

人為的なかく乱の少ない平坦な開かれた土地における 空間線量率分布測定

三上 智、齋藤 公明（原子力機構）

1. 調査目的

福島第一原発から 80 km 圏内を中心に平成 26 年 7 月と 11 月の 2 回にわたりサーベイメータを用いて空間線量率の測定を行い、現在の空間線量率の詳細な分布状況を把握するとともに、過去の測定結果との比較により空間線量率の経時的变化の特徴を調べる。

2. 調査内容

(1) 調査期間

平成 26 年 7 月調査： 平成 26 年 7 月 15 日～9 月 5 日

平成 26 年 11 月調査： 平成 26 年 11 月 4 日～12 月 5 日

(2) 調査箇所

福島第一原発から 80 km 圏内の地域を 1 km×1 km のメッシュに分割し、福島第一原発事故以前にも住民が存在しなかった地域（非可住区域）を除いて各メッシュ内で測定に適した 1 箇所を測定箇所として選定した(図-1)。測定箇所までの道路が通行止め等により測定が困難であった箇所を除き、平成 26 年 7 月調査は 6,572 箇所、同年 11 月調査は 6,565 箇所において測定を実施した。

(3) 調査内容の詳細

校正履歴の明確な信頼のおけるサーベイメータを使用して、地表面から 1 m 高さの空間線量率 ($\mu\text{Sv/h}$) を測定した。空間線量率が $30 \mu\text{Sv/h}$ 未満の地域では NaI(Tl) シンチレーション式サーベイメータ（日立アロカメディカル(株)製 TCS-171B または 172B）を用い、空間線量率が $30 \mu\text{Sv/h}$ 以上の地域では電離箱式サーベイメータ（日立アロカメディカル(株)製 ICS-323C）を使用して測定を実施した。時定数 30 秒で 5 回読取った平均値にて空間線量率とした。GPS を用いて測定箇所の位置情報を取得し、これらの情報を基に福島第一原発から 80 km 圏内の詳細な空間線量率マップを作成した。

3. 結果と考察

(1) 空間線量率マップ

今回の調査における空間線量率の測定結果を図-2 に示す。

(2) 空間線量率の短期的変化

平成 26 年 7 月から 11 月の約 4 ヶ月間の空間線量率の変化を確認するため、平成 26 年 7 月調査と 11 月調査における空間線量率を比較した。比較にあたっては、天然放射性核種からの空間線量率への寄与が $0.05 \mu\text{Sv/h}$ と仮定¹ し、この寄与分を全ての空間線量率の測定値から一律に差し引いた値を用いた。また、GPS データには 20 m 程度の測位誤差が含ま

¹ 本報告書（“平成 26 年度放射性物質測定調査委託費（東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故に伴う放射性物質の分布データの集約及び移行モデルの開発）事業” 成果報告書）の「放射性セシウム沈着量の面的調査」を参照のこと。

れることを考慮し、平成26年11月調査では平成26年7月調査で測定した箇所から20mの範囲内にある箇所を同一箇所として扱った。両者の相関を図-3に、空間線量率の合計値の比率を表-1に示す。空間線量率の合計値を測定箇所数で割ると平均空間線量率になるため、空間線量率合計値の比較は平均空間線量率の比較と同じ意味を持つ。

平成26年7月調査と11月調査における空間線量率の合計値の比率は0.96と評価され、この期間の空間線量率の減少率は4%程度であった。この期間の放射性セシウムの物理減衰に伴う空間線量率の減少率は5%程度と評価されるため、物理減衰以外の要因による空間線量率の減衰は観察されなかった。

平成26年7月調査時に対する11月調査時の空間線量率の合計値の比率を、平成26年7月調査時の空間線量率の範囲ごとに示した(図-4)。その範囲ごとの減少率は放射性セシウムの物理減衰から期待される値と最大でも3%以内の差であり、この期間(平成26年7月から11月)における減少率の平成26年7月調査時の空間線量率への依存性は小さい。

空間線量率は年間を通じて一定の速度で減少するのではなく、減少率が比較的大きい時期と小さい時期があるのではないかと考えた空間線量率の減少に対する季節依存性の有無を確認するため、平成26年7月から11月(夏から冬)における比較と同様に、平成25年11月調査(平成25年10月28日から12月4日に測定)と平成26年7月調査(冬から夏)における空間線量率を比較した。両者の相関を図-5に、空間線量率の合計値の比率を表-2に示す。

平成25年11月調査と平成26年7月調査における空間線量率の合計値の比率は0.75と評価され、この期間の空間線量率の減少率は25%程度であった。この期間の放射性セシウムの物理減衰に伴う空間線量率の減少率は13%程度と評価されるため、物理減衰以外の要因により平成25年11月を基準として空間線量率が12%程度減少していた。これらの結果より、空間線量率は年間を通じて一定の速度で減少するのではなく、減少率が比較的大きい時期と小さい時期がある可能性がある。減少率が比較的大きい時期が測定期間に含まれるか否か、あるいは、含まれる長さの違いによって今回のような減少率の大小が表れた可能性がある。

