

# 最終報告書 (2013年～2017年)

## 概要版

東京電力(株)福島第一原子力発電所事故後  
の放射線モニタリングと除染の分野に  
おける

## IAEA と福島県との間の 協カプロジェクト

【福島県協カプロジェクト】  
(日本語仮訳)

2018年5月30日

2018年

ウィーン／福島県

### 注意

この資料は、原文「SUMMARY REPORT (2013 - 2017) Executive Summary Cooperation between the International Atomic Energy Agency and Fukushima Prefecture And Activities undertaken By Fukushima Prefecture Radiation Monitoring and Remediation Following the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident」について、福島県で把握し、仮訳出したものであります。翻訳にあたっては、原文を用いて日本語に仮訳しました。ここに掲載している日本語訳文は、読者の参考に供するための仮訳であります。正確な内容については、原文による正式の文言をご確認願います。この資料の利用により生じた損害について、福島県は一切の責任を負いません。また、この資料の全ての内容について、事前の書面による承諾なしに転載することを禁じます。

福島県

## 1. 協力の目的と範囲

放射線モニタリング及び環境回復分野における協力に関する福島県と国際原子力機関（IAEA）間の実施取決め（以下「実施取決め」という。）と題する基本合意が、2012年12月に福島県（以下「県」という。）とIAEA間で締結され、2016年4月／5月に第一回修正がなされた。実施取決めの目的は、県とIAEA間の協力の枠組みを定め、東京電力（株）福島第一原子力発電所事故由来の電離放射線からの継続的な人々と環境の保護が確実に行われるよう、放射線モニタリング及び環境修復に関する分野において福島県に広範囲な支援を提供することである。この5年間の概要報告のエグゼクティブサマリーは、実施取決めに基づいて2013年から2017年に実施取決めに基づいて行われた協力及び県によって実施された活動をまとめたものである。

## 2. 森林における放射性物質の長期モニタリングとその対策

2012年に実施取決めが締結された際、県は、県内の住民にとって最も重大な放射線リスクは、陸上と水圏双方の生態系に存在するセシウム-137とセシウム-134（以下、合わせて「放射性セシウム」という。）によって放出される外部放射線であると断定した。県は、環境中の放射性セシウム濃度とそれに関連する住民への被ばく線量は、放射性セシウムの自然減衰や、ウェザリング効果による地表面からの除去及び土壌または堆積物中への鉛直移動により、人為的な介入がなくても低下し続けると判断した。森林内に堆積した放射性セシウムは、森林生態系内部に保持され、循環する。

この協力分野において、実施取決めは、無人航空機を使用した環境マッピング技術の適用、森林における放射性物質の長期モニタリング及び関連する対策に関する研究及び調査、ならびにIAEAが支援する、放射線モニタリングデータを使用した公衆が利用できるマップの作成に焦点を置いた。IAEAは、協力の一環として、放射性セシウムの分布特性評価、放射線モニタリングプログラムの策定、対策の効果の検討、里山再生モデルプロジェクトの作成、林業従事者の外部被ばく低減のための対応、森林火災の放射線影響の評価、ならびに森林のキノコやタケノコへの放射性セシウムの移行の影響の評価に関連して県が実施する森林における放射性セシウムの長期モニタリング及び関連する対策について県に助言を行った。

## 県が行った活動の成果

県は、森林における放射性セシウムの挙動についてより理解を深めるため、大規模な作業プログラムを行ってきた。現時点で、県がこのプログラムから導き出した主な結論は次の通りである。

- 県内の森林に沈着した放射性核種は、事実上生態系内に保持され、放射性セシウムの農地への移動の可能性は低いと思われる。
- 県は、空間線量率の減少率を調査するため、森林における長期モニタリングプログラムを策定した。空間線量率は、2011年8月と比較すると、全体で約70%減少した。2011年設置の最初のモニタリング地点362カ所のみを見ると、2011年8月から2017年3月までの間に空間線量率の測定値が $0.23\mu\text{Sv/h}$ 未満になった地点が42カ所から309カ所に増加し、更に、 $1\mu\text{Sv/h}$ を超える地点が127カ所から61カ所に減少した。この結果は、放射性セシウムの自然減衰による放射線量の低下とおおよそ合致する。図2.1は、県内の森林における362カ所のモニタリング地点での実測線量率、放射性セシウムの自然減衰に基づく推定線量率及び将来の予想線量率である。

