

2.4 除染実証事業の結果

2.4.1 除染作業計画策定と除染効果測定のためのモニタリング結果

(1) 除染作業計画策定のためのモニタリング結果

①結果

2.3.2(1)に述べた除染作業計画策定のためモニタリング計画に基づき、除染実施対象地区の汚染状況を俯瞰的に把握するため、下記の項目を実施した。

- 1) 除染実施前のメッシュモニタリング
- 2) 除染実施前のホットスポット探索
- 3) 除染実施前の環境モニタリング

以下、各々について記載する。

1) 除染実施前のメッシュモニタリング

除染実施前のメッシュモニタリングについては、人が多く出入りする学校・役場・公園等においては10m間隔、それ以外の森林、農地、道路等においては30m間隔を基本とし、空間線量率、表面密度を計測した。

結果については、付録の各除染対象区域の速報に記載のとおりであり、各地域の地形条件、土地利用区分および汚染源からの距離等に応じた結果が得られ、除染計画策定の基礎資料となった。考察については、後述の2.4.1(2)除染効果測定のための除染実施後のメッシュモニタリング結果の箇所合わせて記載することとする。

2) 除染実施前のホットスポット探索

ホットスポット探索では、場所を決めて測定するメッシュ測定と異なり、時定数を下げて（感度を高めて）これまでの知見から一般的に線量の高い傾向の見られる箇所（雨どい、屋根下の水溜りなど）を探索するという測定を実施した。

3) 除染実施前の環境モニタリング

除染の対象となる土壌、道路、森林の樹木などについて、汚染程度や汚染深度など、除染方法の決定するのに必要な情報取得のために、放射能濃度、表面密度を計測した。土壌、森林、水、アスファルト舗装のモニタリング結果について、以下に記載する。

3)-1 土壌

放射性物質で汚染された土壌の除染は、本事業の主要な課題である。汚染土壌を効率的かつ効果的に除去することが除染においては極めて重要であるばかりでなく、今後の除染にともなって必要となる仮置場や中間貯蔵施設の規模等に大きく影響することになる。

本事業では、土壌の汚染状況、特に除去範囲を決める上で重要な深度方向の汚染状況を把握するため、学校・運動場や農地など各土地利用区分ごとに深度方向のサンプリングを行った。今回の事業エリアに占める面積の割合が大きい学校・運動場、農地の例を図2.4.1(1)-1に示す。地表に降下した放射性物質の降雨などによる地盤中への浸透には、地盤性状や地盤環境等が影響すると考えられるが、各地域の汚染レベルによって放射能濃度の絶対値が大きく異なるため、ここでは、地表（深度0.5～1cm）の濃度で正規化し、濃度の違いに依らず深度方向の分布性状を整理し

た。

学校・運動場は汚染レベルに分けて示したが、2～3の例外を除き両者の分布には大きな違いは認められなかった。また、ここでは示していないが、農地をはじめ他の土地利用区分においても同様な傾向が確認できた。学校・運動場と農地を比較すると、農地では深度方向の濃度のばらつきが大きかった。これは、一般的に砂質土が多く使われる学校・運動場に比べ、農地は細粒分の多い粘性土が主体であるため、降雨などの浸透性が農地の方が小さいと考えられるものの、放射性物質が降下する以前に作付のため耕起を済ませ土壌が緩んだ農地の多くにおいては、放射性物質が深くまで浸透し、深度方向の汚染が進展したためと考えられる。

駐車場や宅地の庭などに多く見られた表層に碎石のある地盤における放射性物質の濃度分布も併記する。ほとんどの場所において、碎石は強く汚染されていることが確認できたが、その下の地盤については概ね汚染深度は少なく、学校・運動場や農地とは放射性物質の分布性状が異なることが確認できた。

これらのデータを用いることで、例えば表層の放射性物質の濃度を1/10にするには、学校・運動場では2～4cm、農地では2～7cm剥ぎ取れば良いことが算出できる。

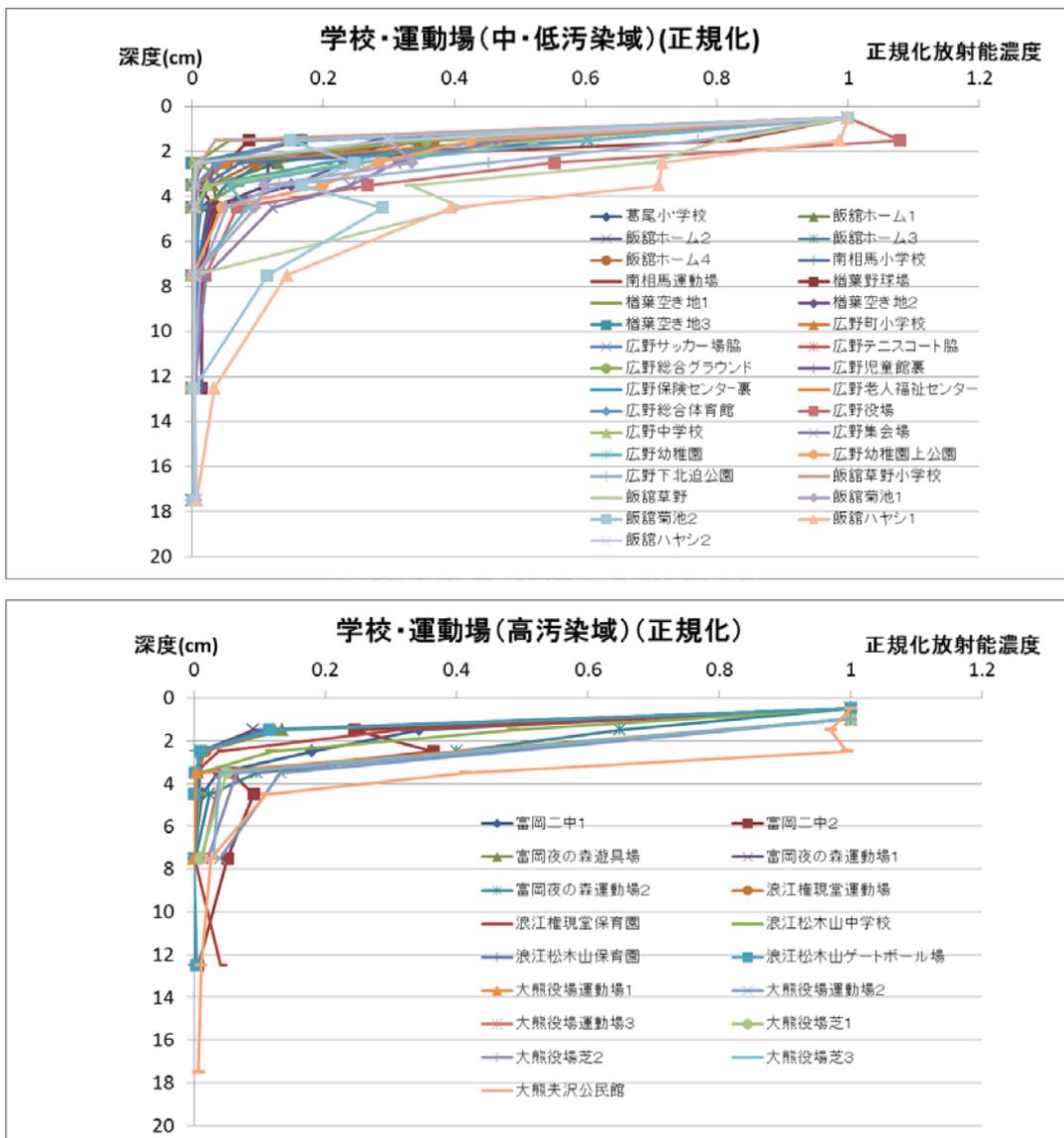


図 2.4.1(1)-1 大型構造物，農地などの土壌の放射能濃度の深度分布

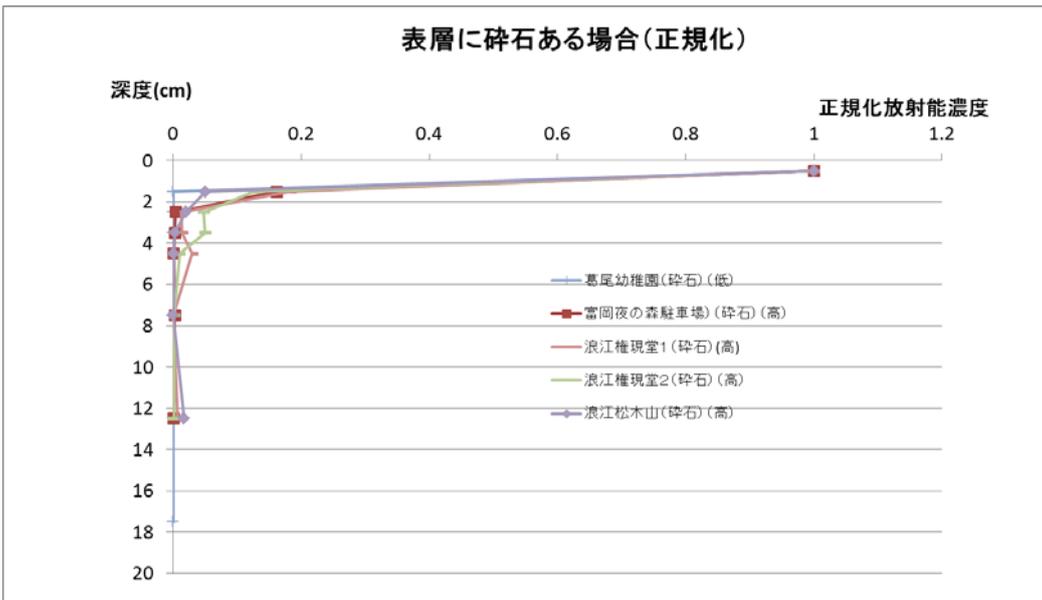
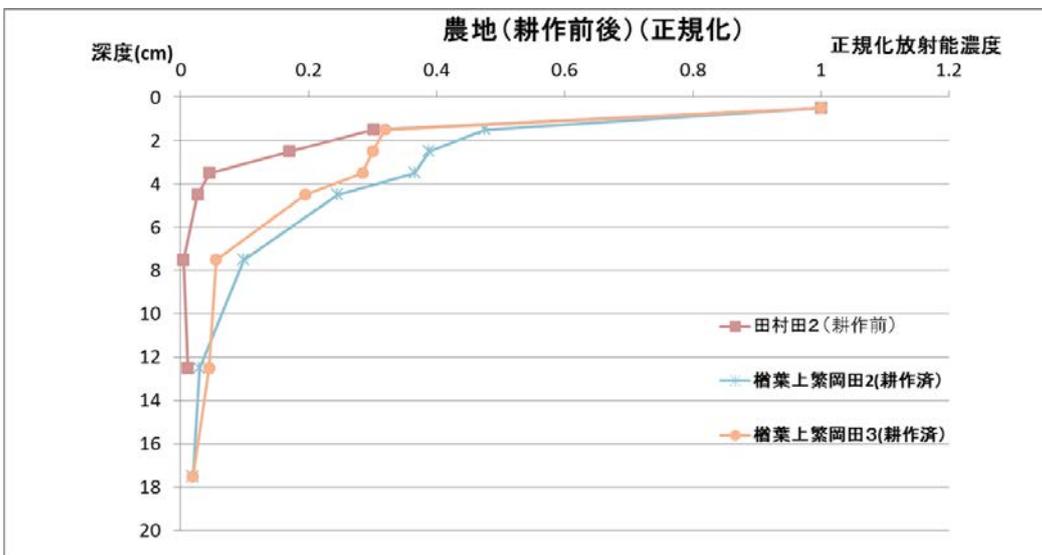
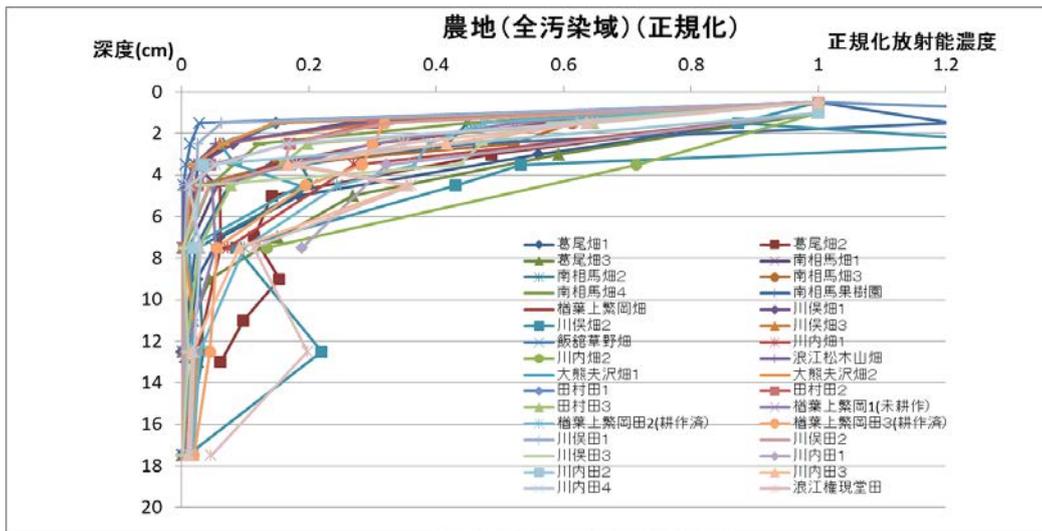


図 2.4.1(1)-1 大型構造物，農地などの土壌の放射能濃度の深度分布（続き）

3)-2 森林

森林については、落葉樹、常緑樹それぞれを対象に、落ち葉、その下位の腐植土、さらにその下位の表土の放射能濃度を測定した。その結果を図 2.4.1(1)-2に示す。

落葉の放射能濃度は、落葉樹で低く、常緑樹で高い。落葉樹は、原子力発電所事故以降に芽生え落葉したこと、常緑樹は原子力発電所事故により汚染した葉の一部が落葉したことによるものと推測した。

腐植土については、落葉樹、常緑樹ともに汚染されているが、落葉樹の腐植土の方が放射能濃度が高い傾向にあることが確認できた。両者の樹木の密度や、枝の広がり度合いなどが異なるため一概に比較できないが、原子力発電所事故時に葉のあった常緑樹の方が放射性物質が腐植土まで届きにくかったものと推測される。腐植土の下位の表土は、落葉樹、常緑樹いずれも放射性物質濃度が低かった。但し、大熊町夫沢地区のように非常に高い汚染域においては、腐植土より深部まで放射性物質による汚染が進展していることが確認できた。

図 2.4.1(1)-3 に森林の樹皮と樹木の放射能濃度を示す。落葉樹、針葉樹のいずれにおいても樹皮の方が放射能濃度が高く、樹皮の方に多く留まっている。

また、川内村の特定の樹木（アカマツ、ヒノキ、スギ、モミ、コナラ、ヤマザクラ）から生葉、樹皮、幹、落葉を採取し、分析した結果を表 2.4.1(1)-1、図 2.4.1(1)-4 に示す。樹皮、幹の放射能濃度は前述の結果と同様で、樹木の種類に依らず放射性物質の多くは樹皮に存在することが確認できた。一部の樹木については、樹皮、幹に加え生葉、落葉も分析した。放射線物質は樹皮の他、生葉、落葉にも多く存在し、前述の結果と同様、3年程度で落葉する常緑樹では落葉の濃度が高いことが確認できた。

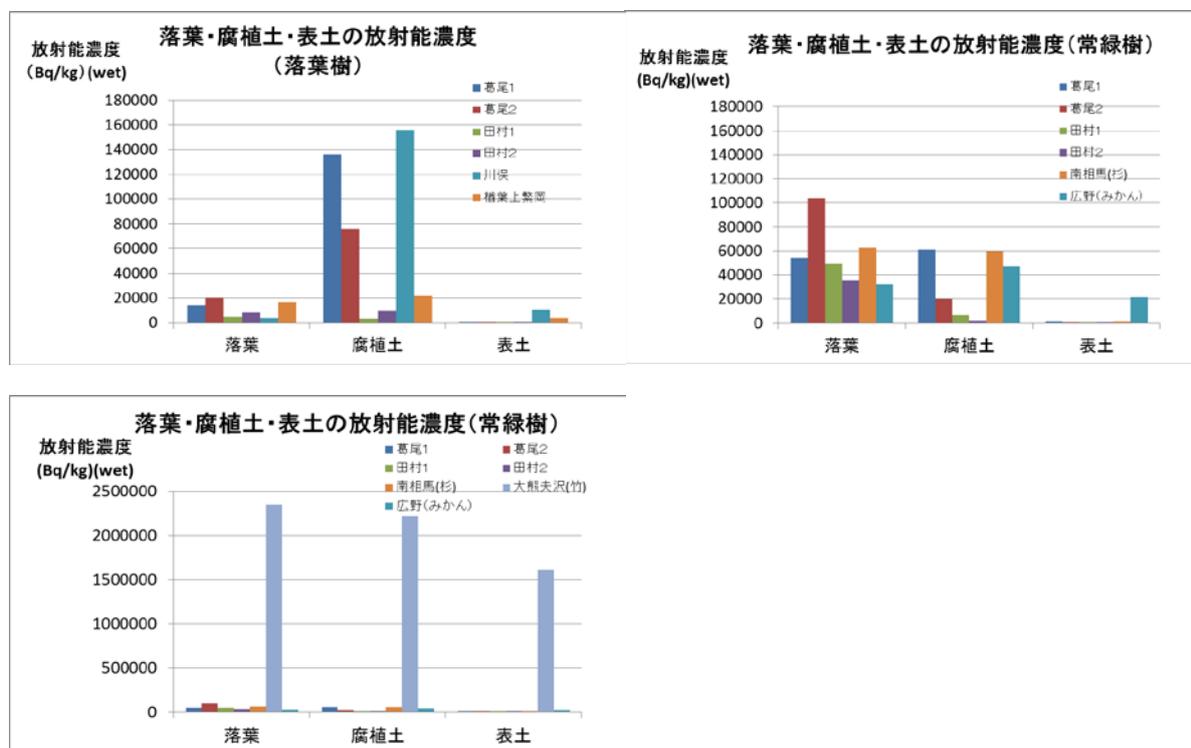


図 2.4.1(1)-2 森林の落葉、腐植土、表土の放射能濃度

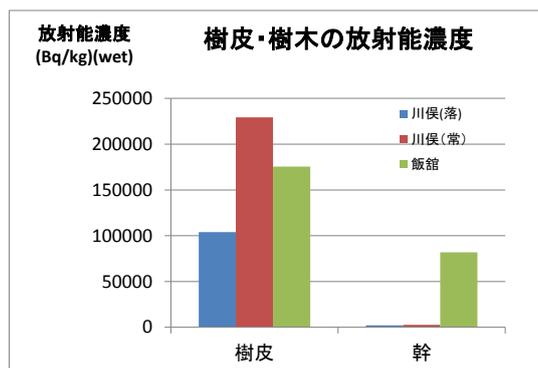


図 2.4.1(1)-3 森林の樹皮，樹木の放射能濃度

表 2.4.1(1)-1 特定樹木から採取した各部位の放射能濃度（川内村）（単位：Bq/kg(wet)）

	アカマツ (常緑樹)	ヒノキ (常緑樹)	スギ (常緑樹)	モミ (常緑樹)	コナラ (落葉樹)	ヤマザクラ (落葉樹)
生葉	20600	86000	19400	33000	—	—
樹皮	32000	16800	35000	—	40000	99000
幹	290	144	330	680	250	320
落葉	—	—	55000	—	14400	—
実	98000	—	—	—	—	—

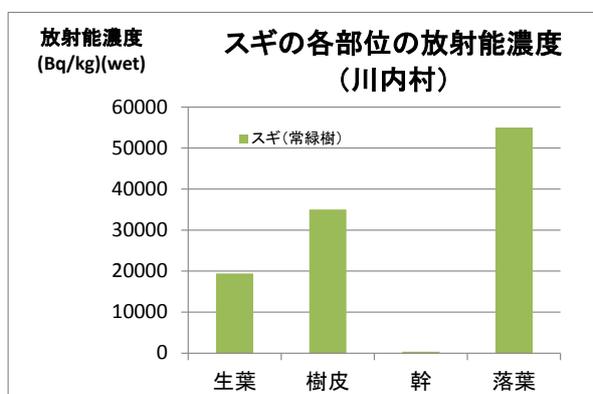
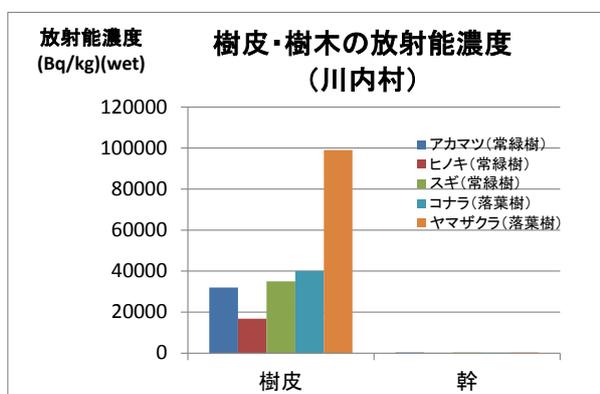


図 2.4.1(1)-4 特定樹木から採取した各部位の放射能濃度（川内村）

3)-3 水

除染前の公共用水域の水質を把握するため，各地域を横断する河川，水路および地下水（井戸）を対象に1地域当たり3～6箇所から採水し，放射能濃度を測定した。事前モニタリングでは11市町村15地域72箇所から採水した。その結果を図 2.4.1(1)-5に示す。

これより，検出限界以下（ND）が70%以上を占めていることが確認できた。

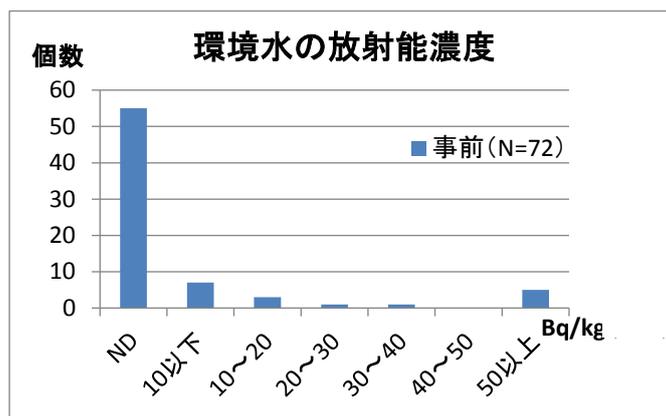


図 2.4.1(1)-5 事前モニタリングによる環境水の放射能濃度のヒストグラム

3)-4 アスファルト舗装

放射性物資によるアスファルト舗装の汚染深度を把握することを目的に、大熊町役場及び夫沢地区を対象に、コアカッターで径100mm、長さ40~70mmのサンプルを採取し、表面から順次研磨しながら、表面密度の深度分布を測定した。その結果を図 2.4.1(1)-6に示す。これより、放射性物質はアスファルト表面から1~4mmまでの深度に分布しており、土壌に比べてより表層に近い領域に留まっていることが解った。透水性舗装も1例あるが、密粒アスファルトとの差は明確ではない。この結果を踏まえ、除染に際しては、ショットブラストやアスファルト舗装切削機 (TS切削機) などの薄層切削方法が採用された。

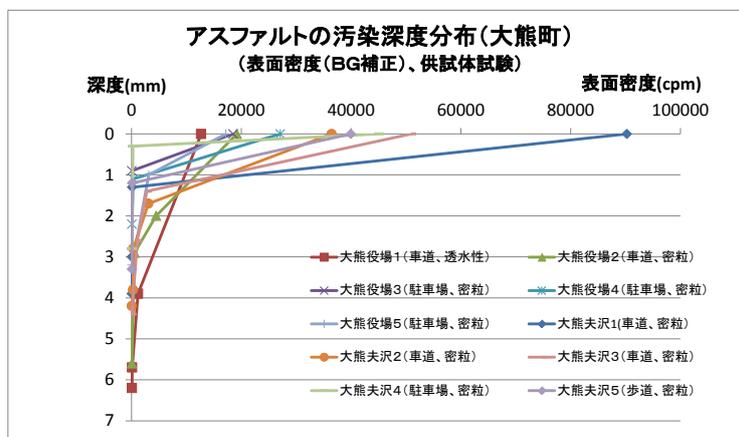


図 2.4.1(1)-6 アスファルト舗装の表面密度深度分布 (大熊町役場周辺)

②本事業を通じて浮き彫りにされた課題とベストプラクティス

【課題】

ホットスポット探索のモニタリングについては、事前モニタリングで十分に探索しきれず除染後にホットスポットが残され、住民独自の測定により新たにホットスポットが発見された場合、クレームの原因となるケースがあった。ホットスポットの探索においては、場所を決めて測定するメッシュ測定と異なり、時定数を下げて（感度を高めて）線量の高い所を探索するという測定方法になるが、それがモニタリング作業員に徹底されていなかったことが原因のひとつと考えられる。また、JVから下請けへの契約においてホットスポット探索に対して、一軒に何点、と定めており、それ以上の数量は測定されないというケースもあった。本格除染の事前調査においては、測定点の数量が定められているが、柔軟に数量を変更することが、除染のやり直し防止のために必要である。

モニタリングの品質確保は除染効果の定量的な評価において重要である。本事業においては、モニタリングの方法の詳細を事前にマニュアル化あるいは教育していなかった（その時間的余裕がなかった）ため、事業を進めるにつれて明らかとなった課題がいくつかあった。ひとつは、測定器の向きの管理や人による遮へいの影響を考慮した測定の徹底がなされなかったことである。また、表面密度を測定する際の遮へい体の有無や仕様の不統一があった。さらには、機構でもJVが使用する測定器の型式を全て把握しきれていないことにより、測定器の動作範囲の温度や、NaIシンチレーション式サーベイメータのエネルギー補償の有無についての指示・指導が不十分であった。

【ベストプラクティス】

汚染状況の把握のための除染実施前のモニタリングについては、主にメッシュでの測定とホットスポット探索を実施した。メッシュ測定においては測定間隔が狭いほど精度が高いが、一方で作業量が多いため今後の本格除染では最適化が必要と考える。測定間隔は、面的除染の効果をできるだけ効率的に評価できるように機構において設定した。最適化を図る上では、測定間隔を広げるよりも、後述2.4.1(2)4)-2のバックパック型やバギータイプ型の測定器（例えば、スキャンプロット）などの併用がホットスポットの見落としが少なく効果的であった。

(2) 除染効果測定のためのモニタリング結果

①結果

2.3.2(2)に述べた除染効果測定のためモニタリング計画に基づき、除染効果を多面的に把握するため、下記の項目を実施した。

- 1) 除染作業中のモニタリング
- 2) 除染実施後のメッシュモニタリング
- 3) 除染実施後の環境モニタリング

以下、各々について記載する。

1) 除染作業中のモニタリング

除染中の継時的な線量変化を把握するため、各地域で10～30点程度の測点を選定し、毎日1回測定することで、除染に伴う空間線量率の時系列的な推移を把握した。

代表例として浪江町権現堂地区の中の4点の結果およびその位置を図 2.4.1(2)-1～2に示す。測定点④、⑩、⑪ではバックホウ等による土壌、碎石の表土剥ぎ取りによる除染を、測定点⑱ではショットブラストによるアスファルトの表層切削による除染を行った。各測定点では、それぞれの測定点付近の除染作業後に線量率が大きく低下したほか、隣接する場所の除染作業後にも線量率の低下が認められた。本事業では、面的除染の効果を詳細に調査するため、除染中の定点モニタリングを実施したが、本格除染においては必ずしも面的除染の効果の評価は必要ではないと考えられ、定点モニタリングの必要性、場所、頻度等についてあらためて検討する必要がある。

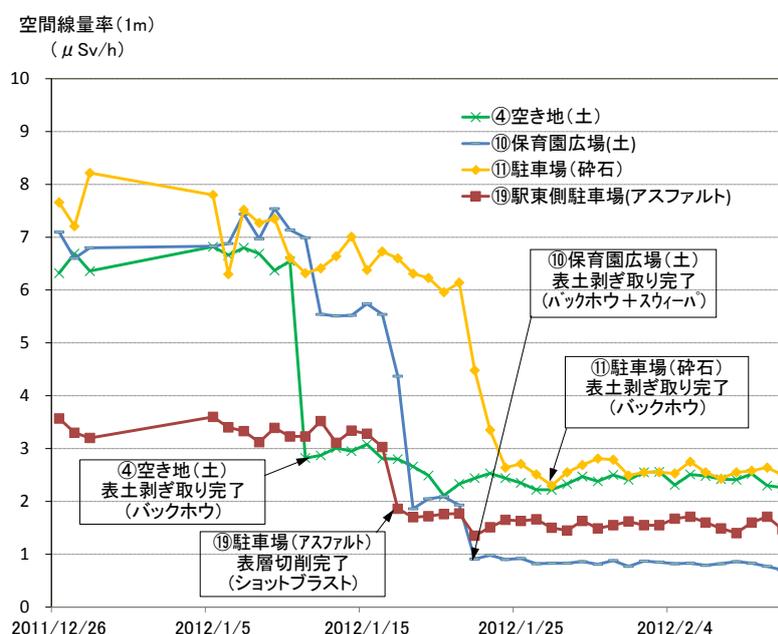


図 2.4.1(2)-1 空間線量率 (1m) の定点観測の例 (浪江町権現堂地区)

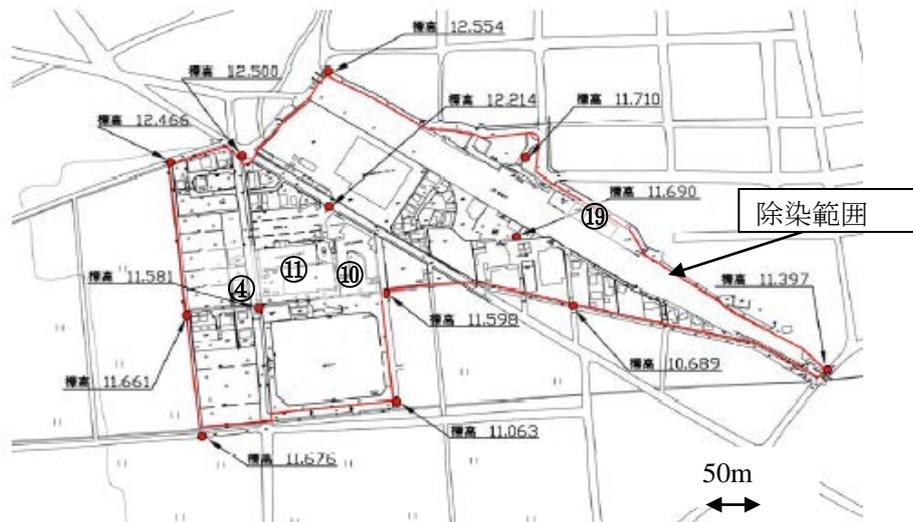


図 2.4.1(2)-2 定点観測点の位置 (浪江町権現堂地区)

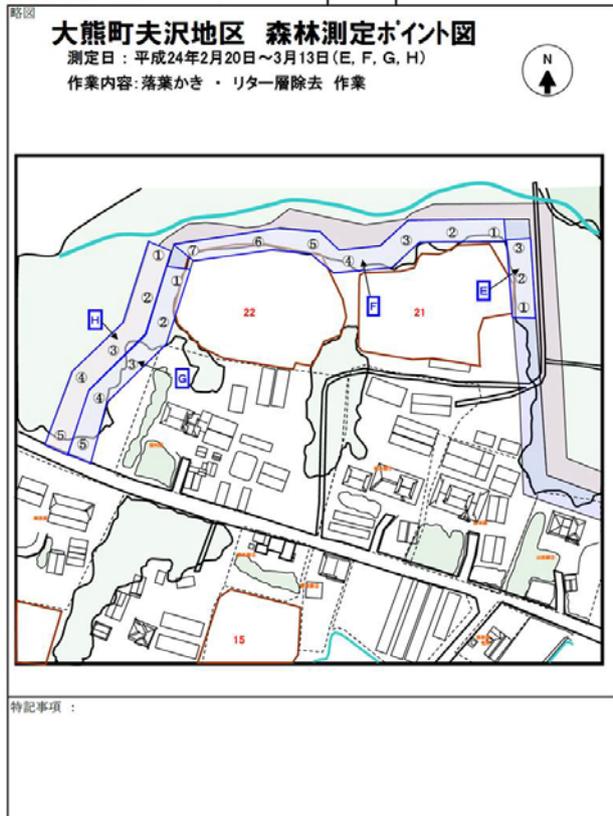
また、屋根、壁、庭、田畑、道路、森林等の単位除染作業場所ごとに3~10点程度の観測点を設置し、作業前後の表面密度、表面線量率および空間線量率を測定して、除染効果を確認した。測定シートの例を図2.4.1(2)-3に示す。各測定点毎の測定データと測定点の位置図をあわせて記録することとした。測定位置は、単位除染作業場所が矩形・円形であれば中央および周縁部4か所程度、帯状であれば両端を含む2~4等分点に設定した。間隔は、家屋等の構造物周りでは細かく、農地・森林・グラウンド等では広く(最大30m程度)設定した。

除染作業中モニタリング記録

測定者	確認者		
(2/20) ○ ○ ○ ○ (3/2・13) △ △ △ △	測定日時	平成24年2月20日 平成24年3月2日 平成24年3月13日	
天候 (風の強度も含む)	測定場所	大熊町 夫沢 森林ポイント E, F, G, H	
(2/20)晴-弱(除染前) (3/2)曇-無(除染後) (3/13)晴-中(除染後)	除染作業内容	除草・落葉かき 作業	
測定目的	除染作業前後の線量・表面密度確認		
測定器	線量率計:半導体式サーベイメータ	表面計数率計:GM管式サーベイメータ	
前	□口製AAA型 シ776No.1A23456	前	▽▽製XXX型 シ776No. R01234
後	□口製AAA型 シ776No.1A23456	後	▽▽製XXX型 シ776No. R01234
BG	線量当量率 (μ Sv/h)	表面汚染密度 (Bq/cm ²)	直読法: ダスト: -

測定および試料サンプリング位置の略図

【大熊町(夫沢) 森林ポイントE-H】



測定No.	除染作業前		除染作業後		備考		
	線量当量率(μ Sv/h)	表面汚染密度 地上1.1m 面積計(Bq/cm ²)	線量当量率(μ Sv/h)	表面汚染密度 地上1.1m 面積計(Bq/cm ²)			
①	58.20	49.78	34.0	46.11	47.25	19.6	森林ポイント E (作業前)2月20日 (作業後)3月2日
②	62.03	52.12	37.2	55.79	49.40	21.2	
③	68.52	62.26	36.8	75.30	68.24	22.1	
①	91.98	76.52	41.4	90.91	65.33	31.0	森林ポイント F (作業前)2月20日 (作業後)3月2日
②	75.84	71.77	34.6	80.31	61.94	24.5	
③	59.27	54.69	31.7	67.52	57.26	21.7	
④	93.30	77.68	39.4	120.00	62.39	17.2	
⑤	95.26	70.32	46.3	74.63	56.80	21.6	
⑥	120	80.33	41.5	110.00	68.04	13.6	
⑦	90.19	83.37	43.6	63.33	56.33	22.8	
①	110	90.82	43.3	23.01	35.40	12.5	森林ポイント G (作業前)2月20日 (作業後)3月13日
②	210	120	48.1	41.36	45.93	27.2	
③	88.15	70.35	34.8	35.99	38.50	22.0	
④	78.30	73.22	39.4	18.54	28.86	16.0	
⑤	130	95.24	46.8	34.08	46.31	22.1	
①	70.89	62.52	37.3	60.04	48.18	42.1	森林ポイント H (作業前)2月20日 (作業後)3月13日
②	86.08	72.56	41.3	21.11	32.71	10.3	
③	85.47	68.25	42.0	36.57	34.50	24.1	
④	87.08	70.07	35.0	41.86	39.55	37.1	
⑤	100	87.74	41.2	28.13	40.33	18.1	

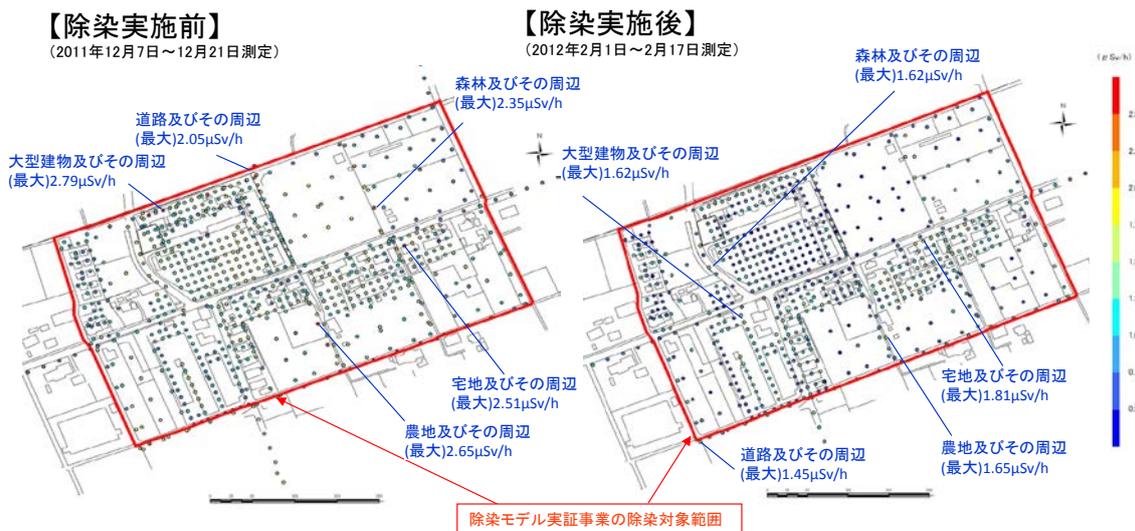
図2.4.1(2)-3 除染作業中の除染現場におけるモニタリングシートの例

2) 除染実施後のメッシュモニタリング

2.4.1(1)の除染実施前の実施地域のメッシュモニタリングと同じ測点でモニタリングを行い、空間線量率、表面密度の変化を算出し、実施地域における除染効果の全体像を把握した。除染実施前後の空間線量率のメッシュモニタリング結果を図2.4.1(2)-4に示す。このように、各メッシュ測定点の空間線量率測定値を色で示し、地図や航空写真上にその分布を示すことにより、空間線量率が高い場所における放射性物質の存在場所の推定に資することができた。

また、除染モデル実証事業の主要な目的の一つである生活環境の改善を適切に評価する指標として、地表1mにおける空間線量率を選定し、その除染前後の値を比較した表もあわせて図2.4.1(2)-4に示す。各地域ごとに、測定点での除染前・除染後のモニタリング結果を左右に併記し、各実施地域の土地利用区分（森林、農地、宅地、大型構造物および道路）ごとの空間線量率の範囲、平均値を示している。なお、事後モニタリング時に積雪があった実施地域については、積雪の影響を考慮した推定値も併せて示している。積雪の影響については後述する。

ここで、各実施地域の土地利用区分を一つの単位とし、その平均空間線量率の変化（低減率＝1－（事後/事前）×100）をヒストグラムにして図2.4.1(2)-5に示す。低減率が大きいほど除染効果が大きいことを意味する。ここには、事後の平均空間線量率のヒストグラムを併記するとともに、各実施地域を汚染レベル（高汚染：>50mSv/年，中汚染：20～50mSv/年，低汚染：<20 mSv/年）で層別して示している。

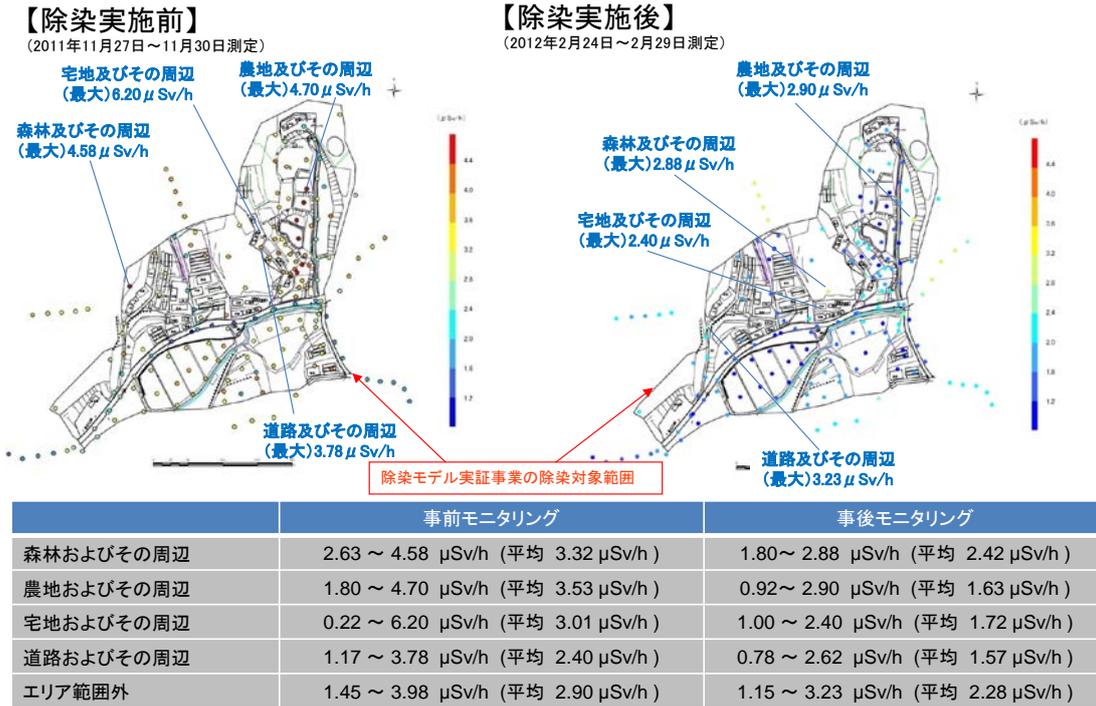


	事前モニタリング	事後モニタリング
宅地及びその周辺	0.50 ～ 2.51 μSv/h (平均 1.30 μSv/h)	0.39 ～ 1.81 μSv/h (平均 1.05 μSv/h)
大型建物及びその周辺	0.55 ～ 2.79 μSv/h (平均 1.31 μSv/h)	0.11 ～ 1.62 μSv/h (平均 0.79 μSv/h)
農地及びその周辺	0.67 ～ 2.65 μSv/h (平均 1.25 μSv/h)	0.45 ～ 1.65 μSv/h (平均 0.83 μSv/h)
森林及びその周辺	0.80 ～ 2.35 μSv/h (平均 1.62 μSv/h)	1.00 ～ 1.62 μSv/h (平均 1.23 μSv/h)
道路及びその周辺	0.68 ～ 2.05 μSv/h (平均 1.15 μSv/h)	0.44 ～ 1.45 μSv/h (平均 0.95 μSv/h)
エリア範囲外	0.55 ～ 2.60 μSv/h (平均 1.02 μSv/h)	0.71 ～ 1.43 μSv/h (平均 1.06 μSv/h)

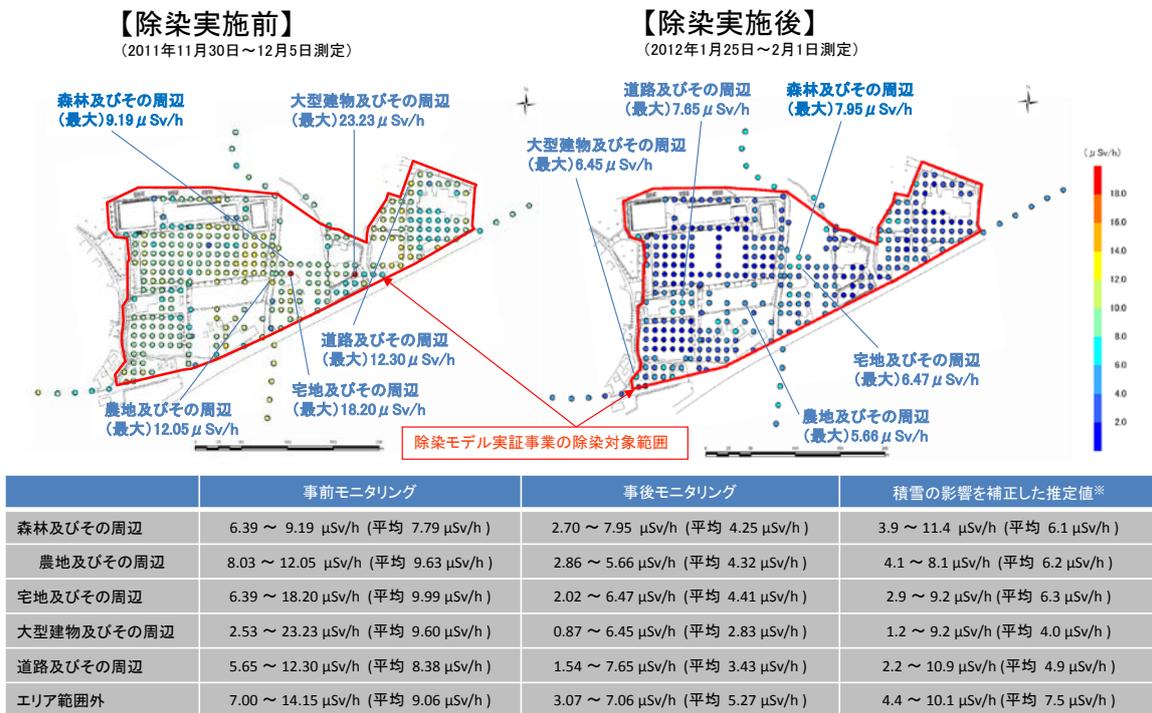
・上記データは、モニタリングで得られた測定値をそのまま平均化したものです。

(1) 南相馬市の結果

図 2.4.1(2)-4 除染実施前後の1m高さの空間線量率（面的除染の効果）



(2) 川俣町の結果

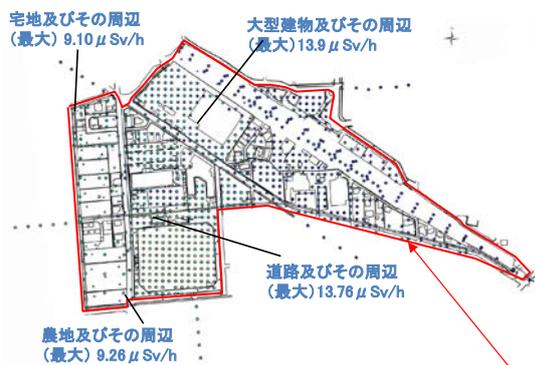


(3) 浪江町津島地区の結果

図 2.4.1 (2)-4 除染実施前後の1m高さの空間線量率 (面的除染の効果) (続き)

【除染実施前】

(2011年12月6日～12月9日測定)



【除染実施後】

(2012年1月29日～2月18日測定)



除染モデル実証事業の除染対象範囲

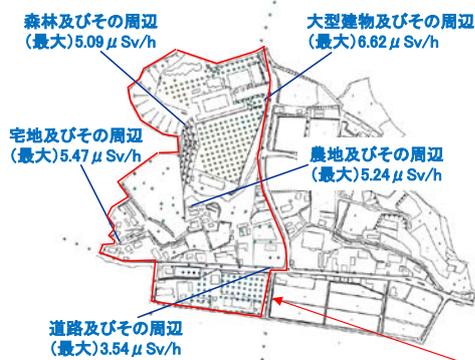
	事前モニタリング	事後モニタリング
大型構造物及びその周辺	1.46 ～ 13.90 μSv/h (平均 5.92 μSv/h)	0.53 ～ 11.98 μSv/h (平均 2.69 μSv/h)
宅地及びその周辺	2.25 ～ 9.10 μSv/h (平均 5.71 μSv/h)	1.16 ～ 6.23 μSv/h (平均 2.60 μSv/h)
農地及びその周辺	3.75 ～ 9.26 μSv/h (平均 7.53 μSv/h)	1.85 ～ 5.83 μSv/h (平均 3.03 μSv/h)
道路及びその周辺	1.72 ～ 13.76 μSv/h (平均 4.76 μSv/h)	1.06 ～ 6.40 μSv/h (平均 3.07 μSv/h)
エリア範囲外	1.30 ～ 9.80 μSv/h (平均 4.97 μSv/h)	1.19 ～ 9.80 μSv/h (平均 4.58 μSv/h)

・上記データは、モニタリングで得られた測定値をそのまま平均化したものです。

(4) 浪江町権現堂地区の結果

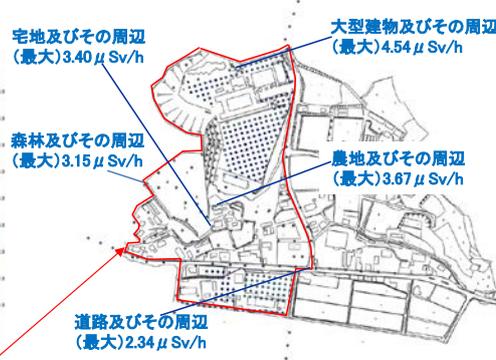
【除染実施前】

(2011年12月7日～12月10日測定)



【除染実施後】

(2012年1月27日～2月10日測定)



除染モデル実証事業の除染対象範囲

	事前モニタリング	事後モニタリング	積雪の影響を補正した推定値*
宅地及びその周辺	0.99 ～ 5.47 μSv/h (平均 3.59 μSv/h)	0.27 ～ 3.40 μSv/h (平均 1.56 μSv/h)	0.39 ～ 4.9μSv/h (平均 2.2 μSv/h)
大型建物及びその周辺	1.30 ～ 6.62 μSv/h (平均 4.57 μSv/h)	0.28 ～ 4.54 μSv/h (平均 1.70 μSv/h)	(事後モニタリング時積雪なし)
農地及びその周辺	2.71 ～ 5.24 μSv/h (平均 4.05 μSv/h)	1.45 ～ 3.67 μSv/h (平均 2.43 μSv/h)	2.1 ～ 5.2 μSv/h (平均 3.5 μSv/h)
森林およびその周辺	3.00 ～ 5.09 μSv/h (平均 3.80 μSv/h)	2.10 ～ 3.15 μSv/h (平均 2.60 μSv/h)	3.0 ～ 4.5 μSv/h (平均 3.7 μSv/h)
道路及びその周辺	1.41 ～ 3.54 μSv/h (平均 2.27 μSv/h)	0.73 ～ 2.34 μSv/h (平均 1.44 μSv/h)	(事後モニタリング時積雪なし)
エリア範囲外	1.89 ～ 4.58 μSv/h (平均 3.61 μSv/h)	1.44 ～ 2.93 μSv/h (平均 2.35 μSv/h)	2.1 ～ 4.2 μSv/h (平均 3.4μSv/h)

