

1. はじめに

1.1 事業の背景・目的

平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震に伴う原子力発電所の事故により生じた放射性物質（事故由来放射性物質）による環境の汚染への対処が喫緊の課題となっている。事故由来放射性物質により汚染された地域における除染の進め方として、国は平成23年8月26日に「除染に関する緊急実施基本方針」において、「責任をもって除染を推進」とともに、「特に高い線量の地域も含め、各地域でのモデル事業を通じて、効果的な除染方法、費用、考慮事項など除染に必要な技術情報（「例えば、除染技術カタログ」）などを継続的に提供」する基本的考え方を示した（原子力災害対策本部，2011a）。こうした状況を踏まえ、平成23年8月30日には「平成二十三年三月十一日に発生した東北地方太平洋沖地震に伴う原子力発電所の事故により放出された放射性物質による環境の汚染への対処に関する特別措置法」（以下、「特措法」と略す）が議員立法により可決・成立し、公布された（環境省，2011a）。また、「除染に関する緊急実施基本方針」を引き継ぐものとして、平成23年11月11日には、特措法基本方針が示され、関係者の連携の下、事故由来放射性物質による環境の汚染が人の健康または生活環境に及ぼす影響が速やかに低減されるよう、環境汚染への対処についての基本的な方向が示された（環境省，2011b）。

環境汚染への対処にあたり、土壌等の除染等の措置の対象には、土壌、構造物、道路、河川、湖沼、海岸域、港湾、農用地、森林等が含まれるが、これらは極めて広範囲にわたるため、まずは、人の健康の保護の観点から必要である地域について優先的に除染を進めていくことが重要である（環境省，2011b）。土壌等の除染等の措置に係る目標値については、国際放射線防護委員会（ICRP）による2007年基本勧告（ICRP，2007）及び原子力委員会の「今後の避難解除、復興に向けた放射線防護に関する基本的な考え方について」（原子力委員会，2011）等を踏まえて、以下のように設定されている（環境省，2011b）。

- ① 自然被ばく線量及び医療被ばく線量を除いた被ばく線量（以下、「追加被ばく線量」という）が年間20 mSv以上である地域は、当該地域を段階的かつ迅速に縮小することを目指すものとする。ただし、線量が特に高い地域については、長期的な取組が必要となることに留意が必要である。
- ② 追加被ばく線量が年間20 mSv未満である地域は、以下の目標を目指すものとする。
 - ・長期的な目標として、追加被ばく線量が年間1 mSv以下となること
 - ・平成25年8月末までに、一般公衆の年間追加被ばく線量を平成23年8月末と比べて、放射性物質の減衰等も含めて、約50%減少した状態を実現すること
 - ・子供が安心して生活できる環境を取り戻すことが重要であり、学校、公園など、子供の生活環境を優先的に除染することにより、平成25年8月末と比べて、放射性物質の物理的減衰等も含めて、約60%減少した状態を実現することなお、これらの目標については、土壌等の除染等の措置の効果等を踏まえて適宜見直しを行うものとされている。

上述したような土壌等の除染等の措置に係る目標を達成するためには、各省庁、関係地方公共団体、研究機関等の関係機関、事業者等が総力を結集し、一体となつてできるだけ速やかに行うことが重要であり、内閣府は、「福島第一原子力発電所事故に係る福島県除染ガイドライン作成調査業務」（以下、「ガイドライン調査事業」という）を発注し、平成23年8月5日に日本原子力研究開発機構（以下、「原子力機構」と略す）が受託した。ガイドライン調査事業では、基本的に住民が居住することは可能であるが放射性物質による汚染が進んでいるやや放射線量の高い地域を対象とし、今後、市町村単位での計画的な除染計画を策定し、除染作業を実施して行く上で必要と

なる技術や知見を含むカタログや手引き書を整備することを主な目的としている。一方、内閣府は、より放射線量が高く、年間の追加被ばく線量が20 mSvを超える地域を基本的な対象とした「福島第一原子力発電所事故に係る避難区域等における除染実証業務」（以下、「モデル実証事業」という）を発注し、平成23年9月30日に原子力機構が受託した。モデル実証事業では、居住制限区域や帰還困難区域[※]に位置する12の市町村を対象とし、高線量地域における土壌等の除染等の措置に係る効率的・効果的な除染技術や作業員の放射線防護に関わる安全確保の方策を確立することを主な目的としている。上述した2つの委託事業は、特措法基本方針における「4. 土壌等の除染等の措置に関する基本的事項」の中の「土壌等の除染等の措置の実施に当たって配慮すべき事項その他土壌等の除染等の措置の推進に関し必要な事項」や「5. 除去土壌の収集、運搬、保管及び処分に関する基本的事項」に関連する除染効果等の実証事業でもあり、原子力機構は、両事業を密接に連携しつつ行った。本報告書は、上述した委託事業のうち、前者のガイドライン調査事業に関わる成果を取りまとめたものである。

