

令和3年度

特定復興再生拠点区域における大気放射能濃度調査事業

委託業務成果報告書

令和4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、内閣府による令和3年度特定復興再生拠点区域における大気放射能濃度調査事業の成果をとりまとめたものである。

目次

1. はじめに.....	6
2. 調査方法.....	8
2.1 調査地点.....	8
2.2 調査期間.....	11
2.3 試料採取.....	16
2.4 前処理.....	19
2.5 放射能分析.....	20
3. 評価方法.....	21
3.1 再浮遊係数の評価.....	21
3.2 実測値に基づく吸入に伴う内部被ばく評価.....	23
3.3 確率論に基づく吸入に伴う内部被ばく評価の概要.....	23
3.4 評価モデルのパラメータ.....	23
4. 調査結果.....	27
4.1 気象観測結果.....	27
4.2 放射能の測定結果.....	30
4.3 大気浮遊塵濃度の調査結果.....	35
4.4 浮遊塵放射能濃度の調査結果.....	37
4.5 大気放射能濃度の調査結果.....	39
4.6 年度別の調査結果の比較.....	41
5. 評価結果.....	44
5.1 再浮遊係数の評価結果.....	44
5.1.1 放射性セシウムの ^{137}Cs 地表面濃度.....	44
5.2 再浮遊係数の調査結果.....	48
5.3 実測値に基づく吸入に伴う内部被ばく評価結果.....	50
5.4 年度別の実測値に基づく吸入被ばく評価結果の比較.....	52
5.5 確率論に基づく吸入に伴う内部被ばく評価結果.....	55
5.6 年度別の確率論に基づく吸入に伴う被ばく評価結果の比較.....	58
6. まとめ.....	59
謝辞.....	60
参考文献.....	60
7. 参考資料.....	61
7.1 日中測定と昼夜連続測定による大気浮遊塵濃度の違い.....	62
7.1.1 日中測定と昼夜連続測定について.....	62
7.1.2 調査期間.....	62

7.1.3	放射能の測定結果	62
7.1.4	日中測定結果の評価	62

図表目次

表 2-1	調査地点概要	8
表 2-2	試料採取期間 (1/5)	11
表 2-3	試料採取期間 (2/5)	12
表 2-4	試料採取期間 (3/5)	13
表 2-5	試料採取期間 (4/5)	14
表 2-6	試料採取期間 (5/5)	15
表 2-7	ダストサンプラーの仕様	16
表 2-8	気象観測装置の仕様	17
表 2-9	NaI サーベイメータの仕様	18
表 3-1	被ばく線量評価モデルのパラメータ	26
表 4-1	気象データ (1/3)	27
表 4-2	気象データ (2/3)	28
表 4-3	気象データ (3/3)	29
表 4-4	放射能分析結果 (1/5)	30
表 4-5	放射能分析結果 (2/5)	31
表 4-6	放射能分析結果 (3/5)	32
表 4-7	放射能分析結果 (4/5)	33
表 4-8	放射能分析結果 (5/5)	34
表 4-9	2021 年 4 月から 2022 年 3 月における大気浮遊塵濃度の平均値	35
表 4-10	2021 年 4 月から 2022 年 3 月における浮遊塵放射能濃度の平均値	37
表 4-11	2021 年 4 月から 2022 年 3 月における大気放射能濃度の平均値	39
表 5-1	土壌深度ごとの放射能分析結果 (1/2)	45
表 5-2	土壌深度ごとの放射能分析結果 (2/2)	46
表 5-3	放射性セシウムの ^{137}Cs 地表面濃度の解析結果	47
表 5-4	2021 年 4 月から 2022 年 3 月における再浮遊係数の平均値	48
表 5-5	吸入に伴う内部被ばく評価結果	50
表 5-6	被ばく線量 ($\mu\text{Sv day}^{-1}$) の統計値	56
表 7-1	試料採取期間	63
表 7-2	放射能分析結果	63
表 7-3	日中測定と昼夜連続測定による大気浮遊塵中の ^{137}Cs 濃度	64
図 2-1	調査位置	9
図 2-2	調査地点の外観 (F 地点)	10
図 2-3	調査地点の外観 (O 地点と T 地点)	10
図 2-4	ろ紙の交換作業状況	16

図 2-5	気象観測装置の設置状況	17
図 2-6	空間線量率の測定作業状況	18
図 2-7	採取試料の放射能測定容器への封入作業.....	19
図 2-8	ゲルマニウム半導体検出器を用いた放射能測定作業	20
図 3-1	in-situ 測定作業風景	22
図 3-2	コアサンプラー用いた土壌試料採取風景.....	22
図 4-1	調査地点毎の気象観測結果	29
図 4-2	調査地点ごとの大気浮遊塵濃度	36
図 4-3	大気浮遊塵濃度の経時変化	36
図 4-4	調査地点ごとの浮遊塵放射能濃度	38
図 4-5	浮遊塵放射能濃度の経時変化.....	38
図 4-6	調査地点ごとの大気放射能濃度	40
図 4-7	大気放射能濃度の経時変化	40
図 4-8	大気浮遊塵濃度の調査結果比較	42
図 4-9	浮遊塵放射能濃度の調査結果比較	42
図 4-10	大気放射能濃度の調査結果比較	43
図 5-1	土壌中 ^{137}Cs の深度プロファイル	47
図 5-2	調査地点ごとの再浮遊係数	49
図 5-3	再浮遊係数の経時変化.....	49
図 5-4	調査地点ごとの吸入に伴う内部被ばく評価結果.....	51
図 5-5	吸入に伴う内部被ばく評価結果の経時変化.....	51
図 5-6	再浮遊係数の評価結果比較	53
図 5-7	吸入被ばくによる実効線量の評価結果比較.....	53
図 5-8	空間線量率と大気放射能濃度の関係.....	54
図 5-9	各自治体における特定復興再生拠点内への一時立ち入りによる被ばく線量	57
図 5-10	特定再生拠点内への一時立ち入りによる被ばく線量評価の比較	58

1. はじめに

東京電力ホールディングス株式会社福島第一原子力発電所（以下「福島第一原子力発電所」という。）の事故に伴って環境中に放出された放射性物質による被ばくのリスクを回避することを目的として、空間線量率の状況に応じた避難指示区域（避難指示解除準備区域、居住制限区域、帰還困難区域）が設定された。このうち、避難指示解除準備区域や居住制限区域では除染や復旧工事等が進められ、2017年春までに大熊町・双葉町を除く各市町村の両区域は解除された。また、避難指示の解除に当たっては、放射線の健康影響等に関する不安に答える対策を取りまとめた「帰還に向けた安全・安心対策に関する基本的考え方」（2013年11月20日）¹⁾を踏まえた放射線防護対策が講じられてきた。

一方、長期にわたって居住を制限するとされていた帰還困難区域に対しても、“区域の見直しは行わず、線量の低下状況も踏まえて避難指示を解除し、居住を可能とすることを目指す「復興拠点」の整備を可能とする”との方針が、「帰還困難区域の取扱いに関する考え方」（2016年8月31日）²⁾で示された。この方針を受けて、福島復興再生特別措置法が改正（2017年5月19日公布・施行）され、帰還困難区域内についても概ね5年以内に避難指示を解除し、居住を可能とすることを目指す「特定復興再生拠点区域」を町村ごとに定めることが可能となり、帰還困難区域をもつ6町村（浪江町、双葉町、大熊町、富岡町、飯館村、葛尾村）において「特定復興再生拠点区域復興再生計画」が策定された。いずれの特定復興再生拠点区域も2022年春頃から2023年春頃までに避難指示を解除することを目標に、区域内の除染やインフラ等の整備が進められている。2020年3月にはJR常磐線の全線開通に合わせ駅周辺の一部を避難指示解除や2021年には立ち入り規制緩和など、段階的な避難指示解除が行われた。

内閣府原子力災害対策本部原子力被災者生活支援チーム（以下「支援チーム」という。）は、こうした避難指示解除に向けた動きが進んでいることを踏まえ、2018年8月から、特定復興再生拠点区域への住民の帰還を現実のものとするべく、必要な放射線防護対策の検討を開始した³⁾。具体的には、2013年11月に示された「帰還に向けた安全・安心対策に関する基本的考え方」を踏まえつつ、高線量地域を含む帰還困難区域の一部を特定復興再生拠点区域として解除することに鑑み、これまで以上に住民の放射線に関する種々の不安にきめ細かく対応するために以下のような対策を講じることが「特定復興再生拠点における放射線防護対策について」（2018年12月12日）⁴⁾で示された。

- 1) 個人線量管理の着実な実施
- 2) 詳細な線量マップの提示
- 3) 区域内における代表的な行動パターンに基づく外部被ばく線量の推計値の提示
- 4) 内部被ばく調査のためのダストサンプリングの実施

- 5) 代表地点における区域内に残置された物の汚染度合いの調査
- 6) 実走による放射性物質の付着調査
- 7) 住民等を対象とした相談窓口の確保 等

上記の方針に基づき、支援チームは令和元年度から内部被ばく評価のために特定復興再生拠点区域内においてダストサンプリングを開始した。本事業は、内閣府からの委託を受け、特定復興再生拠点区域内における大気放射能濃度調査を実施するものである。

2. 調査方法

2.1 調査地点

大気放射能濃度を測定するために、表 2-1 及び図 2-1、図 2-2 に示す調査地点にハイボリュームエアースンプラー（以下「ダストサンプラー」という。）を設置し、大気浮遊塵を採取した。また、今年度から気象条件による大気浮遊塵濃度の変動傾向を把握するために、同一地点に気象観測装置を設置し、観測を開始した。

なお、双葉町の F-3、F-4 での観測は、測定地点としていた東京電力社宅が取り壊しのため 2021 年 9 月までとし、2021 年 10 月以降は同町の長塚越田スクリーニング場内（F-5、F-6）で観測を開始した。大熊町と富岡町の調査地点については令和 2 年度から変更はない。

表 2-1 調査地点概要

	市町村	地点	緯度	経度	地面の状態
F-3	双葉町	東京電力社宅	37.45562	141.00153	草地
F-4	双葉町	東京電力社宅	37.45563	141.00127	アスファルト
F-5	双葉町	長塚越田スクリーニング場	37.45716	141.00571	碎石交じり土
F-6	双葉町	長塚越田スクリーニング場	37.45754	141.00553	アスファルト
O-1	大熊町	保育所	37.40505	140.97693	土
O-2	大熊町	老人福祉センター	37.40499	140.97719	アスファルト
T-1	富岡町	夜の森つつみ公園	37.36365	140.99696	草地
T-2	富岡町	夜ノ森駅北側駐車場	37.36677	140.99245	アスファルト

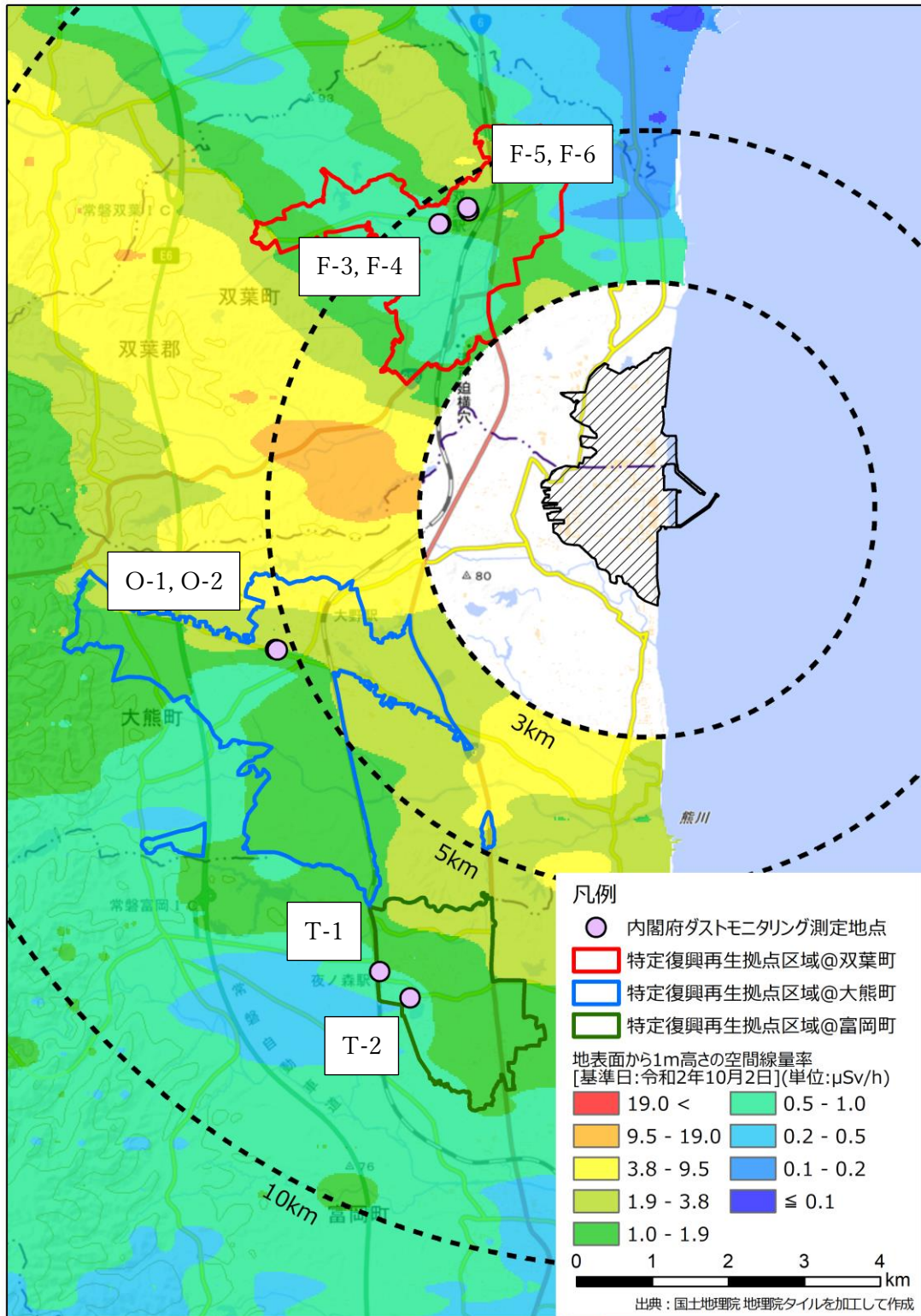


図 2-1 調査位置

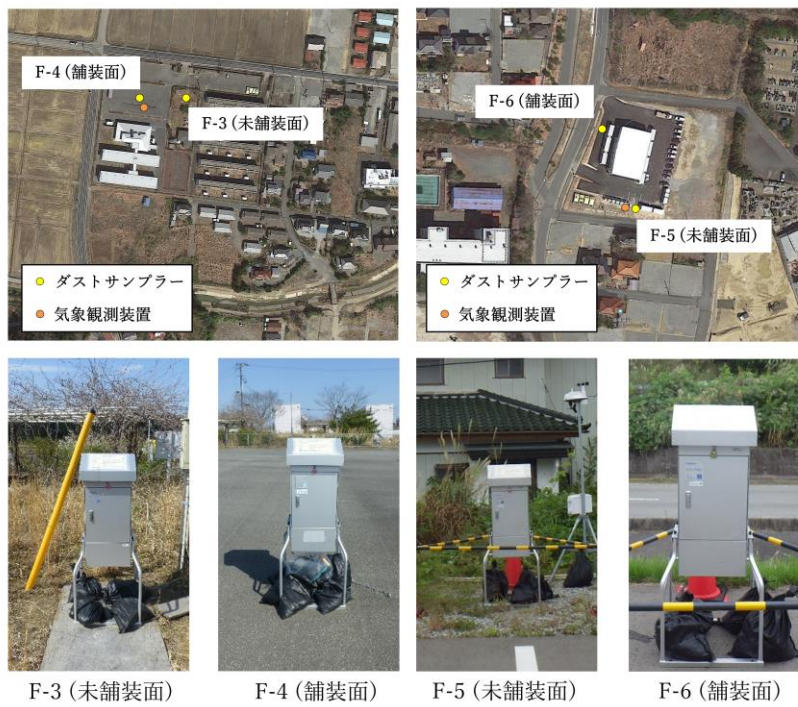


図 2-2 調査地点の外観 (F 地点)



図 2-3 調査地点の外観 (O 地点と T 地点)

2.2 調査期間

大気浮遊塵は2021年4月から2022年3月にかけて、表2-1に示す地点で定期的に採取した。試料採取期間の詳細を表2-2～表2-6に示す。

表 2-2 試料採取期間 (1/5)

採取地点	試料 No.	採取開始日	採取終了日	採取期間 (日)	採取時間 (時間)	空間線量率 (μ Sv h ⁻¹)
双葉町						
F-3	F-3-01	2021/4/6	2021/4/16	10	243.00	0.14
F-4	F-4-01				242.98	0.20
F-3	F-3-02	2021/4/16	2021/4/27	11	260.82	0.14
F-4	F-4-02				260.73	0.22
F-3	F-3-03	2021/4/27	2021/5/11	14	335.97	0.14
F-4	F-4-03				336.02	0.21
F-3	F-3-04	2021/5/11	2021/5/25	14	335.60	0.14
F-4	F-4-04				335.37	0.21
F-3	F-3-05	2021/5/25	2021/6/8	14	340.03	0.14
F-4	F-4-05				339.98	0.21
F-3	F-3-06	2021/6/8	2021/6/22	14	334.26	0.14
F-4	F-4-06				334.03	0.21
F-3	F-3-07	2021/6/22	2021/7/6	14	330.88	0.13
F-4	F-4-07				330.83	0.21
F-3	F-3-08	2021/7/6	2021/7/20	14	336.02	0.13
F-4	F-4-08				336.02	0.21
F-3	F-3-09	2021/7/20	2021/8/3	14	336.18	0.13
F-4	F-4-09				336.10	0.20
F-3	F-3-10	2021/8/3	2021/8/17	14	337.08	0.13
F-4	F-4-10				336.73	0.18
F-3	F-3-11	2021/8/17	2021/8/31	14	334.83	0.14
F-4	F-4-11				334.62	0.20
F-3	F-3-12	2021/8/31	2021/9/14	14	335.43	0.13
F-4	F-4-12				335.55	0.20
F-3	F-3-13	2021/9/14	2021/9/28	14	336.55	0.13
F-4	F-4-13				336.15	0.20
F-5	F-5-1	2021/10/6	2021/10/19	13	311.58	0.34
F-6	F-6-1				310.77	0.39

表 2-3 試料採取期間 (2/5)

