

平成 23 年度科学技術戦略推進費

「重要政策課題への機動的対応の推進

及び総合科学技術会議における政策立案のための調査」

「放射性物質による環境影響への対策基盤の確立」

東京電力株式会社福島第一原子力発電所
の事故に伴い放出された
放射性物質の分布状況等に関する
調査研究結果

平成 24 年 3 月

文部科学省 原子力災害対策支援本部

農林水産省 農林水産技術会議事

放射線量等分布マップの作成等
に関する報告書

(第1編)

文部科学省
原子力災害対策支援本部

第1編-目次

1. 背景	1-1
2. 実施内容等	1-3
2.1 放射線量等分布マップ作成の基本的な考え方	1-3
2.2 本調査における全国の研究機関等からの協力	1-3
2.3 調査概要	1-4
2.3.1 調査スケジュール	1-4
2.4 放射線量等分布マップの作成及び公表	1-5
3. 空間線量率マップ、土壌濃度マップの作成	1-15
3.1 本調査の対象範囲、調査箇所数	1-15
3.1.1 空間線量率の測定範囲、土壌採取範囲の考え方	1-15
3.1.2 メッシュ設定の考え方	1-15
3.1.3 調査箇所の設定	1-16
3.2 土壌の採取方法	1-19
3.2.1 土壌の採取方法の検討に向けた予備調査	1-19
3.2.2 土壌の採取方法	1-20
3.2.3 土壌採取場所の選定	1-20
3.3 土壌中の放射能濃度の測定	1-25
3.3.1 測定機関	1-25
3.3.2 土壌中の放射能濃度の測定	1-25
3.4 空間線量率の測定	1-26
3.4.1 土壌採取箇所における空間線量率の測定	1-26
3.4.2 走行サーベイによる連続的な空間線量率の測定	1-28
3.5 空間線量率の測定及び土壌採取の実施体制及び記録	1-31
3.5.1 空間線量率の測定及び土壌採取の実施体制	1-31
3.5.2 調査の記録	1-32
4. 空間線量率マップ及び土壌濃度マップの作成結果	1-40
4.1 空間線量率マップ及び土壌濃度マップの作成方針	1-40
4.2 空間線量率マップ	1-40
4.2.1 土壌採取箇所における空間線量率の測定結果	1-40
4.2.2 走行サーベイによる連続的な空間線量率の測定結果	1-44
4.2.3 考察	1-48
4.3 放射性セシウムの土壌濃度マップ	1-53
4.3.1 放射性セシウムの核種分析結果	1-53
4.3.2 放射性セシウムの土壌濃度マップの作成及び考察	1-53
4.4 ヨウ素 131 の土壌濃度マップ	1-65
4.4.1 ヨウ素 131 の核種分析結果とマップ化にあたってのデータの選択方法	1-65

4.4.2	ヨウ素 131 の土壌濃度マップの作成及び考察	1-66
4.5	テルル 129m 及び銀 110m の土壌濃度マップ	1-73
4.5.1	テルル 129m 及び銀 110m の核種分析結果とマップ化にあたってのデータの選択方法	1-73
4.5.2	テルル 129m 及び銀 110m の土壌濃度マップの作成及び考察	1-73
4.6	アルファ線放出核種及びベータ線放出核種の土壌濃度マップ	1-82
4.6.1	試料の選択及び分析方法	1-82
4.6.2	プルトニウム及び放射性ストロンチウムの土壌濃度マップの作成及び考察	1-82
4.7	総合的な考察	1-88
4.7.1	本調査で検出された放射性核種の影響	1-88
4.7.2	チェルノブイリ原発事故による放射性物質の影響との比較	1-90
4.7.3	将来的な影響	1-96
5.	放射線量等分布マップ拡大サイトの公開と放射線量等データベースの構築	1-97
5.1	データ公開の基本的考え方	1-97
5.2	放射線量等分布マップ拡大サイトの公開	1-97
5.2.1	放射線量等分布マップ拡大サイトのシステム構成	1-97
5.2.2	公開に向けた検討	1-97
5.2.3	公開状況と考察	1-98
5.3	データベースの構築	1-101
5.3.1	データベースの設計方針	1-101
5.3.2	格納データの設計	1-101
5.3.3	アクセス制限付きデータベースの構築	1-101
5.3.4	一般公開用データベースの構築	1-102
6.	まとめ	1-105

1. 背景

平成 23 年 3 月 11 日に太平洋三陸沖を震源として、マグニチュード 9.0 の東北地方太平洋沖地震が発生し、さらに東北地方から関東地方にかけての太平洋岸では津波の被害を受けた。東京電力株式会社福島第一原子力発電所（以下、「福島第一原発」という。）も被災し、運転中の 1～3 号機の原子炉は停止したが、津波により、6 号機を除いて全交流電源を喪失し、1～3 号機の原子炉については原子炉圧力容器への注水ができない事態が一定時間継続したため、炉心溶融に至った。また、停止中であった 4 号機においても、原子炉建屋で水素が原因と見られる爆発があり、原子炉建屋の上部が破壊されたほか、2 号機においても格納容器のサブプレッションチェンバー室付近と推定される場所で水素爆発が発生し破損が生じたと見られる。

その結果、福島第一原発の原子炉施設から環境中へ大量の放射性物質が放出された。本事故に伴う放射性核種ごとの放出量の推計値は、同年 4 月 12 日の原子力安全委員会の発表によると、ヨウ素 131（以下、「I-131」という。）は 1.5×10^{17} Bq、セシウム 137（以下、「Cs-137」という。）は 1.2×10^{16} Bq となり、国際原子力・放射線事象評価尺度（INES）において、本事故は、1986 年に旧ソビエト社会主義共和国連邦キエフ州（現在のウクライナ）のチェルノブイリ原子力発電所（以下、「チェルノブイリ原発」という。）の 4 号炉で発生した爆発事故（以下、「チェルノブイリ原発事故」という。）と同様に最悪の「レベル 7」と評価された。

文部科学省等は、このような不測の事態を受け、事故発生直後から継続的に、福島第一原発の近隣を中心として、緊急的に放射線モニタリングを実施してきた。その結果、次第に、福島第一原発周辺を中心に、本事故による放射線の影響が明らかとなってきた。

このような状況を受け、原子力災害対策本部長である内閣総理大臣の指示により、同年 4 月 22 日、既に避難指示が出されていた福島第一原発から 20km 圏内が「警戒区域」となり、20km 圏外でも「計画的避難区域」、「緊急時避難準備区域（平成 23 年 9 月 30 日解除）」が設定された。

また、同日、政府原子力災害対策本部は、「環境モニタリング強化計画」を決定し、関係機関が実施する環境モニタリングの測定データの取りまとめ及び公表を一元的に実施する機関として、文部科学省を指定した。

文部科学省は、同年 5 月 11 日に本計画の決定を受けたモニタリングの強化策として、陸域モニタリングの測定点の追加及び適正化、航空機モニタリングの継続実施、及び海域モニタリングの広域化とともに、陸域モニタリングの結果に基づく放射線量等分布マップを作成することを示した。この中で、放射線量分布等マップの作成においては、本方針において、農林水産省、独立行政法人日本原子力研究開発機構（以下、「原子力機構」という。）、大学等と連携して、福島県を含む広域で土壌を採取、分析し、その結果に基づき、放射性物質の分布図を作成することとした。また、放射線量等分布マップの作成スケジュールとして、I-131 が物理的減衰（半減期 8.02 日）により測定が困難となる前に、平成 23 年 8 月初めを目途として暫定版を作成することを示した。

その後、政府原子力災害対策本部は、同年 5 月 17 日に公表した「原子力被災者への対応に関する当面の取り組み方針」で、被災者の安心・安全の確保のため、環境モニタリング等の充実（環境モニタリング強化計画）を改めて示した。本計画は、様々な手法を駆使し総合的な放射線モニタリングを実施することを示したものである。その中で、特に放射線量等分布マップを策定・公

表し、これとともに計画的避難区域等の重点的な測定を実施し、事故状況の全体像の把握や区域等の解除に向けて活用する方針が示されたところである。

一方、大学関係者の間においても、福島第一原発周辺の環境モニタリングに関する必要性を認識し、事故直後から放射線スクリーニング活動や各大学における環境モニタリング等、様々なボランティア的な活動を実施する研究者が多く存在した。この中で、原子核物理関係の研究者と地球惑星科学関係の研究者は、「環境放射線核物理・地球科学合同会議」を結成し、早期の大規模調査に向けて活動を開始した。並行して、同年4月4日に、日本学術会議は福島第一原発を中心に詳細な調査を実施することが必要である旨、緊急提言を取りまとめるとともに、日本学術会議の総合工学委員会の中の事故対応分科会の下に「原発事故による環境汚染調査に関する検討小委員会」を設置し、活動の必要性を訴えた。

以上のような背景から、総合科学技術会議は、同年5月19日に平成23年度科学技術戦略推進費「重要政策課題への機動的対応の推進及び総合科学技術会議における政策立案のための調査」によるプロジェクト（プロジェクト名：「放射性物質による環境影響への対策基盤の確立」）を発表した。

同プロジェクトにおいては、具体的な目標として、放射性物質の分布状況の把握等の調査研究、技術開発を行い、その基盤を確立して、これに引き続き関係府省による継続的な対策を可能とすることが設定された。また、放射性物質による住民の健康管理等に必要な将来にわたる継続的な調査分析を行う上では、空間線量率や陸域土壌等への放射性物質の沈着量の広範囲な分布状況について、緊急的なモニタリングに比して、格段に詳細かつ精緻に把握することが不可欠となっていること、観察が困難になってきていたI-131の影響の観察を梅雨を迎える前に早急を実施することという、調査の重要性、緊急性を示した。

文部科学省は、上記のような状況を踏まえ、放射線量等分布マップを早期に作成し、これを継続的に更新・充実していくことが必要と考え、「放射性物質の分布状況等に関する調査研究」を関係自治体や原子力災害現地対策本部等、関係府省、大学連合と連携し、実施することとなった。

この「放射性物質の分布状況等に関する調査研究」の実施内容は、これまでの陸上モニタリングや航空機モニタリングの結果を参考にして、新たに福島県及びその近隣県の空間線量率、陸地土壌等における放射性物質の分布状況等を詳細に把握することを目的にしたものである。

なお、その後、関係府省、関係自治体及び事業者が行うモニタリングの調整等を一元的に行う「モニタリング調整会議」が同年8月2日に決定した「総合モニタリング計画」においても、空間線量率の分布状況を提供する「空間線量率マップ」、福島第一原発から概ね100km圏内の地表面への放射性物質の沈着状況を確認する「土壌濃度マップ」、農地土壌における広域での放射性物質の濃度分布を把握するための「農地土壌中の放射性物質濃度分布図」の作成が位置づけられている。その他、政府原子力災害対策本部が同年8月9日に決定した「避難区域等の見直しに関する考え方」において、空間線量2kmメッシュ調査、土壌濃度マップの作成など徹底的なモニタリングを実施し、警戒区域及び計画的避難区域における線量の状況を詳細に把握・評価することが必要とされており、継続的な放射線量等分布マップの作成の必要性が掲げられてきている。

2. 実施内容等

本調査研究は、放射線量等分布マップの作成を通じて、事故状況の全体像の把握、避難区域等の解除に向けて活用するという基本的方針に基づき、関係府省や地方自治体等の関係機関からの協力を得て、

- ・空間線量率の測定、土壌試料の採取・核種分析等（事前の準備、検討を含む）を実施
- ・得られた測定結果を基に、放射線量等分布マップを作成（作成結果に基づく考察を含む）
- ・測定結果及び放射線量等分布マップについて、専門家で構成された検討会で妥当性の確認
- ・検討会で妥当性の確認後、公開

といったステップで進められた。表 2-1 に実施内容及び実施機関をまとめる。このうち、土壌試料の放射性核種分析は、表 2-2 に示した、全国の 21 の研究機関の協力を得て実施した。

2.1 放射線量等分布マップ作成の基本的な考え方

放射線量等分布マップは、住民の被ばく線量の指標となる「空間線量率マップ」、及び地表面における放射性物質の沈着状況を確認するための「土壌濃度マップ」（本書では、土壌表層近くに残留している単位面積当たりの放射エネルギーの分布状況についてイメージをつかみやすくため、便宜的に「土壌濃度マップ」と表現する）で構成され、現況における福島第一原発の事故（以下、「福島第一原発事故」という。）に伴い放出された放射性物質の影響の全体像を把握することを可能とするものである。

一方、放射性物質の物理的減衰に加え、自然現象による移行や、今後進められる除染作業等により、地表面における放射性物質の沈着状況が変化することが予見される。そのため、今後の継続的な放射線量等分布マップの作成を視野に入れ、事故後の初期段階における放射性物質の影響を確認するため、降雨により、放射性物質の沈着状況に影響を与える梅雨が本格化する前に空間線量率の測定、土壌の採取を実施することとした。また、事故直後の段階で被ばく線量に大きく寄与していたと考えられる I-131 は半減期が 8.02 日と短いため、可能な限り早い時期に放射能濃度を定量することとした。

2.2 本調査における全国の研究機関等からの協力

「空間線量率マップ」、及び「土壌濃度マップ」は、各調査箇所における空間線量率及び土壌（表層）中の放射能濃度の測定結果が基礎データとなる。本調査では、短期間で早急に土壌の採取、測定等を進める必要があり、多くの参加者を募り、協力を得る必要があった。この協力者の招集にあたっては、事故発生当初から、緊急被ばく医療におけるスクリーニング検査等において大学等の研究者を招集する実績を有しており、福島第一原発事故の発生当初から環境モニタリング調査の必要性を主張し、土壌採取に必要な資機材を準備していた大阪大学に依頼した。その結果、表 2-3 に示す全国 93 の大学等の研究機関（医療機関含む）及び三つの民間企業（各学会への協力要請を通じての参加）より 409 名の協力を得て、空間線量率の測定、土壌試料の採取が進められた。

なお、空間線量率が高く、立ち入りが制限されている、福島第一原発から 20km 圏内については、

東京電力株式会社を通じて、電気事業連合会（以下、「電事連」とする。）の現地支援チーム 31 名の協力を得て、空間線量率の測定、土壌試料の採取が進められた。

2.3 調査概要

放射線量等分布マップの作成にあたっては、測定精度を確保するため、土壌の採取、測定等の調査手法の統一化、効果的な調査体制のあり方について事前に検討した。特に、土壌の採取、空間線量率の測定に協力した者の多くが、実施期間全てを通じて調査に参加することが困難であり、途中で人員を交代する必要性があったため、調査手法を統一した上で、調査マニュアルを作成し、協力者に事前に周知した。また、将来的に放射線量等分布マップを作成する際のフィードバック等に活用できるよう、調査結果の記録方法についても事前に検討した。

これらの事前検討の結果を受けて、以下の測定を実施するとともに、各調査箇所について、全地球測位システム（Global Positioning System）（以下、「GPS」という。）で緯度、経度を測定し、位置情報を取得する等、放射線量等分布マップを作成するために必要なデータを取得した。

(1) 空間線量率

土壌を採取した場所において、校正済みの放射線測定器（以下、「サーベイメータ」という。）を用いて、地表面から 1m の高さの空間線量率を測定した。また、道路周辺における放射性物質の分布状況を詳細に把握するため、空間線量率の測定値と位置情報を同時に記録できる KURAMA システムを乗用車に搭載し、国道や県道を中心に走行サーベイを実施し、道路周辺において連続的に空間線量率を測定した。

(2) 土壌（表層）中の放射性核種の放射能濃度の測定

各調査箇所において、ポリプロピレン製またはポリスチレン製の容器（以下、「U-8 容器」という。）を用いて土壌表層から土壌試料を採取し、I-131、セシウム 134（以下、「Cs-134」という。）、Cs-137、テルル 129m（以下、「Te-129m」という。）及び銀 110m（以下、「Ag-110m」という。）等のガンマ線放出核種について、全国の 21 の研究機関により、各機関のゲルマニウム半導体検出器（以下、「Ge 半導体検出器」という。）を用いて、放射能濃度の測定が行われた。また、プルトニウム 238（以下、「Pu-238」という。）、プルトニウム 239+240（以下、「Pu-239+240」という。）、ストロンチウム 89（以下、「Sr-89」という。）、ストロンチウム 90（以下、「Sr-90」という。）のアルファ線放出核種及びベータ線放出核種については、財団法人日本分析センター（以下、「日本分析センター」という。）により、アルファ線放出核種についてはシリコン半導体検出器を用いて、ベータ線放出核種については低バックグラウンドベータ線測定装置を用いて、放射能濃度の測定が行われた。

2.3.1 調査スケジュール

本調査における空間線量率の測定及び土壌採取は以下のスケジュールで実施された。

（第一期調査：空間線量率測定・土壌採取、走行サーベイ）

- ・ 6月4日～6月14日
空間線量率測定・土壌採取：福島県（会津地方、いわき地方の一部を除く）、山形県、栃木県
- ・ 6月4日～6月13日
走行サーベイによる空間線量率測定：福島県、山形県、宮城県、栃木県、茨城県
※6月4日、5日は測定参加者に対する訓練を現地で実施

（第二期調査：空間線量率測定・土壌採取）

- ・ 6月27日～6月29日
空間線量率測定・土壌採取：宮城県、福島県（会津地方）
- ・ 6月28日～7月8日
空間線量率測定・土壌採取：福島県（いわき地方の一部）、茨城県

2.4 放射線量等分布マップの作成及び公表

全ての測定結果は、必要に応じて、実施記録を確認し、空間線量率の測定結果、採取した土壌表層の放射性核種ごとの放射能濃度の測定結果の妥当性を確認するとともに、GPSで得られた緯度・経度情報と実施記録に記載された場所の情報を照合した上で、測定結果を国土地理院提供の地図上に示した。その上で、作成した放射線量等分布マップに基づいて、放射性核種ごとの沈着状況、沈着原因、今後の影響等を考察した。

作成した放射線量等分布マップは、詳細に確認できるようにするため、閲覧用 Web システム「放射線量等分布マップ拡大サイト」を作成して公開することとした。また、測定データの一元管理を行うとともに、利用可能となるようデータベース化を進めた。

なお、各調査は、放射線量等分布マップ、農地土壌放射能濃度分布マップ作成及び放射性物質の移行状況の確認に係る技術的事項の検討を行うために文部科学省内に設置した、「放射線量等分布マップの作成等に係る検討会」（以下、「マップ検討会」という。）（構成委員は表 2-4 参照）に、適宜、進捗状況や調査結果を報告し、同マップ検討会の委員である専門家の意見を踏まえて実施した。

表 2-1 本調査における実施項目

調査段階	主な実施内容	実施・協力機関
事前の調査、準備	<ul style="list-style-type: none"> ・ 実地調査（空間線量率の測定、土壌採取）の人員の確保、アレンジ ・ メッシュの設定、種々の調査用マップの作成 ・ 土壌採取方法の事前調査、調査時の実施マニュアル作成 ・ 採取予定地の実地確認 ・ 土壌採取資材、器具の調達 ・ 宿舎の確保（二本松市） 	大阪大学、 日本原子力研究開発機構 日本地図センター 筑波大学、広島大学、大阪大学 福島大学 大阪大学 大阪大学
調査、測定	<ul style="list-style-type: none"> ・ 実地調査（空間線量率の測定、土壌採取） ・ KURAMA システムの提供、運用管理 ・ KURAMA システムの校正試験 ・ 土壌試料の測定等の取りまとめ ・ ガンマ線放出核種の放射能濃度測定（クロスチェック含む） ・ アルファ線、ベータ線放出核種の分析、放射能濃度測定 	協力者（大学、研究機関等） （表 2-3 参照） 京都大学、 放射線医学総合研究所 日本分析センター、 東京大学 表 2-2 参照 日本分析センター
マップ作成	<ul style="list-style-type: none"> ・ 測定データの取りまとめ、確認 ・ 測定データのマップ化 	日本原子力研究開発機構、 東京大学 日本地図センター
マップ公開	<ul style="list-style-type: none"> ・ 公開用 web システムの構築等 	日本原子力研究開発機構、 日本地図センター

表 2-2 土壌試料の放射性核種分析の協力組織一覧

大学・機関名	
大阪大学	核物理研究センター 大学院理学研究科・理学部 大学院工学研究科・工学部 大学院薬学研究科 安全衛生管理部
大阪電気通信大学	工学部基礎理工学科・大学院工学研究科
金沢大学	理工研究域物質化学系 自然科学研究科・理工学域物質化学類 医薬保健研究域保健学系 医学系研究科・医薬保健学域保健学類 学際科学実験センター
九州大学	大学院理学研究院
京都大学	原子炉実験所 大学院工学研究科 理学部
高エネルギー加速器研究機構	素粒子原子核研究所 加速器研究施設
甲南大学	理学部
佐賀大学	文化教育学部
首都大学	大学院理工学研究科・都市教養学部理工学系
信州大学	教育学部（理数科学教育講座）
筑波大学	大学院理学研究科
東京工業大学	大学院理工学研究科・理学部 バイオ研究基盤支援総合センター
東京大学	大学院理学系研究科附属原子核科学研究センター
東北大学	大学院理学研究科・理学部 電子光物理学研究センター
徳島大学	大学院ソシオ・アーツ・アンド・サイエンス研究部 大学院ヘルスバイオサイエンス研究部 総合科学部総合理数学科物質総合コース 医学部保健学科放射線技術科学専攻
新潟大学	理学部・大学院自然科学研究学科 機器分析センター
日本大学	文理学部・大学院総合基礎科学研究科
日本分析センター	放射能分析業務部
宮崎大学	工学部・大学院工学研究科
理化学研究所	仁科加速器研究センター 基礎基盤研究推進部
立教大学	理学部・大学院理学研究科

表 2-3 放射線量等分布マップの作成に向けた環境調査の協力組織一覧(1)

