

日本原子力研究開発機構機関リポジトリ  
Japan Atomic Energy Agency Institutional Repository

Title	福島第一原子力発電所事故後の環境回復への取り組みと環境回復技術
Author(s)	宮原 要, 飯島 和毅, 斎藤 公明
Citation	地盤工学会誌, 63(11/12), p.62-69
Text Version	Publisher
URL	<a href="http://jolissrch-inter.tokai-sc.jaea.go.jp/search/servlet/search?5052960">http://jolissrch-inter.tokai-sc.jaea.go.jp/search/servlet/search?5052960</a>
NAID	<a href="http://ci.nii.ac.jp/naid/110010010291">http://ci.nii.ac.jp/naid/110010010291</a>
Right	©2015 地盤工学会

宮原 要 (みやはら かなめ)

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構  
福島環境安全センター 副センター長

飯島 和毅 (いじま かずき)

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 福島環境安全センター  
環境動態研究グループ グループリーダー

斎藤 公明 (さいとう きみあき)

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構  
福島環境安全センター 特任参与

### 3.1 はじめに

東京電力福島第一原子力発電所（以下、1F）の事故（以下、事故）に伴い放出された放射性物質の地表への沈着状況等を踏まえ、除染等の環境回復の取り組みが行われてきた。日本原子力研究開発機構（以下、原子力機構）は、事故直後から災害対策基本法の指定公共機関として活動を開始し、国からの受託による放射線モニタリングや除染モデル実証事業等を実施してきており、国内外の関係機関と協力しつつ環境回復に率先して取り組んできた。

原子力機構では、図—3.1に示す枠組みで環境回復に係る取り組みを進めてきている。これらの取り組みは避難住民の早期帰還や住民の安全・安心の確保に向けて、環境中での放射性セシウムの挙動の理解を深め、それを踏まえた沈着状況の将来予測や帰還住民の被ばく線量を評価するための鍵となる役割を担っている。本章では、これまでの環境回復の取り組みに基づき得られた知見と技術<sup>1)</sup>について解説するとともに、今後取り組むべき課題を整理する。

### 3.2 環境中の放射線モニタリングとマッピング

ここでは、事故に由来する放射性物質はどのように分布し、時間の経過とともにどのように変化しているのかについて説明する。これらの情報は適切な放射線防

護対策を講じ、環境回復の取り組みの計画を立案し実施するために不可欠のものである。併せて、調査方法の技術開発について述べる。

#### 3.2.1 事故による放射性物質の沈着

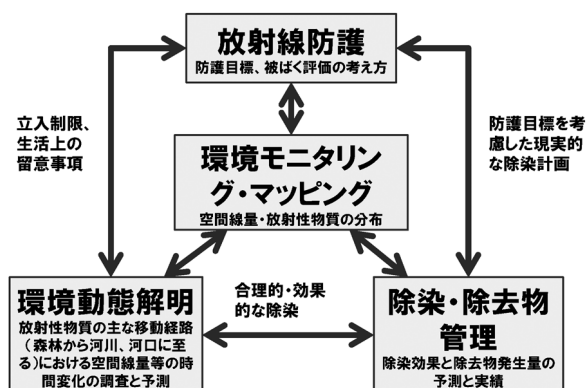
大気中に放出された放射性物質は東日本の広い地域に沈着した。沈着分布の状況は有人ヘリコプターによる航空機モニタリングや地上での測定により詳細に調査されてきた<sup>2)~5)</sup>。事故直後から継続的に調査することにより描かれた空間線量率や沈着量のマップは、除染の区域や避難区域を決定する基礎資料となった。航空機モニタリングは事故後速やかに実施されたが、航空機による測定値の空間線量（1 m 高さ）や土壌沈着量への換算は、複雑な地形（起伏のある地形や様々な土地利用、福島県の面積の7割を超える森林など）の影響による不確実性に留意する必要がある。そこで、地上調査による線量測定や土壌試料採取による室内分析により、直接空間線量や土壌沈着量を求めるとともに、航空機モニタリングの測定値からの換算の信頼性を向上させている。

今回の事故で放出され広域に沈着したことが確認された放射性核種は<sup>134</sup>Cs（2.07年）、<sup>137</sup>Cs（30.2年）、<sup>131</sup>I（8.02日）、<sup>129</sup>Te（33.6日）、<sup>110m</sup>Ag（250日）、<sup>238</sup>Pu（87.7年）、<sup>239</sup>Pu（24 100年）、<sup>240</sup>Pu（6 540年）、<sup>241</sup>Pu（14.4年）、<sup>89</sup>Sr（50.5日）、<sup>90</sup>Sr（29.1年）であった（カッコ内は半減期）。測定された沈着量をもとに簡単な被ばく評価を行った結果、長期の被ばく線量への寄与はセシウムが圧倒的に大きく、プルトニウムやストロンチウムによる線量は非常に小さいことが確認された。プルトニウムについては、1Fの敷地内からごく微量が検出されたものの事故前のフォールアウトによるものと同程度であった。

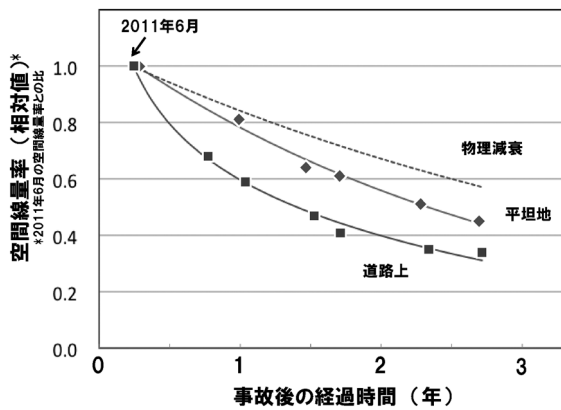
#### 3.2.2 空間線量率と沈着量の経時変化

空間線量率や土壌沈着量は時間とともに減少してきた。森林以外の地域では、空間線量率は半減期に基づく放射性崩壊に比べて早く減少してきている。空間線量率の減少傾向は、土地利用状況、空間線量率の大きさ、人間活動の有無によって異なることが分かった<sup>5)</sup>。