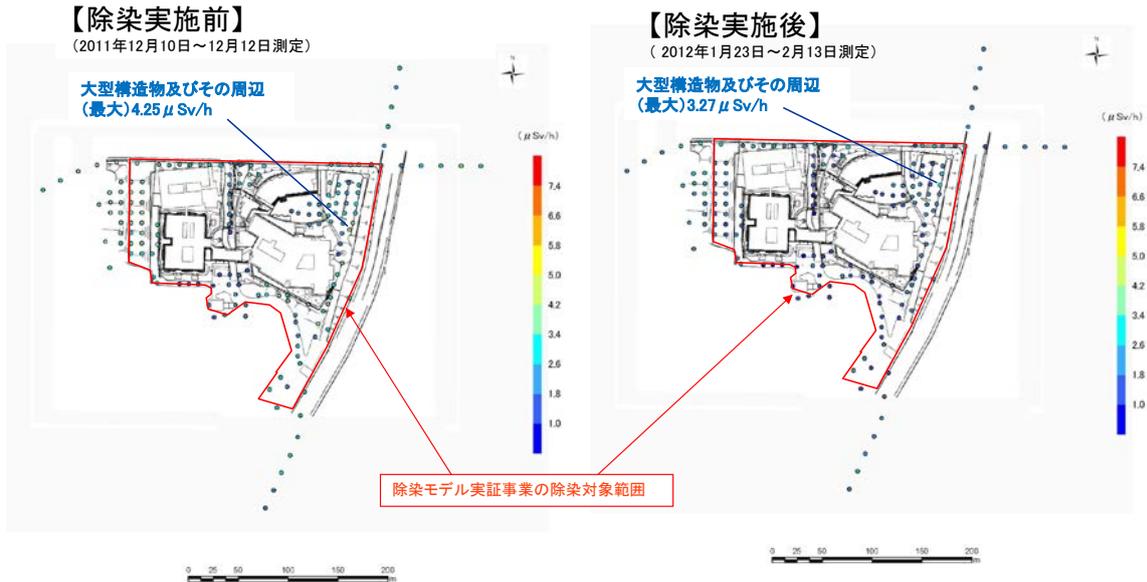
・上記データは、モニタリングで得られた測定値をそのまま平均化したものです。

・事後モニタリングの値については、積雪(最大約25cm)の影響(雪による遮へい効果)を含んだ値です。

※25cm程度の積雪で、空間線量率(1m)が約3割程度低減すると仮定

(5) 飯館村草野地区の結果

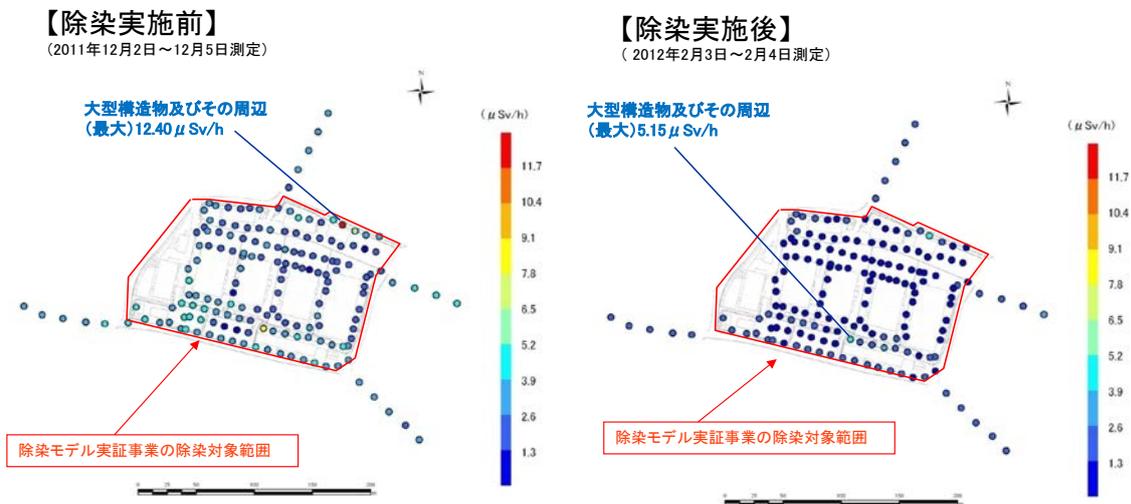
図 2.4.1(2)-4 除染実施前後の1m高さの空間線量率(面的除染の効果)(続き)



	事前モニタリング	事後モニタリング
大型建物およびその周辺	1.05 ~ 4.25 μSv/h (平均 2.85 μSv/h)	0.62 ~ 3.27 μSv/h (平均 1.89 μSv/h)
エリア範囲外	1.93 ~ 4.08 μSv/h (平均 3.15μSv/h)	1.78 ~ 2.98 μSv/h (平均 2.38 μSv/h)

上記データは、モニタリングで得られた測定値をそのまま平均化したものです。

(6) 飯館村いいたてホーム・いちばん館の結果



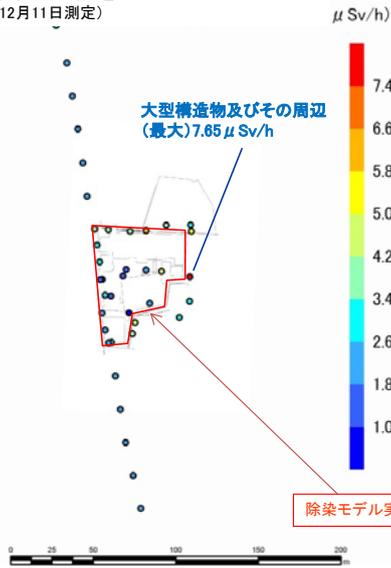
	事前モニタリング	事後モニタリング
大型建物およびその周辺	1.15 ~ 12.40 μSv/h (平均 2.92 μSv/h)	0.35 ~ 5.15 μSv/h (平均 1.08 μSv/h)
エリア範囲外	1.90 ~ 4.30 μSv/h (平均 3.01 μSv/h)	1.52 ~ 2.66 μSv/h (平均 1.89μSv/h)

上記データは、モニタリングで得られた測定値をそのまま平均化したものです。

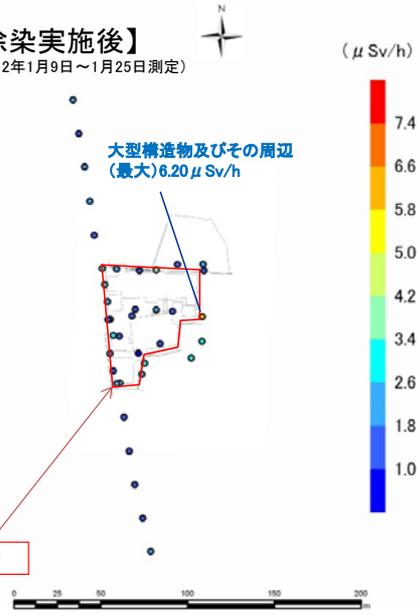
(7) 飯館村菊池製作所の結果

図 2.4.1(2)-4 除染実施前後の1m高さの空間線量率 (面的除染の効果) (続き)

【除染実施前】
(2011年12月11日測定)



【除染実施後】
(2012年1月9日～1月25日測定)



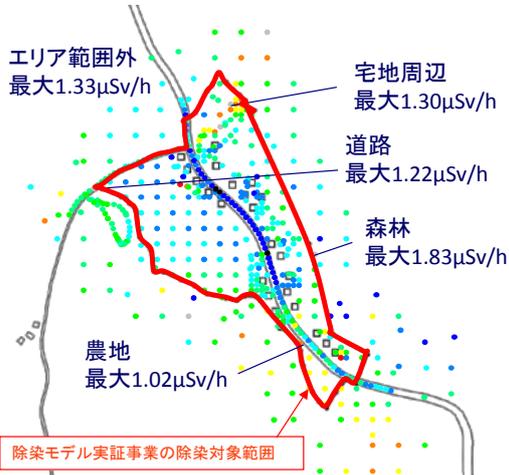
	事前モニタリング	事後モニタリング
大型建物およびその周辺	0.89～7.65 μSv/h (平均 3.21 μSv/h)	0.96～6.20 μSv/h (平均 2.37 μSv/h)
エリア範囲外	1.72～2.89 μSv/h (平均 2.17 μSv/h)	1.02～2.11 μSv/h (平均 1.70 μSv/h)

上記データは、モニタリングで得られた測定値をそのまま平均化したものです。

(8) 飯舘村ハヤシ製作所の結果

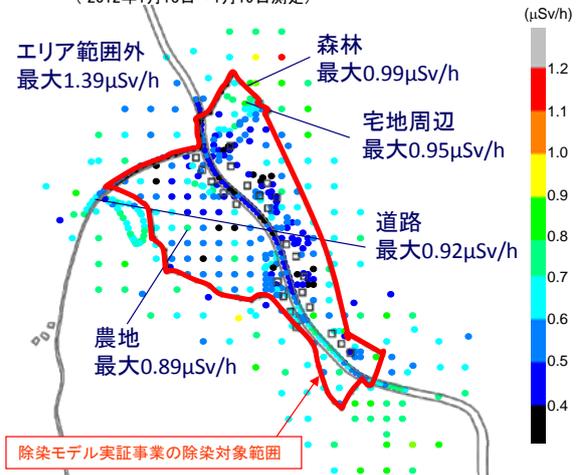
【除染実施前】

(2011年11月24日～11月28日測定)



【除染実施後】

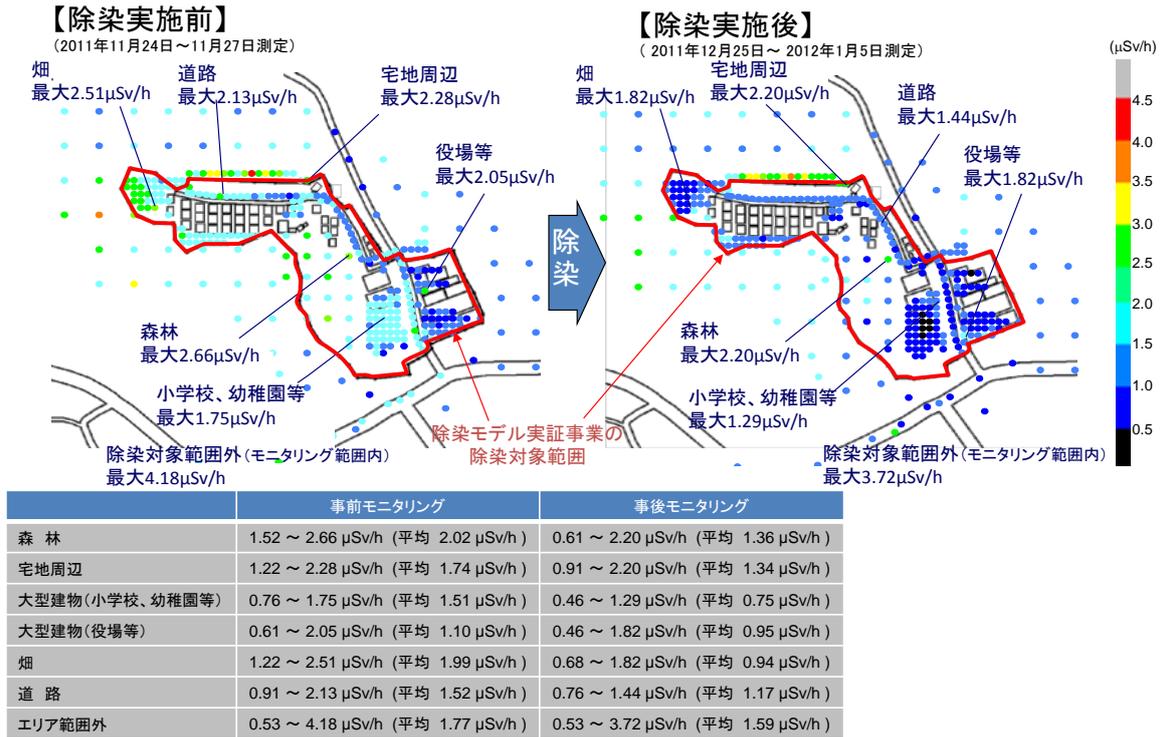
(2012年1月13日～1月19日測定)



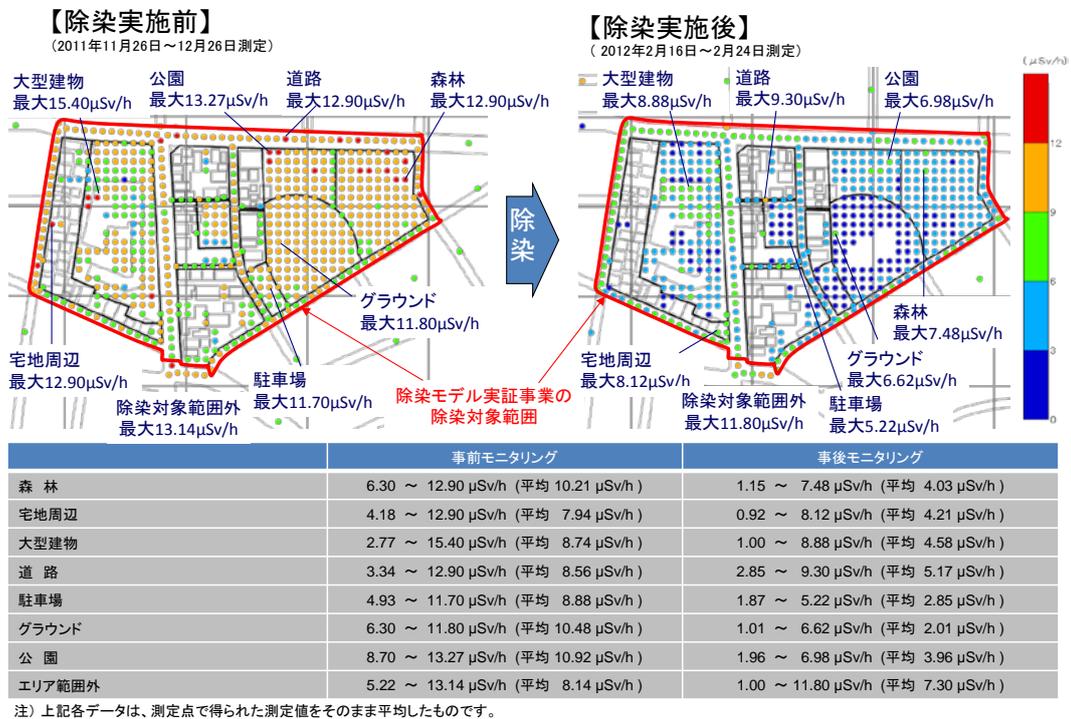
	事前モニタリング	事後モニタリング
森林	0.47～1.83 μSv/h (平均 0.80 μSv/h)	0.44～0.99 μSv/h (平均 0.69 μSv/h)
宅地周辺	0.44～1.30 μSv/h (平均 0.71 μSv/h)	0.28～0.95 μSv/h (平均 0.55 μSv/h)
農地	0.52～1.02 μSv/h (平均 0.71 μSv/h)	0.20～0.89 μSv/h (平均 0.62 μSv/h)
道路	0.36～1.22 μSv/h (平均 0.58 μSv/h)	0.30～0.92 μSv/h (平均 0.52 μSv/h)
エリア範囲外	0.40～1.33 μSv/h (平均 0.76 μSv/h)	0.43～1.39 μSv/h (平均 0.75 μSv/h)

(9) 田村市の結果

図 2.4.1(2)-4 除染実施前後の1m高さの空間線量率 (面的除染の効果) (続き)



(10) 葛尾村の結果

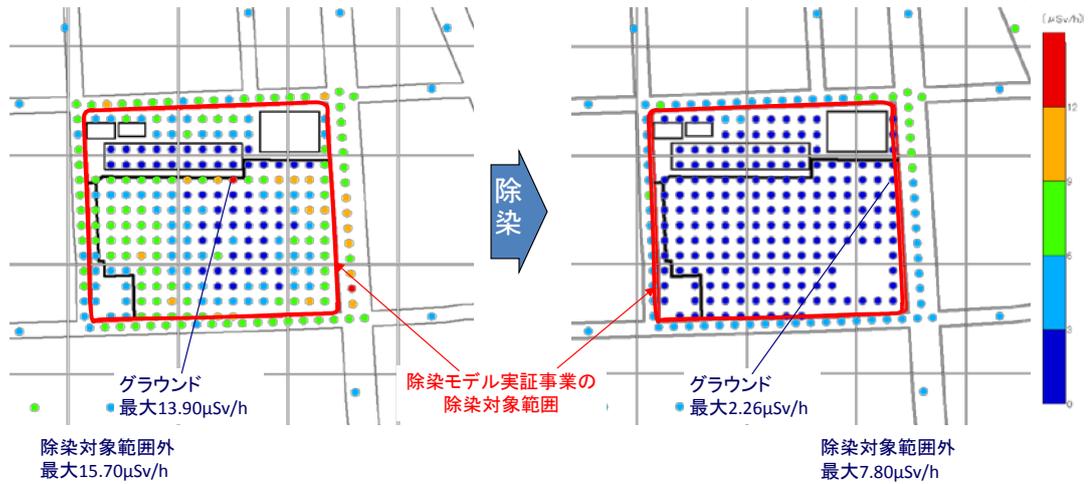


(11) 富岡町夜の森公園の結果

図 2.4.1(2)-4 除染実施前後の1m高さの空間線量率(面的除染の効果)(続き)

【除染実施前】
(2011年11月29日～12月13日測定)

【除染実施後】
(2012年2月18日～2月24日測定)



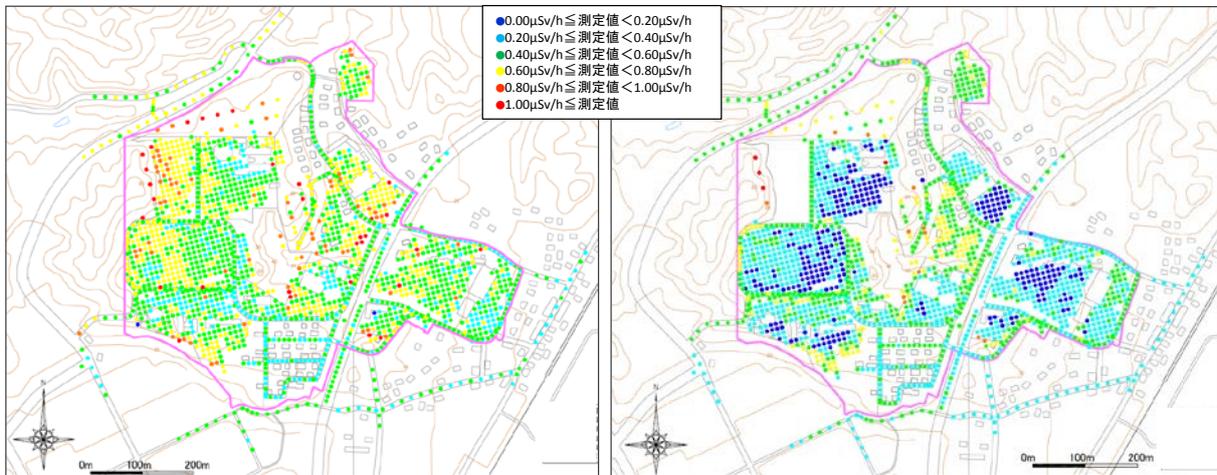
	事前モニタリング	事後モニタリング
グラウンド	1.44 ～ 13.90 μSv/h (平均 5.39 μSv/h)	0.51 ～ 2.26 μSv/h (平均 0.83 μSv/h)
エリア範囲外	3.49 ～ 15.70 μSv/h (平均 6.09 μSv/h)	2.33 ～ 7.80 μSv/h (平均 4.08 μSv/h)

注) 上記各データは、測定点で得られた測定値をそのまま平均したものです。

(12) 富岡町富岡第二中学校の結果

【除染実施前】
(2011年11月24日～12月17日測定)

【除染実施後】
(2012年3月31日までに測定済みのもの)



	事前モニタリング	事後モニタリング
森林	0.43 ～ 1.44 μSv/h (平均 0.73 μSv/h)	0.08 ～ 1.16 μSv/h (平均 0.60 μSv/h)
農地(果樹園)	0.40 ～ 1.28 μSv/h (平均 0.70 μSv/h)	0.17 ～ 0.82 μSv/h (平均 0.56 μSv/h)
宅地(屋外)	0.10 ～ 3.41 μSv/h (平均 0.40 μSv/h)	0.13 ～ 0.85 μSv/h (平均 0.33 μSv/h)
大型建造物	0.16 ～ 1.88 μSv/h (平均 0.56 μSv/h)	0.08 ～ 1.30 μSv/h (平均 0.32 μSv/h)
道路	0.24 ～ 0.77 μSv/h (平均 0.45 μSv/h)	0.18 ～ 0.76 μSv/h (平均 0.39 μSv/h)
道路(エリア外)	0.28 ～ 0.82 μSv/h (平均 0.50 μSv/h)	0.18 ～ 0.64 μSv/h (平均 0.42 μSv/h)

上記データは、モニタリングで得られた測定値をそのまま平均化したものです。

(13) 広野町の結果

図 2.4.1(2)-4 除染実施前後の1m高さの空間線量率 (面的除染の効果) (続き)

【除染実施前】

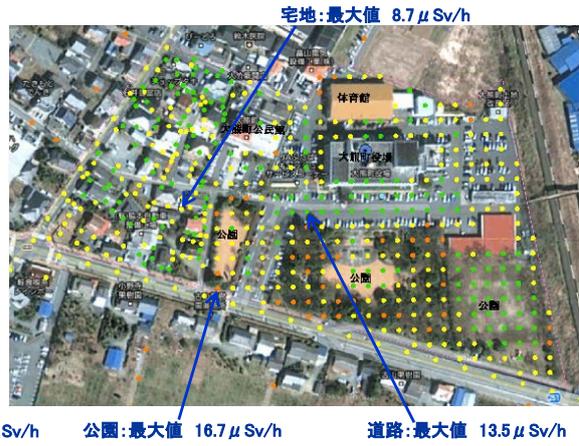
(2011年11月18日～11月21日測定)



除染モデル実証事業の除染対象範囲

【除染実施後】

(2012年1月8/29日, 2月2/3日測定)



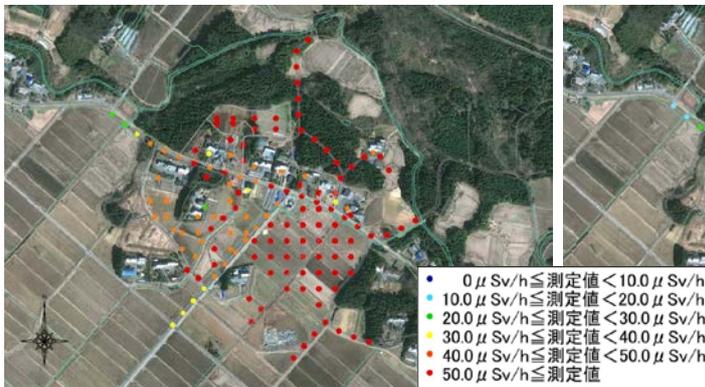
除染モデル実証事業の除染対象範囲

	事前モニタリング	事後モニタリング
公園	8.4 ~ 33.1 μ Sv/h (平均 19.2 μ Sv/h)	2.0 ~ 16.7 μ Sv/h (平均 7.2 μ Sv/h)
宅地周辺	2.5 ~ 26.7 μ Sv/h (平均 11.5 μ Sv/h)	1.8 ~ 8.7 μ Sv/h (平均 3.9 μ Sv/h)
駐車場・道路	5.2 ~ 43.6 μ Sv/h (平均 13.8 μ Sv/h)	2.0 ~ 13.5 μ Sv/h (平均 5.3 μ Sv/h)
エリア範囲外	7.2 ~ 18.8 μ Sv/h (平均 11.3 μ Sv/h)	6.7 ~ 13.8 μ Sv/h (平均 9.7 μ Sv/h)

(14) 大熊町役場周辺の結果

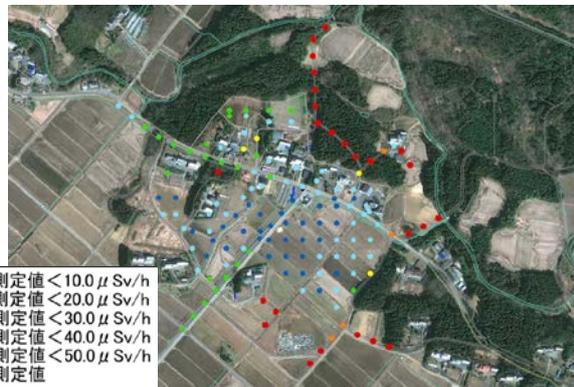
【除染実施前】

(2011年12月2日～12月5日測定)



【除染実施後】

(2012年4月18日～4月25日測定)



	事前モニタリング	事後モニタリング
森林	113.9 ~ 159.6 μ Sv/h (平均 136.8 μ Sv/h)	60.9 ~ 65.4 μ Sv/h (平均 63.1 μ Sv/h)
農地	40.1 ~ 83.0 μ Sv/h (平均 62.4 μ Sv/h)	5.7 ~ 33.2 μ Sv/h (平均 12.4 μ Sv/h)
宅地	45.5 ~ 63.2 μ Sv/h (平均 55.3 μ Sv/h)	10.0 ~ 23.8 μ Sv/h (平均 14.5 μ Sv/h)
道路	41.5 ~ 84.0 μ Sv/h (平均 55.2 μ Sv/h)	5.9 ~ 45.5 μ Sv/h (平均 17.3 μ Sv/h)
道路(未舗装)	80.9 ~ 159.0 μ Sv/h (平均 112.5 μ Sv/h)	31.5 ~ 128.5 μ Sv/h (平均 76.4 μ Sv/h)
エリア範囲外	23.58 ~ 133.0 μ Sv/h (平均 65.3 μ Sv/h)	15.1 ~ 146.3 μ Sv/h (平均 51.8 μ Sv/h)

上記データは、モニタリングで得られた測定値をそのまま平均化したものです。

(15) 大熊町夫沢地区の結果

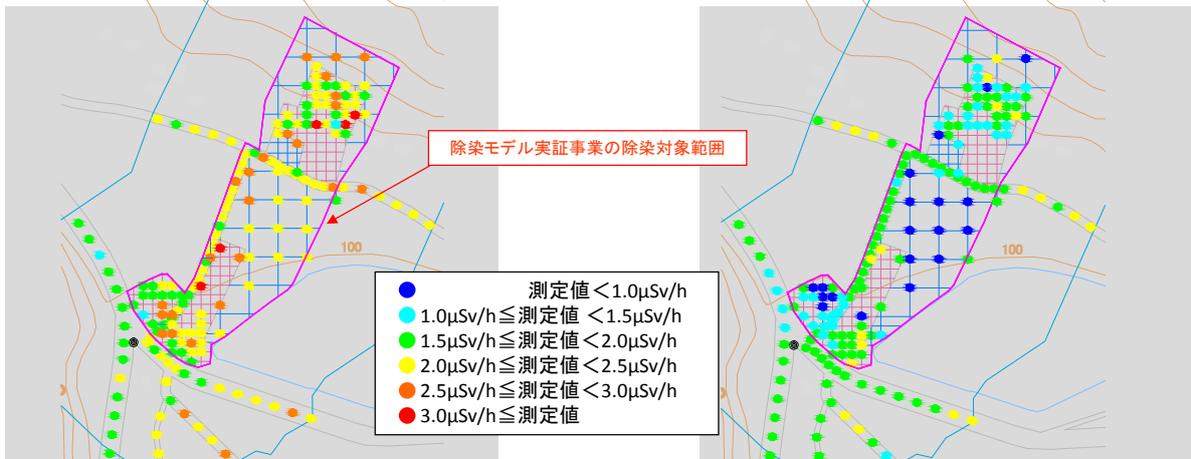
図 2.4.1(2)-4 除染実施前後の1m高さの空間線量率(面的除染の効果)(続き)

【除染実施前】

(2011年12月8日～12月13日測定)

【除染実施後】

(2012年3月24日～4月6日測定)



	事前モニタリング	事後モニタリング
宅地	1.18 ~ 3.84 $\mu\text{Sv/h}$ (平均 2.13 $\mu\text{Sv/h}$)	1.07 ~ 1.71 $\mu\text{Sv/h}$ (平均 1.42 $\mu\text{Sv/h}$)
大型建造物	1.46 ~ 2.82 $\mu\text{Sv/h}$ (平均 2.08 $\mu\text{Sv/h}$)	0.49 ~ 2.21 $\mu\text{Sv/h}$ (平均 1.45 $\mu\text{Sv/h}$)
道路	1.50 ~ 2.95 $\mu\text{Sv/h}$ (平均 2.18 $\mu\text{Sv/h}$)	1.23 ~ 2.45 $\mu\text{Sv/h}$ (平均 1.64 $\mu\text{Sv/h}$)
森林	2.20 ~ 2.63 $\mu\text{Sv/h}$ (平均 2.42 $\mu\text{Sv/h}$)	1.86 ~ 1.96 $\mu\text{Sv/h}$ (平均 1.91 $\mu\text{Sv/h}$)
農地	1.89 ~ 4.70 $\mu\text{Sv/h}$ (平均 2.43 $\mu\text{Sv/h}$)	0.46 ~ 2.41 $\mu\text{Sv/h}$ (平均 1.36 $\mu\text{Sv/h}$)
エリア範囲外	1.44 ~ 2.99 $\mu\text{Sv/h}$ (平均 2.06 $\mu\text{Sv/h}$)	1.28 ~ 2.23 $\mu\text{Sv/h}$ (平均 1.83 $\mu\text{Sv/h}$)

上記データは、モニタリングで得られた測定値をそのまま平均化したものです。

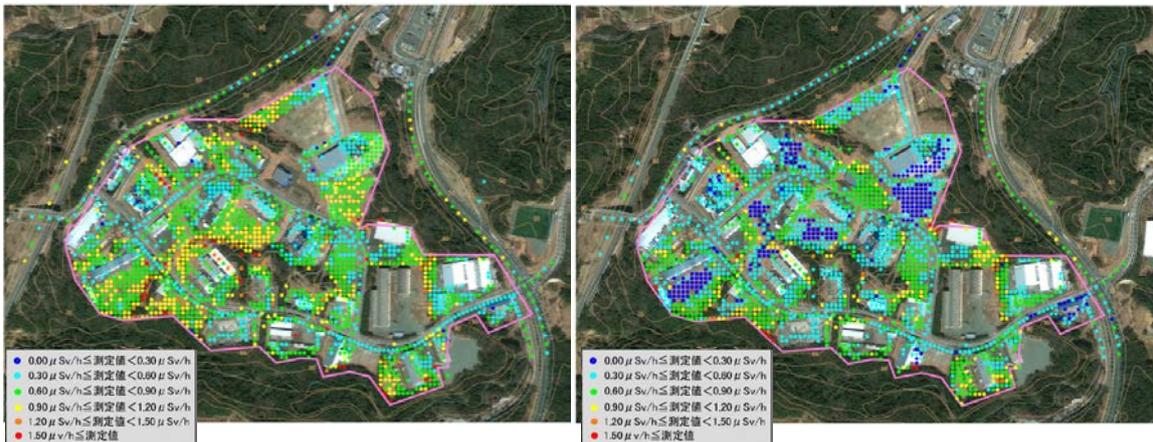
(16) 檜葉町上繁岡地区の結果

【除染実施前】

(2011年12月1日～12月25日測定)

【除染実施後】

(2012年2月9日～4月13日測定)



	事前モニタリング	事後モニタリング
森林	0.56 ~ 1.48 $\mu\text{Sv/h}$ (平均 1.04 $\mu\text{Sv/h}$)	0.51 ~ 2.33 $\mu\text{Sv/h}$ (平均 0.91 $\mu\text{Sv/h}$)
大型建造物	0.13 ~ 2.59 $\mu\text{Sv/h}$ (平均 0.78 $\mu\text{Sv/h}$)	0.15 ~ 2.50 $\mu\text{Sv/h}$ (平均 0.56 $\mu\text{Sv/h}$)
道路	0.29 ~ 0.80 $\mu\text{Sv/h}$ (平均 0.49 $\mu\text{Sv/h}$)	0.25 ~ 0.55 $\mu\text{Sv/h}$ (平均 0.40 $\mu\text{Sv/h}$)
道路(エリア外)	0.24 ~ 1.22 $\mu\text{Sv/h}$ (平均 0.70 $\mu\text{Sv/h}$)	0.23 ~ 1.04 $\mu\text{Sv/h}$ (平均 0.61 $\mu\text{Sv/h}$)

上記データは、モニタリングで得られた測定値をそのまま平均化したものです。

(17) 檜葉町南工業団地の結果

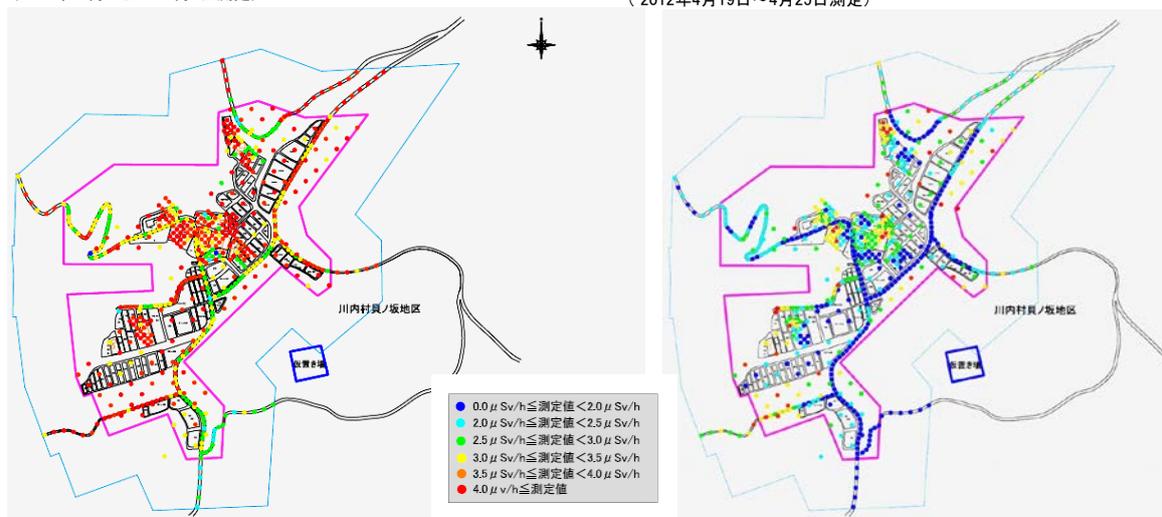
図 2.4.1(2)-4 除染実施前後の1m高さの空間線量率 (面的除染の効果) (続き)

【除染実施前】

(2011年11月24日～12月2日測定)

【除染実施後】

(2012年4月19日～4月25日測定)



	事前モニタリング	事後モニタリング
森林	2.48 ~ 5.72 $\mu\text{Sv/h}$ (平均 3.90 $\mu\text{Sv/h}$)	1.31 ~ 5.01 $\mu\text{Sv/h}$ (平均 2.83 $\mu\text{Sv/h}$)
農地	2.61 ~ 5.24 $\mu\text{Sv/h}$ (平均 3.98 $\mu\text{Sv/h}$)	1.41 ~ 3.85 $\mu\text{Sv/h}$ (平均 2.38 $\mu\text{Sv/h}$)
宅地(屋外)	1.50 ~ 5.44 $\mu\text{Sv/h}$ (平均 3.87 $\mu\text{Sv/h}$)	0.80 ~ 4.35 $\mu\text{Sv/h}$ (平均 2.62 $\mu\text{Sv/h}$)
道路	1.50 ~ 5.23 $\mu\text{Sv/h}$ (平均 3.29 $\mu\text{Sv/h}$)	1.09 ~ 4.21 $\mu\text{Sv/h}$ (平均 1.93 $\mu\text{Sv/h}$)
道路(エリア外)	2.12 ~ 5.61 $\mu\text{Sv/h}$ (平均 3.76 $\mu\text{Sv/h}$)	1.25 ~ 3.57 $\mu\text{Sv/h}$ (平均 2.31 $\mu\text{Sv/h}$)

上記データは、モニタリングで得られた測定値をそのまま平均化したものです。

(18) 川内村の結果

図 2.4.1(2)-4 除染実施前後の1m高さの空間線量率 (面的除染の効果) (続き)

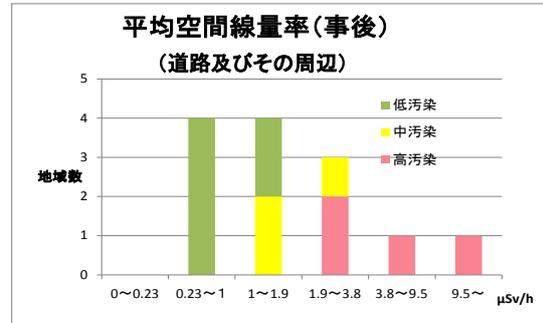
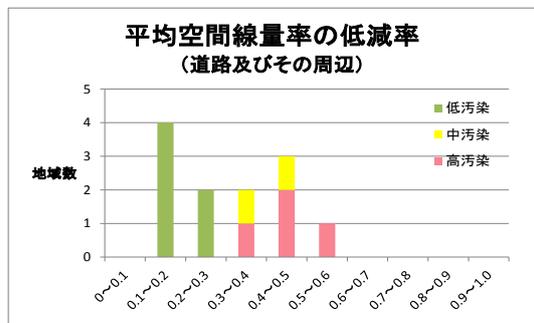
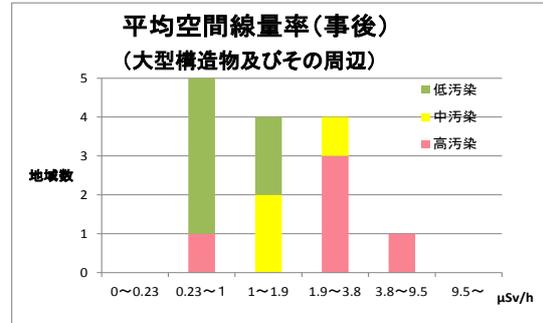
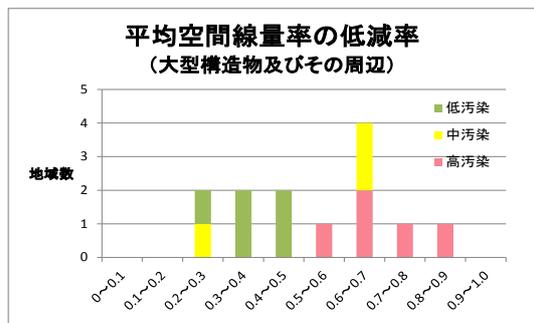
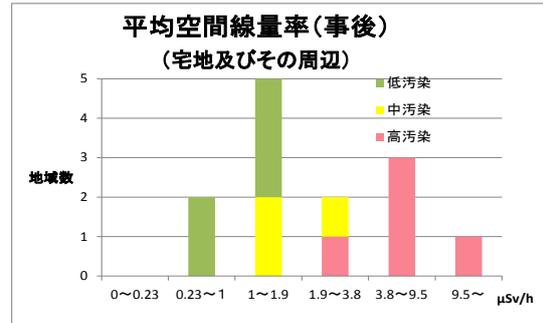
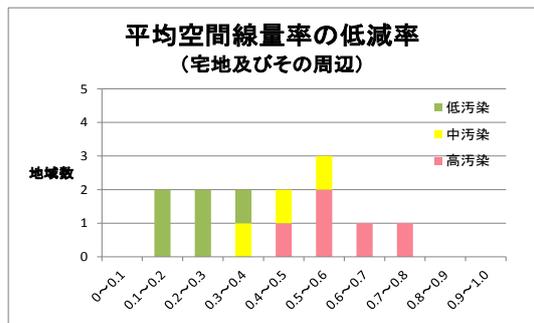
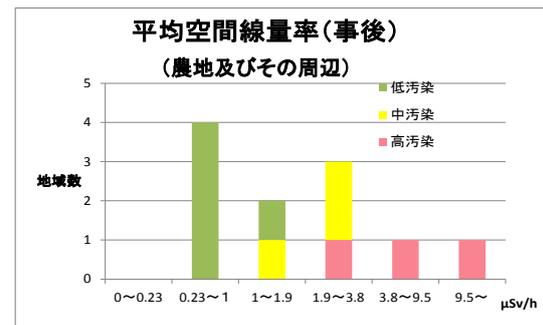
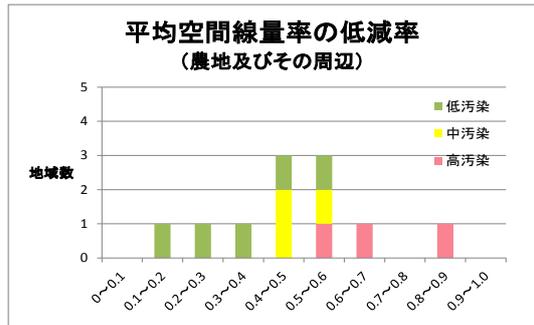
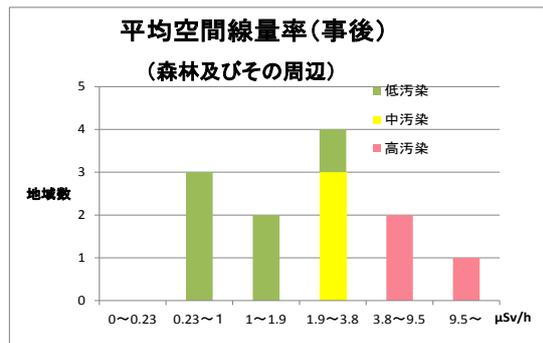
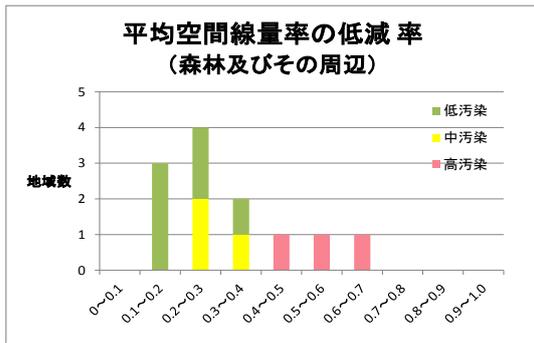


図 2.4.1(2)-5 除染実施前後のモニタリングによる平均空間線量率の低減率，平均空間線量率(事後)のヒストグラム

3) 除染実施後の環境モニタリング

除染の対象となる土壌、道路、森林の樹木などについて、放射能濃度、表面密度を計測した。土壌、水のモニタリング結果について、以下に記載する。また森林、アスファルト舗装については、除染効果を表面密度の変化から把握しており、これらの結果については、2.4.2(1)に記載する。

3)-1 土壌

放射性物質で汚染された土壌の除染方法は、除染実施前の環境モニタリング調査の結果を踏まえ、人力、草刈機の改良機から、バックホウ、グレーダー、路面切削機などの大型機械に至る様々な機械を用いて汚染濃度の大きい表層の数cmを剥ぎ取る方法が採用された（詳細は、2.4.2(1)を参照）。これらは、汚染物質を除去する方法であるが、一方で、汚染の程度が低い場合は、表層を攪拌希釈する反転耕や、汚染度の高い表層と汚染度の低い深部を入れ替える天地返しが用いられた。

これらの方法による除染実施後の環境モニタリング結果の一例として、図 2.4.1(2)-6に、除染実施前後における農地の放射能濃度の深度分布を示す。左は耕運機により15cmの深度まで攪拌希釈した場合、右は表層約4cmをバックホウで剥ぎ取った場合である。それぞれ、耕運機により濃度が均一化されていること、表層の高濃度汚染土が除去されていることが認められる。

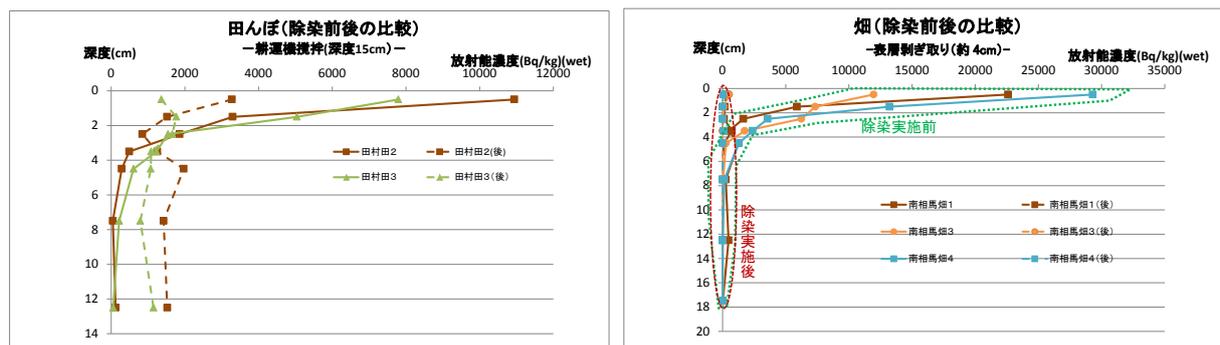


図 2.4.1(2)-6 除染実施前後における農地の放射能濃度の深度分布

3)-2 水

除染による公共用水域の水質の変化を把握するため、除染実施前・除染実施後で各地域を横断する河川、水路および地下水（井戸）を対象に1地域当たり3～6箇所から採水し、放射能濃度を測定した。除染実施前のモニタリングでは11市町村15地域72箇所から、除染実施後のモニタリングでは7市町村9地域322箇所から採水した。その結果を示したものが図 2.4.1(2)-7であるが、除染実施前、除染実施後のいずれのモニタリングにおいても検出限界以下（ND）が70%以上を占めていることがわかる。

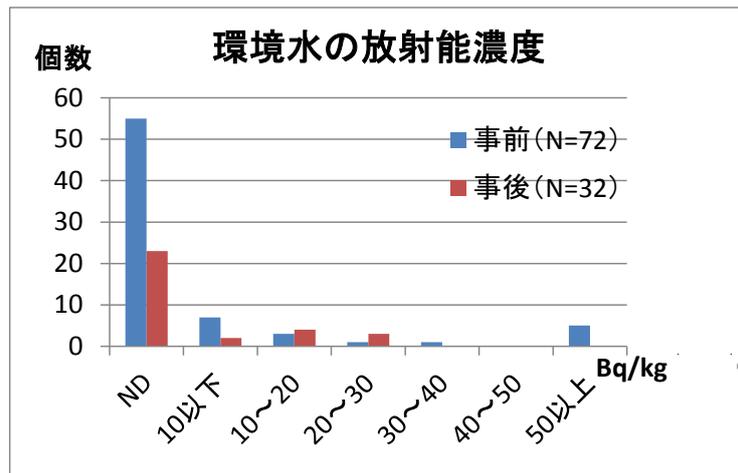


図 2.4.1(2)-7 実施前・実施後モニタリングによる環境水の放射能濃度のヒストグラム

4) その他の取り組み

4)-1 積雪による放射線量の影響

一般に積雪による遮へい効果により、放射線量の計測値が小さくなる。これを確認するため、積雪深さと放射線量の計測値との関係について、浪江町津島地区を対象に検討した。

除染作業が終了し、かつ積雪が続いた2012. 1. 19～1. 23の4日間に、定点観測（20点：図 2. 4. 1(2)-8）を3回行い、その時の定点観測地点の積雪深さを計測した。積雪深さと平均空間線量率の低減率との関係を表 2. 4. 1(2)-1、図 2. 4. 1(2)-9に示す。また、積雪の状況を図2. 4. 1(2)-10に示す。

浪江町津島地区の事後モニタリング実施時期（2012. 1. 25～2. 01）においては、積雪深さが最大30cm（平均16cm）であったことから、付録の各除染実施地域の速報に示した除染前後の空間線量率には、実測値のほか積雪深さから低減率を30%と仮定した推定値も併記する。

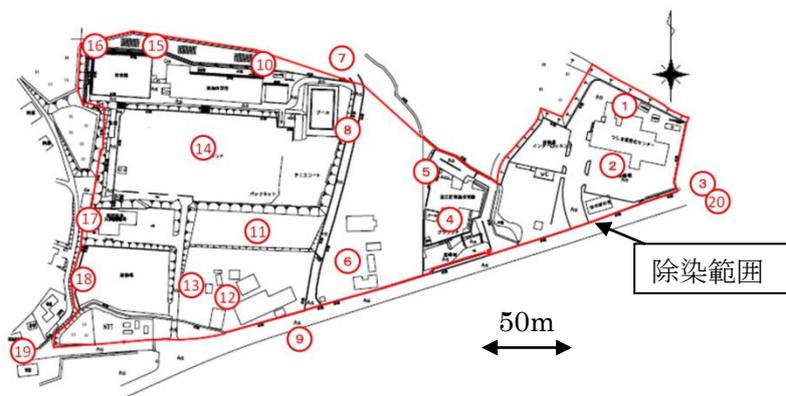


図 2. 4. 1(2)-8 定点観測点（浪江町津島地区）

表 2. 4. 1(2)-1 積雪深さと平均空間線量率の低減率

	1/19 晴	1/20 雪	1/21 雪	1/23 雪
積雪深さ (cm)	0	2～5	5～10	10～30
平均空間線量率 (μ Sv/h)	6.48	6.00	5.57	4.47
平均空間線量率の低減率 (%) (1/19を基準)	0	9	16	32

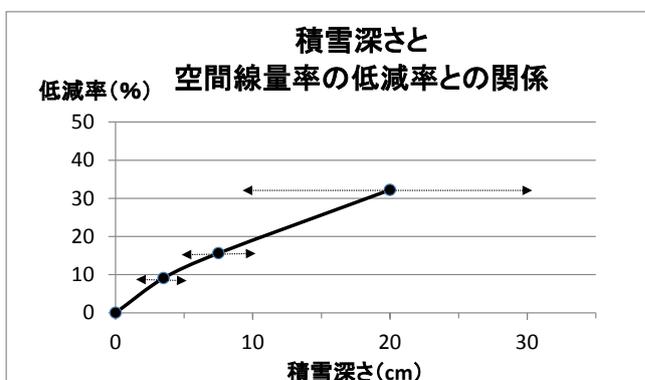


図 2. 4. 1(2)-9 積雪深さと平均空間線量率の低減率（浪江町津島地区）



図 2. 4. 1(2)-10 1月22日の積雪状況（浪江町津島地区）

4)-2 面的モニタリング技術

放射線量を面的かつ迅速に測定する手法として、米国 AMEC Environment and Infrastructure 社が開発したモニタリング技術（スキャンプロット）の適用性を検討した。移動型の測定器で空間線量率を面的に連続して測定するもので、地形条件等に応じてバギー型、バック型があり、きめ細やかな測定が可能である（図 2.4.1(2)-11）。特徴は下記のとおりである。