(3) 空間線量率の長期的変化

平成23年6月調査から平成26年7月調査までの約38ヶ月間の空間線量率の変化を比較した。両者の相関を図-6に、空間線量率の合計値の比率を表-3に示す。比較にあたっては、前項と同様、天然放射性核種からの空間線量率への寄与が $0.05 \mu\text{Sv/h}$ と仮定し、この寄与分を全ての空間線量率の測定値から一律に差し引いた値を用いている。なお、平成23年6月調査と平成26年7月調査で測定した箇所が一致している箇所(20m未満)を評価対象とした(637箇所)。

平成23年6月調査と平成26年7月調査における空間線量率の合計値の比率は0.30と評価され、この期間の空間線量率の減少率は70%程度であった。この約38ヶ月の期間の放射性セシウムの物理減衰に伴う空間線量率の減少率は49%程度と評価されるため、物理減衰以外の要因により空間線量率が21%程度減衰していた。

平成26年7月の調査では測定箇所にて除染の実施状況を確認した結果、評価対象のうち31箇所で除染が実施されていることが確認された。また、過去に実施された調査と平成26年7月調査の測定箇所の写真等を比較して、整地や砂利敷き等により明らかに地面の状況が変わっている102箇所を抽出した。図-6において、除染の実施が確認できた31箇所を

赤色の印で、地面の状況が変化していると判断された 102 箇所を緑色の印で示す。

次に、平成 23 年 6 月調査から平成 26 年 11 月調査までの約 41 ヶ月間における空間線量率の変化の比較について、除染等の影響以外すなわち純粹にウェザリング効果によりどの程度空間線量率が減少したかを評価した。また、それぞれの調査における空間線量率の合計値から評価した空間線量率の変化率を、除染等の影響を含めた場合と除いた場合について算出した結果を表-4 に示す。なお、平成 23 年 6 月調査と平成 26 年度の 2 回の調査の比較にあたっては、平成 23 年 6 月調査と平成 26 年 7 月調査及び平成 26 年 11 月調査の 3 時期とも測定した箇所が一致（20 m 未満）する箇所を評価対象とした（539 箇所）。また、この評価対象に対して、除染の実施が確認された箇所及び地面の状況が変化していると判断される箇所の確認を行った結果、除染の実施が確認された箇所は 25 箇所、地面の状況が変化していると判断された箇所は 91 箇所であった。

除染や地面の状況変化等の影響を除いて評価した、平成 23 年 6 月調査から平成 26 年 7 月調査までの空間線量率の減少率は、空間線量率の合計値の比率から 66%程度（物理減衰のみの減少率は 49%程度）であった。また、平成 23 年 6 月調査から平成 26 年 11 月調査までの空間線量率の減少率は、平成 26 年 7 月調査までの空間線量率の減少率とほぼ同じ 66%程度（物理減衰のみの減少率は 52%程度）であった。従って、物理減衰及び除染や地面の状況変化以外の要因により空間線量率が平成 23 年 6 月を基準としてそれぞれ 17%、14%程度減衰していた。さらに、除染や地面の状況変化が認められた箇所を含めた場合と除いた場合で空間線量率の合計値の比率が異なる（4%程度）。この差は除染や地面の状況変化等の有無がデータに現れているものと考えられる。なお、この数値は除染の効果を示すものではない。

空間線量率変化の初期の空間線量率の大きさとの関連を調べるため、平成 23 年 6 月調査と平成 26 年度の 2 回の調査における空間線量率の比率を空間線量率の大きさごとに算出して比較した（図-7）。上述した除染の実施が確認された箇所ならびに地面の状況が変化すると判断される箇所を除いた場合と含めた場合との比較を行った結果、平成 25 年度の調査結果²と同様に平成 23 年 6 月調査の空間線量率に関連して減少傾向が異なることが確認された。つまり、空間線量率の減少率は、平成 23 年 6 月調査における空間線量率が $0.25 \mu\text{Sv/h}$ 未満では、他の線量率範囲の空間線量率の変化率よりも小さく、 $0.5\sim 2.0 \mu\text{Sv/h}$ の線量率範囲では大きい傾向にあることが観察された。さらに、平成 25 年度の調査結果では、 $0.25 \mu\text{Sv/h}$ 未満の空間線量率範囲では、空間線量率の減少率が放射性セシウムの物理減衰のみによる減少率よりも小さかったが、平成 26 年度の調査結果ではすべての線量率範囲で物理減衰より大きい減少率を示した。また、除染や地面の状況変化が認められた箇所を含めた場合と除いた場合を比較すると、 $0.5\sim 2.0 \mu\text{Sv/h}$ の線量率範囲で他の線量率範囲より大きな差がある（10%以上）。すなわち、除染や地面の状況変化が認められた箇所を含めた評価の方が空間線量率の低減率が大きい。これは、除染や地面の状況変化の影響がこの線量率範囲で顕著に現れているものと考えられる。

空間線量率の減少傾向と土地利用状況との関係を調べるため、土地利用区分別³ に空間線量率の合計値の比率を比較した。除染や地面の状況変化が認められた箇所等を含めた場合と除いた場合の評価結果を示す（図-8）。除染や地面の状況変化が認められた箇所を除いて評価した場合、空間線量率の減少が「その他の農用地」、「森林」及び「建物用地」に比

² 日本原子力研究開発機構, “平成 25 年度東京電力(株)福島第一原子力発電所事故に伴う放射性物質の長期的影響把握手法の確立事業,” 成果報告書, page. 19, (平成 26 年 3 月).

