

環境創造センターにおいて
福島県が取り組む
除染に関する調査研究成果報告書

フェーズ1
(平成27年度～平成30年度)

令和2年3月

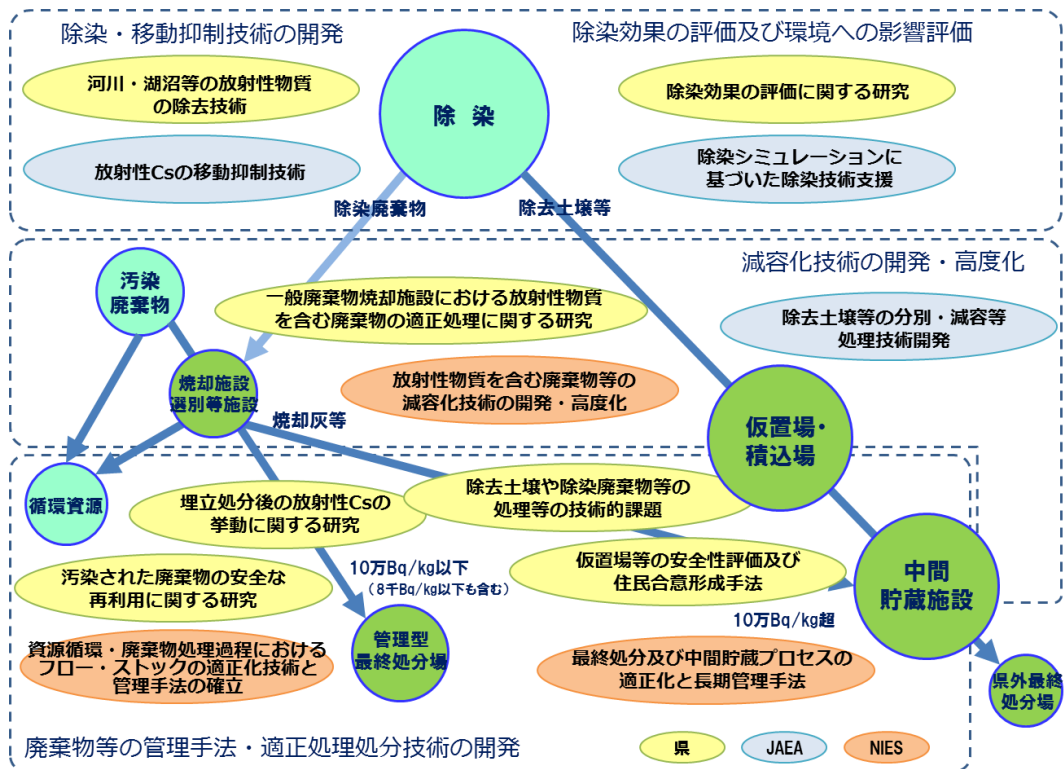
はじめに

環境創造センターは、平成 27 年（2015 年）度の開所以来、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構（以下「JAEA」という。）、国立研究開発法人国立環境研究所（以下「NIES」という。）及び福島県の三者の連携・協力や取組の具体的方針を定めた、環境創造センター中長期取組方針（以下「中長期取組方針」という。）に基づき、放射性物質に汚染された地域の環境回復・創造に取り組むための調査研究を進めています。この中長期取組方針は、平成 27 年（2015 年）度から令和 6 年（2024 年）度までの 10 年間における事業方針を定めたものですが、今後の環境変化等を考慮し、10 年間をさらに 3 つのフェーズに分けて、段階的に方針を策定することとしています。また、調査研究事業は最初の 4 年間（平成 27 年（2015 年）度～平成 30 年（2018 年）度）であるフェーズ 1 における調査研究計画を定めるとともに、4 つの調査研究分野（放射線計測、除染・廃棄物、環境動態、環境創造）ごとに部門長を定め、事業の運営・調整を行いながら、取組を進めてきました。

本成果報告書は、このフェーズ 1 で取り組んだ、除染の推進、除去土壌及び放射性物質に汚染された廃棄物等の適正処理、放射性物質の環境動態解明等、県の環境回復に資する喫緊の課題への対応や環境の創造に貢献する調査研究のうち、福島県が取り組んだ除染に関する 4 つの調査研究課題（「河川・湖沼等の放射性物質の除去技術に関する研究」、「除染効果の評価に関する研究」、「除去土壌や除染廃棄物の処理等の技術的課題に対する研究」及び「仮置場等の安全性評価及び住民合意形成手法に関する研究」）における取組の成果について、とりまとめたものです。

なお、これら調査研究を進める際には、国や県内市町村、地域住民等に多大なる御理解と御協力をいただきました。また、2 機関（JAEA、NIES）、国際原子力機関（IAEA）、ハイテクプラザ等の県試験研究機関、その他大学等の調査研究機関等からは、連携のもと、多くの助言や試験協力をいただきました。さらに、本報告書のとりまとめにあたっては、除染・廃棄物部門の井上正部門長（一般社団法人電力中央研究所 名誉研究アドバイザー）をはじめとする学識経験者からの多くの御助言等をいただきました。ここに深く感謝申し上げます。

福島県環境創造センター研究部 部長 町田 充弥



環境創造センター調査研究事業（除染・廃棄物部門）の調査研究構成図

目 次

第1 福島県が実施した除染に関する調査研究	1
第2 調査研究成果	5
テーマ「河川・湖沼等の放射性物質の除去技術に関する研究」	5
河川・湖沼等における放射性物質対策の整理及び実地検証	5
福島県民の水環境に対する意識とその要因に関する研究	17
地域対話が河川流域住民の水環境に対する意識に与える影響	27
テーマ「除染効果の評価に関する研究」	36
汚染状況重点調査地域における住宅除染の実施状況や課題の整理	36
除染の効果に差異が生じる要因に関する事例的な検討	54
除染が完了した施設における除染効果の持続性把握	66
テーマ「除去土壌や除染廃棄物の処理等の技術的課題に対する研究」	80
除去土壌等保管容器の袋体性能試験	80
仮置場資材の長期耐久性試験	95
仮置場資材の経年変化に係る化学分析試験	107
不陸対策実証試験とその経過観察実施結果	113
仮置場原状回復作業時の課題への対応策の検討に係る基礎調査	125
テーマ「仮置場等の安全性評価及び住民合意形成手法に関する研究」	144
仮置場等の安全性評価について	144
仮置場等の設置に係る住民合意形成について	170