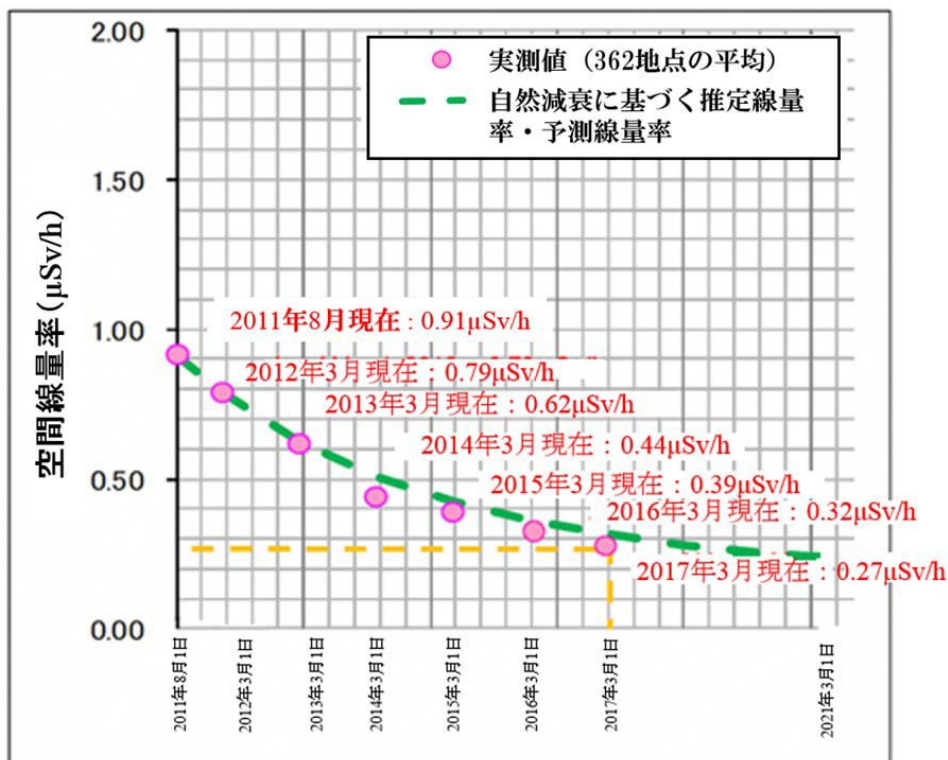


図 2.1. 県内の森林における 362 カ所のモニタリング地点での空間線量率実測値、放射性セシウムの自然減衰に基づく推定線量率及び将来予想線量率 (福島県作成)

- 森林整備は、浸食及び土壌流出の防止につながるほか、放射性セシウムを森林内に保持することにも極めて効果的である。
- 放射性セシウムは森林土壌に含まれる粘土鉱物と化学的に結合するため、植生への移行は限定的である。その結果、この作用により、県が実施した実測値によると、県内の森林における動植物の放射性セシウム濃度が、チェルノブイリ事故後のヨーロッパの森林に比べてかなり低かった。
- チェルノブイリ事故の被災地域における放射線モニタリングの知見に基づき、森林における放射線モニタリングは、更に長期にわたって継続する必要がある。空間線量率モニタリングおよび立木の放射性物質濃度のモニタリング方法は、環境中の放射性セシウムの移動や、物による吸収率が多くなる浸水地域での放射性セシウ

ムの堆積等が変化し続ける状況を考慮して調整していく必要があると思われる。

- 2012年以降、最初に森林へ沈着した放射性セシウムのは、立木から土壌及び落葉層へと移動した。空間線量率の低減を図るために大量の表土を剥ぎ取るのは、実用性を欠く。この対策は、コストが高く、管理が必要な廃棄物を新たに生み出し、更には森林生産性の低下につながる可能性がある。