採取地点	試料 No.	採取開始日	採取終了日	採取期間 (日)	採取時間 (時間)	空間線量率 ($\mu\text{Sv h}^{-1}$)
F-5	F-5-2	2021/10/19	2021/11/1	13	312.02	0.31
F-6	F-6-2				312.03	0.37
F-5	F-5-3	2021/11/1	2021/11/16	15	359.88	0.30
F-6	F-6-3				359.52	0.36
F-5	F-5-4	2021/11/16	2021/11/30	14	335.97	0.29
F-6	F-6-4				335.88	0.37
F-5	F-5-5	2021/11/30	2021/12/14	14	335.65	0.30
F-6	F-6-5				335.68	0.37
F-5	F-5-6	2021/12/14	2021/12/28	14	335.85	0.26
F-6	F-6-6				335.80	0.38
F-5	F-5-7	2022/1/12	2022/1/25	13	311.85	0.31
F-6	F-6-7				311.83	0.36
F-5	F-5-8	2022/1/25	2022/2/8	14	336.13	0.30
F-6	F-6-8				335.78	0.37
F-5	F-5-9	2022/2/8	2022/2/22	14	338.73	0.29
F-6	F-6-9				338.67	0.37
F-5	F-5-10	2022/2/22	2022/3/8	14	332.75	0.29
F-6	F-6-10				332.67	0.35
F-5	F-5-11	2022/3/8	2022/3/22	14	335.92	0.30
F-6	F-6-11				335.83	0.37
大熊町						
O-1	O-1-01	2021/4/6	2021/4/16	10	239.88	0.39
O-2	O-2-01				239.14	1.23
O-1	O-1-02	2021/4/16	2021/4/27	11	262.60	0.38
O-2	O-2-02				262.37	1.21
O-1	O-1-03	2021/4/27	2021/5/11	14	338.70	0.39
O-2	O-2-03				338.80	1.20
O-1	O-1-04	2021/5/11	2021/5/25	14	331.65	0.38
O-2	O-2-04				331.63	1.16
O-1	O-1-05	2021/5/25	2021/6/8	14	335.75	0.36
O-2	O-2-05				335.65	1.12
O-1	O-1-06	2021/6/8	2021/6/22	14	335.45	0.39
O-2	O-2-06				335.32	1.15

表 2-4 試料採取期間 (3/5)

採取地点	試料 No.	採取開始日	採取終了日	採取期間 (日)	採取時間 (時間)	空間線量率 ($\mu\text{Sv h}^{-1}$)
O-1	O-1-07				332.60	0.35
O-2	O-2-07	2021/6/22	2021/7/6	14	332.43	1.12
O-1	O-1-08				335.23	0.37
O-2	O-2-08	2021/7/6	2021/7/20	14	335.38	1.12
O-1	O-1-09				336.38	0.36
O-2	O-2-09	2021/7/20	2021/8/3	14	336.43	1.07
O-1	O-1-10				335.73	0.34
O-2	O-2-10	2021/8/3	2021/8/17	14	335.65	1.09
O-1	O-1-11				335.12	0.36
O-2	O-2-11	2021/8/17	2021/8/31	14	335.27	1.07
O-1	O-1-12				335.30	0.35
O-2	O-2-12	2021/8/31	2021/9/14	14	334.65	1.08
O-1	O-1-13				337.00	0.36
O-2	O-2-13	2021/9/14	2021/9/28	14	336.83	1.13
O-1	O-1-14				310.53	0.38
O-2	O-2-14	2021/10/6	2021/10/19	13	309.73	1.09
O-1	O-1-15				311.40	0.35
O-2	O-2-15	2021/10/19	2021/11/1	13	311.50	1.10
O-1	O-1-16				359.85	0.35
O-2	O-2-16	2021/11/1	2021/11/16	15	359.32	1.09
O-1	O-1-17				335.67	0.36
O-2	O-2-17	2021/11/16	2021/11/30	14	335.68	1.12
O-1	O-1-18				335.58	0.35
O-2	O-2-18	2021/11/30	2021/12/14	14	335.75	1.12
O-1	O-1-19				334.85	0.34
O-2	O-2-19	2021/12/14	2021/12/28	14	334.82	1.11
O-1	O-1-20				310.97	0.37
O-2	O-2-20	2022/1/12	2022/1/25	13	310.70	1.10
O-1	O-1-21				335.92	0.36
O-2	O-2-21	2022/1/25	2022/2/8	14	335.50	1.09
O-1	O-1-22				336.08	0.35
O-2	O-2-22	2022/2/8	2022/2/22	14	335.97	1.12

表 2-5 試料採取期間 (4/5)

採取地点	試料 No.	採取開始日	採取終了日	採取期間 (日)	採取時間 (時間)	空間線量率 (μ Sv h ⁻¹)
O-1	O-1-23	2022/2/22	2022/3/8	14	334.63	0.34
O-2	O-2-23				334.57	1.24
O-1	O-1-24	2022/3/8	2022/3/22	14	333.54	0.37
O-2	O-2-24				333.45	1.09
富岡町						
T-1	T-1-01	2021/4/6	2021/4/16	10	236.67	0.28
T-2	T-2-01				237.13	0.29
T-1	T-1-02	2021/4/16	2021/4/27	11	265.97	0.29
T-2	T-2-02				265.25	0.29
T-1	T-1-03	2021/4/27	2021/5/11	14	336.28	0.27
T-2	T-2-03				336.37	0.28
T-1	T-1-04	2021/5/11	2021/5/25	14	337.48	0.27
T-2	T-2-04				336.90	0.28
T-1	T-1-05	2021/5/25	2021/6/8	14	331.67	0.28
T-2	T-2-05				332.38	0.29
T-1	T-1-06	2021/6/8	2021/6/22	14	336.25	0.28
T-2	T-2-06				336.25	0.28
T-1	T-1-07	2021/6/22	2021/7/6	14	337.43	0.28
T-2	T-2-07				336.62	0.27
T-1	T-1-08	2021/7/6	2021/7/20	14	335.90	0.28
T-2	T-2-08				335.92	0.28
T-1	T-1-09	2021/7/20	2021/8/3	14	338.17	0.28
T-2	T-2-09				338.20	0.27
T-1	T-1-10	2021/8/3	2021/8/17	14	336.78	0.26
T-2	T-2-10				336.47	0.27
T-1	T-1-11	2021/8/17	2021/8/31	14	335.53	0.27
T-2	T-2-11				335.35	0.27
T-1	T-1-12	2021/8/31	2021/9/14	14	333.38	0.26
T-2	T-2-12				333.43	0.26
T-1	T-1-13	2021/9/14	2021/9/28	14	338.25	0.26
T-2	T-2-13				338.27	0.27
T-1	T-1-14	2021/10/6	2021/10/19	13	310.68	0.28
T-2	T-2-14				310.65	0.29

表 2-6 試料採取期間 (5/5)

採取地点	試料 No.	採取開始日	採取終了日	採取期間 (日)	採取時間 (時間)	空間線量率 ($\mu\text{Sv h}^{-1}$)
T-1	T-1-15	2021/10/19	2021/11/1	13	312.17	0.25
T-2	T-2-15				312.20	0.27
T-1	T-1-16	2021/11/1	2021/11/16	15	358.77	0.26
T-2	T-2-16				358.52	0.26
T-1	T-1-17	2021/11/16	2021/11/30	14	336.80	0.27
T-2	T-2-17				336.68	0.27
T-1	T-1-18	2021/11/30	2021/12/14	14	336.07	0.26
T-2	T-2-18				336.17	0.27
T-1	T-1-19	2021/12/14	2021/12/28	14	334.77	0.28
T-2	T-2-19				334.80	0.27
T-1	T-1-20	2022/1/12	2022/1/25	13	311.70	0.26
T-2	T-2-20				311.65	0.27
T-1	T-1-21	2022/1/25	2022/2/8	14	335.07	0.26
T-2	T-2-21				334.95	0.26
T-1	T-1-22	2022/2/8	2022/2/22	14	333.45	0.26
T-2	T-2-22				333.28	0.28
T-1	F-1-23	2022/2/22	2022/3/8	14	340.12	0.25
T-2	F-2-23				340.13	0.27
T-1	F-1-24	2022/3/8	2022/3/22	14	333.48	0.26
T-2	F-2-24				333.52	0.29

2.3 試料採取

大気浮遊塵は、ダストサンプラーを用いて、シリカろ紙上に採取した。大気浮遊じんは採取高さは地表面から約 1.25m の高さとし、採取流量は 1000 L min^{-1} とした。採取した大気浮遊塵試料は、浮遊塵濃度 (mg m^{-3}) 及び放射性セシウム 137 (以下「 ^{137}Cs 」という。) 濃度の測定に供した。また、同一地点で気象観測装置による観測及び NaI サーベイメータを用いた空間線量率の測定を行った。気象観測装置は図 2-2 と図 2-3 に示す周囲に障害物の少ない開けた場所に設置し、集積センサーは地上 2.3 m の高さとした。気象データの記録間隔は 10 分間とし、その間隔における平均温度、平均湿度、平均風速、最頻風向、積算降水量を記録した。ダストサンプラー、気象観測装置及び NaI サーベイメータの仕様をそれぞれ表 2-7～表 2-9 に示す。

表 2-7 ダストサンプラーの仕様

柴田科学株式会社製	
製品名	HV-RW
標準吸引流量	1000 L min^{-1}
設定流量範囲	$100\sim 1200 \text{ L min}^{-1}$
流量精度	設定流量に対し $\pm 5\%$ 以内
ろ紙	$203\times 254 \text{ mm}$ 角形ろ紙
捕集効率	99.9 % ($0.3 \mu\text{m}$ DOP 粒子)
電源	AC100V 10A
寸法 (使用時)	$575(\text{W})\times 575(\text{D})\times 1420(\text{H})$ mm
重量	約 31 kg



図 2-4 ろ紙の交換作業状況

表 2-8 気象観測装置の仕様

Davis 社製	
製品名	ワイヤレス・ウェザーステーション Vantage Vue
動作温度範囲	-40°C～+65°C
センサー	風速センサー：マグネットセンサー式風杯 風向センサー：マグネットエンコーダー式矢羽根 温度センサー：PN 接合半導体センサー 相対湿度センサー：フィルムキャパシター式センサー 雨量計：転倒升式
風向	16 方位 0～360° 誤差 3°
風速	0.5～67 m s ⁻¹
屋外温度	-40°C～+60°C 誤差±0.5°C
屋外湿度	1～100% 相対湿度 誤差±3%
雨量率	0～1016 mm hr ⁻¹ 誤差±5%



図 2-5 気象観測装置の設置状況

表 2-9 NaI サーベイメータの仕様

日立アロカメディカル社製	
製品名	エネルギー補償形 γ 線用シンチレーションサーベイメーター TCS-172B
検出器	$\phi 25.4 \times 25.4$ mm NaI(Tl)シンチレーション検出器
測定範囲	線量当量率：BG $\sim 30 \mu$ Sv h $^{-1}$ 計数率： ~ 30 ks $^{-1}$
エネルギー特性	^{137}Cs に対し $\pm 15\%$ 以下 (3keV ~ 1.5 MeV)
使用温度範囲	0 $\sim 40^\circ\text{C}$ (周囲温度)
設定時定数	30 秒



図 2-6 空間線量率の測定作業状況

2.4 前処理

所定量の大気を吸引したろ紙は、付着した塵を落とさないように注意し、電子天秤（ザルトリウス・ジャパン株式会社製、秤量下限 0.01 mg）で試料採取後重量を測定した。その後、放射能測定用 U-8 容器（外形φ55 mm、高さ 65mm）に詰めるために、12 枚の円形に打ち抜き容器に重ねて詰めて測定試料とした（図 2-7）。

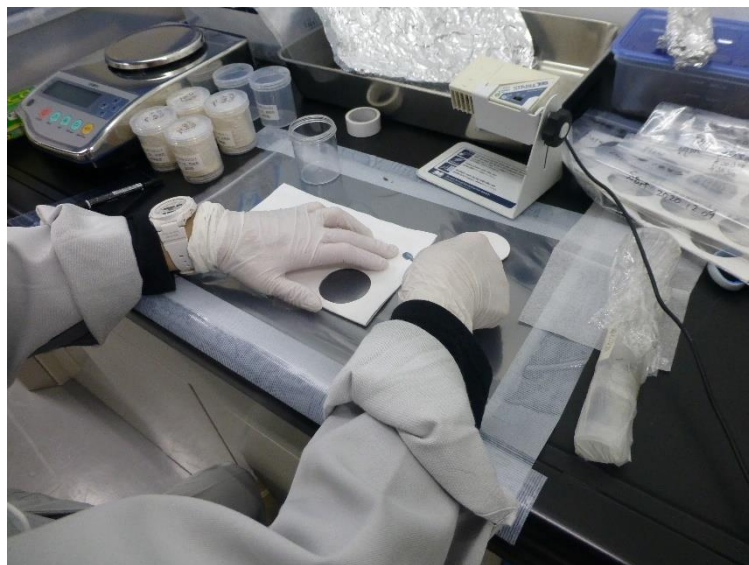


図 2-7 採取試料の放射能測定容器への封入作業

2.5 放射能分析

^{137}Cs の分析はゲルマニウム半導体検出器（ミリオンテクノロジーズ・キャンベラ株式会社製）を用いて行った。得られたガンマ線スペクトルデータはガンマエクスプローラで解析した。効率校正には放射能標準ガンマ体積線源（日本アイソトープ協会）を使用した。放射能濃度は、測定期間の大气吸引流量で除した大气放射能濃度 (Bq m^{-3}) と浮遊塵の質量で除した浮遊塵放射能濃度 (Bq kg^{-1}) で示す。



図 2-8 ゲルマニウム半導体検出器を用いた放射能測定作業

3. 評価方法

3.1 再浮遊係数の評価

大気放射能濃度は、地表面へ沈着した放射性物質が再び大気中を輸送される再浮遊事象に影響されている可能性があるため、それぞれの調査地点における再浮遊係数を評価する。再浮遊係数は一般的に次式で算出する。

$$RF = \frac{C_{air}}{I_{dep}} \quad (1)$$

ここで、

RF：再浮遊係数 (m^{-1})

C_{air} ：大気放射能濃度 ($Bq\ m^{-3}$)

I_{dep} ：地表面濃度 ($Bq\ m^{-2}$)

^{137}Cs 地表面濃度は、ゲルマニウム半導体検出器を用いた in-situ 測定法⁵⁾に基づき γ 線スペクトル測定を実施し、スペクトル解析により算出した。in-situ 測定によるスペクトル解析で使用する ^{137}Cs の緩衝深度 (放射能濃度が地表面の $1/e$ ($\approx 1/2.7$) になる深度) は、舗装面で $0.1\ g\ cm^{-2}$ 、未舗装面で実測値とした。未舗装面土壌中の緩衝深度を調べるため、F-3 地点、O-3 地点及び T-1 地点については、昨年度と同じ場所でコアサンプラーを用いて表層から $15\ cm$ 深度の土壌を採取した。10 月から新たに測定地点とした O-5 地点については、ダストサンプラー付近を土壌採取箇所とし、コアサンプラーを用いて表層から $15\ cm$ 深度の土壌を採取した。採取した土壌試料は深度ごとに分画後、ゲルマニウム半導体検出器で ^{137}Cs 濃度を測定し、緩衝深度を算出、この緩衝深度を用いたスペクトル解析を行った。得られた ^{137}Cs 地表面濃度は、測定日からの物理減衰を考慮した 2021 年 4 月 1 日時点における存在割合を求め、(1) 式に供した。¹

¹ F-5、F-6 地点については、年度途中から測定地点を変更したため、地点変更日 (2021/10/6) の存在割合を求めて、(1) 式に供した。



図 3-1 in-situ 測定作業風景



図 3-2 コアサンプラー用いた土壌試料採取風景

3.2 実測値に基づく吸入に伴う内部被ばく評価

^{137}Cs の吸入に伴う内部被ばく線量は、実測した大気放射能濃度に基づき、次式を用いて評価する。

$$E = AR \times CF \times R \times T \quad (2)$$

ここで、

E: 成人の場合の吸入による預託実効線量 (将来 50 年にわたって受ける実効線量の積算値)

AR: 大気放射能濃度 (mBq m^{-3})

CF: 吸入の場合の預託実効線量係数 (^{137}Cs : $3.9 \times 10^{-5} \text{ mSv Bq}^{-1} \text{ 6}$) を採用)

R: 呼吸率係数 ($46.32 \text{ m}^3 \text{ 日}^{-1} \text{ 7}$)

T: 屋外滞在時間 (10 時間⁸⁾)

3.3 確率論に基づく吸入に伴う内部被ばく評価の概要

実効線量は、(i) 大気浮遊塵や土壌、環境水等の環境媒体中濃度 (本稿では大気浮遊塵中の放射性物質濃度を指す) または外部放射線や吸入等による内部被ばくに起因する被ばく線量率の特定に加えて、(ii) 経路別の生活習慣または行動パターンを特定し、これらの情報と線量換算係数を組み合わせることで評価することができる。これらの (i) 及び (ii) に関する情報は、集められたデータの中から代表値を選択して点推定に用いるか、またはデータの分布を用いることで、実効線量を評価することができる。3.2 節では、代表値を用いた点推定 (一般に決定論的評価と呼ばれる) を行ったが、本節では、データの分布を用いてモンテカルロ解析を行い線量分布を評価した (一般的に確率論的評価と呼ばれる)。

ここでは、特定復興再生拠点区域での活動を再開した際に、大気の吸入により生ずる内部被ばくの実効線量について、活動範囲内の空間線量率や解析期間中の再浮遊係数、吸入に関する線量換算計数などのパラメータはばらつきを含むため、それを考慮した統計値を設定し、特定復興再生拠点区域内に一時立ち入りすることによる潜在的な実効線量の範囲を確率論的に評価する。

3.4 評価モデルのパラメータ

本稿では、住民グループ j に属する個人の再浮遊核種の吸入による内部被ばく実効線量

E_j^{RI} は以下の式 (3) で表される。

$$E_j^{res} = K \cdot B_j \cdot (RF_{res} \cdot p_{l,in,j} + p_{l,out,j}) \cdot A_{137}(0) \cdot (C_{134} \cdot k_{134}^{RI} + k_{137}^{RI}) \quad (3)$$

ここで、

K	: 再浮遊係数(m^{-1})
B_j	: 住民グループ j の呼吸率 ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$)
RF_{res}	: 建屋のフィルタリング効果による被ばく低減係数
$p_{l,in,j}$: 住民グループ j の場所 l の屋内における 1 日当たりの滞在割合
$p_{l,out,j}$: 住民グループ j の場所 l の屋外における 1 日当たりの滞在割合
$A_{137}(0)$: 空間線量率実測値に基づく ^{137}Cs 地表面濃度 (Bq m^{-2})
C_{134}	: ^{137}Cs 地表面濃度に対する ^{134}Cs の地表面濃度の比(-)
$k_{134,j}^{RI}$: 住民グループ j に対する ^{134}Cs の吸入に関する線量換算係数 (Sv Bq^{-1})
$k_{137,j}^{RI}$: 住民グループ j に対する ^{137}Cs の吸入に関する線量換算係数 (Sv Bq^{-1})