- ・1秒間に1回測定できるため、空間分解能が高い。
- ・測定結果をGPS情報と一緒にPC内に保存し、空間線量率分布図の作成が容易である。
- ・測定に技量を必要としないため、測定値のばらつきやホットスポットの見落としが少ない。

広野町幼稚園を対象に、除染前後の面的なモニタリングを行い、除染による空間線量率の低下を直接的に確認した。その結果を図 2.4.1(2)-12 に示す。除染内容は、表土および芝の剥ぎ取り、土間コンクリート、舗装部の高圧水洗浄である。除染前は $1\mu\text{Sv/h}$ 以上が全体を占めているが、除染後は $0.2\mu\text{Sv/h}$ 以下が全体を占めている。事前モニタリングで把握したホットスポットも、除染により効果的に線量率が低減できていることを確認できた。このように、GPS と線量率計を組み合わせた2次元線量率分布評価システムは、ホットスポットが広いエリアに点在しやすい大型構造物の建物・植栽・遊具等構造物周りの測定に効果的と考えられた。



図 2.4.1(2)-11 スキャンプロット バギー型 (左), バック型 (右)

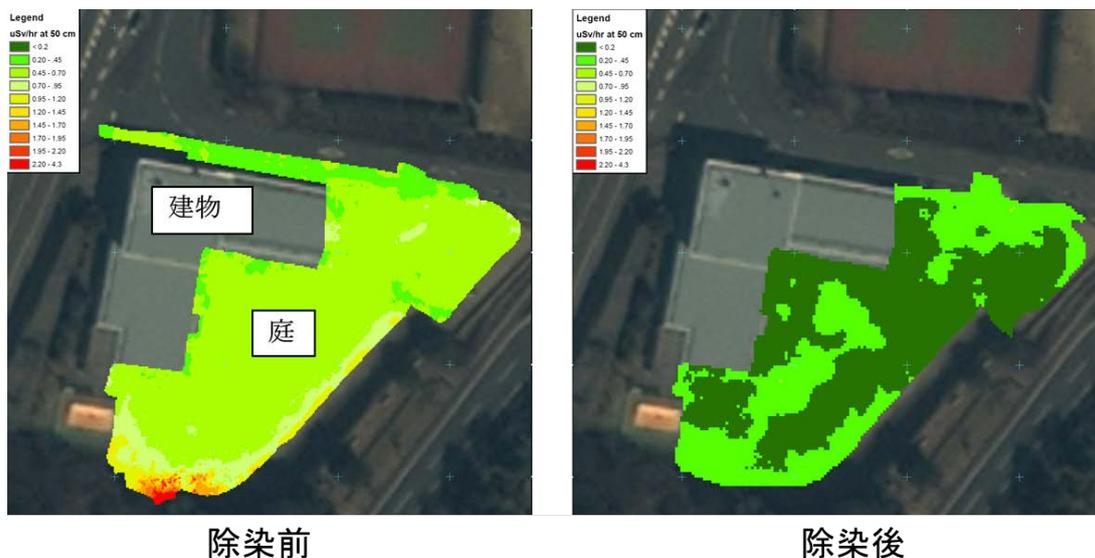


図 2.4.1(2)-12 除染前後におけるスキャンプロット測定結果（広野町幼稚園）

4)-3 平坦で広い場所のメッシュ観測データの分析

学校のグラウンドや運動場など、比較的平坦で広い敷地は10m間隔のメッシュモニタリングを行った。今後のモニタリングの簡素化、迅速化等を志向し、モデル事業内の8箇所の学校、運動場を対象に、仮に30mメッシュであったとした場合、10mメッシュの場合に対して空間線量率の測定値がどの程度の差異がでるか試算した。その結果を表 2.4.1(2)-2に示す。また、その内代表例として、富岡町夜の森公園内の林における測定値のヒストグラムを図 2.4.1(2)-13に示す。

結果をみると、30mメッシュと10mメッシュの平均空間線量率の差は、事前モニタリングでは1～7%、事後モニタリングでは2～21%と大きな差は認められなかった。事後モニタリングでは、やや差が大きくなったが、これはグラウンド等の中央部は比較的均質な施工方法（TS切削機、モーターグレーダー等）で実施し、周縁部は作業者によりばらつきが出やすい施工方法（バックホウ、人力等）で実施したため除染効果にばらつきがあり、その結果、測定値のばらつきが大きくなったことに起因すると考えられた。

そもそもメッシュ測定空間線量率は、極端に高いホットスポットがない限り、当該測定点の包含の有無による平均値の変動は有意とはならない。したがって、ここに示したグラウンドや運動場のような広い平坦面に極端に高いホットスポットが生じる可能性は低く、30m程度の間隔でのメッシュ測定でも空間線量率の傾向の把握は可能と考えられる。このことは、図2.4.1(2)-13のヒストグラムにおいて、30mメッシュの場合でも空間線量率の傾向を把握できていることから分かる。

表 2.4.1(2)-2 10mと30mのメッシュ間隔で算定される空間線量率の比較

(単位：測定値； μ Sv/h, 比率；%)

地点	メッシュ 間隔	除染実施前のモニタリング測定値			除染実施後のモニタリング測定値		
		測点数	平均値 (30m/10m の比率)	標準偏差	測点数	平均値 (30m/10m の比率)	標準偏差
飯舘村草野小学校グラウンド	10m	108	5.17	0.67	103	1.20	0.91
	30m	13	5.14	0.53	13	1.44	1.02
	—	—	(99)	—	—	(120)	—
浪江町権現堂地区運動場	10m	107	9.16	0.56	93	1.78	1.13
	30m	13	9.04	0.46	10	1.74	1.41
	—	—	(99)	—	—	(98)	—
浪江町津島中学校グラウンド	10m	74	9.94	1.75	58	2.60	1.27
	30m	10	10.08	1.53	10	2.06	0.90
	—	—	(101)	—	—	(79)	—
南相馬市金房小学校グラウンド	10m	49	1.44	0.20	49	0.68	0.19
	30m	7	1.41	0.10	7	0.57	0.10
	—	—	(99)	—	—	(84)	—
葛尾村小学校グラウンド	10m	45	2.04	0.23	45	0.98	0.30
	30m	6	2.05	0.13	6	1.02	0.31
	—	—	(101)	—	—	(103)	—
富岡町第二中学校グラウンド	10m	157	5.25	2.55	148	0.85	0.30
	30m	17	5.61	2.73	16	0.83	0.30
	—	—	(107)	—	—	(98)	—
富岡町夜の森公園内運動場	10m	147	10.42	1.10	133	2.73	1.29
	30m	18	10.70	1.17	16	2.97	1.48
	—	—	(103)	—	—	(109)	—
富岡町夜の森公園内林	10m	86	10.34	1.24	86	4.10	0.94
	30m	11	10.46	0.80	11	4.02	0.63
	—	—	(101)	—	—	(98)	—

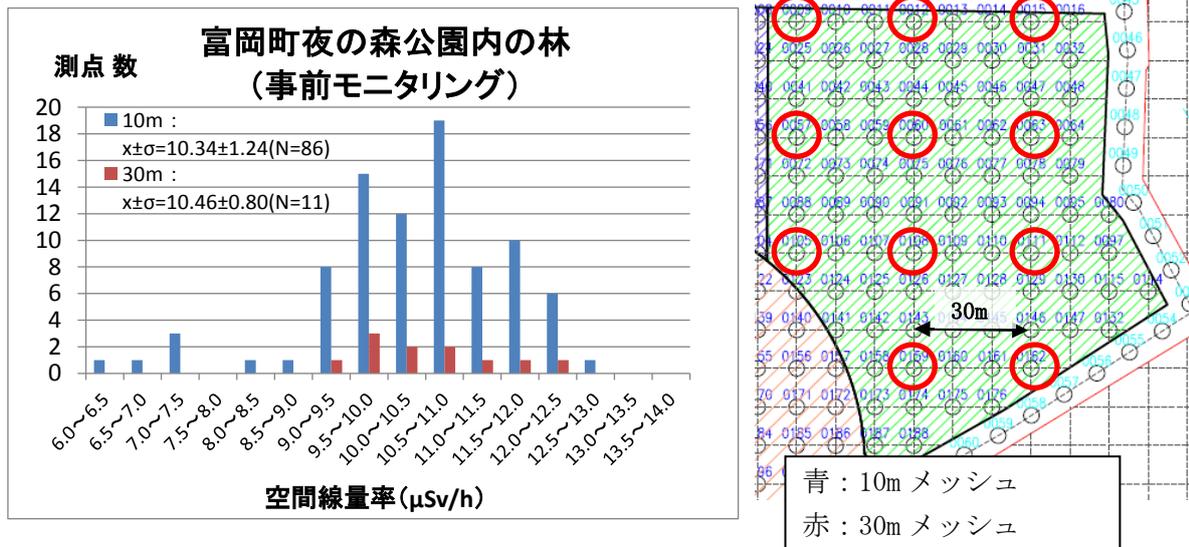


図 2.4.1(2)-13 メッシュモニタリング測定値のヒストグラムおよびそのメッシュ図 (メッシュ間隔の違いによる比較, 富岡町夜の森公園内の林の例)

②本事業を通じて浮き彫りにされた課題とベストプラクティス

本事業においては、監督員である機構職員が線量計を持ち、除染での取り残し箇所の有無を調査した。それにより、取り残しを極力減らすことができた。今後、広い面積の除染を行う場合、モニタリング要員の配置・役割分担等を検討し、効率化を図りつつ取り残しの有無の調査を適宜実施することが望ましい。

本事業で実施したメッシュモニタリングのうち、グラウンドや運動場のような広い平坦面については、極端に高いホットスポットが存在する可能性が低いため、農地と同様に 30m 間隔とすることも可能と考えられる。

積雪による線量率の低減効果を定量的に評価し、積雪時でも概略的な線量率の評価ができるようになった。

スキャンプロットを例として、GPS と線量率計を組み合わせた 2 次元線量率分布評価システムの有効性を評価し、空間分解能が高いこと、測定に技量を必要とせず測定値のばらつきやホットスポットの見落としが少ないこと等から、ホットスポットが広いエリアに点在しやすい大型構造物の建物・植栽・遊具等構造物周りの測定に効果的と考えられた。

(3) フォローアップ調査結果

① 結果

本事業においては、個々の除染作業の完了した箇所を含めて、毎日の定点モニタリングを継続的に実施していることは前述のとおりである(2.4.1(2)①)。これらの測定期間はいずれの区域でも、除染作業終了から事業終了までの1か月程度であるが、除染終了後に線量率が上昇するようなことほとんど見られず、顕著な二次汚染の影響は見られていない。例として、大熊町役場周辺の定点モニタリングデータおよび測定点を図2.4.1(3)-1に示す。

定点モニタリング箇所

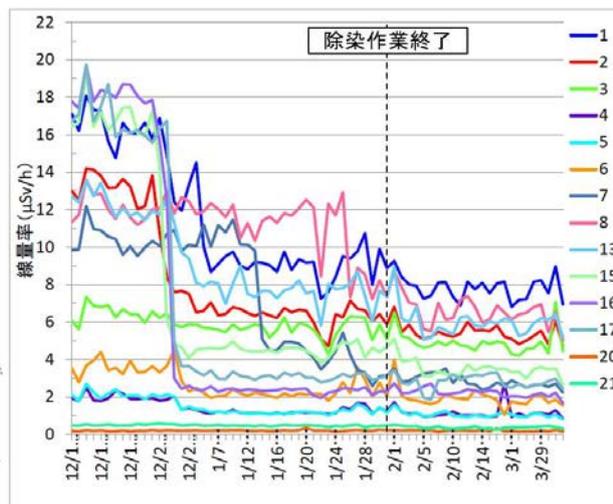
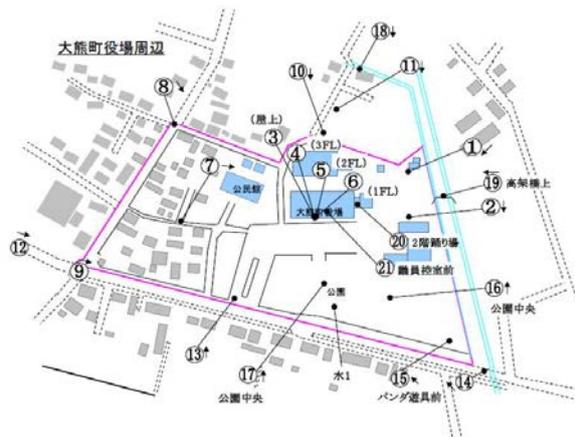


図 2.4.1(3)-1 大熊町役場周辺の定点モニタリングの経時変化
(2/16 までは毎作業日, 2/16 以降は1週間に1回測定)

② 本事業を通じて浮き彫りにされた課題とベストプラクティス

除染中に毎日実施した定点観測については、除染後の測定では比較的安定した結果が得られたことを踏まえると、除染後には測定頻度を1週間に1回程度でも空間線量率の推移を把握できると考えられる。

本事業においては、時間的制約から1か月程度のモニタリングに留まったが、今後の課題として、状況に応じて測点の数や測定頻度を下げつつより長期的な測定を行い、二次汚染の影響の有無を調査していくことが重要と考える。

2.4.2 除染作業結果

(1) 除染作業結果と効果

① 除染効果

(a) 同除染手法別の分析評価

除染方法として高い効果が得られている乾式方法である剥ぎ取り方法を基本とした除染手法と、同様に高い効果が得られている湿式方法である水を利用した方法を基本とした除染手法について分析評価した。

剥ぎ取りを実施した81件の事例について、除染前後の表面汚染の測定結果から低減率を算出し、分析評価を実施した。その結果を図2.4.2(1)①(a)-1に示す。低減率は土地利用区分毎に左側から右側へ空間線量率低⇒空間線量率高の順に並べた。除染前の放射性セシウムの付着状況や剥ぎ取り対象の条件が異なることから、低減率も値がばらついており、除染方法による相関はほとんど認められなかった。ただし、土地利用区分の違いによる除染効果については、グラウンドにおいて比較的高い低減率が得られる傾向が見られた。グラウンドについては、比較的広く重機の使用が可能である、凹凸が少なく比較的均一な土質であることから平均的に剥ぎ取りやすい等の理由と推察された。

水を利用した除染を実施した52件の事例について、除染前後の表面汚染の測定結果から低減率を算出し、分析評価を実施した。その結果を図2.4.2(1)①(a)-2に示す。低減率は除染対象毎に左側から右側へ空間線量率低⇒空間線量率高の順に並べた。除染前の放射性セシウムの付着状況や剥ぎ取り対象の条件が異なることから、低減率も値がばらついており、除染方法による相関はほとんど認められなかった。ただし、比較的表面密度が高くホットスポット化している傾向の高い雨どい、排水溝については取り除きやすい土砂等の堆積物による汚染が洗浄により取り除かれると推定され、比較的高い除染効果が得られる傾向が見られた。

剥ぎ取りによる除染(図2.4.2(1)①(a)-1)と水を利用した除染(図2.4.2(1)①(a)-2)を比較すると、事前に放射性物質の濃度分布をモニタリングし、剥ぎ取り深さを決定して放射性物質を除去する剥ぎ取りの低減率が高い傾向が認められた。一方で、水を利用した方法においては、物理的に表面を剥ぎ取る方法と比較して、あくまでも表面を傷つけず洗浄して除染する方法であり、事前に洗浄後の除去率を推定することが難しく平均的に低い減少率となっているが、放射性セシウムが付着した土埃等が雨水等で集まる雨どいや排水溝では比較的高い低減率を得ることができている。

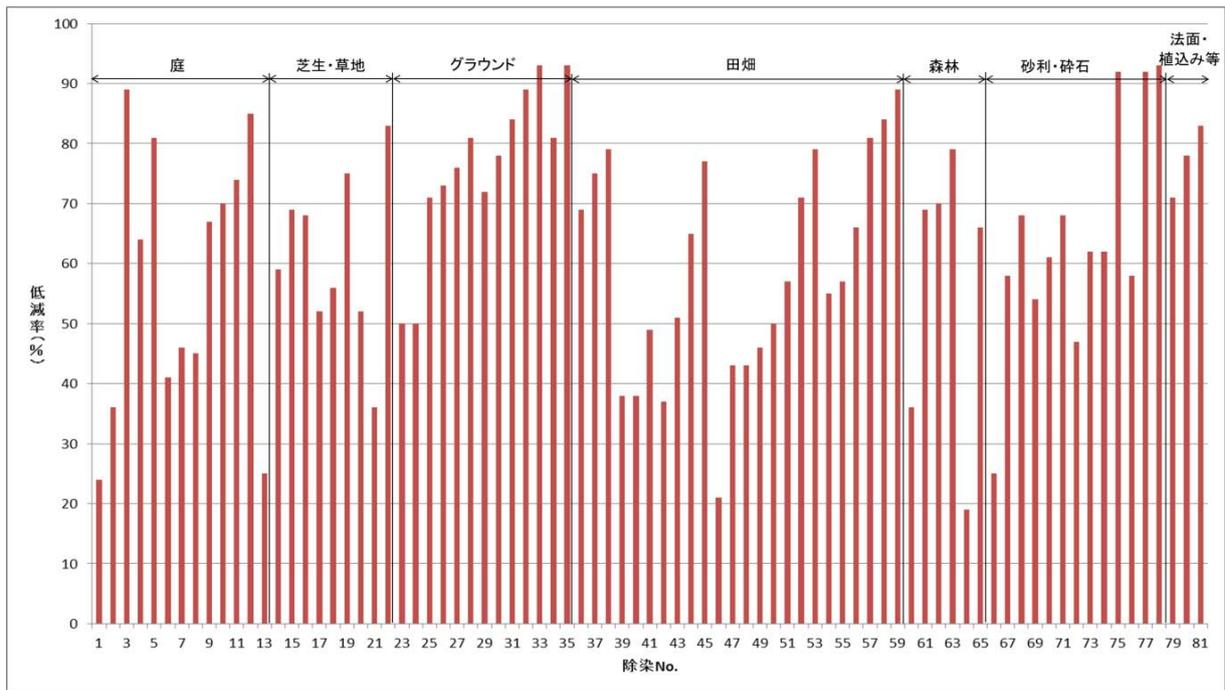


図 2. 4. 2(1)①(a)-1 剥ぎ取りによる除染での低減率の比較

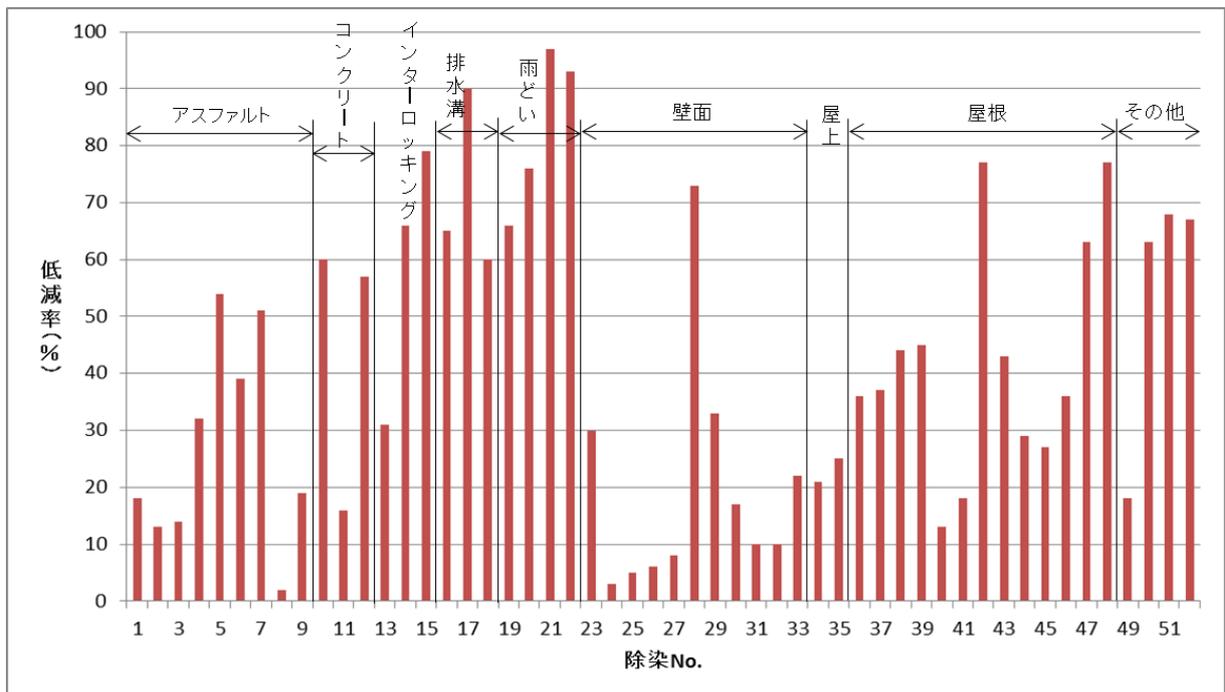


図 2. 4. 2(1)①(a)-2 水を利用した除染での低減率の比較

ii-1) 除染作業内容

11市町村18地区のなかで「宅地」を除染対象として含んでいるのは17地区である。表2.4.2(1)①(b)I-1に、宅地内の除染箇所への除染技術の適用状況を整理した結果を示す。

なお、「屋根」、「壁」、「たたき」、「庭」、「植栽」等の「2.4.2(1)①(b)II大型構造物」と共通する対象についてはまとめて本項目に記載した。

表 2.4.2(1)①(b) I-1 宅地において適用した除染技術一覧

対象構造	材質	適用技術	
屋根		高圧水洗浄	
		ハンドポリッシャー	
		ブラッシング	
		拭き取り	
		剥離剤塗布	
雨どい		高圧水洗浄	
		拭き取り	
壁等	セメント系壁材	高圧水洗浄 ブラッシング	
	コンクリート	高圧水洗浄	
	ブロック	高圧水洗浄	
	モルタル	高圧水洗浄	
	タイル（陶器）	高圧水洗浄	
	スレート（セメント系）	高圧水洗浄	
	レンガ	高圧水洗浄	
	プラスチック	高圧水洗浄	
	FRP	高圧水洗浄	
	ALC（軽量コンクリート）	高圧水洗浄 ブラッシング	
	金属系（トタン、アルミニウム、鉄、ブリキ等）		高圧水洗浄
			ブラッシング
			拭き取り
	漆喰・土壁	ブラッシング 拭き取り	
	木質		高圧水洗浄
			ブラッシング
			拭き取り
	塩ビ波板	水洗い	
	石	高圧水洗浄	
	窓ガラス		高圧水洗浄
ブラッシング			
拭き取り			
網戸	高圧水洗浄		
庭等	コンクリートたたき（土間）	剥離剤塗布	
		ブラッシング	
		高圧水洗浄	
		高圧水洗浄+ブラッシング	
		集塵サンダー	
		ショットブラスト	
		超高圧水洗浄	
	庭土	表土剥ぎ取り	
	法面	除草，表土剥ぎ取り	
	碎石・玉砂利		剥ぎ取り
			高圧水洗浄+分級（玉石）
			洗浄（碎石）
庭木	枝葉除去		
庭芝		深刈り	
		剥ぎ取り	

イ) 屋根

屋根の除染は高所作業になることから、高所作業車もしくは足場や梯子が必要になる点に特徴がある。また、斜面かつ曲面に対して施すという観点から、人力による作業が中心となる。震災や津波による屋根の健全度への影響にも留意が必要である。また、厳冬期の除染では、除染時に使用した水が凍ることによる屋根の損傷にも配慮が必要である。実施した除染作業の概要を以下に示すとともに、作業状況を図 2.4.2(1)①(b) I-2～図 2.4.2(1)①(b) I-5 に示す。

➤ 高圧水洗浄

高圧水洗浄については 15MPa を目安として、表面の状況などを考慮して 10～20MPa 程度の圧力により実施している。屋根の場合は建物内部への漏水を防止するため、10 MPa 程度の圧力により、屋根の上から下に向けて屋根の損傷を確認しながら洗浄した。高所作業車や足場組立を行い実施した (図 2.4.2(1)①(b) I-2)。

➤ ハンドポリッシャー

屋根面に水を数 ℓ 程度かけた後、布製のパッドを装着したハンドポリッシャーを用いて洗浄後、さらに約数 ℓ 程度の水で洗浄した。

➤ ブラッシング

屋根面に水を数 ℓ 程度かけ、デッキブラシによってブラッシングした後、再度数 ℓ 程度の水をかけて洗浄した。洗浄は上から下へ行い、高所作業車や足場組立を行い実施した (図 2.4.2(1)①(b) I-3)。

➤ 拭き取り

ウエス等によって水拭きにより除染した。八折にした濡れタオルで、汚れを拭きとるとともに、タオルは一拭きごとに新しい面を用いた。洗浄は上から下へ行い、屋根に上る必要があるため、安全帯のための親綱を設置し実施した (図 2.4.2(1)①(b) I-4)。

➤ 剥離剤塗布

剥離剤を屋根表面に塗布し、1～3 日程度養生した後剥離することにより、屋根表面に付着している土砂や埃を除去した (図 2.4.2(1)①(b) I-5)。



図 2.4.2(1)①(b) I-2 高圧水洗浄実施状況



図 2.4.2(1)①(b) I-3 ブラシ掛け実施状況



図 2.4.2(1)①(b) I-4 拭き取り実施状況 図 2.4.2(1)①(b) I-5 剥離剤剥離実施状況

ロ) 雨どい

雨どいには落葉や土埃が堆積し、場所によっては苔生している場合もある。ここに雨等により屋根から洗い流された放射性物質を吸着した土埃等が流入・付着しており、比較的高い線量を有している。

雨どいの除染に際しては、これらの堆積物の除去を行ったうえで、雨どいに付着している放射性物質を吸着した土埃等を取り除くことが対策となる。なお、屋根と同様に高所作業になること、震災や津波による健全度への影響に留意が必要である。実施した除染作業の概要を以下に示すとともに、作業状況を図 2.4.2(1)①(b) I-6～図 2.4.2(1)①(b) I-7 に示す。

➤ 高圧水洗浄

落葉等の堆積物、苔、土埃等がとい上にある場合は、スコップ等により除去した後、15MPaを目安として、表面の状況などを考慮して 10～20MPa 程度の圧力により、といの上流から下流に向けて洗浄を行った。低い軒先では脚立を用い、高い場所のといでは高所作業車や足場組立を行い実施した (図 2.4.2(1)①(b) I-6)。

➤ 拭き取り

落葉等の堆積物や苔がとい上にある場合は、スコップ等により除去した後、ウェス等でとい表面に付着している泥や埃を拭き取り除去した。仕上げ時には、一拭きごとに新しい面を用いた (図 2.4.2(1)①(b) I-7)。



図 2.4.2(1)①(b) I-6 高圧水洗浄実施状況 図 2.4.2(1)①(b) I-7 拭き取り実施状況

ハ) 壁等

壁の除染については、鉛直面にあることが特徴であり、人力による作業が中心となる。屋根同様、震災や津波による健全度への影響にも留意が必要である。実施した除染作業の概要を以下に

示すとともに、作業状況を図 2.4.2(1)①(b) I-8～図 2.4.2(1)①(b) I-10 に示す。

➤ 高圧水洗浄

10 MPa 程度の圧力により、壁面の上から下に向けて壁面の損傷を確認しながら洗浄した。高所の除染には、高所作業車や足場組立を行い実施した（図 2.4.2(1)①(b) I-8）。

➤ ブラッシング（ドライ）

壁面をナイロンブラシ（洗車ブラシ）により水をつけず洗浄は上から下へドライブラッシングにより、壁面に付着する土埃等を除去した。ブラシには、バキューム吸引の機能を持たせることで土埃等を吸引した（図 2.4.2(1)①(b) I-9）。

➤ 拭き取り

ウエス等によって拭き取りによる除染を行った。上から下に汚れを拭きとるとともに、一拭きごとに新しい面を用いた（図 2.4.2(1)①(b) I-10）。

➤ 水洗い

壁面に上から下に水をかけ、ナイロンブラシ（洗車ブラシ）により洗浄した。



図 2.4.2(1)①(b) I-8 高圧水洗浄実施状況



図 2.4.2(1)①(b) I-9 ブラシ掛け実施状況



図 2.4.2(1)①(b) I-10 拭き取り実施状況

二) 庭等

庭等には庭土、法面、碎石・玉砂利、庭芝、庭木、コンクリートたたき（土間）など多様な素材による多様な用途が存在した。建物（屋根・壁等）と比べると、重機による除染が一部可能となる点に特徴がある。また、雨水等により土埃等の集積する箇所はホットスポット化している場合が多く、これらの箇所を重点的に測定することによりホットスポットを洗い出し、剥ぎ取り等の処置を実施した。

庭の除染は表面部の剥ぎ取り，除去が中心となる。以下，庭土，法面，砕石・玉砂利，庭芝，庭木，コンクリートたたき（土間）の各項の順で概要を示す。

二)-1 庭土

庭の草刈り後に，庭土表面に付着した放射性物質を人力およびバックホウにより剥ぎ取った。剥ぎ取り厚さについては，事前の土壌モニタリングにより放射性物質の80%以上が除去できる厚さを決定した。実施した除染作業の概要を以下に示す。場所によっては重機が使用できる場合もあり，施工スピードが向上した。事前モニタリング結果を踏まえ，剥ぎ取り厚さを1～15 cmで剥ぎ取りを行った。雨だれ部分は基本的に水が浸透しやすい構造になっており，表面密度を測定しながら剥ぎ取りを行ったため，庭の他箇所と比較して剥ぎ取り厚さが厚くなった（図2.4.2(1)①(b) I-11～図2.4.2(1)①(b) I-12）。



図 2.4.2(1)①(b) I-11 人力剥ぎ取り状況



図 2.4.2(1)①(b) I-12 バックホウ剥ぎ取り状況

二)-2 法面

宅地の裏側には山が迫っている場合があり，その場合，宅地と山の境界部は小規模な法面が宅地に近接して存在した。法面部は比較的急峻で，草類に覆われている場合が多く，除草・表土剥ぎ取りを行うことにより，法面部の放射性物質の影響による宅地側の空間線量率を低減することができる。ただし，急峻な法面の場合，表土剥ぎ取りによって法面の崩壊を助長する可能性があるため，法面の安定性を極力損なわないように，草類の根茎を残す形で表土を鋤取する方法として，鉄レーキや腰の強い熊手により掻き取るように剥ぎ取りを行った。また，草類の根茎を含め表土を剥ぎ取る場合は，法面保護シートを設置したケースもあった。人力による法面表土剥ぎ取り状況および法面保護シートの例を図2.4.2(1)①(b) I-13に示す。



人力による法面表土剥ぎ取り状況



法面保護シートの例

図 2.4.2(1)①(b) I-13 人力による法面表土剥ぎ取り状況及び法面保護シートの例

二)-3 砕石・玉砂利

庭の駐車スペースや雨だれ部の砕石・玉砂利敷きについて、砕石・玉砂利の剥ぎ取りを行った。剥ぎ取った砕石・玉砂利については、除去物発生量減容化の観点から、洗浄＋分級による除染効果の検証も行った。実施した除染作業の概要を図 2.4.2(1)①(b) I-14～図 2.4.2(1)①(b) I-17 に示す。

➤ 剥ぎ取り

重機が入ることができる場所においてはミニバックホウ等の重機により砕石・玉砂利の剥ぎ取りを行い、狭小部では鋤簾やシャベルを用いて手作業により砕石・玉砂利の除去を行った(図 2.4.2(1)①(b) I-14)。

➤ 高圧水洗浄＋分級(玉砂利)

剥ぎ取った玉砂利をふるいと高圧水洗浄により、洗浄＋分級を行った。洗浄圧力は周囲への水及び分級した土砂の飛散を防ぐため、5MPa 程度の低い圧力とした。玉砂利表面に付着している放射性物質を含んだ土砂の細粒分を洗浄＋分級することにより除染効果が高まった(図 2.4.2(1)①(b) I-15～図 2.4.2(1)①(b) I-16)。

➤ 洗浄(砕石)

砕石と水をポリバケツに入れ、2.5 分間攪拌、35 分間静置、2.5 分間攪拌を行なった。また、ポットミキサーにより、砕石と同量の水を加えた場合と無水の場合について、30 分間から 60 分間攪拌し洗浄を行った。本手法は、浪江町津島中学校の体育館屋根の雨だれ部砕石の洗浄であるが、宅地雨だれ部砕石の洗浄に適用できると考え本項目に記載した(図 2.4.2(1)①(b) I-17)。



図 2.4.2(1)①(b) I-14 剥ぎ取り実施状況



図 2.4.2(1)①(b) I-15 高圧水洗浄実施状況



図 2.4.2(1)①(b) I-16
洗浄後玉石の敷均し状況



図 2.4.2(1)①(b) I-17 砕石の洗浄状況

ニ)-4 庭芝

芝については、枯れた芝や刈かすが堆積したものと目土の一部が含まれるサッチ層までの除去（茂木 浩）（福島県県中建設事務所・（財）福島県都市公園・緑化協会，2011），およびサッチ層に加え表土（約 10cm 以下）までの除去による除染を行った。前者は芝の根が残ることから除染後の芝の再生が可能であり，表土までの剥ぎ取りよりも除去物の発生量を抑制することができる。一方，後者は芝の根も大部分除去することから機能回復措置の必要性について検討する必要がある。本項では，庭等の比較的小スペースで適用可能な除染方法について述べ，広大なスペースで適用可能な除染方法については，2.4.2(2)①(b)Ⅱの大型構造物の項で記載する。

サッチ層までの深刈り（約 3cm）として小型のソッドカッターを用いた除染（図 2.4.2(2)①(b)Ⅰ-18），サッチ層に加え表土約 2～5cm 程度までの剥ぎ取りとして，鍬，スコップ，ジョレン等を用いた人力もしくは小型バックホウを用いた除染を実施した（図 2.4.2(2)①(b)Ⅰ-19）。



図 2.4.2(1)①(b)Ⅰ-18
ソッドカッターによる芝の深刈り状況



図 2.4.2(1)①(b)Ⅰ-19
小型バックホウによる芝の剥ぎ取り状況

ニ)-5 庭木

宅地まわりの生け垣や庭の植栽等の庭木について除染を行った。庭木の枝葉についた放射性物質を除去することを目指し，枝葉除去による除染を行った。さらに枝葉の除去を行った後に，庭木の根元の落ち葉や土壌の剥ぎ取りを行った。実施した除染作業状況を図 2.4.2(1)①(b)Ⅰ-20～図 2.4.2(1)①(b)Ⅰ-21 に示す。



図 2.4.2(1)①(b)Ⅰ-20
庭木の枝葉除去実施状況



図 2.4.2(1)①(b)Ⅰ-21
庭木下の土壌剥ぎ取り状況

ニ)-6 コンクリート（たたき）

宅地まわりのコンクリート（たたき）の除染方法としては、大型構造物周辺と比べ狭小なスペースでの作業となることから、大型機械を用いない工法が主となった。実施した除染作業の概要を以下に示すとともに、作業状況を図 2.4.2(1)①(b) I-22～図 2.4.2(1)①(b) I-28 に示す。

➤ 剥離剤塗布

粘着テープ、粘着塗布剤を除染箇所に塗布し、ブルーシート等で養生後に剥離することにより、コンクリート面に付着している土砂や埃を除去した（図 2.4.2(1)①(b) I-22）。

➤ ブラッシング

コンクリート表面をブラシによりブラッシングすることにより、コンクリート表面に付着した土砂、埃、苔等を除去した（図 2.4.2(1)①(b) I-23）。

➤ 高圧水洗浄

15MPa を目安として、表面の状況などを考慮して 10～20MPa 程度の圧力により、コンクリート表面を上流から下流に向けて洗浄し、除染の効果を確認した。また、洗浄によって発生した除染水については、集水して必要に応じて水処理を実施した（図 2.4.2(1)①(b) I-24）。

➤ 高圧水洗浄+ブラッシング

上記のブラッシングと高圧水洗浄の相乗効果を期待して同時に行った。また、ブラッシング後に残渣物などが残らないように、仕上げとして最後に高圧水洗浄で洗い流した（図 2.4.2(1)①(b) I-25）。

➤ 集塵サンダー

ハンディータイプの集塵サンダー（コンクリートカンナ）により切削を行った（図 2.4.2(1)①(b) I-26）。

集塵サンダーでの除染については、限定的な範囲で 1 回実施（切削深さ：約 0.5 mm）して効果を確認した。

➤ ショットブラスト

砂、鉄球を研磨剤としたブラスト機により切削を行った。施工条件については、個々のブラスト機における調整範囲において、施工面における除染効果の高い条件で除染作業を実施した。路面用のブラスト機は機械が大きいため、大型建造物周辺の切削には適しているが、一般的な宅地には不向きである。比較的大きな宅地や道路沿いのコンクリートたたき部には適用が可能である（図 2.4.2(1)①(b) I-27）。

➤ 超高圧水洗浄

120 MPa 程度の超高圧水により、コンクリート面の切削洗浄を行った。汚染水の拡散による二次汚染を防止するために、回収型のスピンドレットを用いて除染を行った（図 2.4.2(1)①(b) I-28）。

施工条件については、事前に施工条件検討のための試験を狭い区画で実施し、対象面の材質などに応じて効果のある施工条件で除染作業を実施した。



図 2.4.2(1)①(b) I-22 剥離剤塗布実施状況 図 2.4.2(1)①(b) I-23 ブラッシング実施状況



図 2.4.2(1)①(b) I-24 高圧水洗浄実施状況 図 2.4.2(1)①(b) I-25 高圧水洗浄+ブラッシング実施状況



図 2.4.2(1)①(b) I-26 集塵サンダー実施状況 図 2.4.2(1)①(b) I-27 ショットブラスト実施状況



図 2.4.2(1)①(b) I-28 超高圧水洗浄実施状況

ii-2) 除染作業の結果と評価

除染によって得られた低減率等を各除染箇所ごとに整理し取りまとめた。以下に、宅地の部位・場所ごとの除染結果を示す。

イ) 屋根

実施した5つの除染方法について、屋根の素材別の低減率を求めた。その結果を表2.4.2(1)①(b) I-2 に整理した。ハンドポリッシャー、ブラシ掛け、拭き取り、剥離剤塗布については、富岡町での試験実施結果を元に整理し、他地点の高圧水洗浄実施時の低減率と合わせて比較した。

剥離剤塗布による除染効果が他の方法よりも低減率が高い結果となったが、本作業に用いた剥離剤では養生に1～3日程度を要し、剥ぎ取り完了まで足場の撤去ができないなどの作業性のデメリットが大きかった。また、高圧水洗浄については、ブラシ掛けと同程度の除染効果が期待できる結果となったが、洗浄水と共に飛散する土埃等の飛散防止・回収等の作業が必要となった。瓦は材質により低減率自体は異なるものの、水を使った洗浄と比較し、洗浄水と共に飛散する土埃等の二次汚染の可能性が低い、建物の損傷等による室内への漏えいの可能性が無いという点でブラシ掛け、拭き取りが本事業においては高評価となった。

表 2.4.2(1)①(b) I-2 屋根除染における除染効果 (低減率%)

	高圧水洗浄	ハンドポリッシャー	ブラッシング※ (水洗浄併用)	拭き取り※	剥離剤塗布※
焼き付け鉄板	-	11%	9%	13%	0～16%
塗装鉄板	-	-	34%	3%	15～18%
粘土瓦	0～74%	-	49%	0～77%	1～53%
セメント瓦	34%	-	4%	0～3%	32～33%
スレート	22～32%	-	0～64%	10～24%	23～49%

※コリメータ使用時の計測データ

ロ) 雨どい

実施した2つの除染方法について、雨どい表面の低減率を計測した結果を図2.4.2(1)①(b) I-29 に整理した。低減率は、堆積物が多たまっている場合などはホットスポットとなっており、堆積物の除去により低減率が大きくなる傾向がある。低減率においては、各手法とも低減率60%前後であり、大きな差はないと評価した。ただし、高圧水洗浄については、洗浄水と共に飛散する土埃等の飛散防止・回収等の作業が必要となった。二次汚染（汚染水の飛散）の可能性が低い拭き取りの方が作業性が良いと評価した。

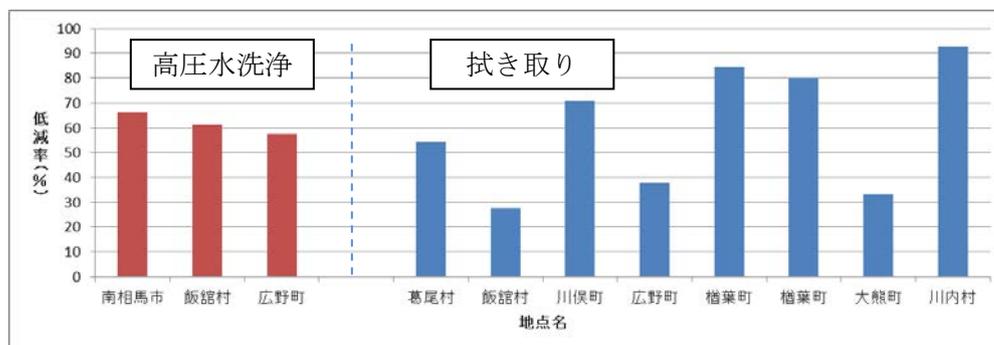


図 2.4.2(1)①(b) I-29 雨どいの除染における除染効果 (低減率 (%))

ハ) 壁

実施した3つの除染方法について、壁面の素材別の低減率を計測した。その結果を図2.4.2(1)①(b) I-30に整理した。なお、水洗い(川俣町で実施、低減率:約20%)については、1例のみであるため、図2.4.2(1)①(b) I-30中には示していない。

高圧水洗浄およびブラッシングについては飯舘村での結果を整理し、拭き取りによる他地点の結果とあわせて比較した。高圧水洗浄による結果とブラッシングによる結果に顕著な差は見られないが、拭き取りについては表面が土壁や木製の場合はほとんど除染効果が得られなかった。トタン等の金属やガラスについても顕著な効果は見られなかった。高圧水洗浄については、洗浄水と共に飛散する土埃等の飛散防止・回収、水処理等の作業が必要となった。水を使った洗浄と比較し、建物の損傷等による室内への漏えいの可能性が低い、水処理等が必要ないという点でブラッシングの方が適用しやすいと考えられた。ただし、他の除染において高圧水洗浄を用い、既に水処理等の用意がある場合は、漏えいに留意しつつ壁にも高圧水洗浄が適用可能と考える。

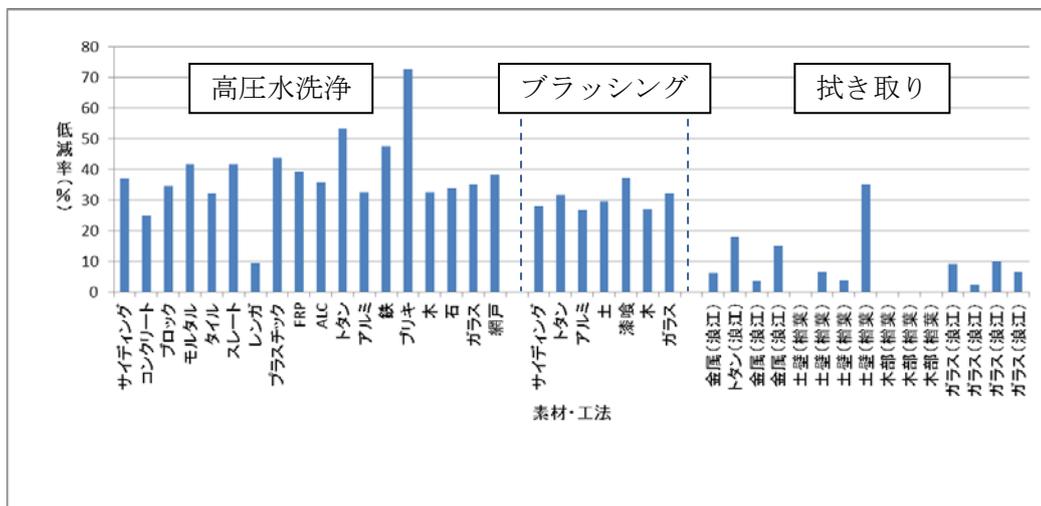


図2.4.2(1)①(b) I-30 壁面除染における除染効果(低減率(%))

二) 庭

二)-1 庭土

事前モニタリングで実施した、宅地の土壌サンプルの計測結果を図2.4.2(1)①(b) I-31に示す。これによると、宅地の庭土におけるセシウムの土壌深度分布は、土壌の汚染状況に関係なく概ね5cm程度までに80%以上の放射性セシウムが分布していることが確認された。ただし、5cmまでの分布状況については土壌モニタリングの地点によって状況が異なることが確認されたが、これは汚染状況や土壌の性状に起因するものと考えられる。このように、土壌の汚染状況などによって分布状況が異なることから、除去物の発生量をできるだけ抑えるという観点から、表土の剥ぎ取り厚さについては事前モニタリングの深度分布に基づき、慎重に決定する必要がある。

実施した除染方法について、低減率を計測し、その結果を図2.4.2(1)①(b) I-32に整理した。表土剥ぎ取りにおける低減率は、ホットスポットの除去や凍結による剥ぎ取りムラ等の特異点を除けば、概ね剥ぎ取り深さが増えると低減率が上昇するという結果が得られた。

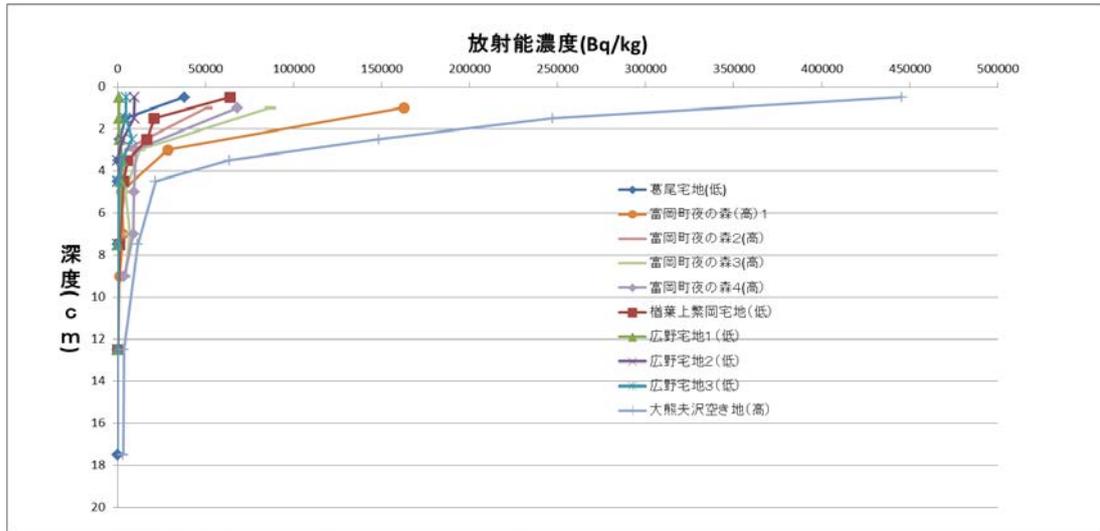
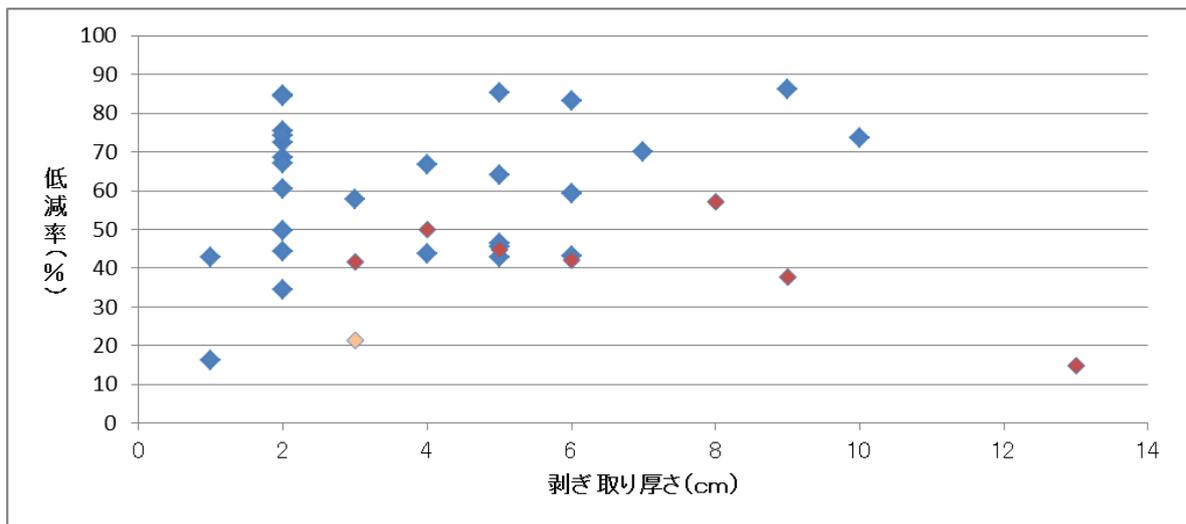


図 2.4.2(1)①(b) I-31 宅地における庭土のセシウム深度分布



◆ : ホットスポット取り
 ◆ : 凍結により剥ぎ取りムラ

図 2.4.2(1)①(b) I-32 表土剥ぎ取りにおける除染効果(低減率(%))

二)-2 法面

急峻な法面の場合、表土剥ぎ取りによって法面の崩壊を助長する可能性があるため、法面の安定性を極力損なわないように、草類の根茎を残す形で表土を鋤取る方法として、鉄レーキや腰の強い熊手により掻き取るように剥ぎ取りを行った。この結果、表土の剥ぎ取りが完全には実施できておらず、低減率は10%以下程度と限定的であった。

二)-3 砕石・玉砂利

砕石・玉砂利部の剥ぎ取り後の除染効果は低減率20~85%とばらつきが見られた。砕石・玉砂利部表面の水の流れ、浸透状況は場所により様々であり、砕石の剥ぎ取りによる除染については、除染中の計測結果等を踏まえて、剥ぎ取り厚さを調整する必要がある。

砕石・玉砂利の洗浄＋分級による除染効果は、南相馬市の幼稚園と民家での試験実施の結果では、幼稚園において洗浄＋分級前 10,000 cpm が洗浄＋分級後 460 cpm（低減率=95%）となり、民家における事例では洗浄＋分級前 1,400 cpm が洗浄＋分級後 520 cpm（低減率=63%）となった。砕石・玉砂利については剥ぎとった砕石・玉砂利を洗浄することも望ましい方策といえる。