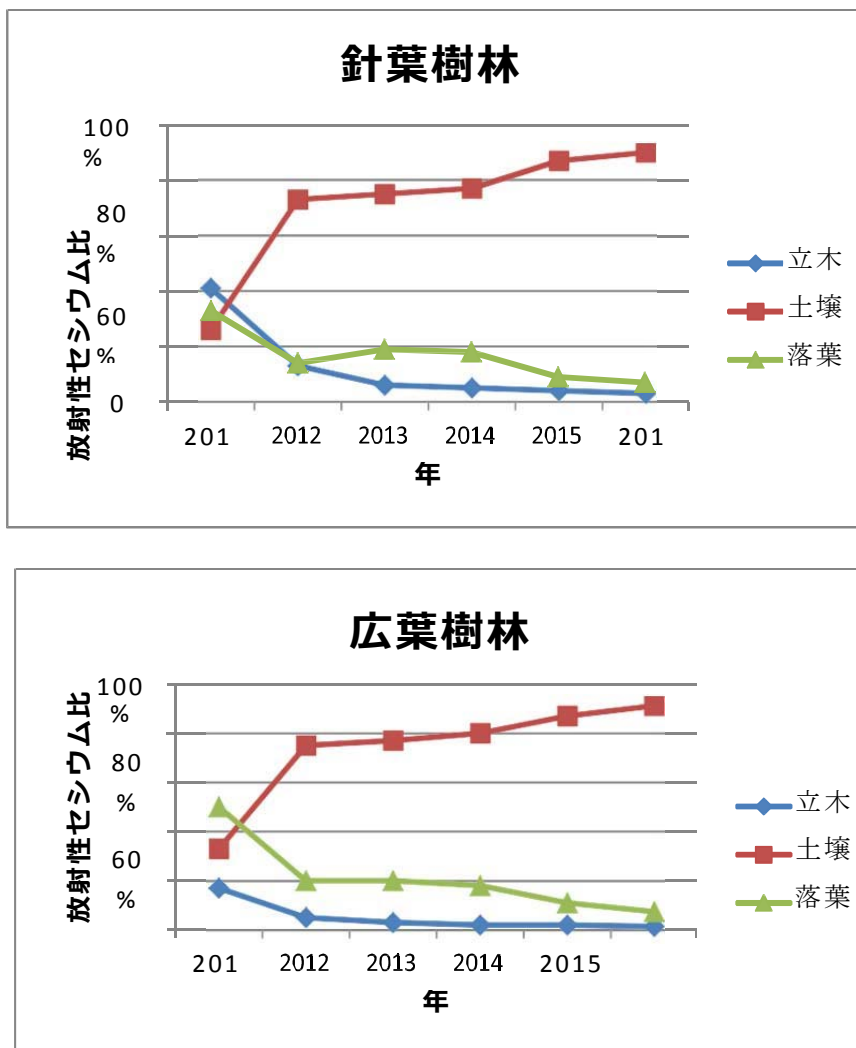


図 2.2. 2011 年から 2016 年までの県内の針葉樹林および広葉樹林における放射性セシウム分布の変化（農林水産省、福島県林業研究センター）

- 放射性セシウムを含まない土やウッドチップによる林床被覆は、空間線量率の低減に有効な手段である。その方法は、高額な費用がかかり、その長期的有効性は、続けて検討される必要があるものの、空間線量率の高い、特に住宅地域に近い地域への適用は、妥当だと思われる。
- 里山再生モデルプロジェクトの初期段階には、放射性廃棄物の発生、対策の有効性、プロジェクトの成否の評価方法の明確化等の様々な問題に取り組まねばならなかった。
- 現在までのところ、森林での木材生産および木材の使用を制限する必要はないと思われる。しかし、特に放射性セシウム濃度が高い地域で作業が開始されるため、木材のモニタリングは継続すべきである。

- 林業従事者の放射線被ばくを制限するための対策が講じられてきた。例えば、伐採機械の導入、作業時間の制限等である。全体として、林業従事者の放射線量の低減を図るために、安全側に立った取り組みがなされている。
- 県による森林火災の調査では、火災由来の重大な放射線影響は認められていない。しかし、仮に、福島第一原子力発電所事故直後に森林火災が発生していたら、落葉層の放射 性セシウム含有量が高く、森林火災によって再拡散する可能性があったため、放射線影響はより大きかったかも知れない。
- 森林における放射性セシウムの挙動の予期せぬ変化を速やかに確認、対処できるよう、県が継続的なモニタリングプログラムを続けることが重要である。調査データで、空間線量率が比較的安定して推移していることが確認できれば、採取試料数やモニタリング地点を減らすことが正当化されると思われる。

### 3. 分かりやすいマップ作成のための放射線モニタリングデー

#### タの活用

実施取決めは、この協力分野においては、放射線モニタリングデータを使用した、分かりやすいマップの作成への IAEA の支援に焦点を置いている。

2013 年に実施取決めに基づく活動が開始された時点で、県は、放射線モニタリングデータを一般利用に供するためのホームページを開設していた。県のホームページは、いくつかの異なる 情報源から得た詳細な空間線量率測定データや物質中の放射能濃度の測定値を提供していた。

サイト訪問者数は、2014 年の時点で、月間 2 万～5 万件であった。県は、これらのユーザーから、ホームページをどのように改善すれば情報ニーズに十分に応えられるかについて、多くの提 案、助言を募った。更に、県は、ホームページの改善方法について調査を実施し、県民に意見を求めた。簡単で分かりやすい情報、モバイルテクノロジーとの互換性、及び健康リスク情報を求めていることが明らかになった。

IAEA チームは、多くの国で開発されたウェブ・マップに関する情報を提供し、放射線モニタリングデータのマッピング及びかかる情報の公衆への提供について専門的助言を行った。

#### 県が行った活動の成果

県は、県内の放射線状況について正確で、最新の情報が入手できることが、県民および来県者双方にとって重要であると認識した。具体的に言えば、概要マップは、空間線量率が経時的にどれだけ減少しているかについて全体図を把握できるが、人々は、自身が生活し、働き、訪問する場所についてもっと局所的な情報を求めていることを県は認識した。2016 年に更新が完了した県のホームページは、これらの情報を容易に、最新データを優先的に閲覧できるようにし、また、過去データを閲覧したい人は確実に閲覧できるようにした。クリックブルマップは、ユーザーがマップ上の特定地点のデータにアクセスできるようになっている（図 3.1 参照）。このマップには、空間線量率および環境試料の測定結果が表示される。「タイムルーラー」を使用することで、空間線量率の経時変化を容易に閲覧できる（図 3.2 参照）。