である。

空間線量率実測値 H に基づく ^{137}Cs 地表面濃度 $A_{137}(0)$ は、以下の式 (4) で表される。

$$A_{137}(0) = \frac{(H - H_n)}{C_{134} \cdot k_{134}^g + k_{137}^g} \quad (4)$$

ここで、

$A_{137}(0)$: 空間線量率実測値に基づく ^{137}Cs 地表面濃度 (Bq m^{-2})
H	: 空間線量率実測値 ($\mu \text{Sv h}^{-1}$)
H_n	: 自然放射線の寄与 ($\mu \text{Sv h}^{-1}$)
k_{134}^g	: ^{134}Cs $1 \text{Bq} \cdot \text{m}^{-2}$ から空間線量率への換算係数 ($\mu \text{Sv/h per } 1 \text{Bq} \cdot \text{m}^{-2}$)
k_{137}^g	: ^{137}Cs $1 \text{Bq} \cdot \text{m}^{-2}$ から空間線量率への換算係数 ($\mu \text{Sv/h per } 1 \text{Bq} \cdot \text{m}^{-2}$)

^{134}Cs 、 ^{137}Cs の存在割合に関しては、2011 年 3 月 15 日時点における比を $C_{134}/C_{137} = 1.0$ として、物理減衰を考慮した空間線量率実測時点における存在割合を求めた。また、自然放射線の寄与 H_n は $0.04 \mu \text{Sv h}^{-1}$ とした。

住民グループ j の場所 l の屋内外における 1 日当たりの滞在時間 $p_{l,in(or out),j}$ は、その場所での平均的な滞在時間 $t_{l,in(or out),j}$ を用いて以下の式 (5) で表される。

$$p_{l,in(or out),j} = \frac{t_{l,in(or out),j}}{10} \quad (5)$$

なお、通常、滞在割合は 1 日 24 時間に対する割合として表すが、今回は特定復興再生拠点区域に滞在する 8:00~18:00 までの 10 時間に対する割合として定義した。また、建屋のフィルタリング効果による被ばく低減係数 RF_{res} は本評価ではすべて屋外に滞在することを想定することから 1.0 と設定した。また、再浮遊係数は、確率論に基づく評価では、双葉町、

富岡町、大熊町で測定された合計のデータに対して対数正規分布を仮定して再浮遊係数値の分布形を決定し、時間に依存してないモデルとして評価した。

再浮遊核種の吸入による実効線量を確率論的に評価する際に用いたパラメータセット及び評価用いた空間線量率を整理してそれぞれ表 3-1 に示す。

表 3-1 被ばく線量評価モデルのパラメータ

名称	単位	定数値	分布形	統計値				設定根拠
				GM	GSD	Min.	Max	
k_{134}^g	$\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$	8.50E-6	—	—	—	—	—	Saito et al ⁵⁾ により示された $\beta=0.0$ に対する単位地表面濃度から周辺線量当量への換算係数を用いた。
k_{137}^g	¹ per Bq m^{-2}	3.15E-6	—	—	—	—	—	
k_{134}^{RI}	Sv Bq^{-1}	—	一様	—	—	6.6E-9	2.0E-8	ICRP Publication 71 ¹¹⁾ に示された AMAD=1 μm 、Absorption Type F,M,S の範囲の最小値、最大値を設定
k_{137}^{RI}		—	一様	—	—	4.6E-9	3.9E-8	
C_{134}	双葉町	—	0.04	—	—	—	—	2011年3月15日時点の ^{134}Cs と ^{137}Cs の存在割合を 1:1 とし、物理減衰を考慮して空間線量率測定時点における存在割合を求めた。
	大熊町	—	0.041	—	—	—	—	
	富岡町	—	0.041	—	—	—	—	
$p_{l,in,j}$	—	0.0	—	—	—	—	—	評価時間 10 時間、屋外滞在割合 1.0 とした。
$p_{l,out,j}$	—	1.0	—	—	—	—	—	
K	m^{-1}	—	対数正規	9.6E-10	3.1	1.8E-10	1.8E-8	2021年7月から2022年1月までに測定されたデータを使用。平均値、分散値は、双葉町、富岡町、大熊町の計6か所の全データ全部に対して求めた。
B_j	m^3h^{-1}	1.93	—	—	—	—	—	ラドン濃度測定・線量評価最終報告書(放射線医学総合研究所,1998)に示された速やかな歩行の値とした。
H	双葉町	—	—	0.35	2.1	—	—	2021年5月11日から8月31日までのそれぞれの地区における特定復興再生拠点区域内の歩行サーベイ結果。自然放射線を含めた値。
	大熊町	$\mu\text{Sv h}^{-1}$	—	対数正規	0.79	2.1	—	
	富岡町	—	—	0.76	2.0	—	—	

4. 調査結果

4.1 気象観測結果

表 4-1~表 4-3 に気象観測結果を示す。表 4-1~表 4-3 の気象データは大気浮遊塵の採取期間中における平均温度、平均湿度、平均風速、最頻風向、積算降水量とした。また、これらの気象観測結果の経時変化を図 4-1 に示した。

表 4-1 気象データ (1/3)

採取開始日	採取終了日	温度 (°C)	湿度 (%)	風速 (m s ⁻¹)	最頻 風向	積算降水量 (mm)
双葉町						
2021/6/22	2021/7/6	20.75	89.62	0.69	ENE	116.20
2021/7/6	2021/7/20	23.83	89.22	0.63	ENE	99.20
2021/7/20	2021/8/3	25.67	86.59	0.95	W	237.60
2021/8/3	2021/8/17	23.79	90.05	1.09	NW	276.00
2021/8/17	2021/8/31	25.60	86.56	0.59	W	63.00
2021/8/31	2021/9/14	20.30	89.62	0.72	W	171.60
2021/9/14	2021/9/28	20.47	85.71	0.81	W	45.00
2021/10/6	2021/10/19	17.33	88.95	0.46	NE	128.80
2021/10/19	2021/11/1	12.57	80.75	0.51	NE	67.80
2021/11/1	2021/11/16	12.88	80.02	0.49	NE	70.80
2021/11/16	2021/11/30	8.53	75.53	0.55	WNW	16.00
2021/11/30	2021/12/14	8.00	77.78	0.83	NE	188.00
2021/12/14	2021/12/28	4.18	72.41	0.62	NE	11.80
2022/1/12	2022/1/25	2.45	63.39	0.84	WNW	0.00
2022/1/25	2022/2/8	0.91	69.48	0.53	NE	3.00 ²
2022/2/8	2022/2/22	2.06	75.42	0.66	NE	52.00
2022/2/22	2022/3/8	4.14	65.64	0.95	WNW	0.20
大熊町						
2021/6/22	2021/7/6	20.86	89.17	0.36	NNE	85.40
2021/7/6	2021/7/20	24.21	88.45	0.32	NNE	37.80
2021/7/20	2021/8/3	25.89	85.76	0.57	SSE	255.00

² 2021年12月14日~2022年2月8日の期間において、気象観測装置の受水口にたまった積雪の影響により、本来の降水量より低く測定されている可能性がある。

表 4-2 気象データ (2/3)

採取開始日	採取終了日	温度 (°C)	湿度 (%)	風速 (m s ⁻¹)	最頻 風向	降水量 (mm)
2021/8/3	2021/8/17	23.88	90.28	0.49	NW	256.60
2021/8/17	2021/8/31	25.89	85.18	0.30	W	71.20
2021/8/31	2021/9/14	20.40	88.77	0.27	W	171.40
2021/9/14	2021/9/28	20.59	84.55	0.45	W	57.40
2021/10/6	2021/10/19	17.40	87.82	0.36	WNW	104.40
2021/10/19	2021/11/1	12.83	78.99	0.42	WNW	85.40
2021/11/1	2021/11/16	13.34	77.01	0.53	WNW	71.00
2021/11/16	2021/11/30	9.24	72.14	0.62	WNW	13.80
2021/11/30	2021/12/14	8.30	75.89	0.98	WNW	184.20
2021/12/14	2021/12/28	4.53	68.85	0.79	WNW	13.00
2022/1/12	2022/1/25	2.63	60.95	1.11	WNW	0.00
2022/1/25	2022/2/8	1.29	63.91	0.8	WNW	2.20 ³
2022/2/8	2022/2/22	2.12	74.20	0.8	WNW	50.20
2022/2/22	2022/3/8	4.64	62.09	1.35	WNW	0.00
富岡町						
2021/6/22	2021/7/6	20.74	88.32	0.76	SE	93.20
2021/7/6	2021/7/20	23.72	88.66	0.78	SE	66.80
2021/7/20	2021/8/3	25.35	87.71	1.51	SE	186.40
2021/8/3	2021/8/17	23.55	90.90	1.49	NW	265.00
2021/8/17	2021/8/31	25.75	85.81	0.83	SE	134.40
2021/8/31	2021/9/14	20.32	88.70	0.89	NW	173.40
2021/9/14	2021/9/28	20.55	84.58	1.12	W	51.00
2021/10/6	2021/10/19	17.44	87.15	1.13	NW	110.00
2021/10/19	2021/11/1	12.94	78.47	0.66	WNW	85.40
2021/11/1	2021/11/16	13.43	76.41	1.06	W	0.00
2021/11/16	2021/11/30	9.66	70.02	1.38	W	0.80 ⁴
2021/11/30	2021/12/14	8.37	75.03	1.86	W	135.20

³ 2021年12月14日~2022年2月8日の期間において、気象観測装置の受水口にたまった積雪の影響により、本来の降水量より低く測定されている可能性がある。

⁴ 2021年11月1日~2021年11月30日の期間において、気象観測装置の受水口にたまった落ち葉等の影響により、本来の降水量より低く測定されている可能性がある。

表 4-3 気象データ (3/3)

採取開始日	採取終了日	温度 (°C)	湿度 (%)	風速 (m s ⁻¹)	最頻 風向	降水量 (mm)
2021/12/14	2021/12/28	4.68	67.18	1.51	W	11.80
2022/1/12	2022/1/25	2.90	59.24	1.87	W	0.00
2022/1/25	2022/2/8	1.68	63.02	1.36	W	2.40 ⁵
2022/2/8	2022/2/22	2.18	73.48	1.36	NW	45.00
2022/2/22	2022/3/8	4.75	61.51	2.08	W	0.00

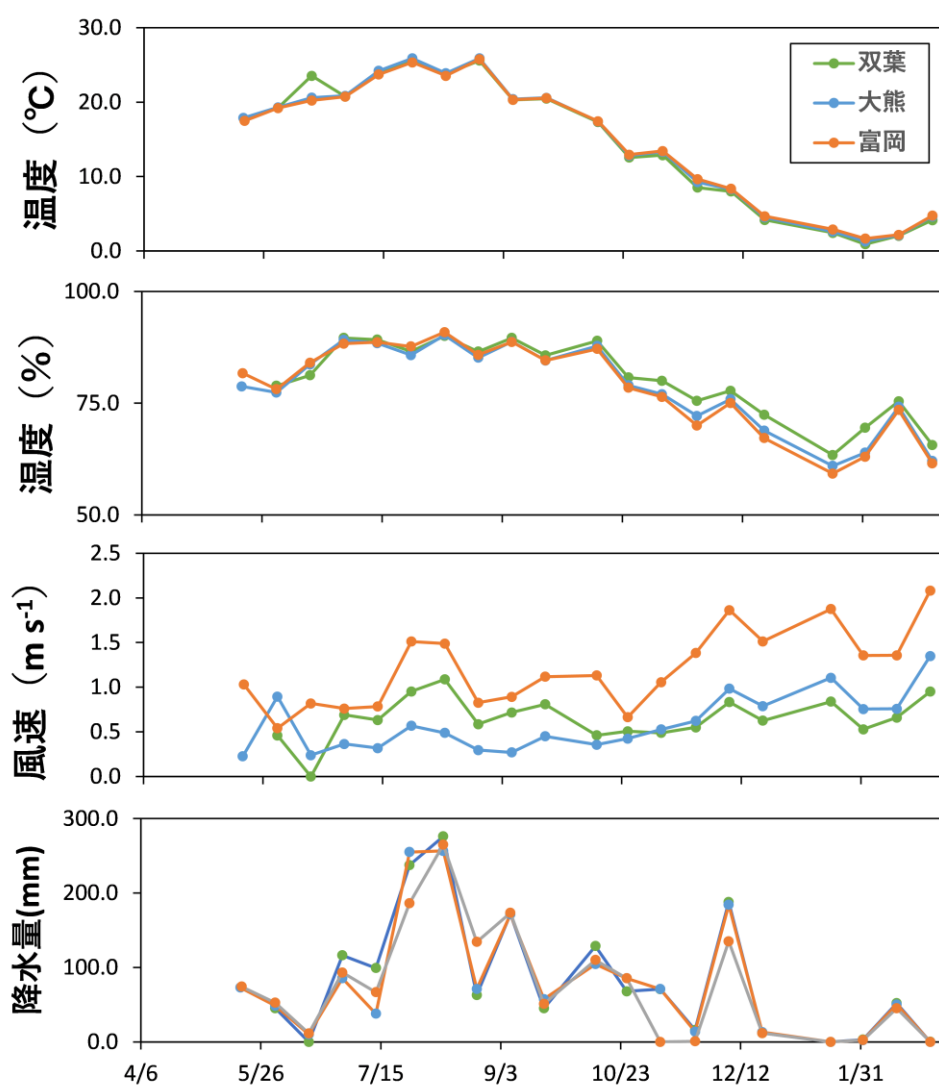


図 4-1 調査地点毎の気象観測結果

⁵ 2021年12月14日~2022年2月8日の期間において、気象観測装置の受水口にたまった積雪の影響により、本来の降水量より低く測定されている可能性がある。

4.2 放射能の測定結果

^{137}Cs 濃度の測定結果を表 4-4~表 4-8 に示す。

表 4-4 放射能分析結果 (1/5)

試料 No.	流量 (m^3)	浮遊塵濃度 (mg m^{-3})	大気 ^{137}Cs 濃度 (mBq m^{-3})	浮遊塵 ^{137}Cs 濃度 (mBq kg^{-1})
双葉町				
F-3-01	14580	3.5E-02	8.8E-02 ± 3.1E-03	2.5E+06 ± 8.8E+04
F-4-01	14579	3.1E-02	9.2E-02 ± 3.1E-03	3.0E+06 ± 1.0E+05
F-3-02	15649	2.9E-02	1.4E-01 ± 3.5E-03	5.0E+06 ± 1.2E+05
F-4-02	15644	2.9E-02	1.1E-01 ± 3.1E-03	3.9E+06 ± 1.1E+05
F-3-03	20158	2.9E-02	1.0E-01 ± 2.6E-03	3.4E+06 ± 8.9E+04
F-4-03	20161	2.5E-02	8.3E-02 ± 2.4E-03	3.3E+06 ± 9.6E+04
F-3-04	20136	2.7E-02	1.7E-01 ± 3.2E-03	6.2E+06 ± 1.2E+05
F-4-04	20122	2.5E-02	2.2E-01 ± 3.6E-03	8.8E+06 ± 1.4E+05
F-3-05	20402	3.9E-02	1.7E-01 ± 3.2E-03	4.3E+06 ± 8.0E+04
F-4-05	20399	3.7E-02	1.7E-01 ± 3.1E-03	4.5E+06 ± 8.4E+04
F-3-06	20056	2.7E-02	1.4E-01 ± 2.9E-03	4.9E+06 ± 1.1E+05
F-4-06	20059	2.8E-02	1.5E-01 ± 3.0E-03	5.4E+06 ± 1.1E+05
F-3-07	19853	1.3E-02	1.0E-01 ± 2.6E-03	7.8E+06 ± 2.0E+05
F-4-07	19850	1.3E-02	1.2E-01 ± 2.7E-03	9.1E+06 ± 2.2E+05
F-3-08	20161	1.7E-02	3.9E-01 ± 4.6E-03	2.3E+07 ± 2.7E+05
F-4-08	20161	1.6E-02	5.7E-01 ± 5.5E-03	3.4E+07 ± 3.3E+05
F-3-09	20169	2.2E-02	2.3E-01 ± 3.7E-03	1.1E+07 ± 1.7E+05
F-4-09	20164	2.1E-02	2.4E-01 ± 3.7E-03	1.1E+07 ± 1.8E+05
F-3-10	20225	1.8E-02	7.6E-02 ± 2.4E-03	4.1E+06 ± 1.3E+05
F-4-10	20204	1.7E-02	8.7E-02 ± 2.5E-03	5.1E+06 ± 1.4E+05
F-3-11	20090	1.7E-02	1.6E-01 ± 3.2E-03	9.7E+06 ± 1.9E+05
F-4-11	20077	1.8E-02	1.9E-01 ± 3.3E-03	1.0E+07 ± 1.9E+05
F-3-12	20126	1.6E-02	1.3E-01 ± 2.8E-03	7.9E+06 ± 1.7E+05
F-4-12	20133	1.9E-02	1.7E-01 ± 3.2E-03	8.7E+06 ± 1.6E+05
F-3-13	20193	2.2E-02	1.4E-01 ± 2.9E-03	6.3E+06 ± 1.3E+05
F-4-13	20169	2.1E-02	1.4E-01 ± 2.9E-03	6.6E+06 ± 1.4E+05
F-5-1	18694	1.4E-02	1.3E-01 ± 2.9E-03	9.5E+06 ± 2.2E+05
F-6-1	18646	1.4E-02	1.8E-01 ± 3.4E-03	1.3E+07 ± 2.5E+05

表 4-5 放射能分析結果 (2/5)

