

6 全体のまとめ

福島第一原発事故の影響評価や対策実施に使用できる事故起因の環境放射線・放射能に関わる信頼のおける基礎データを提供する目的で、平成23年6月から11月までの期間に実施した「放射性物質の分布状況等に関する調査研究」（第1次分布状況等調査）、平成23年11月から平成24年6月まで実施した「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」（第2次分布状況等調査）を発展させる形で、「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」（第3次分布状況等調査）を平成24年7月から平成25年3月までの期間に実施した。

第3次分布状況等調査では、第1次分布状況等調査及び第2次分布状況等調査で継続して実施してきた広域にわたる放射性物質の土壌への沈着量分布や空間線量率分布の詳細測定とマップ作成、調査対象地域を限定して行なう放射性セシウムの環境中での移行状況の詳細調査を引き続き実施するとともに、今後重要な情報になると考えられる福島第一原発周辺地域の将来の空間線量率分布や放射性セシウム沈着量分布を予測するための数理モデルの開発を開始した。ここでは、福島第一原発から80 km圏内全域における空間線量率等の将来予測を行なえる分布状況変化モデルを、これまでに蓄積した豊富な環境調査データの統計解析結果に基づき作成することとした。同時に、分布状況変化モデルで予測される分布状況の変化をメカニズムの面から解釈し、かつ、将来的には分布状況変化モデルで使用するパラメータの最適化に寄与することを目指し、メカニズムに基づく放射性セシウムの移行モデルの作成も開始した。一方、社会的な関心が強いプルトニウム及び放射性ストロンチウムの調査、さらに、福島第一原発事故直後の被ばくで重要な役割を果たしたヨウ素131のマップの精緻化を進めた。以下に、その概要を集約して記載する。

福島第一原発から80 km圏内の約6,500箇所において平坦地上1 m高さの空間線量率をサーベイメータで測定して空間線量率マップを作成するとともに、同じく80 km圏内の約380箇所において可搬型ゲルマニウム半導体検出器を用いたin-situ測定により放射性セシウムの土壌への沈着量を定量して土壌濃度マップを作成した。また、空間線量率と放射性セシウムの土壌への沈着量との相関関係を用いて土壌濃度マップの詳細化を行なった。さらに、走行サーベイを利用し、地方自治体と協力して東日本の広い地域を対象に道路上の空間線量率連続測定を実施し、100 mメッシュ毎に平均した値を用いて広域空間線量率マップを作成した。これらの測定はそれぞれ、台風期前後の平成24年8月期及び11月期の2回実施した。

これらの測定結果から、空間線量率及び放射性セシウムの土壌への沈着量が台風期前後でどのように変化するかを調べたが、福島県を通過した台風17号による降水量が最大でも50 mm程度とそれほど大きくなかったため、顕著な変化は見られなかった。福島第一原発事故直後の平成23年6月からの経時変化を調べてみると、平坦地の地上1 m高さの空間線量率は平成24年8月期及び11月期までに30%台の減少を示したが、この期間のウェザリング等による放射性セシウムの移動の影響は7%程度と評価された。一方、走行サーベイの結果によれば、道路上の空間線量は同じ時期に50%台の減少があったという結果が示されており、平坦地上と道路上では空間線量率の減少傾向に大きな差がある結果となった。この差の原因を探るとともに、人間が生活する環境はどちらに近いのかを明らかにすることが重要である。

空間線量率の減少傾向には線量率依存性があり、平成23年6月の空間線量率が1 μ Sv/h程度以上の高い地域では空間線量率が早く減少するのに対し、空間線量率が0.25 μ Sv/h以下の低い地域では空間線量率が減少し難い傾向が見られた。土地利用状況に関しては、森林地域で空間線量率の

減少が遅いのに対して、都市域や水域では減少がより早い傾向が見られた。また、無人ヘリコプターを使用することで、これまで詳細な測定が難しかった福島第一原発から 3 km 圏内の測定を行うことが可能となった。低い高度での測定を行なうことで、高い分解能で詳細な空間線量率分布等に関する情報が得られた。

放射性物質の分布状況変化モデルの作成に関しては、これまでに得られた大量の環境測定データを統計的に解析して、この結果に基づいて空間線量率等の将来分布を予測するためのモデル作りを開始した。基本モデルとして、チェルノブイリ原発事故において放射性物質沈着量の経時変化を適切に再現した実績を持つ、2 成分 1 コンパートメントモデルを採用することとした。このモデルでは、空間線量率等の時間変化を変化の早い成分と遅い成分に分け、それぞれの成分を指数関数で表現し、統計解析結果に基づき最適な関数パラメータをコンパートメント毎に設定することで将来予測を行なう。平成 24 年度は、第 1 次分布状況等調査から第 3 次分布状況等調査で得られたデータをはじめ、東京電力(株)や福島県により実施された空間線量率の連続測定のデータ、国土地理院等により公表された土地利用種別データに対する統計解析を実施した。

