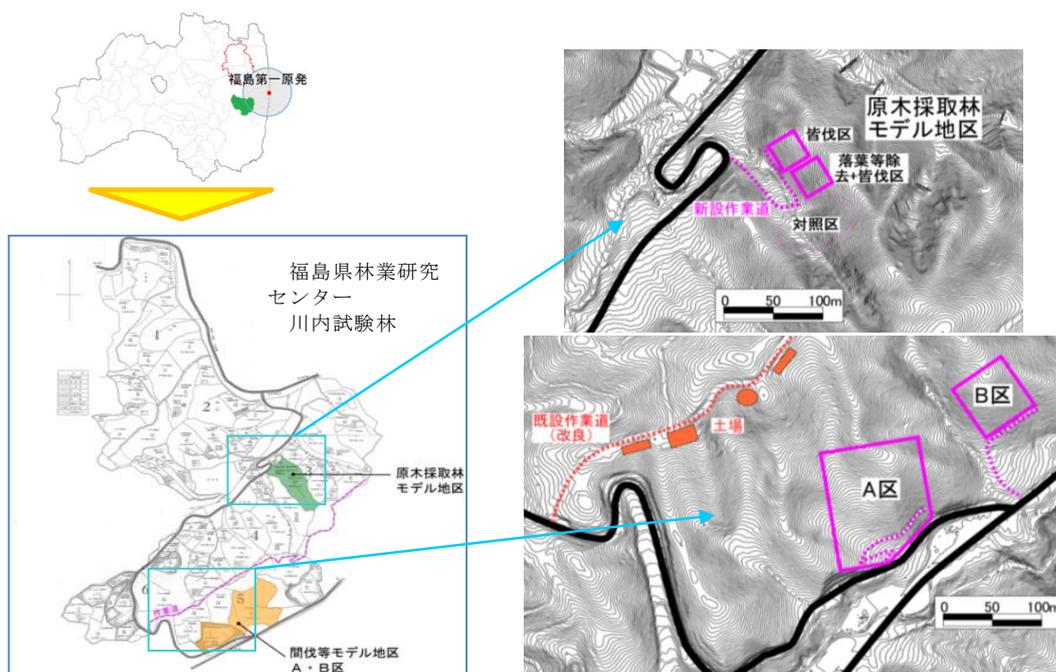


図 2-5 各試験区の位置図

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

2) 空間線量率の測定

空間線量率は、5m メッシュ上に設定された測定点 (図 2-6) 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 3 (2021) 年 3 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 2-6 に図示した位置における測定値をそれぞれ集計した²。

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。

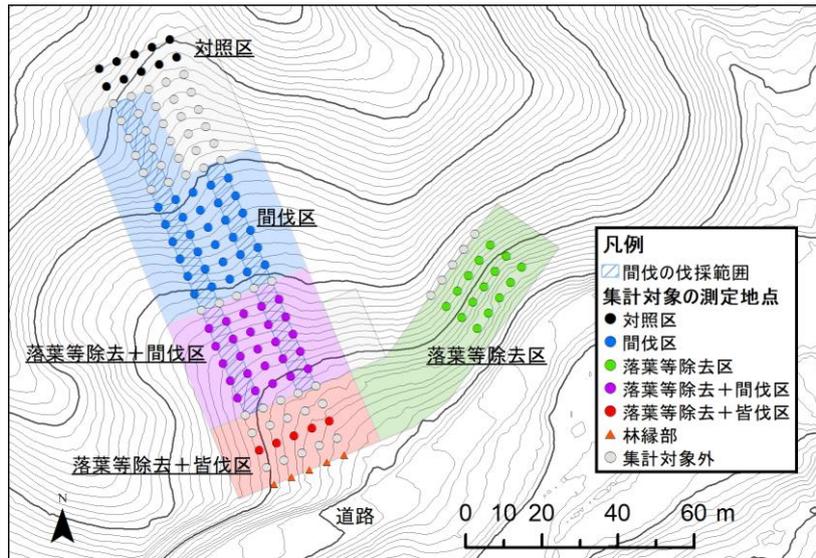


図 2-6 作業区の配置と空間線量率の測定範囲

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。

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

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。本報告書執筆時点で令和 2年 3月実施予定の測定は未実施。

(3) 調査結果及び考察

平成 28 (2016) 年度までに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、物理学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、物理学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 2-7 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、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かった (図 2-7)。

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 2-8 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 (図 2-8)。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、毎年秋頃に一旦低下し、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 (図 2-8)。令和 2 (2020) 年 12 月にも、令和元 (2019) 年 12 月と同様に、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、この比率が正の値に転じており、各種作業完了後に物理学的減衰のみで低減した理論値よりも、実際の空間線量率の平均値が上回る状態になった。一時的な変動と思われるが、今後の推移にも注意が必要と思われる。

測定回ごと (令和 2 (2020) 年 3 月 6 日、6 月 15 日、9 月 16 日、12 月 18 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 2-9 に示す。この比率は、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が、地点数が多い落葉等除去+間伐区 (n=25) を除く他の作業区では、統計的な差異は次第に不明瞭になっていた。

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

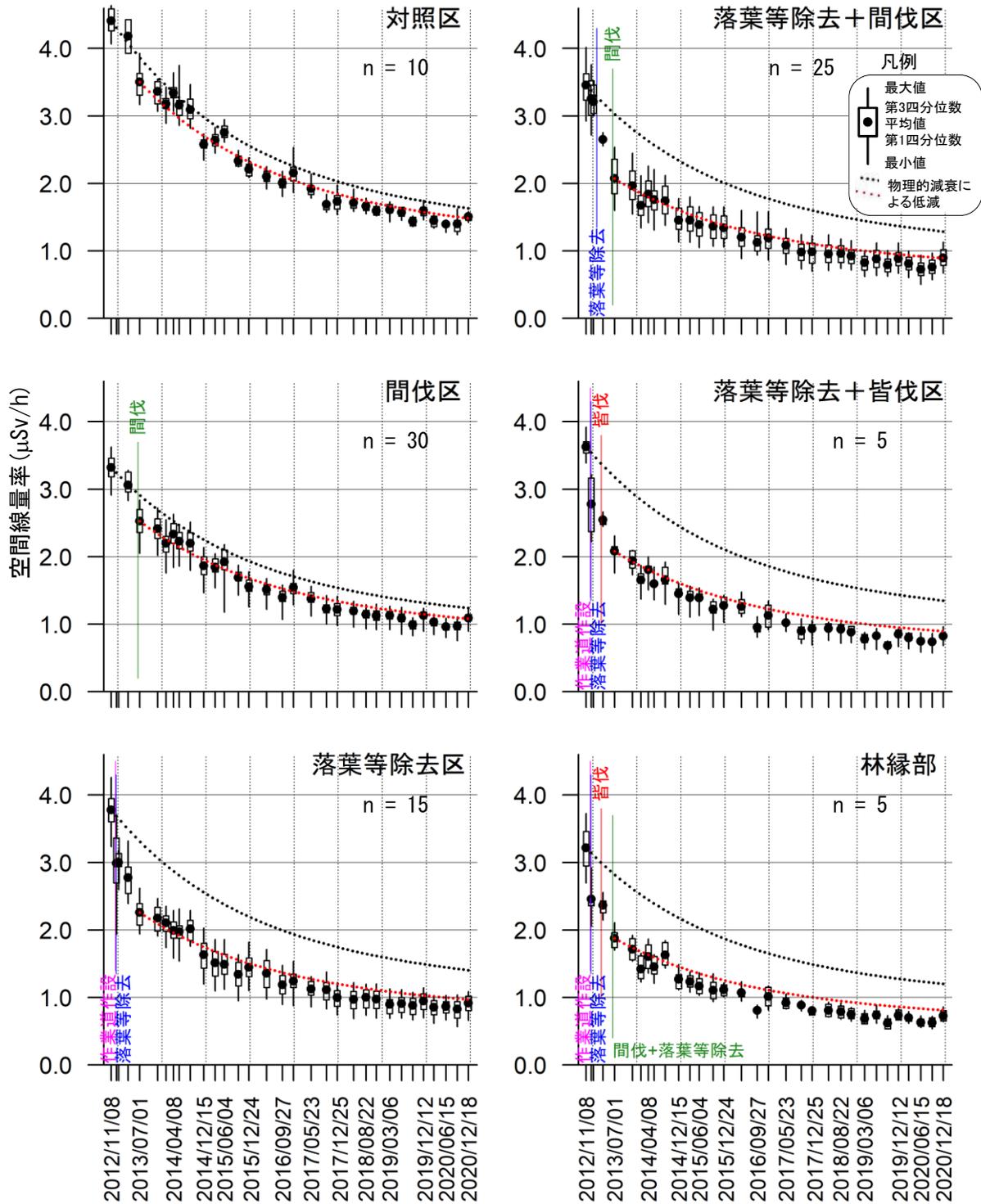


図 2-7 スギ林（A区）の各作業区における空間線量率の推移

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。

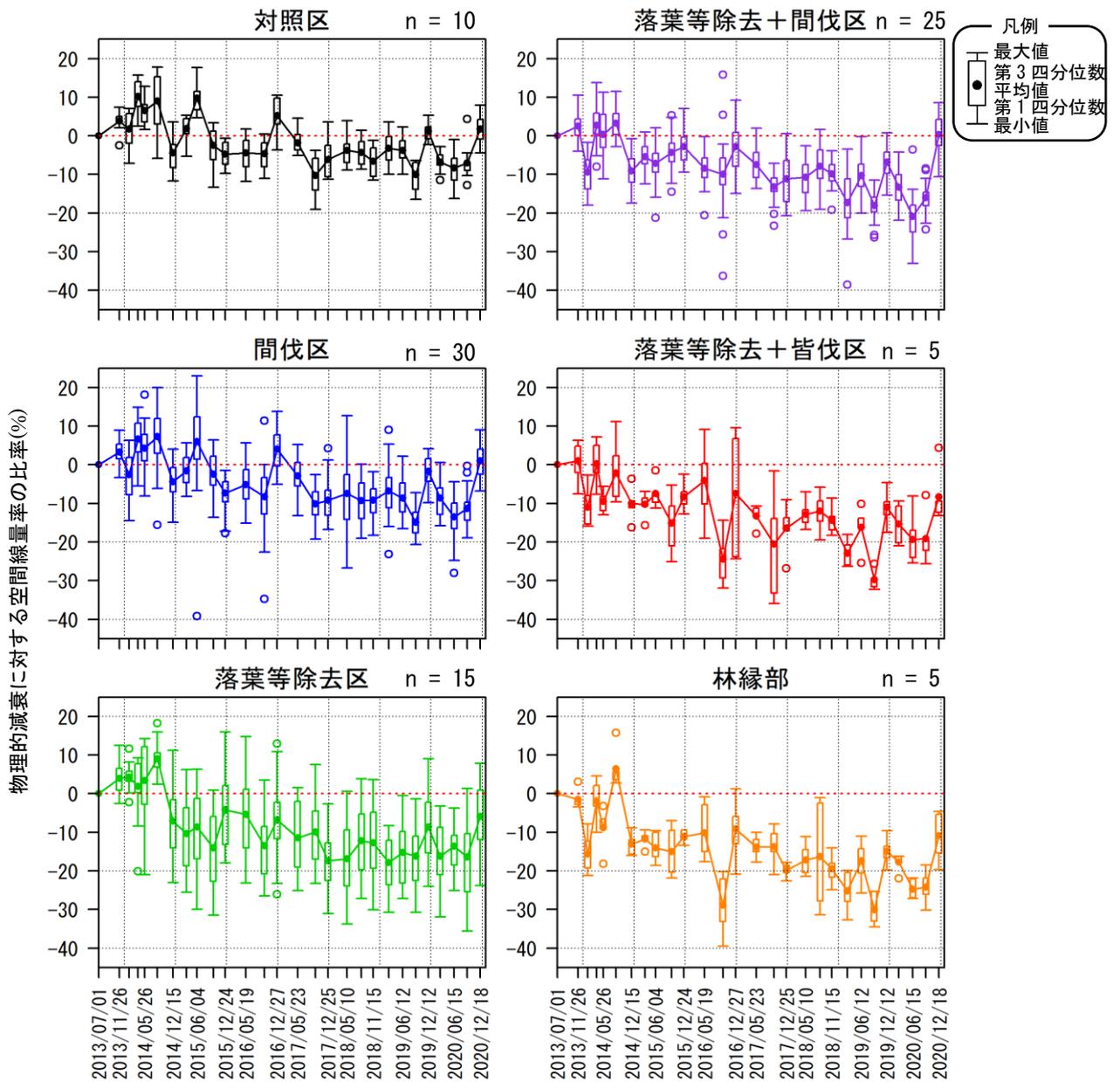


図 2-8 スギ林（A区）の各作業区における各種作業完了後の物理的減衰に対する空間線量率の比率の推移（平成 25（2013）年 7 月～令和 2（2020）年 12 月時点）

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。

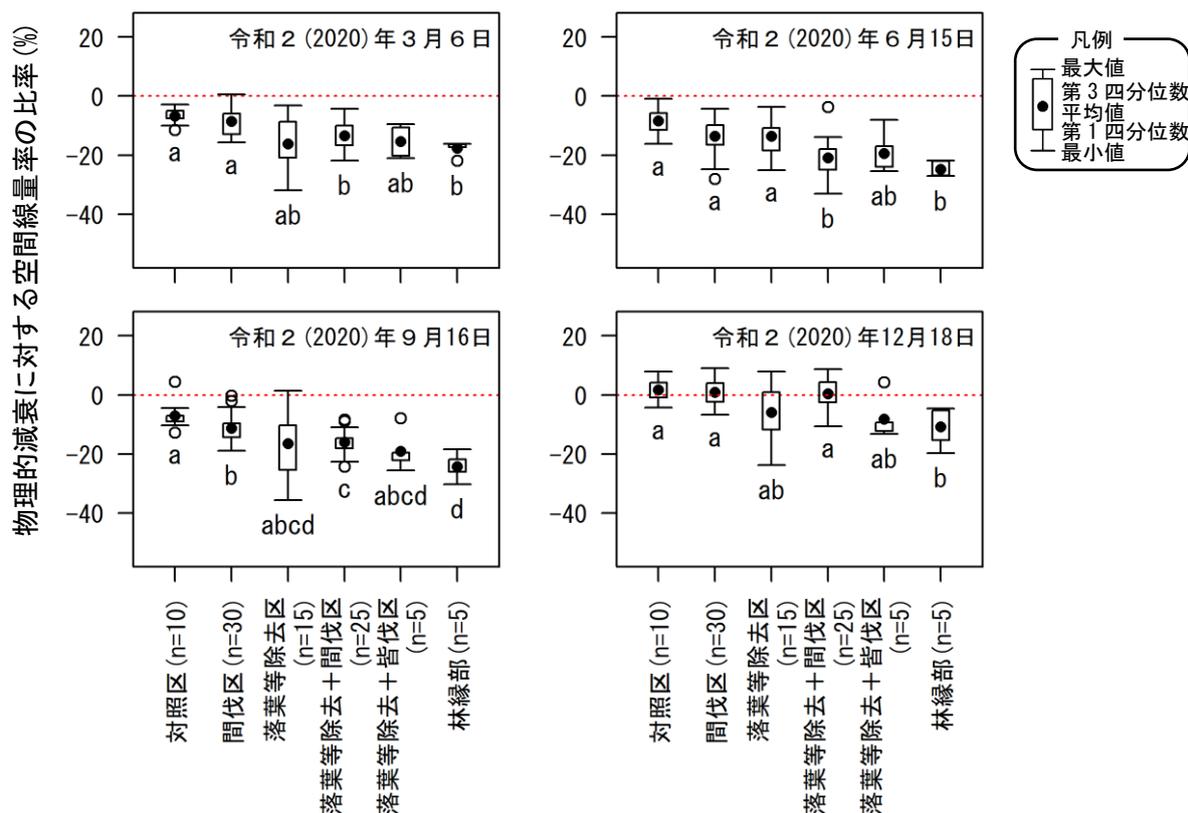


図 2-9 川内試験地スギ林（A区）の各作業区における各種作業完了後の物理的減衰に対する空間線量率の比率の比較（平成 31（2019）年 3 月～令和 2（2020）年 12 月時点）

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)を付した作業区間には有意差なし(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、物理学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、算出されており、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、令和元（2019）年頃までは、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。ただし、令和元（2019）年から令和 2（2020）年にかけて、対照区と間伐区を除く他の作業区で、この比率は正の値に転じており、各種作業後の空間線量率の追加的な低減が見られなくなっている。前述のように、本年度は冬季に少雨による乾燥の影響を、前年以上に強く受けていた可能性もあるため、今後の推移にも注意が必要と思われる。

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

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

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

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、令和元（2019）年の年間被ばく線量は、対照区では、3.0 mSv、林縁及び各種作業実施範囲では、1.4～2.1 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
対照区	3.50	3.07	2.48	2.09	1.78	1.66	1.55	1.44
間伐区	2.53	2.16	1.75	1.48	1.28	1.15	1.08	1.01
落葉等除去区	2.26	1.93	1.45	1.26	1.08	0.98	0.91	0.87
落葉等除去 +間伐区	2.07	1.69	1.39	1.17	1.02	0.95	0.85	0.80
落葉等除去 +皆伐区	2.08	1.63	1.32	1.11	0.95	0.91	0.78	0.78
林縁部	1.88	1.48	1.16	0.96	0.87	0.78	0.69	0.67

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
対照区	7.3	6.4	5.2	4.3	3.7	3.4	3.2	3.0
間伐区	5.3	4.5	3.6	3.1	2.7	2.4	2.3	2.1
落葉等除去区	4.7	4.0	3.0	2.6	2.2	2.0	1.9	1.8
落葉等除去+ 間伐区	4.3	3.5	2.9	2.4	2.1	2.0	1.8	1.7
落葉等除去+ 皆伐区	4.3	3.4	2.7	2.3	2.0	1.9	1.6	1.6
林縁部	3.9	3.1	2.4	2.0	1.8	1.6	1.4	1.4

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、過年度報告書及び後述 (2.5) のように、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が、その追加的な低減は鈍化してきている可能性がある。

今後は、このような放射性物質の下方移行の状況と、空間線量率に与える影響の変化を、より詳細にモニタリングする必要があるものと思われる。

2.3. 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する。

(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 2-5）。

試験地は、設定時には、43年生のスギ林（60m×60m）、平均斜度は、34度、放射性セシウム（Cs-134+Cs-137）の平均沈着量⁵は、1,120kBq/m²で、平成 24（2012）年 11月時点での空間線量率は 2.2～4.5 μSv/h であった。ここで、2.5m×2.5 m から 60m×60 m の範囲まで、順次面積を広げながら、落葉等除去を実施した後、また 2.5m×2.5 m から 40m×40 m の範囲まで、順次面積を広げながら皆伐作業を実施した。皆伐作業は、ウインチによる集材後、作業区域外で造材し、跡地には、スギ（3,000 本/ha）を植栽した。なお、対照区は、上記作業の範囲外に 2箇所設定した（表 2-8、図 2-10）。

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 2-10 参照）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、表 2-8 の各作業の前後、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、留意が必要である。

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、図 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。

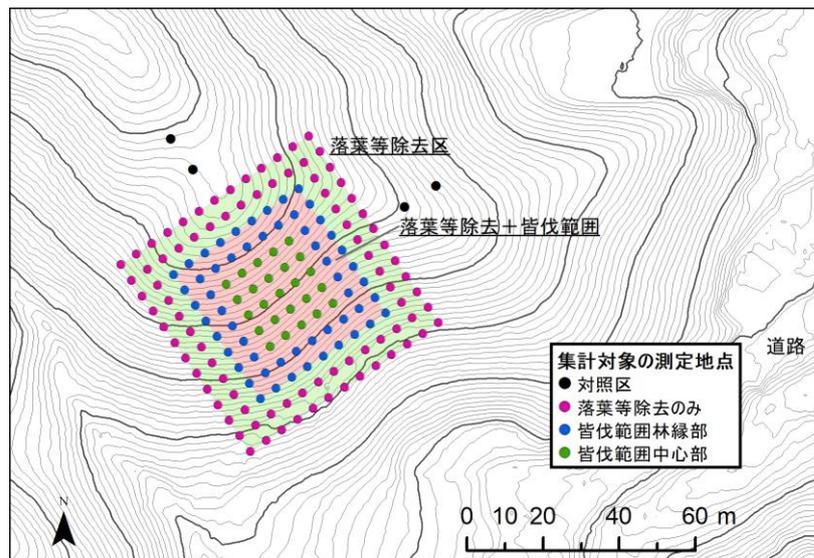


図 2-10 作業区の配置と空間線量率の測定範囲

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 2(2020)年 12 月 17 日	4	88	56	25	1		晴	無

本報告書執筆時点で令和2年3月実施予定の測定は未実施。

(3) 調査結果及び考察

平成 28 (2016) 年度までに、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、物理学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、物理学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 2-11 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 2-12 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 (図 2-11)。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 (図 2-12)。

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 2-13 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、令和元 (2019) 年ごろまでは緩やかな低下傾向が続いていたが、この傾向は本年度にかけて鈍化していた可能性がある (図 2-13)。この比率は、令和 2 (2020) 年 12 月には、全ての作業範囲及び対照区で前月よりも上昇していたが、スギ林 (A 区) でも同様の傾向が認められた。これは、前述のように、少雨で土壤が乾燥していたことが影響したものと考えられる。

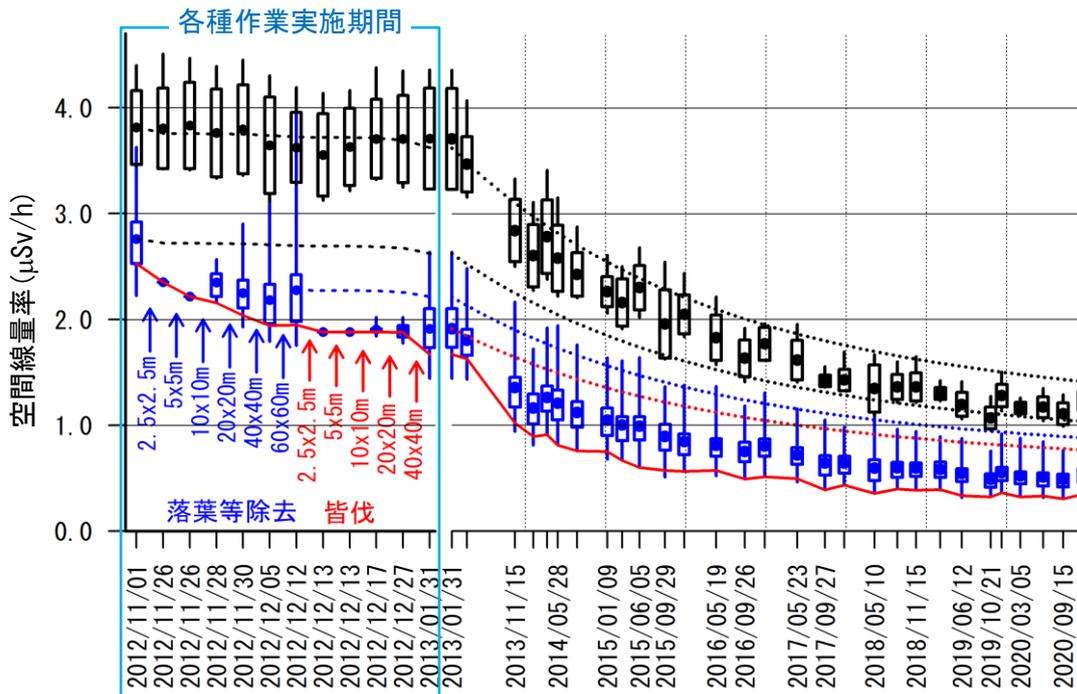


図 2-11 スギ林 (B 区) における対照区 (黒色)、作業範囲 (青色) 及び作業範囲中心点 (赤色) の空間線量率の推移

各作業範囲の各測定回の測定地点数は表 2-9 及び表 2-10 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。