試料 No.	流量 (m ³)	浮遊塵濃度 (mg m ⁻³)	大気 ¹³⁷ Cs 濃度 (mBq m ⁻³)	浮遊塵 ¹³⁷ Cs 濃度 (mBq kg ⁻¹)
F-5-2	18721	7.5E-03	6.2E-02±2.3E-03	8.3E+06±3.1E+05
F-6-2	18722	1.1E-02	7.7E-02±2.5E-03	7.1E+06±2.3E+05
F-5-3	21593	1.1E-02	9.8E-02±2.5E-03	8.6E+06±2.2E+05
F-6-3	21572	1.3E-02	1.2E-01±2.6E-03	9.1E+06±2.1E+05
F-5-4	20158	1.4E-02	1.7E-01±3.2E-03	1.3E+07±2.3E+05
F-6-4	20153	1.3E-02	1.4E-01±3.0E-03	1.1E+07±2.2E+05
F-5-5	20139	1.7E-02	1.8E-01±3.5E-03	1.1E+07±2.1E+05
F-6-5	20140	1.8E-02	1.6E-01±3.3E-03	8.5E+06±1.8E+05
F-5-6	20151	1.1E-02	9.3E-02±2.7E-03	8.4E+06±2.5E+05
F-6-6	20148	1.3E-02	1.0E-01±2.8E-03	7.6E+06±2.1E+05
F-5-7	18711	1.1E-02	1.1E-01±3.0E-03	1.1E+07±2.8E+05
F-6-7	18710	1.9E-02	2.2E-01±4.0E-03	1.1E+07±2.1E+05
F-5-8	20168	8.4E-03	6.0E-02±2.1E-03	7.1E+06±2.5E+05
F-6-8	20147	1.1E-02	9.7E-02±2.6E-03	8.6E+06±2.3E+05
F-5-9	20324	1.0E-02	7.2E-02±2.2E-03	6.9E+06±2.1E+05
F-6-9	20320	1.2E-02	8.1E-02±2.4E-03	6.9E+06±2.0E+05
F-5-10	19965	1.6E-02	2.1E-01±3.4E-03	1.3E+07±2.1E+05
F-6-10	19960	1.6E-02	2.1E-01±3.4E-03	1.3E+07±2.2E+05
大熊町				
O-1-01	14392	2.5E-02	8.4E-01±7.9E-03	3.3E+07±3.1E+05
O-2-01	14348	3.1E-02	1.5E+00±1.1E-02	4.9E+07±3.4E+05
O-1-02	15756	3.0E-02	2.5E-01±4.2E-03	8.2E+06±1.4E+05
O-2-02	15742	3.1E-02	2.5E-01±4.2E-03	8.0E+06±1.4E+05
O-1-03	20322	3.8E-02	1.8E-01±3.3E-03	4.8E+06±8.6E+04
O-2-03	20328	3.8E-02	1.4E-01±2.9E-03	3.7E+06±7.7E+04
O-1-04	19899	1.9E-02	2.5E-01±3.8E-03	1.3E+07±2.0E+05
O-2-04	19898	3.9E-02	2.9E-01±4.0E-03	7.5E+06±1.0E+05
O-1-05	20145	2.2E-02	1.6E-01±3.1E-03	7.3E+06±1.4E+05
O-2-05	20139	2.2E-02	1.6E-01±3.1E-03	7.2E+06±1.4E+05
O-1-06	20127	1.8E-02	1.6E-01±3.1E-03	8.7E+06±1.7E+05
O-2-06	20119	1.8E-02	1.8E-01±3.3E-03	9.8E+06±1.8E+05

表 4-6 放射能分析結果 (3/5)

試料 No.	流量 (m ³)	浮遊塵濃度 (mg m ⁻³)	大気 ¹³⁷ Cs 濃度 (mBq m ⁻³)	浮遊塵 ¹³⁷ Cs 濃度 (mBq kg ⁻¹)
O-1-07	19956	9.5E-03	1.2E-01±2.8E-03	1.3E+07±2.9E+05
O-2-07	19946	9.5E-03	1.3E-01±2.8E-03	1.3E+07±3.0E+05
O-1-08	20114	1.4E-02	1.9E-01±3.3E-03	1.3E+07±2.3E+05
O-2-08	20120	1.5E-02	2.0E-01±3.4E-03	1.3E+07±2.3E+05
O-1-09	20183	1.3E-02	1.1E-01±2.7E-03	8.8E+06±2.1E+05
O-2-09	20186	1.3E-02	1.3E-01±2.9E-03	1.0E+07±2.2E+05
O-1-10	20147	1.0E-02	7.6E-02±2.4E-03	7.4E+06±2.3E+05
O-2-10	20136	1.0E-02	8.4E-02±2.4E-03	8.0E+06±2.3E+05
O-1-11	20107	1.3E-02	1.9E-01±3.4E-03	1.4E+07±2.5E+05
O-2-11	20116	1.3E-02	2.1E-01±3.5E-03	1.6E+07±2.6E+05
O-1-12	20118	1.1E-02	1.1E-01±2.7E-03	1.0E+07±2.4E+05
O-2-12	20079	1.1E-02	1.3E-01±2.8E-03	1.1E+07±2.5E+05
O-1-13	20220	1.4E-02	1.1E-01±2.7E-03	8.0E+06±1.9E+05
O-2-13	20210	1.4E-02	1.1E-01±2.6E-03	7.7E+06±1.9E+05
O-1-14	18632	1.1E-02	9.7E-02±2.7E-03	8.8E+06±2.4E+05
O-2-14	18584	1.1E-02	1.2E-01±2.9E-03	1.1E+07±2.7E+05
O-1-15	18684	9.9E-03	7.3E-02±2.4E-03	7.3E+06±2.4E+05
O-2-15	18690	9.6E-03	7.4E-02±2.4E-03	7.6E+06±2.5E+05
O-1-16	21591	9.8E-03	9.3E-02±2.4E-03	9.5E+06±2.5E+05
O-2-16	21559	9.1E-03	1.2E-01±2.7E-03	1.3E+07±2.9E+05
O-1-17	20140	9.8E-03	9.8E-02±2.6E-03	1.0E+07±2.6E+05
O-2-17	20141	9.4E-03	9.5E-02±2.6E-03	1.0E+07±2.7E+05
O-1-18	20135	1.1E-02	8.9E-02±2.6E-03	8.4E+06±2.5E+05
O-2-18	20145	1.0E-02	8.2E-02±2.6E-03	7.9E+06±2.5E+05
O-1-19	20091	8.0E-03	8.6E-02±2.7E-03	1.1E+07±3.3E+05
O-2-19	20089	8.0E-03	9.9E-02±2.7E-03	1.2E+07±3.4E+05
O-1-20	18658	7.5E-03	7.4E-02±2.6E-03	9.9E+06±3.5E+05
O-2-20	18642	7.8E-03	8.1E-02±2.7E-03	1.0E+07±3.5E+05
O-1-21	20151	9.2E-03	9.4E-02±2.5E-03	1.0E+07±2.7E+05
O-2-21	20148	9.2E-03	1.3E-01±2.9E-03	1.4E+07±3.1E+05
O-1-22	20165	9.5E-03	8.9E-02±2.5E-03	9.4E+06±2.6E+05
O-2-22	20158	1.0E-02	1.1E-01±2.7E-03	1.1E+07±2.7E+05

表 4-7 放射能分析結果 (4/5)

試料 No.	流量 (m ³)	浮遊塵濃度 (mg m ⁻³)	大気 ¹³⁷ Cs 濃度 (mBq m ⁻³)	浮遊塵 ¹³⁷ Cs 濃度 (mBq kg ⁻¹)
O-1-23	20078	2.7E-02	1.7E-01 ± 3.1E-03	6.2E+06 ± 1.1E+05
O-2-23	20074	3.1E-02	3.9E-01 ± 4.6E-03	1.2E+07 ± 1.5E+05
富岡町				
T-1-1	14200	1.5E-02	8.5E-02 ± 3.0E-03	5.7E+06 ± 2.0E+05
T-2-1	14235	1.6E-02	1.4E-01 ± 3.7E-03	8.7E+06 ± 2.3E+05
T-1-2	15958	3.2E-02	2.1E-01 ± 3.9E-03	6.3E+06 ± 1.2E+05
T-2-2	15915	2.9E-02	8.6E-02 ± 2.9E-03	2.9E+06 ± 9.8E+04
T-1-3	20177	2.3E-02	4.1E-02 ± 1.9E-03	1.8E+06 ± 8.3E+04
T-2-3	20182	2.4E-02	4.9E-02 ± 2.0E-03	2.1E+06 ± 8.7E+04
T-1-4	20249	1.5E-02	6.7E-02 ± 2.2E-03	4.6E+06 ± 1.5E+05
T-2-4	20214	1.4E-02	5.4E-02 ± 2.1E-03	3.8E+06 ± 1.4E+05
T-1-5	19900	1.6E-02	4.0E-02 ± 1.9E-03	2.5E+06 ± 1.2E+05
T-2-5	19943	1.8E-02	5.7E-02 ± 2.1E-03	3.2E+06 ± 1.2E+05
T-1-6	20175	1.5E-02	6.4E-02 ± 2.2E-03	4.1E+06 ± 1.4E+05
T-2-6	20175	1.7E-02	7.0E-02 ± 2.2E-03	4.1E+06 ± 1.3E+05
T-1-7	20246	9.2E-03	4.8E-02 ± 2.0E-03	5.3E+06 ± 2.2E+05
T-2-7	20197	1.1E-02	5.2E-02 ± 2.1E-03	4.9E+06 ± 1.9E+05
T-1-8	20154	1.1E-02	1.1E-01 ± 2.7E-03	9.9E+06 ± 2.4E+05
T-2-8	20155	1.2E-02	8.3E-02 ± 2.4E-03	6.8E+06 ± 2.0E+05
T-1-9	20290	1.2E-02	5.0E-02 ± 2.0E-03	4.4E+06 ± 1.7E+05
T-2-9	20292	1.3E-02	4.4E-02 ± 1.9E-03	3.5E+06 ± 1.5E+05
T-1-10	20207	8.9E-03	4.0E-02 ± 1.9E-03	4.5E+06 ± 2.1E+05
T-2-10	20188	1.1E-02	4.7E-02 ± 2.0E-03	4.3E+06 ± 1.8E+05
T-1-11	20132	1.2E-02	7.5E-02 ± 2.3E-03	6.3E+06 ± 2.0E+05
T-2-11	20121	1.4E-02	6.4E-02 ± 2.2E-03	4.4E+06 ± 1.5E+05
T-1-12	20003	1.1E-02	6.8E-02 ± 2.2E-03	6.4E+06 ± 2.1E+05
T-2-12	20006	1.4E-02	5.9E-02 ± 2.1E-03	4.1E+06 ± 1.5E+05
T-1-13	20295	1.3E-02	5.4E-02 ± 2.0E-03	4.2E+06 ± 1.6E+05
T-2-13	20296	1.5E-02	5.4E-02 ± 2.0E-03	3.5E+06 ± 1.3E+05
T-1-14	18641	9.8E-03	4.1E-02 ± 2.0E-03	4.2E+06 ± 2.1E+05
T-2-14	18639	1.3E-02	6.0E-02 ± 2.3E-03	4.8E+06 ± 1.8E+05
T-1-15	18730	8.4E-03	3.0E-02 ± 1.9E-03	3.5E+06 ± 2.2E+05
T-2-15	18732	9.3E-03	3.0E-02 ± 1.9E-03	3.2E+06 ± 2.0E+05

表 4-8 放射能分析結果 (5/5)

試料 No.	流量 (m ³)	浮遊塵濃度 (mg m ⁻³)	大気 ¹³⁷ Cs 濃度 (mBq m ⁻³)	浮遊塵 ¹³⁷ Cs 濃度 (mBq kg ⁻¹)
T-1-16	21526	1.2E-02	4.3E-02 ± 1.9E-03	3.7E+06 ± 1.6E+05
T-2-16	21511	6.6E-03	4.8E-02 ± 1.9E-03	7.2E+06 ± 2.9E+05
T-1-17	20208	8.0E-03	1.5E-01 ± 3.1E-03	1.9E+07 ± 3.8E+05
T-2-17	20201	8.5E-03	3.8E-02 ± 1.9E-03	4.4E+06 ± 2.2E+05
T-1-18	20164	1.3E-02	5.4E-02 ± 2.2E-03	4.2E+06 ± 1.7E+05
T-2-18	20170	1.1E-02	3.7E-02 ± 2.0E-03	3.5E+06 ± 1.8E+05
T-1-19	20086	8.0E-03	2.2E-01 ± 3.8E-03	2.8E+07 ± 4.8E+05
T-2-19	20088	6.2E-03	3.9E-02 ± 1.9E-03	6.2E+06 ± 3.1E+05
T-1-20	18702	8.0E-03	1.5E-01 ± 3.4E-03	1.9E+07 ± 4.2E+05
T-2-20	18699	6.9E-03	3.9E-02 ± 2.1E-03	5.7E+06 ± 3.1E+05
T-1-21	20104	9.1E-03	1.3E-01 ± 2.9E-03	1.5E+07 ± 3.2E+05
T-2-21	20097	9.0E-03	6.9E-02 ± 2.3E-03	7.6E+06 ± 2.5E+05
T-1-22	20007	9.0E-03	7.0E-02 ± 2.5E-03	7.8E+06 ± 2.7E+05
T-2-22	19997	8.9E-03	3.6E-02 ± 2.0E-03	4.0E+06 ± 2.3E+05
T-1-23	20407	1.7E-02	2.4E-01 ± 3.7E-03	1.5E+07 ± 2.2E+05
T-2-23	20408	1.6E-02	4.8E-02 ± 2.1E-03	3.0E+06 ± 1.3E+05

4.3 大気浮遊塵濃度の調査結果

大気浮遊塵濃度は、双葉町(F-3,F-4)で $1.3 \times 10^{-2} \sim 3.9 \times 10^{-2} \text{ mg m}^{-3}$ 、双葉町(F-5,F-6)で $7.5 \times 10^{-3} \sim 1.9 \times 10^{-2} \text{ mg m}^{-3}$ 、大熊町で $7.5 \times 10^{-3} \sim 3.9 \times 10^{-2} \text{ mg m}^{-3}$ 、富岡町で $6.2 \times 10^{-3} \sim 3.2 \times 10^{-2} \text{ mg m}^{-3}$ であり、算術平均値では、双葉町(F-3,F-4)の調査地点で双葉町(F-5,F-6)、大熊町及び富岡町の調査地点よりやや高い濃度を示した(表 4-9 及び図 4-2)。双葉町(F-3,F-4)の調査地点は、周囲が農地で囲まれており遮蔽物がないため、他の調査地点より大気浮遊塵濃度が高くなったと考えられる。また、いずれの町も舗装面と未舗装面とで大気浮遊塵濃度については有意な濃度差は認められなかった。

大気浮遊塵濃度の経時変化を図 4-3 に示す。大気浮遊塵濃度は、いずれの地点においても4月後半から6月までが高く、それ以外の月は $1.0 \times 10^{-2} \sim 2.0 \times 10^{-2} \text{ mg m}^{-3}$ 程度の範囲で推移した。

表 4-9 2021年4月から2022年3月における大気浮遊塵濃度の平均値

		大気浮遊塵濃度 (mg m ⁻³)				
		データ数	算術平均	標準偏差	幾何平均	幾何標準偏差
F-3	草地	13	2.4E-02	7.6E-03	2.3E-02	1.376
F-4	アスファルト	13	2.3E-02	6.6E-03	2.2E-02	1.333
F-5	碎石交じり土	10	1.2E-02	2.9E-03	1.2E-02	1.260
F-6	アスファルト	10	1.4E-02	2.7E-03	1.4E-02	1.210
O-1	土	23	1.5E-02	7.9E-03	1.4E-02	1.537
O-2	アスファルト	23	1.7E-02	9.8E-03	1.4E-02	1.643
T-1	草地	23	1.3E-02	5.5E-03	1.2E-02	1.414
T-2	アスファルト	23	1.3E-02	5.3E-03	1.2E-02	1.468
	全地点	138	1.6E-02	7.9E-03	1.4E-02	1.559

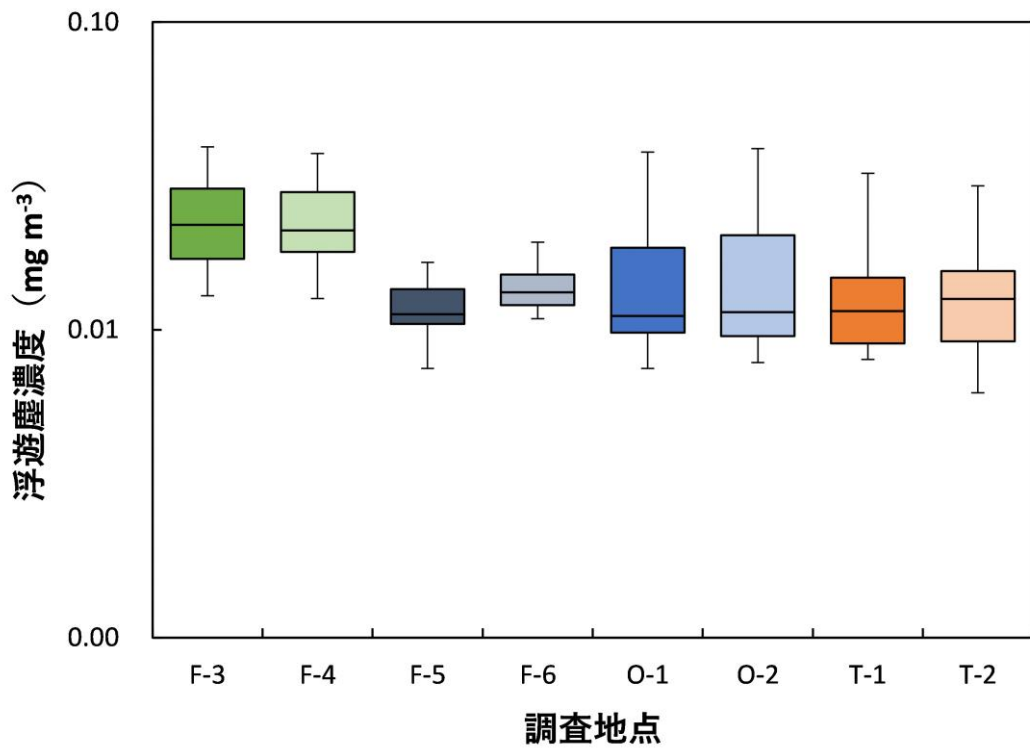


図 4-2 調査地点ごとの大気浮遊塵濃度

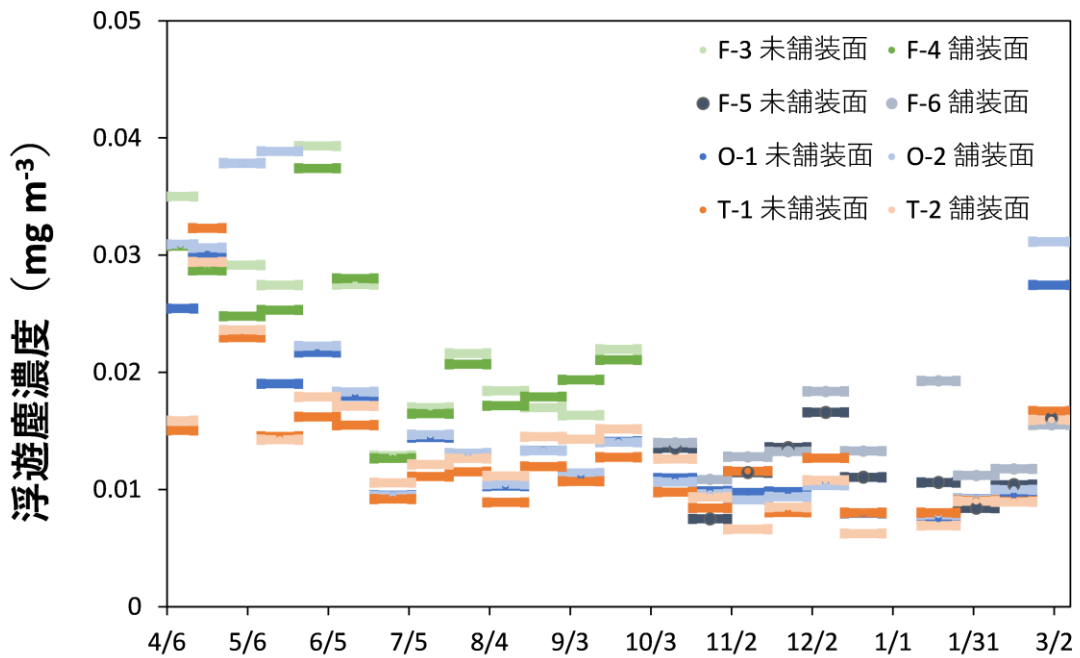


図 4-3 大気浮遊塵濃度の経時変化

4.4 浮遊塵放射能濃度の調査結果

浮遊塵放射能濃度は、双葉町(F-3,F-4)で $2.5 \times 10^6 \sim 3.4 \times 10^7$ mBq kg⁻¹、双葉町(F-5,F-6)で $6.9 \times 10^6 \sim 1.3 \times 10^7$ mBq kg⁻¹、大熊町で $3.7 \times 10^6 \sim 4.9 \times 10^7$ mBq kg⁻¹、富岡町で $1.8 \times 10^6 \sim 2.8 \times 10^7$ mBq kg⁻¹であり、算術平均値では、双葉町(F-5,F-6)及び大熊町が他の調査地点よりも比較的高い濃度を示した。また、舗装状況の違いによる濃度差は、有意な差は認められなかった(表 4-10 及び図 4-4)。

