

4. 空間線量率調査

森林施業前後の空間線量率の変化と従事者への放射線の影響を分析するための基礎資料として、空間線量率を測定している。本年度もモニタリングを実施し、空間線量率の上昇や大幅な低減等が観測された場合は、定点周辺の状況の変化等を調査し、空間線量率の変動要因を分析した。

4-1 地区別空間線量率の測定方法の概要

各地域別の空間線量率の測定方法は、表 4-1 に示す。

表 4-1 地域別空間線量率の測定方法

区分	相馬地区	双葉郡	田村市
放射線測定器	NaI シンチレーションサーベイメータ		
測定高	地上高 1.0m		
測定点	20m または 30m メッシュ	20m、30m メッシュ 定点	20m メッシュ
測定時期	施業前後、施業後年 2 回		
空間線量率マップ	内挿法による事業地全体の空間線量率表示		

4-2 相馬地区

4-2-1 測定方法及び測定日

空間線量率の測定は、放射線測定に関するガイドライン（文部科学省、日本原子力研究開発機構 平成 23 年 10 月 21 日）に基づき、1 年以内に校正済みの NaI シンチレーションサーベイメータ等を用いて、メッシュ測定点、周囲測量点、作業道中心点等の地上高 1m で実施した。後述する双葉郡及び田村市についても、同様な測定方法とした。測定値の頻度分布と各測定点の周辺データを基に、データを平均して、表示する「内挿法」を用いた空間線量率のマップ（以下、「内挿法マップ」という。）で、事業地全体の空間線量率及び施工箇所等との位置関係を視覚的に分かりやすく表現した。

なお、ウェザリング（風雨等による自然要因の作用）は、考慮していない。

注）「内挿法マップ」とは、ある既知の数値データ列を基にして、そのデータ列の各区間の範囲を埋める数値を求め、図化したもの。

表 4-2 NaI シンチレーションサーベイメータの主な仕様

製品名	シンチレーションサーベイメータ
型式	TCS-172B
測定線種	ガンマ線
検出器	ヨウ化ナトリウムシンチレータ
測定範囲	0 ~ 30 (μSv/h)
重量	約 1.5 (kg)
電源	単2アルカリ乾電池4本
電池寿命	約 30 時間
製造者	株式会社日立製作所



写真 4-1 NaI シンチレーションサーベイメータ（主な使用機種）

測定実施日を表 4-3 に示す。

表 4-3 測定実施日

区分	羽倉	二枚橋	臼石	関沢	
形状	30m メッシュ	20m メッシュ			
測定点	52 点	112 点	13 点	40 点	
森林 施業	間伐前	平成 26 年 10 月 9 日	平成 24 年 10 月 24 日	平成 27 年 8 月 4 日	平成 28 年 9 月 2 日
	除伐後	—	—	平成 27 年 8 月 18 日	—
	路網作設後	—	—	平成 27 年 9 月 2 日	平成 28 年 10 月 2 日
	間伐後	平成 26 年 12 月 8 日	平成 25 年 2 月 5 日 (積雪あり)	平成 27 年 10 月 7 日	平成 28 年 11 月 2 日
継続 モニタ リング	平成 27 (2015) 年度	7 月 31 日	8 月 6 日	森林施業中	森林施業 着手前
		10 月 5 日	10 月 6 日		
		11 月 17 日	11 月 30 日		
		—	1 月 26 日 (積雪あり)		
	平成 28 (2016) 年度	7 月 4 日	10 月 6 日	10 月 5 日	森林施業中
		11 月 26 日	11 月 16 日	11 月 17 日	
		—	12 月 7 日	12 月 7 日	
		—	1 月 20 日 (積雪あり)	1 月 20 日 (積雪あり)	
	平成 29 (2017) 年度	8 月 3 日	9 月 5 日	9 月 7 日	8 月 1 日
		11 月 24 日	11 月 30 日	11 月 29 日	11 月 24 日
	平成 30 (2018) 年度	8 月 21 日	9 月 2 日	9 月 7 日	8 月 2 日
		11 月 21 日	11 月 21 日	11 月 21 日	11 月 21 日
令和元 (2019) 年度	8 月 8 日	7 月 23 日	7 月 23 日	7 月 23 日	
	11 月 25 日	11 月 22 日	11 月 22 日	11 月 22 日	
令和 2 (2020) 年度	7 月 27 日	7 月 13 日	7 月 13 日	7 月 13 日	
	12 月 4 日	12 月 1 日	12 月 1 日	12 月 1 日	

※ 表中 — は、該当する施業ないしモニタリングがないため、測定していないことを示す。

4-2-2 調査結果

(1) 羽倉事業地【間伐】

本事業地では、平成26（2014）年度に、67年生のスギ・アカマツで構成される人工林（4.31ha）において間伐を実施した。本事業地における空間線量率の推移を図4-1、空間線量率の平面分布の推移を図4-2に示す。

間伐前後の空間線量率測定の結果、作業道中心点では、作設前後で20%程度の減少がみられたが、これは、作業道作設によって、放射性セシウムを多く含んでいる表土が攪乱されたことにより、放射性セシウムを含まない心土が露出したことで、空間線量率が局所的に低下したためと考えられる。

事業地全体において、測定した30mメッシュ測定点では、施業前後の空間線量率減少は、5.9%であり、施業後も継続的に実施しているモニタリング結果をみても、概ね物理学的減衰と同程度の割合で低減していることから、間伐による空間線量率への影響は、小さかったものと考えられる。

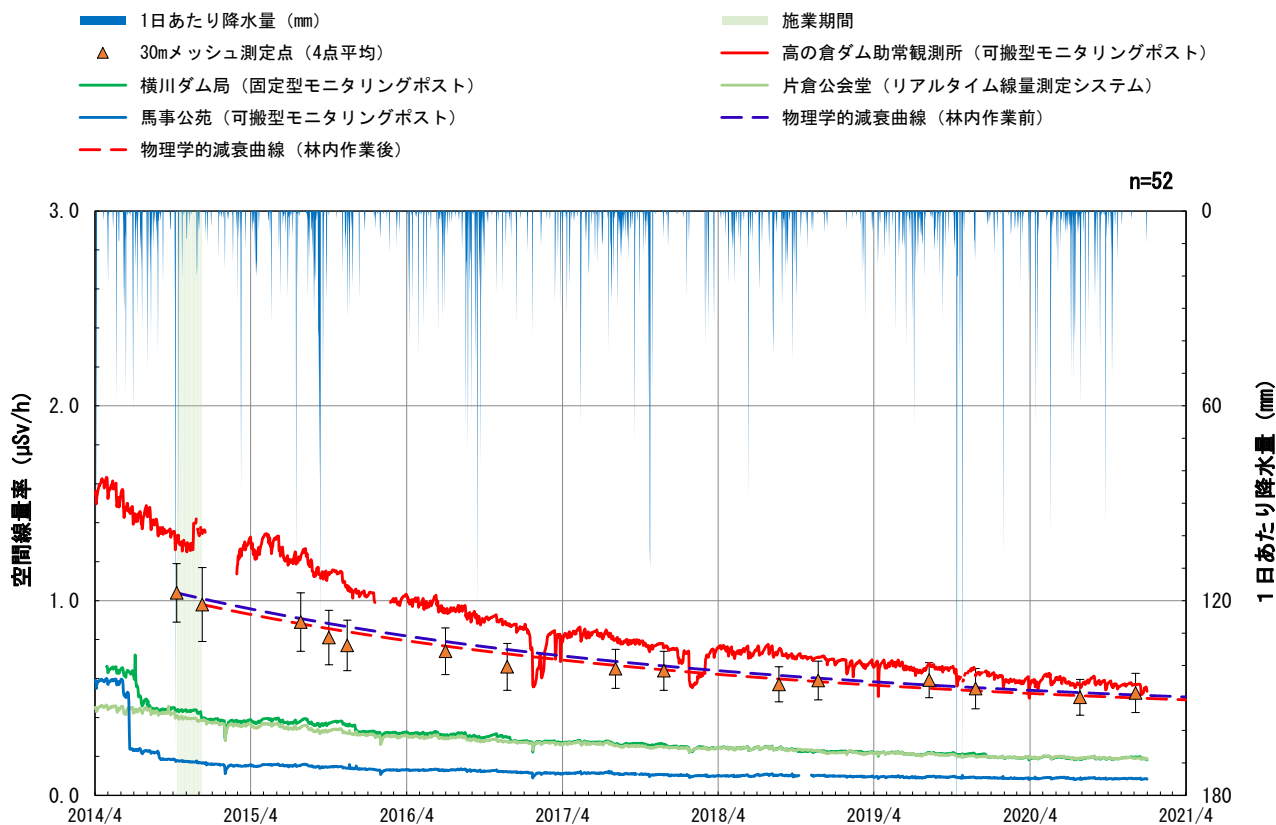


図 4-1 羽倉事業地の空間線量率の推移

注) 図中の誤差棒は、測定値に対する標準偏差、破線は、空間線量率の物理学的減衰を示す。
 注) 標準偏差とはデータのバラツキ度合いを示すもので、「バラツキが大きいのか小さいのか」を一つの数値で示す指標である。

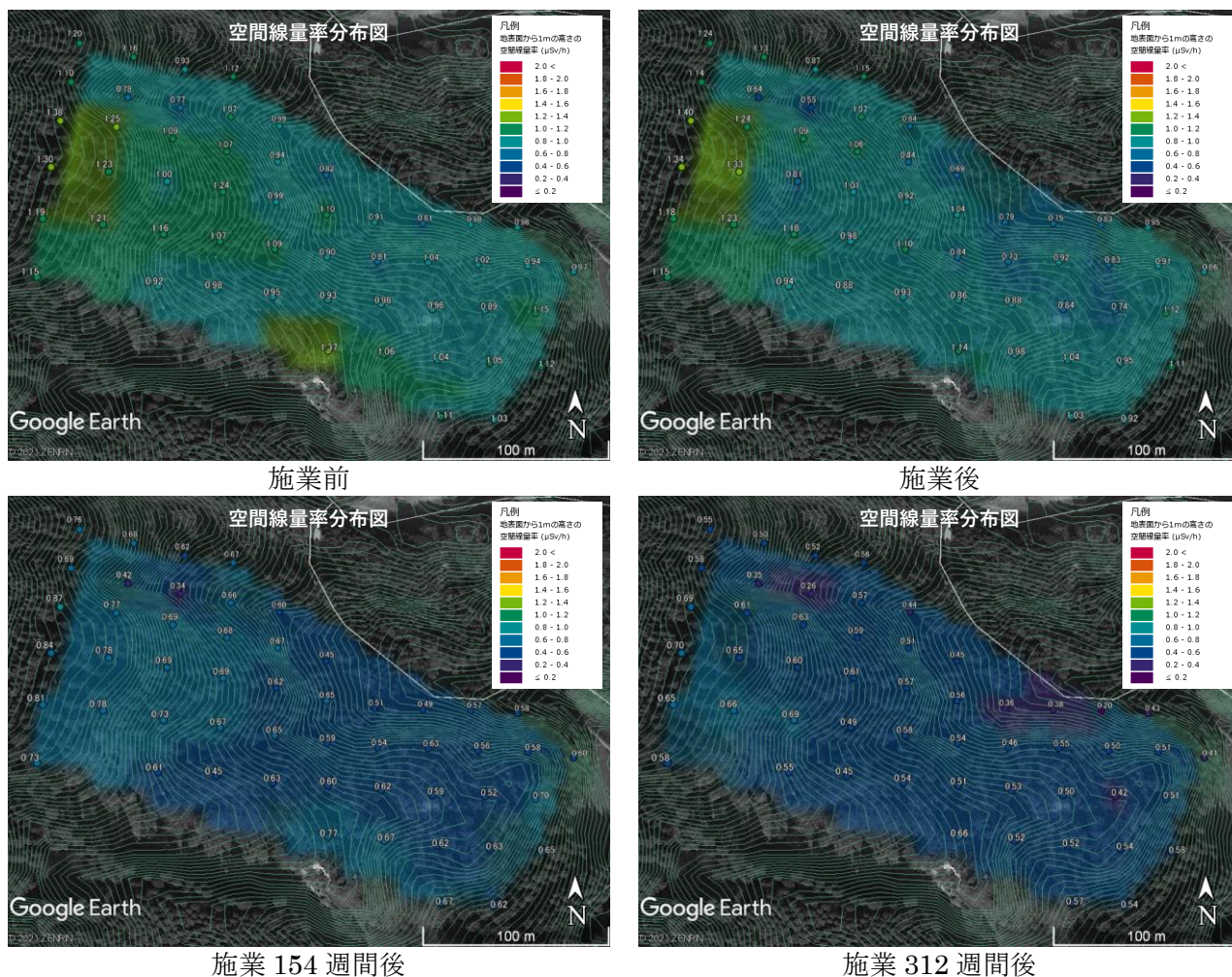


図 4-2 空間線量率分布図（羽倉事業地）

表 4-4 空間線量率測定結果（羽倉事業地）

測定時期	測定日	空間線量率 (μSv/h)					標本標準偏差	備考
		データ数	最大値	最小値	平均値	低減率		
施業前	2014/10/15	52	1.380	0.770	1.043	—	0.142	図4-2
施業後	2014/12/10	52	1.400	0.550	0.981	-5.9 %	0.185	図4-2
施業34週間後	2015/08/03	52	1.230	0.450	0.888	-14.9 %	0.146	
施業42週間後	2015/10/02	52	1.130	0.450	0.815	-21.9 %	0.135	
施業49週間後	2015/11/19	52	1.070	0.420	0.775	-25.7 %	0.130	
施業82週間後	2016/07/04	52	0.990	0.380	0.737	-29.4 %	0.121	
施業102週間後	2016/11/26	52	0.930	0.340	0.657	-37.0 %	0.121	
施業138週間後	2017/08/03	52	0.900	0.370	0.647	-38.0 %	0.099	
施業154週間後	2017/11/24	52	0.870	0.340	0.639	-38.8 %	0.104	図4-2
施業193週間後	2018/08/21	52	0.740	0.290	0.567	-45.7 %	0.090	
施業206週間後	2018/11/21	52	0.830	0.290	0.596	-42.9 %	0.101	
施業243週間後	2019/08/08	52	0.748	0.313	0.592	-43.3 %	0.091	
施業259週間後	2019/11/25	52	0.763	0.293	0.548	-47.4 %	0.103	
施業294週間後	2020/07/27	52	0.680	0.210	0.504	-47.4 %	0.092	
施業312週間後	2020/12/04	52	0.698	0.203	0.526	-47.4 %	0.101	図4-2

（2）二枚橋事業地【間伐】

本事業地では、平成26（2014）年度に、36～48年生のアカマツを主体にナラ等が混交する人工林（4.20ha）において、搬出間伐を実施した。本事業地における空間線量率の推移を図4-3、空間線量率の平面分布の推移を図4-4に示す。

間伐前後の空間線量率測定は、ライン状に設定した8測定点でしか実施されていないこと、施業期間中の測定は、積雪状態で実施されており、大きな空間線量率の低減が見られていたことから、間伐前後の空間線量率変化については判然としないものの、平成27（2015）年度からは、事業地全体において測定した20mメッシュ測定点112点で、令和2（2020）年度事業で、実施した継続モニタリングの結果、概ね物理学的減衰と同程度の割合で低減しており、間伐による空間線量率への影響は、小さかったものと考えられる。

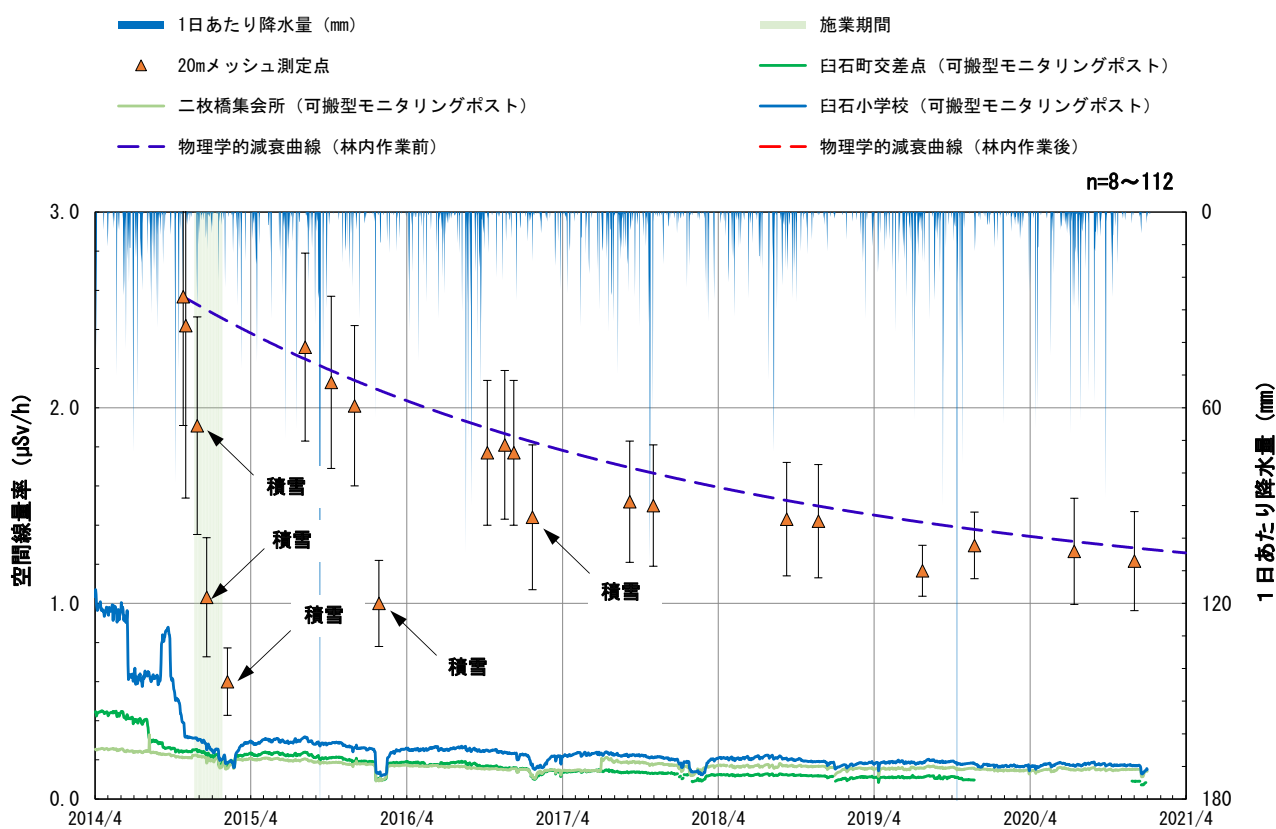


図4-3 二枚橋事業地の空間線量率の推移

注) 図中の誤差棒は、測定値に対する標準偏差、破線は、空間線量率の物理学的減衰を示す。
 注) 間伐施業を実施した平成26（2014）年度については、ライン状の8測定点における測定となっている。施業後の測定は、平成27（2015）年1月に実施したものの、積雪時における測定であり、空間線量率が一時的に低減していたため、林内作業後の物理学的減衰は、作図していない。

