

平成 31 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）事業

成果報告書

令和 2 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平成 31 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）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）からの委託を受け、平成 23 年 6 月から平成 31 年度（令和元年度）まで放射性物質の分布状況調査等を実施してきた。本報告書は、「平成 31 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）事業」における以下の調査結果をとりまとめたものである。

空間線量率の分布測定では、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）、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。放射性セシウムの土壌沈着量に関しては、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）。さらに、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。測定箇所の重要度分類のためのスコア化の検討では、平成 30 年度に開発した「スコア」化手法を基に福島県及び 80 km 圏内でのスコアマップの作成を試みた。また、陸域における放射性物質モニタリングの在り方について検討し、モニタリング地点の代表性について提言した。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、航空機サーベイ、走行サーベイ、歩行サーベイにより取得した空間線量率分布データを統合し、80 km 圏内を対象とした統合マップを平成 30 年度及び令和元年度について、解析対象を福島県全県に広げた統合マップを平成 29 年度、平成 30 年度及び令和元年度について作成した。空間線量率等分布マップの作成と公開では、「放射線量等分布マップ拡大サイト」に令和元年度の測定結果を公開するとともに、分布マップシステムのログ解析からそれらの情報提供を定量的に示した。また、マップシステムの改善として地図上で表示される英語を全面的に見直した。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。測定データの CSV 化では、本事業で取得した測定データ又は原子力規制庁や環境省が保有する測定データを当該分野の今後の調査等に活用するため、データを CSV（場合によっては Excel[®]、KMZ）の形式で保存した。

目 次

1.	はじめに	1
2.	広域の空間線量率の分布測定	4
2.1.	調査目的	4
2.2.	調査手法	4
2.2.1.	走行サーベイ	4
2.2.2.	定点サーベイ	5
2.2.3.	歩行サーベイ	5
2.2.4.	平成 30 年度との比較	9
2.2.5.	測定手法間の比較	9
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.	平成 30 年度との比較	20
2.3.3.	平成 23 年度との比較	20
2.3.4.	測定手法間の比較	21
3.	発電所周辺の空間線量率測定	26
3.1.	調査目的	26
3.2.	調査手法	26
3.2.1.	調査場所・期間	26
3.2.2.	調査機器	26
3.2.3.	データ取得方法	27
3.2.4.	無人ヘリ測定データの空間線量率への換算	29
3.2.5.	空間線量率マップの作成	29
3.3.	調査結果	29
3.3.1.	空間線量率マップ	29
3.3.2.	測定結果の妥当性の検証	29
3.3.3.	平成 30 年度との比較	30
3.3.4.	天然放射性核種による空間線量率マップ	30
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	30
4.	土壌における放射性セシウムの分布状況	39
4.1.	放射性セシウムの深度分布	39
4.1.1.	調査目的	39
4.1.2.	調査内容	39
4.1.2.1.	調査内容サンプル採取・測定方法	39
4.1.2.2.	重量緩衝深度の解析方法	39
4.1.3.	調査結果	43
4.2.	放射性セシウム沈着量の面的調査	47

4.2.1.	調査目的	47
4.2.2.	調査内容	47
4.2.2.1.	測定方法	47
4.2.2.2.	測定結果の信頼性の確認	47
4.2.2.3.	放射性セシウムの土壌沈着量分布マップの細密化	47
4.2.3.	調査結果	50
4.2.4.	天然放射性核種による空間線量率の評価	61
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	63
5.1.	目的	63
5.2.	測定結果の変化傾向	63
5.3.	実効半減期算出方法	68
5.4.	空間線量率の実効半減期	68
5.5.	放射性セシウム沈着量の実効半減期	74
5.6.	同一メッシュにおける空間線量率の変化傾向	76
6.	測定箇所の重要度分類のためのスコア化の検討	79
7.	実測データの統合的解析	81
7.1.	調査目的	81
7.2.	調査内容	81
7.2.1.	異なる測定方法による空間線量率の特徴	81
7.2.2.	統合手法の概要	82
7.3.	80 km 圏内を対象とした統合マップの作成	83
7.3.1.	対象とした測定データ	83
7.3.2.	歩行サーベイ結果の空間パターンの解析	86
7.3.3.	走行サーベイと歩行サーベイの比較	88
7.3.4.	航空機サーベイと歩行サーベイの比較	90
7.3.5.	統合結果	92
7.3.6.	妥当性検証	93
7.4.	福島県全域を対象とした統合マップの作成	95
7.4.1.	対象とした測定データ	95
7.4.2.	モニタリングメッシュ調査結果を付加した歩行サーベイ結果を対象とした空間 パターンの解析	102
7.4.3.	走行サーベイ結果とモニタリングメッシュ調査結果を付加した歩行サーベイ結 果の比較	104
7.4.4.	航空機サーベイ結果とモニタリングメッシュ調査結果を付加した歩行サーベイ 結果の比較	107
7.4.5.	統合結果	110
7.4.6.	妥当性検証	112
8.	空間線量率等分布マップの作成と公開	113

8.1.	目的	113
8.2.	空間線量率等分布マップの作成と公開	113
8.3.	空間線量率等分布マップの運用管理	113
8.4.	マップシステムの改善検討	120
9.	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	124
9.1.	測定方法及び測定結果	124
9.1.1.	空間線量率	124
9.1.2.	積算線量	124
9.1.3.	大気浮遊じん中放射性物質濃度	124
9.1.4.	環境試料（土壌及び松葉）中放射性物質濃度	124
9.2.	測定結果の公開	124
10.	測定データのCSV化	131
10.1.	CSV等の形式で保存した測定データ	131
10.2.	保存した測定データの公開	131
11.	まとめ	133
	参考文献	135

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	各測定手法における測定期間及び測定エリア	6
表 2-2	比較の組み合わせ	10
表 2-3	平成 30 年度と比較した令和元年度の空間線量率測定結果の変化傾向	20
表 2-4	平成 23 年度と比較した令和元年度の空間線量率測定結果の変化傾向	21
表 5-1	評価された実効半減期の一覧	69
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	80
表 8-1	国及び地域別アクセス状況（上位 10 番目まで）	115
表 8-2	都道府県ごとの業種別アクセス割合	116
表 8-3	ユーザ環境（利用 OS）別閲覧頻度（上位 10 番目まで）	116
表 8-4	ユーザ環境（利用ブラウザ）別閲覧頻度（上位 5 番目まで）	117
表 9-1	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	125
表 10-1	本事業で取得した測定データの項目とレコード数	131
表 10-2	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	132

図リスト

図 2-1	令和元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（基準地域メッシュ（1km））	7
図 2-2	令和元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（基準地域メッシュ（1km））	8
図 2-3	令和元年度調査における歩行サーベイに用いた測定システムの概要	9
図 2-4	各測定場所のイメージ	10
図 2-5	令和元年度 1 回目（第 18 回）走行サーベイによる空間線量率の測定結果	12
図 2-6	令和元年度 2 回目（第 19 回）走行サーベイによる空間線量率の測定結果	13
図 2-7	平成 23 年度以降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（その 1）	14
図 2-8	令和元年度定点サーベイによる空間線量率の測定結果	16
図 2-9	平成 23 年度以降の定点サーベイによる空間線量率マップの変化	17
図 2-10	令和元年度歩行サーベイによる空間線量率の測定結果	18
図 2-11	平成 25 年度以降の歩行サーベイによる空間線量率マップの変化	19
図 2-12	平成 30 年度の測定結果に対する令和元年度の測定結果の比	22
図 2-13	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 年度との比較	23
図 2-14	令和元年度調査での測定手法間の比較	24
図 2-15	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	25
図 3-1	無人ヘリの仕様	27
図 3-2	令和元年度無人ヘリサーベイの飛行軌跡	28

図 3-3	令和元年度無人ヘリサーベイによる空間線量率測定結果	31
図 3-4	平成 24 年度以降の無人ヘリサーベイによる空間線量率マップの変化	32
図 3-5	令和元年度の無人ヘリサーベイと地上測定による空間線量率の比較.....	33
図 3-6	平成 30 年度と令和元年度の無人ヘリサーベイによる空間線量率測定結果の比較	34
図 3-7	平成 30 年度に対する令和元年度の空間線量率測定結果の比の分布	35
図 3-8	平成 30 年度から令和元年度にかけて空間線量率が顕著に減少した場所の要因調査.....	36
図 3-9	令和元年度無人ヘリサーベイによる天然放射性核種による空気カーマ率の分布測定結果	37
図 3-10	令和元年度無人ヘリサーベイによる放射性セシウム沈着量分布マップ	38
図 4-1	令和元年度の放射性セシウム深度分布調査での土壌採取箇所	42
図 4-2	セシウム 137 の深度分布の典型的な例	43
図 4-3	令和元年度の深度分布調査による重量緩衝深度 β の自然対数値の頻度分布	45
図 4-4	令和元年度の深度分布調査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 ...	45
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	46
図 4-6	平成 23 年 12 月からの 90%深度 $L_{90\%}$ の経時的な変化及びその幾何平均値	46
図 4-7	令和元年度の可搬型 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測定 箇所	49
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($\mu\text{Gy/h}$)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($\mu\text{Gy/h}$)の相関	50
図 4-9	令和元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 (a) セシウム 134 (実効的な緩衝深度 $\beta_{\text{eff}}= 3.67 \text{ g/cm}^2$ を用いた解析結 果。)	52
図 4-10	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放射性セシウム沈着量の相関	54
図 4-11	令和元年度調査での in-situ 測定による沈着量と最近傍点における空間線量率から評価し た沈着量 (ともにセシウム 137) の比較.....	55
図 4-12	令和元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 (a) セシウム 134... 56	56
図 4-13	平成 23 年度以降の in-situ 測定、土壌採取による測定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.....	59
図 4-14	天然放射性核種による空気カーマ率 ($\mu\text{Gy/h}$) の分布.....	62
図 5-1	本事業で得られた空間線量率の変化傾向 (1/2)	65
図 5-2	本事業で得られた放射性セシウム沈着量の変化傾向.....	67
図 5-3	走行サーベイ結果 (80 km 圏内) における二項指数関数の近似	70
図 5-4	定点サーベイ結果における指数関数の近似.....	71
図 5-5	歩行サーベイ及び無人ヘリサーベイ結果における指数関数の近似	72
図 5-6	航空機サーベイ結果における指数関数の近似	73
図 5-7	in-situ 測定結果における指数関数の近似	75
図 5-8	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データセットが	

ある調査メッシュ箇所.....	77
図 5-9 各モニタリングのイメージと測定対象.....	78
図 5-10 全測定データセットがある調査メッシュにおける空間線量率の変化傾向.....	78
図 7-1 平成 30 年度 11 月期に実施された歩行、走行及び航空機サーベイ結果 (80 km 圏内)....	84
図 7-2 令和元年度 11 月期に実施された歩行、走行及び航空機サーベイ結果 (80 km 圏内).....	85
図 7-3 80 km 圏内における土地利用状況.....	86
図 7-4 平成 30 年度 11 月期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.....	87
図 7-5 令和元年度 11 月期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.....	88
図 7-6 平成 30 年度 11 月期に実施された避難指示区域内及び避難指示区域外における走行サー ベイと歩行サーベイによる空間線量率の相関分析.....	89
図 7-7 令和元年度 11 月期に実施された避難指示区域内及び避難指示区域外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.....	90
図 7-8 平成 30 年度に実施され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	91
図 7-9 令和元年度に実施され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..	92
図 7-10 各種測定結果を統合した統合空間線量率マップ (80 km 圏内)	93
図 7-11 平成 30 年度統合空間線量率マップと計算から除外した歩行サーベイデータの相関.....	94
図 7-12 令和元年度統合空間線量率マップと計算から除外した歩行サーベイデータの相関.....	95
図 7-13 平成 29 年度に実施された福島県モニタリングメッシュ調査結果と歩行サーベイによる 空間線量率の相関分析.....	97
図 7-14 平成 30 年度に実施された福島県モニタリングメッシュ調査結果と歩行サーベイによる 空間線量率の相関分析.....	98
図 7-15 令和元年度に実施された福島県モニタリングメッシュ調査結果と歩行サーベイによる空 間線量率の相関分析.....	99
図 7-16 空間線量率の統合に用いた平成 29 年度の歩行サーベイ結果にモニタリングメッシュ調 査結果を付加した結果と走行及び航空機サーベイ結果 (福島県全域)	100
図 7-17 空間線量率の統合に用いた平成 30 年度の歩行サーベイ結果にモニタリングメッシュ調 査結果を付加した結果と走行及び航空機サーベイ結果 (福島県全域)	101
図 7-18 空間線量率の統合に用いた令和元年度の歩行サーベイ結果にモニタリングメッシュ調査 結果を付加した結果と走行及び航空機サーベイ結果 (福島県全域)	102
図 7-19 平成 29 年度 11 月期に実施された避難指示区域外における歩行サーベイ結果+モニタリ ングメッシュ調査結果による空間線量率のバリオグラム.....	103
図 7-20 平成 30 年度 11 月期に実施された避難指示区域外における歩行サーベイ結果+モニタリ ングメッシュ調査結果による空間線量率のバリオグラム.....	103
図 7-21 令和元年度 11 月期に実施された避難指示区域外における歩行サーベイ結果+モニタリ ングメッシュ調査結果による空間線量率のバリオグラム.....	104
図 7-22 平成 29 年度に実施された走行サーベイデータとモニタリングメッシュデータを付加し	

た歩行サーベイデータとの相関分析結果（福島県全域）.....	105
図 7-23 平成 30 年度に実施された走行サーベイデータとモニタリングメッシュデータを付加した歩行サーベイデータとの相関分析結果（福島県全域）.....	106
図 7-24 令和元年度に実施された走行サーベイデータとモニタリングメッシュデータを付加した歩行サーベイデータとの相関分析結果（福島県全域）.....	107
図 7-25 平成 29 年度に実施された航空機サーベイデータとモニタリングメッシュデータを付加した歩行サーベイデータとの相関分析結果（福島県全域）.....	108
図 7-26 平成 30 年度に実施された航空機サーベイデータとモニタリングメッシュデータを付加した歩行サーベイデータとの相関分析結果（福島県全域）.....	109
図 7-27 令和元年度に実施された航空機サーベイデータとモニタリングメッシュデータを付加した歩行サーベイデータとの相関分析結果（福島県全域）.....	110
図 7-28 平成 29 年度に実施された各種測定結果を統合した統合空間線量率マップ（福島県全域）.....	111
図 7-29 平成 30 年度に実施された各種測定結果を統合した統合空間線量率マップ（福島県全域）.....	111
図 7-30 令和元年度に実施された各種測定結果を統合した統合空間線量率マップ（福島県全域）.....	112
図 8-1 放射線量等分布マップ拡大サイトのアクセス状況.....	117
図 8-2 平成 25 年度から令和元年度間のアクセス状況.....	117
図 8-3 平成 26 年 4 月 1 日～令和 2 年 1 月 31 日における拡大サイトのアクセス状況.....	118
図 8-4 都道府県ごとのアクセス指数.....	119
図 8-5 日本の地図記号と外国人向け地図記号の比較.....	121
図 8-6 地名の英語表記における見直し前後の地図表示（小縮尺の例）.....	122
図 8-7 拡大サイトにおける大縮尺レベル表示時の英語表記.....	123
図 9-1 測定及び採取地点.....	126
図 9-2 総合モニタリング計画に基づく空間線量率の測定結果.....	127
図 9-3 積算線量の経時変化.....	128
図 9-4 大気浮遊じん中セシウム 137 濃度の経時変化.....	129
図 9-5 土壌中セシウム 137 濃度の経時変化.....	129
図 9-6 松葉中セシウム 137 濃度の経時変化.....	130

(別添資料)

Appendix-1 セシウム 137 の深度分布

Appendix-2 陸域における放射性物質濃度モニタリングの在り方について - 報告書 -

Appendix-3 令和元年度検討会の概要

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」（以下「第 1 次分布状況等調査」という。）、「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」（以下「第 2 次分布状況等調査」という。）、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」（以下「第 3 次分布状況等調査」という。）を実施した。これら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」（以下「平成 25 年度調査」という。）、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」（以下「平成 26 年度調査」という。）、平成 27 年度以降は「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」（以下、各年度について「平成 27 年度調査」、「平成 28 年度調査」、「平成 29 年度調査」、「平成 30 年度調査」という。）をそれぞれ実施した。平成 31 年度（令和元年度）は、平成 30 年度に引き続き、「平成 31 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）事業」（以下「令和元年度調査」という。）を実施した。（以下では、これらを総称して「分布状況調査」と呼ぶ。）各調査における測定項目ごとの実施時期を表 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、令和元年 7 月 1 日の場合 R1/7/1 とする）。

一連の分布状況調査の中で、

- 1) 放射性物質の土壌沈着量 (Bq/m^2) 及び空間線量率（地表面から 1 m 高さにおける空間線量率: $\mu\text{Sv/h}$ ）に関する大規模環境測定とマップ化、
- 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) 拡大マップサイト等を通じたデータの公開

をそれぞれ実施してきた。これまでに蓄積した調査結果の解析により、福島第一原発事故により放出された放射性セシウムの土壌沈着量分布及び空間線量率分布の経時変化の特徴が明らかになるとともに、その変化を理解するための放射性セシウムの環境中動態についても知識が蓄積されている。平成 28 年度調査より、走行サーベイ、歩行サーベイ及び航空機サーベイで取得した空間線量率データについてベイズ統計手法を用いて統合する試み（実測データの統合的解析）を開始した。平成 30 年度より、測定地点の適正化を検討する上での基礎的な情報を提供するため、地域における住民数や土地利用などのパラメータをスコア化する手法について検討を開始した。

本報告書では、令和元年度調査で得られた成果についてまとめる。本調査の目的は、1)これまで

の調査と同様、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を詳細に調査しその変化傾向を把握すること、2)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こと、3)これまでの調査結果を使用し、沈着量や空間線量率の経時変化を分析するとともに測定評価手法の高度化を図ることである。

大規模環境測定は平成 30 年度と基本的に同じ内容で行った。すなわち、空間線量率に関しては走行サーベイ、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（以下「定点サーベイ」という。）、歩行サーベイ、無人ヘリコプターサーベイを、放射性セシウムの土壌沈着量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（現地における測定）を、土壌中深度分布（Bq/kg）についてはスクレーパープレートで深さ別に採取した土壌試料の分析をそれぞれ実施した。空間線量率の変化傾向を定量的に評価するため、これまでの測定結果をもとに実効半減期の導出を試みた。

上記の他、平成 30 年度までの測定データに基づき統合マップを作成する「実測データの統合的解析」、本調査の結果をマップ拡大サイトとして公開する「空間線量率等分布マップの作成と公開」、「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」及び「測定データの CSV 化」について実施した。

また、本事業における今後の中長期的な空間線量率及び放射性核種濃度調査の在り方について、過去の結果等を踏まえ、調査地点及び頻度の適正化について検討を行った。具体的には、モニタリングプランの見直しの基盤情報となる地域の代表性を比較するためのスコア化の考え方について検討を行った。本検討結果は、有識者からなる検討会で報告書としてまとめるとともに、事業内容や結果についても助言をいただいた。検討会は、期間中 3 回開催した。

表 1-1 各調査における測定項目ごとの実施時期

	平成 23 年度 (第 1 次) ^{b)}	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)	平成 29 年度 (第 8 次)	平成 30 年度 (第 9 次)	令和元年度 (第 10 次)
走行サーベイ ^{a)}	第 1 回 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	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
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	第 9 回 H29/10/30-12/1	第 10 回 H30/11/1-12/5	第 11 回 R1/6/12-11/22
定点サーベイ	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	第 11 回 H29/8/28-10/10	第 12 回 H30/9/13-10/26	第 13 回 R1/8/22-9/27
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 H25/11/19-1/7	第 5 回 H26/6/23-7/22 第 6 回 H26/11/14-1/15	第 7 回 H27/9/2-10/22	第 8 回 H28/9/1-10/13	第 9 回 H29/6/13-9/5	第 10 回 H30/7/11-10/16	第 11 回 R1/6/13-12/1
沈着量 (in-situ)	土壌試料採取 ^{c)}	第 1 回 H23/12/13- H24/5/29	第 2 回 H24/8/13-9/19 第 3 回 H24/11/5-12/12	第 4 回 H25/6/3-7/10 第 5 回 H25/10/28-12/6	第 6 回 H26/6/23-7/30 第 7 回 H26/10/27-12/5	第 8 回 H27/8/24-10/7	第 9 回 H28/8/24-10/6	第 10 回 H29/8/30-10/11	第 11 回 H30/9/13-10/25	第 12 回 R1/8/8-11/1
深度分布 (スクレーパープレート)	鉄パイプ試料採取 ^{d)}	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	第 10 回 H29/8/23-9/13	第 11 回 H30/9/13-10/11	第 12 回 R1/8/21-9/13

a) 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。 b) ()内は通算調査次数の意味。 c) 平成 23 年度(第 1 次)調査では in-situ 測定はせず土壌試料採取を実施。 d) 第 1 次調査及び第 2 次調査(一部)の深度分布は鉄パイプ等により試料採取。

10. 測定データの CSV 化

10.1. CSV 等の形式で保存した測定データ

(1) 本事業で取得した測定データ

本事業で実施した環境モニタリングの測定データについて、今後の調査等に活用するため、データを CSV（場合によっては Excel[®]、KMZ）の形式で保存した。測定データは、測定実施者が解析を行い、原子力規制庁に報告された後のデータから抽出している。対象となった測定データは全 6 項目であり、各項目におけるレコード数を表 10-1 にまとめる。

(2) 原子力規制庁が保有する測定データ

原子力規制庁が実施し、ホームページ上で公開している環境モニタリングの測定データ²⁴⁾の一部について、今後の調査等に活用するため、データを CSV 等の形式で保存した。保存した測定データは、平成 31 年 2 月から令和 2 年 1 月までに原子力規制庁が公開した資料（PDF）から抽出している。対象となった測定データは全 21 項目であり、各項目におけるレコード数を表 10-2（#1 から #21 まで）にまとめる。

(3) 環境省が保有する測定データ

環境省が実施し、ホームページ上で公開している環境モニタリングの測定データ²⁵⁾の一部について、今後の調査等に活用するため、データを CSV 等の形式で保存した。保存した測定データは、平成 31 年 2 月から令和 2 年 1 月までに原子力規制庁が公開した資料（PDF、Excel[®]）から抽出している。対象となった測定データは全 3 項目であり、各項目におけるレコード数を表 10-2（#22 から #24 まで）にまとめる。

10.2. 保存した測定データの公開

CSV 等の形式で保存した測定データの一部は、以下のホームページにて公開される。

- ・本事業で取得した測定データ：<http://radioactivity.nsr.go.jp/ja/list/338/list-1.html>
- ・原子力規制庁が保有する測定データ：<https://radioactivity.nsr.go.jp/ja/list/512/list-1.html>

表 10-1 本事業で取得した測定データの項目とレコード数

#	データ項目	レコード数
1	広域の空間線量率の分布測定（走行サーベイ）	第 18 回： 302,664
		第 19 回： 1,836,919
2	広域の空間線量率の分布測定（定点サーベイ）	5,029
3	広域の空間線量率の分布測定（歩行サーベイ）	1,495,139
4	発電所周辺の空間線量率測定（無人ヘリ）	空間線量率： 2,806,202
		セシウム沈着量： 2,806,202
5	土壌中の放射性セシウムの深度分布調査	85
6	放射性セシウムの沈着量測定	384

表 10-2 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

#	データ項目	レコード数		
		作業開始時点	作業終了時点	新規測定データ
1	福島第一原子力発電所近傍の海水のモニタリング	9,993	11,513	1,520
2	福島県・宮城県・茨城県周辺の海水のモニタリング	17,569	19,231	1,662
3	福島県周辺の海水のモニタリング	1,241	1,528	287
4	宮城県・福島県・茨城県・千葉県沖における海域モニタリング結果	2,502	3,050	548
5	宮城県・福島県・茨城県・千葉県外洋における海域モニタリング結果	552	652	100
6	東京湾における海域モニタリング結果	120	141	21
7	東京電力による海底土のモニタリング結果	3,521	3,984	463
8	宮城県・福島県・茨城県・千葉県沖における海域モニタリング結果(海底土)	1,294	1,484	190
9	東京湾における海域モニタリング結果(海底土)	461	539	78
10	東京電力株式会社福島第一原子力発電所20km圏内の測定結果(空間線量率)	12,795	12,845	50
11	東京電力株式会社福島第一原子力発電所の20km以遠の空間線量率の測定結果	34,995	35,131	136
12	緊急時環境放射線等モニタリング実施結果(福島県による測定)	10,833	10,833	0
13	簡易型線量計を用いた固定測定点における積算線量の測定結果	963	1019	56
14	東京電力株式会社福島第一原子力発電所の20km以遠の積算線量の測定結果	3,487	3511	24
15	東京電力株式会社福島第一原子力発電所20km圏内の空气中放射性物質濃度の測定結果	812	884	72
16	原子力規制庁及び福島県による大気浮遊じんの測定結果	4,075	4,135	60
17	東京電力株式会社福島第一原子力発電所の20km圏内の土壌中放射性物質濃度測定結果	97	102	5
18	原子力規制庁及び福島県による土壌試料の測定結果	1,869	1,874	5
19	原子力規制庁及び福島県による環境試料の測定結果	3,420	3,434	14
20	上水(蛇口水)(環境放射能水準調査)	13,713	13,760	47
21	定時降下物のモニタリング(環境放射能水準調査)	17,381	17,948	567
22	環境省による公共用水域放射性物質モニタリング調査結果(水質)	25,442	29,719	4,277
23	環境省による公共用水域放射性物質モニタリング調査結果(底質)	19,558	22,851	3,293
24	環境省による公共用水域放射性物質モニタリング調査結果(周辺環境)	17,283	20,162	2,879

11. まとめ

本報告書では、「平成 31 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）事業」で得られた結果について報告した。

空間線量率に関しては走行サーベイ（80 km 圏内及び広域について 1 回ずつ）、定点サーベイ（80 km 圏内で 1 回）、歩行サーベイ（80 km 圏内で 1 回）、無人ヘリサーベイ（福島第一原発周辺で 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。平成 30 年度との比較の結果、走行サーベイ及び歩行サーベイの測定結果については物理的半減期による理論値と概ね整合または理論値よりも変化がやや大きく、定点サーベイでは理論値よりも変化が小さい傾向にあった。

土壌における放射性セシウムの分布調査に関しては、スクレーパープレート法で採取（80 km 圏内で 1 回）した土壌試料の分析による土壌中深度分布調査及び可搬型 Ge 検出器を用いた in-situ 測定（80 km 圏内で 1 回）をそれぞれ実施した。深度分布調査の結果、令和元年度に得られた実効的な重量緩衝深度 β_{eff} （幾何平均値）は、 3.67 g/cm^2 であった。また、in-situ 測定の結果から土壌沈着量分布マップを作成した。測定したガンマ線スペクトルから天然放射性核種による空間線量率を評価した（平均値 $0.04 \mu\text{Sv/h}$ ）。

これまで蓄積した測定結果を基に空間線量率及び土壌沈着量の実効半減期を評価した。走行サーベイによる測定結果を基に実効半減期を評価した結果、速い成分は 0.53 年及び遅い成分は 3.6 年となった（いずれも 80 km 圏内を対象）。定点サーベイ及び歩行サーベイについては、速い成分の分析はできず、遅い成分は 2.6 年及び 2.8 年であった（同上）。また、in-situ 測定による土壌中放射性セシウムの沈着量については、セシウム 134 及びセシウム 137 の実効半減期はそれぞれ、1.7 年及び 28 年と求められた。

測定箇所の重要度分類のためのスコア化の検討においては、平成 30 年度に開発した「スコア」化手法を基に福島県及び 80 km 圏内でのスコアマップの作成を試みた。また、陸域における放射性物質モニタリングの在り方について検討し、モニタリング地点の代表性について提言した。

80 km 圏内全域を対象として、階層ベイズ統計手法を用いて、歩行サーベイ、走行サーベイ及び航空機サーベイにより取得した空間線量率分布データを統合し、平成 30 年度及び令和元年度について統合マップを作成した。避難指示区域内外のデータを分けて相関解析を行い、それぞれの結果を用いて統合を行うことにより、地上の細かな空間線量率分布を反映しつつ全体的な航空機サーベイの偏りを補正した統合マップを得た。また、解析対象を福島県全県に広げ、平成 29 年度、平成 30 年度及び令和元年度について統合空間線量率マップを作成した。

