

## 1 第3次分布状況等調査のねらい

平成23年3月11日に発生した太平洋三陸沖を震源とするマグニチュード9.0の東北地方太平洋沖地震と津波により、東京電力(株)福島第一原子力発電所(以下、「福島第一原発」という。)の事故が発生し、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。

この不測の事態に対応し、事故状況の全体像を把握して影響評価や対策に資するために、総合科学技術会議の科学技術戦略推進費による「放射性物質の分布状況等に関する調査研究」(以下、「第1次分布状況等調査」という。)を、平成23年6月から11月までの期間に実施した。この中で、文部科学省からの委託を受けた独立行政法人 日本原子力研究開発機構(以下、「原子力機構」という。)が多数の大学、研究機関等と協力し、福島県及びその近隣周辺の各県の空間線量率、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指した調査を実施し、その成果をまとめて報告書として公表した。

第1次分布状況等調査の成果は様々な方面で高い評価を受け、福島第一原発の事故(以下、「福島第一原発事故」という。)による環境や人間への影響評価、除染、避難区域等の見直しの基礎データとして広く使用されている。国際原子力機関(以下、「IAEA」という。)からも高い評価を受け、国内外の学会やシンポジウム等においても多くの招待講演を含む発表を行い、多数の研究者や技術者により本事業のデータが参照された。一方、社会的には除染活動が始まるのに対応し、より広い範囲にわたって空間線量率等に関する詳細なデータを取得する必要性が生じた。また、今後の住民の帰還の判断や居住者への長期的な影響評価の観点からは、将来の放射性核種の分布状況を適切に予測、評価していくための知識の蓄積が必要であった。

これらの議論を受けて、「福島第一原子力発電所事故に伴う放射性物質の第二次分布状況等に関する調査研究」(以下、「第2次分布状況等調査」という。)を、第1次分布状況等調査と同様に文部科学省から原子力機構への委託研究として平成23年11月29日より開始した。第2次分布状況等調査においては、高線量率地域から $0.2 \mu\text{Sv/h}$ 以下の空間線量率の地域まで測定対象を拡げて調査を行なうこととした。この結果、北は岩手県から南は神奈川県に至る広い範囲を調査対象地域とすることとなった。

第1次分布状況等調査及び第2次分布状況等調査においては、放射性物質の土壌中の単位表面積あたりの放射エネルギー(以下、「沈着量」という。)及び空間線量率の広域にわたる詳細な測定結果に基づく放射線量等分布マップの作成を行なうとともに、調査対象地域を選んで自然環境中の様々な媒体中における放射性物質の分布状況と移行状況の様子を明らかにする環境調査を実施してきた。また、これらの測定結果を放射性物質の分布状況等調査データベースとして集約し、その結果をインターネットを介して一般に公開してきた。

ガンマ線放出核種の土壌への沈着量を地図上に示した土壌濃度マップ<sup>\*1</sup>の作成においては、第1次分布状況等調査では、福島第一原発から80 km圏内は2 kmメッシュに、80 kmから概ね100 km圏内は10 kmメッシュに分割してメッシュ毎に1箇所調査箇所を選択し、合計約2,200箇所の調査箇所にて採取した約11,000個の土壌試料を分析し、セシウム137、セシウム134、ヨウ素131、テルル129m、銀110mの5つのガンマ線放出核種の沈着量をプロットした土壌濃度マップを作成した。また、第2次分布状況等調査においては、 $0.2 \mu\text{Sv/h}$ 以上の空間線量率をもつ広範囲の地域を

---

<sup>\*1</sup> 放射性物質の土壌への沈着量を地図上に示したマップの名称として「土壌への沈着量マップ」という用語を用いるのが学術的に適切であるが、本報告書ではイメージをつかみやすくするために「土壌濃度マップ」という用語を用いる。

