

除染の効果に差異が生じる要因に関する事例的な検討

1. はじめに

1. 1. 背景

福島県では、平成 23 年 3 月に発生した東京電力（株）福島第一原子力発電所の事故により放射性物質に汚染された地域の環境回復を目的として生活圏を中心とした除染作業が行われ、市町村が除染実施計画を策定する汚染状況重点調査地域では平成 30 年 3 月までに面的な除染が終了した。除染による空間線量率等の低減効果については、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構による除染モデル実証事業に関する報告書¹⁾や環境省による除染の効果に関する報告²⁾がとりまとめられている。しかし、除染による表面線量率等の低減率にはばらつきがあり、除染効果の評価や解釈が難しい側面がある。そのため、今回行われた除染により得られた知見を記録として整理することは重要である。

1. 2. 低減率のばらつきの要因

環境省が示している除染による低減率のばらつきの要因を参考として表 1 に示す。環境省報告²⁾では、表面汚染密度が小さい場合や除染範囲が狭い場合には、これらの要因による影響が相対的に大きくなるため、低減率のばらつきは顕著に現れるとされる。

表 1 低減率のばらつきの要因

区分	内容	低減率や測定値への影響
バックグラウンドの影響		バックグラウンドの影響により測定値は高くなる。
測定条件の影響	測定時の天候（積雪や降雨）の影響	積雪による遮へいで測定値は低くなる。 表面が濡れているとβ線が遮へいされ測定値は低くなる。
	測定する場所の状態の違い	周辺に汚染源があると測定値は高くなる。 汚染源との間に遮へい物があると測定値は低くなる。
	測定方法の違い	測定機器、対象物と検出器の距離、測定の位置、数値の読み取り方などで測定値は変わる。
対象物の材質等の影響	素材や含水率などの特性、凹凸などの形状、表面処理などの違い	対象物の素材等によって除染の効果が異なるため、低減率に差が生じる。
	汚染の存在する深さの違い	
	劣化状況や震災による破損状況などの違い	
除染作業の影響	作業監督者、作業員の習熟度	作業員等の熟練度が増すことにより低減率は向上する。
	切削深さ、洗浄圧、除去物の回収率等の違い	除染作業の均一性の違いにより低減率に差が生じる

1. 3. 検討の目的

環境省報告²⁾では、分析の対象を「比較的線量の高い地域において実施した、初期（主に平成23年度）の除染事業」としており、平成24年度以降本格化してきたと考えられる汚染状況重点調査地域の住宅除染のデータは少ないと考えられる。そのため本調査では、汚染状況重点調査地域における住宅除染を対象とした除染の効果に差異が生じる要因に関する知見を得ることを目的に、除染の効果のばらつきの要因と除染の効果との関係について事例的に検討し、結果を整理した。

2. 調査概要

2. 1. 検討する項目

環境省報告²⁾による除染効果のばらつきの要因に応じたいくつかの項目について、除染の効果との関係を検討した。検討した項目は表2に示すとおり。

表2 除染効果のばらつきの要因として検討した項目

区分	内容	検討した項目
バックグラウンドの影響		バックグラウンド
測定条件の影響	測定時の天候（積雪や降雨）の影響	—
	測定する場所の状態の違い	局所的な汚染
	測定方法の違い	除染前後の測定日の間隔
対象物の材質等の影響	素材や含水率などの特性、凹凸などの形状、表面処理などの違い	材質による違い
	汚染の存在する深さの違い	汚染の深さ
	劣化状況や震災による破損状況などの違い	—
除染作業の影響	作業監督者、作業員の習熟度	—
	切削深さ、洗浄圧、除去物の回収率等の違い	除染の手法 除染の実施時期

2. 2. 対象地域

本報告では、調査に協力を得られた県北地域の市町村内で、住宅除染が実施された2地域（地域A及び地域B）を事例として取り上げる。

2. 3. 収集した情報

対象地域の住宅除染における除染前後の表面線量率の測定値、除染対象の表面材質及び測定日の情報を収集した。また、一部の除染対象については、測定点の位置及び除染実施時の状況に関する情報を収集した。

2. 4. 検討の方法

検討する項目毎に除染前後の表面線量率及びその低減率の違いを比較することを基

本とし、検討する項目によって、それぞれの特徴を踏まえた方法とした。対象としたデータは、除染前後における表面線量率及び空間線量率の測定値が存在する地点とし、除染を行っていない可能性のある地点として除染前の空間線量率測定値が $0.23\mu\text{Sv/h}$ の地点を除外した。また、「材質に関する検討」のほかは、住宅地の主たる材質と考えられる「土」を対象とした検討を行った。

