

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. Geophy., 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

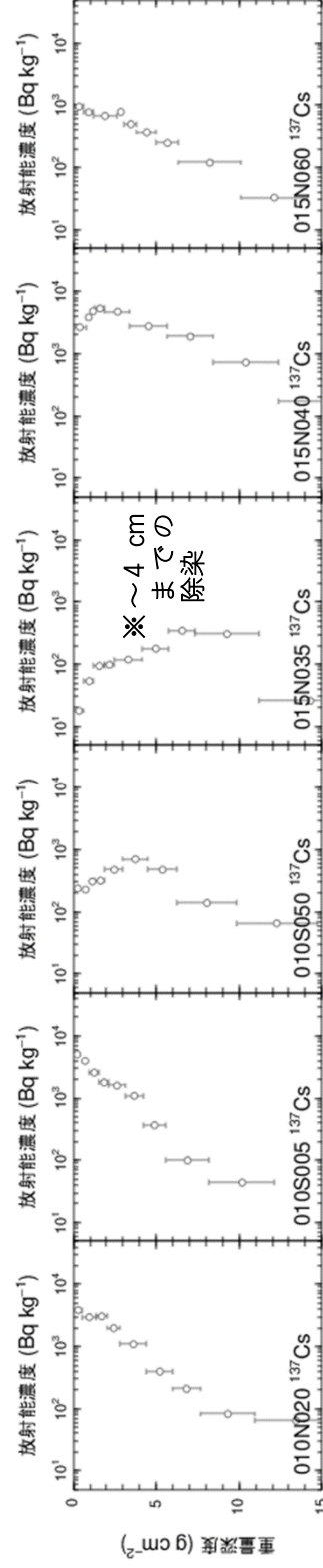
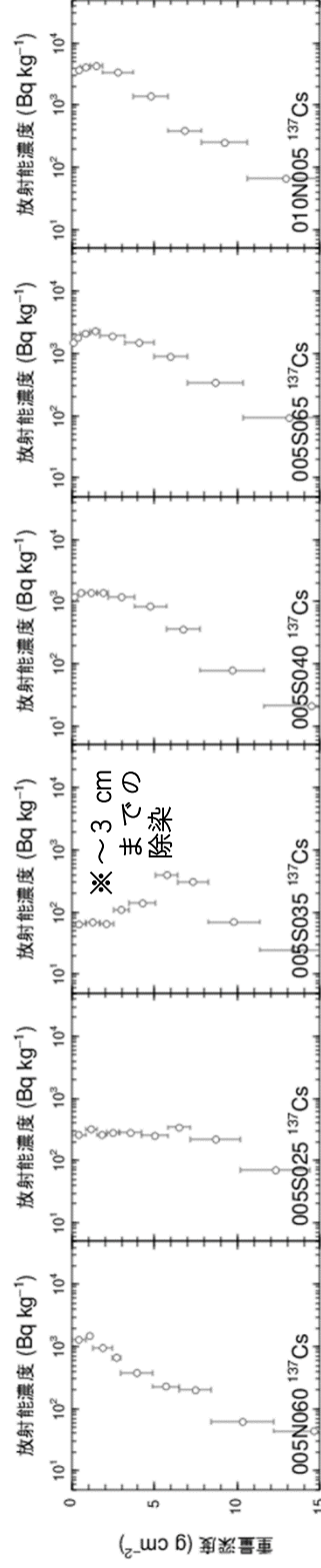
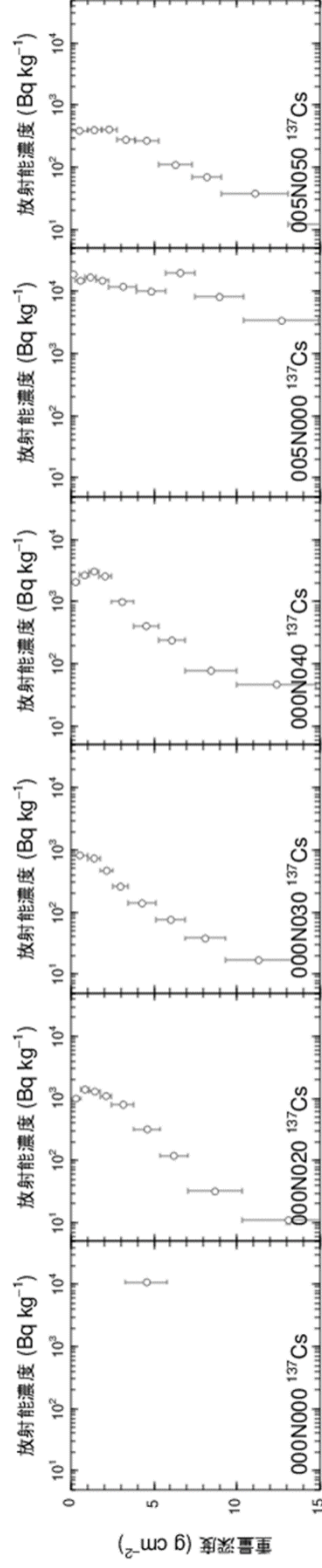
布調査.pdf.