なお、今回の洗浄は、表面が比較的平滑な玉砂利と砂の混じったものを洗浄＋分級した結果であり、他地点（浪江町津島地区）で実施した表面の粗い砕石（砂を含まず）の場合はバケツにおける攪拌・洗浄では低減率は約 15%であり、ポットミキサーによる 30～60 分の洗浄で除去率約 60%（砕石と同量の水を加えた場合と無水の場合の差はなし）となった。

二)-4 庭芝

ソッドカッターによるサッチ層（約 3cm）までの深刈りによる表面密度の低減率は約 80%であった。一方、鍬、スコップ、ジョレン等を用いた人力もしくは小型バックホウを用いた芝および表土（約 10cm 以下）までの除染による表面密度の低減率は約 30～70%であった。人力で表土を剥ぎ取る場合、残っている下草の根にスコップ等が引っ掛かって土がこぼれやすかったため、低減率が低かったものと考えられる。

二)-5 庭木

枝葉除去と表土剥ぎ取りを組み合わせる実施した場合の低減率は 0～15%とほとんど効果が見られなかった。低減率が低かった原因としては、樹木の枯死を防ぐために残した未剪定部分や根等が邪魔になり残った未剥ぎ取りの土壌などの影響が考えられる。また、庭木を枯死させない除染レベルの見極めが必要であり、造園業者や樹木医の判断が必要であったことから、除染モデル実証事業においては造園業者等の協力を得て作業を実施した。

二)-6 コンクリート（たたき）

実施した 7 つの除染方法について、表面の低減率を計測した。その結果を図 2.4.2(1)①(b) I-33 に整理した。

コンクリート（たたき）における放射性物質は、概ねコンクリート表面に残留しているとの仮説に基づき除染手法の選定を行った。選定した除染方法のうち、剥離剤塗布による除去率は約 10%（平均値）、ブラッシングによる低減率は約 25%（平均値）と除染効果が低くなる傾向が見られた。

高圧水洗浄については、低減率が約 45%（平均値）となり、ブラッシングを併用することにより低減率が約 50%（平均値）となり、ばらつきが小さくなる傾向が見られた。これは、高圧水洗浄のノズルと対象物の距離の変化に伴う除染効果のばらつきがブラッシングによって打ち消されたことによるものと推測される。なお、高圧水洗浄において富岡町の 2 点では 70%を超える除去率を示しているが、この 2 点はともに表面密度が 13,000 cpm 以上と比較的高く、ホットスポット化している箇所がある程度除去されたことにより、除去率が上がった可能性が考えられる。

コンクリートカンナでは、低減率は高圧洗浄と概ね同等であったが、研磨面が小さいため大面積の除染では完了まで時間を要した。バキュームブラストについては、施工面の状態や研磨剤の種類、投射密度などの施工条件により研磨剤の回収能力や切削カスの回収率が著しく低下することとなり、除染効果にも影響することから注意が必要である。超高压洗浄機（スピンジェット 120 MPa）、スチールブラストについては、低減率=80～90%と高い低減率が得られた一方で、溝や割れ目などにより投射距離が変化する場合や対象面の濡れの有無などにより除染効果に影響があることが確認された。

今回の結果において、洗浄や剥離剤の結果が低い低減率を示しているのは、放射性物質の飛散・沈降から時間が経過しており、コンクリート（たたき）表面の遊離しやすいものは既に雨水により洗い流されていることが原因と推定される。一方で、ショットブラストなどの薄層切削において、高い低減率を得ることができたことから、コンクリート（たたき）の汚染は表面に限定されているという仮説を実証したものと考えられる。

なお、今回の評価については、汚染状況や表面状況などが同じ環境での結果を比較しているものではなく、除染効果もばらつきが生じていることから、個別の数値で比較するのではなく、除染モデル実証事業の各地区で得られた施工結果の平均値をもって評価を行った。

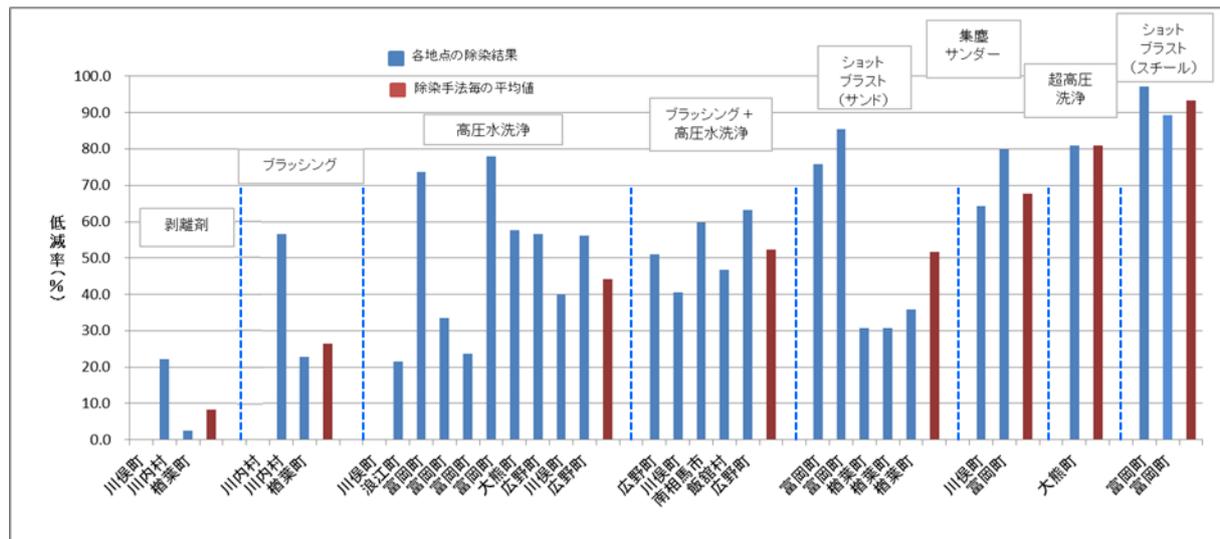


図 2.4.2(1)①(b) I-33 コンクリート（たたき）における除染効果（低減率（%））

iii) 屋外除染による屋内空間線量率の低減効果

屋根、壁、庭、たたき等、宅地周辺の屋外除染を行うことによる、屋内の空間線量率の変化について検証した。屋外の空間線量率の変化と屋内の空間線量率の変化をはっきりと識別できるよう、庭等の宅地周辺エリアが比較的大きい家屋を検証対象として選定した。建物の構造（木造・鉄筋コンクリート）の比較についても合わせて実施した。

木造と鉄筋コンクリートの建屋について、除染による建屋周辺の屋外の空間線量率（1 m）の平均値の変化と屋内の空間線量率（1 m）の平均値の変化について図 2.4.2(1)①(b) I-34 に示す。

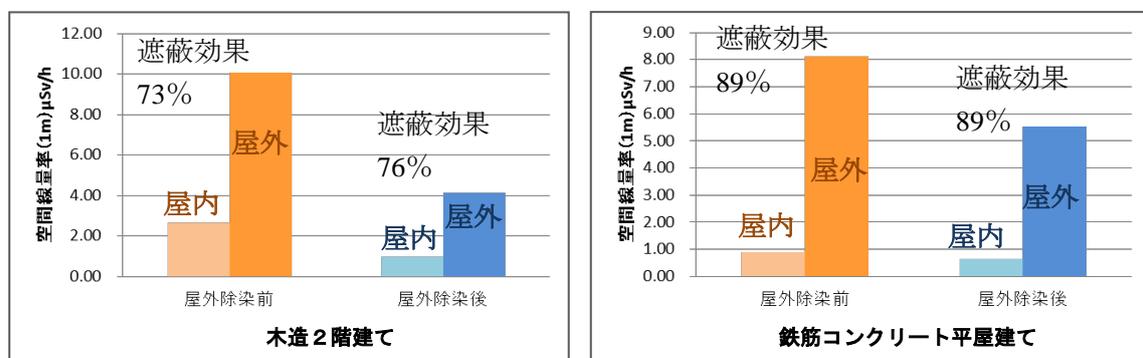


図 2.4.2(1)①(b) I-34 構造別の屋内・屋外における空間線量率の変化

木造建屋については、屋外の空間線量率が約3割低減（除染前：10.07 μ Sv/h，除染後：4.13 μ Sv/h）することによって、屋内の空間線量率についても同様に3割程度低減（除染前：2.67 μ Sv/h，除染後：1.00 μ Sv/h）している。除染前後において、屋内と屋外の空間線量率の比率（遮へい率）は除染前が73%，除染後が76%であった。同様に、鉄筋コンクリート建屋については、屋外の空間線量率が約4割低減（除染前：8.12 μ Sv/h，除染後：5.52 μ Sv/h）することによって、屋内の空間線量率についても同様に4割程度低減（除染前：0.89 μ Sv/h，除染後：0.63 μ Sv/h）している。除染前後において、屋内と屋外の空間線量率の比率（遮へい率）は、ともに89%であった。

屋外と屋内の空間線量率の比率は、除染前後でも変化しない傾向にある。今回の検証対象の家屋の屋内は除染を行っていないことを考慮すると、屋外を飛んでいる放射線の一部は、屋内に入ってきており、特に、空間線量率の高い地域においては、屋内で測定される空間線量率の大部分を占めている。屋外の除染を進め、屋外の空間線量率を下げることによって、屋内を除染しなくても、屋外の空間線量率の低減率と同程度の空間線量率の低減効果が屋内においても期待できると考えられる。

II 大型構造物

i) 放射性物質の付着・残留状況

大型構造物エリアには、学校校舎等の大型建物、グラウンド、プール、長大法面、大型駐車場、植栽等、多彩な構造物で構成されている。それぞれの汚染レベルについては、気象の影響や建物形状、構成されている素材により様々である。ここでは、大型建物の屋根や壁などの構成部位による汚染レベルの比較と、大型構造物エリア（建物、グラウンド、駐車場などで構成されたエリア）における放射性物質の付着・残留状況の傾向分析を行った。

i-1) 大型建物各部位の放射性物質の付着・残留状況

大型建物の汚染状況を図 2.4.2(1)①(b) II-1 に示す。宅地の場合と同様に、壁はたたきや床面に比べて汚染レベルが低い傾向が見られた。また、壁面の汚染状況は、図 2.4.2(1)①(b) II-1 の富岡町リフレ富岡の測定箇所 No. 4~7 及び飯館村いいたてホームの測定点 No. 3, 9, 11, 12, 15, 17, 18 を比較するとわかるように、素材による顕著な違いは見られず、むしろ飯館村いいたてホームの測定点 No. 3 のような、壁の鉛直上に雨どいがなく、雨が壁をつたって地表面に滴下するような壁においては、このような雨だれの影響を受けて汚染している例が認められた。

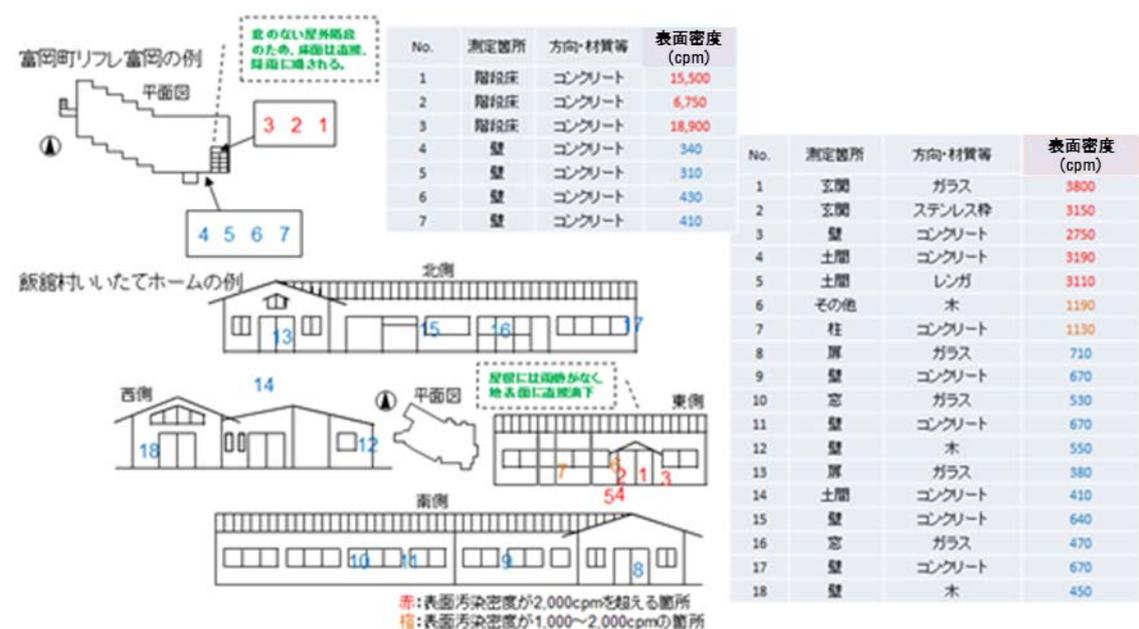


図 2.4.2(1)①(b) II-1 大型建物の汚染状況

i-2) 大型構造物エリアの放射性物質の付着・残留状況

大型構造物エリアは、大型建物、グラウンド、駐車場など多彩な構造物で構成されている。浪江町権現堂地区の航空写真と表面密度の分布を図 2.4.2(1)①(b) II-2 に示す。この図は、10 m メッシュによりエリアを分割し計測したデータに基づくもので、建物が存在する場所は、メッシュ計測していないため、外挿した。表面密度について、大型構造物エリアを構成している建物、グラウンド、植栽、駐車場などで顕著な違いが見られず、図書館の周囲やグラウンドの周囲などで水がたまる場所や植栽部、軒下などにおいて周辺部に比べて表面密度が高い部分（黄色～橙色の部分）が確認された。

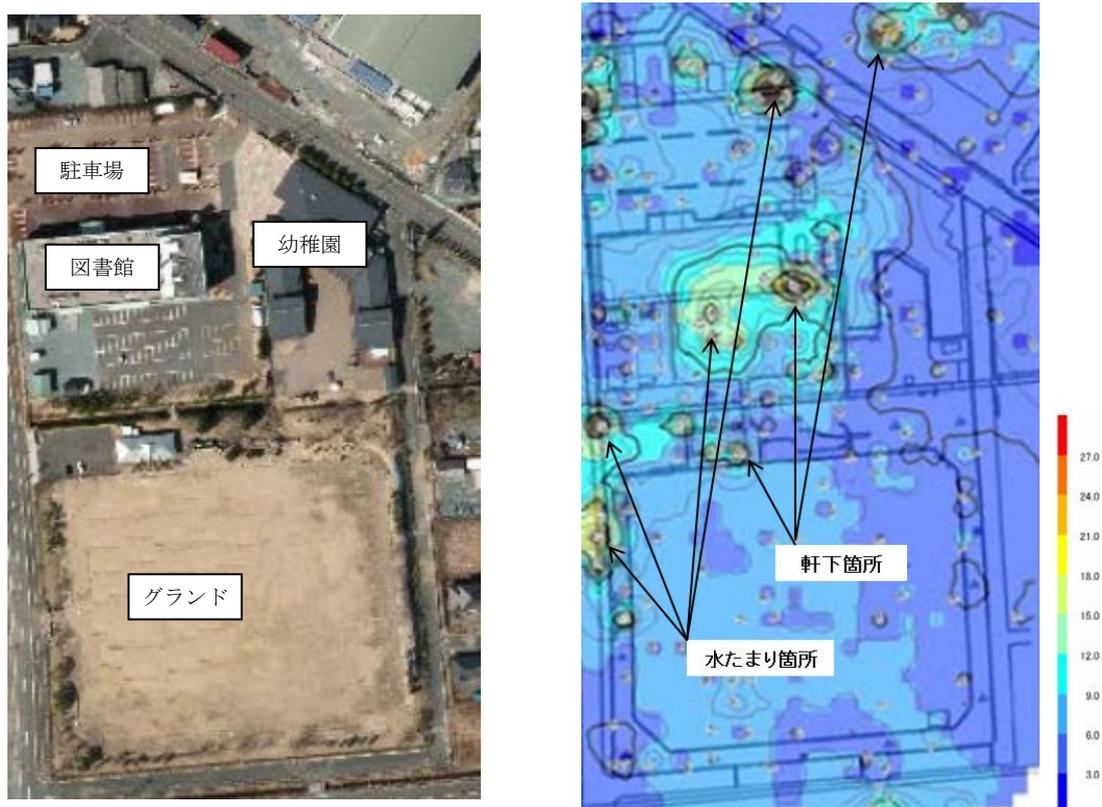


図 2.4.2(1)①(b) II-2 大型構造物エリアの航空写真と表面密度の分布 (浪江町権現堂)

i-3) プールの放射性物質の付着・残留状況

プールは主にプール槽とプールサイドに分けることができる。さらにプール槽は、壁面と床面に分けることができる。それぞれの部位について、富岡町及び南相馬市における汚染状況（表面密度）を計測した結果の例を表 2.4.2(1)①(b) II-1 に示す。

表 2.4.2(1)①(b) II-1 プールエリアの汚染状況

部位		表面密度 (cpm)	材質
プール槽	壁面	700	防水塗装 (富岡町)
	底面	8,400	
プールサイド		25,100	
プール槽	壁面	2,800	防水モルタル (南相馬市)

i-4) 人工芝の放射性物質の付着・残留状況

事前にコートのゴムチップや目砂の抜き取り調査を行い、深度方向の放射性物質の付着状況を確認した。その結果、フットサルコート（ゴムチップ+目砂）では深度約 25mm（充填深さ 34mm）、テニスコート（目砂）では深度約 10mm（充填深さ 19mm）までに、全体の 8 割から 9 割程度の量が付着していることが確認された。ゴムチップは目砂よりも粗く、粒子間の間隙も大きいため、充填材としてゴムチップも用いられているフットサルコートのほうが、充填材が目砂のみで構成されるテニスコートよりも比較的深くまで放射性物質が浸透していることが考えられる。

ii-1) 除染作業内容

11 市町村 18 地区のなかで「大型建造物」を有する 15 地区で、「大型建造物」に対する除染技術の実証試験を行った。

表 2.4.2(1)①(b)Ⅱ-2 に、大型構造物内の除染箇所への除染技術の適用結果を示す。大型構造物のエリア内には、「屋根、屋上」「壁、窓、サッシ」「たたき」「舗装」「庭（土・芝・碎石等）」「グラウンド」「植栽」「とい、雨水管」「遊具」「プール」「側溝・柵」等があるが、「屋根」「壁」「たたき」「庭」「植栽」等の宅地と共通する対象については、「2.4.2(1)①(b)Ⅰ宅地」に記載することとした。また、「舗装（アスファルトのみ）」「側溝・柵」についても同様に、「2.4.2(1)①(b)Ⅳ道路」に記載することとした。

以下に除染方法について解説するとともに、主要な除染方法の作業状況を写真により示した。

表 2.4.2(1)①(b)Ⅱ-2 大型構造物において適用した除染技術一覧

対象構造	材質	種別	適用技術
屋上	防水塗装・防水シート	洗浄	高压水洗浄
			高压水洗浄+デッキブラシ
			高压水洗浄+ポリッシャー
	コンクリート・モルタル	洗浄	高压水洗浄
			高压水洗浄+デッキブラシ
			高压水洗浄+ポリッシャー
アスファルト	洗浄	高压水洗浄	
縦とい	鉄（亜鉛メッキ）	洗浄	高压水洗浄
舗装	インターロッキング	洗浄	高压水洗浄
			回収型高压水洗浄
		清掃	スーパー
			切削
	集塵サンダー		
石畳	洗浄	高压水洗浄	
グラウンド	土	剥ぎ取り	人力
			バックホウ
			モーターグレーダー+スーパー+バックホウ
			路面切削機
			スーパー
			改造型ハンマーナイフモア+スーパー
		天地返し	バックホウ
芝生	芝・土	剥ぎ取り	ターフストリッパー
			バックホウ
遊具	鉄製（ブレンコ、鉄棒）	拭き取り	拭き取り
		洗浄	高压水洗浄+拭き取り
			スチーム洗浄
	FRP製，プラスチック製（ブレンコ，滑り台）	拭き取り	拭き取り
		洗浄	スチーム洗浄
	木製（ウッドジム，ベンチ等）	拭き取り	拭き取り
		洗浄	スチーム洗浄
	ゴム製（ブレンコ）	拭き取り	拭き取り
ロープ（ブレンコ，ウッドジム）	拭き取り	拭き取り	
砂場	剥ぎ取り	表土剥ぎ取り	
法面	土	剥ぎ取り	人力
			バックホウ
プール	コンクリート	洗浄	高压水洗浄+デッキブラシ
	防水モルタル、防水塗装	洗浄	高压水洗浄
人工芝	ゴムチップ，目砂	除去	レノマチック

イ) 屋上

モデル実証事業で実施した大型建造物の屋上の床表面は、塗装やシートによる防水仕上げが施されるなど、表面が平滑である場合がほとんどであった。宅地の屋根と比較すると、屋上に上がることができる構造である場合が多く、足場の設置や高所作業車の利用が必要ない場合がほとんどであった。高所作業車や足場設置が必要な事例として、浪江町下津島中学校のような傾斜屋根が挙げられる。作業状況を図 2.4.2(1)①(b)Ⅱ-3～図 2.4.2(1)①(b)Ⅱ-5 に示す。

➤ 高圧水洗浄

15MPa を圧力の目安としたが、防水施工の保護の観点から 10 MPa 程度と低めの圧力により、高圧水洗浄を行った (図 2.4.2(1)①(b)Ⅱ-3)。

➤ 高圧水洗浄+デッキブラシ

①の後にデッキブラシ (硬質ナイロン) による人力でのブラッシングを行った (図 2.4.2(1)①(b)Ⅱ-4)。

➤ 高圧水洗浄+ポリッシャー

「高圧水洗浄+デッキブラシ」の作業効率を向上させる改良方法として、デッキブラシの代わりにポリッシャーによる洗浄を行った (図 2.4.2(1)①(b)Ⅱ-5)。



図 2.4.2(1)①(b)Ⅱ-3 高圧水洗浄実施状況



図 2.4.2(1)①(b)Ⅱ-4 ブラシ掛け実施状況



図 2.4.2(1)①(b)Ⅱ-5 ポリッシャー実施状況

ロ) 縦とい

大型建造物の屋根面積は大きいいため、降下した放射性物質の付着した土埃、落葉等が雨水によって移動し、雨水が集まる屋上の雨水排水孔口の周辺に集まることにより、ホットスポットとな

ると考えられる。また、地上の排水口につながる縦といは、放射性物質の付着した土埃等が雨水に伴って移動することにより内部に放射性物質が付着することが考えられたため、縦とい内を洗浄する特殊金具を装着し、準備した機材の関係で30MPaの水圧で縦とい内部の洗浄を実施した。除染水は、縦とい出口部からバキューム吸引により回収し、水処理を行った。作業状況を図2.4.2(1)①(b)Ⅱ-6～図2.4.2(1)①(b)Ⅱ-7に示す。



図 2.4.2(1)①(b)Ⅱ-6 特殊先端金具



図 2.4.2(1)①(b)Ⅱ-7 高圧水洗浄実施状況

ハ) 舗装

舗装には、アスファルト、コンクリート、インターロッキング、石畳等があり、材質に応じて除染技術を適用した。コンクリートについては、宅地の項「コンクリートたたき」に、アスファルトについては、道路の項に示す。スィーパーとショットブラスト（鉄球）について作業状況を図2.4.2(1)①(b)Ⅱ-8～図2.4.2(1)①(b)Ⅱ-10に示す。

➤ 高圧水洗浄

舗装面の状況や土砂等の飛散を考慮し、目安の15MPaより低い10MPa程度の圧力により、インターロッキング及び石畳について高圧水洗浄を行った。インターロッキングの隙間に介在する苔や土砂等は、高圧水により完全に除去できたが、洗浄水に含まれる放射性物質を含んだ苔や土砂等の飛散による汚染の拡大防止のための処置が必要である。洗浄水は、インターロッキングの隙間に浸透し、回収は困難であった。

➤ 回収型高圧水洗浄

回収型高圧洗浄機によるインターロッキング舗装の除染効果の確認を行った。表面だけでなくインターロッキングの溝の苔や土砂等を除去することができ、線量は大きく低減した。洗浄水及び洗浄水に含まれる放射性物質を含んだ苔や土砂等を回収することから、通常の高圧洗浄よりも低減率が上がると考えられる。インターロッキングだけでなく、土間など他の場所にも適用できると考えられる（図2.4.2(1)①(b)Ⅱ-8）。

➤ スィーパー

乗用型のスィーパーにより、乾燥状態でインターロッキング表面に付着している土砂を回収することによる除染を行った（図2.4.2(1)①(b)Ⅱ-9）。本手法は本格的な除染の前処理として表面清掃の位置づけで行っておくことが妥当と考える。

➤ ショットブラスト（鉄球）

ショットブラスト（鉄球）により、インターロッキングブロックの表面切削を行った。表面の切削が可能となったが、インターロッキングの目地に介在する苔や土砂等の部分については、目地なしに比べて明らかに表面密度の低下が鈍いことから鉄ベラによる人力掻き出しが必要と

なった（図 2.4.2(1)①(b)Ⅱ-10）。端部や隅部のように作業のし難い場所がある場合は、集塵サンダー等を用いた人力作業で補完していくことが考えられる。

➤ 集塵サンダー

建物の近傍や駐車場の車止め周辺などショットブラスト機が入れないような狭小スペースでの除染手法として、集塵サンダーによるインターロッキングの表面切削を行った。切削により発生した粉塵は集塵サンダーに接続された真空ホースにより吸引回収し、HEPA フィルターを通して排気した（図 2.4.2(1)①(b)Ⅱ-11）。



図 2.4.2(1)①(b)Ⅱ-8
回収型高圧水洗浄実施概要



図 2.4.2(1)①(b)Ⅱ-9 スイーパー実施状況



図 2.4.2(1)①(b)Ⅱ-10
ショットブラスト（鉄球）実施状況



図 2.4.2(1)①(b)Ⅱ-11
集塵サンダー実施状況

ニ) グラウンド

グラウンドの表面を、各種機械等を用いた剥ぎ取りの除染技術を適用した。作業状況を図 2.4.2(1)①(b)Ⅱ-12～図 2.4.2(1)①(b)Ⅱ-17 に示す。

➤ 人力

グラウンド周辺部の仕上げ、境界部等の重機での表土剥ぎ取りが困難な箇所、テニスコートフェンス、遊具や樹木の周辺等は、人力により剥ぎ取った。きめ細やか、丁寧な剥ぎ取りが可能ではあるが、作業能率が悪いことと、それにより作業時間が長くなり、作業員の被ばくリスクが他の方法に比べて高いことが課題となる。

➤ バックホウ（剥ぎ取り）

平爪のバックホウによって剥ぎ取りを行った。剥ぎ取り厚さや精度はモーターグレーダーや人力よりも劣るが、モーターグレーダーの入れない狭い場所では、人力よりも効率的であるが、剥ぎ取りが厚くなることにより、除去物量が多くなる傾向がある（図 2.4.2(1)①(b)Ⅱ-12）。

➤ バックホウ（天地返し）

砂や砂利による排水層を土壌中に施工していない空地や未舗装駐車場等において、施工範囲の半区画について、土壌中のセシウムの 90%以上を含むと考えられる表層 10cm 程度を平爪のバックホウで剥ぎ取り、残りの半区画のビニールシート上に仮置きした。下層土を 20 cm 程度剥ぎ取り、表土とは別の場所に仮置きした。表土を埋戻し後、下層土を埋め戻す。残りの半区画について同じ作業を繰り返した（図 2.4.2(1)①(b)Ⅱ-13）。

➤ モーターグレーダー+スーパー+バックホウ

平らで広いグラウンドに適用でき、表面の凹凸がある場合は、事前に振動ローラー等による地ならしを行った後にモーターグレーダーとスーパーを併用することで剥ぎ取りの精度が高くなる。掻き取った表土を溢散させず、取り残しを防ぐために、すべて丁寧にバックホウで除去することが重要である（図 2.4.2(1)①(b)Ⅱ-14）。

➤ 路面切削機

広い面積を効率よく剥ぎ取ることが可能ではあるが、重機幅が大きいのでグラウンド境界部の剥ぎ取りには不向きである。場所によっては硬軟にばらつきが有り、実際の切削深さにもばらつきが生じたことから、土壌表面が柔らかい場合は剥ぎ取りを確実にを行うために、事前に振動ローラー等によって、他の箇所と同様な硬さとなるように締め固めたのちに剥ぎ取りを行った。また、均一に凍結したグラウンドにおいてモーターグレーダーの適用が困難な場合でも、路面切削機を使用することで、効率的に凍結した表土を切削除去することが可能であった（図 2.4.2(1)①(b)Ⅱ-15）。

➤ スーパー

乗用型のスーパーにより、グラウンド表面の土砂を掻きとるように剥ぎ取りを行った。グラウンド表面が固い場合は、剥ぎ取り厚さが薄くなり施工性が悪くなった（図 2.4.2(1)①(b)Ⅱ-16）。

➤ 改造型ハンマーナイフモア+スーパー

スーパーのみでは、剥ぎ取り効率が悪いので、改造型のハンマーナイフモア（草刈り機の軸をずらすことにより表土のぼぐしを行えるよう改造したもの）により、事前にグラウンド表面をぼぐし、その後スーパーにより掻き取った。一度に剥ぎ取る事のできる厚さは 1cm 程度であり、目標剥ぎ取り厚さとなるまで複数回走行する必要がある。今回のモデル事業では 3 回走行を行った。薄く剥ぎ取りができ、除去物の発生量を抑制することができるが、施工スピードが遅いため、大面積への適用は適さないと考えられる（図 2.4.2(1)①(b)Ⅱ-17）。



図 2.4.2(1)①(b) II-12
バックホウ実施状況



図 2.4.2(1)①(b) II-13
天地返し実施状況



図 2.4.2(1)①(b) II-14 モーター
グレーダー+スーパー実施状況



図 2.4.2(1)①(b) II-15
路面切削機実施状況



図 2.4.2(1)①(b) II-16
スーパー実施状況



図 2.4.2(1)①(b) II-17
改造型ハンマーナイフ
+スーパー実施状況

ホ) 芝生

「2.4.2(1)①(b) I 宅地」の項において、庭等の比較的小スペースで適用可能な除染方法について示したが、ここでは芝生公園等の広大なスペースで適用可能な除染方法について記す。

除染方法としては、サッチ層に加え表土の剥ぎ取り（数 cm 程度）まで剥ぎ取り厚さを調整できるターフストリッパーを用いた除染（図 2.4.2(1)①(b) II-18）、ターフストリッパーと比較して剥ぎ取り厚さの調整が難しいバックホウを用いた除染（図 2.4.2(1)①(b) II-19）を実施した。



図 2.4.2(1)①(b) II-18
ターフストリッパー実施状況



図 2.4.2(1)①(b) II-19
バックホウ実施状況

へ) 遊具

遊具の材質は、鉄製、FRP 製、木製、ゴム製、ロープ、砂場などがあり、拭き取り、スチーム洗浄、高圧水洗浄+拭き取り、表土剥ぎ取りなどの除染技術を適用した。作業状況を図 2.4.2(1)①(b) II-20～図 2.4.2(1)①(b) II-21 に示す。

➤ 拭き取り

紙タオル等によりふき取りを行った。鉄の錆部分はワイヤブラシで研磨した(図 2.4.2(1)①(b) II-20)。

➤ スチーム洗浄

拭き取りで除去効果が見られなかった部位について、スチームをかけその後紙タオルでふき取りを行った(図 2.4.2(1)①(b) II-21)。

➤ 高圧水洗浄+拭き取り

洗浄水の過度な拡散を防ぐため、5MPa 程度の圧力で高圧水洗浄を行い、紙タオルで拭き取った。遊具の洗浄水に含まれる放射性物質を含んだ錆、土埃等の回収は困難であるため、洗浄後に周辺の表土を剥ぎ取ることによって回収した。

➤ 表土剥ぎ取り

バックホウと人力の併用により、砂場の表土を 5cm 程度剥ぎ取った。



図 2.4.2(1)①(b) II-20
拭き取り実施状況



図 2.4.2(1)①(b) II-21
高圧スチーム実施状況

ト) 法面

法面は、剥ぎ取りによる除染技術を適用した。剥ぎ取り作業状況を図 2.4.2(1)①(b) II-22～図 2.4.2(1)①(b) II-23 に示す。

➤ 人力

重機が入ることが困難である場合や小規模な法面の場合は、人力により鋤簾、鉄レーキ等を用いて 3cm～10cm の深さで法面の剥ぎ取りを実施した。急峻な法面の場合、表土剥ぎ取りによって法面の崩壊を助長する可能性があるため、法面の安定性を極力損なわないように、草類の根茎を残す形で表土を鋤取る方法として、鉄レーキや腰の強い熊手により掻き取るように剥ぎ取りを行った（図 2.4.2(1)①(b) II-22）。

➤ バックホウ

バックホウにより約 10cm 程度の深さで法面の剥ぎ取りを行った（図 2.4.2(1)①(b) II-23）。



図 2.4.2(1)①(b) II-22 人力剥ぎ取り実施状況 図 2.4.2(1)①(b) II-23 バックホウ剥ぎ取り状況

チ) プール

プールエリアの除染方法とその効果については、高圧水洗浄を基本とし、プールサイドのコンクリート面についてはデッキブラシを併用した。作業状況を図 2.4.2(1)①(b) II-24～図 2.4.2(1)①(b) II-25 に示す。

➤ 高圧水洗浄

プール層内部の壁面及び底面について、プール水及び汚泥等の堆積物を処理した後、高圧水洗浄を実施した。圧力は、15MPa を圧力の目安としたが対象物の状況により、5 Mpa～25 MPa の範囲で調整した。洗浄後は洗浄した汚染水がプールの排水孔から流れ出さないよう注意し、バキュームもしくはポンプでくみ上げて水処理施設に移送した。防水モルタル層等が劣化している場合にはそれらを傷つける危険性があることから、洗浄圧力を 5 MPa 程度の低い圧力として洗浄した（図 2.4.2(1)①(b) II-24）。

➤ 高圧水洗浄+デッキブラシ

コンクリートの打ち放し仕上げとなっているプールサイド（表面滑り止め処理）について、高圧水洗浄とデッキブラシを併用して洗浄を行った（図 2.4.2(1)①(b) II-25）。プール層内部と同様に、洗浄水はすべて回収して、プールの排水口から流出しないよう注意しながら行った。



図 2. 4. 2(1)①(b) II-24
プール槽除染状況 (防水塗装処理)



図 2. 4. 2(1)①(b) II-25
プールサイド除染状況
(コンクリート打ちっばなし)

リ) 人工芝

広野町中央台・苗代替地区のフットサルコート (約 4,500m²) 及びテニスコート (約 3,000m²) において人工芝に対する除染を実施した。

今回の除染では、前述のゴムチップや目砂などの充填層を各コートから除去し、新しい充填層を敷設することとした。充填層は、1層 5mm を単位として除去作業を実施し、その都度、モニタリングを実施し、除染効果を確認した。人工芝自体は比較的新しく洗浄などの行為をとることで損傷する可能性が高いことから、特段の作業は行わないこととした。

充填層の除去には、レノマチック (図 2. 4. 2(1)①(b) II-26) を使用した。本機材は、除去したい厚さだけ充填層を回収できるとともに、除去作業と並行して、除去物をフレキシブルコンテナバックに回収することができる。回復作業も含めた作業手順を図 2. 4. 2(1)①(b) II-27 に示す。



図 2. 4. 2(1)①(b) II-26 レノマチックによる人工芝の充填層の除染

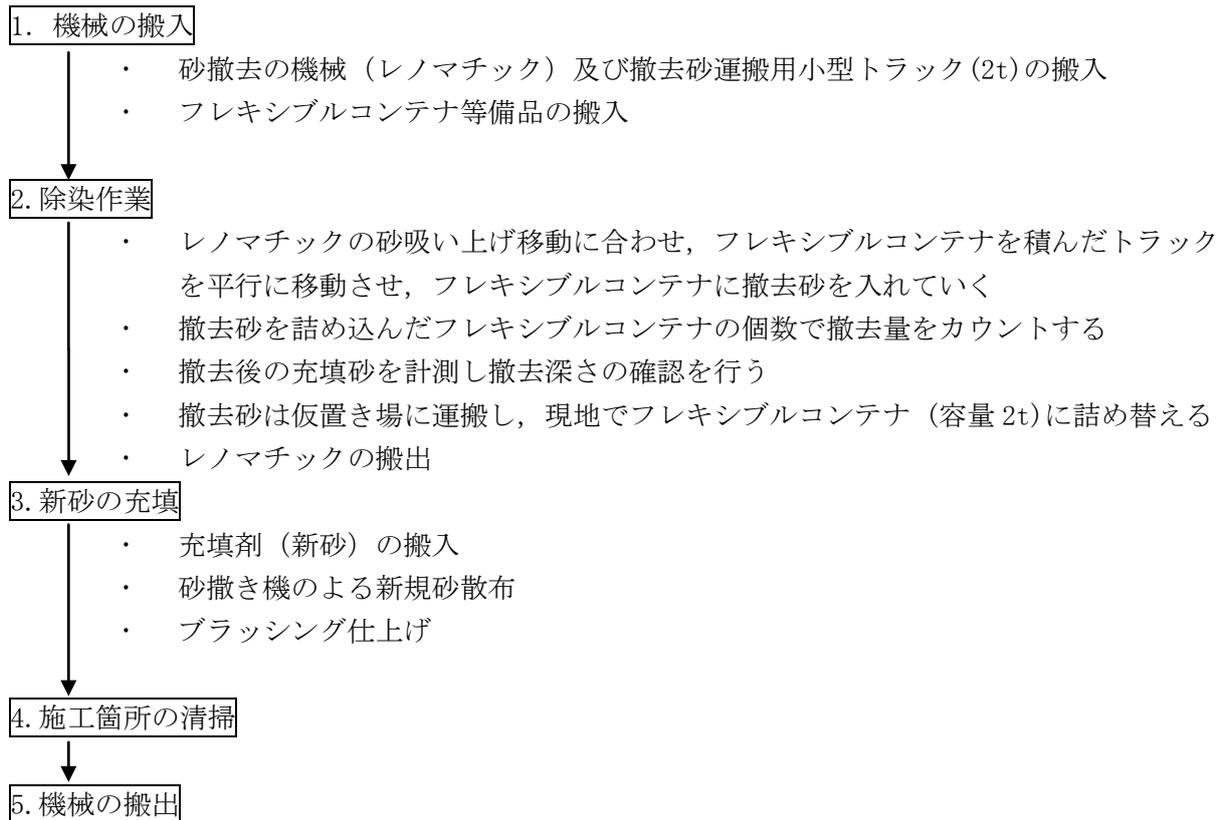


図 2.4.2(1)①(b)Ⅱ-27 作業手順

ii-2) 除染作業の結果と評価

除染によって得られた低減率等を各除染箇所ごとに整理し取りまとめた。大型構造物を除染する場合は、個別の人工構造物が主な対象となることから、除染エリアが狭く、人工構造物の周囲からの放射線の影響が大きくなる場合があると考えられる。そこで、除染対象物への除染効果を直接的に把握するために、表面密度の測定結果を用いて評価を行うこととした。以下に、大型構造物の部位・場所ごとの除染結果を示す。

イ) 屋上

実施した3つの除染方法について、作業方法別の低減率を計測した。その結果を表2.4.2(1)①(b)Ⅱ-3に整理した。

高圧水洗浄の結果は、汚染状況や防水仕上げの状況によって低減率に差がみられた。

防水塗装・防水シートの高圧水洗浄の結果は、高濃度汚染地域である大熊町の結果(低減率=93%)を除くと、低減率は33~83%となり、デッキブラシによる人力除染、ポリッシャーを用いた除染と顕著な低減率の違いは見られず、除染手法による除染効果の違いについては、大熊町の例を除くと除染効果に顕著な違いは見られなかった。

コンクリート・モルタル仕上げの場合、高圧水洗浄に加えデッキブラシによる除染を行うことにより、低減率の幅が小さくなる傾向が見られた。これは、コンクリート等の表面に付着して高圧水洗浄で除去しきれなかった放射性物質が擦り取られたことにより低減率が平均化したと推定される。

アスファルト仕上げについては、高圧水洗浄により最大で67%の除染効果が得られた。アスファルト仕上げの屋根については、防水仕上げの損傷が懸念されたことからデッキブラシ、ポリッシャーと高圧水洗浄との併用は行わなかった。

防水塗装・防水シートとコンクリート・モルタルとアスファルトのそれぞれに対して高圧水洗浄を適用した場合の低減率を比較すると、防水仕上げによる顕著な低減率の違いは見られなかった。

表 2.4.2(1)①(b)Ⅱ-3 屋上除染における除染効果(低減率(%))

材質	種別	適用技術	低減率
防水塗装・防水シート	洗浄	高圧水洗浄	33~93%*1
		高圧水洗浄+デッキブラシ	14~54%
		高圧水洗浄+ポリッシャー	13~81%
コンクリート・モルタル	洗浄	高圧水洗浄	28~77%
		高圧水洗浄+デッキブラシ	46~66%
		高圧水洗浄+ポリッシャー	34~58%
アスファルト	洗浄	高圧水洗浄	50~67%

*1: 大熊町の例

ロ) 縦とい

縦とい洗浄における低減率は11~69%と幅が見られた。評価にあたっては、縦とい内部の除染効果を直接計測することは困難であったため、縦といの入口と出口部分での表面密度(1cm, コリメータ無)の計測値を用いて低減率を計測した。計測した低減率の結果を表2.4.2(1)①(b)Ⅱ-4に示す。縦とい入口、出口部分の除染前の汚染状況(約12,000cpm~約25,000cpm)は場所によって差がでているが、除染後の汚染状況(約8,000cpm~約11,000cpm)にはあまり差がでておらず、

これが低減率に幅が見られた要因と考える。

今回のモデル実証事業においては、事前モニタリングの際の足場等の準備が間に合わなかったことから縦といについて詳細に汚染状況を把握できなかったが、縦といの除染については、除染の効果がどの程度かを含めて実施の要否を検討するため、適切な汚染状況の確認を行う必要がある。

表 2.4.2(1)①(b)Ⅱ-4 縦といにおける除染効果 (低減率 (%))

場所	種別	適用技術	低減率
学校校舎	洗浄	高圧水洗浄 (30MPa)	11%
体育館			69%

ハ) 舗装

実施した6つの除染方法について、作業方法別の低減率を計測し、その結果を表2.4.2(1)①(b)Ⅱ-5に示す。

表 2.4.2(1)①(b)Ⅱ-5 舗装除染における除染効果 (低減率 (%))

材質	種類	適用技術	低減率
インターロッキング	洗浄	高圧水洗浄	33~54%
		回収型高圧水洗浄	86%
	清掃	スーパー	0~18%
	切削	ショットブラスト (鉄球)	38~71%
集塵サンダー		32~54%	
石畳	洗浄	高圧水洗浄	71%

インターロッキングに対する洗浄では、高圧水洗浄に比べて回収型高圧水洗浄が80%以上と高い低減率となった。これは、洗浄水とともに放射性物質を含んだ目地の苔や土砂等を真空で回収することにより、低減率が高くなったと推定できる。目地に苔や土砂等のほとんどない石畳の高圧水洗浄については、インターロッキングの高圧水洗浄に比べて高い低減率となっている。

スーパーによる清掃では、インターロッキングの隙間に介在する苔や土砂は取り除けず、低減率も最大で18%と低い値となった。

ショットブラスト (鉄球) については、高圧水洗浄に比べてやや高い低減率となったが、インターロッキングの隙間の深部に存在する苔や土砂等に対してはショットブラストの切削効果がない場合もあった。一方で、インターロッキングの隙間に存在するコケや土が、ショットブラスト (鉄球) のバキュームラインを閉塞させる事象も発生した。したがって、インターロッキングの隙間部分については、別途鉄ベラによる人力掻き出しや高圧水洗浄が必要と考えられる。

集塵サンダーを用いた切削による除染については、ショットブラストと同様にインターロッキングの隙間に介在する苔や土砂等に対しては効果がなく、人力による施工によるムラ、施工誤差等によりショットブラスト (鉄球) よりやや低い低減率となったと推定される。

ニ) グラウンド

実施した7つの除染方法について、作業方法別の低減率を計測し、その結果を表2.4.2(1)①(b)II-6に示す。

表2.4.2(1)①(b)II-6 グラウンド除染における除染効果(低減率(%))

対象	種別	適用技術	施工条件	低減率
土	剥ぎ取り	人力	剥取厚 2cm	56%
		バックホウ	剥取厚 2cm	82%
			5cm	71~83%
			6cm	76~83%
		モーターグレーダー+スーパー+バックホウ	剥取厚 3cm	90%
		路面切削機	剥取厚 2cm	78%
	3cm		92%	
スーパー	剥取厚 1~2cm	16~71%		
改造型ハンマーナイフモア+スーパー	剥取厚 2.8cm	93%		
天地返し	バックホウ	上層 10cm 下層 20cm	81~84%	

表土の剥ぎ取りによる除染効果については、剥ぎ取り厚さと低減化の関係を調べたが、剥ぎ取り方法による違いは顕著に見られなかった(図2.4.2(1)①(b)II-28)。今回の除染モデル実証事業では、事前の土壌分析結果を基に剥ぎ取り厚さを決定して除染作業を実施したことにより、高い除染効果が確認された。人力による剥ぎ取りでは、他の方法に比べて低い低減率であったが、これは剥ぎ取り厚さの目安を作業員間で共有させることが十分ではなかったことによるものと推測される。今後の本格除染においても、事前の土壌調査によるセシウムの深度分布を踏まえて除染効果が十分得られる剥ぎ取り厚さを決定し、実施面積や剥ぎ取り厚さを踏まえた最適な施工性が実現できる除染方法を選定する必要がある。

薄層で剥ぎ取る必要がある場合は、1cm程度で剥ぎ取りを管理できる改造型ハンマーナイフモア(土壌のほぐし)とスーパー(ほぐされた土壌の回収)による剥ぎ取りが効果的であった。大面積を除染する場合は、切削幅が広い路面切削車による剥ぎ取りが効率的であり、剥ぎ取り厚さが均質に仕上がる利点がある。但し、路面切削車などの大型重機が重いため、表面が柔らかいグラウンドの場合は事前に振動ローラーで大型重機が走行できる程度に締め固めたのちに適用することが必要である。また、大型重機での作業が困難なグラウンドの境界部では、人力やバックホウの剥ぎ取りを併用する必要がある。

寒冷地の凍結した土壌においては、事前の調査による放射性セシウムの深度分布を踏まえて決定された剥ぎ取り厚さでの剥ぎ取りができず、それ以上の厚さの土壌を剥ぎ取らざるを得ない場合があった。また、凍結した土壌が日中融けると、土壌が緩んで重機を使用した施工ができなくなる事象も見られた。

排水処理が施されているグラウンドでは、天地返しを適用すると、排水処理の施工部分を壊してしまう可能性があることから、天地返しは適用できないが、排水処理が施されていない未舗装駐車場や空き地などでは、天地返しによる除染が効果的であった。施工スピードは剥ぎ取りに比

べて劣るものの、剥ぎ取り残し・剥ぎ取りこぼしが極めて少ない、除染エリア外へ搬出する除去物が発生しない等のメリットがある。

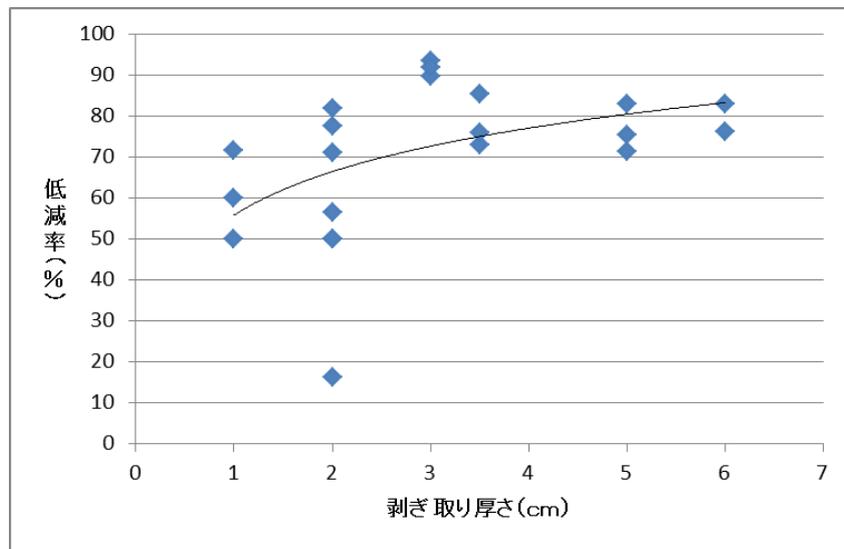


図 2.4.2(1)①(b) II-28 剥ぎ取り厚さと低減率の関係 (天地返し除く)

ホ) 芝生

芝生の除染に適用した技術と除染結果を表 2.4.2(2)①(b) II-7 に示す。ターフストリッパーを用いた芝および表土 (約 3cm 程度) の剥ぎ取りによる表面密度の低減率は約 45%であった。一方、バックホウを用いた芝および表土 (約 5~10cm 程度) の剥ぎ取りによる表面密度の低減率は約 60~90%であった。なお、芝の根を残すためにバックホウによるサッチ層までの剥ぎ取りを試行したものの、除染効果が低かったために最終的には表土までを含めた剥ぎ取りを実施したケースがある。

ターフストリッパーは、剥ぎ取り厚さを一定に調整できる利点を有するものの、剥ぎ取り表面が軟弱な場合や小石混じりの場合には十分な性能が発揮されないことがあった。また、樹木等の支障物のある箇所や狭隘な箇所においては施工が不可能であった。

機械の汎用性を勘案すると広大な面に対する芝の剥ぎ取りに当たっては、バックホウによる剥ぎ取りが主たる除染方法となることが考えられる。また、サッチ層までの剥ぎ取りでは除染効果が低かった事例があったことから、芝および表土のどの程度の深さまで放射性物質が浸透しているか確認しつつ剥ぎ取りを行うことが効率的である。

表 2.4.2(1)①(b) II-7 芝生における除染効果 (低減率 (%))

場所	種別	適用技術	低減率
大型芝地	剥ぎ取り	ターフストリッパーによる芝・表土の剥ぎ取り (芝および表土の剥取厚: 約 3cm 程度)	45%
		バックホウによる芝・表土の剥ぎ取り (芝および表土の剥取厚: 約 5~10cm 程度)	59~93%