空間線量率等分布マップの作成と公開では、「放射線量等分布マップ拡大サイト」に令和元年度の測定結果を公開した。また、各種対策の基礎資料を提供するとともに分布マップシステムのログ解析からそれらの情報提供を定量的に示した。マップシステムの改善として、地図上で表示される英語を全面的に見直し、小縮尺から大縮尺のレベルに合わせた地名の英語表記及び外国人にわかりやすい地図記号の対応を行った。

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として、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。

本事業で取得した測定データ又は原子力規制庁や環境省が保有する測定データを当該分野の今後の調査等に活用するため、データを CSV (場合によっては Excel[®]、KMZ) の形式で保存した。これらのデータは原子力規制庁のホームページにて公開される。

令和元年度事業実施期間中、有識者からの助言を得るための検討会を 3 回開催した。各検討会の開催日時、出席者、議題等の概要を Appendix-3 に示す。

参考文献

- 1) 原子力規制庁, 放射性物資の分布状況等に関する調査,
<http://radioactivity.nsr.go.jp/ja/list/338/list-1.html>.
- 2) 津田修一, 他, “走行サーベイシステム KURAMA-II を用いた測定の基盤整備と実測への適用”,
JAEA-Technology 2013-037, (2013).
- 3) Y. Sanada and T. Torii, “Aerial radiation monitoring around the Fukushima Dai-ichi Nuclear
Power Plant using an unmanned helicopter”, *J. Environ. Radioact.*, 139, 294-299(2015).
- 4) Y. Sanada et al., “Radiation monitoring using an unmanned helicopter in the evacuation
zone around the Fukushima Daiichi nuclear power plant”, *Explor. Geophys.*, 45, 3-7(2014).
- 5) 眞田幸尚, 他, “原子力発電所事故後の無人ヘリコプターを用いた放射線測定”, JAEA-Research
2013-049(2013).
- 6) Y. Sanada et al., “Temporal variation of dose rate distribution around the Fukushima Daiichi
nuclear power station using unmanned helicopter”, *Appl. Radiat. Isot.*, 118, 308-316(2016).
- 7) 眞田幸尚, 他, “平成 26 年度福島第一原子力発電所周辺における航空機モニタリング(受託研
究)”, JAEA-Research 2015-006, (2015), <https://doi.org/10.11484/jaea-research-2015-006>.
- 8) 原子力規制庁,平成 27 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) 事業成果報告書, 無人ヘリによる東京電力福島
第一原子力発電所から 5km 圏内の空間線量率分布の測定 Appendix-1, 無人ヘリによる測定結
果の高精度化のための γ 線スペクトルから天然の放射性核種の影響を除去する方法の検討, pp.
48-52, <https://radioactivity.nsr.go.jp/ja/contents/12000/11995/29/part1-3.pdf>.
- 9) Chernobyl forum expert group 'environment', “Environmental consequences of the
Chernobyl accident and their remediation: twenty years of experience”, Report of the
Chernobyl forum expert group 'environment', International Atomic Energy Agency (IAEA),
Radiological assessment reports series, (2006).
- 10) ICRU, “Gamma-ray spectrometry in the environment”, International Commission on
Radiation Units and measurements (ICRU) report: 53 (1994).
- 11) N. Matsuda, et al., “Depth profiles of radioactive cesium in soil using a scraper plate over a
wide area surrounding the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant, Japan”, *J. Environ.
Radioact.*, 139, pp. 427-434(2015).
- 12) K. Saito and P. Jacob, “Fundamental data on environmental gamma-ray fields in the air due
to source in the ground”, JAERI-Data/Code 98-001, (1998).
- 13) 原子力規制庁,平成 29 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) 事業 成果報告書, 土壌中の放射性セシウムの深
度分布調査, https://radioactivity.nsr.go.jp/ja/contents/14000/13993/33/Part2-2_20181130.pdf.
- 14) 原子力規制庁,平成 28 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) 事業成果報告書,
https://radioactivity.nsr.go.jp/ja/contents/14000/13159/35/Part1-6_放射性セシウムの深度分

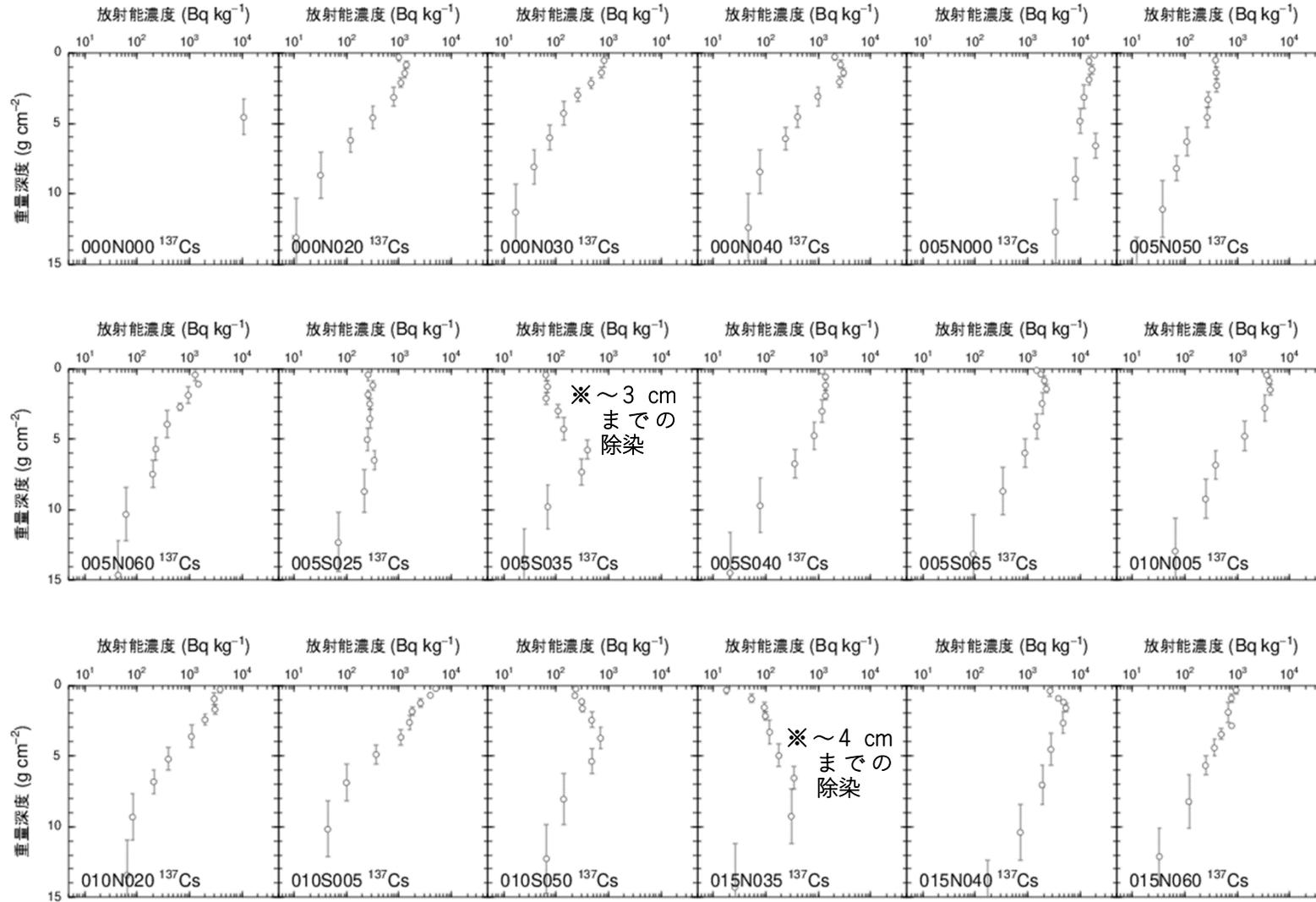
布調査.pdf.

- 15) 原子力規制委員会, “ゲルマニウム半導体検出器を用いた in-situ 測定法”, 放射能測定法シリーズ 33, (平成 29 年 3 月).
- 16) 斎藤公明, 遠藤章, “福島周辺における空間線量率の測定と評価 III 環境 γ 線の特徴と被ばく線量との関係”, RADIOISOTOPES, 63, 585-602(2014).
- 17) 福島県, 東京電力, 平成 22 年度原子力発電所周辺環境放射能測定結果報告書, <https://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/42296.pdf>.
- 18) 安藤真樹, 他, “KURAMA-II を用いた走行サーベイ測定による東日本での天然放射性核種の空間線量率評価”, 日本原子力学会和文論文誌, 16, 63-80 (2017).
- 19) 原子力規制庁, 総合モニタリング計画, <http://radioactivity.nsr.go.jp/ja/list/204/list-1.html>.
- 20) H. M. Wainwright, et al., “A multiscale Bayesian data integration approach for mapping air dose rates around the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant”, J. Environ. Radioact., 167, 62-69 (2017).
- 21) 原子力規制庁, 平成 28 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) 事業成果報告書, <https://radioactivity.nsr.go.jp/ja/contents/14000/13159/36/空間線量率の統合評価.pdf>.
- 22) 宇宙航空研究開発機構, 高解像度土地利用土地被覆図, https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/lulc/lulc_jindex.htm.
- 23) 福島県, 環境放射線モニタリング・メッシュ調査結果情報, <https://www.pref.fukushima.lg.jp/site/portal/ps-monitoring-mesh.html>
- 24) 原子力規制庁, 放射線モニタリング情報モニタリング結果, <https://radioactivity.nsr.go.jp/ja/list/512/list-1.html>.
- 25) 環境省, 東日本大震災の被災地における放射性物質関連の環境モニタリング調査: 公共用水域, http://www.env.go.jp/jishin/monitoring/results_r-pw.html.

Appendix-1 セシウム 137 の深度分布

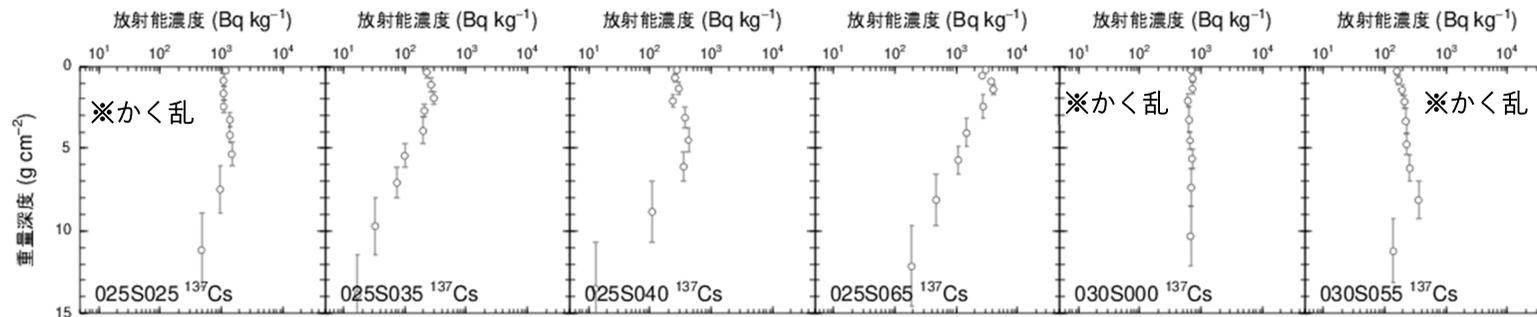
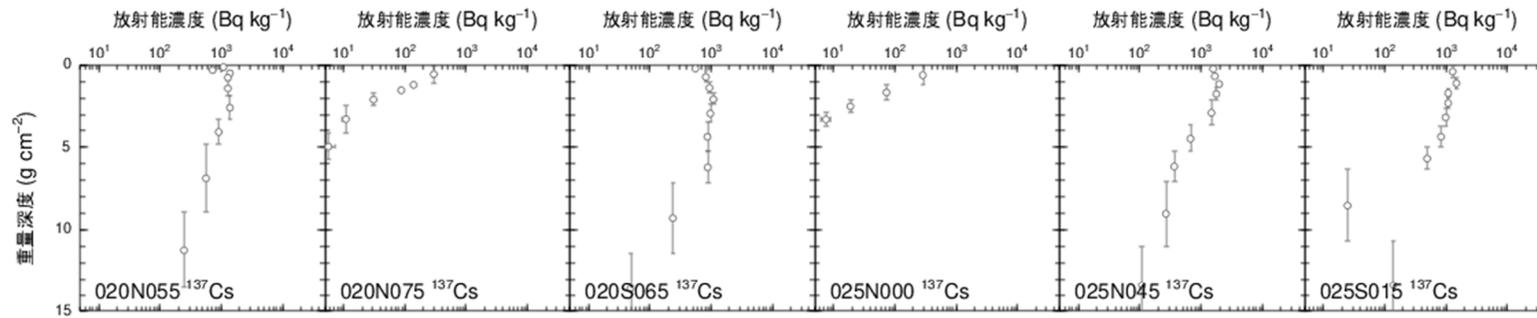
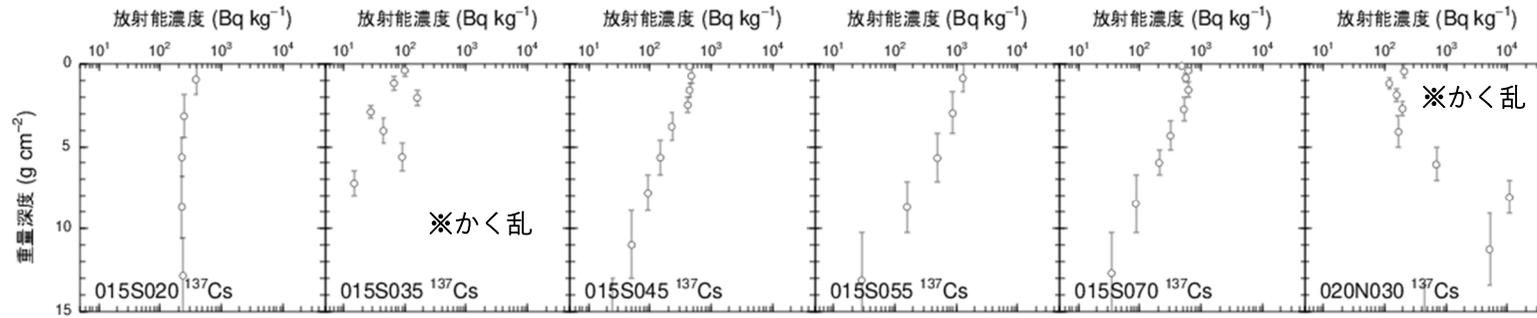
セシウム 137 の深度分布 (1/5)

※深度分布の変遷から読み取れる除染等の可能性



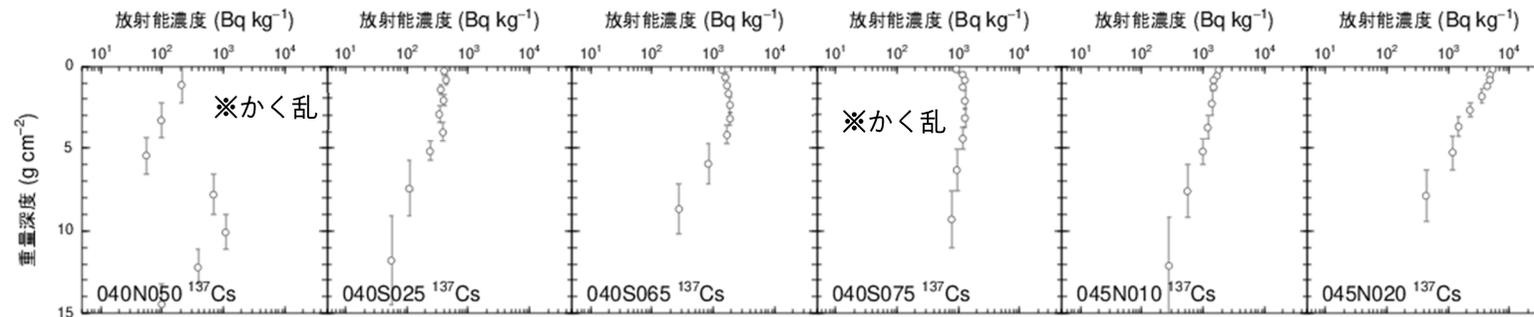
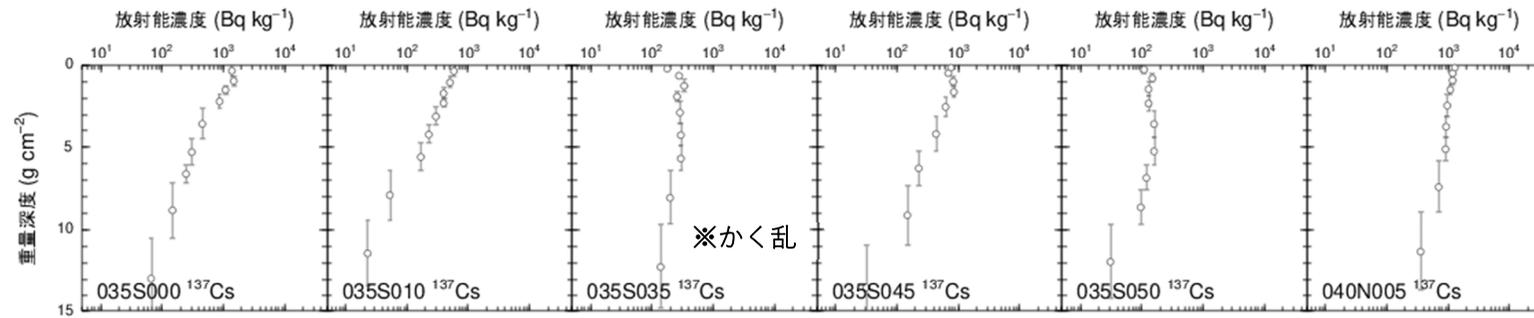
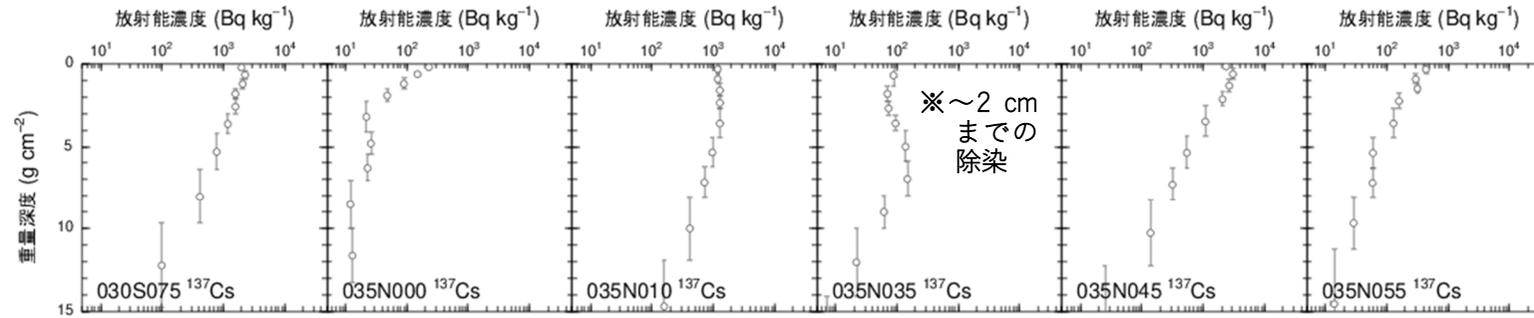
セシウム 137 の深度分布 (2/5)

※深度分布の変遷から読み取れる除染等の可能性



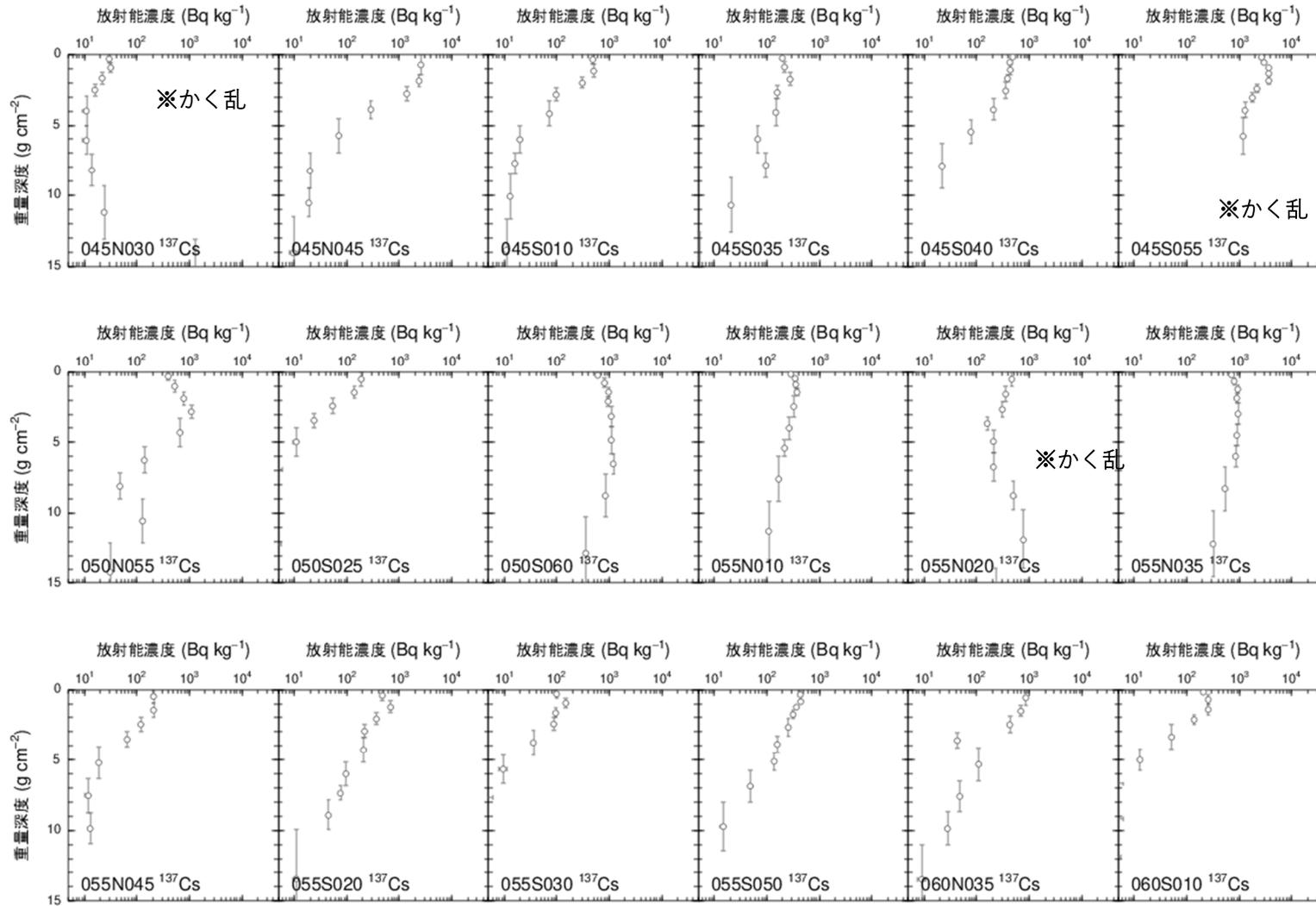
セシウム 137 の深度分布 (3/5)

※深度分布の変遷から読み取れる除染等の可能性



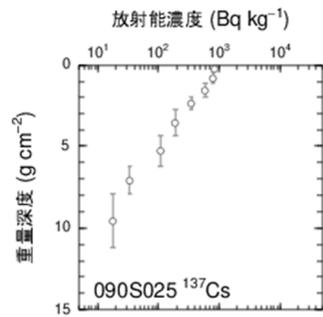
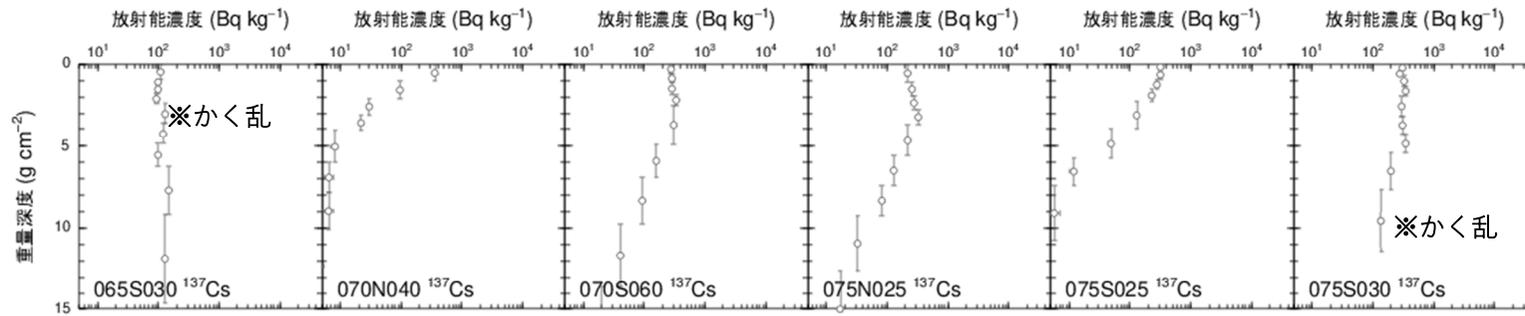
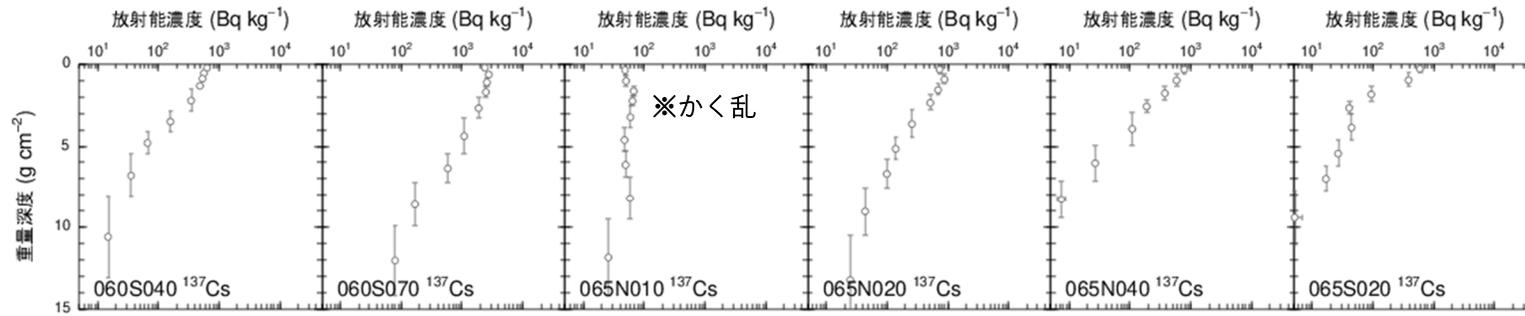
セシウム 137 の深度分布 (4/5)

※深度分布の変遷から読み取れる除染等の可能性



セシウム 137 の深度分布 (5/5)

※深度分布の変遷から読み取れる除染等の可能性



Appendix-2 陸域における放射性物質モニタリングの在り方について - 報告書 -

陸域における放射性物質モニタリングの在り方について

－ 報告書 －

令和2年3月

福島における環境放射線モニタリングに関する技術検討会

(陸域部会)

目次

1. はじめに	1
2. 総合モニタリング計画	1
3. 空間線量率モニタリングを取り巻く状況	2
3.1. 空間線量率の分布の状況	2
3.2. 空間線量率の経時変化	2
3.3. これまでの測定ポイントの設定方法	3
3.4. 最適化の方向性	3
4. モニタリング代表性の高い場所を選定するための評価方法案	3
4.1. 地域スコア化手法	3
4.2. スコア評価例	4
4.3. スコア法と既存のモニタリングポストの配置との整合性の確認	5
5. 評価結果のまとめと留意事項	5
参考文献	7

1. はじめに

2011年（平成23年）3月11日の東北地方太平洋沖地震により大きな地震動と津波が発生した。この影響により東京電力ホールディングス株式会社（以下「東京電力」という。）の福島第一原子力発電所事故が起これ、発電所から周辺環境中に放射性物質が放出された。

事故後のモニタリングは陸域と海域に分けられるが、このうち陸域については福島県を中心に、空間線量率、放射性セシウム沈着量及び空气中放射性物質濃度等のモニタリングが関係機関により、継続的に実施されており、陸域環境中での放射性物質の分布状況は概ね明らかとなりつつある。特に、空間線量率のモニタリングについては、複数の手法で輻輳的にモニタリングが実施されている。事故から8年目を迎えた現在、事故由来の空間線量率は着実に減少していることから、効率的かつ効果的な陸域モニタリングの在り方について改めて検討する時期に差し掛かっているといえる。