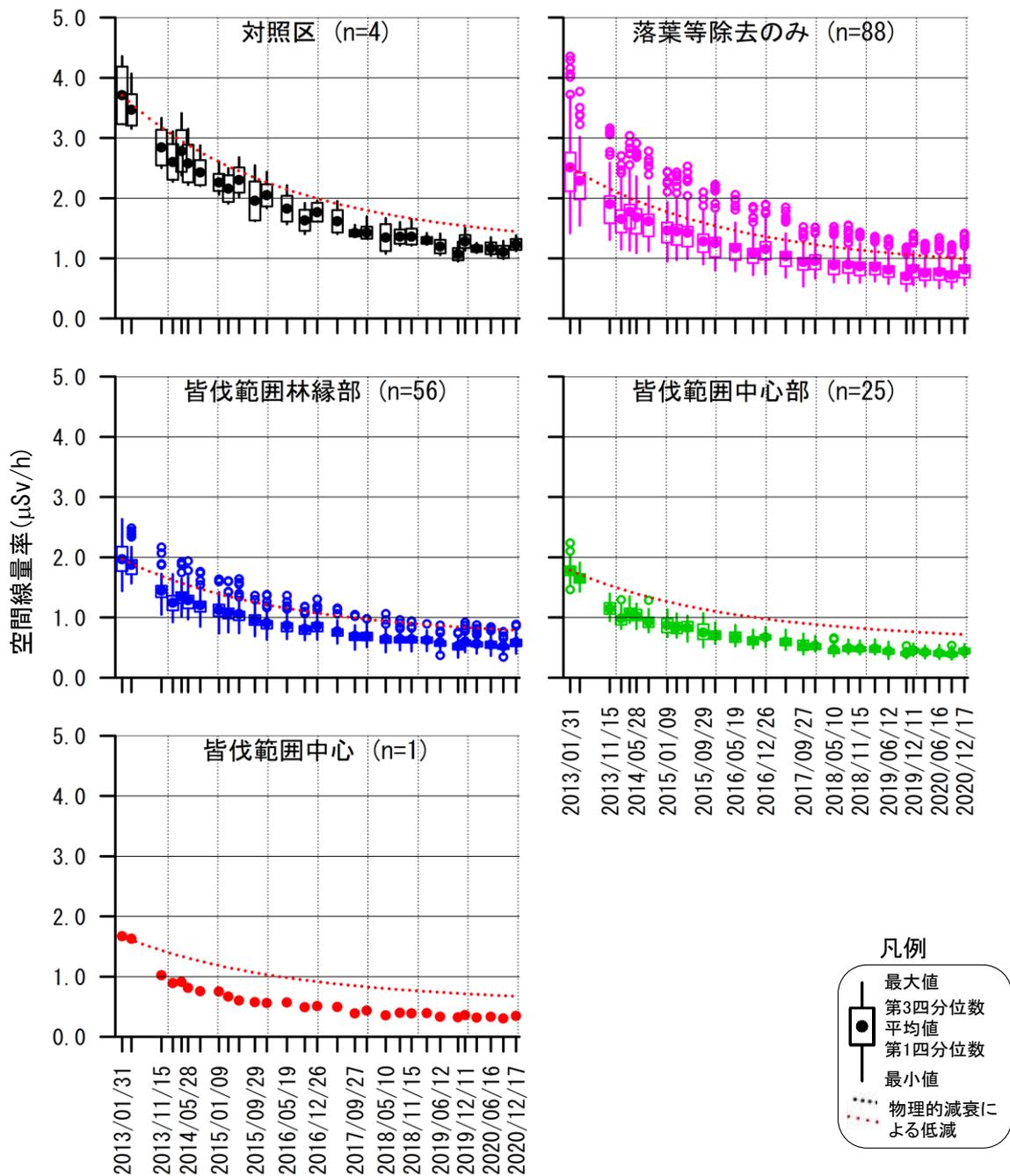


図 2-12 スギ林（B区）における各種作業完了後の対照区及び作業範囲ごとの空間線量率の推移

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。

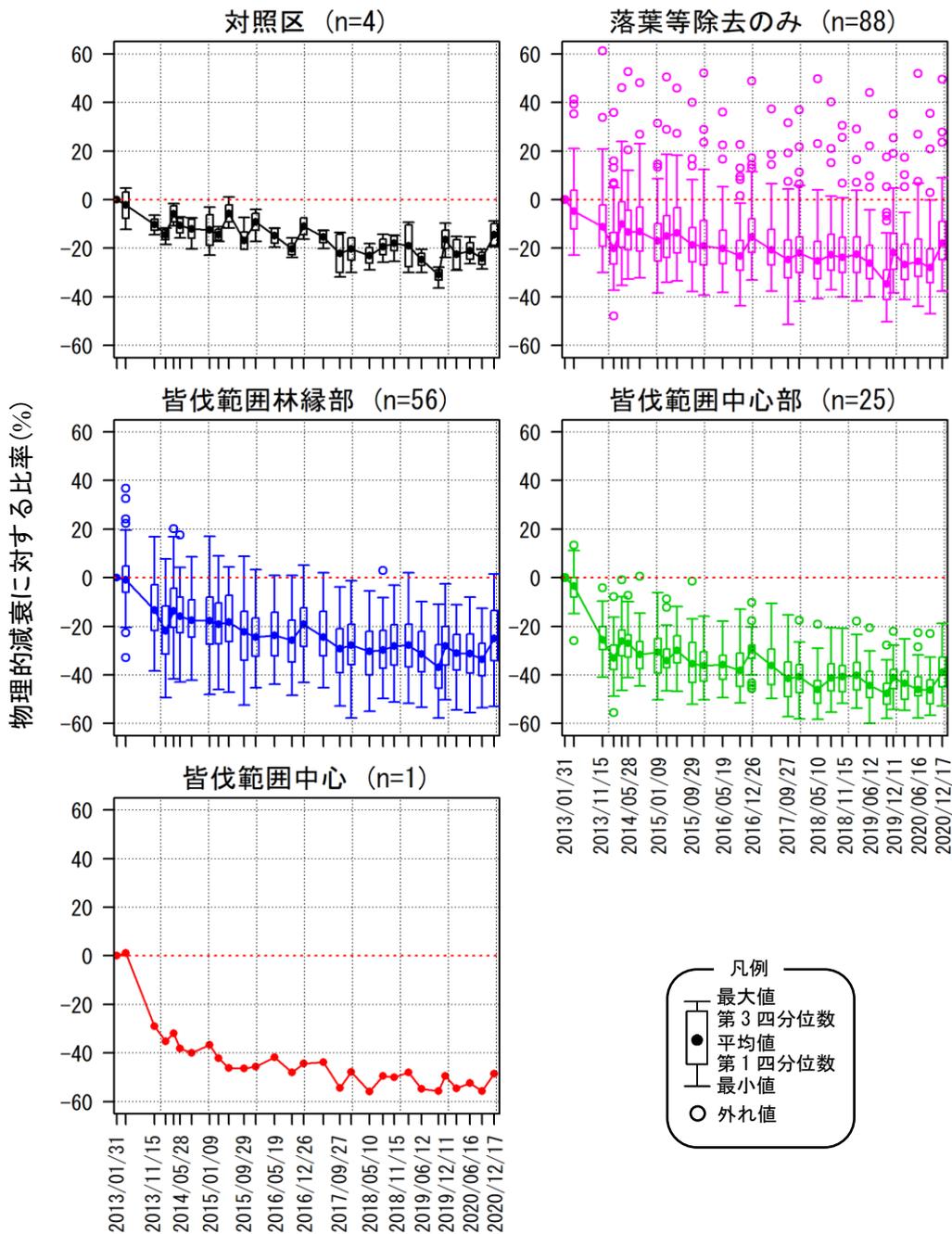


図 2-13 スギ林（B区）における各種作業完了（平成 25（2013）年 1 月 31 日）後の物理的減衰に対する空間線量率の比率の作業範囲ごとの推移（平成 25（2013）年 1 月～令和元（2019）年 12 月時点）

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2（2020）年3月5日から12月11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2-14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、落葉等除去のみの範囲よりも有意に低い値をとった（図2-14）。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、昨年（平成元（2019）年）までは、作業範囲及び対照区の全てで負の値を取り続けていたが、本年は対照区、落葉等除去のみの範囲、皆伐範囲林縁部では正の値に転じていた（表2-11）。これらの領域では、空間線量率の低減のペースが、物理学的減衰よりも鈍化していた可能性がある。

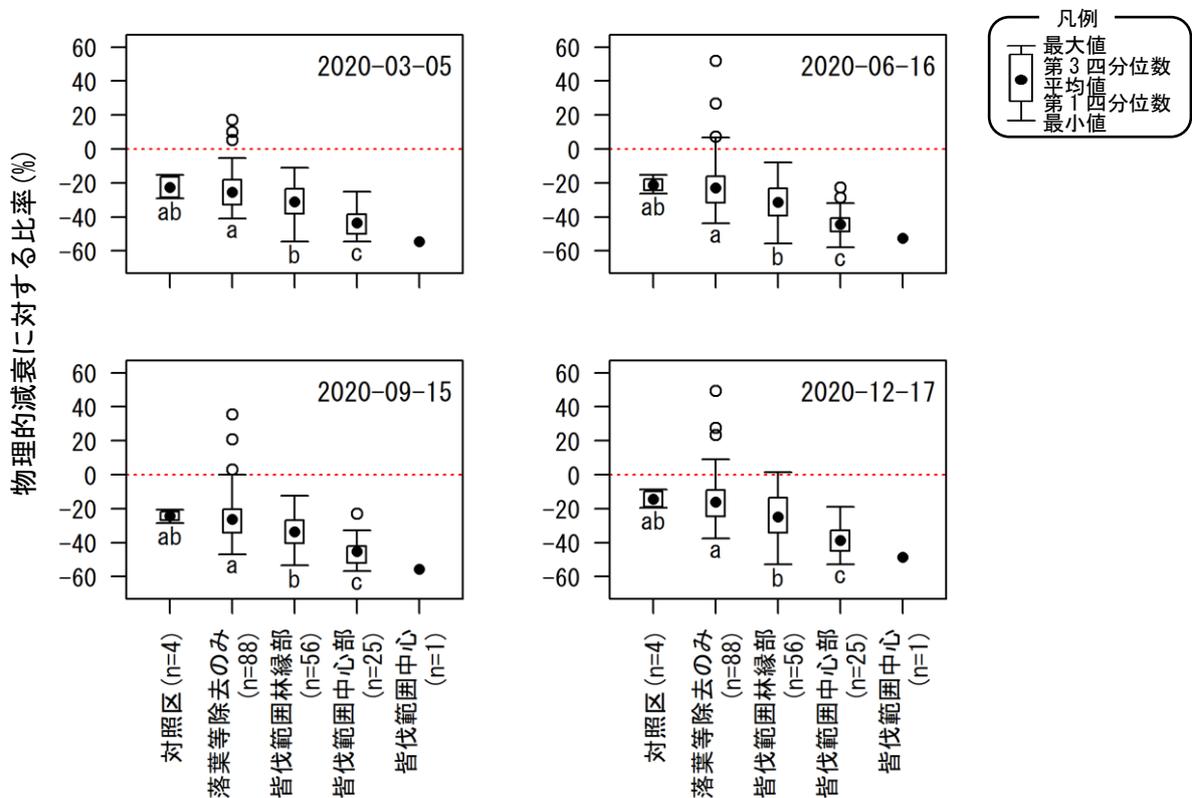


図 2-14 川内試験地スギ林（B区）における各種作業完了（平成25（2013）年1月31日）後の物理的減衰に対する空間線量率の比率の比較（平成31（2019）年3月～令和元（2019）年12月時点）

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

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 2（2020）年の年間被ばく線量は、対照区では 2.4 mSv、各種作業実施範囲では 0.7～1.6mSv と推定された（表 2-12）。

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(μ Sv/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
対照区	3.71	2.60	2.14	1.74	1.49	1.36	1.21	1.17
落葉等除去のみ	2.51	1.68	1.36	1.13	0.97	0.88	0.80	0.77
皆伐範囲林縁部	1.97	1.27	1.02	0.85	0.72	0.64	0.58	0.55
皆伐範囲中心部	1.78	1.00	0.79	0.65	0.55	0.48	0.45	0.42
皆伐範囲中心	1.67	0.84	0.63	0.52	0.44	0.38	0.35	0.32

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
対照区	7.7	5.4	4.5	3.6	3.1	2.8	2.5	2.4
落葉等除去のみ	5.2	3.5	2.8	2.4	2.0	1.8	1.7	1.6
皆伐範囲林縁部	4.1	2.6	2.1	1.8	1.5	1.3	1.2	1.2
皆伐範囲中心部	3.7	2.1	1.6	1.4	1.1	1.0	0.9	0.9
皆伐範囲中心	3.5	1.8	1.3	1.1	0.9	0.8	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 μ Sv/h が年間被ばく量 5mSv に相当する。

2.4. 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する。

(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 2-5）。

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 及び図 2-15 参照）。皆伐作業は、ウインチによる集材後、作業区外で造材している。

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、5m メッシュ上に設定された測定点（図 2-15 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 2-12）。

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。

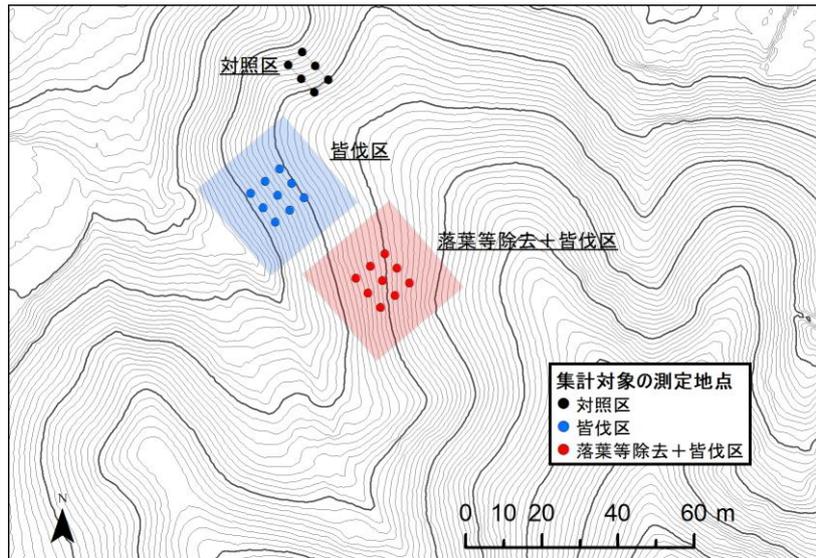


図 2-15 作業区の配置と空間線量率の測定範囲

図中の点の位置は、空間線量率の測定地点及び各範囲の集計対象区分を示す。

表 2-14 原木採取林モデル地区における空間線量率測定日及び測定地点数

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

対照区における測定は平成 26(2014)年 9 月 3 日より開始した。

(3) 調査結果及び考察

平成 28 (2016) 年度までに、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、物理学的減衰よりも約 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 2-16 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 2-17 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。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たが、令和元年 (2019) 年以降は、この傾向が鈍化している可能性がある。なお、令和元 (2019) 年 12 月および令和 2 (2020) 年 12 月には、両作業区で、この比率が前月よりも上昇した。この時期は雨量が少なかったため、土壌の乾燥の影響等による一時的な変動と思われるが、今後の推移にも注意が必要である。

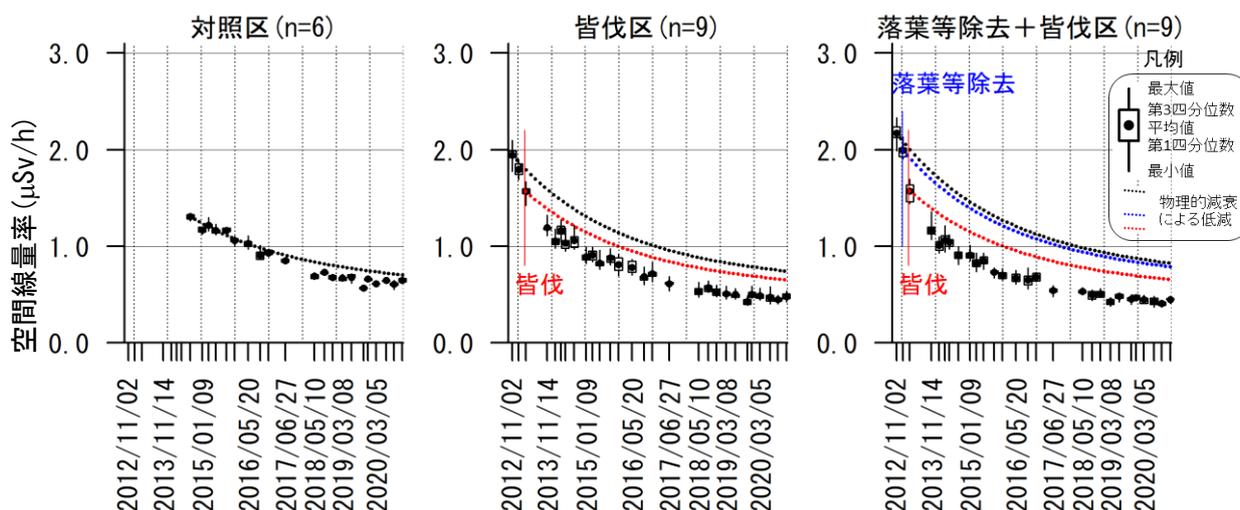


図 2-16 原木採取林モデル地区における各作業区の空間線量率の推移

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

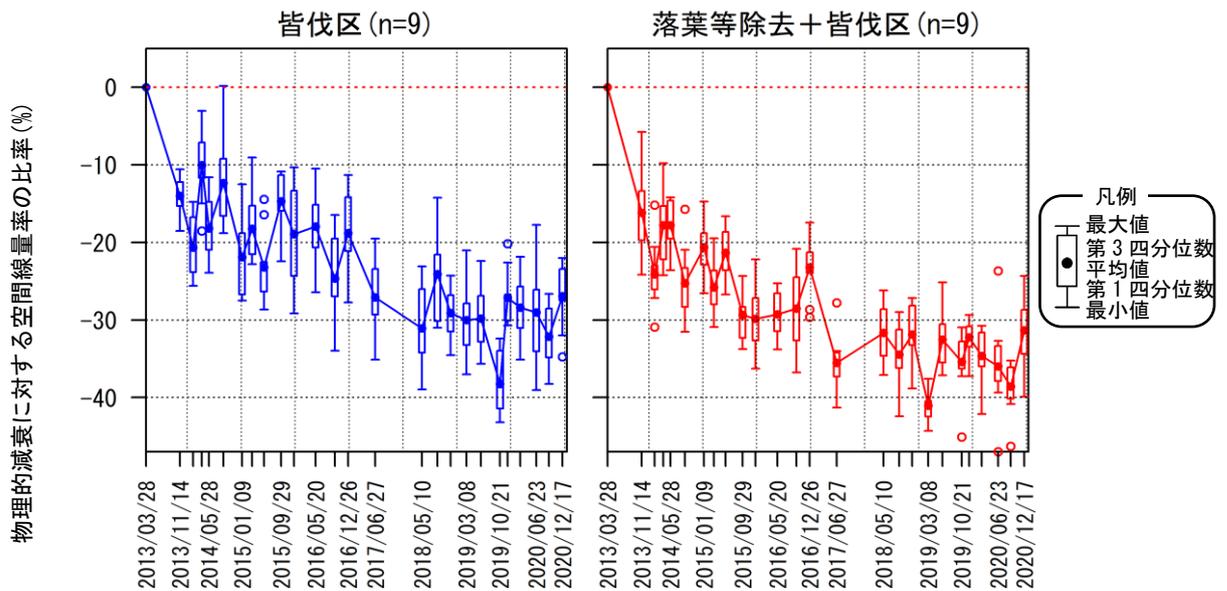


図 2-17 原木採取林モデル地区の各作業区における各種作業完了後の物理的減衰に対する空間線量率の比率の推移

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 2-18 に示す。測定時期による変動は見られたが、落葉等除去+皆伐区の方が皆伐区よりもやや大きく減衰しており、令和 2 (2020) 年 12 月の測定回を除き、前者よりも後者の方がこの比率は有意に低かった(図 2-18 ; 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、変動が大きい。本年度は、この比率は対照区及び皆伐区では正の値、落葉等除去+皆伐区では 0 に近い値をとっており、空間線量率の低減傾向が鈍化している可能性がある。

皆伐作業の完了時点から約 8 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繁茂している。皆伐等の作業直後と比較して、林内の環境は安定し、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、引き続き中長期的な推移にも注意が必要である。

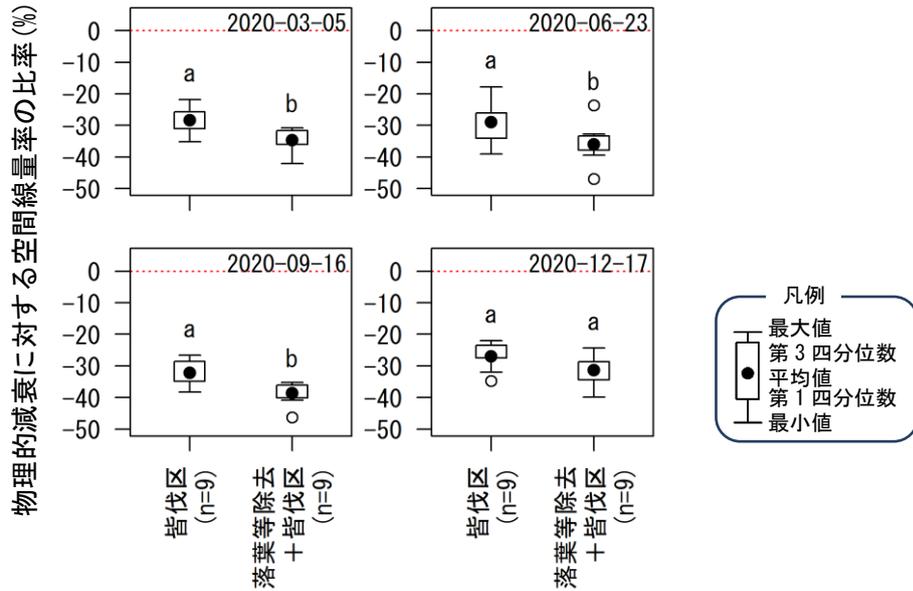


図 2-18 川内試験地原木採取林モデル地区の各作業区における各種作業完了後の物理的減衰に対する空間線量率の比率の比較（平成 31（2019）年 3 月～令和元（2019）年 12 月時点）

※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

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 2 (2020) 年の年間被ばく線量は、対照区では 1.3 mSv、皆伐区及び落葉等除去+皆伐区では、0.9~1.0mSv 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(μ Sv/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 (2019) 年
対照区	-	1.31	1.16	0.96	0.85	0.70	0.65	0.63
皆伐区	1.56	1.08	0.86	0.73	0.61	0.55	0.49	0.47
落葉等除去 +皆伐区	1.57	1.01	0.80	0.67	0.54	0.51	0.46	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 (2019) 年
対照区	-	2.7	2.4	2.0	1.8	1.5	1.3	1.3
皆伐区	3.3	2.2	1.8	1.5	1.3	1.1	1.0	1.0
落葉等除去 +皆伐区	3.3	2.1	1.7	1.4	1.1	1.1	1.0	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 2.5μ Sv/h が年間被ばく量 5mSv に相当する。

2.5. 落葉等除去や樹木の伐採が空間線量率等に与える影響の検証

(1) 目的

落葉等除去や樹木の伐採等を実施した箇所において、堆積有機物や土砂等の放射性物質濃度等の変化、リターフォールの量等の継続モニタリング調査結果から、空間線量率の増減に影響を与える要因を過年度（平成 23（2011）～令和元（2020）年度）に引き続き、検証する。

