

令和 5 年度放射性物質測定調査委託費及び
原子力施設等防災対策等委託費
(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) 事業

成果報告書

令和 6 年 3 月

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

本報告書は、原子力規制庁による令和 5 年度放射性物質測定調査委託費及び原子力施設等防災対策等委託費（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）事業の成果をとりまとめたものである。

要 旨

東京電力（株）福島第一原子力発電所（以下「福島第一原発」という。）事故発生後、文部科学省（後に原子力規制庁）により、放射性物質の分布状況等に関する調査が継続実施されてきた。令和 5 年度の調査では、これまでと同様の分布状況等に関する調査に加え、原子力施設等防災対策等委託費（生活行動パターンを模擬した連続的な空間線量率の測定及び詳細モニタリング結果のマップ化）事業と併せて、「令和 5 年度放射性物質測定調査委託費及び原子力施設等防災対策等委託費（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）事業」（以下「令和 5 年度調査」という。）として実施した。本報告書は令和 5 年度調査における以下の調査結果をとりまとめたものである。

周辺線量当量率（以下「空間線量率」という。）の分布測定では、主に福島第一原発から 80 km 圏内（以下「80 km 圏内」という。）において走行サーベイ（2 回；ただし、1 回は地方自治体との協働による測定を含め東日本広域での測定）、サーベイメータによる平坦地上の測定（1 回）、歩行サーベイ（1 回）及び無人ヘリコプターサーベイ（1 回）を実施し、測定結果から空間線量率分布マップを作成するとともに空間線量率の経時変化を分析した。土壌における放射性セシウムの分布調査に関しては、可搬型ゲルマニウム半導体検出器を用いた in-situ 測定（1 回）及びスクレーパープレート法で採取した土壌試料の分析による土壌中深度分布調査（1 回）をそれぞれ実施した（いずれも 80 km 圏内）。これまで蓄積した測定結果を基に空間線量率及び沈着量の実効半減期を評価した。モニタリング地点の重要度を相対的に評価するためのスコアマップを作成するとともに、多年度のモニタリングデータを使用した場合のスコアの変化要因について考察した。海水中のトリチウム濃度の評価結果を意思決定者（原子力規制庁）へ報告する体制を構築し運用し、処理水の海洋への放出前後のトリチウム濃度の変動に着目して解析評価した。総合モニタリング計画に基づき実施された海域モニタリングについて令和 5 年度の測定結果を集約するとともに、過去からの変動などに関して解析評価を行なった。実測データの統合的解析では、階層ベイズ統計手法を用いて、令和 5 年度調査での歩行サーベイ、走行サーベイ及びサーベイメータによる平坦地上の測定による結果等を統合し、80 km 圏内及び福島県全域の空間線量率統合マップを作成した。空間線量率等分布マップの作成と公開では、「放射性物質モニタリングデータの情報公開サイト」に令和 5 年度調査において取得した空間線量率や土壌沈着量の測定結果等を公開した。総合モニタリング計画に基づく放射線モニタリング及び環境試料分析では、福島第一原発の 20 km 以遠において空間線量率、積算線量、大気浮遊じん中放射性物質濃度、並びに環境試料（土壌及び松葉）中放射性物質濃度を測定した。生活行動パターンを模擬した被ばく評価では、避難指示解除区域への帰還後に想定される複数の代表的な生活行動パターンを設定し積算の被ばく線量を算出するとともに当該地方自治体・住民に向けた説明資料を作成した。測定データの CSV 化では、本事業で取得した測定データを CSV（場合によっては Excel®、KMZ）形式にて保存した。又、当該分野の今後の調査等に活用するため、原子力規制庁や環境省が保有する測定データの一部を公開資料から抽出し CSV（場合によっては Excel®、KMZ）形式にて保存した。これらのデータの一部は原子力規制庁の Web サイトにて公開される。

目 次

1.	はじめに	1
2.	地上における広域の空間線量率の分布測定	5
2.1	調査目的	5
2.2	調査手法	5
2.2.1	走行サーベイ	5
2.2.2	定点サーベイ	6
2.2.3	歩行サーベイ	6
2.2.4	令和 4 年度との比較	6
2.2.5	測定手法間の比較	7
2.3	空間線量率測定結果	11
2.3.1	空間線量率分布マップ	11
2.3.2	令和 4 年度との比較	23
2.3.3	平成 23 年度との比較	24
2.3.4	測定手法間の比較	25
3.	無人ヘリによる発電所周辺の空間線量率測定	30
3.1	調査目的	30
3.2	調査手法	30
3.2.1	調査場所・期間	30
3.2.2	調査機器	30
3.2.3	データ取得方法	31
3.2.4	無人ヘリ測定データの空間線量率への換算	31
3.2.5	空間線量率マップの作成	32
3.3	調査結果	35
3.3.1	空間線量率マップ	35
3.3.2	測定結果の妥当性の検証	35
3.3.3	令和 4 年度との比較	35
3.3.4	天然放射性核種による空間線量率マップ	35
3.3.5	福島第一原発から約 5 km 圏内の放射性セシウム沈着量評価	36
4.	土壌における放射性セシウムの分布状況	48
4.1	放射性セシウムの深度分布	48
4.1.1	調査目的	48
4.1.2	調査内容	48
4.1.3	調査結果	52
4.2	放射性セシウム沈着量の面的調査	55

4.2.1	調査目的	55
4.2.2	調査内容	55
4.2.3	調査結果	58
5.	空間線量率及び放射性セシウム土壌沈着量の実効半減期の評価	71
5.1	目的	71
5.2	測定結果の変化傾向	71
5.3	実効半減期算出方法	76
5.4	空間線量率の実効半減期	77
5.5	放射性セシウム沈着量の実効半減期	81
5.6	各測定手法による空間線量率の変化傾向の比較	83
6.	測定箇所の重要度分類のためのスコア化の検討	86
6.1	目的	86
6.2	総合モニタリング計画	86
6.3	地域スコア化によるモニタリング代表性評価	88
6.3.1	地域スコア化手法	88
6.3.2	スコアの評価例	90
6.3.3	年度別のスコア評価例	93
6.4	評価結果のまとめ	99
7.	海洋のモニタリングデータの評価	101
7.1	海水中のトリチウム濃度データの解析	101
7.1.1	海水のモニタリング計画	101
7.1.2	測定結果	110
7.1.3	報告レベル判定	111
7.2	海生生物中のトリチウム濃度データの解析	117
7.2.1	モニタリング計画	117
7.2.2	測定結果	119
7.3	海域モニタリング地点の重要度分類	122
7.3.1	調査内容	122
7.3.2	調査結果	123
7.3.3	過年度評価結果との比較	131
8.	実測データの統合的解析	135
8.1	調査目的	135
8.2	調査内容	135
8.2.1	統合マップ作成に用いた空間線量率測定データ	135
8.2.2	測定データ統合手法の概要	136
8.3	80 km 圏内を対象とした統合マップの作成	137
8.3.1	統合マップ作成に使用した測定データ	137
8.3.2	歩行サーベイ結果の空間分布パターンの解析	141

8.3.3	走行サーベイと歩行サーベイの比較	143
8.3.4	航空機サーベイと歩行サーベイの比較	145
8.3.5	統合結果	146
8.4	福島県全域を対象とした統合マップの作成	148
8.4.1	対象とした測定データ	148
8.4.2	歩行サーベイを対象とした空間パターンの解析	151
8.4.3	走行サーベイデータと歩行サーベイデータの比較	153
8.4.4	航空機サーベイデータと歩行サーベイデータの比較	154
8.4.5	統合結果	155
8.5	統合マップの精度検証	157
9.	空間線量率等分布マップの作成と公開	160
9.1	目的	160
9.2	EMDB の作成と公開	160
9.3	EMDB の運用管理	161
9.4	詳細モニタリング結果のマップ化	162
10.	総合モニタリング計画に基づく放射線モニタリング及び環境試料分析	167
10.1	測定方法及び測定結果	167
10.1.1	空間線量率	167
10.1.2	積算線量	167
10.1.3	大気浮遊じん中放射性物質濃度	167
10.1.4	環境試料（土壌及び松葉）中放射性物質濃度	168
10.2	測定結果の公開	168
11.	生活行動パターンを模擬した被ばく評価	177
11.1	調査目的	177
11.2	調査手法	177
11.2.1	生活行動パターンの設定	177
11.2.2	被ばく線量の算出	178
11.2.3	評価結果の図表化と説明資料の作成	180
11.2.4	環境省による除染前後のモニタリングデータを用いた評価	180
11.3	調査結果	184
11.3.1	自治体設定パターン	184
11.3.2	標準パターン	184
11.3.3	環境省による除染前後のモニタリングデータを用いた評価	184
12.	測定データのCSV化	190
12.1	CSV 等の形式で保存した測定データ	190
12.2	保存した測定データの公開	190
13.	まとめ	194
	参考文献	196

付録1	セシウム137の深度分布	203
付録2	詳細モニタリングでの解析結果	208
付録3	令和5年度技術検討会の概要	217

表リスト

表 1-1	各調査における測定項目ごとの実施時期	3
表 2-1	地上における空間線量率測定の実施期間及び測定エリア	8
表 2-2	測定手法間の比較の組み合わせ	8
表 2-3	令和 4 年度調査と比較した令和 5 年度調査の空間線量率測定結果の相対変化率	23
表 2-4	平成 23 年度調査と比較した令和 5 年度調査の空間線量率測定結果の相対変化率	24
表 3-1	テストサイトにおける換算パラメータ取得条件	32
表 5-1	評価された実効半減期の一覧	78
表 6-1	総合モニタリング計画における測定種別及び担当省庁	87
表 6-2	図 6-1 の作成に使用した空間線量率測定データ一覧	89
表 6-3	ランドマークデータの詳細情報	89
表 6-4	スコア付与例	91
表 6-5	平成 29 年度からスコアに変動が生じたメッシュ数 (平成 30 年度)	94
表 6-6	平成 29 年度からスコアに変動が生じたメッシュ数 (令和元年度)	94
表 6-7	平成 29 年度からスコアに変動が生じたメッシュ数 (令和 2 年度)	94
表 6-8	平成 29 年度からスコアに変動が生じたメッシュ数 (令和 3 年度)	95
表 6-9	平成 29 年度からスコアに変動が生じたメッシュ数 (令和 4 年度)	95
表 7-1	総合モニタリング計画に記載されている海水モニタリング	102
表 7-2	海水モニタリングポイントの番号割り振り	103
表 7-3	報告レベル 3 判定のモニタリングポイント	113
表 7-4	総合モニタリング計画に記載されている海生生物モニタリング	118
表 7-5	海生生物中のトリチウム濃度の測定結果	120
表 7-6	各海域 (海水採取ポイント) のランク分け結果	124
表 7-7	各海域 (海底土採取ポイント) のランク分け結果	128
表 7-8	令和 4 年度調査での評価結果からランクが変化した地点 (海水)	132
表 7-9	令和 4 年度調査での評価結果からランクが変化した地点 (海底土)	132
表 7-10	令和元年度海域事業から令和 5 年度調査にかけてのランク変化状況	133
表 8-1	80 km 圏内統合マップ作成に使用したデータ一覧	138
表 8-2	関連のパラメータ	145
表 9-1	評価を行った自治体とメッシュ数	162
表 10-1	総合モニタリング計画に基づく放射線モニタリング及び環境試料分析の実施項目ごとの測定地点数及び測定 (採取) 頻度	167
表 11-1	自治体設定パターン及び標準パターンの設定数	180
表 11-2	職業・就学カテゴリーごとの各行動に対する平均時間量	181
表 11-3	常磐線駅区間の空間線量率	182
表 11-4	特定復興再生拠点区域及び帰還困難区域の自治体ごとの空間線量率代表値	182
表 11-5	標準パターン (就学カテゴリー) の年間の追加被ばく線量一覧	185

表 11-6	標準パターン（職業カテゴリー）の年間の追加被ばく線量一覧.....	186
表 11-7	除染前後の年間の追加被ばく線量と低減率.....	187
表 12-1	令和 5 年度調査で取得した測定データの項目とレコード数	191
表 12-2	原子力規制庁・環境省が保有する測定データの項目とレコード数	192
表 12-3	測定データをデータベースに保存した自治体リスト	193

図リスト

図 2-1	令和 5 年度調査における定点サーベイによる空間線量率の測定箇所	9
図 2-2	令和 5 年度調査における歩行サーベイによる空間線量率の測定箇所	10
図 2-3	令和 5 年度 1 回目（第 26 回）走行サーベイによる空間線量率の測定結果	12
図 2-4	令和 5 年度 2 回目（第 27 回）走行サーベイによる空間線量率の測定結果	13
図 2-5	平成 23 年度から令和 5 年度までの走行サーベイによる 80 km 圏内を中心とした空間線量率マップの変化	14
図 2-6	令和 5 年度調査における定点サーベイによる空間線量率の測定結果	17
図 2-7	平成 23 年度から令和 5 年度までの定点サーベイによる空間線量率マップの変化	18
図 2-8	令和 5 年度調査における歩行サーベイによる空間線量率の測定結果	20
図 2-9	平成 25 年度から令和 5 年度までの歩行サーベイによる空間線量率マップの変化	21
図 2-10	令和 4 年度調査と令和 5 年度調査の空間線量率測定結果の比較	26
図 2-11	令和 5 年度調査での走行サーベイ及び定点サーベイによる空間線量率結果の平成 23 年度調査との比較	27
図 2-12	令和 5 年度調査での空間線量率測定手法間の比較	28
図 2-13	定点サーベイに対する走行サーベイ及び歩行サーベイの空間線量率の相対偏差	29
図 3-1	無人ヘリサーベイの機材の仕様等	33
図 3-2	令和 5 年度調査での無人ヘリサーベイの飛行軌跡	34
図 3-3	令和 5 年度調査における無人ヘリサーベイによる空間線量率測定結果	38
図 3-4	平成 24 年度から令和 5 年度までの無人ヘリサーベイによる空間線量率マップの変化	39
図 3-5	無人ヘリサーベイと地上測定（定点サーベイ）による空間線量率の比較	41
図 3-6	令和 4 年度調査と令和 5 年度調査での無人ヘリサーベイによる空間線量率測定結果の比較	42
図 3-7	無人ヘリサーベイによる空間線量率測定結果の令和 4 年度調査に対する令和 5 年度調査の相対変化率の分布	43
図 3-8	令和 4 年度調査から令和 5 年度調査に空間線量率が顕著に減少した要因の調査結果	44
図 3-9	令和 5 年度調査における無人ヘリサーベイにより評価した天然放射性核種による空気カーマ率の分布	45
図 3-10	平成 28 年度～平成 30 年度の可搬型 Ge 検出器による放射性セシウム沈着量測定結果（令和 5 年度に物理減衰補正）と無人ヘリサーベイによる放射性セシウム沈着量（換算値）の比較	46
図 3-11	無人ヘリサーベイによる放射性セシウム沈着量（換算値）分布マップ	47
図 4-1	令和 5 年度調査における放射性セシウム深度分布測定箇所	51
図 4-2	セシウム 137 の深度分布（重量深度に対する放射能濃度の測定結果）の典型的な例	52

図 4-3	令和 5 年度調査での深度分布測定による重量緩衝深度 β の自然対数値の頻度分布	53
図 4-4	令和 5 年度調査の深度分布測定による実効的な重量緩衝深度 β_{eff} の自然対数値の頻度分布	54
図 4-5	平成 23 年 12 月からの実効的な重量緩衝深度 β_{eff} の経時的な変化	54
図 4-6	平成 23 年 12 月からの 90%深度 $L_{90\%}$ 及びその幾何平均値の経時的な変化	55
図 4-7	令和 5 年度調査における可搬型 Ge 検出器を用いた放射性セシウム沈着量の測定箇所	57
図 4-8	可搬型 Ge 検出器による in-situ 測定の結果を基に求められた空間線量率と NaI(Tl)シンチレーション式サーベイメータによる空間線量率の相関	58
図 4-9	令和 5 年度調査における可搬型 Ge 検出器を用いた in-situ 測定による放射性セシウムの沈着量分布マップ	61
図 4-10	NaI(Tl)シンチレーション式サーベイメータによる地表面から 1 m 高さの空間線量率と可搬型 Ge 検出器を用いた in-situ 測定による放射性セシウム沈着量の相関	63
図 4-11	令和 5 年度調査における放射性セシウムの土壌沈着量分布マップ	64
図 4-12	平成 23 年度から令和 5 年度調査までの in-situ 測定（一部、土壌試料採取による）及び空間線量率から評価した土壌沈着量の分布マップの変化	66
図 4-13	可搬型 Ge 検出器を用いた in-situ 測定による沈着量と NaI(Tl)シンチレーション式サーベイメータによる空間線量率から評価したセシウム 137 沈着量の比較	70
図 5-1	分布状況調査で得られた空間線量率の経時変化傾向	73
図 5-2	分布状況調査で得られた放射性セシウム沈着量の経時変化傾向	75
図 5-3	空間線量率変化傾向及び指数関数の近似	79
図 5-4	可搬型 Ge 検出器を用いた in-situ 測定結果における放射性セシウムの沈着量変化傾向及び指数関数の近似	82
図 5-5	走行サーベイ、定点サーベイ、歩行サーベイ及び航空機サーベイの全測定手法によるデータが存在するデータを抽出した箇所（基準地域メッシュ）	84
図 5-6	各測定手法の測定状況と測定対象のイメージ	85
図 5-7	全測定手法によるデータが存在する基準地域メッシュを抽出して解析した空間線量率の変化傾向	85
図 6-1	基準地域メッシュ内の最大空間線量率マップ（令和 4 年測定データ）	90
図 6-2	平成 29 年度に測定された空間線量率のスコアマップ例	91
図 6-3	平成 29 年時点における空間線量率及び事故前の人口密度のスコアを合計したスコアマップ例	92
図 6-4	平成 29 年時点における空間線量率、事故前の人口密度及び避難指示区域のスコアを合計したスコアマップ例	92
図 6-5	平成 29 年時点における空間線量率、事故前の人口密度、避難指示区域及びランドマークのスコアを合計したスコアマップ例	93
図 6-6	平成 30 年時点における空間線量率、事故前の人口密度、避難指示区域及びランドマークのスコアを合計したスコアマップ	96

図 6-7	令和元年時点における空間線量率、事故前の人口密度、避難指示区域及びランドマークのスコアを合計したスコアマップ	96
図 6-8	令和 2 年時点における空間線量率、事故前の人口密度、避難指示区域及びランドマークのスコアを合計したスコアマップ	97
図 6-9	令和 3 年時点における空間線量率、事故前の人口密度、避難指示区域及びランドマークのスコアを合計したスコアマップ	97
図 6-10	令和 4 年時点における空間線量率、事故前の人口密度、避難指示区域及びランドマークのスコアを合計したスコアマップ	98
図 6-11	平成 29 年度に対する各年度のスコア変動	99
図 7-1	モニタリングデータの報告レベルフローチャート	101
図 7-2	海水中のトリチウム濃度モニタリングポイント	105
図 7-3	海水中のトリチウム濃度の分析数	111
図 7-4	処理水の放出前（左）と放出後（右）における海水中のトリチウム濃度	111
図 7-5	報告レベル 3 判定のモニタリングポイント	113
図 7-6	報告レベルが 3 回あったモニタリングポイント（T-0-1A）	114
図 7-7	レベル 3 判定が 2 回あったモニタリングポイントの例（T-2）	115
図 7-8	レベル 3 判定が 2 回あったモニタリングポイントの例（F-P09）	116
図 7-9	モニタリングデータの報告レベルフローチャート改定案	117
図 7-10	総合モニタリング計画に記載されている海生生物モニタリングの実施海域	119
図 7-11	海生生物中のトリチウム濃度の分析数	121
図 7-12	海生生物中のトリチウム濃度の変動傾向	121
図 7-13	海底土のセシウム 137 濃度の測定結果例	123
図 7-14	海水モニタリング地点及び令和 5 年度調査でのランク結果	125
図 7-15	海底土モニタリング地点及び令和 5 年度調査でのランク結果	129
図 7-16	令和 4 年度調査での評価結果からランクが上昇した地点（海底土：E-T4、F-P61 及び E-4H）	134
図 8-1	令和 5 年度の統合マップ作成に使用した空間線量率データ（80 km 圏内）	139
図 8-2	JAXA の高解像度土地利用土地被覆図に基づく土地利用状況	140
図 8-3	令和 5 年 5 月 1 日時点の避難指示区域（色塗り箇所）	140
図 8-4	令和 5 年度に実施された避難指示区域内外における歩行サーベイによる空間線量率のバリオグラム解析結果	142
図 8-5	80 km 圏内の統合マップ作成に用いた避難指示区域内外及び全域（区域内外の区別なし）における走行サーベイと歩行サーベイによる空間線量率の相関分析結果	144
図 8-6	80 km 圏内の統合マップ作成に用いた避難指示区域内外及び全域（区域内外の区別なし）における航空機サーベイと歩行サーベイによる空間線量率の相関分析結果	146
図 8-7	令和 5 年度に実施された各種測定結果を統合した 80 km 圏内の統合マップ（左）及びその標準偏差分布（右）	147
図 8-8	令和 5 年度の統合マップ作成に使用した空間線量率データ（福島県全域）	149