5 km メッシュに、これに隣接する地域を 10 km メッシュに分割してメッシュ毎に 1 箇所を選択し、合計 1,000 箇所の調査箇所でも搬型ゲルマニウム半導体検出器を使用してガンマ線放出核種の沈着量を測定し、セシウム 137、セシウム 134、銀 110m の土壤濃度マップを作成した。第 1 次分布状況等調査においては迅速性を重視して土壤試料の採取と解析を行なったのに対して、第 2 次分布状況等調査においては調査箇所の平均的な沈着量を評価するのにより適したゲルマニウム半導体検出器を用いた in-situ<sup>\*2</sup> 測定法による調査を実施した。

アルファ線放出核種であるプルトニウム 238、238+240 及びベータ線放出核種である放射性ストロンチウム、プルトニウム 241 の土壤濃度マップの作成においては、第 1 次分布状況等調査及び第 2 次分布状況等調査のいずれにおいても、第 1 次分布状況等調査で採取したガンマ線放出核種分析に用いた土壤試料の一部を放射化学分析により定量し、その結果をもとに土壤濃度マップを作成した。第 1 次分布状況等調査においては、分析を行なった 100 箇所のうち福島第一原発の北西方向の 6 箇所において、第 2 次分布状況等調査では同じく分析を行なった 56 箇所のうち北西方向の 10 箇所において、事故由来と判断されるプルトニウム 238 及びプルトニウム 239+240 が検出された。第 2 次分布状況等調査ではさらに同じ土壤試料に対してプルトニウム 241 の分析を試みたが、結果としてプルトニウム 241 が検出されたのは分析を行なった 62 試料のうち 3 試料であった。放射性ストロンチウムに関しては、第 1 次分布状況等調査においては、80 km 圏内において 100 箇所で採取された土壤試料に対して、第 2 次分布状況等調査においては、80 km 圏外において新たに採取された 50 箇所の土壤試料に対して分析を行ない、いずれも多数地点で放射性ストロンチウムを検出した。第 1 次分布状況等調査においてはストロンチウム 89 及びストロンチウム 90 の両方が検出された地点が存在したが、第 2 次分布状況等調査においては半減期が 50 日と短いストロンチウム 89 は検出されなかった。検出されたストロンチウム 89 は、半減期から考えて今回の事故由来のものとして判断される。放射性ストロンチウムが検出されたのは第 1 次分布状況等調査においては 42 箇所、第 2 次分布状況等調査においては 29 箇所であった。総じて、プルトニウムと放射性ストロンチウムの濃度は事故前の過去の核実験等によるバックグラウンドと同程度であり、これらの核種による被ばく線量は低いことが確認された。

さらに、第 1 次分布状況等調査で作成したヨウ素 131 の土壤濃度マップでは、半減期が 8 日と短いことが原因で、検出下限値以上のデータが得られたのは 400 箇所程度であった。福島第一原発事故直後の内部被ばくにおいてヨウ素 131 が重要な役割を果たした可能性を考慮し、第 2 次分布状況等調査においてはマップをさらに精緻化することを目指し、加速器質量分析装置 (AMS) を利用して長半減期のヨウ素 129 濃度を測定しヨウ素 131 濃度との相関を調べた。第 1 次分布状況等調査でヨウ素 131 が観察された地点の土壤試料を対象に分析を行なった結果、ヨウ素 129 とヨウ素 131 の濃度には相関関係があることを示唆する結果が得られた。

また、対象地域を絞り放射性核種の分布や移行状況を明らかにするための調査を実施した。この中で、森林、地中、河川、大気、田畑、原野等における放射性核種の移行状況の調査を行なった。第 1 次分布状況等調査で基盤整備から始めた調査を第 2 次分布状況等調査に引き継ぎ、経時的な環境調査を行なうことにより、放射性物質の環境中における詳細な分布及び移行の状況に関する重要な知見を得てきた。森林に沈着した放射性セシウムは森林を構成する樹木の種類及び樹齢に依存して、樹冠及びリター（落ち葉等の有機物層）への部分ごとにそれぞれ特有の存在量（インベントリ）の分布を示し、林内雨（枝葉にあたりたり隙間を通して地面に落ちる雨）や樹幹流（枝や樹幹をつたって地面に流れ落ちる雨）により徐々に林内で移動する様子が確認された。セシウムは粘土鉱物粒子にきわめて強く吸着するため、地表面や河川における放射性セシウムの移行に関しては、水で運