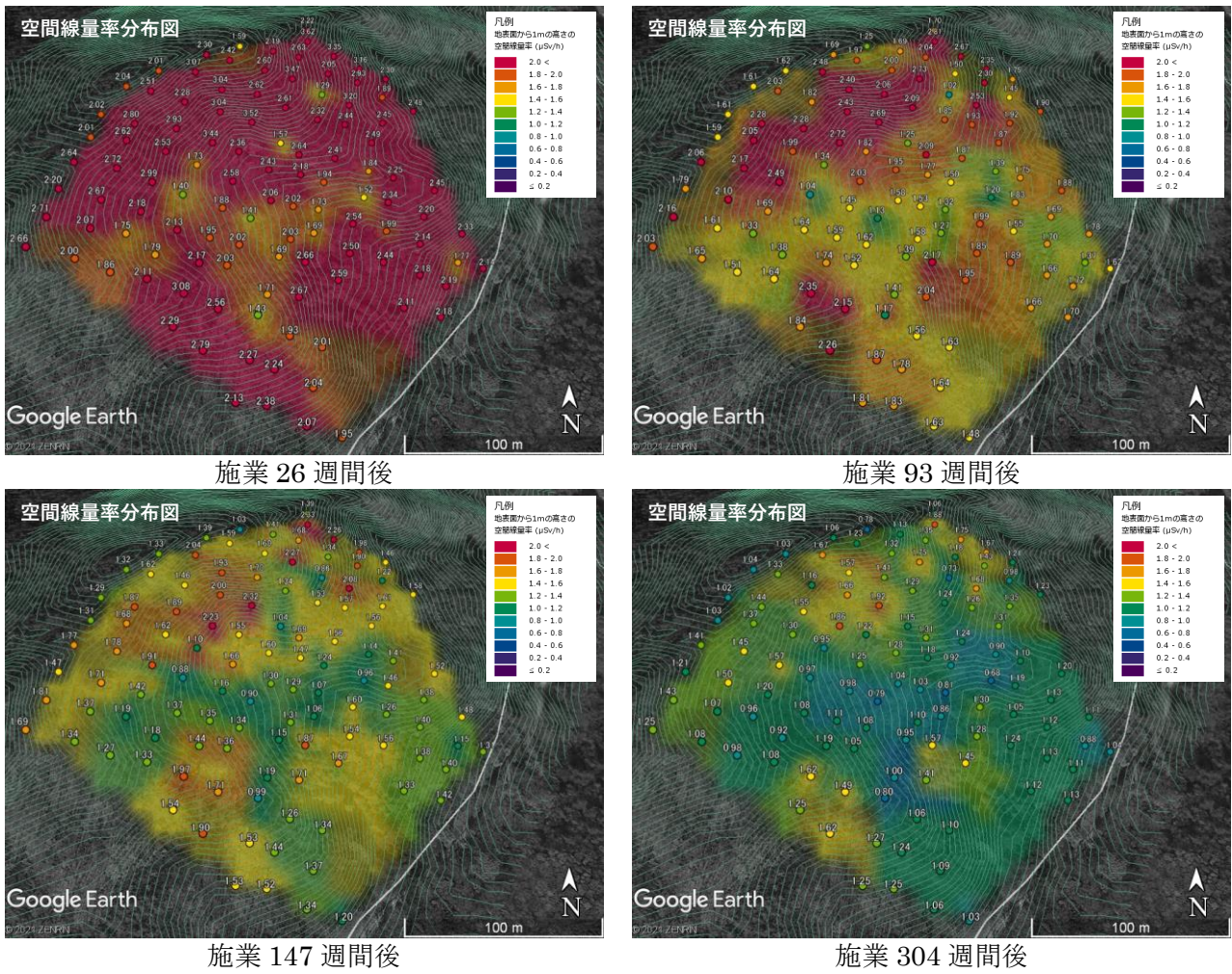


図 4-4 空間線量率分布図（二枚橋事業地）

表 4-5 空間線量率測定結果（二枚橋事業地）

測定時期	測定日	空間線量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）						備考
		データ数	最大値	最小値	平均値	低減率	標本標準偏差	
施業前	2014/10/24	8	1.510	0.690	2.570	—	—	
施業中	2014/10/30	8	1.490	0.500	2.420	-5.8%	—	
施業中	2014/11/26	8	1.280	0.400	1.910	-25.7%	—	積雪あり
施業中	2014/12/18	8	1.150	0.400	1.030	-59.9%	—	積雪あり
施業後	2015/02/05	8	1.130	0.400	0.600	-76.7%	—	積雪あり
施業26週間後	2015/08/06	112	3.620	1.290	2.311	-10.1%	0.477	図4-4
施業35週間後	2015/10/06	112	3.390	1.170	2.134	-17.0%	0.437	
施業43週間後	2015/11/30	112	3.130	1.110	2.007	-21.9%	0.413	
施業51週間後	2016/01/26	112	1.650	0.480	1.005	-60.9%	0.219	
施業86週間後	2016/09/28	112	2.760	1.010	1.769	-31.1%	0.369	
施業93週間後	2016/11/16	112	2.810	1.020	1.813	-29.4%	0.378	図4-4
施業96週間後	2016/12/06	112	2.710	1.000	1.766	-31.3%	0.365	
施業102週間後	2017/01/20	112	2.570	0.610	1.436	-44.1%	0.369	積雪あり
施業135週間後	2017/09/05	112	2.360	0.850	1.520	-40.9%	0.306	
施業147週間後	2017/11/30	112	2.330	0.860	1.496	-41.8%	0.312	図4-4
施業187週間後	2018/09/08	112	2.250	0.810	1.431	-44.3%	0.285	
施業198週間後	2018/11/21	112	2.310	0.830	1.422	-44.7%	0.293	
施業233週間後	2019/07/23	112	2.230	0.690	1.284	-50.0%	0.271	
施業250週間後	2019/11/22	112	2.210	0.810	1.406	-45.3%	0.307	
施業284週間後	2020/07/13	112	2.030	0.740	1.266	-50.7%	0.271	
施業304週間後	2020/12/01	112	1.920	0.680	1.216	-52.7%	0.253	図4-4

（3）白石事業地【間伐】

本事業地では、平成 27（2015）年度に、38 年生のスギ人工林（0.56ha）において、伐捨間伐を実施した。本事業地における空間線量率の推移を図 4-5、空間線量率の平面分布の推移を図 4-6 に示す。

下層木除去後に 10%程度の空間線量率低減がみられたが、作業道作設後、間伐後には大きな変化はなく、平成 28（2016）年度から、令和 2（2020）年度事業で実施した継続モニタリングの結果、概ね物理学的減衰と同程度の割合で低減しており、間伐による空間線量率への影響は、小さかったものと考えられる。

注) 下層木除去とは、間伐前に障害となる低灌木を事前に伐採したことを指す。

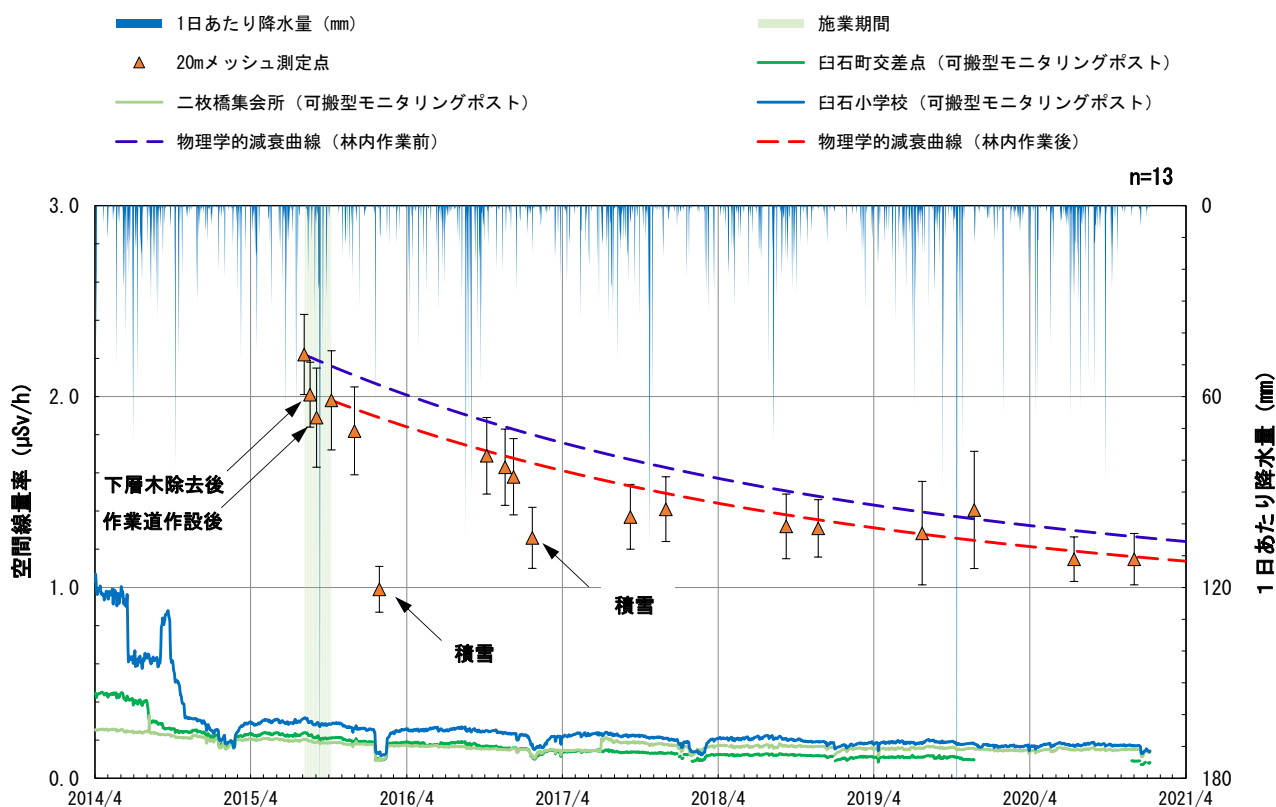


図 4-5 白石事業地の空間線量率の推移

注) 図中の誤差棒は、測定値に対する標準偏差、破線は、空間線量率の物理学的減衰を示す。
 注) 標準偏差とはデータのバラツキ度合いを示すもので、「バラツキが大きいのか小さいのか」の一つの数値で示す指標である。

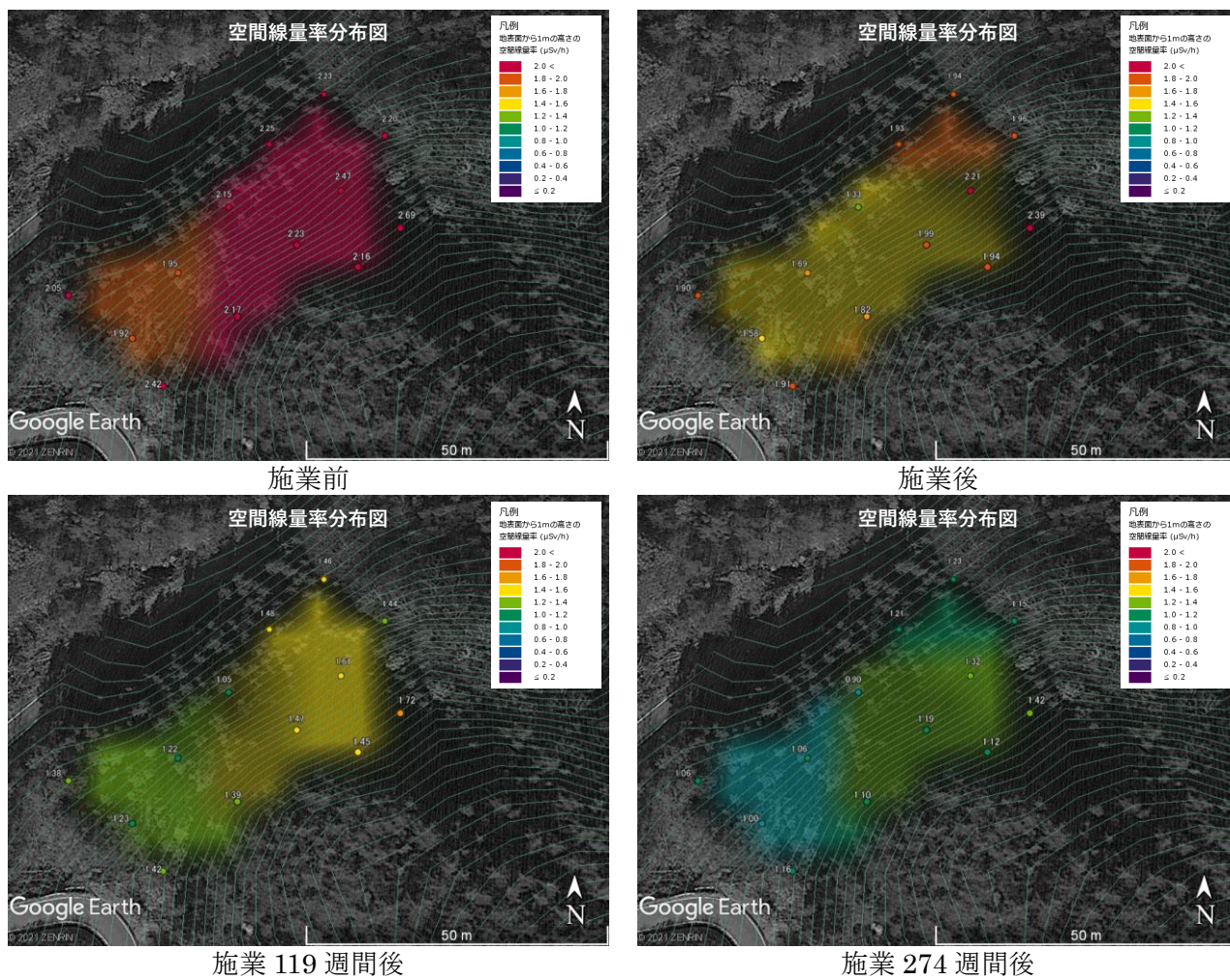


図 4-6 空間線量率分布図（臼石事業地）

表 4-6 空間線量率測定結果（臼石事業地）

測定時期	測定日	空間線量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）						備考
		データ数	最大値	最小値	平均値	低減率	標本標準偏差	
施業前	2015/08/04	13	2.690	1.920	2.222	—	0.210	図4-6
下層木除去後	2015/08/18	13	2.460	1.800	2.012	-9.5%	0.174	
施業後	2015/09/02	13	2.390	1.330	1.892	-14.9%	0.263	図4-6
施業2週間後	2015/10/07	13	2.440	1.480	1.979	-10.9%	0.256	
施業7週間後	2015/11/30	13	2.250	1.340	1.823	-18.0%	0.226	
施業15週間後	2016/01/27	13	1.190	0.710	0.989	-55.5%	0.123	積雪あり
施業23週間後	2016/10/05	13	2.070	1.340	1.686	-24.1%	0.200	
施業59週間後	2016/11/17	13	2.040	1.230	1.628	-26.8%	0.204	
施業65週間後	2016/12/07	13	1.950	1.170	1.581	-28.9%	0.198	
施業68週間後	2017/1/20	13	1.500	0.870	1.258	-43.4%	0.158	積雪あり
施業107週間後	2017/09/07	13	1.720	1.060	1.368	-38.5%	0.172	
施業119週間後	2017/11/29	13	1.720	1.050	1.409	-36.6%	0.171	図4-6
施業159週間後	2018/09/07	13	1.660	1.030	1.324	-40.4%	0.167	
施業170週間後	2018/11/21	13	1.610	1.020	1.312	-41.0%	0.148	
施業205週間後	2019/07/23	13	1.410	0.960	1.167	-47.5%	0.130	
施業222週間後	2019/11/22	13	1.650	1.000	1.296	-41.7%	0.170	
施業254週間後	2020/07/13	13	1.410	0.960	1.148	-48.4%	0.117	
施業274週間後	2020/12/01	13	1.420	0.900	1.148	-48.4%	0.135	図4-6

（4）関沢事業地【間伐】

本事業地では、平成28（2016）年度に、35年生のヒノキ人工林（1.61ha）において、伐捨間伐を実施した。本事業地における空間線量率の推移を図4-7、空間線量率の平面分布の推移を図4-8に示す。

作業道作設の空間線量率測定の結果、作業道作設後に僅かに減少した。要因としては、路面の掘削により放射性セシウムを多く含んでいる表土が攪乱されたためと考えられる。

継続的に実施しているモニタリング結果をみても、令和元（2019）年度調査までは物理学的減衰をやや下回る平均空間線量率で推移しており、事業地中心に位置する沢による影響があったものと考えていたが、令和2（2020）年7月、12月の測定結果をみると、概ね物理学的減衰と同程度となっており、森林全体における間伐による空間線量率への影響は、小さかったものと考えられる。

このような空間線量率の変動がみられた理由について、現地調査した結果、事業地中心部の谷部に、平成28（2016）年度に枝条整理した枝が集積（吹き溜まりになりやすい地形）しており、その地点の空間線量率が上昇していることを確認した。詳細は、項4-5-2にて報告する。