大学・機関名	
青山学院大学	理工学部 アイソトープ実験室
秋田大学	教育文化学部 自然環境講座
茨城県立医療大学	保健医療学部 放射線技術科学科
総合大雄会病院	技術放射科 核医学センター
名古屋放射線診断財団	名古屋放射線診断クリニック
今市病院	情報管理室
宇都宮大学	教育学部 理科教育専攻
愛媛大学	沿岸環境科学研究センター
大阪市立大学	工学部 応用物理学科
大阪大学	安全衛生管理部 大学院 医学系研究科 放射線基礎医学 核物理研究センター 大学院 工学研究科 環境・エネルギー工学専攻 大学院 理学研究科 化学専攻 大学院 理学研究科 物理学専攻 理学部 化学科 篠原研究室
岡山大学	自然生命科学研究支援センター 光・放射線情報解析部門鹿田施設
岡山理科大学	大学院理学研究科 理学部
海洋研究開発機構	地球内部ダイナミクス領域
金沢医科大学	総合医学研究所 RI センター
金沢大学	医薬保健研究域 保健学系 大学院 自然科学研究科 理工研究域 物質化学系 理工学域 物質化学類
亀田総合病院	放射線治療センター
関西学院大学	理工学部 化学科
佐賀県立 九州シンクロトロン光研究センター	ビームライングループ
九州大学	大学院 理学研究院 物理学部門 原子核実験グループ 大学院 理学府化学専攻 無機反応化学研究室 大学院 理学府化学専攻 無機反応化学講座 宇都宮研究室
京都教育大学	教育学部 理科領域専攻 高嶋研究室
京都女子大学	現代社会学部
京都大学	原子炉実験所 大学院 工学研究科 原子核工学専攻 大学院 理学研究科 物理学・宇宙物理学専攻 原子核・ハドロン物理学研究室 大学院 理学研究科 物理学第二教室 宇宙線研究室
群馬県立県民健康科学大学	診療放射線学部

表 2-3 放射線量等分布マップの作成に向けた環境調査の協力組織一覧(2)

大学・機関名	
群馬大学	大学院工学研究科 応用化学・生物化学専攻 (共通講座) 重粒子線医学研究センター
高エネルギー加速器研究機構	加速器研究施設 加速器第一研究系 史料室 加速器研究施設 素粒子原子力研究所 (短寿命ビーム R&D グループ他) 放射線科学センター
高知大学	教育研究部 医療学系 医学教育部門
甲南大学	大学院 自然科学研究科 物理学専攻 原子核研究室 理工学部 物理学科 原子核研究室 理工学部 物理学科 宇宙粒子研究室
神戸市立工業高等専門学校	一般科 理科
神戸常磐大学	保健科学部
国際医療福祉大学	三田病院 放射線科 保健医療学部 保健医療学部 放射線・情報科学科
国立環境研究所	地球環境研究センター
国立がん研究センター	粒子線医学開発部 粒子線生物学室
情報・システム研究機構	国立極地研究所
国立天文台	天文シミュレーションプロジェクト
国立病院機構	東京医療センター 三重中央医療センター
埼玉医科大学	国際医療センター 放射線腫瘍科
高輝度光科学研究センター	加速器部門 運転・軌道解析グループ
産業技術総合研究所	計測標準研究部門 量子放射科 放射線標準研究室 評価部
滋賀医科大学	物理学教室
渋川総合病院	診療技術部 放射線科
首都大学東京	健康福祉学部 放射線学科
純真学園大学	保健医療学部 放射線技術科学科
順天堂大学	医学部 物理学研究室
昭和薬科大学	基礎薬学教育研究センター
信州大学	工学部 電気電子工学科 阿部研究室 理学部 大学院 工学系研究科 電気電子工学専攻
聖マリアンナ医科大学	放射線医学講座
千葉大学	環境リモートセンシング研究センター 理学部 地球科学科
中部大学	生命健康科学研究所

表 2-3 放射線量等分布マップの作成に向けた環境調査の協力組織一覧(3)

大学・機関名	
筑波大学	研究基盤総合センター 応用加速器部門 (物理学専攻) 大学院 数理物質科学研究科 物理学専攻 大学院 生命環境科学研究科 大学院 生命環境科学研究科 環境科学専攻 大学院 生命環境科学研究科 生物圏資源科学専攻 大学院 生命環境科学研究科 生命共存科学専攻 生命環境学群 生物資源学類
帝京大学	医療技術学部 診療放射線学科
東海大学	大学院 理学研究科 物理学専攻 理学部 物理学科
東京医科歯科大学	医歯学研究支援センター アイソトープ部門
東京工業大学	大学院 総合理工学研究科
東京慈恵医科大学	アイソトープ実験研究施設
東京大学	医学部附属病院 放射線科 教養学部 広域科学科 原子核科学研究センター 素粒子物理国際研究センター 大気海洋研究所 気候システム研究系 大学院 医学系研究科 疾患生命工学センター臨床医工学部門 大学院 医学系研究科 放射線科 大学院 工学系研究科 原子力国際専攻 大学院 総合文化研究科 広域科学専攻 大学院 理学系研究科 地殻化学実験施設 大学院 理学系研究科 物理学専攻
東京都市大学	工学部 環境エネルギー工学科 放射線応用工学研究室
東京理科大学	理工学部 物理学科 千葉研究室
東邦大学	大学院 理学研究科 物理学専攻 基礎物理学教室 理学部
東北学院大学	工学部 電子工学科 大学院 理学研究科
東北公益文科大学	大学院 公益学研究科
東北大学	東北大学植物園 大学院 農学研究科 大学院 農学研究科附属複合生態フィールド教育研究センター 大学院 理学研究科 物理学専攻 加速器科学グループ 大学院 理学研究科 物理学専攻 原子核物理学講座 多元物質科学研究所 電子光理学研究センター ニュートリノ科学研究センター 農学部
獨協医科大学	RI センター 放射線管理部
名古屋市立大学	大学院 医学研究科 アイソトープ研究室

表 2-3 放射線量等分布マップの作成に向けた環境調査の協力組織一覧(4)

大学・機関名	
名古屋大学	医学部 保健学科 大学院 医学系研究科 大学院 環境学研究科 大学院 生命農学研究科 放射線安全管理室 太陽地球環境研究所 大学院 理学研究科
新潟大学	アイソトープ総合センター 旭町地区放射性同位元素共同利用施設 機器分析センター 環境安全推進室 工学部 大学院 自然科学研究科 農学部 理学部
日本原子力研究開発機構	システム計算科学センター 安全研究センター 先端基礎研究センター 原子力基礎工学研究部門 量子ビーム応用研究部門 核融合研究開発部門 地層処分研究開発部門 東濃地科学研究ユニット 東海研究開発センター 原子力科学研究所 東海研究開発センター 核燃料サイクル研究所 J-PARC センター 大洗研究開発センター 人形峠環境技術センター 福島支援本部 先端基礎研究センター ハドロン物理研究グループ
日本大学	文理学部 自然科学研究所 文理学部 情報科学研究所 文理学部 化学科 放射化学(永井研究室)
日本分析センター	分析業務部
沼津工業高等専門学校	物質工学科
兵庫県立粒子線医療センター	放射線物理科
広島国際大学	保健医療学部 大学院 医療・福祉科学研究科
広島大学	原爆放射線医科学研究所 大学院 工学研究科 大学院 理学研究科 大学院 理学研究科 地球惑星システム学専攻
福井大学	大学院 工学研究科 大学院 工学研究科 原子力・エネルギー安全工学専攻

表 2-3 放射線量等分布マップの作成に向けた環境調査の協力組織一覧(5)

大学・機関名	
福島県立医科大学	医学部 医学科 細胞統合生理学講座 附属病院 臨床腫瘍センター
福島大学	共生システム理工学類 大学院 共生システム理工学研究科
藤田保健衛生大学	医療科学部 放射線学科
防災科学技術研究所	地震・火山防災研究ユニット
放射線医学総合研究所	研究基盤センター 研究基盤技術部 放射線計測技術開発課 研究基盤センター 研究基盤技術部 放射線発生装置技術開発課 放射線防護研究センター 規制科学研究プログラム 自然放射線 防護研究チーム
北部地区医師会病院	放射線室
北海道大学	大学院 環境科学院 原子核反応データベース研究開発センター 大学院 工学研究院 量子理工学部門 大学院 地球環境科学研究院 知識メディアラボラトリ 工学研究院 環境循環システム部門
武蔵大学	人文学部
三重大学	生命科学研究支援センター 放射線化学・安全管理学部門
宮城教育大学	教育学部 理科教育講座
宮崎大学	工学部
山形大学	理学部 地球環境学科 理学部 物理学科
横浜国立大学	教育人間科学部
リアルタイム地震情報利用協議会	研究開発部
理化学研究所	仁科加速器研究センター 仁科加速器研究センター 安全業務グループ 仁科加速器研究センター イオン源開発チーム 仁科加速器研究センター 加速器基盤研究部 仁科加速器研究センター 超重元素分析装置チーム 仁科加速器研究センター 低速 RI ビーム生成装置開発チーム
立教大学	理学部
立正大学	地球環境科学部
立命館大学	総合理工学研究機構 SR センター
琉球大学	医学部附属病院 大学教育センター 農学部
早稲田大学	理工学術院 先進理工学部 応用物理学科

表 2-3 放射線量等分布マップの作成に向けた環境調査の協力組織一覧(6)

民間企業・施設	
荏原製作所	技術・研究開発企画室 基盤技術グループ
日本環境調査研究所	事業本部 営業一課
電気事業連合会「現地支援チーム」	
北海道電力	
東北電力	
中部電力	
北陸電力	
関西電力	
中国電力	
四国電力	
九州電力	
電源開発	
日本原子力発電	
日本原燃	
富士フィルム RI ファーマ	千葉工場管理部環境管理グループ

表 2-4 放射線量等分布マップの作成等に係る検討会の構成委員一覧

委員名	所属
池内 嘉宏	日本分析センター 理事
木村 秀樹	青森県 環境生活部 原子力安全対策課 副参事
小山 吉弘	福島県 生活環境部 原子力安全対策課 課長
斎藤 公明	日本原子力研究開発機構 福島支援本部 上級研究主席
柴田 徳思	日本原子力研究開発機構 J-PARC センター 客員研究員
下 道國 ^{※1}	藤田保健衛生大学 客員教授
杉浦 紳之	放射線医学総合研究所 緊急被ばく医療研究センター センター長
高橋 隆行	福島大学 副学長（研究担当）・附属図書館長
高橋 浩之	東京大学 原子力国際専攻 教授
高橋 知之	京都大学 原子炉実験所 原子力基礎工学研究部門 准教授
茅野 政道	日本原子力研究開発機構 原子力基礎工学研究部門 副部門長
長岡 鋭	高輝度光科学研究センター 安全管理室長
中村 尚司 ^{※2}	東北大学 名誉教授
長谷部 亮	農業環境技術研究所 研究統括主幹
久松 俊一	環境科学技術研究所 環境動態研究部 部長
村松 康行	学習院大学 理学部 化学科 教授
吉田 聡	放射線医学総合研究所 放射線防護研究センター 運営企画ユニット ユニット長

(敬称略、50音順)

※1：「放射線量等分布マップの作成等に係る検討会」副主査

※2：「放射線量等分布マップの作成等に係る検討会」主査

3. 空間線量率マップ、土壌濃度マップの作成

3.1 本調査の対象範囲、調査箇所数

3.1.1 空間線量率の測定範囲、土壌採取範囲の考え方

福島第一原発事故に伴い、土壌に沈着した単位面積当たりの放射性物質の放射エネルギー(以下、「沈着量」という。)及びその放射性物質による空間線量率について、調査範囲を設定した地図上に示すことで、避難区域の解除等の対策の基礎資料として、きめ細やかな情報を提供することが可能である。他方で、本調査で作成する放射線量等分布マップは、将来的に放射性物質の移行状況について確認するための初期データと位置付けられていた。このため、調査の実施にあたって、梅雨の降雨の影響により、土壌表面の状態が変化する前の短期間で、空間線量率の測定、土壌採取を完了させる必要性があった。また、本調査の詳細度と調査対象範囲の検討にあたって、日本学術会議より、調査対象範囲内に 2km×2km 以下のメッシュを設定して調査を進めるよう提案があった。

このような状況を踏まえ、マップ検討会において実現可能性を検討した結果、本調査では、それまでの陸上でのモニタリングや航空機モニタリングの結果から、空間線量率が比較的高く、土壌中の放射性セシウムの放射能濃度の量が多いことが確認されていた、福島第一原発から 80km 圏内について詳細な調査を実施することとした。

調査の詳細度として、福島第一原発から 80km 圏内についてを南北、東西方向ともに 2km×2km のメッシュ (以下、「2km メッシュ」という。) で分割し、各メッシュ当たり 1 箇所調査を実施することとした。

また、当時、航空機モニタリングを実施していた福島第一原発から 80~100km 圏内及びこの圏外の福島県についても調査を実施することとした。当該地域については、南北、東西方向ともに 10km×10km のメッシュ (以下、「10km メッシュ」という。) で分割し、各メッシュ当たり 1 箇所調査を実施することとした。その結果、調査範囲として、福島県その他、宮城県、山形県、栃木県及び茨城県の一部が含まれることになった。

3.1.2 メッシュ設定の考え方

放射線量等分布マップの作成対象としたメッシュの設定にあたっては、財団法人日本地図センター(以下、「日本地図センター」という。)の協力により、下記のように、JIS X 0410 地域メッシュコードに準じて、調査範囲の分割を行った。

- ① 福島第一原発から 80~100km 圏内及びその圏外の福島県は、JIS の第 2 次メッシュ (約 10km×約 10km) を本調査における「10km メッシュ」として設定した。なお、第 1 次メッシュは、国土地理院が刊行する地形図を、全国を経線及び緯線についてそれぞれ 1 度及び 40 分ごとに分割したもので、1/200,000 地形図の区画に相当する。第 2 次メッシュは、第 1 次メッシュを緯度・経度方向について、さらに 8 等分 (経線は 7 分 30 秒、緯線は 5 分) したもので、1/25,000 の地形図の区画に相当する。

- ② 福島第一原発から 80km 圏内は、①の 10km メッシュをさらに細分化して 2km×2km の「2km メッシュ」として設定した。これは、第 2 次メッシュの緯度・経度方向について、さらに 10 等分（経線は 45 秒、緯線は 30 秒）した、約 1km（福島では東西約 1.1km、南北で約 0.93km）の格子間隔を持つ第 3 次メッシュの一辺の長さを 2 倍したものに相当する。

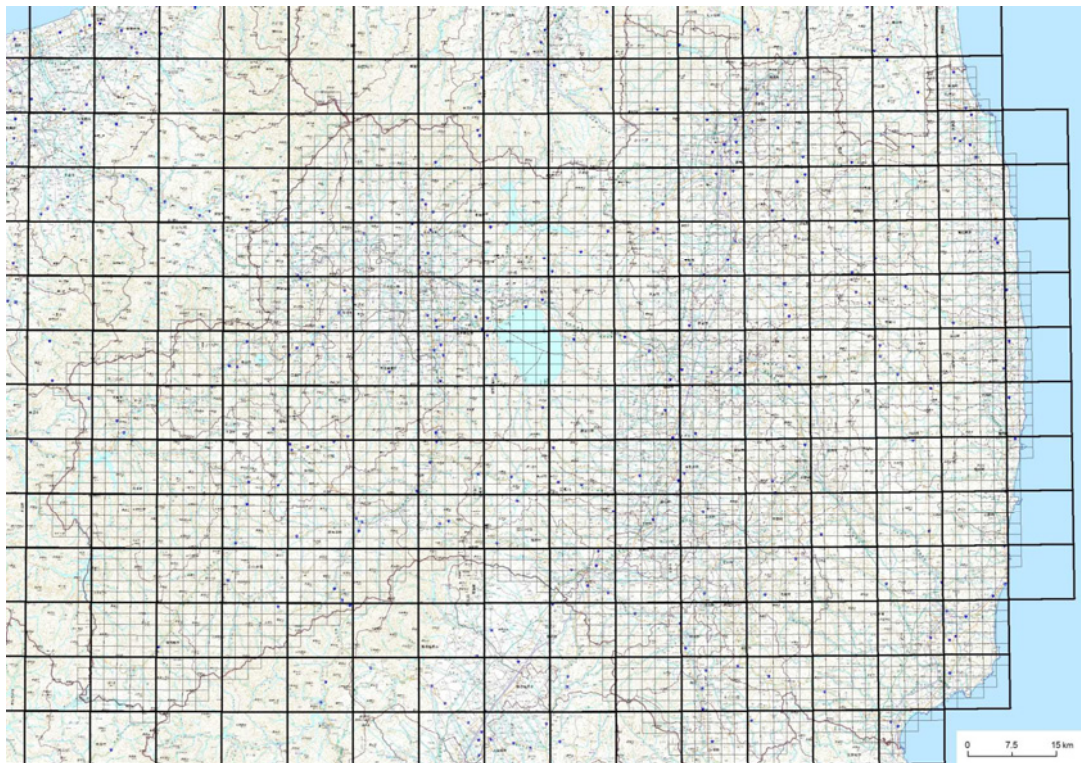
図 3-1(a)は、福島県内を 10km メッシュ（太線）、2km メッシュ（細線）で分割した地図である。調査箇所を決定するメッシュの設定に当たって、福島第一原発から 100km の境界線、80km の境界線及び福島県の県境にメッシュがかかった場合、図 3-1(b)に示すように、これらの地域もそれぞれ 10km メッシュ、2km メッシュに含めた。そのため、福島第一原発より 80km 圏外で 2km メッシュ、100km 圏外の福島県隣接県で 10km メッシュとしての調査が実施されるケースがあった。

また、調査対象とするメッシュごとに、福島第一原発からの距離及び位置関係に応じた ID 番号を付した。ID 番号の設定にあたっては、まず、福島第一原発から南北方向の距離に応じて、例えば、30km 北及び 50km 南にあるメッシュは全て 30N、50S と設定し、その後、福島第一原発から西方向の距離に応じて ID 番号をさらに設定した。これにより、例えば、福島第一原発から 30km 北、40km 西のメッシュは 30N40 とし、50km 南、20km 西の場合、50S20 とした。なお、宮城県東部で調査した 3 メッシュは、福島第一原発より東側に位置したため、末尾に E を付した。

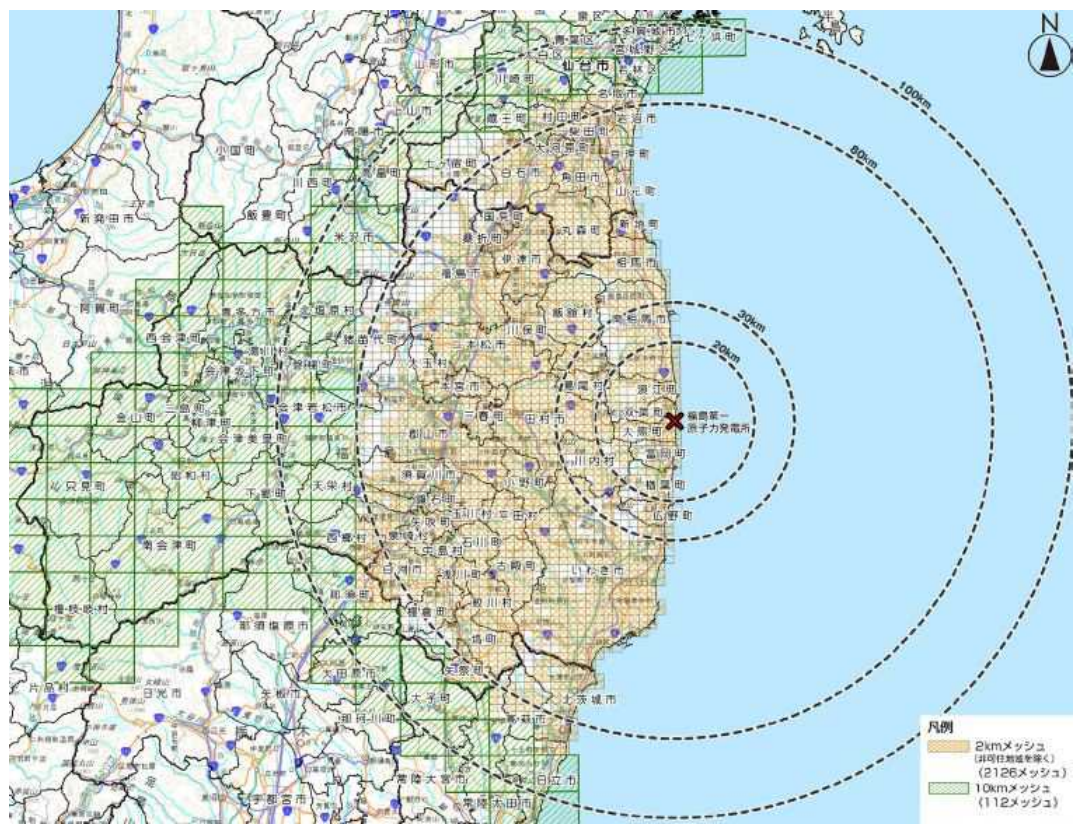
3.1.3 調査箇所の設定

各調査箇所は、分割した 2km メッシュ、10km メッシュ内から 1 箇所選定し、地表面から 1m の高さの空間線量率の測定及び土壌採取を実施することとした。一つのメッシュ内に複数の市町村が入る場合、原則として面積の大きな市町村側で調査を実施することとしたが、メッシュ内に各市町村の全域が含まれる場合等、それらの市町村についても調査箇所を設定した結果、一つのメッシュ内に複数箇所を調査を実施したメッシュもあった。また、各メッシュのうち、平成 17 年度の国勢調査を踏まえた国土地理院の地図情報より、山林などの非可住区域であることが確認されていたメッシュは、本調査の対象外とした。なお、福島第一原発から 20km 圏内については、空間線量率が高く、地震等の影響により、道路状況が悪く、調査箇所へのアクセスが困難な箇所も存在したため、東京電力株式会社を通じて、電事連の現地支援チームと情報を交換しつつ、調査箇所の検討を行った。

調査箇所の選定にあたっては、対象としたメッシュごとに、公共施設等を記した地図を作成し、これらの施設の中から調査予定箇所を選定した。その後、これらの箇所のうち、3.2.3 及び 3.4.2 の要件を満たす場所について各市町村と調整した上で、実際の調査箇所を決定した。選定にあたっては、土壌を採取するため、事前に調査の了解が得られた箇所を除き、私有地は調査箇所としなかった。なお、必要に応じて、福島大学の協力により、調査予定箇所について、事前に現地へ赴き、状況を確認したが、実際の調査にあたっては、道路事情等によりアクセスができずに調査が実施できなかった箇所もあった。その結果、本調査における調査箇所数は、表 3-1 にまとめたとおり、5 県 94 市町村で 2,183 箇所となった（表 3-1 において、仙台市については区名も標記）。この中には、測定器の不調により空間線量率の測定が実施できなかった箇所や土壌の状況により土壌採取が不可能だった箇所も含まれている。