³ 国土交通省国土政策局, “国土数値情報 土地利用区分細分メッシュ 第 2.3 版,” (平成 25 年 3 月).

べて「田」に区分される地域で明らかに大きいことが観察された。また、除染や地面の状況変化が認められた箇所を含めた評価と含めない評価の比較では、「田」及び「森林」に区分される地域ではほとんど差が無いこと（6%未満）、その一方で、「その他の農用地」に区分される箇所ではその差が大きいことが観察された。これらは、開かれた平坦地では空間線量率の減少傾向と統計上の土地利用区分には明確な関係が認められなかった平成 25 年度の調査結果⁴ と異なる傾向を示している。

4. まとめ

福島第一原発から 80 km 圏内を中心に平成 26 年 7 月と 11 月の 2 回にわたりサーベイメータを用いて約 6,500 箇所で空間線量率の測定を行い、それぞれの時期における空間線量率の測定結果を示したマップを作成した。これにより平成 26 年現在の空間線量率の詳細な分布状況を把握することができた。

この 2 回の測定結果から空間線量率の短期的な経時的変化の特徴を調べた。平成 26 年 7 月から 11 月では物理減衰以外の要因による空間線量率の減衰は観察されなかった。一方、平成 25 年 11 月から平成 26 年 7 月では物理減衰以外の要因により空間線量率が 12%程度減少していた。これらの結果より、空間線量率の減少率が比較的大きい時期と小さい時期がある可能性が示唆された。

さらに、平成 23 年 6 月と平成 26 年 7 月の測定結果との比較により長期的な経時的変化の特徴を調べた。この 38 ヶ月間に物理減衰以外の要因により空間線量率が 21%程度減少していた。

また、除染や地面の状況変化が認められた箇所を含めた場合と除いた場合を比較すると、平成 23 年 6 月調査時の線量率が 0.5~2.0 $\mu\text{Sv/h}$ の線量率範囲では、除染や地面の状況変化が認められた箇所を含めた評価の方が空間線量率の低減率が大きかった。

空間線量率の減少傾向と土地利用区分との関係を調べた。除染や地面の状況変化が認められた箇所を除いて評価した場合、「田」に区分される地域で空間線量率の減少が大きいこと、「田」及び「森林」に区分される地域では除染や地面の状況変化が認められた箇所を含めた評価と含めない評価でほとんど差が無いことが観察された。一方、「その他の農用地」に区分される箇所ではその差が大きいことが観察された。今回の調査結果からはこの原因の推定には至っていない。

⁴ 日本原子力研究開発機構, “平成 25 年度東京電力(株)福島第一原子力発電所事故に伴う放射性物質の長期的影響把握手法の確立事業,” 成果報告書, page. 20, (平成 26 年 3 月).

表-1 平成26年7月調査と11月調査の空間線量率の合計値の比較

(平成26年7月調査と11月調査において測定場所が合致する6,062箇所の空間線量率をそれぞれ積算し、その比率を算出)

調査期間	空間線量率 の合計値	平成26年7月調査との比率	
		合計値から算出	物理減衰による 減衰から算出
平成26年7月調査 (平成26年7月15日～9月5日)	2593.8	-	-
平成26年11月調査 (平成26年11月4日～12月5日)	2497.3	0.96	0.95

(データ数 n= 6,062)

表-2 平成25年11月調査と平成26年7月調査の空間線量率の合計値の比較

(平成25年11月調査と平成26年7月調査において測定場所が合致する5,877箇所の空間線量率をそれぞれ積算し、その比率を算出)

調査期間	空間線量率 の合計値	平成25年11月調査との比率	
		合計値から算出	物理減衰による 減衰から算出
平成25年11月調査 (平成25年10月28日～12月2日)	3356.4	-	-
平成26年7月調査 (平成26年7月15日～9月5日)	2514.9	0.75	0.87

(データ数 n= 5,877)

表-3 平成23年6月調査と平成26年7月調査の空間線量率の合計値の比較

(平成23年6月調査と平成26年7月調査において測定場所が合致する637箇所の空間線量率をそれぞれ積算し、その比率を算出)

調査期間	空間線量率 の合計値	平成23年6月調査との比率	
		合計値から算出	物理減衰による 減衰から算出
平成23年6月調査 (平成23年6月4日～7月8日)	952.9	-	-
平成26年7月調査 (平成26年7月15日～9月5日)	288.9	0.30	0.51

(データ数 n= 637)

表-4 平成23年6月と平成26年度の調査の空間線量率の合計値の比較

(平成23年6月調査と平成26年7月調査及び同年11月調査において測定場所が合致する箇所の空間線量率をそれぞれ積算し、その比率を算出)

除染箇所等を含めた539箇所で算出

調査期間	空間線量率 の合計値	平成23年6月調査との比率	
		合計値から算出	物理減衰による 減衰から算出
平成23年6月調査 (平成23年6月4日～7月8日)	838.2	-	-
平成26年7月調査 (平成26年7月15日～9月5日)	253.9	0.30	0.51
平成26年11月調査 (平成26年11月4日～12月5日)	248.8	0.30	0.48