浮遊塵放射能濃度の経時変化を図 4-5 に示す。双葉町は 7 月に一時的な浮遊塵放射能濃度の上昇が確認されたものの、年間で $2.5 \times 10^6 \sim 1.0 \times 10^7$ mBq kg⁻¹ 程度の大気放射能濃度の範囲で推移した。大熊町は 4 月に一時的に大気放射能濃度の上昇が確認されたものの、年間を通じて 1.0×10^7 mBq kg⁻¹ 程度の大気放射能濃度であった。富岡町は T-1 地点において 11 月から 2 月かけて浮遊塵放射能濃度の上昇が確認された。また、T-2 地点は年間を通じて大気放射能濃度に大きな変動は見られなかった。

表 4-10 2021 年 4 月から 2022 年 3 月における浮遊塵放射能濃度の平均値

		浮遊塵放射能濃度 (mBq kg ⁻¹)				
		データ数	算術平均	標準偏差	幾何平均	幾何標準偏差
F-3	草地	13	7.4E+06	5.1E+06	6.2E+06	1.730
F-4	アスファルト	13	8.8E+06	7.9E+06	7.0E+06	1.869
F-5	碎石交じり土	10	9.6E+06	2.0E+06	9.4E+06	1.205
F-6	アスファルト	10	9.6E+06	2.2E+06	9.4E+06	1.228
O-1	土	23	1.0E+07	5.4E+06	9.7E+06	1.430
O-2	アスファルト	23	1.2E+07	8.4E+06	1.1E+07	1.580
T-1	草地	23	8.0E+06	6.4E+06	6.2E+06	1.936
T-2	アスファルト	23	4.6E+06	1.7E+06	4.3E+06	1.406
	全地点	138	8.7E+06	6.2E+06	7.4E+06	1.757

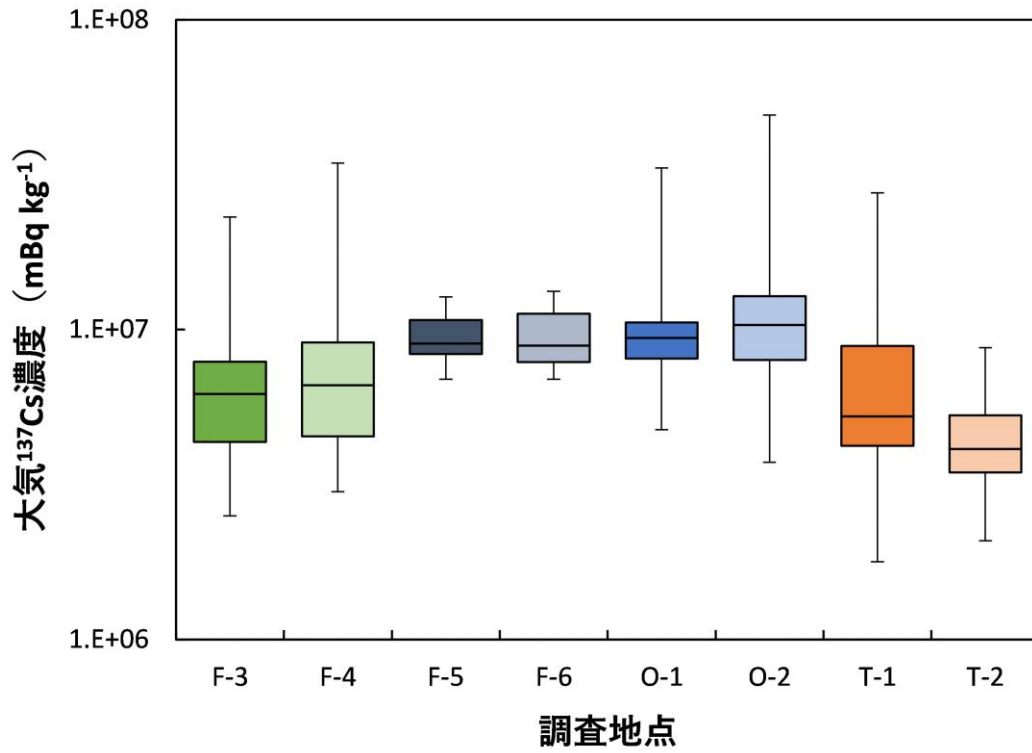


図 4-4 調査地点ごとの浮遊塵放射能濃度

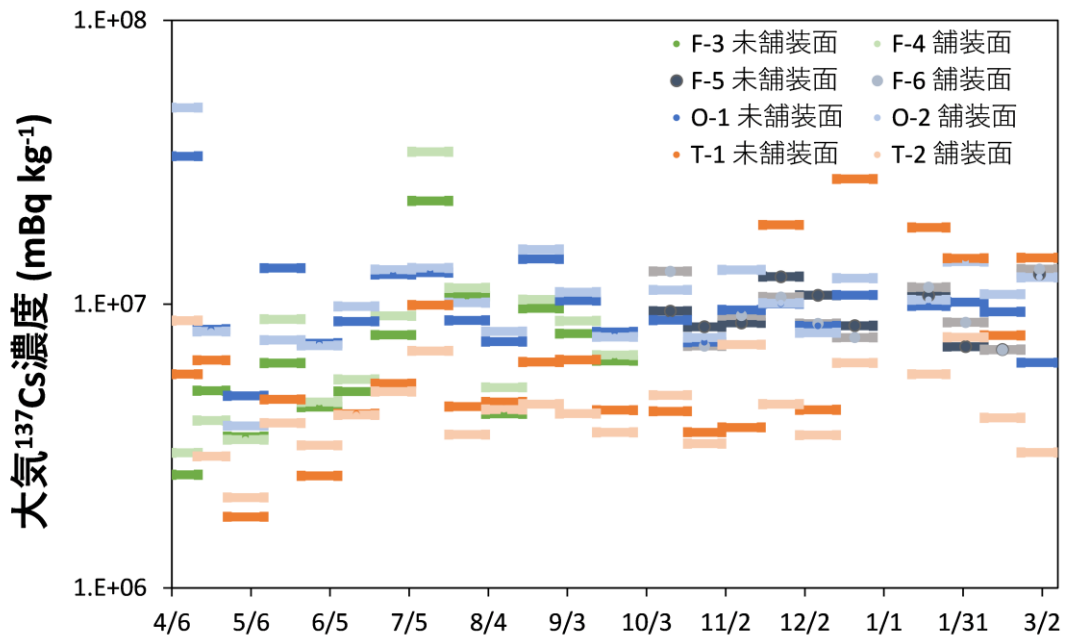


図 4-5 浮遊塵放射能濃度の経時変化

4.5 大気放射能濃度の調査結果

大気放射能濃度は、双葉町(F-3,F-4)で $7.6 \times 10^{-2} \sim 5.7 \times 10^{-1}$ mBq m⁻³、双葉町(F-5,F-6)で $6.0 \times 10^{-2} \sim 2.2 \times 10^{-1}$ mBq m⁻³、大熊町で $7.3 \times 10^{-2} \sim 1.5 \times 10^{-0}$ mBq m⁻³、富岡町で $3.0 \times 10^{-2} \sim 2.4 \times 10^{-1}$ mBq m⁻³ であり、算術平均値では、富岡町の調査地点で、他の調査地点よりやや低い結果を示した。また、舗装状況の違いによる濃度差に有意な差は認められなかった(表 4-11 及び図 4-6)。

大気放射能濃度の経時変化を図 4-7 に示す。双葉町は 7 月に一時的に大気放射能濃度の上昇が確認されたものの、年間を通じて $1.0 \times 10^{-1} \sim 2.0 \times 10^{-1}$ mBq m⁻³ 前後の大気放射能濃度で推移した。大熊町は 4 月に一時的に大気放射能濃度の上昇が確認されたものの、年間を通じて $1.0 \times 10^{-1} \sim 3.0 \times 10^{-1}$ mBq m⁻³ 前後の大気放射能濃度で推移した。富岡町は T-1 地点において 11 月~2 月にかけて大気放射能濃度の上昇が確認された。また、T-2 地点は年間を通じて大気放射能濃度に大きな変動は見られなかった。

表 4-11 2021 年 4 月から 2022 年 3 月における大気放射能濃度の平均値

		大気放射能濃度 (mBq m ⁻³)				
		データ数	算術平均	標準偏差	幾何平均	幾何標準偏差
F-3	草地	13	1.6E-01	7.9E-02	1.4E-01	1.515
F-4	アスファルト	13	1.8E-01	1.2E-01	1.5E-01	1.649
F-5	砕石交じり土	10	1.2E-01	4.9E-02	1.1E-01	1.462
F-6	アスファルト	10	1.4E-01	4.9E-02	1.3E-01	1.409
O-1	土	23	1.6E-01	1.5E-01	1.3E-01	1.734
O-2	アスファルト	23	2.1E-01	2.9E-01	1.5E-01	1.870
T-1	草地	23	9.1E-02	6.2E-02	7.5E-02	1.749
T-2	アスファルト	23	5.7E-02	2.3E-02	5.3E-02	1.405
	全地点	138	1.4E-01	1.5E-01	1.1E-01	1.900

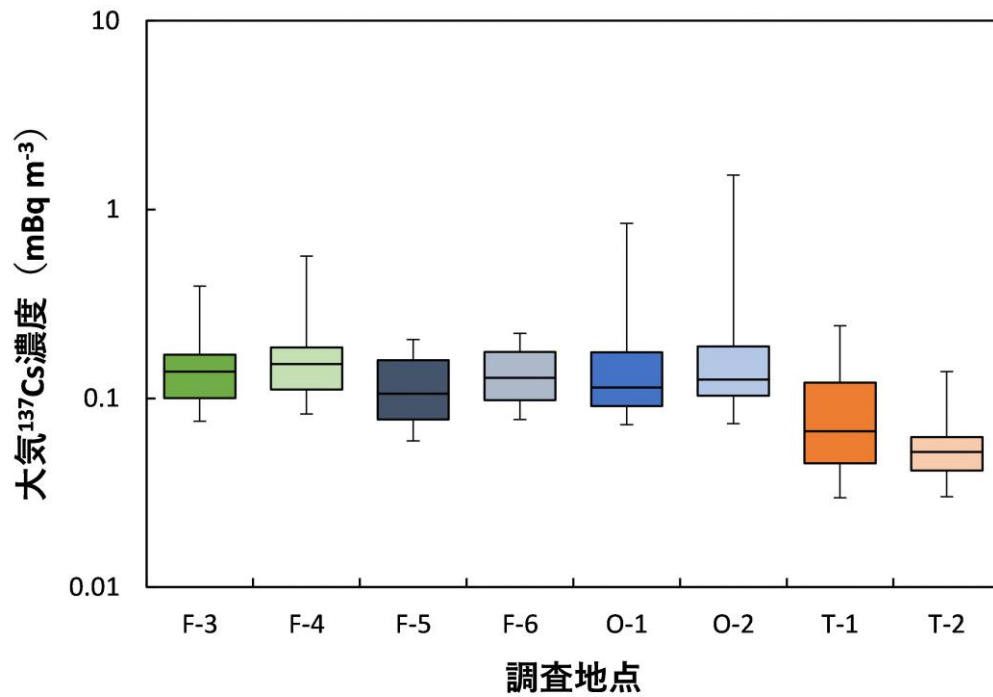


図 4-6 調査地点ごとの大気放射能濃度

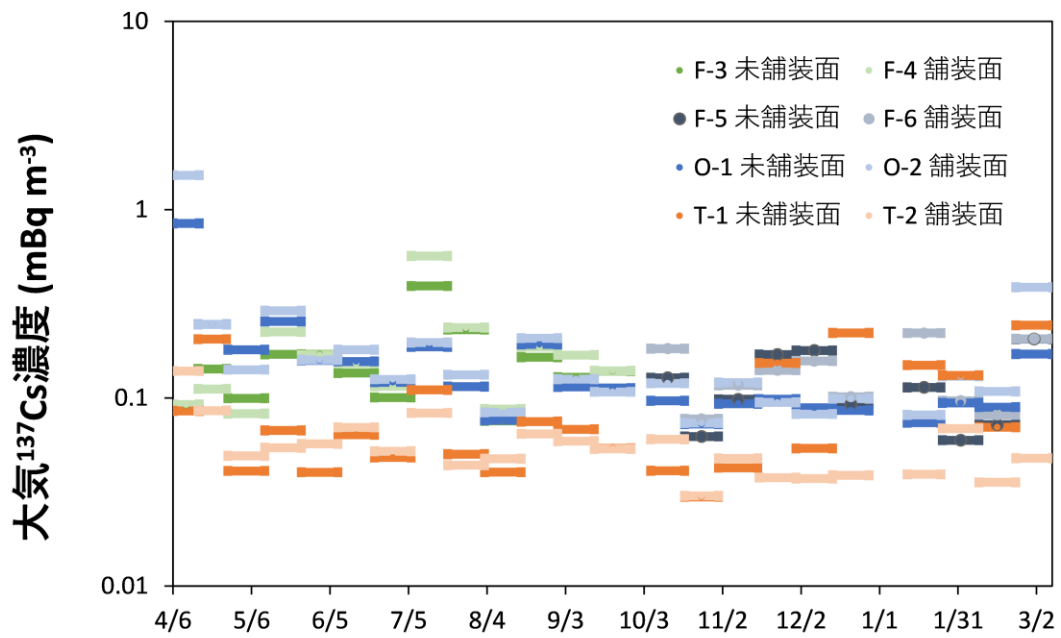


図 4-7 大気放射能濃度の経時変化

4.6 年度別の調査結果の比較

大気浮遊塵濃度、浮遊塵放射能濃度及び大気放射能濃度について、年度別に各調査地点の測定結果の比較を行った。令和1年度調査における2019年5月期データは日中のみサンプリングを実施した測定データのため、今年度の24時間連続サンプリングの結果と条件が異なる。比較に用いるデータは今年度と同じ採取条件である24時間連続サンプリングを実施した2019年6月～2020年2月までの期間のデータを使用した。

大気浮遊塵濃度の中央値について、双葉町では令和1年度から顕著な変動は見られなかった。大熊町と富岡町では、令和1年度から令和2年度にかけて濃度の低下傾向は見られなかったが、令和3年度には明らかな低下傾向が見られた(図4-8)。

浮遊塵放射能濃度の中央値について、双葉町では令和1年度から顕著な変動は見られなかった。大熊町と富岡町は明確に濃度の低下傾向が見られ、特に富岡町はその減少傾向が顕著であった(図4-10)。T-1に関して、ダストサンプラーの周囲での除染が無かったことから、富岡町の除染工事が進んだことによる浮遊塵放射能濃度の低下が要因の一つであると考えられる。T-2に関して、富岡町の除染工事が進んだこと及び2020年2月頃に常磐線開通に伴う夜ノ森駅の改修作業の際に、駅舎から線路上の除染や駐車場内のアスファルトの張替えを実施したことが、浮遊塵放射能濃度の大幅な低下の要因であると考えられる。

大気放射能濃度の中央値について、双葉町では令和1年度から令和2年度にかけて緩やかな減少傾向だったが、令和2年度から令和3年度にかけて減少傾向は見られなかった。双葉町のF-3及びF-4では、大気放射能濃度が令和1年度よりそれぞれ20%及び7%減少した。大熊町では令和1年度から令和2年度にかけて減少傾向は見られなかったが、令和2年度から令和3年度にかけて減少傾向が見られた。大熊町のO-1及びO-2では、大気放射能濃度が令和1年度よりそれぞれ34%及び36%減少した。富岡町は令和1年度から各年毎に低下傾向であり、T-1及びT-2では令和1年度よりそれぞれ66%及び74%減少した。