※本報告書は、調査研究で得られた成果をとりまとめたものであり、必ずしも行政施策と関連するものではない。

第1 福島県が実施した除染に関する調査研究

環境創造センター調査研究事業において、除染・廃棄物部門では4つの中区分課題で合計13の研究課題に3機関（福島県、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構及び国立研究開発法人国立環境研究所）で取り組んだ。このうち福島県が取り組んだ除染に関する研究課題とその概要は次のとおりである。

1 河川・湖沼等の放射性物質の除去技術に関する研究

1.1 河川・湖沼等における放射性物質対策の整理及び実地検証

河川敷や河川公園における効果的な放射性物質対策とその効果の持続性を確認するため、上小国川の河川敷、新田川及び水無川の河川公園を対象に、除染前後や大規模な出水前後における空間線量率等を測定し、除染や出水による線量低減状況とその持続性を確認した。

その結果、除染等によって空間線量率が低減するとともに、その後の洪水等による自然環境の変化においてもその低減効果は維持されていることを確認した。

1.2 福島県民の水環境に対する意識とその要因に関する研究

水環境への安全観の経年変化やその要因を把握し、県民の水環境への安全観を回復させるための効果的な対策の検討資料とするため、県政世論調査を用いて、住民の水や大気環境への安全観等の経年変化や属性別の傾向を調査した。

その結果、水や大気環境への高い安全観の割合は、原発事故後、経年的に回復傾向にあること、年齢や地域別で差があること、放射線リスクへの不安と関連していることがわかった。

1.3 地域対話が河川流域住民の水環境に対する意識に与える影響

水に関する地域対話が流域住民の水環境への関心向上につなげるかを検証するため、福島県いわき市を流れる、新川及び好間川流域を対象に地域住民（地域のキーマン）を集めてワークショップ等を実施し、その前後に水環境に関するアンケート調査を行った。

その結果、地域対話によって、参加者の水環境に対する関心が高まり、河川のイメージや魅力等への意識に良好な変化をもたらすことがわかった。

2 除染効果の評価に関する研究

2.1 汚染状況重点調査地域における住宅除染の実施状況や課題の整理

市町村による住宅除染への対応やその中で生じた課題等に関する知見を整理するため、福島県内で除染実施計画を策定し除染事業を進めた36市町村を対象としてアンケート調査及びヒアリング調査を行った。

その結果、住宅除染を実施した市町村数として、平成 24 年度以降徐々に本格化し、平成 25 年度に最も多く実施していたことがわかった。また、住宅除染の担当課では、技師を中心とした職員の不足が大きな課題として挙げられたほか、放射性物質や除染技術等に関するノウハウの不足、住民とのコミュニケーションなどにも苦労したことがわかった。

2. 2 除染の効果に差異が生じる要因に関する事例的な検討

比較的線量が低い汚染状況重点調査地域における住宅除染を対象とした除染の効果に差異が生じる要因に関する知見を得ることを目的に、除染の効果のばらつきの要因と除染の効果との関係について事例的に検討し、結果を整理した。

その結果、本報告の対象地域では、除染対象の材質の違いやバックグラウンドによる影響等が除染の効果に差異を生じる要因となった可能性があること、地域によって影響の程度が異なることがわかった。また、除染の効果を評価する場合には、除染の効果に差異が生じる様々な要因があり、それぞれ影響の程度が異なることや地域によってそれらの状況が異なることに留意する必要がある。

2. 3 除染が完了した施設における除染効果の持続性把握

除染後の効果持続性を確認するとともに、今後の空間線量率の変化を予測することを目的として、除染が完了した施設を対象とした空間線量率の測定と結果の解析を行った。

その結果、今回の調査対象施設では、除染後においても空間線量率が低減しており、除染による低減効果が維持されていることがわかった。また同様に、今回の調査対象施設における今後の空間線量率の変化を予測した。さらに、予測値と実測値がよく整合していることから、空間線量率の変化の予測は精度が高いものであると考えられる。

3 除去土壌や除染廃棄物の処理等の技術的課題に対する研究

3. 1 除去土壌等保管容器の袋体性能試験

福島県内の除去土壌等仮置場で使用された保管容器（除去土壌等保管容器、遮へい用土のう）について、袋体性能試験により長期耐久性を調査した。

その結果、最大約 6 年間遮光された保管容器について、実使用に十分な強度を保持していることが確認された。一方で、一部の日光曝露された容器（遮へい用土のう）については耐久性低下が早い傾向が見受けられた。

3. 2 仮置場資材の長期耐久性試験

福島県内の除去土壌等仮置場で 2～6 年使われた保管容器（除去土壌等保管容器、遮へい用土のう）等について、引張試験等により長期耐久性を調査した。

その結果、約 2～6 年間遮光された保管容器について、実使用に十分な強度を保持し

ていることが確認された。一方で、一部の日光曝露された容器（遮へい用土のう）については、耐候性試験（JIS Z 1651）による推定よりも耐久性低下が早い傾向が見受けられた。

3. 3 仮置場資材の経年変化に係る化学分析試験

仮置場資材の長期耐久性試験の結果、一部の保管容器（日光曝露された遮へい用土のう）について、推定よりも耐久性低下が早い傾向が確認されたことから、その要因を把握するための化学分析を実施した。また、化学分析の知見を基に現地保管容器の劣化状況を簡易的に評価する手法を検討した。

その結果、耐久性低下の主要因は高分子の化学的な劣化とは異なる可能性が示唆された。

3. 4 不陸対策実証試験とその経過観察結果について

仮置場頂部に発生した不陸を起因としたシートの破れ等について対処するため、実際の仮置場において一軸延伸タイプのジオグリッドを用いた実証試験を実施した。

試験場所について経過観察を行った結果、発生した不陸の深さは、試験技術施工前と比較して減少しており、ほぼ全ての不陸について使用したジオグリッドの品質管理上許容できる沈下深さ未満であることが確認できた。

3. 5 仮置場原状回復作業時の課題への対応策の検討に係る基礎調査について

今後実施数の増加が見込まれる仮置場の原状回復について、作業時の技術的課題への対応策等を検討するため、基礎的調査として、跡地土壤の汚染有無確認調査や跡地土壤の硬度調査を実施した。

その結果、汚染有無確認方法として歩行サーベイ機器が効果的な方法の一つであることや除去土壤等を保管していた場所の一部で土壤締固まりが発生していることが確認できた。

4 仮置場等の安全性評価及び住民合意形成手法に関する研究

4. 1 仮置場等の安全性評価について

除染により生じた除去土壤等を仮置場で管理する工程において生じうる放射線影響について、平常時及び事故時の評価を行った。平常時では、除去土壤等を保管する際の近隣住民への外部被ばく影響について評価した。また、事故時では、最も影響が大きいと想定される火災時における被ばく経路について評価した。