- 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

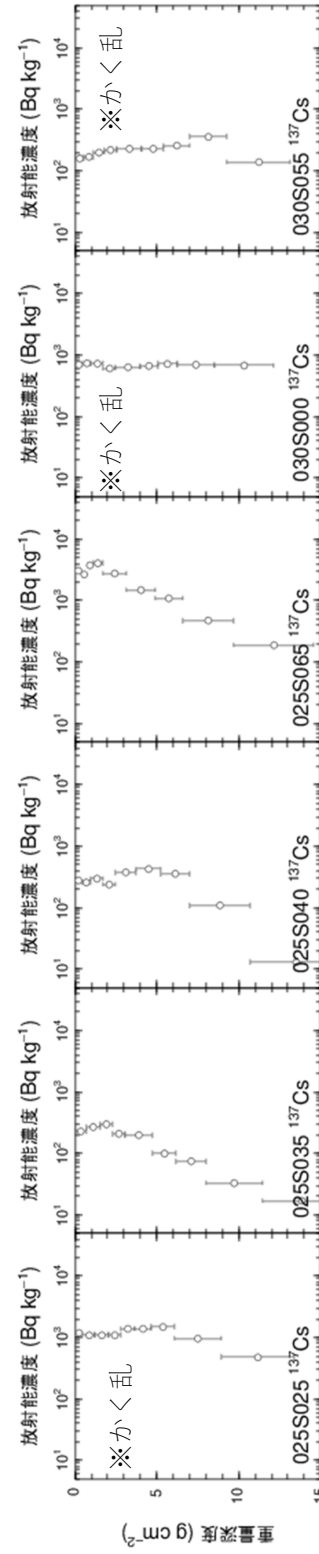
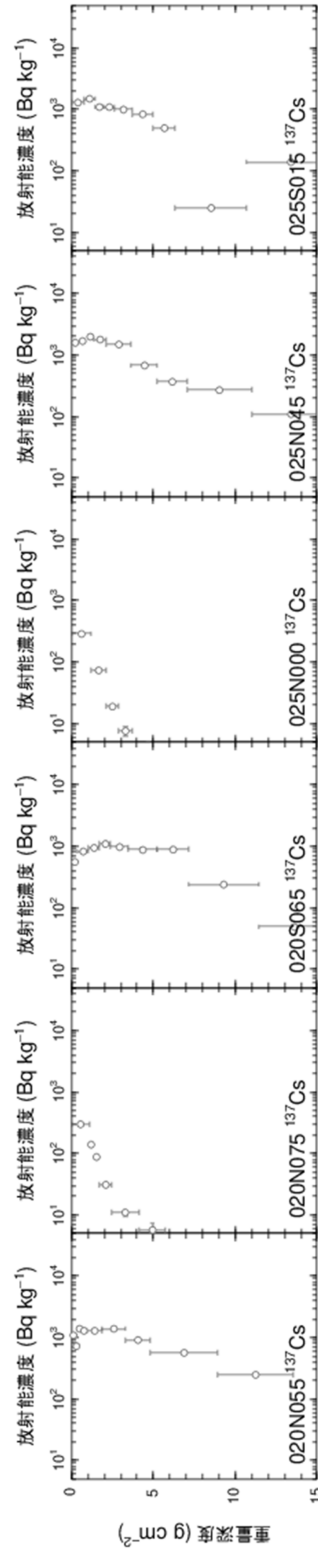
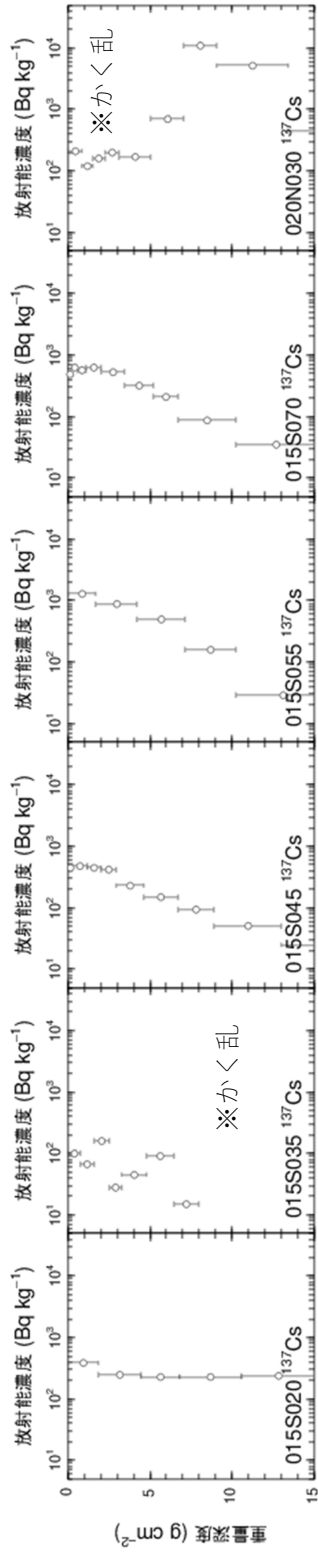
セシウム 137 の深度分布 (1/5)

※ 深度分布の変遷から読み取れる除染等の可能性



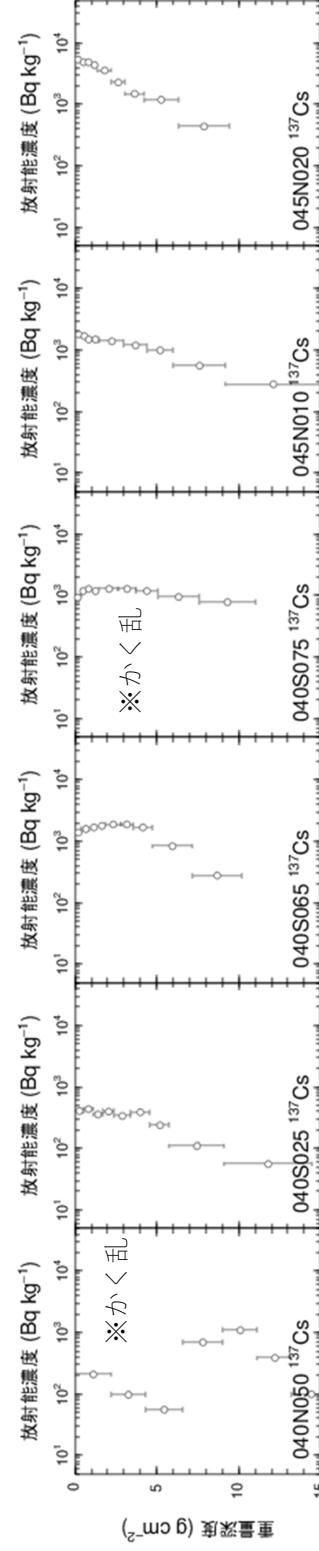
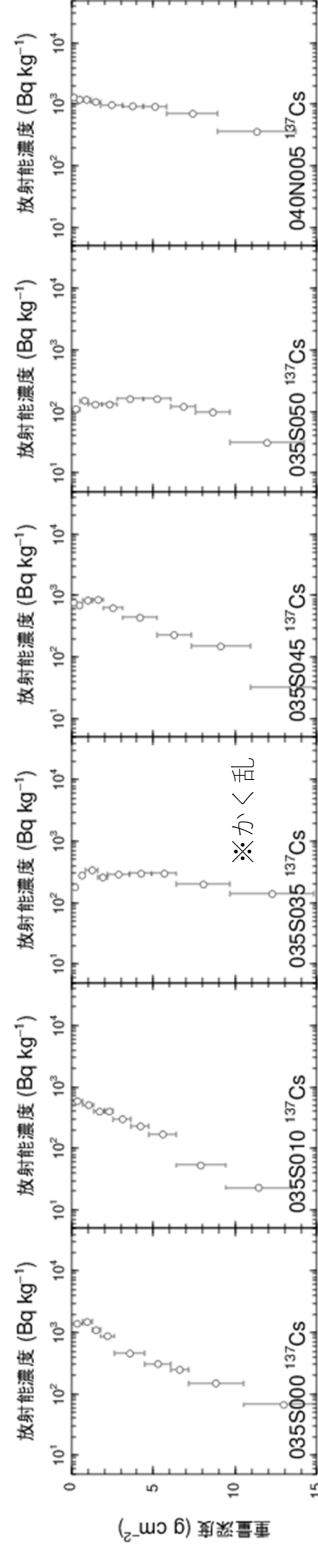
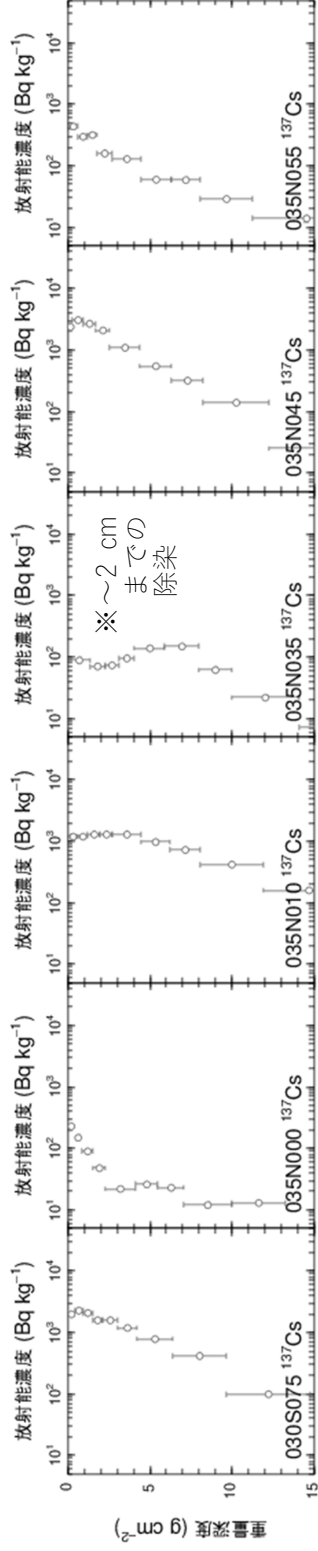
セシウム 137 の深度分布 (2/5)

