JAEA-Data/Code
2023-001
DOI:10.11484/jaea-data-code-2023-001

JAEA-Data/Code

特定復興再生拠点区域における大気放射能濃度調査（2018年度～2021年度）

Research on Atmospheric Radioactivity Concentration in the Specified Reconstruction and Revitalization Base (FY2018-FY2021)

阿部 智久　舟木 泰智　吉村 和也　尻引 夏
眞田 幸尚

Tomohisa ABE, Hironori FUNAKI, Kazuya YOSHIMURA, Natsu SHIRIBIKI and Yukihisa SANADA

福島研究開発部門
福島研究開発拠点
廃炉環境国際共同研究センター
環境影響研究ディビジョン

Fukushima Environmental Evaluation Research Division
Collaborative Laboratories for Advanced Decommissioning Science
Fukushima Research Institute
Sector of Fukushima Research and Development

May 2023

Japan Atomic Energy Agency　日本原子力研究開発機構

本レポートは国立研究開発法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。
本レポートはクリエイティブ・コモンズ表示 4.0 国際ライセンスの下に提供されています。
本レポートの成果（データを含む）に著作権が発生しない場合でも、同ライセンスと同様の
条件で利用してください。（https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ja）
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ウェブサイト（https://www.jaea.go.jp）
より発信されています。本レポートに関しては下記までお問合せください。

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構　JAEA イノベーションハブ　研究成果利活用課
〒 319-1195　茨城県那珂郡東海村大字白方 2 番地 4
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
(https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.en).
Even if the results of this report (including data) are not copyrighted, they must be used under the same terms and conditions as CC-BY.
For inquiries regarding this report, please contact Institutional Repository and Utilization Section, JAEA Innovation Hub, Japan Atomic Energy Agency.
2-4 Shirakata, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

© Japan Atomic Energy Agency, 2023

JAEA-Data/Code 2023-001

特定復興再生拠点区域における大気放射能濃度調査
（2018 年度～2021 年度）

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　廃炉環境国際共同研究センター
環境影響研究ディビジョン
阿部 智久、舟木 泰智、吉村 和也、尻引 夏*、眞田 幸尚

（2023 年 1 月 4 日受理）

本調査では内閣府からの委託を受けて、特定復興再生拠点区域の内部被ばく評価に資するため、福島県の 3 市町村（双葉町、大熊町、富岡町）において、大気浮遊塵中の放射性物質に関する調査を実施した。対象とした市町村にダストサンプラーを設置し、大気放射能濃度を調査するとともに、実測値に基づく内部被ばく線量を評価した。本報告書は、当該受託事業が開始した 2018 年度から 2021 年度までの測定結果をとりまとめたものである。

大気放射能濃度及び実測値に基づく内部被ばく線量評価結果、基礎データとして気象観測データなどをデータベース化した。

本研究調査は、内閣府からの受託事業「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」の成果の一部である。
廃炉環境国際共同研究センター（南相馬駐在）：〒975-0036 福島県南相馬市原町区萱浜字巣掛場 45-169
＊ 株式会社ペスコ

JAEA-Data/Code 2023-001

Research on Atmospheric Radioactivity Concentration in the Specified Reconstruction and Revitalization Base（FY2018 – FY2021）

Tomohisa ABE, Hironori FUNAKI, Kazuya YOSHIMURA, Natsu SHIRIBIKI*
and Yukihisa SANADA

Fukushima Environmental Evaluation Research Division,
Collaborative Laboratories for Advanced Decommissioning Science,
Fukushima Research Institute, Sector of Fukushima Research and Development,
Japan Atomic Energy Agency
Minamisoma-shi, Fukushima-ken

(Received January 4, 2023)

In this study, commissioned by the Cabinet Office, we conducted a survey on radioactive materials in atmospheric dust in three municipalities (Futaba Town, Okuma Town, and Tomioka Town) in Fukushima Prefecture to contribute to the assessment of internal exposure in the Specified Reconstruction and Revitalization Base (SRRB). Air dust samplers were installed in the targeted municipalities to investigate the atmospheric ^{137}Cs concentrations and to evaluate internal exposure doses based on measured value. This report summarizes the results of measurements between 2018 and 2021.

A database of information on internal exposure dose assessment results based on atmospheric radioactivity concentrations and actual measurements, and meteorological observation data was compiled.

Keywords: Atmospheric Aerosol, Radiocesium, Internal Exposure Dose Rate, Pavement Condition, SRRB

This report partly uses the results of the research activities that were carried out as a part of the research project funded by Cabinet Office.

* PESCO Co., Ltd.

目次

1. はじめに 1
2. 調査方法 3
2.1 調査地点 3
2.2 試料採取 8
2.3 前処理 11
2.4 放射能分析 12
3. 評価方法 13
3.1 再浮遊係数の評価 13
3.2 実測値に基づく吸入に伴う内部被ばく評価 14
4. 調査結果 15
4.1 気象観測結果 15
4.2 放射能の測定データ 16
4.3 大気浮遊塵濃度の調査結果 17
4.4 浮遊塵放射能濃度の調査結果 21
4.5 大気放射能濃度の調査結果 25
5. 評価結果 29
5.1 再浮遊係数の調査 29
5.1.1 土壌中の ^{137}Cs 濃度 29
5.1.2 放射性セシウムの地表面濃度 30
5.2 再浮遊係数の評価結果 32
5.3 実測値に基づく吸入に伴う内部被ばく評価結果 36
6. まとめ 37
参考文献 38

Contents

1. Introduction 1
2. Method 3
2.1 Study site 3
2.2 Sampling 8
2.3 Pretreatment 11
2.4 Radiation analysis 12
3. Evaluation method 13
3.1 Evaluation of resuspension factor 13
3.2 Evaluation of internal exposure by inhalation based on measured values 14
4. Measurement result 15
4.1 Meteorological observation 15
4.2 Radiation measurement data 16
4.3 Survey results of atmospheric suspended dust concentration 17
4.4 Survey results of suspended dust radioactivity concentration 21
4.5 Survey results of atmospheric radioactivity concentration 25
5. Evaluation result 29
5.1 Study of the resuspension factor 29
5.1.1 Concentration of the radioactive cesium in soil 29
5.1.2 Surface concentration of radioactive cesium 30
5.2 Evaluation results of the resuspension factor 32
5.3 Evaluation results of internal exposure by inhalation based on measured value 36
6. Conclusion 37
References 38

図表リスト

表 2-1　調査地点概要 4
表 2-2　ダストサンプラーの仕様 9
表 2-3　気象観測装置の仕様 9
表 2-4　NaI サーベイメータの仕様 10
表 4-1　2018 年 9 月から 2022 年 3 月における大気浮遊塵濃度の平均値 18
表 4-2　2018 年 9 月から 2022 年 3 月における浮遊塵放射能濃度の平均値 22
表 4-3　2018 年 9 月から 2022 年 3 月における大気放射能濃度の平均値 26
表 5-1　放射性セシウムの地表面濃度とスペクトル解析に用いた緩衝深度（β） 31
表 5-2　2018 年 9 月から 2022 年 3 月における再浮遊係数の平均値 33
表 5-3　2018 年 9 月から 2022 年 3 月における吸入に伴う内部被ばく評価結果 36

図 2-1　調査位置（左上から 2018 年度、2019 年度、2020 年度、2021 年度） 5
図 2-2　測定地点（F 地点） 6
図 2-3　測定地点（O 地点と T 地点） 7
図 2-4　気象観測装置の設置状況 10
図 2-5　採取試料の放射能測定容器への封入作業 11
図 2-6　ゲルマニウム半導体検出器を用いた放射能測定作業 12
図 4-1　大気浮遊塵濃度の経時変化 19
図 4-2　大気浮遊塵濃度の調査結果比較 20
図 4-3　浮遊塵放射能濃度の経時変化 23
図 4-4　浮遊塵放射能濃度の調査結果比較 24
図 4-5　大気放射能濃度の経時変化 27
図 4-6　大気放射能濃度の調査結果比較 28
図 5-1　再浮遊係数の経時変化 34
図 5-2　再浮遊係数の評価結果比較 35

This is a blank page.