(a) 福島県内の10kmメッシュ(太線)及び2kmメッシュ(細線)の設定



(b) 調査地点を選定するために最終的に設定したメッシュ

図 3-1 調査地点を選定するためのメッシュの設定

表 3-1 調査地点数 (合計 2,183)

市町村名	調査地点数		市町村名	調査地点数		市町村名	調査地点数	
	2km	10km		2km	10km		2km	10km
福島市	94	0	会津坂下町	0	2	高萩市	34	0
二本松市	82	0	湯川村	0	1	日立市	7	4
伊達市	60*1	0	柳津町	0	2	常陸大田市	7	3
本宮市	20	0	三島町	0	1	常陸太宮市	0	1
桑折町	7	0	金山町	0	3	大子町	0	4
国見町	9	0	昭和村	0	2	七ヶ宿町	13	4
川俣町	38	0	会津美里町	0	2	白石市	55	0
大玉村	15	0	下郷町	0	3	丸森町	61	0
郡山市	118	0	檜枝岐村	0	2	角田市	36	0
須賀川市	57	0	只見町	0	4	山元町	19	0
田村市	109	0	南会津町	0	10	亘理町	18	0
鏡石町	9	0	相馬市	45	0	柴田町	13	0
天栄村	13	0	南相馬市	80*2	0	大河原町	6	0
石川町	26	0	広野町	14	0	蔵王町	16	1
玉川村	11	0	檜葉町	16	0	村田町	17	0
平田村	22	0	富岡町	16	0	川崎町	3	3
浅川町	11	0	川内村	37	0	岩沼市	18	0
古殿町	40	0	大熊町	14	0	名取市	12	0
三春町	23	0	双葉町	9	0	仙台市若林区	0	1
小野町	31	0	浪江町	39*3	0	仙台市太白区	0	2
白河市	69	0	葛尾村	18	0	仙台市宮城野区	0	1
西郷村	15	2	新地町	15	0	仙台市泉区	0	1
泉崎村	6	0	飯舘村	53	0	仙台市青葉区	0	1
中島村	7	0	いわき市	266	0	七ヶ浜町	0	1
矢吹町	15	0	山形市	0	1	塩竈市	0	1
棚倉町	29	0	上山市	0	1	多賀城市	0	1
矢祭町	18	1	南陽市	0	1	利府町	0	1
塙町	41	1	高畠町	0	1	東松島市	0	1
鮫川村	32	0	米沢市	5	4			
会津若松市	0	8	那須町	15	4	福島県	1,673	62
喜多方市	0	8	那須塩原市	0	4	山形県	5	8
北塩原村	0	4	大田原市	0	2	栃木県	15	14
西会津町	0	3	那珂川町	0	1	茨城県	88	12
磐梯町	0	2	日光市	0	3	宮城県	287	19
猪苗代町	24	1	北茨城市	40	0	総数	2,068	115

*1：空間線量率が測定できなかった5地点を含む

*2：土壌採取ができなかった2地点を含む

*3：土壌採取ができなかった1地点を含む

3.2 土壌の採取方法

3.2.1 土壌の採取方法の検討に向けた予備調査

本調査以前に大学独自が実施していた土壌の深さ方向の放射能濃度の分布状況調査において、ほぼ全量の I-131 及び放射性セシウムが土壌表面から 5cm 以内に含まれていることが確認されていたことから、本調査で土壌採取を実施する期間（平成 23 年 6 月～7 月）においては、土壌表層部（地表面から 5cm 以内）に放射性核種が沈着しているものと考えた。他方で、本調査では、複数の機関の様々な Ge 半導体検出器を使用するため、使用する検出器による放射能濃度の測定方向の違いに依らず、偏りなく測定することが必要であった。そのため、校正用の線源が整備されている 100ml の U-8 容器内に、土壌中に含まれる放射性物質を可能な限り、均質に分布する手法を考案することとした。本調査では、Ge 半導体検出器を用いて、土壌に沈着した放射性核種の放射能濃度を正確に測定するため、以下に示す筑波大学、広島大学及び大阪大学が調査した 3 種類の方法について予備調査を実施し、土壌表層の採取方法を検討した（図 3-2 参照）。

(1) U-8 容器で土壌を採取した後、攪拌をしない場合

U-8 容器を表層土壌に差し込み、直接採取する。採取後は、攪拌等は行わず、そのまま放射能濃度を測定する。

(2) U-8 容器で土壌を採取した後、容器内で攪拌する場合

U-8 容器を表層土壌に差し込み、直接採取する。採取後は、使い捨てナイフにより容器内で土壌を攪拌し、さらに 150 回の振動攪拌を行う。その後、振動攪拌を行った土壌試料について、放射能濃度を測定する。

(3) U-8 容器と同じ容量の容器で採取した土壌を別に用意した袋内で攪拌後、U-8 容器に保管する場合

U-8 容器と同じ容量となる 100ml の採土用円筒管を表層土壌に差し込み、土壌を採取する。採取した土壌は、最初にポリエチレン袋へ入れて、団粒を揉みつぶしながら振動攪拌する。その後、振動攪拌を行った土壌試料を U-8 容器に移し替えて保管し、放射能濃度を測定する。

水田、牧草地の土壌について、以上の予備調査を実施した結果、(1)の土壌を攪拌しない場合、放射性核種の試料中における分布が不均一となり、校正用線源により値づけられた検出効率を使用したところ、求められた放射能濃度の結果に誤差が生じる可能性が確認された。他方で、(2)の U-8 容器内で攪拌した場合、容器内から土壌試料がこぼれ落ち、均一化が不十分になるという問題点が確認された。(3)のポリエチレン袋内で土壌を揉みながら攪拌した場合、求められた放射能濃度の結果のばらつきが小さくなることが確認され、U-8 容器内で十分に均一化されたと判断された。以上より、本調査では、(3)のポリエチレン袋の中で攪拌する手法を用いて、土壌を採取することとした。

3.2.2 土壌の採取方法

本調査は短期間で大量の土壌を採取する必要があったが、それに伴い、一定数の調査協力者を召集しなければいけなかったため、土壌の採取には多数の協力者が入れ替わり参加することとなった。そのため、土壌の採取方法に相違が生じないよう、複雑な手順を必要としない統一化した手法を提示する必要があった。また、本調査で採用した土壌採取方法は、土壌試料をポリエチレン袋で攪拌し、U-8 容器内へ保管するにあたって、容器への移し替え等、いくつかのステップを経ることが必要であった。そこで、土壌採取の方について、図 3-3 のように土壌の固さに応じて、マニュアルを定めた。

(1) 柔らかい土壌の採取方法（マニュアル：図 3-3(a)）

- ① U-8 容器の開口部を下に向け、差し込む。
- ② ショベルで、U-8 容器を周囲の土壌ごと掘り出す。
- ③ U-8 容器をひっくり返し、余分な土壌をナイフで削ぎ取る。
- ④ 残った土壌をポリエチレン袋へ開けて、袋の中で十分に攪拌する。攪拌した土壌は、U-8 容器へ戻して、蓋をする。（土壌をこぼさないよう、注意する。）
- ⑤ U-8 容器の外側に付着した土壌を拭き取り、採取した調査地点のメッシュ ID、試料番号を記入したラベルを貼り付け、ジッパー付きポリエチレン袋へ入れる。

(2) 固い土壌の採取方法（マニュアル：図 3-3(b)）

- ① 100ml 試料円筒管を採土補助器にセットし、ハンマーで試料円筒管を土壌に打ち込む。
- ② 試料円筒管ごと移植ゴテで掘り出す。
- ③ U-8 容器を 試料円筒管に乗せ、互いにずれないようにひっくり返し、U-8 容器からはみ出た土壌をナイフで削ぎ取る。
- ④ U-8 容器内に残った土壌をポリエチレン袋へ開けて、袋の中で十分に攪拌する。攪拌した土壌は、U-8 容器へ戻して、蓋をする。（土壌をこぼさないよう、注意する。）
- ⑤ U-8 容器の外側に付着した土壌を拭き取り、採取した調査地点のメッシュ ID、試料番号を記入したラベルを貼り付け、ジッパー付きポリエチレン袋へ入れる。

ただし、警戒区域内の作業では、被ばくを考慮して、空間線量率の低い地域に持ち出し、土壌が拡散しないよう万全の対策を講じた上で攪拌するなど、状況に応じて、採取方法を変更して行った。

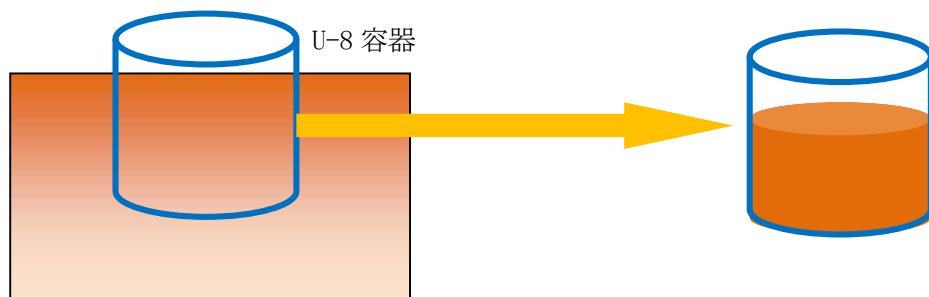
いずれの方法も、手袋、ナイフ、ポリエチレン袋等は使い捨てとして、また採土器具は頻繁に除染を行う等、放射性物質の蓄積状況が異なる調査地点で採取した土壌が互いに混合すること（クロスコンタミネーション）を防止した。

3.2.3 土壌採取場所の選定

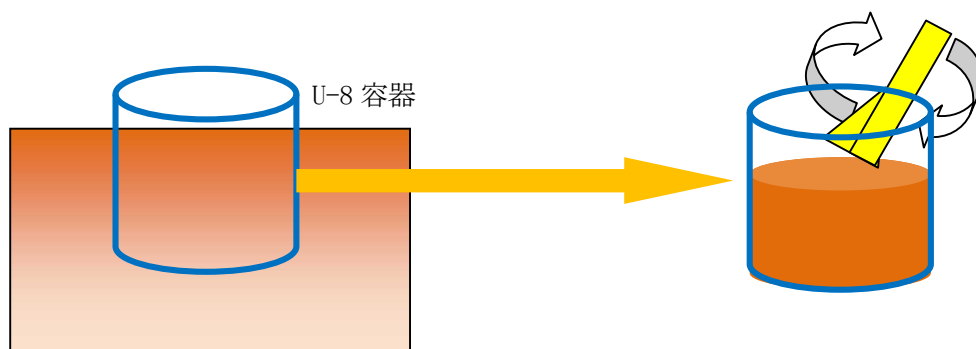
長期的に放射性物質の沈着状況の変化を継続的に確認するためには、同じ場所での土壌採取が必要である。そこで、本調査では、可能な限り、採取場所として長期的に攪乱がないと予想され

る場所を選定することとした。また、調査箇所が広範囲にわたって草等が生えていた場合、放射性物質の降下により、放射能濃度が高くなっている可能性もあったため、可能な限り、このような場所では土壌採取をしないこととした。ただし、同じ場所で空間線量率を測定するための要件（3.4.2 参照）を考慮した結果、調査メッシュ内に草地しか選定できないようなケースがあったため、このような場所では、土壌採取中に雑草、根系層が混在した場合、これらの植生を除去することなく U-8 容器内に含め、土壌試料として放射能濃度を求めた。

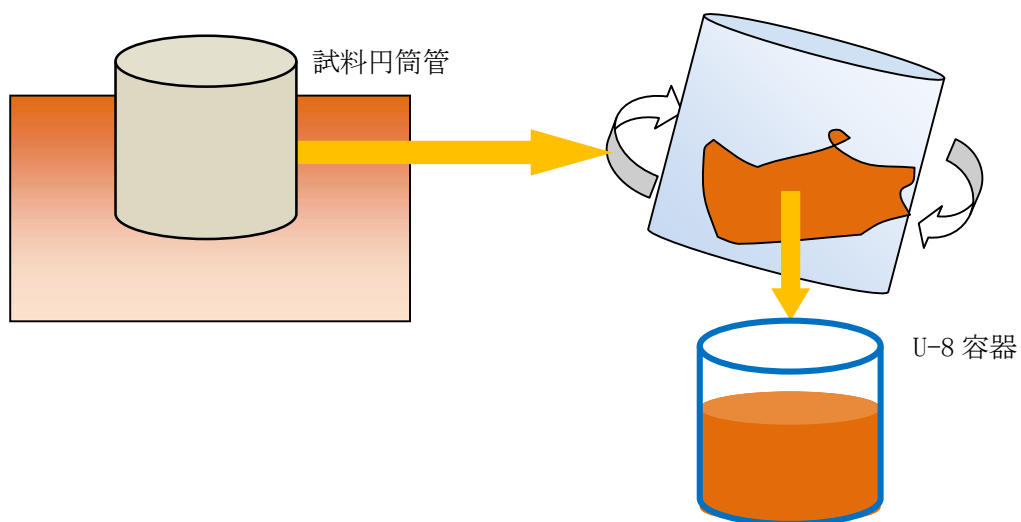
なお、選定した調査箇所において、土壌中の放射能濃度が場所により大きく変化している可能性があったため、一つの調査箇所につき 5 試料の土壌試料を採取した。各試料は、3m 四方を原則とした範囲の中で、土壌を採取した。その際、各試料の採取場所はできるだけ等間隔となるようにした。ただし、高線量域となる警戒区域内については、作業者の被ばくを考慮し、長時間の作業は困難であったため、各調査箇所につき、試料数を 1～3 個とした。



① U-8 容器で土壌を採取した後、攪拌をしない場合



② U-8 容器で土壌を採取した後、容器内で攪拌する場合



③ U-8 容器と同じ容量の容器で採取した土壌を別に用意した袋内で攪拌後、U-8 容器に保管する場合

図 3-2 予備調査で検討した土壌の採取方法



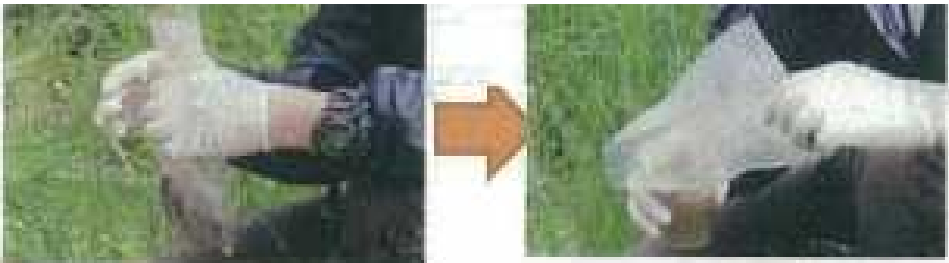
① U-8 容器を地面に差し込む。



② ショベルで、U-8 容器を周囲の土壌ごと掘り出す。



③ 容量より余分な土壌をナイフで削ぎ取る。



④ 袋の中で十分に攪拌し、土壌を U-8 容器へ戻す。



⑤ 付着した土壌を拭き取り、ポリエチレン袋（ジップロック）へ入れる。

図 3-3 (a) 柔らかい土壌の採取方法



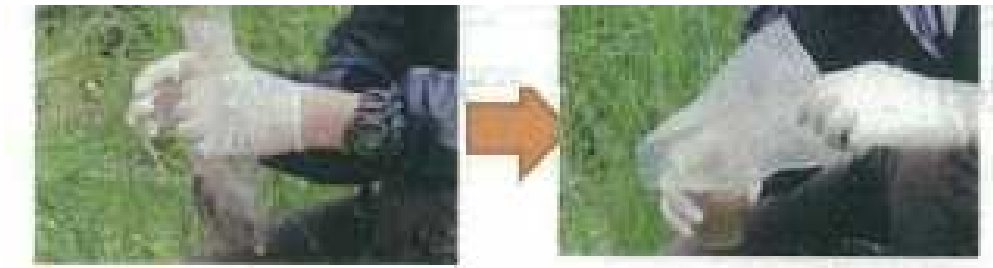
① 100ml 試料円筒管を採土補助器にセットし、ハンマーで試料円筒管を土壤に打ち込む。



② ショベルで、試料円筒管を周囲の土壤ごと掘り出す。



③ U-8 容器を使用して、容量より余分な土壤をナイフで削ぎ取る。



④ 袋の中で十分に攪拌し、土壤を U-8 容器へ戻す。



⑤ 付着した土壤を拭き取り、ポリエチレン袋（ジップロック）へ入れる。

図 3-3 (b) 固い土壤の採取方法

3.3 土壌中の放射能濃度の測定

3.3.1 測定機関

(1) ガンマ線放出核種の測定機関

本調査では、文部科学省が実施した、これまでの陸上モニタリングの測定結果やチェルノブイリ原発事故後の報告等の知見から、被ばく線量評価上、大きな影響を与えることが確認されていた、ガンマ線放出核種である I-131、Cs-134 及び Cs-137 を調査対象とした。

福島第一原発の事故の影響を詳細に把握するため、ガンマ線エネルギー分解能の良い Ge 半導体検出器を用いて、ガンマ線を放出する I-131(半減期 8.02 日)、Cs-134(半減期 2.06 年)及び Cs-137(半減期 30.2 年)の放射能濃度の正確な定量が期待された。他方で、本調査では調査箇所数が約 2,200 箇所あり、各調査箇所概ね五つの土壌試料を採取することとしたため、放射能濃度を測定する試料の総数は約 11,000 個となった。そこで、本調査では、日本国内で Ge 半導体検出器を有し、土壌試料の測定について信頼性のある結果を得ることが可能な研究機関のうち、協力が得られた 21 の(日本分析センター、東京大学ほか)研究機関において、ガンマ線放出核種の放射能濃度の測定を実施した。このうち、日本分析センターを除く 20 機関については、東京大学が取りまとめ機関となり、土壌試料の再配布、データの取りまとめ、分析結果の確認等を担当した。

(2) ベータ線放出核種及びアルファ線放出核種の測定機関

福島第一原発から放出された、ガンマ線放出核種以外のアルファ線放出核種やベータ線放出核種の沈着状況についても確認するため、約 2,200 箇所の土壌調査箇所のうち、100 箇所で代表的なアルファ線放出核種であるプルトニウムや代表的なベータ線放出核種であるストロンチウムについて核種分析を実施した。なお、測定は日本分析センター 1 機関が実施した。

試料の選択にあたっては、福島第一原発から 80km 圏内で採取された土壌において放射性物質の放射能濃度の量が多い箇所が集中していることが確認されたことから、本調査では、原則として、80 km 圏内は 2km メッシュに 1 箇所の地点で土壌試料を採取しており、これらの試料の中から、Pu-238、Pu-239+240、及び Sr-89、Sr-90 の調査箇所を選定した。なお、Pu-238、Pu-239+240、及び Sr-89、Sr-90 は、放射性セシウムや I-131 等のガンマ線を放出する放射性核種に比べて、分析前の試料調整等に時間を要することから、下記の要領で核種分析を実施する調査箇所を選定し、それぞれの箇所で採取された複数の土壌から 1 試料選択して、核種分析を実施した。

- ・ 59 箇所については、福島第一原発から 80 km 圏内の各市町村 (59 市町村 : (表 3-1 で 2km メッシュがある那須町、日立市及び川崎町は 80km 圏内に 2km メッシュがないため含まない) あたり調査箇所を 1 箇所選定した。選定にあたっては、土壌を採取可能であった場所のうち、市町村ごとに、人口分布と空間線量率の大きさを考慮し、選定した。
- ・ 残り 41 箇所については、警戒区域等の市町村の中から選定した。選定にあたっては、福島第一原発を中心に、全方向において一様に選定した。

3.3.2 土壌中の放射能濃度の測定

(1) ガンマ線放出核種の測定方法

ガンマ線放出核種の放射能濃度の測定は複数機関で実施することとなったため、土壌の採取方

法と同様に、放射能濃度の測定方法について統一化を図る必要があった。そこで、最初に、各機関で信頼性のある結果を得るため、各機関が所有する Ge 半導体検出器について、放射エネルギーが既知の標準線源を用いて、適切に校正されていることを確認することとした。ここでは、比較標準線源として IAEA の標準線源 (IAEA - 444 線源) あるいは日本分析センターが独自に作製した標準試料を用いて分析の精度を確認した。

計測時間については、リアルタイム (測定開始から終了までの実時間) とライブタイム (実時間から検出器の不感時間を差し引いた時間) が同程度の場合、測定時間を 1 時間とした。また、ライブタイムとリアルタイムに差が生じる場合、測定時間を 10 分間とした。ただし、一部の試料についての I-131 の検出のために、12 時間程度の測定を行った。エネルギースペクトルを確認した結果、上記の三つの放射性核種以外のエネルギーピークが確認された場合、その放射性核種についても可能な限り定量を行った。

採取された全土壌試料の約 3%については、日本分析センターとそれ以外の大学等の機関間で放射能濃度の測定結果を比較するクロスチェックを実施し、測定結果の妥当性を確認した。なお、大学等の研究機関におけるクロスチェックの取りまとめについても、東京大学が担当した。

なお、分析機関に土壌試料を輸送する前に、U-8 容器を完全に密封した上で、アルコール含浸ティッシュペーパーで容器表面を除染したほか、新しいプラスチックバックに入れて、測定に際してもこのバックを外さずに測定する等の処置を行い、Ge 半導体検出器の遮蔽体内の汚染を確実に防いだ。さらに、測定結果の妥当性の確認は、各測定機関の責任者が実施する体制を構築する等により、核種分析の信頼性を確保した。

(2) ベータ線放出核種及びアルファ線放出核種の測定方法

ベータ線放出核種及びアルファ線放出核種の核種分析にあたっては、本調査で Ge 半導体検出器を用いて、ガンマ線放出核種について定量をした後、それらの土壌試料について、ベータ線放出核種及びアルファ線放出核種の定量を行うこととした。各試料の核種分析にあたっては、文部科学省放射能測定法シリーズ「プルトニウム分析法 (平成 2 年改訂)」及び「放射性ストロンチウム分析法 (平成 15 年改訂)」に従い、測定を実施した。

Pu-238、Pu-239+240 については、U-8 容器で採取した土壌試料のうち、50g を放射化学分析し、シリコン半導体検出器を用いて、80,000 秒 (1,333 分) 程度測定することとした。