また、一部の項目については、図1に示すとおり除染前後の表面線量率の分布を4つの区分に分類した上で、それぞれの特徴を整理した。この分類を用いて検討する項目については、「表面線量率の4分類」を用いた結果として整理した。

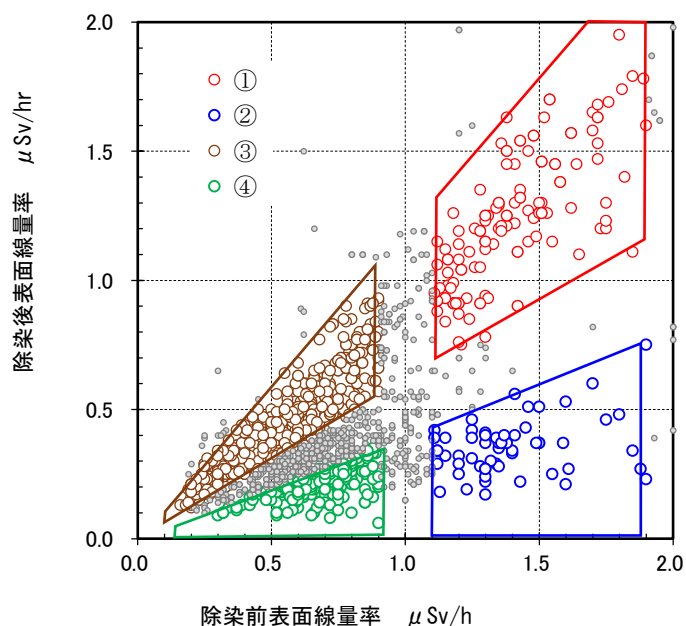


図1 表面線量率の低減効果の分類

なお、4分類の境界は除染前の表面線量率が全て $2\mu\text{Sv/h}$ 以下であること、表3に示すとおり表面線量率の低減率の中央値が約50~70%であることから、表4のとおりとした。

表3 対象地域の表面線量率の低減率

地域	測定年	表面線量率の低減率 (25%-50%-75%値)
地域A	2013	58.7 - 69.0 - 77.8
	2014	56.1 - 66.0 - 74.6
地域B	2013	38.5 - 53.3 - 64.7

表4 表面線量率の4分類の境界

分類①	除染前の表面線量率が高く、低減率が低い地点 ・除染前の表面線量率：1.1～1.9μSv/h ・表面線量率の低減率：40%以下
分類②	除染前の表面線量率が高く、低減率が高い地点 ・除染前の表面線量率：1.1～1.9μSv/h ・表面線量率の低減率：60%以上
分類③	除染前の表面線量率が低く、低減率が低い地点 ・除染前の表面線量率：0.1～0.9μSv/h ・表面線量率の低減率：40%以下
分類④	除染前の表面線量率が低く、低減率が高い地点 ・除染前の表面線量率：0.1～0.9μSv/h ・表面線量率の低減率 60%以上

3. 結果

3. 1. 材質に関する検討

それぞれの地域において、空間線量率等測定値のデータ数が最も多い年のデータを対象として、データ数が100を超える材質について、材質別の表面と空間の除染前後の測定値と低減率を整理した（表5及び表6）。

結果からは、いずれの地域及び材質においても除染による表面線量率の低減が確認された。また、地域Aでは、土や砂利・碎石といった非舗装面の方が、コンクリートやアスファルトといった舗装面よりも低減率が高い傾向にあった。これは、非舗装面を対象とした除染手法は放射性物質を含む表面を一定程度除去する手法であることが理由の一つと考えられる。

表5 地域Aにおける除染前後の表面線量率及び表面線量率の低減率
(平成26年、測定時遮へい体無し)