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、飯舘村、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 常磐線の全線運転再開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 2019 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。本報告書は、内閣府からの委託のもと、特定復興再生拠点の内部被ばく評価に資するため、福島県の 3 市町村（双葉町、大熊町、富岡町）において、大気浮遊塵中の放射性物質に関する調査事業結果を取りまとめたものである。

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 2-3 に示す調査地点にハイボリュームエアーサンプラー（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、2021 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-1、F-2 での観測は双葉駅再開の工事のため 2019 年 4 月までとし、2019 年 5 月以降は同町の東京電力社宅内（F-3、F-4）で観測を開始した。また、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 2018 年から変更はない。

表 2-1　調査地点概要

	市町村	舗装	地点	緯度	経度	地面の状態	設置期間	
							開始	終了
F-1	双葉町	未舗装	双葉駅前	37.45302	141.00601	草地	2018 年 9 月 3 日	2019 年 4 月 26 日
F-2	双葉町	舗装	双葉駅前	37.45327	141.00614	アスファルト	2018 年 9 月 3 日	2019 年 4 月 26 日
F-3	双葉町	未舗装	東京電力社宅	37.45562	141.00153	草地	2019 年 5 月 7 日	2021 年 9 月 28 日
F-4	双葉町	舗装	東京電力社宅	37.45563	141.00127	アスファルト	2019 年 5 月 7 日	2021 年 9 月 28 日
F-5	双葉町	未舗装	長塚越田 スクリーニング場	37.45716	141.00571	砕石交じり土	2021 年 10 月 6 日	（2022 年現在、継続中）
F-6	双葉町	舗装	長塚越田 スクリーニング場	37.45754	141.00553	アスファルト	2021 年 10 月 6 日	（2022 年現在、継続中）
O-1	大熊町	未舗装	保育所	37.40505	140.97693	草地	2018 年 9 月 3 日	（2022 年現在、継続中）
O-2	大熊町	舗装	老人福祉センター	37.40499	140.97719	アスファルト	2018 年 9 月 3 日	（2022 年現在、継続中）
T-1	富岡町	未舗装	夜の森つつみ公園	37.36365	140.99696	草地	2018 年 9 月 3 日	（2022 年現在、継続中）
T-2	富岡町	舗装	夜ノ森駅北側駐車場	37.36677	140.99245	アスファルト	2018 年 9 月 3 日	（2022 年現在、継続中）

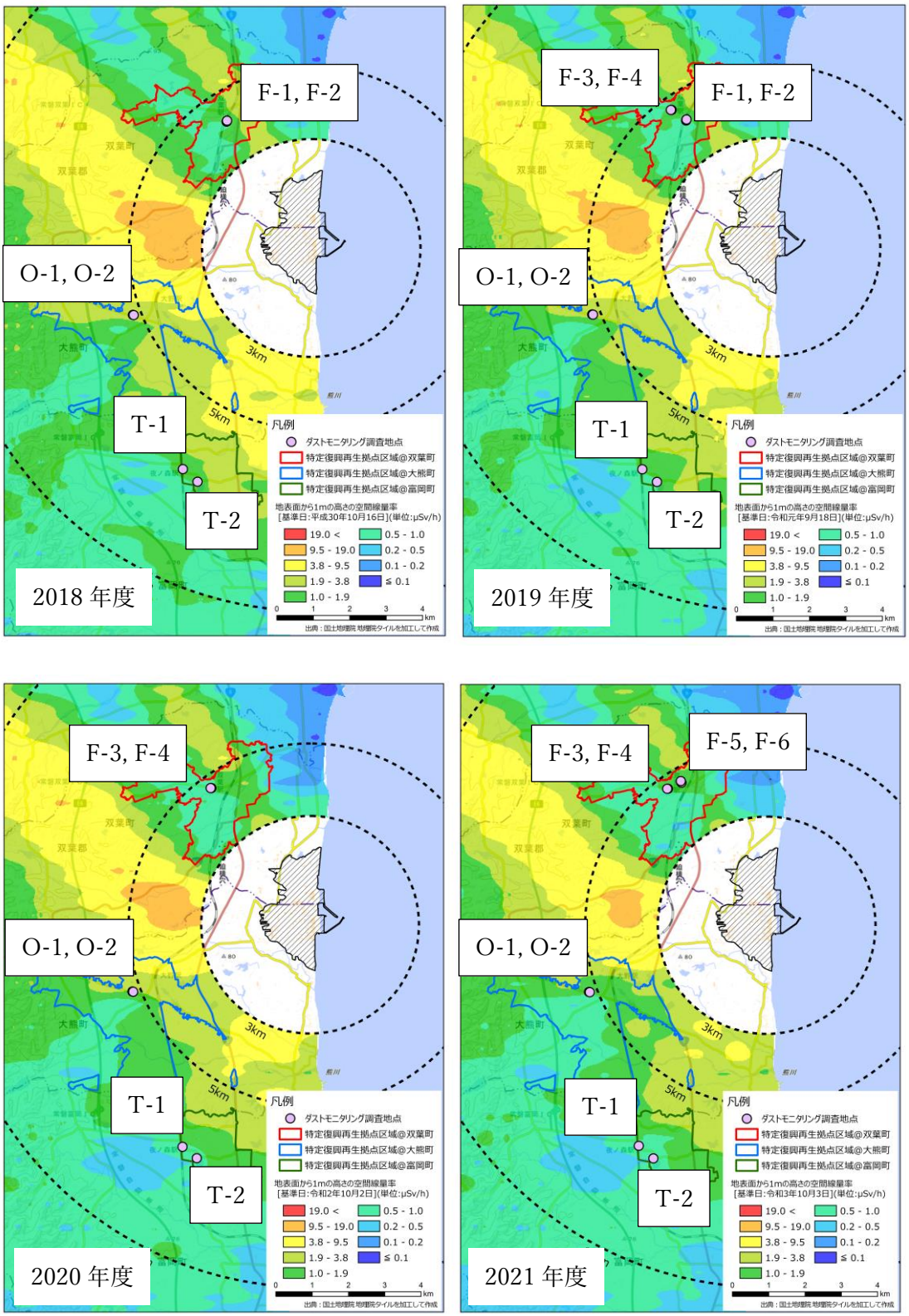

図 2-1 調査位置（左上から 2018 年度、2019 年度、2020 年度、2021 年度）

F-2（舗装面）
F-1（未舗装面）
ダストサンプラー
F-4（舗装面）
F-3（未舗装面）
ダストサンプラー
気象観測装置
F-6（舗装面）
F-5（未舗装面）
ダストサンプラー
気象観測装置
F-1（未舗装面）
F-2（舗装面）
F-3（未舗装面）
F-4（舗装面）
F-5（未舗装面）
F-6（舗装面）

図 2-2 測定地点（F 地点）

O-1（未舗装面）　O-2（舗装面）　T-1（未舗装面）　T-2（舗装面）

図 2-3　測定地点（O 地点と T 地点）

2.2 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（株式会社 ADVANTEC 社製 QR-100）上に採取した。大気浮遊塵の採取高さは地表面から約 1.25 m の高さとし、採取流量は 1000 L min^{-1} とした。2018 年 9 月 3 日から 2019 年 5 月 31 日の間、1 日あたり 5 時間（9:00 から 14:00）の採取時間で約 2 週間の連続採取を実施した。また、2019 年 6 月 3 日以降は、1 日あたり 24 時間の採取時間で約 2 週間の連続採取を実施した。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 2-4 に示すような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基本的には 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 2-2～表 2-4 に示す。

表 2-2　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	100～1200 L min^{-1}
流量精度	設定流量に対し±5%以内
ろ紙	203×254 mm 角形ろ紙
捕集効率	99.9 % （0.3μmDOP 粒子）
電源	AC100V 10A
寸法（使用時）	575（W）×575（D）×1420（H） mm
重量	約 31 kg

表 2-3　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℃～＋65℃
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℃～+60℃　誤差±0.5℃
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 2-4　気象観測装置の設置状況

表 2-4　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	φ25.4×25.4mm NaI（Tl）シンチレーション検出器
測定範囲	線量当量率：BG～30μSv h^{-1} 計数率：～30ks^{-1}
エネルギー特性	^{137}Cs に対し±15%以下（3keV～1.5MeV）
使用温度範囲	0~40℃（周囲温度）
設定時定数	30 秒