また、Sr-89、Sr-90 については、同じく U-8 容器で採取した土壌試料のうち、30g を放射化学分析し、低バックグラウンドベータ線測定装置を用いて、60 分 (3,600 秒) 程度測定することとした。

3.4 空間線量率の測定

本調査では、土壌の採取箇所における空間線量率の測定、及び走行サーベイによる道路周辺の連続的な空間線量率の測定を実施した。それぞれの測定方法は以下のとおり。

3.4.1 土壌採取箇所における空間線量率の測定

3.4.1.1 土壌採取箇所における空間線量率の測定方法

土壌採取箇所において空間線量率を測定するにあたって、多くの協力者が交代で測定に参加することを考慮し、汎用の放射線測定器を用いた統一的な測定方法を定めた。測定には、低い線量率でも正確な測定が可能である感度の高い NaI(Tl)シンチレーション式サーベイメータ（以下、「NaI サーベイメータ」という。）を基本的に用いて、1センチメートル線量当量率（単位； $\mu\text{Sv/h}$ ）を測定することとした。ただし、地表面から 1m の高さの空間線量率が $30\mu\text{Sv/h}$ を超える地域の場合、NaI サーベイメータの測定レンジを超えるため、電離箱式サーベイメータを使用した。なお、測定に使用するサーベイメータは、全て校正試験の経歴等を確認し、必要に応じて再び、校正試験を行うことで、精度の良い測定結果が得られるようにした。

測定にあたっては、屋外において検出部の高さを地表面から 1m の高さにメジャーを用いて正確に合わせた上で、空間線量率を測定した。測定中は、腕を伸ばしてプローブ等をセットし、地表から放射されるガンマ線が測定者により遮蔽されづらい幾何条件とした。時定数が設定可能なサーベイメータについては、10 秒に設定して、その 3 倍の 30 秒以上経過した後の指示値を測定値とした。時定数の設定ができないサーベイメータについては、指示値のふれが安定するまで待ち、数値を読み取った。空間線量率の測定箇所の位置情報は、GPS により緯度、経度を測定して取得した。

なお、警戒区域を除いて、地表面から高さ 5cm でも空間線量率を測定し、土壌試料の核種分析結果の妥当性確認のために使用することとした。

空間線量率マップは、上記の測定結果のうち、地表面から 1m の高さで測定した空間線量率の測定結果をマップ化して表示することとした。

3.4.1.2 土壌採取箇所における空間線量率の測定場所の選定

空間線量率の測定は、極力、地表面以外の放射性物質の影響を受けないよう、平坦な地形で、周囲 5m 程度の範囲に大きな障害物がない場所を選定した。また、土壌採取を行う箇所で空間線量率の測定を行う必要があったため、土壌の上で測定を行い、アスファルト等の舗装面上は避けた。なお、調査箇所のうち、森林周辺においては、樹体に放射性物質が付着していることが想定されたため、測定場所として避け、できるだけ植生の少ない場所を選定した。選定した場所では、測定位置を中心に 3m 四方の範囲でサーベイメータをゆっくりと移動させ、急激に空間線量率が変化する特異点が存在しないことを確認した。例えば、雨水の流れる雨樋下やその近くの土壌及び側溝は、放射性核種が溜まっている可能性もあり、このような場所では空間線量率を測定しないこととした。

測定場所の選定も含めて、測定実施者間で差異が生じないように、空間線量率の測定の方法について、下記のように土壌の採取と同様にマニュアルを定めた。

(1) 空間線量率の測定開始前の確認事項

- ① サーベイメータの型式及び識別番号等、校正定数（校正年月日、校正に用いた線源）を確認し、記録する。
- ② バッテリーチェックにより、電池残量が十分残っていることを確認する。
- ③ サーベイメータの検出部（センサ内臓部）周辺を、アルコールティッシュで拭くなどして除

染を行い、バックグラウンド値が異常値（指示が出ない、通常より指示が低い・高い）になっていないことを確認し、記録する。

- ④ サーベイメータの検出部にポリエチレン袋で覆うなど、汚染防止措置を施す。
- ⑤ 測定線種はγ線とする。

(2) 空間線量率の測定の留意事項

- ① 測定位置の周囲 5m 程度までに大きな障害物（車、建物等）がないこと、平坦な地形であることを確認する。例えば、田畑、家屋や学校などの開かれた場所を選定し、できるだけ植生の少ない場所を選定する。
- ② 測定位置は、可能な限り、土壌の上で決定する。地面がアスファルトやコンクリートの上に測定位置を選ぶことは極力避ける。また、森林については、未だに樹体に多くの放射性降物が付着していることが想定されるため避けることが望ましい。
- ③ 測定位置を中心に 3×3m の範囲でサーベイメータをゆっくり走行させ、急激に空間線量率が高くなるような特異な場所が存在しないことを確認する。
- ④ 上記①の測定により特異な場所が存在しなければ、測定位置で測定を行い、その読み値を代表値とする。

3.4.2 走行サーベイによる連続的な空間線量率の測定

空間線量率の測定にあたっては、迅速かつ詳細に空間線量率を測定する方法を検討するため、土壌採取地点におけるサーベイメータでの空間線量率の測定のほか、走行サーベイによる道路周辺における連続的な空間線量率の測定を実施した。走行サーベイの実施にあたっては、京都大学原子炉実験所が開発した、緯度・経度情報と空間線量率の情報を同時に取得できる KURAMA システム (Kyoto Univ. RAdiation MApping System) を使用した。本システムは、京都大学原子炉実験所において開発されたもので、市販のサーベイメータのアナログ出力から空間線量率の測定データを取得し、同時に GPS による位置情報データを記録することができる機器である。また、得られた測定結果等のそのデータを携帯回線でサーバに送り、パーソナルコンピュータ (PC) 上に Google Map/Google Earth 等の地図情報を表示できるソフトウェアを用いて、測定結果を表示することで、ほぼリアルタイムに測定の状況を確認、表示できるという特徴を有する。

3.4.2.1 KURAMA システムによる走行サーベイの方法

KURAMA システムは、一般の乗用車に搭載可能なため、一般乗用車に搭載し、走行しながら位置情報と併せて、空間線量率データを取得した。使用する乗用車は、基本的に、各調査地域の地理情報について知見を有する地元タクシーを使用した。福島第一原発から 20 km 圏内については、電事連の現地支援チームの乗用車に搭載して測定を実施した。

サーベイメータは、車体によるガンマ線の遮蔽効果をなるべく低く抑えるために、サーベイメータの検出部を乗用車の後部座席の右側にある取っ手（扉の上部）に設置した。

空間線量率データは、NaI サーベイメータのアナログ出力から取得した。測定は 10 秒ごとに自動的に実施し（概ね 100m 間隔）、空間線量率のデータと同時に GPS による位置情報データを取

得した。また、毎日の走行の前後（朝と夕方）で、同じ地点で測定を実施し、放射性物質のタイヤ等への付着により測定値が高くなっていないことを確認した。なお、実施期間中、走行サーベイに使用した車両に汚染は生じなかった。さらに、走行ルート周辺の学校等で空間線量率を測定し、道路上で連続的に測定した空間線量率の測定結果と比較した。

走行ルートは、空間線量率の測定や土壌採取を行った調査箇所周辺を中心に設定した。このうち、福島第一原発の 80km 圏内については、国道、県道及び地方道を走行し、福島第一原発から 80～100km 圏内及びその圏外の福島県については、国道及び県道を走行することを原則とした。走行距離は約 20,000km を目標としたが、結果的に約 17,000km であった。

3.4.2.2 KURAMA システムを用いた走行サーベイの測定結果の校正試験

土壌採取箇所での空間線量率は、屋外の地表面から 1m の高さ位置で測定されている。一方、KURAMA システムによる走行サーベイでは、車内の一定の高さにサーベイメータの検出部を設置して空間線量率データを取得するため、両者の結果を同じマップ上で比較するためには、KURAMA システムで取得したデータを屋外の空間線量率の値に換算する校正定数を定めることが必要であった。そのため、全ての KURAMA システムについて、屋外の固定点で校正試験を実施した。その結果、高い空間線量率を示すような箇所を中心に、校正定数の空間線量率依存性を確認する必要があることが分かった。

そこで、独立行政法人放射線医学総合研究所（以下、「放医研」という。）の協力により、校正定数を求める試験を実施した。試験は、約 20m 四方が平坦な舗装面上で、調査箇所の周囲に樹木などが無い公共の場所で行った。周囲に物体が存在する等、良好な条件でない地点も含めて複数の試験を実施したが、校正定数を決定する際には理想に近い条件の地点の測定結果のみを用いた。

試験では、走行中と同様に校正済みの NaI サーベイメータを、高線量域の走行サーベイで主に使用された車種の後部右側座席の取っ手に設置した。車を停車させた上で、サーベイメータのある位置の近く（屋外）をマーキングし、その後、車両を 10m 以上離れた場所に移動した上で、マーキングした位置（屋外）の空間線量率を測定した。計測では、サーベイメータの時定数を 10 秒とし、30 秒ごとに 5 回線量率を読み取り、平均値を計測値とした。

その結果、測定場所の要件を多く満たした条件下での試験では、車内外で測定された空間線量率の測定結果において良い相関関係が確認され、その比は図 3-4 に示すとおり、1.3 であった。そこで、本調査では、走行サーベイで得た空間線量率データについて校正定数として 1.3 を乗じて、地表面から 1m の高さの空間線量率とし、マップ上に示すこととした。

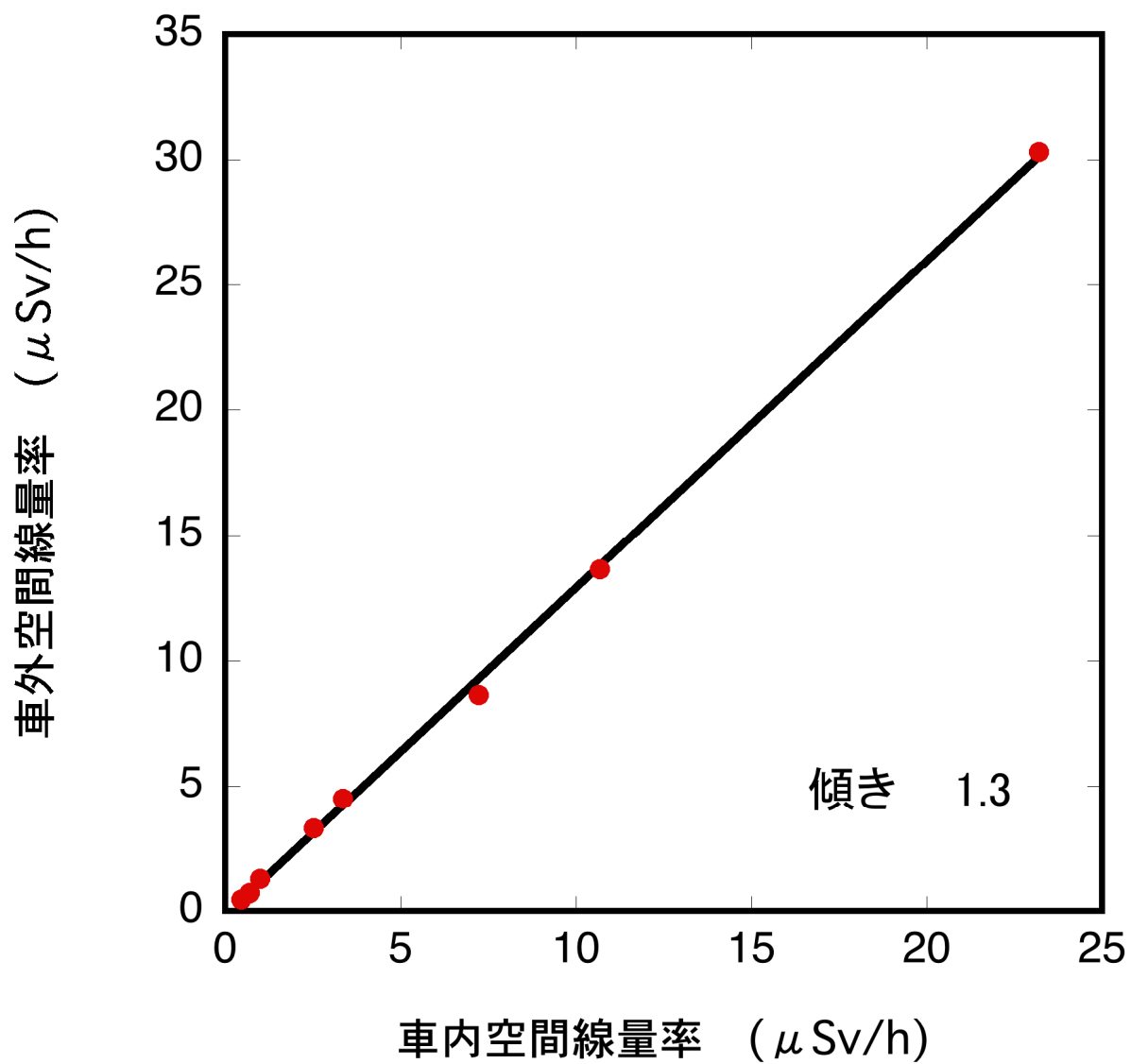


図 3-4 車内と車外で測定された空間線量率の相関関係

3.5 空間線量率の測定及び土壌採取の実施体制及び記録

3.5.1 空間線量率の測定及び土壌採取の実施体制

調査にあたっては、事前に運用マニュアルを用意し、必要な作業手順、放射線防護のための措置等の訓練を行った。また、1チーム当たり最低2名の編成とし、可能な限り、経験者を1名組み込む体制とした。各チームは、二本松市（岳温泉あだたらふれあいセンター）に設置した測定本部（6月28日～7月8日に実施した茨城県、福島県いわき地方等の土壌採取、空間線量率の測定においては、原子力機構東海研究開発センター原子力科学研究所）から、空間線量率の測定箇所及び土壌採取箇所に赴いた。

また、調査箇所の緯度、経度は、調査に持参したGPSにより世界測地系（60進法）で読み取り、2名以上によるダブルチェックで確認した。福島第一原発より80km圏内の調査では、日本地図センターの協力により作成した南北、東西方向に四つの2kmメッシュを含む地図（4×4=16の2kmメッシュを含む地図）を用意し、予め市町村より指定のあった地点、あるいは採取予定とした地点を各メッシュにマーキングし、現地へ空間線量率の測定、土壌採取に赴いた。

(1) 空間線量率の測定及び土壌採取

空間線量率の測定及び土壌採取は、2～3名で編成されたチーム単位で実施した。主な作業は、下記のとおりである。測定本部は、前日にチーム編成及び予定する調査地点の選定を行った。各チームの調査終了後に、採取した土壌試料の測定実施機関（日本分析センター及び東京大学）への発送、実施記録の電子ファイル化の確認及び保存、調査を終了した地点の確認を行った。作業全体のフローチャートを図3-5(a)に示す。

- ・土壌採取、空間線量率測定の用具の準備、用具の除染
- ・土壌採取、空間線量率の測定
- ・調査の記録（必要な写真撮影を含む）、記録の電子ファイル化

調査における被ばく線量管理は、1チームのうち、最低でも1名が電子式個人線量計を装着し、各調査地点で積算線量値を記録した。各チームは、以上の作業で必要となる表3-2①に示す携帯品を確認して、調査箇所に赴いた。

(2) 走行サーベイによる連続的な空間線量率の測定

乗用車で走行サーベイを実施するチームの体制は2名1組とし、1名が走行ルートナビゲーション、測定本部との連絡を担当し、もう1名がKURAMAシステムの動作を確認した（図3-5(b)）

また、各システムが取得したデータは、ほぼリアルタイムで測定本部のPCで表示した。測定本部では、走行サーベイの実施状況を確認し、測定が正常に進められているかの監視、効率的に空間線量率の情報を取得できる走行経路の指示等の支援を行った。また、空間線量率の測定の他に、適切なスペースのある箇所で、車内での測定値を屋外の線量率値に換算するための係数を求める校正試験を実施した。（実際の校正定数として、3.5.3に示す方法で求めたものを採用した。）

なお、走行サーベイでも、1チームのうち、代表者1名が電子式個人線量計を装着し、調査日

ごとに線量値を読み取って記録し、被ばく線量管理を行った。各チームは、表 3-2②に示す携帯品を確認して、走行サーベイを実施した。

3.5.2 調査の記録

放射線量等分布マップの作成、及び今後に予想される放射線量等分布マップの作成時における比較検証を考慮し、調査に関係する情報は記録として、残すこととした。

(1) 空間線量率の測定及び土壌採取

平成 23 年 6 月 4 日から 6 月 14 日の第一期調査では、各調査地点で、空間線量率の測定、土壌採取を実施した際に、以下の情報を図 3-6、図 3-7 に示す「作業実施記録」及び「土壌調査サンプリングシート」（以下、「サンプリングシート」という。）に手書きで記録した。

- ・ 作業を実施したチーム、構成員
- ・ 測定（採取）日時
- ・ 調査地点の位置情報として、GPS で測定された緯度・経度情報、住所、施設等
- ・ 空間線量率の測定については、使用したサーベイメータ（型式、製造番号、認識番号など）、測定した線量率、校正定数、天候
- ・ 土壌採取については、採取地点のメッシュの認識番号、採取者、土地の使用状況、各容器の表面線量率
- ・ 土壌を採取した場所について、目標となる目印（施設等）、目印からの距離等を特定できる略図

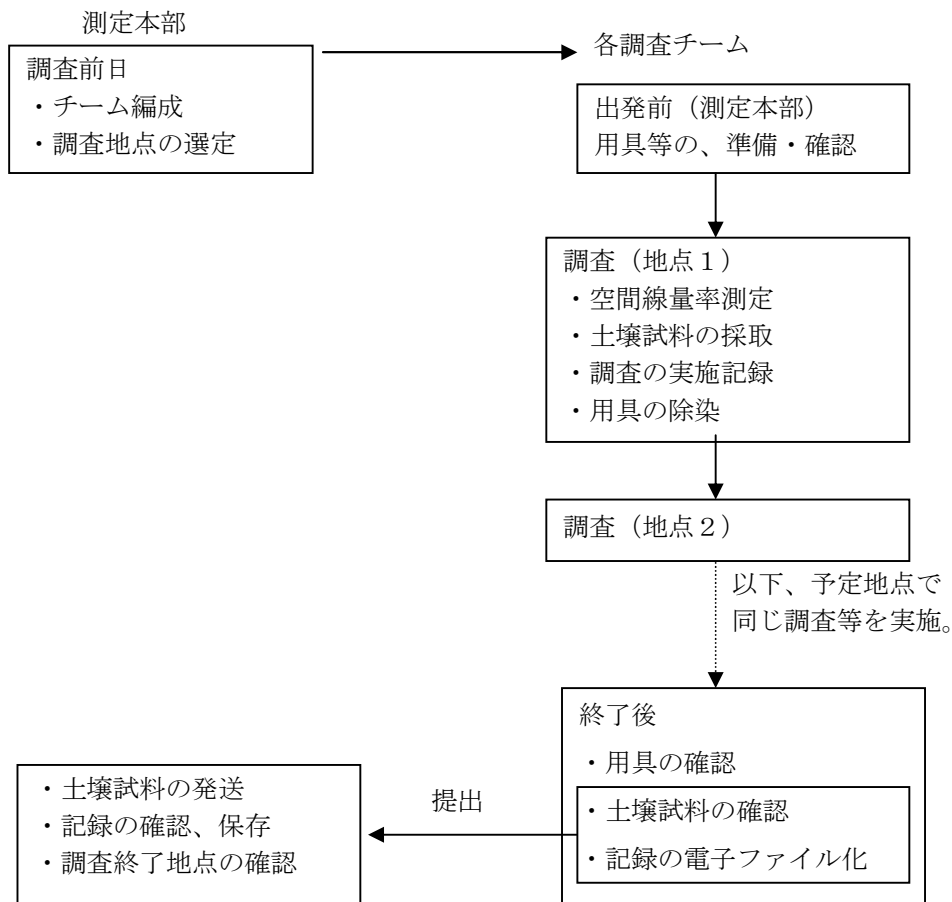
なお、作業実施記録は、各調査箇所の作業を記録するもので、サンプリングシートは各チームの調査日ごとの情報を取りまとめたものである。サンプリングシートは、調査終了後、測定本部において、電子ファイル化して保存した。手書きの作業実施記録についても、各調査の全日程が終了後に PDF ファイルとして電子化して保存した。

この他、空間線量率の測定及び土壌採取では、調査場所の状況確認も重要であったため、土壌採取地点の全景、土壌を採取した場所、地面の状態、採取した容器の写真を撮影した。撮影した画像は、サンプリングシートと同様に、図 3-8 のフォーマットで電子ファイル化して保存した。

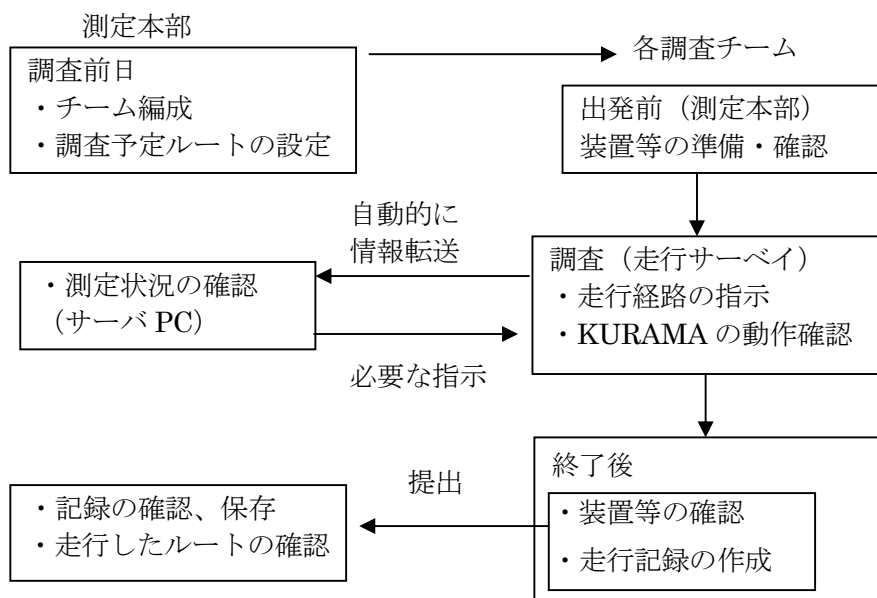
(2) 走行サーベイによる連続的な空間線量率の測定

走行サーベイでは、マップ化の基礎となるデータは、10 秒ごとに自動的に取得し、測定本部のサーバとした PC へ転送された。そこで、図 3-9 に示すフォーマットに下記の情報を記録した。