図 8-9	令和 5 年度に実施された福島県全域における歩行サーベイによる空間線量率のバリオグラム解析結果.....	152
図 8-10	福島県全域の統合マップ作成に用いた走行サーベイと歩行サーベイによる空間線量率の相関分析結果.....	153
図 8-11	福島県全域の統合マップ作成に用いた航空機サーベイと歩行サーベイによる空間線量率の相関分析結果.....	154
図 8-12	令和 5 年度に実施された各種空間線量率測定結果を統合した福島県全域及び 80 km 圏内の統合マップ（上）及びその標準偏差分布（下）.....	156
図 8-13	統合マップ作成時に除外された歩行サーベイ相当データの箇所.....	158
図 8-14	統合マップ作成時に除外された歩行サーベイ相当データの結果との比較.....	158
図 8-15	令和 4 年度統合マップとの比較.....	159
図 9-1	EMDB における測定データ（第 24 及び 25 回走行サーベイ）表示例.....	161
図 9-2	EMDB への令和 5 年度（令和 5 年 4 月 1 日～令和 6 年 1 月 31 日）アクセス状況.....	162
図 9-3	詳細モニタリングによる空間線量率分布マップ（全体図）.....	163
図 9-4	詳細モニタリングによる空間線量率分布マップ（大熊町）.....	164
図 9-5	詳細モニタリングによる空間線量率分布マップ（双葉町）.....	165
図 9-6	詳細モニタリングによる空間線量率分布マップ（浪江町）.....	166
図 10-1	総合モニタリング計画に基づき実施した空間線量率、積算線量、大気浮遊じん中放射性物質濃度、土壌並びに指標植物（松葉）中放射性物質濃度の測定（採取）地点.....	169
図 10-2	総合モニタリング計画に基づく空間線量率の測定結果.....	170
図 10-3	総合モニタリング計画に基づく積算線量の経時変化.....	171
図 10-4	総合モニタリング計画に基づく大気浮遊じん中セシウム 137 濃度の経時変化.....	173
図 10-5	総合モニタリング計画に基づく土壌中セシウム 137 濃度の経時変化.....	174
図 10-6	総合モニタリング計画に基づく松葉中セシウム 137 濃度の経時変化.....	175
図 11-1	標準パターンにおける終日のタイムスケジュール.....	183
図 11-2	年間追加被ばく線量の分布（自治体設定パターン：富岡町）.....	188
図 11-3	年間追加被ばく線量の分布（自治体設定パターン：大熊町）.....	188
図 11-4	年間追加被ばく線量の分布（自治体設定パターン：浪江町）.....	189

1. はじめに

平成 23 年 3 月 11 日に発生した太平洋三陸沖を震源とするマグニチュード 9.0 の東北地方太平洋沖地震とそれに伴って発生した津波により、東京電力（株）福島第一原子力発電所（以下「福島第一原発」という。）の事故（以下「事故」という。）が発生し、その結果、福島第一原発の原子炉施設から環境中へ大量の放射性物質が放出された。事故状況の全体像を把握して影響評価や対策に資するために、文部科学省からの委託を受けた日本原子力研究開発機構（以下「原子力機構」という。）が多くの大学や研究機関と協力し、平成 23 年 6 月から平成 24 年度に「放射性物質の分布状況等に関する調査研究」、「福島第一原子力発電所事故に伴う放射性物質の第二次分布状況等に関する調査研究」及び「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」を実施した。これら 3 回の調査を継承する形で、平成 25 年度には原子力規制庁からの委託を受け「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」、平成 26 年度は「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」を実施した。平成 27 年度以降は同一の調査名称となり、「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」を実施した。以下、これら各年度の調査¹⁾を「平成〇年度調査」又は「令和〇年度調査」といい、総称して「分布状況調査」という。令和 5 年度調査においては、原子力規制庁からの委託事業「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）事業」を引き続き実施するとともに、「原子力施設等防災対策等委託費（生活行動パターンを模擬した連続的な空間線量率の測定及び詳細モニタリング結果のマップ化）事業」（以下「生活行動パターン事業」という。）についても併せて実施した^a。なお、生活行動パターン事業については、令和元年度から原子力機構が主体となって調査を実施してきた²⁻⁵⁾。

分布状況調査において実施してきた各種測定の実施時期を表 1-1 にまとめる。本報告書において、表中等の日付短縮表記は、年(和暦)/月/日とする(例:平成 23 年 6 月 4 日の場合 H23/6/4、令和 5 年 7 月 1 日の場合 R5/7/1 とする)。

一連の分布状況調査においては、

- 1) 放射性物質の土壌沈着量及び周辺線量当量率（以下「空間線量率」という。）に関する大規模環境測定と測定結果のマップ化、
- 2) 放射性セシウムの環境中移行メカニズムの調査（平成 26 年度終了）、
- 3) 空間線量率予測モデルの開発（平成 27 年度終了）、
- 4) 適正な調査地点及び頻度の検討（モニタリングポイントの分析）、
- 5) 実測データの統合的解析、
- 6) 海洋のモニタリングデータについての詳細な解析評価、
- 7) 放射性物質モニタリングデータの情報公開サイト（令和 3 年度調査までは「拡大マップ

^a 委託業務の題目は「令和 5 年度放射性物質測定調査委託費及び原子力施設等防災対策等委託費（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）事業」である。

サイト」)等を通したデータの公開等を実施してきた。

また、生活行動パターン事業においては、

- 1) 生活行動パターンごとの空間線量率の積算量の算出、
- 2) 詳細モニタリング結果のマップ化、
- 3) 簡易に推定被ばく線量の算出等のできるアプリケーションソフトウェアの開発、
- 4) 得られた成果の地方公共団体への提供

等を実施してきた。

令和 5 年度調査の主な実施内容は、1) 福島第一原発から放出された放射性物質の沈着量や空間線量率の分布測定を実施し現状における沈着状況等についてその変化傾向を把握すること、2) 異なる手法により測定した空間線量率 のデータを統計的手法により統合したマップを作成すること、3) 取得したデータを基に作成した空間線量率分布等に関するマップ等をウェブサイトで公開するとともに、帰還困難区域等の地方自治体の要望により、原子力規制委員会が東京電力と連携して測定した空間線量率の結果をマップ化すること、4) 総合モニタリング計画に基づき原子力規制委員会が実施することとしている a) 福島県下の放射線モニタリングについて測定及び考察すること、b) 海域モニタリング(海水・海底土・海生生物)について令和 4 年度の測定結果を集約するとともに、過去からの 変動などに関して評価を行うこと。5) 今後の避難指示区域の見直しが想定される地域等における生活行動パターンを想定した被ばく評価を実施すること、6) 本事業で取得または原子力規制庁が保有する測定データ及び地方自治体が測定したデータを収集しとりまとめるとともに、海域モニタリングについては、収集したデータを活用してデータの妥当性の確認を行い、定期的に原子力規制庁に連絡することである。

本報告書では、令和 5 年度調査で得られた成果についてまとめる。

表 1-1 各調査における測定項目ごとの実施時期 (1/2)

	平成 23 年度 (第 1 次)*4	平成 23 年度 (第 2 次)	平成 24 年度 (第 3 次)	平成 25 年度 (第 4 次)	平成 26 年度 (第 5 次)	平成 27 年度 (第 6 次)	平成 28 年度 (第 7 次)
走行サーベイ*1	第 1 回 (J)H23/6/4-6/13	第 2 回 (J)H23/12/5-12/28 第 3 回 (自)H24/3/13-3/30	第 4 回 (J)H24/8/20-9/7 (自)H24/9/3-10/12 第 5 回 (J)H24/11/5-11/30 (自)H24/11/9-12/10	第 6 回 (J)H25/6/12-8/8 (自)H25/6/24-7/26 第 7 回 (J)H25/11/5-12/4 (自)H25/11/5-12/12	第 8 回 (J)H26/6/23-7/24 (自)H26/7/1-8/8 第 9 回 (J)H26/11/4-12/5 (自)H26/11/4-12/5	第 10 回 (J)H27/7/2-7/24 (自)H27/6/29-8/4 第 11 回 (J)H27/11/5-11/27 (自)H27/11/2-12/18	第 12 回 (J)H28/6/27-7/19 (自)H28/7/4-8/5 第 13 回 (J)H28/10/31-12/16 (自)H28/10/31-11/30
歩行サーベイ				第 1 回 H25/6/10-7/5 第 2 回 H25/11/5-12/4	第 3 回 H26/7/28-9/12 第 4 回 H26/10/30-12/16	第 5 回 H27/6/29-8/5 第 6 回 H27/10/26-12/4	第 7 回 H28/6/29-8/5 第 8 回 H28/10/27-12/13
定点サーベイ*2	第 1 回 H23/6/4-6/14 H23/6/27-6/29 H23/6/28-7/8	第 2 回 H23/12/13- H24/5/29	第 3 回 H24/8/14-9/7 第 4 回 H24/11/5-12/7	第 5 回 H25/6/3-7/4 第 6 回 H25/10/28-12/4	第 7 回 H26/7/15-9/5 第 8 回 H26/11/4-12/5	第 9 回 H27/8/3-9/8	第 10 回 H28/8/22-10/4
無人ヘリ			第 1 回 H24/8/30-10/20 第 2 回 H25/1/27-3/20	第 3 回 H25/6/6-7/31 第 4 回 H25/11/19- H26/1/7	第 5 回 H26/6/23-7/22 第 6 回 H26/11/14- H26/1/15	第 7 回 H27/9/2-10/22	第 8 回 H28/9/1-10/13
沈着量*3 (in-situ)	土壌試料採取 第一期: H23/6/4-6/14 第二期: H23/6/27-7/8 (H23/6/14)	第 1 回 H23/12/13- H24/5/29 (H24/3/1)	第 2 回 H24/8/13-9/19 (H24/9/1) 第 3 回 H24/11/5-12/12 (H24/12/1)	第 4 回 H25/6/3-7/10 (H25/7/1) 第 5 回 H25/10/28-12/6 (H25/12/1)	第 6 回 H26/6/23-7/30 (H26/7/1) 第 7 回 H26/10/27-12/5 (H26/12/1)	第 8 回 H27/8/24-10/7 (H27/10/1)	第 9 回 H28/8/24-10/6 (H28/10/1)
深度分布 (スクレーパー プレート)	鉄パイプ試料採取*5	第 1 回 H23/12/12- 12/22、 H24/4/17-4/19	第 2 回 H24/8/21-9/5、 9/26 第 3 回 H24/11/26- 12/7、12/21	第 4 回 H25/6/3-6/27 第 5 回 H25/10/28- 11/29	第 6 回 H26/7/14-7/24 第 7 回 H26/11/4-11/13	第 8 回 H27/8/24-9/25	第 9 回 H28/8/23-10/11

*1 走行サーベイにおける(J)は原子力機構、(自)は自治体による測定。

*2 定点サーベイ：人為的なく乱のない平坦な開かれた土地における空間線量率分布測定。

*3 平成 23 年度（第 1 次及び第 2 次（一部））調査では in-situ 測定はせず土壌試料採取を実施。括弧内日付は放射能濃度を補正した基準日。

*4 () 内は通算調査次数の意味。

*5 平成 23 年度（第 1 次及び第 2 次（一部））調査の深度分布は鉄パイプ等により試料採取。

表 1-1 各調査における測定項目ごとの実施時期 (2/2)

	平成 29 年度 (第 8 次)*4	平成 30 年度 (第 9 次)	令和元年度 (第 10 次)	令和 2 年度 (第 11 次)	令和 3 年度 (第 12 次)	令和 4 年度 (第 13 次)	令和 5 年度 (第 14 次)
走行サーベイ*1	第 14 回 (J) H29/7/3-7/21 第 15 回 (J) H29/10/24- 11/27 (自) H29/10/20- 12/5	第 16 回 (J) H30/7/30- 8/24 第 17 回 (J) H30/11/1- 11/30 (自) H30/10/22- 12/5	第 18 回 (J) R1/6/27-7/16 第 19 回 (J) R1/11/11- 12/4 (自) R1/10/28- 12/13	第 20 回 (J) R2/6/23-7/30 第 21 回 (J) R2/11/4- 12/1 (自) R2/10/26- 12/1	第 22 回 (J) R3/6/22-7/8 第 23 回 (J) R3/11/4-12/3 (自) R3/10/19- 12/2	第 24 回 (J) R4/6/22-7/19 第 25 回 (J) R4/11/7- 12/7 (自) R4/10/17- 12/6	第 26 回 (J) R5/6/20-7/10 第 27 回 (J) R5/11/7- 12/7 (自) R5/10/23- 11/29
歩行サーベイ	第 9 回 H29/10/30-12/1	第 10 回 H30/11/1-12/5	第 11 回 R1/6/12-11/22	第 12 回 R2/6/9-11/6	第 13 回 R3/5/11-11/18	第 14 回 R4/5/11-11/18	第 15 回 R5/5/15-11/24
定点サーベイ*2	第 11 回 H29/8/28-10/10	第 12 回 H30/9/13-10/26	第 13 回 R1/8/22-9/27	第 14 回 R2/8/20-10/1	第 15 回 R3/8/19-9/30	第 16 回 R4/8/23-10/20	第 17 回 R5/8/8-10/10
無人ヘリ	第 9 回 H29/6/13-9/5	第 10 回 H30/7/11-10/16	第 11 回 R1/6/13-12/1	第 12 回 R2/6/9-10/6	第 13 回 R3/5/17-10/4	第 14 回 R4/5/11-9/15	第 15 回 R5/6/20-10/22
沈着量*3 (in-situ)	第 10 回 H29/8/30-10/11 (H29/10/1)	第 11 回 H30/9/13-10/25 (H30/10/1)	第 12 回 R1/8/8-11/1 (R1/10/1)	第 13 回 R2/8/6-10/15 (R2/10/1)	第 14 回 R3/8/6-10/19 (R3/10/1)	第 15 回 R4/8/22-10/21 (R4/10/1)	第 16 回 R5/8/3-10/18 (R5/10/1)
深度分布 (スクレーパ ープレート)	第 10 回 H29/8/23-9/13	第 11 回 H30/9/13-10/11	第 12 回 R1/8/21-9/13	第 13 回 R2/8/18-9/7	第 14 回 R3/8/18-9/10	第 15 回 R4/8/17-10/6	第 16 回 R5/8/22-9/13

*1 走行サーベイにおける(J)は原子力機構、(自)は自治体による測定。

*2 定点サーベイ：人為的なかく乱のない平坦な開かれた土地における空間線量率分布測定。

*3 括弧内日付は放射能濃度を補正した基準日。

*4 () 内は通算調査次数の意味。

2. 地上における広域の空間線量率の分布測定

2.1 調査目的

分布状況調査では、事故により福島第一原発から放出された放射性物質の現状における沈着状況等を詳細に調査しその変化傾向を把握するとともに多角的に空間線量率を評価するため、走行サーベイ、サーベイメータによる人為的なかく乱のない平坦な開かれた土地における空間線量率分布測定（以下「定点サーベイ」という。）及び歩行サーベイによる測定を継続実施している。令和5年度調査においても、これまでと同様の手法により地上における広域の空間線量率の分布測定を行った。

走行サーベイでは、広範囲にわたり現状における空間線量率の分布状況を確認するとともに、過去の走行サーベイによる空間線量率の測定結果と現状での測定結果を比較・解析し、変化傾向を把握することを目的としている。

定点サーベイでは、福島第一原発から80 km 圏内（以下「80 km 圏内」という。）を中心に人為的なかく乱のない平坦な開かれた土地を対象として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変化の特徴を調べることを目的としている。

歩行サーベイでは、道路と平坦地との間の自動車が走行できない地域も含めた詳細な測定により、走行サーベイや平坦地上定点における測定結果を補完し、住民が生活する環境（生活経路）に近い空間線量率分布の特徴を明らかにすること及び空間線量率分布の統合マップ作成や詳細解析に役立てることを目的としている。

2.2 調査手法

2.2.1 走行サーベイ

KURAMA-II（小型 CsI(Tl)シンチレーション検出器と GPS が一体となった GPS 連動型放射線自動計測システム）⁶⁾ を自動車の後部座席の右側後方に設置し、3 秒ごとに空間線量率を測定した。測定は年2回とし、これまでの調査結果を基に空間線量率が0.2 $\mu\text{Sv/h}$ 以上の比較的空間線量率が高い地域の主要幹線道路について、主に80 km 圏内を対象に1回、岩手県から千葉県までの8県を含む東日本広域を対象に1回実施した。さらに、地方自治体が希望する細かな道路を含む測定を地方自治体と協働で1回実施した（地方自治体がKURAMA-IIを用いて測定し、原子力機構は解析を担当）。測定期間及び測定エリア等について表2-1に示す。測定ルートは結果とともに図2-3及び図2-4に示す。なお、KURAMA-IIは測定開始前に標準線源（日本アイソトープ協会製462）を用いて点検・校正を実施した（歩行サーベイに用いたKURAMA-IIも同様）。

車内における空間線量率測定値を車外の空間線量率に換算するための補正係数⁶⁾を用いて、車内での測定結果から道路上1 m 高さの空間線量率を求めた。現在の空間線量率への寄与の大部分がセシウム134及び137（以下「放射性セシウム」という。）によるものであり、測定実施期間中（約1ヶ月）での放射性セシウムの物理的減衰に伴う空間線量率の減少は1%未満と評価される。この減少率は測定機器の有する不確かさよりも十分に小さいことを考慮

して、空間線量率測定値を一定の日付に揃える減衰補正を行わず、測定した日の測定結果をそのまま使用した。道路上において連続的に測定された空間線量率の測定結果を基に、これまでの分布状況調査と同様に、走行地域を総務省統計局により定義される1 km×1 kmの「基準地域メッシュ」をベースとした100 m×100 mのメッシュ（以下「100 mメッシュ」という。本報告書において、他の大きさのメッシュも同様に20 mメッシュや10 mメッシュなどという。）に分割し、そのメッシュ内に含まれる空間線量率の値を平均してメッシュの代表値とした。自治体による測定と原子力機構による広域での測定が同時期であるため、両者を合わせて100 mメッシュ平均値を求めた。

2.2.2 定点サーベイ

標準線源（日本アイソトープ協会製 0268）を用いて点検・校正したNaI(Tl)シンチレーション式サーベイメータ（日立製作所製 TCS-172B）を使用して、地面から1 m高さの空間線量率を測定した。時定数10秒で5回読取った値の平均値をその地点での空間線量率測定値とした。GPSを用いて測定箇所の位置情報を取得した。

測定期間及び測定エリア等について表2-1に示す。80 km圏内を中心に基準地域メッシュに分割し、事故以前に人が居住していなかった地域（以下「非可住区域」という。）を除く各基準地域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。測定箇所数の合計は5,030箇所であった（図2-1参照）。

2.2.3 歩行サーベイ

KURAMA-IIシステムを測定者が背負い（空間線量率の測定高さは概ね地上1 m）歩くことで空間線量率データ及び位置情報を連続的に収集した。測定期間及び測定エリア等について表2-1に示す。測定対象の基準地域メッシュは、80 km圏内を中心に、走行サーベイの測定ルートが含まれ、かつ定点サーベイが行われているものの中から、土地利用状況、空間線量率範囲、地域の代表性を考慮して566メッシュを選んだ（図2-2参照）。本測定では令和元年度に改良したKURAMA-II測定システム⁷を使用し、あらかじめ作成した測定ルート情報をタブレットに表示させ、その測定ルートをなぞりながら実施した。測定ルートは、主に道路脇や歩道の上であり、そのほとんどは舗装されている。

走行サーベイと同様の理由により、測定実施期間中（約6ヶ月）の空間線量率測定値を減衰補正により一定の日付に揃えることはしていない。測定値の統計的なばらつきを低減させると同時に、空間線量率の2次元的な分布が詳細に把握できるように、対象とした測定箇所（歩行地域）は基準地域メッシュをベースとした20 mメッシュに分割し、そのメッシュ内に含まれる空間線量率の値を平均して20 mメッシュの代表値とした。

2.2.4 令和4年度との比較

測定結果の妥当性と令和4年度調査での測定結果からの変化傾向を確認するため、測定手法ごとに令和4年度と令和5年度の測定結果を比較した。比較に用いるデータは、基準地域メッシュごとに、メッシュ内に入る測定結果を平均した。また、定量的に傾向を把握するた

めに式 (1) のように相対変化率 RC を定義し、基準地域メッシュごとに計算した数値をヒストグラムにして平均値及び中央値を求めた。

$$RC = (D_1 - D_2) / D_2 \quad (1)$$

ここで、 D_1 及び D_2 はそれぞれ比較対象の測定時期での測定結果及び基準とする測定時期での測定結果である。例えば、令和 4 年度調査に対する令和 5 年度調査の相対変化率は、 $(D_{R5} - D_{R4}) / D_{R4}$ である（ここで、 D_{R4} 及び D_{R5} はそれぞれ令和 4 年度及び令和 5 年度調査での測定結果を示す。）。なお、双方とも天然放射性核種による空間線量率寄与を含んだ数値である。

2.2.5 測定手法間の比較

3 種類の測定手法は、それぞれ次のような特徴がある。走行サーベイは、車内に検出器を搭載して車道を走行しながら空間線量率を測定しているため、車道上の空間線量率変化の影響を受けやすい。定点サーベイは、アスファルト等で覆われていない平坦で開かれた場所を選定しており、人為的なかく乱の影響が少ない。歩行サーベイは、定点サーベイで選定された測定点周辺の車道や歩道で測定しており、走行サーベイと同様に車道上の空間線量率の影響を受けやすく、場所によっては定点サーベイに近い測定環境であるといえる。これらの測定手法の特徴の違いが測定結果に与える影響を評価するために相互比較を行った。相互比較の方法は基準地域メッシュごとに、メッシュ内に入るそれぞれの測定結果を散布図として比較した。また、定量的に傾向を把握するために式 (2) のように相対偏差 RD を定義し、メッシュごとに計算した数値をヒストグラムにして平均値、中央値を求めた。

$$RD = (D_a - D_b) / D_b \quad (2)$$

ここで、 D_a 、 D_b は走行、歩行、定点サーベイによる空間線量率である。 D_a 、 D_b の組み合わせは表 2-2 のとおりである。いずれも天然放射性核種による空間線量率寄与を含んだ数値である。

表 2-1 地上における空間線量率測定の実施期間及び測定エリア

測定	走行サーベイ			定点サーベイ	歩行サーベイ
	第 26 回	第 27 回		第 17 回	第 15 回
実施主体	原子力機構	原子力機構	自治体	原子力機構	原子力機構
測定期間	R5/6/20 ～7/10	R5/11/7 ～12/7	R5/10/23 ～11/29	R5/8/8 ～10/10	R5/5/15 ～11/24
測定エリア	主に 80 km 圏内*1	8 県*2	7 県*3	主に 80 km 圏内	主に 80 km 圏内
測定距離 又は 測定点数	7,578 km	14,029 km	13,450 km	5,030 点	566 箇所*4