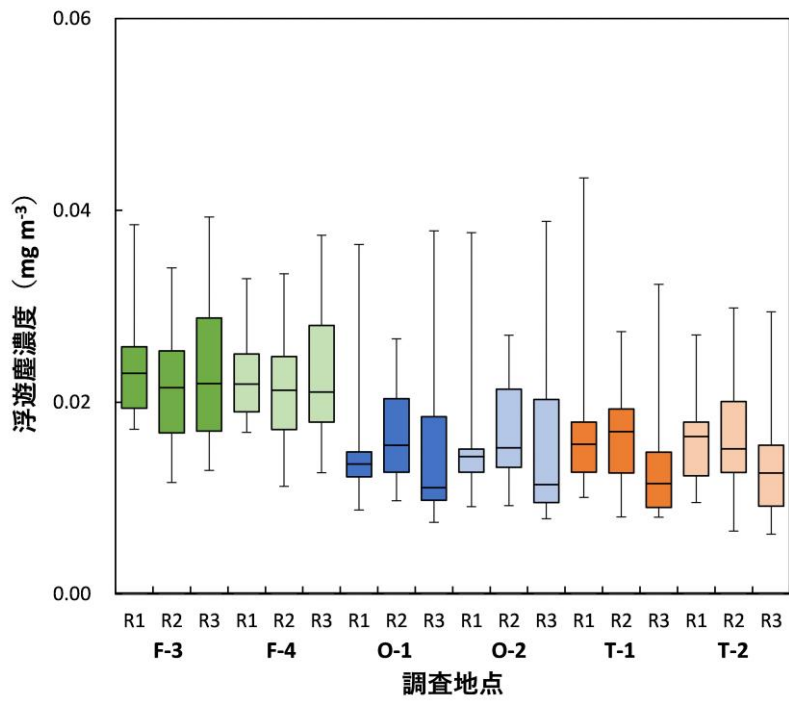


図 4-8 大気浮遊塵濃度の調査結果比較

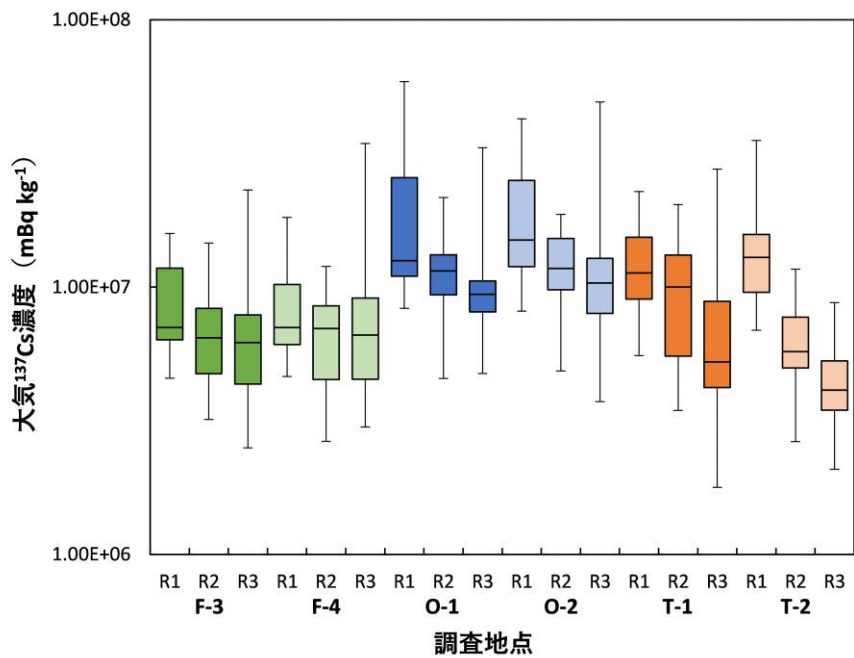


図 4-9 浮遊塵放射能濃度の調査結果比較

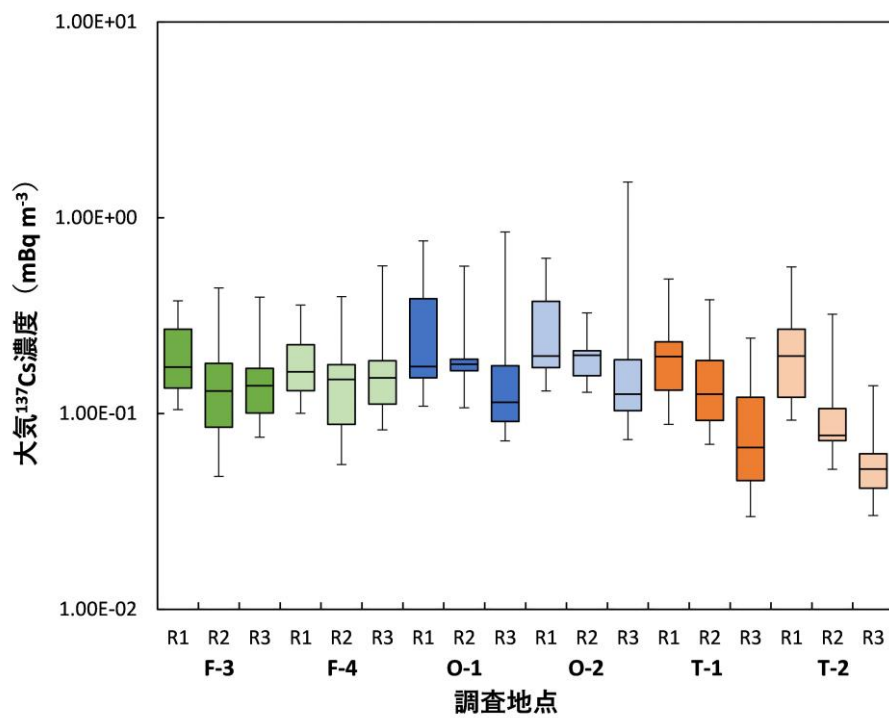


図 4-10 大気放射能濃度の調査結果比較

5. 評価結果

5.1 再浮遊係数の評価結果

5.1.1 放射性セシウムの ^{137}Cs 地表面濃度

再浮遊係数の算出に当たり、土壌中の ^{137}Cs の鉛直分布を求めた。コアサンプラーにより深度ごとに採取した土壌中の ^{137}Cs の分析結果を表 5-1～表 5-2 及び図 5-1 示す。

いずれの地点においても、表層から 5 cm 程度までの ^{137}Cs 濃度が低く、それ以降の深度から ^{137}Cs 濃度が増加する傾向が確認された。双葉町 (F-3) と大熊町の深度分布はおおむね昨年度と同様の傾向を示した。双葉町 (F-5) については、表層から 5 cm までは双葉町 (F-3) と同じ傾向を示し、5 cm 以深は数 $1 \times 10^2 \text{ Bq kg}^{-1}$ 前後の濃度の鉛直分布であった。このことから双葉町 (F-5) についても過去に除染作業が実施されたものと推察される。一方、富岡町については、表層から 8 cm 程度までは昨年度より ^{137}Cs 濃度の高い鉛直分布を示した。この ^{137}Cs の深度分布傾向の違いは、過去の土壌攪乱や除染作業による表層土壌の入れ替えによるものと考えられる。

各調査地点の未舗装面について、ISOCS 解析法の標準ジオメトリーに表 5-2 に示す深度ごとの放射能濃度を与え、In-situ 測定の解析を行った。また、各調査地点の舗装面については、ICRU によって報告されているコンクリートの場合の重量緩衝深度である 0.1 を採用して 2020 年 4 月時点の ^{137}Cs 地表面濃度を算出した⁹⁾。それぞれの地点における ^{137}Cs 地表面濃度を表 5-3 に示す。双葉町の F-3 及び F-4 について、昨年度の ^{137}Cs 地表面濃度と比較して 0.83 倍及び 1.10 倍であった。双葉町の新しい測定地点である F-5 及び F-6 について、移動前の F-3 及び F-4 の ^{137}Cs 地表面濃度と比較して、それぞれ 1.21 倍及び 0.89 倍であった。大熊町の O-1 及び O-2 について、昨年度の ^{137}Cs 地表面濃度と比較して 0.76 倍及び 0.99 倍であった。富岡町の T-1 及び T-2 について、昨年度の ^{137}Cs 地表面濃度と比較して 0.52 倍及び 0.89 倍であった。いずれの地点においても、舗装面は昨年度とほぼ同程度の ^{137}Cs 地表面濃度であることが確認された。一方で、未舗装面は新しく設定した F-5 地点を除くいずれの地点においても昨年度の ^{137}Cs 地表面濃度に対して低い濃度であり、特に富岡町では昨年度のおおよそ半分程度の ^{137}Cs 地表面濃度になっていた。これらの地点は、過去に除染作業による攪乱があったことが分かっている。このような場所では、採取地点がわずかに動いただけでも土壌中の ^{137}Cs の深度分布が異なるため緩衝深度の不確実性が高くなり、その結果 ^{137}Cs 地表面濃度の低下に寄与したものと考えられる。

表 5-1 土壤深度ごとの放射能分析結果 (1/2)

採取地点	緩衝深度 (g cm ⁻²)	土壤 ¹³⁷ Cs 濃度 (mBq kg ⁻¹)	検出限界値 (mBq kg ⁻¹)
双葉町 (F-3)			
F-3	0.743	4.4E+04±4.5E+03	
F-3	2.156	1.6E+04±3.3E+03	
F-3	3.671	1.3E+04±2.8E+03	
F-3	5.176	N.D.	7.7E+03
F-3	6.465	N.D.	8.8E+03
F-3	8.480	N.D.	4.9E+03
F-3	11.208	1.1E+05±5.2E+03	
F-3	13.544	5.8E+05±1.2E+04	
F-3	15.793	5.8E+03±1.7E+03	
F-3	17.968	N.D.	6.5E+03
双葉町 (F-5)			
F-5	0.776	9.6E+04±6.6E+03	
F-5	2.222	2.7E+04±4.5E+03	
F-5	3.524	3.8E+04±5.4E+03	
F-5	4.951	1.8E+05±9.2E+03	
F-5	6.396	1.7E+05±8.9E+03	
F-5	8.160	1.5E+05±6.9E+03	
F-5	10.293	2.4E+05±8.6E+03	
F-5	12.509	1.5E+05±6.9E+03	
F-5	14.919	1.5E+05±6.7E+03	
F-5	17.492	2.0E+05±7.5E+03	

表 5-2 土壤深度ごとの放射能分析結果 (2/2)

採取地点	緩衝深度 (g cm ⁻²)	土壤 ¹³⁷ Cs 濃度 (mBq kg ⁻¹)	検出限界値 (mBq kg ⁻¹)
大熊町			
O-1	0.836	1.5E+05 ± 7.3E+03	
O-1	2.249	5.5E+04 ± 5.8E+03	
O-1	3.367	3.2E+04 ± 5.0E+03	
O-1	4.664	1.3E+06 ± 2.0E+04	
O-1	6.092	8.8E+06 ± 5.5E+04	
O-1	8.007	3.4E+06 ± 2.8E+04	
O-1	10.909	2.3E+05 ± 7.4E+03	
O-1	13.824	1.1E+05 ± 5.7E+03	
O-1	16.794	2.5E+04 ± 3.1E+03	
O-1	19.857	3.3E+04 ± 3.0E+03	
富岡町			
T-1	0.457	7.7E+05 ± 2.0E+04	
T-1	1.554	9.6E+05 ± 1.9E+04	
T-1	2.777	1.5E+06 ± 2.4E+04	
T-1	3.969	3.6E+06 ± 3.5E+04	
T-1	5.360	3.1E+06 ± 3.0E+04	
T-1	7.517	1.9E+06 ± 1.9E+04	
T-1	10.172	8.3E+05 ± 1.3E+04	
T-1	12.866	2.2E+05 ± 7.0E+03	
T-1	15.429	1.8E+05 ± 7.2E+03	
T-1	17.643	2.2E+05 ± 8.6E+03	

表 5-3 放射性セシウムの ^{137}Cs 地表面濃度の解析結果

		β (g cm^{-2})	R1 年度 ^{137}Cs 地表面濃度 (Bq m^{-2})	R2 年度 ^{137}Cs 地表面濃度 (Bq m^{-2})	R3 年度 ^{137}Cs 地表面濃度 (Bq m^{-2})
F-3	草地	—	$6.9\text{E}+04$	$3.4\text{E}+04$	$2.8\text{E}+04$
F-4	アスファルト	0.1	$3.9\text{E}+04$	$2.8\text{E}+04$	$3.1\text{E}+04$
F-5	碎石交じり土	—	—	—	$4.1\text{E}+04$
F-6	アスファルト	0.1	—	—	$2.5\text{E}+04$
O-1	土	—	$4.5\text{E}+05$	$3.8\text{E}+05$	$2.9\text{E}+05$
O-2	アスファルト	0.1	$4.9\text{E}+05$	$4.2\text{E}+05$	$4.1\text{E}+05$
T-1	草地	—	$1.0\text{E}+05$	$3.0\text{E}+05$	$1.6\text{E}+05$
T-2	アスファルト	0.1	$1.2\text{E}+05$	$3.8\text{E}+04$	$3.3\text{E}+04$

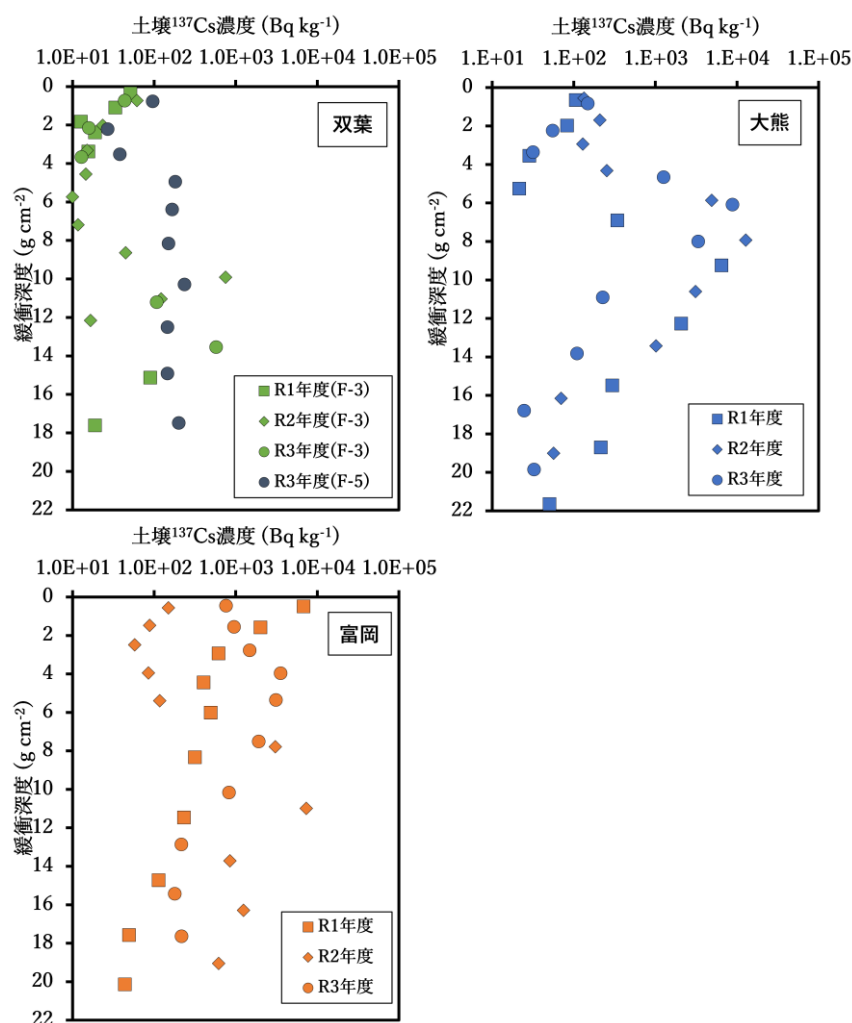


図 5-1 土壤中 ^{137}Cs の深度プロファイル

5.2 再浮遊係数の調査結果

表 5-3 に示す ^{137}Cs 地表面濃度と大気放射能濃度の測定結果から、それぞれの地点における再浮遊係数を算出した。再浮遊係数は、双葉町(F-3,F-4)で $2.7 \times 10^{-9} \sim 1.8 \times 10^{-8} \text{ m}^{-1}$ 、双葉町(F-5,F-6)で $1.4 \times 10^{-9} \sim 8.8 \times 10^{-9} \text{ m}^{-1}$ 、大熊町で $1.8 \times 10^{-10} \sim 3.7 \times 10^{-9} \text{ m}^{-1}$ 、富岡町で $1.9 \times 10^{-10} \sim 4.2 \times 10^{-9} \text{ m}^{-1}$ であり、算術平均値では、大熊町と富岡町において、他の調査地点よりも低い値を示した(表 5-4 及び図 5-2)。また、舗装状況の違いによる再浮遊係数の違いは、測定地点が離れている富岡町を除き、顕著な差は認められなかった。

再浮遊係数の経時変化を図 5-3 に示す。再浮遊係数は 3.1 項で前述したとおり、 ^{137}Cs 地表面濃度の 2021 年 4 月 1 日時点における値を定数として、大気放射能濃度を除した値であるため、その経時変化の傾向は大気放射能濃度に依存する。

表 5-4 2021 年 4 月から 2022 年 3 月における再浮遊係数の平均値

		再浮遊係数 (m^{-1})				
		データ数	算術平均	標準偏差	幾何平均	幾何標準偏差
F-3	草地	13	5.5E-09	2.8E-09	5.0E-09	1.515
F-4	アスファルト	13	5.8E-09	3.9E-09	5.0E-09	1.649
F-5	碎石交じり土	10	2.9E-09	1.2E-09	2.6E-09	1.462
F-6	アスファルト	10	5.5E-09	2.0E-09	5.2E-09	1.409
O-1	土	23	5.5E-10	5.3E-10	4.5E-10	1.734
O-2	アスファルト	23	5.1E-10	7.1E-10	3.7E-10	1.870
T-1	草地	23	5.8E-10	4.0E-10	4.8E-10	1.749
T-2	アスファルト	23	1.7E-09	6.7E-10	1.6E-09	1.405
全地点		138	2.2E-09	2.7E-09	1.2E-09	3.250