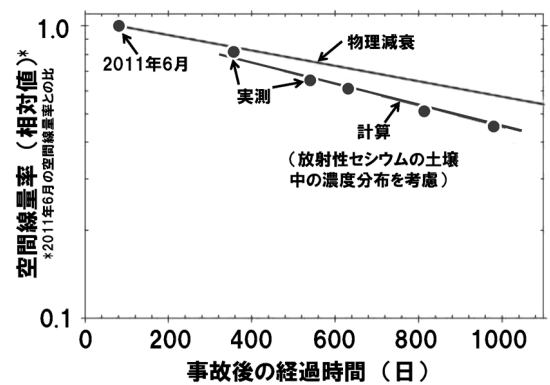
走行サーベイで測定した道路上の空間線量率は、平坦地上の空間線量率に比べて早く減少してきた。平坦地で



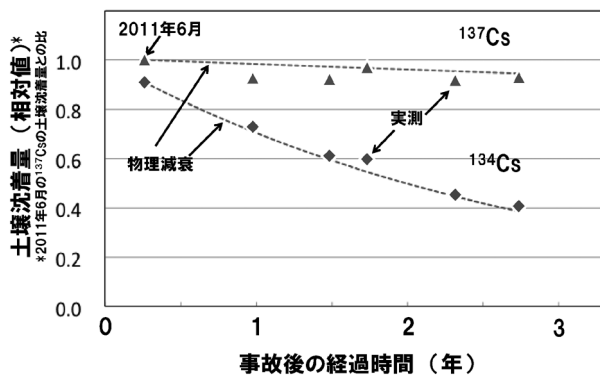
図—3.1 環境回復に係る取り組みの枠組み



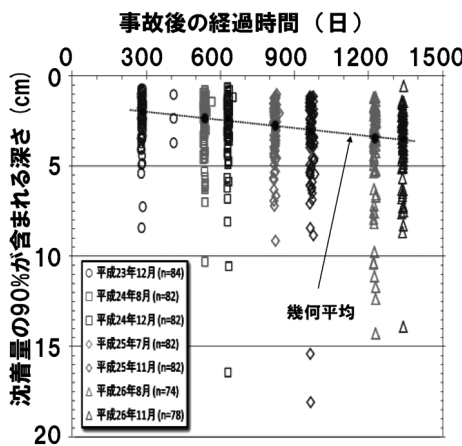
図—3.2 平均的な空間線量率の経時変化の様子



図—3.5 平坦地における放射性セシウムの浸透と空間線量率の減少の関係



図—3.3 平坦地における土壌沈着量の経時変化



図—3.4 放射性セシウム沈着量の90%が含まれる土壌深さの経時変化

は土壌中の粘土等に放射性セシウムが強く取り込まれており水平方向の放射性セシウムの動きは遅いのに対し、道路やその周辺に沈着した放射性セシウムは雨水等により洗われて移動しやすいことが原因と考えられる(図—3.2)。森林内の空間線量率は放射性崩壊による物理減衰と同じような速度で減少してきた。避難指示区域内に比べ区域外では空間線量率の減少が早く、除染のみならず人間活動全般により線量率減少が加速されることが観察されている。

土壌中の放射性セシウムは時間とともに徐々に深さ方向に浸透している<sup>5)</sup>。地中に浸透すると、土によるガンマ線の遮蔽効果が大きくなるため、空間線量率が小さく

スケール	広域 >100 km	準広域 >10 km	狭域 >1 km	極小域 ~100m
機種	有人ヘリコプター	無人航空機	無人ヘリ	マイクロUAV
高度	~ 300m	~ 150m	~ 50m	<10m
特徴	効率的に広域の調査が可能	遠隔操作で長時間(~6時間)の飛行が可能(開発段階)	より詳細な線量や沈着量の分布を測定可能	市街地や森林内部等の対象を絞った調査に有効(開発段階)

図—3.6 空からのモニタリング技術

なる。しかしながら、放射性セシウムのかなりの部分はまだ地表面から5 cm 以内に存在している(図—3.3, 図—3.4)。土による遮蔽効果の増加により、平坦地での空間線量率の減少が説明できる(図—3.5)。

森林内の沈着分布を調べることで、1F からのブルームと山間の森林地形との関係を理解することができる。口絵写真—4 (<http://urx.nu/bmG4>) は歩行サーベイによる空間線量率の結果を面的な分布として表したものである<sup>6)</sup>。1F の方向から光をあてた陰影と整合的であり、1F 方向に面した斜面で高く、逆では低かった。また、標高が高い場合に比べ低い方が空間線量率も低い傾向であった。数10 m の範囲でも斜面角度によって大きく変化し、沈着時の風向きや降雨・降雪の有無も影響するものの、1F からのブルームとの関係を理解しておくことは、森林を適切に管理するために役立つと考えられる(第3.5.3項参照)。

### 3.2.3 モニタリング技術の開発

ここでは、空からのモニタリング技術について述べる(図—3.6)。

航空機(有人ヘリコプター)モニタリングは広い範囲を迅速に測定できるものの、300 m 程度の飛行高度では詳細な分布を調べることができない。一方、無人ヘリコプターであれば低高度で詳しい分布を得ることができ、

搭載したGPSの位置情報に基づくプログラム飛行により同じ場所を繰り返し測定することができるものの、数kmの範囲しか飛行できない。この両者は実用に供せられており、さらにこの両者の中間の範囲を遠隔でモニタリングできる固定翼の小型無人航空機を開発している。また、マイクロUAV（ドローン）は市街地や森林内部など狭い領域で対象を絞った調査に有効であり、飛行の安全確保を第一に開発を進めている。