へ) 遊具

実施した除染方法について、作業方法別の低減率を計測し、その結果を表 2.4.2(1)①(b) II-8 に示す。

鉄製等の金属部位は、ふき取りによる顕著な効果は見られず、スチームをかけても除染効果は上がらなかった。木製の遊具については、ふき取りでは顕著な除染効果が見られなかったが、スチーム洗浄を適用することで低減率が 60%を超えるような事例がみられた。プラスチック製の遊具については、スチームをかけることで約 60%程度の低減率が得られた。高圧水洗浄は、鉄などの金属には最大 65%程度の除染効果が見られたが、洗浄水に含まれる放射性物質を含んだ錆、土埃等の飛散による二次汚染を防止するための処理が必要となった。

砂場の表土剥ぎ取りについては、5cm 程度を剥ぎ取り、50%程度の除去率が得られた。

表 2.4.2(1)①(b) II-8 遊具除染における除染効果 (低減率 (%))

材質	種別	適用技術	低減率
鉄製 (ブランコ, 鉄棒, うんてい)	拭き取り	拭き取り	0~35%
	洗浄	高圧水洗浄	0~65%
		スチーム洗浄	0%
FRP 製, プラスチック製 (ブランコ, 滑り台)	拭き取り	拭き取り	0~20%
	洗浄	スチーム洗浄	60%
木製 (ウッドジム, ベンチ等)	拭き取り	拭き取り	0~24%
	洗浄	スチーム洗浄	6~69%
ゴム製 (ブランコ)	拭き取り	拭き取り	0%
ロープ (ブランコ, ウッドジム)	拭き取り	拭き取り	0%
砂場	剥ぎ取り (5cm)	剥ぎ取り	50%

ト) 法面

実施した除染方法について、作業方法別の低減率を計測した。その結果を表 2.4.2(1)①(b) II-9 に整理した。

表 2.4.2(1)①(b) II-9 法面除染における除染効果 (低減率 (%))

対象	種別	適用技術	施工条件	低減率
法面	剥ぎ取り	人力	剥ぎ取り厚 3~10cm	53~78%
		バックホウ	剥ぎ取り厚 10cm	92%

法面の剥ぎ取り効果については、事前調査により剥ぎ取り厚さを決定する必要があるが、急峻な法面の場合、剥ぎ取り厚さを深くし、草類の根茎を除去した場合は法面の安定性を損なう可能性があるため、鋤簾、鉄レーキ等による落ち葉と表層土の掻き取りに留め、草類の根茎を残すなどの法面の安定性について考慮する必要がある。

また、学校校舎の裏山の法面など、長大な法面については、コンクリート二次製品によるフレーム工法により斜面安定が図られている場合が多い (図 2.4.2(1)①(b) II-29)。さらに、フレー

ムの枠内に緑化のための植栽土のうが充てんされている場合は、植栽土のうに付着した放射性物質の影響が想定されるため、試験的に枠内の植栽土のうを一部完全に除去した場合の除染効果について検証を行った。植栽土のうの除去（土のう厚 15 cm）による低減率は 90% を超える効果が確認された（図 2.4.2(1)①(b) II-30）。ただし、法面の設計においては、法枠内に充填された植栽土のうのもたれ荷重を考慮している場合があり、今回の除染作業においては、植栽の撤去箇所に新たな植栽土のうを設置した。植栽土のうを撤去する必要がある場合は、法面設計の考え方を確認した上で、法面の安定を損なわない処置を考慮する必要がある。



図 2.4.2(1)①(b) II-29 大型法面草刈り状況



図 2.4.2(1)①(b) II-30

法枠内植栽土のう除去状況

チ) プール

今回のモデル実証事業でのモニタリング結果においては、プール槽壁面・底面の表面密度はプールサイドに比べて低い値を示していた。これは、もともとプール内部に水が入っていたため、空中から飛来した放射性セシウムが付着した塵などが直接付着しなかったこと、防水塗装により水溶性であるセシウムが内面の壁面にはほとんど固着していなかったことなどの理由が推定される。

今回のモデル実証事業で実施した除染方法について、作業方法別の低減率を計測し、その結果を表 2.4.2(1)①(b) II-10 に示す。

表 2.4.2(1)①(b) II-10 プール除染における除染効果（低減率（%））

材質	種別	適用技術	低減率
プールサイド (コンクリート)	洗浄	高圧水洗浄＋デッキブラシ	63～68%
プールサイド (防水塗装)	洗浄	高圧水洗浄	90%
プール槽 (防水モルタル)	洗浄	高圧水洗浄	18%
プール槽 (防水塗装)	洗浄	高圧水洗浄	63～97%

防水塗装を施したプールサイド、プール槽の場合、高圧水洗浄のみで高い除染効果が確認された。防水モルタルの場合は、高圧水洗浄のみでは高い除染効果は見られなかった。これは、当該

プールの防水モルタルの内壁については、高圧水洗浄の水圧による防水機能の喪失が懸念されたことから、水圧を約 5MPa 程度に低く設定して実施し、デッキブラシの併用も適用しなかったことによると考えられる。プールサイドでのコンクリート面における高圧水洗浄と人力でのデッキブラシによるブラッシングを併用した場合は、低減率=60%程度の除染効果が得られた。

リ) 人工芝

充填層の除去の進行による各コート上のモニタリングポイントの線量率、表面密度の変化を図 2.4.2(1)①(b)Ⅱ-31 および 2.4.2(1)①(b)Ⅱ-32 に示す。フットサルコートにおいては、充填層を約 25mm 除去することで、表面線量率は約 60%、空間線量率は約 55%、表面密度は約 70%低減した。一方、テニスコートでは、充填層約 10mm の除去により、それぞれ約 65%、約 60%、約 50%低減した。また、表面線量率、空間線量率については、除去厚さが増すほど値は直線的に減少していることから、ごく表面を除けば充填物中の放射性物質濃度の深さ依存性は小さく、均一に近い濃度であると推測できる。従って除去厚さが増すほど除染効果は上がるが、残留する充填物の厚さが 9mm 以下になると、砂を掻き出すための爪でマットを損傷する可能性が高くなる等の施行上の理由から、フットサルコート：25mm、テニスコート：10mm を除去厚さの限界とした。その後、新しい充填物を敷設し現状復旧を行ったところ、両コート上の線量率、表面密度はさらにやや低減した（図 2.4.2(1)①(b)Ⅱ-31 および図 2.4.2(1)①(b)Ⅱ-32）。

以上のことから、人工芝においては、汚染された充填層（ゴムチップや目砂）を除去することで、高い除染効果が得られることが明らかとなった。

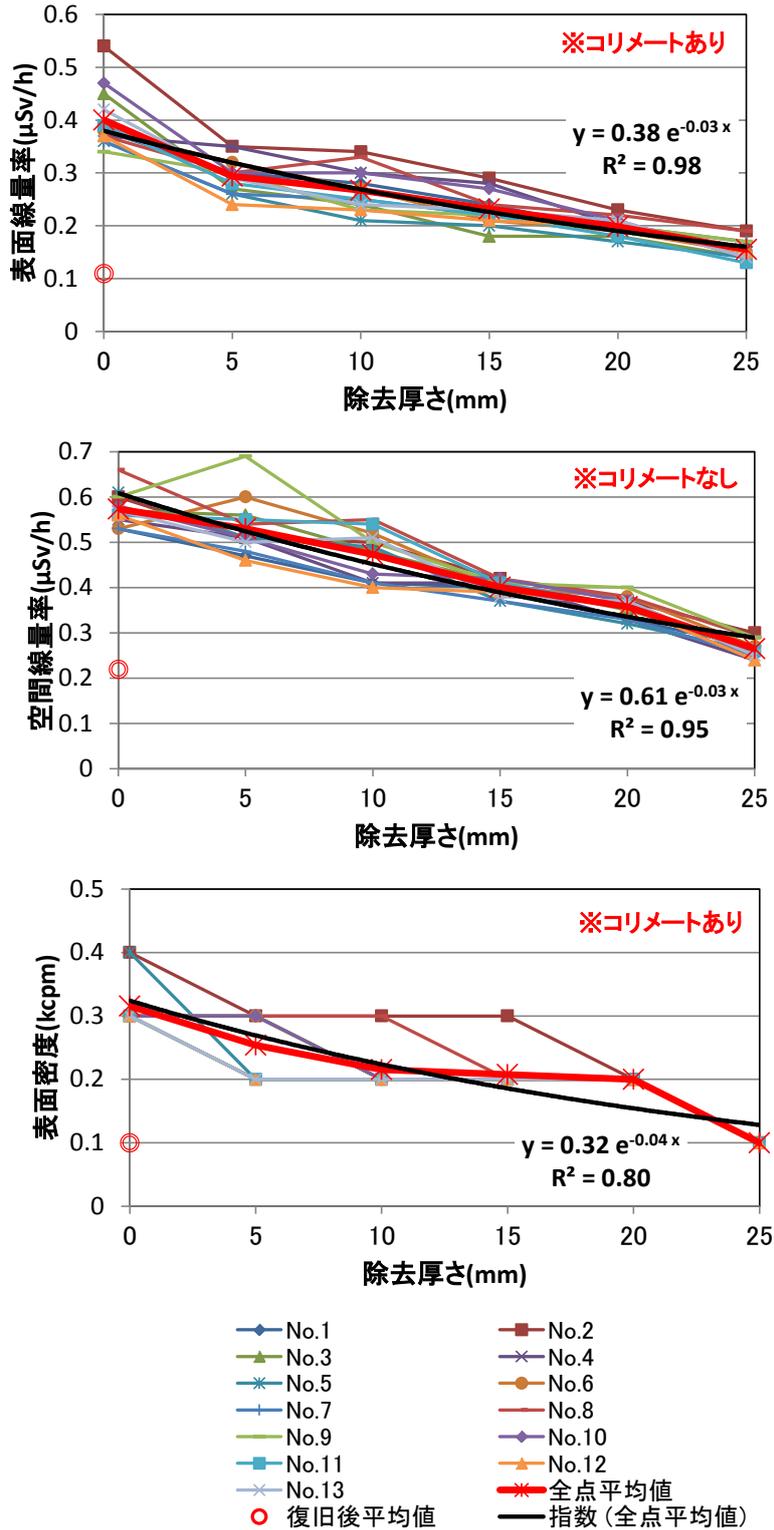
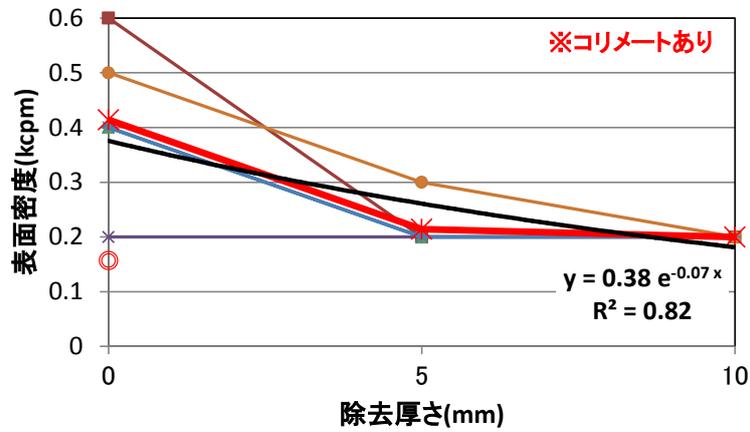
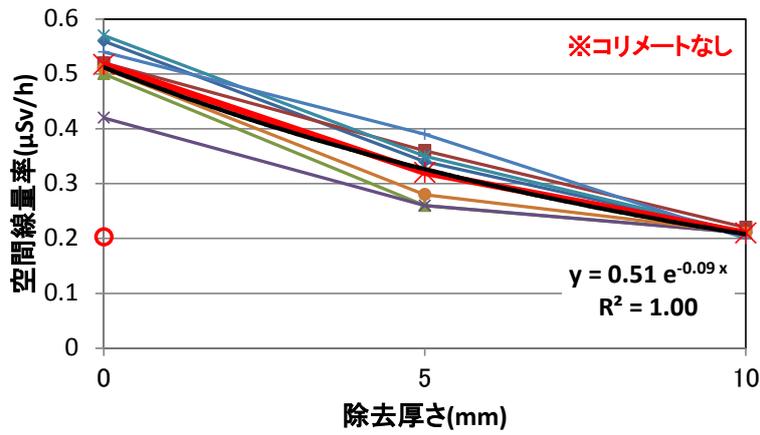
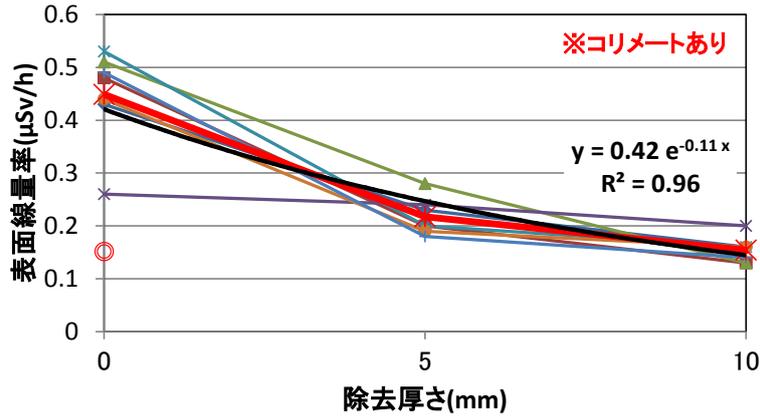


図 2.4.2(1)①(b) II-31 フットサルコート除染効果測定結果



- No.1
- No.2
- No.3
- No.4
- No.5
- No.6
- No.7
- 復旧後平均値
- 全点平均値
- 指数(全点平均値)

図 2.4.2(1)①(b)Ⅱ-32 テニスコート除染効果測定結果

III 農地

i) 放射性物質の付着・残留状況

農地の除染に際し、事前に土壌サンプリングを行い、次のような結果が得られた。

- ・ 地表面～深さ約 5cm 間に 80%以上の放射性セシウムが付着・残留する傾向があった。
- ・ 事故直前に田起こししている農地では、田起こししていない農地よりも深くまで放射性セシウムが浸透しており、トラクターの轍等の凹凸により濃度分布がばらついていた。
- ・ 耕作対象物による分類（田，畑，果樹園）による放射性セシウムの付着・残留傾向に顕著な違いは見られなかった。

事故直前に田起こししていない農地の放射性セシウム濃度分布を図 2.4.2(1)①(b) III-1 に、事故直前に田起こした農地の放射性セシウム濃度分布を図 2.4.2(1)①(b) III-2 に示す。

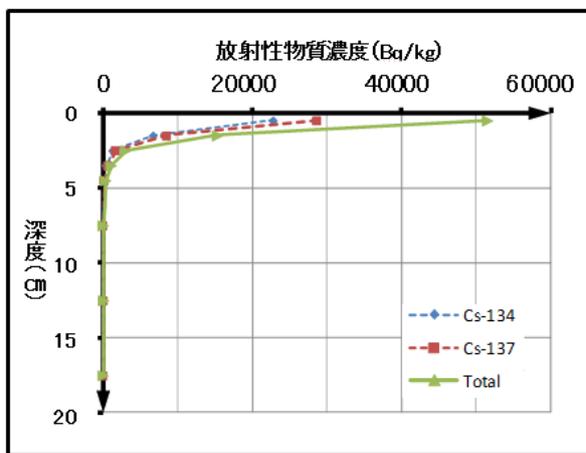


図 2.4.2(1)①(b) III-1 事故直前に田起こししていない農地の放射性セシウム濃度分布

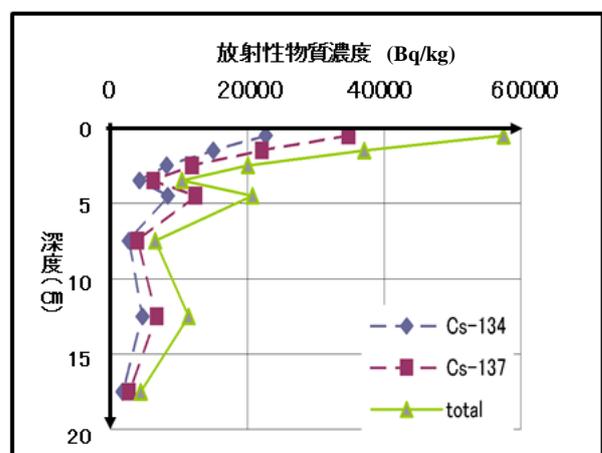


図 2.4.2(1)①(b) III-2 事故前 (H23 年 2 月頃) に田起こした農地のセシウム濃度分布

ii) 除染作業内容

ii-1) 除染対象の概要

11 市町村 18 地区のなかで「農地」を対象としたのは、9 市町村 10 地区である。

本事業では、「農地土壌の放射性物質除去技術（除染技術）について（平成 23 年 9 月 14 日）」（農林水産省，2011）を参考に、上述の放射性セシウムの付着・残留傾向や対象農地の汚染程度等を考慮して「表土剥ぎ取り」，「固化剤散布による表土剥ぎ取り」，「反転耕」，「天地返し」，「攪拌耕」を適用した。

除染対象の農地は、耕作物から「田」・「畑」・「果樹園」の 3 種類に分類できる。一部の「畦道」についても除染を行った。

ii-2) 除染方法

表 2.4.2(1)①(b)Ⅲ-1 に、農地への除染技術の適用結果を示す。

表 2.4.2(1)①(b)Ⅲ-1 農地において適用した除染技術一覧

除染手法	除染対象	除染方法
草刈り（除染作業の前処理として実施）	農地共通	・人力またはハンマーナイフモア等の機械による草刈り
表土剥ぎ取り	田	・バックホウによる表土剥ぎ取り ・ブルドーザーによる表土剥ぎ取り ・ターフスライサーによる表土剥ぎ取り
	畑	・バックホウによる表土剥ぎ取り ・人力による表土剥ぎ取り（畝がある場合等）
	果樹園	・バックホウ及び人力による表土剥ぎ取り
	畦道・法面	・人力による表土剥ぎ取り ・バックホウによる表土剥ぎ取り
薄層表土剥ぎ取り機による表土剥ぎ取り	畑	・薄層表土剥ぎ取り機による表土剥ぎ取り
固化剤散布による表土剥ぎ取り	田	・マグネシウム系固化剤散布による表土剥ぎ取り（バックホウによる表土剥ぎ取り） ・マグネシウム固化剤散布による表土剥ぎ取り（固化土壌分離回収機による表土の剥ぎ取り及び回収）
	畑	・セメント系固化剤散布による表土剥ぎ取り（バックホウによる表土剥ぎ取り）
反転耕	田	・プラウによる反転耕
	畑	・プラウによる反転耕
天地返し	田	・バックホウによる表層土と下層土の入れ替え
攪拌耕	田	・耕運機による攪拌耕
	畑（ビニルハウス内）	・小型耕運機による攪拌耕

以下に各除染手法の概要を示す。

イ) 草刈り

農地除染の前処理として「草刈り」を実施した。

草刈りは、肩掛け式草刈り機や鎌等を用いた人力、またはハンマーナイフモア等の機械により実施した。刈り取った下草類は、熊手、鋤簾等を使用して集積した後、フレキシブルコンテナに詰め込んだ。作業状況を、図 2.4.2(1)①(b)Ⅲ-3 と図 2.4.2(1)①(b)Ⅲ-4 に示す。



図 2.4.2(1)①(b) III-3 人力による草刈り 図 2.4.2(1)①(b) III-4 ハンマーナイフモアによる草刈り

ロ) 表土剥ぎ取り

i) に示したように事故直前に田起こししていない農地では、放射性セシウムによる汚染の多くが地表面から深さ 5 cm 程度の表土にとどまっていることから、表土を削り取る「表土剥ぎ取り」を実施した。

作業は草刈り後、表土の剥ぎ取り、剥ぎ取った表土のフレキシブルコンテナへの詰め込みの順で実施した。剥ぎ取る表土の厚さは、事前の土壌サンプリング結果または作業前に試験的に表土剥ぎ取りを実施し、効率的に線量を低減できる厚さを調査した結果から決定した。

表土剥ぎ取りは、バックホウ（機械）を基本としたが、畝のある畑等では鋤簾等を用いて人力により実施した。また、果樹園（梨園）では、地表面から 1.6 m の高さにワイヤを使用した棚があったため、超小型機械（バックホウとクローラダンプ）を使用した。

この他、薄層表土剥ぎ取り機による表土剥ぎ取り（2 cm）を試行した。これは、ハンマーナイフモア式草刈り機をベースにした薄層表土剥ぎ取り機により表層 2 cm 程度までの草根の切断とほぐしを行うもので、ほぐした土壌をバックホウで回収した。

作業状況を、図 2.4.2(1)①(b) III-5～図 2.4.2(1)①(b) III-8 に示す。



図 2.4.2(1)①(b) III-5 表土剥ぎ取り (バックホウ)

図 2.4.2(1)①(b) III-6 人力による表土剥ぎ取り



図 2.4.2(1)①(b) III-7
果樹園での表土剥ぎ取り



図 2.4.2(1)①(b) III-8
薄層表土剥ぎ取り機

ハ) 固化剤散布による表土剥ぎ取り

土を固める薬剤（固化剤）を土壌表面に散布し、固化した土壌表層を削り取る「固化剤散布による表土剥ぎ取り」を実施した。

草刈り後、農地表面への固化剤を混合したスラリーの散布、養生（一定期間の静置）、固化した表層土壌のバックホウ等の機械による剥ぎ取り、剥ぎ取った表土のフレキシブルコンテナへの詰め込みの順で実施した。

固化剤を用いた表土剥ぎ取りでは、固化剤を散布することで表土が灰白色にマーキングされるため、取り残しや取りこぼしの目視確認が可能となることによる作業の効率化や、表土を固化することによる土壌の飛散抑制効果が期待できる。

本除染では、固化剤にマグネシウム系固化剤またはセメント系固化剤を使用した。これらの固化剤は、氷点下では固化しないため、冬期の使用には、注意が必要である。

また、本除染では、固化した土壌の剥ぎ取り、回収の2工程を1台で行う固化土壌分離回収機（バックホウベース）の試行を計画した。

作業状況を、図 2.4.2(1)①(b) III -9～図 2.4.2(1)①(b) III-11 に示す。



図 2.4.2(1)①(b) III-9 固化剤散布状況



図 2.4.2(1)①(b) III-10 表土剥ぎ取り状況



図 2.4.2(1)①(b)Ⅲ-11 固化土壌分離回収機

ニ) 反転耕

トラクターに牽引されたプラウにより 30cm 深さを目標として、放射性セシウムで汚染された表層付近の土壌（表層土）と下層にある土壌（下層土）を反転させる「反転耕」を実施した。作業状況を、図 2.4.2(1)①(b)Ⅲ-12 に示す。



図 2.4.2(1)①(b)Ⅲ-12 プラウによる反転耕

ホ) 天地返し

表層土及び下層土を一時的に撤去した後、下方に表層土を、上方に下層土を埋め戻す方法で、十分な耕盤の深度があることを確認した後、地表面から深さ 5 cm 程度を「表層土」、深さ 5 cm から 50 cm までを「下層土」として、図 2.4.2(1)①(b)Ⅲ-13 の手順で天地返しを行った。

なお、施工にあたっては、表層土剥ぎ取り厚さ 5 cm の精度を保つため、法面バケット付のバックホウを使用するとともに、表土を剥ぎ取った後の反転耕の掘削には、汚染の拡散を防止するために他のバックホウを使用した。

作業状況を、図 2.4.2(1)①(b)Ⅲ-14 と図 2.4.2(1)①(b)Ⅲ-15 に示す。

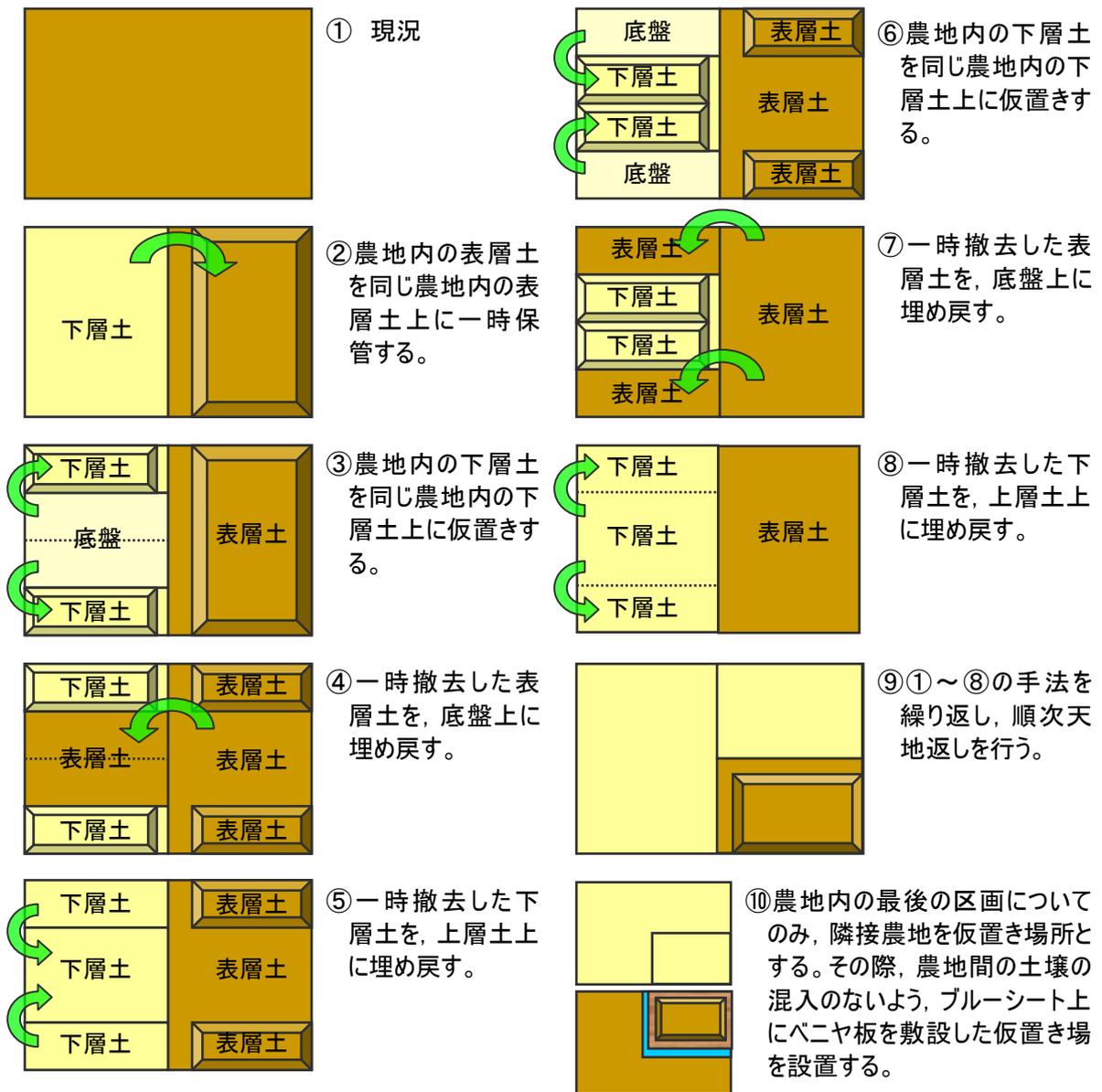


図 2. 4. 2(1)①(b)Ⅲ-13 天地返し作業手順



図 2. 4. 2(1)①(b)Ⅲ-14 天地返し
(表層土剥ぎ取り作業)



図 2. 4. 2(1)①(b)Ⅲ-15 天地返し
(下層土掘削作業)

へ) 攪拌耕

耕運機により土壌が均一になるように混合を行った。攪拌深さは、農地の厚さや使用する耕運機の能力をもとに深さ 25cm で実施した。また、ビニルハウスでは、攪拌深さ 10~20cm を目標に小型耕運機を用いて攪拌耕を行った。

作業状況を、図 2.4.2(1)①(b)Ⅲ-16 と図 2.4.2(1)①(b)Ⅲ-17 に示す。



図 2.4.2(1)①(b)Ⅲ-16 耕運機による攪拌耕



図 2.4.2(1)①(b)Ⅲ-17 小型耕運機による
攪拌耕 (人力)

iii) 除染作業の結果と評価

除染作業について、除染手法、除染対象、使用機械、表土の剥ぎ取り厚さ目標値、空間線量率(1m)及び表面密度(cpm)の低減率、除去物量等を表2.4.2(1)①(b)Ⅲ-2に示す。

表 2.4.2(1)①(b)Ⅲ-2 農地の除染結果

除染手法	除染対象	地区名	使用機械	面積 (m ²)	剥ぎ取り厚さ 目標値(cm)	空間線量率(1m)			表面線量率(1cm)			表面密度(cpm)			除去物量 (袋/m ²)
						除染前 (μSv/h)	除染後 (μSv/h)	低減率 (%)	除染前 (μSv/h)	除染後 (μSv/h)	低減率 (%)	除染前 (cpm)	除染後 (cpm)	低減率 (%)	
表土剥ぎ取り	田	川俣町	バックホウ	15,869	3	3.8	1.9	50.8	4.5	1.7	61.4	2,790	825	70.4	0.036
		浪江町権現堂地区	バックホウ	6,477	3	7.0	3.0	57.7	9.4	2.9	69.3	5,753	1,187	79.4	0.055
		浪江町津島地区	バックホウ	200	5	12.1	5.8	52.3	15.2	4.1	73.3	7,400	2,500	66.2	0.061
		川内村員の坂地区	ハンマーナイフマシン(凍結土除去用に改造)を取り付けたバックホウ	2,685	3	3.3	2.2	32.9	5.3	2.8	47.9	2,480	1,280	48.4	
			バックホウ	19,919	3	3.5	2.6	25.2	4.3	3.0	30.6	2,170	1,420	34.6	
			バックホウ	154	3	3.0	2.3	21.7	4.4	2.9	33.9	2,300	1,500	34.8	
			ブルドーザー	2,764	2	4.0	3.2	21.8	5.1	3.5	31.6	2,640	1,440	45.5	
			ターフスライサー	90	3	3.8	3.4	9.5	4.5	3.8	15.7	2,110	1,670	20.9	
		大熊町夫沢地区	バックホウ	17,881	5	50.5	18.4	63.5	29.8	4.2	85.9	19,194	1,833	90.5	
		檜葉町上繁岡地区	バックホウ	100	5~10	1.9	0.8	59.1	2.2	0.5	75.6	1,103	297	73.1	
	畑	川俣町	バックホウ	6,710	3	3.9	3.1	22.4	4.4	3.8	14.0	2,700	1,850	31.5	0.036
		飯館村草野地区	バックホウ	(5,558)	5	4.2	1.8	57.3	5.3	2.0	62.8	2,360	840	64.4	(0.089)
		浪江町権現堂地区	ミニバックホウ及び人力(鋤簾、つるはし等)	883	3	4.1	2.0	50.7	3.4	1.5	55.8	3,050	1,080	64.6	0.034
		浪江町津島地区	バックホウ	300	2	9.7	7.8	19.6	12.9	9.0	30.0	5,700	5,200	8.8	
		南相馬市	バックホウ	4,188	5	0.9	0.7	21.3	1.2	0.8	34.3	755	393	47.9	0.038
			バックホウ	31,000	5	1.4	0.7	47.0	1.6	0.7	54.3	759	483	36.4	0.034
			人力(鋤簾等)	2,169	3	1.2	0.8	29.6	1.5	0.7	54.7	706	357	49.4	0.034
		葛尾村	バックホウ	2,530	5 ^{注1)}	1.99	0.93	53.1	2.14	0.99	53.9	1,000	520	48.0	0.160
		川内村員の坂地区	バックホウ	15,147	3	3.0	1.8	39.7	4.2	2.1	49.0	2,430	1,070	56.0	
		大熊町夫沢地区	バックホウ	23,414	5	60.4	20.3	66.4	40.0	13.8	65.5	17,531	3,959	77.4	
檜葉町上繁岡地区	バックホウ	404	5	2.1	1.0	53.1	3.5	0.8	76.2	1,620	400	75.3			
果樹園	南相馬市	ミニバックホウ	6,917	5	0.9	1.0	-	1.1	1.6	-	674	504	25.2	0.015	
畦道	浪江町権現堂地区	人力(鋤簾、つるはし等)	1,002	3	7.3	2.9	60.7	9.4	1.4	85.5	4,536	565	87.5	0.048	
法面	大熊町夫沢地区	バックホウ	2,046	5~10	50.1	36.4	27.4	28.4	7.6	73.1	17,300	3,723	78.5		
薄層表土剥ぎ取り機による表土剥ぎ取り	畑	浪江町津島地区	薄層表土剥ぎ取り機	1,800	2	11.6	7.6	34.6	15.2	8.0	47.6	5,925	3,890	34.3	0.016
			小型ハンマーナイフモア	30	2	11.0	8.6	21.9	14.1	9.3	34.2	5,500	4,400	20.0	
固化剤散布による表土剥ぎ取り ^{注4)}	田	川俣町	バックホウ	1,947	3 ^{注2)}	3.7	1.5	59.1	4.4	1.6	63.2	1,900	830	56.3	0.076
		浪江町権現堂地区	バックホウ	5,735	3	7.9	2.9	62.9	11.7	3.3	71.9	5,020	1,490	70.3	0.064
		田村市	バックホウ	783	3 ^{注2)}	0.5	0.3	50.9	0.6	0.3	53.6	341	213	37.5	0.124
		川内村員の坂地区	バックホウ	188	3	4.0	2.2	45.2	5.0	2.5	50.1	2,300	1,000	56.5	
	バックホウ		188	3	4.1	2.5	38.3	4.8	2.5	47.6	2,100	1,200	42.9		
	畑	飯館村草野地区	バックホウ	1,047	3~5	3.8	1.2	67.2	4.5	1.2	72.7	2,606	639	75.5	0.050
反転耕	田	川俣町	プラウ	8,048	(反転耕)	3.7	1.4	61.1	4.8	1.7	63.8	2,300	775	66.3	0.000
	畑	南相馬市	プラウ	2,344	(反転耕)	1.0	0.7	31.9	1.3	0.6	53.8	1,133	257	77.3	0.000
天地返し	田	田村市	バックホウ	2,702	(天地返し)	0.6	0.2	64.3	0.6	0.2	71.9	409	146	64.3	0.000
攪拌耕	田	田村市	耕運機	25,973	(攪拌耕)	0.8	0.6	31.0	1.0	0.7	33.0	514	404	21.4	0.000
攪拌耕(ビニルハウス内)	畑(ビニルハウス)	川俣町	人力(小型耕運機)	2,239	(攪拌耕)	3.2	2.7	15.2	3.7	3.1	17.2	1,917	1,417	26.1	0.000

注1) 剥ぎ取り実績は、10cm超となった。

注2) 固化剤散布による表土剥ぎ取りにおいて次の2地区は、固化剤の固化不十分及び表土の凍結等の影響により、目標値より多く剥ぎ取っている。

川俣町：(目標値)3cm→(実績値)4.5cm、田村市：(目標値)3cm→(実績値)6cm

注3) 夫沢地区の田畑、法面の空間線量率及び表面線量率は、コリメート有の値である。

注4) 田はマグネシウム系固化剤、畑はセメント系固化剤を使用

イ) 草刈り

除染作業の前処理として実施した草刈りの空間線量率（1m）低減率を、図 2.4.2(1)①(b)Ⅲ-18 に示す。

この図において 25%の低減率を得られた地区があるが、この地区の表面密度（cpm）は草刈り後に増加しており、空間線量率が 25%低減した要因は明らかでない。また、草刈りの低減率がマイナスになった地区もあるが、この要因として下草が表土にある放射性セシウムを覆い隠して、それらの放射性セシウムから放出される放射線を遮へいしていた影響が考えられる。

これらのことから草刈りの空間線量率（1m）低減率は、ばらつきが大きく、草刈り単独では明確な除染効果を確認できなかった。

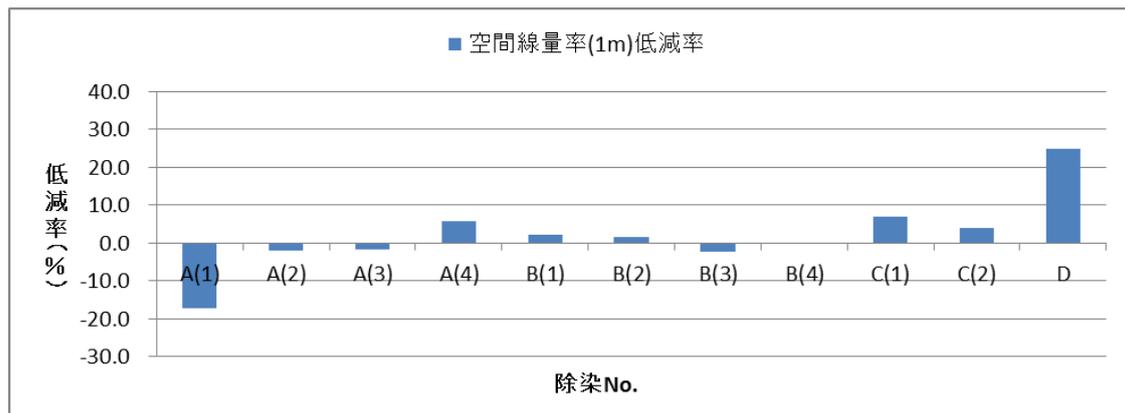


図 2.4.2(1)①(b)Ⅲ-18 草刈りの空間線量率（1m）低減率

ロ) 表土剥ぎ取り

バックホウによる厚さ 3 cm～5 cmでの田畑の表土剥ぎ取りでは、空間線量率（1 m）低減率は 21～66%、表面密度低減率は 32～91%とややばらついた結果となった。この原因としては、田畑によっては表面に凸凹があり、あるいは、水を含んだ状態であり、均一な剥ぎ取りが難しいことが考えられる。表土剥ぎ取り作業による除去物発生量は、剥ぎ取り厚さが適切に管理できた地区では、フレキシブルコンテナ袋数で 0.034～0.061 袋/㎡であった。しかし、剥ぎ取り厚さが目標値の 5cm に対し 10cm 超になっていた地区があり、この地区では除去物発生量が 0.16 袋/㎡となった。この地区の剥ぎ取り厚さが増加した要因としては、表土に畝のような起伏があり起伏の低い部分を基準に剥ぎ取りを行ったこと及び低い部分の剥ぎ取り不足による低減率の低下を考慮し、深めに剥ぎ取ったことによる影響が考えられる。

人力による表土剥ぎ取りの空間線量率（1 m）低減率は、剥ぎ取り厚さ 3cm で 30%、除去物発生量は、0.034 袋/㎡であった。

果樹園における表土剥ぎ取りでは、除染前に比べ、除染後の空間線量率の測定値が高くなった。空間線量率が高くなった要因としては、表面密度については 25%の低減率があったことから、地表に生えていた草に遮へい効果があったためと考えられる。

人力による畦道、法面の剥ぎ取りおよびバックホウによる法面の剥ぎ取りでは、空間線量率（1 m）低減率はそれぞれ 61 および 27%と除染範囲が限定されるため空間線量率の低減幅もやや低いものの、表面密度はそれぞれ 88 および 79%と高い低減率が得られている。

ハ) 薄層表土剥ぎ取り機による表土剥ぎ取り

薄層表土剥ぎ取り機による表土剥ぎ取り（2 cm）では、表層部を4回に分けて0.5cmずつ剥ぎ取った。これにより薄く剥ぎ取ることが可能であることが確認できたが、除染効果にもムラが見られた。これは、畑表面に小さなうねりのある場所では刃が届かず、土壤のほぐしムラが発生したためと推察される。

薄層表土剥ぎ取り機による表土剥ぎ取り後の線量分布（ムラ）を図2.4.2(1)①(b)Ⅲ-19示す。

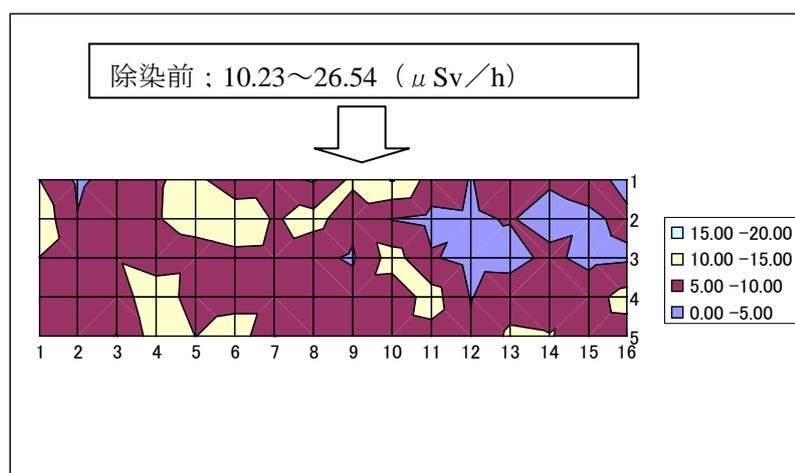


図2.4.2(1)①(b)Ⅲ-19 薄層表土剥ぎ取り機による表土剥ぎ取り後の線量分布
(1cm高さ, 単位 $\mu\text{Sv/h}$)

ニ) 固化剤を用いた表土剥ぎ取り

ニ-1) マグネシウム系固化剤を用いた表土剥ぎ取り

4地区でこの方法による表土剥ぎ取りを実施したが、冬期であったため、それぞれ次のような結果となった。

- ・固化剤により約2cmの固化厚さを確認することができた。固化した表土を図2.4.2(1)①(b)Ⅲ-20に示す。

固化土壤分離回収機による固化表土の剥ぎ取り及び回収を試行したが、含水比の高い粘土質の土壤であったため、土壤が分離回収機の移送部で停滞し、移送することができなかった。このため、表土剥ぎ取りをバックホウに変更したが、厚さ2cmの固化部分だけを薄く剥ぎ取ることができず、4.5cmの剥ぎ取り厚さとなった。バックホウによる表土剥ぎ取りでは、固化剤が散布されていたことで取り残しが良くわかった。

- ・別の地区では、散布した固化剤が固化するまでの養生期間中に積雪及び凍結があった上、動物（牛）が侵入して荒らされたため、固化剤が2～3cm浸透していたものの固化が十分でなかった。この状態で実験的に固化土壤分離回収機を使用したが、固化が十分でなかったため回収部及び移送部の配管が、含水比の高い土壤で閉塞してしまい、使用できなかった。このため、バックホウによる表土剥ぎ取り（剥ぎ取り厚さ3cm）を行った。バックホウによる表土剥ぎ取りでは、固化剤が散布されていたことで取り残しが良くわかった。
- ・気温が著しく低下した地区では、固化剤スラリーの水分が凍ったため固化剤としては、固化しなかった。しかし、スラリーの水分で表土も凍結したため、凍土約6cmをバックホウによ

り剥ぎ取った。

・残る1地区でも気温低下により、固化剤が固化せず、表土が凍結した。この地区では、ワイパー工法による表土剥ぎ取りを計画していたが、凍結により表土が硬くなりワイパー工法では剥ぎ取れなかった。このため、バックホウで奥から手前に剥ぎ取る方法により表土剥ぎ取りを行った。

マグネシウム固化剤による表土剥ぎ取りの空間線量率(1m)低減率は38~63%で、通常の表土剥ぎ取りと同程度の値であった。しかし、剥ぎ取り厚さが厚くなってしまった地区もあるため、除去物発生量は通常の表土剥ぎ取りより多い0.076~0.124袋/m²であった。



図 2.4.2(1)①(b)Ⅲ-20 固化剤により固化した表土(厚さ約2cm)

ニ-2) セメント系固化剤を用いた表土剥ぎ取り

セメント系固化剤を使用した地区でも氷点下まで気温が低下したため、セメントペーストが2cm程度浸透していたが、固化しなかった。対象土壌の地下5cmまでが汚染範囲であったため、バックホウにより5cmの表土剥ぎ取りを行った。

このセメント固化剤散布による表土剥ぎ取りの空間線量率(1m)低減率は67%で、通常の表土剥ぎ取りと同程度であったが、除去物発生量は、通常の表土剥ぎ取りよりやや多い0.050袋/m²であった。

ホ) 反転耕

反転耕の空間線量率(1m)低減率は、32~61%であった。

へ) 天地返し(表土の入れ替え)

天地返しの空間線量率(1m)低減率は、64%であった。

ト) 攪拌耕

耕運機による攪拌耕の空間線量率(1m)低減率は、31%であった。

また、ビニルハウスで行った小型耕運機による攪拌耕は、空間線量率(1m)低減率が15%であったが、土壌凍結箇所があり、人力では均一に攪拌することができなかったと考えられる。ビニルハウスにおける小型耕運機による攪拌耕の結果を、図2.4.2(1)①(b)Ⅲ-21に示す。

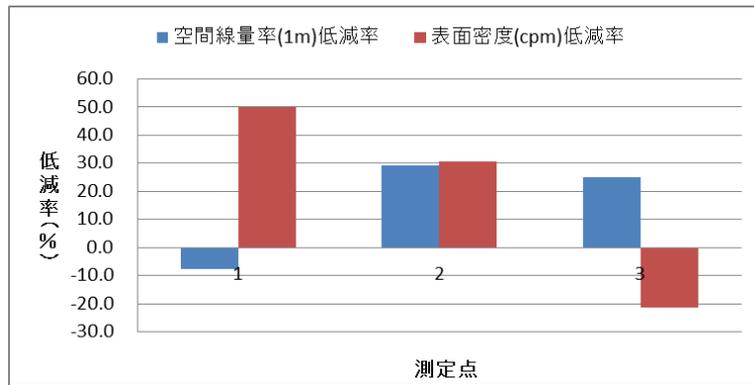


図 2.4.2(1)①(b)Ⅲ-21 ビニルハウスにおける小型耕運機による攪拌耕結果

iv)まとめ

適用した除染方法別の表面密度低減率と除去物発生量を表 2.4.2(1)①(b)Ⅲ-3 に示す。

表面密度の低減効果は、概ね「攪拌耕<(反転耕≒天地返し≒表土剥ぎ取り)」であった。一方、除染実施面積当たりの除去物(土砂)発生量は、「(攪拌耕=反転耕=天地返し)≪表土剥ぎ取り」であった。

固化剤散布については、工期が冬期であったため気温低下により固化剤が固化せず、効率的な剥ぎ取り効果を確認することができなかった。しかし、固化剤を散布することで表層土壌がマーキングされるため、削り残しの把握効果は確認することができた。

表 2. 4. 2(1)①(b)Ⅲ-3 適用した除染方法別の低減率(%)と除去物発生量

除染手法	除染対象	空間線量率 (1m) 低減率 (%)	表面密度低減 率 (%)	除去物 発生量 ^{※1} (袋/m ²)
草刈り	農地共通	-17~25	-42~34	—
表土剥ぎ取り	田 ^{※2} (剥ぎ取り厚さ 3~5cm)	22~64	35~91	0.036~0.061
	畑 (剥ぎ取り厚さ 3~5cm)	21~66	32~77	0.034~0.038
	果樹園 (剥ぎ取り厚さ 5cm)	—	25	0.015
	畦道 (剥ぎ取り厚さ 3cm)	61	88	0.048
	法面 (剥ぎ取り厚さ 10cm)	27	79	—
薄層表土剥ぎ取り機による表土剥ぎ取り	畑 (剥ぎ取り厚さ 2cm)	35	34	0.016
固化剤散布による表土剥ぎ取り	田 ^{※3} (剥ぎ取り厚さ 3cm ^{※4})	38~63	38~70	0.064~0.124
	畑 (剥ぎ取り厚さ 3~5cm)	67	76	0.050
反転耕	田	61	66	0
	畑	32	77	0
天地返し	田	64	64	0
攪拌耕	田	31	21	0
	畑 (ビニルハウス内)	15	26	0

※1：除去物発生量は、各除染作業で発生した土砂の単位面積当たりのフレキシブルコンテナの袋数

※2：剥ぎ取り実績厚さが 10cm 超となった地区のデータを含まない。

※3：固化土壌分離回収機による表土剥ぎ取り及び回収を 2 地区で計画していたが、分離回収機に閉塞が発生したため、通常の表土剥ぎ取りと同様にバックホウにより表土剥ぎ取りを実施した。

※4：固化剤の固化不十分及び表土の凍結の影響により、剥ぎ取り厚さ（目標値）3cm に対し、4.5cm または 6cm に変更して剥ぎ取りを行った地区が各 1 地区あり

IV 道路

a) 放射性物質の付着・残留状況

道路に関しては、事前のモニタリングから、以下のような放射性物質の残留・蓄積傾向が認められた。

- 1) 舗装面は、農地などの周辺の土面と比較して、表面線量率及び空間線量率が低い傾向が認められた（図 2.4.2(1)①(b)IV-1）。これは舗装面の表面に付着した放射性物質が、事故以降の降雨等により、取り除かれたことによるものと考えられる。
- 2) 現場からコアカッターで円柱状の供試体を採取し、表面から順次グラインダー等を用いて研磨しながら、表面密度を測定する方法、及び現場にて集塵サンダーを用いて舗装面を表面から順次切削し、表面密度を測定する方法により、舗装面の深度方向の汚染状況を確認した（図 2.4.2(1)①(b)IV-2, 3）。その結果、表面が密粒な材質からなるアスファルト舗装面では表面から深度約 3mm 程度、表面が多孔質な材質からなるアスファルト舗装面（排水性舗装面）については 1 試料の測定にとどまるが表面から深度約 5mm 程度までに大部分の放射性物質が留まっていることが明らかとなった。
- 3) 舗装面の表面線量率が周辺の農地などの土面と同程度の値であっても、舗装面の表面密度はこれら土面の表面密度よりも比較的高い値を示すことがある（図 2.4.2(1)①(b)IV-4）。これは、GM サーベイメータがガンマ線よりもベータ線に対する感度が高いため、舗装面のように測定面（路面表面）のごく近傍に放射性物質が残留している場合には、飛程が短いベータ線の影響が測定結果に顕著に表れてくることによるものと考えられ、2) の舗装面の表面のごく近傍に大部分の放射性物質が留まっていることと整合的である。
- 4) 側溝・集水枡は、雨水で集められた泥、草、落葉等の堆積物が溜まり、局所的に表面密度や表面線量率が周辺の舗装面よりも高くなる箇所が認められた。また、側溝に堆積した汚泥よりも集水枡に堆積した汚泥のほうが、表面密度や表面線量率が高い傾向を示した（図 2.4.2(1)①(b)IV-5）。これは放射性物質が、事故以降の降雨等により、道路から側溝、側溝から集水枡と徐々に排水システムの下流側へ移動したことによるものと考えられる。