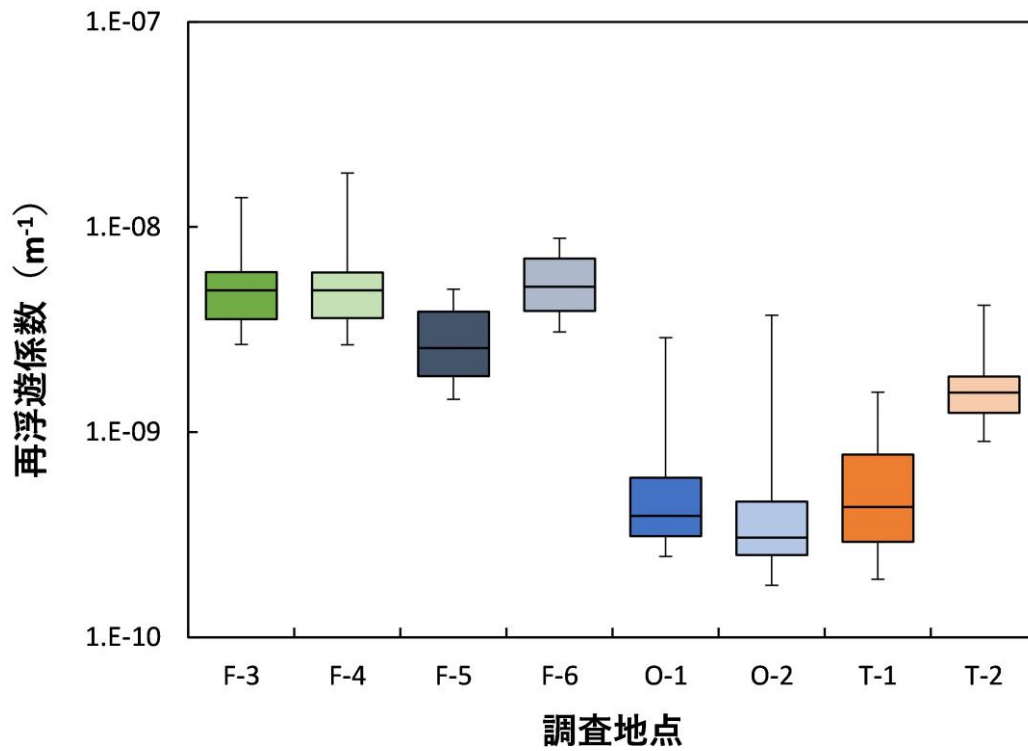


図 5-2 調査地点ごとの再浮遊係数

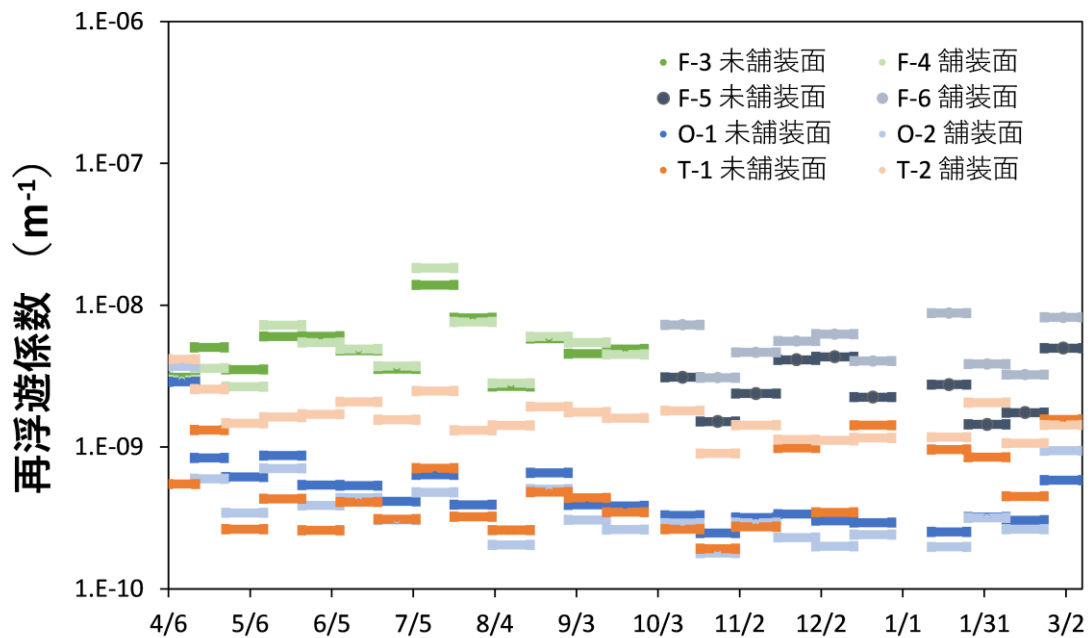


図 5-3 再浮遊係数の経時変化

5.3 実測値に基づく吸入に伴う内部被ばく評価結果

3.2節で示した式(2)から吸入に伴う内部被ばく実効線量を算出した(表5-5)。内部被ばく実効線量は、双葉町(F-3,F-4)で $5.7 \times 10^{-5} \sim 4.3 \times 10^{-4} \mu\text{Sv}$ 、双葉町(F-5,F-6)で $4.5 \times 10^{-5} \sim 1.7 \times 10^{-4} \mu\text{Sv}$ 、大熊町で $5.5 \times 10^{-5} \sim 1.1 \times 10^{-3} \mu\text{Sv}$ 、富岡町で $2.2 \times 10^{-5} \sim 1.8 \times 10^{-4} \mu\text{Sv}$ であり、算術平均値では、富岡町の実効線量が最も低いことが分かった。また、舗装状況の違いによる実効線量に有意な差は認められなかった(表5-5及び図5-4)。

内部被ばく実効線量の経時変化を図5-5に示す。内部被ばく実効線量は、大気放射能濃度に(2)式に示す係数と屋外滞在時間を乗じた値であるため、その変動傾向は大気放射能濃度の変動傾向に依存する。

表 5-5 吸入に伴う内部被ばく評価結果

		データ数	内部被ばく実効線量 (μSv)			
			算術平均	標準偏差	幾何平均	幾何標準偏差
F-3	草地	13	1.2E-04	5.9E-05	1.1E-04	1.515
F-4	アスファルト	13	1.4E-04	9.2E-05	1.2E-04	1.649
F-5	碎石交じり土	10	8.9E-05	3.7E-05	8.1E-05	1.462
F-6	アスファルト	10	1.0E-04	3.7E-05	9.7E-05	1.409
O-1	土	23	1.2E-04	1.2E-04	9.9E-05	1.734
O-2	アスファルト	23	1.6E-04	2.2E-04	1.1E-04	1.870
T-1	草地	23	6.8E-05	4.6E-05	5.6E-05	1.749
T-2	アスファルト	23	4.3E-05	1.7E-05	4.0E-05	1.405
	全地点	138	1.0E-04	1.2E-04	8.0E-05	1.900

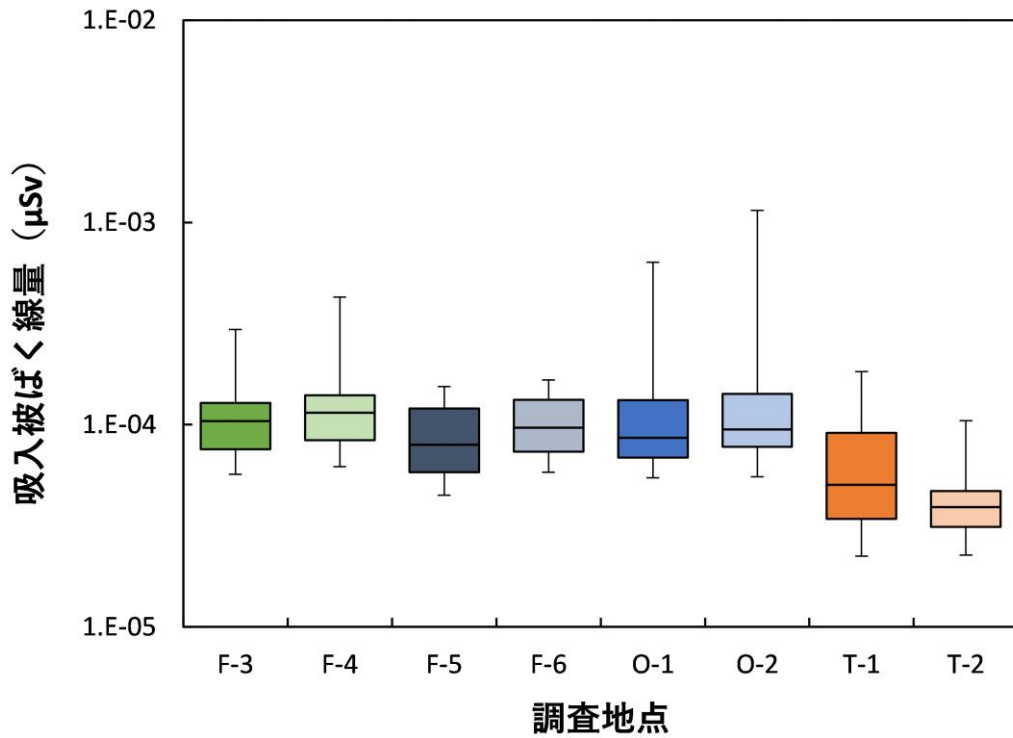


図 5-4 調査地点ごとの吸入に伴う内部被ばく評価結果

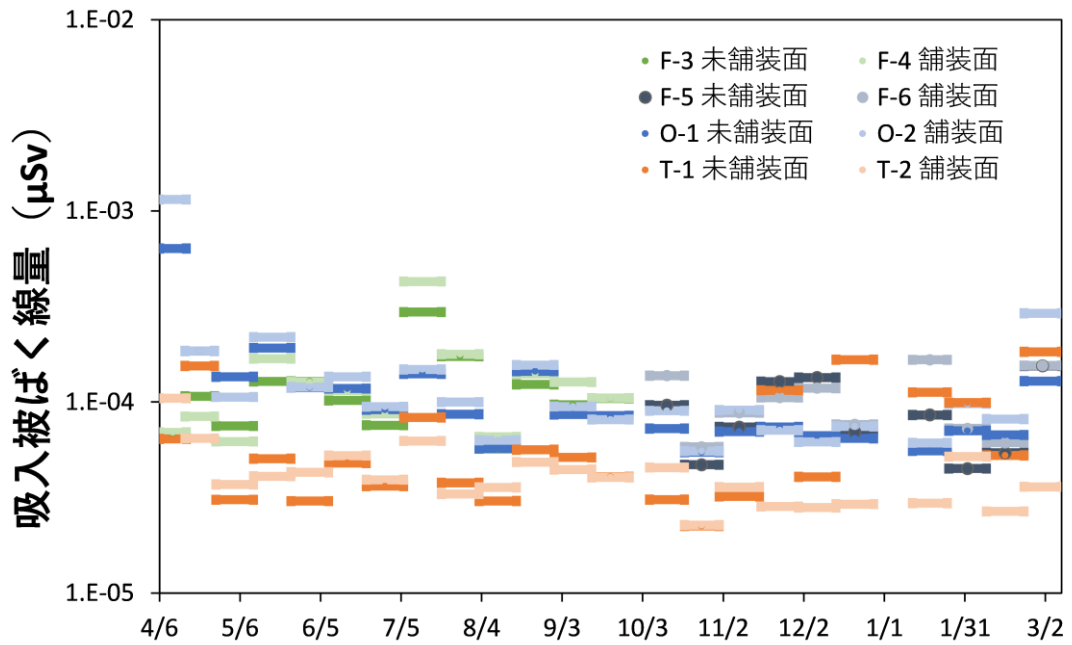


図 5-5 吸入に伴う内部被ばく評価結果の経時変化

5.4 年度別の実測値に基づく吸入被ばく評価結果の比較

4.6 項で前述したとおり、サンプリング条件を揃えたデータで比較するため、令和1年度の吸入被ばく、内部被ばくのデータは2019年6月～2020年2月期のデータを用いて比較を実施した。

再浮遊係数の中央値について、F-3とT-1を除いて、令和1年度から顕著な差は見られなかった(図5-6)。F-3については、令和1年度より緩やかな増加傾向であり、地表面¹³⁷Cs濃度の減少傾向に対して、大気放射能濃度が下がっていないことが要因である。T-1については、令和2年度に土壌採取地点を移動したことにより、令和1年度と比較して相対的に¹³⁷Cs地表面濃度が増加し、再浮遊係数は令和1年度の結果より大きく低減したと考えられる。

吸入被ばくによる実効線量の中央値について、その変動傾向は4.6項で前述した大気放射能濃度と同様である(吸入被ばくによる実効線量は、大気放射能濃度に(2)式示す係数と屋外滞在時間を乗じた値であるため、昨年度との評価結果の比較は、4.6項に前述した大気放射能濃度の比較のとおりである)(図5-7)。

図5-8は、大気放射能濃度と採取地点の空間線量率との関係を示したものである。大気放射能濃度と空間線量率の間に相関性が低いことが確認された(相関係数0.044)。一方で、空間線量率は地表面濃度と相関があることが報告¹⁰⁾されており、図5-8の結果は、大気放射能濃度はその場の粒子の再浮遊ではなく、より広いエリアで移流してくる粒子中の放射性セシウムの影響が支配的だということを示唆している。ゆえに、測定地点間の吸入被ばく線量の低減率の違いは、双葉町・大熊町・富岡町の除染等の進捗状況の違いを反映している可能性がある。

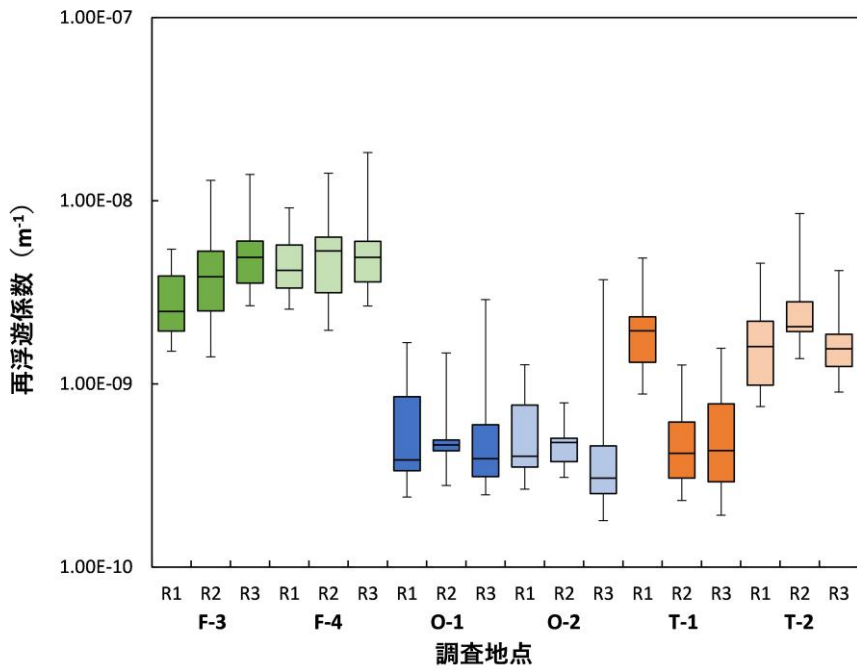


図 5-6 再浮遊係数の評価結果比較

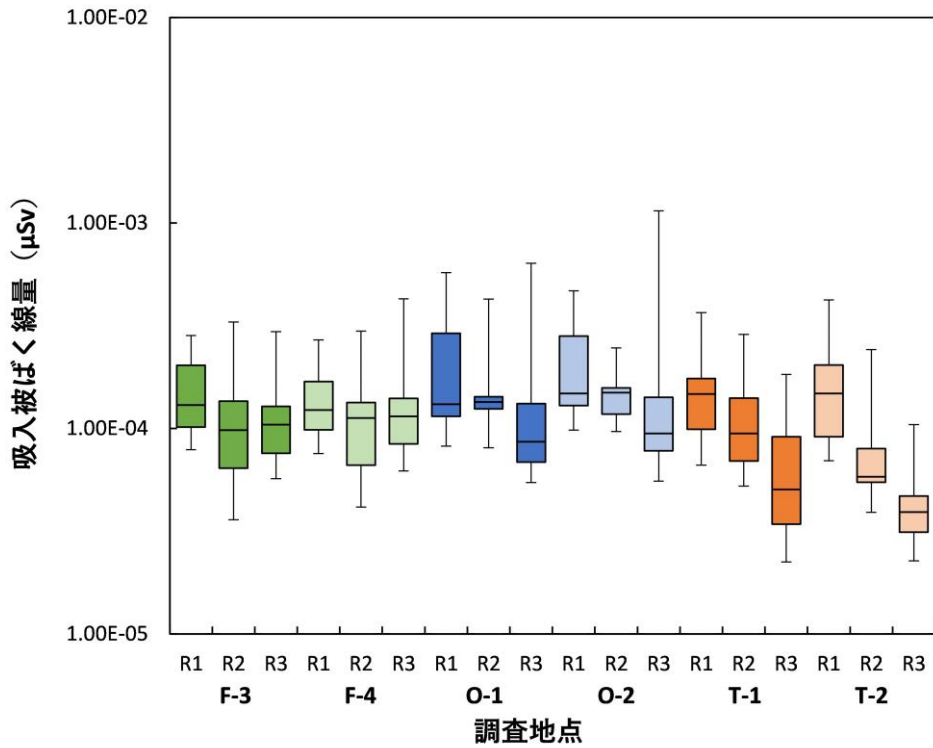


図 5-7 吸入被ばくによる実効線量の評価結果比較

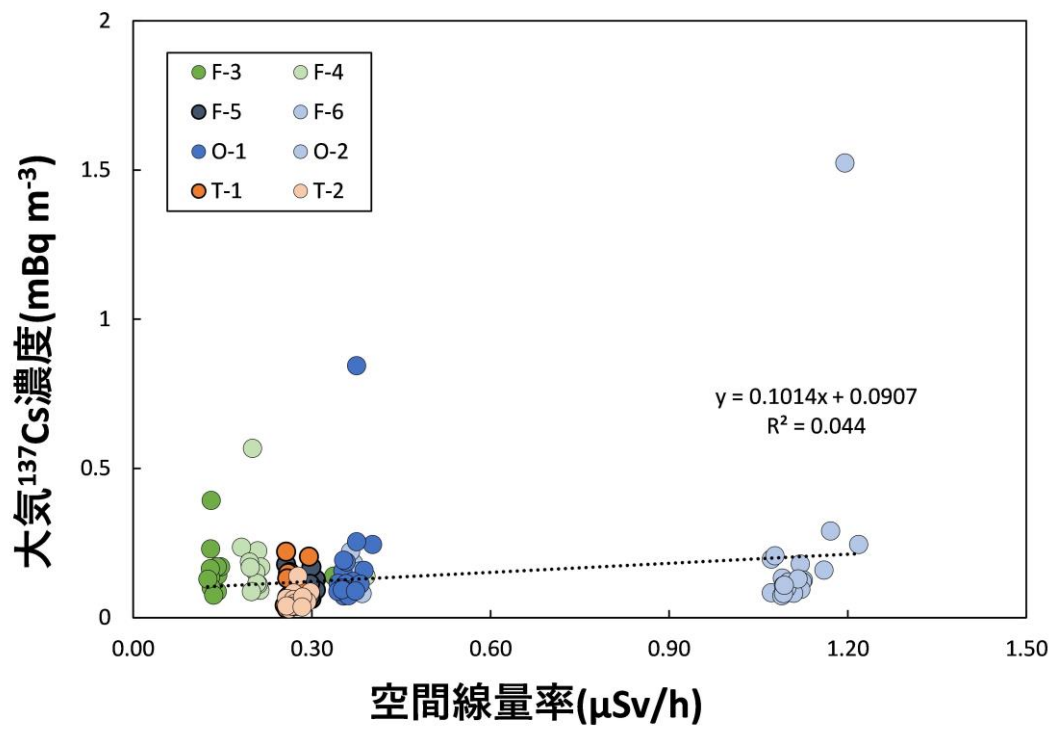


図 5-8 空間線量率と大気放射能濃度の関係

5.5 確率論に基づく吸入に伴う内部被ばく評価結果

各自治体の特定復興再生拠点に一時立ち入りした場合に、特定再生拠点内の空間線量率分布を踏まえて、生じ得る被ばく線量の分布を評価した。3.4 項の表 3-1 からエリア内移動の統計値を用いて、特定復興再生拠点内を散策した場合について、吸入に伴う被ばくの線量分布を評価した結果を図 5-9 及び表 5-6 に示す。確率論的評価の結果、双葉町、大熊町及び富岡町における吸入に伴う内部被ばくによる 1 日当たりの実効線量の算術平均はそれぞれ $4.0 \times 10^{-5} \mu\text{Sv}$ 、 $9.5 \times 10^{-5} \mu\text{Sv}$ 及び $8.7 \times 10^{-5} \mu\text{Sv}$ 程度となった。