(2) 要約及びこれまでの検証の流れ

平成 28（2016）年度までに得られた調査結果等の概要は、以下のとおりである。

<平成 28（2016）年度までの調査結果の概要>

- ① 作業前後の空間線量率は、スギ林では、落葉等除去を実施した作業区で空間線量率の低減幅が大きかった。作業時点では、林内の放射性セシウム（Cs-134+Cs-137）現存量の約 3 割が堆積有機物層に存在し、濃度も高かったため、その除去による影響が大きかったものと思われる。
- ② 堆積有機物層の放射性セシウムは、徐々に土壤に移行し、土壤内でも、より深い部位への移行が進みつつあることが示唆された。
- ③ リターフォール中の放射性セシウム濃度と現存量は、季節変動も大きかったが、いずれも低下傾向にあった。
- ④ 各種作業完了後は、スギ林及び広葉樹林で、作業による放射性物質の持ち出し率が高いほど、空間線量率の低減率が大きかった。
- ⑤ 地表に堆積したリターは、濃度により空間線量率の上昇と低下のどちらの要因にもなり得るため、今後も、慎重なモニタリングと影響の精査が必要と思われる。

（平成 28（2016）年度報告書より、抜粋）

平成 29（2017）年度以降は、上記の調査結果を受けて、各種作業を実施した森林内において、土壤、堆積有機物、下層植生、リターフォールに含まれる放射性セシウムのモニタリングを継続し、土壤含水率等の連続測定を実施して、これらの諸要因が空間線量率の増減に与える影響を検証している。

(3) 試験地と試験方法

1) 試験地の概要

本調査は、広野試験地及び川内試験地で実施した（図 2-5 等参照）。

2) 土壤及び堆積有機物の放射性セシウムの測定

① 堆積有機物及び土壤の放射性物質現存量及び濃度の推移（採土円筒による試料採取）

川内試験地スギ林（A区）及びスギ林（B区）において、図 2-20 及び図 2-21 に示す位置で、各種作業実施前後及びその後は、年 1 回土壤及び堆積有機物の試料を採取し、放射性セシウム濃度と現存量を測定した（表 2-17）。堆積有機物の試料は、調査地点ごとに 3～5 箇所、折尺等で測定した 20 cm×20 cm の範囲内について、鈹質土層が出る深度まで、全量を

採取した。土壌の試料は、堆積有機物を採取した後に同一の位置で、100 mL の採土円筒を用いて深さ 5 cm までの鉱質土壌を採取した。採取した試料は、調査地点ごとに混合し、堆積有機物と土壌それぞれ 1 検体とした（表 2-17）。なお、試料採取箇所は、前回までの箇所と重ならないよう選定した。また、堆積有機物の採取範囲（0.04 m²）は斜面上で、面積を測定したため傾斜補正した。

表 2-17 土壌及び堆積有機物に含まれる放射性セシウム測定用の試料採取日及び採取地点数

試験区	スギ林(A区)					スギ林(B区)		
	落葉等除去+皆伐区	落葉等除去区	落葉等除去+間伐区	間伐区	対照区	落葉等除去+皆伐	落葉等除去のみ	対照区
作業前	平成 24(2012)年 12月14日 (6)	平成 24(2012)年 12月14日 (5)	平成 24(2012)年 12月14日 (5)	平成 24(2012)年 12月14日 (6)	平成 24(2012)年 12月14日 (5)	平成 24(2012)年 12月11日 (4)	平成 24(2012)年 12月11日 (7)	-
落葉等除去後	平成 25(2013)年 2月15日 (6)	-	平成 25(2013)年 4月4日 (5)	-	-	-	-	-
皆伐後	平成 25(2013)年 4月4日 (6)	-	-	-	-	平成 25(2013)年 2月15日 (4)	平成 25(2013)年 2月15日 (2)	-
作業後	平成 25(2013)年 10月13, 14日 (6)	平成 25(2013)年 7月9日, 8月 20日, 10月14 日(5)	平成 25(2013)年 10月12, 13日 (5)	平成 25(2013)年 10月12, 13日 (6)	平成 25(2013)年 10月12, 13日 (5)	平成 25(2013)年 8月21日, 9月 13日(4)	平成 25(2013)年 8月21日, 9月 13, 21日(7)	-
平成 26 (2014) 年度	平成 27(2015)年 1月21日 (6)	平成 27(2015)年 1月29, 30日 (3)	平成 27(2015)年 1月22日 (5)	平成 27(2015)年 1月22日 (6)	平成 27(2015)年 1月22日 (3)	平成 27(2015)年 1月21日 (4)	平成 27(2015)年 1月21日 (7)	-
平成 27 (2015) 年度	平成 27(2015)年 11月27~30日 (6)	平成 27(2015)年 11月19日 (3)	平成 27(2015)年 11月26日~ 12月3日(5)	平成 27(2015)年 11月26日~ 12月2日(6)	平成 27(2015)年 11月30日~ 12月3日(6)	平成 27(2015)年 12月2日 (7)	平成 27(2015)年 12月2日 (4)	平成 27(2015)年 12月2日 (3)
平成 28 (2016) 年度	平成 28(2016)年 11月15日 (6)	平成 28(2016)年 11月15日 (3)	平成 28(2016)年 11月15, 16日 (5)	平成 28(2016)年 11月16日 (6)	平成 28(2016)年 11月15日 (6)	平成 28(2016)年 11月16, 17日 (7)	平成 28(2016)年 11月16, 17日 (4)	平成 28(2016)年 11月16, 17日 (3)
平成 29 (2017) 年度	平成 29(2017)年 11月27, 28日 (6)	平成 29(2017)年 11月29日 (3)	平成 29(2017)年 11月28日 (5)	平成 29(2017)年 11月28, 29日 (6)	平成 29(2017)年 11月27, 29日 (6)	平成 29(2017)年 11月30, 12月 1日(7)	平成 29(2017)年 11月30, 12月 1日(4)	平成 29(2017)年 11月30, 12月 1日(3)
平成 30 (2018) 年度	平成 30(2018)年 11月12~14日 (6)	平成 30(2018)年 11月12, 13日 (3)	平成 30(2018)年 11月13, 14日 (5)	平成 30(2018)年 11月14, 15日 (6)	平成 30(2018)年 11月13, 15日 (6)	平成 30(2018)年 11月10, 16日 (7)	平成 30(2018)年 11月16日 (4)	平成 30(2018)年 11月16日 (3)
令和元 (2019) 年度	令和元(2019)年 11月18~20日 (6)	令和元(2019)年 11月20日 (3)	令和元(2019)年 11月20~22日 (5)	令和元(2019)年 11月18, 19日 (6)	令和元(2019)年 11月18, 20, 25 日(6)	令和元(2019)年 11月21, 22日 (7)	令和元(2019)年 11月20~22日 (4)	令和元(2019)年 11月21日 (3)
令和 2 (2020) 年度	令和 2(2020)年 11月16, 18, 20 日(6)	令和 2(2020)年 11月20日 (3)	令和 2(2020)年 11月17, 18, 20 日(5)	令和 2(2020)年 11月19日 (6)	令和 2(2020)年 11月16, 17, 19 日(6)	令和 2(2020)年 11月18, 24日 (7)	令和 2(2020)年 11月20, 24日 (4)	令和 2(2020)年 11月18, 24日 (4)

()内の数字は調査地点数を示す。

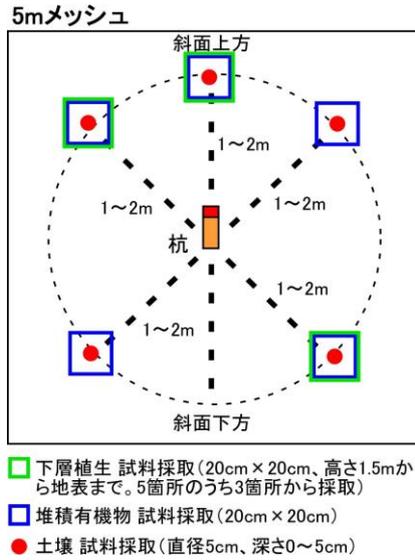


図 2-19 各調査地点での堆積有機物及び土壌、下層植生の試料採取位置

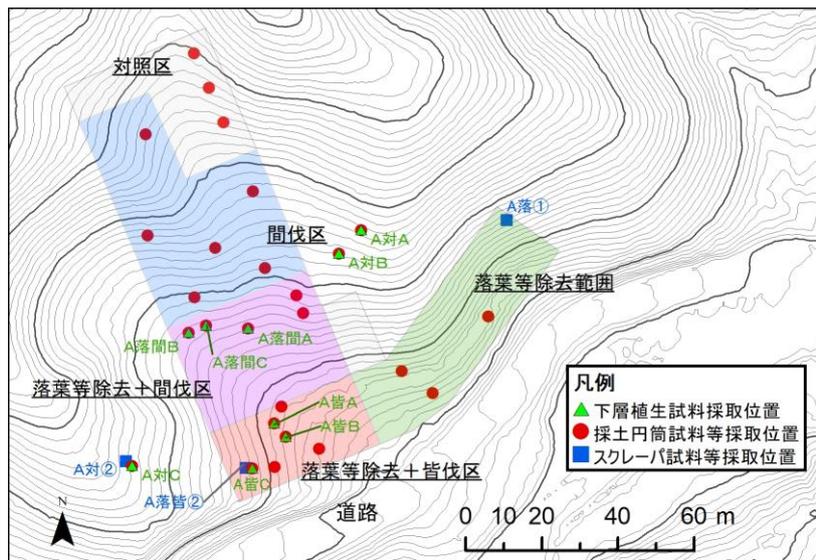


図 2-20 スギ林 (A区) における採土円筒、スクレーパ、下層植生試料等採取地点の位置

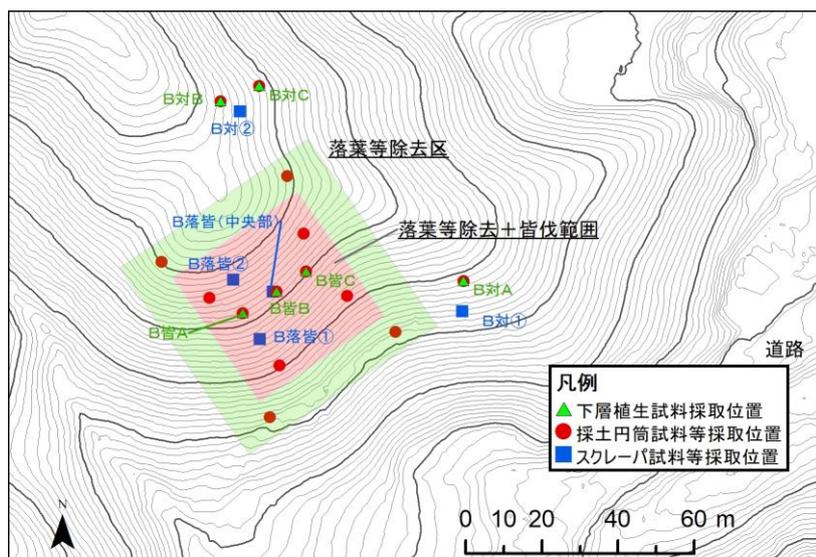


図 2-21 スギ林（B区）における採土円筒、スクレーパ、下層植生試料等採取地点の位置

② 堆積有機物及び土壌深度別の放射性物質分布状況（スクレーパプレートによる試料採取）

広野試験地は、平成 25（2013）年から、川内試験地スギ林（A区）は、平成 26（2014）年から、スギ林（B区）及び原木採取林モデル地区は、作業実施前の平成 24（2012）年からスクレーパプレートを用いて、堆積有機物及び土壌の深度別の放射性セシウム濃度等を調査している。

本調査においても、これまでの試料採取地点になるべく近い場所から試料を採取した。試料採取時期及び測定点数は、表 2-18 に、試料採取地点を図 2-20～図 2-21 に示した。採取範囲は、スクレーパプレートのフレームサイズである 15 cm×30 cm とし、堆積有機物は、鈹質土層が出る深度まで全量を採取した。土壌については、スクレーパプレートを用いて、深度別の試料を採取した。採取深度は、0～0.5 cm、0.5～1.0 cm、1.0～1.5 cm、1.5～2.0 cm、2.0～3.0 cm、3.0～5.0 cm、5.0～7.0 cm、7.0～10.0 cm の 8 段階とした。

採取した試料は、第 7 章に記載した方法により、放射性セシウム濃度等を測定した。

なお、土壌深度ごとの放射性セシウム濃度は、深度が深くなるほど、概ね指数関数的に減少することが知られている。そのため、深度ごとの放射性セシウム（Cs-137）の濃度は、以下の式で回帰し、その分布の傾向を確認した。

$$C(x) = C(0) \cdot \exp(-x/\beta) \quad (\text{式 1})$$

ただし、 x は土壌深度 (cm)、 $C(x)$ は土壌深度 x (cm) における放射性セシウムの濃度 (Bq/kg)、 $C(0)$ は地表面における放射性セシウムの濃度を示す。この式の係数 β は、「緩衝深度」（または「重量緩衝深度」と呼ばれ、回帰曲線上での放射性セシウム濃度が、地表面の $1/e$ （約 36.8%； e は自然対数の底）になる深度に相当する。土壌攪乱がない場合には、この値が大きいほど、土壌の深部まで放射性セシウムが移動していることを示す。

(1) 式への回帰を行う際には、両辺の対数を取り、下記の 1 次式 ((2) 式) に変換してから最小二乗法で係数等を求めた。

$$\ln(C(x)) = ax + b \quad (\text{式 2}) \quad \text{ただし、} \beta = -1/a、C(0) = e^b$$

表 2-18 堆積有機物及び土壌深度別の放射性セシウム測定用試料の採取日及び採取地点数

試験区	スギ林(A区)			スギ林(B区)	
	落葉等除去 +皆伐区	落葉等 除去区	対照区	落葉等除去 +皆伐区	対照区
作業前	-	-	-	平成 24(2012)年 10月31日 (1)	-
作業後	-	-	-	平成 25(2013)年 2月8日 (1)	-
平成 25 (2013) 年度	-	-	-	平成 25(2013)年 11月12~14日 (3)	平成 25(2013)年 11月12~14日 (2)
平成 26 (2014) 年度	平成 26(2014)年 12月2日 (1)	平成 26(2014)年 11月26日 (1)	平成 26(2014)年 11月26日 (1)	平成 26(2014)年 11月27~28日 (3)	平成 26(2014)年 11月25~27日 (2)
平成 27 (2015) 年度	平成 27(2015)年 11月27日 (1)	平成 27(2015)年 11月27日 (1)	平成 27(2015)年 11月26日 (1)	平成 27(2015)年 11月24~25日 (3)	平成 27(2015)年 11月24~25日 (2)
平成 28 (2016) 年度	平成 28(2016)年 11月30日 (1)	平成 28(2016)年 11月30日 (1)	平成 28(2016)年 12月1日 (1)	平成 28(2016)年 11月29日 (3)	平成 28(2016)年 11月29日 (2)
平成 29 (2017) 年度	平成 29(2017)年 12月13日 (1)	平成 29(2017)年 12月12日 (1)	平成 29(2017)年 12月12日 (1)	平成 29(2017)年 12月12~13日 (3)	平成 29(2017)年 12月11日 (2)
平成 30 (2018) 年度	平成 30(2018)年 11月15日 (1)	平成 30(2018)年 11月15日 (1)	平成 30(2018)年 11月14日 (1)	平成 30(2018)年 11月12~14日 (3)	平成 30(2018)年 11月12~13日 (2)
令和元 (2019) 年度	令和元(2019)年 11月26日 (1)	令和元(2019)年 11月26日 (1)	令和元(2019)年 11月25日 (1)	令和元(2019)年 11月27~29日 (3)	令和元(2019)年 11月28日 (2)
令和 2 (2020) 年度	令和 2(2020)年 11月26日 (1)	令和 2(2020)年 11月26日 (1)	令和 2(2020)年 11月26日 (1)	令和 2(2020)年 11月27日 (3)	令和 2(2020)年 11月25~26日 (2)

()内の数字は採取地点数を示す。

3) 下層植生に含まれる放射性セシウム調査

川内試験地の各試験区から、下層植生の試料を採取し、放射性セシウムの濃度等を測定した。試料採取日及び採取地点数を、表 2-19 に示す。試料採取地点は、2) ①の土壌及び堆積有機物の試料採取箇所の中の3箇所(図 2-19)で、堆積有機物の採取と同じ 20 cm×20 cm の範囲内の高さ 1.5 m までの下層植生(草本及び低木等の木本植物)を採取した。採取した試料は、採取地点ごとに混合して1検体とし、放射性セシウム濃度等を測定した。

表 2-19 下層植生に含まれる放射性セシウム測定用の試料採取日及び採取地点数

試験区	スギ林(A区)					スギ林 (B区)		原木採取林 モデル地区	
	落葉等 除去+ 皆伐区	落葉等 除去区	落葉等 除去+ 間伐区	間伐区	対照区	落葉等 除去+ 皆伐区	対照区	落葉等 除去+ 皆伐区	対照区
平成 27 (2015) 年度	平成 27 (2015)年 10月 14 日 (3)	-	平成 27 (2015)年 10月 14 日 (3)	-	平成 27 (2015)年 10月 14 日 (3)	平成 27 (2015)年 10月 13 日 (3)	平成 27 (2015)年 10月 13 日 (3)	平成 27 (2015)年 10月 14 日 (3)	平成 27 (2015)年 10月 14 日 (3)
平成 28 (2016) 年度	平成 28 (2016)年 10月 20 日 (3)	-	平成 28 (2016)年 10月 20 日 (3)	-	平成 28 (2016)年 10月 20 日 (3)				
平成 29 (2017) 年度	平成 29 (2017)年 9月 25 日 (3)	-	平成 29 (2017)年 9月 25 日 (3)	-	平成 29 (2017)年 9月 25 日 (3)	平成 29 (2017)年 9月 26 日 (3)	平成 29 (2017)年 9月 26 日 (3)	-	-
平成 30 (2018) 年度	平成 30 (2018)年 10月 25 日 (3)	-	平成 30 (2018)年 10月 25 日 (3)	-	平成 30 (2018)年 10月 25 日 (3)	平成 30 (2018)年 10月 25 日 (3)	平成 30 (2018)年 10月 25 日 (3)	-	-
令和元 (2019) 年度	令和元 (2019)年 9月 10 日 (3)	-	令和元 (2019)年 9月 10 日 (3)	-	令和元 (2019)年 9月 10 日 (3)	令和元 (2019)年 9月 10 日 (3)	令和元 (2019)年 9月 10 日 (3)	-	-
令和 2 (2020) 年度	令和 2 (2020)年 9月 24 日 (3)	-	令和 2 (2020)年 9月 24 日 (3)	-	令和 2 (2020)年 9月 24 日 (3)	令和 2 (2020)年 9月 24 日 (3)	令和 2 (2020)年 9月 24 日 (3)	-	-

4) リターフォール中の放射性セシウム濃度等の測定

川内試験地に設置した各試験斜面枠近くに、2個ずつ計40個(図 2-22~図 2-24)のリタートラップ(捕捉面積0.5 m²/個)を設置し、平成26(2014)年4月以降、約1ヶ月ごとに、リターフォールを採取した。採取した試料は、試験斜面枠単位で、重量を測定し、作業区ごとに混合して、第7章に記載した方法により、放射性セシウム濃度を測定した。なお、放射性セシウム濃度は、3ヶ月分の試料を混合して測定した。

本年度は、リターフォール試料は、令和2(2020)年5月15日、6月17日、7月15日、8月14日、9月14日、10月15日、11月16日、令和3(2021)年1月15日に採取し、5月から6月まで、7月から9月まで、10月から12月までの採取試料をそれぞれ混合して、放射性セシウム(Cs-137)濃度を測定した。なお、令和3(2021)年1月から3月までの測定値については、別途報告する。

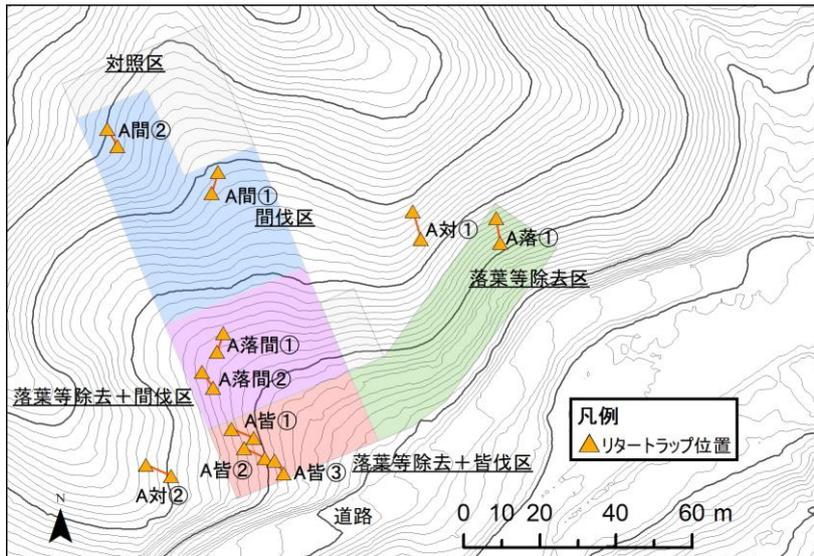


図 2-22 スギ林 (A区) におけるリタートラップの設置位置

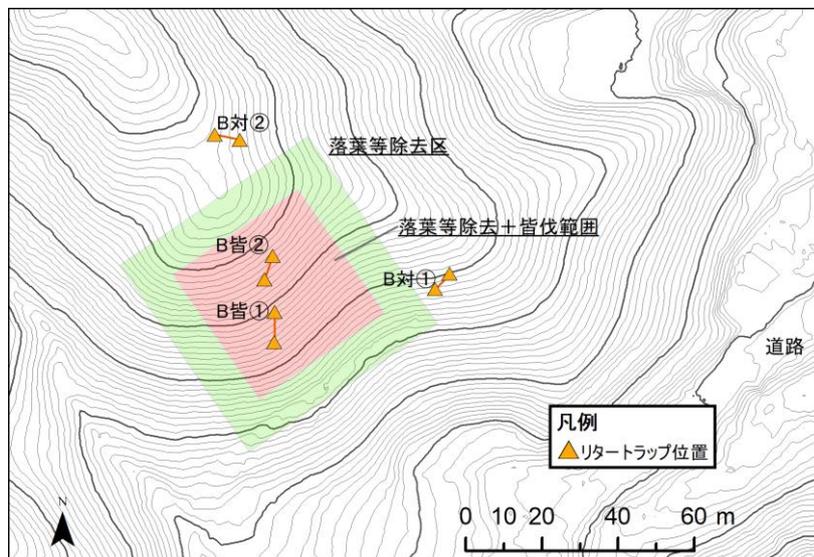


図 2-23 スギ林 (B区) におけるリタートラップの設置位置

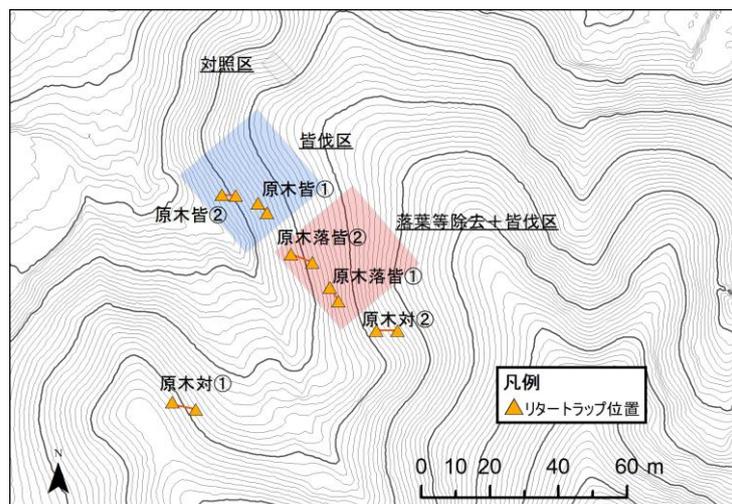


図 2-24 原木採取林モデル地区におけるリタートラップの設置位置

5) 降雨等による空間線量率への影響の把握

川内試験地スギ林（A区）及びスギ林（B区）において、降雨等が空間線量率の変動に与える影響を確認するため、空間線量率を簡易に、連続的に、記録できる機器を使用した観測を以下のように実施した。設置した機器類の位置を図 2-25 及び図 2-26 に示す。