政府は2015年（平成27年）度から東日本大震災後10年となる2020年（令和2年）度までを「復興・創生期間」と位置付けており、様々な復興のための事業、財源の見直し及び復興事業の整理を実施するとしている。そのような状況の中、放射性物質のモニタリングについてもこれまでの総括及び長期的視野に立って2021年（令和3年）度以降も継続すべき環境放射線モニタリングの計画策定が求められている。

以上の状況を受け、政府の放射線モニタリングを総括する原子力規制庁監視情報課は、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構に陸域の空間線量率等の分布測定と統合的解析を委託してきたところであり、データの信頼性・妥当性の評価のため、同機構の開催する「福島における環境放射線モニタリングに関する技術検討会」において環境放射線モニタリングの在り方について検討を進めてきた。本報告書では、2019年（令和元年）度に開催した5回の検討会の中で得られた検討結果のうち、陸域における空間線量率のモニタリングについて取りまとめたものである。

2. 総合モニタリング計画

総合モニタリング計画は、2011年（平成23年）8月2日に政府が原子力災害対策本部の下にモニタリング調整会議を設置し策定したもので、この計画に基づき、関係府省、地方公共団体、原子力事業者等が連携してモニタリングを実施することとなっている。計画はおよそ1年毎に見直されており、最新は2019年（平成31年）2月1日に改定されたものである。モニタリング計画には、モニタリングの目的として、下記の内容が示されている。

- ① 人が居住している地域や場所を中心とした放射線量、放射性物質の分布状況の中長期的な把握
- ② 現在の周辺住民の被ばく（外部被ばく及び内部被ばく）線量及び今後予想される被ばく線量の推定
- ③ さまざまな被ばく状況に応じた、被ばく線量を低減させるために講じる除染をはじめ

とする方策の検討立案・評価

- ④ 将来の被ばくを可能な限り現実的に予測することによる、避難区域の変更・見直しに係る検討及び判断
- ⑤ 住民の健康管理や健康影響評価等の基礎資料の蓄積
- ⑥ 環境中に放出された放射性物質の拡散、沈着、移動・移行の状況の把握

ここで示されたそれぞれの目的は、環境モニタリングを実施する上での基本的な目標というべきものであり、総合モニタリング計画において計画されているすべてのモニタリングはこの目的の下実施されている。

3. 空間線量率モニタリングを取り巻く状況

3.1. 空間線量率の分布の状況

これまで、多くの政府機関、研究機関、関係自治体等により継続的に空間線量率のモニタリングが行われてきた結果、空間線量率の分布状況等については、概ね明らかになりつつある。図1に2017年度（平成29年）に取得された空間線量率の測定結果について、福島県及び福島第一原子力発電所から80 km圏内を1 kmメッシュに区切り、メッシュ内の最大値を抽出した結果を示す。抽出した数値については、メッシュごとに測定の点数にばらつきがあること及び空間線量率の数値から被ばく線量への換算時に過小評価となることを避けるため最大値を採用した。なお、年間に取得された結果について半減期補正等は実施していない。表1に、本図に使用したモニタリングの情報を一覧として示す¹⁾⁻⁸⁾。空間線量率の分布は、福島第一原子力発電所から北西方向に比較的高い地域が広がっている。また、福島市や郡山市のある中通り地域の空間線量率は、2017年（平成29年）時点で高くても $1 \mu\text{Sv h}^{-1}$ 程度となっている。会津地方については、事故の影響は小さかった。なお、新潟県との県境の山地には ^{40}K 等の天然の放射線が高い地域があることが知られている⁹⁾。

3.2. 空間線量率の経時変化

これまでに蓄積された測定結果については、測定場所や測定手法毎に実効半減期や環境半減期として変化傾向の定量的な評価が行われている（Saito et al, 2019¹⁰⁾）。変化傾向は、放射性セシウムの物理的半減期を考慮した減衰曲線よりも早い速度で減少しており、その要因は土壌への浸透による放射線の遮蔽や舗装上では雨水などによる洗い流しの効果が挙げられる。図2に、福島第一原子力発電所から80 km圏内における最新の航空機サーベイ、走行サーベイ、歩行サーベイ及びサーベイメータを用いた定点サーベイについて同じ場所で開催されてきた測定結果の変化傾向の測定例を示す。本図では、福島第一原子力発電所から半径80 kmの範囲の地域を1 kmメッシュに区切り、上記のすべての測定が継続的に行われているメッシュ内のデータの平均値を測定時期ごとにプロットしている。平均値を線でつないでスムージングしてある。本測定例のように、すべての測定手法については減少傾向が確認でき、2019年（平成31年）時点で事故直後から比較すると10%~30%程度になっ

ている。一方、減少速度は手法毎に異なり、エリアの平均値が測定される航空機サーベイと比較すると、地上測定、特に走行サーベイの減少速度が速いことが分かる。これは、測定対象が舗装されているかどうか等の違いによると考察される。

3.3. これまでの測定ポイントの設定方法

総合モニタリング計画における空間線量率の測定ポイントについては、空間的な評価を考慮して系統的に決定したもののほか、科学的な分析によらず、別の観点から測定ポイントを決めたのではないかと考えられるものも散見される。また、採取ポイントの選定に関する基準を明示したものは見当たらないものの、現状の測定ポイントを見ると、生活圏に近い場所が重点的に選定されていることが分かる。図 3 に福島市と富岡町における空間線量率の測定状況を示す。本データには、表 1 で示した情報の他、市町村が独自に測定して公開しているデータを含めている^{11,12)}。別添表で本事業期間内に収集できた市町村が独自に測定・公開しているデータについて示す。本データは、位置情報や測定結果を同一フォーマットに改訂し、データベース化を図っている。

3.4. 最適化の方向性

事故から 8 年が経過した現在、事故後に測定ポイントを選定した状況から空間線量率は顕著に減少している。この状況を踏まえ、これまでに得られたモニタリングの結果を元に今後の測定ポイントの重点化・最適化について検討することが一般的と考えられる。ただし、空間線量率の測定の目的は「住民の安全・安心のための基礎データ」という一面もあり、モニタリングデータの科学的な評価結果だけでは測定ポイントの重点化・最適化に対して住民から適切な理解が得られない可能性があることに留意が必要である。

国（政府）が行うモニタリングにおいては、代表性の高い地域を重点的にかつ不足がないように計画されなければならない。空間線量率のモニタリングに関しては、被ばく評価に直接かかわるため、空間線量率が比較的高い場所だけでなく、人口密度や住民が多く集まる場所等が代表性の高い場所となる。次章以降、「モニタリングの代表性」をキーワードにし、そのために必要なパラメータの設定例について示す。

4. モニタリング代表性の高い場所を選定するための評価方法案

4.1. 地域スコア化手法

モニタリングポイントの選定には、住民などのステークホルダーとの共通理解の醸成が必要である。ここでは、そのための基礎資料として、地域の特徴を加味し、相対的に代表性について議論するベースとなるスコア化による評価手法について検討例を示す。また、スコアに使用するパラメータや数値の重みづけ方法について委員会で検討した結果を紹介する。

スコア化とは、医療分野の疫学研究などで用いられる「傾向スコア」の考え方に代表されるように、まったく単位の異なる関連する数値情報を相互比較するために数値集団ごとに

一定の評価値（スコア）を与える手法と定義する。ここでは、地域の代表性を相互比較するため、空間線量率や人口密度などの性質が異なる情報を統合する方法を検討した。

4.2. スコア評価例

評価の対象範囲としては、福島県及び福島第一原子力発電所から 80 km 圏内とした。対象範囲を図 1 に示した政府の統計で利用される基準地域メッシュ（1 km メッシュ）に区切った（全 15,646 メッシュ）。スコアのパラメータ例として以下の項目を選定した。

- ① 空間線量率: 図 1 で作成したメッシュ内の最大空間線量率
- ② 事故前の人口密度: 2010 (平成 22 年) 年度の国勢調査結果¹³⁾
- ③ 避難指示区域: 2019 年 (平成 31 年) 11 月における避難指示区域
- ④ ランドマーク: 震災後におけるランドマークの個数

* ランドマーク: 幼稚園/児童館/保育所/小学校/中学校/高等学校/高等専門学校/短期大学/大学/ 特別支援学校/市町村役場/公的集会施設/医療機関/駅/保護施設/身体障害者更生援護施設/知的障害者援護施設/精神障害者社会復帰施設/商業施設 (売り場面積 500 m²以上) : データの詳細参照先については表 2 に示す。

①-④の情報に対し、設定したスコアについて表 3 に示す。スコアは、順位により 0-5 までの 6 段階でパラメータ毎に付与した。空間線量率については、全体の分布傾向を考慮するとともに、0.23 $\mu\text{Sv h}^{-1}$ (追加被ばく線量年間 1 mSv y^{-1} 相当*) 付近を中央の階級とした。図 4 に全体の空間線量率の分布傾向と閾値について示す。人口密度については、全体の分布傾向を考慮し、100 人 km^2 付近を中央の階級とした。図 5 に全体の人口密度の分布傾向と閾値について示す。避難指示区域については、該当する場所をスコア 5 とし、避難指示区域以外の場所はスコア 0 とした。ランドマークについては、メッシュ内に 1 箇所でもあれば 3 以上、5 箇所以上でスコア 4 及び 10 箇所以上でスコア 5 とした。

評価したスコアのマップを図 6-9 に示す。図 6 には、①空間線量率のスコアマップを図 7 には①+②の空間線量率及び事故前の人口密度を合計したスコアマップを、図 8 には①+②+③空間線量率、事故前の人口密度及び避難指示区域を合計したスコアマップを示している。さらに、4つのパラメータによるスコアを合計した結果について図 9 に示す。図 9 を見ると、17 以上のスコアを示した場所は、避難指示区域となっている大熊町、双葉町や富岡町となっている。スコア 13-16 を示した地点は、大熊町、双葉町や富岡町の中心部周辺や比較的空間線量率は低い人口の多い中通り地域の福島市や郡山市の市街地となっている

* 1日のうち屋外に 8 時間、屋内（遮蔽効果 0.4 倍の木造家屋）に 16 時間滞在する生活を想定した追加被ばく線量 $0.19 \mu\text{Sv/h} \times (8 \text{ 時間} + 0.4 \times 16 \text{ 時間}) \times 365 \text{ 日} = \text{年間 } 1 \text{ mSv}$ に、バックグラウンドからの $0.04 \mu\text{Sv/h}$ を加えて $0.23 \mu\text{Sv/h}$ 。（環境省 平成 23 年 10 月 10 日災害廃棄物安全評価検討会・環境回復検討会 第 1 回合同検討会 資料参照¹⁴⁾

4.3. スコア法と既存のモニタリングポストの配置との整合性の確認

既存の3,717か所のモニタリングポストの位置（2017年（平成29年）現在）と図9に示したスコアの整合性について確認した。モニタリングポストの設置の有無で区分した、スコア値ごとのエリア数分布を図10に示す。このように、スコア値の高い場所には、モニタリングポストの設置割合が高く、スコア値が小さくなるほどにモニタリングポストの設置されていないエリアの割合が高くなる傾向にあることが分かる。これは、評価したスコア値と既存のモニタリングポストの設置位置が概ね整合的であることを示している。また、さらなる最適化・重点化には、低スコアの場所に設置されているモニタリングポストをより高スコアで既存のモニタリングポストが設置されていない場所への移動が検討できることを示している。

このように、モニタリングポイントの選定根拠の補完情報として、このようなスコア化手法を適用することにより、より戦略性のある配置の実現が可能となることが示唆される。

5. 評価結果のまとめと留意事項

本検討では、現在実施されている空間線量率の測定の状況を整理するとともに、測定に際しエリアの代表性を評価する方法案を提示した。事故から8年経過し、政府機関、研究機関、関係自治体により陸域のモニタリングが実施されたことにより、大量のデータが蓄積されている。現状の空間線量率の測定は、ヘリコプターを用いた航空機モニタリングや車両を用いた走行サーベイ等様々な手法が採用されているが、手法の特徴を加味して、それぞれの地域に適材適所で適用するモニタリング手法を選定すべきと考える。空間線量率の数値は、避難指示区域を除いて、全体としては低い水準であることが確認されている。このような状況を踏まえると、4章で示したような、評価手法を元に測定頻度とポイント数と配置の見直しを行うことは有効と考えられる。本検討会では、以下のモニタリングの変更方針を提言する。

今後の陸域における空間線量率モニタリングの計画策定に当たっては、データの連続性や科学的根拠に立脚した上で、空間線量率の数値に加えて、現存被ばく状況における一般住民の被ばく線量を長期的に把握するため、人口密度や避難指示区域及び学校などの人が集まりやすい施設の位置などを相対的に比較し、地点の代表性を考慮すべきである。

このような、測定ポイントを選定する基礎となる評価は空間線量率だけでなく土壌中の放射性物質濃度などの測定対象ごとに継続的に検討すべきであると考えられる。また、各測定ポイントの分布状況について整理・評価した際、近傍に同スコアに分類されるポイントが存在する測定ポイントが複数確認された。これらの測定ポイントについては、相互の過去のデー

データを比較し線量の水準が同一レベルであれば、実施機関間で十分な調整を行った上で、測定ポイントの集約による効率化を検討することが考えられる。

4章で例を示した手法では、1 km メッシュ内の最大値をパラメータとして設定した。住民の被ばく評価に資するという観点で、空間線量率から被ばく線量を評価することを想定すると、場所による空間線量率の分布のばらつきが大きい場所ほどきめ細かいモニタリングを必要とする。図 11 に図 3 に示した測定データを 1 km メッシュごとにまとめ、メッシュ内のデータの変動係数（標準偏差/平均値）を計算し、ヒストグラムにした例を示す。既存の測定結果を元に、メッシュ内の空間線量率の変動を相互比較することができるようになり、スコア法のパラメータに加えることにより、より地域の空間線量率モニタリングの代表性を表現できると考えられる。しかしながら、既存のモニタリングポイントの密度が一定でないので評価時には注意が必要である。

また、近年、統計学的手法を用いた測定地点の最適化に関する研究が行われている。Araki らは、PM 2.5 等の大気汚染物質の測定局の最適化について内挿法の一つである Kriging と大気拡散計算を組み合わせ、検討する手法を提案している¹⁷⁾。また、米国の LBNL (Lawrence Berkeley National Laboratory) は、福島における放射線モニタリング結果に対して、ベイズ統計をベースとした測定点の最適化手法を提案している¹⁸⁾。これらの手法は研究段階にあり、手法の最適化や精度評価が必要と考えられるが、客観的なモニタリング位置の最適化を実現できる可能性があり、今後とも研究の進捗を注視する必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 原子力規制庁 HP, 東京電力福島第一原子力発電所周辺の航空機モニタリング, https://radioactivity.nsr.go.jp/ja/contents/13000/12701/24/170213_11th_air.pdf (2020年2月14日閲覧)
- 2) 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構, 放射性物質モニタリングデータの情報公開サイト, 放射性物質の分布状況等調査による走行サーベイ(KURAMA), <https://emdb.jaea.go.jp/emdb/portals/b1010202/>(2020年2月14日閲覧)
- 3) 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構, 放射性物質モニタリングデータの情報公開サイト, 放射性物質の分布状況等調査による空間線量率測定, <https://emdb.jaea.go.jp/emdb/portals/b1010116/>(2020年2月14日閲覧)
- 4) 原子力規制庁 HP, 平成29年度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報告書, https://radioactivity.nsr.go.jp/ja/contents/14000/13993/28/Part1-2_20181130.pdf (2020年2月14日閲覧)
- 5) 原子力規制庁 HP, 東京電力株式会社福島第一原子力発電所の20km以遠の空間線量率の測定結果(2017年11月), <https://radioactivity.nsr.go.jp/ja/list/207/list-201711.html> (2020年2月14日閲覧)
- 6) 福島県 HP, 環境放射線モニタリング・メッシュ調査結果情報, <https://www.pref.fukushima.lg.jp/site/portal/ps-mesh-10.html> (2020年2月14日閲覧)
- 7) 福島県 HP, 平成29年度森林におけるモニタリング調査結果について <https://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/267364.pdf> (2020年2月14日閲覧)
- 8) 福島県 HP, 福島県環境放射線モニタリング調査(観光地第13回)結果, <https://www.pref.fukushima.lg.jp/site/portal/ps-kankouti-13.html>, (2020年2月14日閲覧)
- 9) 動力炉・核燃料開発事業団, 日本のウラン資源, PNCTN7420 94-006, 391 pages, 1994.
- 10) Saito, K. et al., Summary of temporal changes in air dose rates and radionuclide deposition densities in the 80 km zone over five years after the Fukushima Nuclear Power Plant accident., J. Environ. Radioact., 210, 105878, 2019.
- 11) 福島市 HP, 全市放射線量測定マップ, <http://www.city.fukushima.fukushima.jp/kankyo-houshasen/bosai/bosaikiki/shinsai/hoshano/sokute/shinai/sokute/documents/map17040385000a2a4.pdf> (2020年2月14日閲覧)
- 12) 富岡町 HP, 町内の放射線量調査(町内142ヶ所の定点測定), [7](https://tomioka-</div><div data-bbox=)

radiation.jp/air-dose/kukan.html (2020年2月14日閲覧)

- 13) 総務省統計局 HP, 平成22年国勢調査, <http://www.stat.go.jp/data/kokusei/2010/> (2020年2月14日閲覧)
- 14) 環境省, 追加被ばく線量年間1ミリシーベルトの考え方, 平成23年10月10日災害廃棄物安全評価検討会・環境回復検討会 第1回合同検討会 資料, http://www.env.go.jp/press/file_view.php?serial=18437&hou_id=14327, (2020年2月14日閲覧)
- 15) 国土交通省 HP, 国土数値情報ダウンロードサービス, <http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/> (2020年2月14日閲覧)
- 16) 経済産業省 HP, 経済産業省平成26年商業統計メッシュデータ, <https://www.meti.go.jp/statistics/tyo/syougyo/mesh/download.html#1km> (2020年2月14日閲覧)
- 17) Araki, S. et al., Optimization of air monitoring networks using chemical transport model and search algorithm, *Atom. Environ.*, 122, 22-30, 2015.
- 18) Wainwright, H., M. et al., Modeling, Monitoring and Data Integration Support for Environmental Restoration of the Fukushima Area. FY18 Annual Report on JAEA-LBNL Collaboration, 2018.

表1 図1作成に使用したモニタリング情報一覧

事業名	事業主体	引用先
福島県及びその近隣県における航空機モニタリングの測定結果について	原子力規制庁	1)
放射性物質の分布状況等調査による走行サーベイ(KURAMA)	原子力規制庁	2)
放射性物質の分布状況等調査による空間線量率測定	原子力規制庁	3)
歩行サーベイによる生活経路における空間線量率の測定	原子力規制庁	4)
東京電力株式会社福島第一原子力発電所の20km以遠の空間線量率の測定結果	原子力規制庁	5)
環境放射線モニタリング・メッシュ調査結果情報	福島県	6)
平成29年度森林におけるモニタリング調査結果について	福島県	7)
福島県環境放射線モニタリング調査(観光地第13回)結果	福島県	8)

表2 ランドマークの情報一覧

データ項目	年度	引用先	引用先
幼稚園/児童館/保育所	平成18年	国土数値情報 公共施設データ	15)
小学校/中学校/高等学校 高等専門学校/短期大学 大学/ 特別支援学校	平成25年	国土数値情報 学校データ	15)
市町村役場	平成26年	国土数値情報 市区町村役場データ	15)
公的集会施設	平成22年	国土数値情報 市町村役場等及び公的集会施設データ	15)
医療機関	平成26年	国土数値情報 医療機関データ	15)
駅	平成29年	国土数値情報 鉄道時系列データ	15)
保護施設/身体障害者更生援護施設/ 知的障害者援護施設/ 精神障害者社会復帰施設/その他	平成18年	国土数値情報 公共施設データ	15)
商業施設	平成26年	経済産業省 平成26年商業統計メッシュデータ	16)

表3 スコア付与例

パラメータ	スコア					
	5	4	3	2	1	0
① 空間線量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	> 0.4 (1位-1600位)	0.4 - 0.26 (1601位-3200位)	0.26 - 0.18 (3201位-4800位)	0.18 - 0.15 (4801位-6637位)	< 0.15 (6638位-15428位)	測定情報が無い (216か所)
② 人口密度	> 294人 (1位-1601位)	294 - 129人 (1602位-3213位)	129 - 57人 (3214位-4804位)	57 - 19人 (4805位-6438位)	< 19人 (6439位-7418位)	0 (8227か所)
③ 避難指示区域	避難指示区域	-	-	-	-	避難指示区域以外
④ ランドマーク	> 10か所 (1位-29位)	9-5か所 (30位-234位)	4-1か所 (235位-2280位)	-	-	ランドマークなし

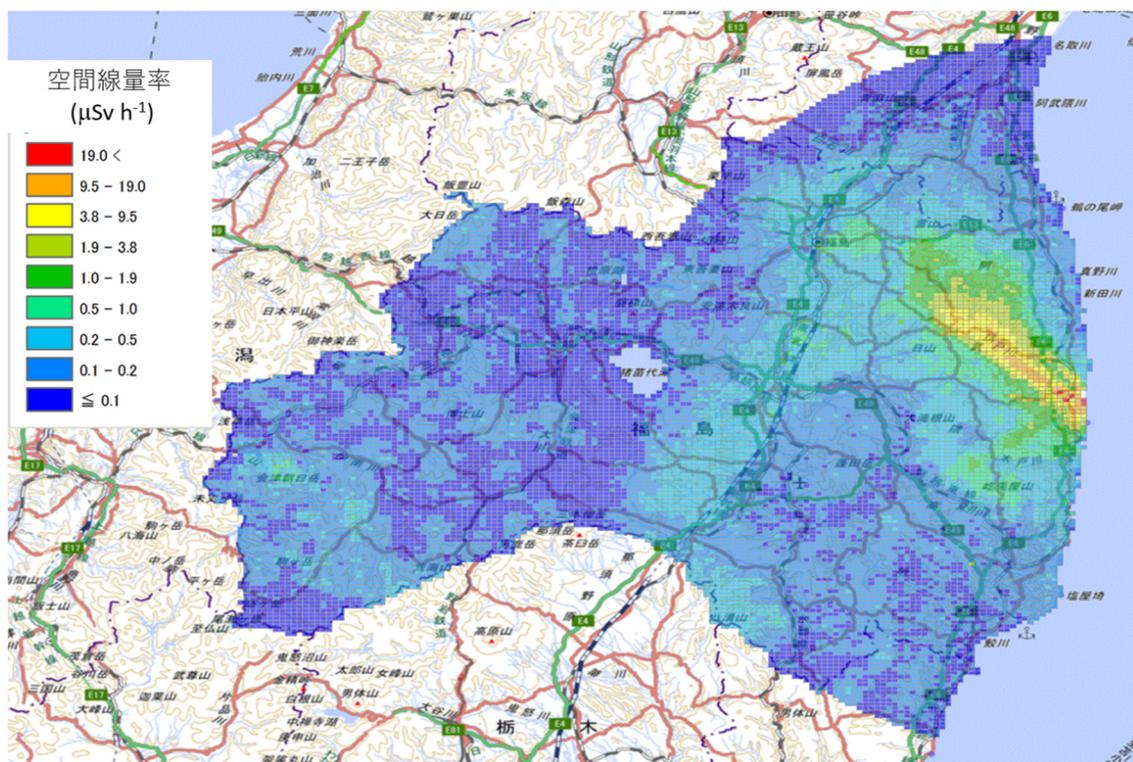


図1 メッシュ内の最大空間線量率マップ (2017年度に測定された数値の最大値)

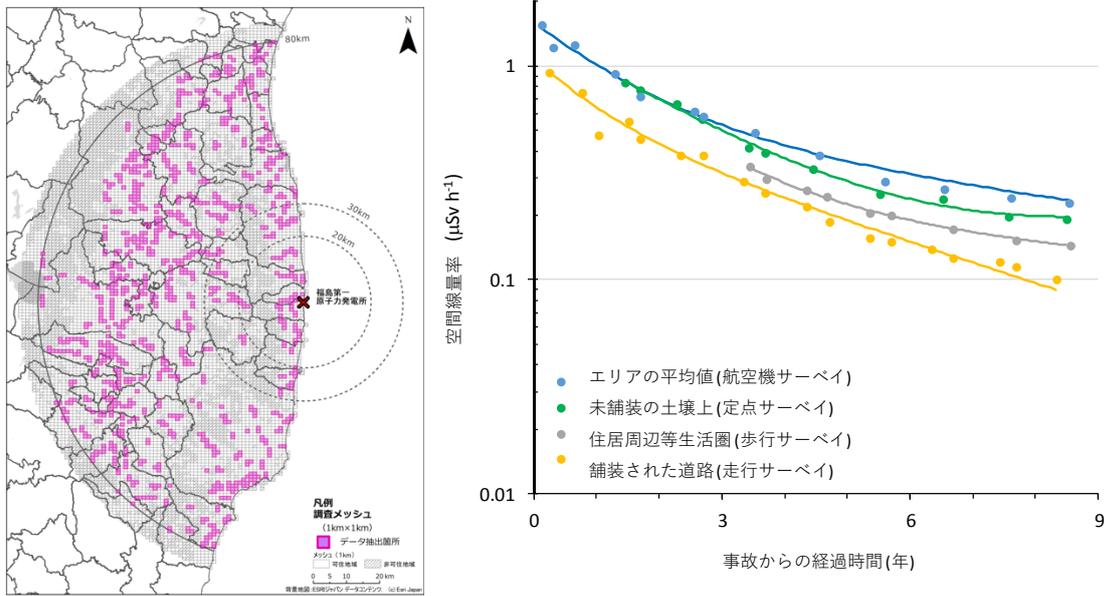


図2 データの取得位置と測定手法毎の空間線量率の変化傾向
(過去の規制庁事業において同地点で測定データの得られている1,000メッシュの平均値)