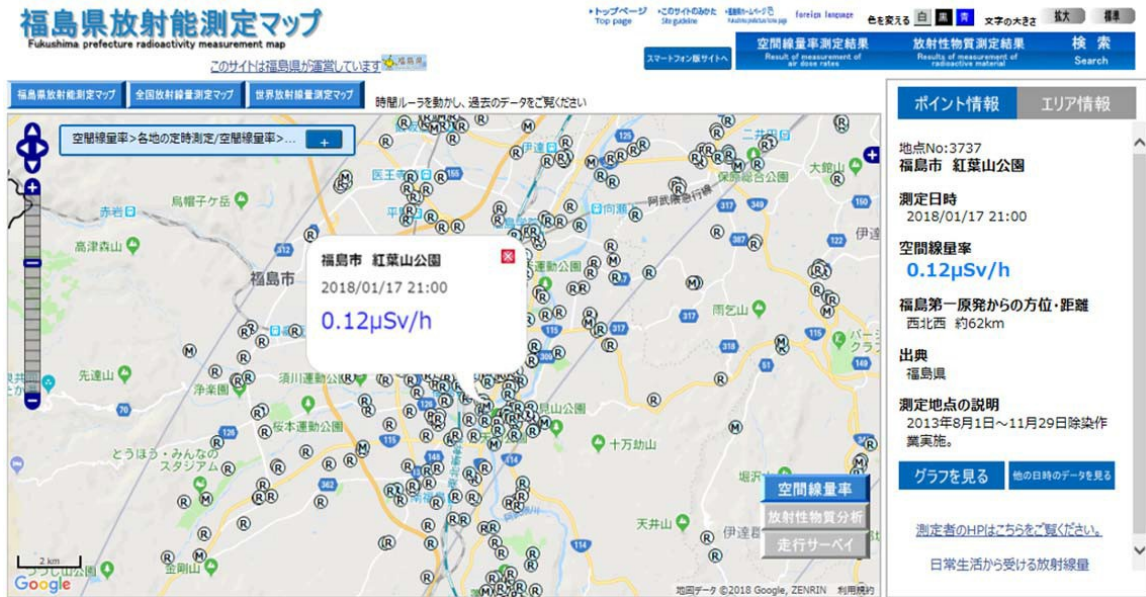


図 3.1. クリックによる操作が可能である「福島県放射能測定マップ」（福島県ホームページ）



図 3.2. 放射能測定マップのタイムルーラー（福島県ホームページ）

県は、ホームページを設計する際に、多様な測定方法を用いた多くの異なる方法で収集された放射線データを公衆に提供することの難しさを認識した。県内全域の定点観測所にある3,000を超えるモニタリングステーションが連続データを提供し、これらのデータは、走行サーベイ（放射線測定器を車両に固定し、県内道路を走行して調査する）によって収集されたデータによって拡充される。

県は、結果に影響を与えかねない様々な条件下で収集された異なるデータベースを提供することの難しさを認識した。例えば、路上の空間線量率は、付近の歩道の空間線量率と同一であるとは考えられず、冬季には積雪により空間線量率が低下し、雪解けと共に上昇する。

IAEA チームは、ホームページによる情報の提供は、コミュニケーション戦略の1つの要素に過ぎないと述べている。

県は、帰還の可能性のある避難者に向けた、空間線量率の経時的減少及び関連する健康リスクに関する情報および助言の提供を望む声が高まっていることを確認した。かかる情報を提供するには、放射性セシウムの物理的半減期による減少や、実施された対策の有効性による減少も考慮する必要がある。そのような計算は、地域特有であり、将来の状況の評価の不確かさも加味されねばならない。県は、そのような情報は、ホームページで容易に提供することができず、県がこれらの要望に応えるベストな方法について更に検討を重ねる必要があると認識した。

## 4. オフサイト除染と環境モニタリング

収集されたデータと県の評価によると、福島第一原子力発電所事故により、大量の放射性降下物が県内、特に福島第一原子力発電所の北西域に沈着した。実施取決めの下での活動が行われた時点から将来にわたり、住民にとって最も懸念されるものは放射性セシウムから放出される放射線による被ばくである（環境中の放射性セシウムについての詳細は3. 1章も参照）。収集されたデータを基に、県は水圏及び陸域の生態系における放射性セシウム濃度やそれに関連する住民の被ばく線量は、除染、自然減衰、ウェザリングによる地表からの放射性セシウムの除去及び土壌又は堆積物中への鉛直移動によって低下することを明らかにした。図 4.1 は、2011年8月28日（事故後5ヶ月）及び2016年11月18日（事故後5年8ヶ月）における県内の地表1m高さでの空間線量率を示したものである。この値は、航空機モニタリングによって得られた結果から計算された。空間線量率の大幅な減少が認められるが、これは除染をはじめとして、自然減衰や自然プロセスによる放射性セシウムの除去・移動による結果と考えられる。

環境回復や除染の必要性は、時間の経過に伴う住民の被ばく線量の時間的推移に大きく左右される。環境回復活動に関する意思決定は、環境回復活動により低減されると予想される将来の被ばく線量と、環境回復活動を行わない場合の被ばく線量の比較結果を踏まえて行われる。そのため、空間線量率や住民の被ばく線量の経時変化を予測することは有益である。実施取決めの第2章では、オフサイト除染、環境モニタリング結果の分析、被ばくの低減や回避のための被ばく経路の調査等に関する課題について、県に支援を提供することに言及している。実施取決めでは、特に以下の項目に焦点をあてている。