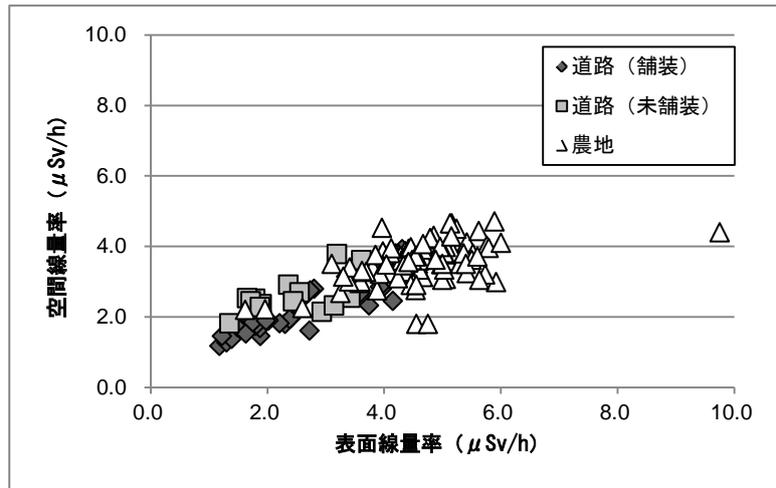


図 2. 4. 2(1)①(b)IV-1 舗装面及び土面の表面線量率と空間線量率 (川俣町の例)

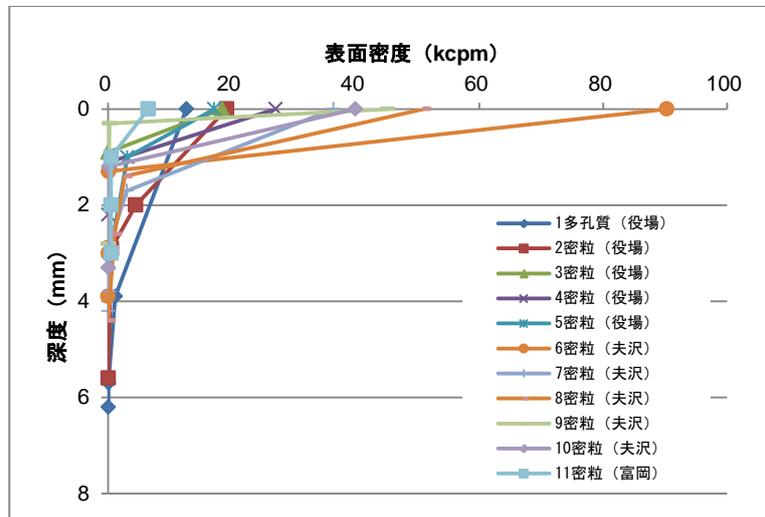


図 2. 4. 2(1)①(b)IV-2 アスファルト舗装の深度方向の汚染状況 (大熊町, 富岡町の例)



a) コアドリルを用いてアスファルト舗装の供試体を採取



b) 集塵サンダーを用いて舗装面を切削

図 2. 4. 2(1)①(b)IV-3 アスファルト舗装の汚染状況確認試験

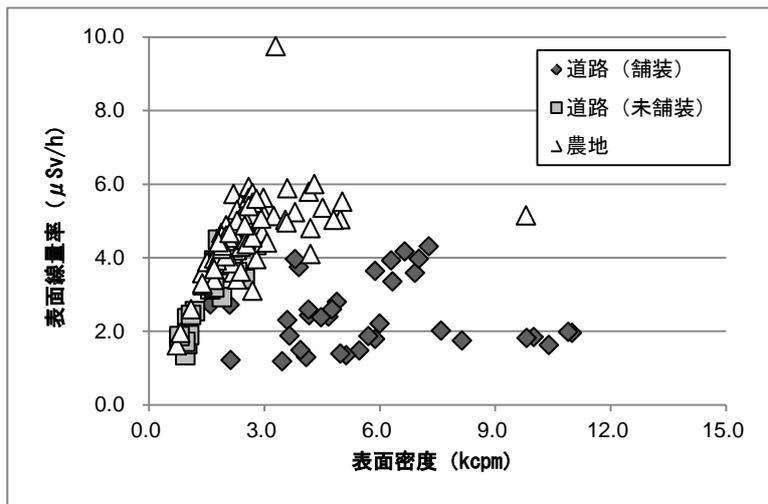


図 2.4.2(1)①(b)IV-4 舗装面と土面の表面密度と表面線量率 (川俣町の例)

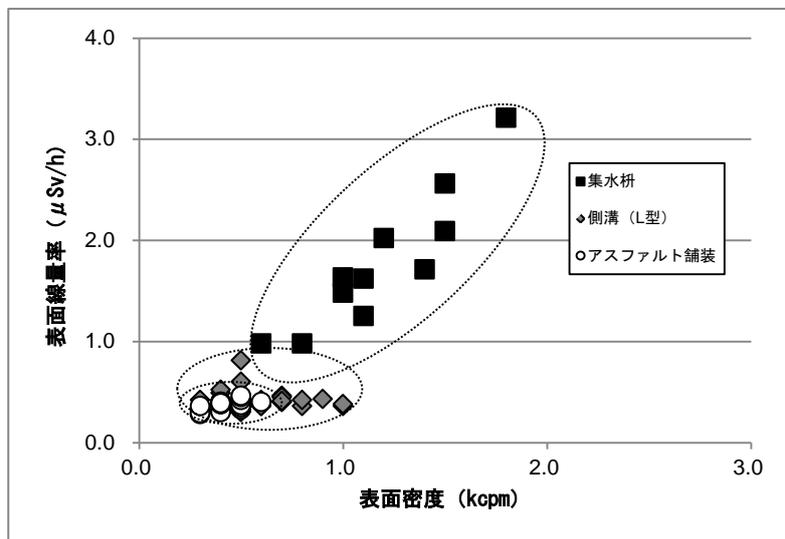


図 2.4.2(1)①(b)IV-5 アスファルト舗装面, 側溝, 集水枡の汚染状況 (広野町の例)

b) 除染作業内容

b-1) 除染対象の概要

道路は11市町村18地区のいずれにおいても認められ、除染対象としては舗装面、未舗装面、側溝・集水枡に大別できる。除染対象区域の舗装面は、アスファルト舗装面からなり、表面が密粒な材質と多孔質な材質とに分類できる。未舗装面は、碎石（砂利）、裸地（土）に分類でき、側溝・集水枡はコンクリートからなる。

なお、震災の影響により、一部の道路では陥没、ひび割れ等が認められる場所があり、これらについては、除染作業の開始前に陥没やひび割れが生じたアスファルトを撤去するとともに、除染作業に支障をきたさないように砂利を敷くなどの仮復旧作業を実施した。また、発生したアスファルト屑は、除去物として仮置場にて保管した。

除染対象のうち、「舗装（アスファルトのみ）」「側溝・枡」については、「2.4.2(1)①(b)Ⅱ大型構造物」に含まれるものをまとめて本項に記載することとした。

b-2) 除染方法

本事業で実施した舗装面及び未舗装面の除染方法は清掃、洗浄、切削、剥ぎ取り、オーバーレイ及びこれらの組み合わせ、側溝・集水枡の除染方法は清掃のみ、清掃と洗浄の組み合わせに分類できる（表2.4.2(1)①(b)Ⅳ-1）。以下に、その概要を記す。

表 2.4.2(1)①(b)Ⅳ-1 道路において適用した除染技術一覧

除染対象	適用技術
舗装	路面清掃車、搭乗式ロードスイーパーによる清掃
	高圧水洗浄機による洗浄
	排水性舗装機能回復車による洗浄
	超高圧水洗浄機による切削
	ブラストによる切削
	路面切削機(TSファインミリング(Thin, Silent, Fine, Milling)切削機)による切削
未舗装	バックホウによる剥ぎ取り
	バックホウによる剥ぎ取り
	人力による剥ぎ取り
側溝・集水枡	人力による清掃と洗浄

1) 路面清掃車、搭乗式ロードスイーパーによる清掃

路面清掃車は、側ブラシ及び補助側ブラシにより、道路側溝部の塵埃を車両中央部に掃出し、中央部に寄せられた塵埃は主ブラシによりコンベヤ下端に掃上げ、コンベヤにより移送されホッパに投入するもので、舗装面上に付着した堆積物を回収するために使用した（図2.4.2(1)①(b)Ⅳ-6-a)）。搭乗式ロードスイーパーも原理は同様であり、路面清掃車と比較し作業幅が短いため、主に歩道や狭い道路、側溝部の除染に使用した（図2.4.2(1)①(b)Ⅳ-6-b)）。

2) 高圧水洗浄機による洗浄

高圧水による洗浄は、ブラシ清掃等で除去できなかった舗装面表面に付着した堆積物等を水圧で流れ落とすために使用した（図2.4.2(1)①(b)Ⅳ-6-c)）。本事業で使用した高圧水洗浄機は15MPaをめやすとしたものであり、除染水は側溝流末で回収し、水槽に溜めて、水処理等を施した後外部側溝へ排水した。

3) 排水性舗装機能回復車による洗浄

舗装面の空隙に詰まった堆積物等を高圧水洗浄で洗浄・ブロワ吸引し、その後舗装面表面に残された堆積物を高真空吸引した上で、再度、高圧水洗浄で洗浄・ブロワ吸引し骨材間の空隙の目詰まりを解消した（図 2.4.2(1)①(b)IV-6-d）。舗装面の損傷が少なく表面線量率の高い富岡町夜の森公園地区では、高真空吸引の前にキャビテーション洗浄も施した。キャビテーション洗浄とは、静止した液中に高速で液が噴射されたときに発生する無数の気泡上の空洞（キャビテーション気泡）が消滅（崩壊）する際の衝撃圧力を空隙目詰まり物質の洗浄に利用するものである。

4) 超高压水洗浄機による切削

回転噴射装置（スピンジェット）から超高压水（約 120～240 MPa 程度）を噴射することにより、道路表面のストレートアスファルト部分を切削した（図 2.4.2(1)①(b)IV-6-e）。切削したアスファルト屑及び使用した水は吸引回収し、これを除染水として水槽に溜めて、水処理等を行った後に外部側溝へ排水した。

5) ブラストによる切削

高圧の空気を用いて、小球の研磨材を舗装面に高速で打ち付け、表面を切削し、発生した粉じん（アスファルト屑）をブラスト機に連結した集塵機で回収した（図 2.4.2(1)①(b)IV-6-f）。切削材として鉄球、ドライアイス、重曹、砂を使用した。

6) 路面切削機（TS ファインミリング（Thin, Silent, Fine, Milling）切削機）による切削

一般の切削機の切削ドラムは約 15mm 間隔でビットを配置しているのに対して、大熊町役場周辺地区ではビット間隔が 8mm のファインミリングドラムを使用し、アスファルト舗装面を切削した（図 2.4.2(1)①(b)IV-6-g）。TS ファインミリング（Thin, Silent, Fine, Milling）工法は、通常切削機による切削と比較し、切削ドラムのビット間隔がより狭く、表層を薄くかつきめ細かく切削することが可能であり、切削厚さが一定に保たれるため、安定した除染効果や除去物の発生量抑制が期待できる。

7) バックホウによる剥ぎ取り

アスファルト舗装面の損耗が激しい場所や震災の影響により陥没、ひび割れ等が生じている場所、並びに未舗装の砂利や土面では、バックホウにより剥ぎ取りを行った。また、アスファルト舗装面については、撤去後、の打ち替えを実施した（図 2.4.2(1)①(b)IV-6-h）。なお、剥ぎ取りを行わずにオーバーレイのみ実施した箇所もある。

8) 人力による清掃と洗浄（側溝・集水枡）

スコップ等を用いての手作業により、路肩や側溝に溜まった堆積物や汚泥を回収した。路肩に植物が繁殖している場合には、肩掛け式草刈り機等で除草を実施するとともに一部の地域では、高圧洗浄機を用いた洗浄も併せて実施した（図 2.4.2(1)①(b)IV-6-i）。

a) 路面清掃車による清掃



b) 搭乗式ロードスイーパーによる清掃



c) 高圧水洗浄機による洗浄



d) 排水性舗装機能回復車による洗浄



e) 超高压水洗浄機による切削



f) ショットブラストによる切削



g) 路面切削機による切削



h) バックホウによる剥ぎ取り



図 2.4.2(1)①(b)IV-6 道路の除染

i) 人力による清掃（側溝・集水槽）



図 2. 4. 2(1)①(b)IV-6 道路の除染（続き）

c) 除染作業の結果と評価

除染前後の舗装面、未舗装面及び側溝・集水柵の表面密度、及び表面密度の低減率を図 2.4.2(1)

①(b)IV-7 に示す。表面密度は除染実施範囲内の測定点の平均値である。

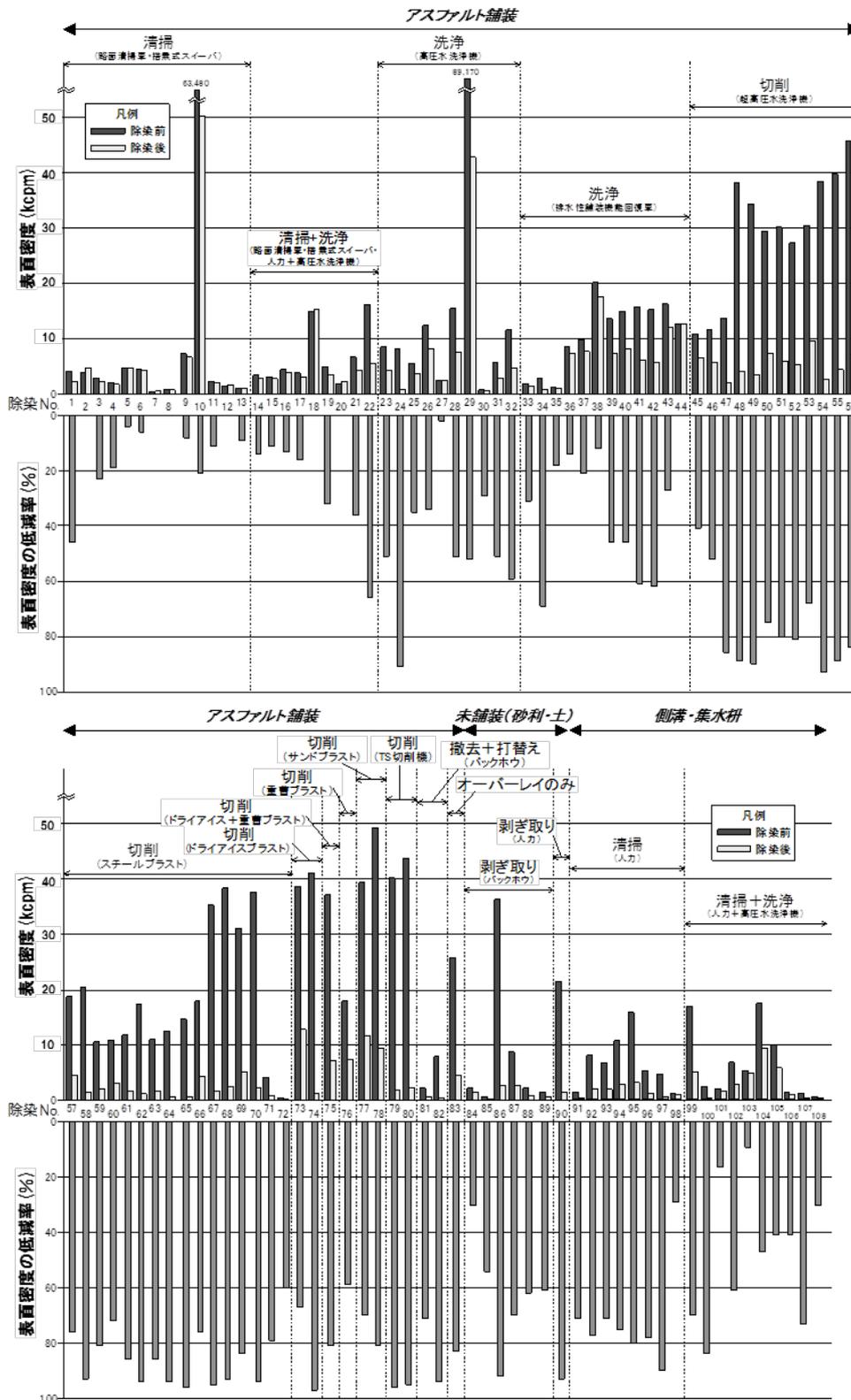


図 2.4.2(1)①(b)IV-7 除染前後の表面密度と低減率

路面清掃車や搭乗式ロードスイーパーを用いた水を使用しない除染による表面密度の低減率は約0～45%であり、除染効果は低かった。また、路面清掃車等によるブラッシングと高圧水洗浄等を組み合わせた除染による低減率は約0～65%、ブラッシングを実施せず高圧水洗浄のみの除染による低減率は約0～90%であり、ブラッシングを伴う洗浄よりも高圧水洗浄のみの除染のほうが除染効果は高かった。路面清掃車や搭乗式ロードスイーパーは、ブラシで掻き出した堆積物をホップに回収する構造となっているが、掻き出した堆積物や掻き出す際に生じた粉じんを十分に回収できなかったことや掻き出した粉じんを別の場所に移動させてしまったため、これらを利用した除染の効果は低かったものと考える。

排水性舗装機能回復車を用いた除染による表面密度の低減率は密粒の舗装面（図2.4.2(1)①(b)IV-7の除染No.33～38）で約10～70%、多孔質な排水性舗装で約0～60%であり、舗装面の材質による除染効果に有意な差は認められない。一方、多孔質な排水性舗装に対しては、除染回数を増やすことで除染効果が高くなる傾向が認められた（図2.4.2(1)①(b)IV-7の除染No.40が1回、No.41が2回、No.42が3回の除染を実施した結果）。また、除染No.40～42のように低減率が約45～60%の値を示した除染では使用した水の回収率が約70%程度と高い値を示したのに対し、除染No.43、44のように低減率が約0～10%と低い値を示した除染では水の回収率が約20～30%程度と低い区間があった。水の回収率が低かった要因として、アスファルト舗装の表面の歪曲・損耗が挙げられ、このような舗装面に対しては、排水性舗装機能回復車による洗浄の効果は低くなるものと考える。

超高圧水洗浄機（水圧約120～240MPa）を用いた除染による表面密度の低減率は約40～95%であり、特に水圧約200MPa以上で実施した除染では約80～95%と高い除染効果が得られた。また、除染回数を増やすことで除染効果が高くなる傾向が認められた（図2.4.2(1)①(b)IV-7の除染No.45が1回、No.46が2回、No.47が3回の除染を実施した結果）。超高圧水洗浄機では、除染後もほぼ除染前と同様の状態でアスファルト舗装面の骨材は維持されるが、ストレートアスファルト部分は数mm切削され、路面上に凹凸ができた状態となる（図2.4.2(1)①(b)IV-8-a）。高圧水洗浄機や排水性機能回復車では、舗装面の表面や骨材間の間隙に付着した堆積物を除去するのに対し、超高圧水洗浄機では、付着した堆積物に加え、ストレートアスファルト部分を除去することができるため、高い除染効果が得られるものと考えられる。

スチールショットブラストによる除染では表面密度の低減率は約60～95%であった。広野町は除染前の表面密度が500cpmと低いいため、低減率は約60%にとどまるものの、全体としては除染場所によらず安定して高い除染効果が得られた。図2.4.2(1)①(b)IV-7の除染No.63が投射密度150kg/m²で1回の除染、No.64が投射密度150kg/m²で2回の除染、No.65が投射密度200kg/m²で1回の除染結果であり、投射密度が高い方が除染効果は大きく、また投射密度が同様の場合には除染回数を複数こなすことで、除染効果は大きくなった。ドライアイスブラスト、重曹ブラスト、サンドブラストは大熊町役場での結果に限定されるが、いずれも約60～90%の低減率となった。ブラスト作業の場合、骨材、ストレートアスファルト部分のいずれも切削するため、除染後の舗装面の表面は超高圧水洗浄機よりも粗い状態になるが、低減率は高い結果が得られた。

路面切削機を用いたアスファルト舗装面の切削は大熊町役場での除染結果に限定されるが、表面密度の低減率は約95%と高い除染効果であった。路面切削機の場合、ブラスト作業と同様に、骨材、ストレートアスファルト部分のいずれも切削する（図2.4.2(1)①(b)IV-8-b）。今回使用

したファインミリングドラムは、除去物量を抑制するために切削厚さを約 5mm に設定し除染を実施したが、表面が歪曲している箇所等では十分な厚さ切削できないことがあった。また、切削したアスファルト廃材はコンベヤシステムにより迅速に大型のダンプトラック等に廃材を積み込むことができるが、一部の廃材が舗装面上に取り残されることがある。



図 2.4.2(1)①(b)IV-8 除染後のアスファルト舗装面

バックホウによる剥ぎ取りにより表面密度は約 70～90%低減した。剥ぎ取り後の表面密度は 500～630cpm であり、大部分の放射性物質は舗装面とともに除去され、舗装面下の碎石はほとんど汚染されていないと考えられる。剥ぎ取りを行わず、オーバーレイのみ実施した場合でも表面密度は遮蔽効果により約 85%程度低減された。また、未舗装面（砂利や土面）に対するバックホウ、人力での砂利や土の剥ぎ取りによる表面密度の低減率は約 30～95%であった。

川俣町では約 530m²のアスファルト舗装面の剥ぎ取り（撤去）により、フレキシブルコンテナバックにして約 80 袋の除去物が発生した。そのため、事前のモニタリング結果等を踏まえ、除去物発生量抑制の観点から汚染された舗装面のみを放射性物質に汚染された除去物として取扱うことが望ましいと考える。

側溝・集水枡に溜まった汚泥を除去するために実施したスコップ等を用いた人力の除染による表面密度の低減率は約 30～90%であった。また、汚泥の除去に加え、側溝のコンクリートの除染を併せて実施した場合の表面密度の低減率は約 10～85%であった。側溝・集水枡は周辺地区の除染の進捗や風雨の影響等により再汚染する可能性が考えられる。

d) まとめと課題

道路の除染にあたっては、放射性物質が 1) 道路に溜まった泥、草、落葉等の堆積物、及び 2) アスファルト舗装面のごく表面（特にストレートアスファルト部分）に残留・蓄積する傾向にあることから、上記のいずれを主たる除染の対象物とするかにより、除染方法を柔軟に選択することが重要である。たとえば、舗装面上に泥、草、落葉等が多量に堆積しているような場所に対しては、第一に路面清掃車等によりこれらの堆積物を除去することが線量低減、除染作業の効率化の観点から有効な方法であると考えられる。一方、既に堆積物等が少量であるにも関わらず、表面密度や表面線量率が高い舗装面に対しては、路面清掃車や高圧水洗浄機による除染効果は限定的であり、舗装面の表面を切削する手法によりさらなる除染効果が期待される。

本事業において実施したいずれの除染方法も、除染時に発生する粉じんや除去物の回収、もしくは除染で使用した水や汚泥の回収状況が最終的な放射性物質の低減率へ影響を与えている可能性が示唆された。そのため、既存技術を活用しつつ、これら除去物等を効率的に回収するための機器の改良を行うことが望まれる。

本事業での経験を踏まえ、道路の除染の実施にあたっての意思決定プロセス(例)を図 2.4.2(1)①(b)IV-9 に示す。また、図 2.4.2(1)①(b)IV-10 は本事業で実施した道路（舗装面）に対する主要な除染方法を放射性物質の低減率、除染速度、除去物の発生量、除染水の処理の必要性、除染後の復旧作業の必要性から相対的に評価したものである。いずれの除染方法もそれぞれ長所・短所を有していることから、各除染現場において、上記の指標とともに費用や機材の汎用性等も加味した上で、効率的に除染が進められるように最適な除染方法（組み合わせ）を選定することが重要である。

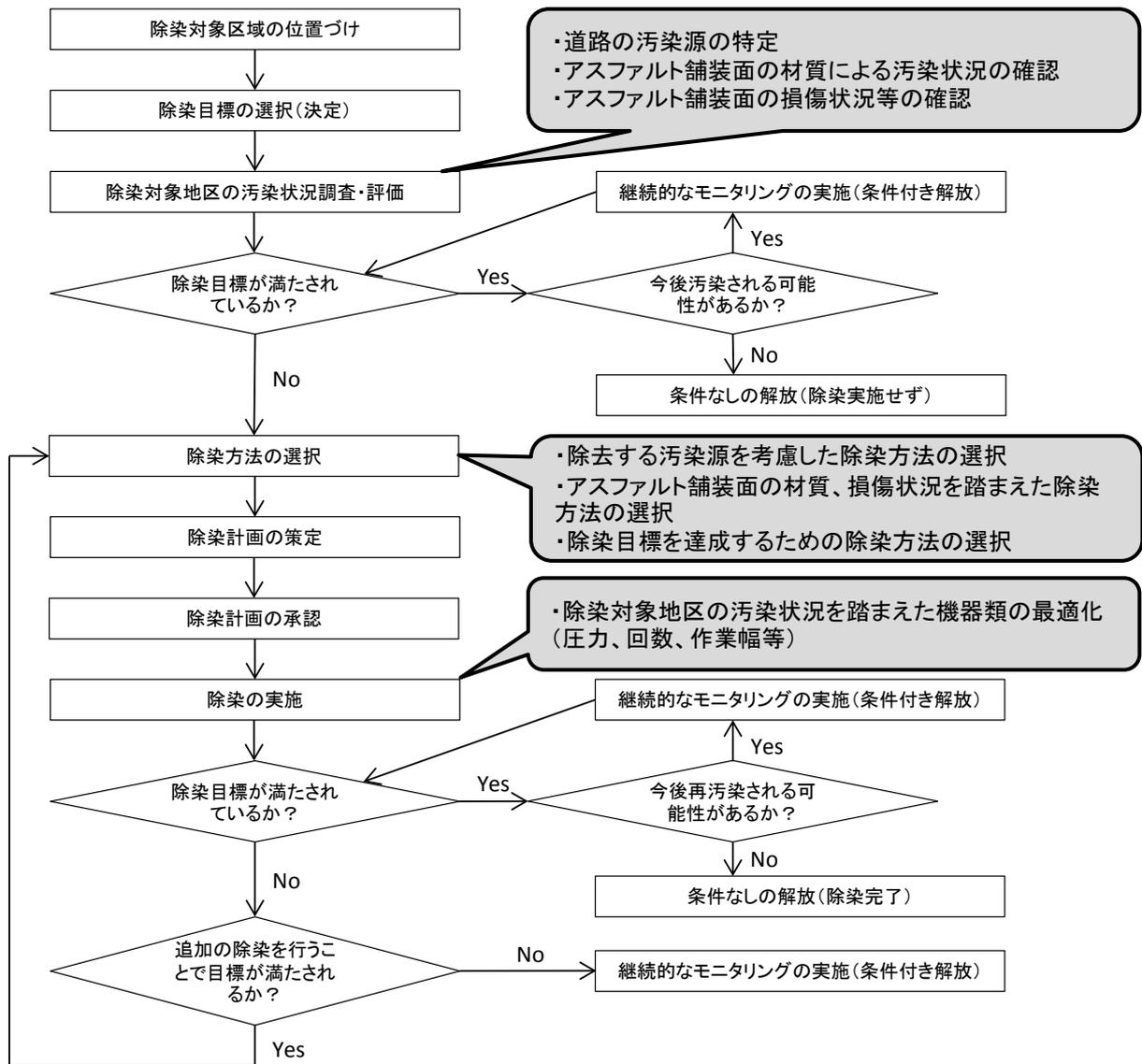
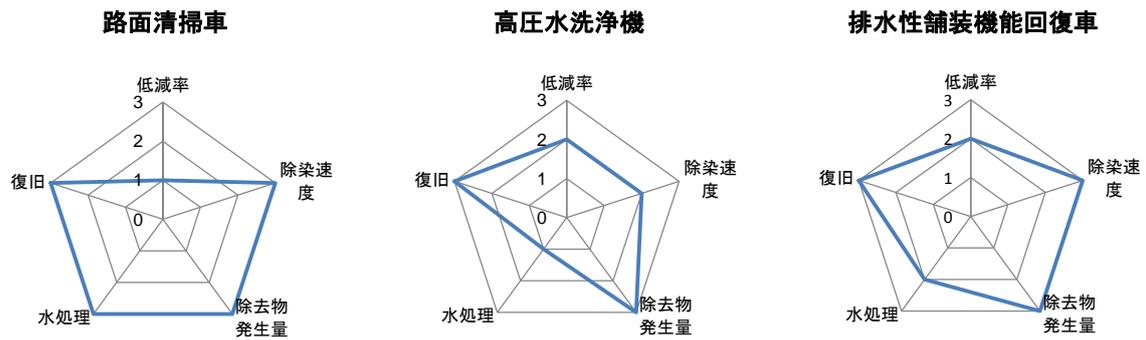
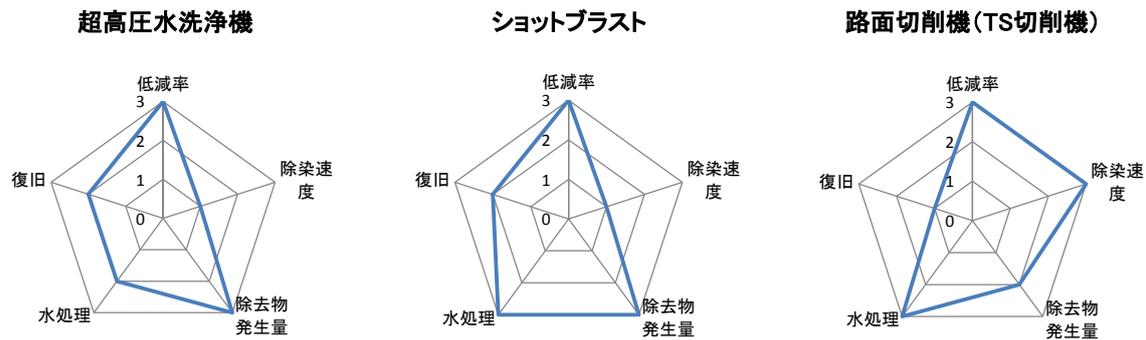


図 2. 4. 2 (1) ① (b) IV-9 道路の除染プロセス (例)

主として舗装面表面に溜まった泥、落葉等の堆積物の除去に効果的な手法



主として舗装面の内部へ浸透した放射性物質の除去に効果的な手法



主として震災の影響で損傷が激しい舗装面に対する対応

バックホウ(剥ぎ取り・撤去)

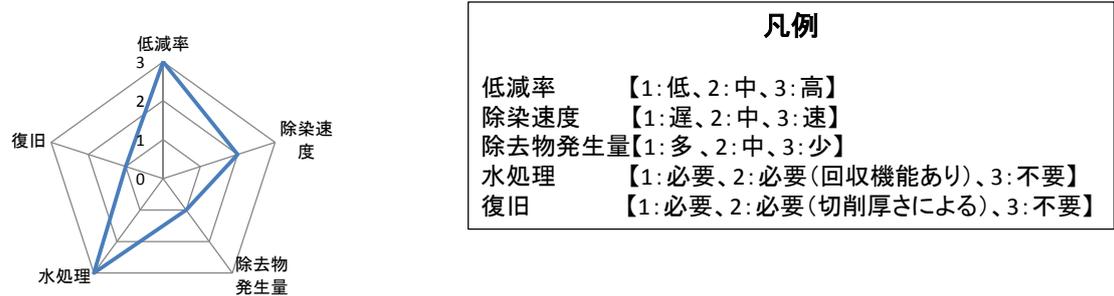


図 2.4.2(1)①(b)IV-10 道路の除染方法の比較

V 森林

a) 放射性物質の付着・残留状況

森林における放射能分布は、図 2.4.2(1)①(b) V-1 で示すように、常緑樹林では落葉、腐植土（落葉等が微生物等により分解されて土状になったもの）の放射能濃度が高く、落葉樹林では腐植土の放射能濃度が高い傾向が認められた。一方、樹木については、図 2.4.2(1)①(b) V-2 に示すように、放射性物質は枝葉や樹皮に留まっていた。竹林は、後述の表 2.4.2(1)①(b) V-2 の樹木の欄に見られるように同一地区の常緑樹林に比較して線量率が高い傾向が見られた。

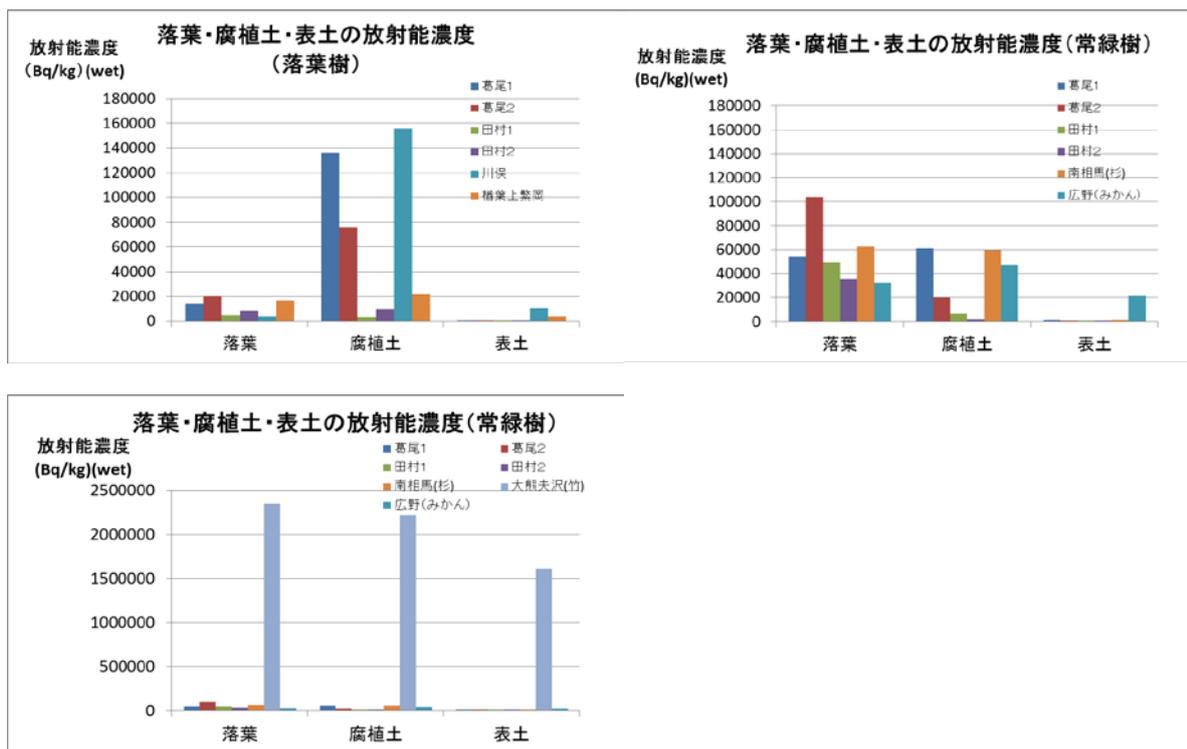


図 2.4.2(1)①(b) V-1 森林の落葉，腐植土，表土の放射能濃度（再掲）

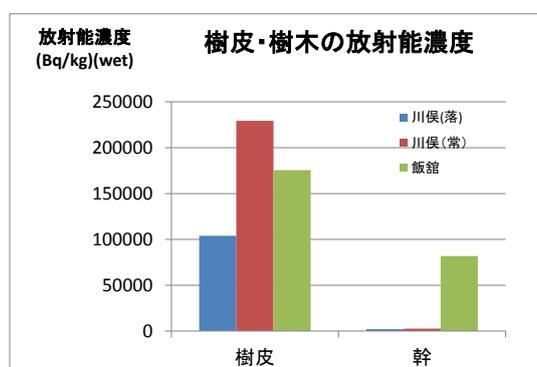


図 2.4.2(1)①(b) V-2 森林の樹皮，樹木の放射能濃度（再掲）

大熊町夫沢地区においては、常緑樹であるモミおよび杉を伐採し、樹木中の放射性セシウムの分布を詳細に調査した。調査対象のモミ（3本）およびスギ（3本）の枝・葉・樹皮および幹中の

放射性セシウム濃度の高さ分布を、それぞれ図 2.4.2(1)①(b) V-3 および 4 に示す。最も樹高が高く、樹勢も良好であったモミ No. 14 については、枝葉および樹皮中の放射性セシウム濃度に高さ依存性が認められ、位置が高くなると放射性セシウム濃度は高くなった。その他の樹木については、樹皮でわずかに高さ依存性が認められるものの、枝葉では明瞭な傾向は認められなかった。放射性セシウム濃度としては、概ね葉>枝>樹皮の順であった。

幹中の放射性セシウム濃度をみると、比較的低い場所では直径方向の濃度分布が明瞭で、樹皮に近い「外」部分は比較的高い放射性セシウム濃度が高いが、比べて中心に近い「芯」部分では濃度は極めて低く、多くの樹木で 1,000 Bq/kg 以下であった。一方、直径が細くなる高い場所では、芯部分も外部分と同程度の濃度であった。樹種では、スギに比べてモミの方が幹内の放射性セシウム濃度が相対的に低かった。また、スギの中で最も樹皮濃度が高いスギ No. 6 が最も幹内の濃度も高い等、幹内の濃度の樹皮濃度依存性も認められた。これらのことから、幹内の放射性セシウムは樹皮からの吸収が主であると推測されたが、詳細なメカニズムについてはさらなる調査が必要である。

上記の放射性セシウム濃度の分析結果を踏まえ、伐採後の樹木については、全ての高さの枝葉および樹皮、ならびに、高い場所の幹を除去物として仮置場に搬入し、放射性セシウム濃度が低い幹部分については、地権者の方のご了解をいただき、伐採現場に残置することとした。これにより、伐採後の除去物の発生量を大幅に抑制できた。各樹木について、除去物として搬入した枝葉の高さごとの重量を図 2.4.2(1)①(b) V-5 に示す。

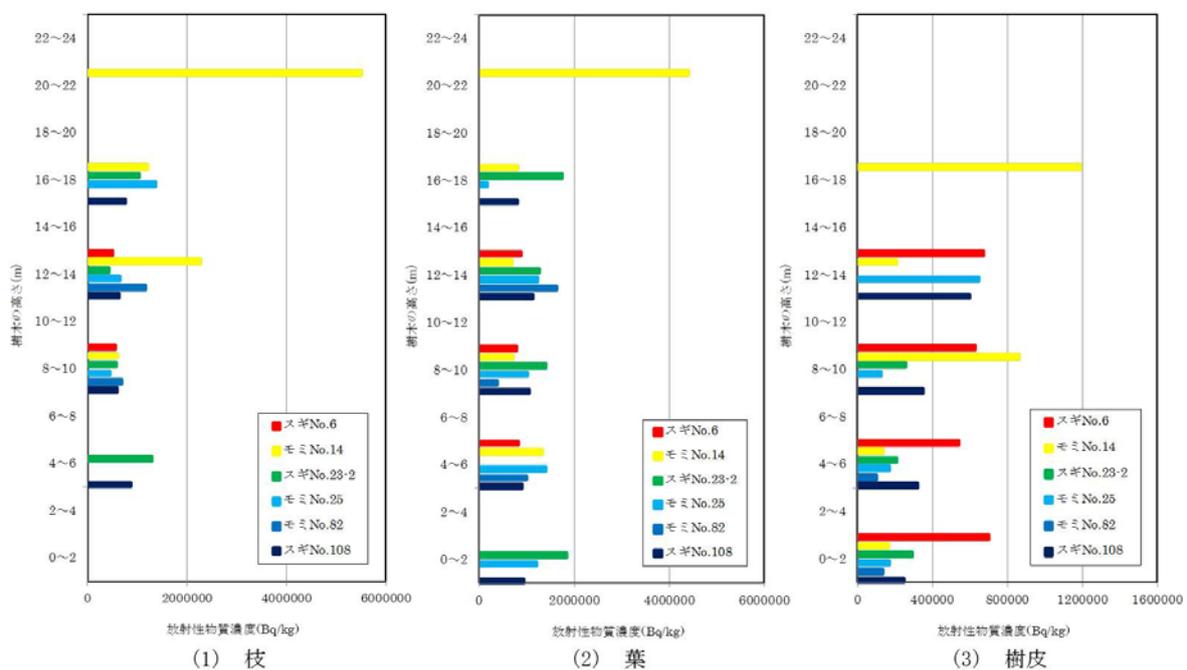


図 2.4.2(1)①(b) V-3 枝・葉・樹皮中の放射性セシウム濃度の高さ分布

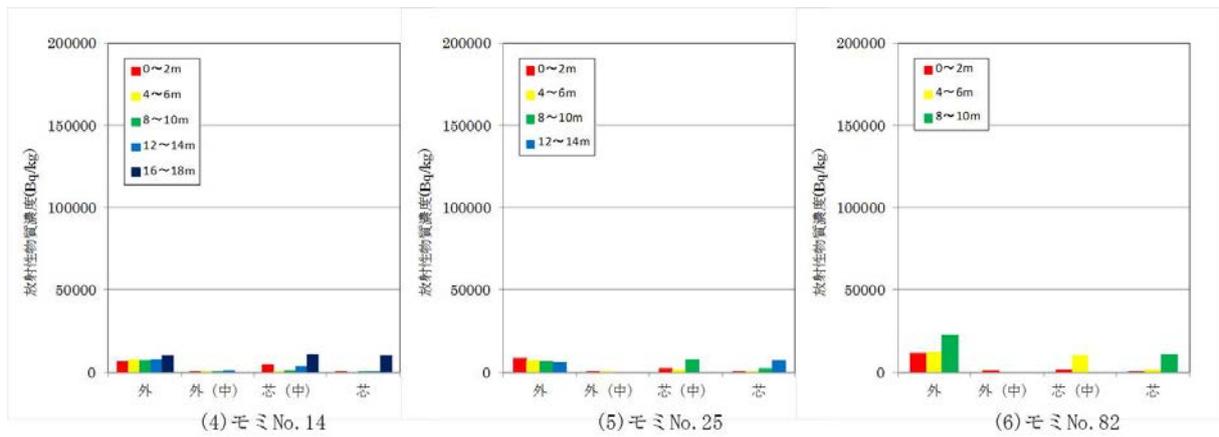
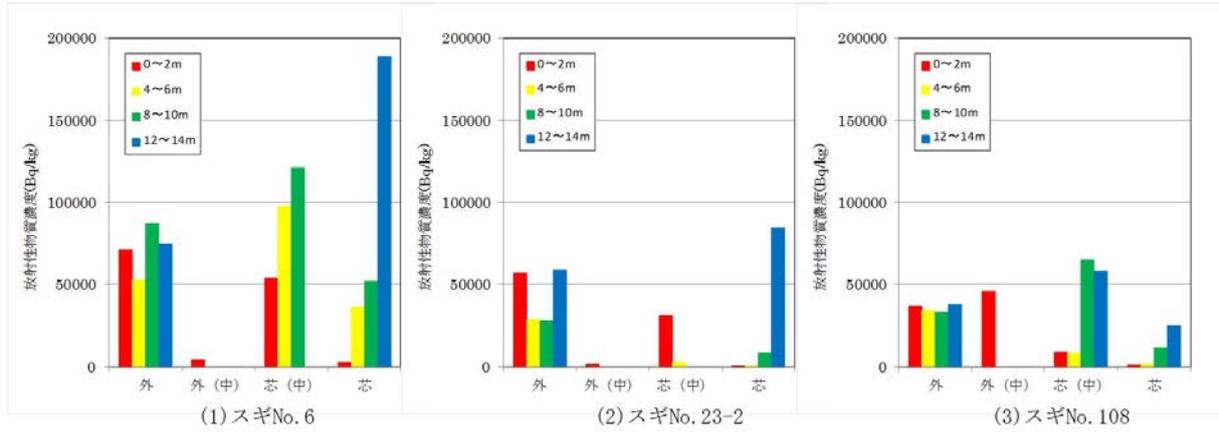


図 2. 4. 2(1)①(b) V-4 幹中の放射性セシウム濃度の高さ分布

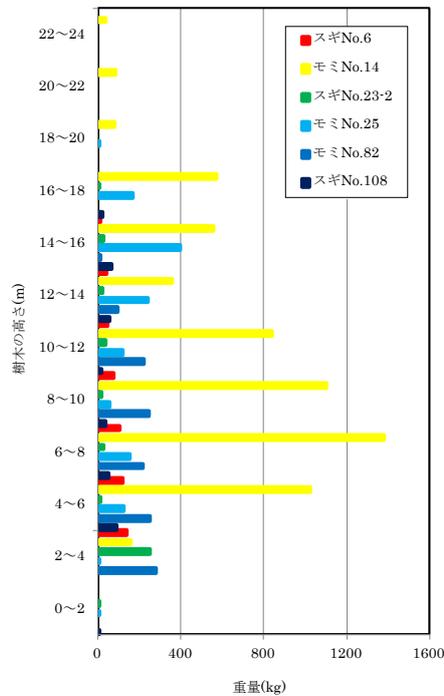


図 2. 4. 2(1)①(b) V-5 樹木の枝葉重量の高さ分布

b-1) 除染作業内容

森林や街路樹の除染対象の部位は、地表および樹木に分けられる（表 2.4.2(1)①(b)V-1）。

常緑樹林、落葉樹林ともに、地表に対する除染は、落葉、腐植土の除去を基本とした。これらの除去に当たっては、熊手や鋤簾を利用した人力作業が主となるが、作業が可能な場合にはバックホウ等の重機を利用した。また、一部の斜面においては搬送手段としてバキューム車を用いた真空搬送方式を利用した。また、必要に応じて、表土の剥ぎ取りも実施した。地表の除染に当たっては、線量低減のみならず、森林の持つ防災機能や生物多様性保全機能などの保全も考慮した。

一方、樹木については、線量の高い地区等においては枝葉に対しては枝打ちを実施した。

樹幹については、農林水産省の調査結果（農林水産省，2011）から、放射性セシウムの付着割合が 1～3%と小さく、空間線量率への影響は小さいと考えて基本的には除染を実施しなかった。ただし、富岡町の夜の森公園の桜並木や植林については、人が触れる可能性があることから水・ブラシ洗浄や高圧水洗浄を適用した。間伐・伐採については極力実施しないこととしたが、実証試験として間伐・伐採による空間線量低減効果のデータ採取が必要な場合は、地権者の了解が得られたケースについて実施した。竹林については、施工性の観点から間伐を実施しないと地表に対する除染ができないケースがあった。

別途、内閣府から受託した試験（日本原子力研究開発機構，2012）では、森林入口から奥行き 10m までの区画の除染を行うことにより、森林入口の空間線量率はほぼ半分になったが、奥行き 10～20m の区画、20～30m の区画の除染に伴う森林入口の空間線量率の低減効果は見られなかった。これらを参考として、本事業における森林の除染範囲は生活圏から 20m 程度までの除染を基本とした。

表 2.4.2(1)①(b)V-1 森林において適用した除染技術一覧

除染部位		除染手法
地表	落葉	人力による除去・搬送 人力による除去・バキュームによる搬送 バックホウなどによる除去
	腐植土	人力による除去 バックホウなどによる除去
	表土	人力による除去 バックホウなどによる除去
樹木	樹幹	水・ブラシ洗浄 高圧水洗浄
	枝葉	枝打ち（常緑樹のみ）
	樹木	間伐・伐採

b-2) 除染作業の結果と評価

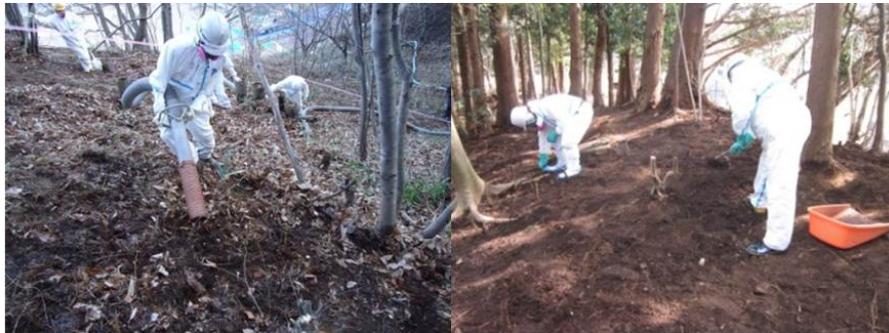
除染手法の例の写真を図 2.4.2(1)①(b)V-6 に、除染手法ごとの線量率の低減結果を表 2.4.2(1)①(b)V-2 および 3 に示す。なお、落葉や腐植土による地表面の凹凸は GM 計数管型サーベイメータの計測窓の大きさに対して大きいため、表面密度は参考値と考え、線量率を評価に用いた。一方、樹幹に対しては、汚染は樹皮にほぼ限定される結果が得られたことから、表面密度を用いた。

落葉除去では線量率（地上 1 cm）の低減率は最大でも 40%程度であり、効果は限定的であった。一方、落葉・腐植土を除去した場合、線量率（地上 1 cm）の低減率は 0～65%程度、線量率（地上

1m)の低減率は0~40%程度と、一部の地区を除き明確な低下が認められた。落葉・腐植土・表土の除去については、線量率(地上1cm)の低減率が最大で80%と、有意な低減が認められた。一方、一部の地区では、樹木の根の存在により十分な剥ぎ取りが行えず、線量率の低減は限定的な場合もあった。落葉除去のみでは線量率の低減効果が低く、腐植土・表土まで除去した場合に低減効果が有意となることは、a)で示した放射性セシウムの分布状況と整合的である。

地表に対する除染による線量率の低減率は、地上1cmよりも地上1mの方が小さいケースが多い。これは、腐植土・表土の剥ぎ取りにより地表からの放射線の寄与が小さくなり、一方で枝葉や幹などからの寄与が相対的に大きくなったためと考えられる。

樹木に対する除染として、枝打ちは、作業性や搬送の段取りの関係上、ほとんどの地区で落葉の除去等と独立に実施できず、枝打ちだけの効果を確認することは困難であった。ただし、線量率(地上1m)の低減率は5~40%程度と、線量率(地上1cm)の低減率0~35%程度よりもやや高い結果を示しており、枝打ちの効果が認められた。また、竹林に対する10%程度の間伐、常緑樹の伐採(10m幅程度)の結果、線量率(地上1m)は10~15%程度の低減率を示した。



(1) 落葉除去 (バキューム搬送) (2) 落葉・腐植土・表土除去



(3) 枝打ち (高所作業車) (4) 枝打ち (人力)