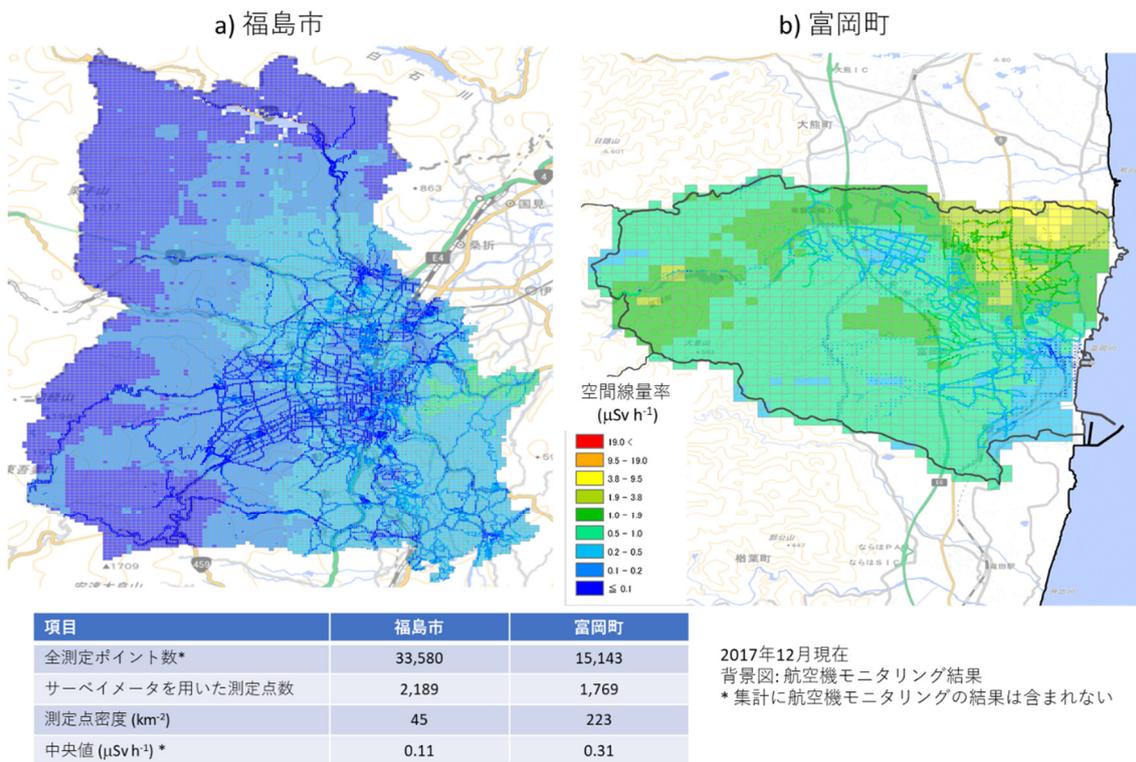


図3 福島市及び富岡町における空間線量率の測定状況

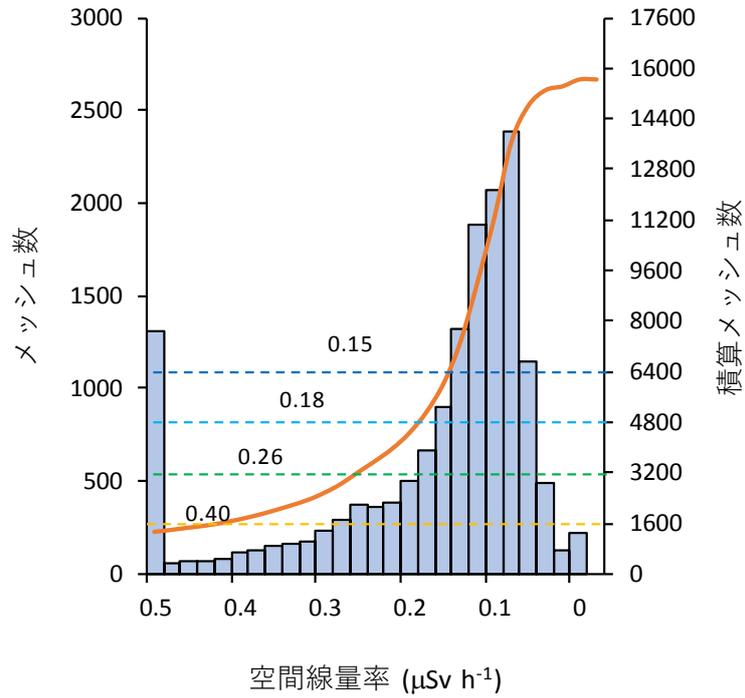


図4 空間線量率の分布傾向とスコア化のための閾値

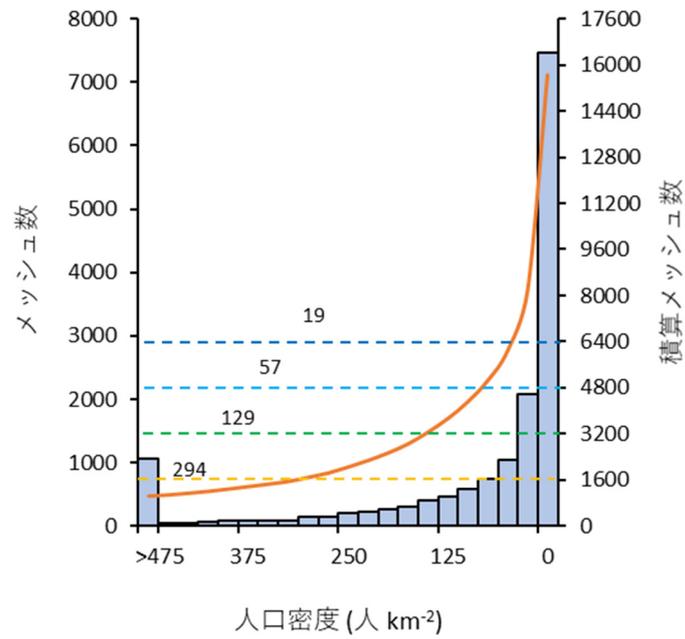


図5 人口密度の分布傾向とスコア化のための閾値

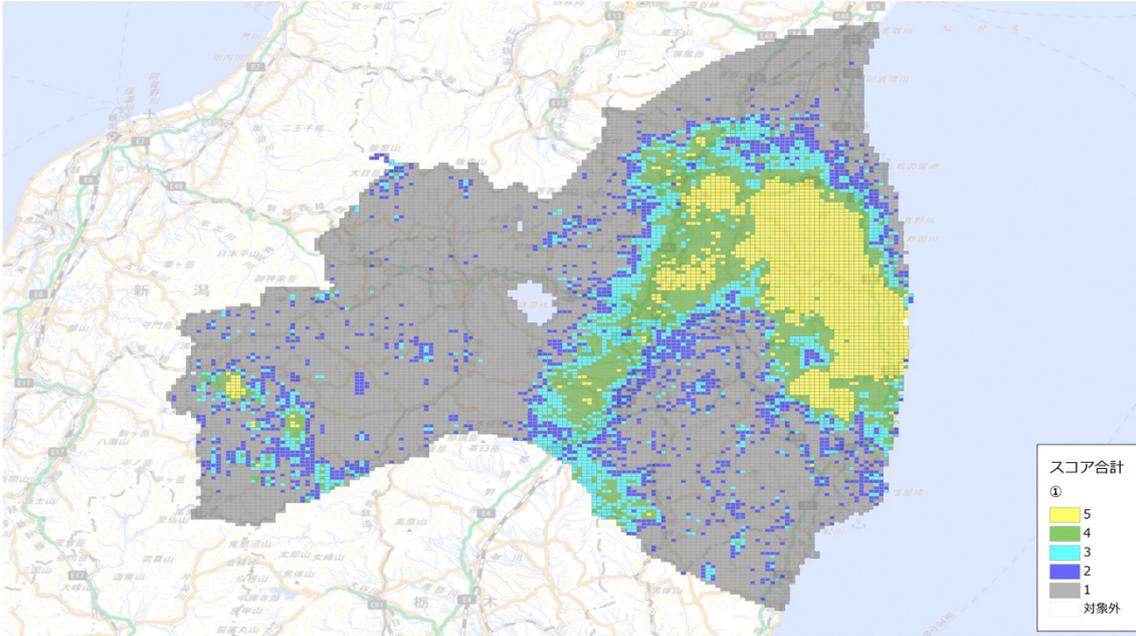


図 6 2017 年度に測定された空間線量率のスコアマップ

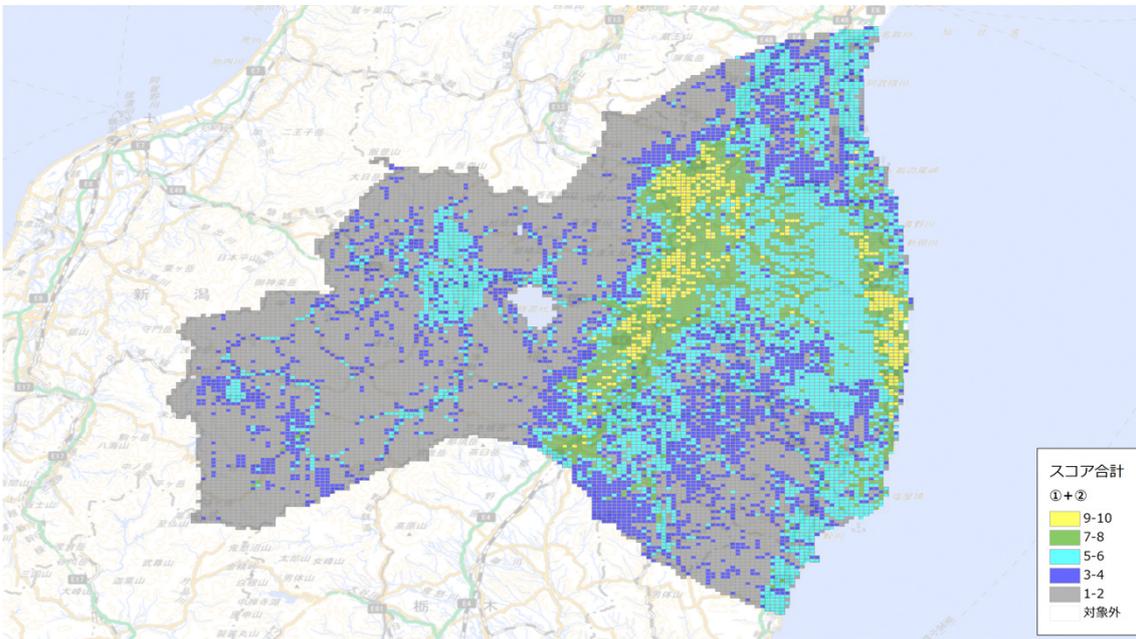


図 7 2017 年時点における空間線量率及び事故前の人口密度を合計したスコアマップ

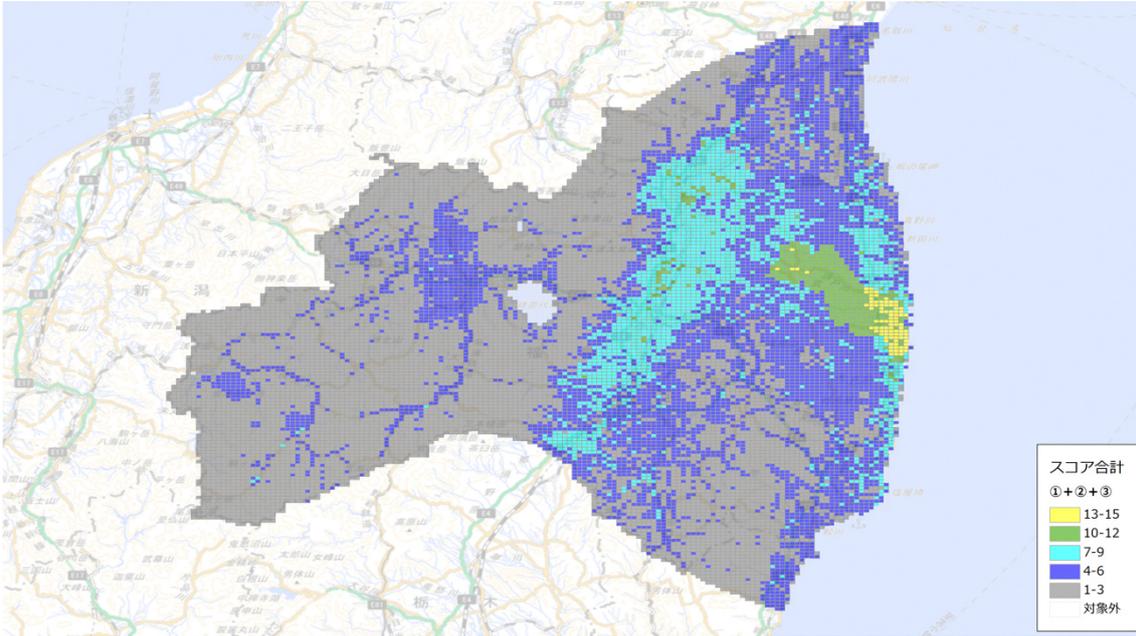


図 8 2017 年時点における空間線量率、事故前の人口密度及び避難指示区域を合計したスコアマップ

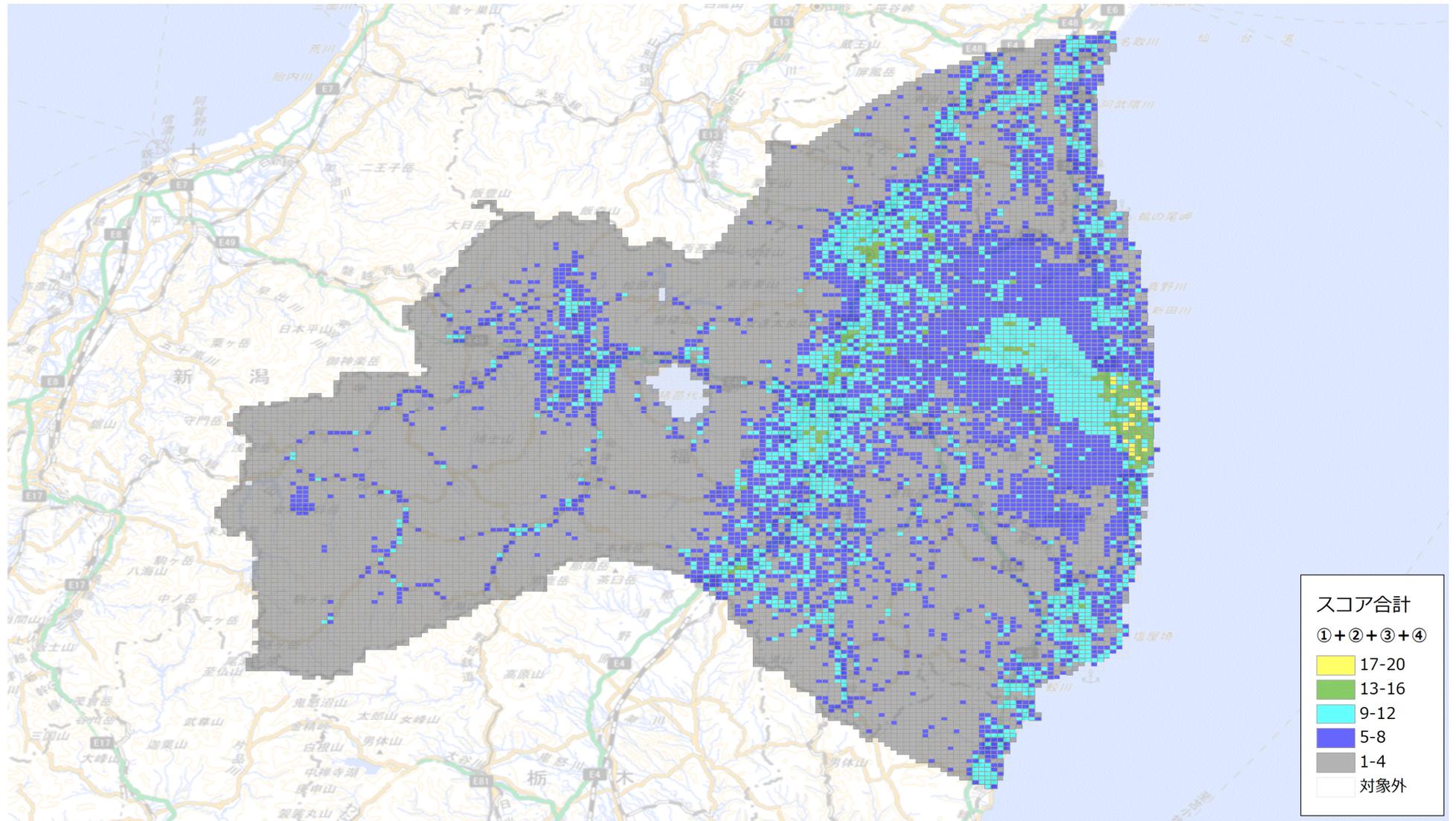


図9 2017年時点における空間線量率、事故前の人口密度、避難指示区域及びランドマークを合計したスコアマップ

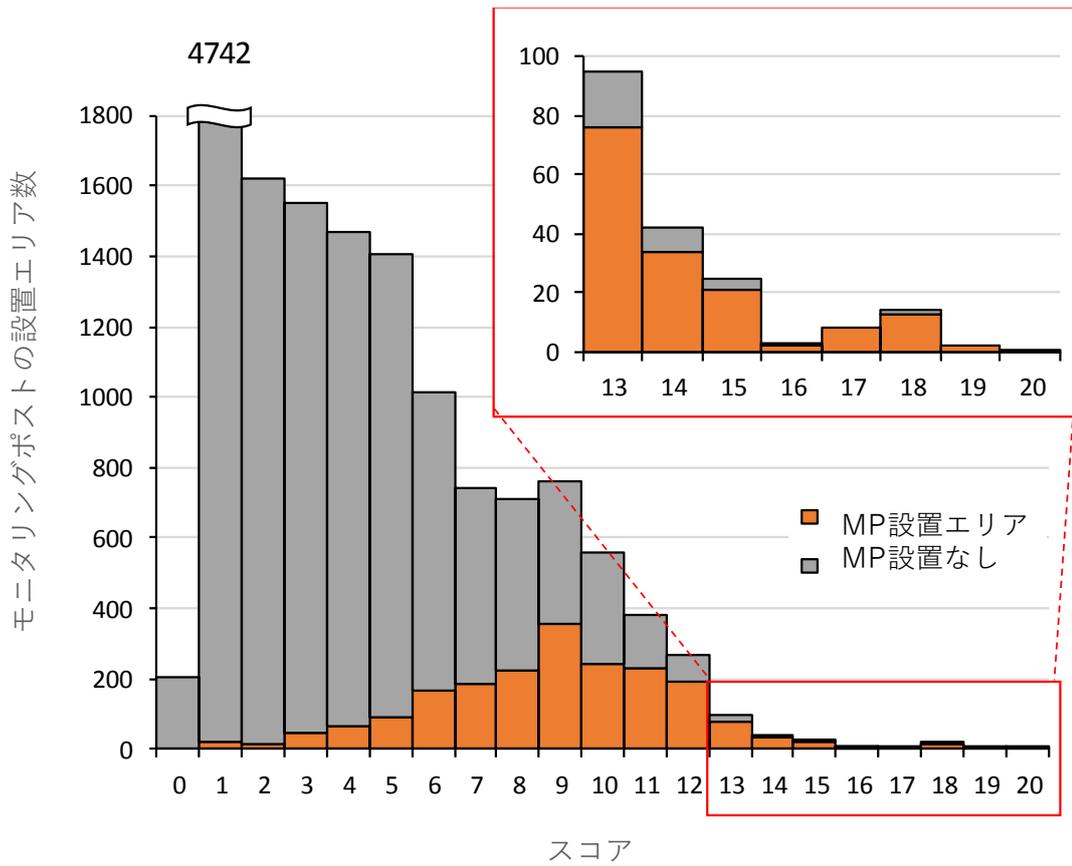


図 10 既存のモニタリングポストの設置位置とスコア値の関係

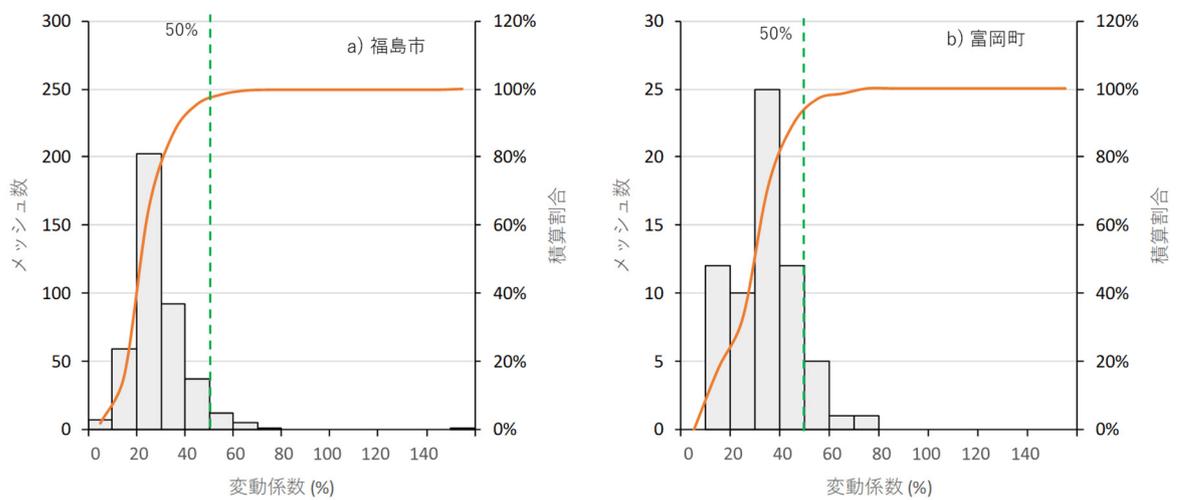


図 11 1 km メッシュごとの変動係数の分布 (図 3 でまとめた測定結果)

福島における環境放射線モニタリングに関する技術検討会委員名簿

No.	役職	名前	所属	専門	主たる 担当事業*
1	委員長	百島 則幸	一般財団法人九州環境管理協会 理事長 国立大学法人九州大学 名誉教授	環境放射能、 環境動態解 析	マップ事業及 び 海域事業
2	委員長 代理 (海洋部 会長)	久松 俊一	公益財団法人環境科学技術研究所 常務理事	環境影響評 価	マップ事業及 び 海域事業
3	委員	酒井 広行	福島県 危機管理部 放射線監視室 室長	福島県、環境 安全	マップ事業
4	委員	高橋 知之	国立大学法人京都大学複合原子力科学研究所 原子力基礎工学研究部門 准教授	環境影響解 析、陸域物質 移行モデル	マップ事業
5	委員	吉田 浩子	国立大学法人東北大学大学院 薬学研究科 ラジオアイソトープ研究教育センター 准教 授	放射線計測、 放射線防護	マップ事業
6	委員	浦 環	株式会社ディー・プリッジ・テク 取締役社 長 国立大学法人東京大学 名誉教授	海中ロボッ ト、放射性核 種曳航調査	海域事業
7	委員	乙坂 重嘉	国立大学法人東京大学 大気海洋研究所 准 教授	環境放射能、 環境動態解 析	海域事業
8	委員	津旨 大輔	一般財団法人電力中央研究所 環境科学研究 所 上席研究員	海洋環境工 学、環境動態 解析	海域事業
9	委員	森田 貴己	国立研究開発法人水産研究・教育機構 中央 水産研究所 グループ長	海洋生物学、 環境放射能	海域事業

敬称略、委員は事業別に 50 音順（太字は陸域部会委員）

*: マップ事業及び海域事業とは、それぞれ「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「福島県近沿岸海域等における放射性物質等の状況調査」を意味する。

（事務局）

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

福島研究開発部門 福島研究開発拠点 福島環境安全センター 眞田幸尚

安全研究・防災支援部門 原子力緊急時支援・研修センター 三上智

検討会の開催状況

○第1回 令和元年6月11日(火)

[議題]

1. 「福島における環境放射線モニタリングに関する技術検討会」の開催について
2. 総合モニタリング計画における陸域調査地点の現状と見直しについて
3. 「平成31年度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」事業について
4. 総合モニタリング計画「海域モニタリングの進め方」の現状と見直しについて
5. 「福島県近沿岸海域等における放射性物質等の状況調査」事業について

○第4回 令和2年1月10日(金)

[議題]

1. 総合モニタリング計画「総合モニタリング計画における陸域調査地点の現状と見直しについて」の現状と見直しについて
2. その他

別添表 市町村データ一覧 (1/2)

No.	市区町村名	担当課・室・係名	データの 有無	公開データURL
1	いわき市	除染対策課	○	http://www.city.iwaki.lg.jp/www/contents/1001000004186/index.html
		原子力対策課		
2	相馬市	放射能対策室	○	https://www.city.soma.fukushima.jp/kenko_fukushi/hoshasennkansurujo/ho/index.html
3	南相馬市	市民生活部 生活環境課 環境保全係	○	https://www.city.minamisoma.lg.jp/portal/shi_joho/shinsaikenreniouhou/houshasenmonitaringukokka/index.html
4	広野町	環境防災課	○	http://www.town.hirono.fukushima.jp/kikaku/hoshasenryo_josen.html
5	楡葉町	くらし安全対策課	○	https://www.town.naraha.lg.jp/life/cat317/cat318/
6	富岡町	生活環境課 除染対策係	○	https://tomioka-radiation.jp/
7	川内村	住民課 除染係	○	https://www.radiation-map.net/kawauchi.html
8	大熊町	環境対策課	○	https://www.town.okuma.fukushima.jp/life/1/5/
9	双葉町	住民生活課	○	https://www.town.fukushima-futaba.lg.jp/3951.htm
		復興推進課		
10	浪江町	住民課 除染環境係	○	https://www.town.namie.fukushima.jp/life/13/28/
		総務課 防災安全係		
		企画財政課 政策推進班		
11	葛尾村	地域振興課 地域づくり推進係	×	https://www.katsurao.org/life/4/20/63/
		復興推進室 復興推進係		
12	新地町	町民課 生活環境係	○	https://www.shinchi-town.jp/site/fukkou/list25-46.html
13	飯館村	復興対策課 農政第二係	×	
14	福島市	環境部 環境課 放射線モニタリングセンター	○	http://www.city.fukushima.fukushima.jp/bosai/bosaikiki/shinsai/hoshano/sokute/index.html
15	郡山市	原子力災害総合対策課	○	https://www.city.koriyama.lg.jp/soshikinoanai/seikatsukankyobu/genshiryokusaigaisogotaisakuka/gomu/2/senryokekka/3160.html
16	白河市	環境保全課 放射線対策係	○	http://www.city.shirakawa.fukushima.jp/page/dir000146.html
17	須賀川市	生活環境部 環境課	○	http://www.city.sukagawa.fukushima.jp/item/5768.htm#itemid5768
18	二本松市	生活環境課 除染係	○	http://www.city.nihonmatsu.lg.jp/page/dir002645.html
19	田村市	市民部 生活環境課	○	http://www.city.tamura.lg.jp/soshiki/8/koshitsu-kankyou-monitoringu-kako.html
20	伊達市	放射能対策課	○	https://www.city.fukushima-date.lg.jp/soshiki/12/998.html
21	本宮市	放射能除染・モニタリングセンター 放射能対策課	×	https://www.city.motomiya.lg.jp/life/2/10/39/
22	桑折町	生活環境課	○	https://www.town.koori.fukushima.jp/kurashi/life/genpatsu/6/index.html
23	国見町	環境防災課 原発災害対策室	○	https://www.town.kunimi.fukushima.jp/soshiki/4/121.html
24	川俣町	原子力災害対策課	○	https://www.town.kawamata.lg.jp/site/sinsai-saigai/
25	大玉村	再生復興課	○	https://www.vill.otama.fukushima.jp/shinsai/
26	鏡石町	健康環境課	○	https://www.town.kagamiishi.fukushima.jp/saigai/index.php
27	天栄村	建設課	○	https://www.vill.tenei.fukushima.jp/site/shinsai/list17-59.html
28	西郷村	環境保全課 放射能対策係	○	https://www.vill.nishigo.fukushima.jp/hoshano/radisokutei/
29	泉崎村	事業課 建設水道係	×	http://www.vill.izumizaki.fukushima.jp/page/page000054.html
30	中島村	建設課 生活支援対策係	○	http://www.vill-nakajima.jp/page/page000217.html

※HP 掲載ありでデータ有無欄が×はモニタリングデータがない自治体

別添表 市町村データ一覧 (2/2)

No.	市区町村名	担当課・室・係名	データの 有無	公開データURL
31	矢吹町	まちづくり推進課 環境衛生係	○	http://www.town.yabuki.fukushima.jp/page/dir000234.html
32	柳倉町	住民課 消防環境係	○	http://www.town.tanagura.fukushima.jp/page/dir000958.html
33	矢祭町	町民福祉課 生活環境グループ	×	http://www.town.yamatsuri.fukushima.jp/page/page000117.html
34	鳩町	生活環境課 生活安全係	○	http://www.town.hanawa.fukushima.jp/page/dir000061.html
35	鮫川村	総務課	×	http://www.town.ishikawa.fukushima.jp/measured_data/
36	石川町	町民生活課	○	http://www.town.ishikawa.fukushima.jp/measured_data/
37	玉川村	住民課 環境衛生係	○	http://www.vill.tamakawa.fukushima.jp/sonnai2.php
38	平田村	住民課	○	http://www.vill.hirata.fukushima.jp/shinsai/20110319.html/view
39	浅川町	住民課	○	http://www.town.asakawa.fukushima.jp/housyasen.html
40	古殿町	地域整備課 管理係	×	https://www.town.furudono.fukushima.jp/kurashi/bousai-saigai/monitoring/753
41	三春町	除染対策課	○	http://www.town.miharu.fukushima.jp/soshiki/2/01-0102sokutei.html
		住民課 生活環境グループ		
42	小野町	町民生活課	○	http://www.town.ono.fukushima.jp/soshiki/5/higashinohon-daishinsai.html
43	会津若松市	環境生活課 環境グループ	○	https://www.city.aizuwakamatsu.fukushima.jp/bunya/hoshasenjoho/
44	喜多方市	市民部 環境課 原発事故対策室	○	https://www.city.kitakata.fukushima.jp/soshiki/kankvo/66.html
45	下郷町	町民課 生活安全係	×	https://www.town.shimogo.fukushima.jp/organization/choumin/3/1/280.html
46	檜枝岐村	総務課	×	
47	只見町	農林建設課	○	
48	南会津町	環境水道課 環境衛生係	○	http://www.minamaizu.org/kind/09.php
49	北塩原村	住民課 生活班	○	
50	西会津町	町民税務課 町民生活係	○	https://www.town.nishiaizu.fukushima.jp/soshiki/3/736.html
51	磐梯町	総務課 総務係	○	
52	猪苗代町	町民生活課 環境係	○	http://www.town.inawashiro.fukushima.jp/cb/hpc/Article-6511.html
53	会津坂下町	生活課 戸籍環境班 環境係	○	https://www.town.aizubange.fukushima.jp/life/7/1/1/
54	湯川村	総務課 政策財務係	○	http://www.vill.yugawa.fukushima.jp/soumu/shinsai.html
55	柳津町	町民課 保健衛生班	×	
56	三島町	総務課 総務係	×	
57	金山町	総務課 総務係	○	
58	昭和村	総務課 総務企画係	○	http://www.vill.showa.fukushima.jp/category-gyosei.stm
59	会津美里町	町民税務課 生活環境係	×	