- ・ 作業を実施したチーム、構成員
- ・ 測定日時
- ・ 使用した車（車両ナンバー）、走行区域、走行サーベイコースの概略
- ・ 線量率の測定については、使用したサーベイメータ（型式、製造番号、認識番号など）、サーベイメータの校正定数
- ・ 車外の校正試験を実施した際には、校正ポイントにおける、車内外で測定した空間線量率の測定結果、両者の結果の比を記録



(a) 各調査地点での空間線量率の測定及び土壌の採取



(b) 走行サーベイ (KURAMA システムの使用)

図 3-5 空間線量率の測定、土壌採取のフローチャート

表 3-2 空間線量率の測定、土壌採取及び走行サーベイに必要な携帯品

①空間線量率の測定及び土壌採取の実施に必要な携帯品	
1. 位置情報の把握、確認に係る携帯品	<ul style="list-style-type: none"> ・ 調査地点を示す地図 ・ GPS
2. 土壌採取用具	・ U-8 容器
	・ 採土補助器
	・ 100cc 試料円筒管
	・ 移植ゴテ
	・ プラスチックナイフ (使い捨て)
	・ 木槌 (または金槌)
	・ 混合用ポリエチレン袋
	・ 試料を封入するポリエチレン袋 (ジップロック)
	・ ラベル (採取した調査地点のメッシュ ID を記入して貼付)
・ ダンボール (同一の調査地点で採取した試料を梱包)	
3. 深さ 30cm の土壌を採取する用具 (報告書 2 部参照)	・ 鉄パイプ (30cm)
	・ 鉄パイプ用キャップ、発砲スチール棒
	・ 木板
4. 汚染防止・除染用具	・ おしぼり (使い捨て)、ウェットティッシュ、濡らした紙ウエス
	・ 手袋 (綿、ゴム)
	・ マスク
	・ ゴミ袋 (使用済みの手袋、ポリエチレン袋を捨てる)
5. 線量測定機器	・ NaI (Tl) シンチレーション式サーベイメータ (校正済み)
	・ 電離箱式サーベイメータ (校正済み) (30 μ Sv/h 以上の空間線量率となる調査地点で測定を実施する可能性のあるチームのみ)
6. 高さ位置合わせ用の器材	・ 地表面から 1m の高さを測れるもの (カメラの三脚またはコンベックス、ロープなど)
	・ メジャー (50m 程度、測定位置の記録にも使用)
7. 被ばく線量管理	電子式個人線量計
②走行サーベイの実施に必要な携帯品	
1. 走行サーベイスystem	・ KURAMA システム一式
2. 地図	・ 地図
3. 汚染防止・除染用具	・ ウェットティッシュ、手袋
4. 被ばく線量管理	・ 電子式個人線量計

I. 空間線量率(1センチメートル線量等量率)の測定及び土壌試料の採取実施記録

記録シートID:

班名	班			測定(採取) 日時	年月日	年 月 日
構成員の氏名 (番号は確認者コード)	①				時刻	時
	②					
	③					
測定(採取)場所	緯度(北緯) <60進表記>			経度(東経) <60進表記>		
	度	分	秒	度	分	秒
	N °	'	"	E °	'	"
住所						
確認者						

注1) GPSは採取場所を60進表記で測定するよう設定し、秒は小数点以下1位まで記入(四捨五入しない)。

II. 空間線量率(1センチメートル線量当量率)測定記録

測定器の型式 及び識別番号等	<input type="checkbox"/> NaI(Tl)シンチレーション式	測定方法	γ線: サーベイ法
	<input type="checkbox"/> 電離箱式(30μ Sv/h以上の場合)	バックグラウンド値	(μ Sv/h)
	型式	校正定数 (校正年月日)	(平成 年 月 日)
	識別番号	(校正線源)	()
		(校正有効期限)	(平成 年 月 日)

読み値(μ Sv/h)	線量当量率(μ Sv/h)	天候・特記事項	確認者

注1) 測定位置は、地表から約1mの高さとし、カメラの三脚等で固定する、腕を伸ばすなどの状態で測定する。

注2) 線量当量率(μ Sv/h)は、読み値(μ Sv/h)×測定器の校正定数

III. 土壌試料採取状況記録

資料番号		採取者	
容器種別	<input type="checkbox"/> U-8型	土壌の種類 (容器の写真撮影)	<input type="checkbox"/> 済
線量当量率(μ Sv/h) (土壌試料採取容器表面)	①	②	③ ④ ⑤
地目 (土地の使用状況)	水田・畑・樹園地(果樹園・桑園・茶畑)・草地・荒地・裸地・ その他(); (土地の使用状況:)		

番号	チェック項目	確認者
1	測定点が私有地である場合について、事前に許可は得られているか。	
2	周囲約5mまでに大きな遮蔽物(車、建物等)がないこと。	
3	周囲約3×3mまでに急激な線量当量率の変化(数倍以上)がないこと。	
4	容器表面、封入袋への資料番号および採取年月日等の情報のラベリング	
5	土壌試料採取後の容器、採取器類の除染の実施	
6	土壌採取地点を含む周辺環境がわかる写真を撮影したか。	

図 3-6 空間線量率の測定及び土壌採取の記録用フォーマット(作業実施記録(その1))

IV. 土壤試料地点の略図

※目標となる目印、目印からの距離等、試料採取の場所が特定できるようにすること。
特記事項

図 3-6 空間線量率の測定及び土壤採取の記録用フォーマット(作業実施記録(その 2))

土壌調査サンプリングシート

採取日時(ex. 2011/06/27)

班名

番号	標準識別コード	測定点コード		測定日 年月日	採取時刻		採取座標(GPS) <60進表記>				GPS	空間線量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	地表面線量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	地表面線量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	想入線量計	天候	測定点住所			備考	班名			
		緯度方向 (N)	経度方向 (W)		時	分	北緯 (度)	北緯 (分)	北緯 (秒)	東経 (度)							東経 (分)	東経 (秒)	市・郡・町			県名	大字・字	
記番号	20110622.0035	16	32	2011/6/27	13	38	36	50	42.3	140	25	1.4	002	1.6	3.2	2	晴時々り	福島県	双葉郡大熊町	大字〇字〇〇	高山公民館	この行は記入例です	3	
1																								
2																								
3																								
4																								
5																								
6																								
7																								
8																								
9																								
10																								
11																								
12																								
13																								
14																								
15																								

図 3-7 空間線量率の測定及び土壌採取の記録用フォーマット(土壌採取サンプリングシート)



NO.
全景



NO.
採取位置



NO.
表層の状態

図 3-8 土壌の採取場所の写真記録例

走行サーベ－記録用紙

I. 測定チーム

チーム名			平成 年 月 日
構成員の氏名 (番号は確認者コード)	① (総括)	測定日時	時 分 発
	②		時 分 着
	③ (運転手)	車両ナンバー	
走行地域		確認者 (本部員)	

II. サベ－メーター

測定器の型式 及び識別番号 等	<input type="checkbox"/> NaI(Tl)シンチレーション式	測定方法	γ線: サベ－法
	<input type="checkbox"/> 電離箱式 (30 μSv/h以上 の場合) 型式 識別番号	バックグラウンド値	(μSv/h)
		校正定数 (校正年月日) (校正線源) (校正有効期 限)	(平成 年 月 日) () (平成 年 月 日)
校正ポイントにおける線量率 (測定前) (車外) 測定値 _____ (μSv/h) x 校正定数 _____ = 空間線量率 _____ (μSv/h) (車内) 測定値 _____ (μSv/h) x 校正定数 _____ = 空間線量率 _____ (μSv/h) (遮蔽係数) 車内線量率 / 車外線量率 = _____			
校正ポイントにおける線量率 (測定後) (車内) 測定値 _____ (μSv/h) x 校正定数 _____ = 空間線量率 _____ (μSv/h)			

図 3-9 走行サーベ－の記録用フォーマット

4. 空間線量率マップ及び土壌濃度マップの作成結果

4.1 空間線量率マップ及び土壌濃度マップの作成方針

今回の調査では、空間線量率ならびに土壌に沈着した放射性核種の単位面積あたりの放射エネルギー（ここでは土壌濃度と呼ぶ）をマップ化したが、マップの作成にあたっては、マップ検討会での議論を踏まえ、以下の点を考慮することとした。

- ・ 2次元平面に離散的に分布するデータに関するマップ作成においては実測等で得られたデータ間の内挿や外挿を行い、等値線図の形でマップを表すことが広く行われている。
- ・ 等値線図は任意の地点での情報が得られるために便利なデータ表示方法であるが、データが存在しない地点のデータを内挿等により推定することが必要であり、推定された値が実際の値と大きく乖離することがあり得る。また、等値線図では実際にどの地点で測定が行われたのかも明確でない。

このような観点から、今回作成する空間線量率マップ及び土壌濃度マップは、測定結果が得られた調査箇所にて測定値をそのままプロットし、内挿等の処理を行わないこととした。

マップ作成には、インターネットで公開されている Google Map 等は使用せず、国内の正確な地理情報を有する国土地理院の地図を用いることとした。

空間線量率マップ及び土壌濃度マップは、調査箇所にて測定された GPS 情報から得られた地点を地図上にプロットし、プロットのマークの色を空間線量率あるいは放射性核種の放射能濃度の範囲により分類した。

走行サーベイによる空間線量率の測定結果については、10 秒ごとに取得した GPS 情報から得られた点を地図上にプロットし、プロットのマークの色を前後 3 秒間に測定された空間線量率の平均値の範囲により分類した。空間線量率あるいは放射性核種の放射能濃度の範囲の設定方法は、それまでに公表していた航空機モニタリングの測定結果の範囲に合わせることにした。

4.2 空間線量率マップ

4.2.1 土壌採取箇所における空間線量率の測定結果

3.6 節に記載したとおり、土壌採取箇所において、サーベイメータを用いて、地表面から 1 m の高さの空間線量率を測定するとともに、GPS からの緯度・経度情報を読み取り、これらのデータは記録用紙に手書きで記入した。空間線量率の測定、土壌採取より戻った後、測定を行った班員はこれらの情報をフォーマットの決まったサンプリングシートで PC に保存することが義務づけられた。このサンプリングシートを集約し、手書きの記録シートの記載内容を確認した上で、得られた測定結果を基にマップを作成した。なお、いくつかの調査箇所については、GPS の測定ミス、記載ミス等により、記録された緯度・経度情報が不適当な箇所が確認されたため、このような場合には、調査箇所の写真、測定地点名、調査時点に手書きで記した調査地点周辺の地図等を参考に、緯度・経度情報の数値データの修正を行った。

本調査で作成した空間線量率マップは、調査を実施した平成 23 年 6 月から 7 月において、

- ・ 空間線量率への寄与の大部分が放射性セシウム (Cs-134 及び Cs-137) によるものであること
- ・ 測定期間中 (平成 23 年 6 月 4 日～7 月 8 日) の放射性セシウムの物理的減衰に伴う空間線量

率の減少は2%程度であり、この数値は測定器の有する誤差（JIS 公証で-30%～+15%）よりも十分に低いこと

を考慮し、減衰を考慮した特定日への換算は行わず、測定した日の測定結果をそのまま使用することとした。

空間線量率マップを図4-1に示す。マップ上に示した空間線量率は、それまでに公表していた航空機モニタリングの測定結果と同様に0.1 μ Sv/h以下から19 μ Sv/hを超える範囲を9段階に分け、色別に表示した。その結果、福島第一原発から北西方向に空間線量率の高い地域があり、また福島県中央部の郡山盆地に沿って相対的に空間線量率が高い地域が存在することが確認された。

また、地図上にプロットしたデータは、異常値の確認のため、文部科学省において7月2日に測定した空間線量率の測定結果、及び同時期にモニタリングを実施していた第3次航空機モニタリングの測定結果（5月31日～7月2日モニタリングを実施）と重ねて比較を行い、結果の妥当性について確認を行った。その結果、図4-2に見られるように、土壌採取地点における地表面から1mの高さの空間線量率の測定結果は、航空機モニタリングや他のモニタリング手法で測定された結果と同様の傾向を示していることが確認された。加えて、詳細に調査を実施した結果、スポット的に高い箇所が新たにいくつか確認された。

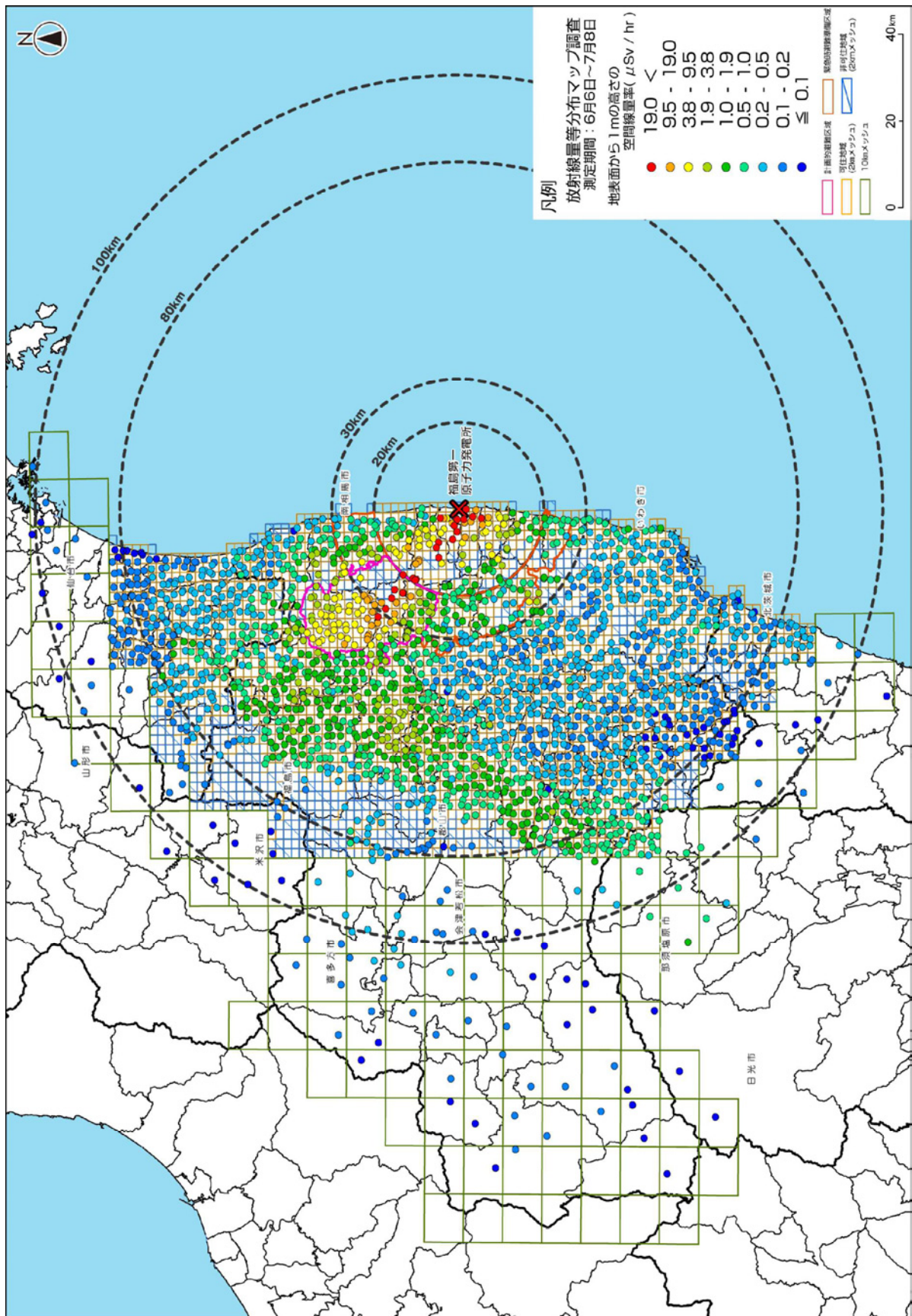


図 4-1 空間線量率マップ（土壌採取箇所における空間線量率の測定結果に基づく）

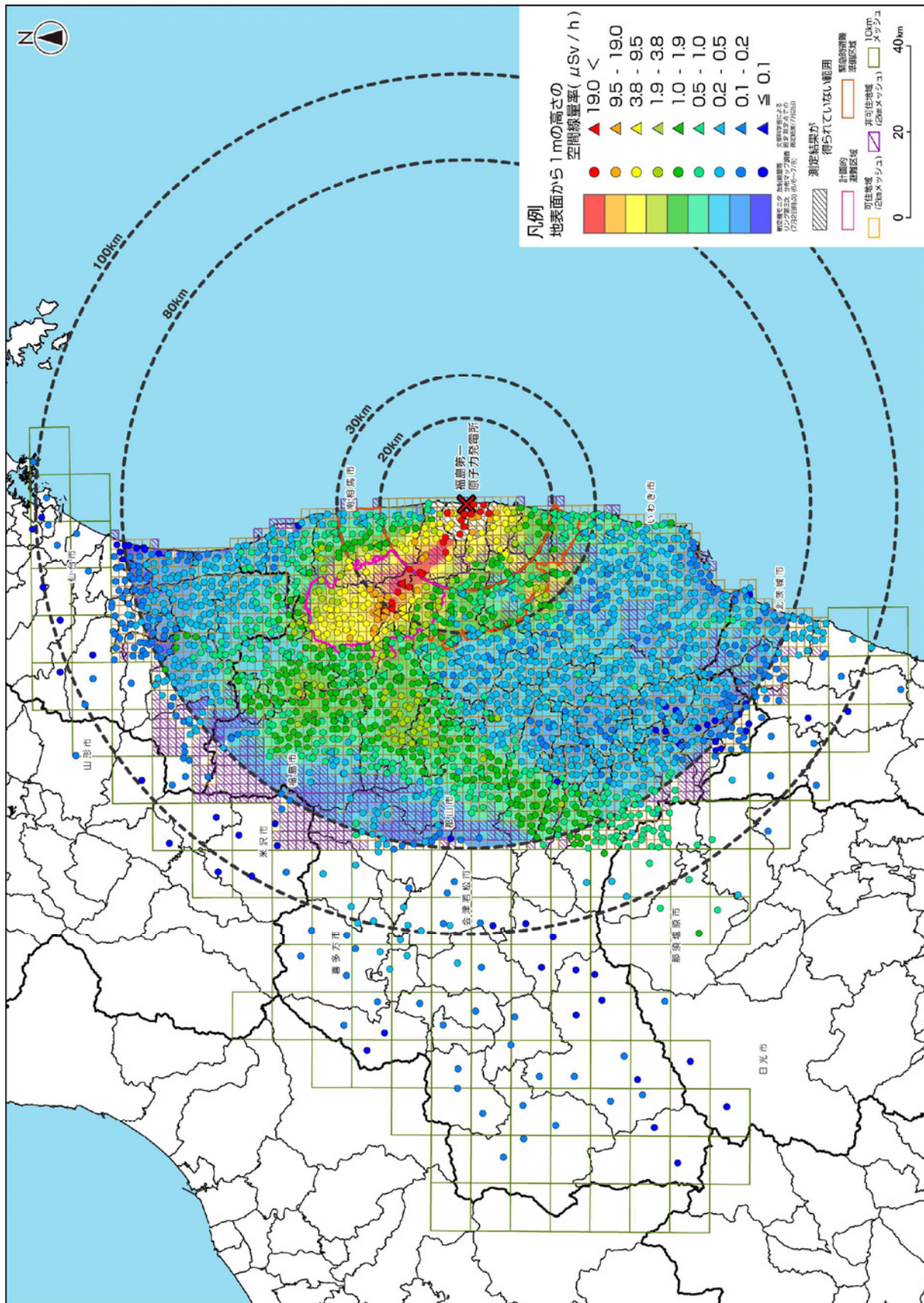


図 4-2 空間線量率マップ (第 3 次航空機モニタリングの測定結果、及び文部科学省によるモニタリングカーを用いた固定測定点での空間線量率の測定結果との比較)

4.2.2 走行サーベイによる連続的な空間線量率の測定結果

KURAMA システムから携帯回線を通して自動的に集計され、サーバ上に電子ファイルとして記録された GPS 情報と空間線量率データを基にマップを作成した。マップ作成にあたって、空間線量率の測定結果は、車内で測定された空間線量率を車外の地表面から 1m の高さの空間線量率の値に換算するため、3.4.2.2 において示したように校正定数 1.3 を全てのデータに乗じた値を使用した。

異常値の確認のため、いくつかの異なる観点から測定結果を確認した。まず、空間線量率の時系列図を参考に異常値のチェックを行った。その結果、NaI サーベイメータのアナログ出力端子と KURAMA システムとの接触不良等により発生するノイズによる異常値がある場合には、ノイズ発生前後と極端に異なるスパイク状の空間線量率の変化（その地点の直前の地点と比較して測定値が急激に増加し、その直後の地点で測定値が急激に減少）が見られることが判明した。このため、ノイズ発生時において、周囲に極端な空間線量率の変化をもたらす要因がなく、明らかにノイズによる空間線量率の異常値が確認された場合、その結果を除外することとした。さらに、同じく空間線量率の経時変化図を参照しながら、トンネル内の測定結果を抽出する作業を行った。トンネル内は周囲の他の環境と比較して、走行ルート上の放射性核種の放射能濃度が相対的に小さくなり、その地域の代表的な沈着状況を反映しているとは言えないため、トンネル内の測定結果は除去することとした。その他、走行ルートを地図上にプロットし、想定したルートから大きく外れていないかをチェックした。GPS の異常により、測定地点が道路上から大きく外れ、走行箇所の特が困難な場合には、その箇所の測定結果を除外することとした。

図 4-3 に走行サーベイによる連続的な空間線量率の測定結果をマップ上にプロットしたものを示す。マップ上に示した空間線量率は、図 4-1 と同様に $0.1 \mu\text{Sv/h}$ 以下から $19 \mu\text{Sv/h}$ を超える範囲を 9 段階に分け、色別に表示した。得られた測定結果は基本的に地図上のポイントとして示したが、縮尺が小さな地図では、複数の測定値が近辺に存在するため、このような場合は、500 m 四方に区切った範囲内の平均値を表した。