2.3 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、恒温槽（ヤマト科学株式会社製、DKM300）で 12 時間乾燥後、電子天秤（ザルトリウス・ジャパン株式会社製、AP225W-AD）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 65 mm）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 2-5）。

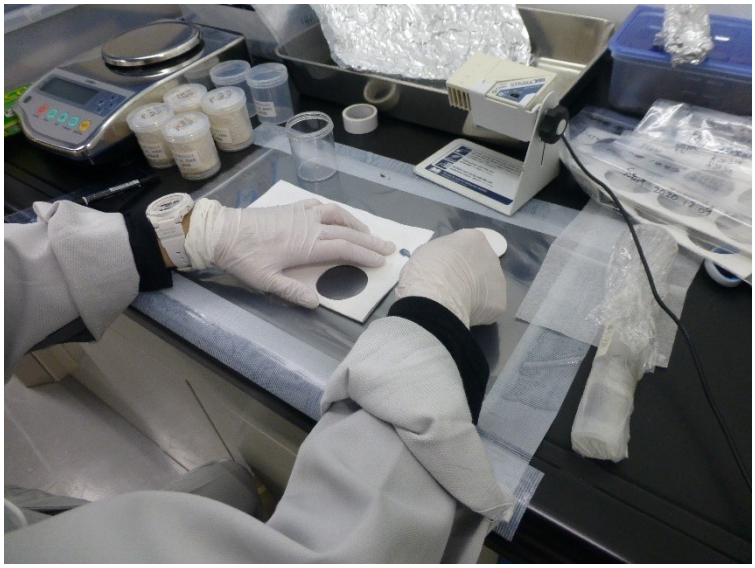

図 2-5　採取試料の放射能測定容器への封入作業

2.4 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（図 2-6）。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。

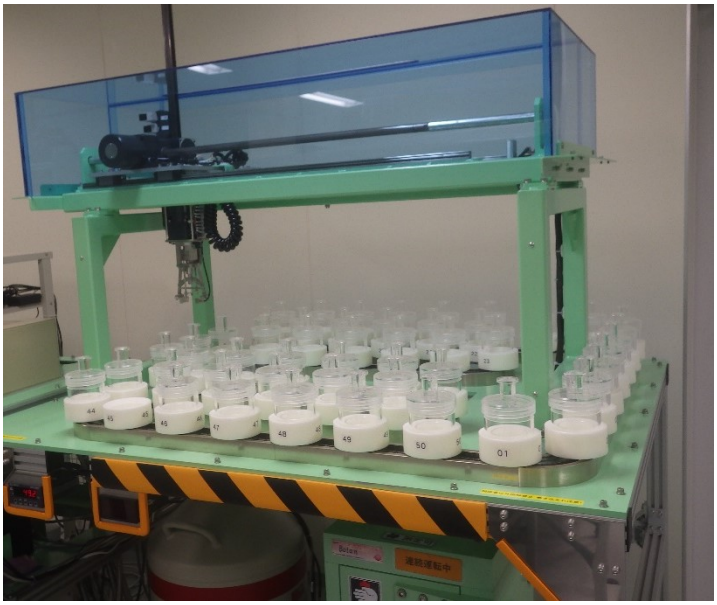

図 2-6　ゲルマニウム半導体検出器を用いた放射能測定作業

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の再浮遊に影響される。放射性物質の地表面濃度と大気放射能濃度の関係を評価するため、それぞれの調査地点における再浮遊係数を求めた。再浮遊係数は一般的に次式で算出される。

$$RF = \frac{C_{air}}{I_{dep}} \tag{1}$$

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（≒1/2.7）になる深度）は、舗装面では ICRU によって報告されているコンクリートの場合の値である 0.1 g cm^{-2} を採用[6]し、未舗装面では実測値とした。

未舗装面土壌中の緩衝深度を調べるため、双葉町の未舗装面（F-1、F-3、F-5）、大熊町の未舗装面（O-1 地点）及び富岡町の未舗装面（T-1 地点）については、ダストサンプラーの設置場所周辺でコアサンプラーなどの土壌採取器具を用いて表層から 15 ㎝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 濃度を測定した。In-Situ Object Calibration Software (CANBERRA、USA)による解析法の標準ジオメトリーに深度ごとの放射能濃度を与え、γ 線スペクトルの解析を行った。

得られた ^{137}Cs 地表面濃度は、採取年度の 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、2021 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。

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、次式を用いて評価した。

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

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：3.9×100^{-5} mSv Bq^{-1} [7] を採用）

R：呼吸率係数（46.32 m^3 日$^{-1}$ [8]）

T：屋外滞在時間（10 時間 [9]）

4. 調査結果

4.1 気象観測結果

気象観測装置に測定結果を、Excel データとして CD-ROM の付録 1 に収録した。気象データは 2021 年 5 月から 2022 年 3 月の期間にかけて実施した。なお、2021 年 5 月 18 日から 6 月 22 日までは 30 分間隔で測定を実施し、それ以降は 10 分間隔で測定を実施した。測定データの各種項目について、以下のとおりである。

1) 気温：気温データ
2) 最高気温：測定間隔中の最高気温データ
3) 最低気温：測定間隔中の最低気温データ
4) 湿度：相対湿度データ
5) 風速：風速データ
6) 風向：測定間隔中の最頻風向
7) 最大風速：最大風速データ
8) 最大風速時の風向：測定間隔中の最大風速時の最頻風向
9) 気圧：気圧データ
10) 雨量：雨量データ
11) 降雨強度：降雨強度データ

4.2 放射能の測定データ

大気浮遊塵中の放射能濃度の測定結果として、市町村ごとの大気浮遊塵濃度、大気放射能濃度、浮遊塵放射能濃度及び測定期間の大気吸引流量について整理した。放射能濃度は、吸引流量で除した大気放射能濃度（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}）で示し、Excel データとして CD-ROM の付録 2 に収録した。測定データの各種項目について、以下のとおりである。

1) 採取期間（日）
2) 採取時間（時間）
3) 大気浮遊塵濃度（mg m^{-3}）
4) ^{137}Cs 浮遊塵放射能濃度（mBq kg^{-1}）
5) ^{137}Cs 大気放射能濃度（mBq m^{-3}）
6) ^{137}Cs 吸入被ばく線量 （μSv）
7) ^{137}Cs 再浮遊係数（m^{-1}）
8) 空間線量率（μSv h^{-1}）
9) ダストサンプラー稼働時間（1 日）

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-1,F-2）で 3.0×10^{-2}~1.4×10^{-1} mg m^{-3}、双葉町（F-3,F-4）で 1.1×10^{-2}~7.7×10^{-2} mg m^{-3}、双葉町（F-5,F-6）で 7.5×10^{-3}~1.9×10^{-2} mg m^{-3}、大熊町（O-1,O-2）で 7.5×10^{-3}~1.2 mg m^{-3}、富岡町（T-1,T-2）で 6.2×10^{-3}~3.4×10^{-1} mg m^{-3} であった。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（表 4-1）。

大気浮遊塵濃度の経時変化を図 4-1 に示す。2018 年 9 月から 2019 年 5 月における日中のみサンプリングを実施した期間の測定データは、今回測定を行った全期間の中でいずれの地点においても、比較的ばらつきを大きくかつ高い濃度が検出される傾向を示した。また、大熊町の測定地点は 2018 年 9 月から 2019 年 2 月にダストサンプラー周辺の除染が行われており、一時的に大気浮遊塵濃度の上昇が確認された。2019 年 5 月以降の 24 時間連続測定を実施した期間において、大気浮遊塵濃度の変動傾向に規則性は確認できなかった。

年度別に各調査地点の測定結果の比較を図 4-2 に示す。2018 年から 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、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 月から 2022 年 3 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、双葉町では期間内で顕著な変動は見られなかった。大熊町と富岡町では、2019 年度から 2020 年度にかけて濃度の低下傾向は見られなかったが、2021 年度には低下傾向が見られた。