※HP 掲載ありでデータ有無欄が×はモニタリングデータがない自治体

2. 陸上における広域の空間線量率の分布測定

2.1. 調査目的

福島第一原発事故により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ため、これまでの調査に引き続き同様の手法を用いて、空間線量率の測定を行った。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、歩行サーベイ及び無人ヘリによる測定を実施している。ここでは、令和元年度調査における広域な地上での空間線量率測定である走行サーベイ、定点サーベイ及び歩行サーベイについて述べる。

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、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）²⁾ 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。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²⁾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。人工放射性核種による現在の空間線量率への寄与の大部分が放射性セシウムによるものであるため、測定期間中のセシウム 134 及び 137（以下「放射性セシウム」という。）の物理的減衰に伴う測定期間内の空間線量率の減少を評価したところ 1%程度と評価された。この値は、測定機器の有する不確かさよりも十分に小さいことから、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。

測定は年 2 回とし、平成 26 年度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、80 km 圏内に含まれる福島県及びその周辺の地域について 1 回、岩手県から千葉県までの 8 県を含む広域について 1 回実施した。さらに、地方自治体と協働（原子力機構は解析を担当）で細かな道路を含む地方自治体が希望する道路についての測定を 1 回実施した。測定期間及び測定エリア等について表 2-1 に示す。

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、これまでと同様に、走行地域を総務省が指定する 1 km \times 1 km の基準地域メッシュ（以下、「基準地域メッシュ (1km)」と

いう。)をベースとした100 m四方のメッシュに分割し、そのメッシュ内に含まれる空間線量率の値を平均してメッシュの代表値とした。

2.2.2. 定点サーベイ

校正履歴の明確な信頼性の高い 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 圏内の地域を基準地域メッシュ（1km）に分割し、福島第一原発事故以前に人が居住していなかった地域（非可住区域）を除く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。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いた測定箇所数は5,029箇所であった（図 2-1）。

2.2.3. 歩行サーベイ

KURAMA-II 又は KURAMA-m^{a)} システムとバッテリーを測定者が背負い（空間線量率の測定高さは概ね地上1 m）、歩きながら空間線量率データ及び位置情報を収集した。走行サーベイと同様の理由により、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。

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（1km）は、80 km 圏内で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箇所を選んだ（図 2-2 参照）。測定箇所は、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。

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、測定箇所（歩行地域）を基準地域メッシュ（1km）をベースとした20 m四方のメッシュに分割し、そのメッシュ内に含まれる空間線量率の値を平均してメッシュの代表値とした。

なお、本測定で使用した KURAMA-II システムは検出器本体に Wi-Fi 通信を用いて直接接続できるタブレットを追加し、3G データ通信ができない場所においてもデータの確認及び保存をできるように改良した測定システムを用いた（図 2-3 参照）。改良した測定システムは検出器本体とタブレットが直接通信することにより、ほぼタイムラグなしの状態での測定状況を確認できるようになり、合わせて検出器エラーや検出器温度情報、GPS エラー等も直接タブレット上で確認できるようになっている。本測定ではタブレットにあらかじめ作成した測定ルート情報を読み込み、その測定ルートをなぞりながら測定を実施した。

^{a)} 歩行サーベイを主な用途に開発された携帯性に優れた KURAMA であり、KURAMA-II と同種の CsI(Tl)シンチレーション検出器を使用する。

表 2-1 各測定手法における測定期間及び測定エリア

測定手法	走行サーベイ			定点サーベイ	歩行サーベイ
	第 18 回	第 19 回		第 13 回	第 11 回
測定期間	R1/6/27 ～7/16	R1/11/11 ～12/4	R1/10/28 ～12/13	R1/8/22 ～9/27	R1/6/12 ～11/22
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
測定エリア	福島第一原発か ら 80 km 圏内*1	8 県*2	8 県*2	福島第一原発か ら 80 km 圏内	福島第一原発か ら 80 km 圏内
測定距離 又は 測定点数	7,162 km	14,552 km	26,670 km	実績 5,029 点 中止 2 点	566 箇所 (基準地域メッ シュ (1km))

*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

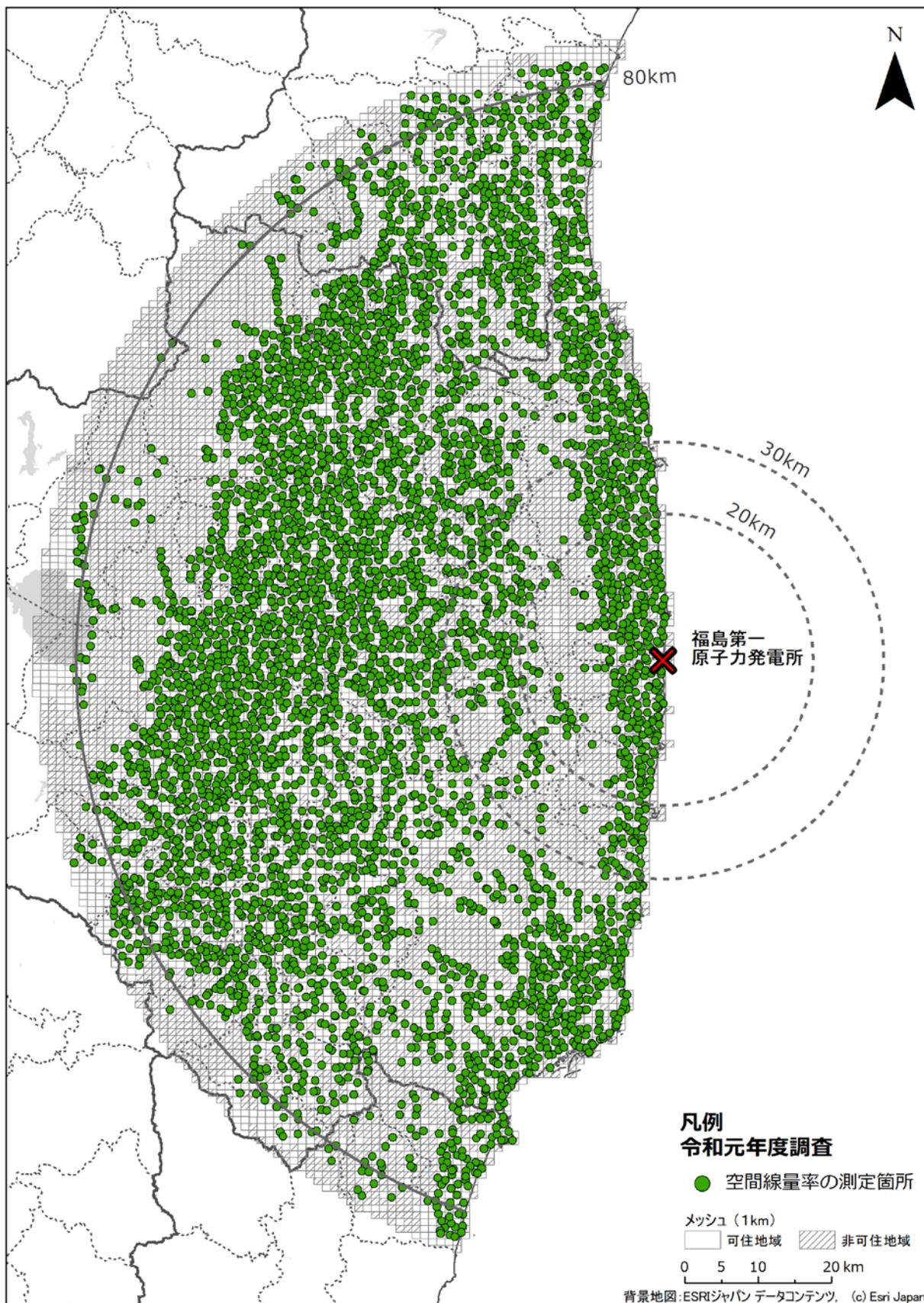


図 2-1 令和元年度調査における定点サーベイによる空間線量率の測定箇所(基準地域メッシュ(1km))

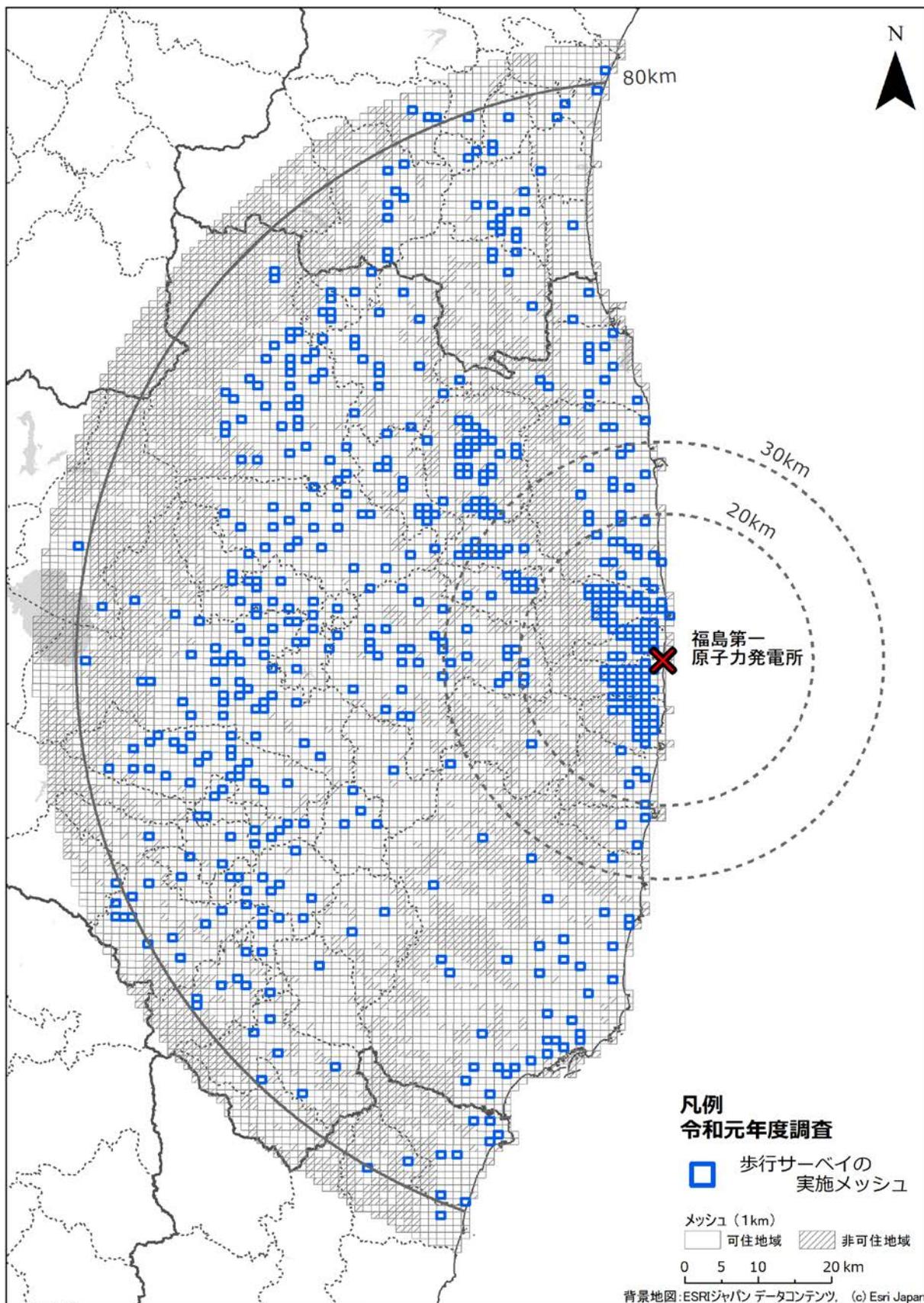


図 2-2 令和元年度調査における歩行サーベイによる空間線量率の測定箇所(基準地域メッシュ(1km))

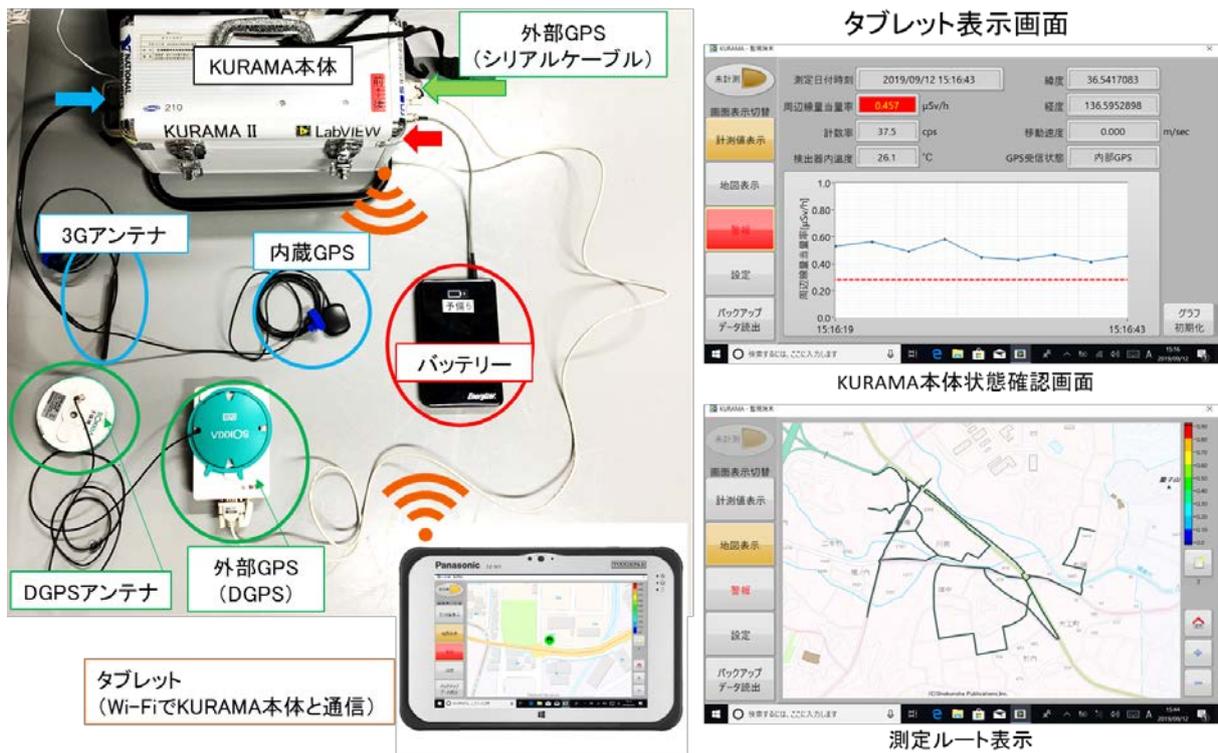


図 2-3 令和元年度調査における歩行サーベイに用いた測定システムの概要

2.2.4. 平成 30 年度との比較

測定結果の妥当性と平成 30 年度の調査結果からの変化傾向を確認するため測定手法ごとに平成 30 年度と令和元年度の調査結果を比較した。比較に用いるデータは、基準地域メッシュ (1km) 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 (1km) 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、平成 30 年度に対する令和元年度の相対変化率は、 $(D_{R1} - D_{H30}) / D_{H30}$ である (ここで、 D_{H30} 、 D_{R1} はそれぞれ平成 30 年度及び令和元年度の測定結果)。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おらず人為的なかく乱が少なく、平坦で開かれた場所を選定している。歩行サーベイは、定点サーベイで選定された測定点の周辺車道や歩道で測定している。これらの測定手法上の特徴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。各測定

場所のイメージを図 2-4 に示す。相互比較の方法は基準地域メッシュ (1km) 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 2-2 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

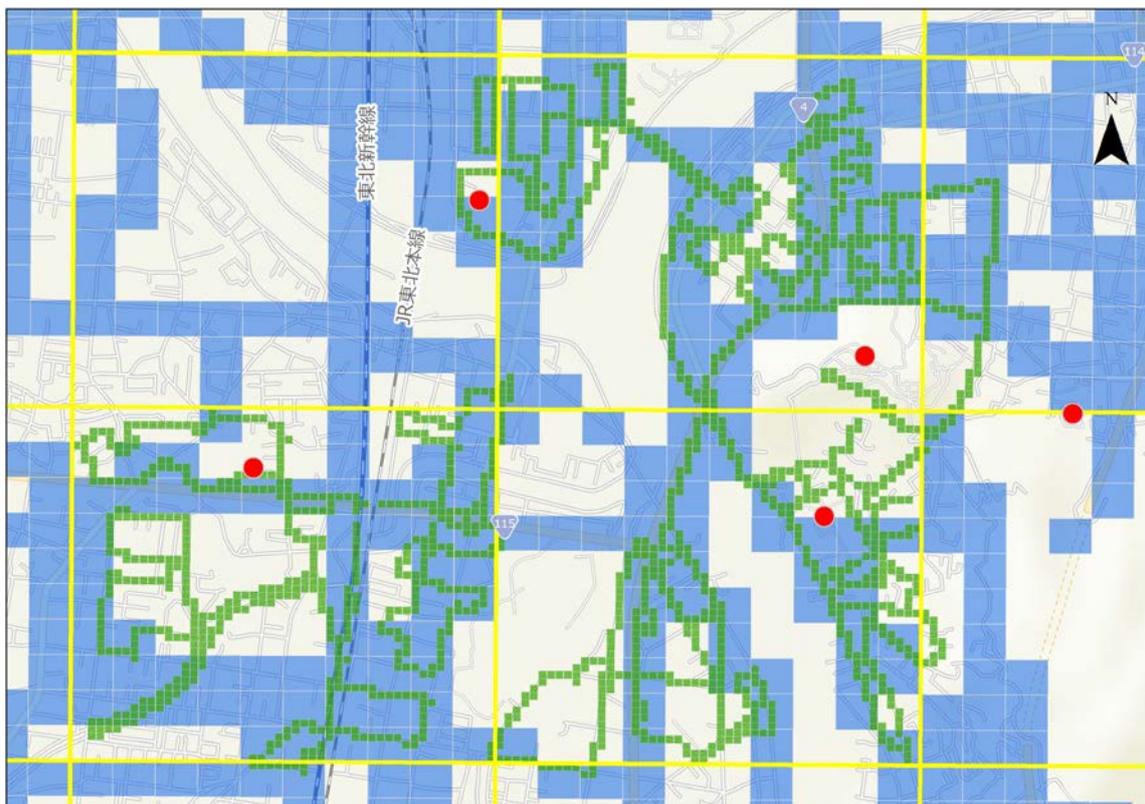


図 2-4 各測定場所のイメージ

(青: 走行サーベイ, 赤: 定点サーベイ, 緑: 歩行サーベイ, 黄色枠は基準地域メッシュ(1km)。背景地図は、ESRI ジャパン データ コンテンツ((c) Esri Japan)を使用。)

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

令和元年度の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 2-5 及び図 2-6 に示す。これらの図より、現状では、80 km 圏内や栃木県北東部の一部を除き、0.2 $\mu\text{Sv/h}$ 未満の地域がほとんどを占めていることが分かる。各年度の比較のため、平成 23 年度（第 1 回走行サーベイ）から令和元年度 2 回目（第 19 回走行サーベイ）までの測定結果（主に 80 km 圏内）を図 2-7 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）。

2) 定点サーベイ

令和元年度の定点サーベイによる空間線量率の測定結果を図 2-8 に示す。また、平成 23 年度調査から令和元年度調査までの測定結果を図 2-9 に示す。高い空間線量率を示す赤や黄色で示される箇所が減少してきていることがわかる。

3) 歩行サーベイ

令和元年度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 2-10 に示す。また、平成 25 年度以降の歩行サーベイの測定結果を図 2-11 に示す。

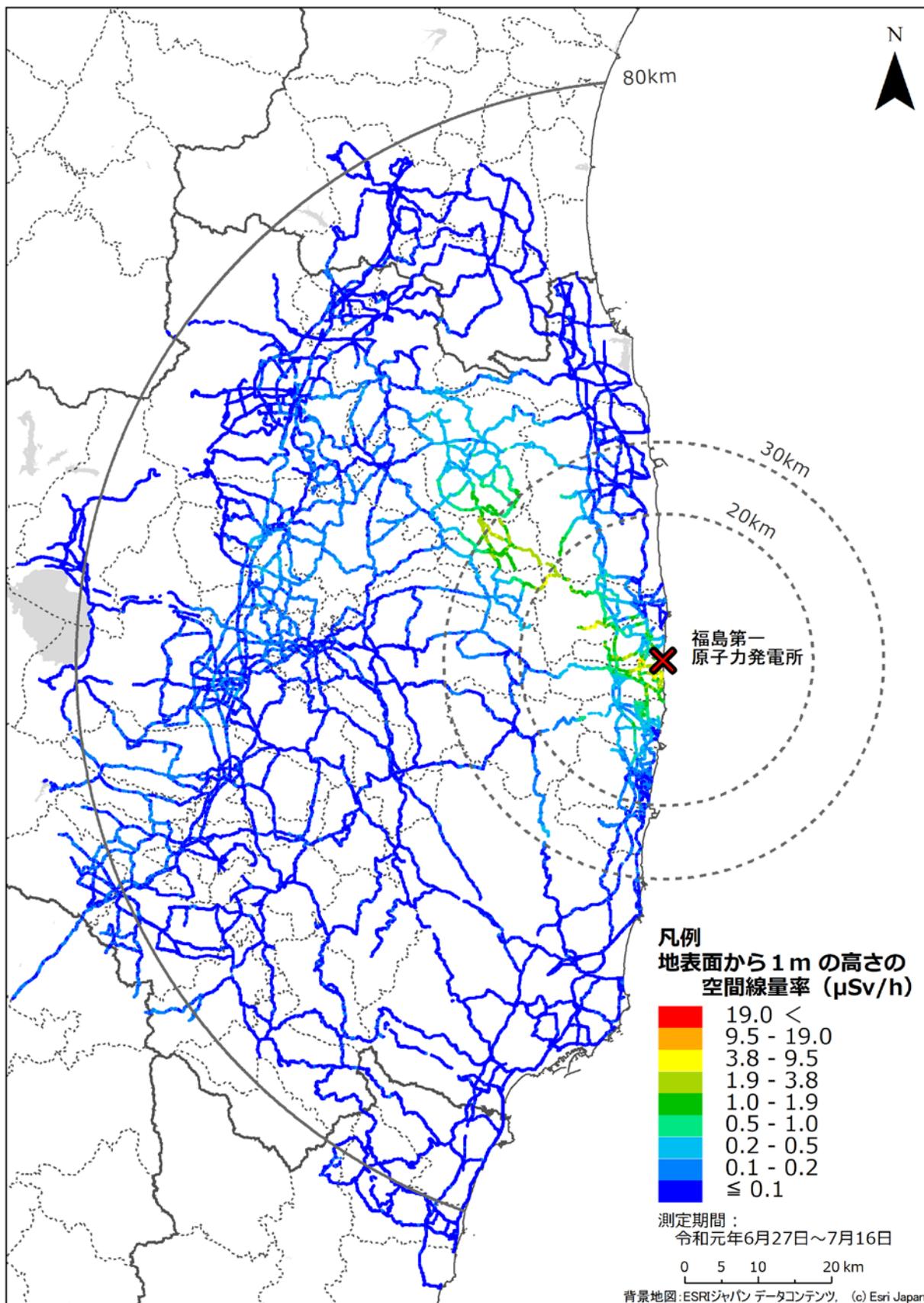


図 2-5 令和元年度 1 回目(第 18 回)走行サーベイによる空間線量率の測定結果
 (天然放射性核種による空間線量率寄与を含んでいる。)

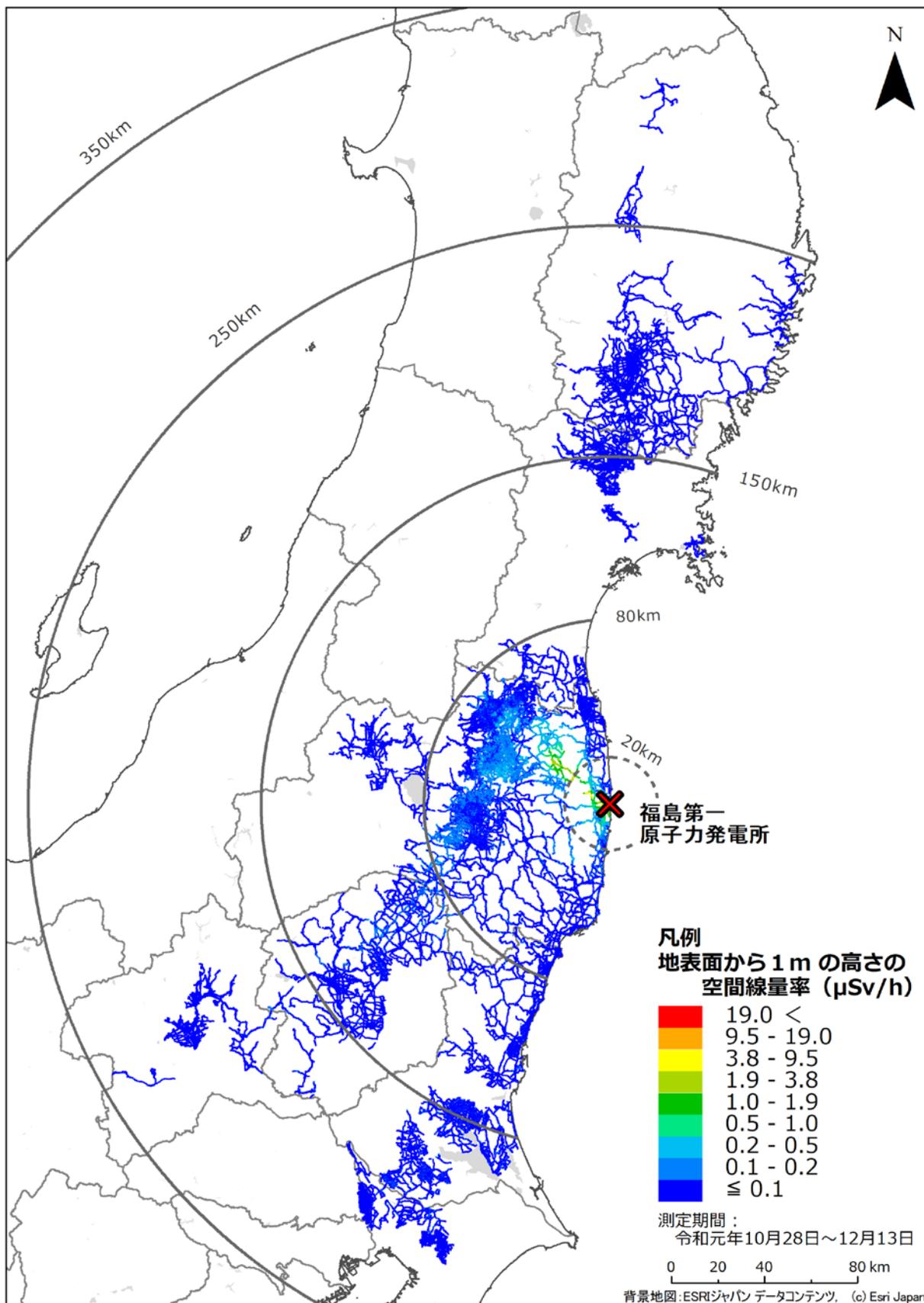


図 2-6 令和元年度 2 回目(第 19 回)走行サーベイによる空間線量率の測定結果
 (天然放射性核種による空間線量率寄与を含んでいる。)