- 福島第一原子力発電所事故の影響を受けた県内の陸域及び水圏の生態系における放射性セシウムの挙動
- 水圏生態系における環境回復対策及び除染対策の効果
- 環境媒体（土壌、水、堆積物）の放射性セシウム濃度及び大気中の空間線量率の経時変化を把握するためのモニタリング結果の解析
- 技術的に実施可能で適切な環境回復活動を選択するための厳密な条件を導き出すための環境回復活動から得られた経験の分析
- 水圏生態系における放射性セシウムの流出量を予測するためのモデルの適用
- 居住地域で実施された除染対策の有効性

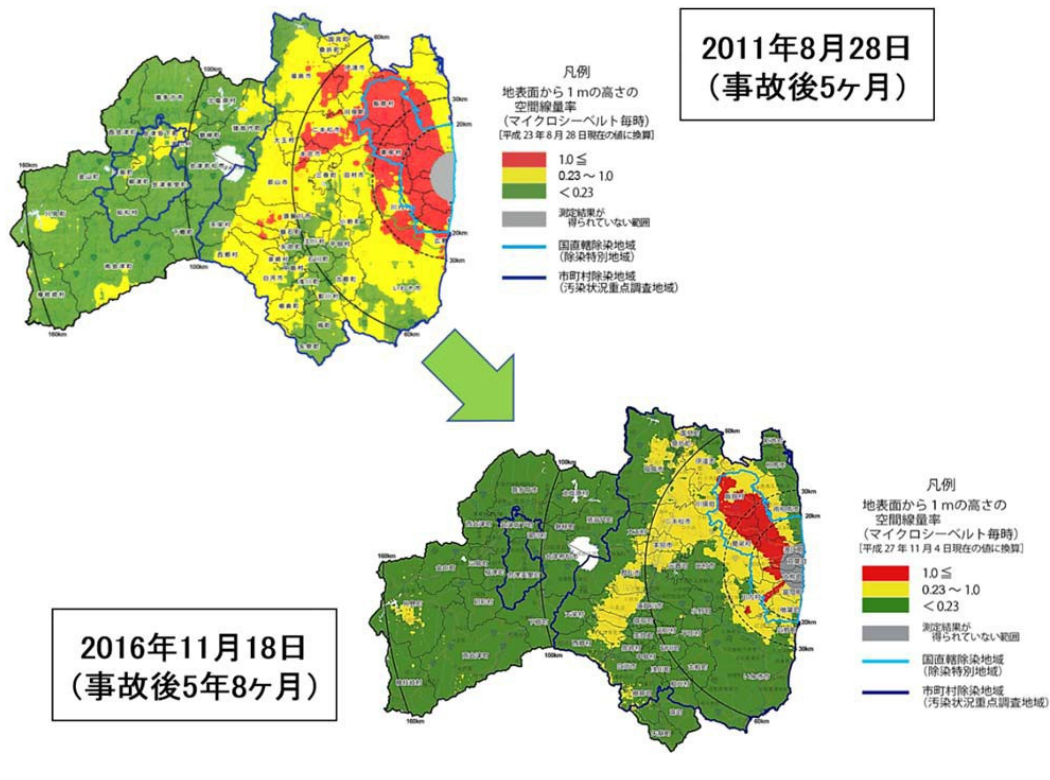


図 4.1. 2011年8月28日及び2016年11月18日の、地表1mの高さでの県内の空間線量率  
(出展：福島県)

## 県が行った活動の成果

一般に、陸域生態系では、放射性セシウムが粘土鉱物と強く結びつくため、土壌中での移動が遅くなり、植物に吸収されにくい。淡水生態系では、放射性セシウムは懸濁物質と強く結びついて河床へと沈降されるため、水中の溶存態放射性セシウム濃度は急激に低下する。

事故から6年以上が経過した現在、県内の淡水域では、溶存態放射性セシウム濃度は定量限界である0.05Bq/Lに近いが、これを下回っている。これは、放射性セシウムが河床の堆積物に強く吸着されていることで説明でき、堆積物中の放射性セシウム濃度は、河川水中の放射性セシウム濃度に比べはるかに高い値が観測されている。懸濁物質中の放射性セシウム濃度もはっきりと低下している。

貯水池の流入水及び流出水の放射性セシウムに関して福島県内の研究機関による測定から、流出水中の懸濁態放射性セシウム量は流入水中よりもはるかに少ないことが分かった。貯水池がある種の貯留機能を果たすことを示している。

懸濁物質による放射性セシウムの吸着は、環境中の放射性セシウムの挙動において重要な役割を果たす。土壌及び堆積物の放射性セシウムの吸着能を測定したところ、チェルノブイリ原子力発電所事故後にウクライナとロシア連邦で行われた結果と比較して、県内で測定された方が総じて強いことが示された。