### 3.2.4 将来予測とデータベース

事故後に継続して取得してきた大量の空間線量率測定データを統計的に処理して変化傾向を明らかにすることにより、その結果に基づいて将来予測を行うことを試みた<sup>7)</sup>。チェルノブイリ事故等の知見を踏まえ、空間線量率の減衰傾向を2つの指数関数の組み合わせ（減衰の早い成分と遅い成分）で近似した経験式を使用した。過去の空間線量率測定データの解析から100mメッシュごとに最適なパラメータを決定し、100mメッシュごとの予測を行うことにより、土地の利用状況や人間活動による変化傾向の違いを考慮し、30年後までの空間線量率分布マップを作成した（図-3.7、口絵写真-5）。

国の各省庁や県などの放射性物質の環境モニタリング結果をデータベースとして取りまとめたサイトが公開されているが<sup>8)</sup>、さらにこれらのデータをマップ上に統一

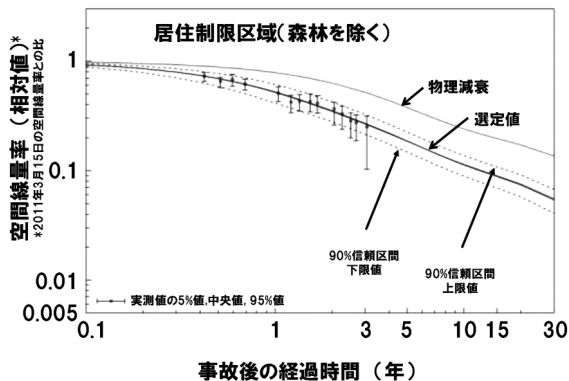


図-3.7 空間線量率予測結果の例

形式で表した、一般の方にも利用しやすい情報サイト（放射性物質モニタリングデータの情報公開サイト）を公開している<sup>9)</sup>。

## 3.3 放射線防護

ヨウ素131 (<sup>131</sup>I) 等（半減期8日）の短寿命放射性核種の崩壊後、線量は放射性セシウムに支配されており、厳格な食品制限と日本の湿潤な気候により、経口摂取及び吸引による内部被ばくは少ない。そのため、放射性セシウムのガンマ線による外部被ばくが放射線防護の焦点となる。本節では、個人の被ばく線量を評価するための手法について説明する。

### 3.3.1 全身測定による内部被ばく調査

福島県の要請として、原子力機構は、事故後の放射線被ばくを評価するために、住民の全身測定を2011年7月11日に開始した。1年目であっても（2011年7月11日～2012年3月31日）、住民の99.8%で預託実効線量は1mSv以下であることが分かった。1mSvより大きい値を持つ対象者は23人だけだったが、記録された最大値は3mSvであった<sup>10)</sup>。これらの値は、バックグラウンドと同程度であり、有意な健康へのリスクは予想されない。

### 3.3.2 外部被ばく線量の推定手法

国は、外部被ばくを推定するため次の考え方を採用してきた（例えば、20mSv/yという避難基準値を設定するため）。これは、1日のうち8時間を屋外で、16時間を室内で過ごすことを仮定し、航空機モニタリング等による空間線量率の測定値に基づき、室内分についての線量低減係数は0.4として被ばく線量を求めるものである。

原子力機構は、個人線量測定、生活様式のアンケートや支援の研究の組み合わせに基づいて、避難地域への住民の帰還に向けた放射線防護計画を改善するためのより柔軟なモデルを開発している（図-3.8）<sup>11)</sup>。このモデルでは環境の違いや生活時間の分布を考慮し、統計的な評価を行う。モデルによる推定値と個人線量計による測定結果の比較から、個人線量計による測定は従来のモデ

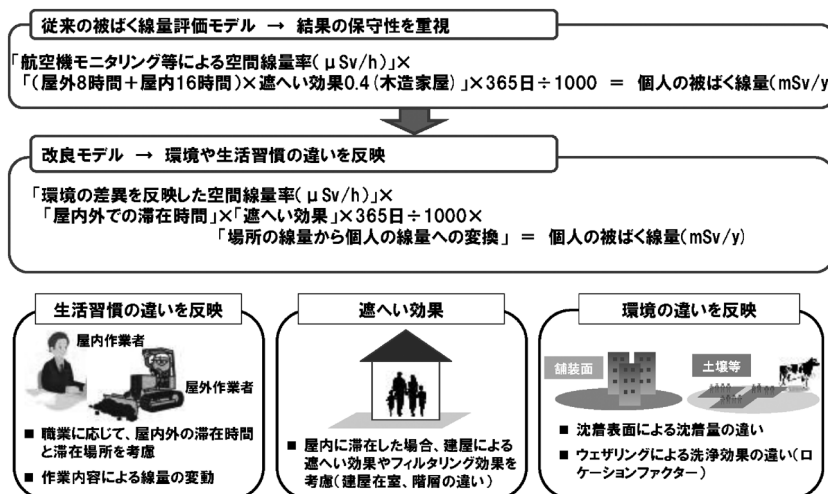
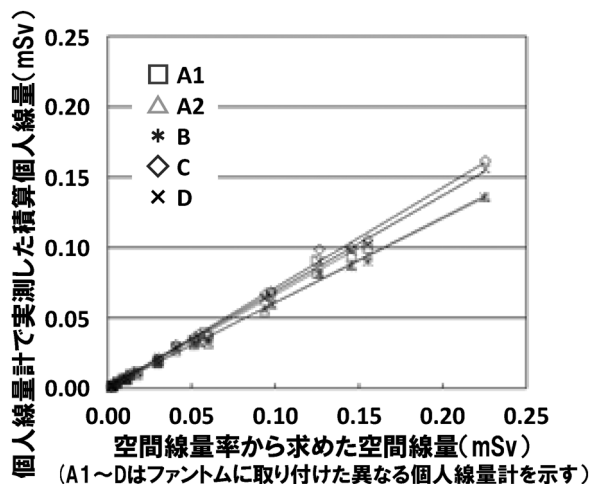