*1 宮城県、福島県、茨城県

*2 岩手県、宮城県、福島県、茨城県、栃木県、群馬県、埼玉県、千葉県

*3 岩手県、福島県、茨城県、栃木県、群馬県、埼玉県、千葉県

*4 測定ルートが含まれる基準地域メッシュ (1 km×1 km) の数

表 2-2 測定手法間の比較の組み合わせ

No.	D_a	D_b
1)	走行サーベイ	定点サーベイ
2)	歩行サーベイ	定点サーベイ
3)	走行サーベイ	歩行サーベイ

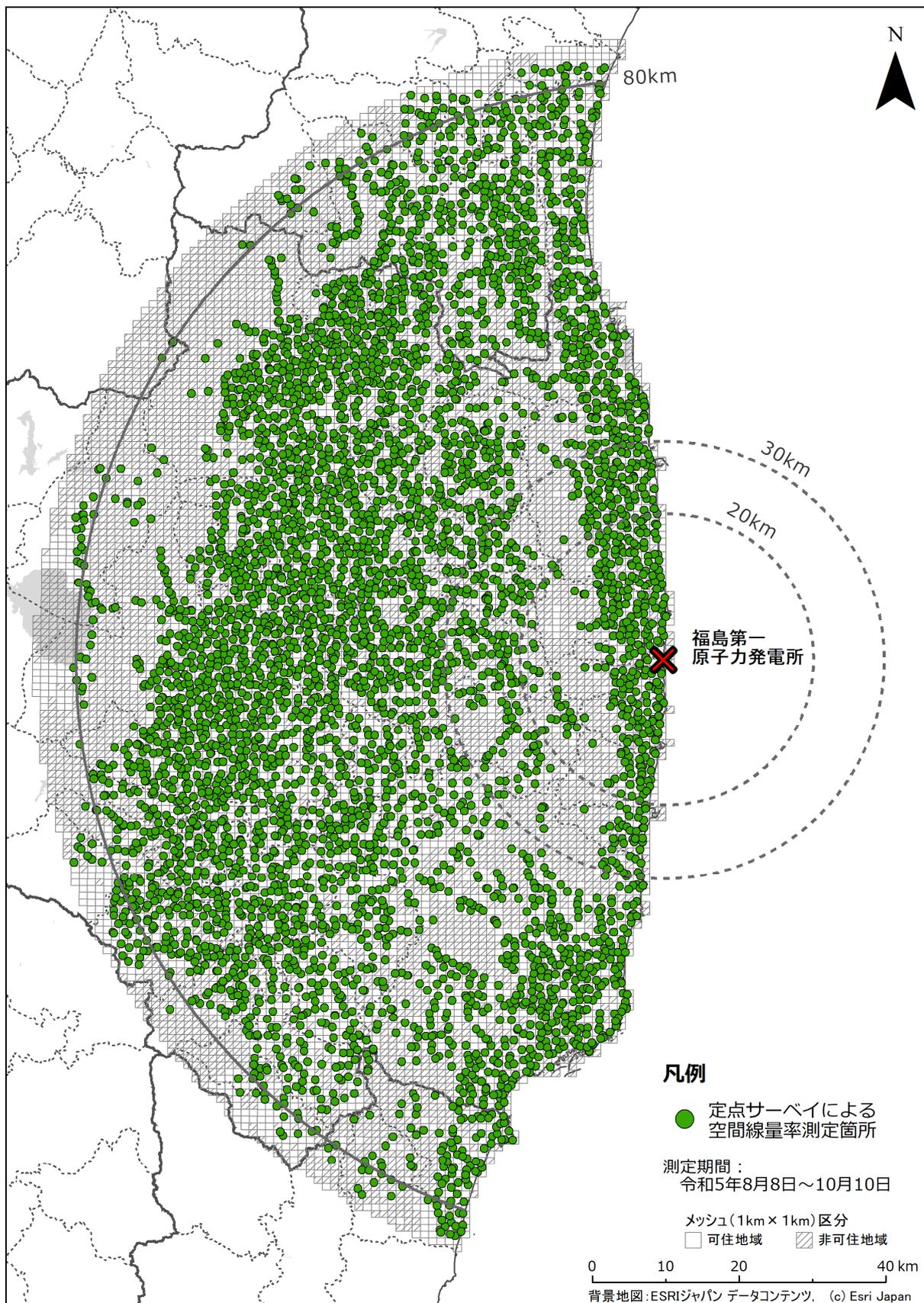


図 2-1 令和5年度調査における定点サーベイによる空間線量率の測定箇所

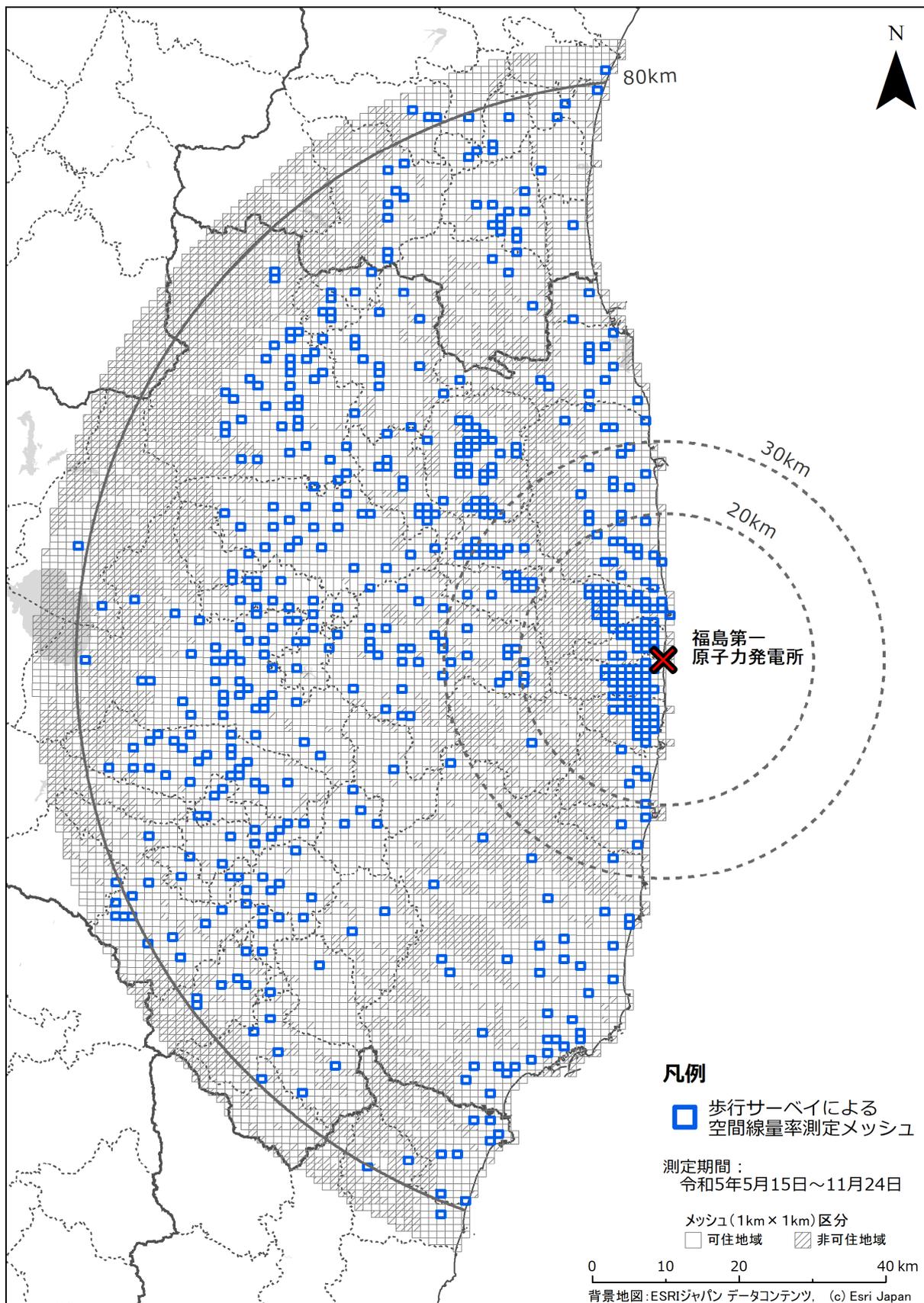


図 2-2 令和5年度調査における歩行サーベイによる空間線量率の測定箇所

2.3 空間線量率測定結果

2.3.1 空間線量率分布マップ

1) 走行サーベイ

令和5年度調査での2回の走行サーベイの結果に基づき作成した空間線量率分布マップをそれぞれ図2-3及び図2-4に示す。なお、空間線量率分布マップでは天然放射性核種による空間線量率寄与を含んでいる（以下、本章において同様）。福島県以外での約111,900メッシュ（2回の合計）のうち空間線量率が $0.2\ \mu\text{Sv/h}$ 以上であった100mメッシュは、栃木県及び茨城県の7メッシュのみであった。各年度の比較のため、平成23年度（第1次調査）（第1回走行サーベイ）から令和5年度2回目（第27回走行サーベイ）までの空間線量率測定結果（主に80km圏内について）を図2-5に示す。福島第一原発周辺及び北西方向にかけて比較的高い空間線量率を示す赤から黄色で示される箇所が減少してきていることが分かる。なお、空間線量率の経時変化傾向の定量的評価については第5章で述べる（定点サーベイ及び歩行サーベイも同様）。

2) 定点サーベイ

令和5年度調査での定点サーベイによる空間線量率の測定結果を図2-6に示す。また、平成23年度調査から令和5年度調査までの空間線量率測定結果を図2-7に示す。走行サーベイと同様、比較的高い空間線量率を示す赤から黄色で示される箇所が減少してきていることが分かる。

3) 歩行サーベイ

令和5年度調査での歩行サーベイの結果に基づき作成した空間線量率分布マップを図2-8に示す。また、平成25年度以降の歩行サーベイの空間線量率測定結果を図2-9に示す。比較的高い空間線量率を示す黄色で示される箇所が減少してきていることが分かる。なお、平成25年度の測定開始当初は帰還困難区域での測定がほとんどないため $9.5\ \mu\text{Sv/h}$ 以上となる橙色や赤色で示されるデータは少ない。

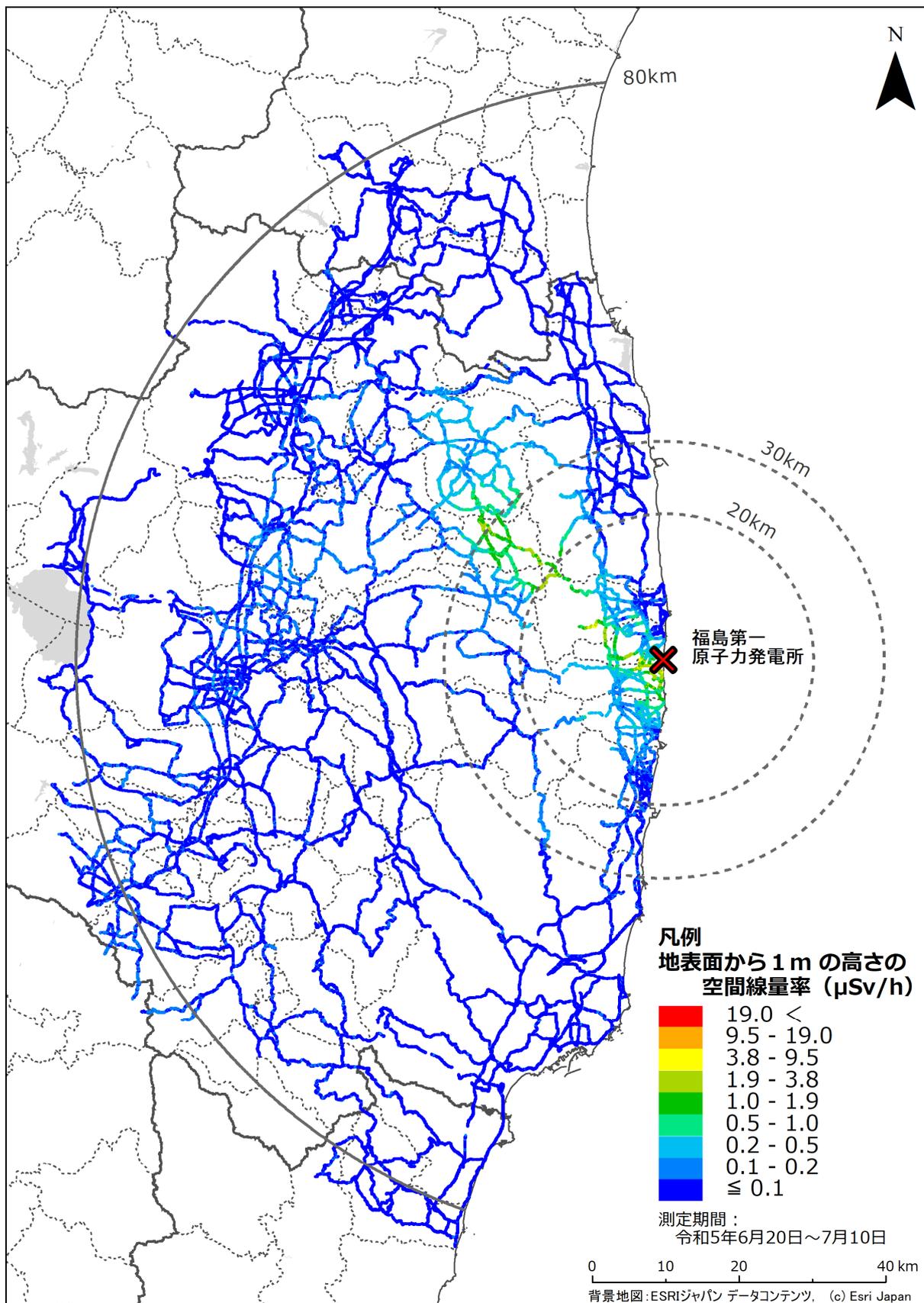


図 2-3 令和5年度1回目(第26回)走行サーベイによる空間線量率の測定結果
(天然放射性核種による空間線量率寄与を含んでいる。)

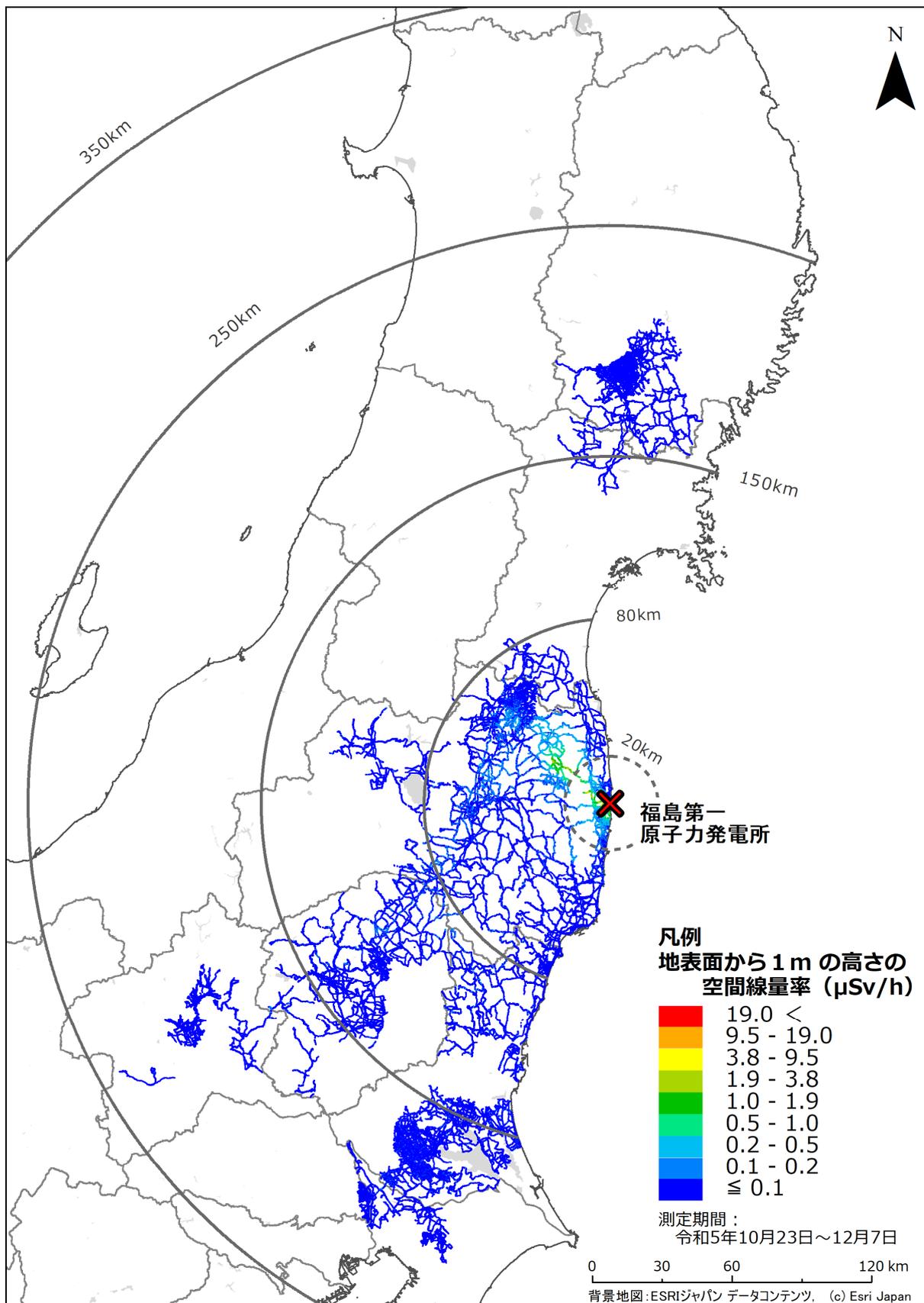


図 2-4 令和5年度2回目(第27回)走行サーベイによる空間線量率の測定結果
 (天然放射性核種による空間線量率寄与を含んでいる。)

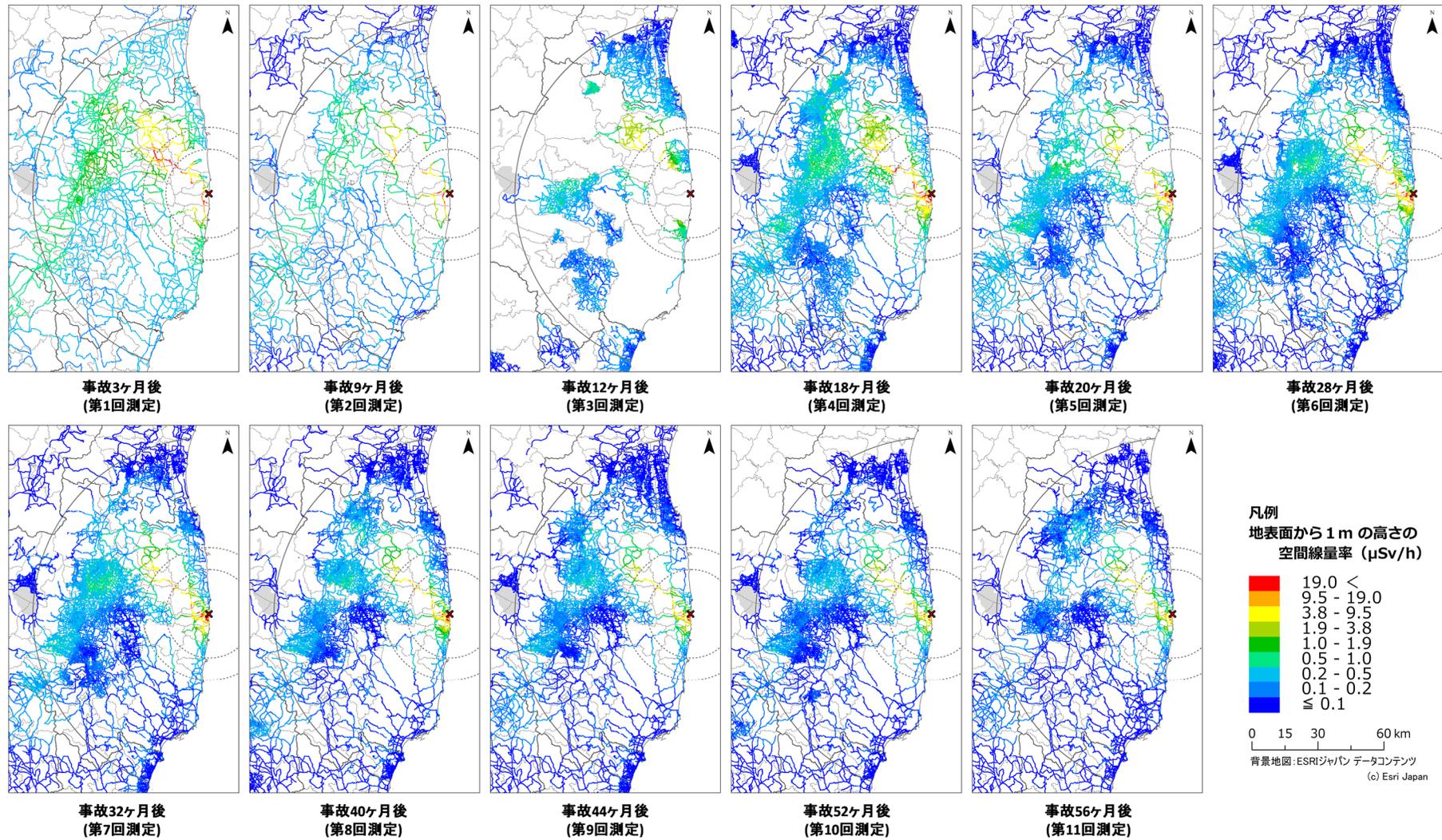


図 2-5 平成 23 年度から令和 5 年度までの走行サーベイによる 80 km 圏内を中心とした空間線量率マップの変化 (1/3)
 (天然放射性核種による空間線量率寄与を含んでいる。)