※深度分布の変遷から読み取れる除染等の可能性



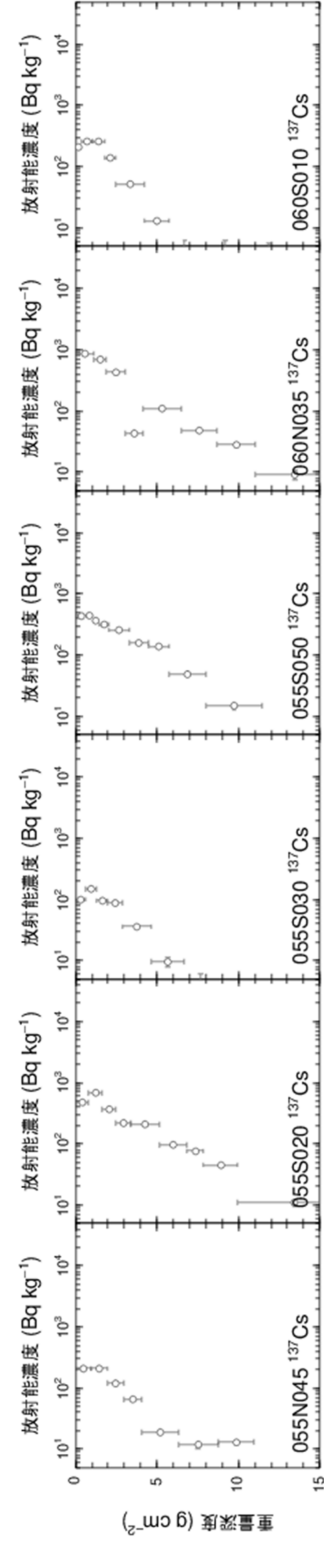
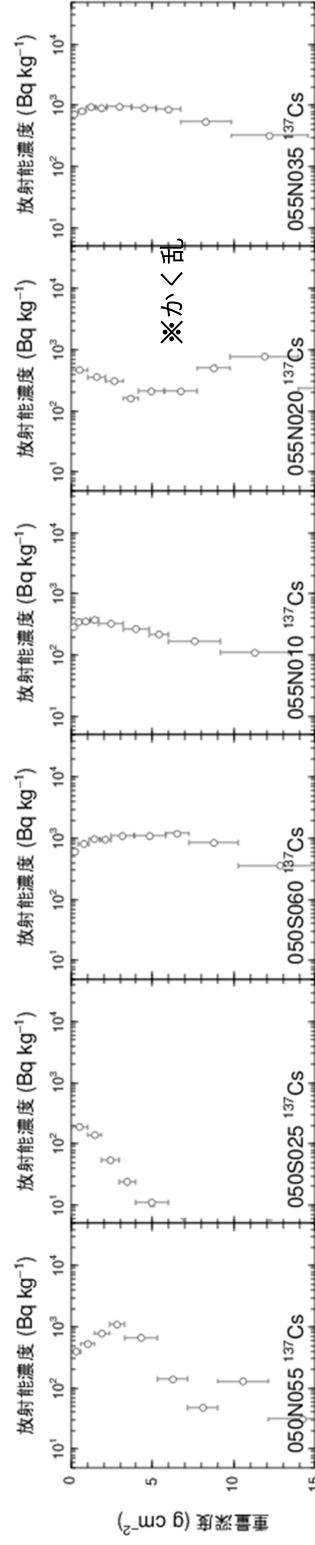
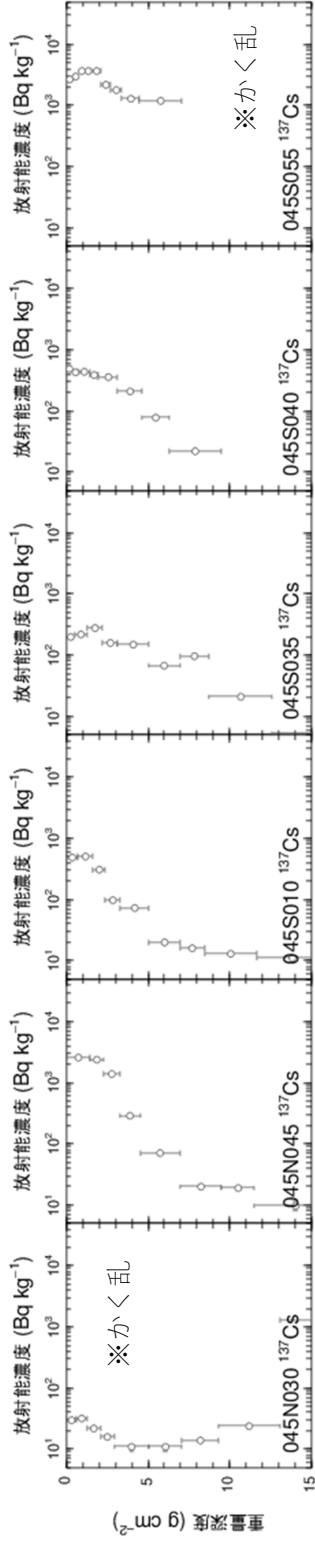
セシウム 137 の深度分布 (3/5)