なお、委託事業の実施期間中には、環境省により、特措法に基づき土壌等の除染等の措置の基準や除去土壌の処理の基準を定める環境省令などを具体的に説明する「除染関係ガイドライン」が策定された（平成23年12月14日）。このガイドラインは、4編で構成され、汚染状況重点調査地域内における環境の汚染状況の調査測定方法（環境省、2011c）、土壌等の除染等の措置（環境省、2011d）、除去土壌の収集・運搬（環境省、2011e）、除去土壌の保管（環境省、2011f）に関するものからなる。ガイドライン調査事業の実施においても、これらの除染ガイドラインに準拠し、除染効果の実証事業を進めた。

1.2 事業の特徴

環境省が策定した除染関係ガイドラインでは、福島第一原子力発電所の事故に伴う環境汚染への対処として除染等の措置を行うにあたっては、以下の点に留意し、除染作業を進めていく必要があることが述べられている（環境省、2011d）。

- ① 飛散・流出防止や悪臭・騒音・振動の防止等の措置をとり、作業に伴う人の健康や生活環境への影響を抑えること
- ② 除染対象の汚染の特徴を踏まえて、適切な方法で除染し、その前後の測定により効果を確認する等、人の生活環境における線量を効果的に低くすること
- ③ 発生する除去土壌を小さくするように努めること

本事業においても、上記の留意点を考慮し、まず、除染対象とする事故由来放射性物質を選定した。

平成23年3月に発生した福島第一原子力発電所の事故により、現在、環境汚染の要因として主に考えられている事故由来放射性物質は、放射性セシウム（Cs-134 および Cs-137）であると考えられる。そのため、本事業において除染の対象とする放射性物質も放射性セシウムを基本とした。なお、福島第一原子力発電所の近傍等、放射性セシウム以外の放射性物質により汚染されている可能性のある地域については、必要に応じて放射性セシウム以外の放射性物質についても除染の対象とする必要がある（環境省、2011d）。

放射性物質による汚染の特徴は、建物等の構造物、道路、土壌及び草木といった除染対象によっても異なるため、各々の汚染状況や汚染の特徴に適した除染方法を用いる必要がある（環境省、

[※] 原子力災害対策本部（2011b）により、ステップ2の完了を受けて従来の区域設定（警戒区域及び避難指示区域）が以下のように見直された：①避難指示解除準備区域（年間積算線量 20 mSv 以下となることが確認された地域）、②居住制限区域（年間積算線量 20～50 mSv の地域）、③帰還困難区域（年間積算線量 50 mSv 超の地域）。

2011b)。本事業で対象とする放射性セシウムの場合、事故に伴い大気中に放出され、その後、雨水等とともに地表に降下し、建造物からの雨だれの跡、側溝、雨樋、水たまり、くぼみ、樹木の下、局所的に草の生えているところ、花壇等といった場所に集積していると考えられる。また、セシウムは、一般に粘土鉱物を含むような土に付着し易いと言われており（たとえば、Zachra et al., 2002；Tsukada et al., 2008；内田ほか, 2011）、家屋の庭や学校等の校庭、公園、農用地等の土壌の表層近くに付着していると考えられる。今回の福島第一原子力発電所の事故に伴い放出された放射性セシウムについても、発電所から 50～60 km 離れた場所において、地表から 5 cm 程度の土壌中にほとんどが付着していることが報じられている（Tanaka et al., 2012）。除染により線量を効果的に低減する上では、このような放射性セシウムによる汚染の特徴を踏まえ、線量への寄与の大きいと考えられる比較的放射能濃度の高い場所を特定し、汚染箇所の特徴に応じて、適切な方法で除染することが重要である。

事故発生後、これまでに、県や市町村等の各自治体により試行的な家屋等の除染が行われ、除染マニュアル等が作成されてきた（たとえば、福島県, 2011；福島市, 2011；茨城県, 2011）。これらの除染作業では、上述したような放射線量への寄与の大きい比較的高い濃度で局所的に汚染された箇所（たとえば、雨樋、屋根、側溝等）を対象に、放射性セシウムの付着し易いと考えられる落ち葉、苔、土等を除去し、除染箇所周辺の放射線量をある程度低減できた。しかしながら、放射性セシウムである Cs-137 による γ 線の空気中における平均自由行程 (108m; 岩元ほか, 2011) を考慮すると、これまでに実施されてきたような局所的な（点的な）除染の場合、除染を行っていない周辺の汚染源に由来する γ 線の影響を抑制することが困難であった。このような影響を抑制するためには、日常の生活環境にわたる比較的広い範囲を対象とした面的な除染を行うことが必要である。面的な除染作業を行う場合、除染対象となるエリアには様々な除染対象（たとえば、家屋等の構造物、農用地、道路、草地等）が含まれると考えられ、効果的・効率的な除染を行うためには、除染対象に応じた除染方法の選定、除染範囲の設定、除染手順の選定等に関わる検討を行い、除染計画を策定することが重要になる。また、このような除染計画の策定において、除染前の汚染状況の調査結果、除染対象エリア内の地形や除染対象の分布（土地利用状況）等を参考に、除染による線量の低減に関わる解析ツール（例えば、日本原子力研究開発機構, 2011）を用い、最も効果的・効率的な除染方法・除染範囲・除染手順を検討することも重要である。