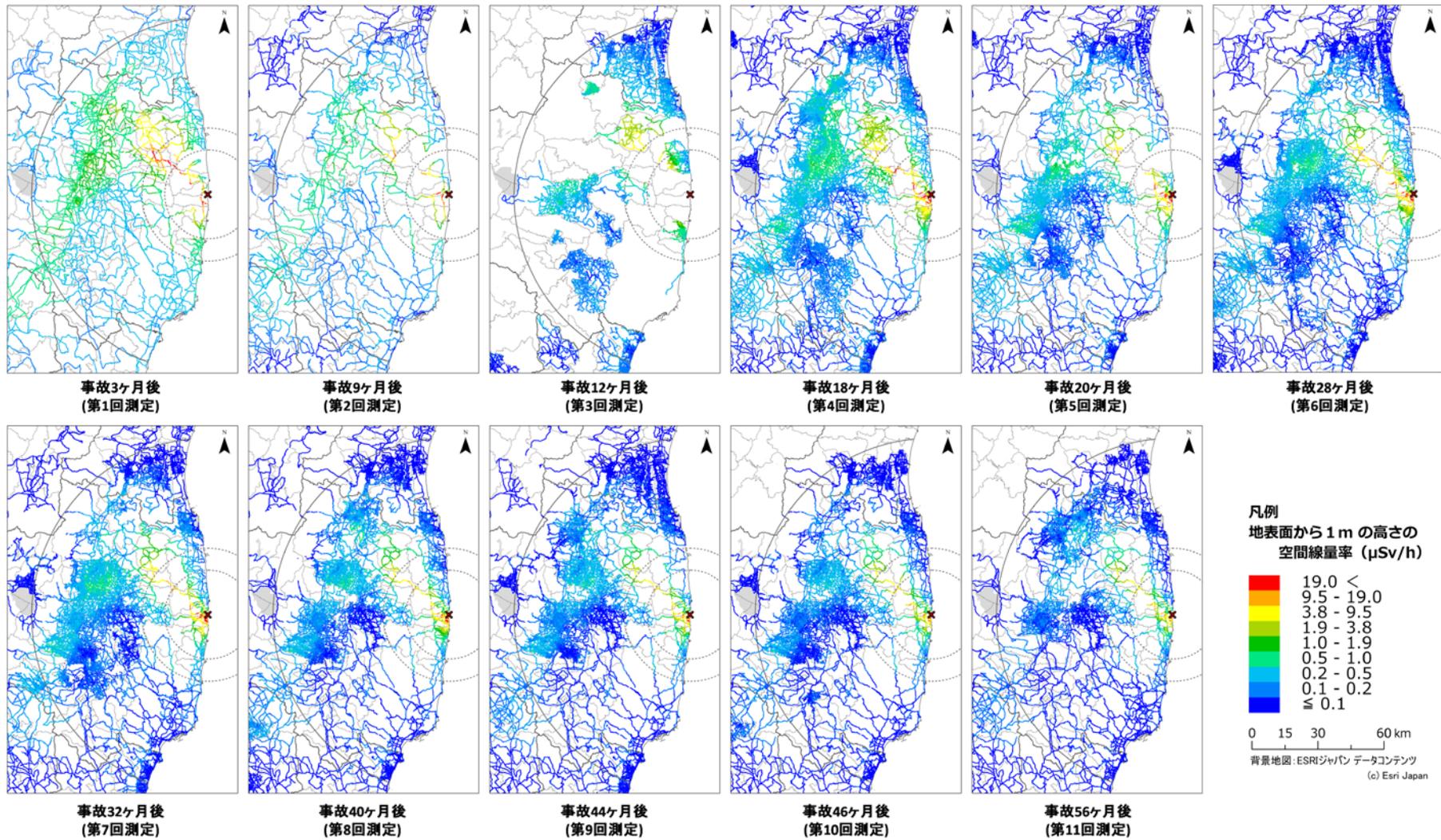


図 2-7 平成 23 年度以降の走行サーベイによる 80 km 圏内を中心とした空間線量率マップの変化 (その 1)
 (天然放射性核種による空間線量率寄与を含んでいる。)

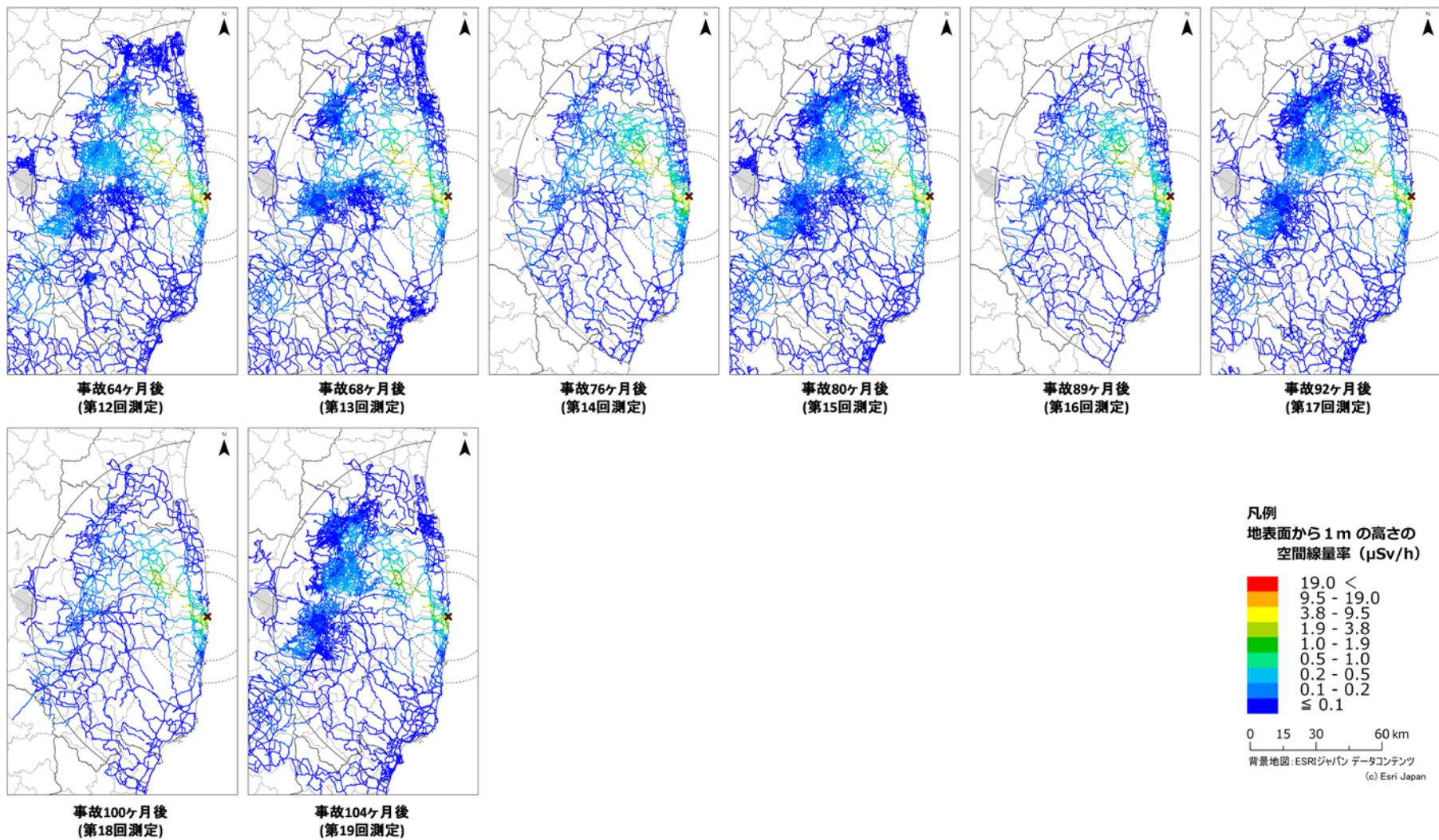


図 2-7 平成 23 年度以降の走行サーベイによる 80 km 圏内を中心とした空間線量率マップの変化 (その 2)
 (天然放射性核種による空間線量率寄与を含んでいる。)

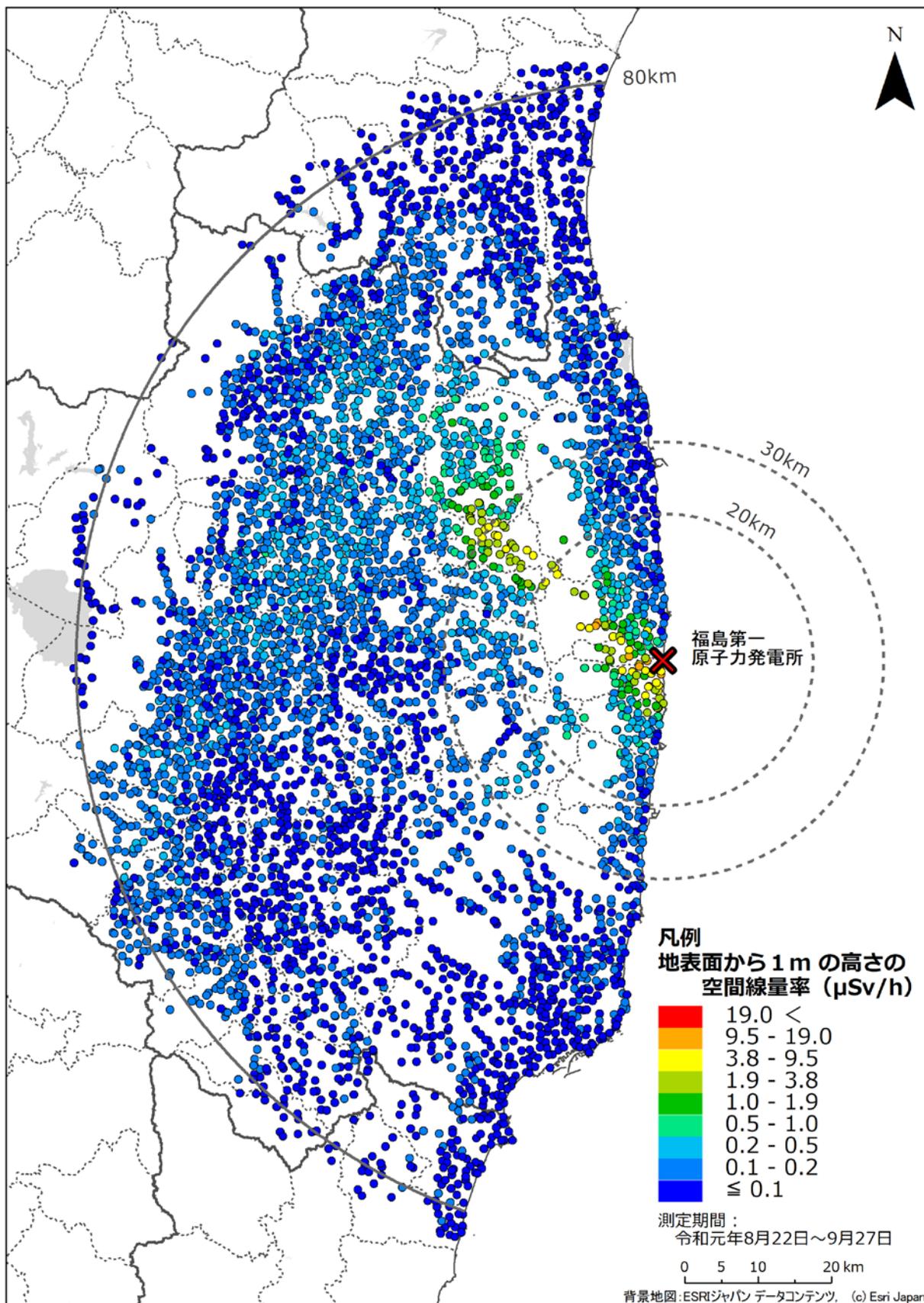


図 2-8 令和元年度定点サーベイによる空間線量率の測定結果
 (天然放射性核種による空間線量率寄与を含んでいる。)

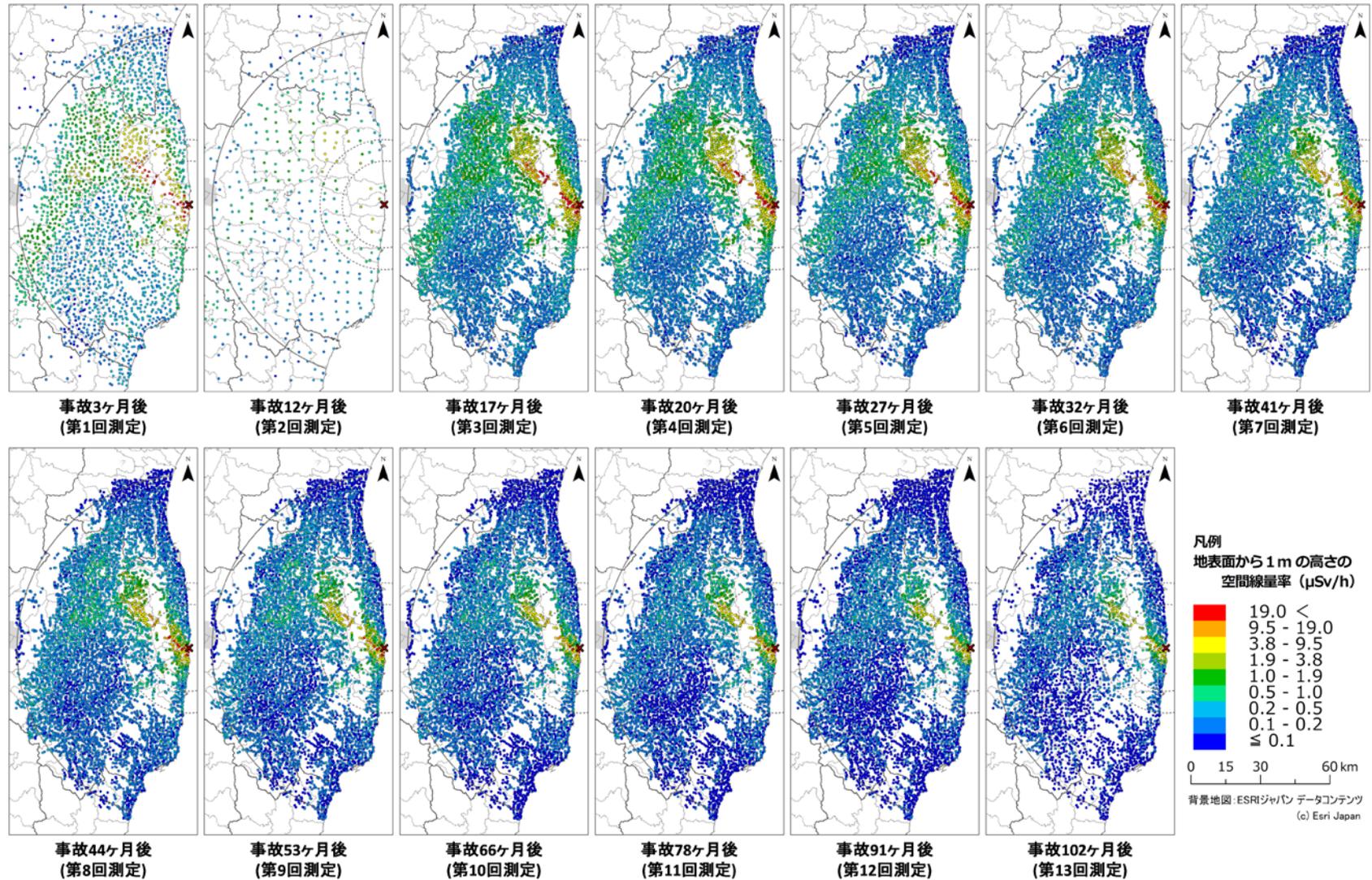


図 2-9 平成 23 年度以降の定点サーベイによる空間線量率マップの変化
(天然放射性核種による空間線量率寄与を含んでいる。)

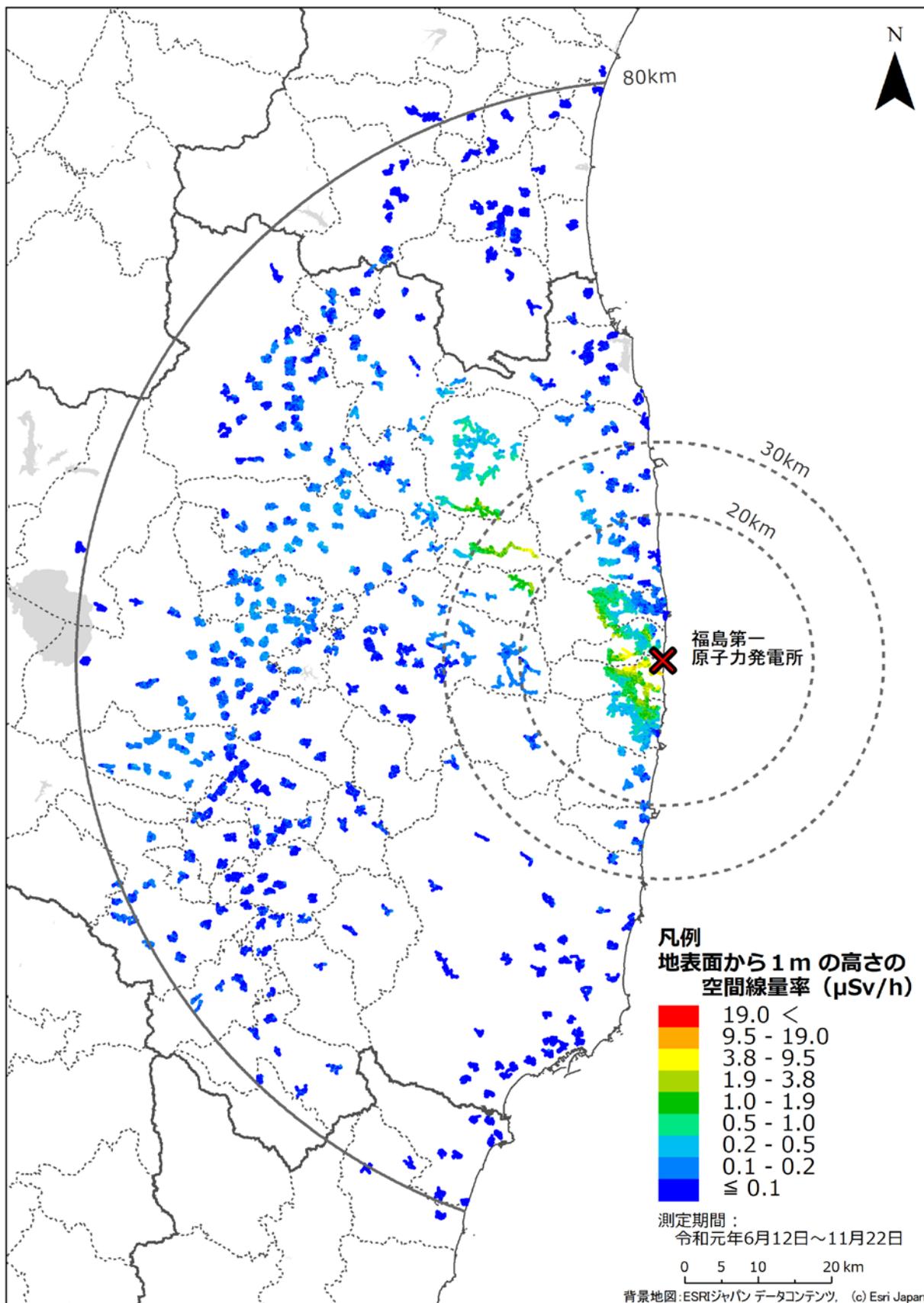


図 2-10 令和元年度歩行サーベイによる空間線量率の測定結果
 (天然放射性核種による空間線量率寄与を含んでいる。)

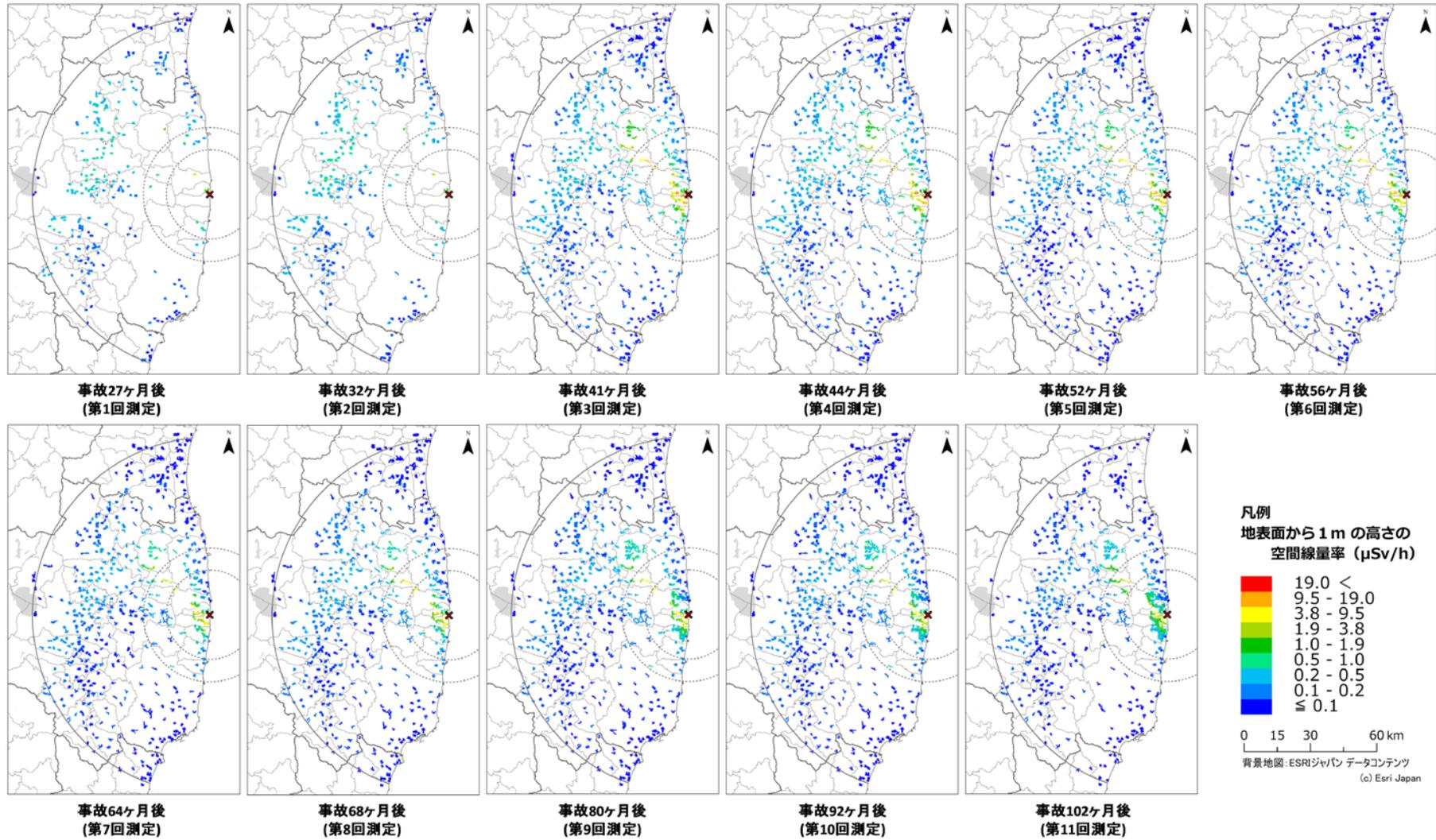


図 2-11 平成 25 年度以降の歩行サーベイによる空間線量率マップの変化
 (天然放射性核種による空間線量率寄与を含んでいる。)

2.3.2. 平成 30 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平成 30 年度の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 (ヒストグラム及び積算割合) を図 2-12 に示す。全測定手法について平成 30 年度の結果と令和元年度の結果はよい相関関係にあり、相対変化率 RC は正規分布に近い形を示した。

各基準地域メッシュ (1km) における相対変化率 RC の平均値を放射性セシウムの物理的半減期から計算した理論的な空間線量率の変化率と比較した結果について表 2-3 に示す。走行サーベイ及び歩行サーベイの測定結果については物理的半減期による理論値と概ね整合または理論値よりも変化がやや大きく、定点サーベイでは理論値よりも変化が小さい傾向にあった。定点サーベイについては、平成 29 年度と 30 年度の比較においても類似の傾向にあり、かく乱のない平坦地の特徴と考えられる。なお、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、バックグラウンドのばらつき等によるわずかな線量率の変動で比率が大きく変わることには注意する必要がある。

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 2-13 に平成 23 年度における測定結果と令和元年度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元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 2-13 (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、図 2-13(b) に平成 23 年度の測定結果が $0.5 \mu\text{Sv/h}$ 以上であったエリアのみの比較結果を示す。また、図 2-13(c) には定点サーベイの結果の内、平成 23 年度の測定結果が $0.5 \mu\text{Sv/h}$ 以上であったエリアのみの比較結果を示す。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-88%及び-85%となった。この結果は放射性セシウムの物理的半減期による空間線量率の変化と比較して大きい傾向にある。表 2-4 には、それぞれの相対変化率の平均値をまとめる。

表 2-3 平成 30 年度と比較した令和元年度の空間線量率測定結果の変化傾向

	走行サーベイ ^{a)}	定点サーベイ	歩行サーベイ
平成 30 年度の測定期間	H30/7/30-H30/8/24	H30/9/13-H30/10/26	H30/11/1-H30/12/5
令和元年度の測定期間	R1/6/27-R1/7/16	R1/8/22-R1/9/27	R1/6/12-R1/11/22
放射性セシウムの物理的 半減期による変化率	-7.0%	-6.9%	-7.1%
測定結果による 相対変化率の平均値	-7.1%	-5.4%	-9.7%

a) 各年度 1 回目の測定

表 2-4 平成 23 年度と比較した令和元年度の空間線量率測定結果の変化傾向

	走行サーベイ (全地点)	走行サーベイ ($\geq 0.5 \mu\text{Sv/h}$)*	定点サーベイ ($\geq 0.5 \mu\text{Sv/h}$)*
平成 23 年度の測定期間	H23/6/4-H23/6/13		H23/6/4-H23/7/8
令和元年度の測定期間	R1/10/28-R1/12/13		R1/8/22-R1/9/27
放射性セシウムの物理的 半減期による変化率	-72%		-71%
測定結果による 相対変化率の平均値	-83%	-88%	-85%

* 平成 23 年度の測定結果において $0.5 \mu\text{Sv/h}$ 以上のエリアのみで評価

2.3.4. 測定手法間の比較

令和元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 2-14 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 24%小さい（図 2-14(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 1%程度であり（図 2-14(b)）、両者の相違はほとんどないといえる。走行サーベイは歩行サーベイより 20%小さくなっており（図 2-14(c)）、両者の測定対象の違い（車道と歩道）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 2-15 に示す。

走行サーベイ/定点サーベイの結果は、平成 23 年度調査（事故から約 3 ヶ月）を除き平均値で -20%から-30%で推移している。平成 23 年度調査の時点では相対偏差の平均値がほぼ 0%であり定点サーベイと同程度であったが、この時期はセシウムの沈着が起こった直後であり道路上のセシウムの洗い流し効果がまだ十分に現れていなかった可能性が考えられる。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。

走行サーベイ及び歩行サーベイにより測定された主にアスファルト等で舗装された道路上における空間線量率は、定点サーベイによる人為的影響の少ない環境において測定した空間線量率に比べ小さいことが分かる。以上の比較結果は、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ことを示唆している。また、定点サーベイと歩行サーベイ又は定点サーベイと走行サーベイとの間に良い相関があることから、定点サーベイは測定箇所周辺の標準となる値を示すと捉えることができる。