また、走行サーベイによる連続的な空間線量率の測定結果と航空機モニタリングの測定結果を比較し、測定結果の妥当性について確認を行った。その結果、図 4-4 に見られるように、KURAMA システムを用いた走行サーベイで得られた地表面から 1m の高さの空間線量率の測定結果は、全体の傾向として航空機モニタリングの結果と良く一致しているものの、航空機モニタリングでは観察することが困難な数 10m～数 100m 程度の局所的な空間線量率の変化を観察するのに有効であることが確認された。

さらに、走行サーベイによる測定では道路上の空間線量率を測定しているが、その測定結果が道路周辺の空間線量率をどの程度反映しているか調べるため、本調査で実施した土壌採取箇所のうち、走行サーベイを実施した道路から 300m の範囲内にある土壌採取箇所でも測定された空間線量率の測定結果と走行サーベイによる空間線量率の測定結果を比較した。その結果、図 4-5 に示すとおり、走行サーベイを実施した道路から 300m の範囲で測定された結果と全体の傾向として、良く一致していることが確認された。このことは、走行サーベイの結果は道路上の値ではあるものの、道路周囲の空間線量率をある程度反映した結果が得られることを示唆するものである。

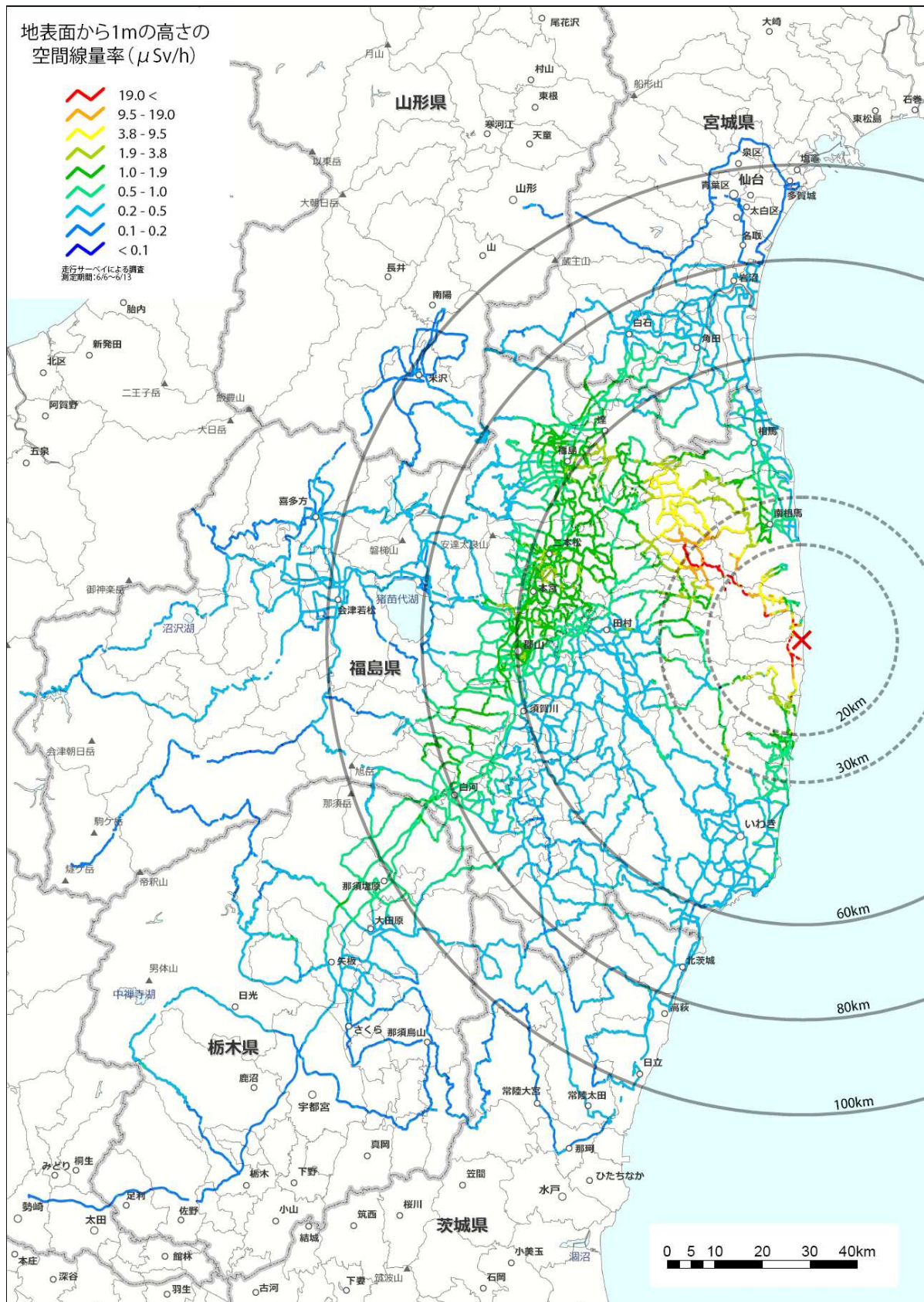


図 4-3 空間線量率マップ (走行サーベイによる連続的な空間線量率の測定結果に基づく)

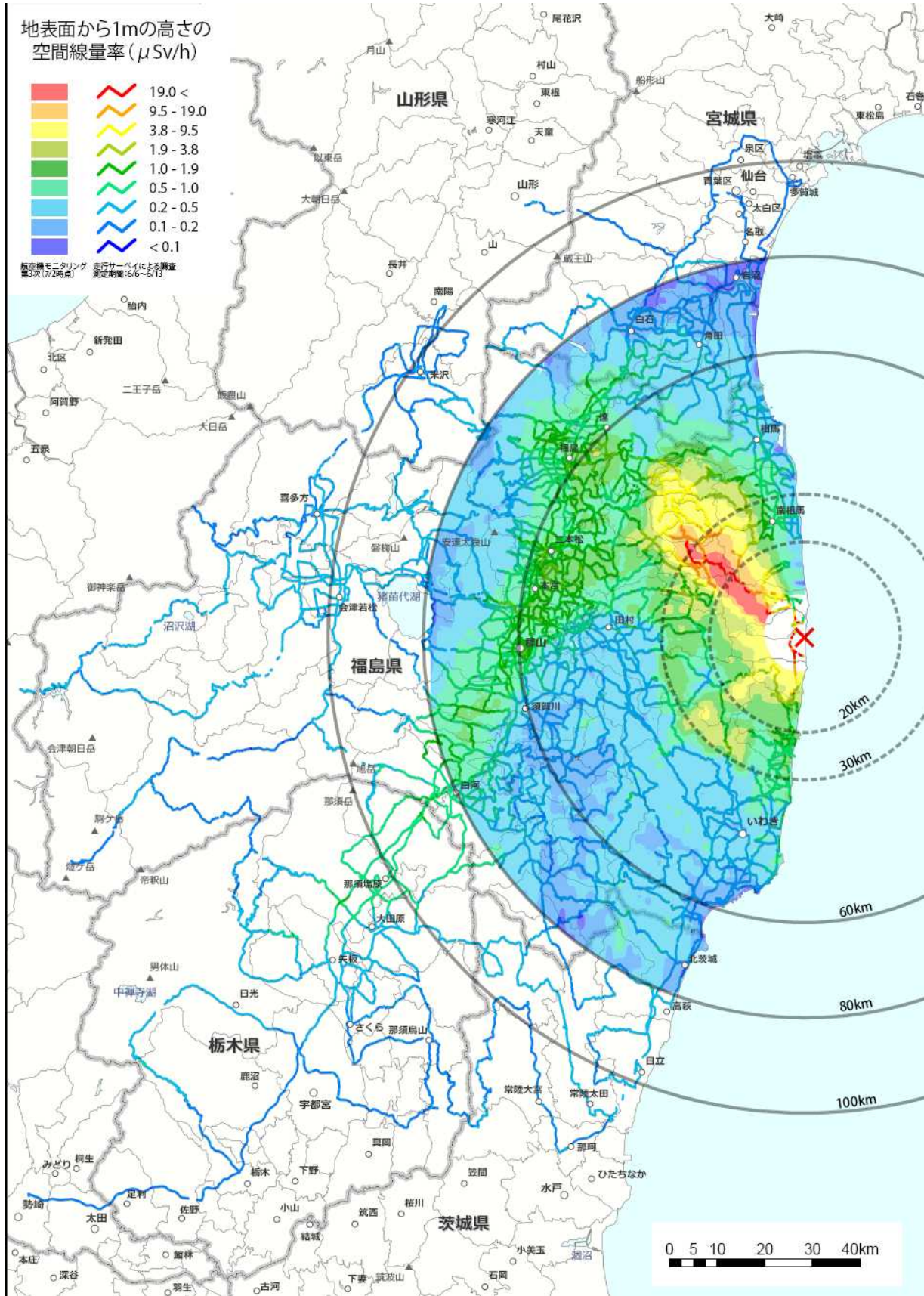
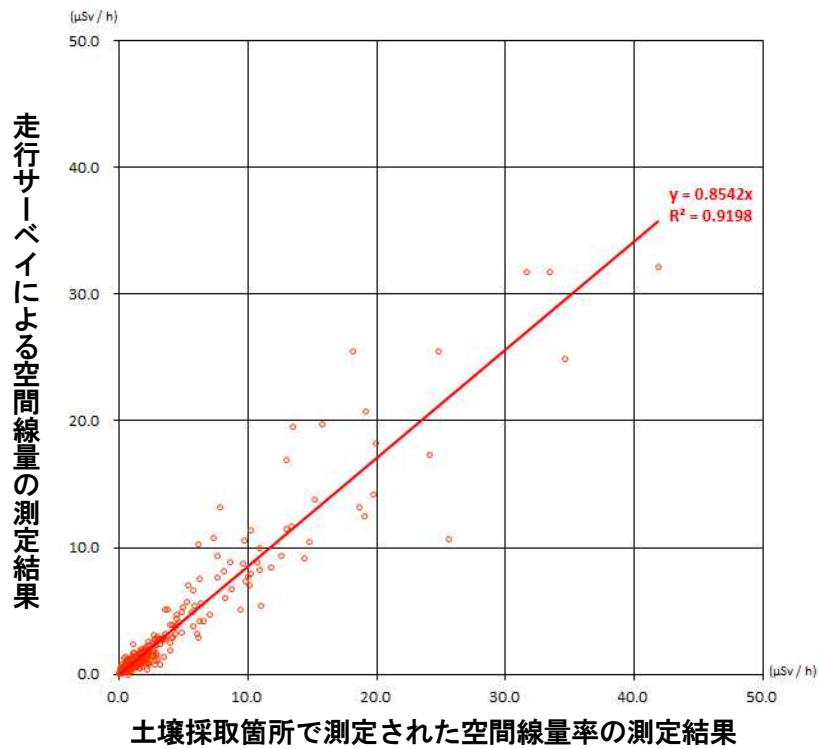


図 4-4 空間線量率マップ

(第 3 次航空機モニタリング結果と走行サーベイによる測定結果との比較)



(a) 走行サーベイによる空間線量率の測定結果を比較する土壌採取箇所の条件



(b) 道路周辺（走行サーベイを実施した道路から300mの範囲内）の土壌採取箇所で測定された空間線量率の測定結果と走行サーベイによる空間線量率の測定結果の比較結果

図 4-5 走行サーベイによる空間線量率の測定結果と道路周囲で測定された空間線量率の測定結果の比較

4.2.3 考察

(1) 総括的な考察

本調査の前後で多くの空間線量率の測定が行われ、空間線量率の分布マップがいくつか示されてきたが、本調査のように、信頼性のある測定器のみを用いるとともに、標準化された方法により、短期間で、広域かつ詳細に空間線量率が測定された例は他に存在しない。このため、本調査の結果は、事故発生後の比較的初期の広域かつ詳細な空間線量率の分布状況を表す貴重な測定結果である。

土壌採取箇所における空間線量率の測定は、ある程度の広さを持った攪乱のない土地を選んで行われたものであり、6～7月時点の放射性物質の蓄積量を反映した空間線量率の分布について、広域かつ詳細に確認することができた。

また、走行サーベイによる空間線量率の測定は、6月時点における人の生活環境の空間線量率について、広域かつ詳細に確認することができた。そのため、被ばく線量評価や今後の放射性物質の蓄積量の経時変化を追跡するための貴重な初期データとなることが期待される。

(2) 土壌採取箇所における地表面から1mの高さの空間線量率の測定結果の考察

図4-3に見られるように、土壌採取地点における地表面から1mの高さの空間線量率の測定結果は、航空機モニタリングや他のモニタリング手法で測定された結果と同様の傾向を示していることが確認された。また、詳細に調査を実施した結果、スポット的に高い箇所が新たにいくつか確認された。

(3) 走行サーベイによる連続的な空間線量率の測定に対する考察

図4-4に見られるように、走行サーベイの測定値から評価された地表面から1mの高さの空間線量率の測定結果は、全体の傾向は航空機モニタリングの結果と良く一致しているものの、航空機モニタリングでは観察が困難な数10m～数100m程度の局所的な空間線量率の変化を観察するのに有効であることが確認された。

また、走行サーベイによる空間線量率マップのデータを地形図に重ね合わせてみると、いくつかの傾向が確認できる。図4-6は福島第一原発から北西方向を眺めた3次元画像に走行サーベイデータを重ねたものである。図4-6(1)に見られるように、赤色で示された高線量の地点が放射性プルームの流れた方向に連続して存在する一方、その近辺では放射性プルームから離れると空間線量率が急激に低下する様子が観察される。場所により空間線量率が大きく変化するという、事故時の放射性核種の沈着状況の特徴を顕著に表している。

また、3次元画像を重ねることで、放射線の影響と地形の関係についても知見が得られる。図4-6(2)は、福島第一原発から北西方向に位置する浪江町の山間地において走行サーベイを実施した結果であるが、山の尾根を境にしてその北側と南側で空間線量率が明らかに異なり、放射性プルームが尾根を北側に迂回して流れたことを推測させる結果となっている。また、図4-6(3)は、福島市及び二本松市から北西方向の山岳地帯を眺めた3次元地図に走行サーベイの測定結果を重ねた結果であるが、盆地から山に向かって高度が高くなるにつれて、空間線量率が徐々に減少する傾向が明確に観察できる。なお、この傾向は、図4-7において、郡山及び須賀川地区を挟んで

北西方向を眺めた3次元地図に、土壌採取地点の地表面から1mの高さの空間線量率測定データを重ねた結果においても、図中で左右に広い領域にわたって緑色の丸印がプロットされた郡山盆地から、手前ならびに奥側の山岳地帯に向かって高度が高くなるにつれて、空間線量率が減少する傾向が確認されている。

これらのデータは、今後、福島第一原発事故における放射性プルームの流れや沈着の経路を解析して行く上で、重要なデータである。

(4) 走行サーベイによる連続的な空間線量率の測定結果と航空機モニタリングの測定結果の比較に対する考察

走行サーベイの測定値から評価された地表面から1mの高さの空間線量率の測定結果は、全体の傾向は、同時期に実施していた第3次航空機モニタリングによる地表面から1mの高さの空間線量率の測定結果と良く一致しているものの、航空機モニタリングより詳細な空間線量率の分布傾向が確認された。

なお、航空機モニタリングによる空間線量率の測定結果と走行サーベイによる空間線量率の測定結果の違いについて確認するため、走行サーベイによる空間線量率の測定結果に対する航空機モニタリングによる空間線量率の測定結果の比率と各比率の頻度(左側)及び累積頻度割合(%) (右側)の関係を調べたところ、図4-8のように、走行サーベイによる空間線量率の測定結果は、航空機モニタリングで測定された空間線量率の測定結果の1/3から2倍を超えるような箇所も確認されているが、測定結果の大部分は3割程度のずれで良く一致していることが確認された。