---

\*2 「in-situ」とは「現場」を示す。ここでの in-situ 測定とは、現場で行う測定という意味。

ばれる浮遊砂を介した移動が重要な役割を果たすことが確認された。一方、土壌水、地下水、溪流水、湧水中の放射性セシウムの濃度は、いずれも非常に低いことが分かった。大気中の放射性セシウムの濃度は地表面の沈着量が多い地域で増加し植生により抑制をうける傾向を示すが、濃度自体は全体に低いことが確認された。また、水中や大気中に含まれる放射性セシウムの存在形態についても知見が得られつつある。放射性セシウムの深さ方向の分布は土地の状況による特徴はあるものの、全般的に地表面に近い部分にまだかなり存在しており、指数関数分布で近似できる分布を示すケースが相当部分を占めている。これらの結果をもとに、土砂浸食による放射性セシウムの移行モデルの開発、河川から海洋への放射性セシウムの輸送量を推定するモデル等の開発を開始した。

以上のように、第1次分布状況等調査及び第2次分布状況等調査で、放射性物質の環境中での分布や移行に関する重要な知見が蓄積された。一方、過去のチェルノブイリ原子力発電所事故（以下、「チェルノブイリ原発事故」という。）の経験等から、環境中の放射性物質の分布はウェザリング（気象現象に伴う経時的風化作用）等の効果により状況に応じて長期間にわたり様々に変化することが知られているため、継続的な空間線量率や放射性物質の沈着量に関する詳細な情報、ならびに放射性物質の長期的な予測のための情報が必要であると認識された。さらに、第2次分布状況等調査が終了した平成24年6月は、避難した住民の帰還の実現や除染活動の計画・実施に向けた動きが本格化しつつある時期であった。実際に、福島第一原発事故直後に設定された避難指示区域及び計画的避難準備区域の見直しが行なわれ、避難指示解除準備区域、居住制限区域、帰宅困難区域が年間線量によって設定されることとされた。また、放射性物質汚染対処特別措置法に基づき、これらの地域が除染特別地域に指定され、国が直轄に除染を行なうとともに、 $0.23 \mu\text{Sv/h}$ 以上の地域が汚染状況重点調査地域に指定され、市町村による除染が進められることとなった。

このような状況を受け、喫緊の住民帰宅や除染の判断の基本となる現状の信頼のおける空間線量率分布等の情報を提供すること、ならびに数年ごとの間隔で長期にわたり計画の策定と見直しが行なわれることが予想されるため、これに対応できる情報を提供することを考慮した「福島第一原子力発電所事故に伴う放射性物質の長期的影響把握手法の確立」（以下、「第3次分布状況等調査」という。）を計画し、第2次分布状況等調査と同様に文部科学省から原子力機構への委託研究として平成24年6月から平成25年3月まで実施した。本調査においては、第2次分布状況等調査で実施した大規模環境調査ならびに対象地域を限定して行なう移行状況調査の基本的な部分を継続するとともに、将来の放射性物質の分布状況及び空間線量率の分布状況を適切に予測する数値モデルの開発に着手することとした。

第3次分布状況等調査実施の基本的な考え方と調査概要は以下の通りである。

#### (1) 調査の範囲

第2次分布状況等調査で行なった広域にわたる測定の結果、放射性物質の沈着が今後も長く問題になると考えられる地域は主に福島第一原発から80 km圏内にあることが確認されたため、第3次分布状況等調査は基本的に80 km圏内に焦点を絞って行なうこととした。ただし、80 km圏外においても汚染状況重点調査地域として除染の調査対象範囲となる地域があること、地方自治体からの要望が多いことを考慮し、走行サーベイに関しては引き続き80 km圏外も含めた広域を対象とした測定を行なった。