※深度分布の変遷から読み取れる除染等の可能性



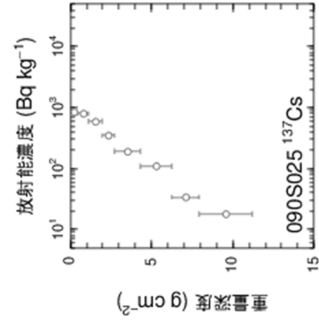
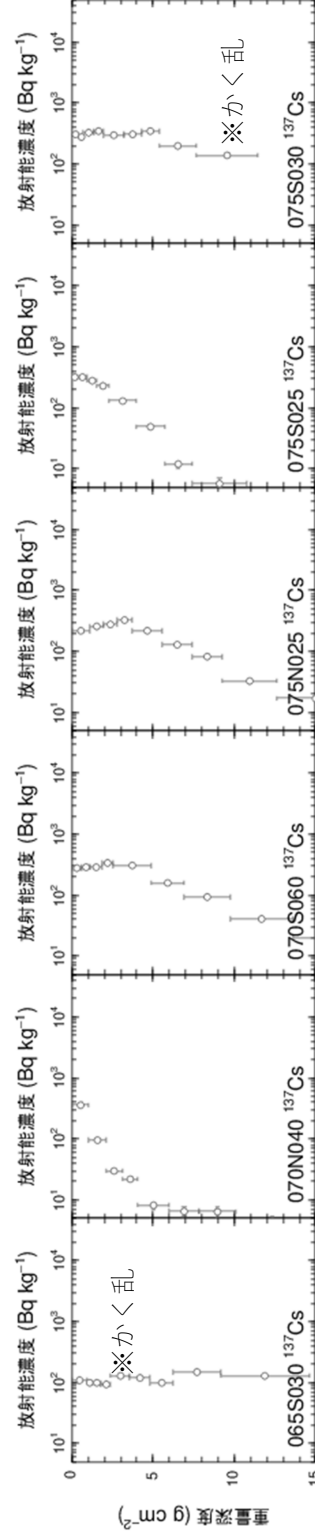
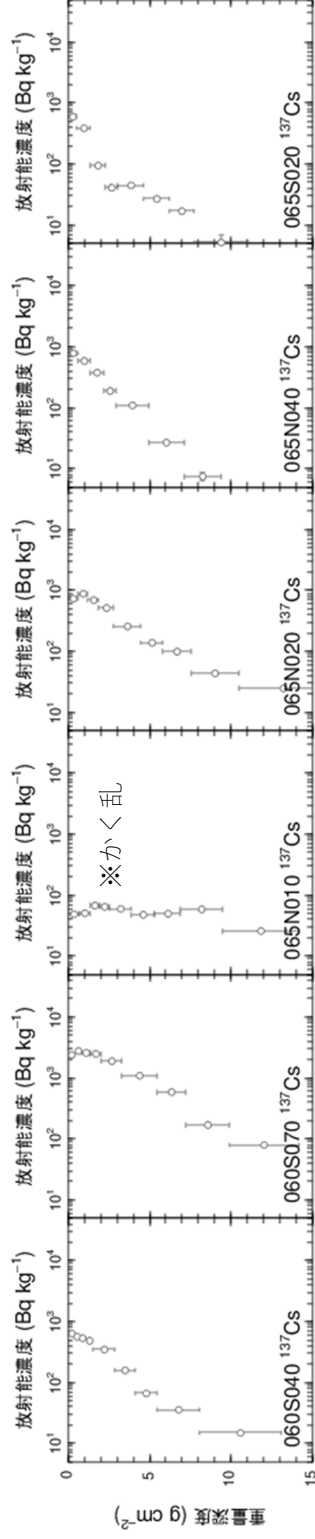
セシウム 137 の深度分布 (4/5)

※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	4
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り、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ふべきものであり、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 $1\ \mu\text{Sv}\ \text{h}^{-1}$ 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行わ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 km² 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が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

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

* 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⁾

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える。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、統計学的な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/shinaisokute/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

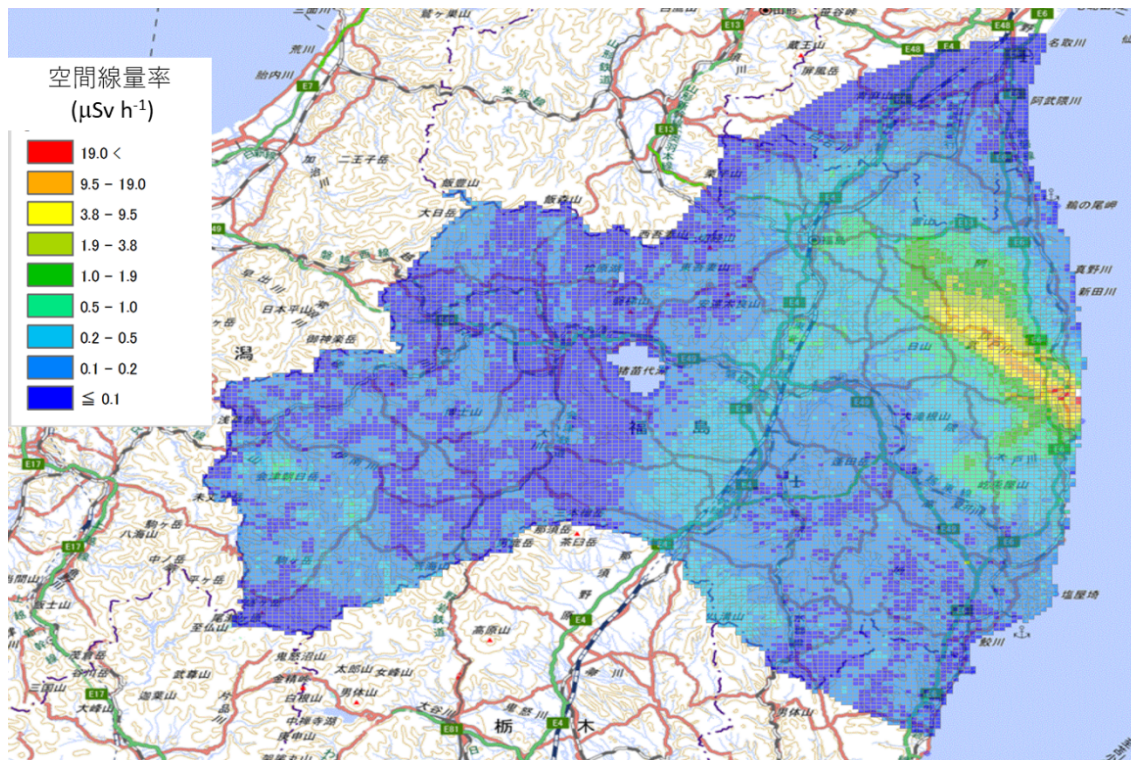


図 1 メッシュ内の最大空間線量率マップ (2017 年度に測定された数値の最大値)