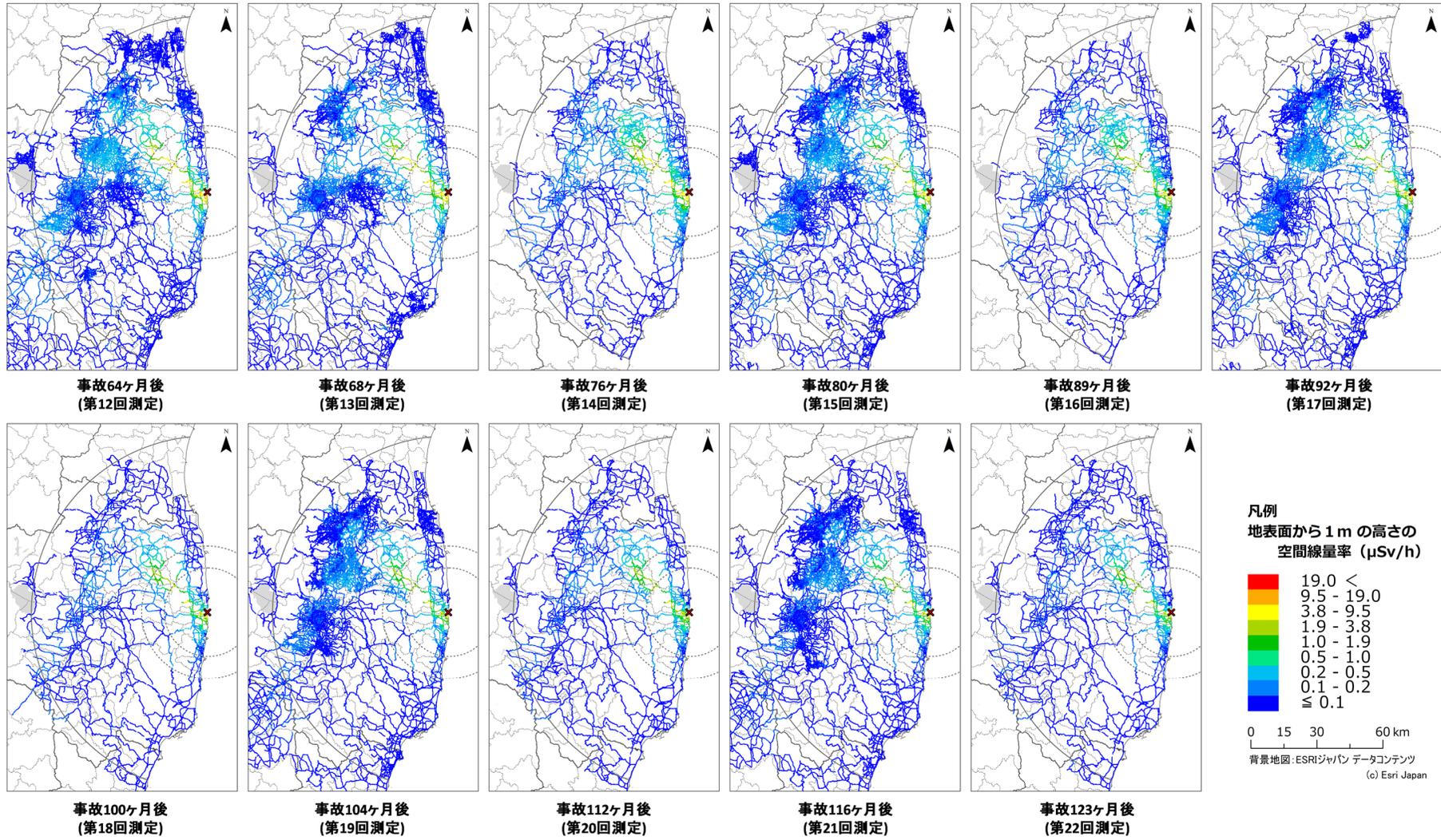


図 2-5 平成 23 年度から令和 5 年度までの走行サーベイによる 80 km 圏内を中心とした空間線量率マップの変化 (2/3)
 (天然放射性核種による空間線量率寄与を含んでいる。)

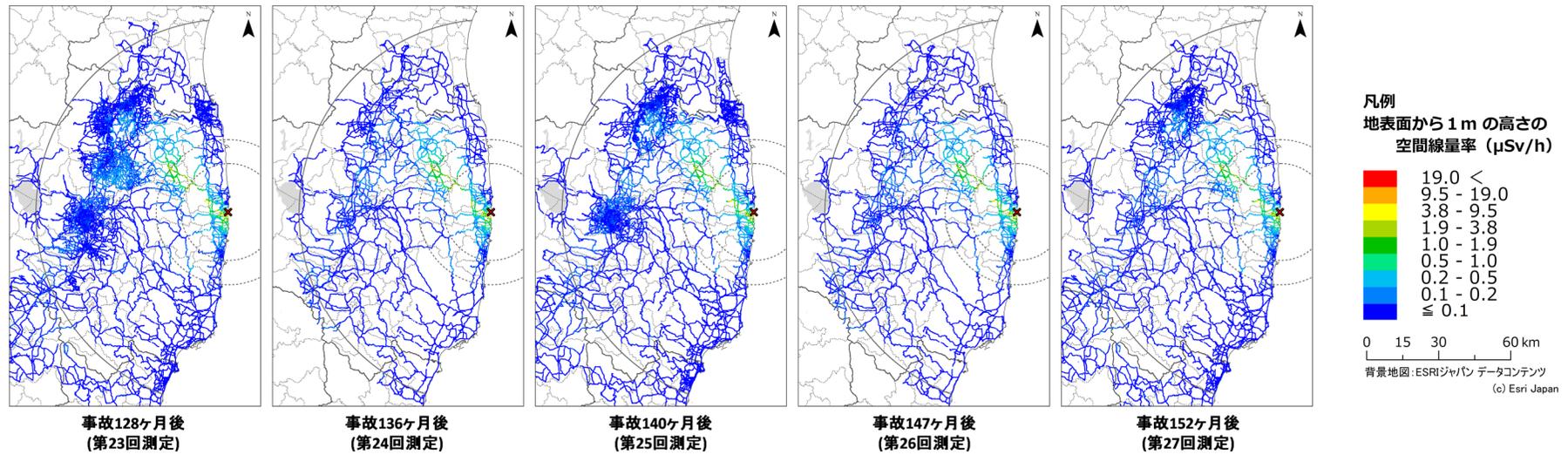


図 2-5 平成 23 年度から令和 5 年度までの走行サーベイによる 80 km 圏内を中心とした空間線量率マップの変化 (3/3)
 (天然放射性核種による空間線量率寄与を含んでいる。)

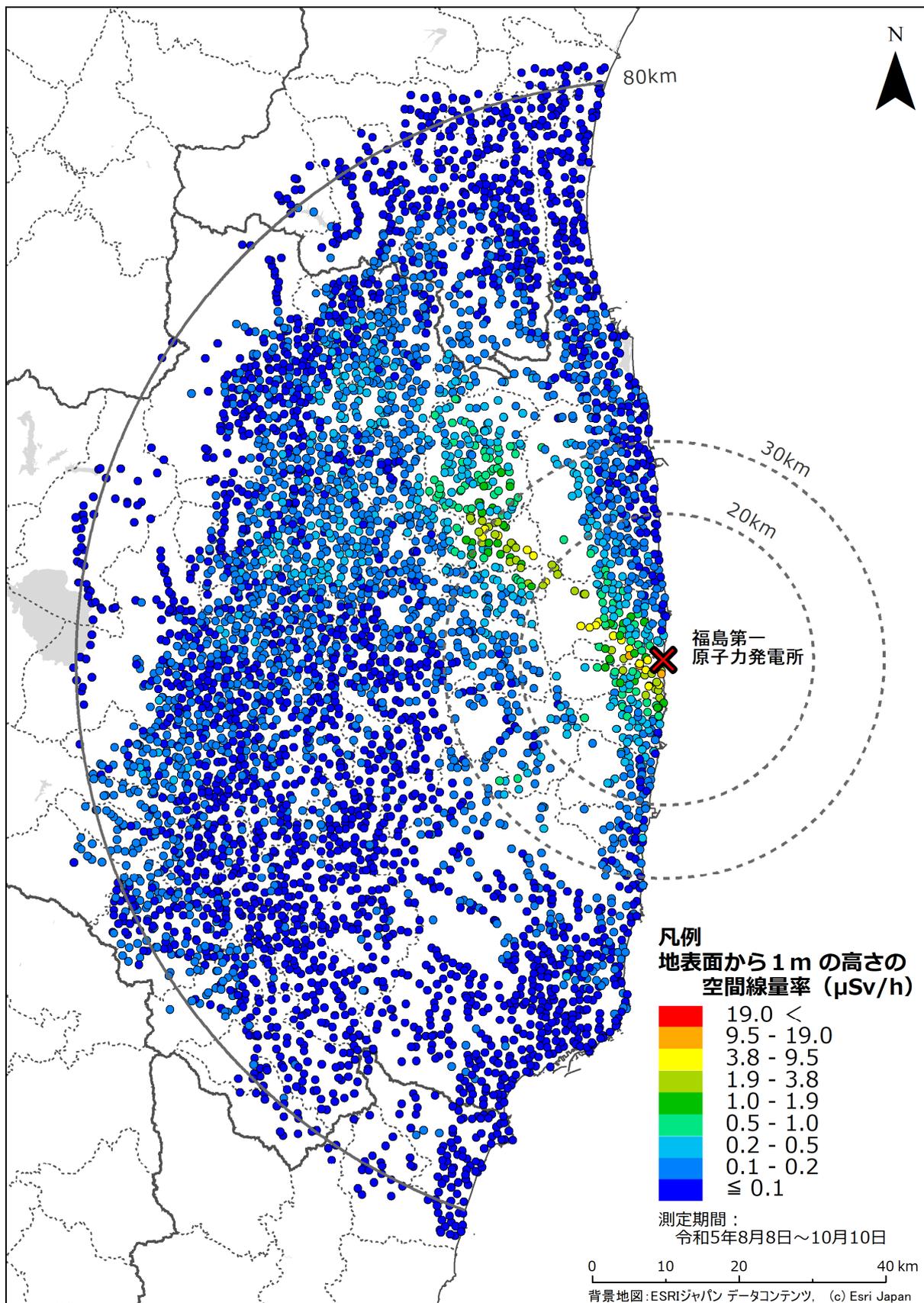


図 2-6 令和5年度調査における定点サーベイによる空間線量率の測定結果
 (天然放射性核種による空間線量率寄与を含んでいる。)

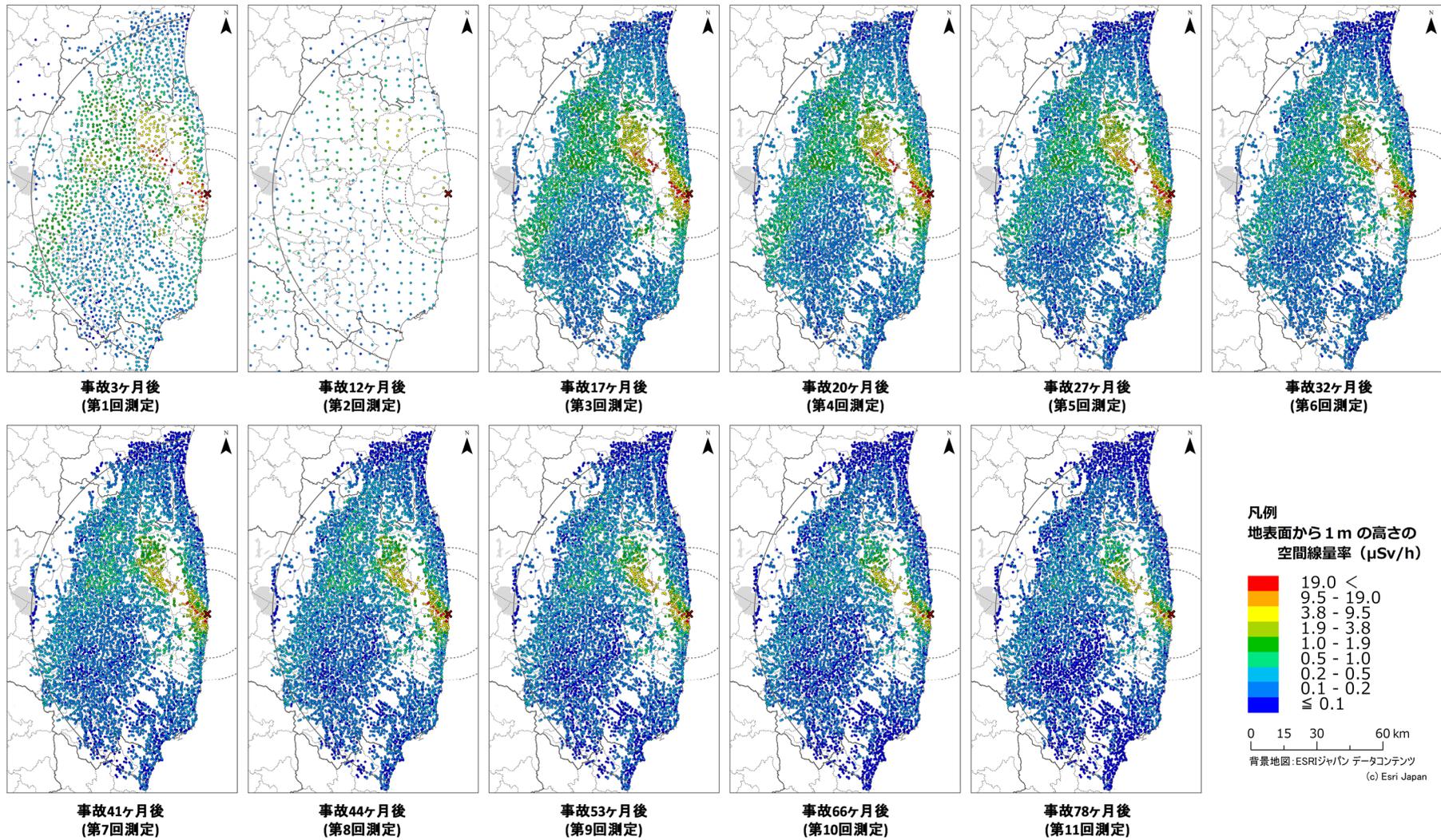
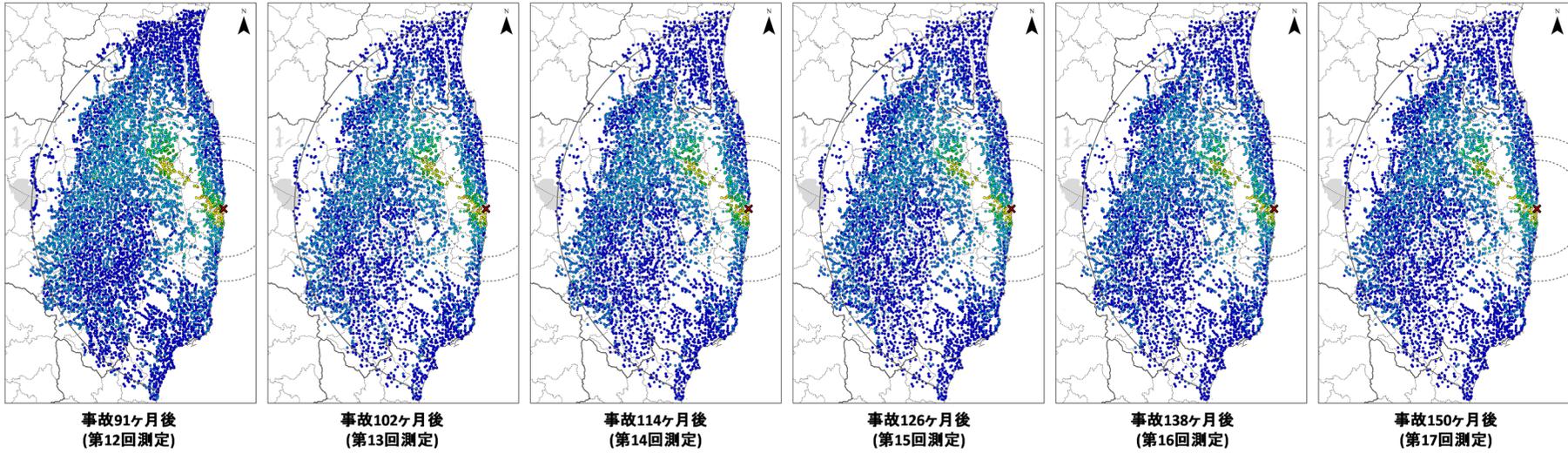
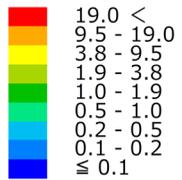


図 2-7 平成 23 年度から令和 5 年度までの定点サーベイによる空間線量率マップの変化 (1/2)
 (天然放射性核種による空間線量率寄与を含んでいる。)



凡例
 地表面から1mの高さの
 空間線量率 (μSv/h)



0 15 30 60 km

背景地図: ESRIジャパン データコンテンツ
 (c) Esri Japan

図 2-7 平成 23 年度から令和 5 年度までの定点サーベイによる空間線量率マップの変化 (2/2)
 (天然放射性核種による空間線量率寄与を含んでいる。)

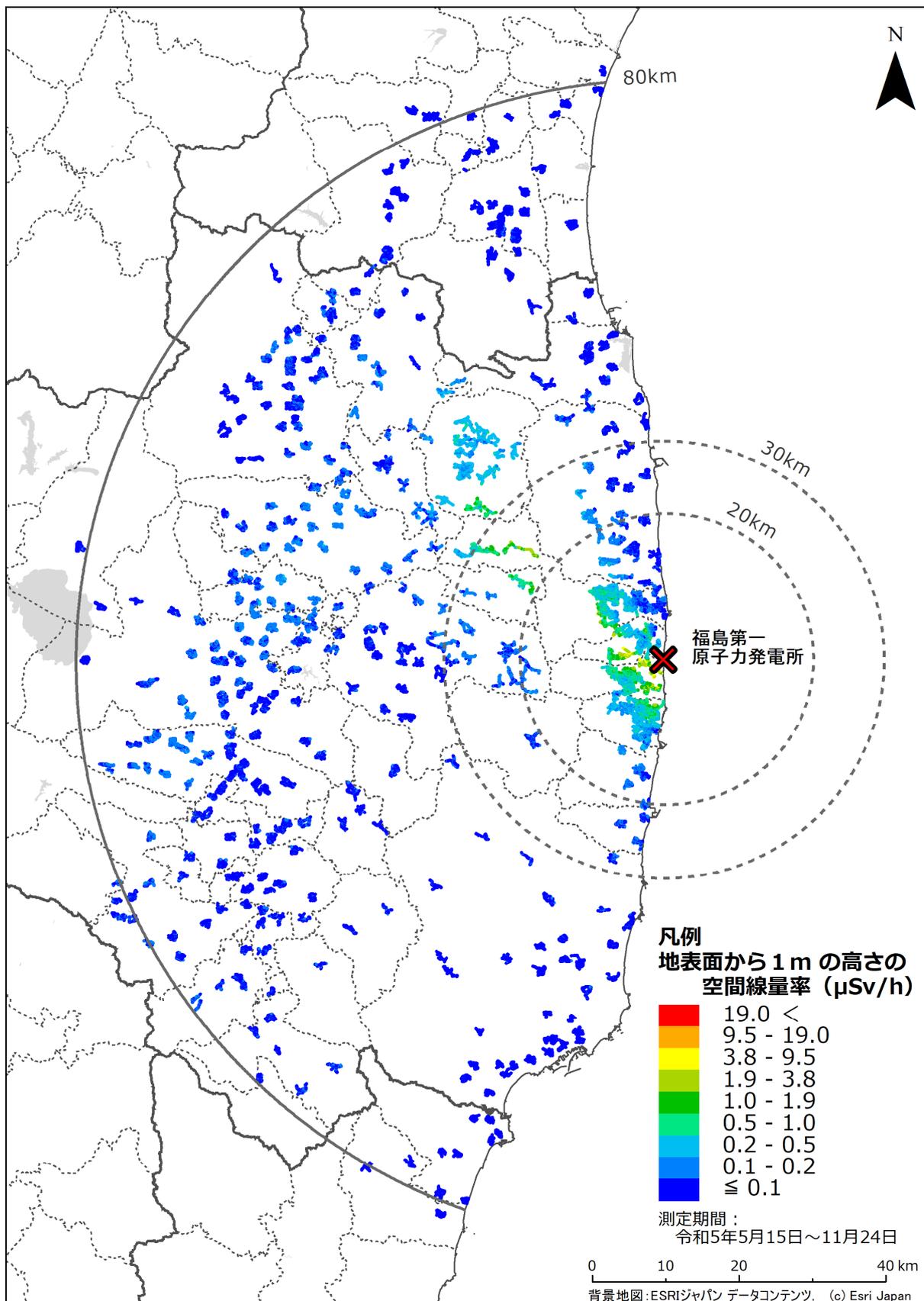


図 2-8 令和5年度調査における歩行サーベイによる空間線量率の測定結果
 (天然放射性核種による空間線量率寄与を含んでいる。)