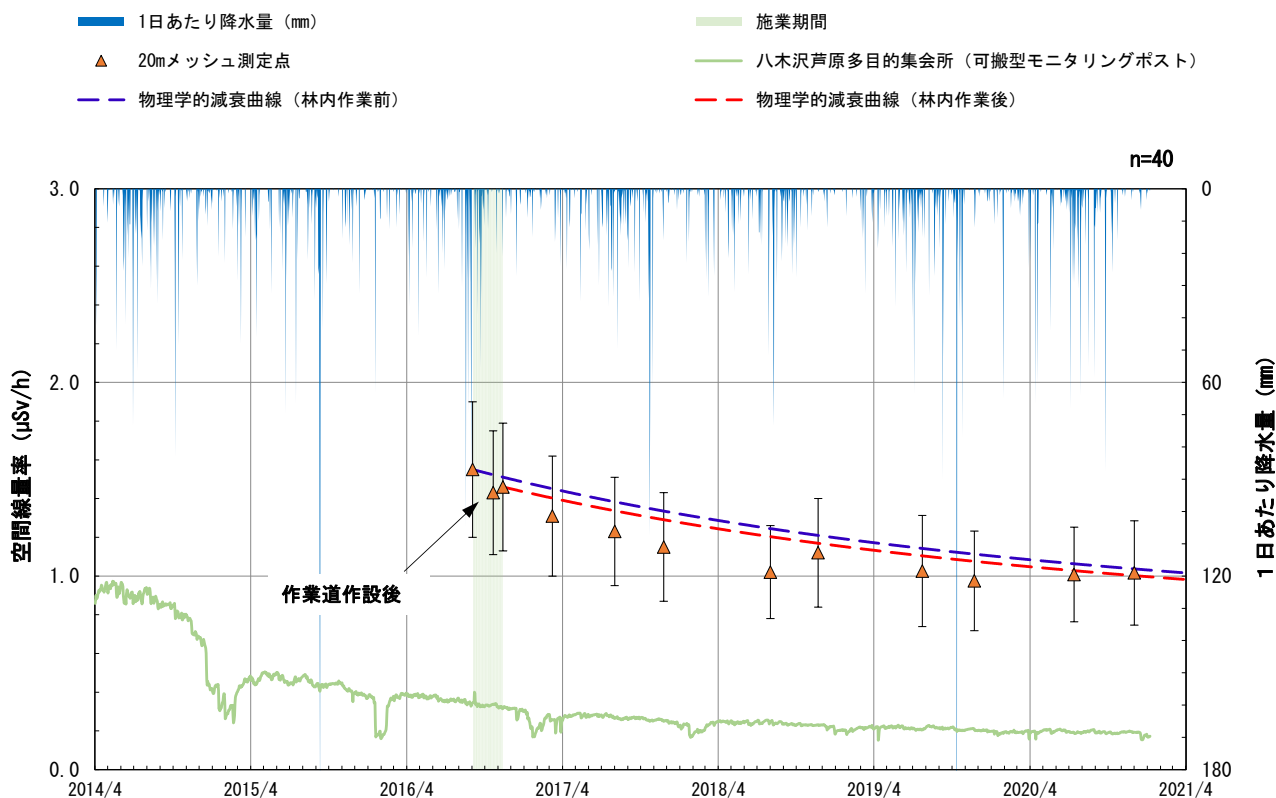


図 4-7 関沢事業地の空間線量率の推移

注) 図中の誤差棒は、測定値に対する標準偏差、破線は、空間線量率の物理学的減衰を示す。
 注) 標準偏差とはデータのバラツキ度合いを示すもので、「バラツキが大きいのか小さいのか」を一つの数値で示す指標である。

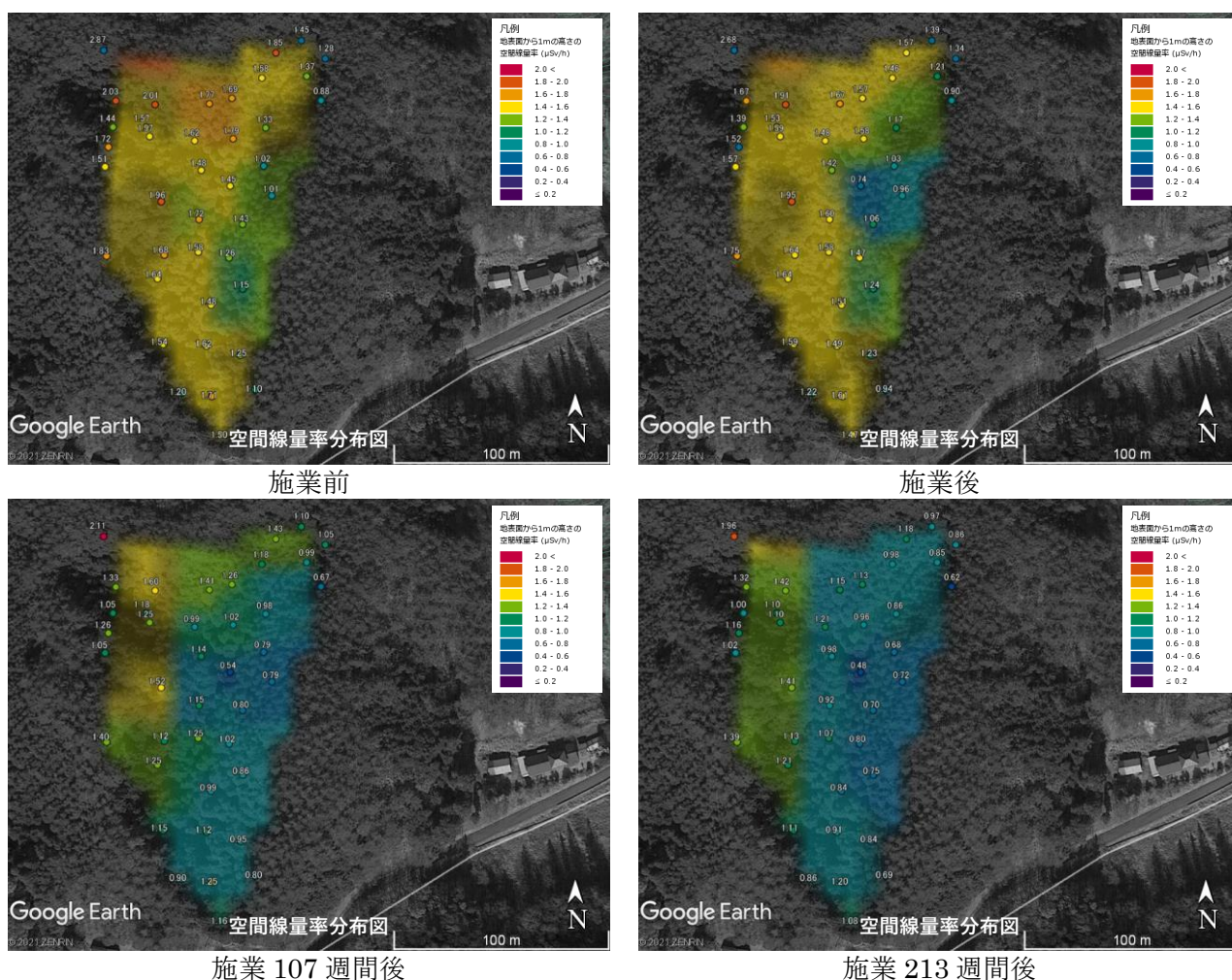


図 4-8 空間線量率分布図（関沢事業地）

表 4-7 空間線量率測定結果（関沢事業地）

測定時期	測定日	空間線量率 (μSv/h)					備考	
		データ数	最大値	最小値	平均値	低減率		
施業前	2016/09/02	40	2.870	0.880	1.549	—	0.346	図4-8
作業道作設後	2016/10/19	40	2.570	0.910	1.428	-7.8 %	0.317	
施業後	2016/11/02	40	2.680	0.740	1.459	-5.8 %	0.334	図4-8
施業18週間後	2017/03/08	40	2.460	0.620	1.313	-15.2 %	0.315	
施業39週間後	2017/08/01	40	2.230	0.700	1.227	-20.8 %	0.283	
施業55週間後	2017/11/24	40	2.270	0.630	1.153	-25.6 %	0.277	
施業91週間後	2018/08/01	40	1.870	0.550	1.018	-34.2 %	0.240	
施業107週間後	2018/11/21	40	2.110	0.540	1.122	-27.6 %	0.277	図4-8
施業142週間後	2019/07/23	40	2.090	0.570	1.026	-33.8 %	0.287	
施業159週間後	2019/11/22	40	1.880	0.510	0.975	-37.1 %	0.257	
施業193週間後	2020/07/13	40	1.860	0.530	1.008	-34.9 %	0.244	
施業213週間後	2020/12/01	40	1.960	0.480	1.016	-34.4 %	0.269	図4-8

4-3 双葉郡

4-3-1 測定方法及び測定日

空間線量率の測定は、前述した相馬地区と同様の方法で測定した。測定実施日を表 4-8 に示す。

表 4-8 測定実施日

区 分		毛戸	大笹	大谷
形 状		定点	20m メッシュ	
測定点		間伐3点、皆伐2点	122点	33点
森 林 施 業	間伐前	平成26年 10月12日	平成27年 7月30日	平成28年 11月23日
	路網作設後	—	平成27年 10月14日	—
	間伐中	平成26年 10月23日	—	—
	間伐後	平成26年 12月25日 平成27年 1月6日	平成27年 12月8日	平成29年 4月28日
継 続 モ ニ タ リ ン グ	平成27 (2015)年度	4月15日	間伐実施	
		6月3日		
		9月28日		
		10月28日		
		12月1日		
		1月6日		
		3月1日		
	平成28 (2016)年度	6月6日	12月8日	間伐実施
		7月4日		
		7月28日		
		8月24日		
		9月27日		
		10月25日		
		11月21日		
		12月26日		
	平成29 (2017)年度	8月1日	8月2日	6月20日
		11月30日	11月25日	8月21日
				11月30日
	平成30 (2018)年度	8月1日	8月2日	8月1日
		11月20日	11月20日	11月20日
	令和元 (2019)年度	7月19日	7月19日	7月25日
		11月25日	11月25日	11月26日
	令和2 (2020)年度	7月15日	7月17日	7月16日
		12月2日	12月2日	12月3日

※ 表中 — は、該当する施業ないしモニタリングがないため、測定していないことを示す。

※ 毛戸事業地については、試験的に測定回数を多くし、その後は2回/年とした。

4-3-2 調査結果

(1) 川内村（毛戸事業地）【間伐、皆伐】

① 間伐区

本事業区では、平成 26（2014）年度に、60 年生のスギ人工林（2.97ha）において、間伐を実施した。本事業区における空間線量率の推移を図 4-9 に示す。

空間線量率の推移は、現場で本格的な作業を開始した平成 26（2014）年 10 月から間伐終了後の 12 月まで、漸減した。要因として、アメダス（川内村）の気温データが連日零度を下回っていることから、標高がより高い事業地の地表部は凍結し、放射性セシウムを含む土壌からのガンマ線が遮蔽されたことで、空間線量率が低減したと考えられる。気温が上昇し、融雪及び土壌の融解が進んだ 4 月に、空間線量率は上昇し、再び減衰曲線に近い値を示した。

空間線量率測定点は、3 測定点でしか実施されていないことから、森林全体を代表できていないものの、平成 27（2015）年度から、令和 2（2020）年度事業で実施した継続モニタリングの結果、空間線量率の推移は、概ね物理学的減衰に沿って低減しており、間伐による空間線量率への影響は、小さかったものと考えられる。

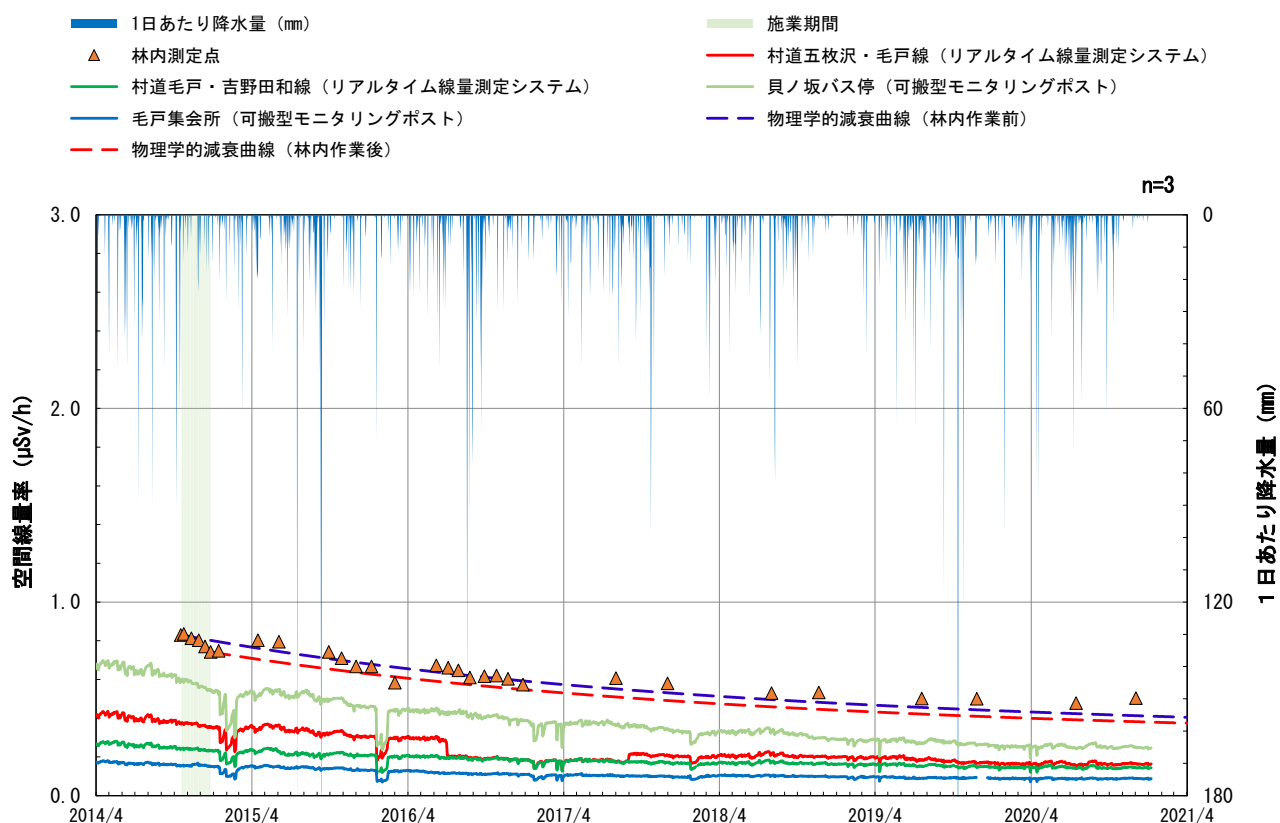


図 4-9 空間線量率の推移（毛戸事業地・間伐区）

注）測定点が少ないため、標準偏差は、計算しなかった。図中破線は、空間線量率の物理学的減衰を示す。

表 4-9 空間線量率測定結果（毛戸事業地・間伐区）

測定時期	測定日	空間線量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）						備考
		データ数	最大値	最小値	平均値	低減率	標本標準偏差	
施業前	2014/10/16	3	0.925	0.725	0.838	—	—	
施業中	2014/10/23	3	0.920	0.728	0.820	-2.1 %	—	
施業中	2014/11/10	3	0.965	0.743	0.849	1.3 %	—	
施業中	2014/11/27	3	0.940	0.700	0.815	-2.7 %	—	
施業中	2014/12/12	3	0.910	0.680	0.791	-5.6 %	—	
施業後	2014/12/25	3	0.853	0.628	0.750	-10.5 %	—	
施業3週間後	2015/01/13	3	0.810	0.635	0.730	-12.9 %	—	
施業16週間後	2015/04/15	3	0.873	0.653	0.764	-8.8 %	—	
施業23週間後	2015/06/03	3	0.928	0.725	0.831	-0.8 %	—	
施業40週間後	2015/09/28	3	0.848	0.660	0.754	-9.9 %	—	
施業44週間後	2015/10/28	3	0.848	0.650	0.754	-10.0 %	—	
施業49週間後	2015/12/01	3	0.745	0.578	0.664	-20.7 %	—	
施業54週間後	2016/01/06	3	0.748	0.583	0.667	-20.4 %	—	
施業62週間後	2016/03/01	3	0.685	0.468	0.580	-30.7 %	—	
施業76週間後	2016/06/06	3	0.750	0.588	0.672	-19.8 %	—	
施業80週間後	2016/07/04	3	0.713	0.575	0.658	-21.5 %	—	
施業83週間後	2016/07/28	3	0.713	0.560	0.648	-22.7 %	—	
施業87週間後	2016/08/24	3	0.673	0.525	0.609	-27.3 %	—	
施業92週間後	2016/09/27	3	0.700	0.520	0.616	-26.5 %	—	
施業96週間後	2016/10/25	3	0.695	0.533	0.620	-25.9 %	—	
施業100週間後	2016/11/21	3	0.680	0.523	0.605	-27.7 %	—	
施業105週間後	2016/12/26	3	0.635	0.493	0.572	-31.7 %	—	
施業136週間後	2017/08/01	3	0.675	0.515	0.602	-28.2 %	—	
施業153週間後	2017/11/30	3	0.635	0.498	0.577	-31.1 %	—	
施業188週間後	2018/08/01	3	0.578	0.460	0.529	-36.8 %	—	
施業204週間後	2018/11/20	3	0.600	0.460	0.533	-36.3 %	—	
施業238週間後	2019/07/19	3	0.560	0.445	0.502	-40.1 %	—	
施業257週間後	2019/11/25	3	0.555	0.430	0.500	-40.3 %	—	
施業290週間後	2020/07/15	3	0.538	0.390	0.478	-43.0 %	—	
施業310週間後	2020/12/02	3	0.575	0.403	0.504	-39.9 %	—	

② 皆伐区

本施業区では、平成26（2014）年度に、55年生のスギ、アカマツ、カラマツ等で構成される人工林（2.29ha）において、皆伐及び植栽を実施した。本施業区における空間線量率の推移を図4-10に示す。