図-3.8 現実的な個人線量推定に求められる改善点



図—3.9 個人線量率と空間線量率の比

ルからの推定値よりもかなり小さいことを示した。

空間線量測定と、人体を模擬した「スラブファントム」に個人線量計を装着した測定とを比較した。この結果、成人の積算個人線量当量は、1 m 高さの空間線量率から求めた積算線量に0.7を乗じることで推定することができた<sup>12)</sup> (図—3.9)。

さらに、建物の種類別(木造や鉄筋コンクリート構造)の遮へい効果をシミュレートしたモデルにより線量低減効果を見積もることができた<sup>13)</sup>。この結果、線量低減係数0.4は、木造家屋には比較的妥当だが、コンクリート構造の建物による遮へい効果は過小評価したことを明らかにした(口絵写真—6)。また、多くの家屋を対象とした実測結果から、福島の木造家屋の線量低減係数は自然放射線の寄与を分離して考えれば、ほぼ0.4になることが分かった<sup>5)</sup>。

### 3.4 除染と除去物対策

国から原子力機構が受託した避難区域における「除染モデル実証事業」(以下、モデル事業)(2011年9月～2012年6月)等<sup>14)～16)</sup>では、宅地、グラウンド、農地、公園、森林、道路等様々な土地利用状況に応じた除染対象を扱った。今回の除染のターゲットが地表等に沈着した放射性セシウムを除去する、あるいは濃度を下げることであることから、モデル事業後の本格除染につながるよう民間の土木技術等で培った手法を適用し、必要に応じて改良することで技術情報等を得るように留意した。ここでは、モデル事業等で得られた知見と除去物対策の論点について述べる。

#### 3.4.1 除染モデル実証事業等で得られた知見

モデル事業では、それぞれの土地利用状況ごとに複数の除染手法を適用し(写真—3.1, カラー写真は口絵写真—7), 除染効果, 施工速さ, 歩掛, コスト, 施工適用条件, 施工上の留意点等を整理した。特に除去物発生量は仮置場等の確保と密接に関わるため, 除染効果を確保しつつ除去物の発生量を抑えることに着目してデータを取得した。このため, 試験施工を行い, 予め剥ぎ取り深さ等と除染効果の関係性を把握し, 剥ぎ取り深さ等を決



写真—3.1 除染作業の例

定して本施工を行った。また、除染計画の立案には、除染効果を予測する解析評価を有効に活用した。

除染にあたっては、事前モニタリングで線量分布や局所的に線量の高いところを把握し、作業者の被ばく低減に留意するとともに、作業者の外部被ばく(積算線量計)、内部被ばくの管理(全身測定)を徹底した。また、防護服を着用した作業であり作業者の負担軽減の観点から、休憩所を設けて適切に休憩時間をとることが重要であった。作業監理においては、現場で得られた良好事例や留意事項について情報共有を日々の現場会議等で図っていくことが有効であった。

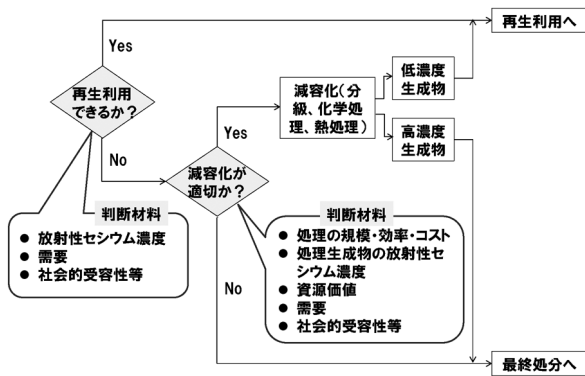
地権者等関係者の同意を得て除染に着手できることから、自治体の求める同意取得の方法に沿って、住民説明会、地権者への訪問、資料送付等による同意取得を行った。分かりやすい資料を用いて計画を説明し文書で同意を得るとともに、さらに除染の経過や除染実施後の除染効果等について情報提供することが重要であった。

モデル事業等では、表土の剥ぎ取りや道路、建物の除染等、既存の土木技術等を駆使して有効に除染できることが実証された。モデル事業等で得られた知見も踏まえつつ、除染関係ガイドライン等が制定され、国と自治体による本格除染が進められた。帰還困難区域や仮置場等の同意取得に時間を要した地区を除けば、計画に沿って除染が進んできており、2014年10月1日には、川内村の避難指示(避難指示解除準備区域)が解除された。

#### 3.4.2 除去物対策の論点

除染で生じた除去物は中間貯蔵施設で管理されることとなるが(30年以内に福島県外で最終処分)、推計される発生量1600～2200万 $m^3$ のほとんどは除去土壌が占め、その約半分は30年後には3000 Bq/kg(災害廃棄物の再利用の目安)を下回ることとなる<sup>17)</sup>。分級等の減容処理方策の実用的な手法開発とともに、比較的低濃度の除去物等について、建設資材等への利用に関わる制約も考慮して、どのような再生利用が可能かについて、地盤工学分野等の関係者の積極的な提案が期待される(図—3.10)。