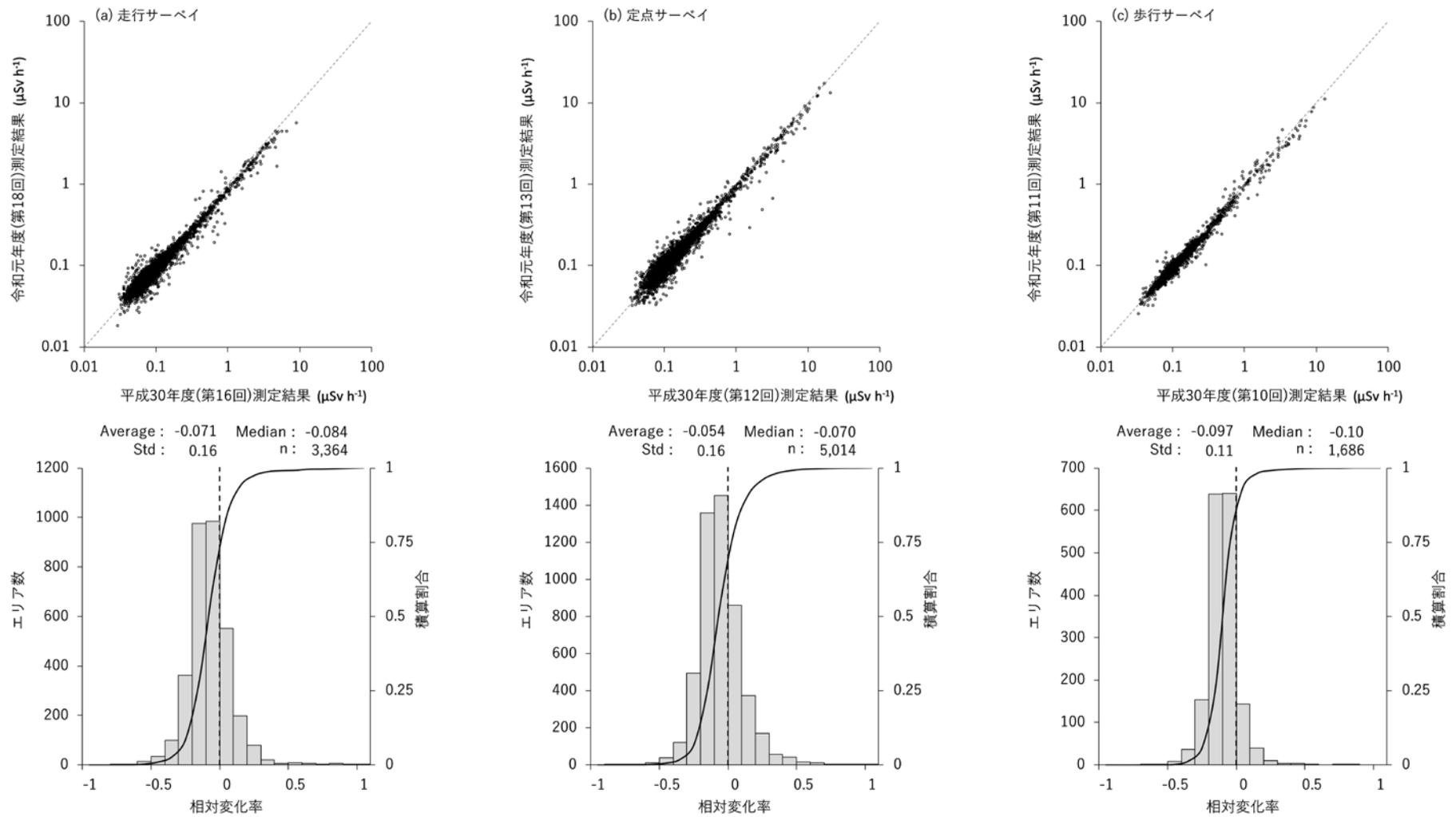


図 2-12 平成 30 年度の測定結果に対する令和元年度の測定結果の比

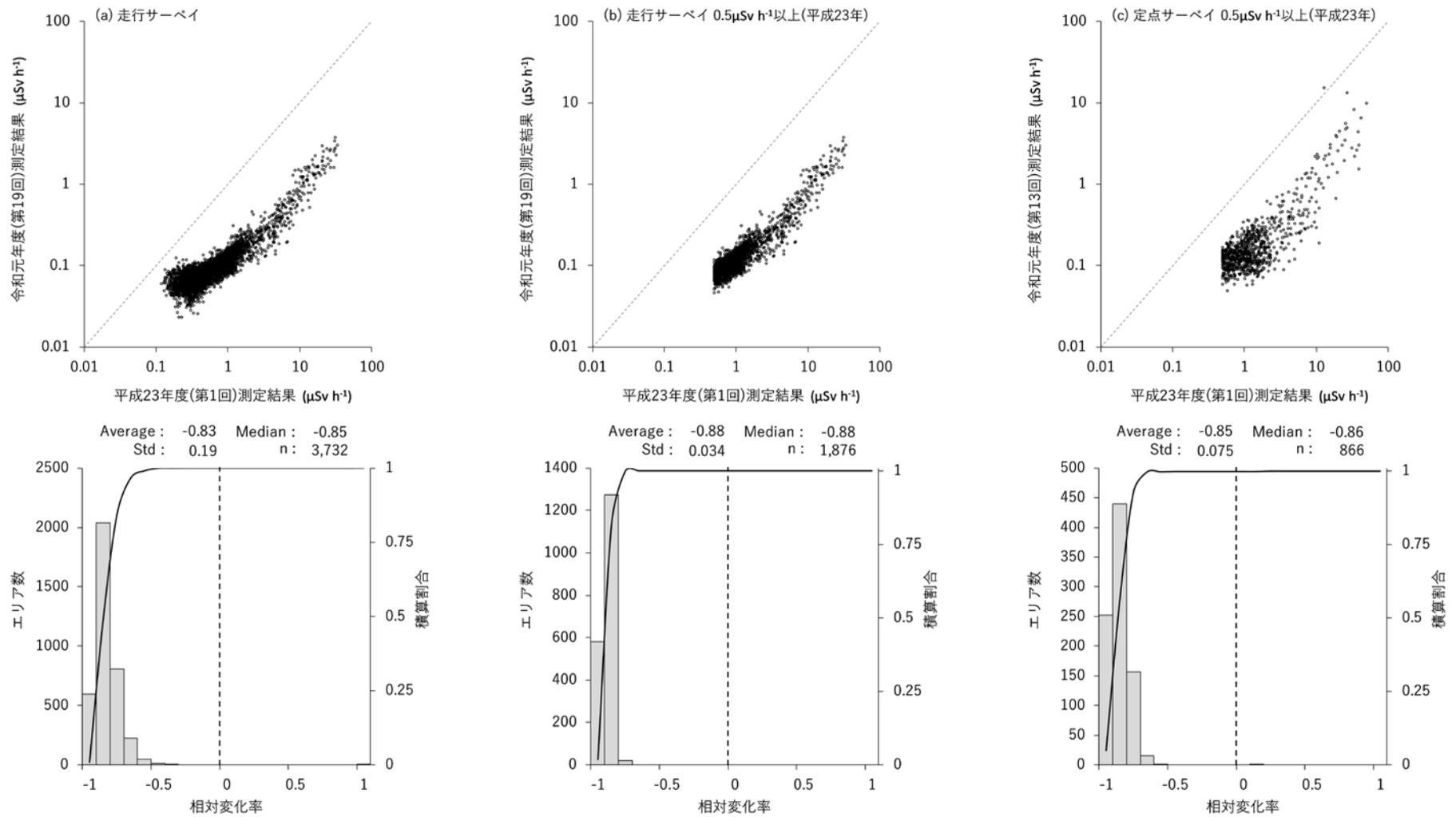


図 2-13 走行サーベイ及び定点サーベイによる空間線量率結果の平成 23 年度との比較

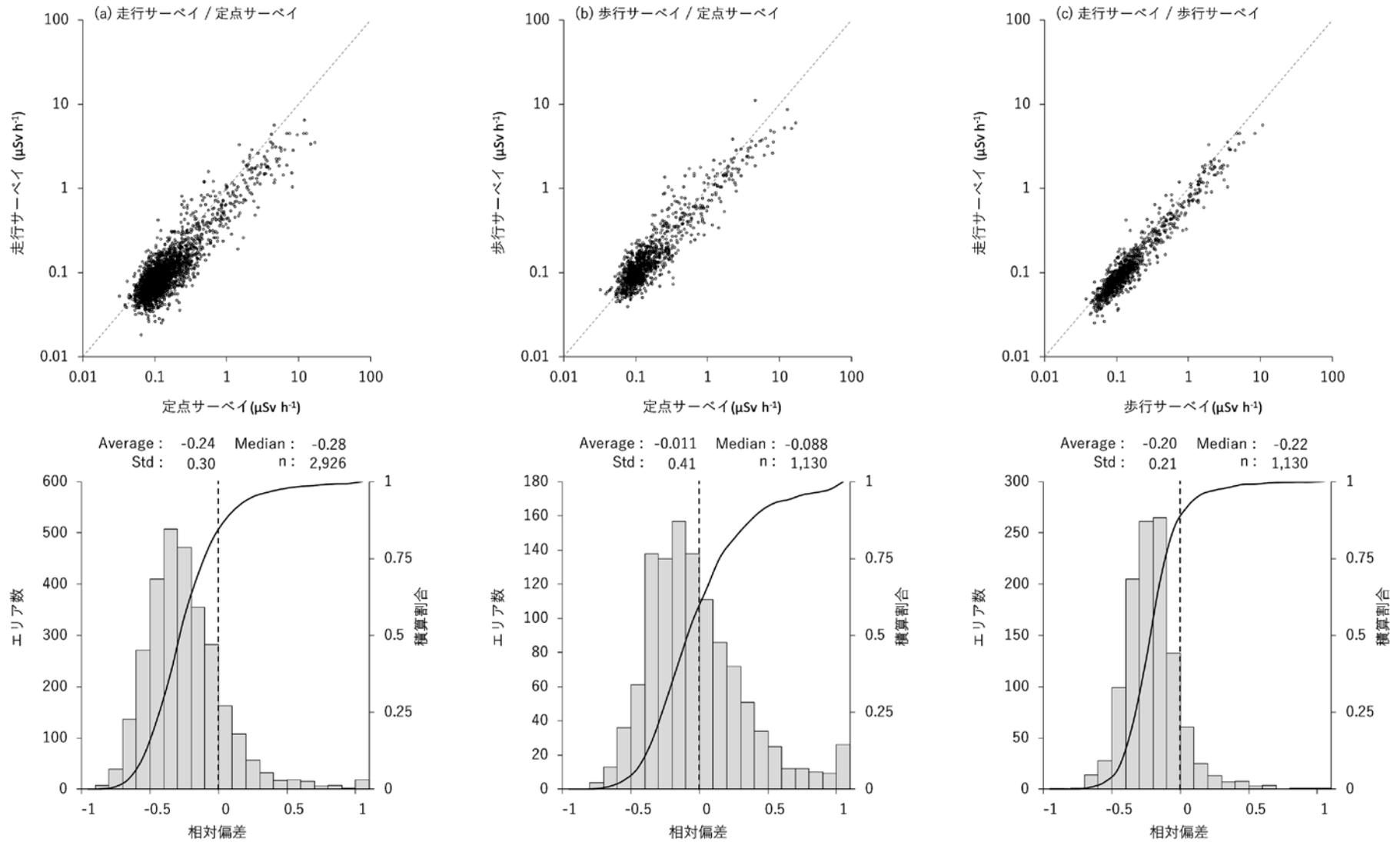


図 2-14 令和元年度調査での測定手法間の比較

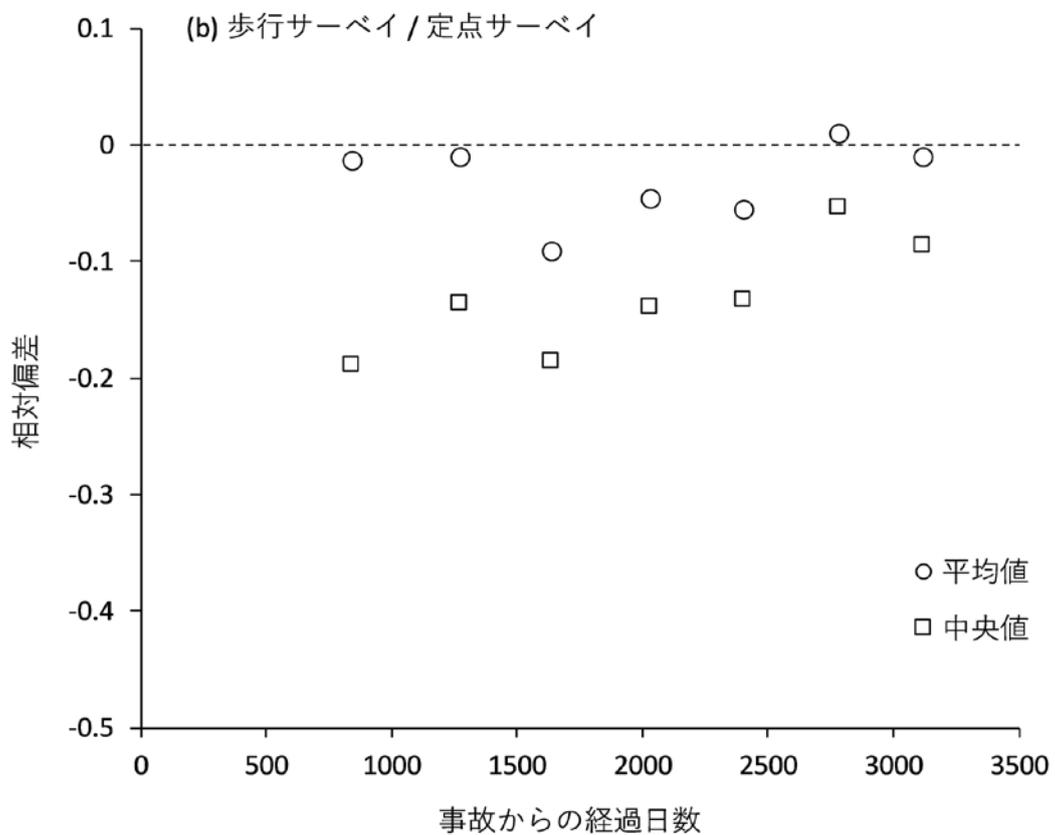
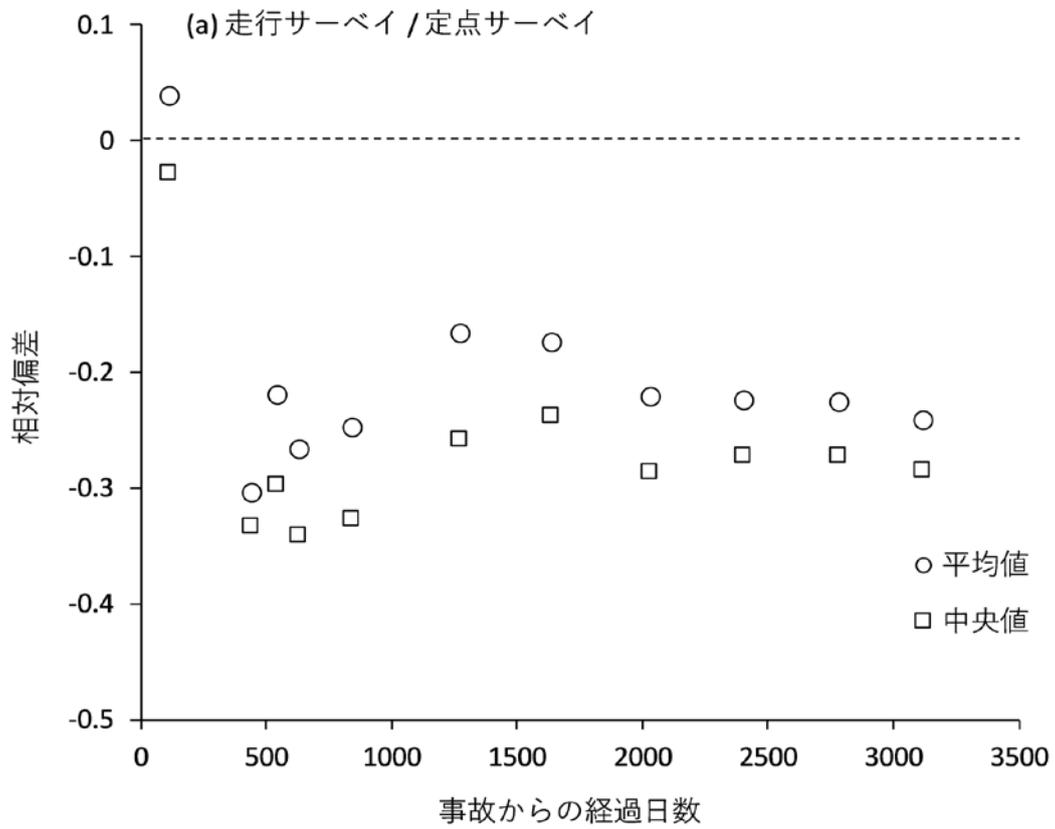


図 2-15 定点サーベイに対する走行サーベイ及び歩行サーベイの空間線量率の相対偏差

3. 発電所周辺の空間線量率測定

3.1. 調査目的

原子力機構では、福島第一原発事故直後から、無人ヘリコプター（以下「無人ヘリ」という。）を用いた放射線分布の測定手法について研究開発を行っている。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。原子力機構による無人ヘリの成果としては、本事業で行っている福島第一原発周辺のモニタリング³⁾、河川敷のモニタリング⁴⁾及び除染前後のモニタリング⁵⁾などが挙げられる。

事故以来、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航空機モニタリング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を用いて福島第一原発から3 km 圏内のモニタリングを開始した⁶⁾。平成25年度からは、航空機モニタリングとの比較も考慮し、航空機モニタリングと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。本地域は、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に認定され5年後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。なお、過去9回の測定におけるデータの解析から、無人ヘリサーベイで確認した空間線量率の減衰傾向は、放射性セシウムの物理的半減期から計算した変化量よりも大きいことがわかってきている。

ここでは、令和元年度に1回実施した無人ヘリ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、令和元年度は無人ヘリの測定結果と地上の測定値に顕著に差が出る測定点を抽出し、その要因について詳細な調査を実施した。

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：令和元年6月13日～12月1日

フライト範囲：74.8 km²

合計測定距離：890 km

3.2.2. 調査機器

測定にあたっては、ヤマハ発動機（株）自律飛行型無人ヘリ RMAX G1 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) (Lanthanum Bromide) シンチレーション検出器 (1.5” Φ×1.5” ×3本) を用いた (図 3-1 参照)。



図 3-1 無人ヘリの仕様

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。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 DGPS (差分全地球測位システム: 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。

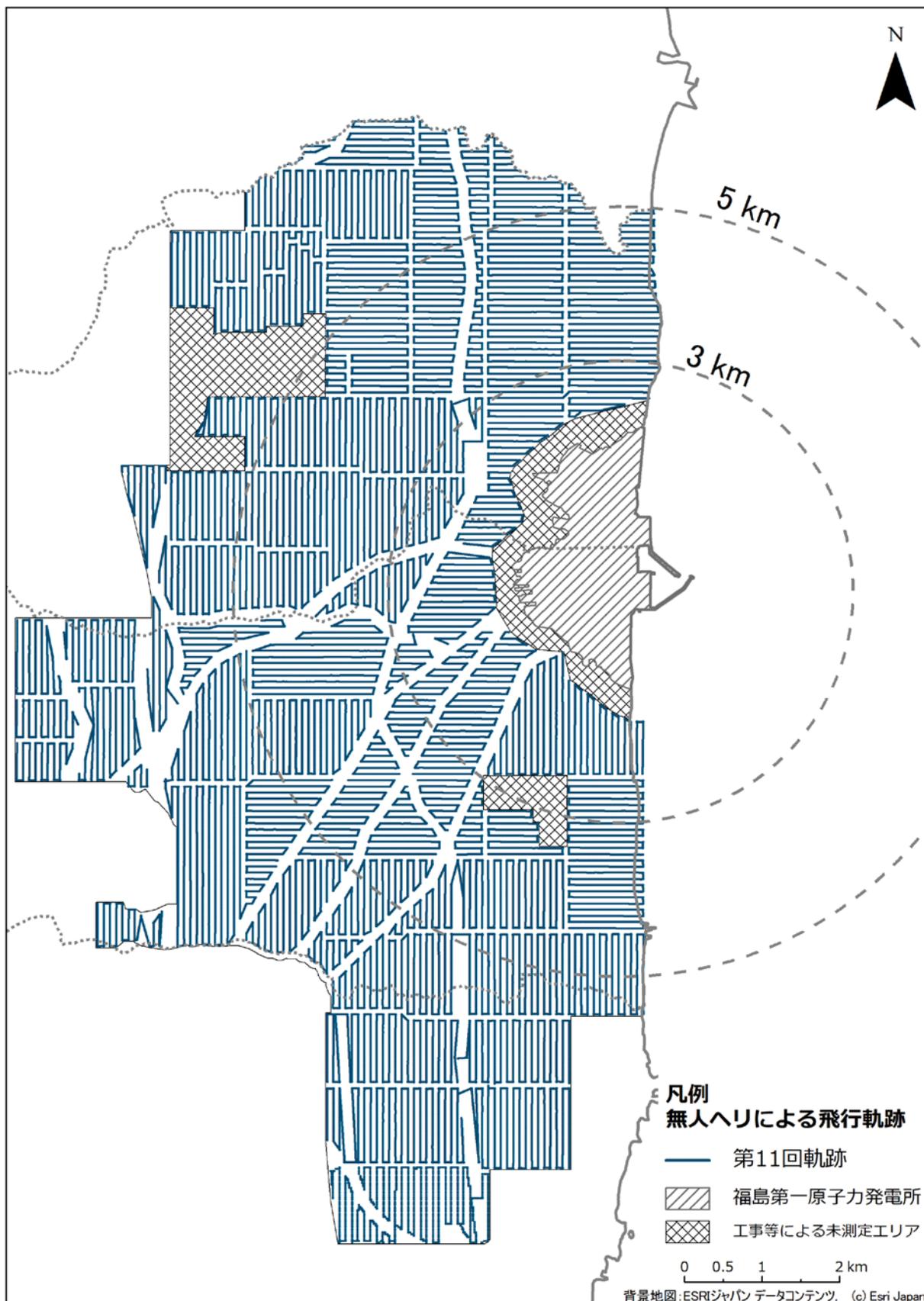


図 3-2 令和元年度無人ヘリサーベイの飛行軌跡

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。テストサイト内では、あらかじめ NaI(Tl)サーベイメータを用いて、地上から 1 m 高さの空間線量率データを取得した。その後、テストサイトの中心から上空の対地高度 80 m で無人ヘリをホバリングさせ、この高度（基準高度）で取得されたガンマ線計数率とテストサイトの地上における空間線量率とを比較し、空間線量率換算係数（CD: Conversion factor: $\mu\text{Sv/h/cps}$ ）を算出した。さらに、テストサイト上空を対地高度 10 m から 100 m まで 10 m ごとにホバリングし、各高度におけるガンマ線計数率を測定し、高度ごとのガンマ線計数率から対地高度とガンマ線計数率との関係式を求め、高度補正係数（AF: Attenuation Factor: m^{-1} ）を算出した。

実際のフライトで取得されたガンマ線計数率は、対地高度と基準高度のずれを高度補正係数 AF により補正し、空間線量率換算係数 CD から地上 1 m 高さでの空間線量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）に換算した。なお、対地高度は GPS により測位した高度から国土地理院が作成した 10 m メッシュの数値標高モデル DEM（Digital Elevation Model）データ及びジオイド高（地球を仮想的に表した楕円体表面から、平均海面を仮想的に陸地へ延長した面までの高さ）を差し引くことにより求めた。

3.2.5. 空間線量率マップの作成

マップとして示すために、無人ヘリによる測定点間の空間線量率の値は、内挿法（クリギング法）を用いて内挿補間した。

3.3. 調査結果

3.3.1. 空間線量率マップ

令和元年度実施した無人ヘリによる空間線量率マップを図 3-3 に示す。また、令和元年度の測定と過去第 1 回からの測定結果が得られている 3 km 圏内の空間線量率マップを図 3-4 に示す。なお、各測定箇所における地上 1 m 高さの空間線量率及び地表面の放射性セシウムの沈着量の値は、放射性セシウムの物理的減衰を考慮し、各モニタリングの最終日に換算された値である。マップをみると、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わかる。

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と比較した。地上における空間線量率は、第 2 章の定点サーベイによる測定結果とした。無人ヘリの測定結果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式(2)に示したような 2 測定間の相対偏差を図 3-5 に示す。散布図を見ると良い相関関係（決定係数 $R^2=0.71$ ）を示しており、相対偏差の平均は 0 に近い。よって、令和元年度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、 $1 \mu\text{Sv/h}$ 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になる傾向があり、これにより相対偏差が 1 以上の範囲での頻度がやや大きい。この原因は、地上の測定ポイントが、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くなった場所を選択していた可能性が考えられる。今後、この不整合の理由については、歩行サーベイ等による面的な測定結果と比較

するなどの検討が必要である。

3.3.3. 平成 30 年度との比較

モニタリングした区域を 100 m メッシュに分割し、メッシュごとに平成 30 年度と令和元年度の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 $R^2=0.95$ ）を示している。また、令和元年度は平成 30 年度から 14% 減少したことが分かる。

図 3-7 に平成 30 年度の空間線量率測定結果と令和元年度の空間線量率の測定結果の比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⁸⁾を用いて天然の放射性核種による空間線量率の評価が可能である。本手法での空間線量率への換算には、重量緩衝深度 β_{eff} の設定が必要であるが、4.1 節に示す結果から $\beta_{eff}=3.67 \text{ g/cm}^2$ とした。図 3-9 に天然の放射性核種による空気カーマ率の分布を示す。図 3-9 より、天然の放射性核種による空気カーマ率は、0.03~0.06 $\mu\text{Gy/h}$ 程度であることが分かった。

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⁸⁾を用いている。本手法による空間線量率への換算には、重量緩衝深度 β_{eff} の設定が必要であるが、4.1.節に示す結果から $\beta_{eff}=3.67 \text{ g/cm}^2$ とした。換算結果を基に作成した放射性セシウムの沈着量分布マップを図 3-10 に示す。空間線量率の高かった発電所から北西部分と南部分は 3000 kBq/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。

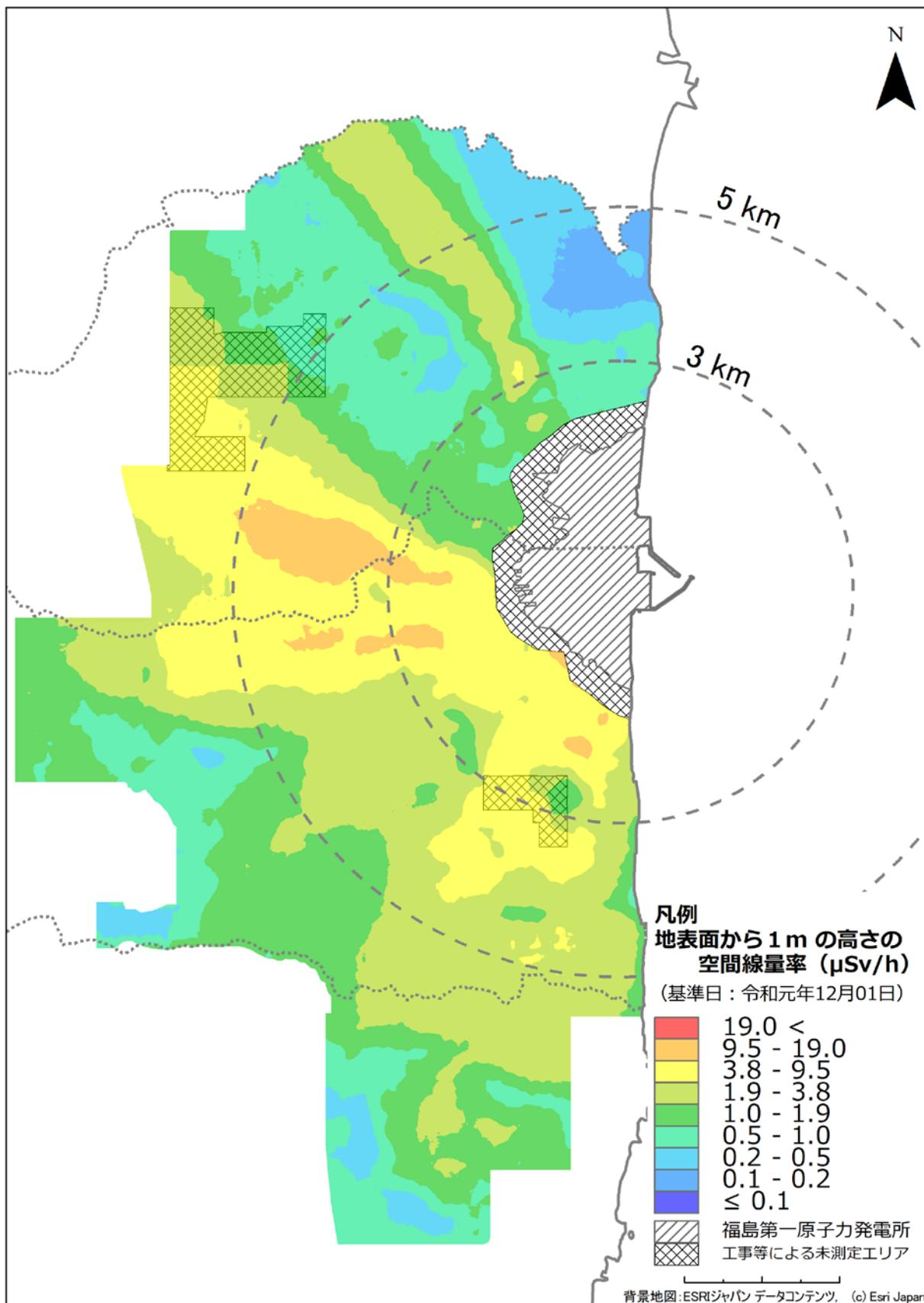


図 3-3 令和元年度無人ヘリサーベイによる空間線量率測定結果
 (天然放射性核種による空間線量率寄与を含んでいる。)