これまでの空間線量率の時間変化に関する解析によれば、現時点では 2 成分モデルよりも 1 成分モデルのほうが多くの実測データを良く再現することができるため、第 3 次分布状況等調査においては 1 成分 1 コンパートメントモデルを想定した解析を行なった。その上で、放射性セシウムの物理半減期の影響を除外した空間線量率の減少傾向を表す環境半減期を各測定地点に対して求め、様々な要因が環境半減期に与える影響について解析した。本調査結果の解析からほとんどの場合、土地利用種別の違いは統計的に有意に環境半減期に影響を与えることがわかった。また、初期の空間線量率の違い、100 m のオーダーで見た周囲との空間線量率差、同じく 100 m のオーダーでの周囲との標高差は環境半減期に影響を与えることを示唆する結果が得られた。今後、1 成分にかわる 2 成分モデルの適用の適否も含めて解析を進め、平成 25 年度に分布予測モデルのプロトタイプの完成を目指す。

一方、モデル地域を対象として実施してきた移行状況調査により、様々な環境における移行の様子が明らかになりつつある。

土壌中の放射性セシウムは指数関数分布に近い分布を持ち、地表面から 5 cm 以内にほとんどのセシウムが存在する場合がまだ多いが、地中への移行が少しずつ進行していることが確認された。放射性セシウムの粘土鉱物への吸着構造と安定性について、広域 X 線吸収微細構造法 (EXAFS 法) により明らかにできる可能性を示唆する結果を得た。

森林の葉に含まれる放射性セシウムは徐々に下方に移行し、リター層の放射性セシウムの濃度が徐々に上昇する傾向が見られた。スギ花粉の放射性セシウム濃度は雄花の放射性セシウム濃度と、雄花の放射性セシウム濃度は土壌のセシウム濃度と相関があることを示す結果が得られたが、スギ花粉中の放射性セシウムの濃度は全般に低く、現状では飛散による影響は小さいと考えられる。今後、放射性セシウムの植物体内での流転や根からの吸収の有無を明らかにするための継続的な調査が必要である。

土壌浸食に伴う放射性セシウムの流出状況の調査からは、沈着速度の遅い微細な浮遊砂の移行への寄与が大きいこと、土壌の植生による被覆率が土砂の流出を有為に減少させること、耕作により放射性セシウムの流出が減少することが確認された。水田における調査により、灌漑期と非灌漑期で降雨量あたりの放射性セシウムの流出量が異なり、非灌漑期における流出量が大きいことが確認された。土壌水、地下水、渓流水中の放射性セシウムの濃度はほとんどの場合 1 Bq/L 以下と低いこと、いずれの流域においても放射性セシウムの 90-98% は浮遊砂により運ばれることが明らかになった。

放射性セシウムの大気中への飛散状況の調査からは、平成 23 年 8 月以降 0.001~0.0001 Bq/m³ 以

下の低い濃度が継続して観測されており、濃度の増減は風速と正の相関があることが確認された。また、大気中の放射性セシウム濃度の変動が主に直径 0.41 μm 以下の小さな粒子により生じていることを示唆する結果が得られた。

福島第一原発から 80 km 圏内の 50 箇所において、平成 24 年 8 月期及び 11 月期に河川水及び河底土の試料を採取して核種分析を行った。検出された放射性セシウム及びストロンチウム 90 は、一部の増減はあるが全般的に減衰傾向を示した。この内 30 箇所においては、浮遊砂の測定と放射性セシウムの分析を実施し、浮遊砂に含まれる放射性セシウム濃度と粒度組成の関係についてのデータを得た。また、流域の沈着量と浮遊砂の放射性セシウム濃度に有意な相関があることが確認された。河川中に含まれる放射性セシウムの形態に関する調査から、粒子の重量あたりのセシウム 137 濃度は経時的にあまり変化していないことが明らかになった。懸濁物中の放射性セシウム濃度の変化は、現状では有機物の起源によっては説明が難しい。湖沼及び貯水池の底泥調査の結果から、蓬莱ダムでは年スケールでの放射性セシウムの蓄積能がほとんどないのに対し、貯水池の場合には流域から放出した放射性セシウムを捕集・蓄積することが確認された。