再生利用の実現に向けては、道路の路盤材や防潮堤の芯部などの土木材料としての具体的な用途とそれに応じた要求品質を明確にするとともに、例えば、除去土壌の



図—3.10 土壌・焼却灰の再生利用・減容化フロー

分級により分別した粗粒土を土木材料として用いる場合、遮へい効果を有する資材で覆うなどの管理された状態にすることにより、再生利用が可能となる放射性セシウムの目安濃度（災害廃棄物では3 000 Bq/kg）を設定し、これを満たすための分別コストが土木材料としての再利用に見合うことや社会的な受容性などの観点から、事業の合理性について総合的に判断することが求められる。

防潮堤の整備など東日本大震災後の復興に関わる事業にタイムリーに土木材料として利用できることも重要であり、早期に減容化や再生利用のための戦略を構築することが求められている<sup>18)</sup>。

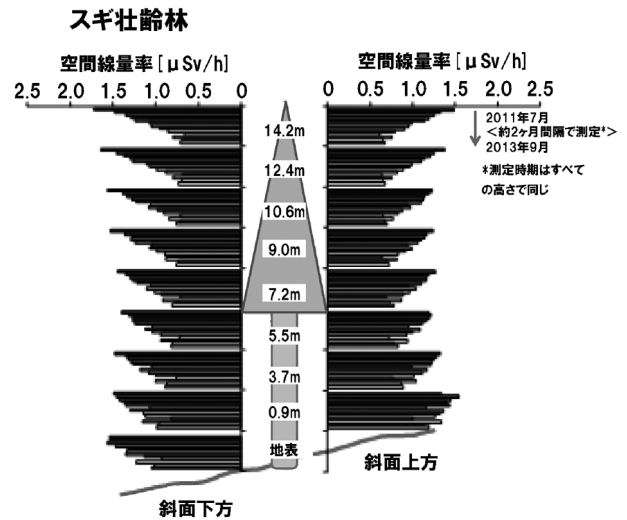
### 3.5 環境中での放射性セシウムの移動評価と影響低減対策

環境動態の解明においては、環境中に沈着した放射性セシウムが、土壌中の粘土等に強く取り込まれていることに着目し、雨水による土壌の浸食や風化等の自然現象による放射性セシウムの環境中での挙動を評価する。ここでは、森林から河川水系を通り、生活圏、海域に至る環境中での放射性セシウムの移動調査結果とそれに基づくシミュレーション技術、さらには影響低減対策について述べる。

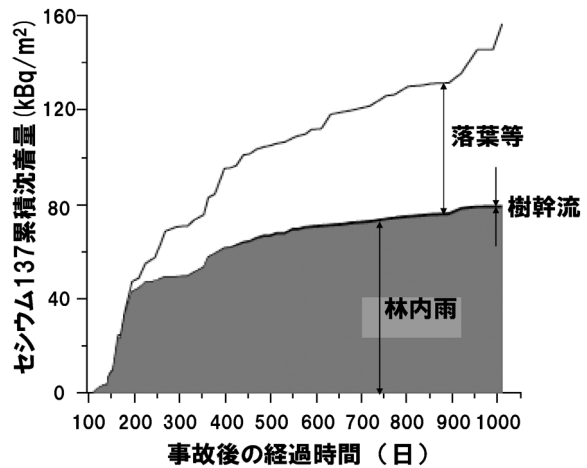
#### 3.5.1 環境中での放射性セシウムの移動調査結果

放射性セシウムは地表に移動する傾向が認められ、空間線量率は、森林内全体で徐々に減少している。事故直後、常緑のスギ林では、樹冠部の方が林床よりも高い空間線量率を示した。時間経過とともに、樹冠部の空間線量率は大きく減少したが、林床では樹冠部と比べて空間線量率の減少速度が遅く、樹冠部から林床への放射性セシウムの移動による影響と考えられる（図—3.11、カラー写真は口絵写真—8）。落葉、林内雨、樹幹流に伴い放射性セシウムが地表に移動する傾向があり（図—3.12）、森林内全体で空間線量率は減少しているものの、地表付近における空間線量率の減少率は、放射性セシウムの物理減衰による減少率と同程度であった。

森林内斜面に設置した観測プロットでは、1年間に土砂とともに流出する放射性セシウムの割合は、表土中の0.1%程度にとどまっている。植生や傾斜によらず、非常に低い流出率となった。これは、いずれの森林斜面で



図—3.11 森林内空間線量率の垂直方向分布の時間変化（川俣町山木屋地区）



図—3.12 森林内の林床における放射性セシウム沈着量とその起源の時間変化（川俣町山木屋地区）

も同様に地表に堆積している落葉・落枝等により、大雨においても土砂等の流出が抑制されているためと考えられる。

森林に隣接する場所でも、大雨や強風に伴う空間線量率の上昇は認められていない。大雨により河川の流量が増加すると、河川水中を浮遊する土砂粒子の濃度が高くなる。この粒子に放射性セシウムが吸着されているため、放射性セシウムの濃度も高くなる。しかしながら、いずれの河川においても、その濃度は時間とともに減少する傾向にある。山地から供給される土砂中の放射性セシウムの濃度が、時間とともに減少する傾向にあるためと考えられる。

放射性セシウムが堆積しやすい場所は植生が繁茂した高水敷に限られており、全体的に空間線量率は徐々に減少する傾向にある（図—3.13）。水がほとんど到達することのない高水敷に堆積した放射性セシウムは、そのまま堆積し続けるが、場所は限られる。年に数回水が到達する高水敷では、放射性セシウムの堆積・浸食が繰り返される。

河川からダムに流入する放射性セシウムの大部分はダム湖底に蓄積する状況にある。ダム湖では事故直後に底質へ最も多く放射性セシウムが蓄積したと考えられる。降雨時の流入土砂によって底質のセシウムの高蓄積層は、遮蔽されつつある。ダム湖底への放射性セシウムの蓄積によって湖水中の溶存態の放射性セシウム濃度が増加する傾向は認められない。ダム湖からの放流水（表層から取水）のセシウム濃度は、粒子態、溶存態ともに時間とともに低下していることが確認された（図—3.14, カラー写真は口絵写真—9）。