その結果、ガイドラインに沿って適切に保管することで、平常時の被ばく線量は低く保つことができることが確認できた。また、影響が大きいと想定される事故シナリオを特定し、事故対応の際のポイントを示すことができた。

4. 2 仮置場等の設置に係る住民合意形成について

仮置場等の設置方針や立地選定過程における住民合意形成に係る情報を収集するため、仮置場等の設置に携わった自治体等担当者や立地地域住民代表へのヒアリングを行った。

その結果、仮置場の設置方針は、多くの自治体で行政が主体となって策定しており、半数以上の自治体では大規模な集約型の仮置場を設置する方針であったことが確認できた。仮置場候補地の選定は、住民主導で進めた自治体の割合が最も多く、住民自治組織やその連合体などの住民組織が行政の要請を受けて地域内の調整を行っていたことが確認できた。

なお、実際の仮置場設置単位は、当初方針よりも分散して設置された傾向であった。

第2 調査研究成果

テーマ「河川・湖沼等の放射性物質の除去技術に関する研究」

河川・湖沼等における放射性物質対策の整理及び実地検証

1. 背景・目的

東京電力（株）福島第一原子力発電所事故（以下「事故」という。）により、大量の放射性物質が大気中に放出され、周辺地域が広範囲に汚染された。環境汚染への重要な対策の一つとして、外部被ばくリスクを低減するための除染が行われた。除染は、住宅、公共施設、道路等の生活空間を中心に実施されたほか、河川や湖沼等の水環境では、河川敷の公園も除染された¹⁾。その他にも、河川や湖沼のモニタリング、水道水の検査、ため池の放射性物質対策、環境動態研究等、県民の安全確保や不安軽減のために、国、地方公共団体、研究機関等において、水環境における様々な放射性物質対策が講じられ、2019年3月時点においても継続されている。

福島県環境創造センターでは、この間、国内外の知見を踏まえた本県に適用可能な放射性物質対策の整理を行いながら、河川敷における外部被ばく低減を目的とした除染の実証試験による有効性評価とその効果の持続性把握、県内の河川公園の汚染状況調査を踏まえた効果的な除染手法の検討等を実施してきた。今回、これらの概要をまとめた。

2. 実施内容及び方法

2. 1. 河川・湖沼等に適用可能性のある放射性物質対策の整理

事故後の河川・湖沼等の利用に関する課題と、これらに適用可能と考えられる放射性物質対策を整理した。

2. 2. 河川敷における除染実証試験による有効性評価とその効果持続性の把握

2. 2. 1. 内容

河川は陸域における放射性セシウムの主要な輸送経路であり、事故によって環境中に沈着した放射性セシウムが河川を介して輸送されること等により、河川敷には放射性セシウムを含む土砂が厚く堆積している可能性がある。農地や森林、宅地等で実施されている土壌除染は表層数 cm に放射性セシウムが蓄積していることを前提としており、その方法が河川敷にも適用できるかは不明である。そこで河川敷における有効な除染方法として、放射性セシウムの分布傾向を踏まえた堆積物除去を実施し、さらに除染効果の持続性を除染3年後まで調査した。

2. 2. 2. 方法

試験は東京電力（株）福島第一原子力発電所の北西 55km に位置する阿武隈川の 3 次支流、上小国川の最下流部で実施した（図 1 (a)、1 (b)）。放射性セシウム（セシウム 134、セシウム 137）の沈着量は $300\sim 600\text{kBq}/\text{m}^2$ である。流域の大部分は森林で覆われており、河川沿いに農地と宅地が分布している（図 1 (b)）。除染区間は総延長 170m で、兩岸の堤防の幅は平均 15m、平水時の河道幅は 2~6m である（図 1 (c)、1 (d)）。河川左岸は小学校とその通学路、右岸は樹園地、高水敷は小学校の授業等に利用されていた。小学校と通学路は試験前に除染されている。

試験は図 2 の工程で進められた。試験区間の地表 1m の空間線量率を、除染前（2014 年 8 月）から除染後 3 年にかけて、NaI シンチレーション式サーベイメータを用いて測定した。また高水敷と河床の堆積物を除染前から除染後 3 年まで採取した。なお、除染後 2 年までは高水敷の除草を行ったが、除染後 3 年からは高水敷の除草を行わず、植生が繁茂し、土砂が堆積しやすい条件下で測定を続けた。堆積物の礫を除いた試料の放射性セシウム濃度を測定した。また試料の全重量に占める泥画分（シルトと粘土）の割合を算出した。

除染前後の年間の追加外部被ばく線量を次の方法で算出した。利用時間は左岸での通学に年 35 時間（1 日 10 分、年 210 日）、高水敷での授業等に年 24 時間（1 日 2 時間、年 12 日）と仮定した。これに本試験地の空間線量率の平均値から事故前の空間線量率（ $0.04\mu\text{Sv}/\text{h}^2$ ）を差し引いた値を乗じた。

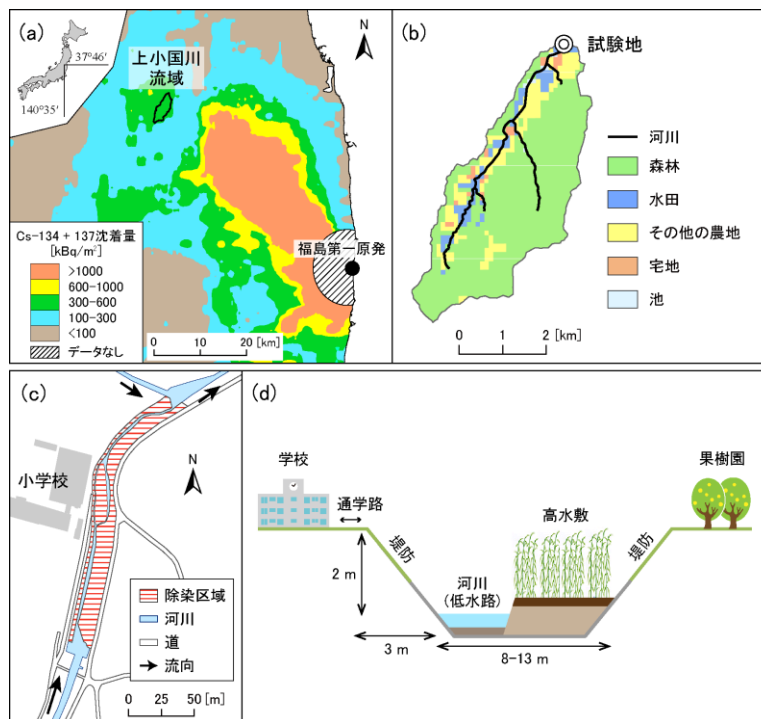


図 1 調査地概要

注：放射性セシウムの沈着量は第 3 次航空機モニタリング（2011 年 7 月 2 日換算）の結果³⁾から作成。
高水敷は、常時水が流れている河川（低水路）より一段高い敷地を指す。