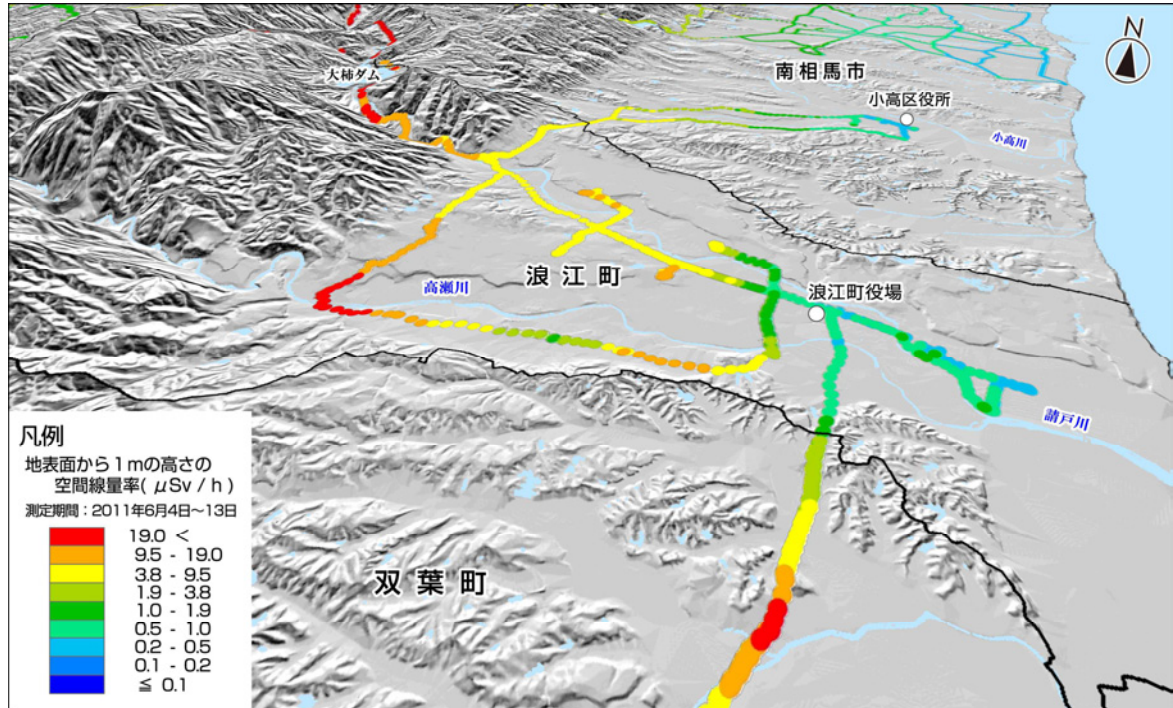


図 4-6(1) 走行サーベイによる測定結果の3次元画像表示
 - 福島第一原発より北西方向を眺める -

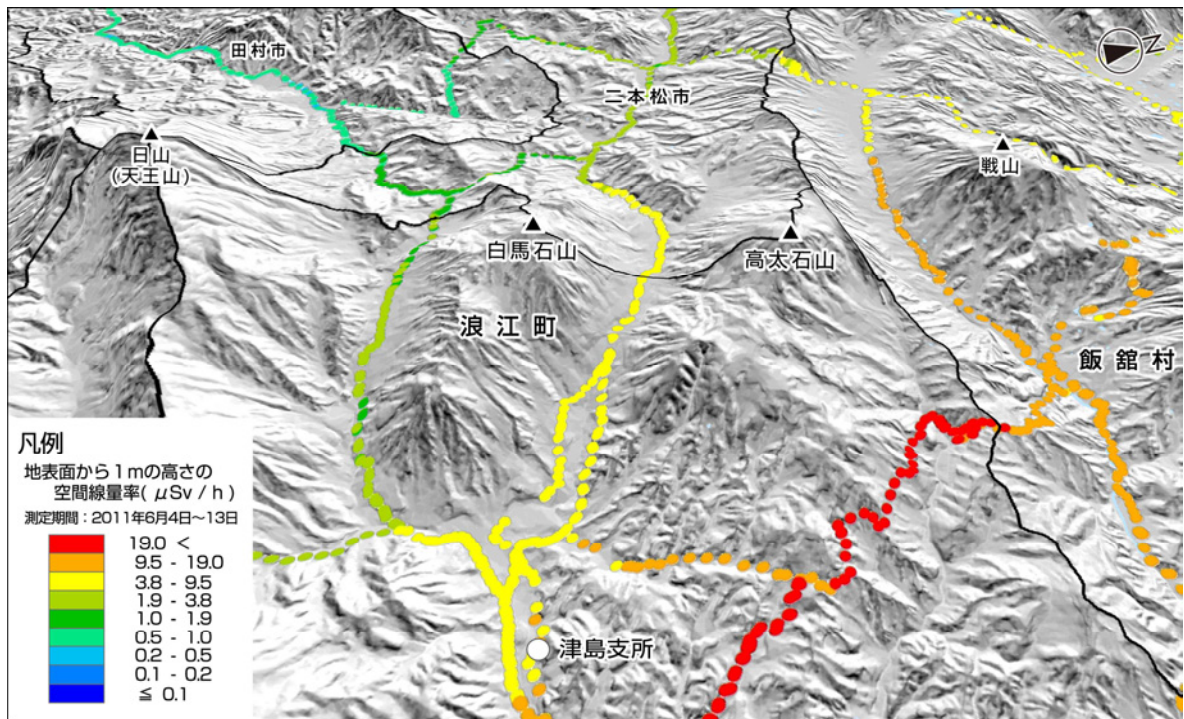


図 4-6(2) 走行サーベイによる測定結果の3次元画像表示
 - 浪江町の山間部を眺める -

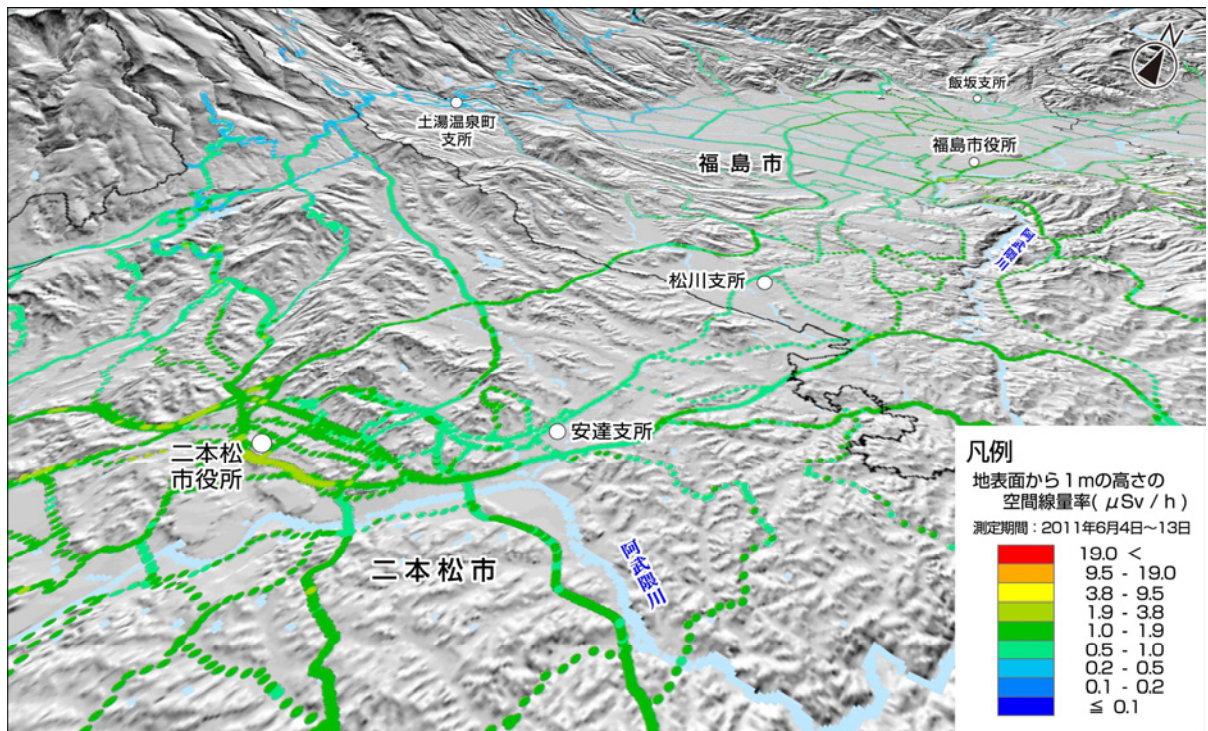


図 4-6(3) 走行サーベイによる測定結果の3次元画像表示
 - 福島市及び二本松市から北西方向を眺める -

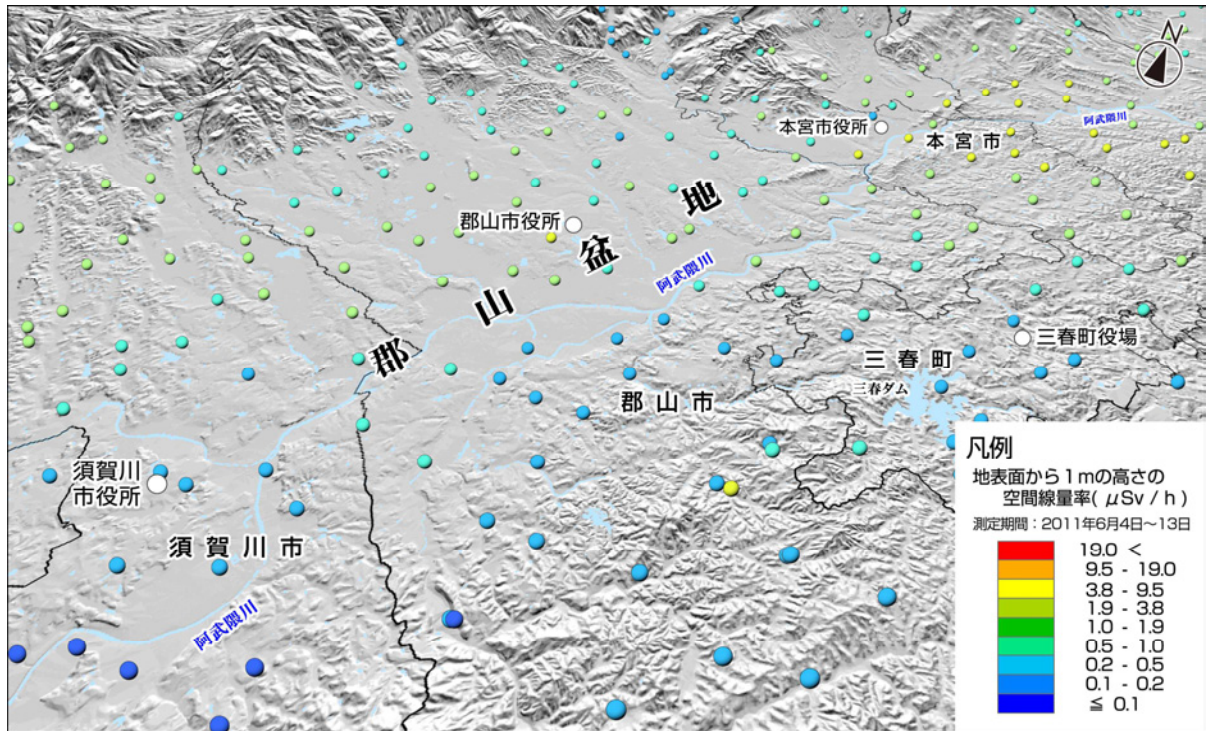


図 4-7 土壌採取箇所での空間線量率の測定結果の3次元画像表示
 - 郡山及び須賀川地区を挟んで北西方向を眺める -

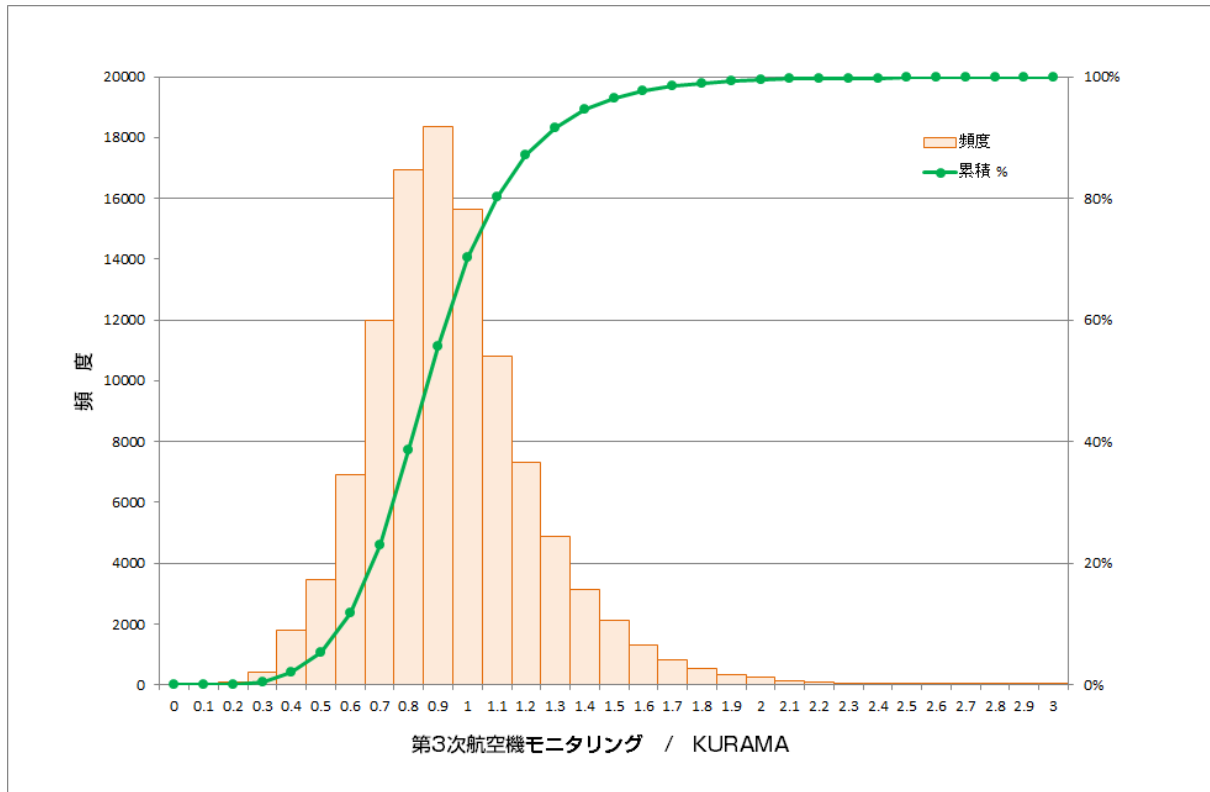


図 4-8 第3次航空機モニタリングにおける空間線量率の測定結果 ($\mu\text{Sv/h}$) と KURAMA システムを用いた走行サーベイによる空間線量率の測定結果 ($\mu\text{Sv/h}$) の比較

4.3 放射性セシウムの土壌濃度マップ

4.3.1 放射性セシウムの核種分析結果

21 の分析機関が Ge 半導体検出器を用いて、約 2,200 箇所の調査箇所にて採取された土壌試料約 11,000 試料の放射核種分析を行った結果を基に、放射性セシウムの土壌濃度マップを作成した。

それぞれの測定結果は、試料ごとの測定により得られた Ge 半導体検出器のスペクトルのピーク値から、検出器ごとに評価した検出効率校正曲線を用いて、攪拌した土壌試料の全放射エネルギーを測定し、約 100ml の U-8 容器の上部の表面積 (19.6cm^2 : 5cm φ の円) を考慮して換算することで、土壌濃度マップの基礎データとなる沈着量 (放射性セシウムの単位面積あたりの放射エネルギー (Bq/m^2)) を得た。

なお、定量にあたっては、土壌試料の自己吸収補正ならびにサムピーク効果の補正を実施した。また、Ge 半導体検出器のスペクトル解析において、バックグラウンド計数誤差の 3 倍以上に相当するカウントを該当ピークが持つ場合に、統計的に有意な測定値が得られたと判断した。

事前調査により、地表面に沈着した放射性セシウムと I-131 は、地表面上層の数 cm 以内にほとんどが含まれていることが確認されており、この結果を基に U-8 容器を用いて深さ 5cm 強の土壌を採取することで土壌に沈着した放射性物質の総放射エネルギーを評価することが可能であると判断した。測定にあたっては、土壌試料中の放射能濃度の分布の不均一性が誤差に繋がることを考慮して、前述したように、よく攪拌した試料を分析することを原則とした。

また、測定日が異なるため、土壌採取及び空間線量率測定を実施した期間のほぼ中間となる、第 1 回調査の最終日である平成 23 年 6 月 14 日時点で放射能濃度を換算した。

4.3.2 放射性セシウムの土壌濃度マップの作成及び考察

(a) Cs-134 及び Cs-137 の土壌濃度マップの作成

本調査における放射性セシウムの核種分析結果に関しては、全ての土壌試料について、統計的に有意な測定結果が得られた。そこで、放射性セシウムの土壌濃度マップの作成にあたっては、各調査箇所における土壌に沈着した放射性セシウムのばらつきの影響を少なくするため、各調査箇所にて採取された最大 5 試料の Cs-134 と Cs-137 の沈着量をそれぞれ算術平均して、各調査箇所の土壌に沈着した放射性セシウムの沈着量とした。なお、警戒区域内での作業等の事情により採取試料が 5 試料より少ない測定箇所が存在したが、これらの調査箇所の測定結果は、採取された全ての試料の核種濃度の平均値を用いた。

各調査箇所の位置情報は、4.2.1 の空間線量率の測定結果をプロットした箇所と同一箇所に、単位面積あたりの放射エネルギーの範囲に応じて色分けしてプロットした。

図 4-9 に Cs-134 と Cs-137 の土壌濃度マップをそれぞれ示す。マップ上に示した沈着量は、それまでに公表していた航空機モニタリングの測定結果と同様に沈着量が $10\text{kBq}/\text{m}^2$ 以下から $3,000\text{k Bq}/\text{m}^2$ を超える範囲で 9 段階に分け、色別に表示することとした。Cs-134 と Cs-137 の分布状況は非常によく一致しているとともに、4.2 における空間線量率の分布とも良く似た様相を示していることが確認された。

また、同時期に実施していた第 3 次航空機モニタリングの測定結果と放射性セシウムの土壌濃度マップの結果を比較したところ、図 4-10 に見られるように、本調査で測定された放射性セシウ

ムの沈着量は、局所的には測定結果の違いはあるものの、全体の傾向としては、航空機モニタリングで測定された結果と同様の傾向を示していることが確認された。

(b) Cs-134 と Cs-137 の放射能濃度の相関関係

土壌試料から定量された Cs-134 と Cs-137 の放射能濃度の相関を図 4-11 に示す。本図は全ての分析機関の測定結果を重ねて示したものがあるが、Cs-134 と Cs-137 の放射能濃度は全般に良い相関を示しており、測定機関による核種分析結果の変動、地点による Cs-134 と Cs-137 の放射能濃度の変動も小さいことが確認された。この結果は Cs-137 と Cs-134 の事故後の挙動が同様であることを裏付けるものである。なお、本調査の結果、6 月 14 日時点における Cs-137 の放射能濃度に対する Cs-134 の放射能濃度の比率の平均値は 0.92 であり、Cs-137 の放射能濃度がわずかに大きいという結果が得られた。

(c) 測定結果の妥当性の確認

採取した全土壌試料の中から 3%程度の土壌試料 (275 試料) をランダムに選択し、それらの試料について、日本分析センターと測定に参加した各大学、あるいは東京大学と各大学で核種分析結果の比較 (以下、「クロスチェック」という。) を実施した。このうち、IAEA が主催する proficiency test において、IAEA が提供した土壌試料等を精度良く分析した実績があり、高い精度で分析する能力があることが示されている、日本分析センターの測定結果に対する、その他の分析機関の測定結果の比率のばらつきを図 4-12 に示す。

その結果、個々の試料に対する測定結果を比較したところ、日本分析センターの測定結果に対する他の機関の測定結果の平均比率は Cs-134、Cs-137 双方とも 0.98、標準偏差は Cs-134 で 0.16、Cs-137 で 0.18 であった。また、各調査箇所 で採取された 5 試料の測定結果の平均値を比較したところ、日本分析センターの測定結果に対する他の機関の測定結果の平均比率は Cs-134 で 0.97、Cs-137 で 0.98 であり、標準偏差は Cs-134 で 0.12、Cs-137 で 0.11 であった。一部の箇所の 5 試料の平均値は最大 30%程度の違いはあるものの、標準偏差は概ね 0.1 程度の範囲内であり、全ての分析機関間で相互に信頼のおける測定が行われたことを確認できた。また、図 4-11 に示したように、Cs-134/Cs-137 の放射能濃度の比率が測定機関によって変化しないことも、測定結果の信頼性を示すものである。

なお、本測定結果の妥当性の検証のため、土壌採取箇所から、空間線量率が比較的広い範囲を含むように選定した 7 箇所において、Ge 半導体検出器による in situ 測定 (以下、「in situ 測定」という。) を実施し、各箇所について Ge 半導体検出器で得られた放射能濃度の測定結果を比較した。その結果、in situ 測定から評価した土壌中の放射性セシウムの放射能濃度と、土壌試料から定量した放射能濃度とを比較したところ、表 4-1 に示すとおり、各調査箇所 で採取された 5 試料間の放射能濃度のばらつきが小さい調査箇所 (A, D, E, F, G) においては、数十%以内の誤差で濃度が一致した。

(d) 同一箇所 で採取した試料間の放射能濃度の変動の確認

同一箇所 で採取・測定した 5 試料間での放射能濃度の変動を確認するため、3.2.3 で記す条件

を満たす 3m×3m の範囲にある同一の調査箇所内において採取された 5 試料の放射能濃度の平均値に対する標準偏差の比率（変動係数）について頻度分布を示した結果を図 4-13 に示す。

その結果、変動係数の平均値は 36% で、中には 100% を越える場合もあり、全体に大きな変動があることが確認された。これは、事故時に地表面に降下した放射性物質の分布は、降下状況の違い、採取した土質の違い、及び土壌内に含まれる有機物の存在等の要因により、数 m 以内の狭い範囲内でも相当に不均一に分布したことを示唆するものである。

(e) 土壌に沈着した放射性セシウムの沈着量から算出される空間線量率の評価

核種分析結果に基づく放射性セシウムの沈着量（単位面積あたりの放射エネルギー (Bq/m²)）から、換算係数を用いて地表面から地 1m の高さの周辺線量率を評価し実測値と比較した。本時点では、空間線量率への寄与は Cs-134 と Cs-137 が支配的であるため、この二つの放射性核種のみを考慮した。評価にあたっては、以下の 3 種類の土壌の放射能濃度から周辺線量当量率への換算係数を用いた（表 4-2）。

①IAEA-TECDOC-955 及び IAEA-TECOC-1162 に記載された換算係数

国際原子力機関(IAEA)の二つの技術報告書 IAEA-TECDOC-955「原子炉事故中の防護行為の決定のための一般的評価手順」及び IAEA-TECOC-1162「放射線緊急事態時の評価及び対応のための一般的手順」に示された換算係数。放射性セシウムの地中分布条件は文献からは不明である。

②本調査の結果のために新たに設定した換算係数（Saito 1）

Saito 1 は地中の 0.5 g/cm² 深さにある無限平面線源を想定して、モンテカルロ法を用いて算出した換算係数。

③本調査の結果のために新たに設定した換算係数（Saito 2）

Saito 2 は、土壌中に放射性物質は浸透しておらず、平面線源が地表面にあることを想定して Saito 1 の値に土壌の厚さ（表層から深さ 0.5 g/cm²）での減弱効果を補正する値 1.6 を乗じた換算係数。

これらの 3 種類の異なる換算係数を用いて評価した空間線量率と地表面から 1m の高さで実際に測定された空間線量率の測定結果（以下、「実測値」という。）との比較を表 4-3 に示す。IAEA-TECDOC-1162 にある換算係数並びに Saito 1 の換算係数を用いた場合、実測値のほうが換算係数から算出された評価値より高くなる傾向にあった。Saito 2 の換算係数を用いた場合、逆に評価値が実測値より高くなる傾向にあった。このことから、現状では、地中の平面線源で近似すると 0 と 0.5 g/cm² の間の深さに線源があると見なせる状態にあると判断できる。

他方で、図4-14に示したように、調査箇所ごとの空間線量評価値と実測値の評価値との関係を見ると、IAEA-TECDOC-1162あるいはSaito 1の換算係数を用いた場合、実測値より評価値が大きいものの、空間線量率と放射能濃度の間の相関が確認された。従って、条件に合った適切な空間線量率の換算係数を用いれば、空間線量率と土壌の放射能濃度の関係付けを行うことは可能であると考えられる。なお、本調査の結果、各調査箇所所で測定された放射性セシウムの放射能濃度と空間線量率との関係においては、図4-15に示すとおり正の相関性が確認されている

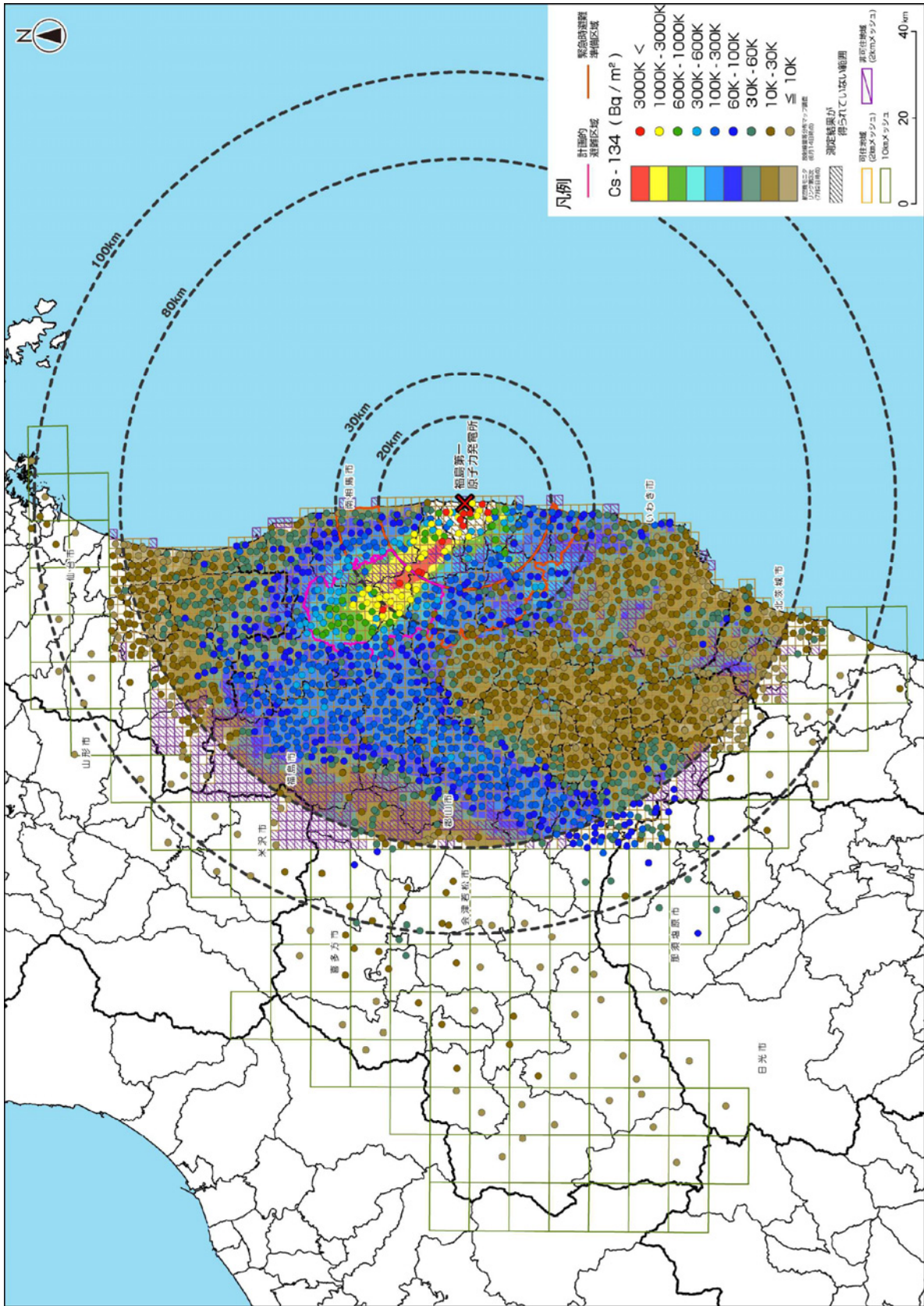


図 4-10(a) セシウム 134 の土壌濃度マップ (第 3 次航空機モニタリングの測定結果との比較)

