

## 7 まとめ

今回の調査では、第1次分布状況等調査に引き続き、福島第一原発の事故により放出された放射性核種の土壌への沈着状況に関して、様々な放射性核種の土壌濃度マップ、及び空間線量率マップを、文部科学省の委託を受けた原子力機構が多く大学の研究機関と協力して作成した。福島第一原発の事故により相当量の放射性物質が大気中に放出され環境中に蓄積したことにより、事故による被ばく線量の評価、環境への影響評価、避難した住民の帰還の判断、除染の判断等に用いる信頼のおける基礎データを継続して取得する必要がある。そこで、統一した信頼性のある測定手法、試料採取手法、分析手法により福島第一原発周辺における詳細かつ広域にわたる調査を行い、この結果を基に福島地区周辺の詳細な放射線量等分布マップ（空間線量率マップ、土壌濃度マップ）を作成する目的で、第1次分布状況等調査を継続・発展させる形で、平成23年12月から平成24年6月にかけて調査を実施した。

今回の調査では、調査開始当時実施していた航空機モニタリングや他の環境モニタリング結果を参考にして、福島第一原発周辺の比較的高い空間線量率の地域から空間線量率が $0.2\mu\text{Sv/h}$ よりも多少低い地域までの広い範囲を対象に、空間線量率が高い地域は5kmメッシュで、低い地域は10kmメッシュに分割し、各メッシュ内で適当な1つの調査箇所を定め、各調査個所で可搬型ゲルマニウム半導体検出器を用いた in-situ 測定等によりガンマ線放出核種の沈着量の測定を実施するとともに、同箇所地上1m高さの空間線量率の測定を行った。in-situ 測定等により、事故起因のガンマ線放出核種、核種別の土壌単位面積あたりのガンマ線放出核種の放射能を測定した。1,016箇所においてガンマ線放出核種の沈着量の測定を実施した。

in-situ 測定に関して経験のある日本分析センターが中心になり、複数の機関が協力して測定を実施した。フランスの放射線防護・原子力安全研究所（IRSN）も測定に参加してマップの作成に貢献した。in-situ 測定により定量したガンマ線放出核種の濃度から評価した空間線量率と、サーベイメータを用いて行なった空間線量率の測定値は全体的に良い一致を示しており、測定が適切に行なわれたことを確認した。また、一部の箇所では、in-situ 測定が適切に行なえなかったため、第1次分布状況等調査と同様に各箇所5地点の土壌試料を採取・分析し、5試料の平均的な放射能濃度を求め、その箇所の代表値とした。

その結果、ガンマ線放出核種の沈着量の測定から、セシウム137、セシウム134及び銀110mの3つの放射性核種の単位面積当たりの放射能をプロットした土壌濃度マップを完成した。放射性セシウムは1箇所を除き、全ての調査箇所データが得られたが、銀110mについては観測された箇所は限られた。今回、観測されたガンマ線放出核種の沈着量の最高値は、セシウム137について $9.1\text{MBq/m}^2$ 、セシウム134について $6.5\text{MBq/m}^2$ 、銀110mについて $13\text{kBq/m}^2$ であった。

今回の測定により、福島県の中通りから群馬県にいたる放射性セシウムの沈着状況、海岸沿いに南に向かい千葉県、東京都に至る沈着状況、宮城県北部の沈着状況等が明確に確認され、正確に定量された。セシウム137とセシウム134の濃度の比はいずれの箇所においても良い相関を示しており、放射性セシウムの2核種の挙動が同様であることを示す結果が得られている。

また、セシウム137と銀110mとの濃度に関しても、今回の測定ではある程度の相関が観察された。福島県中通りから群馬県にかけてセシウム137に対する銀110mの沈着量の比率が同様の箇

所が連続的に存在していることが確認された。また、福島第一原発から南側及び北側の福島県沿岸部において、福島県中通りから群馬県までの地域に比べて、セシウム 137 に対する銀 110m の沈着量の比率が高い箇所が存在していることが確認された。

さらに、第 1 次分布状況等調査において事故由来のプルトニウムが検出された福島第一原発の北西方向で採取された箇所及び福島第一原発から 80~100km 圏内について 60 試料程度を選び、プルトニウム 238、プルトニウム 239+240 及びプルトニウム 241 の分析を実施した。また放射性ストロンチウムについては、前回分析を行なえなかった 80km 圏外で採取された土壌試料 50 試料程度を選びストロンチウム 89、90 の分析を行なった。プルトニウムに関しては、プルトニウム 238 とプルトニウム 239+240 の比率から事故起因と判断されるプルトニウムが 10 箇所検出されたが、その濃度は過去に行なわれた水準調査の濃度のほぼ範囲内であった。プルトニウム 241 が検出されたのは 3 箇所であったため、プルトニウム 238、プルトニウム 239+240 の沈着量の比率とプルトニウム 241 の沈着量の比率の相関関係を詳細に確認できなかった。今後、分析に使用する供試料量を増やし、この関係の詳細を確認していく。