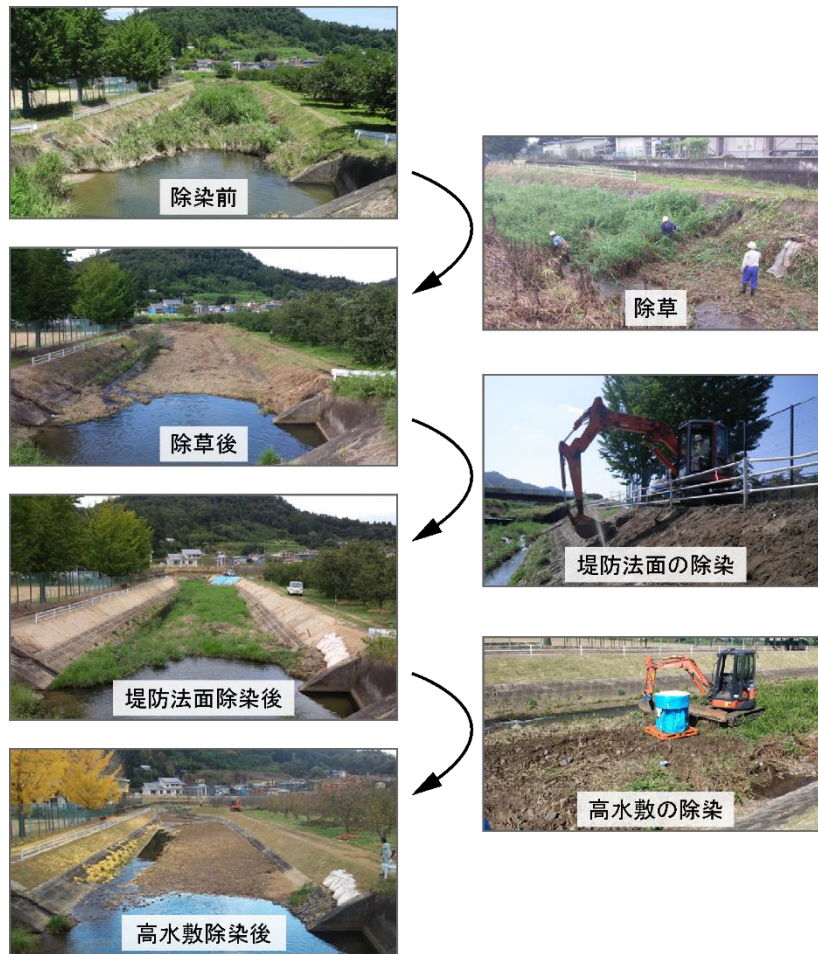


図2 試験のフロー

2. 3. 河川公園の汚染状況の調査と効果的な放射性物質対策の検討

2. 3. 1. 内容

2. 2. 1. のとおり、河川敷には土砂堆積に伴って放射性セシウムが蓄積する場合がある。特に福島県東部の浜通り地方は上流域の汚染が著しく、下流の河川敷は周囲よりも汚染されている可能性が高い。そこで浜通り地方の河川公園を対象に汚染状況を調査し、対策を検討した。

2. 3. 2. 方法

調査は福島県浜通りの新田川の下流2地点で行った(図3)。公園Aは新田川の本流沿いに、公園Bは新田川の1次支流である水無川沿いに位置する。公園Bの5km上流にはダムが設置されている。流域の放射性セシウム(セシウム134、セシウム137)の沈着量は、上流部では $1,000\text{kBq/m}^2$ を越えるが、最下流部では 100kBq/m^2 未満となる。公園Aの沈着量は 490kBq/m^2 、公園Bが 210kBq/m^2 である⁴⁾。面積は公園Aが2.7ha、公園Bが1.6haである。

2015年8月に可搬型ガンマ線計測装置（ガンマプロッターH、日本放射線エンジニアリング株式会社）を用いて調査地の地表1mの空間線量率を測定し、得られたデータをJAEA（国立研究開発法人日本原子力研究開発機構）によって開発された除染活動支援システムを用いて平面空間マップを作成した。

測定の直後、2015年9月6日～11日に、公園の半分近くが冠水する大規模な出水が生じたため（公園Aの南東6kmのアメダス原町気象観測所によると、期間中の総降水量は385.5mm⁵⁾）、2015年9月28日に再度空間線量率を測定した。併せてレクリエーション、散歩、整備などの公園の利用目的ごとの外部被ばく線量について積算線量計（DOSE e nano、富士電機株式会社）を用いて測定した。利用時間は両公園とも年36時間と仮定した（公園A：レクリエーションに年12時間（1日2時間、年6日）、散歩に年12時間（1日1時間、年12日）、花壇などの公園の整備に年12時間（1日1時間、年12日）、公園B：レクリエーションまたは遊具の利用に年24時間（1日2時間、年12日）、散歩に年12時間（1日1時間、年12日）。また2015年12月に土壌コアを採取し、公園内の放射性セシウムの分布を調査した。