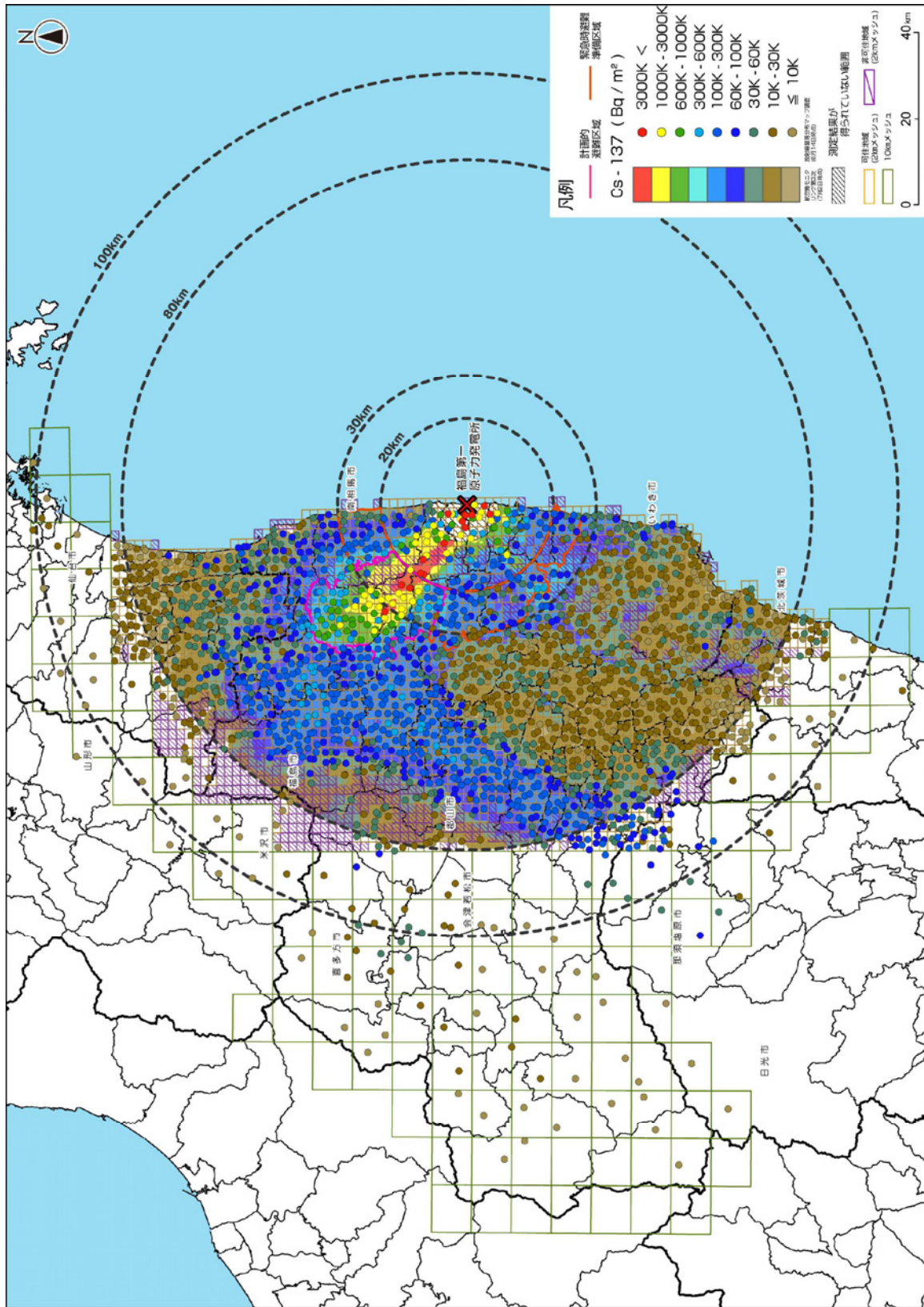


図 4-10(b) セシウム 137 の土壌濃度マップ (第 3 次航空機モニタリングの測定結果との比較)

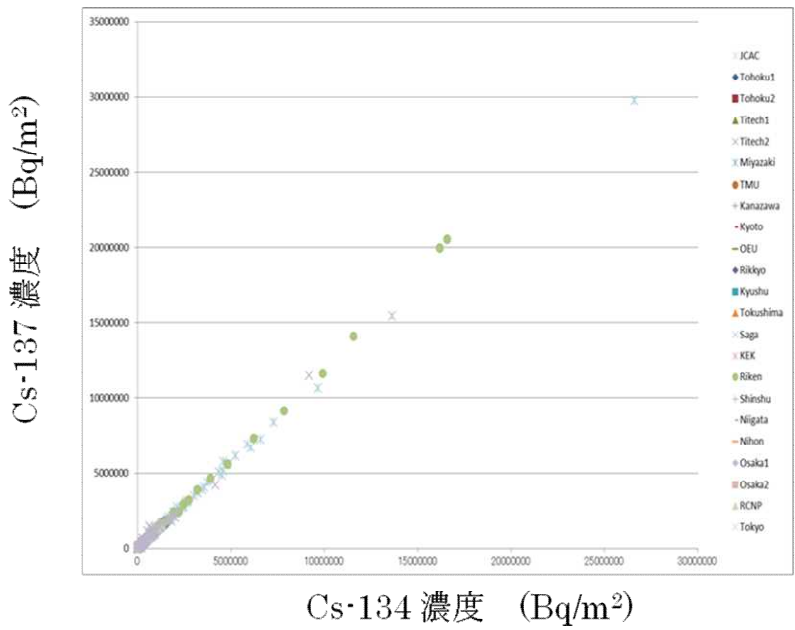
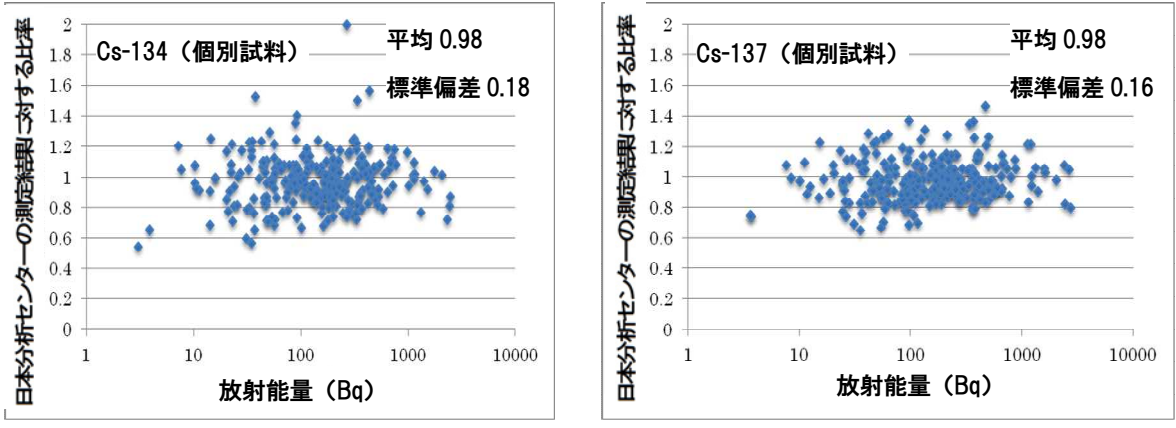
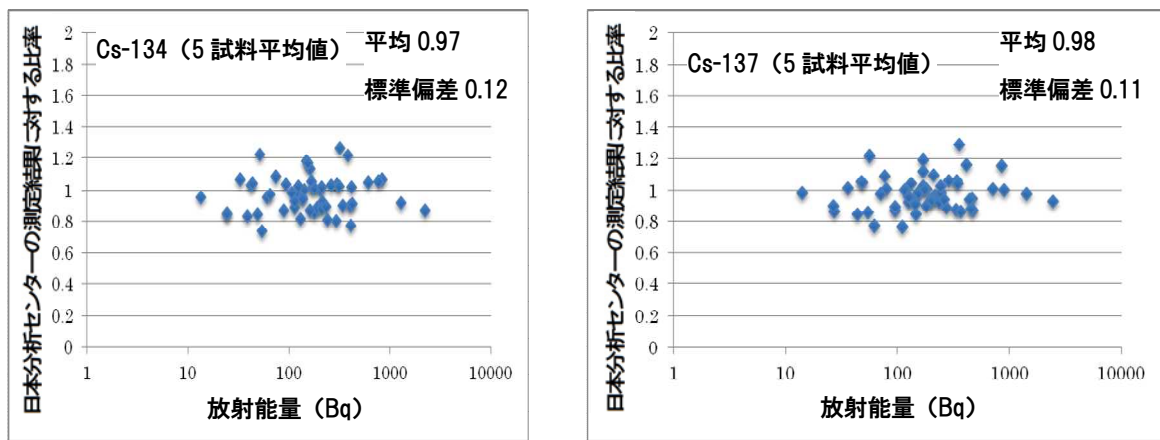


図 4-11 セシウム 134 とセシウム 137 の測定結果 (Bq/m²) の相関関係 (異なる分析機関による測定結果を全て重ねて表示)



(a) 日本分析センター及びその他の分析機関で同一試料を測定した結果の比較



(b) 日本分析センター及びその他の分析機関による同一箇所 5 試料の測定結果の平均値の比較

図 4-12 日本分析センターとその他の分析機関の土壌の核種分析結果 (放射性セシウムの放射能量) のクロスチェックの結果

表 4-1 土壤試料の核種分析結果とゲルマニウム半導体検出器を用いた in situ 測定の結果の比較
 (土壤採取箇所 (約 2,200) のうち、7 箇所を選定し、土壤試料のセシウム 134 及びセシウム 137
 の沈着量 (単位面積あたりの放射エネルギー) と、in situ 測定の結果を比較した。)

調査地点 (カッコ 内の数値は当該箇 所の空間線量率の 測定値)	試料番号	放射性セシウムの各地 点における沈着量(Bq/m ²)		in situ 測定による測定結果(Bq/m ²) (下記のカッコ内の数値は、in situ 測定結果 に対する 5 試料の沈着量の平均値の比率)	
		Cs-134	Cs-137	Cs-134	Cs-137
A (1.52 μSv/h)	試料 1	2.12×10 ⁵	2.18×10 ⁵		
	試料 2	2.16×10 ⁵	2.17×10 ⁵		
	試料 3	1.40×10 ⁵	1.41×10 ⁵		
	試料 4	1.58×10 ⁵	1.61×10 ⁵		
	試料 5	1.60×10 ⁵	1.64×10 ⁵		
	平均	1.77×10⁵	1.80×10⁵		
B (2.15 μSv/h)	試料 1	5.92×10 ⁵	6.82×10 ⁵		
	試料 2	2.09×10 ⁵	2.43×10 ⁵		
	試料 3	1.96×10 ⁵	2.22×10 ⁵		
	試料 4	6.23×10 ⁵	7.12×10 ⁵		
	試料 5	2.97×10 ⁵	3.53×10 ⁵		
	平均	3.83×10⁵	4.42×10⁵		
C (1.44 μSv/h)	試料 1	1.71×10 ⁵	1.64×10 ⁵		
	試料 2	2.21×10 ⁵	2.17×10 ⁵		
	試料 3	6.83×10 ⁴	5.88×10 ⁴		
	試料 4	2.12×10 ⁵	2.01×10 ⁵		
	試料 5	1.58×10 ⁵	1.50×10 ⁵		
	平均	1.66×10⁵	1.58×10⁵		
D (0.24 μSv/h)	試料 1	3.57×10 ⁴	4.00×10 ⁴		
	試料 2	3.79×10 ⁴	4.02×10 ⁴		
	試料 3	3.04×10 ⁴	3.34×10 ⁴		
	試料 4	3.08×10 ⁴	3.26×10 ⁴		
	試料 5	3.39×10 ⁴	3.69×10 ⁴		
	平均	3.37×10⁴	3.66×10⁴		
E (0.30 μSv/h)	試料 1	3.47×10 ⁴	3.83×10 ⁴		
	試料 2	3.95×10 ⁴	4.20×10 ⁴		
	試料 3	3.15×10 ⁴	3.38×10 ⁴		
	試料 4	3.77×10 ⁴	4.01×10 ⁴		
	試料 5	2.42×10 ⁴	2.85×10 ⁴		
	平均	3.35×10⁴	3.65×10⁴		
F (0.56 μSv/h)	試料 1	8.20×10 ⁴	9.04×10 ⁴		
	試料 2	6.96×10 ⁴	7.72×10 ⁴		
	試料 3	8.89×10 ⁴	9.65×10 ⁴		
	試料 4	6.48×10 ⁴	7.32×10 ⁴		
	試料 5	1.05×10 ⁵	1.21×10 ⁵		
	平均	7.84×10⁴	9.17×10⁴		
G (0.44 μSv/h)	試料 1	4.37×10 ⁴	5.28×10 ⁴		
	試料 2	4.10×10 ⁴	4.64×10 ⁴		
	試料 3	3.69×10 ⁴	4.15×10 ⁴		
	試料 4	4.22×10 ⁴	4.80×10 ⁴		
	試料 5	5.88×10 ⁴	6.94×10 ⁴		
	平均	4.45×10⁴	5.16×10⁴		

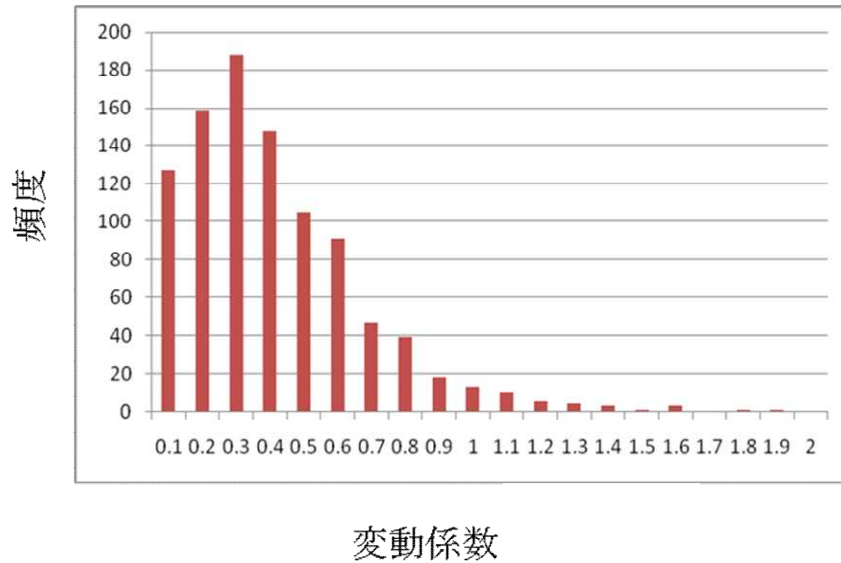


図 4-13 同一箇所にて採取した 5 試料間の放射能濃度の変動係数の頻度
 (変動係数は、同一箇所にて採取された 5 試料の放射能濃度の標準偏差を
 5 試料の放射能濃度の平均値で割った値)

表 4-2 放射能濃度から空間線量率（周辺線量当量率）への換算係数
 (単位：(μSv/h)/(Bq/m²))

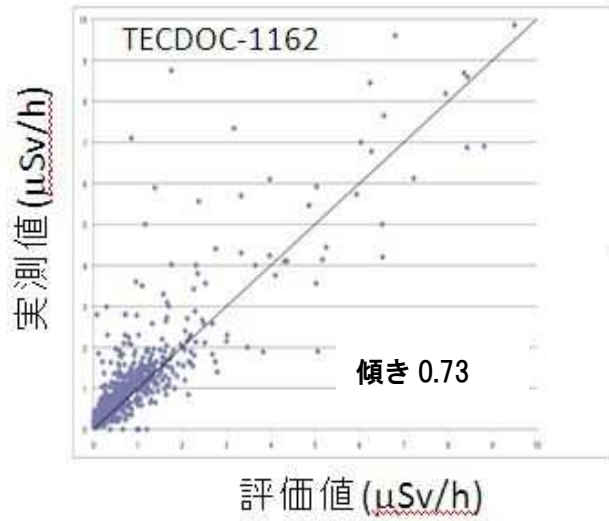
出典	Cs-134	Cs-137
IAEA-TECDOC-1162	5.4×10^{-6}	2.1×10^{-6}
Saito 1	5.88×10^{-6}	2.16×10^{-6}
Saito 2	9.41×10^{-6}	3.46×10^{-6}

※ Saito 1：地中 0.5 g/cm² の深さの平面線源を想定（文献 3 の結果を基に評価）

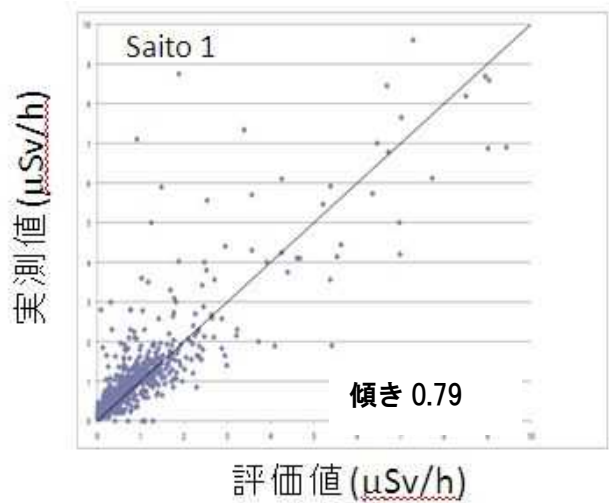
※ Saito 2：地表面の平面線源を想定（文献 3 の結果を基に評価）

表 4-3 評価した空間線量率に対する本調査で測定された実測値の比率の平均値
 (表 4-2 に示した換算係数を用いて評価した値に対する、本調査で測定された、約 2,200 箇所の
 空間線量率の測定結果（実測値）の比率を全地点に対して計算し、算術平均した。)

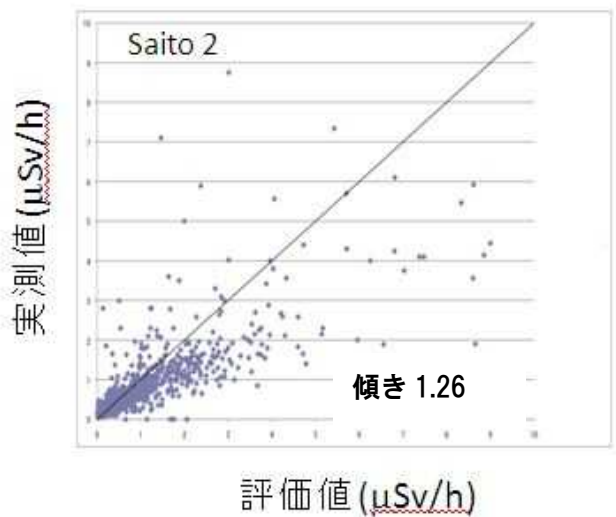
出典	評価値/実測値
IAEA-TECDOC-1162	0.73
Saito 1	0.79
Saito 2	1.26



(a) IAEA-TECDOC-1162



(b) Saito 1



(c) Saito 2

図 4-14 本調査で得られた沈着量から換算係数を用いて算出した空間線量率と土壌採取箇所測定された空間線量率の測定（実測値）との比較
 (Saito 1 は深さ 0.5 g/cm^2 の平面線源を Saito 2 は地表面の平面線源を想定した係数である。)

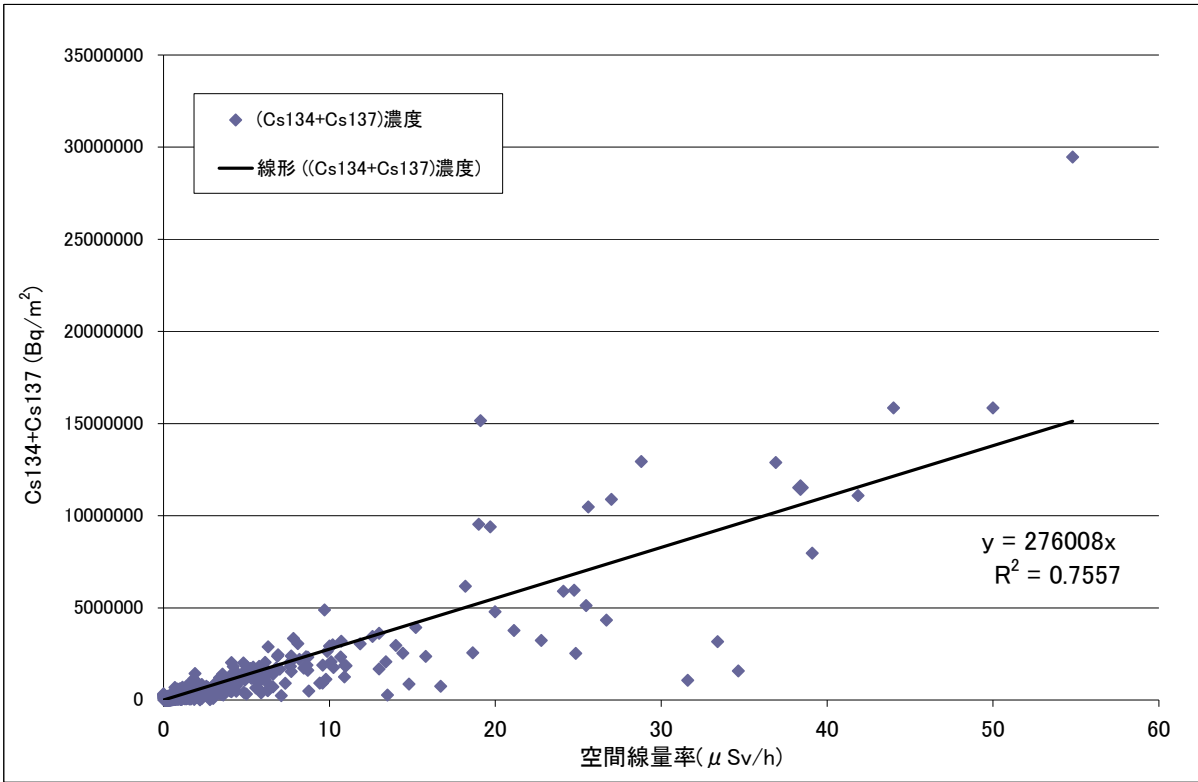


図 4-15 空間線量率と土壌の核種分析結果の関係