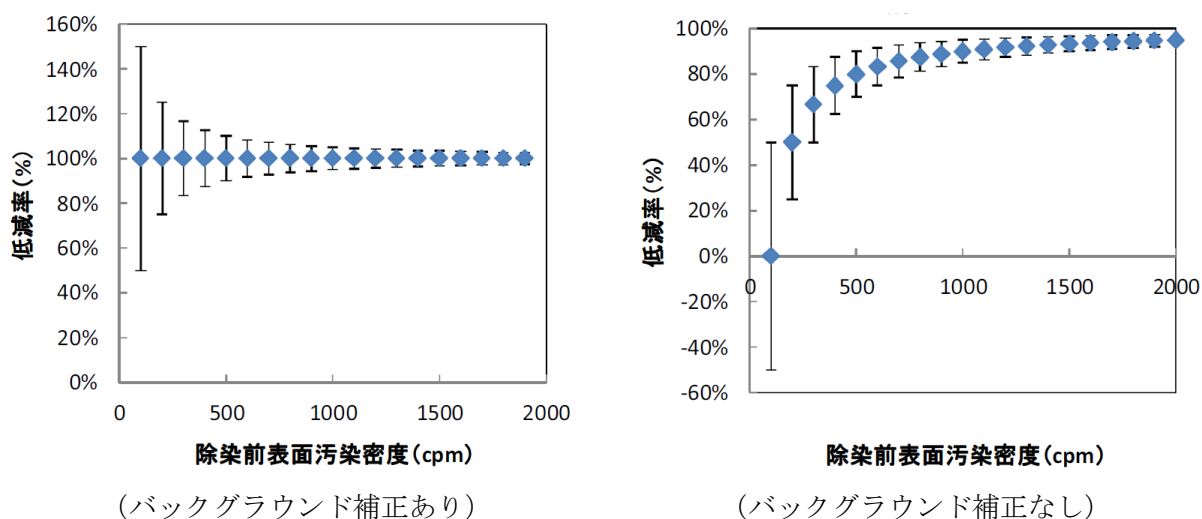
表面材質	データ数	除染前：μSv/h	除染後：μSv/h	低減率：%
		中央値（25%値-75%値）	中央値（25%値-75%値）	中央値（25%値-75%値）
土	1,496	0.51 (0.41 - 0.63)	0.18 (0.15 - 0.20)	66 (56 - 75)
砂利・碎石	671	0.45 (0.35 - 0.60)	0.14 (0.11 - 0.17)	70 (60 - 78)
コンクリート	195	0.32 (0.25 - 0.46)	0.15 (0.12 - 0.20)	51 (34 - 67)
アスファルト	100	0.31 (0.25 - 0.43)	0.19 (0.15 - 0.22)	42 (29 - 57)

表6 地域Bにおける除染前後の表面線量率と表面線量率の低減率
(平成25年、測定時遮へい体有り)

表面材質	データ数	除染前：μSv/h		除染後：μSv/h		低減率：%	
		中央値 (25%値-75%値)	中央値 (25%値-75%値)	中央値 (25%値-75%値)	中央値 (25%値-75%値)	中央値 (25%値-75%値)	中央値 (25%値-75%値)
土	874	0.16 (0.13 - 0.20)	0.07 (0.06 - 0.09)	53 (38 - 65)			
砂利・碎石	131	0.16 (0.12 - 0.20)	0.06 (0.05 - 0.07)	60 (48 - 71)			

3. 2. バックグラウンドに関する検討

環境省報告²⁾によれば、図2に示すとおり表面汚染密度が相対的に低い場合はバックグラウンドの影響を強く受けるため、低減率は低くなる傾向があり、除染効果の評価が難しくなる。同報告では、除染対象物以外からの影響によるばらつきを小さくするため、除染前の表面汚染密度が2,000cpm以上のデータを分析対象としている。なお同報告では、バックグラウンドレベルを「事故前から環境中に存在する放射線量」と「測定対象部位の外側から入射する放射線量を合計した放射線量レベルと定義している。



※除染前の表面汚染密度によらずバックグラウンドが100cpmであり、その変動幅が±50cpmであるとする場合の低減率の変動幅

図2 バックグラウンドによる影響のイメージ

表面線量率に関しても表面汚染密度と同様に、特に表面線量率の低い場合にバックグラウンドの影響を受け、低減率が小さくなることが予想される。

検討対象地域の除染前表面線量率と低減率の関係を図3に示した。なお、地域Aでは測定時に遮へい体を使用していない測定値、地域Bでは測定時に遮へい体を使用した測定値である。

この結果からは、いずれの地域においても比較的表面線量率の低い地点でバックグラウンドの影響と考えられる表面線量率の低減率の低下がみられた。地域Aでは地域Bに比べて、高い表面線量率で低減率の低下がみられるが、遮へい体を使用しない測定による影響と考えられる。