なお、今回の調査では、放射性ストロンチウムに関してストロンチウム 89 は検出されなかった。検出されたストロンチウム 90 についても福島第一原発から 80km 圏外では、福島第一原発の事故前のストロンチウム 90 の沈着量より有意に大きな箇所は確認されておらず、今回の調査では福島第一原発の事故による放射性ストロンチウムの明かな沈着は確認されなかった。

そのほか、ヨウ素 131 の土壌濃度マップをさらに精緻化することをめざし、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 が観察された箇所の土壌試料を対象に分析を行い 84 試料について分析結果を得た。その結果、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、今後、ヨウ素 129 の分析により、第 1 次分布状況等調査でヨウ素 131 のデータが得られなかった箇所でのヨウ素 131 濃度を評価できる可能性が示された。今後の調査において、引き続き、AMS を用いたヨウ素 129 濃度測定に基づくヨウ素 131 濃度推定法の検討、マップの精緻化作業を実施する予定である。

現在の空間線量率への各核種の寄与について 50 箇所程度をランダムに選んで評価した結果、平成 24 年 3 月 1 日現在でセシウム 134 による線量が平均で約 68%、セシウム 137 による線量が約 32%で、その他の核種による線量は 1%以下であることが分かった。以上の結果から、今後の線量評価、除染対策等は放射性セシウムを対象に行うことが重要であることが改めて確認できた。

走行サーベイに関しては、第 1 次分布状況等調査で使用した KURAMA システムに加えて、小型で操作が容易な KURAMA-II システムを整備し走行サーベイを実施した。KURAMA-II システムで使用している CsI 検出器から高精度の空間線量率出力を得るために、スペクトル線量換算係数 (G(E) 関数) をシミュレーション結果に基づいて評価してシステムに組み込んだ。その後、標準線源を用いた KURAMA-II システムの特性試験を行い、良好な性能を持つことを確認した後に測定を実施した。

KURAMA システムを用いた走行サーベイ(第 2 次走行サーベイ)による空間線量率の測定は原子力機構が中心になり編成したチームで実施したが、KURAMA-II システムを用いた走行サーベイ(第 3 次走行サーベイ)による空間線量率の測定では、整備したシステム(100 台)を希

望する地方自治体に貸与し、地方自治体関係者の意向に従って測定を実施した。これにより、地元関係者以外では走り難い細い道路を含めて詳細な空間線量率分布図を得ることができた。KURAMA-IIシステムの運用実績から、100台の測定システムの同時使用、大量データの収集とデータの自動処理、処理データの迅速な提供までの一連の技術的基盤が確立され、効率的に有用なデータが取得できることが確かめられた。今後の有用な使用が期待される。

また、第2次走行サーベイ、第3次走行サーベイによる空間線量率の測定結果を合成して広域にわたる詳細な空間線量率分布マップを作成できた。このマップにより、in-situ測定等で観察されたガンマ線放出核種の沈着状況の広がりをもさらに細かく解析できる基礎データが得られた。得られた空間線量率マップに対してトポロジー解析を試みた。この結果、広域におけるブルームの流れに対応すると考えられる空間線量率分布の構造を示唆する結果が得られた。

そのほか、川俣町地区の9件の家屋を対象に家屋内の線量率分布測定を実施し、その特徴を明らかにした。当地区の住居は、片側が崖である土地に建てられた住居が多く、平坦地上の家屋とは家屋内の線量率分布が異なる特徴を示した。崖側に位置する部屋の中の空間線量率は明らかに、崖の壁面部分に付着した放射性セシウムの影響を受けて空間線量率が高いことが確認された。崖に起因した空間線量率の上昇を適切に考慮しながら家屋による線量低減率（屋内／屋外空間線量率比）を評価すると、一般に用いられている低減率0.4よりも低い低減率になることが確認された。

これまでの調査で得られたデータを安全に保管・管理し、外部の多様なニーズに応じて外部に公開するために、第1次分布状況等調査において構築したデータベースを拡張し、第2次分布状況等調査で得られたデータをデータベースに登録して運用を継続した。