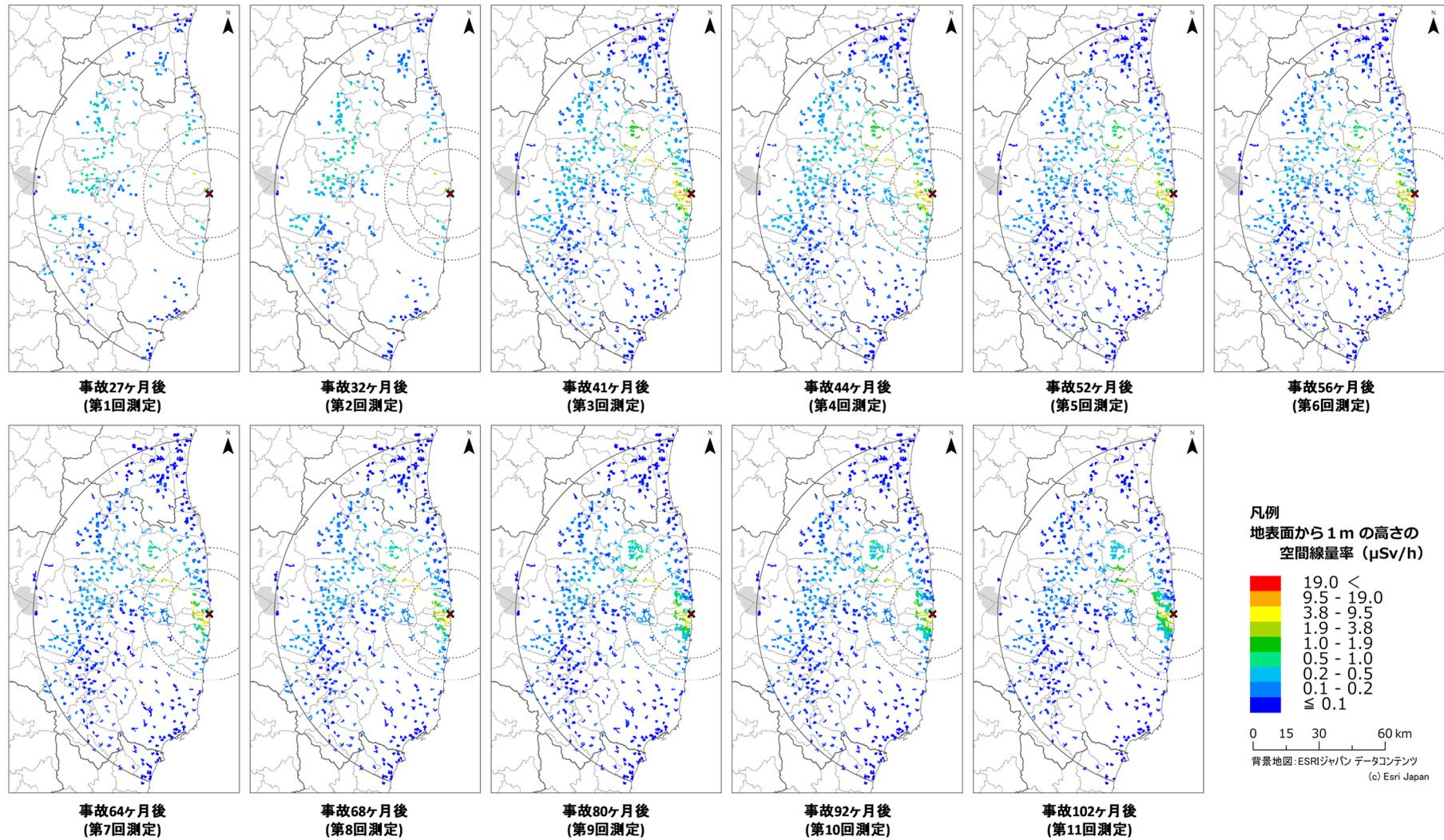


図 2-9 平成 25 年度から令和 5 年度までの歩行サーベイによる空間線量率マップの変化 (1/2)
 (天然放射性核種による空間線量率寄与を含んでいる。)

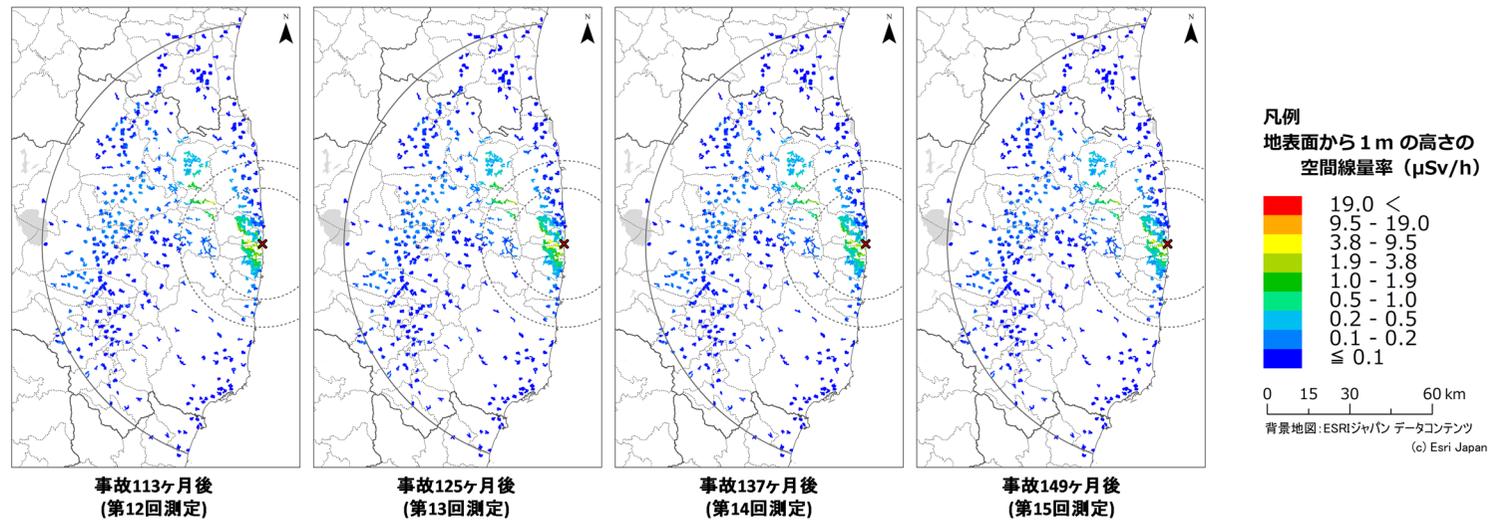


図 2-9 平成 25 年度から令和 5 年度までの歩行サーベイによる空間線量率マップの変化 (2/2)
 (天然放射性核種による空間線量率寄与を含んでいる。)

2.3.2 令和4年度との比較

走行サーベイ、定点サーベイ及び歩行サーベイの令和4年度調査での測定結果との比較について、散布図及び式(1)により計算した相対変化率 RC のヒストグラム及び積算割合を図2-10に示す。全測定手法について令和4年度調査と令和5年度調査の空間線量率測定結果は決定係数 $R^2=0.92-0.99$ と良い相関関係にあり、相対変化率 RC は正規分布に近い釣鐘型を示した。

各基準地域メッシュにおける相対変化率 RC の平均値を放射性セシウムの半減期から計算した空間線量率の変化率と比較した結果を表2-3に示す。空間線量率の半減期補正の計算式を式(3)に示す。

$$D_t = D_0 \frac{k \cdot \exp(-\lambda_{134} \cdot t) + \exp(-\lambda_{137} \cdot t)}{k + 1} \quad (3)$$

ここで、

D_t : 時間 t における空間線量率、 D_0 : 時間 $t=0$ での空間線量率、 λ_{134} : セシウム134の崩壊定数 (0.693/セシウム134の半減期)、 λ_{137} : セシウム137の崩壊定数 (0.693/セシウム137の半減期)、 t : 経過時間、 k : 初期のセシウム134及び137の線量率比 (=2.7) である。 $k=2.7$ については、文部科学省と日本分析センターが平成23年8月13日に実施した土壌試料と in-situ 測定の相互比較を行った際の数値0.917を半減期補正した平成23年3月15日時点におけるセシウム134/セシウム137放射能組成比 (1.04) 及び線量率-濃度換算係数 (セシウム134: 0.0444 ($\mu\text{Gy/h}$)/(kBq/m²), セシウム137: 0.0173 ($\mu\text{Gy/h}$)/(kBq/m²))⁸⁾を考慮して求めた。

表 2-3 令和4年度調査と比較した令和5年度調査の空間線量率測定結果の相対変化率

	走行サーベイ *	定点サーベイ	歩行サーベイ
令和4年度の測定期間	R4/6/22-R4/7/19	R4/8/23-R4/10/20	R4/5/11-R4/11/18
令和5年度の測定期間	R5/6/20-R5/7/10	R5/8/8-R5/10/10	R5/5/15-R5/11/24
放射性セシウムの半減期による変化率	-4.1%	-3.9%	-4.0%
測定結果による相対変化率の平均値	-0.05%	-4.2%	-3.9%

* 各年度1回目の測定

走行サーベイでは、令和4年度調査に対する令和5年度調査の相対変化率は、放射性セシウムの半減期から計算した空間線量率の変化率に比べて絶対値が小さくなり、定点サーベイ及び歩行サーベイでは両者はほぼ一致した。令和3年度から令和4年度までの空間線量率の変化率 (走行サーベイ 0.3%、定点サーベイ-0.6%、歩行サーベイ-1.6%)⁹⁾に対して令和4年度から令和5年度までは、定点サーベイ-4.2%、歩行サーベイ-3.9%と変化率 (絶対値) がやや大きく、走行サーベイについては-0.05%となり令和3年度から微減している。

過去数年の解析結果から、空間線量率が減少し全体的にバックグラウンドに近づくに従いわずかな線量率の変動で比率が大きく変わる。このため測定データのばらつき等により前年度からの変化率（減少率）は一定でなく、変化率（絶対値）が放射性セシウムの半減期から計算した空間線量率の変化率より小さかったり前年度から空間線量率が増加したりする場合もある。

2.3.3 平成 23 年度との比較

事故直後からデータが蓄積されている走行サーベイ及び定点サーベイについては、第 1 回測定（平成 23 年度調査）の測定結果からの相対変化率を式(1)により求めた。図 2-11 に平成 23 年度調査における測定結果と令和 5 年度調査における測定結果の散布図及び平成 23 年度調査に対する令和 5 年度調査の測定結果の相対変化率 RC （ヒストグラム及び積算割合）を示す。図 2-11 (a) に示した走行サーベイの全データを見ると線量率が低い場所の線量率の変化が線量率の高い場所に比べて小さくなっていることが分かる。これはバックグラウンドになる天然の放射線の寄与が相対的に大きくなるためである。80 km 圏内全体の傾向及び放射性セシウムによる空間線量率の変化傾向を確認するため、平成 23 年度調査での測定結果のうちバックグラウンドの影響が大きいと思われる $0.5 \mu\text{Sv/h}$ 未満を削除し、 $0.5 \mu\text{Sv/h}$ 以上であった測定データを用いた比較結果を図 2-11 (b) に示す。また、図 2-11 (c) には定点サーベイの結果の内、平成 23 年度調査での測定結果が $0.5 \mu\text{Sv/h}$ 以上であった測定データについての比較結果を示す。これらの散布図を見ると、走行サーベイと定点サーベイの結果は似た傾向を示しており、相対変化率の平均値はそれぞれ-90%及び-88%となった。この結果は放射性セシウムの半減期による空間線量率の変化と比較して減少が大きい傾向にあり、除染や車両往来等の人為的要因や風雨による放射性物質の除去（移動）に加え、地中への放射性物質の沈み込みによるためと考えられる。それぞれの相対変化率の平均値を表 2-4 にまとめる。

表 2-4 平成 23 年度調査と比較した令和 5 年度調査の空間線量率測定結果の相対変化率

	走行サーベイ (全地点)	走行サーベイ ($\geq 0.5 \mu\text{Sv/h}$) *2	定点サーベイ ($\geq 0.5 \mu\text{Sv/h}$) *2
平成 23 年度の測定期間	H23/6/4-H23/6/13		H23/6/4-H23/7/8
令和 5 年度の測定期間*1	R5/10/23-R5/12/7		R5/8/8-R5/10/10
放射性セシウムの 半減期による変化率	-77%		-77%
測定結果による 相対変化率の平均値	-84%	-90%	-88%

*1 走行サーベイは令和 5 年度 2 回目（通算第 27 回）

*2 平成 23 年度調査での空間線量率測定結果が $0.5 \mu\text{Sv/h}$ 以上の測定データのみで評価

2.3.4 測定手法間の比較

令和5年度調査での走行サーベイ、定点サーベイ及び歩行サーベイによる空間線量率の相互比較結果(2者間の相関及び式(2))により計算した相対偏差 RD について、図 2-12 に示す。相対偏差 RD の平均値をみると、走行サーベイは定点サーベイより 22% 小さい(図 2-12 (a))。これは、定点サーベイは測定場所として開けた平坦な土壌の上を選定しているのに対し、走行サーベイがアスファルトの道路上を測定していることに起因している。歩行サーベイと定点サーベイによる空間線量率の相対偏差は-6%程度であり(図 2-12 (b))、走行サーベイと定点サーベイの相違に比べて小さい。図 2-12 (c)を見ると走行サーベイは歩行サーベイより 15% 小さくなっており、両者の測定対象の違い(車道と歩道)によりセシウムの移動状況の違いが表れていると考えられる。

これらの経時変化を確認するため、過去のサーベイ結果について定点サーベイに対する走行サーベイ又は歩行サーベイの空間線量率の比率を比較した。比較結果を図 2-13 に示す。走行サーベイ/定点サーベイの結果は、事故から約3ヶ月後の平成23年度調査を除き平均値で-20%から-30%で推移している。定点サーベイに対する歩行サーベイの相対偏差の平均値は0% から-10%の間で推移しており、走行サーベイに比べて定点サーベイとの違いは小さいといえる。

以上より、走行サーベイ及び歩行サーベイでは、定点サーベイによる人為的影響の少ない環境に比べ、空間線量率の減少が速いことが分かる。これは、道路上での測定(走行及び歩行サーベイ)では土壌上での測定(定点サーベイ)に比べセシウムの洗い流し効果が大きいためであると考えられる。

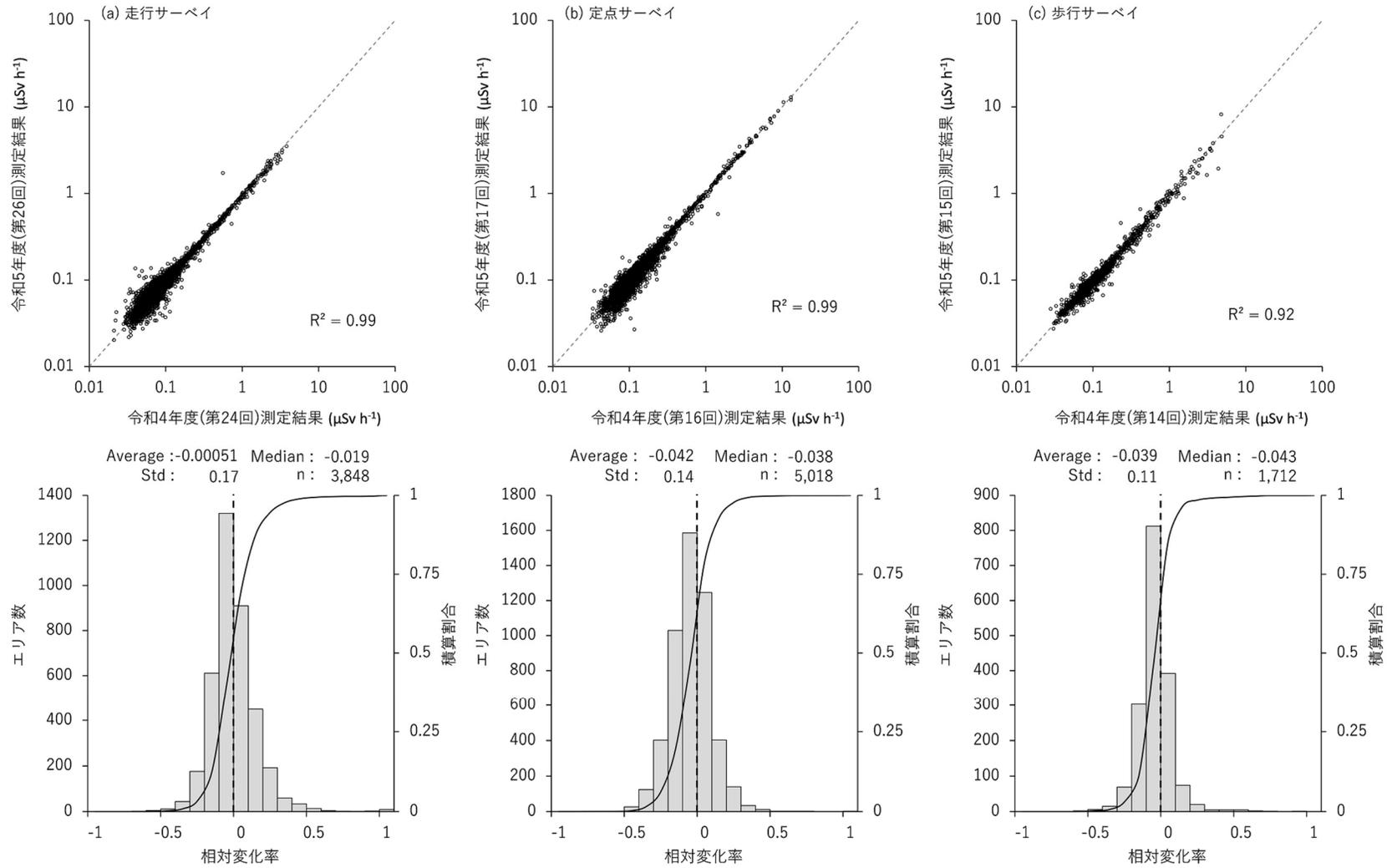


図 2-10 令和4年度調査と令和5年度調査の空間線量率測定結果の比較
(相関図の破線は $y=x$ 、 R^2 は決定係数、Std は標準偏差、n はデータ数を意味する。)

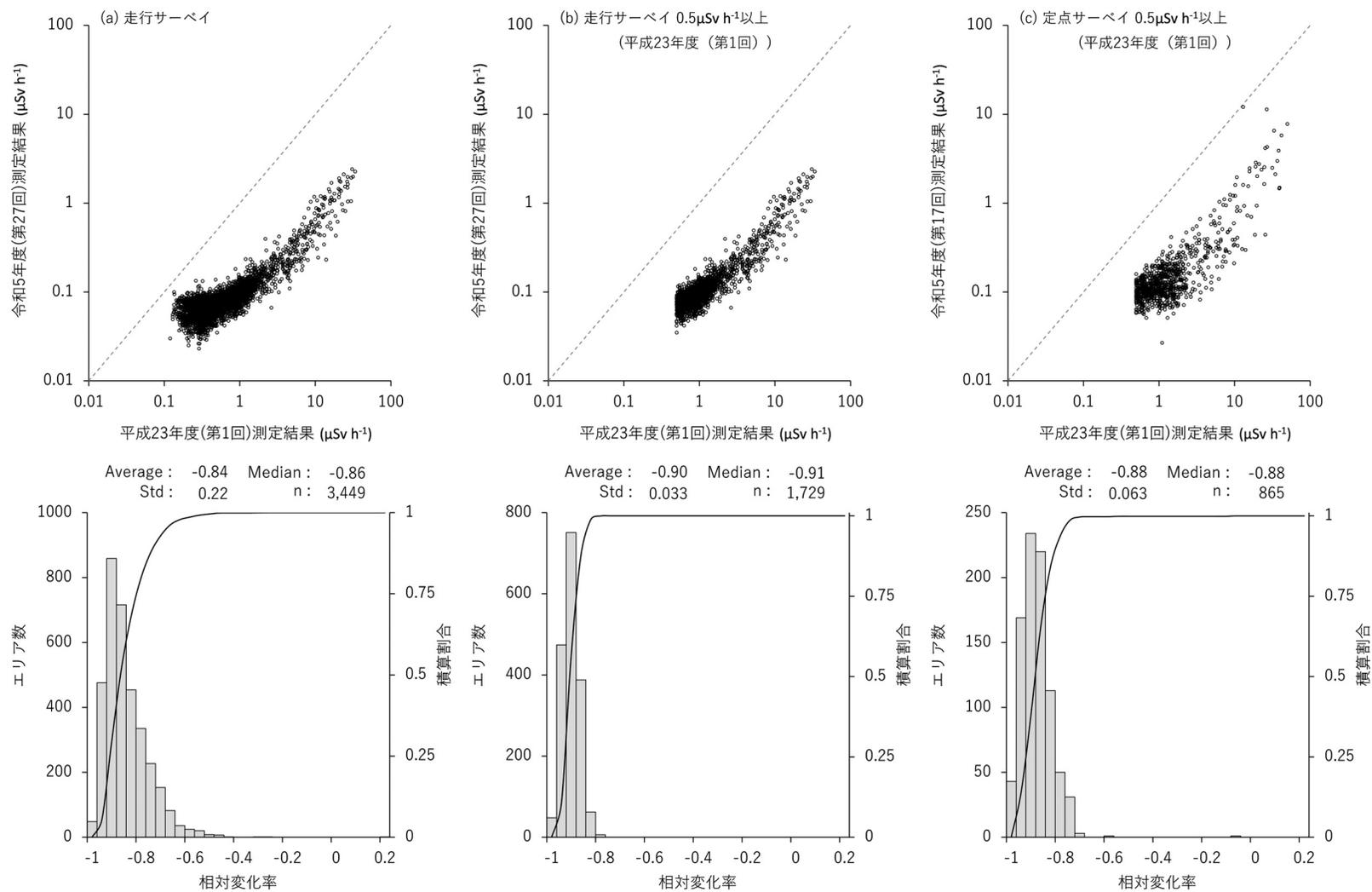


図 2-11 令和5年度調査での走行サーベイ及び定点サーベイによる空間線量率結果の平成23年度調査との比較
(相関図の破線は $y=x$ 、Std は標準偏差、n はデータ数を意味する。)