空間線量率の推移は、間伐区よりも早い時期から低減がみられるものの、平成27（2015）年4月の測定では、空間線量率は上昇し、再び減衰曲線に近い値を示し、間伐区と同様に空間線量率の一時的な減少傾向を示した。

空間線量率測定点は、2測定点でしか実施されていないことから、森林全体を代表できていないものの、平成27（2015）年度から、令和2（2020）年度事業で実施した継続モニタリングの結果、空間線量率の推移は、概ね物理学的減衰に沿って低減しており、皆伐による空間線量率への影響は、小さかったものと考えられる。

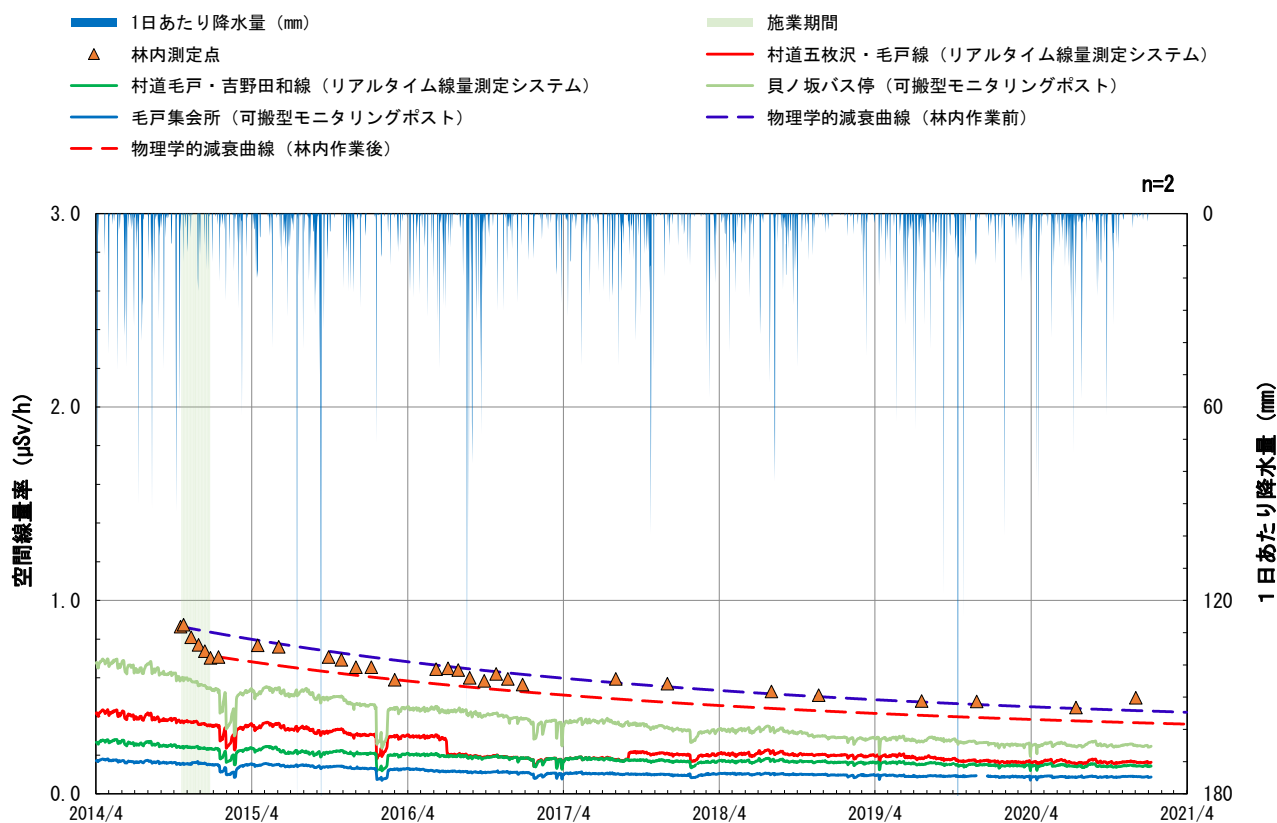


図4-10 空間線量率の推移（毛戸事業地・皆伐区）

注）測定点が少ないため、標準偏差は、計算しなかった。図中破線は、空間線量率の物理学的減衰を示す。

表 4-10 空間線量率測定結果（毛戸事業地・皆伐区）

測定時期	測定日	空間線量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）						備考
		データ数	最大値	最小値	平均値	低減率	標本標準偏差	
施業前	2014/10/16	2	0.898	0.820	0.859	—	—	
施業中	2014/10/23	2	0.910	0.830	0.870	1.3 %	—	
施業中	2014/11/10	2	0.898	0.858	0.878	2.2 %	—	
施業中	2014/11/27	2	0.825	0.730	0.778	-9.5 %	—	
施業中	2014/12/12	2	0.828	0.685	0.757	-11.9 %	—	
施業後	2014/12/25	2	0.788	0.643	0.716	-16.7 %	—	
施業3週間後	2015/01/13	2	0.748	0.628	0.688	-19.9 %	—	
施業16週間後	2015/04/15	2	0.805	0.635	0.720	-16.2 %	—	
施業23週間後	2015/06/03	2	0.885	0.720	0.803	-6.6 %	—	
施業40週間後	2015/09/28	2	0.783	0.653	0.718	-16.4 %	—	
施業44週間後	2015/10/28	2	0.790	0.670	0.730	-15.0 %	—	
施業49週間後	2015/12/01	2	0.718	0.593	0.656	-23.7 %	—	
施業54週間後	2016/01/06	2	0.718	0.593	0.656	-23.7 %	—	
施業62週間後	2016/03/01	2	0.630	0.545	0.588	-31.6 %	—	
施業76週間後	2016/06/06	2	0.710	0.580	0.645	-24.9 %	—	
施業80週間後	2016/07/04	2	0.713	0.585	0.649	-24.4 %	—	
施業83週間後	2016/07/28	2	0.688	0.588	0.638	-25.7 %	—	
施業87週間後	2016/08/24	2	0.655	0.535	0.595	-30.7 %	—	
施業92週間後	2016/09/27	2	0.638	0.528	0.583	-32.1 %	—	
施業96週間後	2016/10/25	2	0.678	0.558	0.618	-28.1 %	—	
施業100週間後	2016/11/21	2	0.645	0.543	0.594	-30.8 %	—	
施業105週間後	2016/12/26	2	0.615	0.505	0.560	-34.8 %	—	
施業136週間後	2017/08/01	2	0.638	0.545	0.592	-31.1 %	—	
施業153週間後	2017/11/30	2	0.600	0.535	0.568	-33.9 %	—	
施業188週間後	2018/08/01	2	0.575	0.483	0.529	-38.4 %	—	
施業204週間後	2018/11/20	2	0.543	0.478	0.511	-40.6 %	—	
施業238週間後	2019/07/19	2	0.510	0.450	0.480	-44.1 %	—	
施業257週間後	2019/11/25	2	0.500	0.455	0.478	-44.4 %	—	
施業290週間後	2020/07/15	2	0.470	0.423	0.447	-48.0 %	—	
施業310週間後	2020/12/02	2	0.515	0.478	0.497	-42.2 %	—	

（2）葛尾村（大笹事業地）【間伐】

本事業地では、平成27（2015）年度に、54年生のアカマツと28年生のヒノキが混交する人工林（2.95ha）において、間伐を実施した。本事業地における空間線量率の推移を図4-11、空間線量率の平面分布の推移を図4-12に示す。

平成27（2015）年度事業の空間線量率の推移は、施業前、平成27（2015）年7月30日から間伐実施後、平成27（2015）年12月8日にかけて漸減した。これは、作業道作設により作業道周辺の空間線量率が低下したこと、さらに比較的、高密度な路網作設によって、事業地全体に、その影響が及んだことが一因として挙げられる。

平成28（2016）年度に、隣接する村道落合下野行線の舗装補修工事が行われたことから、村道沿の測点で、空間線量率の低減が見られたことから、この2点を除き集計した。

平成28（2016）年度から、令和2（2020）年度事業で実施した継続モニタリングの結果、空間線量率の推移は、概ね物理学的減衰に沿って低減しており、間伐による空間線量率への影響は、小さかったものと考えられる。

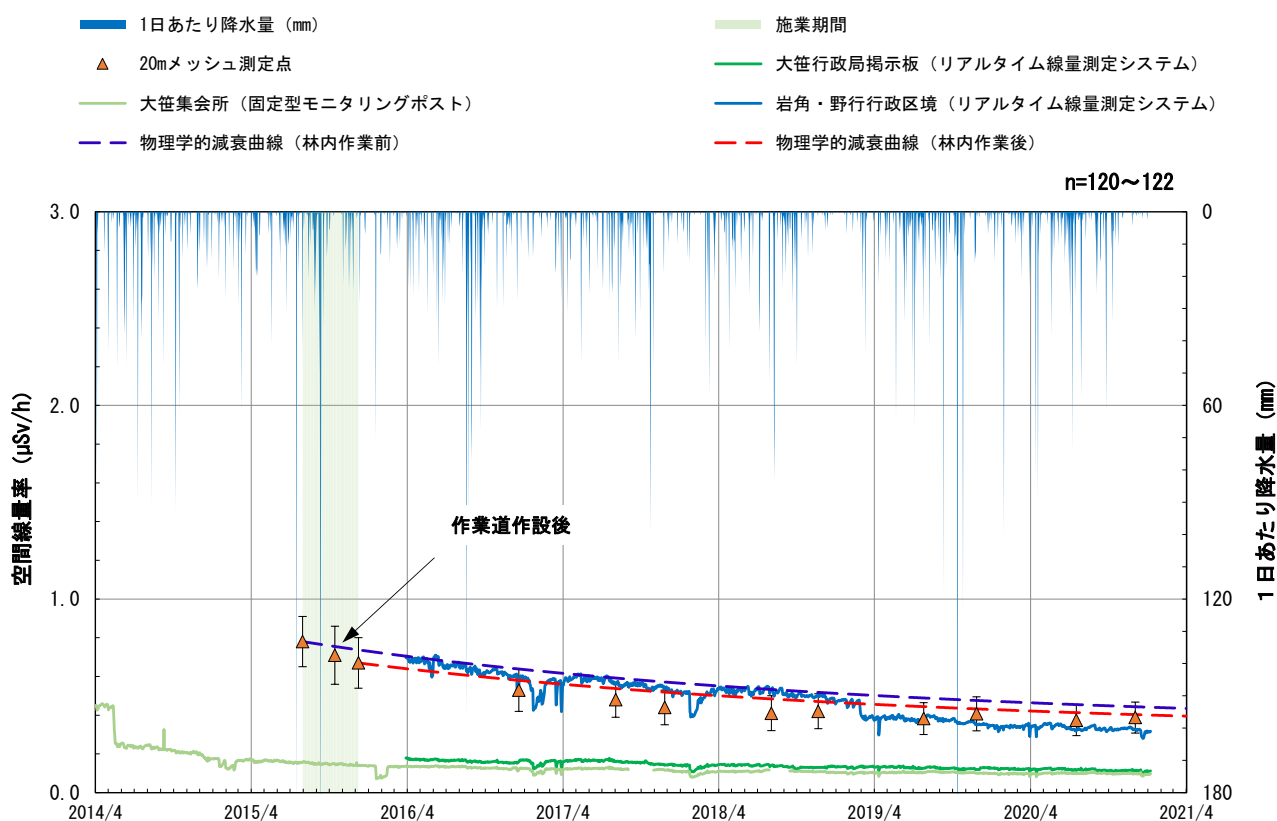


図 4-11 空間線量率の推移（大笹事業地）

注）図中の誤差棒は、測定値に対する標準偏差、破線は、空間線量率の物理学的減衰を示す。
 注）標準偏差とはデータのバラツキ度合いを示すもので、「バラツキが大きいのか小さいのか」を一つの数値で示す指標である。

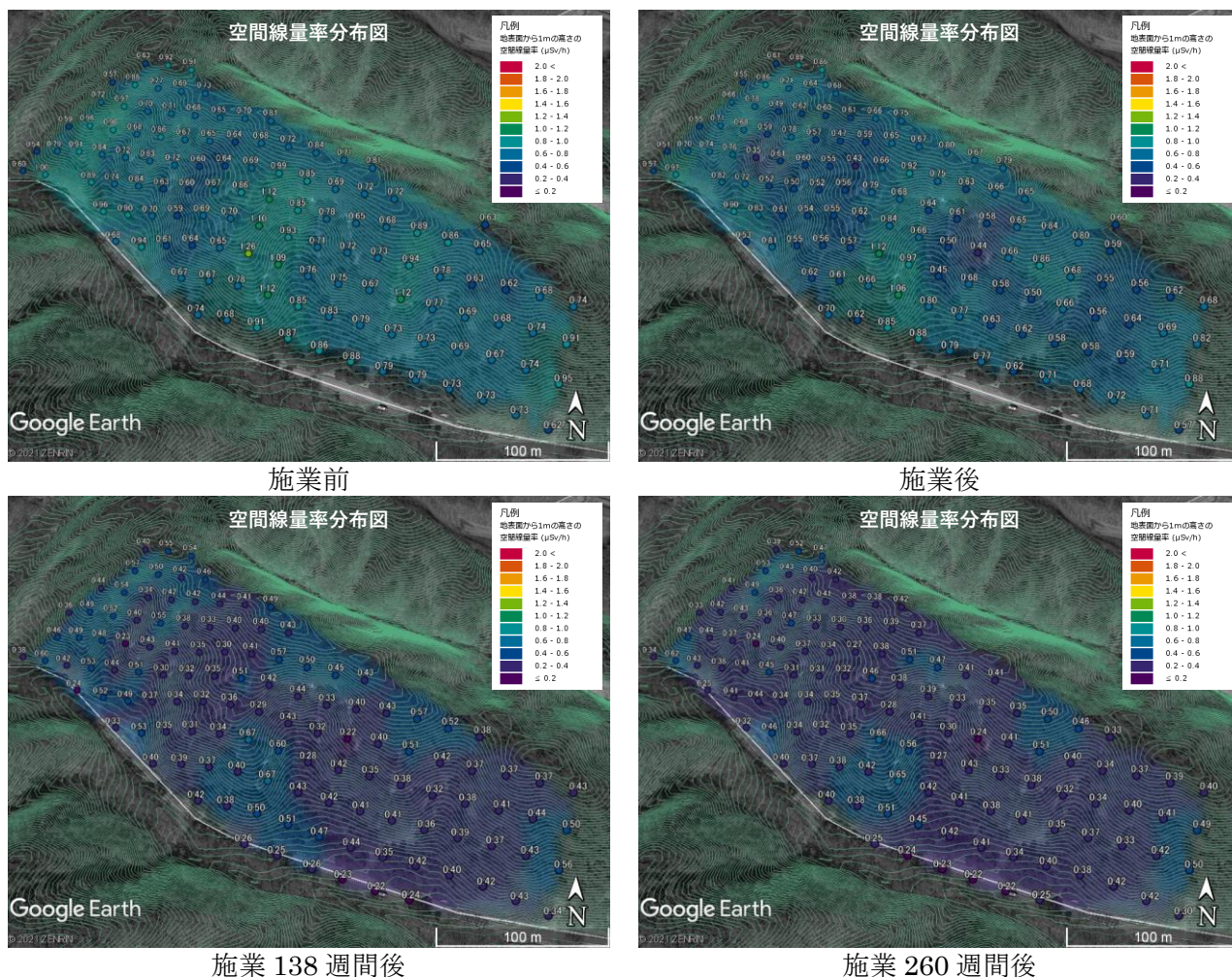


図 4-12 空間線量率分布図（大笹事業地）

表 4-11 空間線量率測定結果（大笹事業地）

測定時期	測定日	空間線量率 (μSv/h)					備考	
		データ数	最大値	最小値	平均値	低減率		
作業前	2015/07/30	120	1.260	0.540	0.771	—	0.135	図4-12
作業道作設後	2015/10/14	120	1.180	0.360	0.713	-7.6 %	0.144	
作業後	2015/12/08	120	1.120	0.350	0.671	-13.0 %	0.132	図4-12
作業52週間後	2016/12/08	122	0.860	0.240	0.518	-32.8 %	0.119	
作業86週間後	2017/08/02	122	0.780	0.240	0.467	-39.5 %	0.104	
作業103週間後	2017/11/25	122	0.760	0.200	0.433	-43.9 %	0.097	
作業138週間後	2018/08/02	122	0.670	0.220	0.414	-46.4 %	0.091	図4-12
作業154週間後	2018/11/20	122	0.680	0.230	0.420	-45.5 %	0.088	
作業189週間後	2019/07/25	122	0.650	0.220	0.383	-50.4 %	0.082	
作業207週間後	2019/11/26	122	0.710	0.220	0.407	-47.2 %	0.088	
作業240週間後	2020/07/17	122	0.640	0.200	0.374	-51.5 %	0.080	
作業260週間後	2020/12/02	122	0.660	0.220	0.388	-49.7 %	0.080	図4-12

（3）檜葉町（大谷事業地）【間伐】

本事業地では、平成28（2016）年度に、56年生、37年生のスギ、37年生のヒノキ人工林（1.26ha）において、間伐を実施した。本事業地における空間線量率の推移を図4-13、空間線量率の平面分布の推移を図4-14に示す。

事業地全体の空間線量率は、作業前の平成28（2016）年12月2日の $0.36\mu\text{Sv/h}$ から作業後の平成29（2017）年4月25日の $0.33\mu\text{Sv/h}$ とやや低減した。主には、新たに作設した作業道周辺及び土場周辺の測定点で低減がみられた。

平成29（2017）年度から、令和2（2020）年度事業で実施した継続モニタリングの結果、空間線量率の推移は、概ね物理学的減衰に沿って低減しており、間伐による空間線量率への影響は、小さかったものと考えられる。