#### (2) 調査の継続性と最適化

第3次分布状況等調査の重要な特徴の一つとして、信頼のおける同様の手法で同じ量を継続的に測定したことが挙げられる。環境調査の性質として、同じ質・量のデータを経時的に測定して解析することが放射性物質の分布や変化に関する根本的性質を明らかにするうえで重要

であるが、福島第一原発事故直後から同様の手法を用いて詳細に環境調査を行ってきた事例は他には存在しないため、第1次分布状況等調査及び第2次分布状況等調査で実施してきた環境測定を、引き続き第3次分布状況等調査においても継続することが不可欠である。

一方、これまでの経験や状況の変化を考慮して調査手法の最適化を行なった。第2次分布状況等調査で有用性が確認された可搬型ゲルマニウム半導体検出器を用いた in-situ 測定(以下、「in-situ 測定」<sup>\*3</sup> という。)を土壌への沈着量測定の基本的手法として用いるとともに、放射性セシウムの沈着量と空間線量率との間に高い相関が見られることを利用して、空間線量率から土壌への沈着量を評価してマップ化する手法を用いた。また、走行サーベイに関しては第2次分布状況等調査で市町村による測定で使用し、その使い易さと安定性が確認された KURAMA-II システム<sup>\*4</sup> を全面的に用いることとした。地中の放射性セシウムの深度分布調査は、信頼性の高いスクレーパープレート<sup>\*5</sup> による土壌採取を基本的に用いることとした。

### (3) 土壌への沈着量測定の対象放射性核種

第1次分布状況等調査及び第2次分布状況等調査の結果に基づく線量評価により、将来の被ばく線量の観点からは放射性セシウムに着目していくことが適切であることが確認された。従って、今後の環境調査の主要な対象は放射性セシウムとした。一方、福島第一原発事故直後の被ばくにおいて重要な役割を果たしたと推定されるヨウ素 131 に関するマップをヨウ素 129 の定量結果に基づき詳細化できる見通しがこれまでの検討により得られたため、多数の土壌試料のヨウ素 129 を測定してマップの詳細化を行なうこととした。プルトニウム及び放射性ストロンチウムに関しては、社会的な関心が強い放射性核種であること、プルトニウム 241 の測定を第1次分布状況等調査及び第2次分布状況等調査では行なわなかったことを考慮し、プルトニウム及び放射性ストロンチウムの測定を引き続き実施することとした。

### (4) 放射性物質等の分布状況変化モデルの開発

福島第一原発から 80 km 圏内全域の予測を行なうことを想定した放射性物質等の分布状況変化モデルの開発は、以下のような基本的考え方に基づき行なうこととした。環境中における放射性物質の移行は複雑な現象であるため、環境中における特定の地域や媒体中の放射性物質の移行を扱うモデルを組上げて、広域の放射性物質の分布状況を現実的に予測することは容易ではない。そこで、これまでに蓄積された貴重な大量の環境調査データを解析し、環境調査データに含まれる情報を十分に反映した形で予測を行なえるモデルを考慮することとした。すなわち、過去の空間線量率や放射性物質沈着量の分布や経時変化を統計処理した結果に基づき、こ

---

<sup>\*3</sup> 可搬型ゲルマニウム半導体検出器を環境中に設置し、地中に分布した放射線源からのガンマ線を検出することで、地中に蓄積している放射性核種の濃度を分析する手法。実際の地面全体を対象として測定を行うため、その場所の平均的な放射能濃度を求めるのに有効な方法である。