(データ数 n= 539)

除染の実施が確認された25箇所及び地面の状況が変化していると判断された91箇所を除いた423箇所で算出

調査期間	空間線量率 の合計値	平成23年6月調査との比率	
		合計値から算出	物理減衰による 減衰から算出
平成23年6月調査 (平成23年6月4日～7月8日)	642.9	-	-
平成26年7月調査 (平成26年7月15日～9月5日)	218.7	0.34	0.51
平成26年11月調査 (平成26年11月4日～12月5日)	216.3	0.34	0.48

(データ数 n= 423)

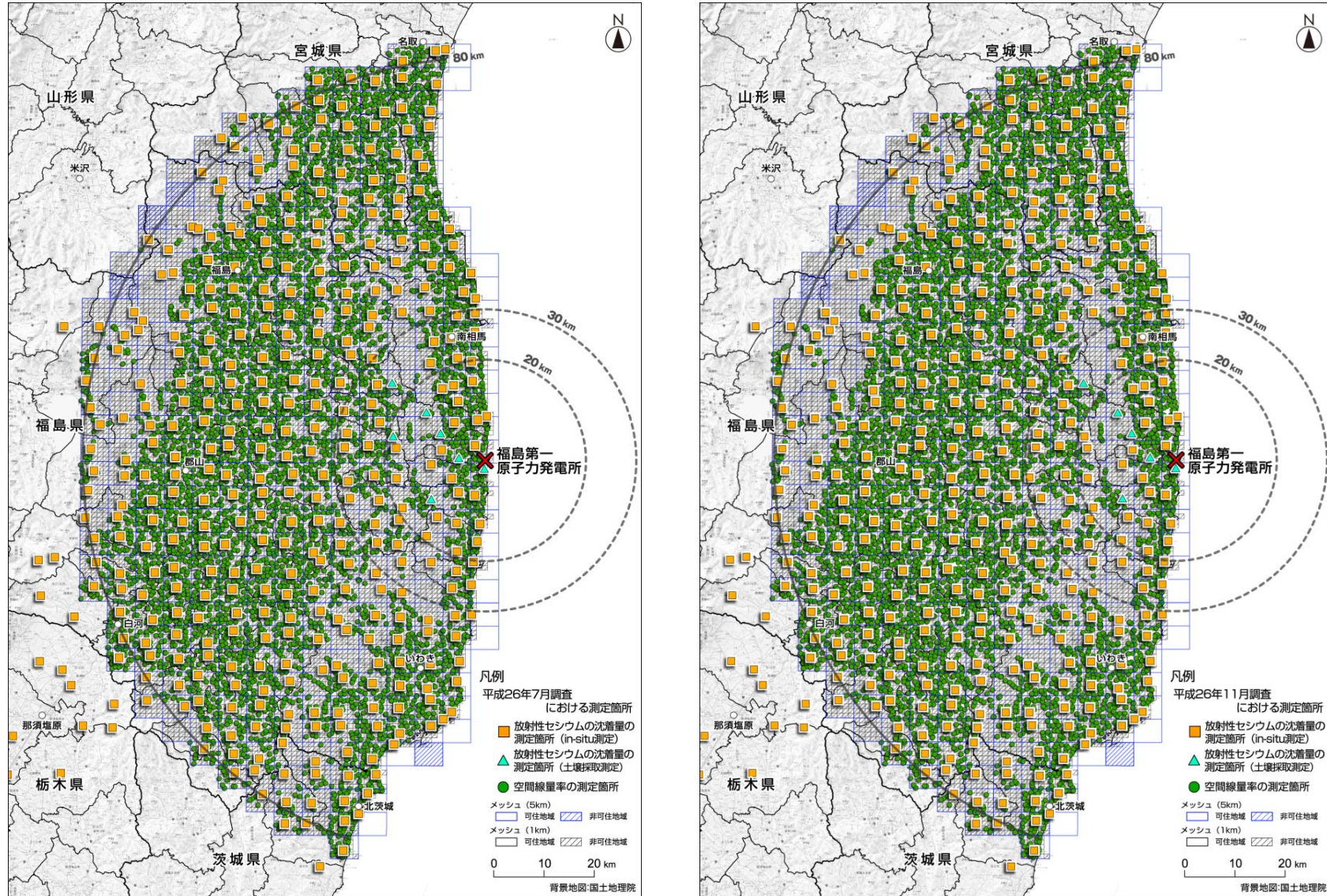


図-1 平成26年度の調査における空間線量率の測定箇所（放射性セシウム沈着量の測定箇所を含む）
 （左図が平成26年7月調査、右図が同年11月調査）

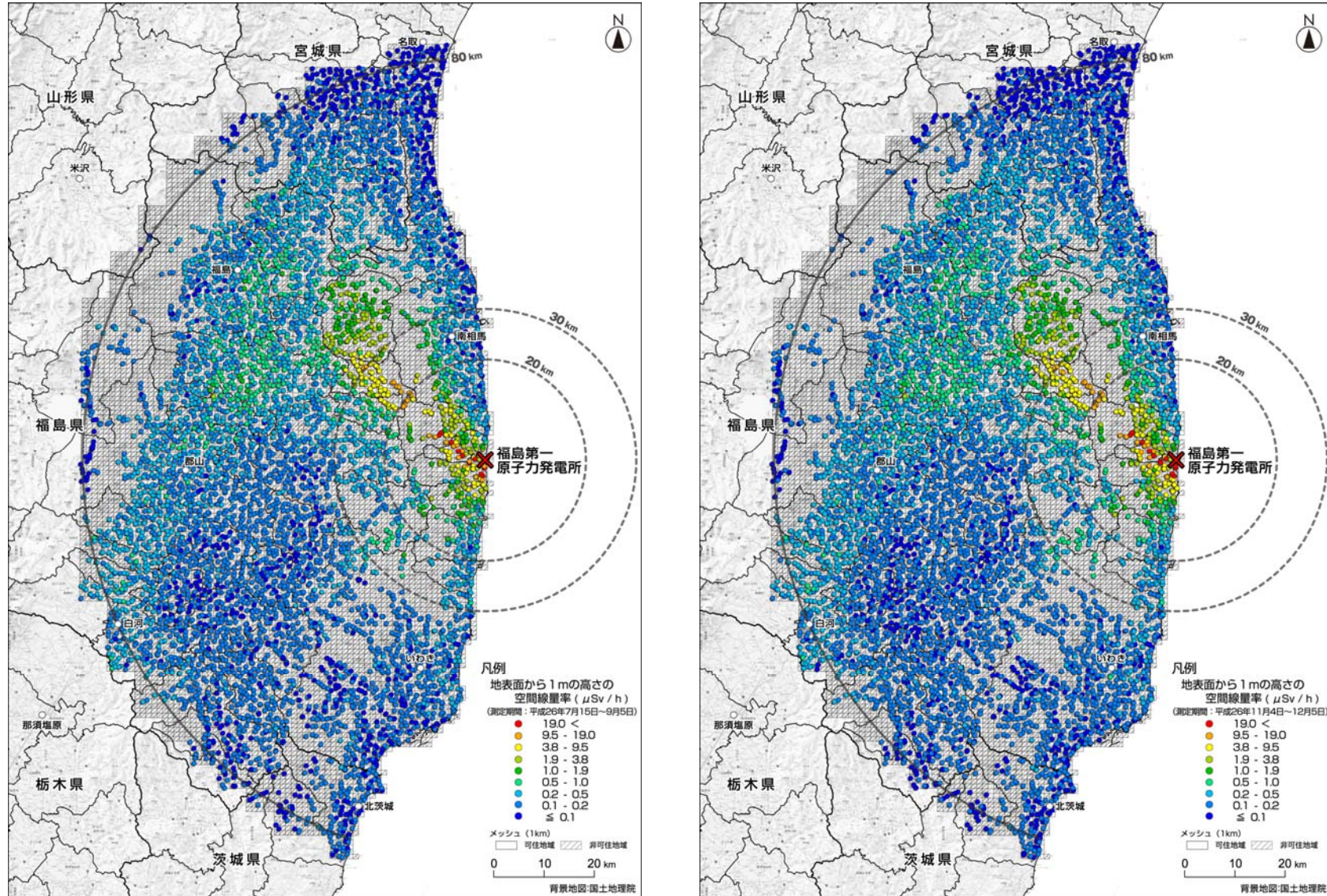


図-2 サーベイメータによる地表面から1 m高さの空間線量率の測定結果を記したマップ
 (左図：平成26年7月調査、右図：同年11月調査)