高水時でも、ダム湖内の水は表面付近を流れるため、湖底の堆積物は舞い上がりにくく、湖水の濁りは主に上流からの流入水によるものである。春から秋にかけては流入する河川水の温度が高いため、高水時であっても水は湖の表面付近を流れ、その表面付近の水が下流へ放流されている。高水時に上流から濁った水が流入すると、湖の表面付近の濁度は一時的に上昇するが、湖底付近の濁度にはほとんど変化は認められない。

ダム湖に流入した土砂は、その粒径の違いによって堆積する場所や流出しやすさが異なっているものの、ほとんどの流入土砂はダム湖内で沈降、堆積することが分かった<sup>19)</sup>（口絵写真—10）。

一方、河口の細粒分が堆積している限られた場所では、比較的高い濃度の放射性セシウムの堆積が認められている。細粒分は、海側に窪んだ凹状地のような場所に堆積

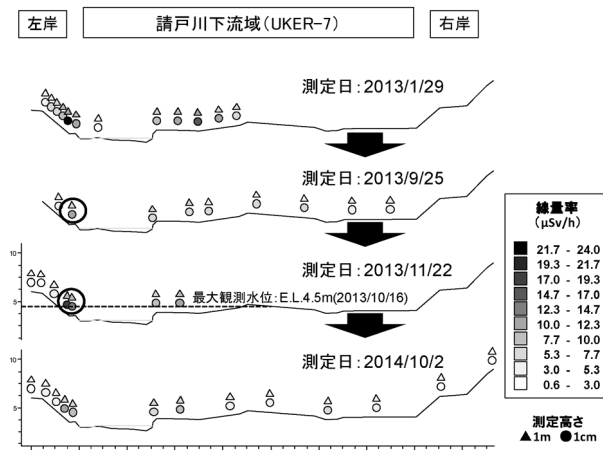
しやすい傾向があると推測される。

水産庁の水産物の放射性物質調査の結果では、福島県沿岸海域においては、平成23年4～6月期には基準値（100 Bq/kg）を超える割合が53%となっていたが、平成27年1～2月期では0.2%まで低下した。

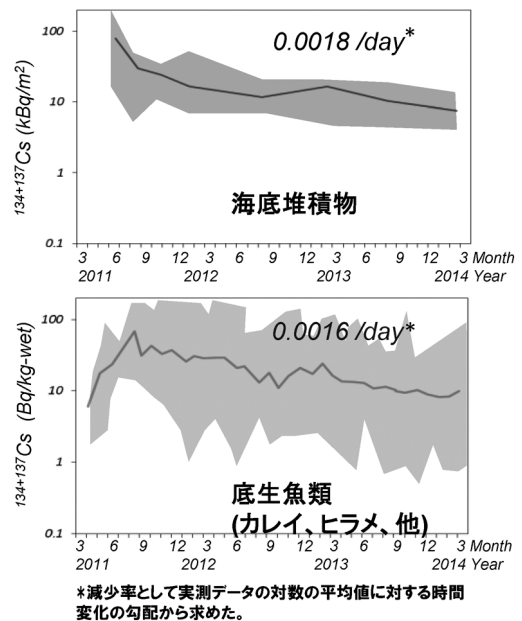
福島県近隣の沿岸域の海底堆積物中の放射性セシウムのインベントリは時間と共に減少しており（水深100 mまでの沿岸域では2年間で半分以下に減少）、底層生態性の魚類（カレイ、ヒラメ等）中の濃度は堆積物中のインベントリと同程度の減少率となっている<sup>20)</sup>（図—3.15）。

### 3.5.2 環境中での放射性セシウムの挙動のシミュレーション技術

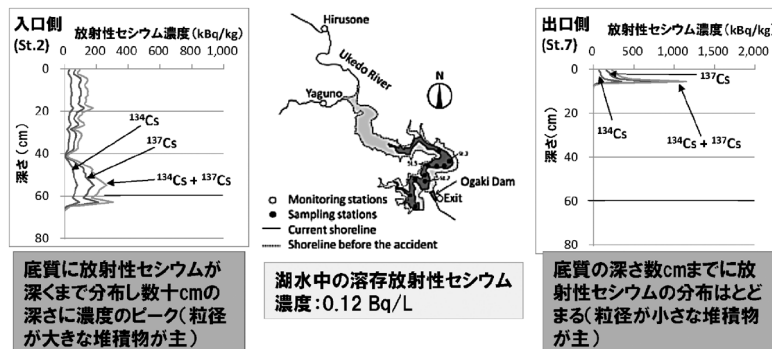
森林等から雨水による土壌浸食により土砂粒子とともに放射性セシウムは流出し、河川水系を移動・堆積し、河口に至る。この放射性セシウムの挙動はシミュレーションできるようになりつつある。森林等から河川水系への放射性セシウムの移動に伴う濃度分布の変化等、得られた計算結果を調査結果と比較することにより、シミュレーションの適用性を確かめている。例えば、請戸川の



図—3.13 河川敷で測定した線量の変化



図—3.15 海底堆積物と底生魚類中の放射性セシウム濃度の経時変化



図—3.14 ダム湖底堆積物中の放射性セシウムの深度分布（大杵ダム）

大柿ダム湖の入口における平水時及び高水時の河川水中放射性セシウム濃度を評価した上で、高水時における出口での放射性セシウム吸着土砂粒子の流出挙動を評価し、調査結果との比較評価を行い、両者は概ね整合するとの結果を得ている<sup>21)</sup>。