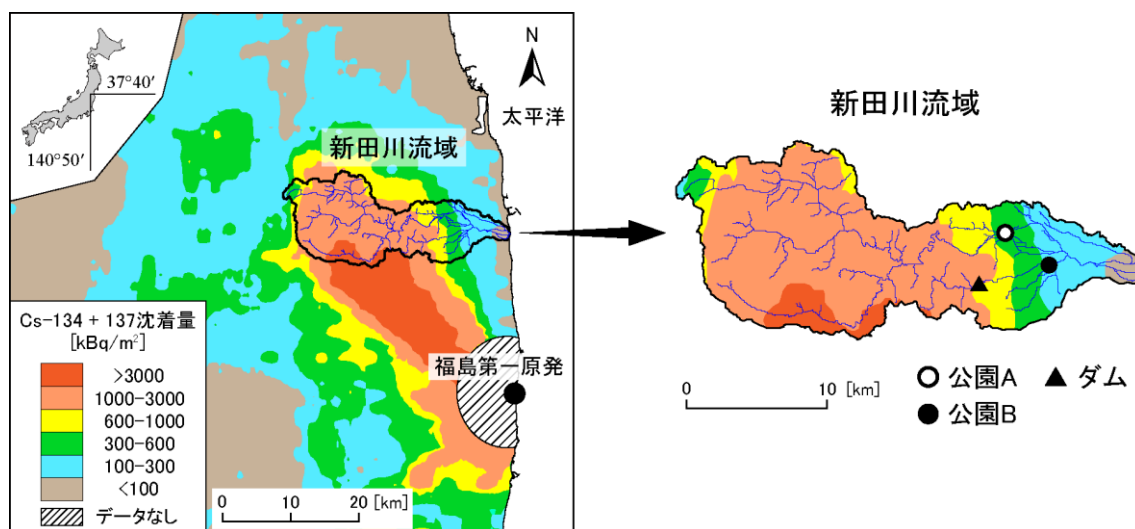


図3 調査地位置図

注：放射性セシウムの沈着量は第3次航空機モニタリング（2011年7月2日換算）の結果³⁾から作成

3. 結果と考察

3. 1. 河川・湖沼等に適用可能性のある放射性物質対策の整理

河川・湖沼等の利用に関する課題と対策は、関係省のガイドライン^{1),6)}やチェルノブイリ原発事故の経験に関する報告書⁷⁾にて極めて良く整理されている。その主な内容を表1に簡潔に整理した。

表1 河川・湖沼等における利用目的ごとの課題と対策

課題	関連する媒体	対策
飲用による内部被ばく	河川・湖沼	水源の切り替え
灌漑水からの農作物への移行と農作業時の外部被ばく	河川・湖沼	汚濁防止膜を用いた土砂流入の軽減 ダムによる堆砂機能の活用
	ため池 作物	汚濁防止膜を用いた流出抑制、底質除染 吸収抑制のためのカリウム施肥
水産物摂取による内部被ばく	河川・湖沼	出荷規制 カリウムの投入（閉鎖性湖沼に限る）
水辺利用による外部被ばく（公園、道路、居住など）	河川・湖沼	利用の制限、露出土壤の除染 河床の堆砂除去により、河畔への土砂堆積を軽減 堤防設置による氾濫の制御
	ため池（水抜時）	利用の制限、露出土壤の除染・覆土
全課題に共通		発生源の除染や土砂流出防止 利用への不安に対するリスクコミュニケーション

3. 2. 河川敷における除染実証試験による有効性評価とその効果持続性の把握

除染前の高水敷堆積物の放射性セシウム濃度の深度分布を図4に示す。事故から3年半が経過していたためセシウム134は数kBq/kgであったが、セシウム137は地点1と2では深さ10cm以深までは10kBq/kgを超えていた。これらの高濃度層は泥画分の割合が39～56%と高かった（図4）。放射性セシウムは粘土やシルトに強く吸着する性質を持つため⁸⁾、泥を多く含む層では、放射性セシウムが下方に浸透するとは考えにくい。したがって、これらの厚い高濃度層は土砂堆積によって形成されたと考えられる。一方、地点3～5は比較的低濃度であった。この鉛直方向・平面方向に不均質な放射性セシウムの分布を踏まえ、高水敷の削り取り深度を15～35cmとした。高水敷では同様の深度分布が報告されていることから^{9)・10)}、除染においては事前に深度分布を把握しておくことが重要と考えられる。

除染前後の空間線量率の分布を図5に示す。除染前における地表1mの平均値は0.66μSv/h（標準偏差0.22μSv/h）だったが、除染完了時には0.34μSv/h（標準偏差0.11μSv/h）と約半減でき、本試験方法の有効性が確認された。

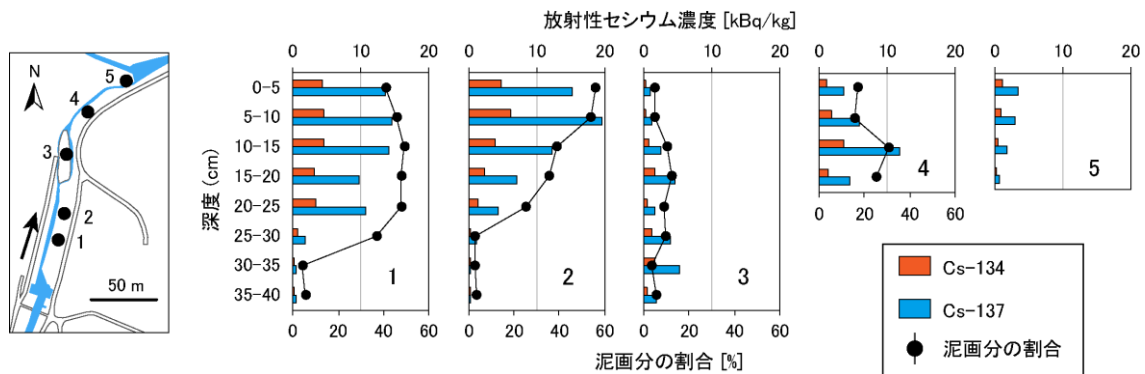


図4 除染前の高水敷堆積物の放射性セシウム濃度

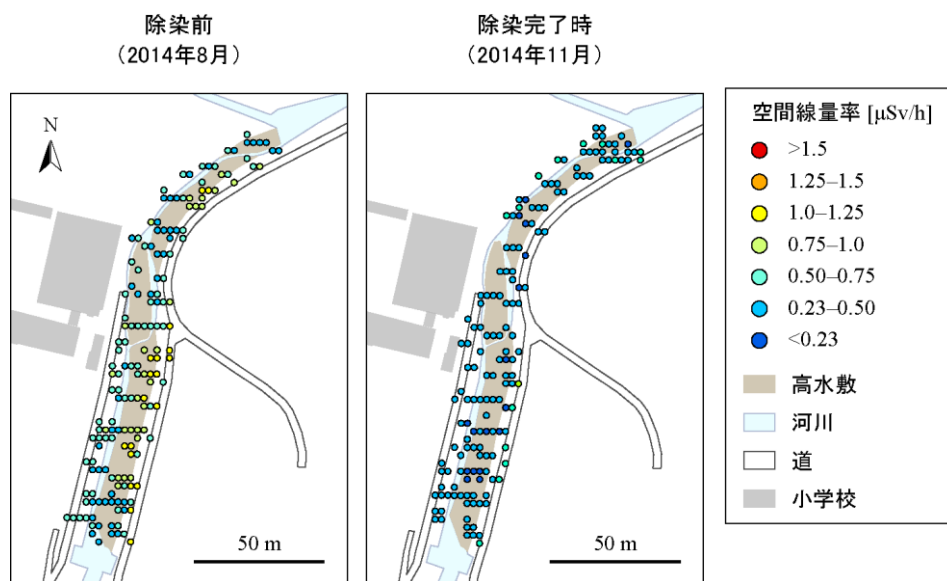


図5 除染前後の地表1mの空間線量率

試験地の北方9kmのアメダス梁川気象観測所によれば⁵⁾、除染後3年間で、日降水量50mm以上の降雨が6回発生しており、高水敷は幾度か冠水していると考えられる。この間、河川敷は上流からの土砂の堆積や浸食が発生した。除染2年後までの植生未繁茂下における堆積物は、セシウム137は3kBq/kg未満の砂質であった。除染2年後から3年後までの植生繁茂下における堆積物も概ね同様であったが、一部の地点では3kBq/kg以上の比較的粘土質のものも見られ、河川敷の植生の繁茂が影響した可能性も示唆された。しかしながら、河川敷の空間線量率は除染後、緩やかに減少を続けており(図7)、現在のところ除染効果は維持されている。引き続き、植生繁茂下における効果の持続性について検証が必要である。