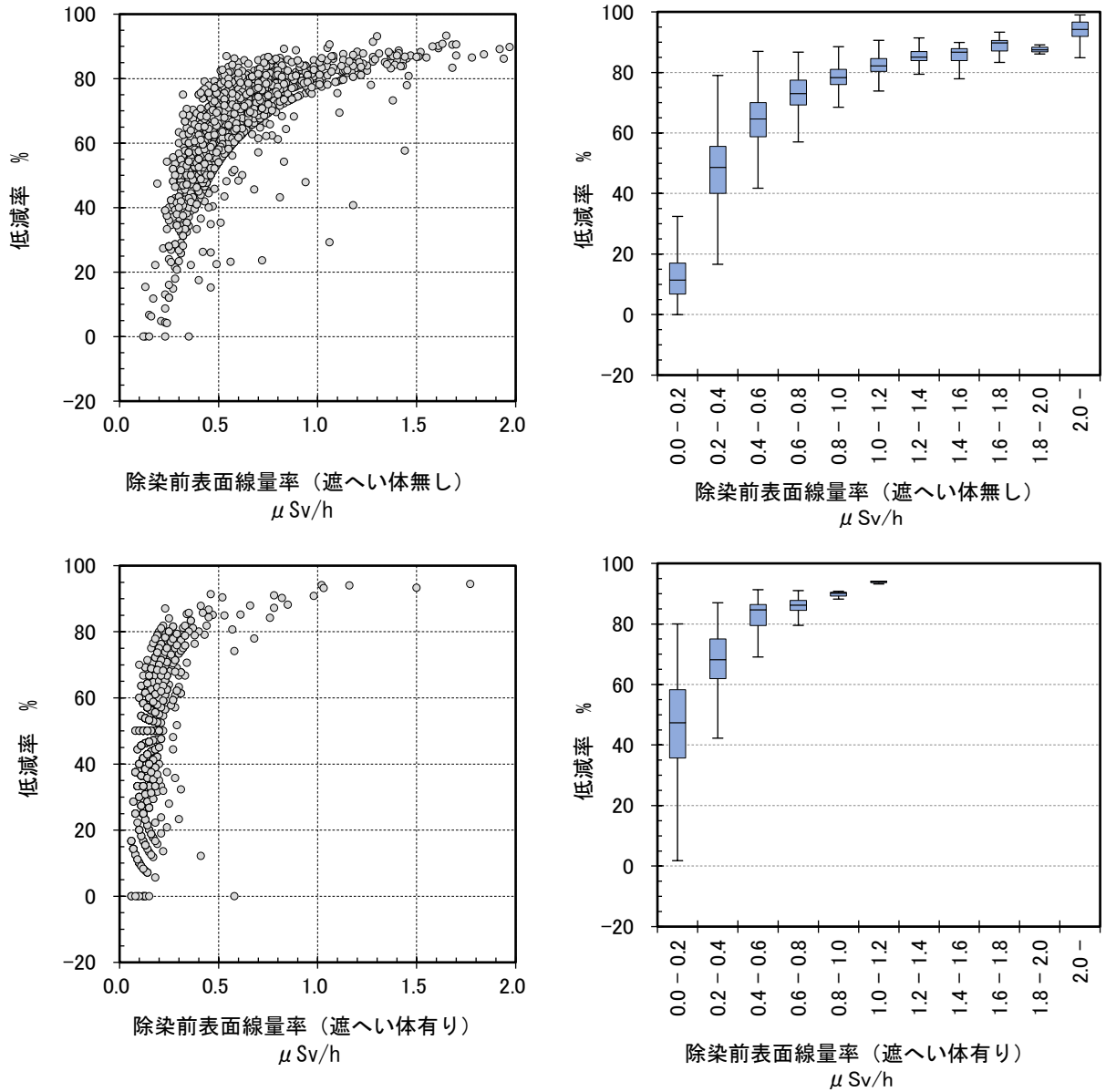


図3 除染前表面線量率と表面線量率の低減率との関係（上：地域A、下：地域B）

3. 3. 除染の実施時期及び除染前後の測定日の間隔に関する検討

同一の対象地域において複数年に渡って除染を行っており、各年のデータ数が100以上ある地域Aについて、各年の低減率を表7に示す。この結果から、除染実施時期による低減効果への影響は小さいと考えられる。

表7 除染実施年別の表面線量率の低減率（表面材質：土）

	データ数	除染前：μSv/h	除染後：μSv/h	低減率：%
		中央値（25%値-75%値）	中央値（25%値-75%値）	中央値（25%値-75%値）
2013	829	0.60 (0.46~0.80)	0.19 (0.16~0.22)	69 (59~78)
2014	1496	0.51 (0.41~0.63)	0.18 (0.15~0.2)	66 (56~75)