### 3.5.3 影響低減対策

ここでは、森林と河川・ため池等における放射性セシウムによる影響の要因とその低減対策について述べる。

#### (1) 森林

森林における放射性セシウムの影響として留意すべき点としては、下記が挙げられる。

- 土壌浸食に伴う放射性セシウムの河川等への流出
- 生活圏における除染した林縁部へのセシウムの移動
- 除染しない生活圏外の森林における林業従事者等の外部被ばく
- 林産物への放射性セシウムの取り込み
- 沢水への放射性セシウムの混入

3.5.1 で述べたとおり森林からの土壌浸食等に伴う放射性セシウムの流出率は小さい。これは、森林内では、樹根が土中に張り巡らされ、落葉等が覆っていることから、雨水による土壌の浸食を抑えるためである。

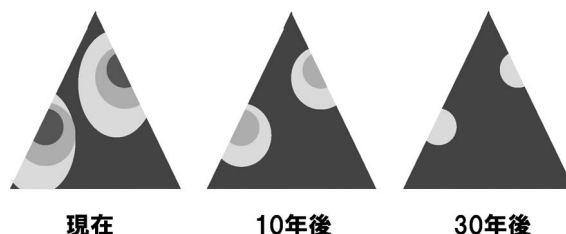
落葉等の除去や間伐等の森林整備を行うことにより空間線量率の低減がどの程度期待できるのかが林野庁により調査されている（川内村の試験地）。林縁から20 mまでの落葉等除去を行った場合の空間線量率の低減効果は30%程度となり、さらに林縁から20~50 m奥までの落葉等除去では線量低減効果はほとんど認められなかった。落葉等除去に加え皆伐を行っても追加的な線量低減は、落葉等除去の半分未満であった<sup>21)</sup>。

広範囲の落葉等の除去は、雨水による土壌の浸食を妨げる機能を損なうこととなり、放射性セシウムの流出率の大幅な増加が懸念されることとなる。このことから、林床を被覆することにより線量低減を図る工法が検討されている。林床を被覆する工法として、植生マット工、植生基材吹付工、木材チップ散布工について、被覆する資材の厚さを5 cm厚、10 cm厚として試験を行い、最も効果がみられた植生基材吹付工10 cm厚で20~30%程度の線量低減効果が得られた<sup>22)</sup>。

樹木の幹部である木材中の放射性セシウムの濃度は、樹皮表面からと根からの吸収により変化することが考えられる。これまで林野庁が福島県内で実施した樹木の放射性セシウム濃度調査では、木材部分の最高値は0.89 kBq/kgであった。この木材で囲まれた居室で1日の8割を過ごすとした被ばく線量は年当たり0.022 mSvであり、国内の一人当たりの天然の放射線による被ばく量のばらつきを年当たり0.4 mSv よりもかなり小さく、人体への影響はほとんどないと考えられる<sup>22)</sup>。

帰還困難区域を含め地下水では放射性セシウムは検出されていない<sup>23)</sup>が、沢水では放射性セシウムを含む懸濁物が混入する可能性があり注意を要する。

林業等の再生、帰還に向けた計画立案等への貢献のた



図—3.16 ゾーニングのイメージ（沈着量に応じた維持管理方策の選択）

め、1Fからのプルームと沈着量分布との関係を踏まえ設定したゾーニングに応じた維持管理方策の選択（図—3.16）を適切に行うことが考えられる。維持管理方策としては、事故前に行われていた通常の森林整備のための間伐等が挙げられる。沈着量分布と樹木や林産物中の放射性セシウム濃度の関係を把握し、その経時変化を予測することで、適切な間伐の時期や林産物の採取制限期間を判断することが考えられる。このためには、航空機モニタリング、無人ヘリデータに基づく効率的な沈着量分布の把握と物理減衰に基づく将来予測を行い（口絵写真—11）<sup>24)</sup>、樹木や林産物への影響を推定することが求められる。

#### (2) 河川・ため池等

河川・ため池等における対応に関しては、生活圏の空間線量を低減するための方策に係る基本的な考え方として、放射性セシウムの蓄積により空間線量が高く、かつ、一般公衆の活動が多い生活圏に該当すると考えられる箇所については、必要に応じ、除染を実施することが示されている<sup>25)</sup>。

ため池の対策としては、放射性セシウムを除去し底質（底にたまった土砂等の堆積物）を減容するためのものと、放射性セシウムの拡散を抑制するためのものに大別され、以下の4つの手法が示されている<sup>26)</sup>。

#### （減容）

- 放射性セシウム濃度の高い細粒分を底質の剥離洗浄により回収し、放射性セシウム濃度の低い粗粒分を池敷に戻す（除去工法）

#### （拡散抑制）

- 放射性セシウムを多く含む表層の底質をコンクリートで固め、その上に汚染していない土で被覆して、底質の巻き上がり防止と水位低下時の空間線量への影響を低減する（底質固化・被覆工法）
- シルトフェンスを設置することで、水面付近の流れを遮断し、放射性セシウムを含む濁水の懸濁物の沈降を促進するとともに、底質の巻き上がりを防止する（シルトフェンスの設置）
- 底質の混入防止のため表層の貯留水を取水できるよう取水位置を変更する（表層取水）

除去工法で生じる放射性セシウム濃度の高い除去土壌は、中間貯蔵施設にて受け入れるとの方針が環境省から示されている。

河川においては、上述のとおり生活圏に該当すると考



えられる箇所での必要に応じた除染の考え方が示されており、具体的な手法が提案されることとなると考えられる。一方、河川の適正な維持管理においては、洪水対策として河積を拡大・確保するため河道の土砂を浚渫する、若しくは環境対策（水質維持）のため堆積した川底の底泥を浚渫することが行われる。このような維持管理による浚渫は除染ではないことから、浚渫土の扱いが課題となる。事故前には適切に行われていた維持管理が停滞する場合、河積断面の不足等により豪雨時における河川増水による河道内堆積土砂の流出が懸念される。