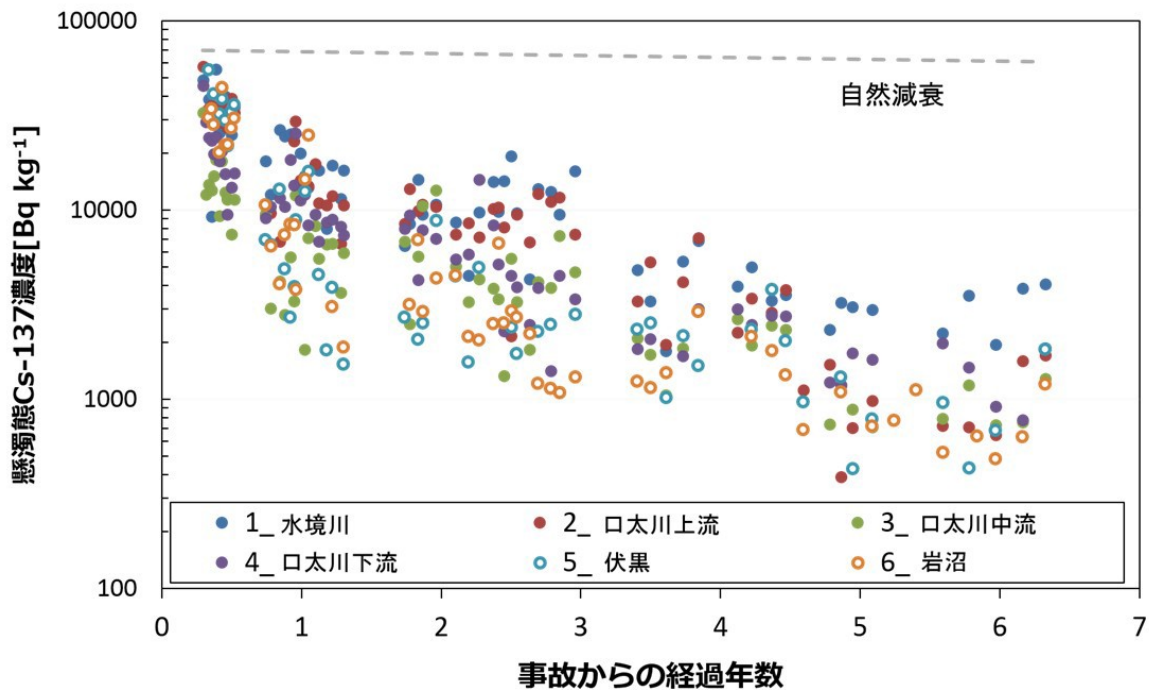


図 4.2 2011 年～2017 年における県内河川の懸濁物質中の  $^{137}\text{Cs}$  濃度の低下（福島県作成）

福島県内の研究機関による測定から、動物プランクトンや植物プランクトンに取り込まれる放射性セシウムの量は非常に少ない。植物プランクトンと動物プランクトンの両方に取り込まれた放射性セシウムの濃度は、数十から数万 Bq/kg（乾燥重量）の範囲であった。このことから水中の全放射性セシウム濃度に対するプランクトン含有量の寄与率は、1%未満にすぎないことが示された。

モニタリングによる測定結果の理解を促進するために、モデルを適用して、集水域から河川水系を介して太平洋に至る放射性セシウムの移動をシミュレーションした。河川に適用された環境回復対策の有効性を検証する上でも、モデルは非常に有用であった。さらに、シミュレーションモデルを使用して、河川での再汚染の影響を評価することもできた。除染対策の必要がある場合には、このモデルを使用することにより、淡水生態系内で対策を講じる際の最適な場所を特定するのに役立つ。

福島第一原子力発電所事故以降、環境回復及び除染活動の対象として重点的に実施されてきたのは、子供たちが幼稚園や学校との往復で使う通学路及びレクリエーションエリア等の公共の場所であった。さらに、対策の有効性を実証するために、県は淡水系における多くの実証試験を実施し、空間線量率の減少を確認した。県が採用した最も一般的な除染方法の一部を図 4.3 に示している。



表土の除去



高圧洗浄



学校での表土の除去



側溝堆積物の除去

図 4.3 主な除染技術（写真提供：福島県）

淡水系の環境回復活動に関する世界的知見から、淡水系における放射性核種の移動を技術的対策で制御できる可能性は限られている。一方で、淡水域に沈着した放射性核種による住民の被ばくを低減するために、その淡水系における水利用に関する勧告や制限を行うことは比較的实施しやすく、技術的対策よりも被ばくの低減に有効である。

2011 年以降、住宅、公共施設、道路、農地及び森林（生活圏内）で集中的な除染作業が行われている。住宅（家屋）の除染がもっとも進んでおり、2017 年 10 月末現在で、計画された活動の 99.9%が完了している。

住宅地域、公共施設、道路、農地及び森林（生活圏内）のそれぞれで環境回復活動が実施された。除染した土地の種類によって、空間線量率は約 20～50%減少した。これらの減少率はチェルノブイリ原子力発電所事故の影響を受けた地域における環境回復対策で達成された数値と非常に近い。

## 5. 除染活動によって生じた廃棄物の管理

IAEA の「The Fukushima Daiichi Accident」の技術資料 5「Post-accident Recovery」は、次のように述べている。「環境省（MOE）が策定した除染実施計画に従い、福島県内の除染活動により生じた汚染土壌や廃棄物は、除染が行われている場所または仮置場に、またはその近くに集め、保管する。その後、それらを中間貯蔵施設に保管する。中間貯蔵開始後 30 年以内の、福島県外での最終処分を完了する」。中間貯蔵施設は、政府が設置、運営する。