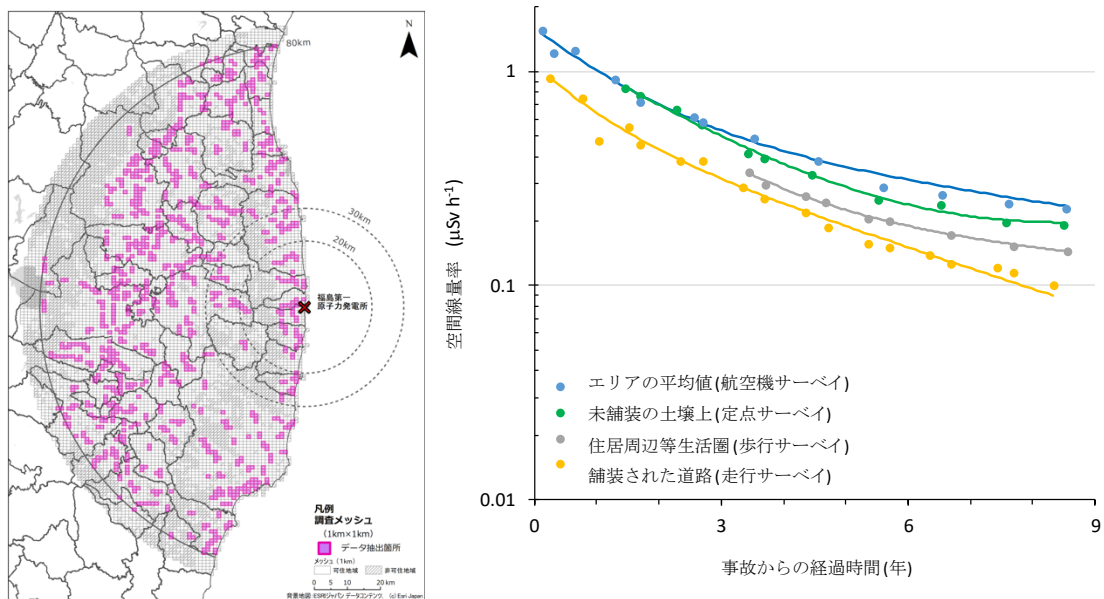


図2 データの取得位置と測定手法毎の空間線量率の変化傾向
(過去の規制庁事業において同地点で測定データの得られている1,000メッシュの平均値)