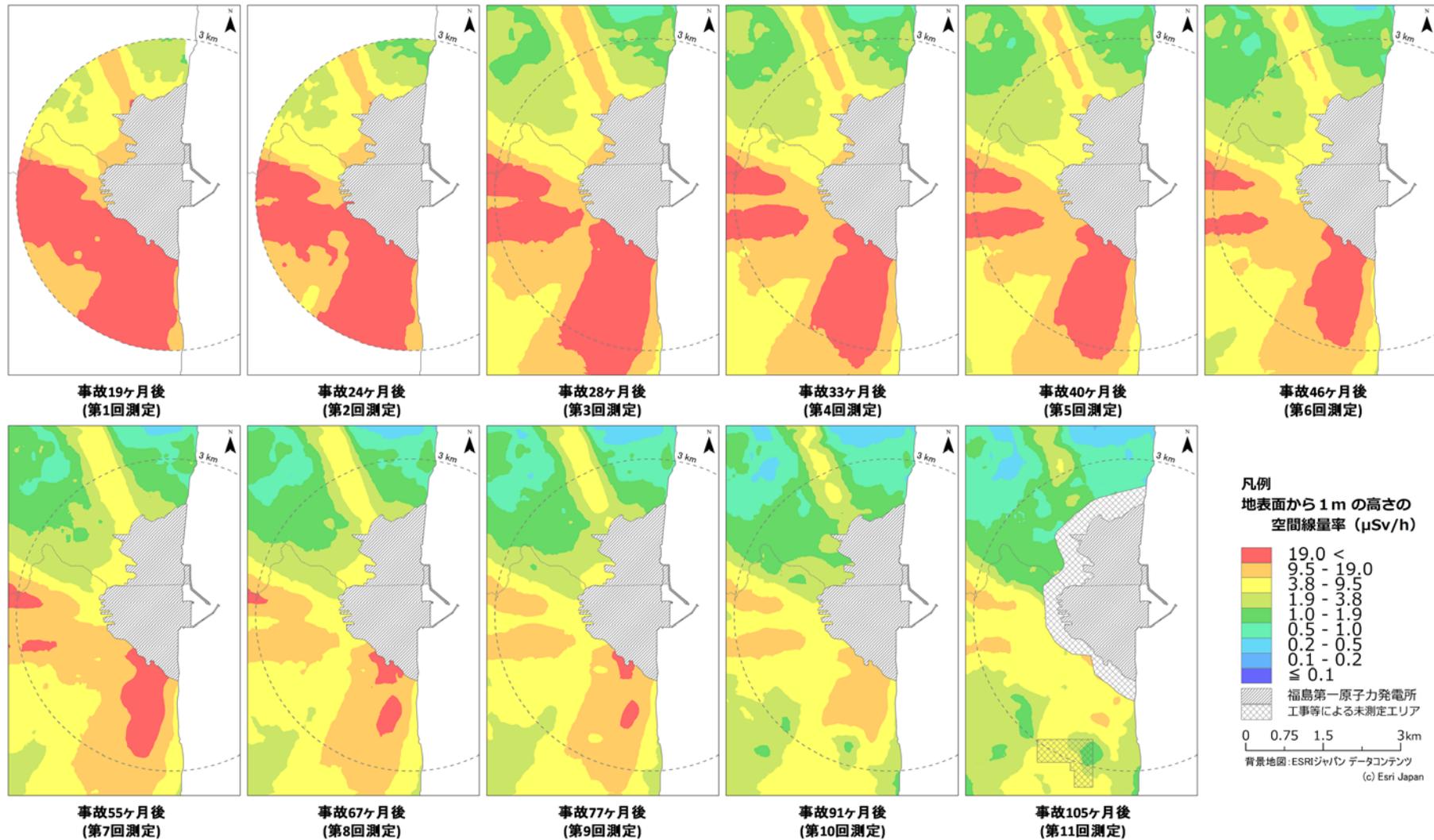


図 3-4 平成 24 年度以降の無人ヘリサーベイによる空間線量率マップの変化
 (天然放射性核種による空間線量率寄与を含んでいる。)

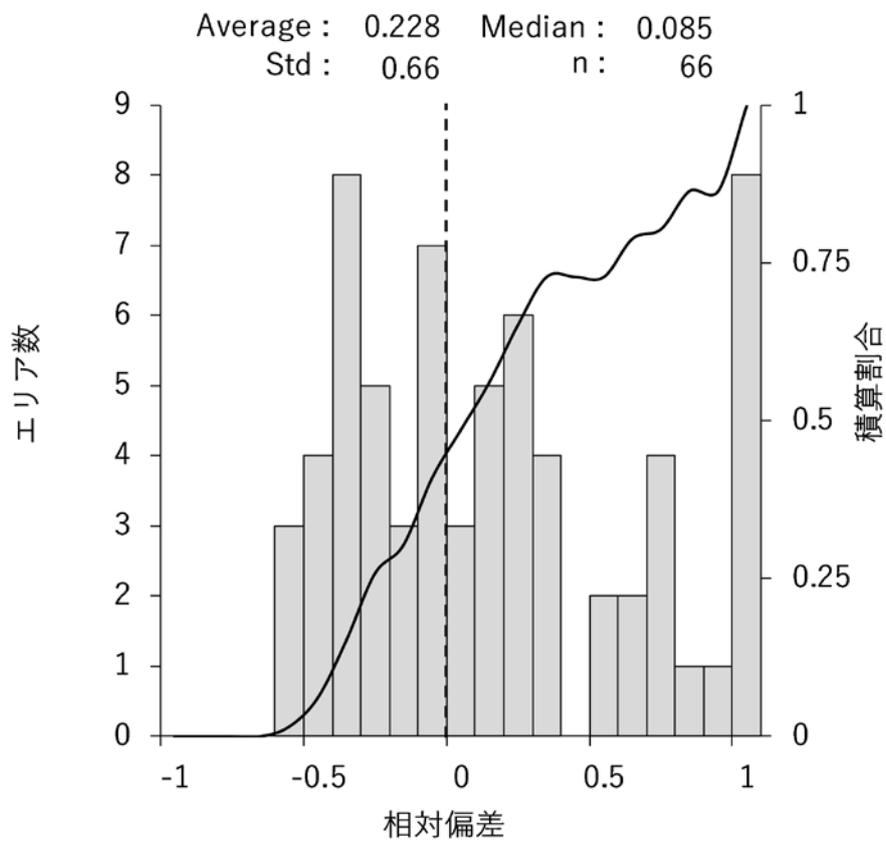
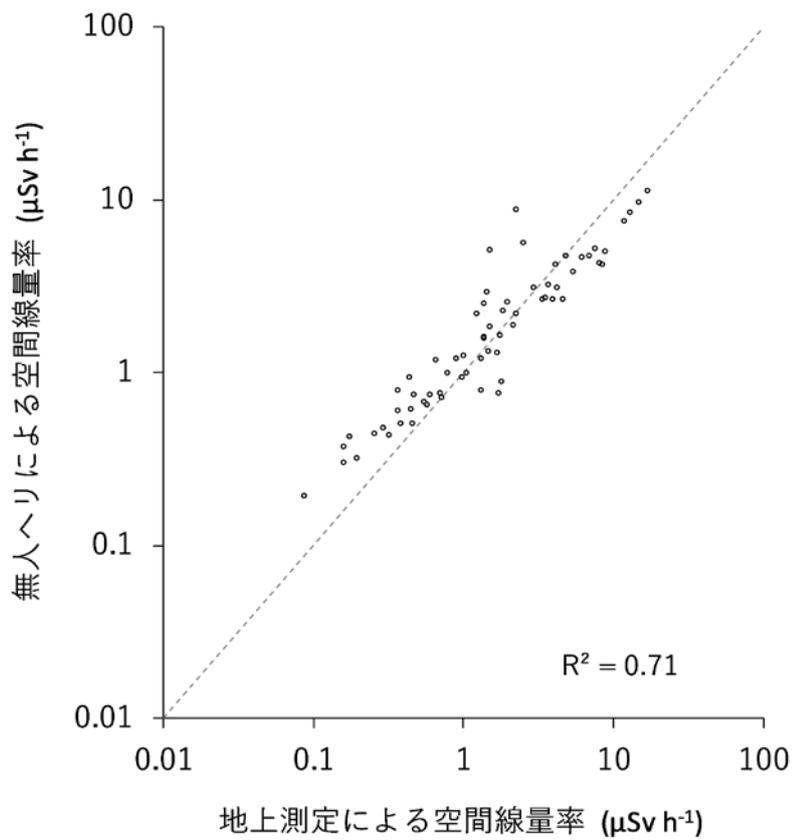


図 3-5 令和元年度の無人ヘリサーベイと地上測定による空間線量率の比較

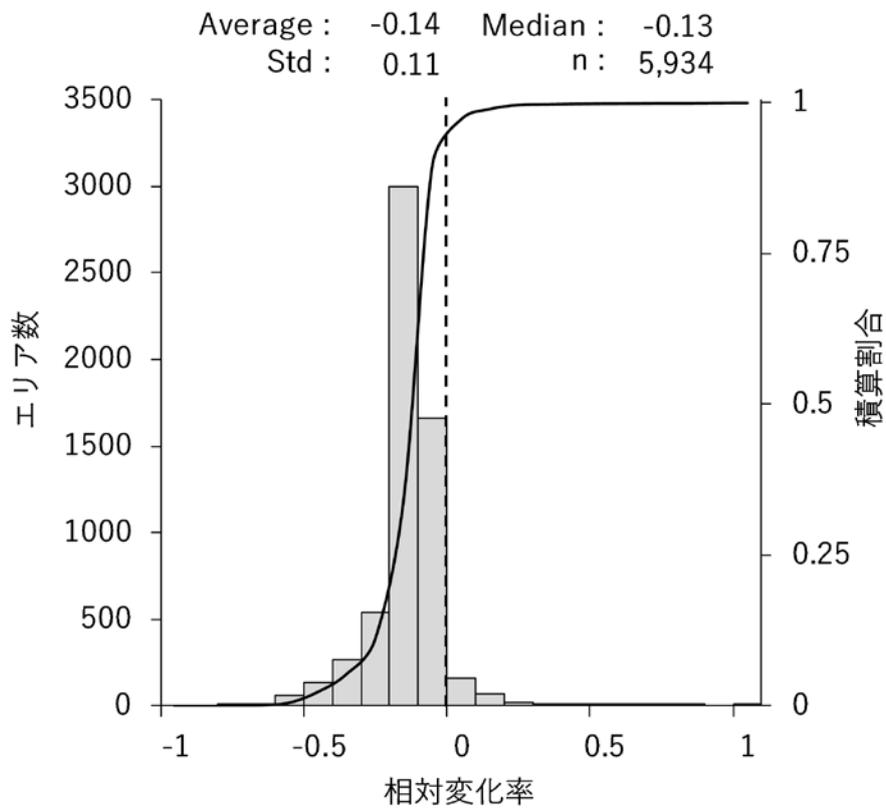
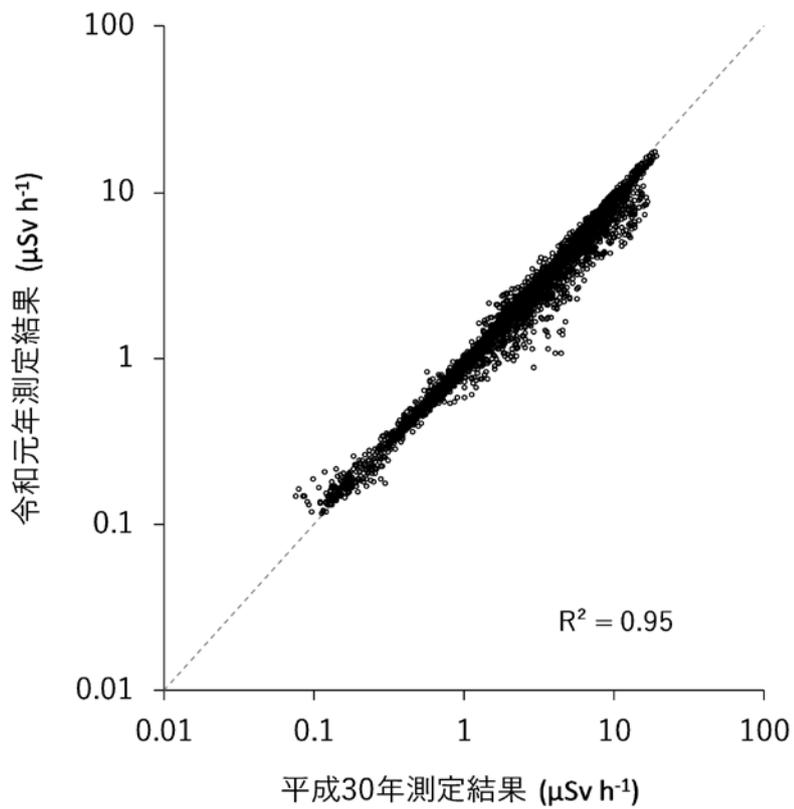


図 3-6 平成 30 年度と令和元年度の無人ヘリサーベイによる空間線量率測定結果の比較

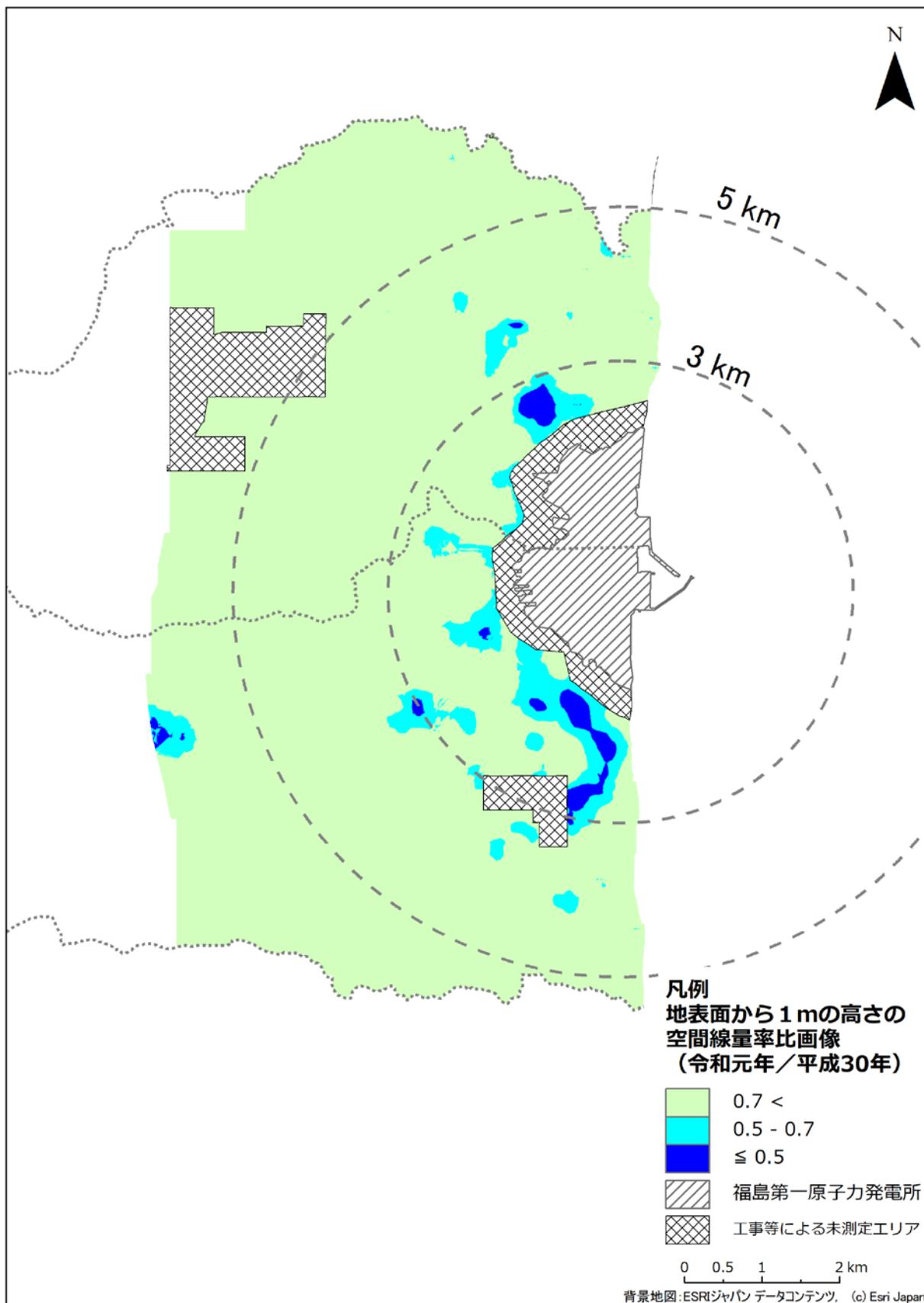


図 3-7 平成 30 年度に対する令和元年度の無人ヘリサーベイによる空間線量率測定結果の比の分布

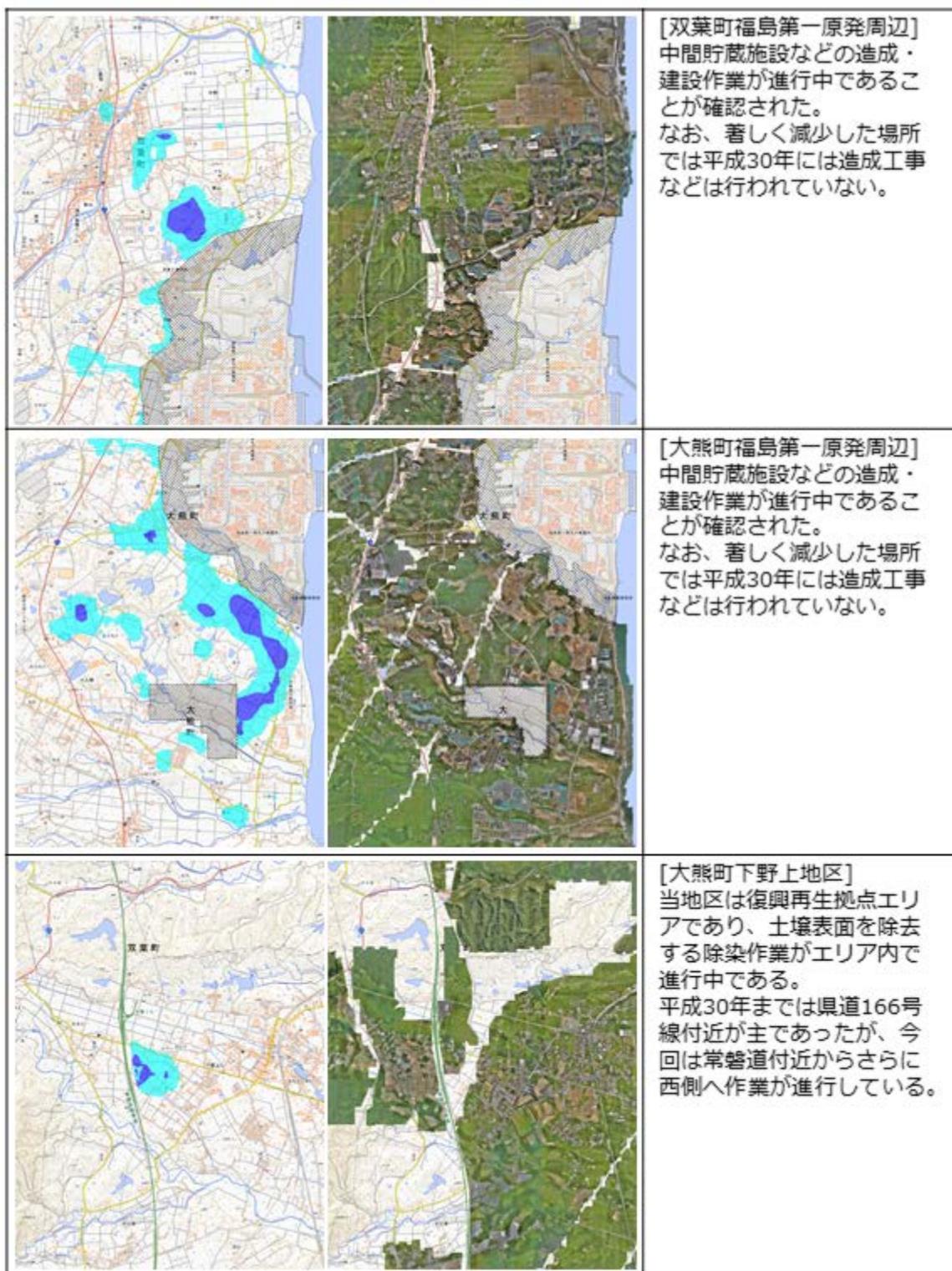


図 3-8 平成 30 年度から令和元年度にかけて空間線量率が顕著に減少した場所の要因調査

(左から地理院タイルに線量マップ(令和元年度/平成 30 年度)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を作成して掲載。オルソ画像とは、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に変換したものである。)

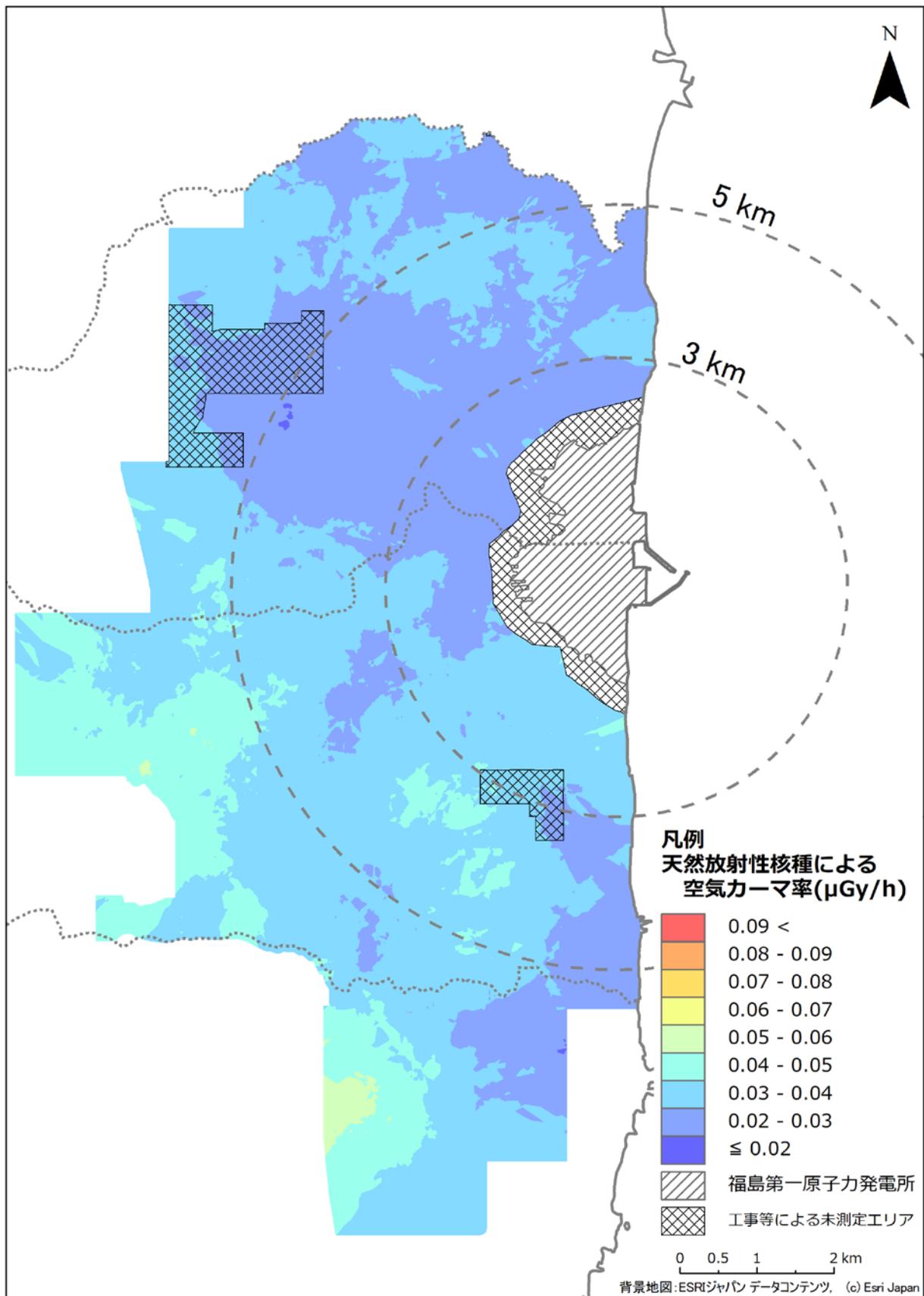


図 3-9 令和元年度無人ヘリサーベイによる天然放射性核種による空気カーマ率の分布測定結果

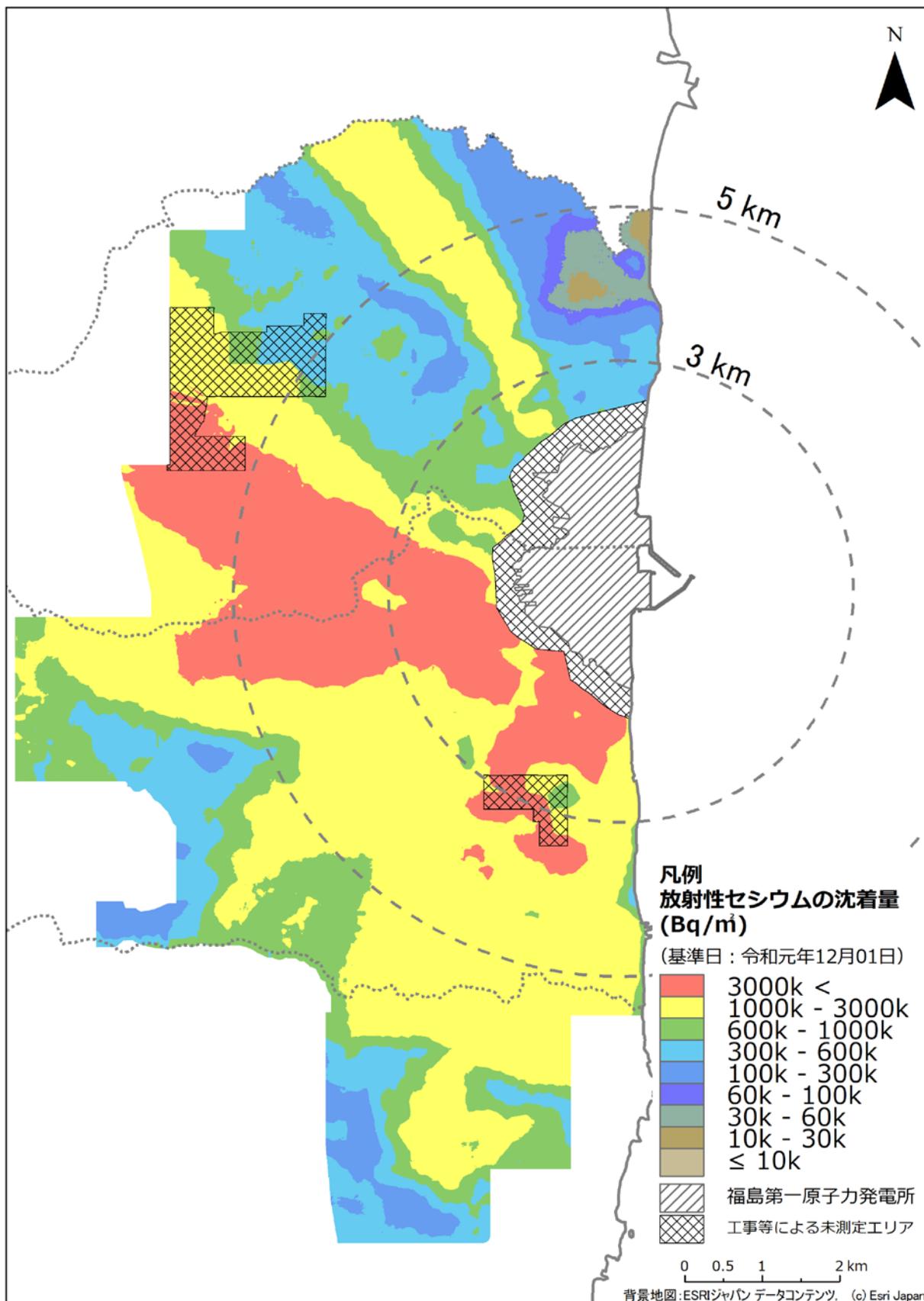


図 3-10 令和元年度無人ヘリサーベイによる放射性セシウム沈着量分布マップ