<sup>\*4</sup> KURAMA システム (GPS 連動型放射線自動計測システム : Kyoto University Radiation Mapping system) は、乗用車に高精度の放射線検出器を搭載し、測定対象とする道路を走行しながら、道路周辺からのガンマ線の情報と GPS による位置情報を連続的に収集することで、道路上の詳細な空間線量率の分布状況を確認できるシステム。このうち、KURAMA-II システムは、NaI シンチレーション式サーベイメータと同様の計測スペックを保持した CsI シンチレーション検出器を KURAMA システムに組み込み、放射線計測に関する知識や技術を必要としない仕様に京都大学で改良した装置。

<sup>\*5</sup> 一定間隔で土壌を削り取って土壌を採取する装置。IAEA における土壌断面中の放射性核種を測定するための標準的な測定手法。

れまでの変化傾向を将来に外挿する方式で将来予測を行なう変化モデルを基本に用いることとした。平成 25 年度までに、変化モデルのプロトタイプを開発することを目指している。

#### (5) 放射性物質の移行メカニズム解明とモデル化

地域を限定した移行状況調査の知識が蓄積されてきており、これらの知識をもとに、放射性物質が水の動き等により運ばれる現象を数値モデル化した移行モデルの開発も進める。移行モデルの知識は、上記の分布状況変化モデルを理解する、あるいは補助するために用いる。移行モデルに関する知識が蓄積するにつれ、変化モデルで行なう予測の解釈をより適切に行なえるようになるとともに、予測精度の向上への寄与も期待される。

また、環境中の様々な媒体中の放射性セシウムの移行を議論する際、移行に関連して考えられる全ての経路についての情報を網羅的に得ることが必要である。すなわち、結果として重要でない現象であっても、放射性物質の移行や分布状況の変化に影響を及ぼす可能性のある現象に関しては、その様子や程度を広く明らかにしておき住民等からの様々な疑問に対して適切に回答できることも重要な事項である。例えば、花粉による放射性物質の移行については線量評価の観点から大きな寄与をしないことが推定されるが、これを裏付ける定性的・定量的な情報を蓄積しておくことが必要である。

さらに、人間の活動に深く関連する土地の中で農地が大きな割合を占めることが明らかである。従って、人間の活動に関連した放射性物質の移行を考える観点からも、人間の被ばくを考える観点からも農地における放射性物質の移行が今後ますます重要となる。第 3 次分布状況等調査においては、農林水産省関係の研究機関も事業に参加し農地を中心とした移行メカニズムの調査とモデル化の活動を行った。

以上に述べた観点で計画、実施した第 3 次分布状況等調査の事業内容を、以下の区分でこの報告書にまとめた。

第 2 章「自然環境中における放射性物質の分布状況変化モデルの作成」においては、放射性物質や空間線量率の分布状況の変化モデルの開発について、さらにモデル開発の基礎データ取得のためと位置づけられる環境調査の結果について報告する。この中で、モデルの概要、放射性物質の分布状況及び空間線量率分布の広域詳細測定結果、平成 24 年度のモデル開発作業の主体をなすモデルパラメータの決定、モデル開発のために補足的に実施した調査の結果、平成 24 年度の作業のまとめと今後の課題について記述する。

第 3 章「放射性物質の分布状況変化モデルの高度化に向けた調査研究」においては、放射性物質の移行モデルの開発について、さらにその基礎となる様々な環境中における放射性物質の分布・移行の調査について報告する。この中で、移行モデル開発のための調査研究の概要、移行メカニズムの環境調査の結果を陸域、水系、農地に分類してまとめ、これらの調査結果に基づく移行モデルの平成 24 年度の作成状況について説明する。

第 4 章「土壌濃度マップの精緻化に向けた調査」では、ヨウ素 131、プルトニウム、放射性ストロンチウムの分析とマップ作成について述べる。

第 5 章「放射性物質の分布状況等調査データベース、放射線量等分布マップ拡大サイトの機能拡張と展開」では、過去の分布状況等調査で取得してきたデータを保管して公開するためのデータベースとマップ拡大サイトの今期の作業に関して述べる。

第 6 章で全体を総括する。