表 4-1　2018 年 9 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-1	草地	15	6.6E-02	3.0E-02	5.9E-02	1.556
F-2	アスファルト	15	7.9E-02	2.0E-02	7.6E-02	1.315
F-3	草地	60	2.4E-02	9.1E-03	2.2E-02	1.390
F-4	アスファルト	60	2.3E-02	9.8E-03	2.2E-02	1.393
F-5	砕石交じり土	10	1.2E-02	2.9E-03	1.2E-02	1.278
F-6	アスファルト	10	1.4E-02	2.7E-03	1.4E-02	1.203
O-1	土	85	2.7E-02	3.1E-02	1.9E-02	2.011
O-2	アスファルト	85	4.2E-02	1.3E-01	2.1E-02	2.299
T-1	草地	85	2.7E-02	4.2E-02	1.8E-02	2.013
T-2	アスファルト	85	2.2E-02	1.8E-02	1.8E-02	1.804
	全地点	510	3.0E-02	5.9E-02	1.4E-02	1.989

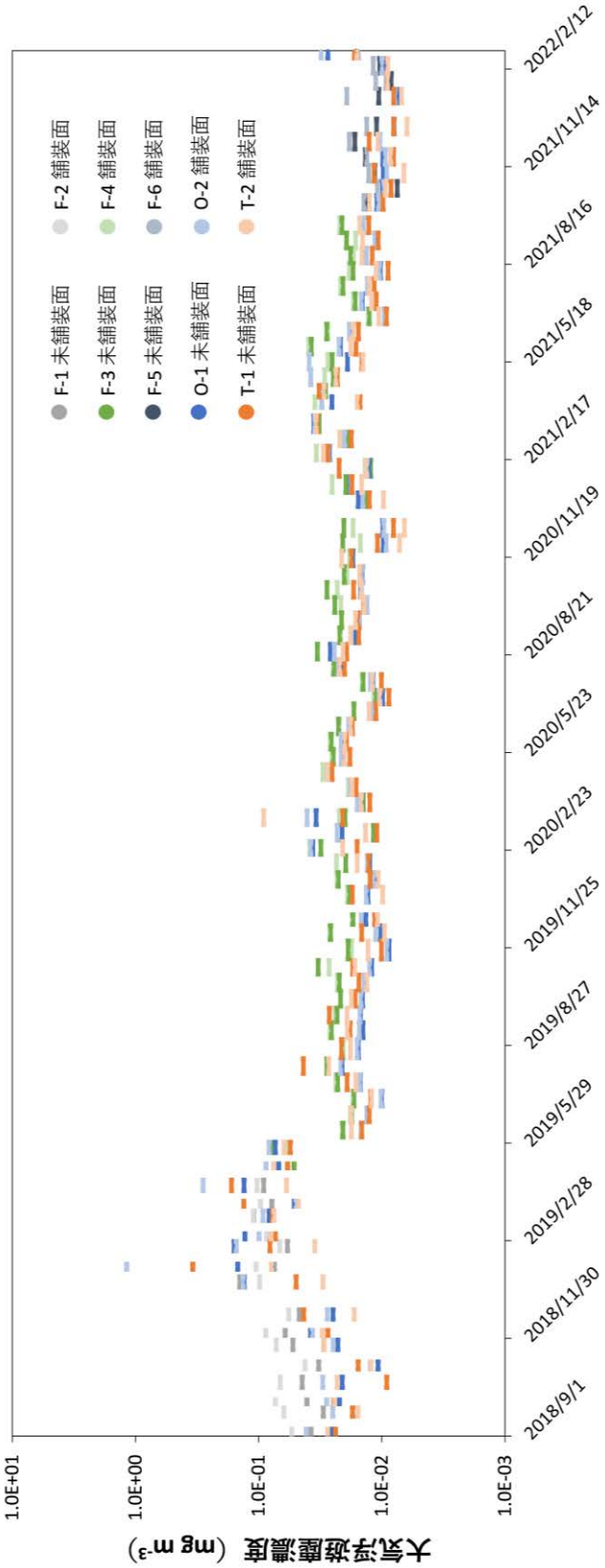

図 4-1　大気浮遊塵濃度の経時変化

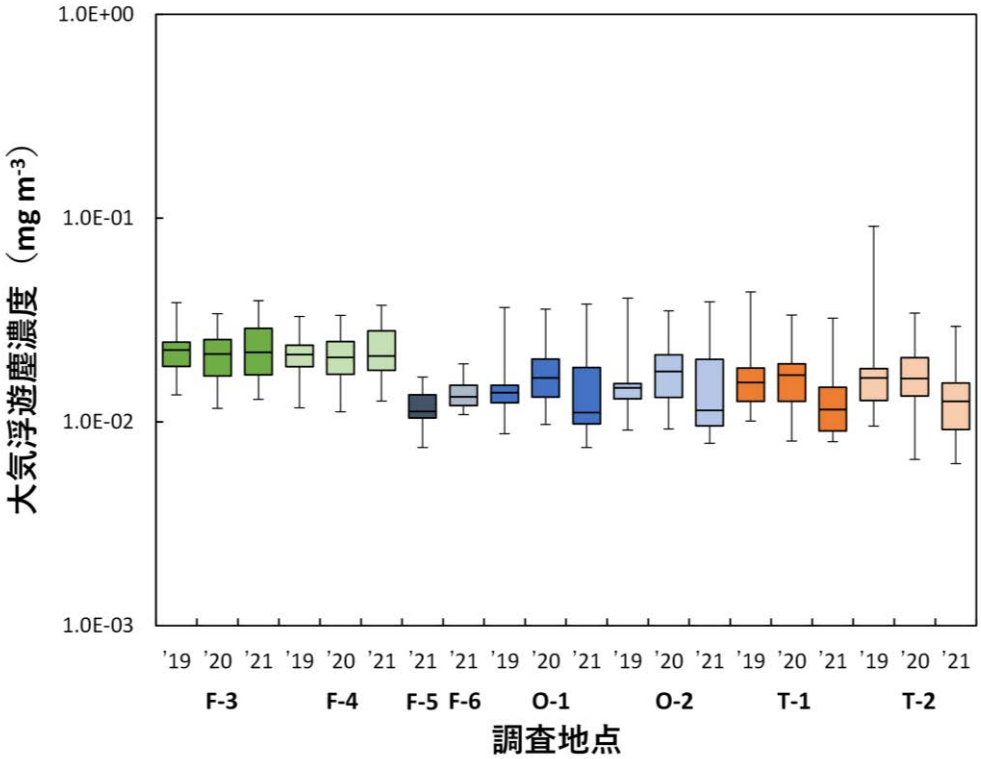

図 4-2　大気浮遊塵濃度の調査結果比較

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-1,F-2）で 7.8×10^{6}~3.4×10^{7} mBq kg^{-1}、双葉町（F-3,F-4）で 2.0×10^{6}~3.7×10^{7} mBq kg^{-1}、双葉町（F-5,F-6）で 6.9×10^{6}~1.3×10^{7} mBq kg^{-1}、大熊町（O-1,O-2）で 3.7×10^{6}~3.8×10^{8} mBq kg^{-1}、富岡町（T-1,T-2）で 1.3×10^{6}~1.7×10^{8} mBq kg^{-1} であった。また、双葉町と大熊町では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 4-2）。富岡町は舗装面と未舗装面の採取地点が離れているため、データに有意差が現れたと考えられる。

浮遊塵放射能濃度の経時変化を図 4-3 に示す。2018 年 9 月から 2019 年 5 月における日中のみサンプリングを実施した期間の測定データは、今回測定を行った全期間の中でいずれの地点においても、比較的ばらつきを大きくかつ高い濃度が検出される傾向を示した。また、大熊町の測定地点は 2018 年 9 月から 2019 年 2 月にダストサンプラー周辺の除染が行われており、一時的に濃度の上昇が確認された。2019 年 5 月以降の 24 時間連続測定を実施した期間において、浮遊塵放射能濃度の変動傾向に規則性は確認できなかった。