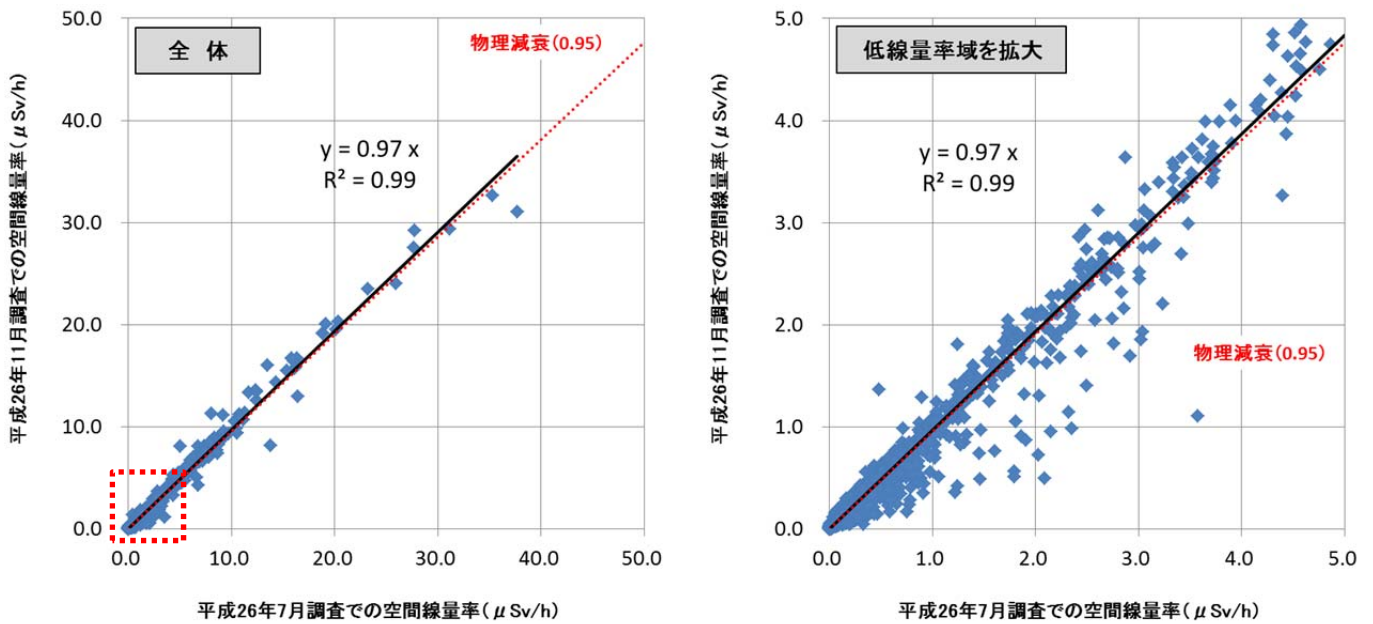


図-3 平成26年7月調査と11月調査の空間線量率の変化
(右図は、左図の赤点線で囲んだ部分を拡大したもの) (データ数 n = 6,062)

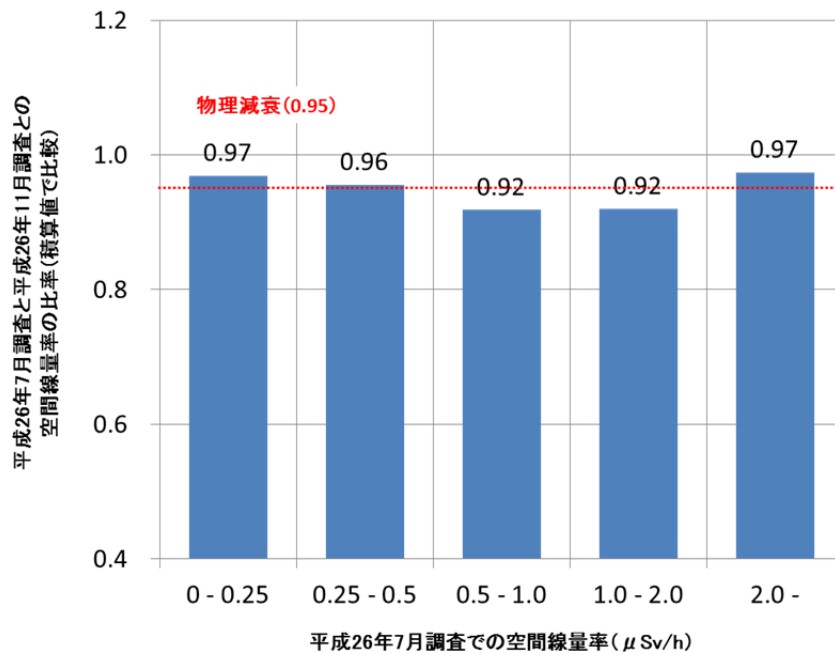


図-4 平成26年7月調査から11月調査までの空間線量率の減少率と
平成26年7月調査時点の空間線量率との関係(合計値で比較)
(空間線量率の比率は、平成26年7月調査で測定された空間線量率の範囲ごとの合計値に
対する11月調査で測定された空間線量率の合計値の比率を指す) (データ数 n = 6,062)