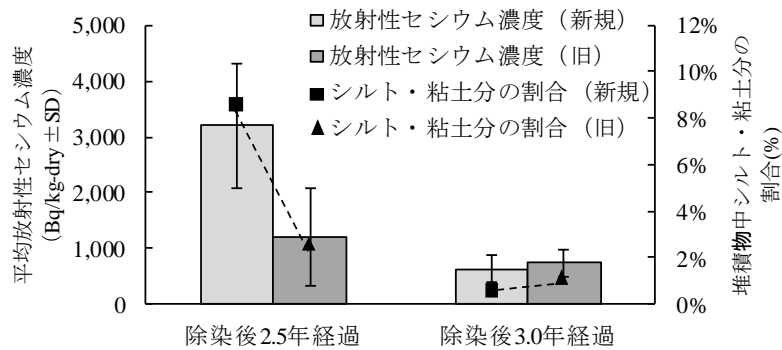


図6 除染後2.5年及び3.0年経過後の堆積物中の放射性セシウム濃度とシルト・粘土分の割合

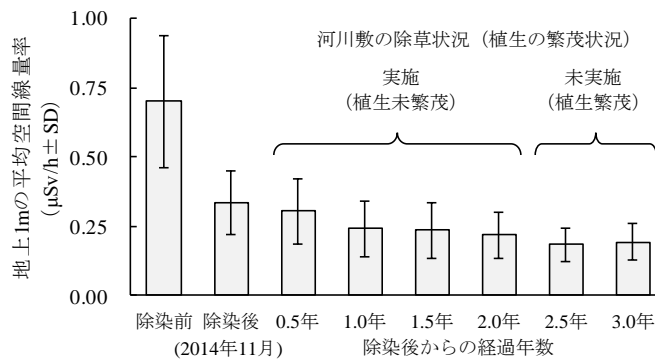


図7 除染後の地上1m高さの空間線量率の推移
※値は平均値、エラーバーは標準偏差を示す

通学と高水敷の利用に伴う年間の追加外部被ばく線量は、除染前が年間0.029mSv、除染後が年間0.016mSvと見積もられた。試験地の行政区域では、2013年7月から2014年6月にかけてガラスバッチを用いて年間追加外部被ばく線量が測定されており、その値は年間1.23mSvと報告されている¹¹⁾。したがって、試験地から受ける外部被ばく線量が、生活全体の外部被ばくに占める割合は数%のみ（除染前：2.3%、除染後：1.3%）と推計された。一方で、後段の章で示すように、依然として水環境の安全性に対して不安を感じている福島県民もいる。表1のように、除染はハード面の対策の1つであり、より良い対策を考案するためには、リスクコミュニケーションのようなソフト面の有効性についても検証が必要と考えられる。

3. 3. 河川公園の汚染状況の調査と効果的な放射性物質対策の検討

2015年8月と9月(出水前後)における公園Aの地表1mの空間線量率を図8に示す。出水前は、1.0µSv/h以上の相対的な高線量地点は、河川沿いと北東部に分布していた。しかし、出水後は、これらの高線量地点の多くは1.0µSv/h未満に低下した。一方、公園Bでは、出水前後に目立った変化は確認されなかった(図9)。