年度別に各調査地点の測定結果の比較を図 4-4 に示す。4.3 項と同様に、比較に用いるデータは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 月から 2022 年 3 月の期間におけるデータを使用した。浮遊塵放射能濃度の中央値について、双葉町では 2019 年度から 2020 年度にかけて緩やかな減少傾向だったが、2020 年度から 2021 年度にかけて減少傾向は見られなかった。一方で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。T-1 に関して、期間中にダストサンプラーの周囲での除染が無かったものの、富岡町内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 に関しても、富岡町内の除染工事が進んだことや 2020 年 2 月頃に常磐線運転再開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。

表 4-2　2018 年 9 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-1	草地	15	1.6E+07	6.1E+06	1.5E+07	1.418
F-2	アスファルト	15	1.9E+07	6.4E+06	1.8E+07	1.407
F-3	草地	60	8.8E+06	5.8E+06	7.5E+06	1.740
F-4	アスファルト	60	8.3E+06	5.0E+06	7.3E+06	1.677
F-5	砕石交じり土	10	9.6E+06	2.0E+06	9.4E+06	1.227
F-6	アスファルト	10	9.6E+06	2.2E+06	9.4E+06	1.254
O-1	土	85	1.7E+07	1.9E+07	1.4E+07	1.817
O-2	アスファルト	85	2.7E+07	5.0E+07	1.6E+07	2.224
T-1	草地	85	1.9E+07	3.0E+07	1.1E+07	2.583
T-2	アスファルト	85	1.1E+07	9.7E+06	8.1E+06	2.158
	全地点	510	1.6E+07	2.6E+07	7.4E+06	2.149

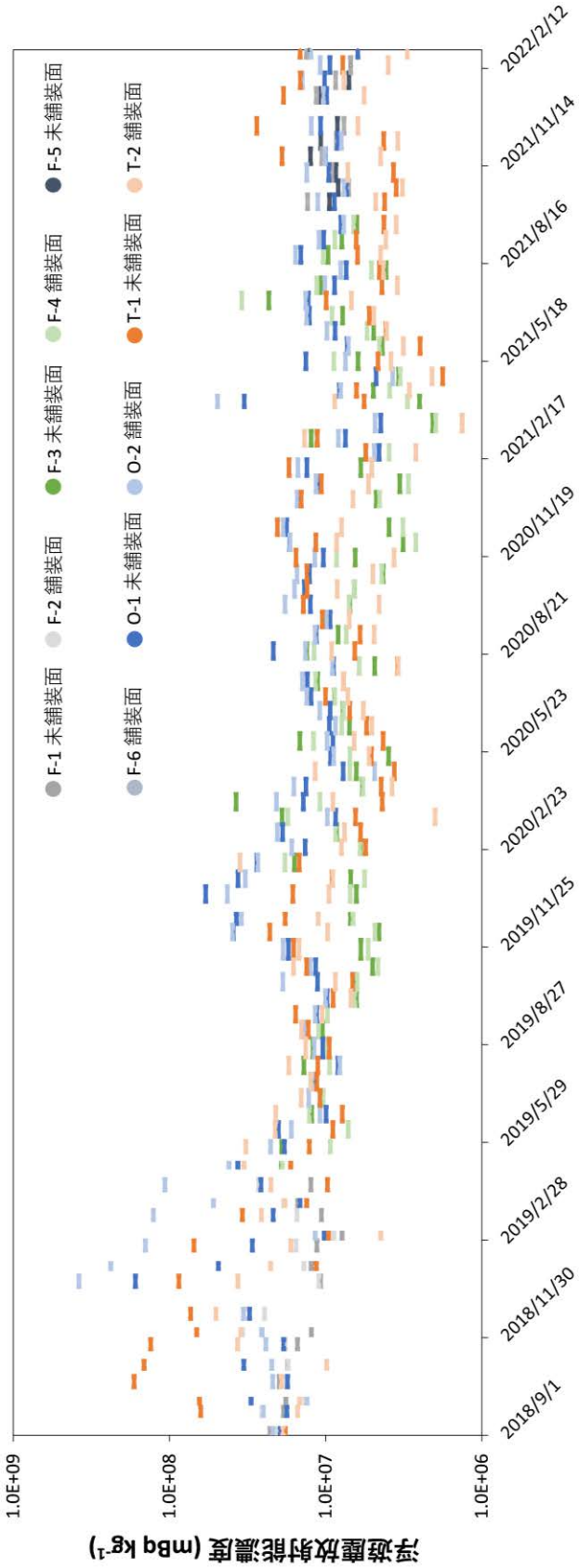

図 4-3　浮遊塵放射能濃度の経時変化

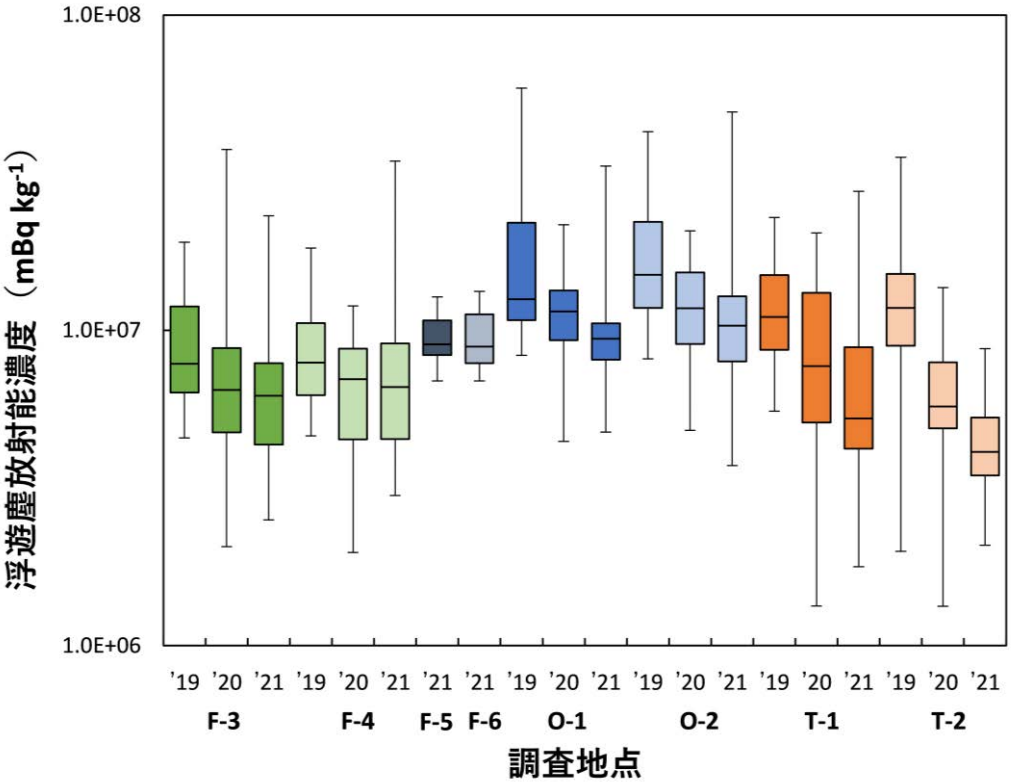

図 4-4　浮遊塵放射能濃度の調査結果比較

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-1,F-2）で 5.6×10^{-1}~3.0 mBq m^{-3}、双葉町（F-3,F-4）で 4.8×10^{-2}~1.2 mBq m^{-3}、双葉町（F-5,F-6）で 6.0×10^{-2}~2.2×10^{-1} mBq m^{-3}、大熊町（O-1,O-2）で 7.3×10^{-2}~2.8×10^{2} mBq m^{-3}、富岡町（T-1,T-2）で 3.0×10^{-2}~5.6 mBq m^{-3} であった。また、双葉町（F-3,F-4 及び F-5,F-6）と大熊町では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 4-3）。双葉町（F-1,F-2）は、測定期間中に工事車両が出入りするなど人為的影響によりデータに有意差が現れた可能性が考えられるが、はっきりとした理由は不明である。富岡町は舗装面と未舗装面の採取地点が離れているため、データに有意差が現れたと考えられる。