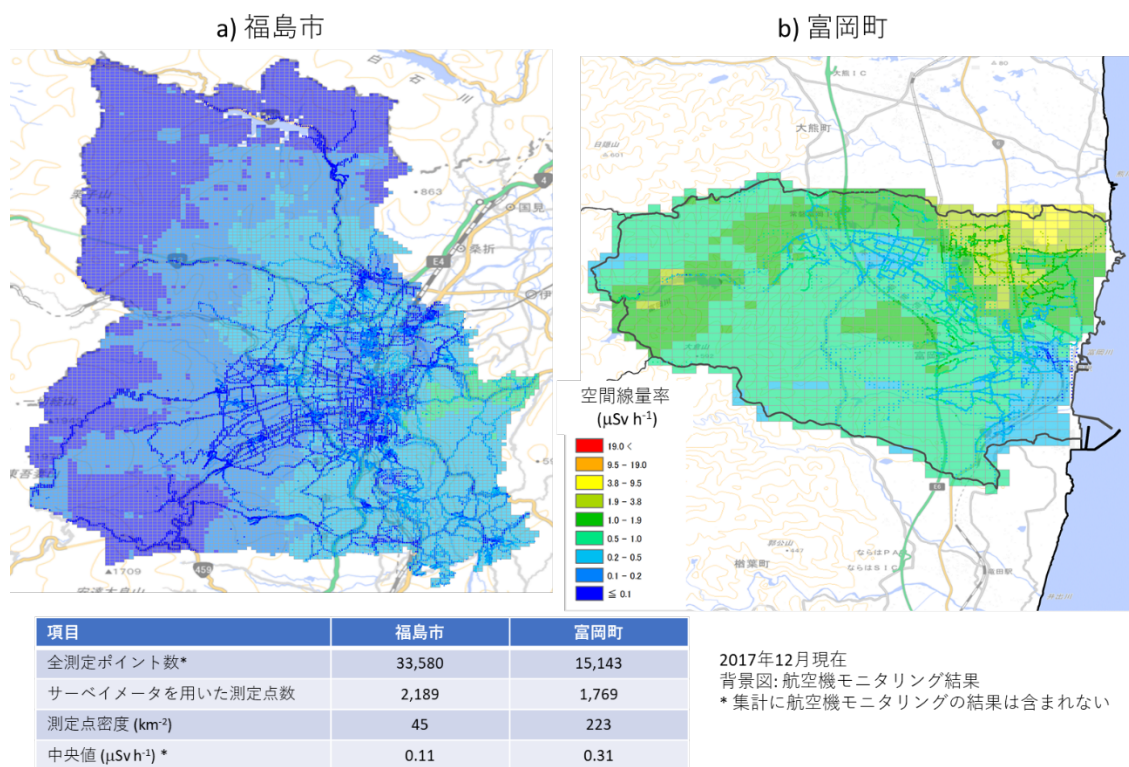


図3 福島市及び富岡町における空間線量率の測定状況

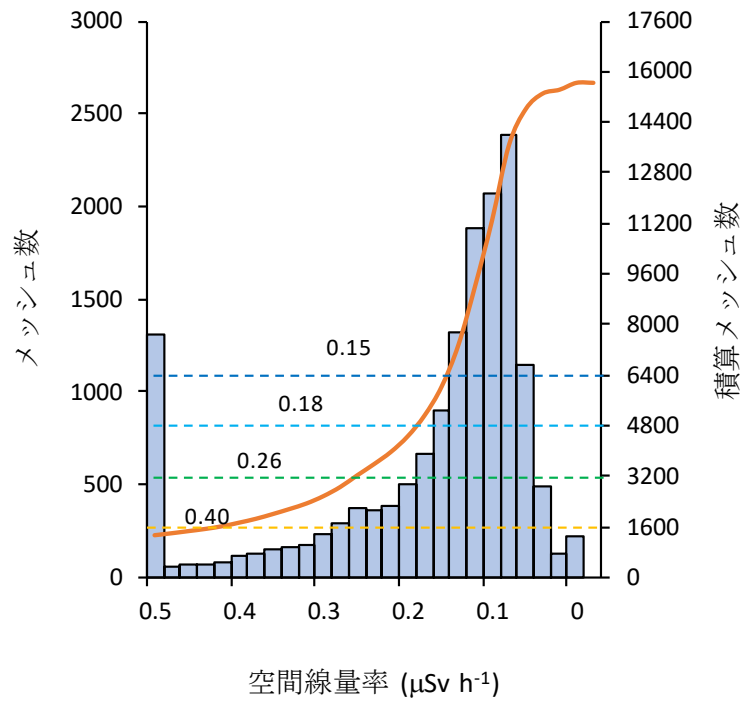


図 4 空間線量率の分布傾向とスコア化のための閾値

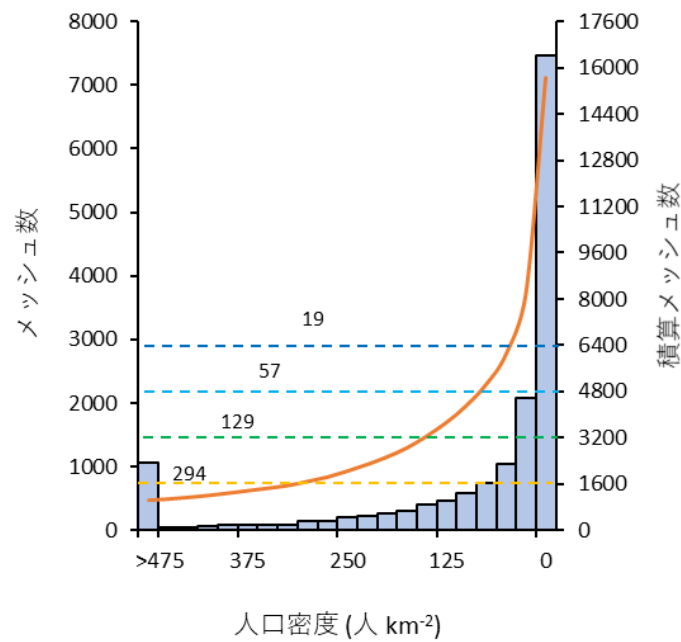


図 5 人口密度の分布傾向とスコア化のための閾値

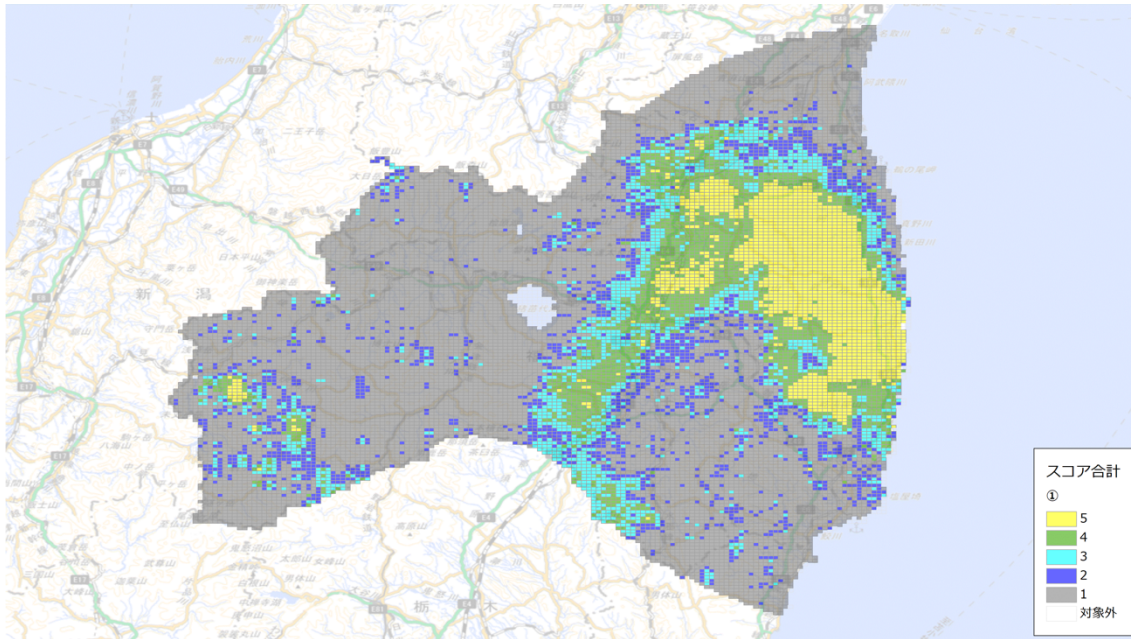


図 6 2017 年度に測定された空間線量率のスコアマップ

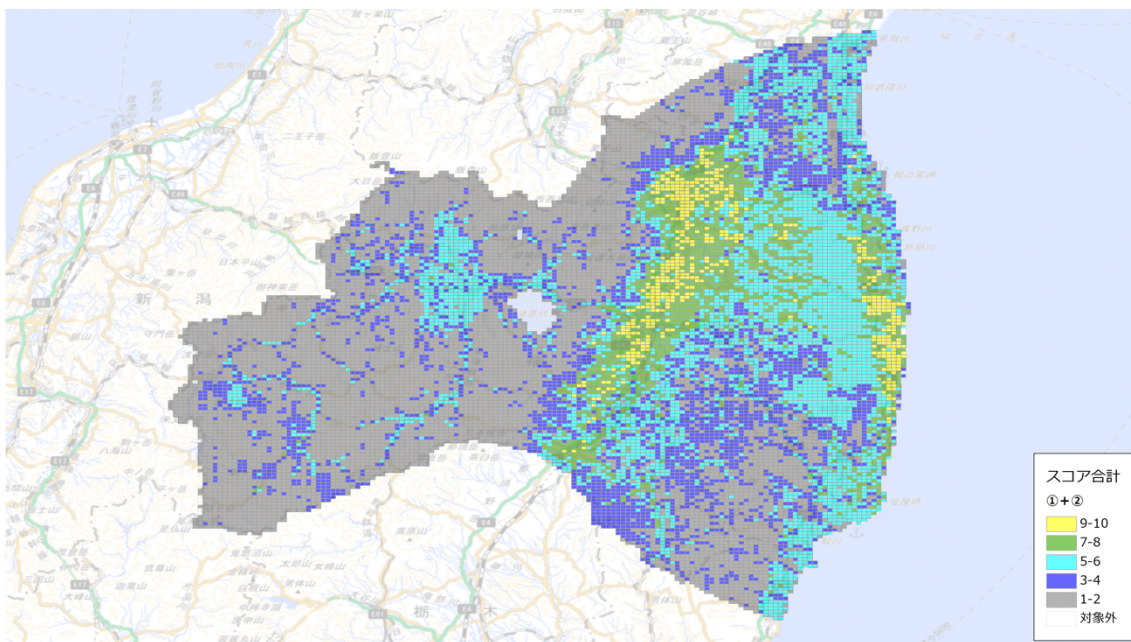


図 7 2017 年時点における空間線量率及び事故前の人口密度を合計したスコアマップ

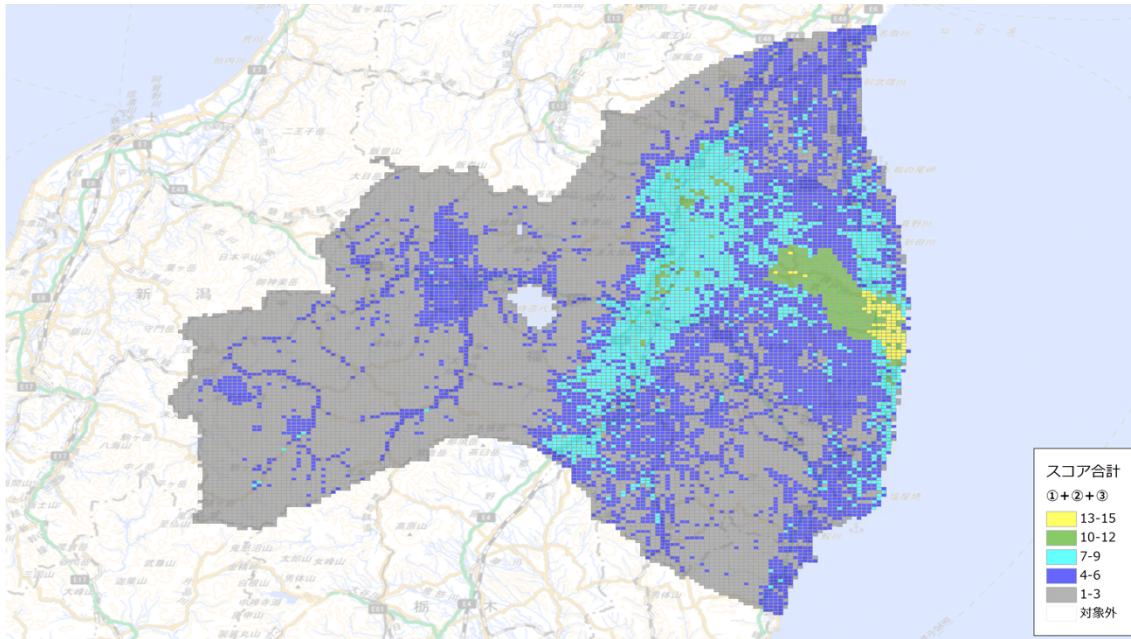


図 8 2017 年時点における空間線量率、事故前の人口密度及び避難指示区域を合計したスコアマップ

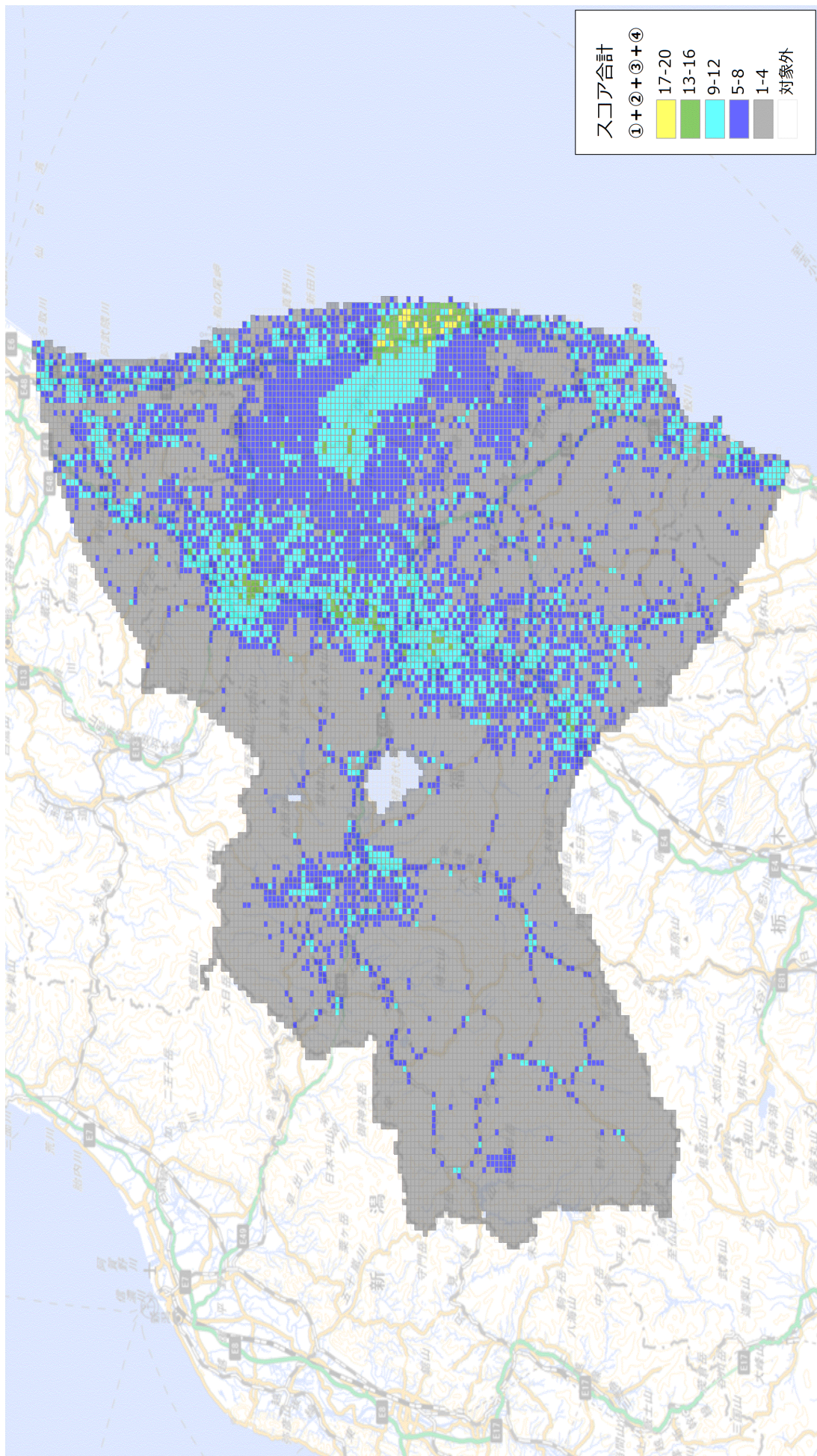


図 9 2017 年時点における空間線量率、避難指示区域及び人口密度、事故前の人口密度を合計したスコアマップ

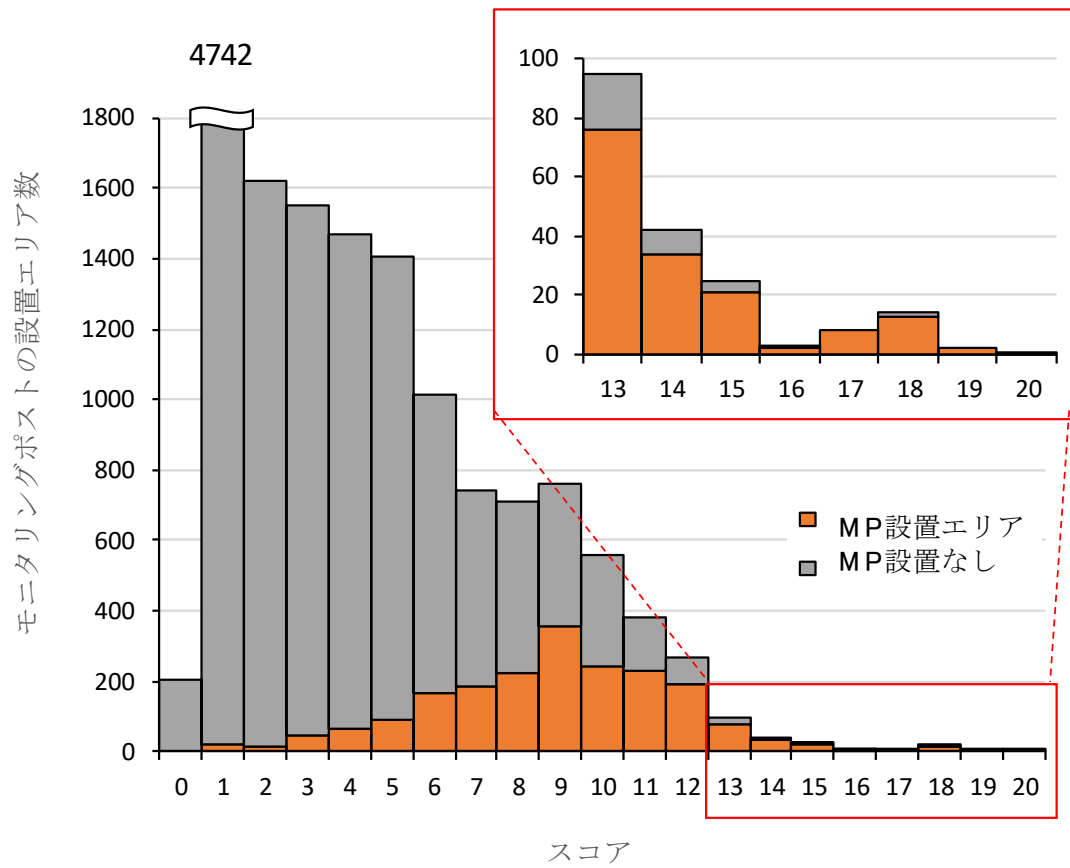


図 10 既存のモニタリングポストの設置位置とスコア値の関係

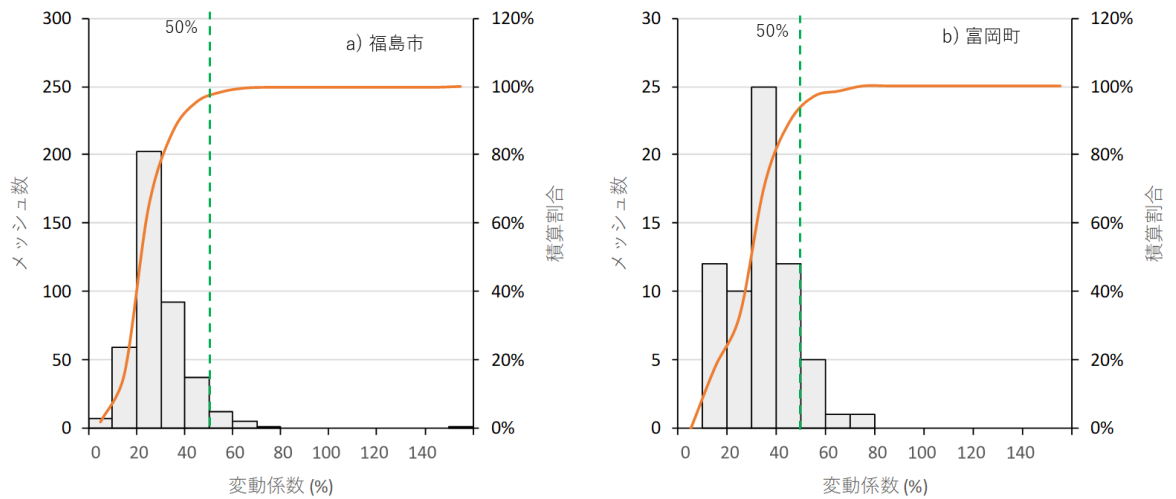


図 11 1 km メッシュごとの変動係数の分布 (図 3 でまとめた測定結果)

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・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.wakig.jp/www/contents/1001000004186/index.htm
		原子力対策課		
2	相馬市	放射能対策室	○	https://www.city.soma.fukushima.jp/kenko_fukushi/hoshasennkansunupho/index.htm
3	南相馬市	市民生活部 生活環境課 環境保全係	○	https://www.city.namasona.fukushima.jp/portal/shi_pho/shinsakanrenbuhou/houshasenmonitarineukikka/index.htm
4	広野町	環境防災課	○	http://www.town.hirono.fukushima.jp/kaku/hoshasenryo_psen.htm
5	楢葉町	くらし安全対策課	○	https://www.town.naraha.fukushima.jp/life/cat317/cat318/
6	富岡町	生活環境課 除染対策係	○	https://tomoka-radiation.jp/
7	川内村	住民課 除染係	○	https://www.radiation-map.net/kawauchi.htm
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.fukushima.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.htm