(5) 竹林間伐 (6) 伐採

図 2. 4. 2(1)①(b) V-6 森林の除染方法の例

表 2.4.2(1)①(b) V-2 森林除染による線量率の低減結果

除染部位	除染手法	付帯作業	地区	樹種	線量率 (地上1m)			低減率 (%)	線量率 (地上1cm)			低減率 (%)	表面密度 (地上1cm) (斜体はコーンメータ使用時)			低減率 (%)	
					除染前 (μSv/h)	除染後 (μSv/h)	低減率 (%)		除染前 (μSv/h)	除染後 (μSv/h)	低減率 (%)		除染前 (cpm)	除染後 (cpm)	低減率 (%)		
地表	落葉	落葉除去(人力搬送)	下草刈り	田村市	混合林	0.80	0.69	14	0~25	0.92	0.91	1	0~40	686	717	-	0~30
				葛尾村	混合林	1.84	1.83	1		2.18	2.23	-		2321	2185	6	
				川内村	常緑樹	4.10	3.61	12		5.12	4.98	3		4240	4180	1	
				川俣町	常緑樹	5.56	4.20	24		7.85	4.90	38		6400	4500	30	
				川俣町	落葉樹	4.29	4.02	6		5.37	5.01	7		3200	4200	-	
				川俣町	落葉樹	3.80	2.90	24		4.80	3.30	31		2500	2675	-	
				飯館村草野	混合林	4.90	5.50	-		6.60	6.10	8		5200	5910	-	
				浪江町津島	常緑樹	9.20	8.70	5		11.90	15.00	-		7500	9500	-	
				葛尾村	混合林	2.51	2.20	12		2.96	2.43	18		2100	1600	24	
	腐植土	落葉・腐植土除去	下草刈り、搬送	川俣町	落葉樹	3.80	2.90	24	0~40	4.80	3.30	31	0~65	2500	2675	-	5~90
				南相馬市	常緑樹	1.62	1.30	20		1.99	1.75	12		1500	1330	11	
				楢葉町上繁岡	混合林	2.60	1.60	38		4.60	2.10	54		2500	1400	44	
				楢葉町上繁岡	混合林	2.20	2.00	9		3.50	2.10	40		2000	220	89	
				川内村	常緑樹	2.84	2.81	1		4.09	4.04	1		3300	3100	6	
				川俣町	落葉樹	4.29	2.55	41		5.37	1.85	66		3200	1000	69	
				川俣町	常緑樹	5.56	3.85	31		7.85	3.70	53		6400	2200	66	
				飯館村草野	混合林	3.70	2.70	27		4.60	3.40	26		3175	1677	47	
				浪江町津島	混合林	6.39	4.33	32		6.98	7.10	-		3840	2650	31	
表土	落葉・腐植土・表土除去	下草刈り、搬送	大熊町夫沢	常緑樹	67.40	39.60	41	30~45	95.00	34.60	64	25~80	35990	12360	66	20~80	
			浪江町津島	常緑樹	8.30	5.10	39		12.00	4.80	60		7500	1500	80		
			浪江町津島	混合林	7.99	4.43	45		12.33	2.49	80		4200	900	79		
			大熊町夫沢	常緑樹					66.10	12.10	82		30950	5850	81		
			大熊町夫沢	竹林	61.80	44.80	28		96.70	71.70	26		33990	27490	19		
			南相馬市	混合林	1.94	1.18	39		2.64	1.96	26		1390	1400	-		
樹木	枝葉	搬送	南相馬市	混合林	1.94	1.18	39	5~40	2.64	1.96	26	0~35	1390	1400	-	0~70	
			南相馬市	落葉樹	1.67	1.49	11		2.10	1.37	35		1600	500	69		
			飯館村草野	常緑樹	3.40	2.40	29		4.30	3.20	26		2792	1780	36		
			川内村	常緑樹	3.00	2.68	11		4.43	3.64	18		3000	2600	13		
	樹木	間伐・伐採	搬送	大熊町夫沢	常緑樹	38.60	36.80	5	10~15	33.90	36.30	-	10~25	13000	11000	15	0~30
				大熊町夫沢	竹林 ^{注1)}	81.60	70.90	13		138.20	105.30	24		54530	37130	32	
				大熊町夫沢	常緑樹 ^{注2)}	37.20	34.00	9		35.00	31.50	10		11000	13000	-	

注 1) 10%程度の間伐

注 2) 10m幅程度の伐採

表 2.4.2(1)①(b) V-3 森林除染による線量率の低減結果 (集約)

除染部位	除染手法	低減率(%) [※]		
		線量率 (地上 1m)	線量率 (地上 1cm)	表面密度 (地上 1cm)
地表	落葉除去	0~25	0~40	0~30
	落葉・腐植土除去	0~40	0~65	5~90
	落葉・腐植土・表土除去	30~45	0~80	20~80
樹木	枝打ち(+落葉・腐植土除去)	5~40	0~35	0~70
	枝打ち(+落葉・腐植土・表土除去)			
	間伐・伐採	10~15	10~25	0~30

※5%刻みとした。また、除染効果が見られなかった場合 0 とした。

樹幹に対する除染は、富岡町夜の森公園において実施した。表 2.4.2(1)①(b) V-4 に、常緑樹(松) および落葉樹(カエデ, ケヤキ, 桜) の樹幹に対する除染結果を示す。

表 2.4.2(1)①(b) V-4 樹幹の高圧水洗浄結果

樹種	除染手法	表面密度(コリメート有)		
		除染前(kcpm)	除染後(kcpm)	低減率(%)
常緑樹(松)	高圧水洗浄 (9.8MPa)	1.4	1.0	29
落葉樹(カエデ)		4.0	2.7	33
落葉樹(ケヤキ)		7.4	1.1	85
落葉樹(桜)	水・ブラシ洗浄	2.8	1.5	46

常緑樹の伐採試験については、大熊町夫沢地区で実施した。森林伐採試験エリアの概略図を図 2.4.2(1)①(b) V-7 に示す。およそ 100 m×60 m の広さの牧草地があり、その北側および東側に主にモミおよびスギからなる常緑樹林が広がっていた。そのうち、林縁から幅 10 m の範囲にある全ての常緑樹(84 本)を伐採することについて、地権者の方のご了解をいただくことができた。また、東側エリアの林縁から幅 10~20 m の範囲については、枝打ちまで実施した。

図に示した各エリアについて、次のような順序で試験を実施した。

- (i) 牧草地の表土剥ぎ取り(白で示したエリア)
- (ii) 森林内の表土剥ぎ取り(赤⇒橙⇒水色のエリアをこの順序で実施)
- (iii) 森林内の枝打ち(赤⇒橙⇒水色のエリアをこの順序で実施)
- (iv) 森林の伐採(赤⇒橙のエリアをこの順序で実施)

この間、図中に示したメッシュ測定点において測定を実施した。森林に隣接して住居があることを想定し、林縁部近傍(図中黄線)および林縁部から 40 m 範囲の直線上(図中青線)の測定点における除染中の空間線量率の推移を、図 2.4.2(1)①(b) V-8 に示す。グラフをみると、いずれの場所においても、牧草地の表土剥ぎ取りにより空間線量率が大きく低減しているものの、森林内の表土剥ぎ取りおよび枝打ちの効果は極めて限定的であった。伐採による空間線量率の変化も、林縁部近傍では低減傾向が認められるものの、林縁部から 10 m 以上離れると有意な変化は認められなかった。

表土剥ぎ取りや枝打ちの効果が小さい理由としては、今回の試験エリアのさらに北側および東側に広がっている未除染の常緑樹林の影響が考えられる。測定点の空間線量率をみると、森林に近い測定点ほど空間線量率が高く、森林内に存在する放射性セシウムの寄与が大きいことが分かる。特に、樹木の枝葉には、極めて高い濃度の放射性セシウムが存在することは、前述のとおりである。したがって、未除染の森林に残存する放射性セシウムの寄与が大きく、限定的なエリアの表土剥ぎ取り・枝打ち・伐採の効果が顕在しにくい状態であったと考えられた。

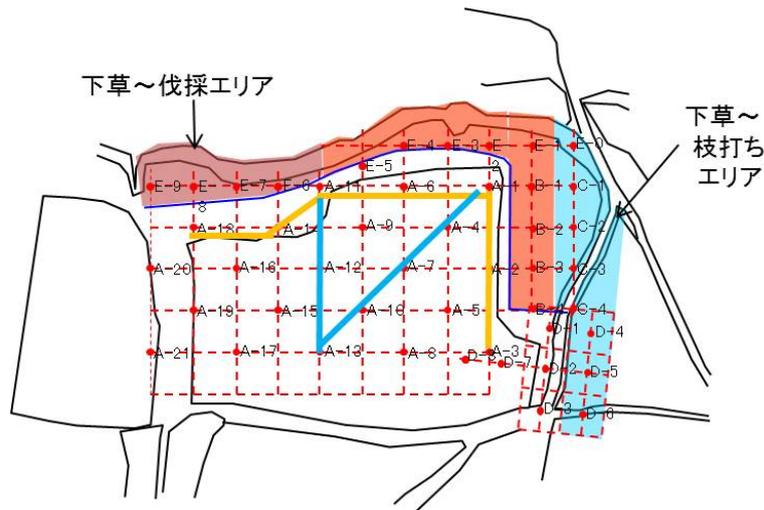


図 2. 4. 2(1)①(b) V-7 森林伐採試験エリアの概略図

(黄線：林縁部近傍測定点，青線：林縁部から 40 m 範囲の測定点)

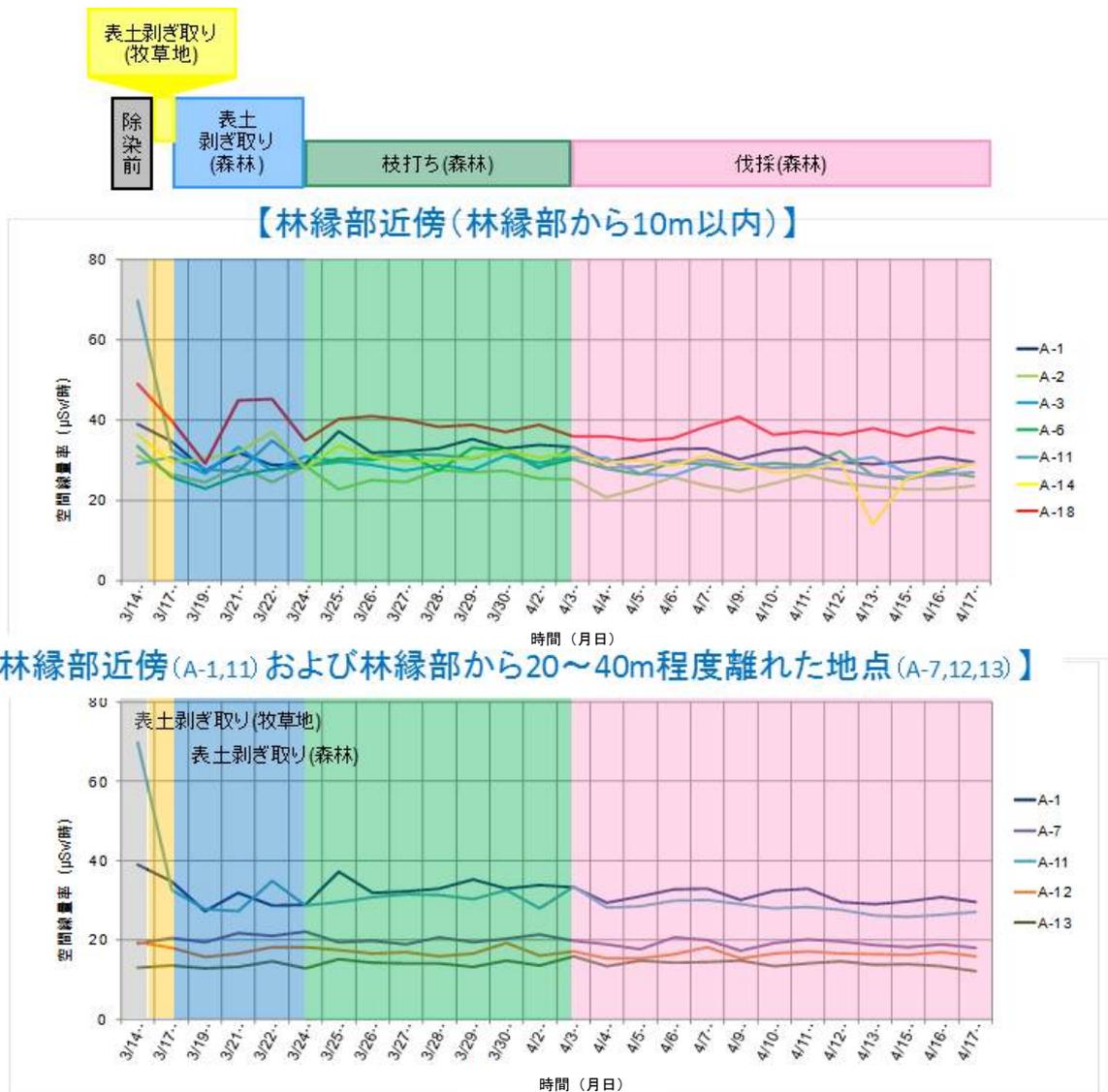


図 2. 4. 2(1)①(b) V-8 林縁部近傍および林縁部〜40 m 範囲の測定点における空間線量率の推移

(c) 除染対象区域別の分析評価

除染対象区域別の除染効果については、各地点の汚染レベルや地理的特徴、除染実施時期および、受注者の作業員管理方法等によって異なると考えられる。それぞれの除染区域毎の除染手法別除染効果と広域除染効果の詳細については、付録1に記載した。

ひとつの地区においても除染前の空間線量率には高低があるため、初期の汚染状況が除染効果に影響を与える可能性があり、今回のモデル事業の結果からは、線量の比較的低い地域（田村市、葛尾村、広野町、南相馬市、川内村、檜葉町など）では、比較的高い地区（大熊町、富岡町など）よりも除染効果はやや低い傾向を示していた。これは、線量の比較的低い箇所に対して適用した除染方法と、比較的高い箇所に対して適用した除染方法が異なることに大きな原因があると推定される。例えば、アスファルト舗装の道路に対して、線量の比較的低い地区では高圧水洗浄を基本とした一方、線量の比較的高い地区ではショットブラスト等での切削を積極的に取り入れたことなどである。

土地利用区分ごとの除染効果に着目すると、公園・グラウンドにおいて低減率が大きいのに対し、道路は低減率が小さい。これは、公園・グラウンドでは土面あるいは草地の剥ぎ取りを面的に実施しているため比較除染効果が大きいのに対し、道路はグラウンドに比べて幅が狭く道路以外のところからの寄与があること、今回のモデル事業では道路についての除染方法が道路機能の維持のために限定的なものであったことなどが原因と推察された。

土地利用区分（森林、農地、宅地、大型建物、道路）ごとの除染手法別の除染効果については、2.4.2(1)①(a)、(b)で整理した通りである。各地区における面的除染の結果については、土地利用区分毎に見ると森林や道路において低減率が低い場合が多いこと、また、汚染レベルが高いほど低減率が高いことについては、2.4.1(2)に示したとおりである。除染の効果は、周辺部からの放射線の影響を考えると、広い面積を面的に除染することで効果が高くなると考えられることから、今回のモデル事業の対象区域の除染区域境界部における空間線量率の低減率が低い場所でも、その周辺部を広範囲に除染することにより空間線量率の低減が図れるものと推測される。

地形の違いによる影響に関しては、今回のモデル事業においては、浜通りのサイトでは比較的平坦な地形が多く、阿武隈高地に位置するサイトでは山に囲まれているなど起伏が大きい山岳地形が多かった。平坦な地形の面的除染と山岳地域の面的除染では、同様の除染手法を用いた場合でも、除染後の空間線量率に違いがでる可能性がある。山岳地域では生活圏が森林に隣接して斜面に囲まれていることが多く、地表の剥ぎ取りについても根茎の保護や斜面保護の観点から十分に剥ぎ取る事が困難である事から、除染の効果が農地や宅地等と比べて低くなる傾向がある。森林では（特に常緑樹の場合は）枝葉に放射性物質が残っており、宅地や農地の周辺に森林がある場合には、地形による影響は無視できないと考えられるが、今後、様々な地形条件の計測データを積み重ねることによって、地形の影響さらには、そこに生育する森林の影響についての検証が望まれる。

(d) 面的除染効果（空間線量率低減効果）の分析評価

除染作業については、土地利用区分（森林、農地、宅地、大型建物、道路）ごとに最適な除染手法を選定するが、それによる除染箇所の除染手法別の除染効果については、2.4.2(1)①(a), (b)で整理した通りである。ここでは、個々の除染手法について除染を面的に展開した結果、エリア内の空間線量率(1m)がどのように変化したかについて整理した。

それぞれのエリアでの面的除染の結果については、土地利用区分毎に見ると森林や道路において低減率が低いこと、また、汚染レベルが高いほど低減率が高いことについては、2.4.1(2)に示したとおりである。

ここでは、これらの面的除染による空間線量率(1m)の変化について、地形の違いによる変化について分析を試みた。今回のモデル事業においては、浜通りのサイトでは比較的平坦な地形が多く、阿武隈高地に位置するサイトでは山に囲まれているなど起伏が大きい山岳地形が多かった。平坦な地形の面的除染と山岳地域の面的除染では、同様の除染手法を用いた場合でも、除染後の空間線量率に違いがあるのではないかと考え、平坦な地形の面的除染の結果と、山岳地域の面的除染の結果を分析することとした。比較対象地域として、東西を山に囲まれた葛尾村を、海に近く平坦な地形で構成された浪江町権現堂をそれぞれ選定した。事前・事後の空間線量率の結果について、図2.4.2(1)①(d)-1のように、測線A-Aでグラフ化した。葛尾村の除染エリアについては、森林部（混合林）が小学校グラウンドに面していることから、尾根までを除染範囲とした。その結果、グラウンドにおける線量の低下は7割程度となった。しかし、グラウンド内の山に近い点においては、グラウンド中央部よりも空間線量率の低減率がやや小さい傾向を示し、山からの影響を受けている可能性が示された。一方、浪江町権現堂についても同様に、側線B-Bでグラフ化した（図2.4.2(1)①(d)-2）。浪江町権現堂の除染エリアについては、東西側の非除染エリアの影響がほとんど除染エリア内に影響していない。一般的に、山岳地域では生活圏が森林に隣接し、斜面に囲まれていることが多い。森林では（特に常緑樹の場合は）枝葉に放射性物質が残っており、地表の剥ぎ取りについても根茎の保護や斜面保護の観点から十分に剥ぎ取る事が困難であることから、除染の効果が農地や宅地等と比べて低くなる傾向がある。

葛尾村と浪江町権現堂の事例から考察すると、地形による影響は無視できない程度であると考えられるが、今後、同様な計測データを積み重ねることによって、地形の影響さらには、そこに生育する森林の影響についての検証が望まれる。

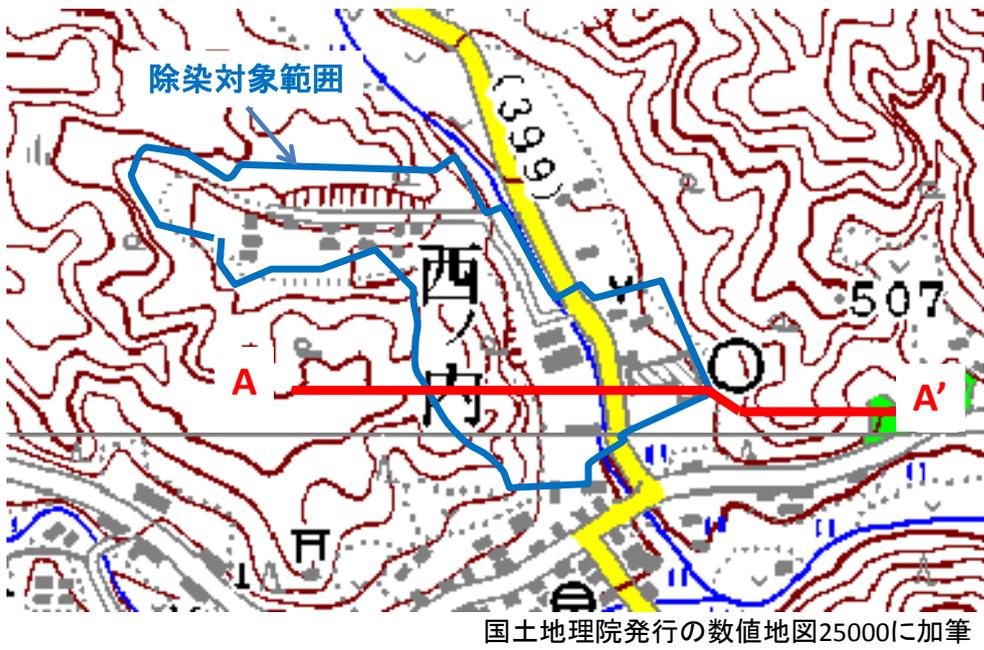
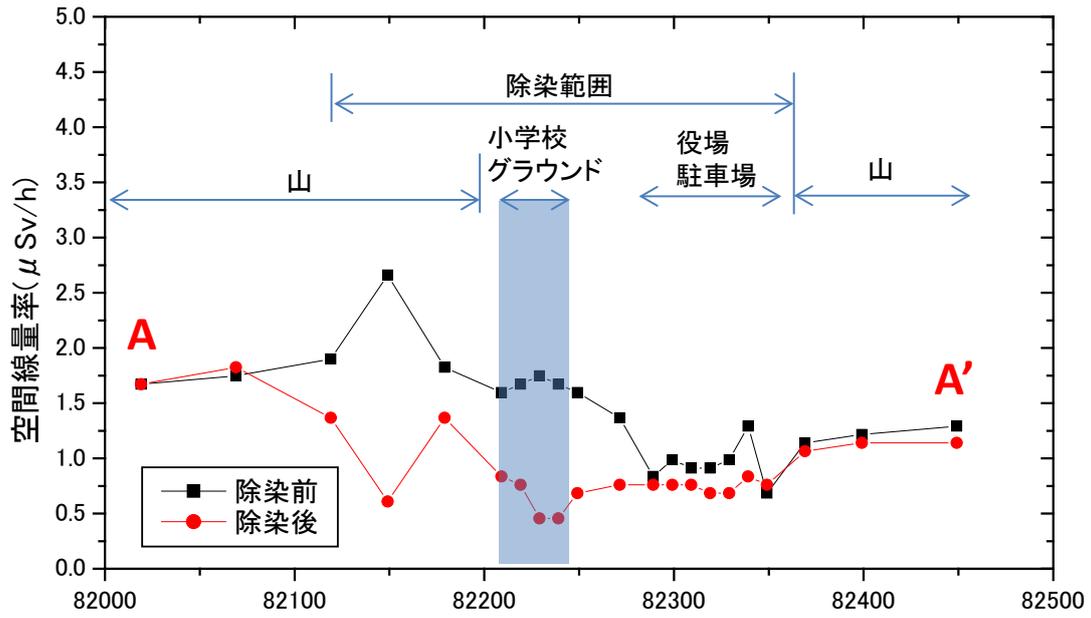
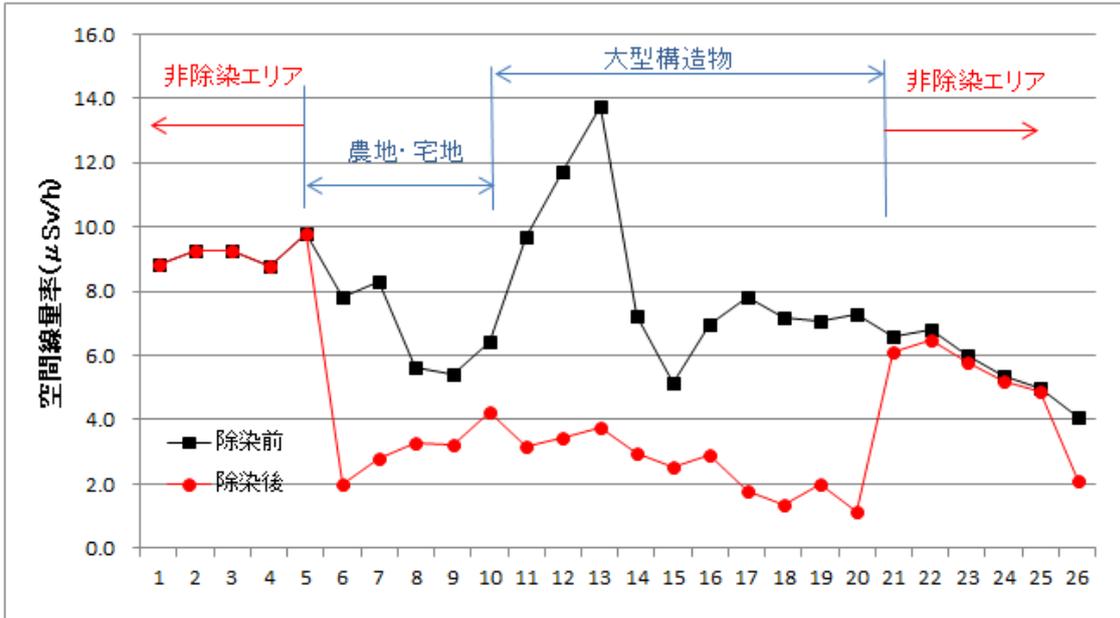


図 2.4.2(1)①(d)-1 山岳地域における空間線量率の分布 (葛尾村)
(等高線間隔: 10m)



B-B 測線

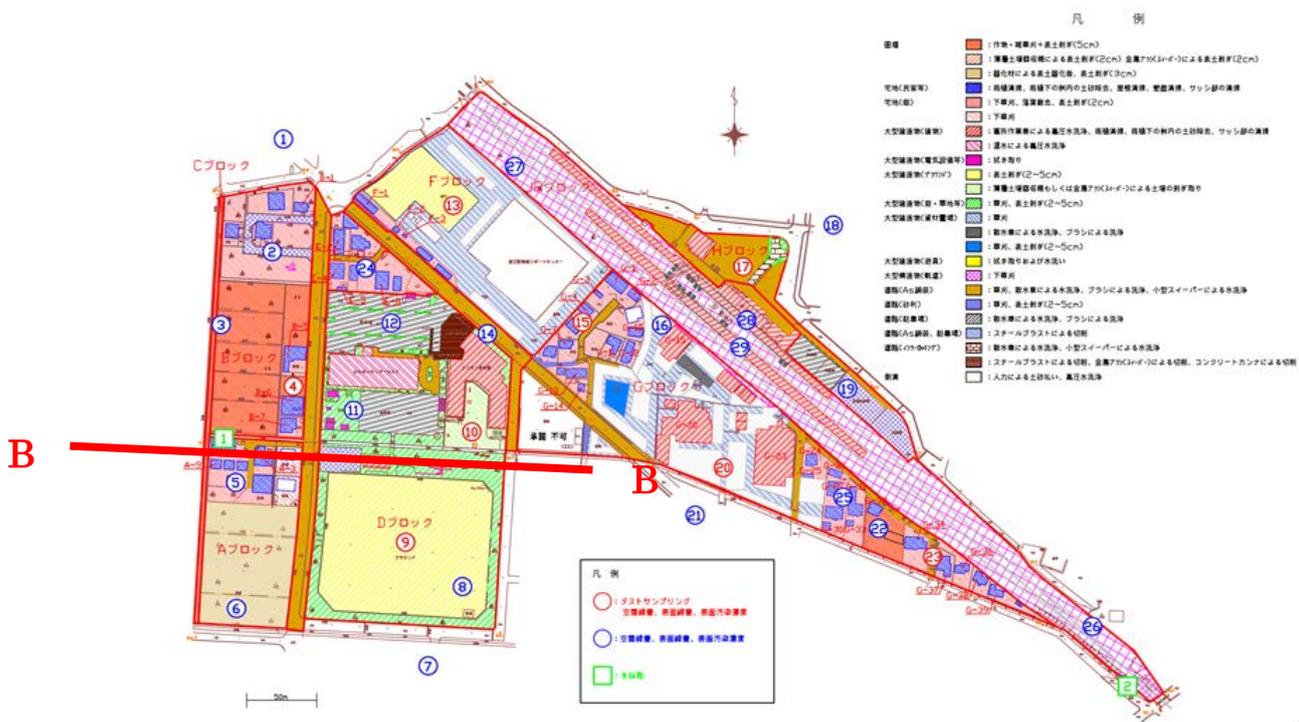


図 2.4.2(1)①(d)-2 平坦地域における空間線量率の分布 (浪江町権現堂)

次に、面的除染効果を評価するためのソフトウェアである除染効果評価システム(Calculation system for Decontamination Effect, CDE)(日本原子力研究開発機構, 2011)について、本事業におけるCDEの使用例を紹介し、その結果からCDEを使用する際に注意すべき点について論ずる。本章ではこの検証のために、民家、農地、森林など様々な除染対象が混在し、地形も起伏に富む川俣町のモデル除染体調地区を対象として選んだ。検証は除染前に行ったCDE解析(事前解析と呼ぶ)と除染後に行ったCDE解析(事後解析と呼ぶ)に基づいて行う。特に、CDEは除染前の表

面線量率を入力値として、除染前の空間線量率を推定するが、除染前の空間線量率の値の再現を
保証しているわけではないため、この計算結果と事前モニタリングの結果を比較することで CDE
の予測精度を評価することができる。そこで、本章では、除染前の空間線量率分布の CDE 計算値
と実測値の比較と除染後の空間線量率分布の比較に焦点を当て、次の順序に沿って議論を進める。

- i. 実測値
 - i. i. 除染前の空間線量率分布
 - i. ii. 除染後の空間線量率分布
- ii. 事前解析
 - ii. i. CDE ver. 1.07 による解析
 - ii. i. i. 除染前の空間線量率分布計算結果
 - ii. i. ii. 除染後の予測空間線量率分布計算結果
 - ii. ii. CDE ver. 2.03 による解析
 - ii. ii. i. 除染前の空間線量率分布計算結果
 - ii. ii. ii. 除染後の予測空間線量率分布計算結果
- iii. 事後解析
 - iii. i. CDE ver. 1.07 による解析
 - iii. i. i. 除染前の空間線量率分布計算結果
 - iii. i. ii. 除染後の予測空間線量率分布計算結果
 - iii. ii. CDE ver. 2.03 による解析
 - iii. ii. i. 除染前の空間線量率分布計算結果
 - iii. ii. ii. 除染後の予測空間線量率分布計算結果
- iv. 考察
 - iv. i. 評価対象地域の地形
 - iv. ii. 除染前空間線量率分布について
 - iv. iii. 除染後空間線量率分布について
- v. まとめ

まず、川俣町の除染対象地域の土地利用区分と表面線量率と空間線量率のモニタリングポイントを図 2.4.2(1)①(d)-3 に示す。本解析では、この土地利用区分にしたがって CDE のメッシュ状の土地利用区分地図を作成し、表面線量率や空間線量率を入力する。川俣町の除染対象地区ではモニタリングはメッシュ状に行われていないため、対象地区全体の空間線量率変化がわかりにくい。そこで、本解析では、図 2.4.2(1)①(d)-3 に示されているモニタリングポイントでの測定値をクリギングで内外挿し、対象地域全体の表面線量率及び空間線量率メッシュデータを作成した（メッシュサイズは CDE 解析に合わせて 10m×10m とした）。そして、このメッシュデータを利用して CDE の予測精度を上げるための工夫を行った。具体的には、CDE ver. 1.07 では同じ土地利用区分でも線量率の違いによって 8 つ ID を割り当てて表面線量率の空間的变化を取り入れ（詳細は後述）、CDE ver. 2.03 ではそのデータを「GPS 参照（ポイント値）」の機能を用いて入力した。また、各解析では次の条件を共通で用いた：A. メッシュは 10m×10m、B. 除染区域外は除染対象地域の外側 250m。

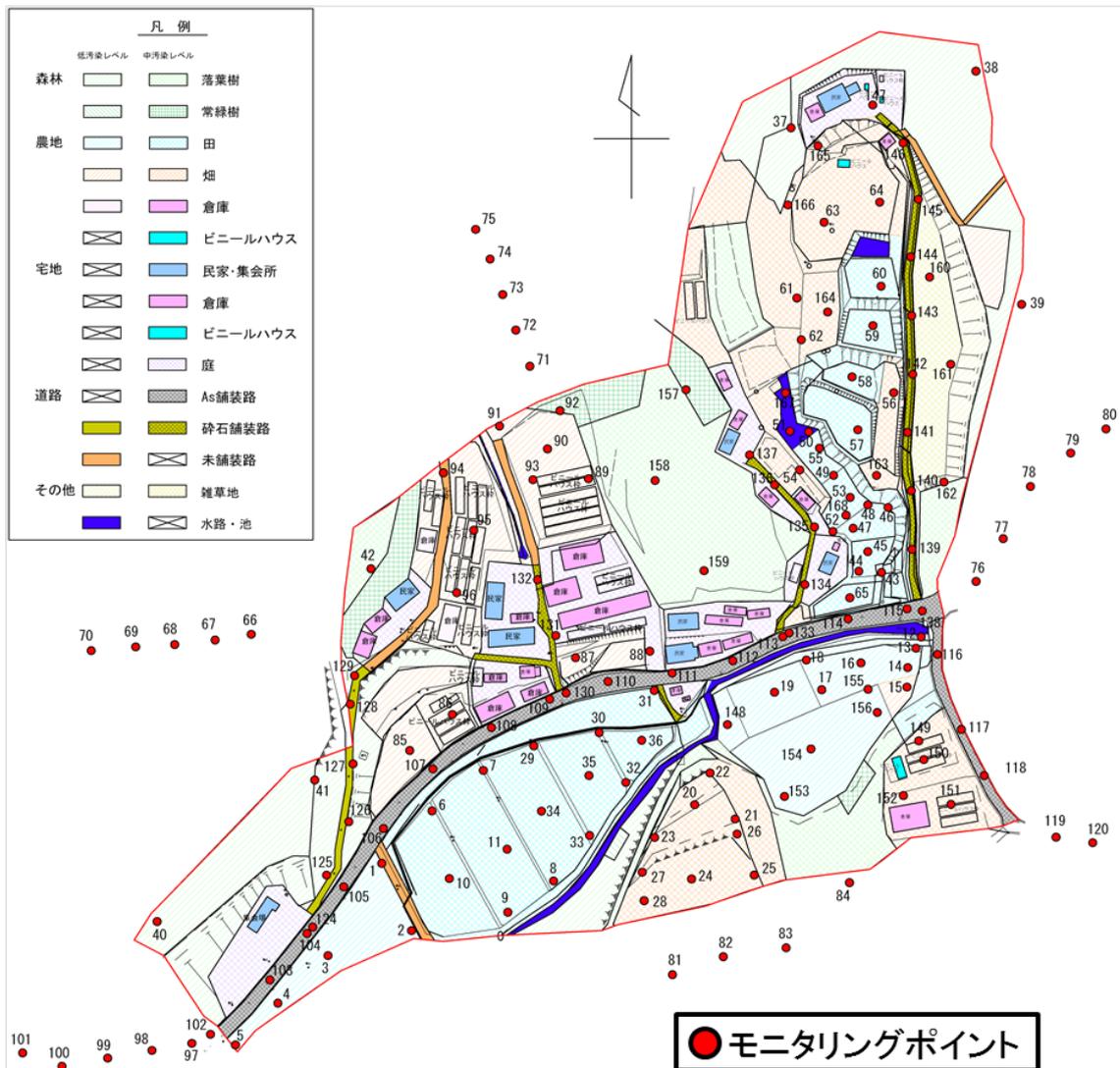


図 2. 4. 2(1)①(d)-3 土地利用区分と表面線量率・空間線量率のモニタリングポイント

i. 実測値

ここでは、モニタリングによる実測値の空間分布を示す。図 2.4.2(1)①(d)-3 に示されているモニタリングポイントで観測されたデータを、クリギングによって内外挿してメッシュ状に分布させたものを示す。

i. i. 除染前の空間線量率分布

図 2.4.2(1)①(d)-4 に、CDE 解析で必要になる外側 250m まで外装した除染前のモニタリング結果を示す。

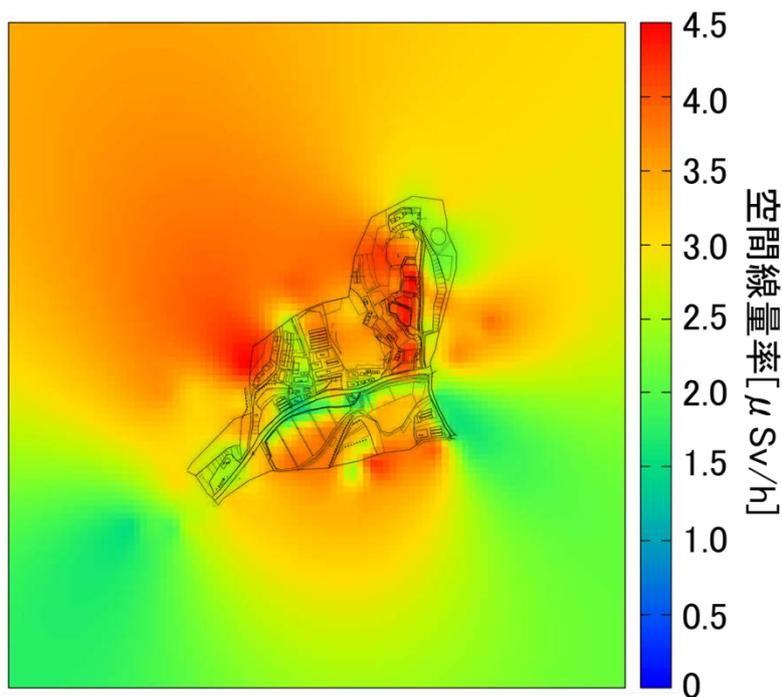


図 2.4.2(1)①(d)-4 外側 250m を含む除染前の空間線量率分布（実測値）

図 2.4.2(1)①(d)-4 は CDE で必要な評価対象領域全域を見ることができ、興味があるのは除染対象地域なので、以降は外側 250m は無視して除染対象地域を拡大した図で議論を進める。図 2.4.2(1)①(d)-5 に除染対象地域を拡大した除染前の空間線量率分布を示す。

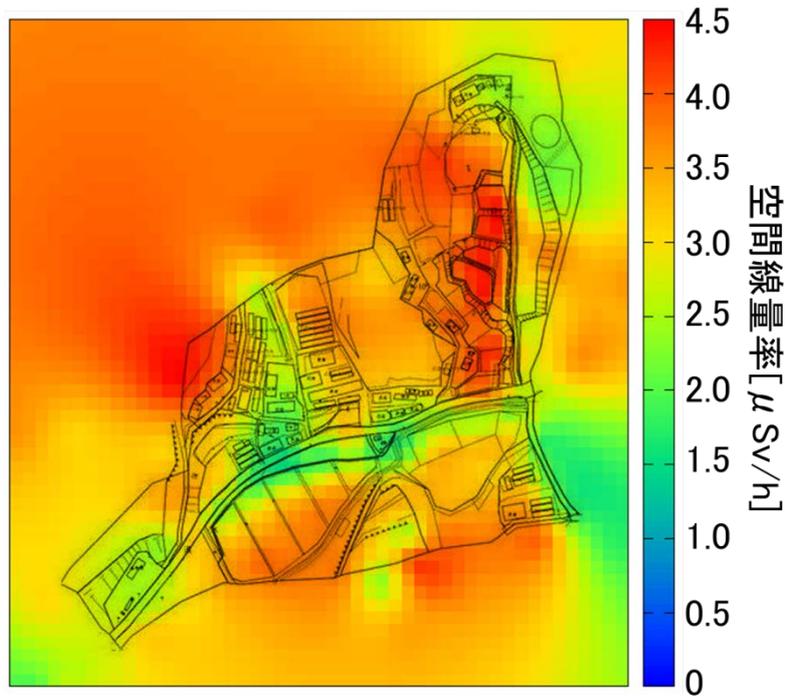


図 2.4.2(1)①(d)-5 除染前の空間線量率分布 (実測値)

i. ii. 除染後の空間線量率分布

次に、図 2.4.2(1)①(d)-5 と同様にして得た除染後のモニタリング結果を図 2.4.2(1)①(d)-6 に示す。

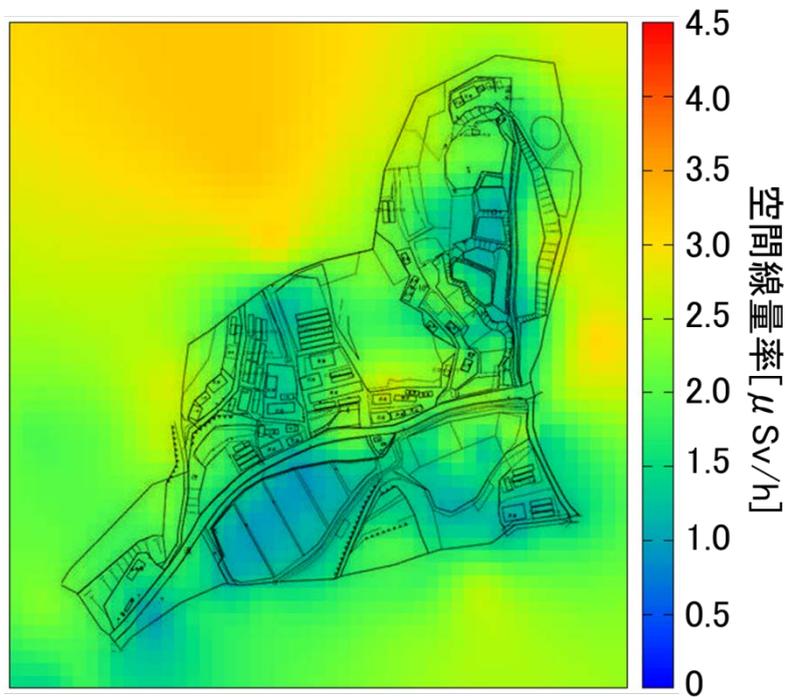


図 2.4.2(1)①(d)-6 除染後の空間線量率分布 (実測値)

iv. 考察ではこれらの実測値と CDE による計算値との違いを議論する。

ii. 事前解析

ここでは、本モデル事業において、実際の除染が始まる前にCDEを用いて行った予測計算について述べる（これを事前解析と呼ぶ）。まず、事前解析における設定を以下に挙げる。

- ・ 「森林」、「農地」、「道路」、「宅地」等の土地利用形態及び汚染レベル評価結果を考慮して、モデル上の土地利用区分は、①森林、②農地（中汚染）、③農地（低汚染）、④常緑樹、⑤舗装道路、⑥住宅地、⑦丘陵、⑧雑草地の8区分及び除染区域外ではこのような区分を考慮する必要がないため、一律、⑨「除染区域外」として、計9区分を設定した。
- ・ CDE ver. 1.07による解析において入力表面汚染密度の空間変化を取り入れるために、各土地利用区分を表面線量率に応じてさらに分割してIDを付与する。川又町の除染前表面線量率は0.5～7.5 μ Sv/hであるので、各土地利用区分を1 μ Sv/hで8区分に分け、IDを付与した。CDE ver. 2.03の解析においてもこのID区分を用いるが、除染前の入力データとしてはGPS機能を利用して各メッシュごとの空間線量率を用いる。

上記の区分けの結果、表2.4.2(1)①(d)-1のような土地利用区分とIDになり、それぞれ対応する除染係数(Decontamination Factor, DF)を付与した。

表 2.4.2(1)①(d)-1 事前解析における ID, 土地利用区分, DF 設定

ID	土地利用区分	線量区分(ver. 1.07)	DF	斜面効果
001～008	森林	0.5～7.5 μ Sv/h (1 μ Sv/h刻み)	2.8	無
011～018	農地(中汚染)		7.7	無
021～028	常緑樹		14.3	無
031～038	舗装道路		2.5	無
041～048	農地(低汚染)		2.4	無
051～058	住宅地		7.7	無
061～068	丘陵		1	有
071～078	雑草地		7.7	無
081～088	除染区域外		1	有

また、図2.4.2(1)①(d)-7のように除染対象地域にIDを付与した。

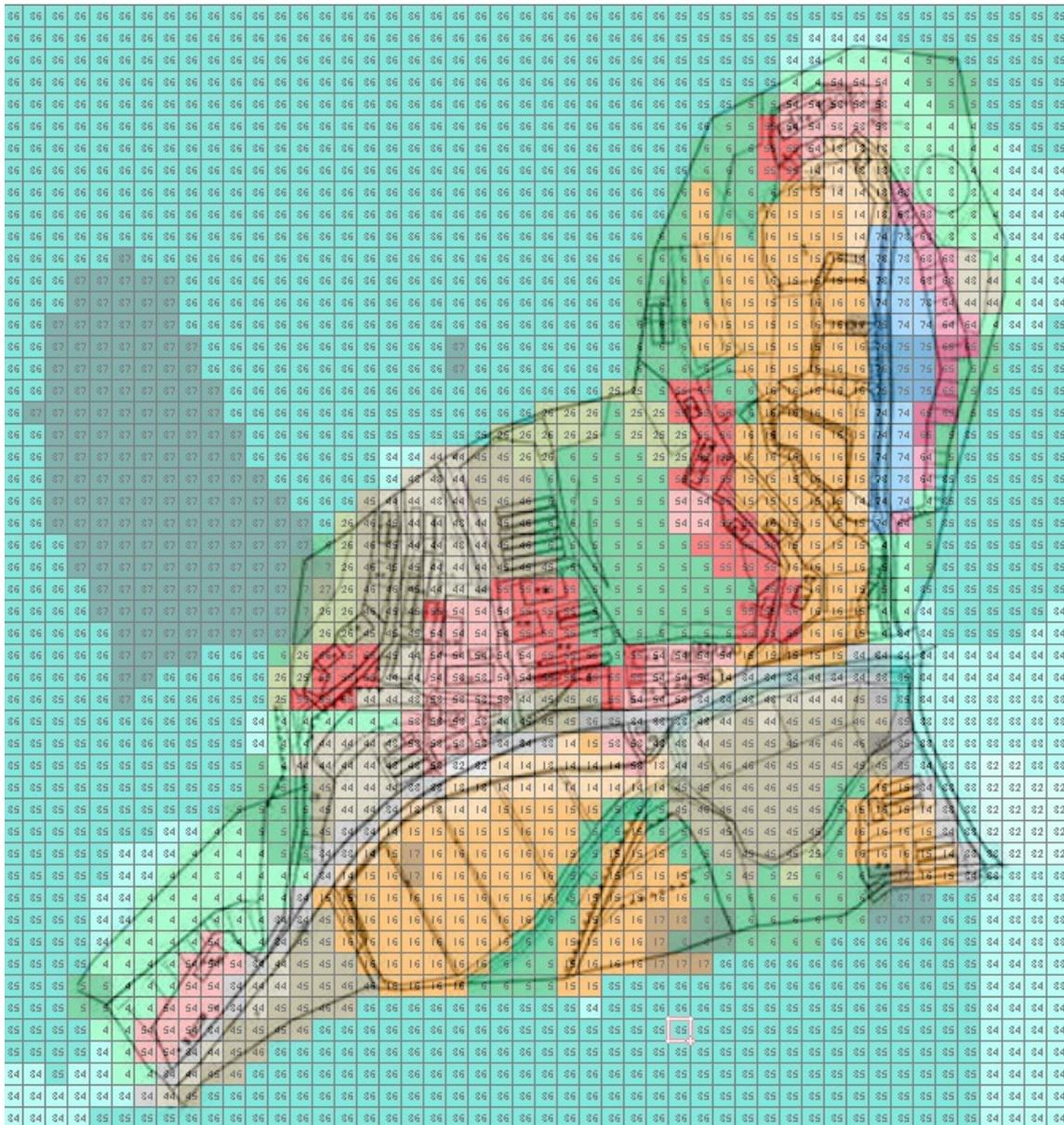


図 2.4.2(1)①(d)-7 事前解析における ID 設定

ii. i. CDE ver. 1.07 による解析

まず、CDE ver.1.07 を用いて解析を行った。

ii. i. i. 除染前の空間線量率分布計算結果

上記の設定で計算を行い、除染前の空間線量率分布を得た (図 2.4.2(1)①(d)-8)。

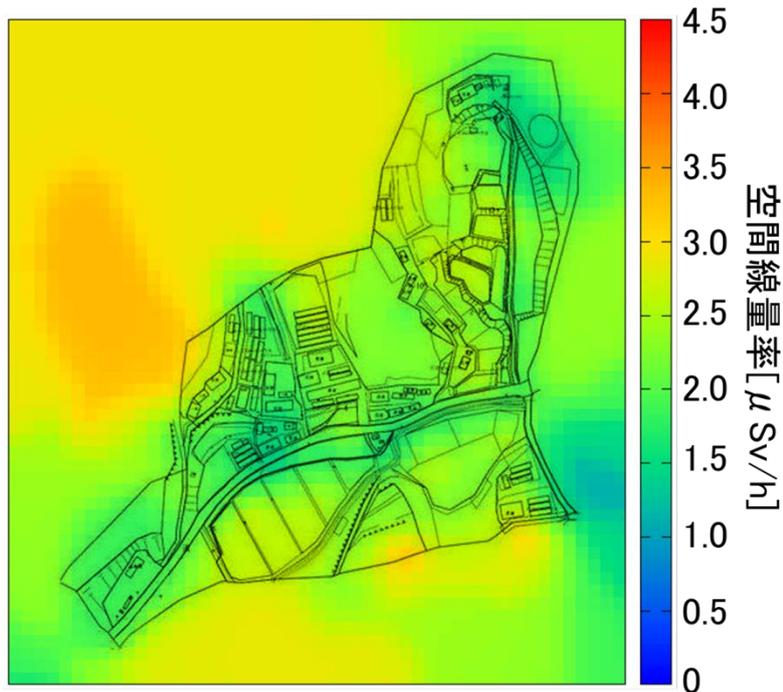


図 2.4.2(1)①(d)-8 事前解析における CDE 除染前空間線量率分布(ver. 1.07)

ii. i. ii. 除染後の予測空間線量率分布計算結果

同様にして、事前解析における除染効果予測結果を得た (図 2.4.2(1)①(d)-9)。

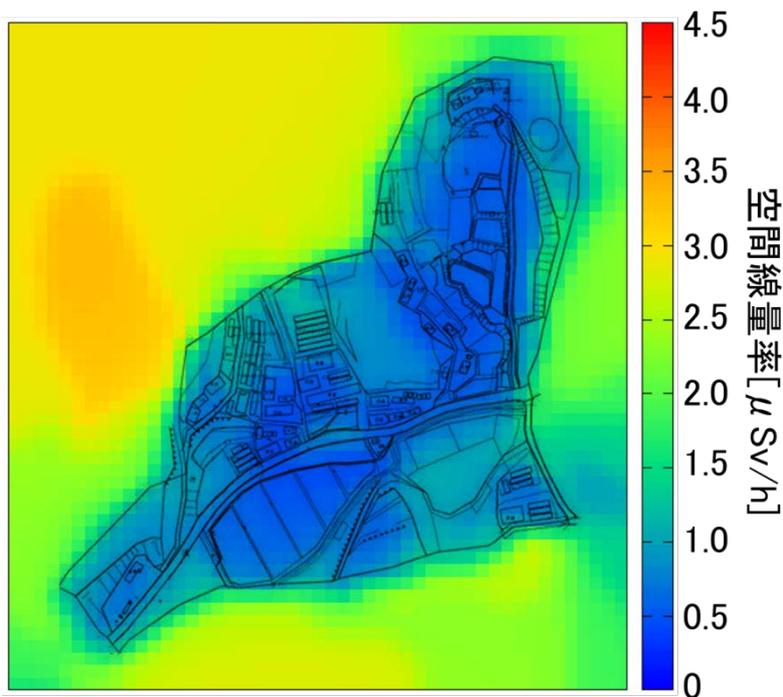


図 2.4.2(1)①(d)-9 事前解析における CDE 除染後予測空間線量率分布(ver. 1.07)

ii. ii CDE ver. 2.03 による解析

次に CDE ver. 2.03 を用いて事前解析を行った。入力については、i で用意したメッシュごとの外挿値を CDE ver. 2.03 で導入された「GPS 参照 (ポイント値)」を利用して入力した。その他の