そこで、本事業では、これまでに主に行われてきた点的な除染作業に加え、日常の生活環境を含めた範囲を除染対象とした面的な除染作業も考慮した除染効果の実証を行うこととした。具体的には、効果的・効率的な除染を進めるための除染計画の立案、除染計画に基づいた除染作業の実施、除染作業による除染効果の実証、除染効果の実証を通じて得られた技術や知見に基づくカタログや手引き書の整備を行った。また、本事業の実施にあたっては、福島県内の 2 つの区域（伊達市下小国地区及び南相馬市ハートランドはらまち）を例に除染効果の実証を行ったが、除染作業を進めるにあたり、地元住民の方々への事業内容の説明や合意形成、関係自治体との連携も重要であった。これらの内容についても、本事業における経験としてまとめた。なお、1.1 節でも述べたが、本事業は、今後、市町村単位で計画的な除染作業を実施して行く上で必要となる技術や知見を含むカタログや手引き書を整備することを主な目的としており、本事業で得られた成果は、各自治体が除染計画を策定する場合の具体的な参考例として利用可能である。

参考文献

福島県 (2011)：生活空間における放射線量低減化対策に係る手引き<第 2 版>，平成 23 年 10 月 31 日。

福島市 (2011)：福島市除染マニュアル（第 1 版），平成 23 年 9 月 27 日。

茨城県 (2011) : 保育園・幼稚園等における放射線量低減化対策に係る手引き, 茨城県生活環境部
原子力安全対策課, 平成 23 年 8 月 29 日.

ICRP (2007) : The 2007 recommendations of the international commission on radiological protection,
ICRP publication 103.

岩元洋介, 佐藤大樹, 遠藤 章, 坂本幸夫, 呉田昌俊, 久語輝彦 (2011) : 汚染土壌の除染領域と
線量低減効果の検討, JAEA-Technology, 2011-026.

環境省 (2011a) : 平成二十三年三月十一日に発生した東北地方太平洋沖地震に伴う原子力発電所
の事故により放出された放射性物質による環境の汚染への対処に関する特別措置法, 平成23年8
月30日.

環境省 (2011b) : 平成二十三年三月十一日に発生した東北地方太平洋沖地震に伴う原子力発電所
の事故により放出された放射性物質による環境の汚染への対処に関する特別措置法 基本方針,
平成23年11月11日.

環境省 (2011c) : 除染関係ガイドライン第1編 汚染状況重点調査地域内における環境の汚染状況
の調査測定方法に係るガイドライン, 平成23年12月第1版.

環境省 (2011d) : 除染関係ガイドライン第2編 除染等の措置に係るガイドライン, 平成23年12
月第1版.

環境省 (2011e) : 除染関係ガイドライン第3編 除染土壌の収集・運搬に係るガイドライン, 平成
23年12月第1版.

環境省 (2011f) : 除染関係ガイドライン第4編 除染土壌の保管に係るガイドライン, 平成23年12
月第1版.

原子力安全委員会 (2011) : 今後の避難解除, 復興に向けた放射線防護に関する基本的考え方につ
いて, 平成23年7月19日.

原子力災害対策本部 (2011a) : 除染に関する緊急実施基本方針, 平成23年8月26日.

原子力災害対策本部 (2011b) : ステップ2の完了を受けた警戒区域及び避難指示区域の見直しに関
する基本的考え方及び今後の検討課題について, 平成23年12月26日.

日本原子力研究開発機構 (2011) : 除染効果評価システム, 原子力基礎工学研究部門

(<http://nsed.jaea.go.jp/josen/>) .

Tanaka, K., Takahashi, Y., Skaguchi, A., Umeo, M., Hayakawa, S., Tanida, H., Saito, T. and Kanai, Y.

(2012) : Vertical profile of iodine-131 and cesium-137 in soils in Fukushima prefecture related to the
Fukushima Daiichi nuclear power station accident, *Geochemical Journal*, Vol.46., pp.73-76.

Tsukada, H., Takeda, A., Hisamatsu, S. and Inaba, J. (2008) : Concentration and specific activity of fall out
137Cs in extracted and particle-size fractions of cultivated soils, *Journal of Environmental Radioactivity*,
Vol.99., Issue 6, pp.875-881.

内田滋夫, 田上恵子, 石井伸昌 (2011) : 環境における放射性核種の分布と動態 1.土壌における放
射性核種の挙動特性, *日本原子力学会誌*, Vol.53., No.9, pp.27-31.

Zachara J. M., Smith S. C., Liu C., McKinley J. P., Serne R. J. and Gassman P. L. (2002) : Sorption of Cs⁺
to micaceous subsurface sediments from the Hanford site, USA, *Geochim. Cosmochim. Acta* 66,
pp.193-211.