平成 30（2018）年 3 月より、空間線量率を 1 時間間隔で測定し、約 1 年間のデータ記録が可能な線量計（D シャトル、千代田テクノル、写真 2-2）を用いて、川内試験地スギ林（A区）及びスギ林（B区）における空間線量率の連続観測を行っている。スギ林（B区）では、D シャトルと同様に、空間線量率を約 10 分間隔で約 1 ヶ月間のデータ記録が可能な個人線量計（Polimaster PM1610、たろうまる(株)、写真 2-3）による連続観測も行った。

D シャトルは、A区とB区の落葉等除去+皆伐区及び作業範囲外に、1箇所ずつ設置した高さ約 1m の収納箱（写真 2-4）内に、各 2～3 台ずつ、防水のための食品用ラップフィルムまたはジッパー付きのビニール袋で包んで設置した。なお、スギ林（A区）の落葉等除去+皆伐区には、A 皆 1 と A 皆 2 の 2 台、作業範囲外には、A 対 1 と A 対 2 の 2 台を設置した。また、スギ林（B区）の落葉等除去+皆伐区には、B 皆 1～3 の 3 台、作業範囲外には、B 対 1～3 の 3 台を設置した。

これらの測定と併せて、他の機器との測定値の差異を確認するため、OSL 線量計（長瀬ラウンドアウ）を令和 2（2020）年 2 月 14 日から 7 月 29 日までの期間と、7 月 31 日から 10 月 16 日まで期間、10 月 16 日から令和 3（2021）年 2 月 17 日までの期間、2 月 17 日から 3 月 3 日までの期間の 4 回、スギ林（A区）とスギ林（B区）の落葉等除去+皆伐区及び作業範囲外に 1 基ずつ、計 4 台設置して積算線量を記録した。

また、D シャトル設置位置の周囲各 4 点で、令和 3（2021）年 3 月 3 日の 1 回、NaI(Tl) シンチレーション式サーベイメータ（日立アロカメディカル、TCS-172B）による空間線量率の測定も実施した。

土壌含水率については、スギ林（A区）及びスギ林（B区）の落葉等除去+皆伐区と対照区に各 1 台（図 2-25、図 2-26）、計 4 台の ADR 土壌水分計（ウイジン、UIR-SM-2X）センサーを、土壌の深さ約 5cm に埋設し、体積含水率の測定・記録を行った。降雨量については、D シャトル等の設置位置の近傍（図 2-25、図 2-26）で、自動記録式雨量計（Rain Collector, Davis Instruments 6463）を用いて、測定・記録した。

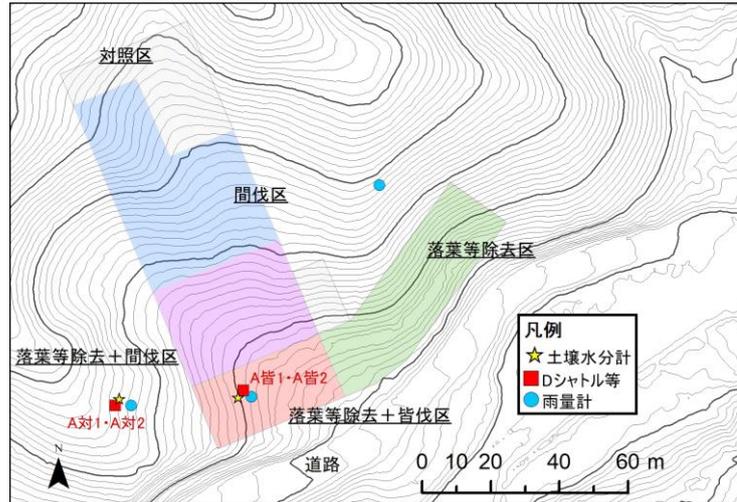


図 2-25 スギ林（A区）に設置した土壌水分計、Dシャトル等の位置

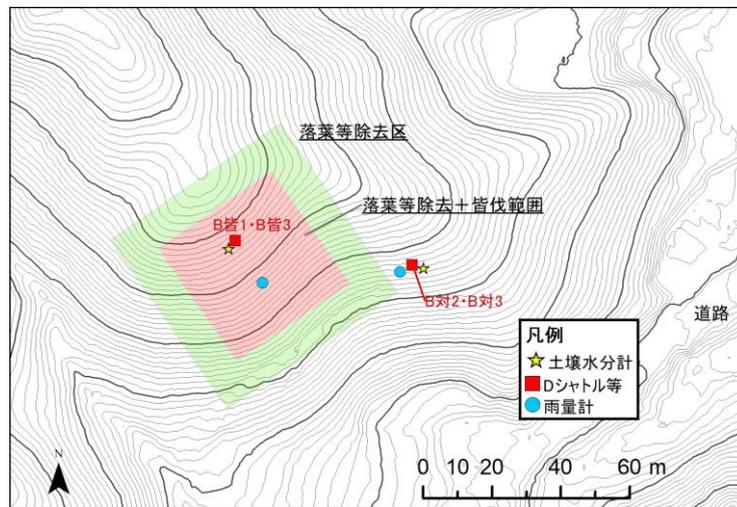


図 2-26 スギ林（B区）に設置した土壌水分計、Dシャトル等の位置



写真 2-2 収納箱内に設置したDシャトル



写真 2-3 併用した個人線量計 (Polimaster)



写真 2-4 Dシャトルによる観測に使用した収納箱

(4) 試験結果及び考察

1) 堆積有機物及び土壌の放射性物質現存量及び濃度の推移

① 川内試験地スギ林 (A区)

川内試験地スギ林 (A区) の各作業区における堆積有機物及び土壌 (深さ 0~5cm) 中の放射性セシウム (Cs-137) 現存量の推移をそれぞれ図 2-27 及び図 2-28 に示す。

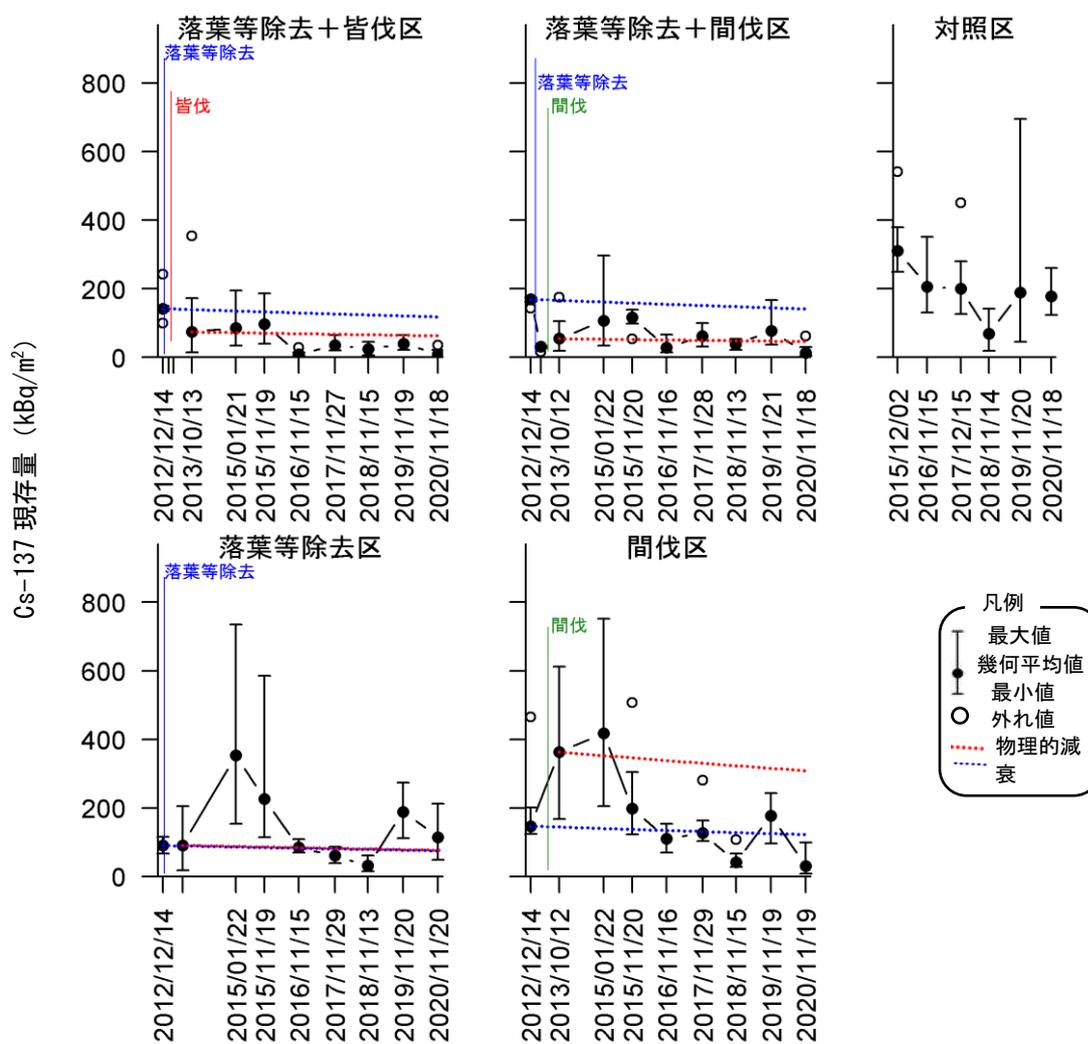


図 2-27 スギ林 (A区) における堆積有機物層の Cs-137 現存量の推移

各作業区、各測定回の測定地点数は表 2-17(43 頁)参照。黒い点は、幾何平均値⁷、白い点は、外れ値、誤差線は、外れ値を除く最大値と最小値を示す。青色の点線は、各種作業開始前、赤色の点線は、各種作業完了時点からの物理的減衰を示す。

⁷ n 個の数についての相乗積の n 乗根。汚染物質の濃度のように、対数正規分布するデータの平均値を求めるときには、極端値の影響を受けにくい幾何平均値の使用が、より適切である。なお、過年度報告書では、通常の平均値 (相加平均値) を表示していたため、グラフの平均値の位置は、一致しない。

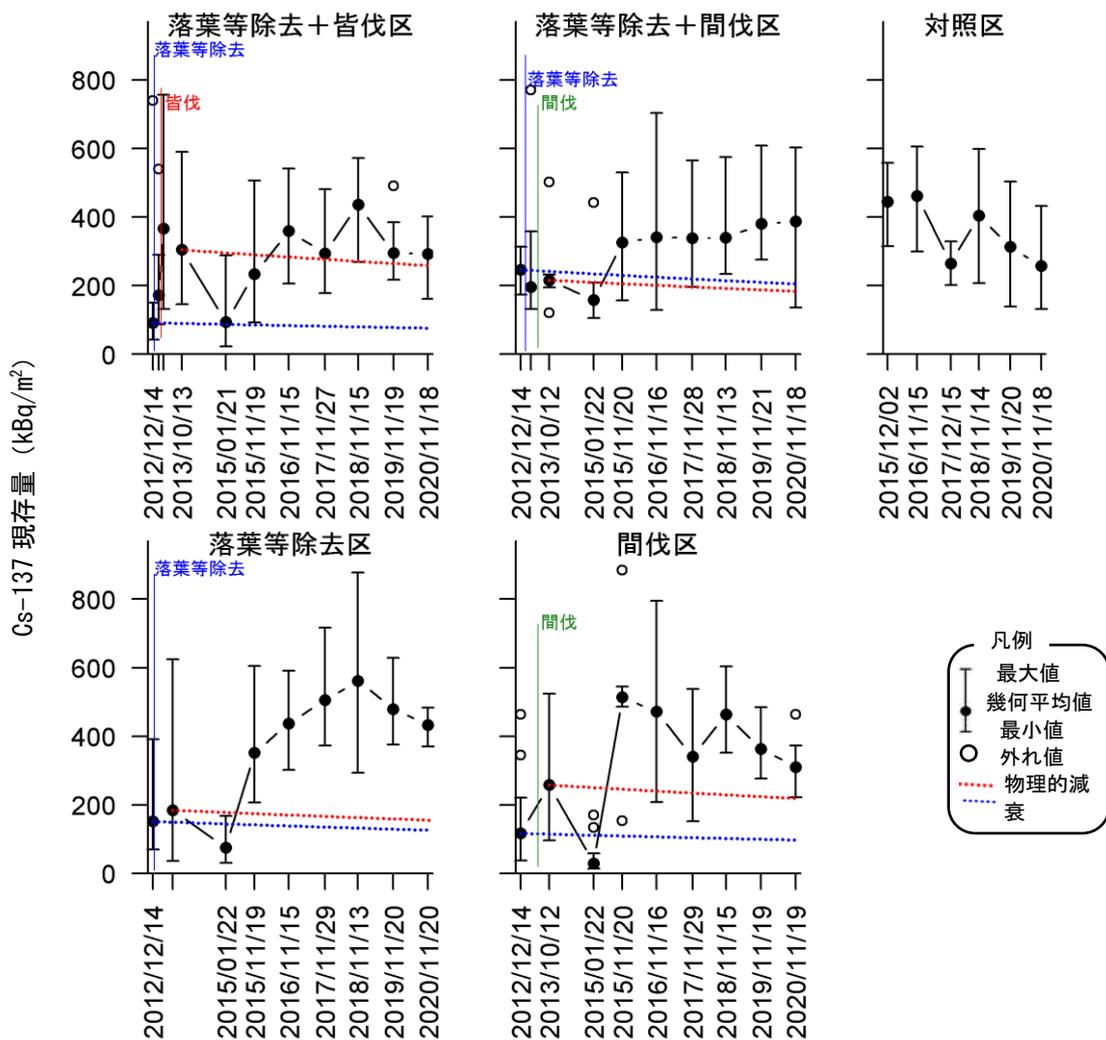


図 2-28 スギ林 (A 区) における土壌 (深さ 0~5cm) の Cs-137 現存量の推移

各作業区、各測定回の測定地点数は表 2-17(43 頁)参照。黒い点は、幾何平均値、白い点は外れ値、誤差線は、外れ値を除く最大値と最小値を示す。青色の点線は、各種作業開始前、赤色の点線は、各種作業完了時点からの物理的減衰を示す。

堆積有機物に含まれる放射性セシウム (Cs-137) 現存量は、落葉等除去作業を実施した落葉等除去+皆伐区、落葉等除去+間伐区、及び落葉等除去区では、一旦ゼロに近い量まで、取り除かれたが、これらの作業区を含め、対照区以外の全ての作業区で、平成 27 (2015) 年 1 月頃までは、増加した。この増加量は、落葉等除去+皆伐区等では、他の作業区よりも軽微であった。その後は、堆積有機物層中の放射性セシウム (Cs-137) 現存量は、対照区も含めて全ての作業区で、増減はあるものの、長期的には減少傾向が続いている。令和元 (2019) 年 11 月に採取した試料では、全ての作業区で放射性セシウム (Cs-137) 現存量が一時的に増加したが、その後減少した (図 2-27)。

土壌 (深さ 0~5cm) 中の放射性セシウム (Cs-137) 現存量は、落葉等除去+間伐区以外の全ての作業区で、平成 30 (2018) 年以降は減少傾向に転じているものと思われる。それ以前は、放射性セシウム (Cs-137) 現存量は、短期的な増減は見られたものの、増加傾向であった。放射性セシウムが、堆積有機物から土壌表層、さらに土壌のより深い層へと下方移動したため、このような推移の傾向になっていたものと考えられる。

川内試験地スギ林（A区）各作業区における堆積有機物及び土壌（深さ 0～5cm）中の放射性セシウム（Cs-137）濃度の推移を図 2-29 及び図 2-30 にそれぞれ示す。

堆積有機物に含まれる放射性セシウム（Cs-137）の濃度は、落葉等除去を実施した作業区では、顕著に低下し、その後も他の作業区よりも低い水準で推移していた。

令和元（2019）年 11 月には対照区と多くの作業区で放射性セシウム（Cs-137）の濃度が一時的に上昇したが、本年 12 月には低下した。堆積有機物中の放射性セシウム（Cs-137）濃度は、一時的な変動はあるものの、長期的には緩やかに低下しているものと思われる。

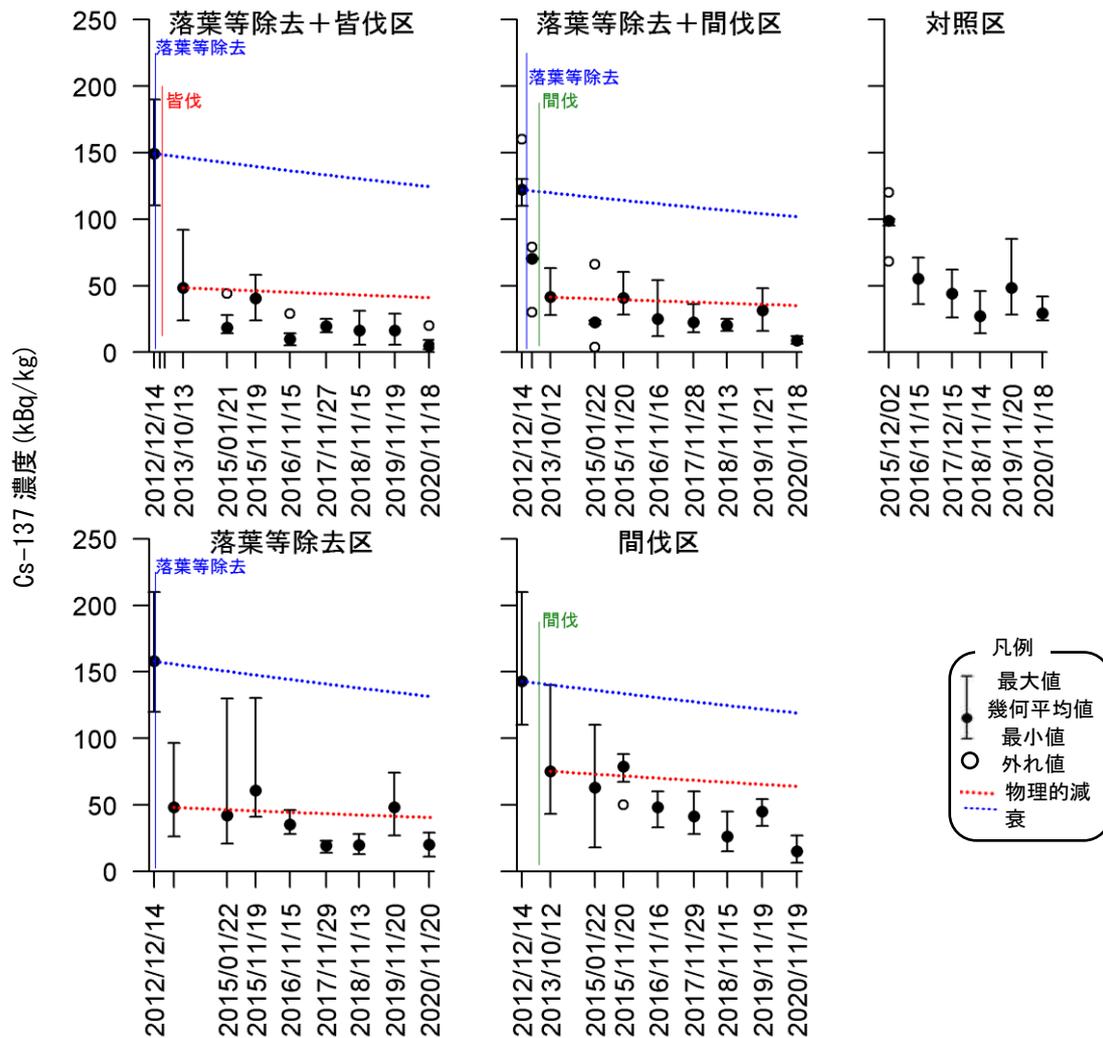


図 2-29 スギ林（A区）における堆積有機物層の Cs-137 濃度の推移

各作業区、各測定回の測定地点数は表 2-17(43 頁)参照。黒い点は、幾何平均値、白い点は、外れ値、誤差線は、外れ値を除く最大値と最小値を示す。青色の点線は、各種作業開始前、赤色の点線は、各種作業完了時点からの物理的減衰を示す。

深さ 0~5cm の土壌中の放射性セシウム (Cs-137) 濃度は、変化の傾向が明瞭ではないが、落葉等除去+間伐区を除き、作業完了後の各種作業区では一旦緩やかに上昇し、その後緩やかな低下傾向に転じたものと思われる。対照区では、平成 27 (2015) 年の測定開始以来、低下傾向が続いている。深さ 0~5cm の土壌では、上方の堆積有機物層から移動してくる放射性セシウム (Cs-137) と、下方のより深い土壌層へ移動していく放射性セシウム (Cs-137) のバランスにより、その濃度が変化しているものと思われる。このバランスは、堆積有機物の分解や、放射性物質の下方への移動に伴って変化することが見込まれるため、今後の推移にも注意が必要と思われる。

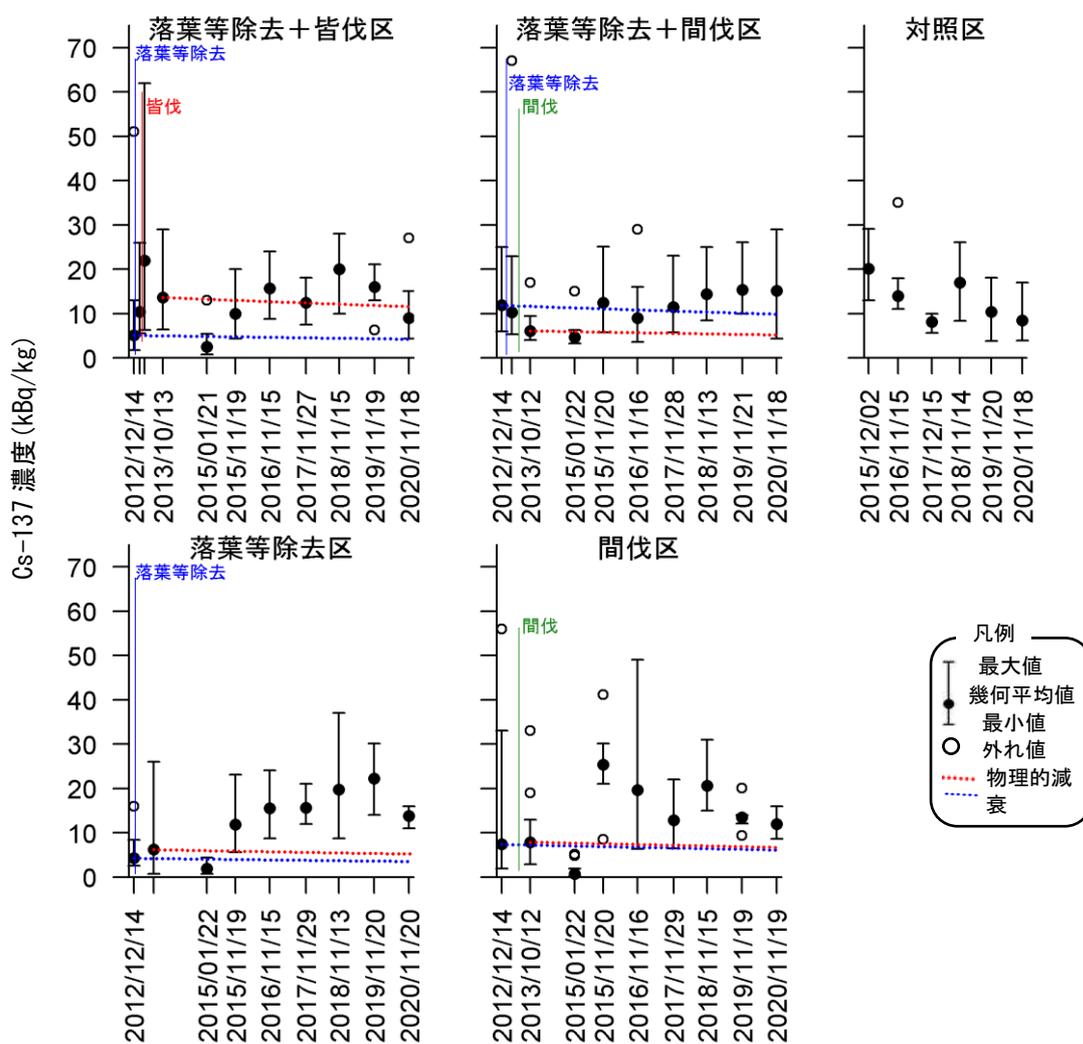


図 2-30 スギ林 (A区) における土壌 (深さ 0~5cm) の Cs-137 濃度の推移

各作業区、各測定回の測定地点数は表 2-17(43 頁)参照。黒い点は、幾何平均値、白い点は、外れ値、誤差線は、外れ値を除く最大値と最小値を示す。青色の点線は、各種作業開始前、赤色の点線は、各種作業完了時点からの物理的減衰を示す。