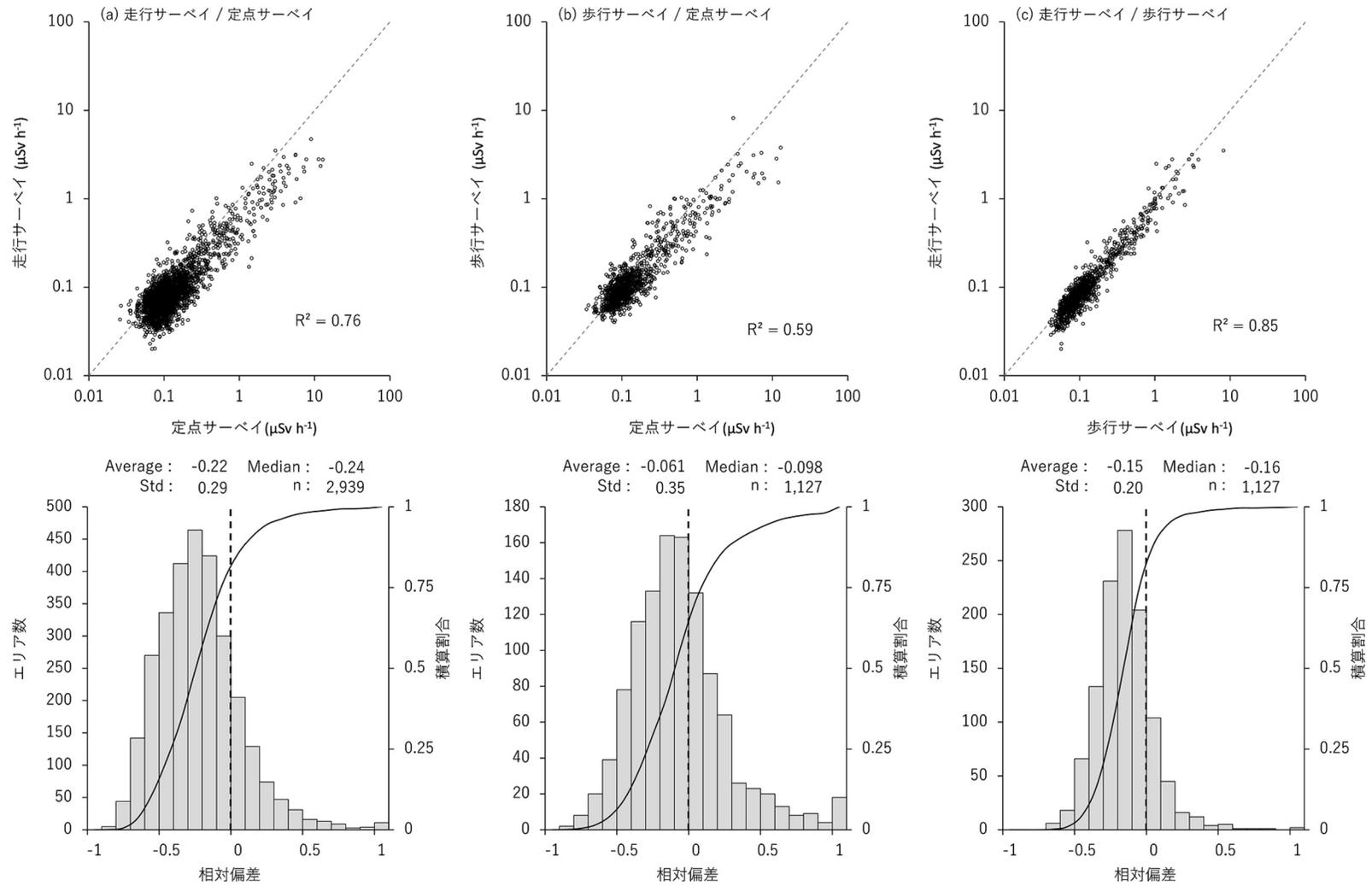


図 2-12 令和 5 年度調査での空間線量率測定手法間の比較
 (相関図の破線は $y=x$ 、 R^2 は決定係数、Std は標準偏差、n はデータ数を意味する。)

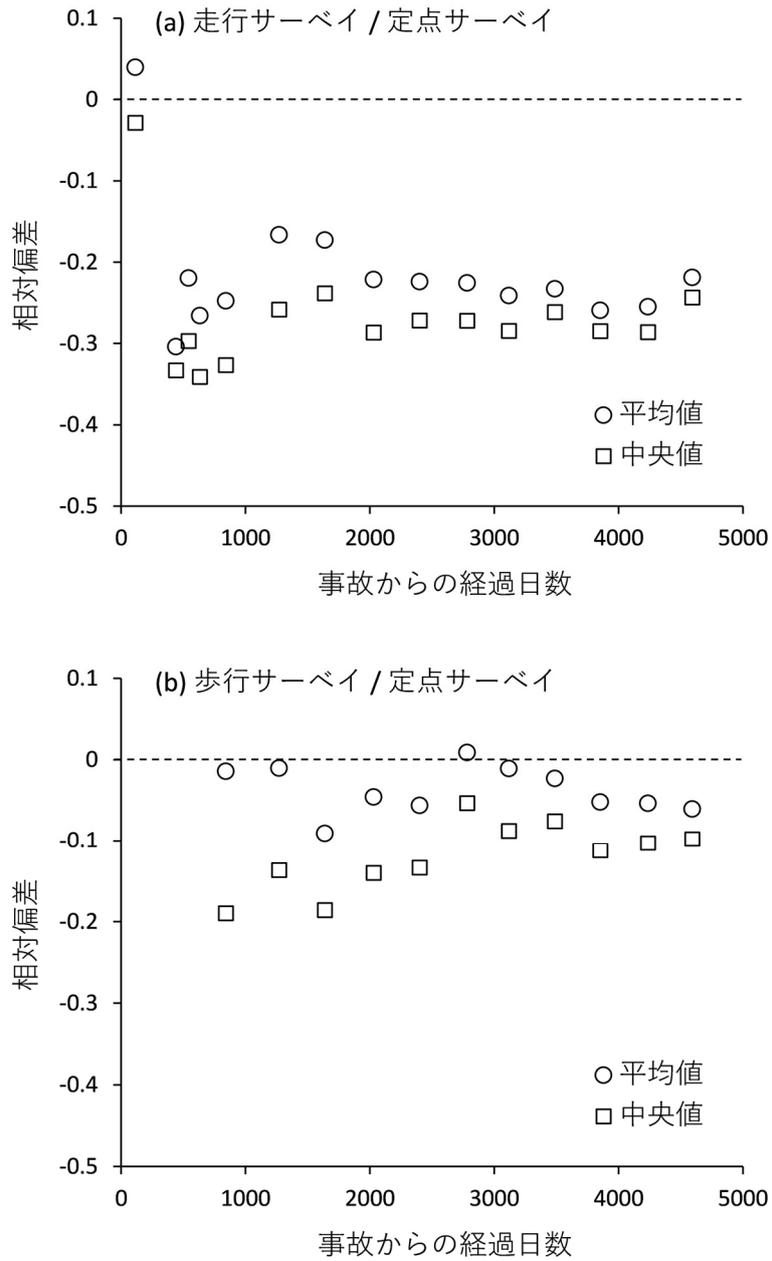


図 2-13 定点サーベイに対する走行サーベイ及び歩行サーベイの空間線量率の相対偏差

3. 無人ヘリによる発電所周辺の空間線量率測定

3.1 調査目的

事故後、福島第一原発から 3 km 圏内については、航空法による飛行制限区域（平成 25 年 2 月 5 日までは飛行禁止区域）となっており、有人ヘリコプターによるモニタリング（以下「航空機サーベイ」という。）は実施されていなかった。また、地上での測定結果も限られており、本地域の全体像の把握が必要であった。そこで、平成 24 年度より航空法による規制を受けない無人ヘリコプター（以下「無人ヘリ」という。）を用いて福島第一原発から 3 km 圏内の放射線量率分布の測定（以下「無人ヘリサーベイ」という。）を開始した¹⁰⁾。無人ヘリは、有人ヘリコプターと比較して低高度で飛行が可能でありヘリコプターの軌跡幅（測線間隔）も細かく設定できるため、位置分解能の高い空間線量率分布の測定が可能である。具体的には、航空機サーベイでは 250 m メッシュの分解能に対し、無人ヘリでは 5 m メッシュの分解能で空間線量率分布の評価が可能である。平成 25 年度からは、航空機サーベイとの比較も考慮し、航空機サーベイと 2 km 程度オーバーラップさせ約 5 km 圏内を測定対象とすることにした。これまでの分布状況調査での無人ヘリサーベイには、福島第一原発周辺のモニタリング¹¹⁾、河川敷のモニタリング¹²⁾及び除染前後のモニタリング¹³⁾などがある。

無人ヘリサーベイの対象地域は、事故直後には空間線量率が高く帰還困難区域に設定されたことから、事故後数年における放射性物質の移動への人為的な影響が小さい。一方、近年除染によって生じた廃棄物の中間貯蔵施設の建設、高速道路・鉄道の整備及び特定復興再生拠点区域に認定され 5 年後（令和 4 年から）の避難指示解除をめざして除染が加速されるなど、環境が変化している。本地域での面的及び継続的なデータの取得により、放射性物質の環境動態や人為的活動の影響について知見を得ることが可能と考えられる。

ここでは、令和 5 年度調査において 1 回実施した無人ヘリサーベイによる福島第一原発から概ね 5 km の範囲の空間線量率の測定結果と、過去データとの比較についてまとめる。また、無人ヘリサーベイの測定結果から天然放射性核種による空間線量率や放射性セシウム沈着量を評価した。

3.2 調査手法

3.2.1 調査場所・期間

調査場所は、福島第一原発周辺（5 km 圏内）を設定した。

調査期間：令和 5 年 6 月 20 日～10 月 22 日

フライト範囲：70.2 km²

合計測定距離：840 km

3.2.2 調査機器

測定にあたっては、ヤマハ発動機株式会社製の自律飛行型無人ヘリ FAZER-R G2 を使用し、地上からの直達ガンマ線及び空気による散乱線を合わせた全計数率とガンマ線エネルギースペクトルを 1 秒間に 1 回連続測定した。また、放射線検出器は LaBr₃(Ce)シンチレーシ

オン検出器（1.5” Φ ×1.5”×3本）を用いた。無人ヘリサーベイに用いた機材等の仕様を図 3-1 に示す。なお、検出器の特性確認として、試験用標準線源（日本アイソトープ協会 0268）を用いて、正味の計数率とエネルギー分解能を前年度の結果と比較評価するとともに、毎作業ごとに解析システムにより取得したスペクトルを確認し、エネルギーピークの位置に変動がないことをチェックした。

3.2.3 データ取得方法

無人ヘリの飛行高度は、安全面及び測定データの信頼性を考慮し、対地高度で 80 m を目安とした。上空で測定される放射線は、無人ヘリ下部の直径約 200 m 程度の円内のガンマ線量を平均化したものである¹⁴⁾。無人ヘリの飛行軌跡幅（測線間隔）は 80～100 m、無人ヘリの飛行速度は 8 m/s（=28.8 km/h）程度とした。取得データは、放射線検出器で測定される 1 秒ごとのガンマ線のデータ（計数率）とエネルギースペクトル及びそれに対応する差分全地球測位システム DGPS（Differential Global Positioning System）による位置情報である。データ取得のためのフライト条件は測定結果の比較を容易にするため、第 3 回以降は全く同じとしている。フライトの飛行軌跡を図 3-2 に示す。

3.2.4 無人ヘリ測定データの空間線量率への換算

上空で測定されたガンマ線計数率を空間線量率の値に換算するための係数を取得するために、測定地域内において比較的空間線量率が一定で平坦な場所に直径 200 m の円形のテストサイトを設定した。テストサイト上空において、対地高度 20 m、30 m、40 m、60 m、80 m、100 m、120 m、150 m でそれぞれ 120 秒以上ホバリングを実施した。各対地高度でホバリングした際の対地高度の平均値とガンマ線計数率の平均値をプロットし、それらプロットに対する指数近似曲線の傾きから空気減弱係数 AF （Attenuation Factor、単位： m^{-1} ）を算出し、指数近似曲線から高度 1 m の計数率を推定した。テストサイト内で、あらかじめ KURAMA-II を用いて地表面から 1 m 高さの空間線量率データを取得した。ホバリング地点の中心座標から半径 80 m のバッファの範囲内の空間線量率の平均値を評価した。高度 1 m の推定計数率を空間線量率の平均値で除すことで空間線量率換算係数 CD （cps/（ μ Sv/h））を算出した。平成 30 年度から令和 5 年度の分布状況調査にて取得したテストサイトにおけるキャリブレーション結果を表 3-1 に示す。テストサイトは平たんで線量率が一定であることが望ましいが、近年では除染等の人為的影響が広がっており、テストサイトとしてふさわしい場所がほぼなくなっている。そこで、実際に使用した検出器の AF と CD については、令和元年度より過去にキャリブレーションで値付けした同じ数値を使用している（ AF ： $0.0080 m^{-1}$ 、 CD ： $4,382 cps/(\mu Sv/h)$ ）。すなわち近年のテストサイトでのデータ取得は、キャリブレーションではなく過去の値付けした数値の確認を目的としている。なお、検出器の劣化によるレスポンス変動については、点線源を用いた校正試験で確認し、令和 4 年度との変化が $\pm 10\%$ 以内であることを確認している。

実際のフライトで取得されたガンマ線計数率に対して対地高度と基準高度のずれを高度補正係数 HF により補正し、空間線量率換算係数 CD で除することにより地上 1 m 高さでの空

間線量率 D ($\mu\text{Sv/h}$) に換算した (式(4)参照)。

$$D = \frac{C_{\text{net}} \times HF}{CD} \quad (4)$$

ここで、 C_{net} (cps)は検出器結晶内に含まれる天然の放射性核種等の固有のバックグラウンド計数を差し引いた正味の計数率である。なお、空間線量率の値は、放射性セシウムの物理的減衰を考慮し、各測定期間の最終日に換算した。

表 3-1 テストサイトにおける換算パラメータ取得条件

ID	テストサイト場所		実施日	ホバリングの 対地高度(m)	基準高度計数率 (cps at 80m)	地上値 ($\mu\text{Sv/h}$)	AF (m^{-1})	CD ($\mu\text{Sv/h/cps}$)	
	緯度	経度							
29	37.41075887	140.9787564	H30.8.23	82	13144	6.48	-0.00841	4048	
30	37.455253	140.99945	H30.8.26	79	1378	0.55	-0.00558	3876	
31	37.381546	140.716103	H30.11.26	78	777	0.33	-0.00759	3534	
33	37.36137103	141.0078806	R2.6.17	80	3160	1.34	-0.00646	3925	
34	37.38711193	141.0063403	R2.6.29	77	9614	4.22	-0.00830	4313	
35	37.38602783	140.9947421	R2.7.27	80	3542	1.56	-0.00779	4230	
36	37.4099319	140.9729545	R2.8.24	80	8336	3.52	-0.00768	4357	
38	37.3871103	141.0063297	R2.8.28	76	10390	4.41	-0.00808	4392	
40	37.38601914	140.994735	R2.9.10	79	3706	1.62	-0.00769	4225	
41	37.40992418	140.9729688	R2.9.18	81	7867	3.14	-0.00761	4622	
44	37.38711292	141.0063357	R3.6.14	75	9700	4.68	-0.00801	3796	
45	37.38601934	140.9947369	R3.6.21	76	3482	1.71	-0.00769	3696	
50	37.38601934	140.9947369	R3.9.21	76	3303	1.46	-0.00771	4063	
51	37.38711292	141.0063357	R3.9.21	77	8774	4.03	-0.00828	4141	
52	37.36136369	141.0078691	R3.9.29	82	2009	0.58	-0.00528	5322	
53	37.387108	141.006331	R4.5.30	73	8435	4.26	-0.00859	3700	
56	37.41126229	140.9581993	R4.6.29	81	4852	2.40	-0.00849	3997	
57	37.40474969	140.9911988	R4.8.1	76	1798	0.54	-0.00443	4621	
58	37.387108	141.006331	R4.8.2	79	8258	4.12	-0.00842	3896	
60	37.41126229	140.9581993	R4.8.25	81	4684	2.38	-0.00864	3979	
62	37.40473653	140.9912108	R4.9.12	78	1734	0.66	-0.00470	3714	
63	37.4047474	140.9912017	R5.6.20	75	1582	0.62	-0.00504	3673	
64	37.41124397	140.9581953	R5.6.26	79	4363	2.17	-0.00876	4039	
65	37.3860121	140.9947628	R5.7.3	73	2172	0.94	-0.00596	3582	
66	37.40473865	140.9912113	R5.7.18	76	1665	0.61	-0.00486	3870	
67	37.38601607	140.9947511	R5.7.31	73	2170	0.94	-0.00575	3481	
68	37.4047407	140.9912052	R5.8.3	77	1692	0.61	-0.00492	3983	
69	37.41126096	140.9582105	R5.8.7	79	4657	2.34	-0.00852	3943	
70	37.38601931	140.9947529	R5.8.22	73	2061	0.93	-0.00597	3421	
71	37.41124996	140.958207	R5.9.19	76	4421	2.19	-0.00875	3954	
72	37.40474611	140.9912133	R5.9.29	78	1550	0.53	-0.00491	4212	
							平均値	-0.00706	4020
							採用値	-0.00706	4020

3.2.5 空間線量率マップの作成

上空で取得した無人ヘリサーベイによる測定値は前述のように地上高さ 1 m の空間線量率の値に換算し、リンクする位置情報とともに GIS ソフトウェアを用いて、内挿法(クリギング法)を用いて 5 m メッシュの分解能で内挿補間した。内挿補間後に作成された 5 m メッ

シュのコンター図は空間線量率のレンジで色分けしカラーコンター図としてマップ化した。
 また、過去のデータとの比較に用いるデータについては、無人ヘリの測定範囲（線源視野範囲）を考慮し、5 m メッシュのデータを基に 100 m メッシュごとに平均した。

ヤマハ発動機（株）自立飛行型無人ヘリコプターFAZER-R G2	
・最大離陸重量	: 110 kg*
・全長・全幅・全高	: 3,665 mm・770 mm・1,078 mm*
・飛行時間	: 100分*
・最大搭載可能測定器重量	: 28 kg*
・最高速度	: 72 km/h*
・搭載機器	: 全方位カメラ、GPSセンサー
・線量計からのデータを無線で基地局に送信できること	
	*: 国土交通省機体登録届出値

無人ヘリコプター



無人ヘリ搭載用放射線検出器の概要	
・検出部	: LaBr3(Ce)検出器
・検出部サイズ	: 38mmΦ x 38mmH x 3本
・検出範囲	: BG ~0.1 mSv/h
・検出エネルギー	: 60keV以上
・データ収集周期	: 1回/秒
・測定器重量	: 約8.0kg (筐体含む)

無人ヘリの操縦（基地局）



図 3-1 無人ヘリサーベイの機材の仕様等

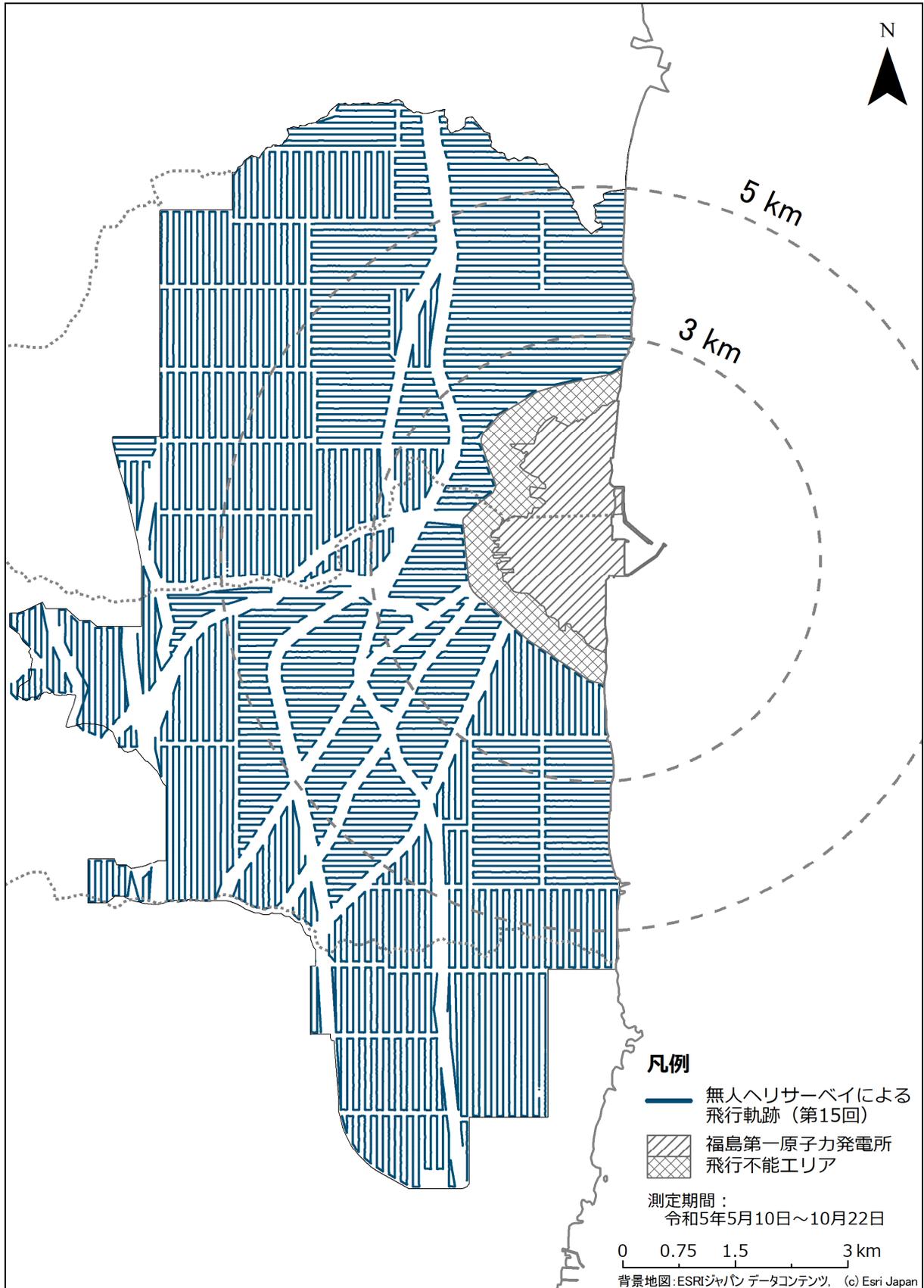


図 3-2 令和5年度調査での無人ヘリサーベイの飛行軌跡

3.3 調査結果

3.3.1 空間線量率マップ

令和 5 年度調査において実施した無人ヘリサーベイによる空間線量率マップを図 3-3 に示す。また、第 1 回から令和 5 年度までの主に 5 km 圏内の空間線量率マップを図 3-4 に示す。図 3-4 から空間線量率の高い暖色系のエリアが小さくなってきていることが分かる。空間線量率の経時変化傾向の定量的評価については第 5 章で述べる。

3.3.2 測定結果の妥当性の検証

結果の妥当性を検証するために、測定地点直下の地上で測定した結果（第 2 章の定点サーベイによる測定結果）と比較した。無人ヘリサーベイの測定結果から評価した 100 m メッシュデータと同地点における地上での測定結果を比較した散布図及び 2 測定間の相対偏差（式 (2) において、無人ヘリサーベイの測定結果を D_a 、同地点における定点サーベイによる測定結果を D_b とした。）を図 3-5 に示す。なお、いずれも天然放射性核種による空間線量率寄与を含んだ数値である。散布図を見ると良い相関関係（決定係数 $R^2=0.86$ ）を示しており、令和 5 年度調査での結果は概ね地上の測定結果を再現できていたと考えられる。なお、図 3-5 上図では $1 \mu\text{Sv/h}$ 以下の低線量域において無人ヘリサーベイによる測定値が過大評価となり、図 3-5 下図では相対偏差が 1 以上となる頻度がやや大きくなる傾向が近年見られる。令和 5 年度調査ではその割合が 6 割程度となった。この原因として、無人ヘリサーベイは広い範囲の平均的な線量を測定するのに対し、地上での測定が、除染等の理由で周辺の空間線量率と比較して局所的に低い測定ポイントで実施されることが多くなったことが考えられる。