今後、環境中における核種の移行に加えて、多くの地域で除染活動が行われることにより、環境汚染状況と空間線量率分布の変化がおきることが予想される。報告書第2編で集約した放射性核種の移行に関する研究からの知見とあわせて、将来の放射性核種分布や空間線量率分布の状況を予測し、影響解析や事故対策に役立てていくことが重要である。放射性核種の環境中の動きを現実的に予測していくためには、事故直後の数年間における放射性核種の分布状況を詳細に調べることが基本であり、そのためにも、今後も適切な地域、対象、測定手法を選びながら一連の環境調査を継続することが不可欠である。

## 謝辞

本プロジェクトによるマップは、本報告書に直接名称が現れない方々も含めて非常に多くの組織及び協力者の尽力により完成したものです。環境調査の準備と実施からマップやデータベースの公開に至るまで、研究機関、大学、財団、民間企業、文部科学省、地方自治体、東京電力からの多くの協力者による有形無形の協力によりプロジェクトを完遂することができました。ご協力いただいた全ての方に対し、ここに深く感謝の意を表します。

## 参考文献・資料

### 第1章

文部科学省、農林水産省；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）

IAEA 閣僚会議報告書（平成23年6月7日）

原子力安全委員会発表（平成23年4月12日）

IAEA: Generic assessment procedures for determining protective actions during a reactor accident. IAEA-TECDOC-955 (1997).

K.Saito, N. Petoussi-Henss, M. Zankl : Calculation of the effective dose and its variation from environmental gamma ray sources. Health Physics, 74, 698-706 (1998).

### 第3章

森内茂；スペクトルー線量演算子による線量評価法とその演算子の決定, JAERI 1209 (1970) .

斎藤公明, 森内茂；モンテカルロ計算による NaI(Tl) シンチレーション検出器ガンマ線応答関数のデータカタログ, JAERI 1306 (1987) .

森内茂, 長岡鋭, 坂本隆一, 斎藤公明；球形 NaI(Tl) シンチレーション検出器のスペクトルー線量変換演算子の決定, JAEAR-M, 8092 (1979) .

X-5 Monte Carlo Team, MCNP-A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Ver. 5, Vol. I: Overview and Theory (2003) .

ICRP; Conversion coefficients for use in Radiological Protection against External Radiation. ICRP Pub. 1. 74, Annals of the ICRP Vol. 26 (3/4) (1996) , Elsevier, UK.

### 第4章

藤田博喜, 渡辺均, 武石稔；環境における Pu 同位体及び Am の濃度の経年変化について, サイクル機構技報, No.25 (2004)

IAEA, : Environmental Consequences of the Chernobyl Accident and their Remediation: Twenty Years of Experience, Report of the Chernobyl Forum Expert Group 'Environment', Radiological Assessment Report Series, (2006)

### 第5章

Matsuzaki, H., Y. Muramatsu, K. Kato, M. Yasumoto and C. Nakano. Development of  $^{129}\text{I}$ -AMS system at MALT and measurements of  $^{129}\text{I}$  concentrations in several Japanese soils. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B, 259, 721-726 (2007)

- Muramatsu, Y., Y. Takada, H. Matsuzaki, S. Yoshida: AMS analysis of  $^{129}\text{I}$  in Japanese soil samples collected from background areas far from nuclear facilities. *Quaternary Geochronology*, 3, 291-297 (2008)
- Muramatsu, Y., Uchida, S., Sriyotha, P. and Sriyotha, K.: Some considerations on the sorption and desorption phenomena of iodide and iodate on soil. *Water, Air and Soil Pollution*, 49, 125-138 (1990).
- Muramatsu, Y. and Ohmomo, Y.: Iodine-129 and iodine-127 in Environmental Samples Collected from Tokaimura/Ibaraki, Japan, *Science of Total Environment*, 48, 33-43, (1986)
- Paul, M., D. Fink, G. Hollos, A. Kaufman, W. Kutschera, and M. Magaritz, Measurement of  $^{129}\text{I}$  in the environment after the Chernobyl reactor accident, *Nucl. Instrum. Meth. Phys. Res. B29*, 341-345, (1987).
- Pietrzak-Flis, Z., Krajewski, P., Radwan, I., Muramatsu, Y., : Retrospective evaluation of  $^{131}\text{I}$  deposition density and thyroid doses in Poland after the Chernobyl accident, *Health Physics*, 84, 698-708 (2003).
- Yoshida, S., Muramatsu, Y. and Uchida, S.: Studies on the sorption of  $\text{I}^-$ (iodide) and  $\text{IO}_3^-$ (iodate) onto Andosols. *Water, Air and Soil Pollution*, 63, 321-329 (1992).