大気放射能濃度の経時変化を図 4-5 に示す。2018 年 9 月から 2019 年 5 月における日中のみサンプリングを実施した期間の測定データは、今回測定を行った全期間の中でいずれの地点においても、比較的ばらつきが大きくかつ高い濃度が検出される傾向を示した。また、大熊町の測定地点は 2018 年 9 月から 2019 年 2 月にダストサンプラー周辺の除染が行われており、一時的に濃度の上昇が確認された。2019 年 5 月以降の 24 時間連続測定を実施した期間において、大気放射能濃度の変動傾向に規則性は確認できなかった。

年度別に各調査地点の測定結果の比較を図 4-6 に示す。4.3 節と同様に、比較に用いるデータは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 月から 2022 年 3 月の期間におけるデータを使用した。大気放射能濃度の中央値について、双葉町では 2019 年度から 2020 年度にかけて緩やかな減少傾向だったが、2020 年度から 2021 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、2021 年度に測定した大気放射能濃度は 2019 年度よりそれぞれ 20 %及び 7 %減少した。大熊町では 2019 年度から 2020 年度にかけて減少傾向は見られなかったが、2020 年度から 2021 年度にかけて明確な減少傾向が見られた。大熊町の O-1 及び O-2 では、2021 年度に測定した大気放射能濃度は 2019 年度よりそれぞれ 39 %及び 44 %減少した。富岡町は 2019 年度から各年毎に低下傾向であり、T-1 及び T-2 では、2021 年度に測定した大気放射能濃度は 2019 年度よりそれぞれ 62 %及び 72 %減少した。

表 4-3　2018 年 9 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-1	草地	15	9.3E-01	3.1E-01	8.9E-01	1.371
F-2	アスファルト	15	1.5E+00	6.3E-01	1.4E+00	1.476
F-3	草地	60	2.1E-01	2.0E-01	1.7E-01	1.882
F-4	アスファルト	60	1.9E-01	1.5E-01	1.6E-01	1.786
F-5	砕石交じり土	10	1.2E-01	4.9E-02	1.1E-01	1.520
F-6	アスファルト	10	1.4E-01	4.9E-02	1.3E-01	1.434
O-1	土	85	7.4E-01	2.5E+00	2.6E-01	2.870
O-2	アスファルト	85	5.0E+00	3.1E+01	3.3E-01	4.275
T-1	草地	85	5.6E-01	1.1E+00	2.0E-01	3.595
T-2	アスファルト	85	3.0E-01	4.8E-01	1.4E-01	2.983
	全地点	510	1.2E+00	1.3E+01	1.1E-01	3.216

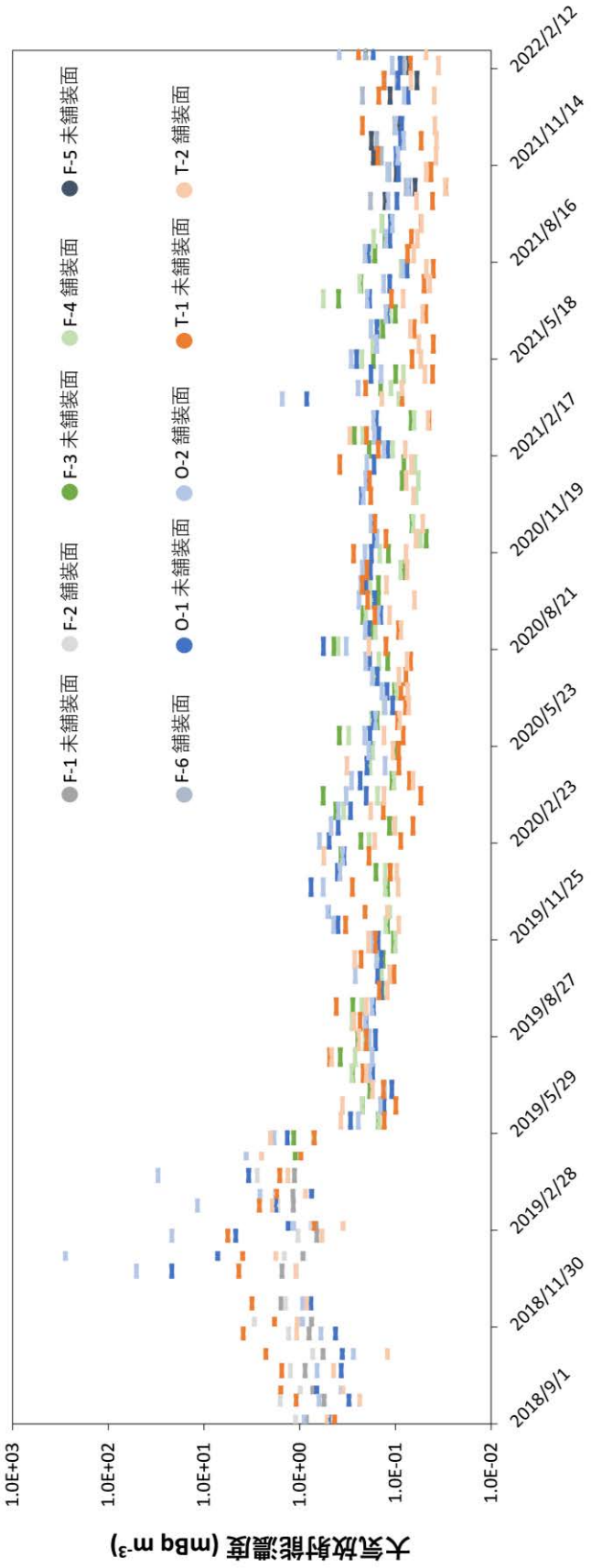

図 4-5 大気放射能濃度の経時変化

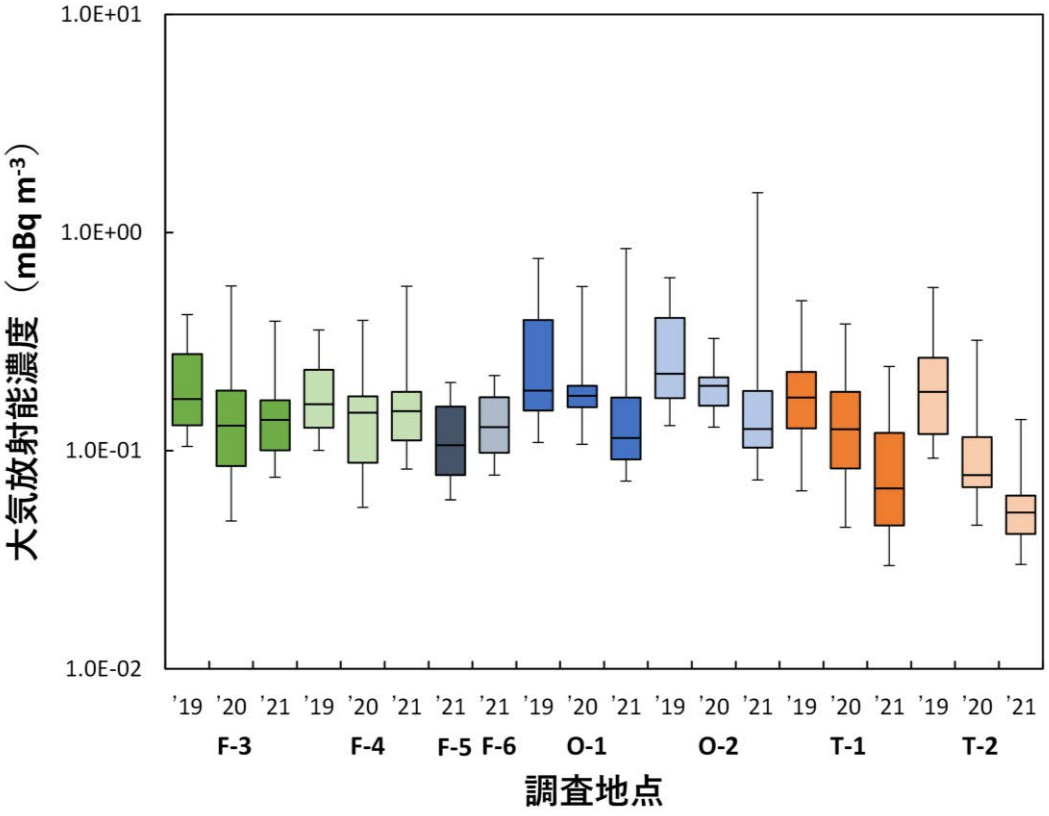

図 4-6　大気放射能濃度の調査結果比較

5. 評価結果

5.1 再浮遊係数の調査

5.1.1 土壌中の ^{137}Cs 濃度

再浮遊係数の算出に当たり、土壌中の ^{137}Cs 濃度の鉛直分布を調査した。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 濃度の分析データを、Excel データとして CD-ROM の付録 3 に収録した。分析データの各種項目について、以下のとおりである。