設定は ii. i. と同じである。

ii. ii. i. 除染前の空間線量率分布計算結果

上記の設定で計算を行い、除染前の空間線量率分布を得た（図 2.4.2(1)①(d)-10）。

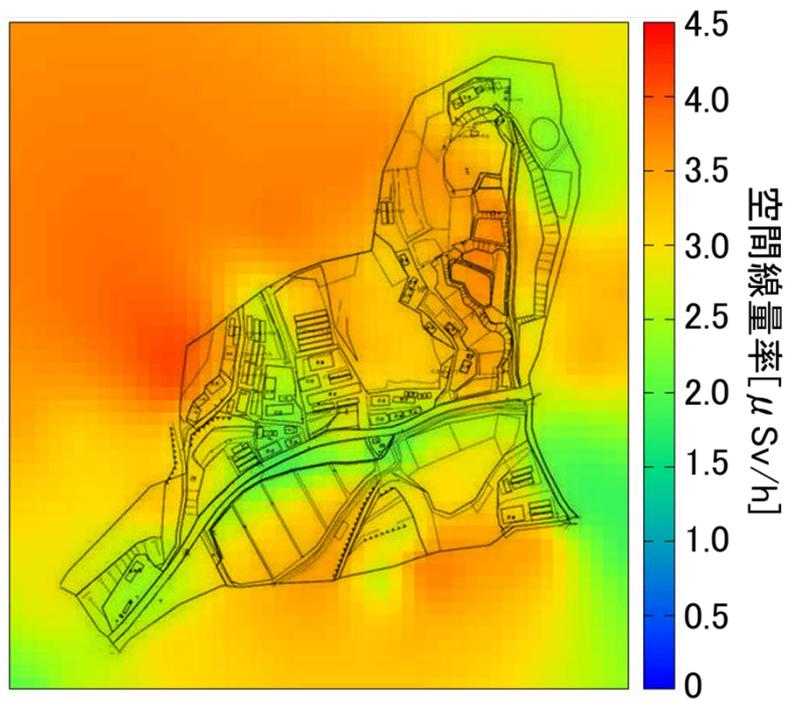


図 2.4.2(1)①(d)-10 事前解析における CDE 除染前空間線量率分布 (ver. 2.03)

ii. ii. ii. 除染後の予測空間線量率分布計算結果

同様にして、CDE ver. 2.03 を用いた事前解析における除染効果予測結果を得た（図 2.4.2(1)①(d)-11）。

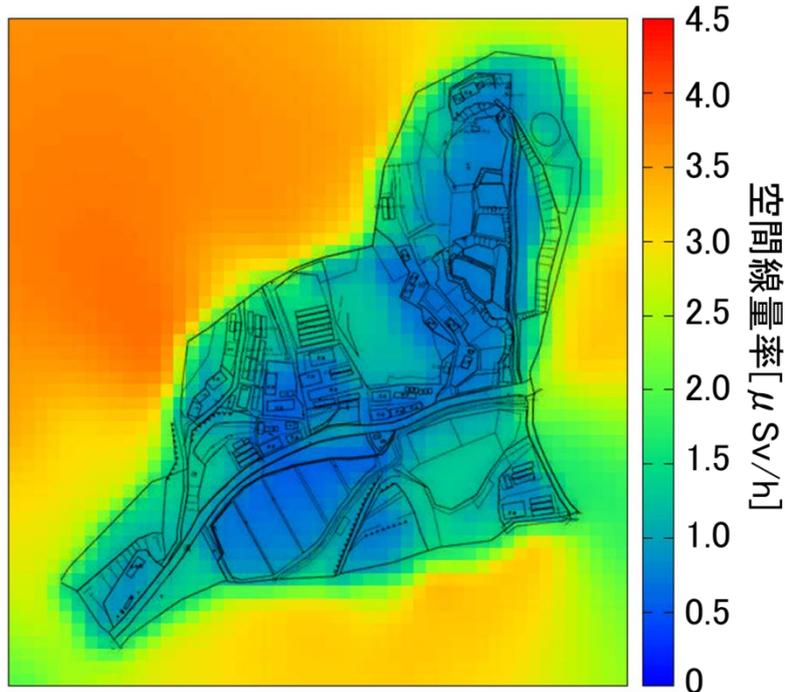


図 2.4.2(1)①(d)-11 事前解析における CDE 除染後予測空間線量率分布 (ver. 2.03)

iii. 事後解析

事後解析では、実際の除染作業を踏まえて、新たに土地利用区分を設定し直して解析を行った。具体的には、①森林（落葉樹 落葉撤去）、②農地（下草刈り+表土剥ぎ(機械)）、③森林（常緑樹 下草刈り+落葉撤去）、④道路（スーパー洗浄）、⑤農地（下草刈り+表土剥ぎ(人力)）、⑥宅地（庭部）、⑦森林（落葉樹 落葉撤去+リター層除去）、⑧農地（下草刈り+表土剥ぎ(機械)+固化材）、⑨農地（下草刈り+反転耕(人力)）、⑩農地（下草刈り+反転耕(機械)）、⑪道路（アスファルト打ち替え）の 11 区分及び除染区域外ではこのような区分を考慮する必要がないため、一律、⑫「除染区域外」として、計 12 区分を設定した。なお、除染手法として「下草刈り」を実施した場合の DF は 1.00 となるため、これらの区域も便宜上「除染区域外」と設定した。CDE ver. 1.07 における入力の詳細化のための線量率による区分分けは事前解析と同様に $0.5 \mu\text{Sv/h} \sim 7.5 \mu\text{Sv/h}$ を $1 \mu\text{Sv/h}$ 刻みで 8 区分とした。DF は川俣町地区で実際に適用された除染方法とこれに対応する実測値を設定した。事後解析における CDE に用いる除去率および DF を表 2.4.2(1)①(d)-2 に示す。

表 2.4.2(1)①(d)-2 事後解析における ID, 土地利用区分, DF 設定

ID	土地利用区分	除染方法	線量区分(ver. 1.07)	DF	斜面効果
001~008	落葉樹	落葉撤去	0.5~7.5 μ Sv/h (1 μ Sv/h刻み)	0.87	無
011~018	農地	下草刈り+表土剥ぎ(機械)		3.33	無
021~028	常緑樹	下草刈り+落葉撤去		1.43	無
031~038	道路	スイーパー洗浄		2.27	無
041~048	農地	下草刈り+表土剥ぎ(人力)		1.59	無
051~058	宅地	庭部		1.59	無
061~068	落葉樹	腐植土層撤去		2.7	無
071~078	農地	下草刈り+表土剥ぎ(機械)+固化剤		2.33	無
081~088	除染区域外			1	有
091~099	農地	下草刈り+反転耕(人力)		1.25	無
101~108	農地	下草刈り+反転耕(機械)		3.03	無
111~118	道路	アスファルト打ち替え		6.67	無

次に、事後評価における除染区域の ID 設定を図 2. 4. 2(1)①(d)-12 に示す。

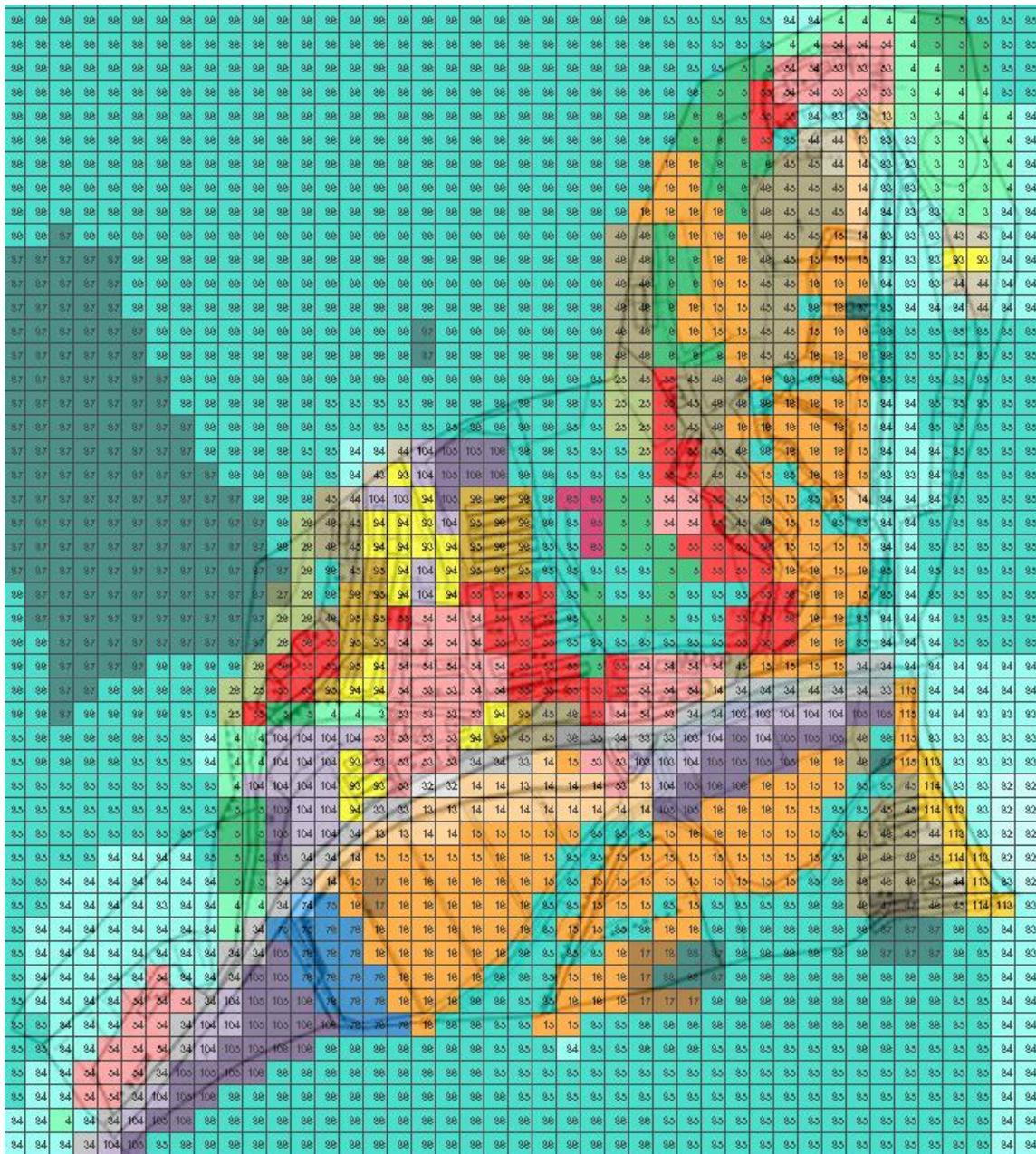


図 2. 4. 2(1)①(d)-12 事後解析における ID 設定

iii. i. CDE ver. 1.07 による解析

事後解析においても、まず、CDE ver. 1.07 を用いて解析を行った。

iii. i. i. 除染前の空間線量率分布計算結果

上記の設定で計算を行い、除染前の空間線量率分布を得た (図 2. 4. 2(1)①(d)-13)。

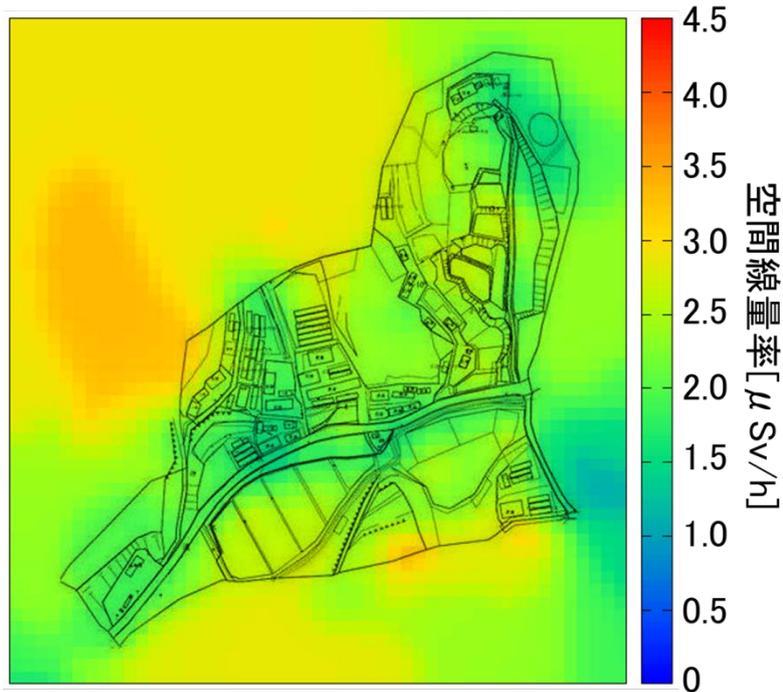


図 2.4.2(1)①(d)-13 事後解析における CDE 除染前空間線量率分布 (ver. 1.07)

iii. i. ii. 除染後の予測空間線量率分布計算結果

同様に、事前解析における除染効果予測結果を得た (図 2.4.2(1)①(d)-14)。

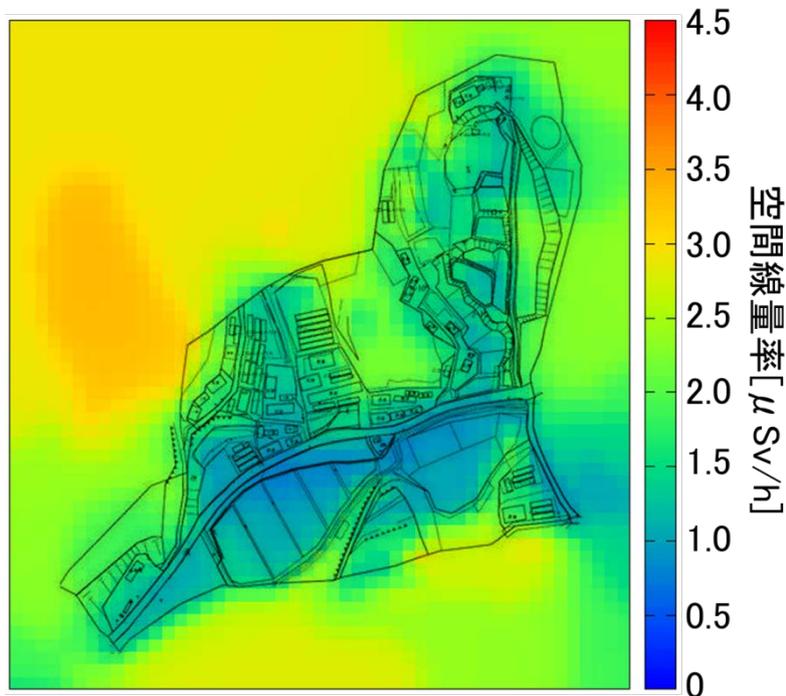


図 2.4.2(1)①(d)-14 事前解析における CDE 除染後予測空間線量率分布 (ver. 1.07)

iii. ii CDE ver. 2.03 による解析

次に CDE ver. 2.03 を用いて事後解析を行った。入力については、i で用意したメッシュごとの外挿値を CDE ver. 2.03 で導入された「GPS 参照 (ポイント値)」を利用して入力した。その他の

設定はiii. i. と同じである。

iii. ii. i. 除染前の空間線量率分布計算結果

CDE ver. 2.03 の入力に「GPS 参照 (ポイント値)」を用いた場合、除染前の空間線量率の計算は土地利用区分の分け方によらない。よって、CDE ver. 2.03 を用いた事後解析における除染前の空間線量率分布計算結果は図 2.4.2(1)①(d)-10 と同じになる。

iii. ii. ii. 除染後の予測空間線量率分布計算結果

上記の設定を用いて、CDE ver. 2.03 を用いた事前解析における除染効果予測結果を得た (図 2.4.2(1)①(d)-15)。

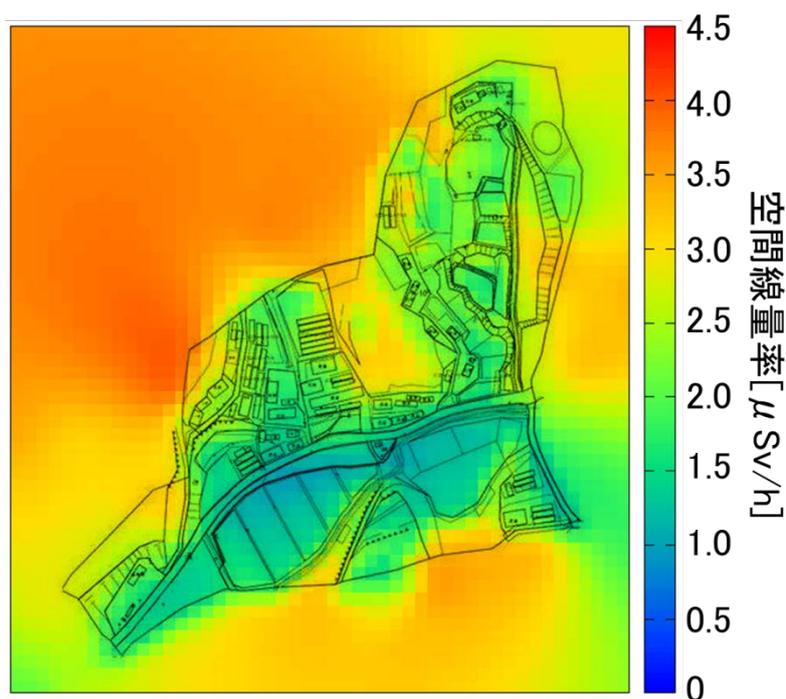


図 2.4.2(1)①(d)-15 事後解析における CDE 除染後予測空間線量率分布 (ver. 2.03)

iv. 考察

ここでは、上記 i ~ iii までの結果について考察する。特に評価対象地域の地形が予測精度に重要な影響を与えると考えられるので、まず、評価対象地域の地形について把握し、その後 CDE の各バージョンによる予測精度の検証を行う。

iv. i. 評価対象地域の地形

CDE はその計算原理から、評価対象地域に起伏がなく、平坦である場合に良い精度で除染効果を評価できると考えられる。逆に、評価対象地域に起伏が多い場合には評価精度が落ちると考えられている。そこで、CDE による除染効果評価における地形効果を議論するために、まず、当該評価対象地域の地形について述べる。

まず、図 2.4.2(1)①(d)-16 評価対象地域（川俣町）の等高線と代表点の標高を示す。

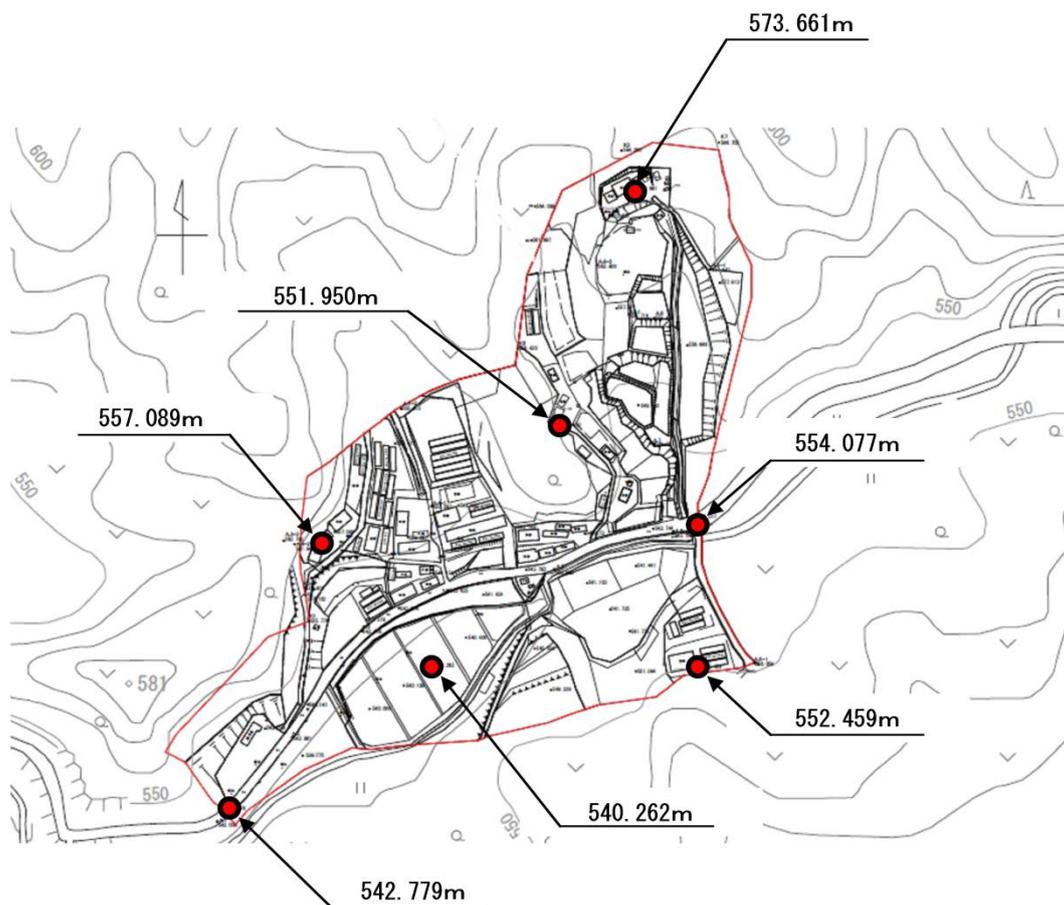


図 2.4.2(1)①(d)-16 評価対象地域（川俣町）の等高線と代表点の標高

次に、評価対象地域の地形をよりイメージしやすくするために、国土地理院の提供する 10m メッシュ標高データ（国土地理院，2009）をフリーソフトウェアの「カシミール 3D」（杉本智彦，2012）を用いて可視化した 3 次元地形図を図 2.4.2(1)①(d)-17 と図 2.4.2(1)①(d)-18 に示す。

図 2.4.2(1)①(d)-17 は南西の地点から北東の方角を見た場合の風景で、地形を把握しやすいように光源の位置を変えたものを [a] と [b] に示した。この図を見ると、[a] と [b] を見比べることにより、青色の矢印で示した付近が比較的急な斜面になっていることがわかる。

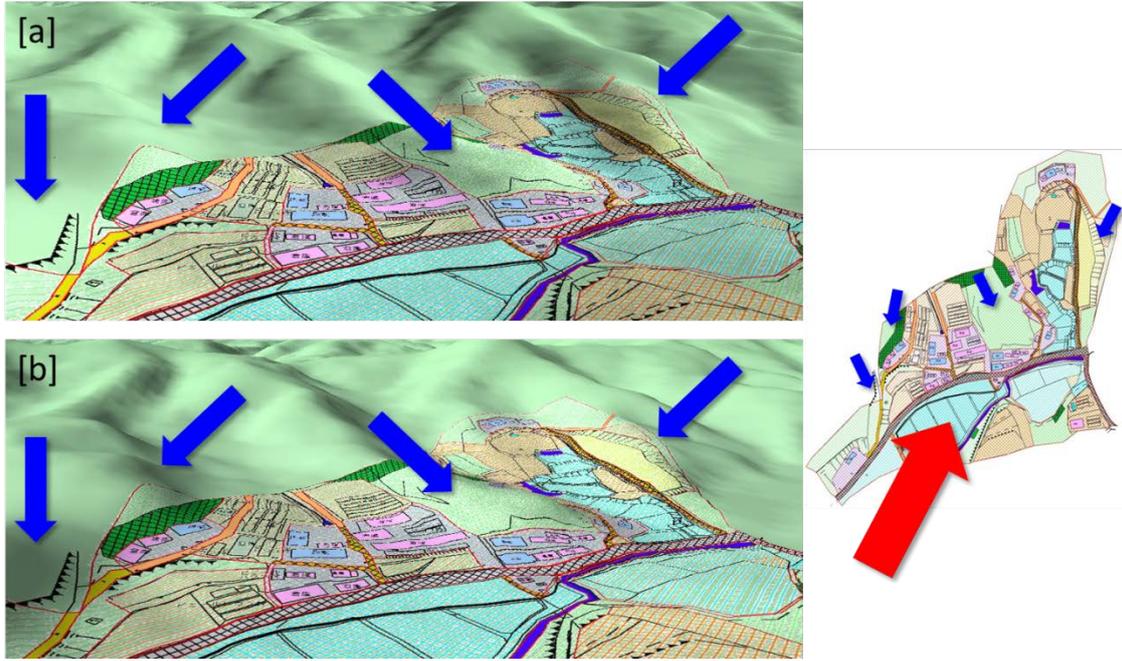


図 2.4.2(1)①(d)-17 南西の地点から北東の方角を見た 3次元地形図

図 2.4.2(1)①(d)-18 は、図 2.4.2(1)①(d)-17 とは逆に、北東の地点から南西方角を見た場合の風景で、図 2.4.2(1)①(d)-17 と同様に地形を把握しやすいように光源の位置を変えたものを [a] と [b] に示した。この図に示された [a] と [b] を見比べることにより、青色の矢印で示した付近が比較的急な斜面になっていることがわかる。

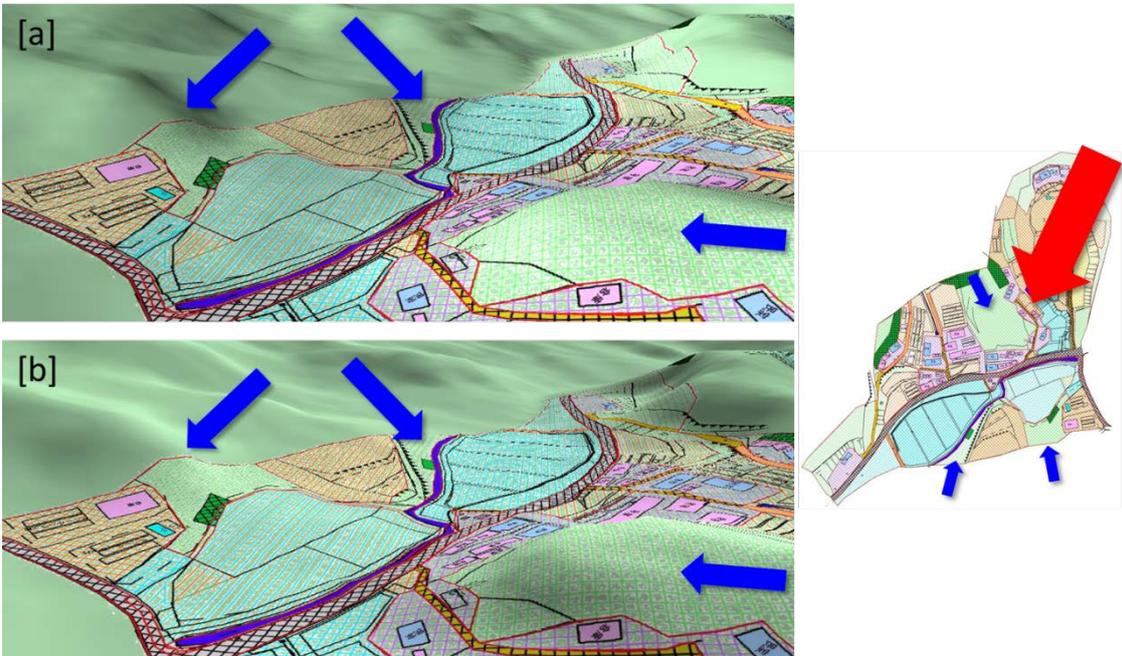


図 2.4.2(1)①(d)-18 北東の地点から南西の方角を見た 3次元地形図

iv. ii. 除染前空間線量率分布について

ここでは、除染前の空間線量率分布について、CDE 計算による結果と除染前の実測値の差を取

り、CDE ver. 1.07 を用いた事前解析、CDE ver. 2.03 を用いた事前解析、CDE ver. 1.07 を用いた事後解析における除染前空間線量率の再現性について違いを見る。図 2.4.2(1)①(d)-19、図 2.4.2(1)①(d)-20、図 2.4.2(1)①(d)-21 にそれぞれ、CDE ver. 1.07 を用いた事前解析における除染前空間線量率計算結果 (図 2.4.2(1)①(d)-8) から実測値 (図 2.4.2(1)①(d)-5) を引いたもの、CDE ver. 2.03 を用いた事前解析における CDE 除染前空間線量率分布 (図 2.4.2(1)①(d)-10) から実測値を引いたもの、CDE ver. 1.07 を用いた事後解析における CDE 除染前空間線量率分布 (図 2.4.2(1)①(d)-13) から実測値を引いたものを示す。

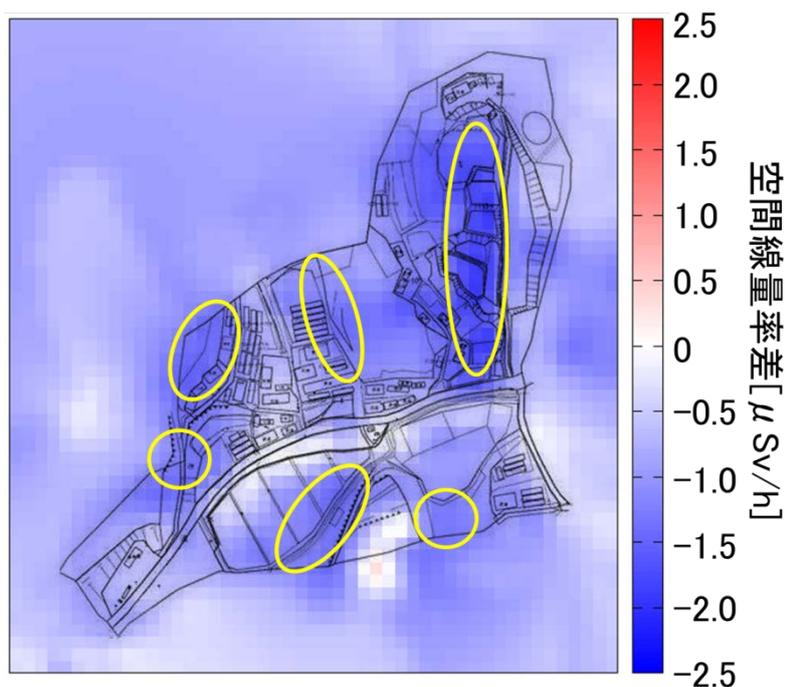


図 2.4.2(1)①(d)-19 (CDE ver. 1.07 を用いた事前解析計算値) - (実測値) [除染前]

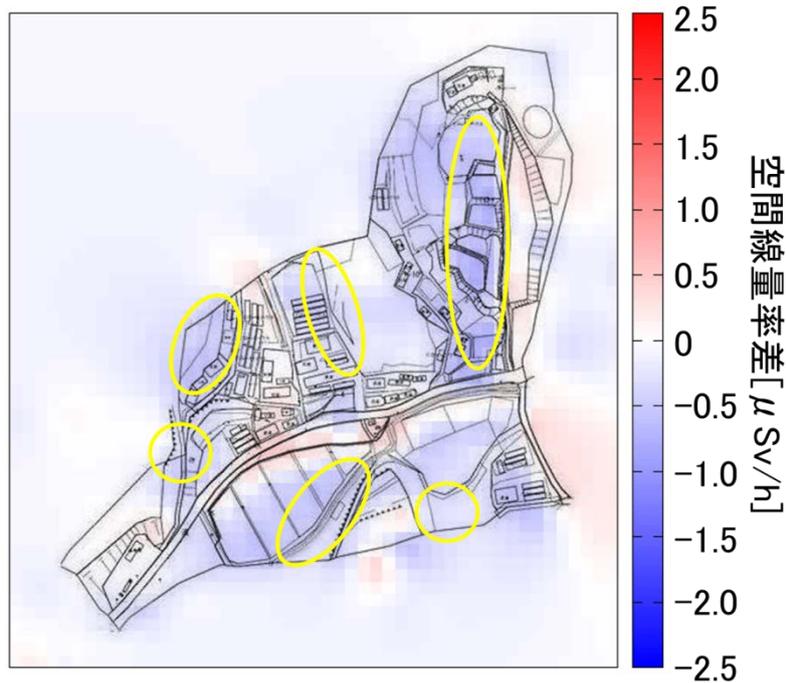


図 2.4.2(1)①(d)-20 (CDE ver. 2.03 を用いた事前解析計算値) - (実測値) [除染前]

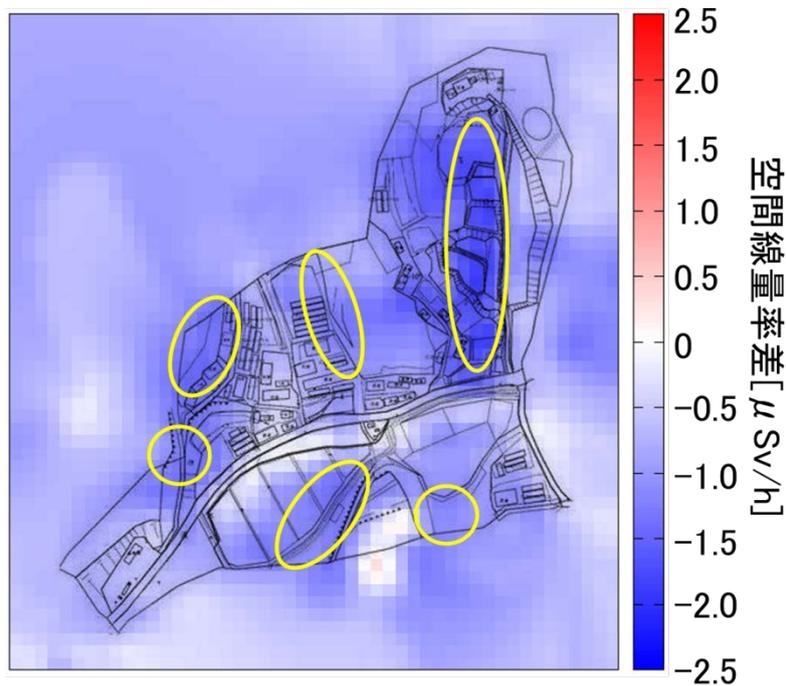


図 2.4.2(1)①(d)-21 (CDE ver. 1.07 を用いた事後解析計算値) - (実測値) [除染前]

まず、全体の傾向を見てみる。図 2.4.2(1)①(d)-19 を見ると、CDE ver. 1.07 を用いた事前解析では、除染前の空間線量率がうまく再現できていないことがわかる。次に、図 2.4.2(1)①(d)-21 の CDE ver. 1.07 を用いた事後解析における除染前空間線量率の計算結果を見ると、実際の除染作業を踏まえて土地利用区分を変更したにもかかわらず、図 2.4.2(1)①(d)-19 とあまり変わらず、やはり除染前の空間線量率がうまく再現できていないことがわかる。これは、CDE ver. 1.07 を用

いる場合、以下の工夫を施しても除染前の空間線量率の再現には限界があることを示していると考えられる。

A. 入力表面線量率に応じて土地利用区分を細分化して ID を振り分ける。

B. 土地利用区分を詳細化する。

一方で、CDE ver. 2.03 の「GPS 参照 (ポイント値)」を用いた計算結果である図 2.4.2(1)①(d)-20 を見ると、CDE ver. 1.07 を用いた 2 つに比べて実測値との差が小さいことがわかる。

次に、CDE の計算による除染前の空間線量率と実測値の差が大きい部分について考察する。まず、CDE ver. 1.07 を用いた 2 つの解析結果について考える。図 2.4.2(1)①(d)-19 と図 2.4.2(1)①(d)-21 に、計算値と実測値の差が大きい部分を黄色の円で囲んで示した。この黄色の円の場所を見てみると、いずれも図 2.4.2(1)①(d)-17 と図 2.4.2(1)①(d)-18 の 3 次元地形図に図示した青矢印が示す急斜面の近くであることがわかる。また、CDE ver. 2.03 で GPS 機能を利用して計算を行った場合には、全体的には実測値との乖離の大きさは小さくなるものの、やはり同じ場所で比較的乖離が大きくなることがわかる (図 2.4.2(1)①(d)-20)。これらの結果は、現在の CDE は急な斜面の近くでは除染前の空間線量率分布を再現しにくいことを示していると考えられる。

その一方で、図 2.4.2(1)①(d)-19 から図 2.4.2(1)①(d)-21 において、計算値と実測値の乖離が少ない部分 (図中で白い部分) を 3 次元地形図 (図 2.4.2(1)①(d)-17 と図 2.4.2(1)①(d)-18) と見比べてみると、平坦な土地であることがわかる。これは、急な斜面から離れている場所であれば、CDE による計算によって除染前の空間線量率を良く再現できることを示していると考えられる。

iv. iii. 除染後空間線量率分布について

iv. ii. と同様に、除染後の空間線量率分布についても、CDE の計算予測値と実測値の差を取り、考察する。CDE ver. 1.07 を用いた事前解析、CDE ver. 2.03 を用いた事前解析、CDE ver. 1.07 を用いた事後解析、CDE ver. 2.03 を用いた事後解析における除染後空間線量率の再現性について違いを見る。図 2.4.2(1)①(d)-22, 図 2.4.2(1)①(d)-23, 図 2.4.2(1)①(d)-24, 図 2.4.2(1)①(d)-25 にそれぞれ、CDE ver. 1.07 を用いた事前解析における除染前空間線量率計算結果 (図 2.4.2(1)①(d)-9) から除染後の実測値 (図 2.4.2(1)①(d)-6) を引いたもの、CDE ver. 2.03 を用いた事前解析における CDE 除染前空間線量率分布 (図 2.4.2(1)①(d)-11) から実測値を引いたもの、CDE ver. 1.07 を用いた事後解析における CDE 除染前空間線量率分布 (図 2.4.2(1)①(d)-14) から実測値を引いたもの、CDE ver. 2.03 を用いた事後解析における CDE 除染前空間線量率分布 (図 2.4.2(1)①(d)-15) から実測値を引いたものを示す。また、各図には、図 2.4.2(1)①(d)-19 から図 2.4.2(1)①(d)-21 に示したのと同じ、除染前の空間線量率がうまく再現できなかった場所を示す黄色の円を示した。

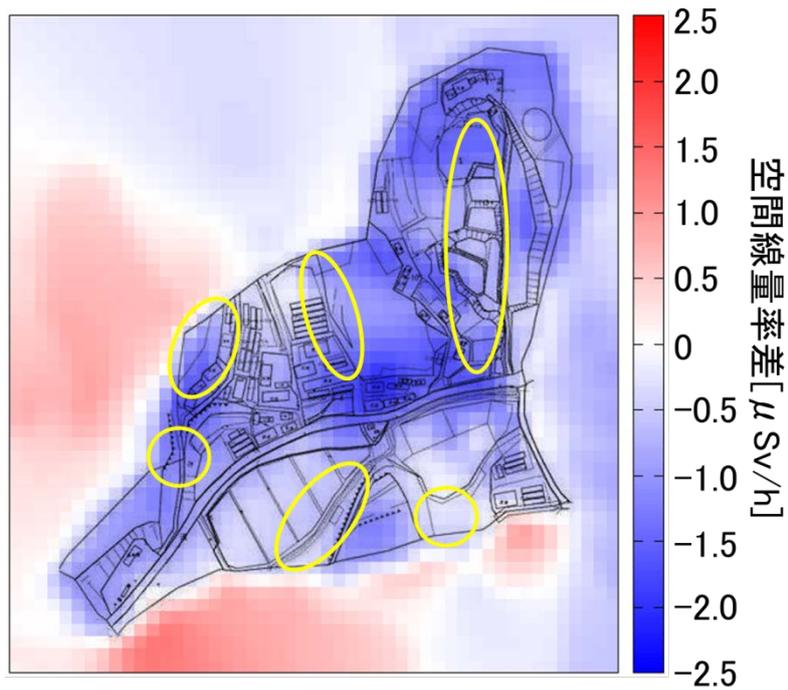


図 2.4.2(1)①(d)-22 (CDE ver. 1.07 を用いた事前解析計算値) - (実測値) [除染後]

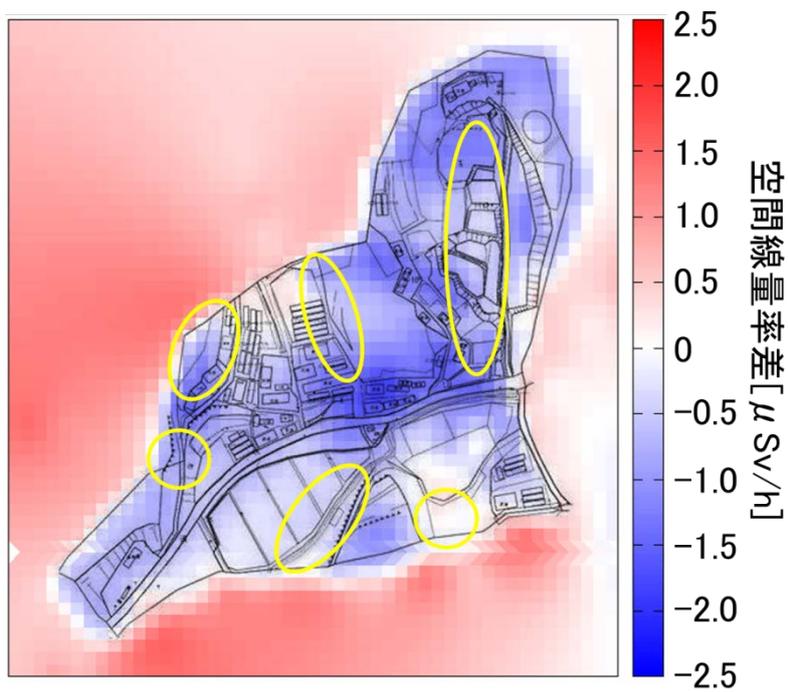


図 2.4.2(1)①(d)-23 (CDE ver. 2.03 を用いた事前解析計算値) - (実測値) [除染後]

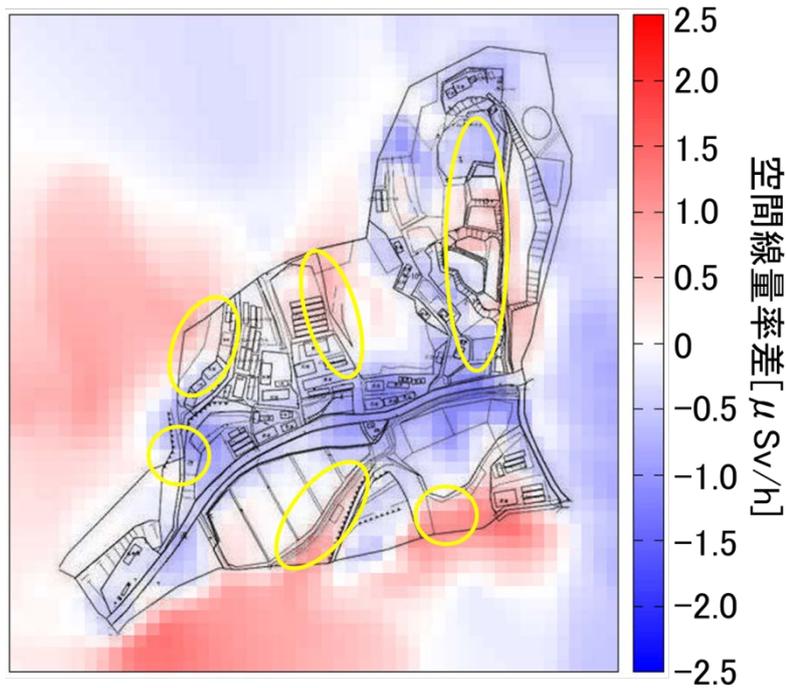


図 2.4.2(1)①(d)-24 (CDE ver. 1.07 を用いた事後解析計算値) - (実測値) [除染後]

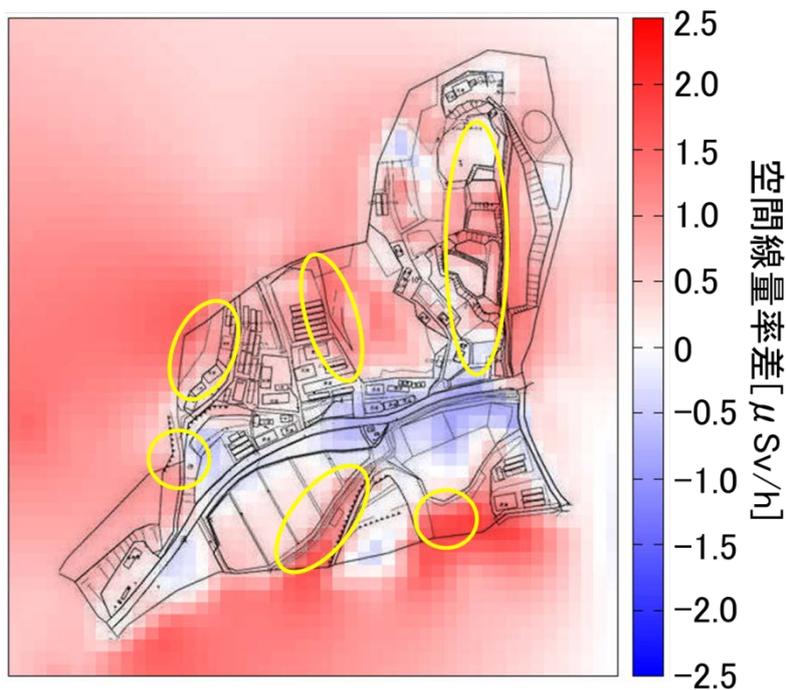


図 2.4.2(1)①(d)-25 (CDE ver. 2.03 を用いた事後解析計算値) - (実測値) [除染後]

まず、DF の設定の差が除染効果評価に及ぼす影響について見てみる。図 2.4.2(1)①(d)-22 から図 2.4.2(1)①(d)-25 より、CDE ver. 1.07 を用いた場合、ver. 2.03 を用いた場合、ともに事後解析の方が計算値と実測値の差が小さいことがわかる。これは、事前解析に用いた DF が実際の除染における DF よりも大きな値になっていたことが主な原因であると考えられる。ただし、CDE ver. 1.07 を用いた事後解析における除染後の結果 (図 2.4.2(1)①(d)-24) の解釈には注意が必要である。除染後の空間線量率の実測値とのずれは比較的少ないように見えるが、除染前の空間線

量率をうまく再現できていないため（図 2.4.2(1)①(d)-21）、除染効果を正しく評価できているとは言い難い。

次に、除染効果評価における地形の効果を見てみよう。図 2.4.2(1)①(d)-22 から図 2.4.2(1)①(d)-25 には、図 2.4.2(1)①(d)-19 から図 2.4.2(1)①(d)-21 に示したのと同じ、除染前の空間線量率がうまく再現できなかった場所を示す黄色の円を示した。図 2.4.2(1)①(d)-22 から図 2.4.2(1)①(d)-24 を見ると、大まかな傾向として黄色の円に囲まれた領域は比較的うまく除染後の空間線量率を再現できており、黄色の円に挟まれた領域で計算値と実測値の乖離が大きいように見える。しかし、図 2.4.2(1)①(d)-25 ではその傾向から外れており、黄色の円に囲まれた領域の中にも比較の実測値との乖離が大きな場所が存在することがわかる。これらの結果から、地形効果は除染後の空間線量予測に複雑な効果を及ぼし、その精度に影響を与えることがわかる。

v. まとめ

上記 i から iv では、CDE の面的除染の予測値について、本モデル事業における使用例を用いて評価精度の検証を行った。その結果をまとめると、次の 3 点の CDE を使用する際の指針と注意に集約することができる。

1. 除染前の空間線量率の再現性を高めるためには、モニタリングの値を内外挿して CDE の各メッシュに空間線量率を割り当て、それを CDE ver. 2.03 の「GPS 参照（ポイント値）」を用いて入力するのが良い。
2. 除染後の空間線量率の予測精度は DF 値に依存するため、適切な DF 値の設定が必要である。
3. 起伏が大きな地形は CDE の評価精度に影響を及ぼすため、急な斜面の近くの計算結果を参考にする場合は注意が必要である。

上記 1 の入力方法はとても有効であるので、この入力方法を用いることが望ましいが、この方法を用いるには、ユーザーがモニタリング結果を内外挿する必要があるため、手間がかかってしまうという問題がある。将来のバージョンアップで CDE に内外挿の機能が導入されることが期待される。

次に、上記 2 については、適切な DF 値をどのようにして得るのが問題となる。DF 値は除染対象の状況などに強く依存するため、予想した DF 値が実測の DF 値と一致しないことも十分に予想される。そこで、使用する DF にはある程度幅を持たせて（例えば本報告書の 2.4.2(1)②を参考に最小 DF と最大 DF を設定する）予測を行い、実際の除染で期待される除染効果の幅を確認するというのが現実的な使用方法だと考えられる。また、試行除染を行って、大まかに現実的な DF 値の感触を得ておくのも予測の精度向上に役立つと考えられる。

上記 3 に関しては、今後のソフトウェアの改善に期待したい。

(e) 除染効果に影響を与える要因の分析

本事業において明らかとなった、除染効果に影響を与える要因は以下のとおりである。

- アスファルト舗装面に対して排水性舗装機能回復車による洗浄を適用する場合、歪曲・損耗した路面では除染効果が低減する場合がある。路面の凹凸状態が除染効果に影響を与える。
- 屋根については材質の違いによって除染効果に影響を与える。
- 防水加工された屋根やプール底面などでは、高圧水洗浄が効果的であった。防水加工されているか否かが除染効果に影響を与える。