放射線量は時間の経過とともに低減するため、除染前後の測定日の間隔が長いと放射性物質の物理的な減衰を加えた評価となる可能性がある（図4）。

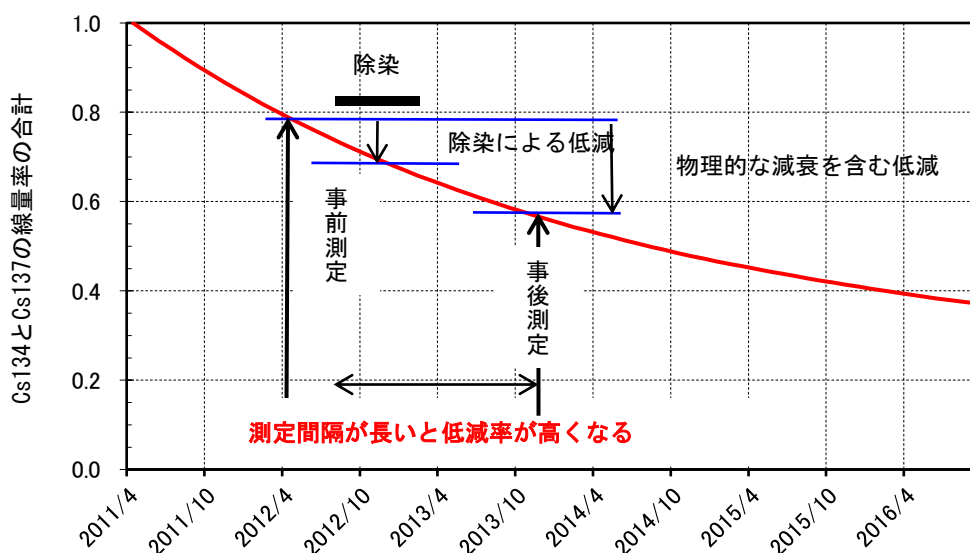


図4 測定時期による低減効果のばらつき模式図

図5に示すとおり、除染前後の測定間隔はいずれの地域においても長期間に及ぶことはなく、また、表面線量率の4分類による違いもみられないため、除染前後の測定日の間隔が除染の効果に差異を生じさせる要因となる可能性は低いと考えられた。一方で、頻度は低いものの、除染前後の測定間隔が1年以上に及ぶ地点もあり、これらの測定値は除染の効果に差異を生じさせる要因になっている可能性も考えられる。