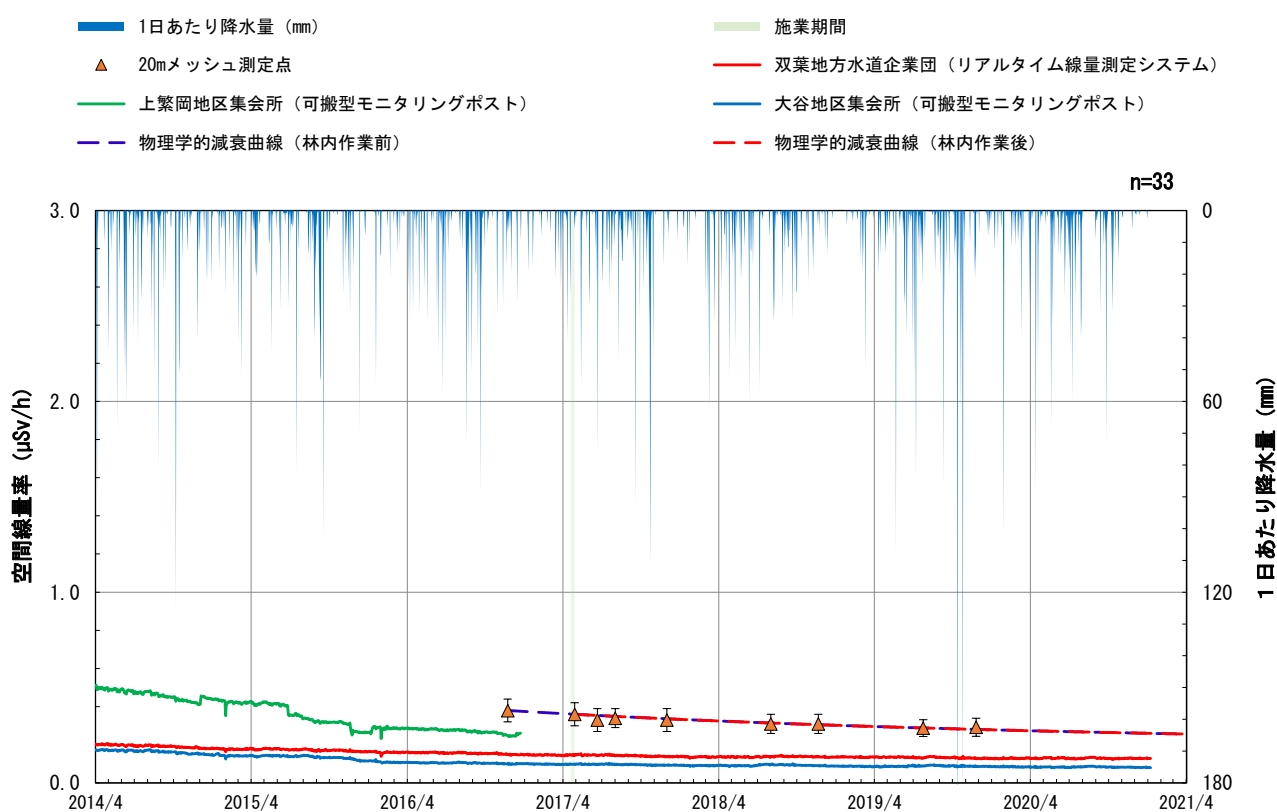


図 4-13 空間線量率の推移（大谷事業地）

注）図中の誤差棒は、測定値に対する標準偏差、破線は、空間線量率の物理学的減衰を示す。
 注）標準偏差とはデータのバラツキ度合いを示すもので、「バラツキが大きいのか小さいのか」を一つの数値で示す指標である。

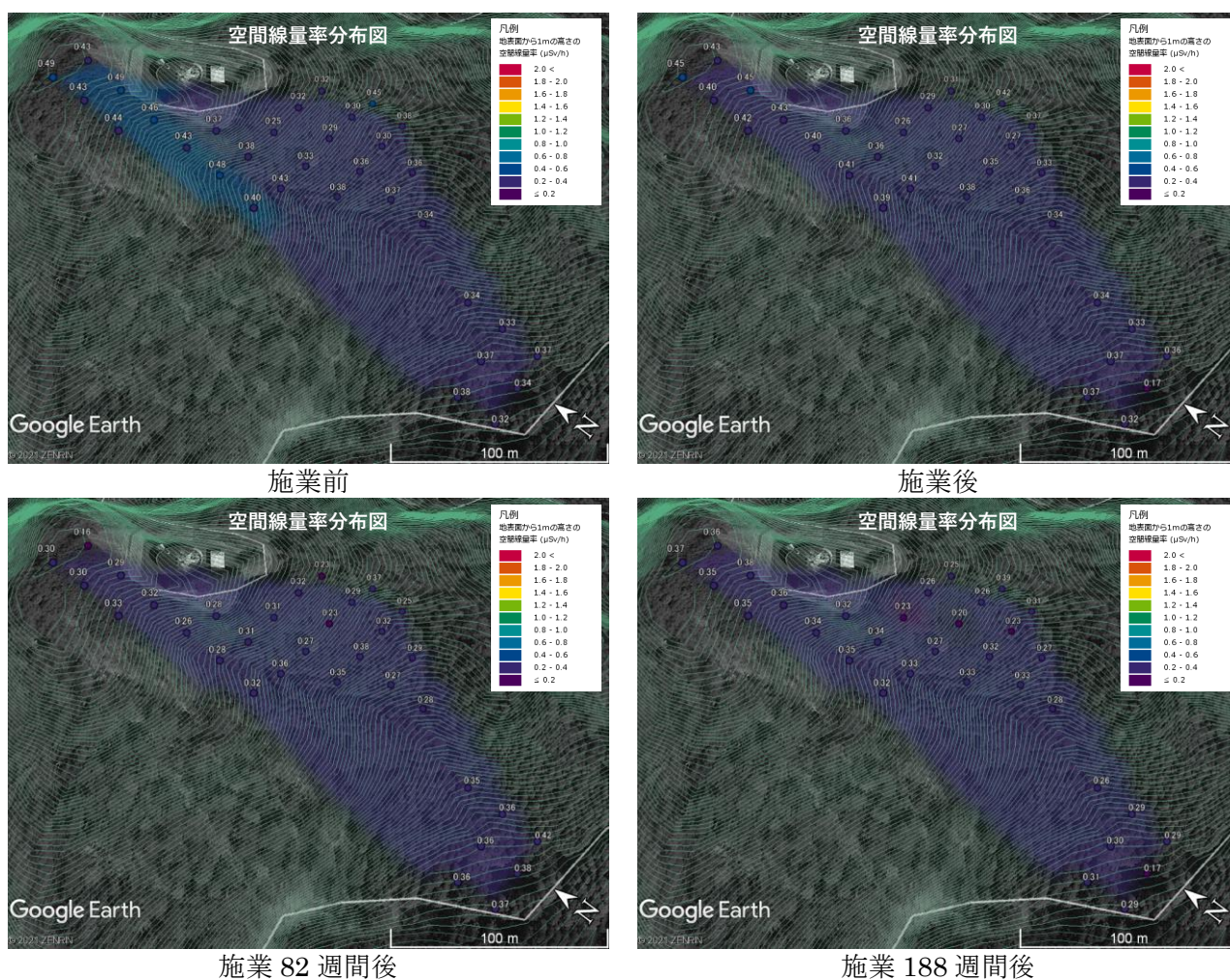


図 4-14 空間線量率分布図（大谷事業地）

表 4-12 空間線量率測定結果（大谷事業地）

測定時期	測定日	空間線量率 (μSv/h)					備考	
		データ数	最大値	最小値	平均値	低減率		
作業前	2016/11/23	33	0.490	0.250	0.377	—	0.061	図4-14
作業後	2017/04/28	33	0.450	0.170	0.356	-5.6 %	0.062	図4-14
作業8週間後	2017/06/20	33	0.450	0.150	0.332	-11.9 %	0.059	
作業14週間後	2017/08/01	33	0.450	0.200	0.337	-10.6 %	0.052	
作業31週間後	2017/11/30	33	0.450	0.180	0.335	-11.2 %	0.058	
作業66週間後	2018/08/01	33	0.390	0.180	0.308	-18.2 %	0.051	
作業82週間後	2018/11/20	33	0.420	0.160	0.311	-17.4 %	0.054	図4-14
作業117週間後	2019/07/24	33	0.370	0.150	0.288	-23.6 %	0.044	
作業134週間後	2019/11/25	33	0.360	0.160	0.292	-22.4 %	0.047	
作業168週間後	2020/07/16	33	0.360	0.140	0.282	-25.2 %	0.049	
作業188週間後	2020/12/03	33	0.390	0.170	0.303	-19.5 %	0.052	図4-14

4-4 田村市

4-4-1 測定方法及び測定日

小滝沢事業地および合子事業地、馬場平事業地に設定した20mメッシュの測定点で、地上高1mの空間線量率を測定した。空間線量率の測定は、前述した双葉郡、相馬地区と同様の方法で測定した。測定実施日を表4-13に示す。

表 4-13 測定実施日

区 分		小滝沢	合子	馬場平
形 状		20mメッシュ		
測定点		100点	119点	129点
森 林 施 業	間伐前	平成26年 10月3日	平成27年 8月4日	平成28年 6月7日
	路網作設後	—	—	—
	間伐中	—	—	—
	間伐後	平成26年 12月18日	平成27年 12月10日	平成28年 10月18日
継 続 モ ニ タ リ ン グ	平成27 (2015)年度	11月10日	更新伐・植栽の実施	
	平成28 (2016)年度	11月8日	12月6日	間伐・植栽の実施
	平成29 (2017)年度	11月9日	12月5日	10月5日
	平成30 (2018)年度	11月4日	12月3日	10月2日
	令和元 (2019)年度	11月8日	12月3日	10月3日
	令和2 (2020)年度	7月21日	7月21日	7月20日
12月8日		12月9日	12月7日	

※ 令和2年度調査より、他調査地区調査結果と比較参照するため、測定間隔を2回/年とした。

4-4-2 調査結果

(1) 小滝沢事業地【更新伐】

本事業地では、平成26（2014）年度に、20年生未満のコナラ、ヤマザクラ、ケヤキ等が混交する人工林（3.44ha）において、更新伐とヤマザクラの植栽を実施した。本事業地における空間線量率の推移を図4-15、空間線量率の平面分布の推移を図4-16に示す。

空間線量率の平面分布の推移（図4-16）をみると、平成26（2014）年度林内作業前測定時より、林内作業範囲の空間線量率の分布は、一様ではなく、北西尾根部の東向き斜面に、高線量エリアがみられた。その後時間経過に伴い、空間線量率の分布に局所的な変化はみられず、全域で、空間線量率は低くなっている。

平成27（2015）年度から、令和2（2020）年度事業で実施した継続モニタリングの結果、空間線量率の推移は、概ね物理学的減衰に沿って低減しており、更新伐による空間線量率への影響は、小さかったものと考えられる。

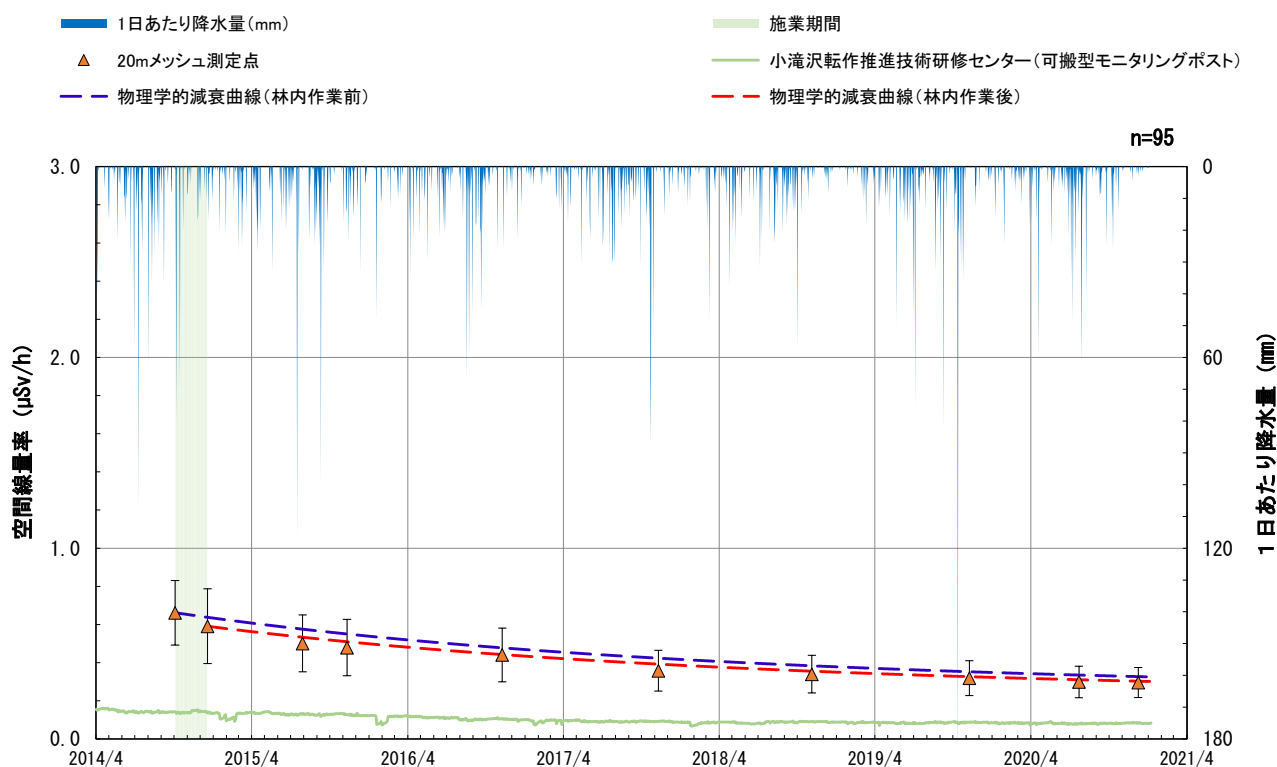


図 4-15 空間線量率の推移（小滝沢事業地）

注）図中の誤差棒は、測定値に対する標準偏差、破線は、空間線量率の物理学的減衰を示す。
 注）標準偏差とはデータのバラツキ度合いを示すもので、「バラツキが大きいのか小さいのか」を一つの数値で示す指標である。

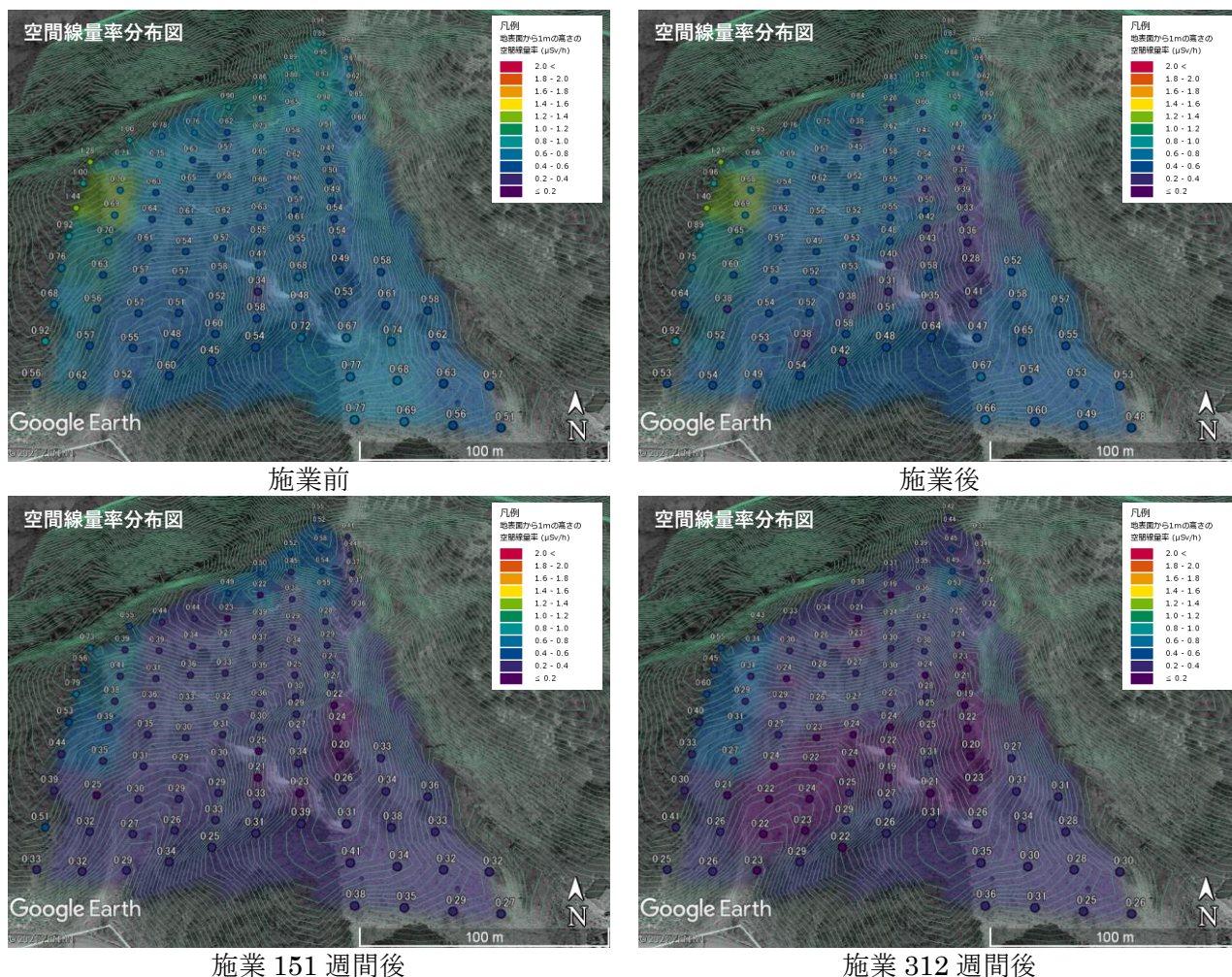


図 4-16 空間線量率の平面分布の推移（小滝沢事業地）

表 4-14 空間線量率測定結果（小滝沢事業地）

測定時期	測定日	空間線量率 (μSv/h)					備考	
		データ数	最大値	最小値	平均値	低減率		
						標本標準偏差		
作業前	2014/10/2	235	1.438	0.343	0.625	—	0.143	図4-16
作業後	2014/12/18	235	1.402	0.277	0.583	-6.8 %	0.151	図4-16
作業32週間後	2015/07/28	235	1.114	0.279	0.494	-21.0 %	0.119	
作業47週間後	2015/11/04	235	1.132	0.256	0.479	-23.4 %	0.117	
作業99週間後	2016/11/08	100	1.057	0.238	0.440	-29.6 %	0.139	
作業151週間後	2017/11/09	100	0.794	0.195	0.358	-42.7 %	0.105	図4-16
作業202週間後	2018/11/04	100	0.769	0.192	0.340	-45.7 %	0.098	
作業255週間後	2019/11/08	100	0.709	0.187	0.319	-48.9 %	0.091	
作業292週間後	2020/07/21	100	0.300	0.140	0.212	-66.1 %	0.031	
作業312週間後	2020/12/08	100	0.260	0.140	0.196	-68.6 %	0.023	図4-16