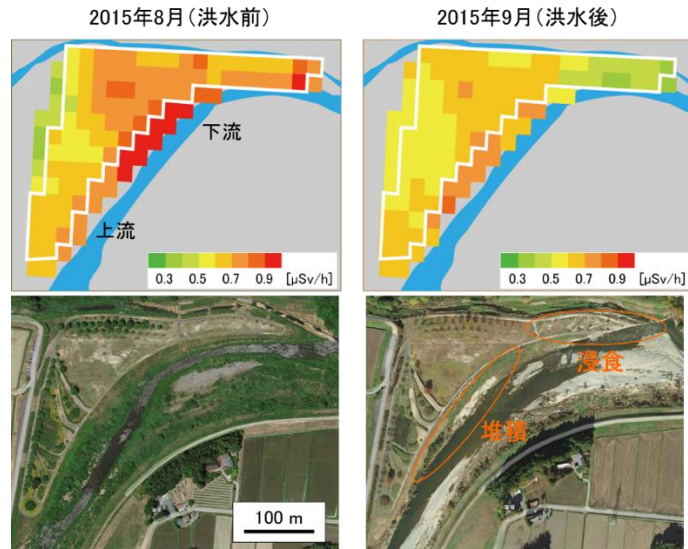


図8 公園Aの地表1mの空間線量率（白線内が公園）

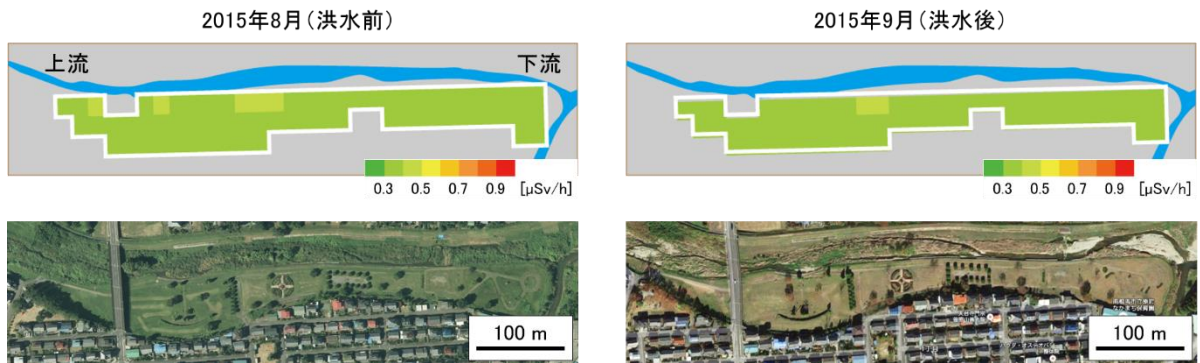


図9 公園Bの地表1mの空間線量率（白線内が公園）

公園Aの土壌中のセシウム137蓄積量と濃度を図10に示す。採取深度までのセシウム137の総蓄積量は、芝地や花壇では $200\sim 400\text{kBq/m}^2$ であったが、河畔では最大 $2,400\text{kBq/m}^2$ と10倍近い蓄積が確認された。出水前の河畔における空間線量率の高さは、この分布を反映していたと言える。セシウム137の深度分布は、芝地では表層数cmのみ高濃度であり、花壇は耕作による均質化のため深度15cmまで低濃度の層が均一に分布していた。一方、河川敷では、低濃度の層が深度約25~30cmまで分布し、深度約40~50cmにピークが確認された。地点3の土壌断面を観察したところ、深度30cm付近で明確に色調と堆積物の粒度が異なっていたことから、河川敷の一部の表層30cmは2015年9月の出水堆積物である可能性が高い。この低濃度層の形成と河川湾曲部にあたる北東部の浸食（図8）により、空間線量率は出水後に低下したと推察される。新田川流域では、この大規模な出水に伴って、上流では著しい浸食、下流では低濃度の土砂堆積が生じ、流域各地の河川敷で自然の除染作用が働いたと報告されている¹²⁾。公園A

の調査結果はこれと整合的である。一方、公園 B の採取深度までのセシウム 137 の総蓄積量は、冠水地・未冠水地の両地点とも 130~220kBq/m² の範囲にあり、ほぼ表層に留まっていることが確認された (図 11)。したがって、これまでほとんど土砂堆積は起きておらず、空間線量率も変化していないと考えられる。このような両地点間での土砂堆積やセシウム 137 の蓄積傾向に関する違いは、以下のような理由により生じたと推察される。①公園 B の河畔は芝地だが、公園 A は河畔に高さ 1m 程度の植生が繁茂しており土砂が捕捉されやすい、②公園 B は上流のダムに土砂が捕捉され、土砂供給量が少ない、③>1,000kBq/m² の高汚染地域はダムの上流に分布するため (図 3)、公園 B には放射性セシウム濃度の高い土砂が供給されにくい。

公園 A と B の利用に伴う年間の追加外部被ばく線量は、それぞれ年間 0.018mSv と年間 0.009mSv と見積もられた。公園が位置する行政地区でガラスバッジを用いて計測された、生活全体で受ける年間追加被ばく線量は年間 0.44mSv であり (計測時期: 2015 年 7~9 月、計測値を 1 年間に換算)¹³⁾、公園利用に伴う被ばくはその 2~4% に相当する。したがって、これらの公園について除染による被ばく軽減の効果は限定的である。前述の上小国川の結果も踏まえると、一般に河川公園の利用時間は限定的であり、また自然に除染される場合もあることから、河川公園においてハード面の対策を行う重要性は必ずしも高くないと考えられる。ただし、土砂が堆積しやすく、上流域が高汚染の場合には、通常の出水においては河川敷に放射性セシウムが蓄積し、空間線量率を上昇させる可能性が示唆されることから、モニタリングの継続と汚染の将来予測が不安の軽減には有効かもしれない。

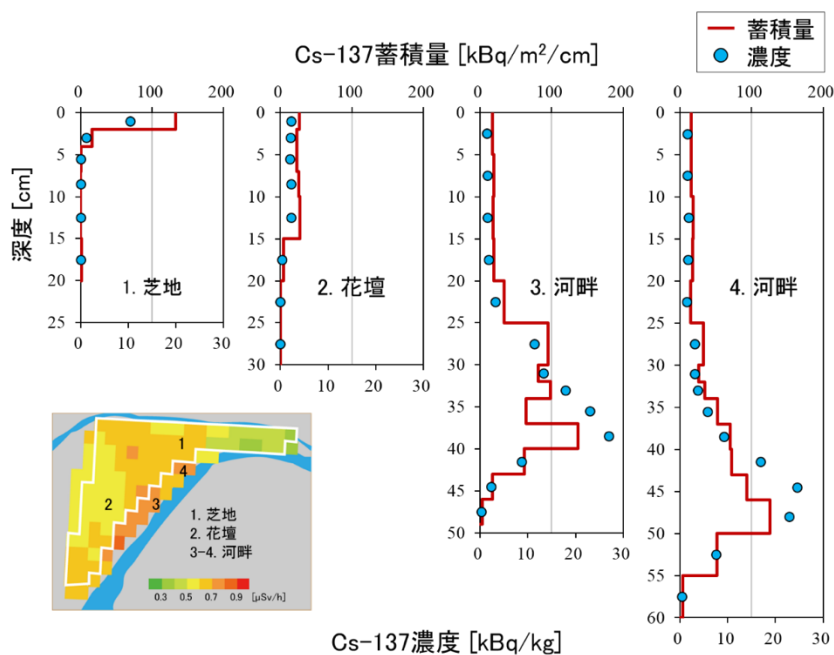


図 10 公園 A の土壌中の放射性セシウムの深度分布 (2015 年 9 月の出水後)

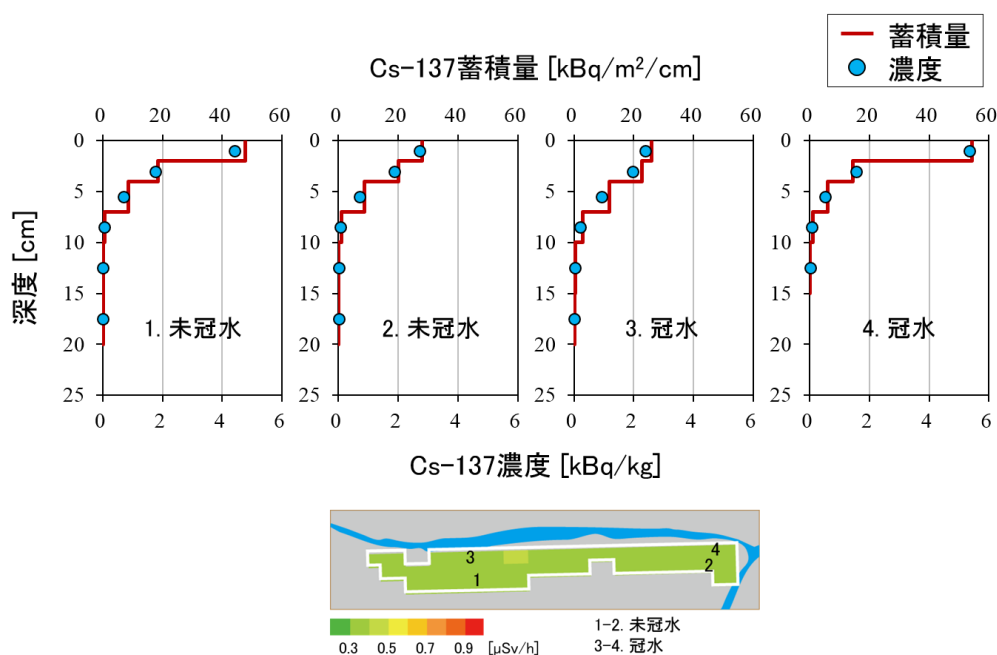


図 11 公園 B の土壌中の放射性セシウムの深度分布 (2015 年 9 月の出水後)