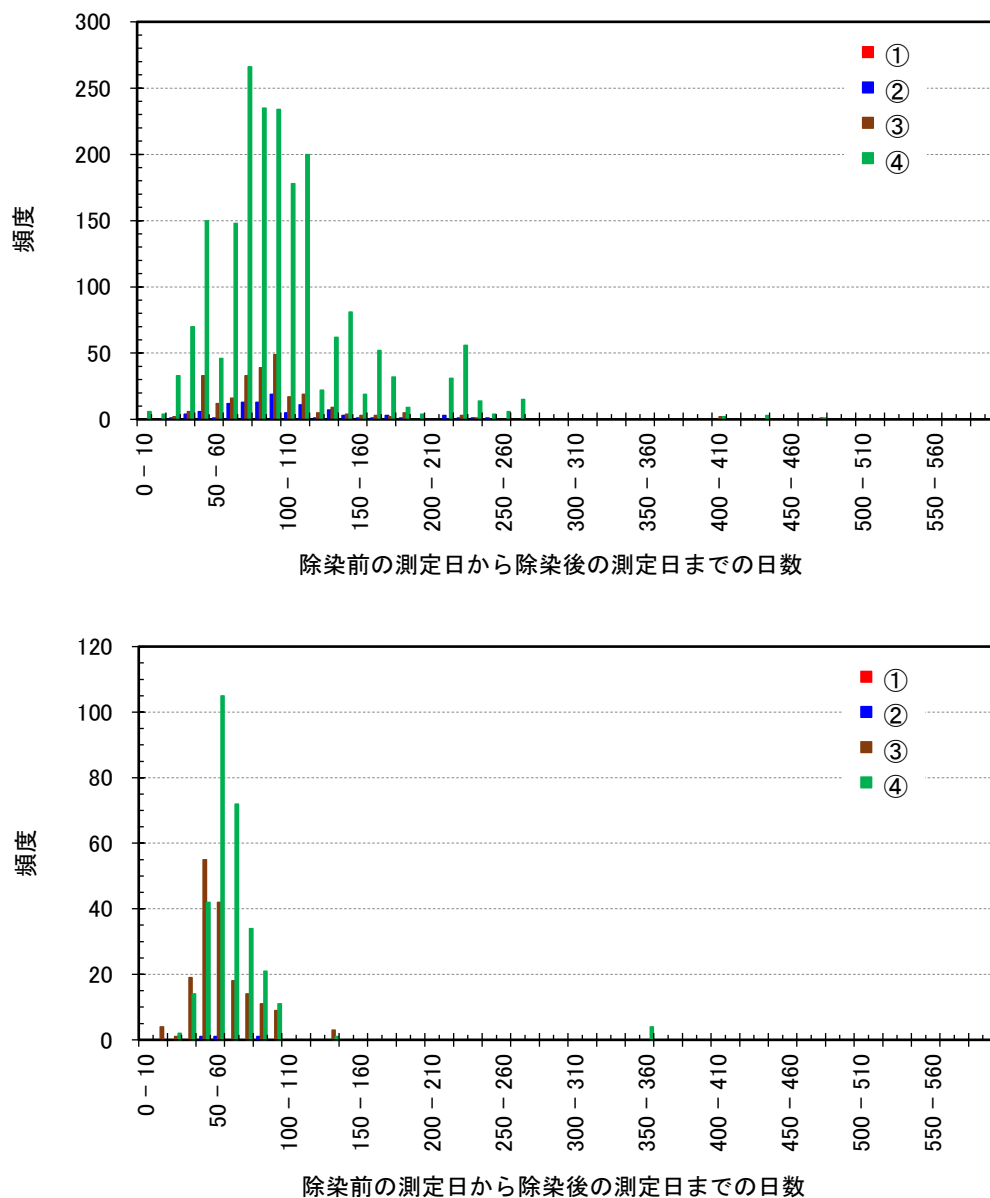


図5 表面線量率の分類毎の除染前後の測定期間（上：地域A、下：地域B）

3. 4. 局所的な汚染に関する検討

局所的に放射線量の高い地点を特定するための具体的な基準値は定められていないが、図6に示す測定値のイメージのとおり、広範囲に一律な汚染があると仮定した場合には局所的な汚染が存在する地点は異なる高さの測定値の比が異なることを利用し、異なる高さの測定値の分布を確認することが局所的な汚染の推定方法の一つであるとされる⁴⁾。

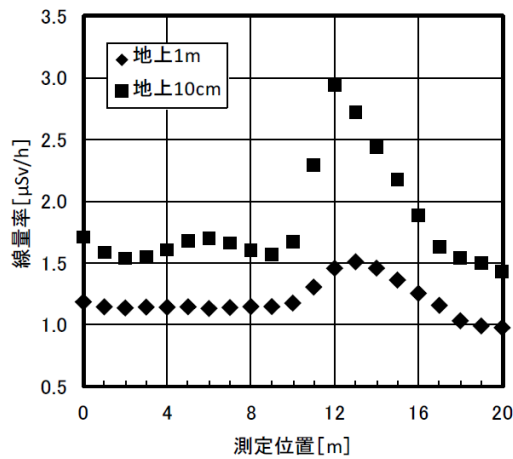


図6 NaI シンチレーション式サーベイメータによる歩行サーベイ（時定数3秒）
 （出典：除染効果確認のための放射線測定手引書³⁾）

表面線量率の4分類毎の空間線量率と表面線量率の比は図7のとおりであり、分類②や分類④の数値が比較的低かった。この結果から、表面線量率の低減率が高い分類に局所的な汚染となっていた地点が多く含まれる可能性があることが示唆された。

一般的に宅地内では、雨樋の排水口付近などが局所的な放射線量の高い地点となりやすいと考えられる。局所的に放射線量の高い地点の除染効果として高い低減率の得られている事例⁴⁾もみられており、表面線量率の4分類のうち、分類②や分類④の空間線量率と表面線量率の比が小さくなった理由として、局所的な汚染の地点を除染したことで除染の効果に差異が生じた可能性があると考えられる。