（2）合子事業地【更新伐】

本事業地では、平成27（2015）年度の事業で、30年生のコナラ、ヤマザクラ、ブナ等が混交する人工林（2.79ha）において、更新伐とヤマザクラの植栽を実施した。本事業地における空間線量率の推移を図4-17、空間線量率の平面分布の推移について、図4-18に示す。

空間線量率の平面分布の推移（図4-18）をみると、その後時間経過に伴い、空間線量率の分布に、局所的な変化はみられず、全域で、空間線量率は低くなっている。

平成28（2016）年度から、令和2（2020）年度事業で実施した継続モニタリングの結果、空間線量率の推移は、概ね物理学的減衰に沿って低減しており、更新伐による空間線量率への影響は、小さかったものと考えられる。

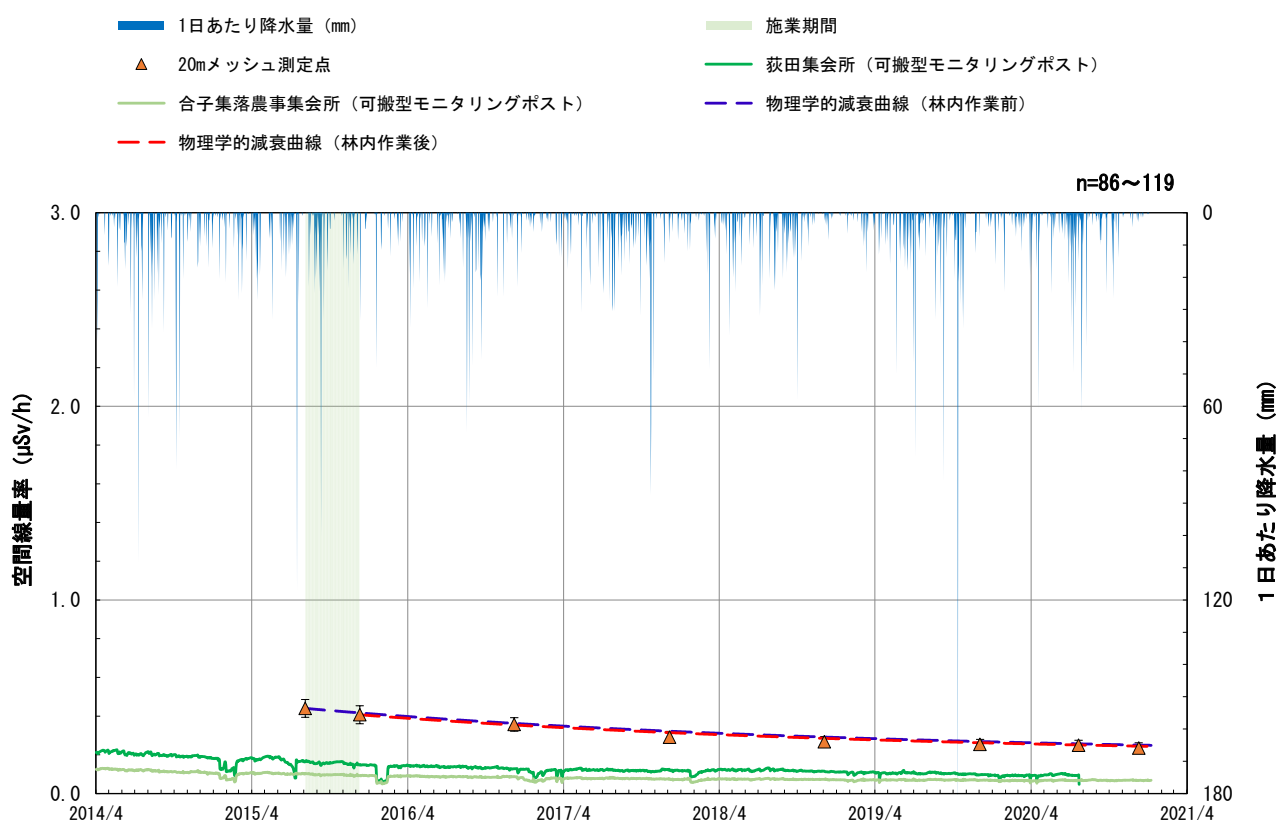


図 4-17 空間線量率の推移（合子事業地）

注）図中の誤差棒は、測定値に対する標準偏差、破線は、空間線量率の物理学的減衰を示す。

注）標準偏差とはデータのバラツキ度合いを示すもので、「バラツキが大きいのか小さいのか」を一つの数値で示す指標である。

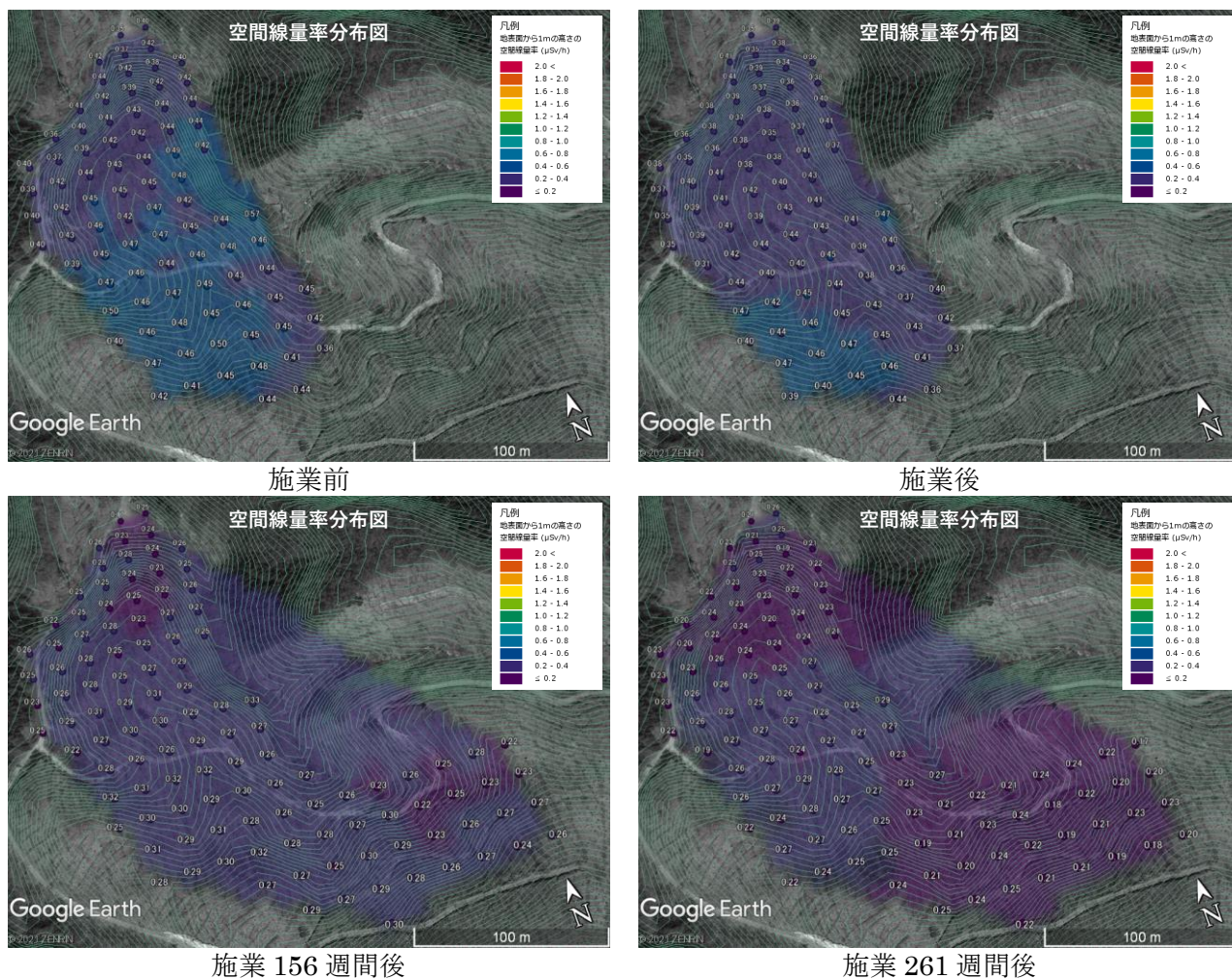


図 4-18 空間線量率の平面分布の推移（合子事業地）

表 4-15 空間線量率測定結果（合子事業地）

測定時期	測定日	空間線量率 (μSv/h)					備考	
		データ数	最大値	最小値	平均値	低減率		標本標準偏差
作業前	2015/08/04	100	0.647	0.353	0.440	—	0.046	図4-18
作業後	2015/12/10	100	0.590	0.307	0.407	-7.6 %	0.046	図4-18
作業47週間後	2016/11/02	38	0.427	0.318	0.372	-15.6 %	0.026	
作業52週間後	2016/12/06	124	0.454	0.254	0.353	-19.9 %	0.037	
作業104週間後	2017/12/05	119	0.372	0.209	0.291	-33.9 %	0.030	
作業156週間後	2018/12/03	119	0.335	0.172	0.268	-39.1 %	0.027	図4-18
作業208週間後	2019/12/03	119	0.314	0.155	0.255	-42.2 %	0.025	
作業241週間後	2020/07/21	119	0.300	0.180	0.250	-43.3 %	0.026	
作業261週間後	2020/12/09	119	0.290	0.170	0.235	-46.5 %	0.027	図4-18

（3）馬場平事業地【皆伐、間伐】

本事業地では、平成28（2016）年度に、60年生のスギ、30年生のヒノキ、40年生のアカマツより構成される人工林において、北側の1.16haで列状間伐（2伐8残）、南側の1.19haで30%の定性間伐、皆伐・植栽（0.55ha）を実施した。本事業地における空間線量率の推移を図4-19、空間線量率の平面分布の推移を図4-20に示す。

空間線量率の平面分布の推移（図4-20）をみると、作業前後で、森林作業道開設時の表土の攪乱の影響と思われる空間線量率の低下がみられた。森林作業道以外では、その後、時間経過に伴い、空間線量率の分布に局所的な変化はみられず、全域、空間線量率は低くなっている。

平成29（2016）年度から、令和2（2020）年度事業で実施した継続モニタリングの結果、空間線量率の推移は、概ね物理学的減衰に沿って低減しており、更新伐による空間線量率への影響は、小さかったものと考えられる。

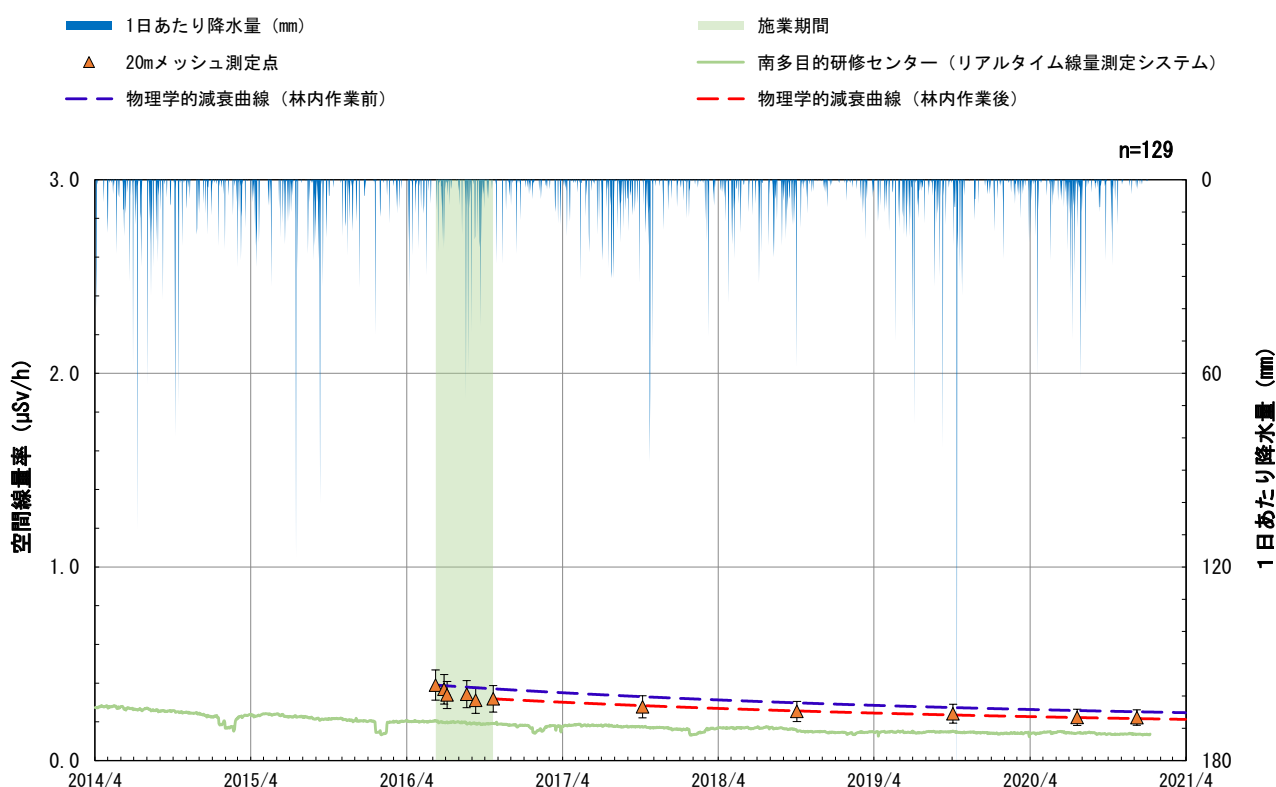


図 4-19 空間線量率の推移（馬場平事業地）

注) 図中の誤差棒は、測定値に対する標準偏差、破線は、空間線量率の物理学的減衰を示す。
 注) 標準偏差とはデータのバラツキ度合いを示すもので、「バラツキが大きいのか小さいのか」を一つの数値で示す指標である。

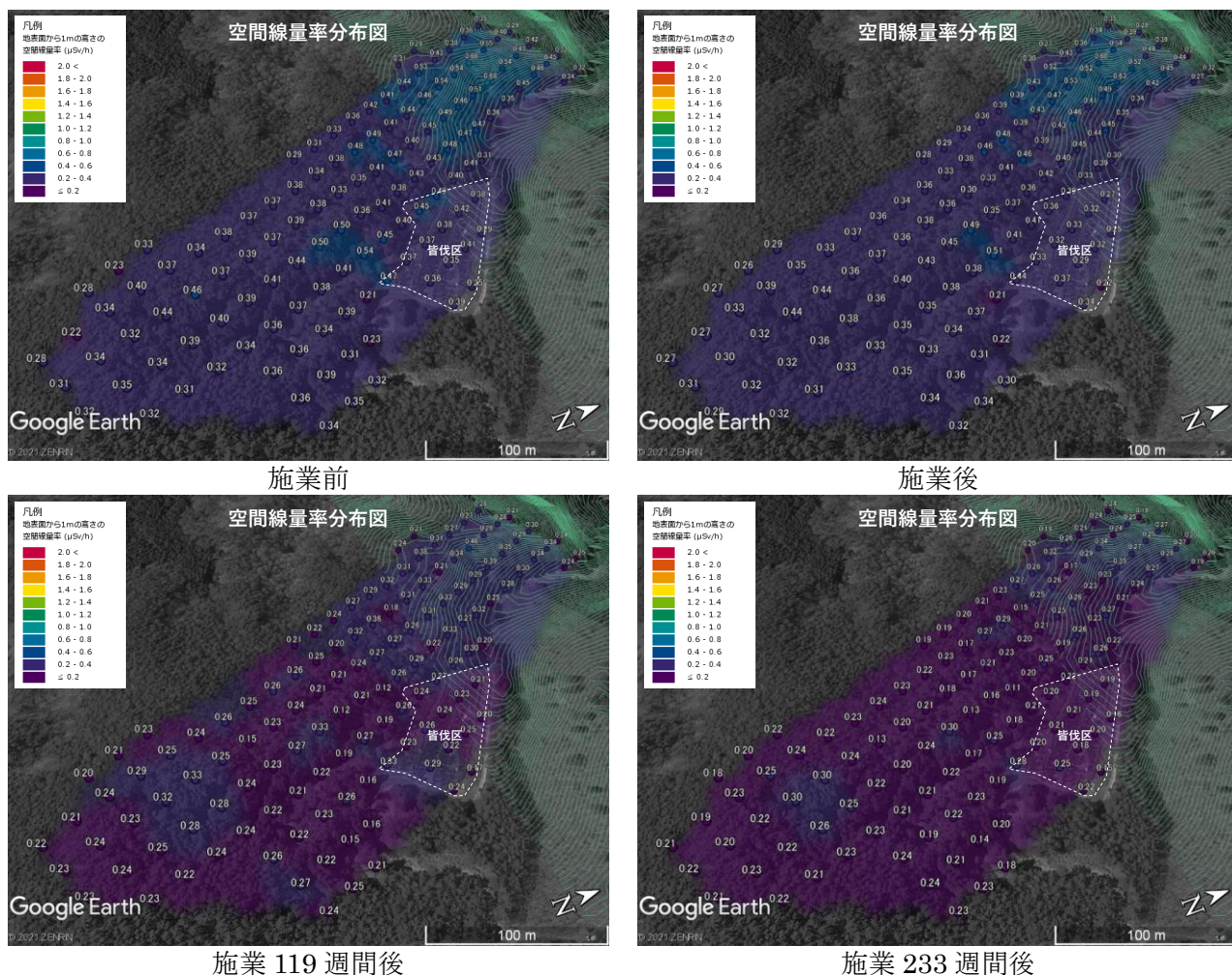


図 4-20 空間線量率の平面分布の推移（馬場平事業地）

表 4-16 空間線量率測定結果（馬場平事業地）

測定時期	測定日	空間線量率 (μSv/h)					備考	
		データ数	最大値	最小値	平均値	低減率		
作業前	2016/06/06	129	0.684	0.212	0.390	—	0.079	図4-20
作業後	2016/06/22	129	0.633	0.206	0.368	-5.7 %	0.076	図4-20
作業2週間後	2016/07/04	129	0.586	0.197	0.339	-13.1 %	0.070	
作業6週間後	2016/08/03	129	0.593	0.188	0.343	-12.2 %	0.070	
作業11週間後	2016/09/07	129	0.547	0.147	0.311	-20.4 %	0.067	
作業17週間後	2016/10/18	129	0.572	0.131	0.319	-18.3 %	0.068	
作業67週間後	2017/10/05	129	0.506	0.134	0.279	-28.7 %	0.057	
作業119週間後	2018/10/02	129	0.461	0.120	0.254	-35.0 %	0.052	図4-20
作業171週間後	2019/10/03	129	0.445	0.115	0.242	-37.9 %	0.049	
作業213週間後	2020/07/20	129	0.330	0.110	0.223	-42.9 %	0.042	
作業233週間後	2020/12/07	129	0.350	0.110	0.222	-43.1 %	0.040	図4-20