1) 採取日
2) 緩衝深度（g cm^{-2}）
3) 土壌中 ^{137}Cs 濃度（Bq kg^{-1}）
4) 検出限界値（Bq kg^{-1}）

5.1.2 放射性セシウムの地表面濃度

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付録 3 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。それぞれの地点における ^{137}Cs 地表面濃度を表 5-1 に示す。

双葉町（F-1,F-2）の ^{137}Cs 地表面濃度は 3.8×10^{4}~1.1×10^{5} Bq m^{-2}、双葉町（F-3,F-4）の ^{137}Cs 地表面濃度は 2.8×10^{4}~6.9×10^{4} Bq m^{-2}、双葉町（F-5,F-6）の ^{137}Cs 地表面濃度は 2.5×10^{4}~4.1×10^{4} Bq m^{-2}、大熊町（O-1,O-2）の ^{137}Cs 地表面濃度は 2.9×10^{5}~2.2×10^{6} Bq m^{-2}、大熊町（T-1,T-2）の ^{137}Cs 地表面濃度は 3.3×10^{4}~1.5×10^{6} Bq m^{-2} であった。

年度別に各調査地点の測定結果を比較すると、いくつかの地点において、急激に地表面濃度が減少する場合が確認された。双葉町（F-3）は、2020 年度に前年度から 51%減少した。F-3 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。大熊町（O-1,O-2）は、2019 年度に前年度からそれぞれ 79%及び 43%減少した。両地点では、2019 年 1 月から 2 月に測定地点周辺の除染が実施されており、その影響であると考えられる。T-1 地点は 2019 年度に前年度から 92%減少した。2018 年 10 月から 12 月に測定地点周辺の除染が実施されており、その影響であると考えられる。T-2 は 2020 年度に前年度から 69%減少した。2020 年 2 月に測定地点で周辺の除染が実施されており、その影響であると考えられる。

表 5-1　放射性セシウムの地表面濃度とスペクトル解析に用いた緩衝深度（β）

		β （g cm^{-2}）	2018 年度 ^{137}Cs 地表面濃度（Bq m^{-2}）	2019 年度 ^{137}Cs 地表面濃度（Bq m^{-2}）	2020 年度 ^{137}Cs 地表面濃度（Bq m^{-2}）	2021 年度 ^{137}Cs 地表面濃度（Bq m^{-2}）
F-1	草地	－	1.1E+05	－	－	－
F-2	アスファルト	0.1	3.8E+04	－	－	－
F-3	草地	－	－	7.0E+04	3.4E+04	2.8E+04
F-4	アスファルト	0.1	－	3.9E+04	2.8E+04	3.1E+04
F-5	砕石交じり土	－	－	－	－	4.1E+04
F-6	アスファルト	0.1	－	－	－	2.5E+04
O-1	土	－	2.2E+06	4.5E+05	3.8E+05	2.9E+05
O-2	アスファルト	0.1	8.6E+05	4.9E+05	4.2E+05	4.1E+05
T-1	草地	－	1.5E+06	1.0E+05	3.0E+05	1.6E+05
T-2	アスファルト	0.1	1.6E+05	1.2E+05	3.8E+04	3.3E+04

5.2 再浮遊係数の評価結果

表 5-1 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-1,F-2）で 5.0×10^{-9}~7.9×10^{-8} m^{-1}、双葉町（F-3,F-4）で 1.4×10^{-9}~2.5×10^{-8} m^{-1}、双葉町（F-5,F-6）で 1.4×10^{-9}~8.8×10^{-9} m^{-1}、大熊町（O-1,O-2）で 1.4×10^{-10}~3.3×10^{-7} m^{-1}、富岡町（T-1,T-2）で 1.5×10^{-10}~2.0×10^{-8} m^{-1} であり、算術平均値では、大熊町と富岡町において、双葉町のいずれの調査地点よりも低い値を示した（表 5-2）。また、舗装状況の違いによる再浮遊係数の違いは、双葉町（F-1,F-2 及び F-5,F-6）と富岡町で有意な差が認められた。当該地点は 5.1.2 項で示した沈着量の値が舗装状況によって大きく異なるためであると考えられる。

再浮遊係数の経時変化を図 5-1 に示す。再浮遊係数は 3.1 節で前述したとおり、^{137}Cs 地表面濃度を各測定年度の 4 月 1 日時点における濃度に換算した値を定数とし、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。

年度別に各調査地点の測定結果の比較を図 5-2 に示す。再浮遊係数の中央値について、双葉町の特に F-3 では緩やかな増加傾向が見られた。F-3 は、2019 年度から緩やかな増加傾向にあり、地表面 ^{137}Cs 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と考えられる。大熊町では特に O-2 で 2020 年度から 2021 年度に再浮遊係数の減少が確認された。富岡町では特に T-1 で、2019 年度から 2020 年度に再浮遊係数の急激な減少が確認された。T-1 では、2020 年度に測定地点である夜の森つつみ公園内で実施された工事に伴い土壌採取地点を移動したことにより、2019 年度と比較して相対的に ^{137}Cs 地表面濃度が増加し、結果として再浮遊係数は 2019 年度の結果より大きく低減したと考えられる。

表 5-2　2018 年 9 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-1	草地	14	8.4E-09	2.9E-09	7.9E-09	1.386
F-2	アスファルト	14	4.0E-08	1.7E-08	3.6E-08	1.490
F-3	草地	60	4.8E-09	3.7E-09	3.9E-09	1.846
F-4	アスファルト	60	5.8E-09	4.1E-09	4.9E-09	1.725
F-5	砕石交じり土	10	2.9E-09	1.2E-09	2.6E-09	1.520
F-6	アスファルト	10	5.5E-09	2.0E-09	5.2E-09	1.434
O-1	土	84	9.4E-10	1.5E-09	5.6E-10	2.315
O-2	アスファルト	84	6.7E-09	3.7E-08	6.9E-10	3.805
T-1	草地	84	1.3E-09	1.5E-09	8.0E-10	2.499
T-2	アスファルト	84	3.2E-09	3.5E-09	2.3E-09	2.076
	全地点	504	4.8E-09	1.7E-08	1.2E-09	3.762