仮置場は、法律及び政府のガイドラインに基づいて県内の市町村に設置された。福島第一原子力発電所事故以来、県は、環境回復活動及び発生した放射性廃棄物の管理にかなりの労力を費やしてきた。

県の代表者によると、2013年に実施取決めに基づいて活動が開始され、県は、環境回復活動で発生した廃棄物を保管する仮置場の緊急不足に直面した。さらに、住民から、既設の仮置場や、現在進行中の環境回復活動によって生じる放射性廃棄物を収容するために設置が見込まれる仮置場の安全性を懸念する声が聞かれた。また、仮置場は、廃棄物を中間貯蔵施設に移すまでの3年間だけ保管するという意図の下に設けられたが、中間貯蔵施設の設置が遅れたため、廃棄物を当初の想定よりも長い期間仮置場に保管する必要が生じてきた。よって、仮置場の安全性を確認し、また公衆の懸念に対処するために、廃棄物を仮置場に3年以上保管することの安全性が評価されねばならない。

実施取決めの第3条は、上述の除染活動によって生じる低レベル放射性廃棄物の管理方法に関する研究におけるIAEAの支援を含む、放射性廃棄物の管理に関する研究および調査に言及している。

よって、実施取決めに基づく環境回復活動によって生じる廃棄物の管理に関する活動は、以下に関連する県への技術的助言の提供に焦点を置いた。

- 仮置場の設置に関する技術的指針の策定
- 仮置場設置の各段階における様々な状況における仮置場の安全性の立証
- 仮置場に保管された廃棄物の搬出方法

## 県が行った活動の成果

IAEAのSAFRAN（安全評価フレームワークソフトウェアツール）を使用することで、県は、仮置場の安全性評価を行うのに反復的アプローチを使用できるようになった。県内に設置された主要な3種類の仮置場（地上保管、半地下保管及び地下保管）の概略図を図5.1に示している。SAFRANは、県が、安全性評価において、仮定を改良し、要素を追加し、保守性と現実性とのバランスを最適化するのに重要なステップを数回行うことも可能にした。これらのステップが行われるごとに、安全評価が自動的に更新されるため、福島県の研究者は、そのような反復によって混乱、矛盾、重要側面の考慮の欠如がもたらされるリスクが大幅に低減されると指摘した。

実装する際に、SAFRANデータベースの一部が、IAEAチームによって、県内の仮置場特有の状況に適合するよう変更された。

福島県の専門家は、モデル仮置場、福島県内の仮置場及び特定の9カ所の仮置場へのSAFRANを適用して県内の仮置場について安全性評価を実施することが、福島第一原子力発電所事故後の環境回復活動によって生じた大量の放射性廃棄物を保管する安全かつ信頼できる方法の確立に向けての重要なステップであると指摘した。

仮置場の安全性評価の実施において、県は、いくつかの技術的な問題点を特定し、その安全性に対する影響を評価した（例えば、様々な仮置場における滞水、洪水、仮置場からの廃棄物保管袋の取出し、廃棄物保管袋の輸送、廃棄物保管容器の損傷及びガス抜き管の閉塞）。県は、これらの安全性への影響についての評価に基づいて、問題点を緩和、防止するための技術的方策を確立し、その効果を評価することができた。

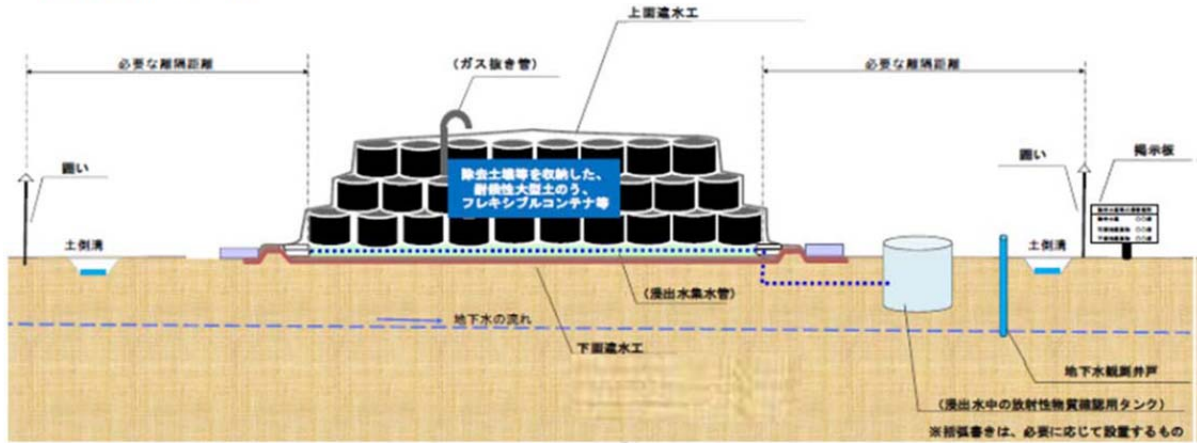
福島県の研究者は、SAFRAN を使用して行われた体系的プロセスにより、重大な問題が見過ごされないという確信が得られたと結論した。また、SAFRAN は、ある特定のシステムおよびプロセスが安全と見なされる理由、安全性及び対策のある特定の改善が必要であるとする理由を説明する枠組みを提供した。