4-5 分析・取りまとめ

4-5-1 実効半減期計算方法

各事業地内の各測点について実効半減期を導出し、森林作業道や土場作設の影響によって空間線量率が減少している測点及び間伐区域として間伐・更新伐・皆伐、それぞれの実効半減期を計算によって求めた。

現在、空間線量率に大きな影響を与えている核種は、セシウム 134 及び 137 の 2 核種であり、放射能の指数関数的減衰に、空間線量率への寄与率¹を加味しても、空間線量率の減衰は、概ね指数関数状に減少しているものとみなすことが出来る。

本事業では、空間線量率の低減を定量的に比較することを目的として、放射線源から得られた計数率をもとに崩壊定数を求める方法を参考に、施業直後より測定された空間線量率から、空間線量率の実効半減期²を求めた。具体的には、横軸を経過日数、縦軸を空間線量率とし、片対数グラフにプロットした回帰直線の傾き（Excel などの表計算ソフトを用いる場合、横軸に測定年月日のシリアル値、縦軸に空間線量率の常用対数値をとった場合の直線の傾き）から、崩壊定数（ λ : day⁻¹）を求め、実効半減期を求めた。

$$\text{実効半減期} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0.693}{\lambda} \dots\dots\dots \textcircled{1}$$

以下に、羽倉事業地の測定結果（図 4-1）から、実効半減期を求める手順を示す。図 4-21 に、図 4-1 の空間線量率の常用対数値をプロットした結果を示す。横軸の測定日は、数学的に判りやすくするため、日付（シリアル値）とした。回帰直線及び回帰結果は、Excel 標準機能で、求めた結果である。図 4-21 には、表示されていないが SLOPE 関数を用いて、グラフ上の傾き（単回帰係数）を求めると、-0.00016149 となる（図 4-21 上では -0.0002 と表示されている）。

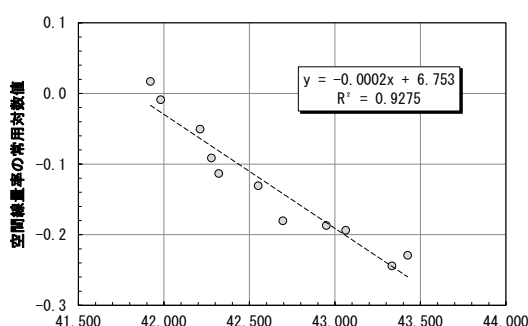


図 4-21 空間線量率測定日と測定値の関係（横軸：測定日シリアル値 縦軸：空間線量率の常用対数値）

¹ 第 64 回原子力安全委員会（平成 23 年 8 月 24 日）資料第 1-2 号「現在の空間線量率から将来の空間線量率を予測する考え方」で示された言葉であり、セシウム 134、セシウム 137 の各核種が空間線量率に与える影響を「寄与率」としたものである。同資料では、セシウム 134、セシウム 137 による線量のみを考慮することとし、空間線量率に対する各核種の寄与率を 0.73、0.27（合計 1.00）としている。

² 放射性物質は、核種固有の物理学的半減期により減衰する。セシウム 134 の物理学的半減期は 2.06 年、セシウム 137 は 30.17 年とされている。本事業では、実測された空間線量率に基づいて、半減期を求めた物理学的半減期と区別する意味合いで実効半減期とした。なお、式中の ln2 の 2 という数字が意味するところは、「2 分の 1 に減少する」という表現の中の 2 と同じである。100 分の 1 に減少する崩壊定数を仮に求めるのなら、ln100 となる。

常用対数値から求めたグラフ上の傾き（対数をとるために符号を取り除いた）は0.00016149と算出される。この値は、常用対数をとった空間線量率の1日当たりの減少率であるが、崩壊定数の定義では、自然対数を用いているので、常用対数のlogではなく、自然対数のlnをとった場合への変換が必要である。したがって、 $\lambda = \ln(10^{0.00016149})$ を計算し、崩壊定数（ $\lambda : \text{day}^{-1}$ ）0.00037184が求まる。 $\ln 2$ （2の自然対数）は0.693であることから、①式より実効半減期 $= 0.693 \div 0.00037184 = 1863.70$ 日が求まり、これを1年（365.25日）で割ると、5.103年が得られる。

4-5-2 各測定点に対する計算結果

測定点別の実効半減期を導出した結果は表4-17のとおりであり、平成28年度施業の合子事業地がもっと早い低減傾向を示したが、7.81年の物理学的半減期計算値より、1.10年早い6.71年の物理学的半減期実測値であった。その他、二枚橋事業地、白石事業地、大笹事業地、小滝沢事業地、平成27年度施業の合子事業地が物理学的半減期計算値より早い低減傾向を示した。

最も、遅い物理学的半減期を示したのは、大谷事業地であり、7.97年の物理学的半減期計算値に対し、実測値より求めた物理学的半減期は12.00年であり、4.03年遅かった。その他、羽倉事業地、関沢事業地、毛戸事業地（間伐・皆伐）が物理学的半減期計算値より遅い低減傾向を示した。大谷事業地の実効半減期実測値が他の事業地と比べて突出して遅くなっており、気候の安定を待ち、2021年3月に再度測定を実施した結果、実効半減期実測値の傾向は同様であった。現地の状況にも特段の変化は見られず、原因は不明である。

表 4-17 事業地別空間線量率実効半減期計算結果（間伐、更新伐、皆伐）

地区	市町村	事業地名	計算値 [a]	空間線量率実効半減期（年）					差分 [b-a]	
				解析 点数	実測値			寄与率 [R ²]		
					最大値	最小値	平均[b]			
相馬地区	南相馬市	羽倉	6.24	31	8.27	5.23	6.77	0.87	0.53	
	飯舘村	二枚橋	6.74	103	10.50	5.12	6.39	0.90	-0.35	
		白石	6.57	11	6.77	5.70	6.21	0.91	-0.36	
		関沢	7.57	28	14.69	5.55	7.82	0.75	0.25	
双葉郡	川内村	毛戸 間伐区	5.96	3	8.12	7.13	7.56	0.85	1.60	
		皆伐区	5.96	2	7.65	6.93	7.29	0.84	1.33	
	葛尾村	大笹	6.71	65	8.85	3.87	5.89	0.84	-0.82	
	檜葉町	大谷	7.97	18	19.55	8.36	12.00	0.69	4.03	
田村市	田村市	小滝沢	6.25	84	7.22	4.96	5.79	0.93	-0.46	
		合子	H27	6.85	75	7.71	4.74	6.58	0.91	-0.27
			H28	7.81	16	7.55	5.41	6.71	0.88	-1.10
		馬場平	7.28	95	13.27	4.68	7.42	0.88	0.14	

図4-23～図4-30に各事業地における空間線量率実効半減期寄与率分布図を示した。

空間線量率実効半減期寄与率とは、実効半減期を導出する際に求めた回帰直線の寄与率（決定係数）であり、実効半減期の当て嵌まりの良さを示すものである。

図 4-22 に関沢事業地における隣接する測定点 E-8、測定点 E-9 の実効半減期実測値の計算結果を示した。測定点 E-8、測定点 E-9 の実効半減期寄与率はそれぞれ 0.2728、0.9025、関沢事業地における実効半減期計算値は 7.57 年であるのに対し、実効半減期実測値はそれぞれ 14.69 年、6.49 年と計算された。測定点 E-8 では、2019 年 7 月から空間線量率の増加が観測されていた。現地調査を行った結果、枝条の集積がみられた。2016 年の施業後、分散して集積していたものが、吹き溜まりとなりやすい地形に集まったものと考えられる。