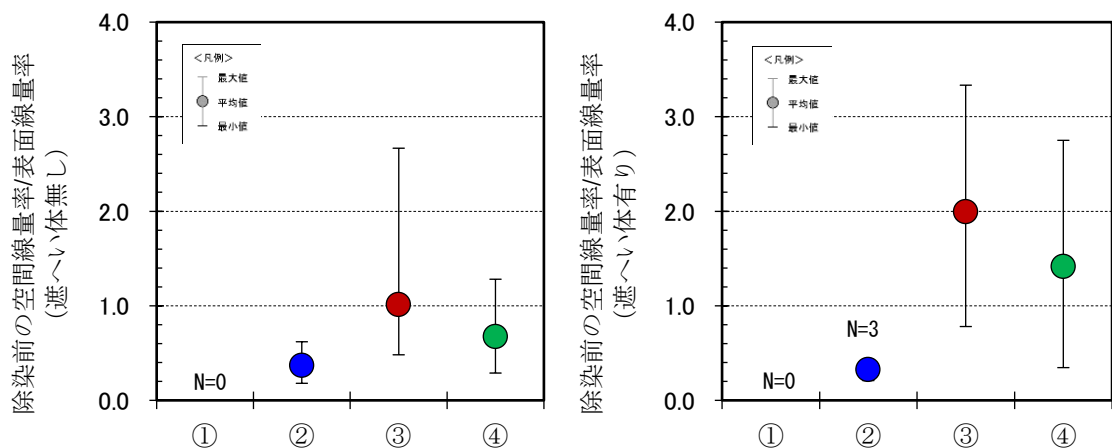


図7 表面線量率の分類毎の除染前の空間線量率と表面線量率の比
 （左：地域A、右：地域B）

3. 5. 汚染の深さに関する検討

放射性物質の汚染の深さが異なることにより、同じ手法で除染を実施していても、汚染が材質の表面に多く分布する場合と比べて下部方向へ浸透している場合では表面線量率等の低減率が低くなるなどばらつきが生じる可能性がある。このため、これまでに得られた除染前後の表面線量率等の測定値を基に、放射性物質の汚染の深さを検討した。

森ら (2017) ⁵⁾ は、舗装道路、未舗装道路、森林について表面線量率と表面汚染密度の関係から放射性セシウムの表面残存性を検討している。森林や未舗装道路では表面線量率が高くても表面汚染密度は低い値を示した点から、放射性セシウムは土壌等の表面にはほとんど分布せず、鉛直方向にある程度浸透していたと推定している。

表面線量率の4分類毎の表面汚染密度と表面線量率の比は、図8に示したとおりであり、明確な差がみられなかった。

これらの点から、放射性物質の汚染の深さが除染の効果に差異を生じる要因となる可能性は確認されなかった。

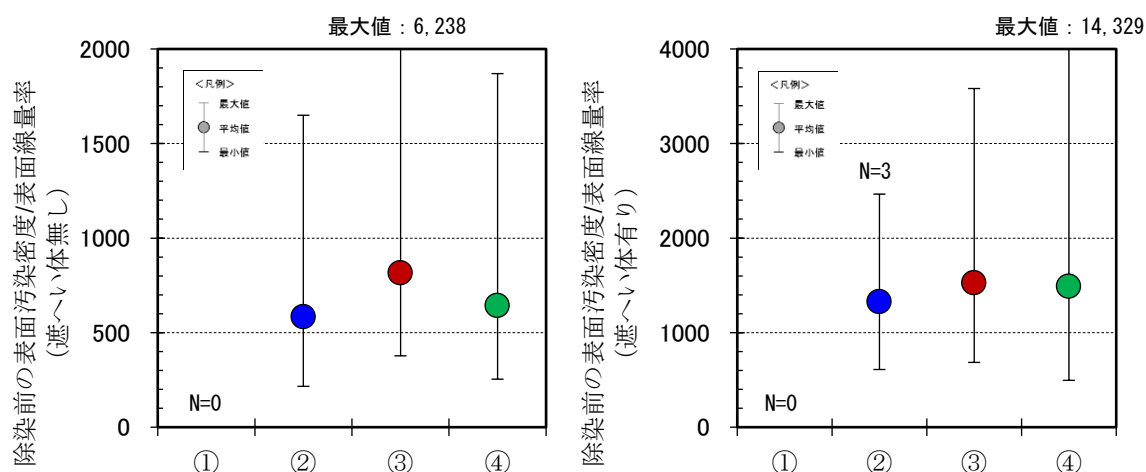


図8 表面線量率の分類毎の除染前の表面汚染密度と表面線量率の比
(左：地域A、右：地域B)

3. 6. 個別の除染実施時の状況を踏まえた検討

調査対象地域における一部の地点については、除染実施時の状況に関する情報を収集した。これらの情報から、土を対象とした除染では、除染の手法として「表土の剥ぎ取り」を実施した地点のほかに、住民の意向等により「除草のみ」等の異なる手法とした地点が混在していることがわかった。それらの地点は、除草前の表面線量率は同程度であるが、表土の剥ぎ取りに比べて表面線量率の低減率が低くなっていた (図9)。