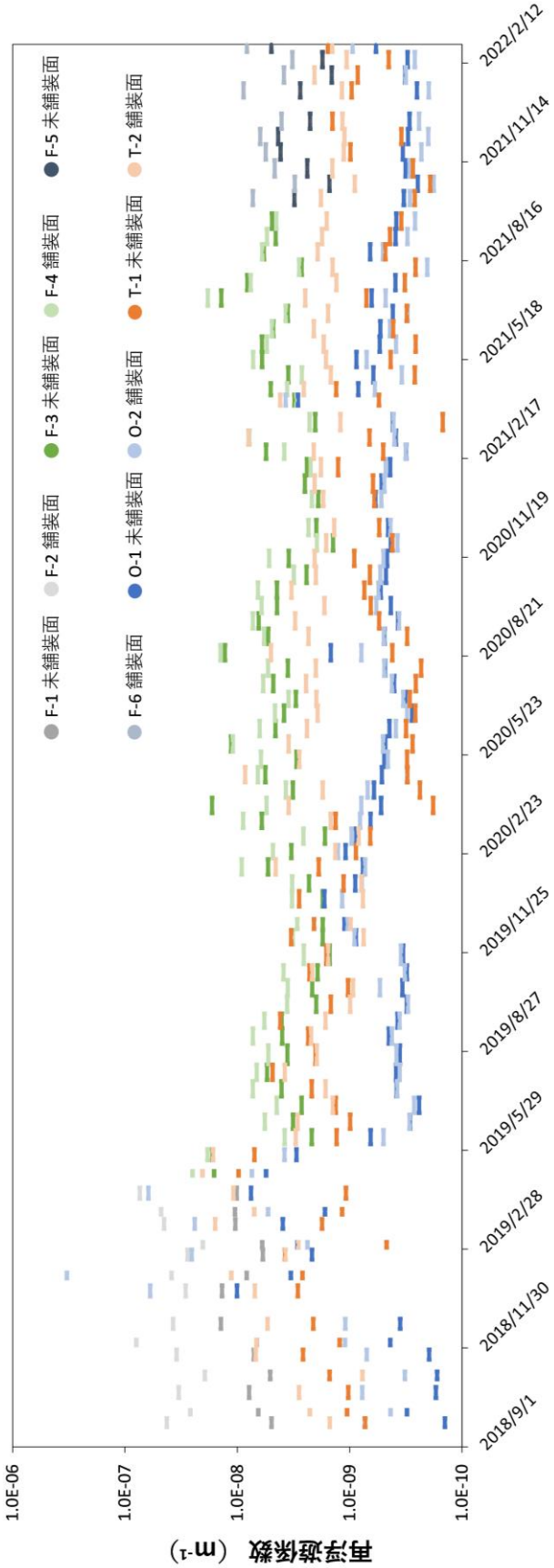

図 5-1 再浮遊係数の経時変化

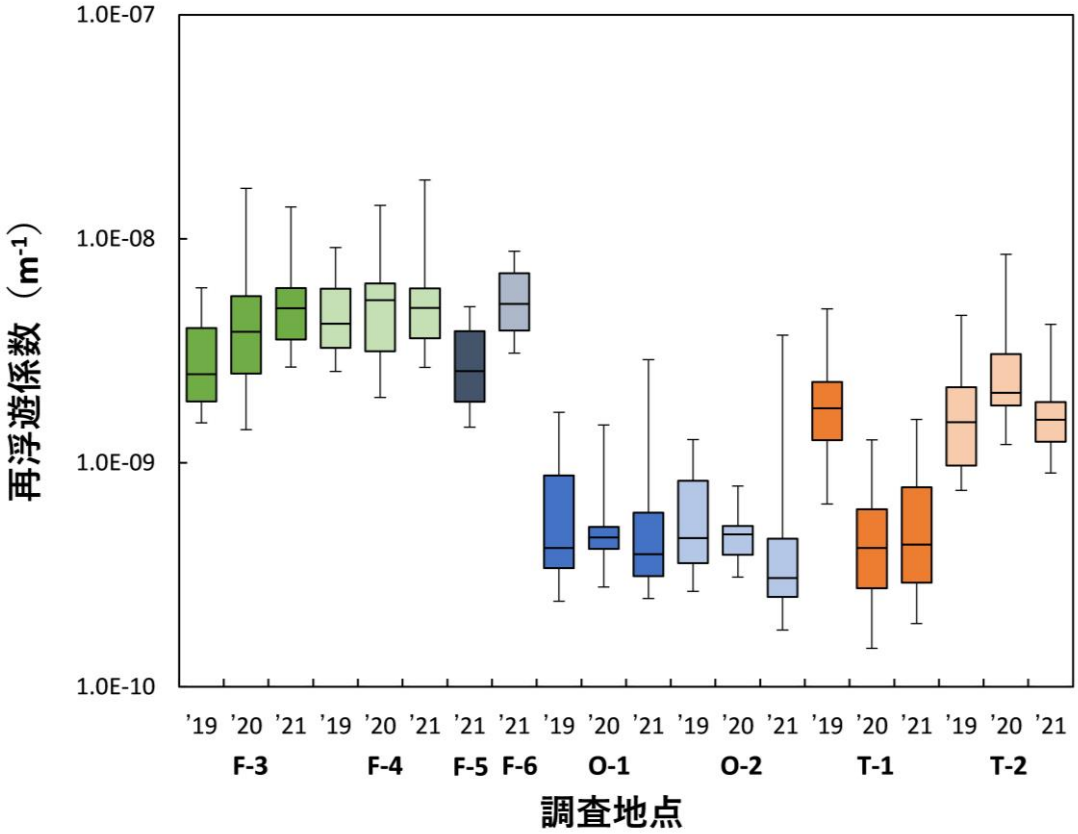

図 5-2　再浮遊係数の評価結果比較

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 5-3）。内部被ばく実効線量は、双葉町（F-1,F-2）で 4.2×10^{-4}~2.2×10^{-3} μSv、双葉町（F-3,F-4）で 3.6×10^{-5}~8.7×10^{-4} μSv、双葉町（F-5,F-6）で 4.5×10^{-5}~1.7×10^{-4} μSv、大熊町で 5.5×10^{-5}~2.1×10^{-1} μSv、富岡町で 2.2×10^{-5}~4.2×10^{-3} μSv であった（表 5-3）。

また、内部被ばく実効線量は、大気放射能濃度に式（2）に示す係数と屋外滞在時間を乗じた値であるため、経時変化及び年度別の変動傾向は大気放射能濃度の変動傾向に依存する。

表 5-3　2018 年 9 月から 2022 年 3 月における吸入に伴う内部被ばく評価結果

			内部被ばく実効線量（μSv）			
		データ数	算術平均	標準偏差	幾何平均	幾何標準偏差
F-1	草地	15	7.0E-04	2.3E-04	6.7E-04	1.370
F-2	アスファルト	15	1.1E-03	4.8E-04	1.0E-03	1.476
F-3	草地	60	1.6E-04	1.5E-04	1.3E-04	1.882
F-4	アスファルト	60	1.4E-04	1.2E-04	1.2E-04	1.786
F-5	砕石交じり土	10	8.9E-05	3.7E-05	8.1E-05	1.520
F-6	アスファルト	10	1.0E-04	3.7E-05	9.7E-05	1.434
O-1	土	85	5.6E-04	1.9E-03	2.0E-04	2.870
O-2	アスファルト	85	3.8E-03	2.3E-02	2.5E-04	4.276
T-1	草地	85	4.2E-04	8.0E-04	1.5E-04	3.598
T-2	アスファルト	85	2.3E-04	3.6E-04	1.1E-04	2.983
	全地点	480	9.2E-04	9.6E-03	8.0E-05	3.216

6. まとめ

双葉町、大熊町及び富岡町の特定復興再生拠点区域内で 2018 年 9 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、実測値に基づく内部被ばく線量評価を行った。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 $3.0\times10^{-2}\pm5.9\times10^{-2}$ mg m^{-3} であった。舗装状況の違いによる有意差はいずれの地点でも確認されなかった。

2) 測定期間中の ^{137}Cs の浮遊塵放射能濃度は平均 $1.6\times10^{7}\pm2.6\times10^{7}$ mBq kg^{-1} であった。舗装状況の違いによる有意差については、人為的影響や測定地点が離れている場合を除き、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 $1.2\pm1.3\times10^{1}$ mBq m^{-3} であった。舗装状況の違いによる有意差については、人為的影響や測定地点が離れている場合を除き、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 $9.2\times10^{-4}\pm9.6\times10^{-3}$ μSv と推定された。

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, https://www.env.go.jp/content/900484105.pdf（2022 年 12 月 26 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, https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/kinkyu/pdf/2016/0831_01.pdf （2022 年 12 月 26 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, https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/11160054/www.nsr.go.jp/data/000243080.pdf（2022 年 12 月 27 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.da.nsr.go.jp/file/NR000058473/000255825.pdf （2022 年 12 月 27 日参照）.
5) 原子力規制庁監視情報課, 放射能測定法シリーズ No.33「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) International Commission on Radiological Protection (ICRP), Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 4 Inhalation Dose, 1995.
7) K. Saito and N. Petoussi-Henss, Ambient dose equivalent conversion coefficients for radionuclides exponentially distributed in the ground, Journal of Nuclear Science and Technology, vol.51, pp.1274-1287, 2014.
8) 放射線医学総合研究所, ラドン濃度測定・線量評価最終報告書,平成 9 年度, 1998.
9) 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://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/11203941/www.nsr.go.jp/data/000254389.pdf（2022 年 12 月 27 日参照）.