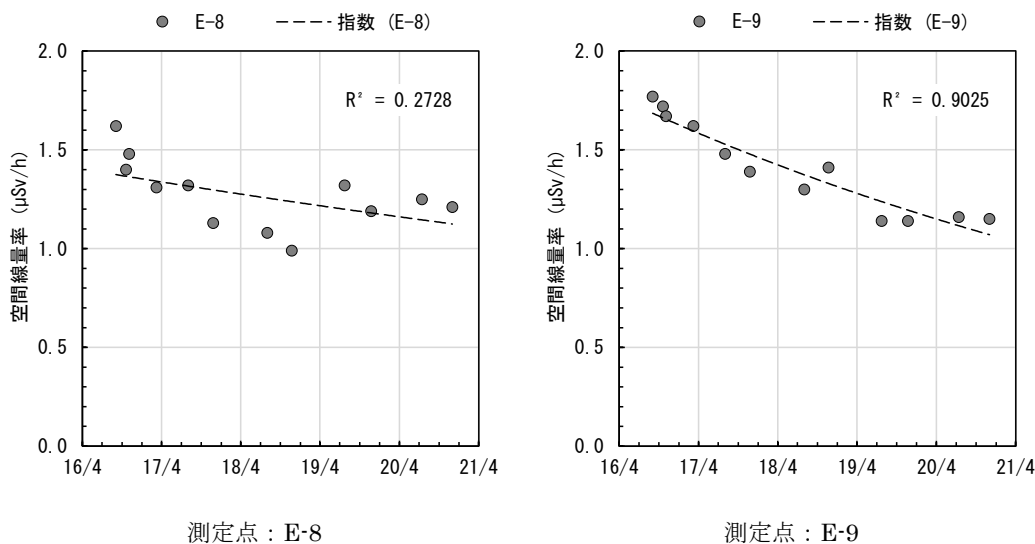


図 4-22 関沢事業地における実効半減期計算結果



写真 4-2 関沢事業地測定点 E-8 の状況

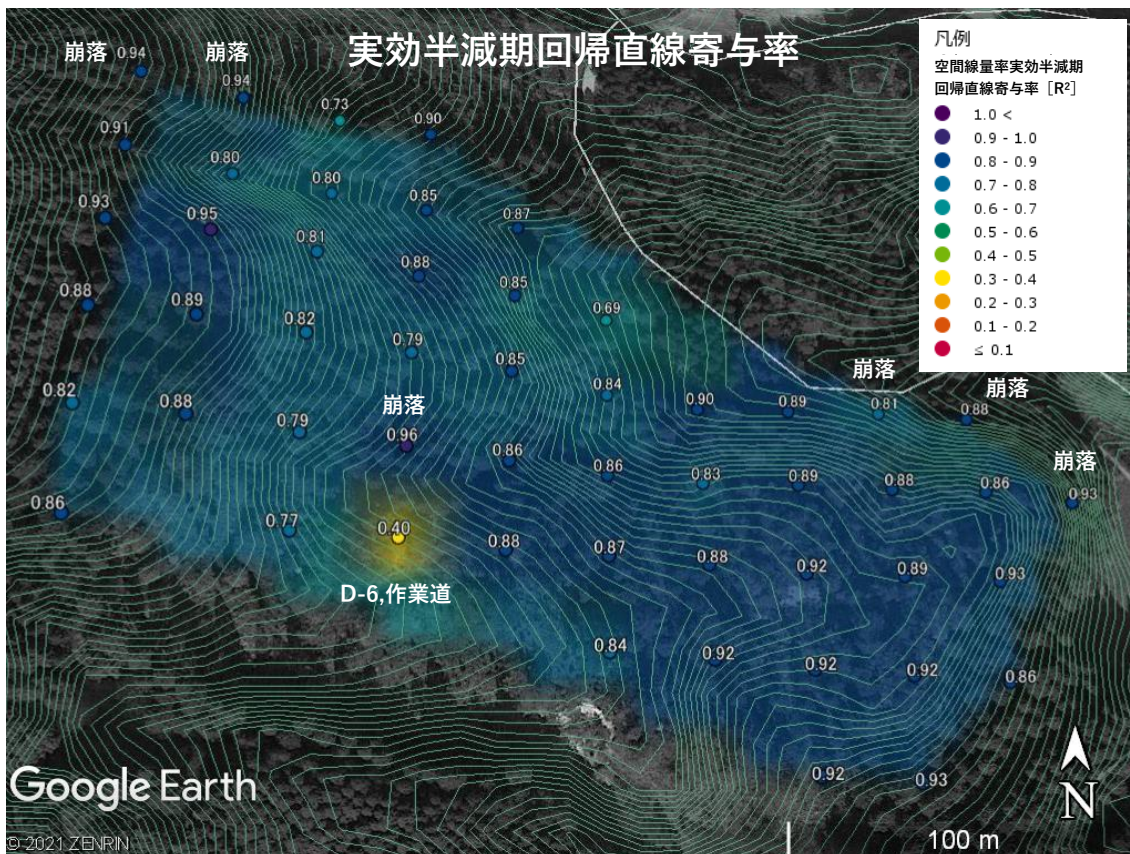


図 4-23 空間線量率実効半減期分布図（羽倉事業地）

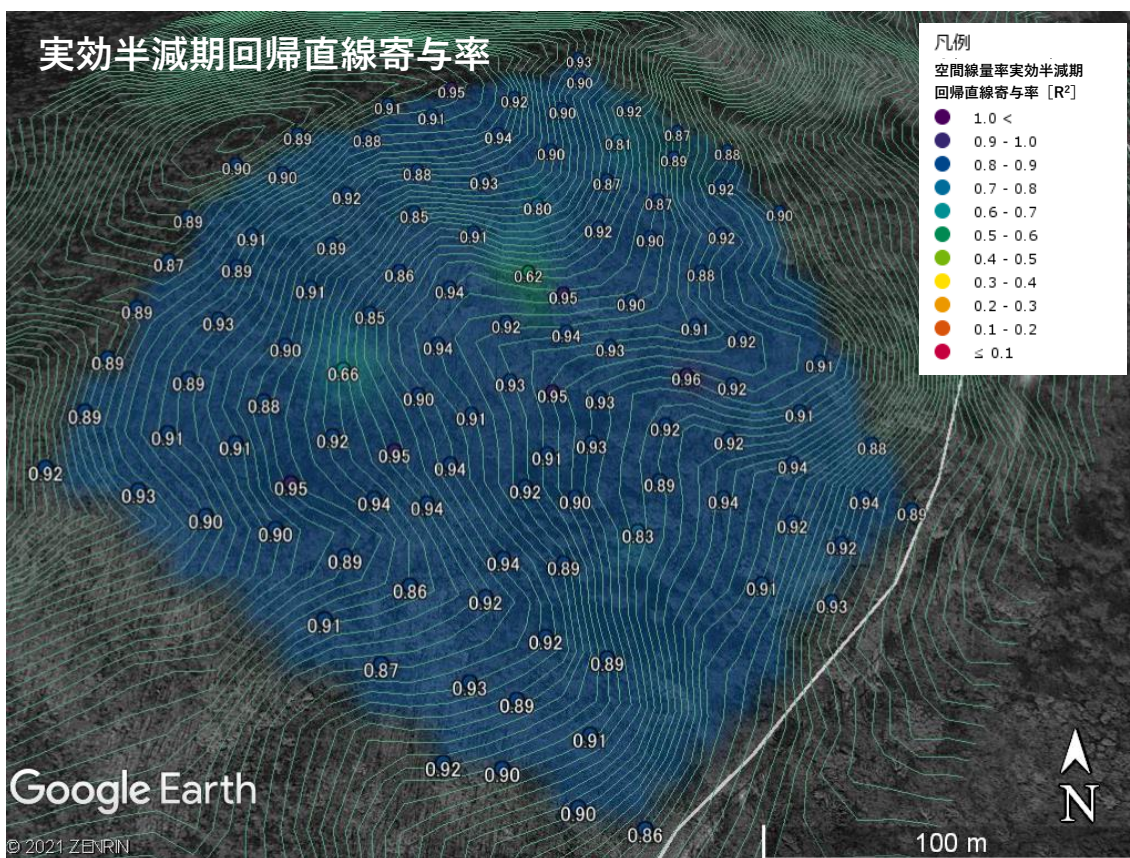


図 4-24 空間線量率実効半減期分布図（二枚橋事業地）

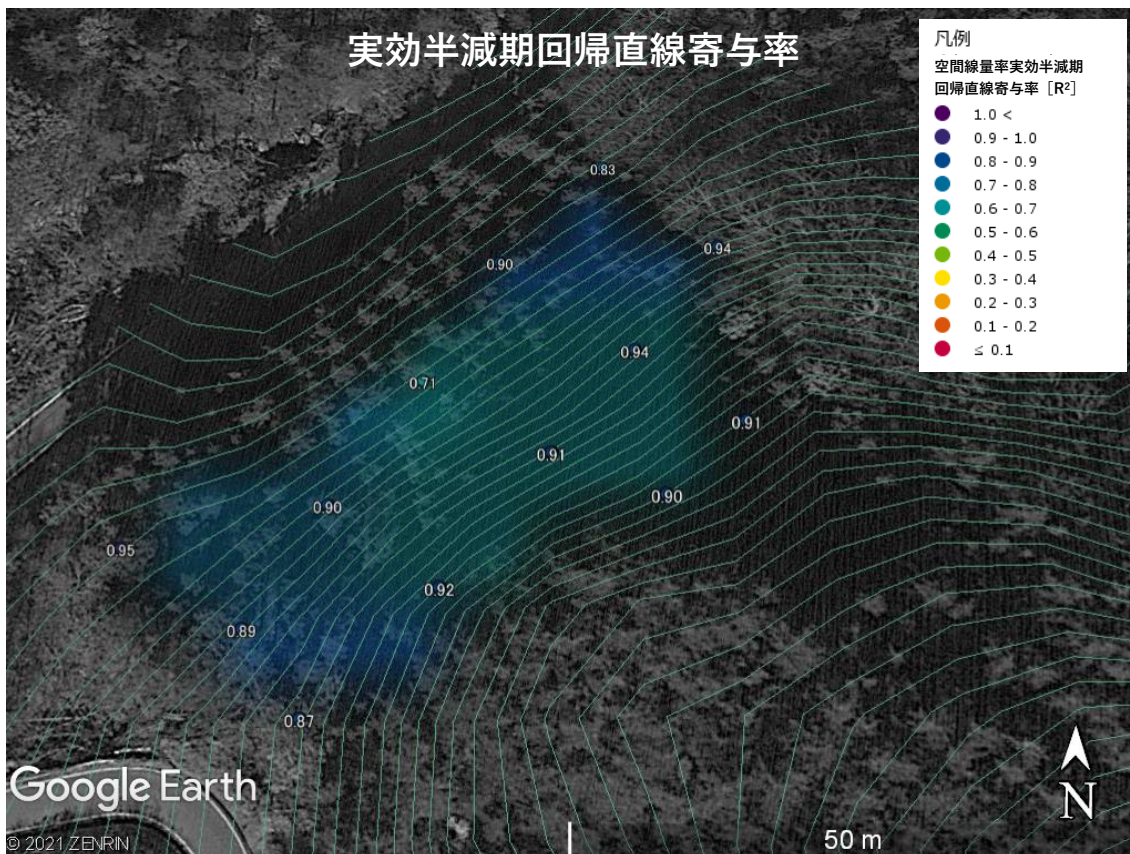


図 4-25 空間線量率実効半減期分布図（臼石事業地）

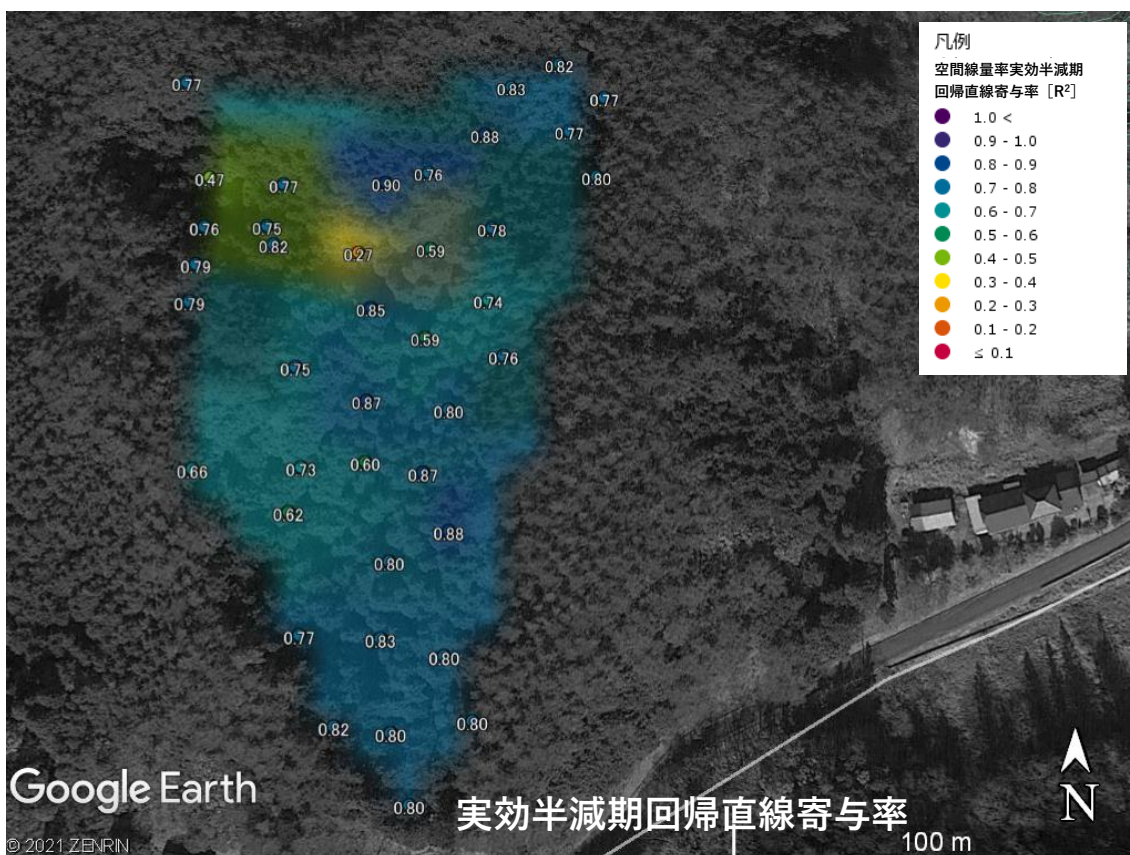


図 4-26 空間線量率実効半減期分布図（関沢事業地）

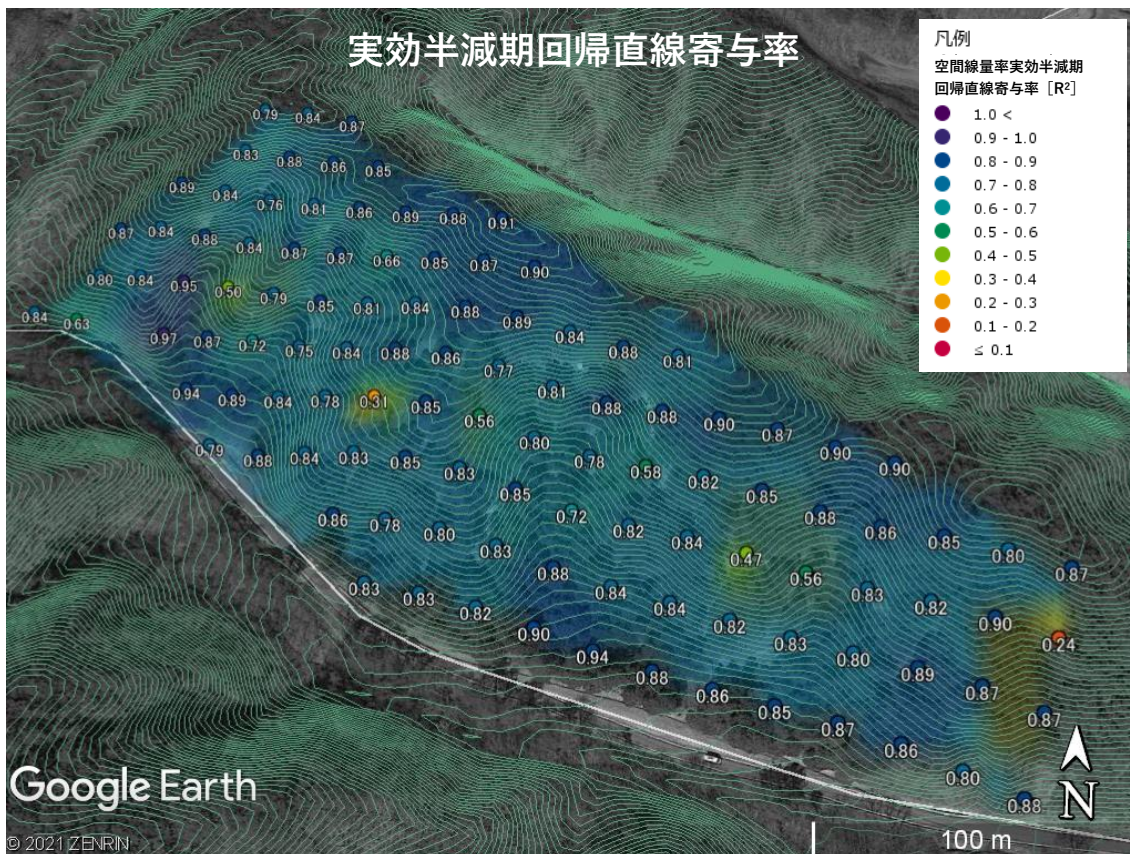


図 4-27 空間線量率実効半減期分布図（大笹事業地）

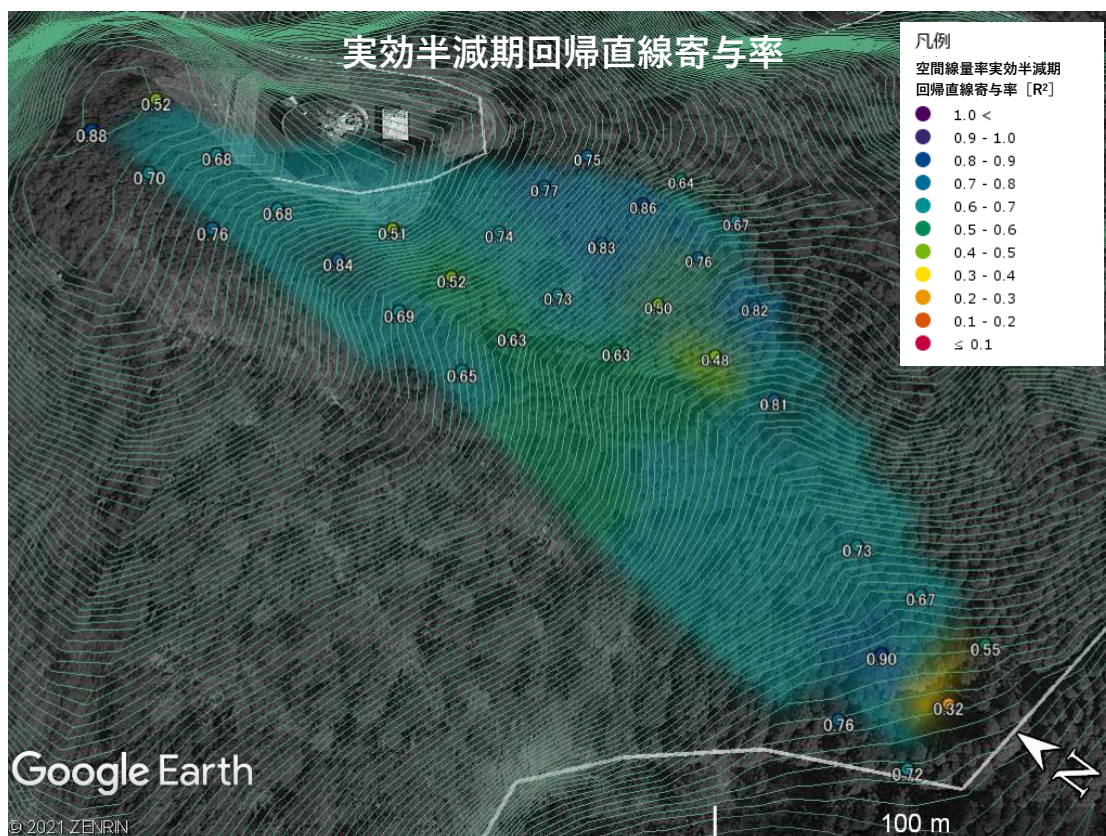


図 4-28 空間線量率実効半減期分布図（大谷事業地）

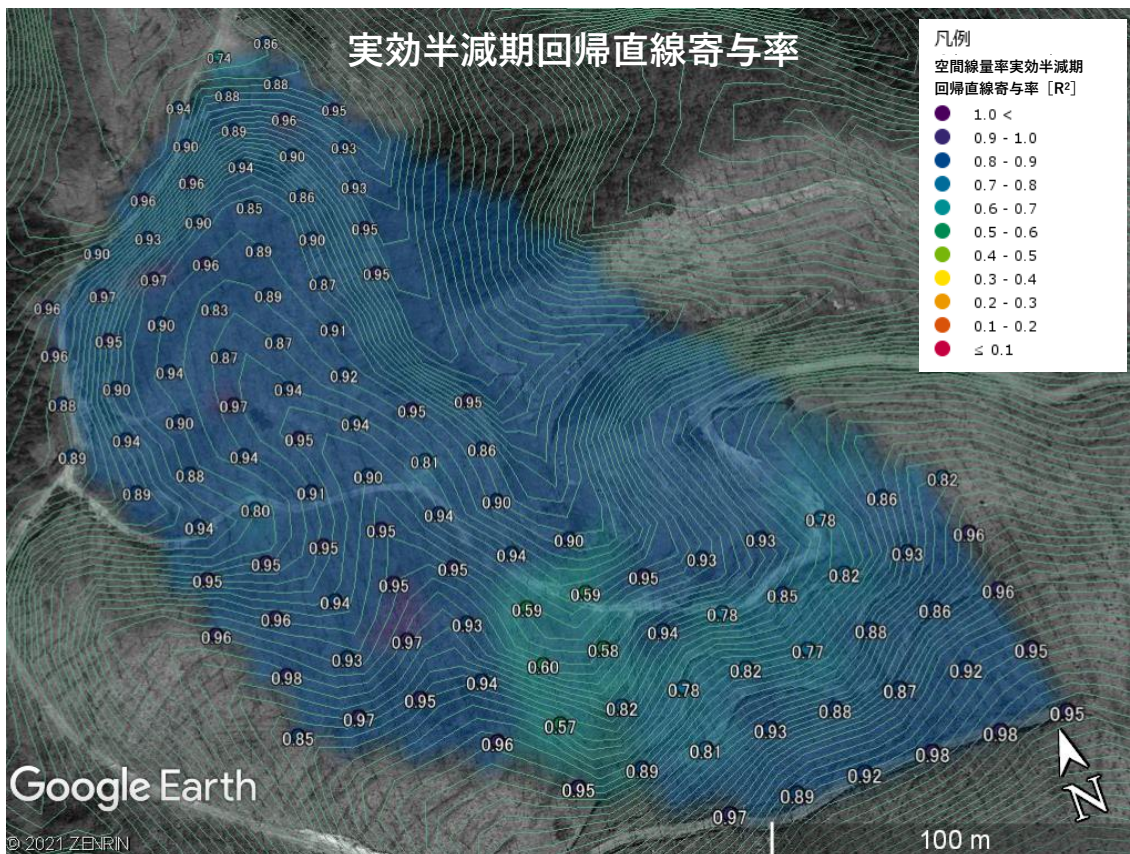


図 4-29 空間線量率実効半減期分布図（合子事業地）

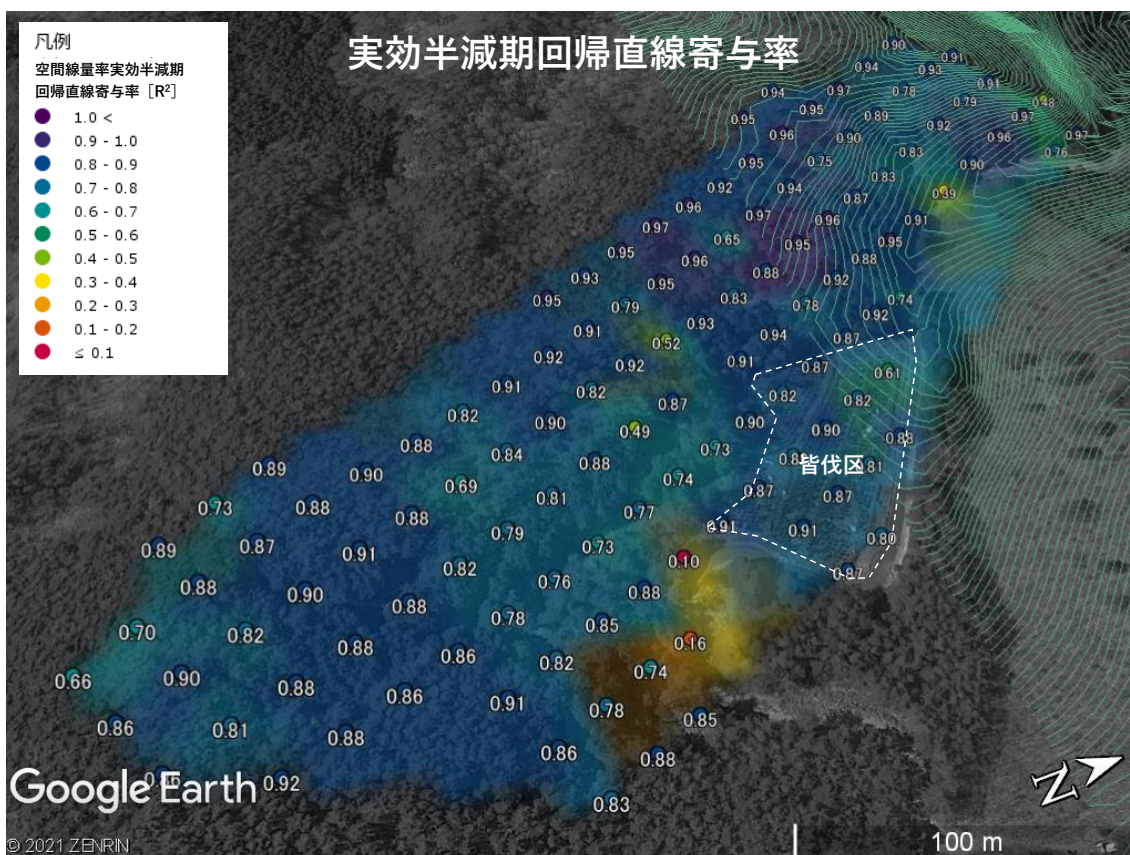


図 4-30 空間線量率実効半減期分布図（馬場平事業地）

4-5-3 間伐エリア・皆伐エリアの比較について

馬場平事業地には、皆伐エリアが設けられておりこの平均空間線量率実効半減期は約 7.190 年であり、事業地全体の平均である 7.296 年と大きな差は見られなかった。