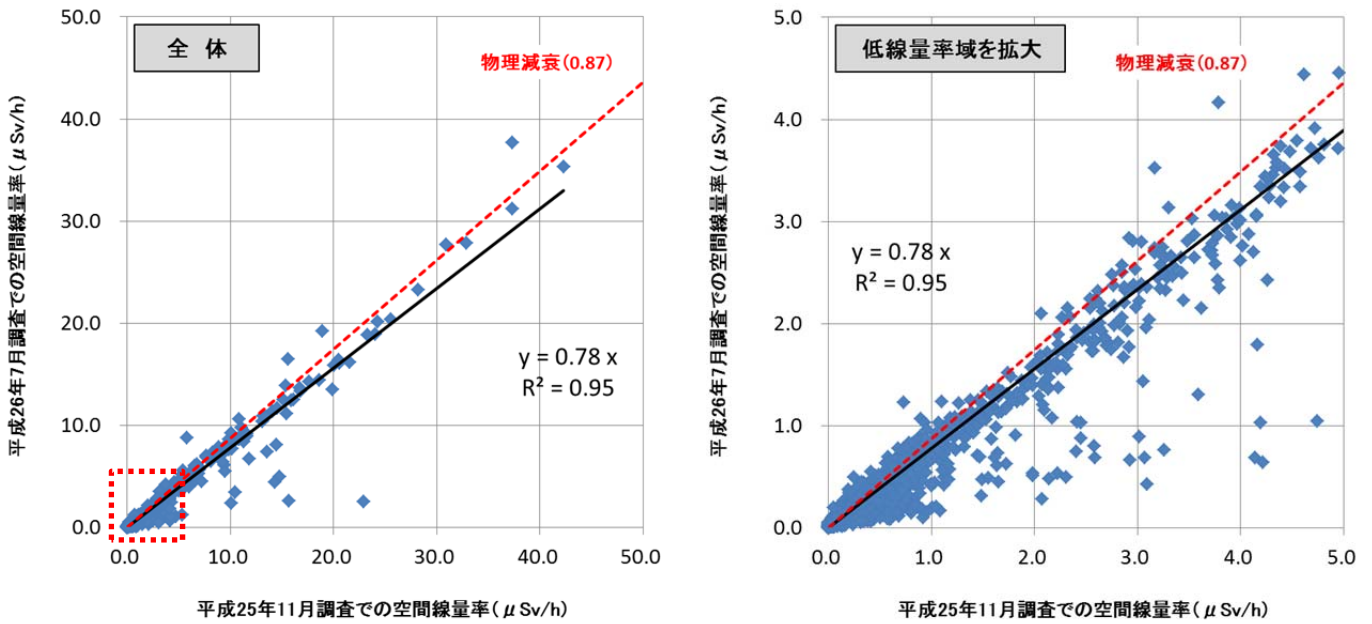


図-5 平成 25 年 11 月調査と平成 26 年 7 月調査の空間線量率の変化
 (右図は、左図の赤点線で囲んだ部分を拡大したもの) (データ数 n= 5,877)

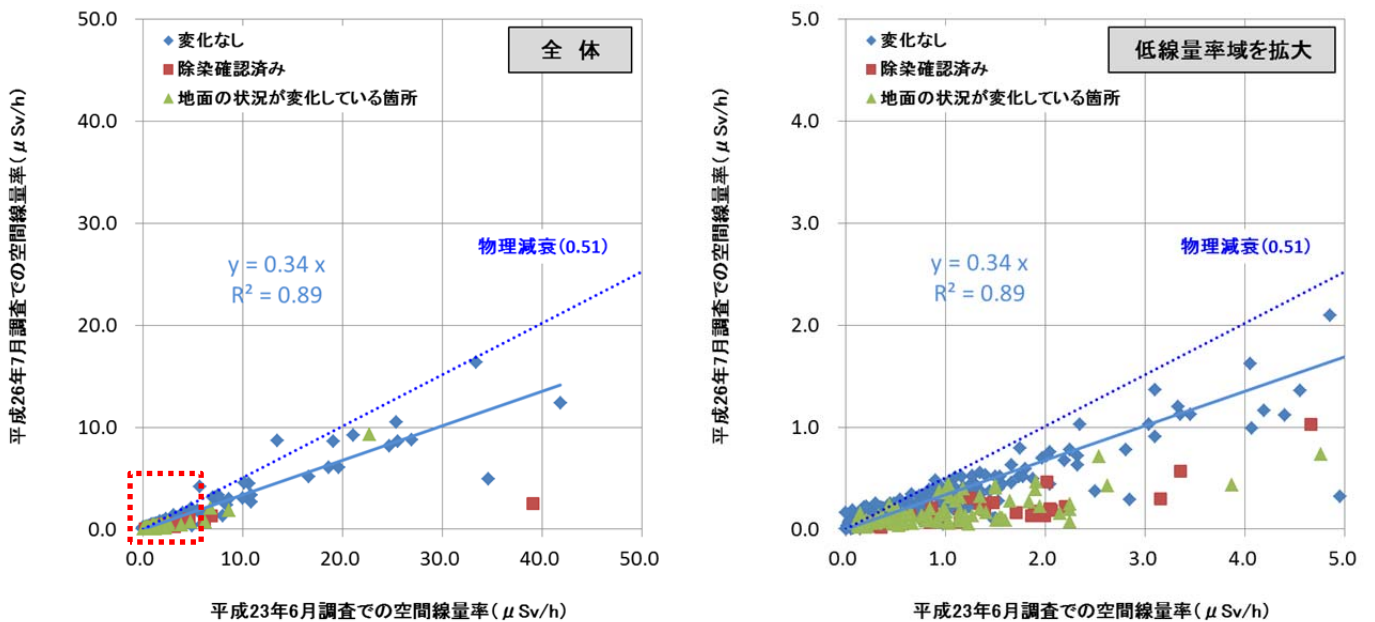


図-6 平成 23 年 6 月調査と平成 26 年 7 月調査の空間線量率の変化
 (右図は、左図の赤点線で囲んだ部分を拡大したもの。平成 23 年 6 月調査以降に除染の実施が確認された 31 箇所を赤色の■で、地面の状況が変化していると判断された 102 箇所を緑色の▲で示す) (データ数 n= 637)