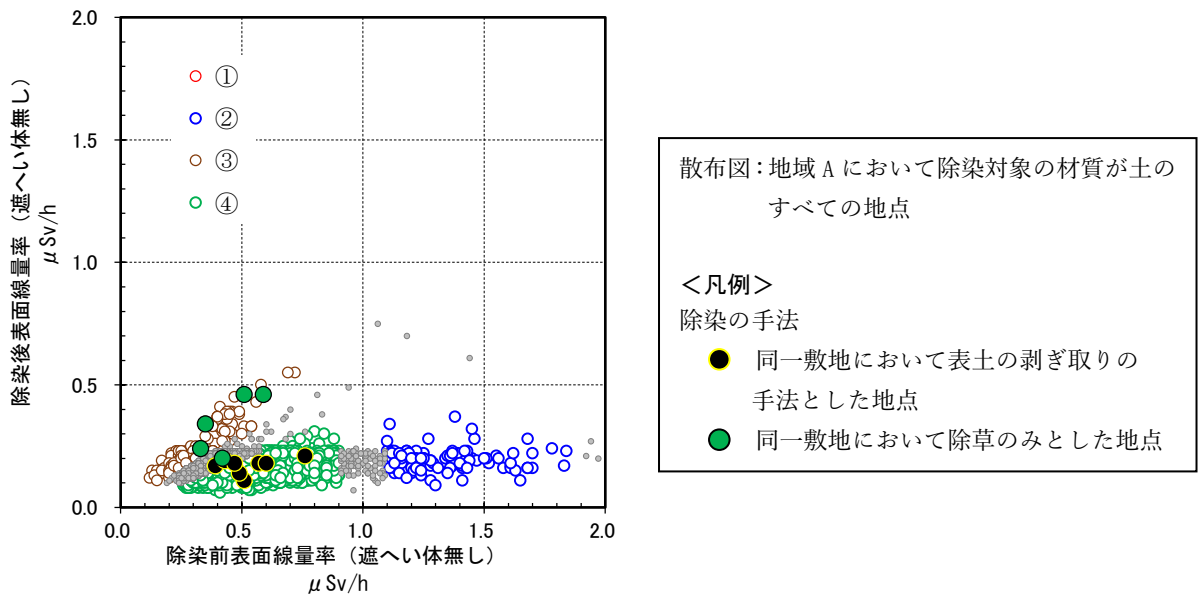


図 9 地域 A における個別の除染実施時の状況の事例

4. まとめ

本報告の対象地域では、除染対象の材質の違いやバックグラウンドによる影響、局所的な汚染による影響が除染の効果に差異を生じる要因となった可能性があることがわかった。また、地域によっては、汚除染の手法の違いが除染の効果に差異を生じる要因となる可能性があることがわかった。

除染前後の表面線量率と除染の効果に差異が生じる要因との関係として、一般的に考えられる作用を模式的に示したものが図 10 であり、このうち、今回の検討により要因として可能性のある項目を色分けして示した。今回の事例を踏まえつつ、除染の効果を評価する場合には様々なばらつきの要因があり、それぞれ影響の程度が異なることや、地域によってそれらの状況が異なることに留意する必要がある。

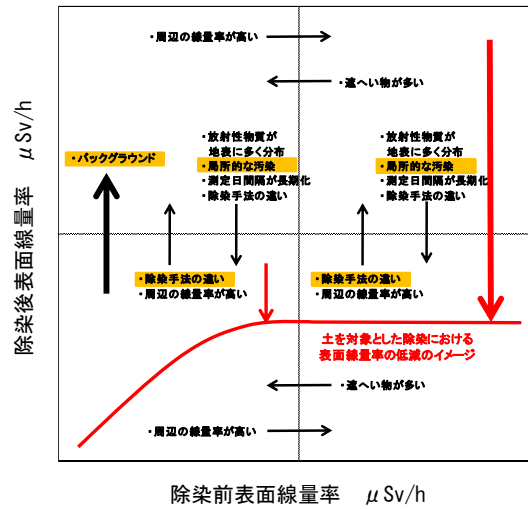


図 10 除染前後の表面線量率と除染の効果に差異が生じる要因との関係の模式図
 (黄色部分：本検討の中で要因として可能性のある項目)

謝辞

末筆ながら、お忙しい中調査にご協力いただいた市町村の担当者の方々に御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構：福島第一原子力発電所事故に係る避難区域等における除染実証業務【除染モデル実証事業編】報告書（平成 24 年 6 月）。
- 2) 環境省除染チーム：国及び地方自治体がこれまでに実施した除染事業における除染手法の効果について(平成 25 年 1 月)。
- 3) 除染・廃棄物技術協議会除染分科会線量評価ワーキンググループ：除染効果確認のための放射線測定手引書（平成 25 年 3 月）。
- 4) 環境省:除染に関する有識者との意見交換会 ファクトブック，http://josen.env.go.jp/material/pdf/session_140615/session_140615_03_140620.pdf（令和 2 年 3 月 5 日最終閲覧）。
- 5) 森芳友・米田稔・島田洋子・福谷哲・池上麻衣子：表面線量率及び表面汚染密度の測定による放射性セシウムの表面残存状況の評価，環境放射能除染学会誌 5(1). 3-15. (2017)