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/bosa/bosakki/shinsai/hoshano/sokute/index.htm
15	郡山市	原子力災害総合対策課	○	https://www.city.koriyama.fukushima.jp/soshk/hogonai/sekatsukankyobu/genshiryokusaigaosogotaisakuka/gomu/2/senryokekka/3160.htm
16	白河市	環境保全課 放射線対策係	○	http://www.city.shirakawa.fukushima.jp/page/dir000146.htm
17	須賀川市	生活環境部 環境課	○	http://www.city.sukagawa.fukushima.jp/item/5768.htm#item_id5768
18	二本松市	生活環境課 除染係	○	http://www.city.nhonmatsu.fukushima.jp/page/dir002645.htm
19	田村市	市民部 生活環境課	○	http://www.city.tamura.fukushima.jp/soshki/8/koshitsu-kankyou-monitaringu-kako.htm
20	伊達市	放射能対策課	○	https://www.city.fukushima-date.fukushima.jp/soshki/12/998.htm
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.motoyama.fukushima.jp/life/2/10/39/
22	桑折町	生活環境課	○	https://www.town.koorifukushima.jp/kurashi/life/genpatsu/6/index.htm
23	国見町	環境防災課 原発災害対策室	○	https://www.town.kunimi.fukushima.jp/soshki/4/121.htm
24	川俣町	原子力災害対策課	○	https://www.town.kawamata.fukushima.jp/site/shinsai-saga/
25	大玉村	再生復興課	○	https://www.villotama.fukushima.jp/shinsai/
26	鏡石町	健康環境課	○	https://www.town.kamagishi.fukushima.jp/saga/index.php
27	天栄村	建設課	○	https://www.villteneifukushima.jp/site/shinsai/list17-59.htm
28	西郷村	環境保全課 放射能対策係	○	https://www.villnishigo.fukushima.jp/hoshano/radsokutei/
29	泉崎村	事業課 建設水道係	×	http://www.villzumizaki.fukushima.jp/page/page000054.htm
30	中島村	建設課 生活支援対策係	○	http://www.vill-nakajima.fukushima.jp/page/page000217.htm