3.3.3 令和 4 年度との比較

測定区域を 100 m メッシュに分割し、メッシュごとに令和 4 年度調査と令和 5 年度調査での無人ヘリサーベイによる空間線量率測定結果を比較した。散布図及び式(1)で定義した相対変化率を図 3-6 に示す。散布図は良い相関関係（決定係数 $R^2=1.0$ ）を示している。また、令和 5 年度調査では令和 4 年度調査から約 11%減少（変化率の平均値で）したことが分かる。

図 3-7 に令和 4 年度調査の空間線量率測定結果に対する令和 5 年度調査の空間線量率の測定結果の比（相対変化率）をマップにして示す。福島第一原発周辺の地域を中心に顕著に空間線量率の減少が確認できる場所があることが分かった。この要因を調査した結果を図 3-8 に示す。ほとんどの地域は、現在、建設中である中間貯蔵施設のエリア又は特定復興再生拠点区域復興再生計画のエリアと一致しており、施設建設における造成作業や除染による影響が表れているものと考えられる。

3.3.4 天然放射性核種による空間線量率マップ

無人ヘリサーベイではガンマ線スペクトルを測定できるため、平成 25 年度に確立したガンマ線スペクトル情報から放射性核種ごとに評価する手法¹⁵⁾を用いて天然放射性核種による空間線量率の評価が可能である。天然放射性核種のみで構成されるガンマ線スペクトルで

は、1,400 keV～2,800 keV の計数率と全計数率の比 (*BG-index*) が一定であることを利用して天然放射性核種による空間線量率を評価する。図 3-9 に天然放射性核種による空気カーマ率の分布を示す。図に示されているように、天然放射性核種による空気カーマ率は、0.03～0.06 $\mu\text{Gy/h}$ 程度である。また、本結果は過去の結果¹⁶⁾と整合している。

3.3.5 福島第一原発から約 5 km 圏内の放射性セシウム沈着量評価

無人ヘリによる上空からの放射線測定結果を基に福島第一原発周辺（半径 5 km 程度）の放射性セシウム沈着量を求めた。沈着量評価には、平成 25 年度に確立したガンマ線スペクトル情報から放射性核種ごとに評価する手法¹⁵⁾を用いている。

本方法は天然核種のみを含む地域を測定して得られるガンマ線スペクトルにおいて、放射性セシウムが放出するガンマ線を含まない 1,400 keV～2,800 keV の計数率と *BG-index* が一定であることに着目するものである。機体と検出器の組み合わせごとに、あらかじめ放射性セシウムによる汚染がない地域をフライトして得られたデータを基に *BG-index* を設定し、実際のフライトデータの 1,400 keV～2,800 keV の計数率を基に全体の計数率から減算する。

これらのパラメータを用いた放射性セシウムの沈着量の算出手順を以下に示す。また、計算式を式(5)に示す。

- ① 測定で得られたガンマ線スペクトルから 1,400 keV～2,800 keV の計数率 (C_{BG}) を計算する。
- ② C_{BG} に *BG-index* を乗じて天然核種起源の全計数率 (BG_{nat}) を算出する。
- ③ C_{net} から BG_{nat} を差し引き、放射性セシウムのみの計数率 (C_{Cs}) を求める。
- ④ C_{Cs} に *HF* を乗じ、*CD* で除することで放射性セシウムのみの空間線量率 (D_{Cs}) を算出する。
- ⑤ 式(5)より、空間線量率 D_{Cs} を空間線量率－放射能換算係数 ($CF[\mu\text{Sv/h}]/[\text{kBq/m}^2]$) で除して放射性セシウムの沈着量 Rd を求める。

$$Rd = \frac{D_{Cs}}{CF} \quad (5)$$

CF を求めるには、重量緩衝深度の設定が必要であるが、4.1 節に示す結果から実効的な重量緩衝深度 $\beta_{eff}=4.41 \text{ g/cm}^2$ とした。なお、検出下限値は、本測定範囲の平均的なバックグラウンド計数率で計算すると 9.8 kBq/m^2 と計算できる。また、平成 30 年度調査まで同地域において可搬型ゲルマニウム半導体検出器（以下「可搬型 Ge 検出器」という。）による放射性セシウム沈着量測定を実施しており、このうち直近 3 年間（平成 28 年度から平成 30 年度）の結果¹⁷⁻¹⁹⁾を令和 5 年 10 月に半減期補正した値と、令和 5 年度の無人ヘリによる測定結果から放射性セシウム沈着量へ換算した値（以下「沈着量（換算値）」という。）を比較した結果を図 3-10 に示す。同図の相対偏差（下図）は、式(2)において、無人ヘリサーベイの測定結果から求めた沈着量（換算値）を D_a 、同地点における可搬型 Ge 検出器による放射性セシウム沈着量を D_b として求めた。このように両者は一定の相関関係にあるが、相対偏差値のヒストグラムを見ると平均値も中央値も沈着量（換算値）が高い傾向にある。また、散布図での分布をみると特に濃度の低いデータについて沈着量（換算値）が高い傾向にあり、局所

的な除染や周囲を森林に囲まれた場所などの状況が上空からの測定では再現できていない可能性が考えられる。

無人ヘリサーベイの測定結果から求めた沈着量（換算値）の分布マップを図 3-11（右）に示す。また、比較のため、令和 4 年度調査での測定結果を同図（左）に示す。福島第一原発から北西部分と南部分は 3 MBq/m^2 を超える比較的高いエリアが広がっていることが分かる。一方、北側の海岸沿いは、 300 kBq/m^2 以下のエリアも存在する。令和 4 年度調査での沈着量（換算値）と比較すると、測定範囲の全体で沈着量がわずかに低くなったことが分かる。

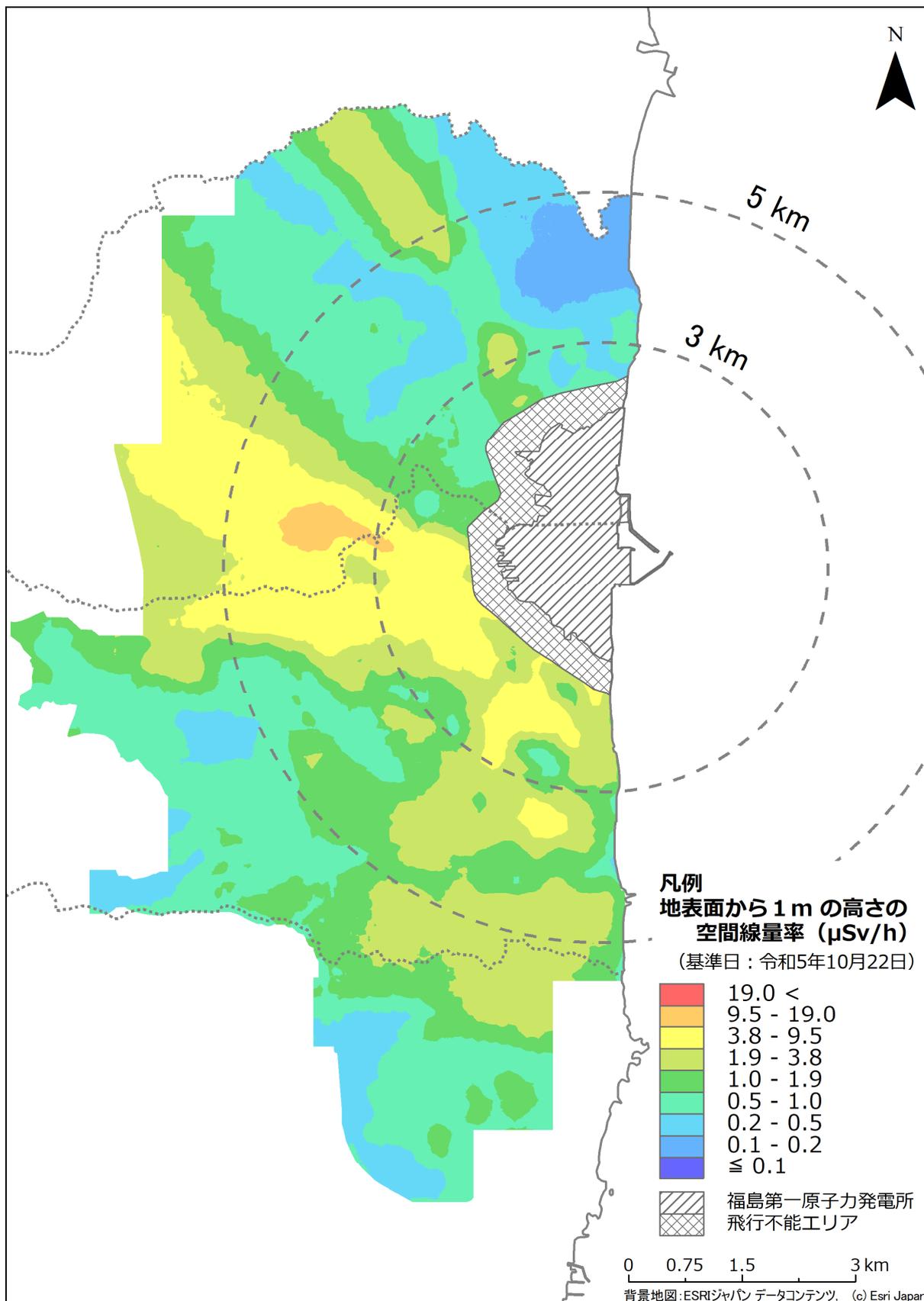


図 3-3 令和5年度調査における無人ヘリサーベイによる空間線量率測定結果
 (天然放射性核種による空間線量率寄与を含んでいる。)

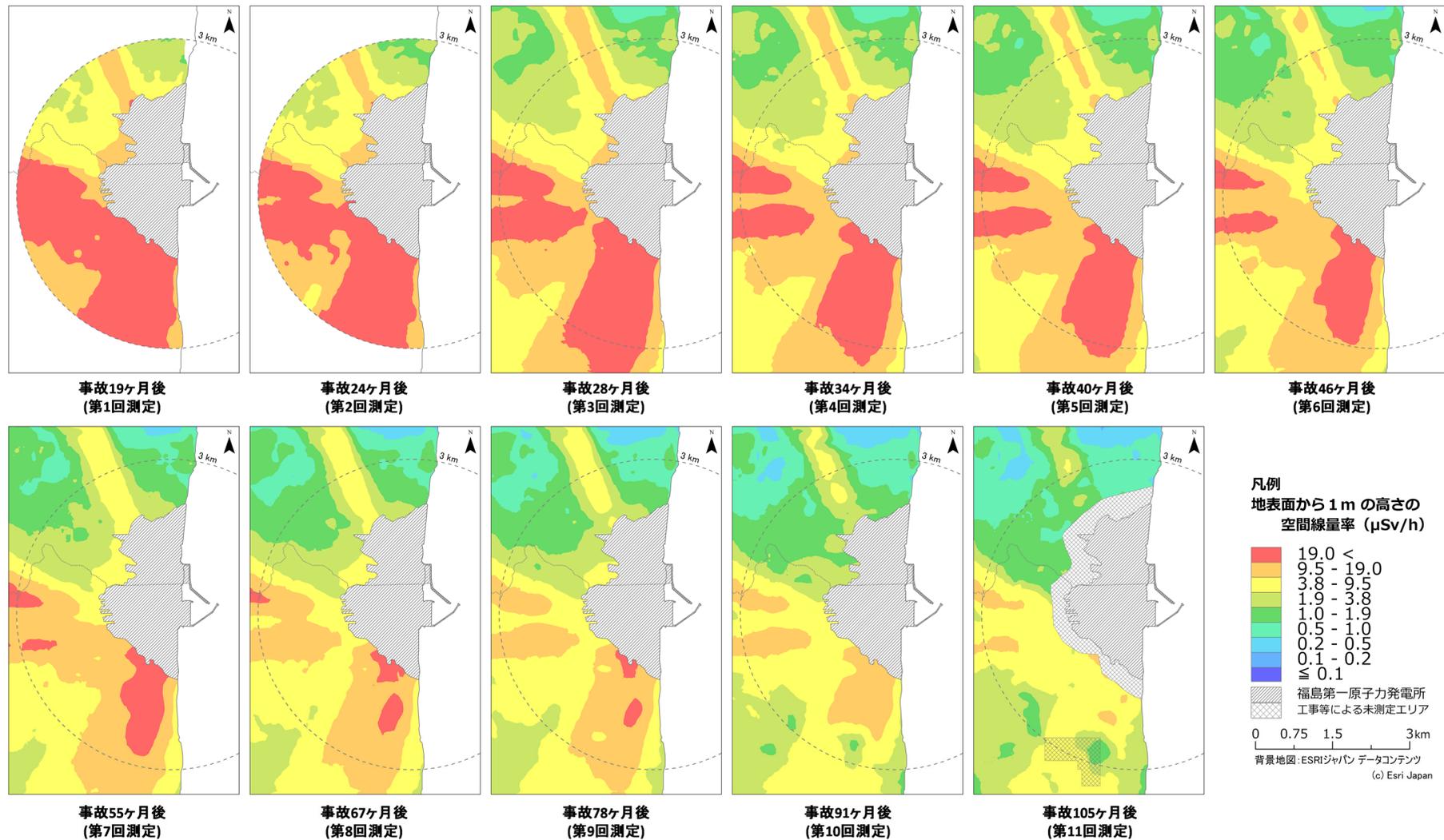


図 3-4 平成 24 年度から令和 5 年度までの無人ヘリサーベイによる空間線量率マップの変化 (1/2)
 (福島第一原発から 5 km 圏内主体。天然放射性核種による空間線量率寄与を含んでいる。)

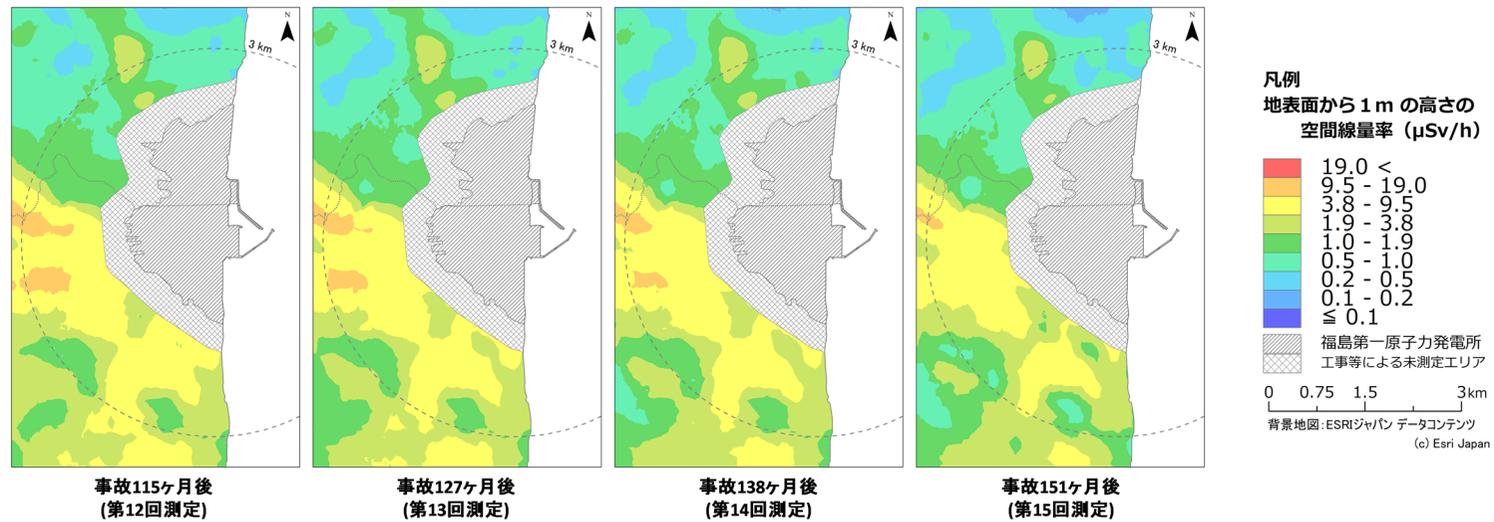


図 3-4 平成 24 年度から令和 5 年度までの無人ヘリサーベイによる空間線量率マップの変化 (2/2)
 (福島第一原発から 5 km 圏内主体。天然放射性核種による空間線量率寄与を含んでいる。)

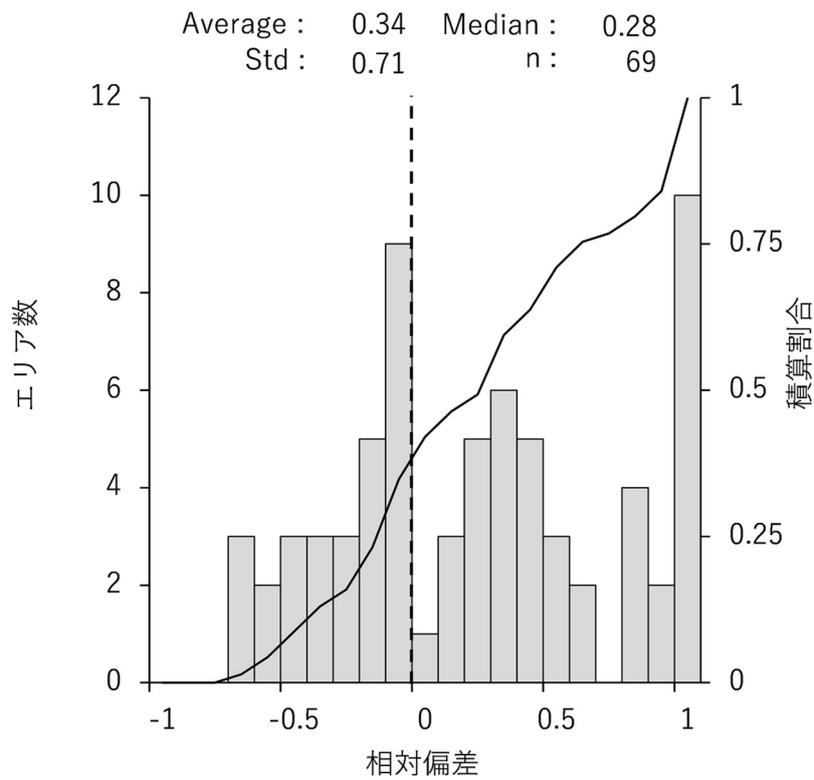
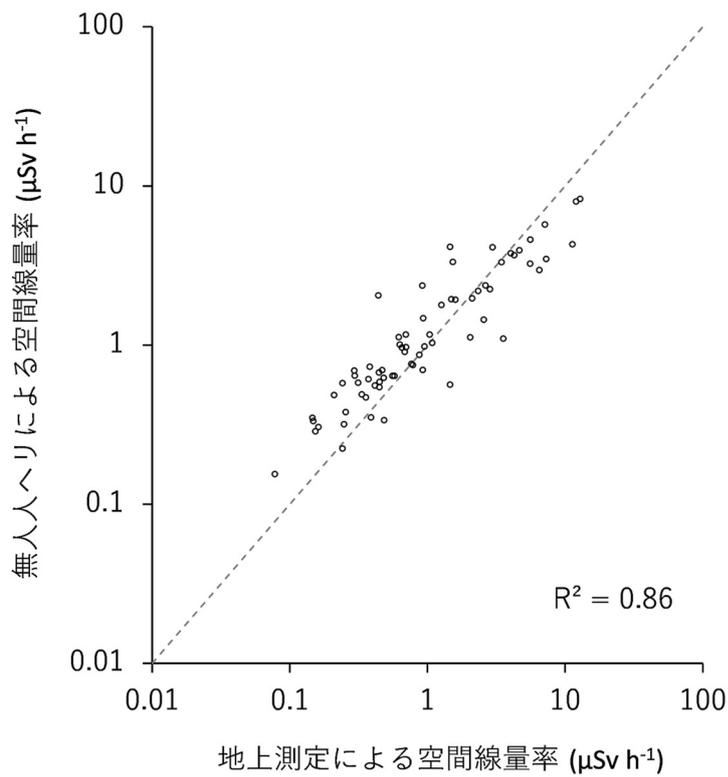


図 3-5 無人ヘリサーベイと地上測定（定点サーベイ）による空間線量率の比較
 （相関図の破線は $y=x$ 、 R^2 は決定係数、Std は標準偏差、n はデータ数を意味する。）