表 5-6 被ばく線量 ($\mu\text{Sv day}^{-1}$) の統計値

経路	5%値	50%値	95%値	算術平均値	幾何平均値	標準偏差	幾何標準偏差
双葉町	1.6E-06	1.5E-05	1.5E-04	4.0E-05	1.5E-05	9.2E-05	4.0E+00
再浮遊吸入							
大熊町	4.2E-06	3.6E-05	3.6E-04	9.5E-05	3.7E-05	2.0E-04	3.9E+00
富岡町	4.3E-06	3.5E-05	3.3E-04	8.7E-05	3.6E-05	1.8E-04	3.7E+00

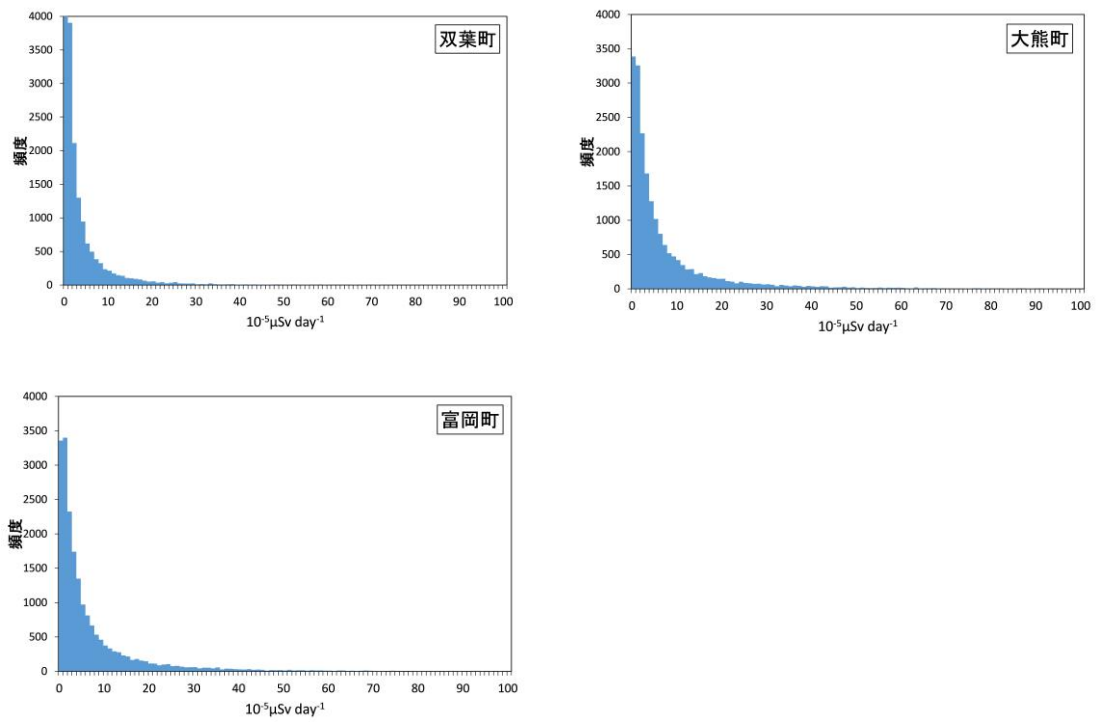


図 5-9 各自治体における特定復興再生拠点内への一時立ち入りによる被ばく線量
(周辺散策を想定した場合)

5.6 年度別の確率論に基づく吸入に伴う被ばく評価結果の比較

吸入に伴う内部被ばくによる1日当たりの実効線量について、令和1年度から評価結果を比較すると、いずれの地点も減少傾向である(図5-10)。この実効線量率の低下は、空間線量率実測値に基づく ^{137}Cs 地表面濃度の低下が主な要因であると考えられる。各地点の令和1年度から令和3年度における空間線量率の幾何平均値の相対変化率は、双葉町で-32.7%、大熊町で-33.6%、富岡町で-50.4%である。この相対変化率は、放射性セシウムの物理的半減期から計算される理論的な空間線量率の減少率よりも大きい。これは特定復興再生拠点内で実施されている除染作業の影響が要因の一つであると考えられ、この空間線量率実測値の変化が実効線量率に反映されたと思われる。

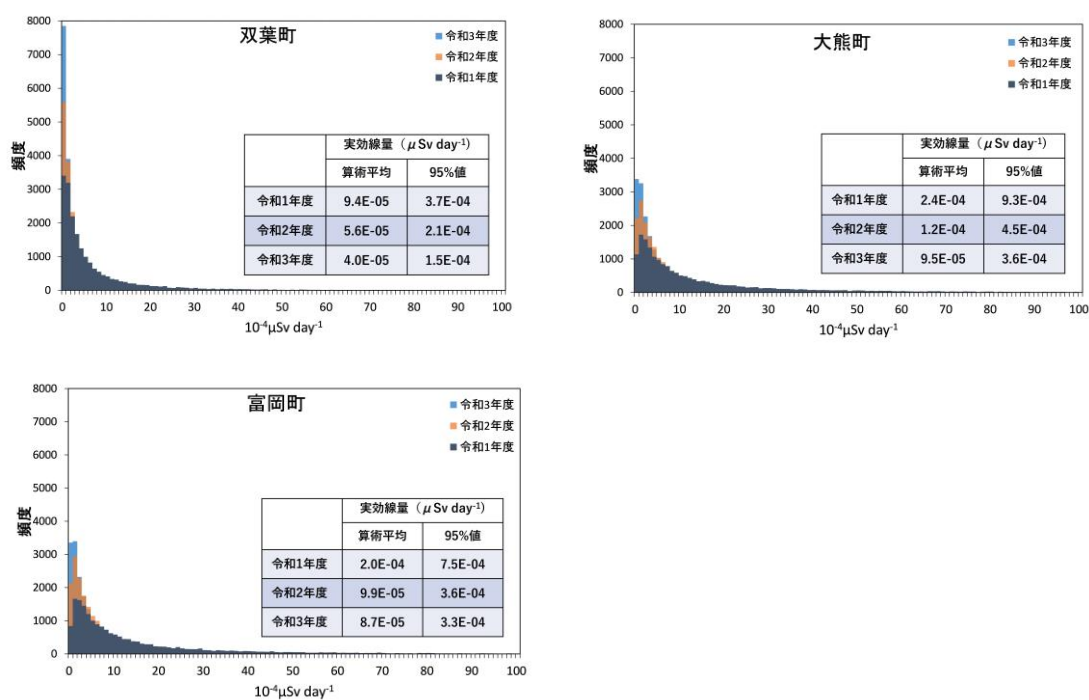


図 5-10 特定再生拠点内への一時立ち入りによる被ばく線量評価の比較

6. まとめ

本事業では、双葉町、大熊町及び富岡町の特定復興再生拠点区域内で 2021 年 4 月から 2022 年 3 月にかけて大気浮遊塵を採取するとともにその放射能濃度の測定を実施し、内部被ばく線量の評価を行った。主な成果を以下にまとめる。

- 1) 測定期間中の大気浮遊塵濃度は平均 $1.6 \times 10^{-2} \pm 7.9 \times 10^{-3} \text{ mg m}^{-3}$ であった。町ごとの測定結果には有意な差が確認されたが、舗装状況の違いによる有意差は確認されなかった。
- 2) 測定期間中の ^{137}Cs の浮遊塵放射能濃度は平均 $8.7 \times 10^6 \pm 6.2 \times 10^6 \text{ mBq kg}^{-1}$ であった。町ごとの測定結果には有意な差が確認されたが、舗装状況の違いによる有意差は確認されなかった。
- 3) 測定期間中の ^{137}Cs の大気放射能濃度は平均 $1.4 \times 10^{-1} \pm 1.5 \times 10^{-1} \text{ mBq m}^{-3}$ であった。いずれの調査地点も一時的な大気放射能濃度の上昇を除けば概ね $1.0 \times 10^{-1} \sim 3.0 \times 10^{-1} \text{ mBq m}^{-3}$ の範囲内であり、舗装状況の違いによる有意差は確認されなかった。
- 4) 実測値に基づく内部被ばく線量の評価の結果、帰還困難区域内の屋外に 10 時間滞在すると仮定した場合の内部被ばく線量は平均 $1.0 \times 10^{-4} \pm 1.2 \times 10^{-4} \mu\text{Sv}$ と推定された。また、確率論に基づく同様の活動の内部被ばく線量の推定値は双葉町、大熊町及び富岡町でそれぞれ平均 $4.0 \times 10^{-5} \pm 1.5 \times 10^{-4}$ 、 $9.5 \times 10^{-5} \pm 3.6 \times 10^{-4}$ 及び $8.7 \times 10^{-5} \pm 3.3 \times 10^{-4} \mu\text{Sv}$ となり、実測値の評価と同程度もしくはそれよりも 1 オーダー低い推定結果となった。

特定復興再生拠点区域内は、2020 年に常磐線の全線運転再開に際して駅周辺の一部を避難指示解除や 2021 年立入制限規制緩和などの措置がなされたが、いまだ除染作業や復旧工事が進行中である。今後、さらに空間線量率や地表面の ^{137}Cs の地表面濃度の低減が見込まれる。また、それに伴い住民の往来が増えることが予測され、大気中の ^{137}Cs 濃度及び空間線量率測定結果に基づく内部被ばく線量の推定を行うことが重要である。また、避難指示解除や住民の帰還の促進に資するため、継続的に科学的根拠を蓄積していくことが重要である。

謝辞

本事業に関しまして、双葉町役場、大熊町役場及び富岡町役場の皆様には、現場の測定に関する調整等にご協力いただきました。ここに深く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 原子力規制委員会, 帰還に向けた安全・安心対策に関する基本的考え方、
<http://www.env.go.jp/jishin/rmp/conf/10/ref04.pdf> (2013年11月20日参照).
- 2) 原子力災害対策本部復興推進会議, 帰還困難区域の取扱いに関する考え方、
http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/kinkyu/pdf/2016/0831_01.pdf (2016年8月31日参照).
- 3) 内閣府原子力被災者生活支援チーム、特定復興再生拠点区域における放射線防護対策に関する協力依頼について、
<http://www.nsr.go.jp/data/000243080.pdf> (2018年8月22日参照).
- 4) 内閣府原子力被災者生活支援チーム他、特定復興再生拠点区域における放射線防護対策について(案)、
<https://www.nsr.go.jp/data/000255825.pdf> (2018年12月12日参照)
- 5) 文部科学省, 放射能測定法シリーズ「ゲルマニウム半導体検出器を用いた in-situ 測定法」(平成29年3月改定)
- 6) Saito and N. Petoussi-Henss (2014): Ambient dose equivalent conversion coefficients for radionuclides exponentially distributed in the ground, *Journal of Nuclear Science and Technology*, 51, 1274-1287.
- 7) 放射線医学総合研究所 (1998): ラドン濃度測定・線量評価最終報告書, 平成9年度.
- 8) 内閣府原子力被災者生活支援チーム、特定復興再生拠点区域における放射線防護対策に関する骨子案及び調査結果について、
<https://www.nsr.go.jp/data/000254389.pdf> (2018年11月28日参照) .
- 9) International Commission on Radiation Units & Measurements (ICRU), 1994. Gamma-ray spectrometry in the environment. ICRU Rep. 53.K.
- 10) 日本原子力研究開発機構, “原子力規制庁委託事業「平成25年度東京電力(株)福島第一原子力発電所事故に伴う放射性物質の長期的影響把握手法の確立」事業 成果報告書”, 2014
- 11) International Commission on Radiological Protection (ICRP) (1995): Age-dependent Doses to Members of the from Intake of Radionuclides: Part 4 Inhalation Dose Coefficients, ICRP Publ.71.

7. 參考資料

7.1 日中測定と昼夜連続測定による大気浮遊塵濃度の違い

7.1.1 日中測定と昼夜連続測定について

令和1年度の報告書において、日中のみ試料採取を実施した2019年5月の大気浮遊塵濃度は、昼夜連続で試料採取を実施した2019年6月以降の試料に比べて、2倍近い濃度となったことを報告した。これは、試料採取の時間帯の違いが大気浮遊塵濃度に影響を与えたものと考えられる。令和2年度の報告書においては、採取時間の違いによる大気浮遊塵中の¹³⁷Cs濃度への影響を調査するために双葉町と大熊町で四半期ごとに測定を行い、いずれの時期においても日中のみ測定の方が大気浮遊塵濃度と大気放射性濃度が高くなったこと、両地点の浮遊塵放射能濃度には差異が確認されたことを報告した。これは、両地点の除染状況の違いによる数km～数十kmで移流する粒子が影響を与えた可能性が考えられる。本年度は除染状況の違いによる大気浮遊塵濃度への影響を明らかにするため、双葉町で継続して日中測定を実施するとともに、他の地区と比較的して除染作業が収束してきている富岡町で日中測定を実施し、比較を試みた。

7.1.2 調査期間

大気浮遊塵の日中測定は、2021年5月、2021年8月、2021年11月、2022年2月の年4回にかけて、双葉町の舗装面（2021年5月及び2021年8月はF-4地点、2021年11月及び2022年2月はF-6地点で実施）と富岡町の舗装面（T-2地点）で定期的に採取した。試料採取はダストサンプラーを昼夜測定設置位置から1mずらした地点で実施した。試料採取期間の詳細を表7-1に示す。

7.1.3 放射能の測定結果

日中測定の¹³⁷Cs濃度の測定結果を表7-2に示す。なお、昼夜測定の実績データとしては、4.2に示したF-4、F-6及びT-2における日中測定と同時期に測定した結果を使用した。

7.1.4 日中測定結果の評価

表7-3で日中測定結果に対する昼夜連続測定結果の比を示す。双葉町における大気浮遊塵濃度比は1.34～1.78、浮遊塵放射能濃度比は0.88～1.32、大気放射能濃度比は1.18～2.19であった。また、富岡町における大気浮遊塵濃度比は1.06～1.44、浮遊塵放射能濃度比は1.13～1.61、大気放射能濃度比は1.19～2.28であった。測定地点で比較すると、大気浮遊塵濃度比は双葉町が高い一方で、浮遊塵放射能濃度比は富岡町が高かった。大気放射能濃度比は、いずれの地点においても測定を実施した全ての時期で日中測定の方が高く、測定地点の違いによる明確な差は見られなかった。今回の調査では、除染作業が収束してきている富岡町の方について、大気浮遊塵濃度比は高く、浮遊塵放射能濃度は低くなる傾向が見られたがデータ数が少なく、除染状況の違いによる大気浮遊塵濃度への影響ははっきりと分らない

かった。今後、この影響を明らかにするためには、継続して測定を続けるとともに、除染状況をより詳細に把握し、測定結果を解析する必要がある。

表 7-1 試料採取期間

採取地点	試料 No.	採取開始日	採取終了日	採取期間 (日)	採取間隔	採取時間 (時間)
双葉町						
F-4	F-4-14	2021/5/25	2021/6/8	14	9:00-17:00	115.09
F-4	F-4-15	2021/8/17	2021/8/31	14	9:00-17:00	109.96
F-6	F-6-13	2021/11/16	2021/11/30	14	9:00-17:00	111.05
F-6	F-6-14	2022/2/8	2022/2/22	14	9:00-17:00	113.93
富岡町						
T-2	T-2-24	2021/5/25	2021/6/8	14	9:00-17:00	107.60
T-2	T-2-25	2021/8/17	2021/8/31	14	9:00-17:00	110.59
T-2	T-2-26	2021/11/16	2021/11/30	14	9:00-17:00	112.00
T-2	T-2-27	2022/2/8	2022/2/22	14	9:00-17:00	108.53

表 7-2 放射能分析結果

試料 No.	流量 (m ³)	浮遊塵濃度 (mg m ⁻³)	大気 ¹³⁷ Cs 濃度 (mBq m ⁻³)	浮遊塵 ¹³⁷ Cs 濃度 (mBq kg ⁻¹)
双葉町				
F-4-14	6906	6.6E-02	3.0E-01 ± 7.5E-03	4.5E+06 ± 1.1E+05
F-4-15	6596	2.4E-02	2.2E-01 ± 6.9E-03	9.2E+06 ± 2.9E+05
F-6-13	6663	2.2E-02	3.1E-01 ± 8.5E-03	1.4E+07 ± 3.9E+05
F-6-14	6834	1.7E-02	1.3E-01 ± 5.7E-03	7.6E+06 ± 3.4E+05
富岡町				
T-2-24	6460	2.3E-02	8.7E-02 ± 5.3E-03	3.8E+06 ± 2.3E+05
T-2-25	6635	1.5E-02	7.7E-02 ± 5.1E-03	5.0E+06 ± 3.3E+05
T-2-26	6720	1.2E-02	8.6E-02 ± 5.2E-03	7.2E+06 ± 4.4E+05
T-2-27	6513	1.3E-02	6.5E-02 ± 7.0E-03	5.0E+06 ± 5.5E+05

表 7-3 日中測定と昼夜連続測定による大気浮遊塵中の ^{137}Cs 濃度

測定項目	地点	測定種別	5月	8月	11月	2月
大気浮遊塵 濃度 (mg m^{-3})	F-4	昼夜連続	3.7E-02	1.8E-02	-	-
		日中(9:00-17:00)	6.6E-02	2.4E-02	-	-
	F-6	昼夜連続	-	-	1.3E-02	1.2E-02
		日中(9:00-17:00)	-	-	2.2E-02	1.7E-02
	T-2	昼夜連続	1.8E-02	1.4E-02	8.5E-03	8.9E-03
		日中(9:00-17:00)	2.3E-02	1.5E-02	1.2E-02	1.3E-02
浮遊塵放射 能濃度 (mBq kg^{-1})	F-4	昼夜連続	4.5E+06	1.0E+07	-	-
		日中(9:00-17:00)	4.5E+06	9.2E+06	-	-
	F-6	昼夜連続	-	-	1.1E+07	6.9E+06
		日中(9:00-17:00)	-	-	1.4E+07	7.6E+06
	T-2	昼夜連続	3.2E+06	4.4E+06	4.4E+06	4.0E+06
		日中(9:00-17:00)	3.8E+06	5.0E+06	7.2E+06	5.0E+06
大気放射能 濃度 (mBq m^{-3})	F-4	昼夜連続	1.7E-01	1.9E-01	-	-
		日中(9:00-17:00)	3.0E-01	2.2E-01	-	-
		日中/連続	1.777	1.177	-	-
	F-6	昼夜連続	-	-	1.4E-01	8.1E-02
		日中(9:00-17:00)	-	-	3.1E-01	1.3E-01
		日中/連続	-	-	2.187	1.581
T-2	昼夜連続	5.7E-02	6.4E-02	3.8E-02	3.6E-02	
	日中(9:00-17:00)	8.7E-02	7.7E-02	8.6E-02	6.5E-02	
		日中/連続	1.528	1.191	2.284	1.819