福島県内の 4 地点の水田における灌漑水、田面水及び排水中のセシウム濃度は 0.3~1,000 Bq/L の範囲にあり、溶存態放射性セシウムの占める割合は 0.01~40% と大きな幅が存在した。溶存態放射性セシウム濃度は、懸濁物中の放射性セシウムと平衡関係にあることを示唆する結果を得た。伊達市の広瀬川における観測では、放射性セシウムの負荷量が流量のべき乗の関数で表現できることが示された。これら、河川、湖沼等で得られた調査結果は、水系を通じた放射性セシウムの移行フラックスを評価するための基礎データとして有効に使用されることが期待される。

以上、モデル地域を対象として実施した放射性セシウムの移行メカニズム調査の結果に基づき、①放射性核種流出モデル、②分布型 USLE モデル、③河川を通じた放射性物質移行モデル、④河川から海洋への放射性物質移行モデルの開発を進めた。これまでに、モデルの枠組みの設定及び検証方法の確立を行った。①に関しては、各土地利用における土壌浸食量と放射性セシウム移行量の関係を把握した。②では、福島第一原発から 80 km 圏内のグリッド毎の土壌浸食量及び放射性セシウム移行量の試算を行った。③においては、口太川流域を対象にモデル計算と実測データの比較を行った。④においては、流域から海洋への流出放射性物質の再現のための一次元モデル、河川中の堆積位置を予測するための二次元モデルを開発した。今後、モデルの相互間の比較を行い、モニタリングデータを本格的に入力パラメータとして使用し、モデルの骨格を完成させる。また、移行モデルにより得られた知識を、放射性物質の分布モデルの開発において使用しているモデル及びパラメータのメカニズムの観点からの基盤として使用するとともに、将来的にはパラメータの最適化にも活用できることが望まれる。

土壌濃度マップの精緻化に向けた調査では、第 1 次分布状況等調査で作成したヨウ素 131 のマップを精緻化するため、第 1 次分布状況等調査で採取した土壌でヨウ素 131 を検出できなかった 388 試料を対象に長半減期のヨウ素 129 を AMS 法により測定し、ヨウ素 129 とヨウ素 131 の相関関係をもとにヨウ素 131 の沈着量を評価し、第 1 次分布状況等調査の結果とあわせてマップを作成した。これによりヨウ素 131 のプロット数が第 1 次分布状況等調査のマップのほぼ 2 倍となり、特に、データの少なかった福島第一原発から 20 km 圏内、福島第一原発の北方や南西方向でプロット数を増やすことができた。プルトニウム 238、プルトニウム 239+240 の調査では、第 1 次分布状況等調査及び第 2 次分布状況等調査に引き続き福島第一原発の北西方向に事故由来と判断されるプルトニウムが検出されたが、その沈着量は福島第一原発事故前に観察されたプルトニウムの範囲内であった。第 2 次分布状況等調査でもプルトニウム 241 の測定を行なったが、1 試料あたりの土壌試料の量が少なかったため検出されたのは 3 箇所であった。今回の調査で土壌試料の量を増やして測定を行なった結果、38 箇所ですルトニウム 241 が検出された。検出されたプルトニウム 241 のどの程度が福

島第一原発事故に起因するものであるかについては、今後検討する必要がある。

放射性物質の分布状況等調査データベース及び放射線量等分布マップ拡大サイトの機能拡張及び公開に関しては、放射性物質の分布状況を定性的に把握したい一般の利用者ならびに具体的な数値データを取得したい研究者両方のニーズを念頭におき作業を進めた。放射性物質の分布状況等調査データベースについては、セキュリティと使いやすさの観点からアクセス条件の異なる4種類のデータベースを作成するとともに、これまでの分布状況等調査で得られた結果に文部科学省が実施している様々なモニタリングの結果を加え、平成24年9月より公開を開始した。放射線量等分布マップ拡大サイトについても新たに取得したデータを加えて、引き続き公開を行った。公開された放射性物質の分布状況等調査データベースと放射線量等分布マップ拡大サイトには多くのアクセスがあり、放射性物質の分布状況に対する高い期待に応えることができた。

第1次分布状況等調査から第3次分布状況等調査により、福島第一原発事故に起因する広域にわたる放射性物質の土壌への沈着量や空間線量率の詳細な分布状況と経時変化の特徴、モデルサイトにおける様々な環境媒体中における放射性物質の移行のメカニズムが明らかになりつつある。さらに、ここで得られた知識を基にして、環境中の放射性セシウムの分布の時間変化を予測するモデル及びその基盤となる情報を提供する移行モデルの開発を開始した。引き続き、本調査を継続・発展させることにより、長期的な影響評価及び対策方針策定の基礎となる信頼のおけるデータを提供するための活動を展開することが必要である。