SAFRAN を使用して得られた結果、県内の仮置場に関する安全性評価の実施において県が行った解析は、全ての放射線量（保守的な値を使用して計算）が、ほとんどの場合、規定の線量限度を十分下回っていることを明白に示している。

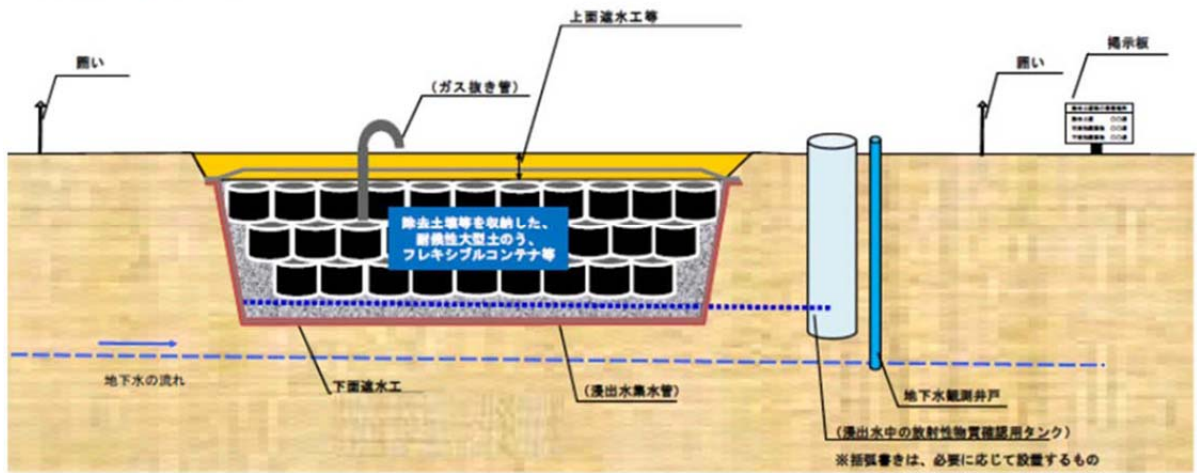
廃棄物保管袋の経年劣化を考慮した、仮置場に保管された廃棄物の搬出計画に関して IAEA チームと話し合った後、福島県の研究者は、仮置場の安全性評価は、廃棄物保管袋の経年劣化に関する現在進行中の研究によって得られる新たな情報を踏まえて改定されるべきであると述べた。

また、福島県の研究者は、全ての廃棄物が撤去された後の仮置場の廃止措置は、体系的に取り組んでいかねばならない大事業となるだろうと述べた。

○地上保管型の例



○地下保管型の例



○半地下保管型の例

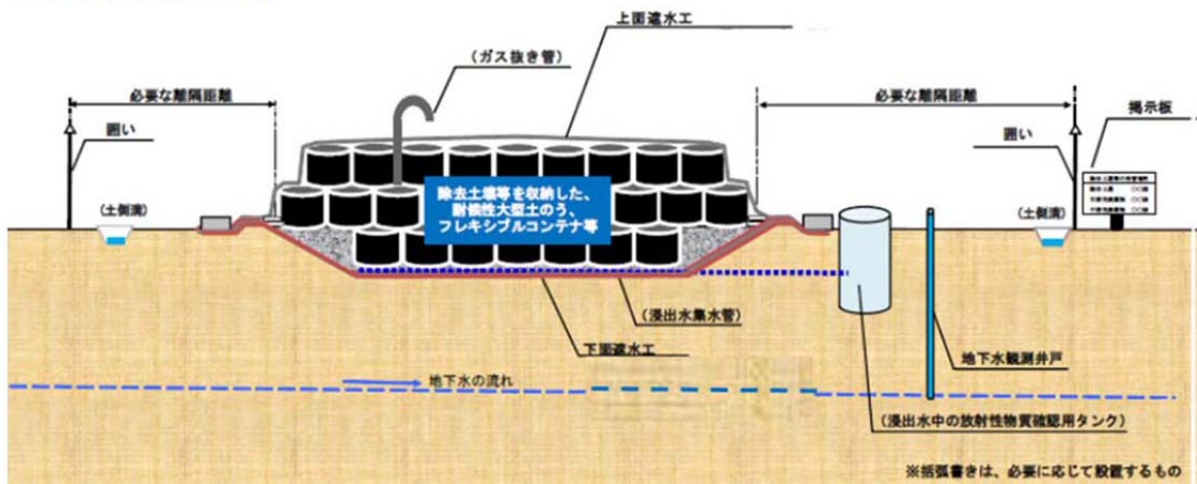


図 5.1. 3 種類の仮置場設計の概略図 (県の仮置場等技術指針を基に作成)