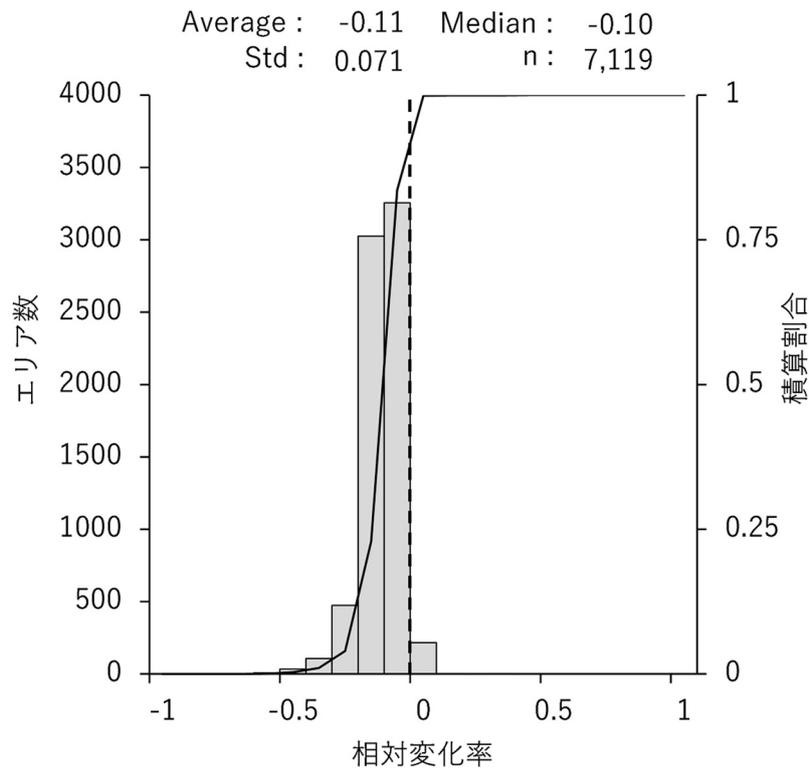
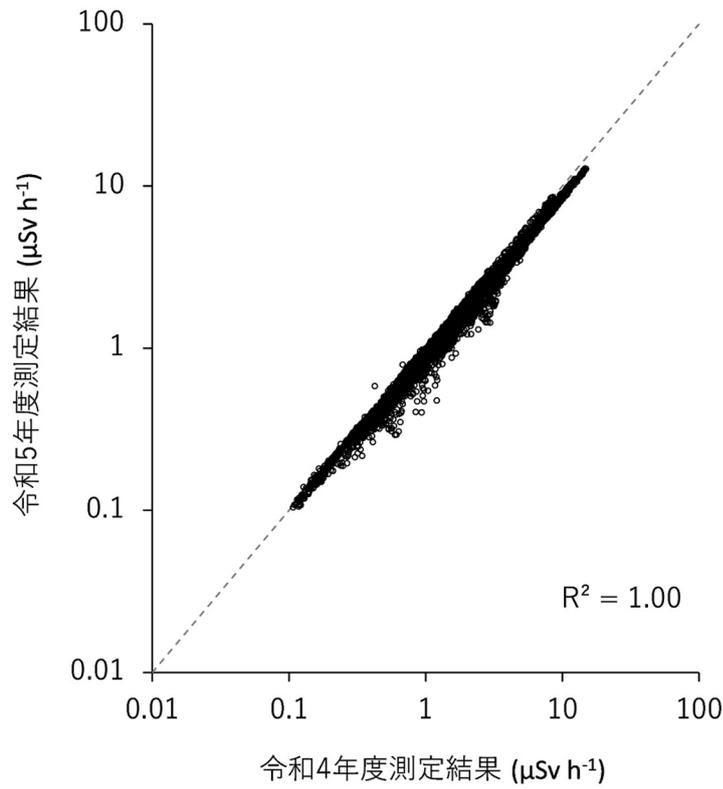


図 3-6 令和4年度調査と令和5年度調査での無人ヘリサーベイによる空間線量率測定結果の比較

(相関図の破線は $y=x$ 、 R^2 は決定係数、Std は標準偏差、n はデータ数を意味する。)

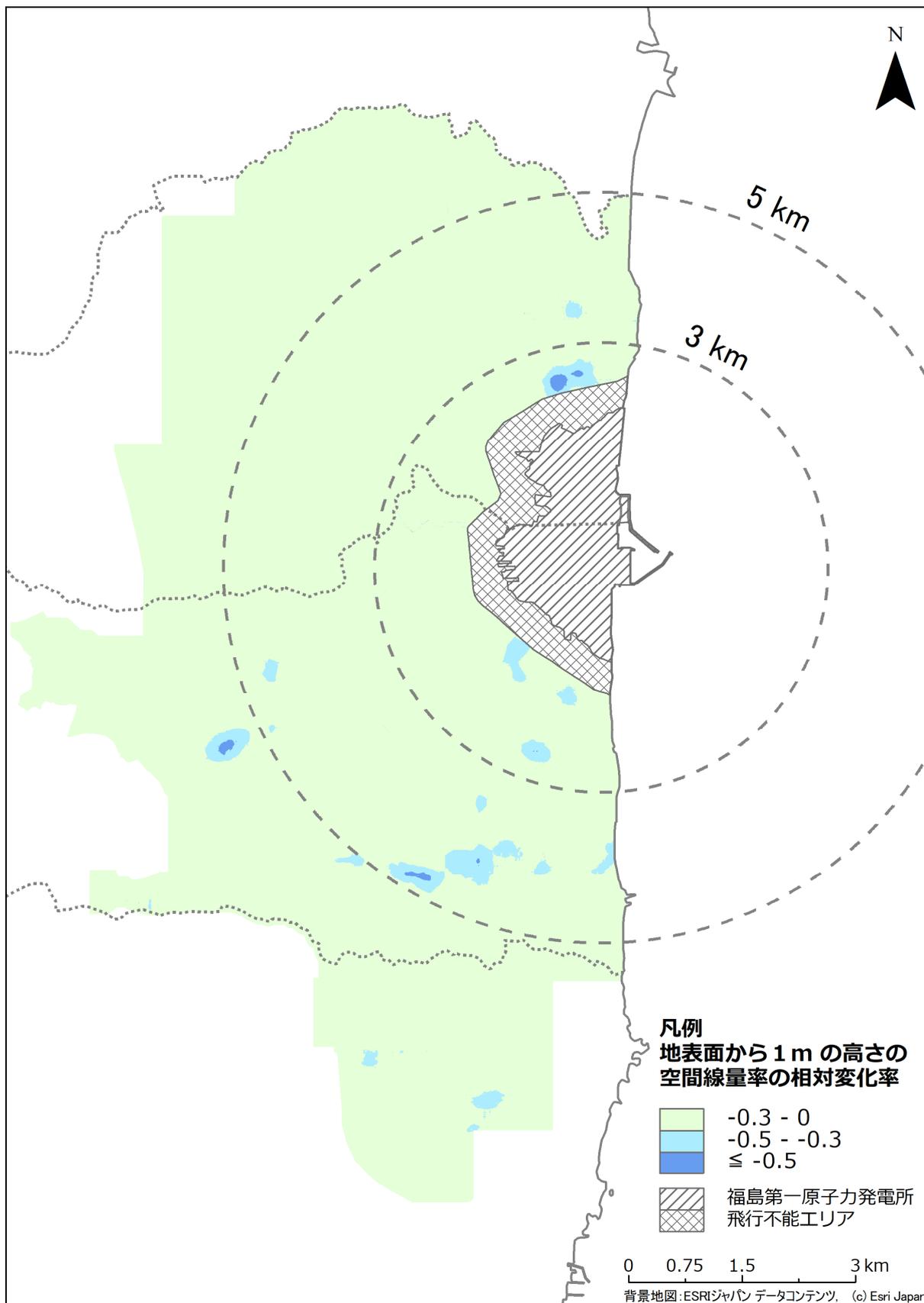


図 3-7 無人ヘリサーベイによる空間線量率測定結果の令和4年度調査に対する令和5年度調査の相対変化率の分布

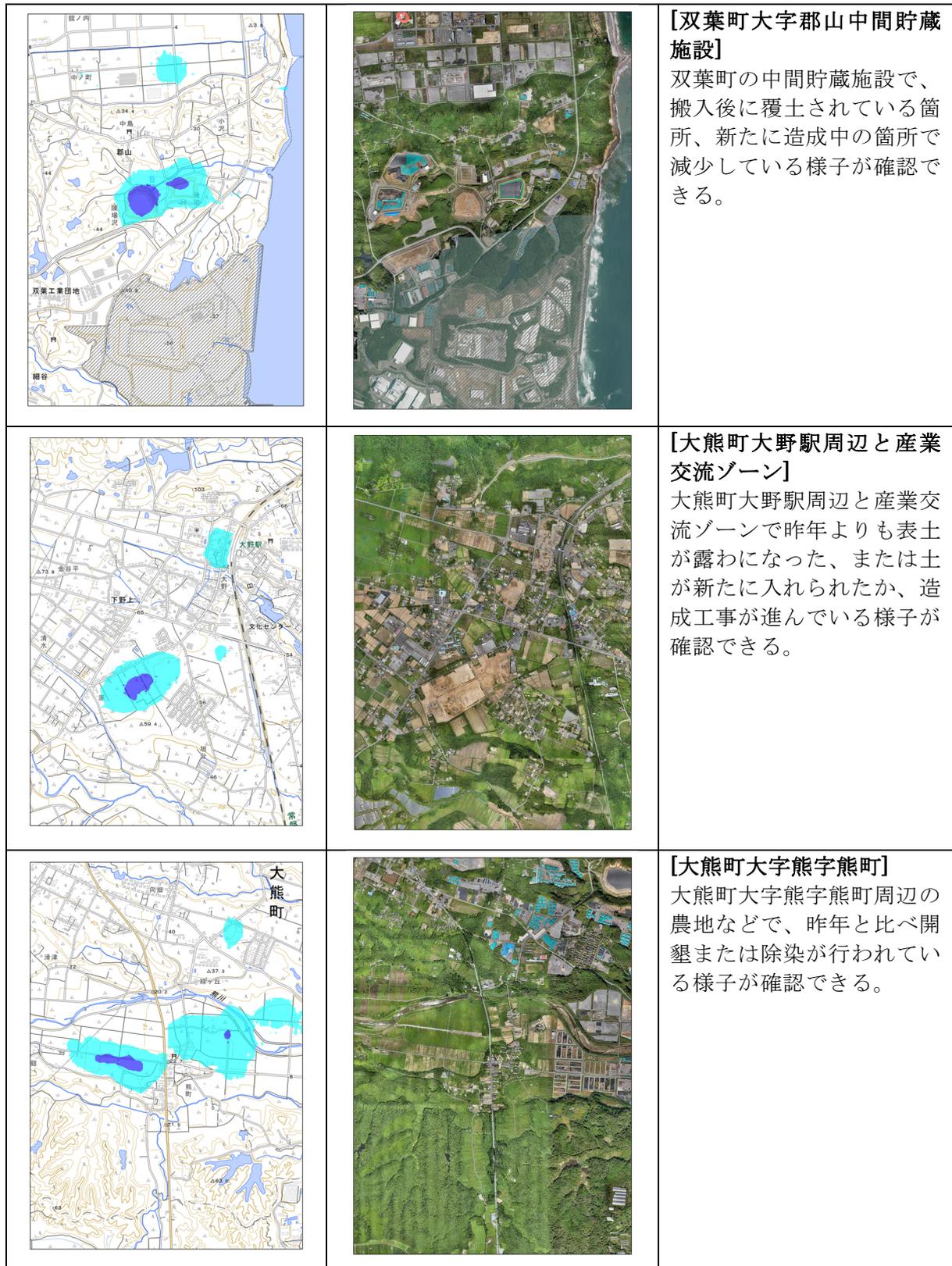


図 3-8 令和 4 年度調査から令和 5 年度調査に空間線量率が顕著に減少した要因の調査結果（左から地理院タイル²⁰）に相対変化率マップ（図 3-7 参照）を追記して掲載、地理院タイルに測定中に撮影した写真からオルソ画像（地図と同じく写真上の像の位置ズレをなくし、真上から見たような傾きのない正しい大きさと位置に表示される画像）を作成し追記。）

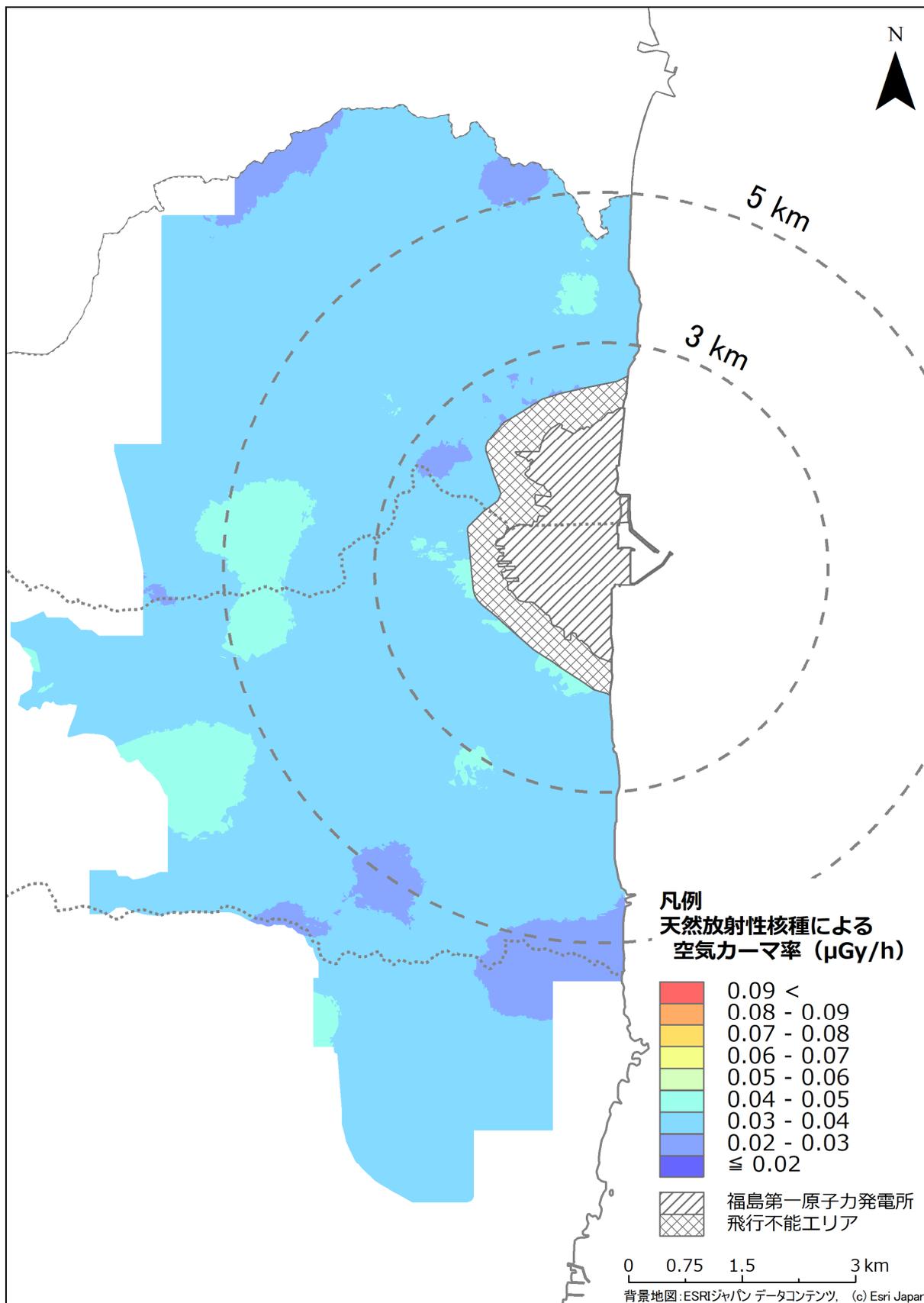


図 3-9 令和 5 年度調査における無人ヘリサーベイにより評価した天然放射性核種による空気カーマ率の分布

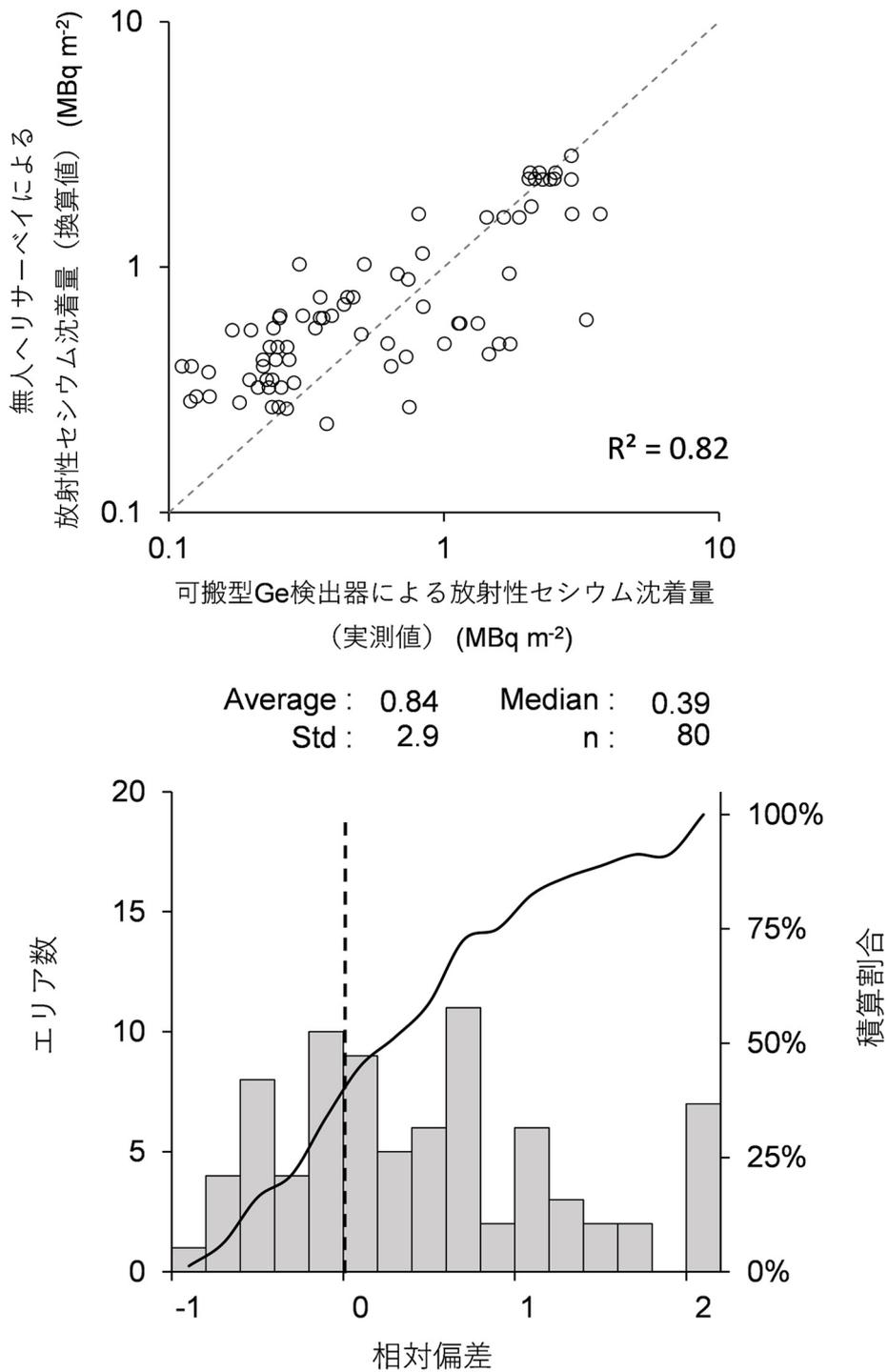


図 3-10 平成 28 年度～平成 30 年度の可搬型 Ge 検出器による放射性セシウム沈着量測定結果（令和 5 年度に物理減衰補正）と無人ヘリサーベイによる放射性セシウム沈着量（換算値）の比較

（相関図の破線は $y=x$ 、 R^2 は決定係数、Std は標準偏差、n はデータ数を意味する。）

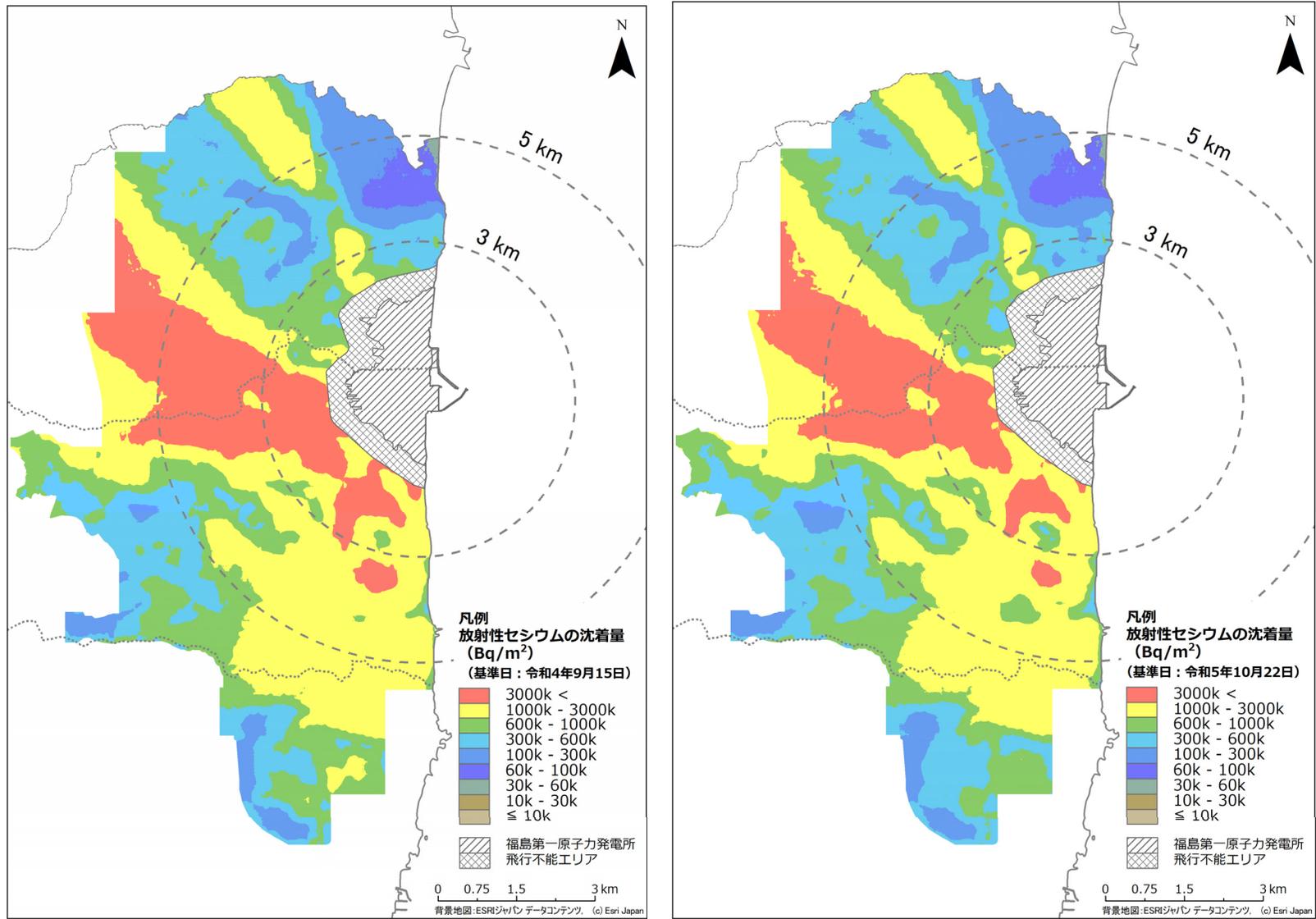


図 3-11 無人ヘリサーベイによる放射性セシウム沈着量 (換算値) 分布マップ (左: 令和4年度調査、右: 令和5年度調査)