② 川内試験地スギ林（B区）

スギ林（B区）の落葉等除去と皆伐を実施した範囲、落葉等除去のみを実施した範囲、及び対照区における土壌（深さ0～5cm）及び堆積有機物に含まれる放射性セシウム（Cs-137）の現存量の推移を図2-31に、濃度の推移を図2-32に示す。

放射性セシウム現存量は、落葉等除去+皆伐範囲では、比較的低い水準で推移しており、大きな変動はなかった。落葉等除去のみの範囲では、一旦増加した後、堆積有機物層については平成27（2015）年以降、深さ0～5cmの土壌では平成28（2016）年以降はそれぞれ減少傾向に転じている。対照区では変化の傾向が明瞭ではないが、堆積有機物層では長期的には減少傾向にあるものと思われる。

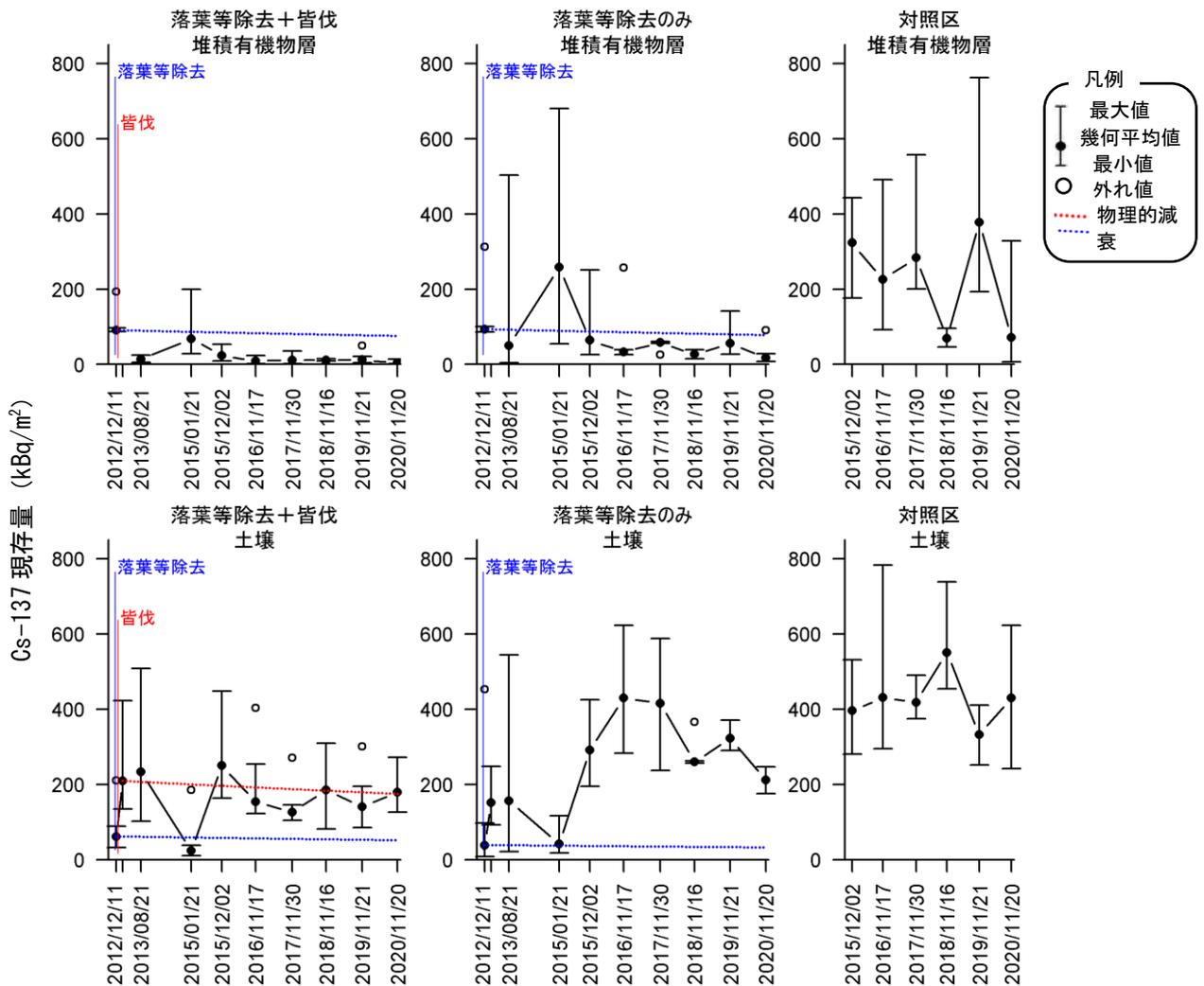


図 2-31 スギ林（B区）における堆積有機物層及び土壌（深さ0～5cm）のCs-137現存量の推移

各作業区、各測定回の測定地点数は表2-17(43頁)参照。黒い点は、幾何平均値、白い点は、外れ値、誤差線は、外れ値を除く最大値と最小値を示す。青色の点線は、各種作業開始前、赤色の点線は、各種作業完了時点からの物理的減衰を示す。

放射性セシウム濃度は、堆積有機物層では低下傾向が続いている。深さ 0～5cm の土壌については測定値のばらつきも大きく、変化の傾向が明瞭ではないが、落葉等除去のみの範囲では、上昇傾向から低下傾向に転じている可能性がある。放射性物質の下方移動を反映して推移しているものと思われる。

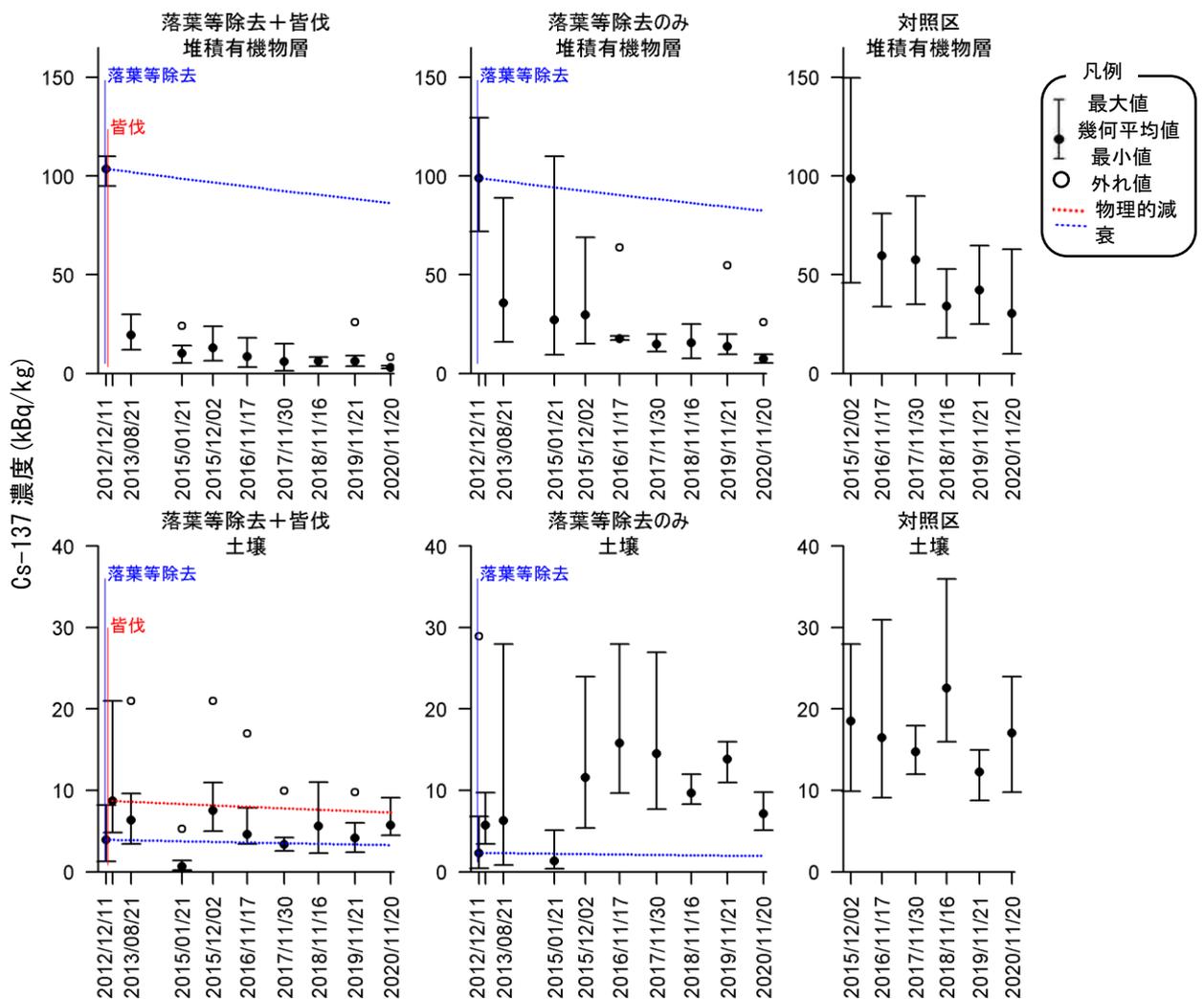


図 2-32 スギ林 (B 区) における堆積有機物層及び土壌 (深さ 0～5cm) の Cs-137 濃度の推移

各作業区、各測定回の測定地点数は表 2-17(43 頁)参照。黒い点は、幾何平均値、白い点は、外れ値、誤差線は、外れ値を除く最大値と最小値を示す。青色の点線は、各種作業開始前、赤色の点線は、各種作業完了時点からの物理的減衰を示す。

2) 堆積有機物及び土壌深度別の放射性物質分布状況

① 広野試験地 皆伐区（アカマツ広葉樹混交林）

広野試験地における深さ階層ごとに、放射性セシウム（Cs-137）の存在割合の推移を図 2-33 に示す。また、堆積有機物及び土壌深度ごとの放射性セシウム（Cs-137）濃度の推移を図 2-34 に示す。

皆伐区（アカマツ広葉樹混交林）は、伐採及び放射性セシウムの持ち出しによって、平成 25(2013)年 12 月時点で、すでに堆積有機物の放射性セシウム（Cs-137）濃度は低く、現存量も 1~2kBq/m² と少なかった。放射性セシウム現存量はばらつきが大きく、傾向が不明瞭であるが、施業区では直近の 2 年においては、表層（0-2cm）の放射性セシウム現存量の割合が減少し、下層（5-10cm）の割合が増加した。継続的に調査を実施し、検証する必要がある。

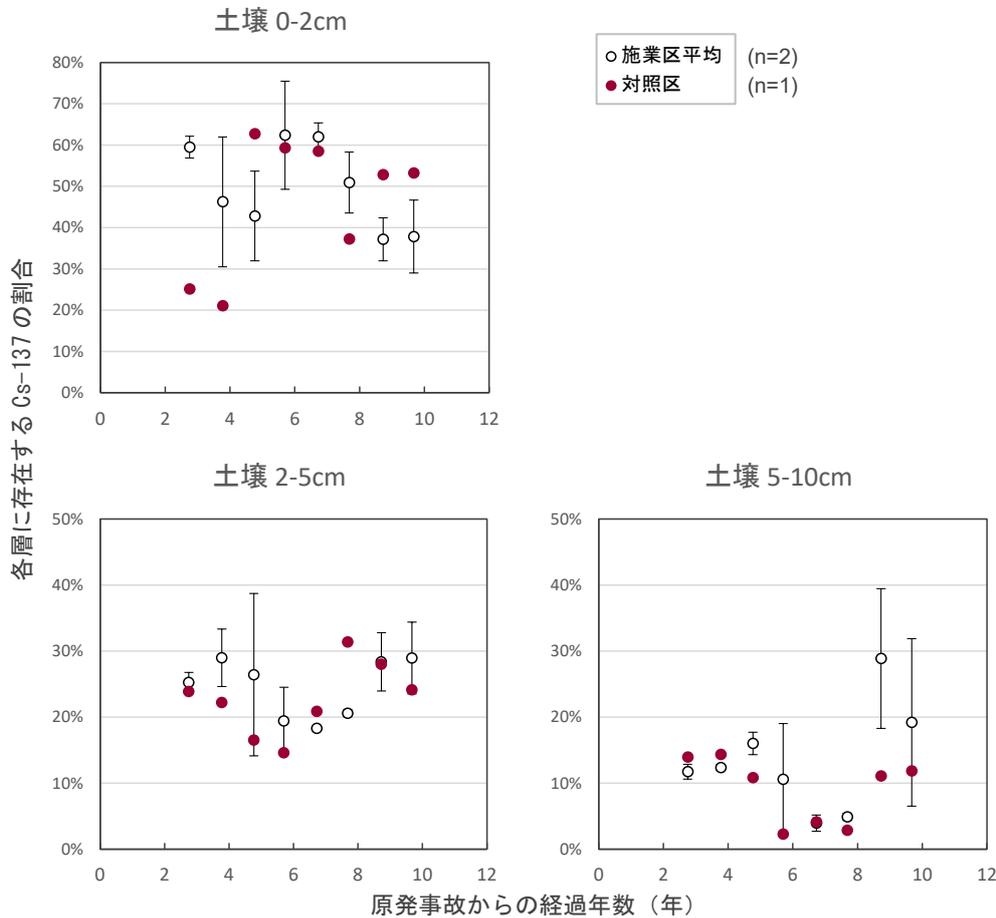


図 2-33 広野試験地皆伐区（アカマツ広葉樹混交林）における堆積有機物層及び土壌深さ階層ごとの放射性セシウム（Cs-137）の存在割合の経年変化
エラーバーは、最大値、最小値を示す。

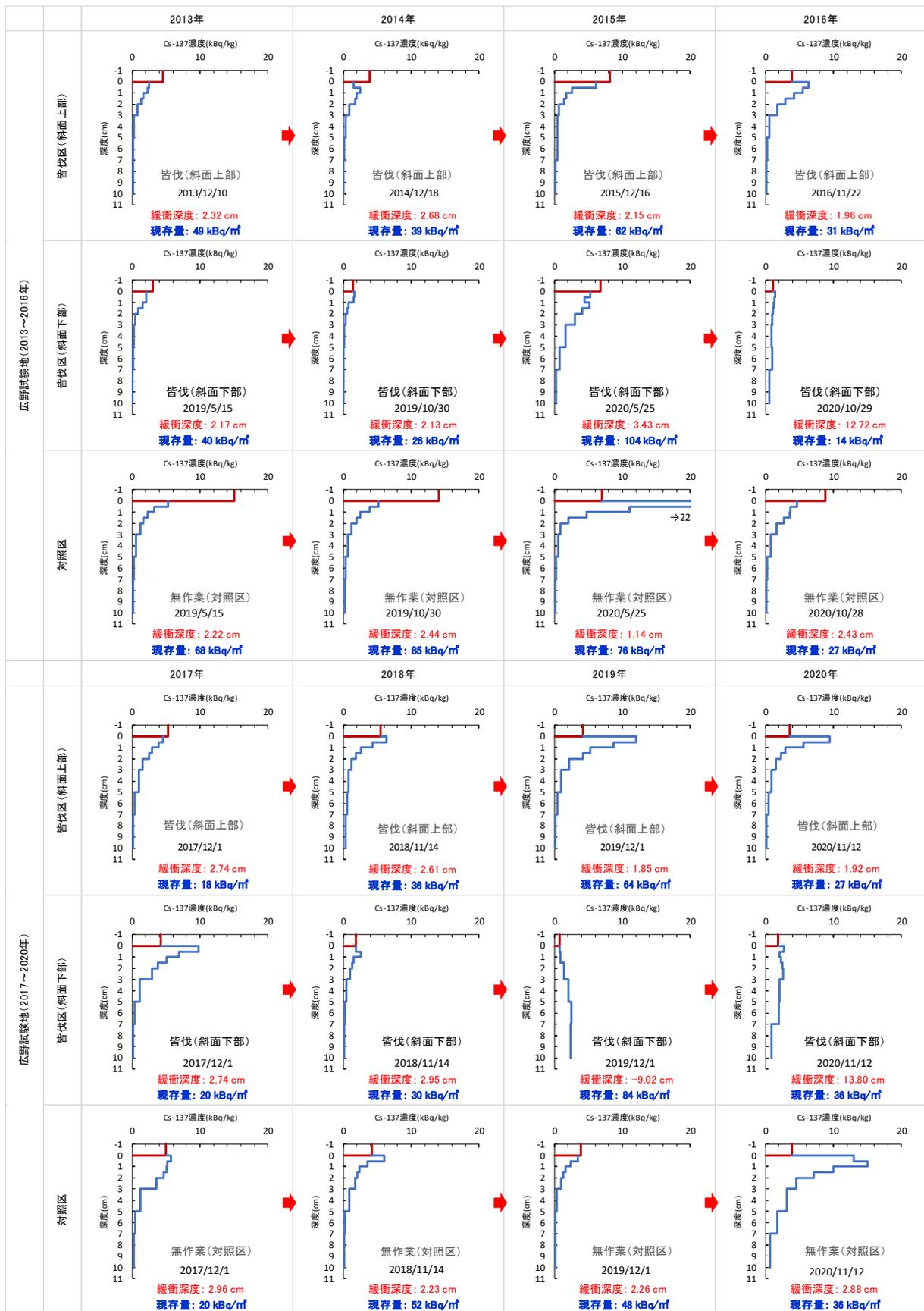


図 2-34 広野試験地皆伐区(アカマツ広葉樹混交林)における堆積有機物及び土壌深度ごとの放射性セシウム(Cs-137)濃度の推移

作図上の堆積有機物の厚さは実際の厚さと一致していない。日付は試料採取日を示す。青文字は堆積有機物及び土壌中の放射性セシウム(Cs-137)現存量の合計値を示す。

② 川内試験地スギ林（A区）

スクレーパプレート等で、試料を採取して、分析したスギ林（A区）における土壌深さ階層ごとのCs-137の存在割合の推移を図2-35に示す。測定年による変動は大きかったものの、深さ0～2cmの土壌における放射性セシウム（Cs-137）の存在割合は、年々低下傾向が見られる。逆に、深さ2～5cmの土壌では、次第に存在割合が増加する傾向が見られる。深さ5～10cmの土壌については、採取年による変動が大きく傾向が明瞭ではない。

堆積有機物及び土壌深度ごとの放射性セシウム（Cs-137）濃度の推移を図2-36に、現存量の推移を図2-37にそれぞれ示す。

放射性セシウム濃度のピークは、測定地点や測定年による変動は大きいものの、落葉等除去+皆伐区や落葉等除去区では、土壌最表層（0～0.5cm）からより下方（0.5～2cm）に、移行している。土壌中の放射性セシウムの分布の深さを示す緩衝深度も、年変動は大きいものの、長期的には次第に深くなる傾向が見られる（緩衝深度については2.5.（3）2）②参照）が、年変動も大きい。これらの状況より、各作業区で、放射性セシウムの下方移動が徐々に、進行していたことが示唆される。

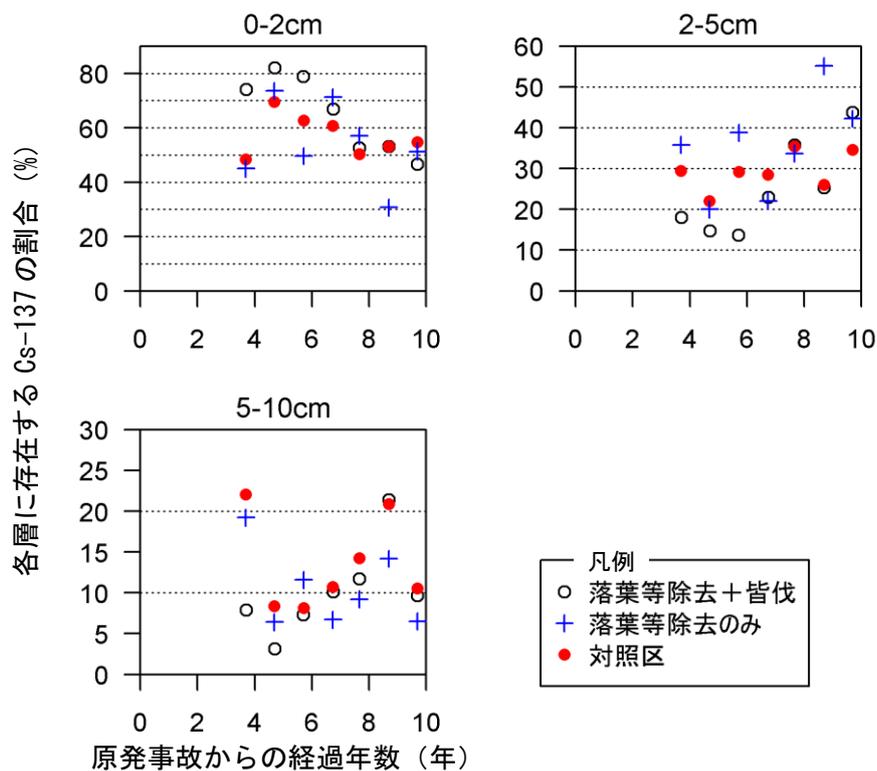


図 2-35 スギ林（A区）における土壌深さ階層ごとの放射性セシウム（Cs-137）の存在割合の経年変化

各測定回の落葉等除去+皆伐区、落葉等除去区、対照区における測定地点数は、それぞれ1地点ずつであった。堆積有機物層については、年々の変動が大きいため、この集計からは除外した。

Cs-137 濃度 (kBq/kg)