### 3.6 おわりに

放射線モニタリングとそれに基づく放射性物質の地表への沈着状況等のマッピングでは、住民の被ばく線量の推定や除染の計画立案等のための基本情報を整えた。これを踏まえ放射線防護では、線量の低減目標等を踏まえた被ばく線量推定の考え方に基づく評価を行った。除染モデル実証事業等では、適切な除去物対策を講じて除染対象に応じた様々な手法や技術を適用し、それらの有効性について評価した。環境中に沈着した放射性セシウムの影響については、雨水による土壌の浸食や風化等の自然現象により徐々に環境が回復してきていることを示した。

今後取り組むべき課題としては、生活圏外の森林への対策と除染除去土壌等の減容化が挙げられ、自治体や住民の方々等関係者の理解を得て進めることが鍵になることから、早期帰還や安全安心の確保に向けて環境回復や技術開発の状況等を分かりやすく説明し理解を得るコミュニケーションが特に重要と考えられる。こうした理解促進を支えるための、環境回復の取り組みを踏まえた知識の体系化が求められる。

### 参考文献

- Miyahara, K., McKinley, I. G., Saito, K., Hardie, S. M. L., and Iijima, K.: Use of Knowledge and Experience Gained from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Accident to Establish the Technical Basis for Strategic Off-site Response, JAEA-Review 2015-001, 2015.
- 文部科学省：東京電力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（第一次調査），2012.
- 文部科学省：平成23年度放射能測定調査委託事業「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」，2013.
- 文部科学省：平成24年度放射能測定調査委託事業「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」（第三次調査），2013.
- 原子力規制庁：平成25年度東京電力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事業．2014.
- Atarashi-Andoh M., Koarashi J., Takeuchi E., Tsuduki K., Nishimura S. and Matsunaga T.: Catchment-scale distribution of radiocesium air dose rate in a mountainous deciduous forest and its relation to topography, *Journal of Environmental Radioactivity* Vol. 147, pp. 1-7, 2015.
- 木名瀬栄・高橋知之・佐藤仁士・山本英明・齋藤公明：事故30年後までの空間線量率の予測，入手先〈[http://www.rri.kyoto-u.ac.jp/anzen\\_kiban/sympo/sympo2015/IMG/slide/S2-2\\_Sakae\\_Kinase.pdf](http://www.rri.kyoto-u.ac.jp/anzen_kiban/sympo/sympo2015/IMG/slide/S2-2_Sakae_Kinase.pdf)〉（参照2015. 9. 24）
- 原子力規制庁，入手先〈<http://radioactivity.nsr.go.jp/ja/index.html>〉（参照2015. 5. 7）
- 日本原子力研究開発機構，入手先〈<http://emdb.jaea.go.jp/emdb/>〉（参照2015. 5. 7）
- 武石 稔：被ばく評価③ —全身カウンタ（WBC）による測定と結果の評価—，廃止措置及び環境回復への原子力機構の取り組み2014年版，pp. 114~115, 2014.
- 高原省吾：外部被ばくによる個人線量の推定—個人線量の測定と生活習慣に基づく線量評価手法の開発—，環境再生に向けて2013年版，pp. 31~32, 2013.
- 放射線医学総合研究所・日本原子力研究開発機構：東京電力福島第一原子力発電所事故に係る個人線量の特性に関する調査，2014.
- 古田琢哉・高橋史明：環境に沈着した事故由来の放射性セシウムからのガンマ線に対する建物内の遮蔽効果及び線量低減効果の解析，JAEA-Research 2014-003, 2014.
- 日本原子力研究開発機構：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報告書，2012.
- 日本原子力研究開発機構：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報告書，2012.
- 日本原子力研究開発機構，入手先〈<http://c-navi.jaea.go.jp/ja/>〉（参照2015. 5. 7）
- 環境省，入手先〈[http://josen.env.go.jp/material/pdf/dojyou\\_cyuukan.pdf](http://josen.env.go.jp/material/pdf/dojyou_cyuukan.pdf)〉（参照2015. 5. 7）
- 環境省，入手先〈<https://www.env.go.jp/guide/budget/h27/h27-gaiyo-2/002.pdf>〉（参照2015. 5. 7）
- Yamada, S., Kitamura, A., Kurikami, H., Yamaguchi, M., Malins, A., and Machida, M.: Sediment transport and accumulation in the Ogaki Dam in eastern Fukushima. *Environ. Res. Lett.* 10. 014013.doi:10.1088/1748-9326/10/1/014013, 2015.
- 乙坂重嘉：海底堆積物中の放射性セシウム濃度の推移，ISOTOPE NEWS, No. 710, pp. 12~15, 2013.
- H. Kurikami, A. Kitamura, S. Yokuda and Y. Onishi: Sediment and <sup>137</sup>Cs behaviors in the Ogaki Dam Reservoir during a heavy rainfall event, *J. Environ. Radioact.* 137, pp. 10-17, 2014.
- 林野庁：森林・木材と放射性物質 福島の森林・林業再生に向けて，2014.
- 環境省，入手先〈[http://www.env.go.jp/jishin/monitoring/result\\_gw150313.pdf](http://www.env.go.jp/jishin/monitoring/result_gw150313.pdf)〉（参照2015. 5. 7）
- D. Sanderson, Y. Sanada, A. Cresswell, S. Xu, S. Murphy, C. Nakanishi and T. Yamada: Integrating nuclide specific and dose rate based methods for airborne and ground based gamma spectrometry, *Proceedings of International Symposium on Radiological Issues for Fukushima's Revitalized Future, Japan*, 2015 (in press).
- 環境省，入手先〈<http://www.env.go.jp/jishin/jishin/rmp/conf/12/mat03.pdf>〉（参照2015. 5. 7）
- 農林水産省：ため池の放射性物質対策技術マニュアル基礎編，2014.