※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.yabukifukushima.jp/page/di000234.htm
32	棚倉町	住民課 消防環境係	○	http://www.town.tanagura.fukushima.jp/page/di000958.htm
33	矢祭町	町民福祉課 生活環境グループ	×	http://www.town.yamatsurifukushima.jp/page/page000117.htm
34	塙町	生活環境課 生活安全係	○	http://www.town.hanawa.fukushima.jp/page/di000061.htm
35	鉾川村	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.tanaka.fukushima.jp/sonna2.php
38	平田村	住民課	○	http://www.vill.hirata.fukushima.jp/shinsai/20110319.htm/view
39	浅川町	住民課	○	http://www.town.asakawa.fukushima.jp/housvasen.htm
40	古殿町	地域整備課 管理係	×	https://www.town.furudono.fukushima.jp/kurashibousai-sagai/monitoring/753
41	三春町	除染対策課 住民課 生活環境グループ	○	http://www.town.mharu.fukushima.jp/soshiki/2/01-0102sokutei.htm
42	小野町	町民生活課	○	http://www.town.ono.fukushima.jp/soshiki/5/hagashinhon-daishinai.htm
43	会津若松市	環境生活課 環境グループ	○	https://www.city.aizuwakamatsu.fukushima.jp/bunya/hoshasen.php/
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/kankyo/66.htm
45	下郷町	町民課 生活安全係	×	https://www.town.shingo.fukushima.jp/organization/choumin/3/1/280.htm
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.mnamaizu.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.nishaizu.fukushima.jp/soshiki/3/736.htm
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.htm
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.htm
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-gvosei.htm
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