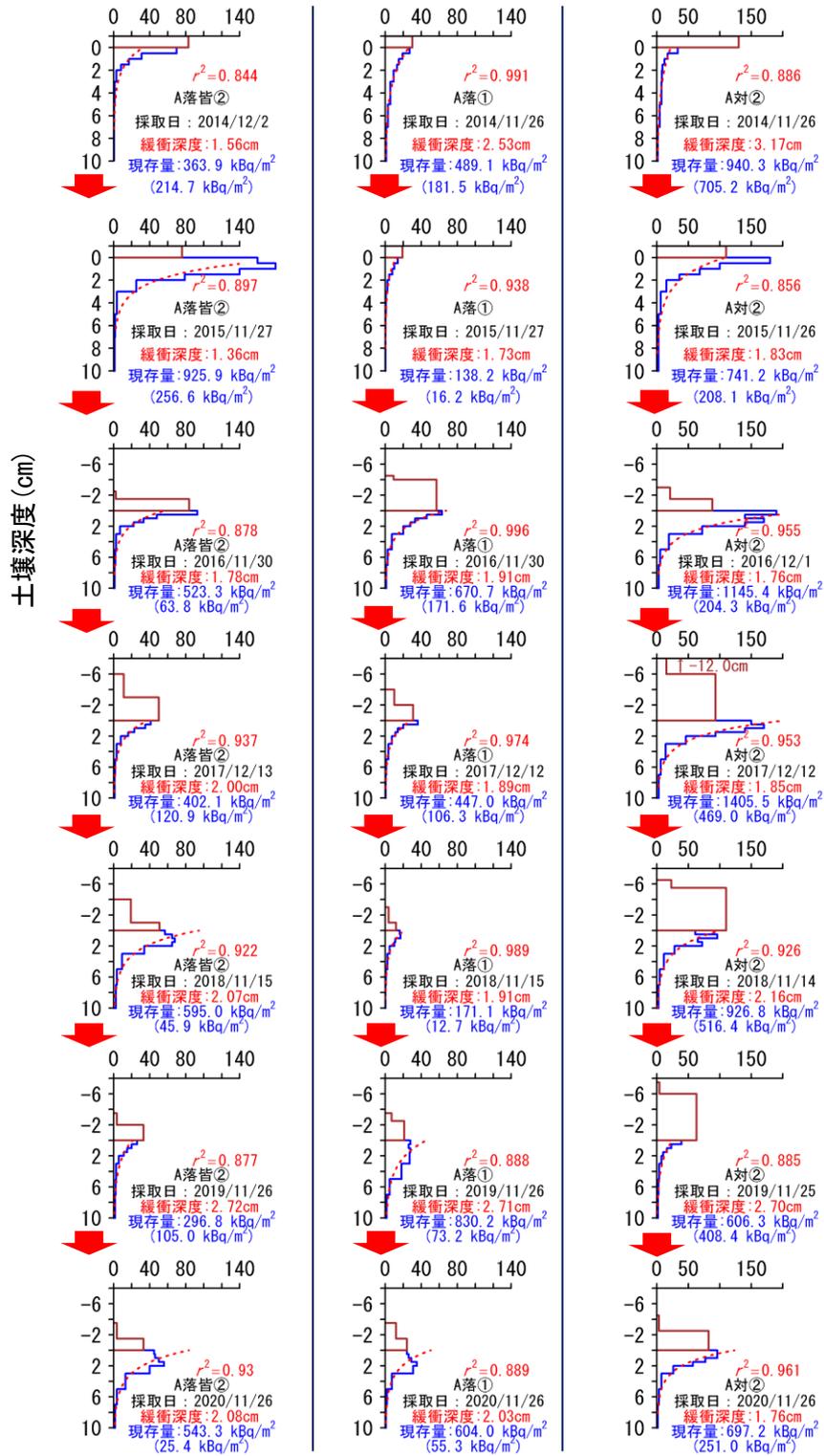


図 2-36 スギ林 (A区) における堆積有機物及び土壌深度ごとの放射性セシウム (Cs-137) の濃度の推移

図中の赤い点線は、指数関数(45頁の数式1)による土壌深度と土壌中の放射性セシウム(Cs-137)濃度についての回帰曲線を示し、 r^2 値は、自由度調整済みの決定係数を示す。図中の緩衝深度は放射性セシウム(Cs-137)濃度が地表面の $1/e$ (約36.8%; e は自然対数の底)になる深度を示す。土壌攪乱がない場合には、緩衝深度が大きいくほど、土壌の深部まで放射性セシウムが浸透していたことを示す。図中の青文字は、測定地点における堆積有機物及び土壌中の放射性セシウム(Cs-137)現存量の合計値、括弧内の数値は、堆積有機物のみの放射性セシウム(Cs-137)現存量を示す。なお、平成26(2014)年及び平成27(2015)年の堆積有機物(赤褐色の線)の厚さは、1cmで固定して作図しており、実際の厚さとは、一致しない。なお、「A落皆①」等は試料採取地点番号(位置は44頁の図2-20参照)を示す。

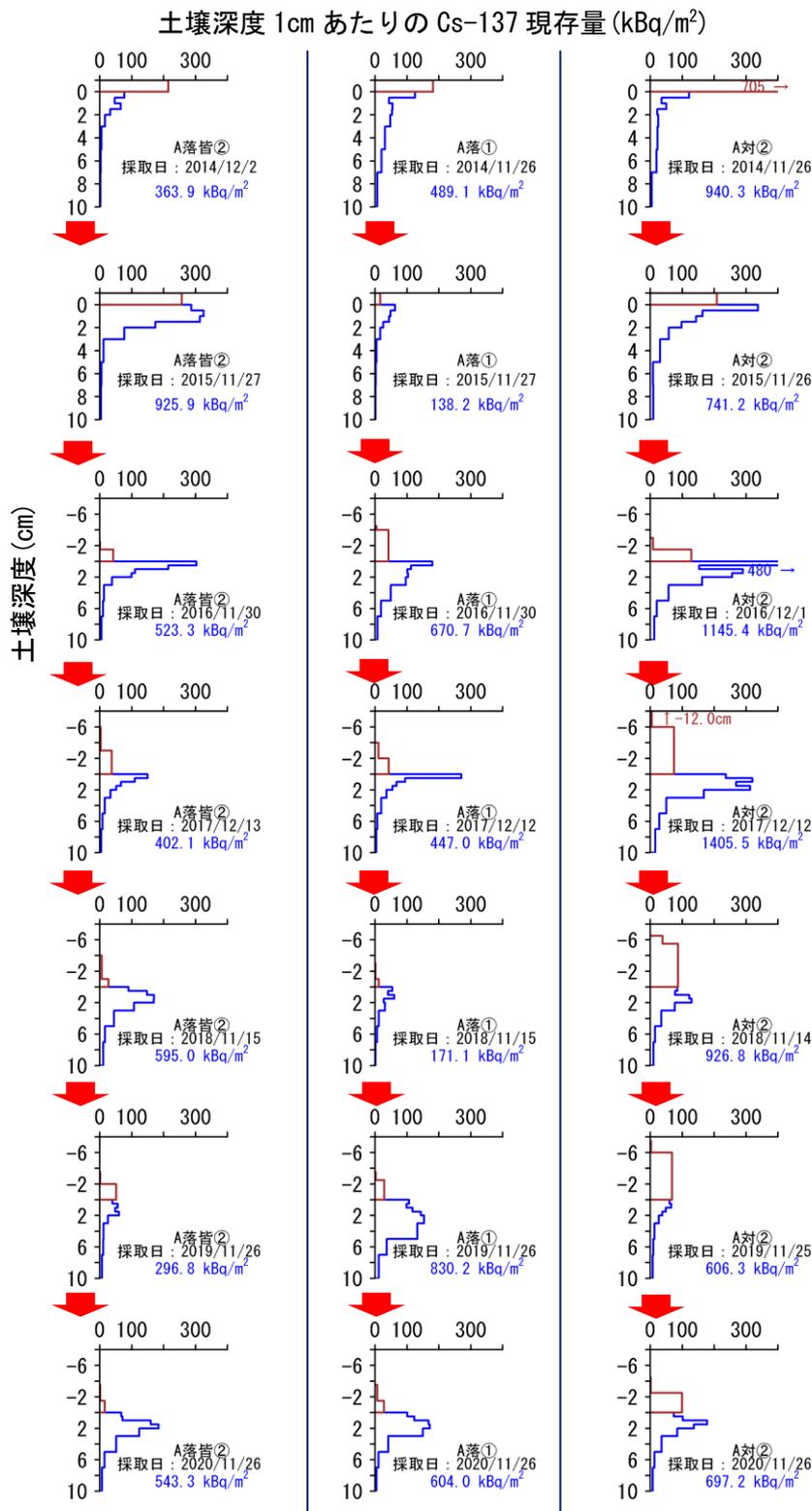


図 2-37 スギ林 (A区) における堆積有機物及び土壤深度ごとの放射性セシウム (Cs-137) の現存量の推移

各図の下部の青い文字は、測定地点における堆積有機物及び土壤中の放射性セシウム (Cs-137) 現存量の合計値を示す。なお、平成 26 (2014) 年及び平成 27 (2015) 年の堆積有機物 (赤褐色の線) の厚さは、比較のため 1 cm で固定して作図しており、実際の厚さとは、一致しない。なお、「A 落皆①」等は試料採取地点番号 (位置は 44 頁の図 2-20 参照) を示す。

③ 川内試験地スギ林（B区）

スクレーパプレート等で、試料を採取して分析したスギ林（B区）における土壌深さ階層ごとの Cs-137 の存在割合平均値の推移を図 2-38 に示す。また、試料採取地点ごとの堆積有機物及び土壌深度ごとの放射性セシウム（Cs-137）濃度の推移を図 2-39 に、現存量の推移を図 2-40 にそれぞれ示す。

放射性セシウムの存在割合は、土壌の深さ 0～2cm では、原発事故から 5～6 年目頃までは増加し、それ以降は減少傾向に転じている。深さ 2～5cm では長期的には緩やかな増加傾向が続いているものと思われるが、深さ 5～10cm では傾向は明瞭ではない。

一部の測定地点（B 落皆①、②等）では、濃度のピークが土壌の最表層（0～0.5cm）からより下方（深さ 1～3cm 程度）にシフトした。また、落葉等除去+皆伐範囲では、測定地点や測定年による変動はあるものの、放射性セシウムの分布の深さを示す緩衝深度（P26 参照）も次第に深くなる傾向が見られた。

これらの状況より、スギ林（B区）では、落葉等除去+皆伐区と対照区の双方で、放射性セシウムの下方移動が、進行していたことが示唆された。

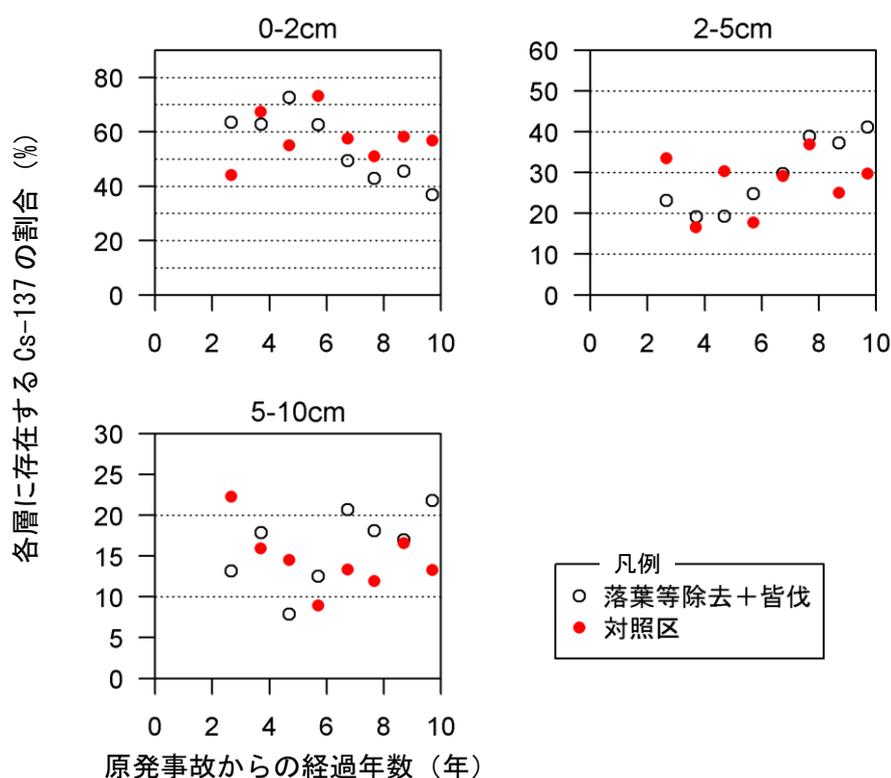


図 2-38 スギ林（B区）における土壌深さ階層ごとの放射性セシウム（Cs-137）の存在割合平均値の経年変化

各測定回の測定地点数は、落葉等除去+皆伐区では3地点、対照区では2地点であった。堆積有機物層については、年々の変動が大きいため、この集計からは除外した。

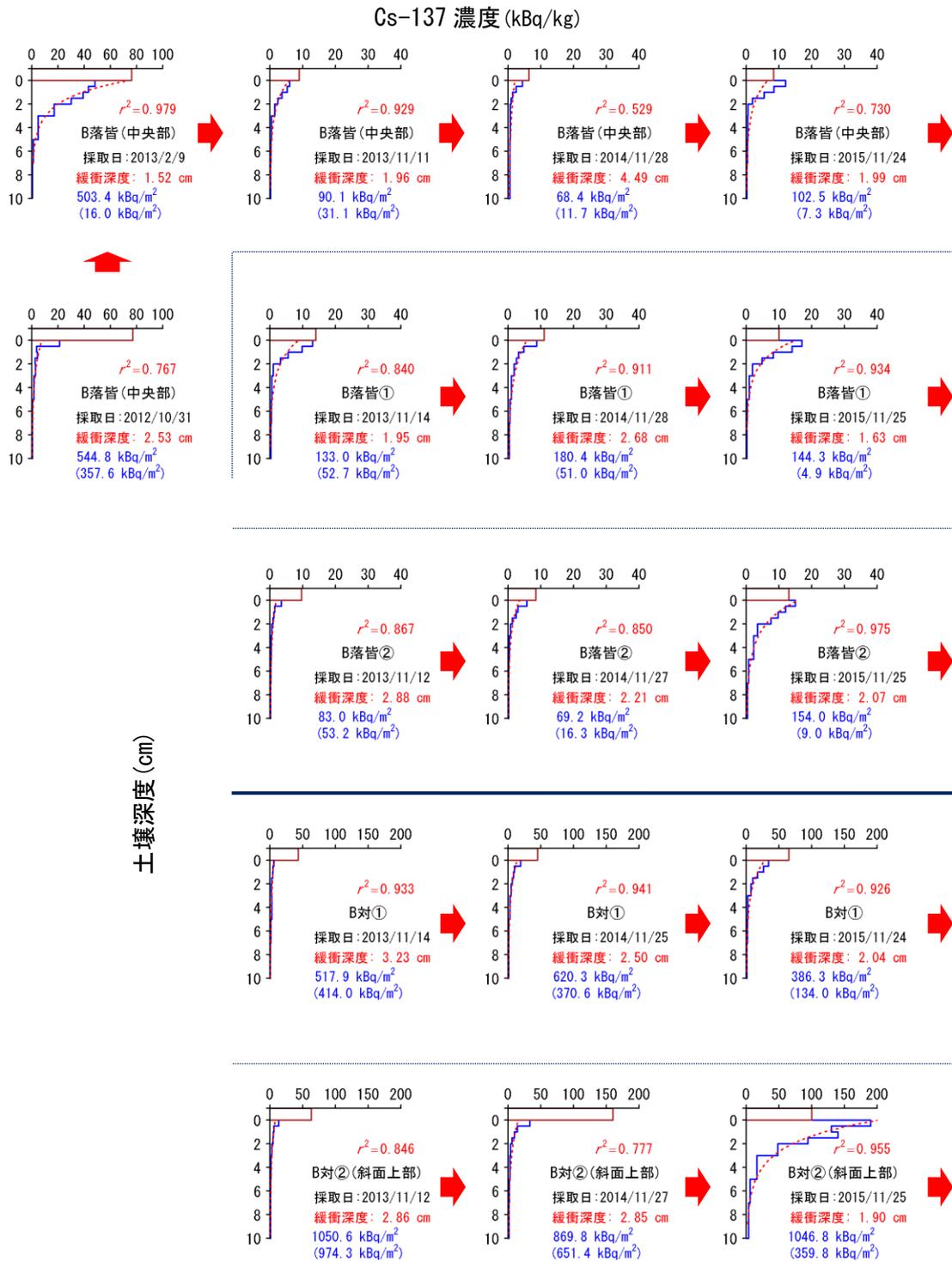


図 2-39(1) スギ林 (B 区) における堆積有機物及び土壌深度ごとの放射性セシウム (Cs-137) の濃度の推移 (1/2)

図中の赤い点線は、指数関数(45 頁の数式 1)による土壌深度と土壌中の放射性セシウム (Cs-137) 濃度についての回帰曲線を示し、 r^2 値は、自由度調整済みの決定係数を示す。図中の緩衝深度は放射性セシウム (Cs-137) 濃度が地表面の $1/e$ (約 36.8%; e は自然対数の底) になる深度を示す。土壌攪乱がない場合には、緩衝深度が大きいほど、土壌の深部まで放射性セシウムが浸透していたことを示す。青文字は、測定地点における堆積有機物及び土壌中の放射性セシウム (Cs-137) 現存量の合計値、括弧内の数値は、堆積有機物だけの放射性セシウム (Cs-137) 現存量を示す。平成 26(2014)年及び平成 27(2015)年の堆積有機物(赤褐色の線)の厚さは、比較のため 1 cm で固定して作図しており実際の厚さとは、一致しない。なお、「B 落①等」は、試料採取地点番号(位置は 45 頁の図 2-21 参照)を示す。

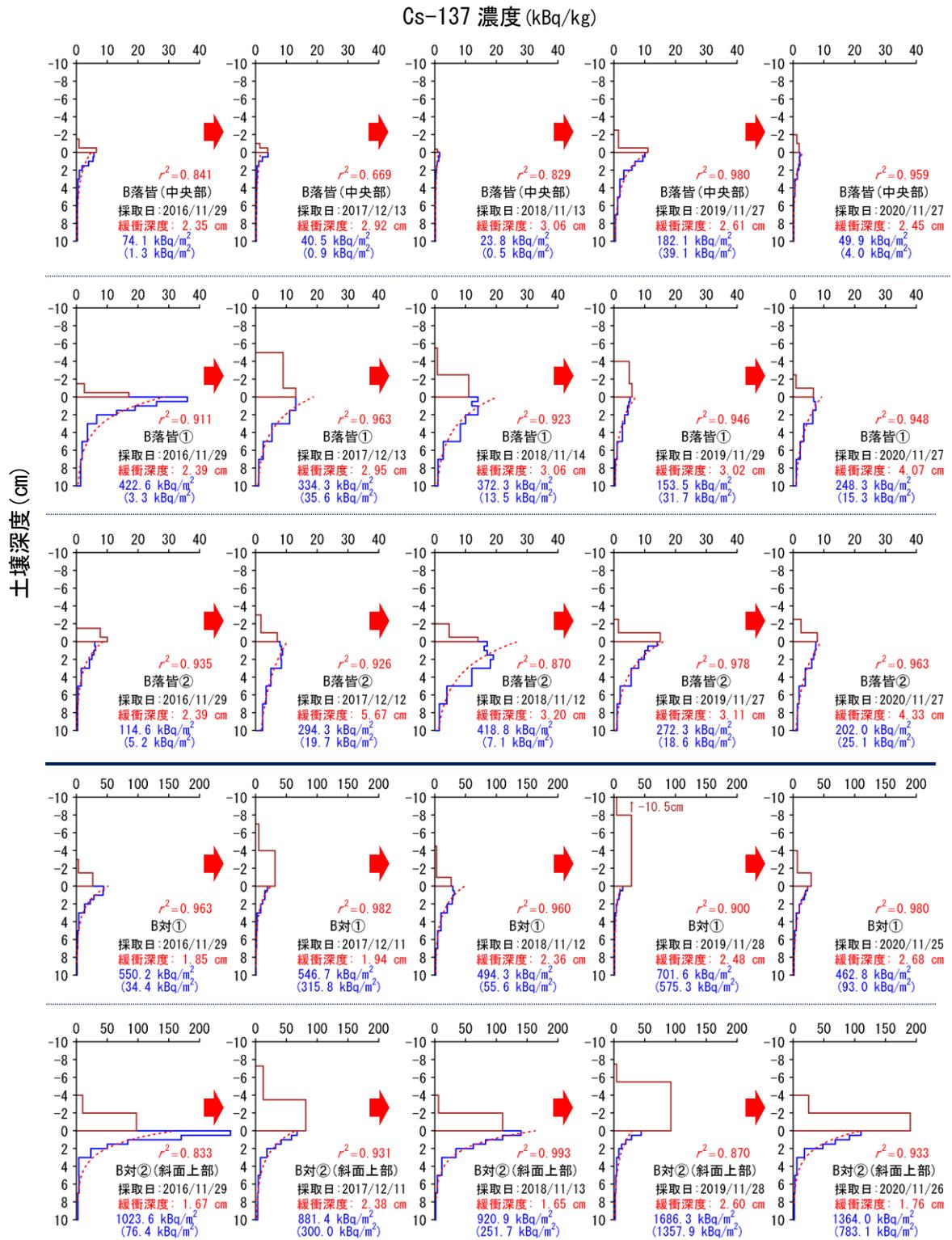


図 2-39(2) スギ林 (B 区) における堆積有機物及び土壌深度ごとの放射性セシウム (Cs-137) の濃度の推移 (2/2)

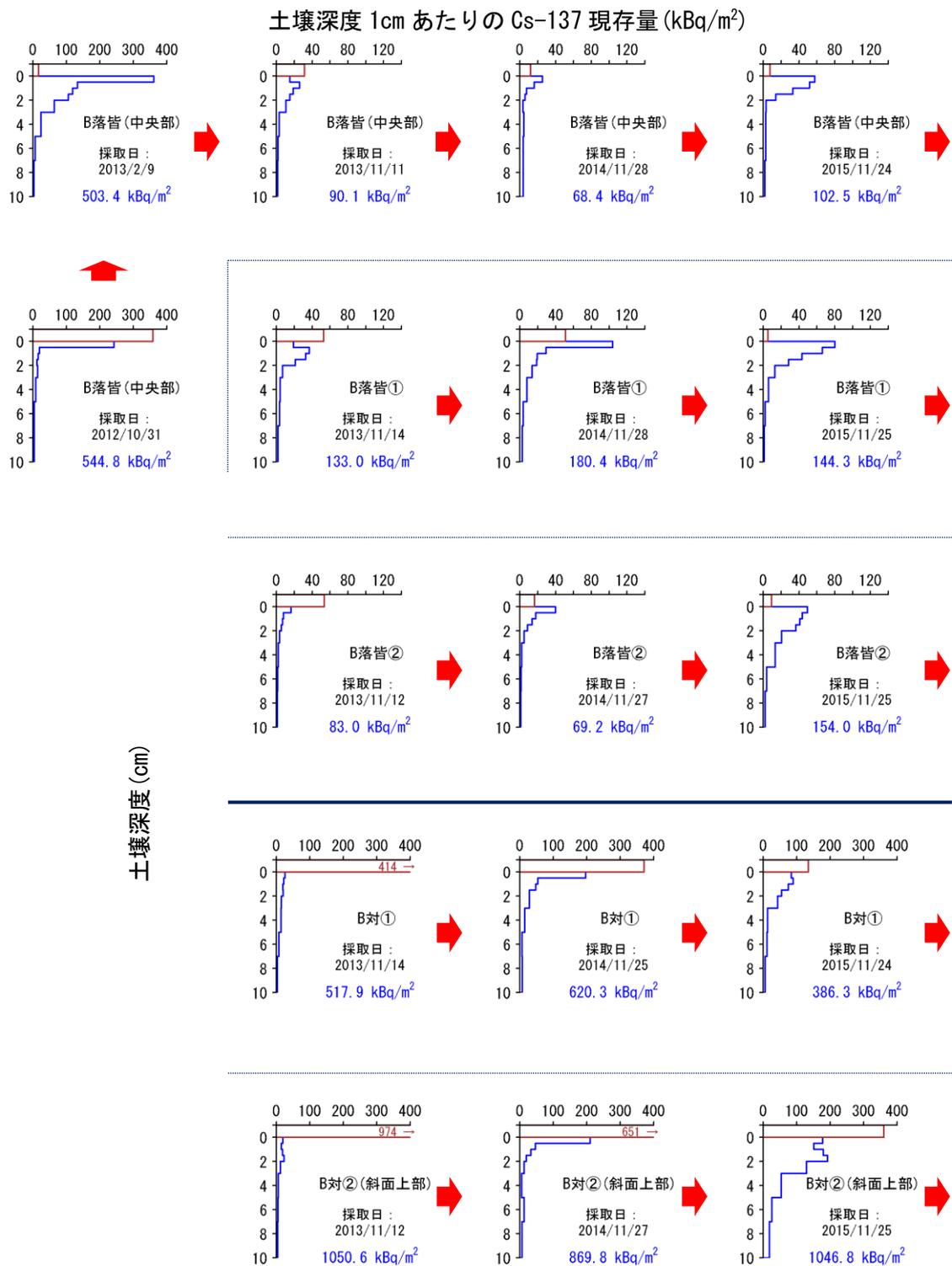


図 2-40(1) スギ林 (B 区) における堆積有機物及び土壤深度ごとの放射性セシウム (Cs-137) の現存量の推移 (1/2)

