

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域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.	地上における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.	無人ヘリによる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.	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	48
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	60
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	62
5.1.	目的	62
5.2.	測定結果の変化傾向	62
5.3.	実効半減期算出方法	67
5.4.	空間線量率の実効半減期	67
5.5.	放射性セシウム沈着量の実効半減期	73
5.6.	同一メッシュにおける空間線量率の変化傾向	75
6.	測定箇所の重要度分類のためのスコア化の検討	78
7.	実測データの統合的解析	80
7.1.	調査目的	80
7.2.	調査内容	80
7.2.1.	異なる測定方法による空間線量率の特徴	80
7.2.2.	統合手法の概要	81
7.3.	80 km 圏内を対象とした統合マップの作成	82
7.3.1.	対象とした測定データ	82
7.3.2.	歩行サーベイ結果の空間パターンの解析	85
7.3.3.	走行サーベイと歩行サーベイの比較	87
7.3.4.	航空機サーベイと歩行サーベイの比較	89
7.3.5.	統合結果	91
7.3.6.	妥当性検証	92
7.4.	福島県全域を対象とした統合マップの作成	94
7.4.1.	対象とした測定データ	94
7.4.2.	歩行サーベイ相当データを対象とした空間パターンの解析	101
7.4.3.	走行サーベイデータと歩行サーベイ相当データの比較	103
7.4.4.	航空機サーベイデータと歩行サーベイ相当データの比較	106
7.4.5.	統合結果	109
7.4.6.	妥当性検証	111
8.	空間線量率等分布マップの作成と公開	112
8.1.	目的	112
8.2.	空間線量率等分布マップの作成と公開	112
8.3.	空間線量率等分布マップの運用管理	112

8.4.	マップシステムの改善検討.....	119
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.....	123
9.1.	測定方法及び測定結果.....	123
9.1.1.	空間線量率.....	123
9.1.2.	積算線量.....	123
9.1.3.	大気浮遊じん中放射性物質濃度.....	123
9.1.4.	環境試料（土壌及び松葉）中放射性物質濃度.....	123
9.2.	測定結果の公開.....	123
10.	測定データのCSV化.....	130
10.1.	CSV等の形式で保存した測定データ.....	130
10.2.	保存した測定データの公開.....	130
11.	まとめ.....	132
	参考文献.....	134

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	68
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	79
表 8-1	国及び地域別アクセス状況（上位 10 番目まで）	114
表 8-2	都道府県ごとの業種別アクセス割合	115
表 8-3	ユーザ環境（利用 OS）別閲覧頻度（上位 10 番目まで）	115
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）	116
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	124
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	130
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	131

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	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
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	58
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	61
図 5-1	本事業で得られた空間線量率の変化傾向 (1/2)	64
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	66
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	69
図 5-4	定点サーベイ結果における指数関数の近似	70
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	71
図 5-6	航空機サーベイ結果における指数関数の近似	72
図 5-7	in-situ 測定結果における指数関数の近似	74

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.....	76
図 5-9	各モニタリングのイメージと測定対象.....	77
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.....	77
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).....	83
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).....	84
図 7-3	80 km 圏内における土地利用状況.....	85
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.....	86
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.....	87
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.....	88
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.....	89
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.....	90
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.....	91
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).....	92
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.....	93
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.....	94
図 7-13	平成 29 年度に実施されたモニタリングメッシュ調査と歩行サーベイによる空間線量率の相関分析.....	96
図 7-14	平成 30 年度に実施されたモニタリングメッシュ調査と歩行サーベイによる空間線量率の相関分析.....	97
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と歩行サーベイによる空間線量率の相関分析.....	98
図 7-16	空間線量率の統合 (福島県全域) に用いた平成 29 年度の歩行サーベイ相当データ、走行サーベイ及び航空機サーベイ結果.....	99
図 7-17	空間線量率の統合 (福島県全域) に用いた平成 30 年度の歩行サーベイ相当データ、走行サーベイ及び航空機サーベイ結果.....	100
図 7-18	空間線量率の統合 (福島県全域) に用いた令和元年度の歩行サーベイ相当データ、走行サーベイ及び航空機サーベイ結果.....	101
図 7-19	平成 29 年度 11 月期に実施された福島県全域 (避難指示区域外) における歩行サーベイ相当データによる空間線量率のバリオグラム.....	102
図 7-20	平成 30 年度 11 月期に実施された福島県全域 (避難指示区域外) における歩行サーベイ相当データによる空間線量率のバリオグラム.....	102
図 7-21	令和元年度 11 月期に実施された福島県全域 (避難指示区域外) における歩行サーベイ相当データによる空間線量率のバリオグラム.....	103

図 7-22	平成 29 年度に実施された走行サーベイデータと歩行サーベイ相当データとの相関分析結果（避難指示区域内を除いた福島県全域）	104
図 7-23	平成 30 年度に実施された走行サーベイデータと歩行サーベイ相当データとの相関分析結果（避難指示区域内を除いた福島県全域）	105
図 7-24	令和元年度に実施された走行サーベイデータと歩行サーベイ相当データとの相関分析結果（避難指示区域内を除いた福島県全域）	106
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歩行サーベイ相当データとの相関分析結果（避難指示区域内を除いた福島県全域）	107
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歩行サーベイ相当データとの相関分析結果（避難指示区域内を除いた福島県全域）	108
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歩行サーベイ相当データとの相関分析結果（避難指示区域内を除いた福島県全域）	109
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（福島県全域及び 80km 圏内）	110
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（福島県全域及び 80km 圏内）	110
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（福島県全域及び 80km 圏内）	111
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	116
図 8-2	平成 25 年度から令和元年度間のアクセス状況	116
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	117
図 8-4	都道府県ごとのアクセス指数	118
図 8-5	日本の地図記号と外国人向け地図記号の比較	120
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）	121
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	122
図 9-1	測定及び採取地点	125
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	126
図 9-3	積算線量の経時変化	127
図 9-4	大気浮遊じん中セシウム 137 濃度の経時変化	128
図 9-5	土壌中セシウム 137 濃度の経時変化	128
図 9-6	松葉中セシウム 137 濃度の経時変化	129

(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