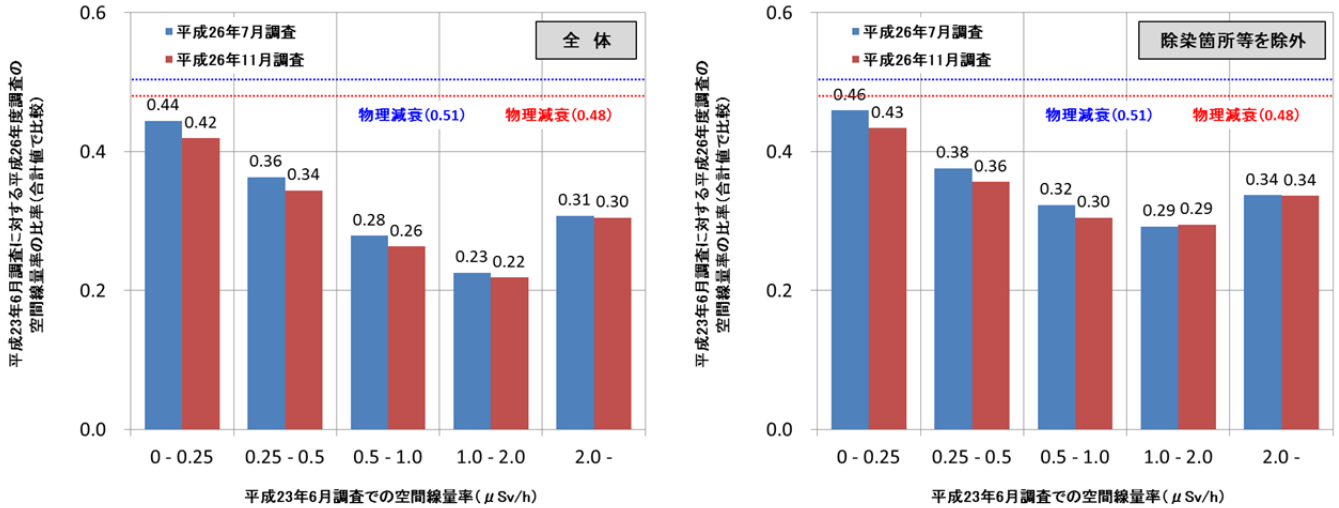


図-7 平成23年6月調査から平成26年度の調査までの空間線量率の減少率と平成23年6月調査時点の空間線量率との関係（合計値で比較）

（左図は、平成23年6月調査以降に除染の実施が確認された箇所及び地面の状況が変化していると判断された箇所を含めて算出（データ数 n= 539）。右図は、これら除染箇所等を除外して算出（データ数 n= 423））

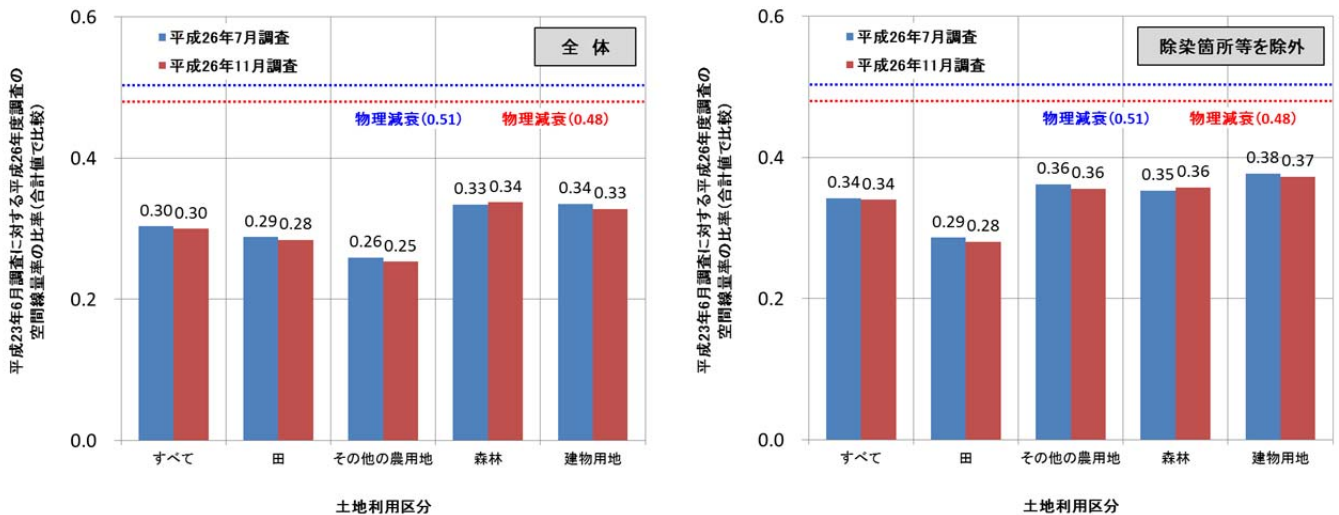


図-8 平成23年6月調査を基準とした平成26年度の調査における土地利用区分ごとの空間線量率の変化の割合（合計値で比較）

（左図は、平成23年6月調査以降に除染の実施が確認された箇所及び地面の状況が変化していると判断された箇所を含めて算出（データ数 n= 456）。右図は、これら除染箇所等を除外して算出（データ数 n= 358）。土地利用区分は、国土交通省国土政策局提供の「国土数値情報 土地利用区分細分メッシュ 第2.3版」の土地利用種別（平成21年度）を利用）