各図の下部の青い文字は、測定地点における堆積有機物及び土壤中の放射性セシウム (Cs-137) 現存量の合計値を示す。なお、平成 26(2014)年及び平成 27(2015)年の堆積有機物(赤褐色の線)の厚さは、比較のため 1 cm で固定して作図しており、実際の厚さとは、一致しない。なお、「B 落①」等は試料採取地点番号(位置は 45 頁の図 2-21 参照)を示す。

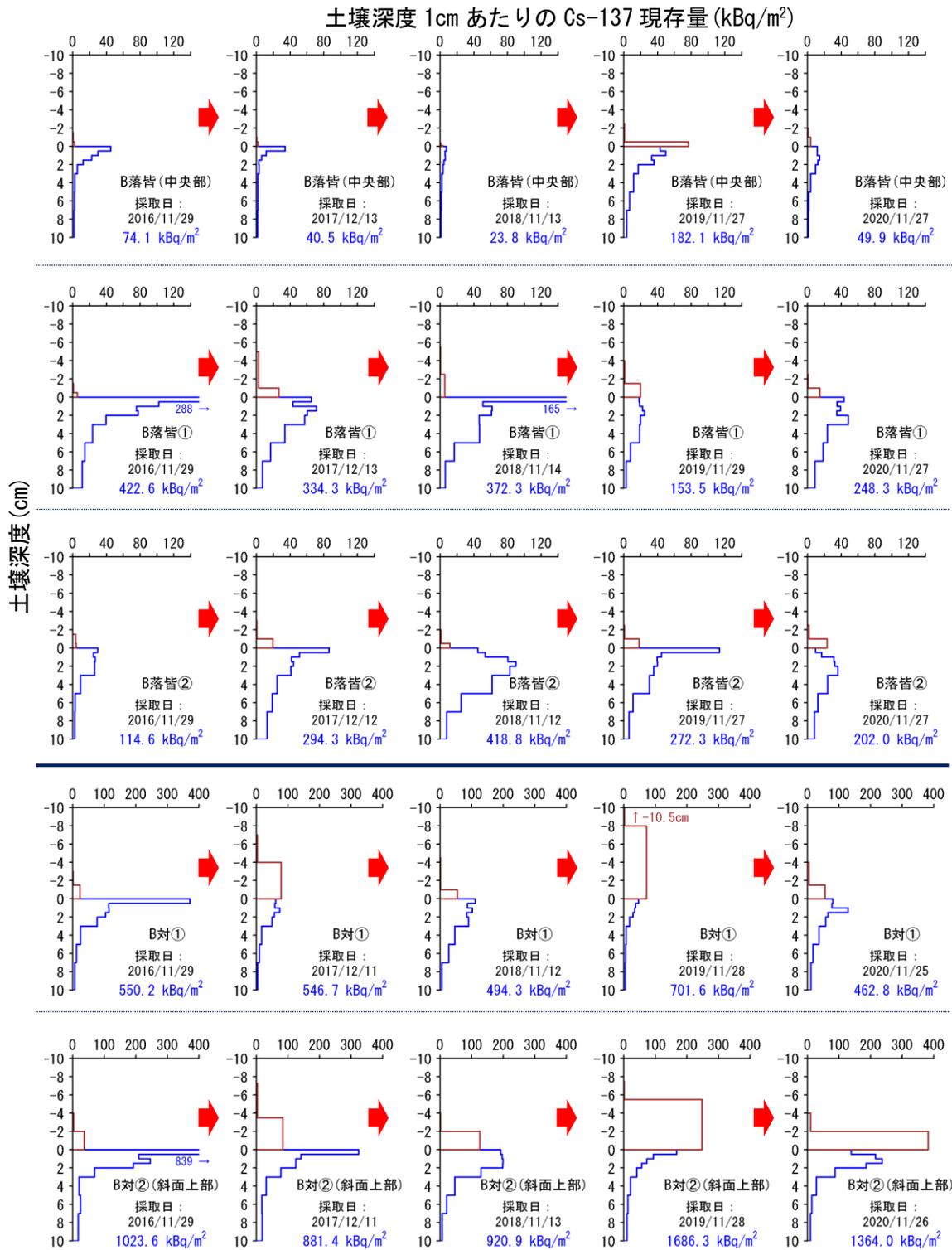


図 2-40(2) スギ林 (B 区) における堆積有機物及び土壤深度ごとの放射性セシウム (Cs-137) の現存量の推移 (2/2)

3) 下層植生に含まれる放射性セシウム濃度と現存量

川内試験地のスギ林（A区、B区）及び原木採取林モデル地区の下層植生に含まれる放射性セシウム（Cs-137）濃度を図 2-41、現存量を図 2-42、乾重量を図 2-43 に示す。また、採取対象とした下層植生の生育状況についての写真（写真 2-5、写真 2-6）を例示する。なお、原木採取林モデル地区においては、平成 29（2017）年度以降は、調査を実施していないため、平成 28（2016）年度までの測定結果を示す。

2年分の調査結果しか得られていない原木採取林を除く全ての作業区（スギ林）で、下層植生に含まれる放射性セシウム（Cs-137）の濃度及び現存量に低下傾向が見られ、本年度も、スギ林（B区）の対照区等、一部を除いて、概ねその傾向が続いていた（図 2-41）。

下層植生の放射性セシウム濃度は、落葉等除去及び皆伐・間伐を実施した作業区の方が対照区よりも低かった。また、スギ林（B区）の落葉等除去+皆伐区の方が、スギ林（A区）の落葉等除去+皆伐区や落葉等除去+間伐区よりも、放射性セシウムの濃度が低かった。

下層植生の放射性セシウム現存量は、対照区については、スギ林（A区）とスギ林（B区）は同程度であった。一方、落葉等除去+皆伐区については、B区で顕著に低く、A区では、対照区よりも高い傾向が見られた（図 2-42）。これは、下層植生に含まれる放射性セシウム濃度が、スギ林（B区）の落葉等除去+皆伐区の方が、スギ林（A区）の落葉等除去+皆伐区より低かったためと考えられる。

なお、落葉等除去+皆伐区では、平成 30（2018）年には下刈りの影響で下層植生の放射性セシウム（Cs-137）現存量と乾重量が一旦低下したが、令和元（2019）年以降は、下層植生の回復に伴って再び増加している。

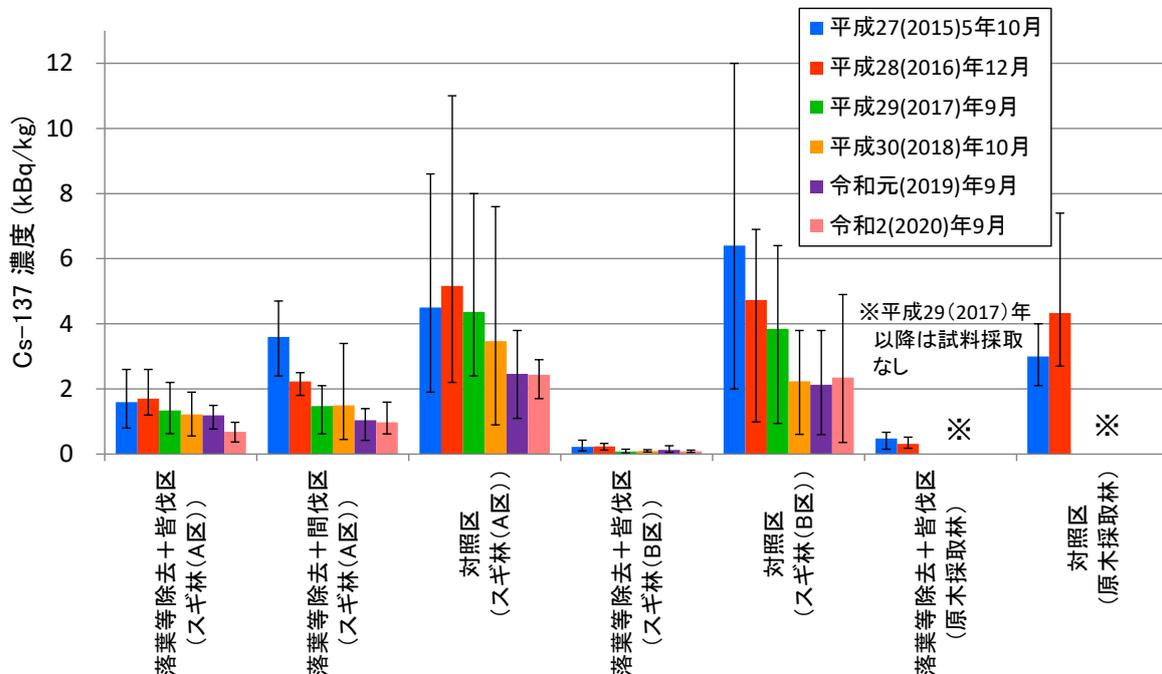


図 2-41 川内試験地の下層植生に含まれる放射性セシウム（Cs-137）の濃度

各測定年の各作業区における測定地点数は、3地点ずつであった。原木採取林モデル地区では、平成 29(2017)年以降は、下層植生の調査を実施していない。スギ林(A区)及びスギ林(B区)の落葉除去+間伐区では、平成 30(2018)年8月に下刈りを実施した。図中の誤差線は、最大値及び最小値を示す。

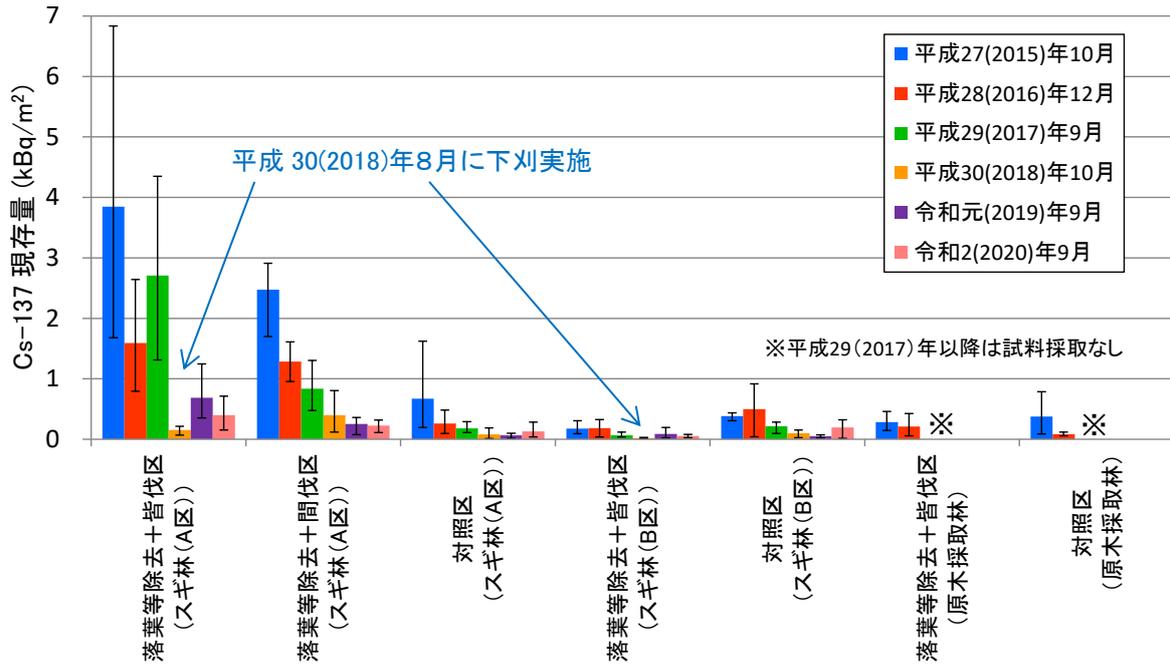


図 2-42 川内試験地の下層植生に含まれる放射性セシウム (Cs-137) の現存量

原木採取林モデル地区では、平成 29(2017)年以降は、下層植生の調査を実施していない。スギ林(A区)及びスギ林(B区)の落葉除去+間伐区では、平成 30(2018)年8月に下刈りを実施した。図中の誤差線は、最大値及び最小値を示す。

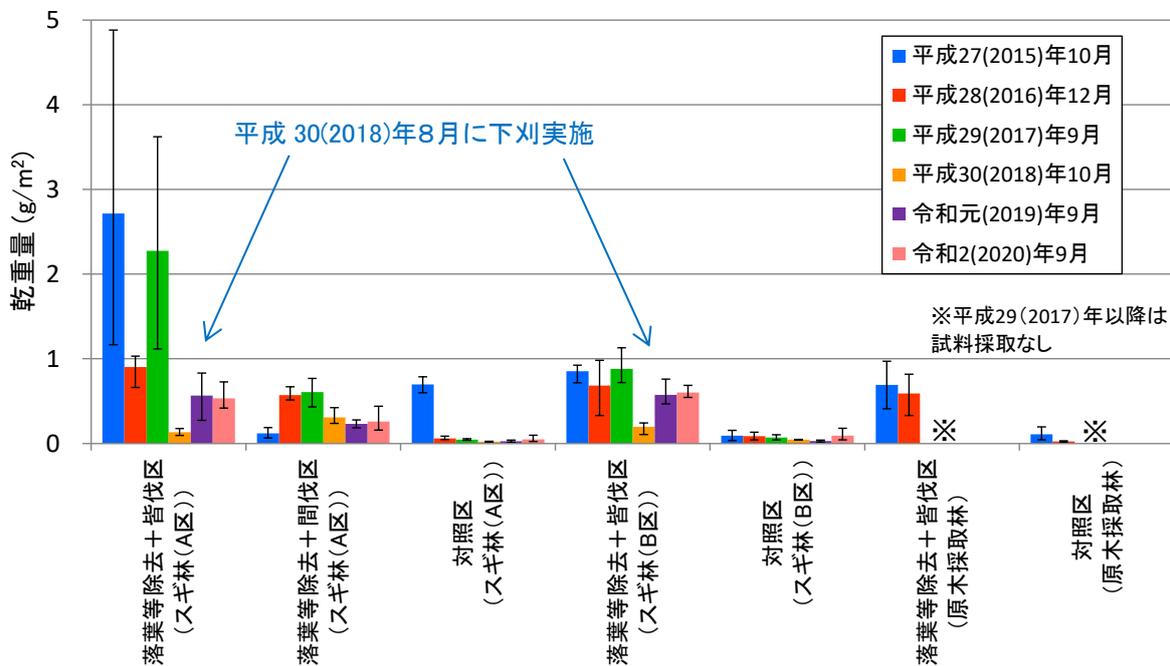


図 2-43 川内試験地で採取された下層植生の乾重量

原木採取林モデル地区では、平成 29(2017)年以降は、下層植生の調査を実施していない。スギ林(A区)及びスギ林(B区)の落葉除去+間伐区では、平成 30(2018)年8月に下刈りを実施した。図中の誤差線は、最大値及び最小値を示す。



写真 2-5 川内試験地スギ林（A区）対照区
における採取対象の下層植生の生育状況
（令和2（2020）年9月）



写真 2-6 川内試験地スギ林（A区）落葉等
除去+皆伐区における下層植生の生育状
況（令和2（2020）年9月）

4) リターフォールに伴う放射性物質の移動状況

川内試験地のスギ林（A、B区）及び原木採取林モデル地区におけるリターフォール量及びリター中の放射性セシウム（Cs-137）濃度と現存量、現存量累積値を表 2-20～表 2-22、図 2-44～図 2-46 に示す。

全ての試験区において、リターフォール中の放射性セシウム（Cs-137）濃度及び現存量は、年々低下する傾向にある。放射性セシウム濃度については、スギ林（B区）では傾向がやや不明瞭であるが、毎年夏期（7～9月期）に上昇し、秋から冬（10～12月期）にかけて、低下する傾向が認められる。ただし、各試験区で放射性セシウム濃度の低下幅は、年々小さく、なっており、下げ止まりつつあるものと考えられる。

リターフォール中の放射性セシウム濃度及び現存量は、落葉等除去及び皆伐や間伐の作業を実施した作業区の方が対照区よりも少ない傾向がある。ただし、スギ林（A区）では、夏季の落葉量が少ない時期等には、落葉等除去区+間伐区等でリター中の放射性セシウム（Cs-137）濃度が対照区を上回る時期もあったが、放射性セシウムの現存量ベースでは、対照区のほうが多い状況が続いている。リターフォールの乾重量が増加する時期等に若干の年変動は見られたものの、令和2（2020）年も、これまでと異なる変化は特に見られなかった。

表 2-20 令和 2（2020）年にスギ林（A 区）内の各リタートラップで採取されたリターフォー
ルの乾重量、放射性セシウム（Cs-137）濃度及び現存量

日付	落葉等除去+皆伐区								
	A 皆①			A 皆②			A 皆③		
	乾重 (g/m ²)	濃度 (Bq/kg)	現存量 (Bq/m ²)	乾重 (g/m ²)	濃度 (Bq/kg)	現存量 (Bq/m ²)	乾重 (g/m ²)	濃度 (Bq/kg)	現存量 (Bq/m ²)
令和 2(2020)年 1 月 15 日	7.1	3,700	26.27	2.0	1,700	3.40	3.6	1,500	5.40
2 月 14 日	7.6		28.12	0.8		1.36	1.3		1.95
3 月 4 日	3.2		11.84	4.9		8.33	0.7		1.05
5 月 15 日	18.6	8,600	159.96	3.4	1,300	4.42	8.5	1,500	12.75
6 月 17 日	0.8		6.88	0.8		1.04	4.4		6.60
7 月 15 日	0.9	40,000	36.00	0.7	8,000	5.60	1.7	300	0.51
8 月 14 日	1.1		44.00	0.5		4.00	4.4		1.32
9 月 14 日	1.5		60.00	1.9		15.20	13.9		4.17
10 月 15 日	3.0	1,200	3.60	5.0	480	2.40	14.0	560	7.84
11 月 16 日	41.0		49.20	65.0		31.20	120.0		67.20
12 月 14 日	19.0		22.80	29.0		13.92	26.0		14.56

作業区	落葉等除去+間伐区						間伐区					
トラップ名	A 落間①			A 落間②			A 間①			A 間②		
日付	乾重 (g/m ²)	濃度 (Bq/kg)	現存量 (Bq/m ²)	乾重 (g/m ²)	濃度 (Bq/kg)	現存量 (Bq/m ²)	乾重 (g/m ²)	濃度 (Bq/kg)	現存量 (Bq/m ²)	乾重 (g/m ²)	濃度 (Bq/kg)	現存量 (Bq/m ²)
1 月 15 日	7.7	2,000	15.40	45.2	3,000	135.60	11.5	2,200	25.30	23.0	3,800	87.40
2 月 14 日	4.7		9.40	10.3		30.90	9.5		20.90	23.7		90.06
3 月 4 日	12.4		24.80	2.2		6.60	15.0		33.00	38.8		147.44
5 月 15 日	39.6	4,400	174.24	37.2	15,000	558.00	46.8	8,900	416.52	88.2	9,700	855.54
6 月 17 日	0.6		2.64	1.9		28.50	1.2		10.68	3.2		31.04
7 月 15 日	0.6	30,000	18.00	1.9	74,000	140.60	0.4	15,000	6.00	6.8	21,000	142.80
8 月 14 日	1.7		51.00	1.5		111.00	3.1		46.50	4.8		100.80
9 月 14 日	2.3		69.00	1.6		118.40	5.1		76.50	6.4		134.40
10 月 15 日	5.0	370	1.85	11.0	480	5.28	7.0	1,000	7.00	7.0	2,700	18.90
11 月 16 日	49.0		18.13	49.0		23.52	42.0		42.00	66.0		178.20
12 月 14 日	18.0		6.66	24.0		11.52	69.0		69.00	57.0		153.90

日付	落葉等除去区			対照区					
	A 落①			A 対①			A 対②		
	乾重 (g/m ²)	濃度 (Bq/kg)	現存量 (Bq/m ²)	乾重 (g/m ²)	濃度 (Bq/kg)	現存量 (Bq/m ²)	乾重 (g/m ²)	濃度 (Bq/kg)	現存量 (Bq/m ²)
1 月 15 日	15.4	1,200	18.48	64.7	3,300	213.51	15.0	3,500	52.50
2 月 14 日	12.3		14.76	31.3		103.29	39.8		139.30
3 月 4 日	7.1		8.52	19.9		65.67	4.8		16.80
5 月 15 日	47.5	9,500	451.25	124.2	16,000	1,987.20	81.0	13,000	1,053.00
6 月 17 日	1.7		16.15	2.2		35.20	14.0		182.00
7 月 15 日	1.8	20,000	36.00	2.2	42,000	92.40	3.6	45,000	162.00
8 月 14 日	6.6		132.00	3.5		147.00	6.7		301.50
9 月 14 日	4.7		94.00	4.9		205.80	7.6		342.00
10 月 15 日	3.0	400	1.20	6.0	430	2.58	11.0	1,100	12.10
11 月 16 日	88.0		35.20	75.0		32.25	159.0		174.90
12 月 14 日	47.0		18.80	101.0		43.43	60.0		66.00

A 皆①、A 皆②等の名称は、リタートラップ名を示す。各トラップの設置位置は、図 2-22 参照。

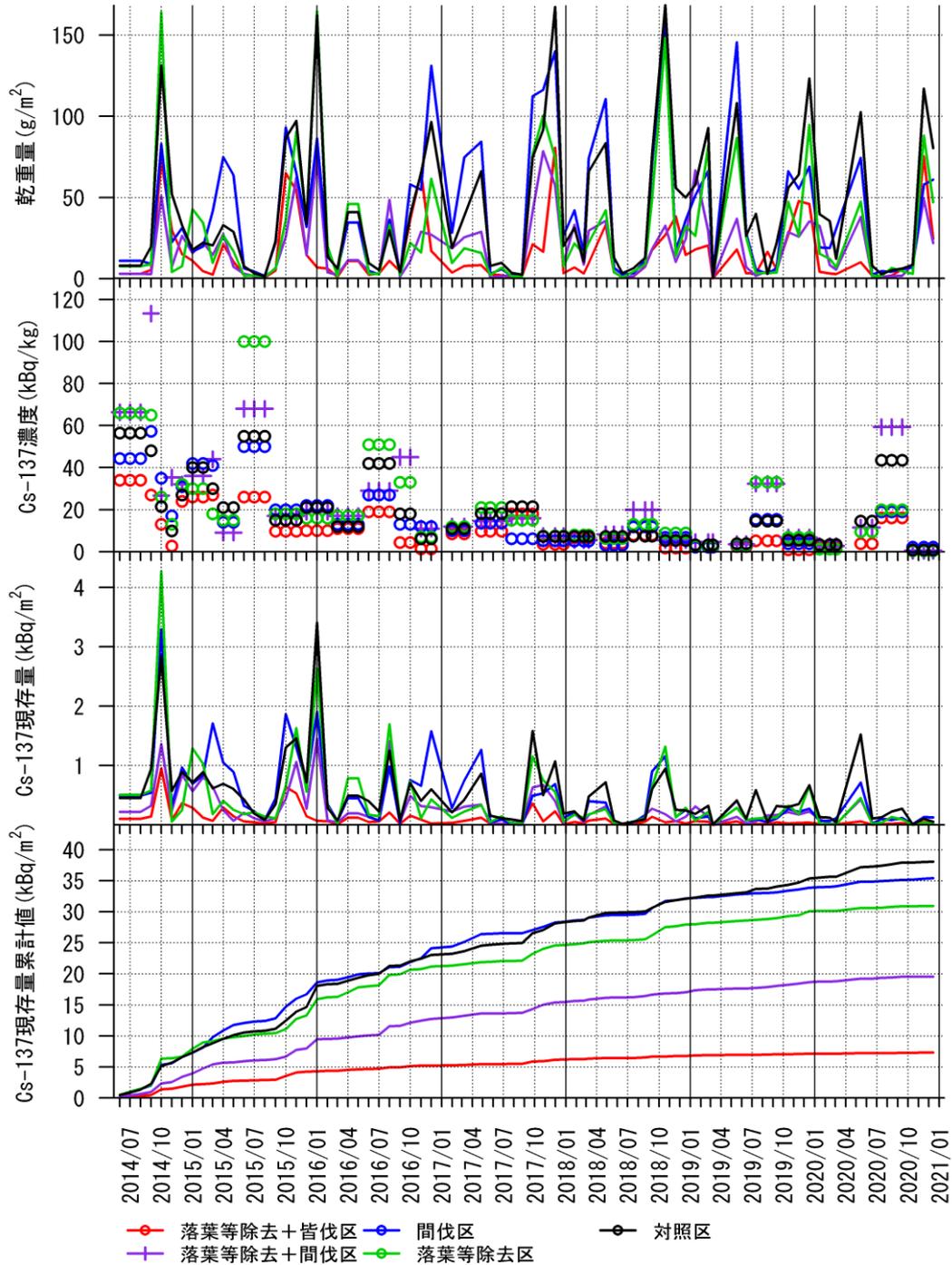


図 2-44 スギ林（A区）におけるリターフォール量及びリター中の放射性セシウム（Cs-137）濃度と現存量、現存量累積値（平成 26（2014）年 6 月以降の累積値）

A 皆①、A 皆②、A 皆③の平均値を落葉等除去+皆伐区、A 落①を落葉等除去区、A 対①、A 対②の平均値を对照区として図示した。落葉等除去+間伐区及び間伐区については、伐開領域(A 落間①、A 間①)と残存樹冠下(A 落間②、A 間②)にそれぞれ設置したリタートラップの測定値を面積比(1:2)で重み付けした平均値を、それぞれ落葉等除去+間伐区、間伐区として図示した。なお、A 皆①、A 皆②等の名称はリタートラップ名を示す。各トラップの設置位置は図 2-22 参照。

表 2-21 令和 2 (2020) 年にスギ林 (B 区) 内の各リタートラップで採取されたリターフォールの乾重量、放射性セシウム (Cs-137) 濃度及び現存量

日付	落葉等除去+皆伐範囲						対照区					
	B 皆①			B 皆②			B 対①			B 対②		
	乾重 (g/m ²)	濃度 (Bq/kg)	現存量 (Bq/m ²)	乾重 (g/m ²)	濃度 (Bq/kg)	現存量 (Bq/m ²)	乾重 (g/m ²)	濃度 (Bq/kg)	現存量 (Bq/m ²)	乾重 (g/m ²)	濃度 (Bq/kg)	現存量 (Bq/m ²)
令和 2(2020)年 1 月 15 日	1.1	1,000	1.10	0.2	1,900	0.38	20.8	1,100	22.88	33.3	4,900	163.17
2 月 14 日	0.1		0.10	0.2		0.38	42.5		46.75	31.7		155.33
3 月 4 日	0.8		0.80	0.3		0.57	11.7		12.87	10.3		50.47
5 月 15 日	8.4	1,100	9.24	5.2	3,500	18.20	70.8	8,800	623.04	106.3	17,000	1,807.10
6 月 17 日	0		0.00	0.1		0.35	4		35.20	5.9		100.30
7 月 15 日	0.6	53	0.03	0	610	0.00	6.8	3,200	21.76	3.8	18,000	68.40
8 月 14 日	0.6		0.03	0.9		0.55	7.3		23.36	10		180.00
9 月 14 日	2.1		0.11	0.5		0.31	12.3		39.36	6.3		113.40
10 月 15 日	5	80	0.40	1	170	0.17	12	470	5.64	24	1,600	38.40
11 月 16 日	30		2.40	4		0.68	42		19.74	84		134.40
12 月 14 日	9		0.72	2		0.34	149		70.03	81		129.60

B 皆①、B 皆②等の名称はリタートラップ名を示す。各トラップの設置位置は、図 2-23 を参照。平成 30(2018)年 10 月 19 日の B 皆②については、強風等でリタートラップが破損し、試料が正常に捕捉できていなかったため欠測とした。

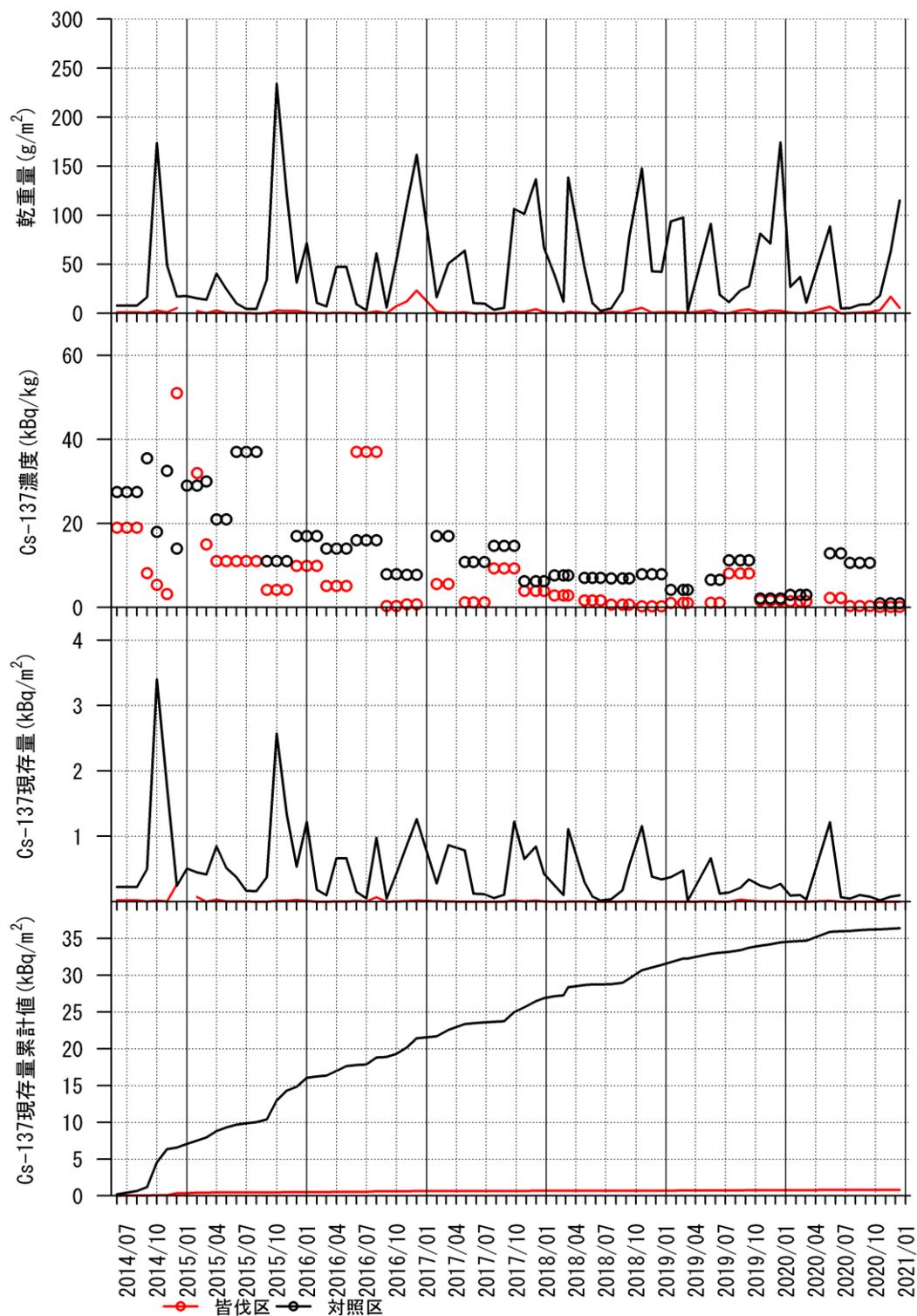


図 2-45 スギ林（B区）におけるリターフォール量及びリター中の放射性セシウム（Cs-137）濃度と現存量、現存量累積値（平成 26（2014）年 6 月以降の累積値）

B 皆①と B 皆②の平均値を皆伐区、B 対①と B 対②の平均値を対照区として、それぞれ図示した。なお、B 皆①、B 皆②等の名称は、リタートラップ名を示す。各トラップの設置位置は、図 2-23 を参照。

表 2-22 令和 2 (2020) 年に原木採取林モデル地区内の各リタートラップで採取されたリター
 フォールの乾重量、放射性セシウム (Cs-137) 濃度及び現存量

日付	落葉等除去+皆伐区						皆伐区					
	原木落皆①			原木落皆②			原木皆①			原木皆②		
	乾重 (g/m ²)	濃度 (Bq/kg)	現存量 (Bq/m ²)	乾重 (g/m ²)	濃度 (Bq/kg)	現存量 (Bq/m ²)	乾重 (g/m ²)	濃度 (Bq/kg)	現存量 (Bq/m ²)	乾重 (g/m ²)	濃度 (Bq/kg)	現存量 (Bq/m ²)
令和 2 (2020) 年 1 月 16 日	26.3	440	11.57	6.7	360	2.41	12.7	660	8.38	15.9	430	6.84
2 月 22 日	10.6		4.66	2.4		0.86	5.7		3.76	3.6		1.55
3 月 8 日	11.3		4.97	4.8		1.73	2.9		1.91	1.5		0.65
5 月 17 日	71.5	890	63.64	34.6	510	17.65	29.7	620	18.41	31.3	680	21.28
6 月 14 日	6.6		5.87	10.5		5.36	6.0		3.72	7.0		4.76
7 月 12 日	3.5	540	1.89	3.2	150	0.48	4.7	120	0.56	2.8	310	0.87
8 月 15 日	11.9		6.43	7.1		1.07	19.4		2.33	8.0		2.48
9 月 12 日	7.0		3.78	30.6		4.59	19.2		2.30	14.6		4.53
10 月 15 日	19.0	110	2.09	35.0	200	7.00	104.0	150	15.60	96.0	210	20.16
11 月 15 日	214.0		23.54	207.0		41.40	153.0		22.95	182.0		38.22
12 月 16 日	31.0		3.41	21.0		4.20	29.0		4.35	32.0		6.72

日付	対照区					
	原木対①			原木対②		
	乾重 (g/m ²)	濃度 (Bq/kg)	現存量 (Bq/m ²)	乾重 (g/m ²)	濃度 (Bq/kg)	現存量 (Bq/m ²)
1 月 15 日	24.6	970	23.86	9.0	2,000	18.00
2 月 14 日	7.5		7.28	3.4		6.80
3 月 4 日	8.0		7.76	4.8		9.60
5 月 15 日	47.3	1,800	85.14	29.4	4,100	120.54
6 月 17 日	33.4		60.12	34.4		141.04
7 月 15 日	15.4	7,500	115.50	12.8	7,400	94.72
8 月 14 日	21.0		157.50	21.2		156.88
9 月 14 日	19.0		142.50	30.5		225.70
10 月 15 日	66.0	280	18.48	-	790	-
11 月 16 日	225.0		63.00	213.0		168.27
12 月 14 日	40.0		11.20	56.0		44.24

原木落皆①等の名称は、リタートラップ名を示す。各トラップの設置位置は、図 2-24 を参照。
 10 月 15 日の原木対②については、試料回収時にリタートラップ 2 基両方の捕集ネットに異常が確認されたため欠測とした。

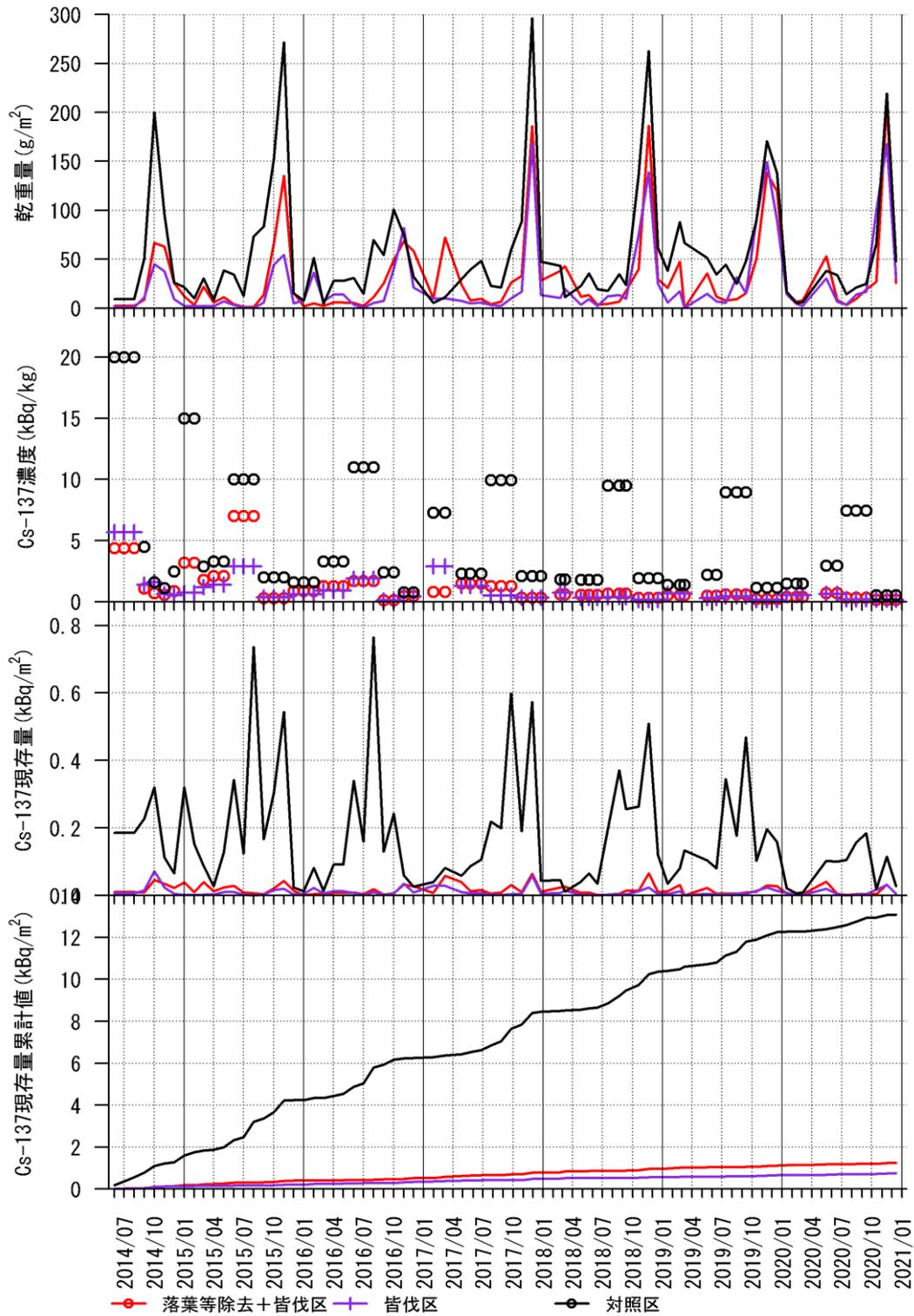


図 2-46 原木採取林モデル地区におけるリターフォール量及びリター中の放射性セシウム (Cs-137) 濃度と現存量、現存量累積値 (平成 26 (2014) 年 6 月以降の累積値)

原木落皆①と原木落皆②の平均値を落葉等除去+皆伐区、原木皆①と原木皆②の平均値を皆伐区、原木対①と原木対②の平均値を対照区として、それぞれ図示した。なお、原木落皆①等の名称は、リタートラップ名を示す。各トラップの設置位置は、図 2-24 を参照。

5) 降雨等による空間線量率への影響の把握

川内試験地スギ林（A区）において、D シャトル、Polimaster、OSL 線量計、及び NaI シンチレータを用いて測定した空間線量率測定値の比較を図 2-47 に示す。

D シャトル及び Polimaster により観測・記録した空間線量率の測定値は、降雨後に 10～15%程度低下した。一方、降雨がほとんどみられなかった令和 2（2020）年 12 月から令和 3（2021）年 2 月にかけて、空間線量率はわずかに上昇した。空間線量率は、多量の降雨が見られた後や、降雨が連続する時期には低下する傾向を示しており、雨量が少ない時期には逆に上昇する傾向がみられたため、土壌含水率の影響が示唆された。

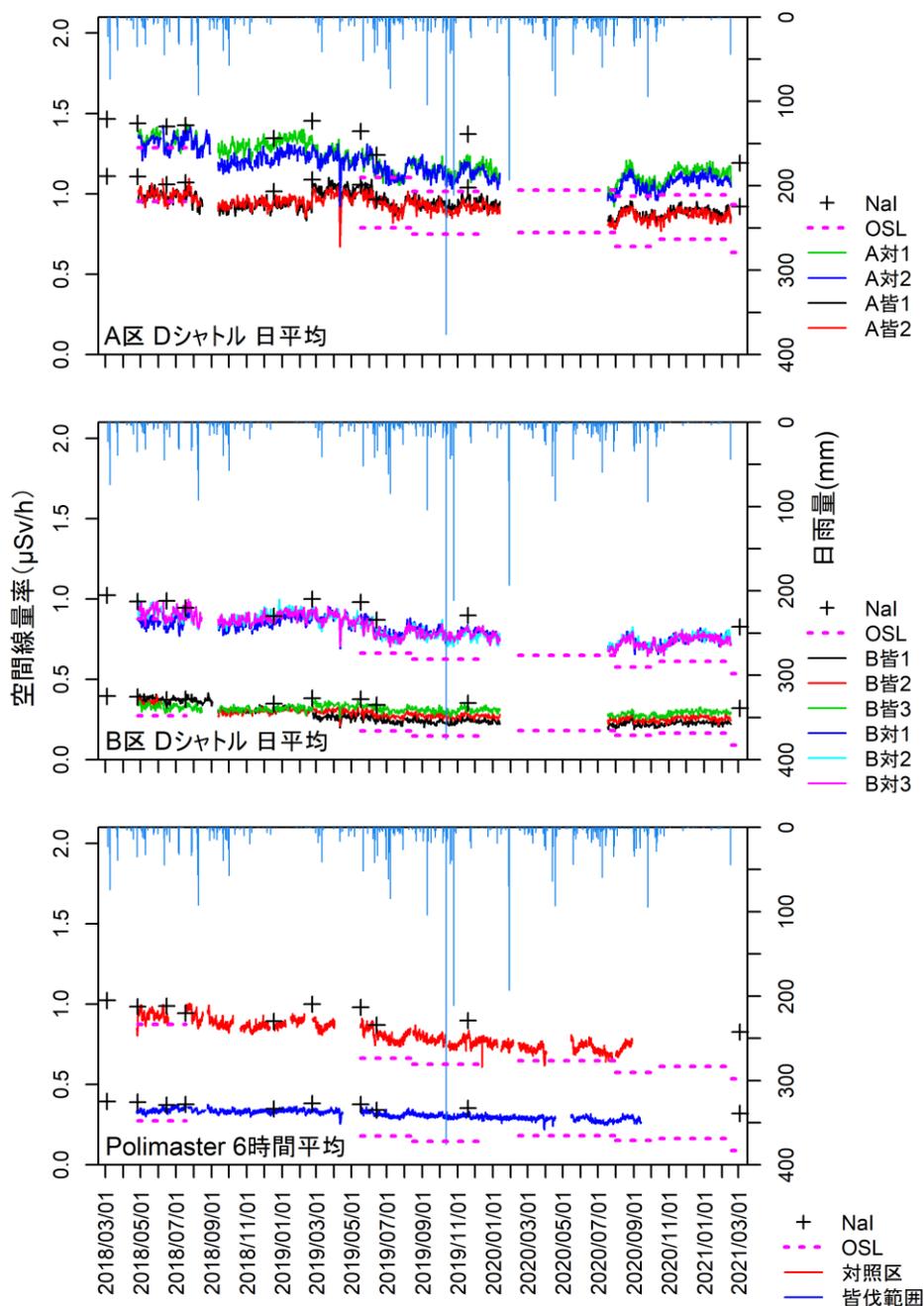


図 2-47 川内試験地スギ林（A区）におけるD シャトル、OSL 線量計、及び NaI シンチレータを用いて測定した空間線量率測定値の比較

なお、D シャトルによる測定値は、NaI シンチレータの測定結果と、概ね一致していた。一方、OSL 線量計による積算線量測定値から算出した空間線量率の期間平均値は、他の測定機器で観測された空間線量率よりも低めであった。

川内試験地スギ林（A区）及びスギ林（B区）において、ADR 土壌水分計（ウイジン、UIR-SM-2X）センサーを用いて測定した、土壌の深さ約 5cm における体積含水率の推移を図 2-48 に示す。体積含水率は、降雨のタイミングに鋭敏に反応して、どの試験区及び作業区においても、同調的に変動しており、降雨に応じて上昇し、その後次第に低下する変動パターンを繰り返した。地点間や、時期による変動も見られたが、降雨等の天候による土壌含水率の変化により、土壌自体の放射線遮蔽効果も変動し、空間線量率に影響を与えていたものと考えられる。

特に、平成 30（2018）年 12 月頃から平成 31（2019）年 2 月頃までの期間については B 区皆伐区で、令和 2（2020）年 12 月頃から令和 3（2021）年 2 月頃までの期間については A 区対照区（機器不調による欠測）を除く全ての作業区で土壌の体積含水率が低下しており、冬季の空間線量率の上昇傾向に影響していた可能性がある。

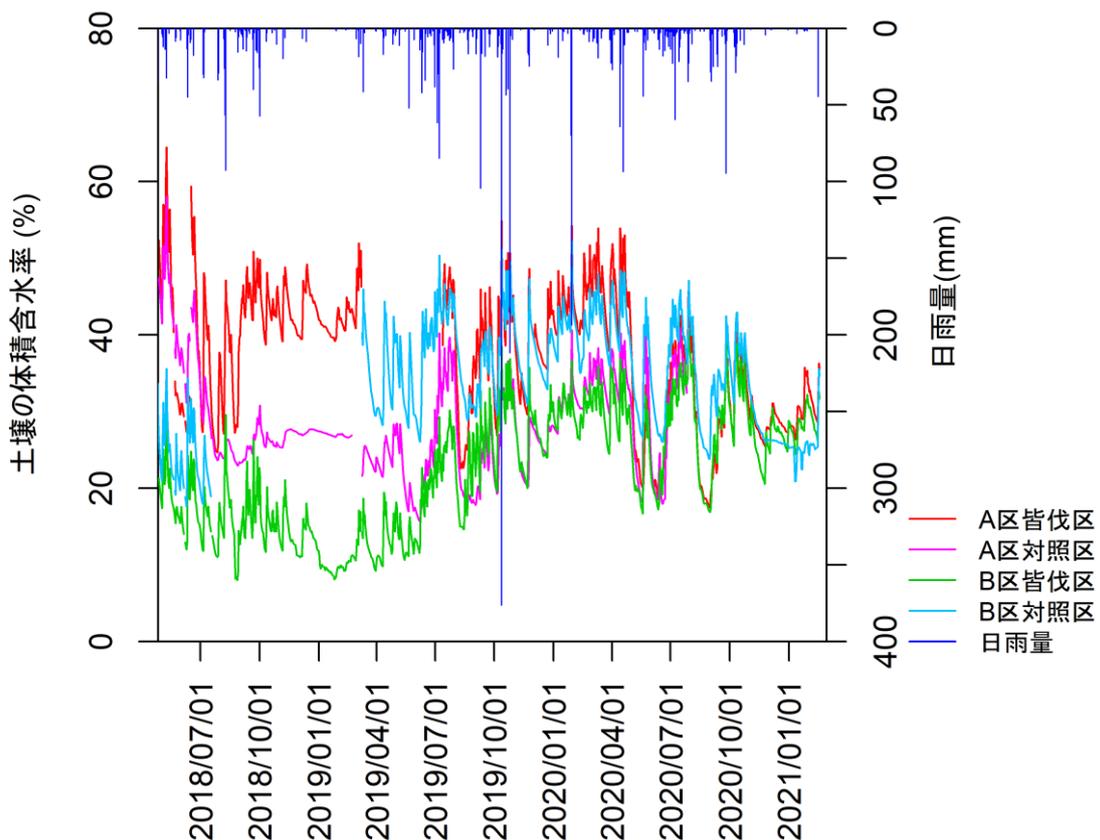


図 2-48 川内試験地スギ林（A区及びB区）における土壌含水率の変動

※A区皆伐区、A区対照区、及びB区対照区では、機器故障による欠測が発生しており、その期間の測定値は表示されていない。