4. まとめ

今回、河川・湖沼等の放射性セシウムの対策について、既往知見から福島県に適用可能なものを整理した (表 1)。さらに、河川敷において放射性セシウムの空間分布を踏まえた除染手法の有効性を確認した。河川敷の下流では放射性セシウムが集積する可能性があるものの、大規模出水では自然の除染作用が働くこと、河畔における外部被ばくは限定的であることも明らかにした。しかし、汚染が深刻な地域 (避難指示区域を含む浜通り地方) では、水環境に対して根強い不安がある。その不安への対処のためには、不安の要因解明と解消に向けた議論が必要である。2019 年 3 月現在も河川敷及び河川公園の調査を定期的に行なっており、除染後の効果持続性の把握を行いつつ、放射性物質対策の中長期的な有効性を引き続き評価・検証することとしている。

なお、これまでの研究成果の一部は、Nishikiori and Suzuki.¹⁴⁾及び福島県と IAEA との間の協力プロジェクト最終報告書¹⁵⁾において、すでに公表済みであるほか、福島県の関係各課に情報提供され、河川公園の除染手法は施策の参考とされている。

謝辞

本研究を行うにあたり、飯本武志氏 (国立大学法人東京大学)、石田順一郎氏 (元国立研究開発法人日本原子力研究開発機構)、井上正氏 (一般社団法人電力中央研究所)、長林久夫氏 (学校法人日本大学)、難波謙二氏 (国立大学法人福島大学)、林誠二氏 (国立研究開発法人国立環境研究所)、藤田玲子氏 (国立研究開発法人科学技術振興機構)、田中知氏 (国立大学法人東京大学)、吉田聡氏 (国立研究開発法人量子科学技術研究開

発機構放射線医学総合研究所)、飯島和毅氏 (JAEA)、Gerhard Proehl 氏 (IAEA)、Aleksei Konoplev 氏 (国立大学法人福島大学)、Yasuo Onishi 氏 (IAEA)、Oleg Voitsekhovich 氏 (IAEA)。北村哲浩氏 (国立研究開発法人日本原子力研究開発機構) にはデータ解析のご協力をいただいた。以上の方々に深く感謝を申し上げます。

参考文献

- 1) 環境省 (2014) 除染関係ガイドライン.<http://josen.env.go.jp/material/>. (令和2年3月5日最終閲覧) .
- 2) 湊進 (2006) 日本における地表 γ 線の線量率分布. 地学雑誌, 115, 87-95.
- 3) 文部科学省 (2011) 第3次航空機モニタリングの放射性セシウムの沈着量の測定結果 (2011年7月2日換算). <https://emdb.jaea.go.jp/emdb/portals/b1020201/>. (令和2年3月5日最終閲覧) .
- 4) 原子力規制委員会 (2017) 放射線等分布マップ拡大サイト.
<http://ramap.jmc.or.jp/map/>. (令和2年3月5日最終閲覧) .
- 5) 気象庁ホームページ. <https://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php> (令和2年3月5日最終閲覧) .
- 6) 農林水産省 (2015) ため池の放射性物質対策技術マニュアル.
- 7) IAEA (2006) Environmental consequences of the Chernobyl accident and their remediation: Twenty years of experience report of the Chernobyl forum expert group 'environment'. Vienna.
- 8) Nakao, A., Funakawa, S., Tsukada, H., Kosaki, T. (2012) The fate of caesium-137 in a soil environment controlled by immobilization on clay minerals. SANSUI Environ. An Environmental Journal for the Global Community, 6, 17-29.
- 9) Tanaka, K., Kondo, H., Sakaguchi, A., Takahashi, Y. (2015) Cumulative history recorded in the depth distribution of radiocesium in sediments deposited on a sandbar. Journal of Environmental Radioactivity, 150, 213-219.
- 10) Konoplev A., Golosov V., Wakiyama Y., Takase T., Yoschenko V., Yoshihara T., Parenjuk O., Cresswell A., Ivanov M., Carradine M., Nanba K., Onda Y. (in press) Natural attenuation of Fukushima-derived radiocesium in soils due to its vertical and lateral migration. Journal of Environmental Radioactivity. doi:10.1016/j.jenvrad.2017.06.019.
- 11) 伊達市 (2015) だて復興・再生ニュース (第22号). <https://www.city.fukushima-date.lg.jp/uploaded/attachment/16650.pdf>. (令和2年3月5日最終閲覧) .
- 12) Konoplev, A., Golosov, V., Laptev, G., Nanba, K., Onda, Y., Takase, T., Wakiyama Y., Yoshimura, K. (2016) Behavior of accidentally released

- radiocesium in soil-water environment: Looking at Fukushima from a Chernobyl perspective. *Journal of environmental radioactivity*, 151, 568-578.1)
- Nishikiori, T., Suzuki, S. (2017) Radiocesium decontamination of a riverside in Fukushima, Japan. *Journal of Environmental Radioactivity*, 177, 58-64.
- 13) 南相馬市 (2016) 平成 27 年度第 2 回個人積算線量測定 (平成 27 年 7 月～平成 27 年 9 月) 結果. <https://www.city.minamisoma.lg.jp/portal/service/lifeevent/6/4/1/2/6142.html> (令和 2 年 3 月 5 日最終閲覧) .
- 14) Nishikiori, T., Suzuki, S. (2017) Radiocesium decontamination of a riverside in Fukushima, Japan. *Journal of Environmental Radioactivity*, 177, 58-64.
- 15) 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福島県と IAEA との間の協力プロジェクト最終報告書 (2013 年～2017 年) <https://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/304907.pdf>. (令和 2 年 3 月 5 日最終閲覧) .

福島県民の水環境に対する意識とその要因に関する研究

1. 背景・目的

東京電力（株）福島第一原子力発電所事故（以下「事故」という。）により、大量の放射性物質が大気中に放出され、周辺地域が広範囲に汚染された。環境汚染への重要な対策の一つとして、外部被ばくリスクを低減するための除染が行われた。除染は、住宅、公共施設、道路等の生活空間を中心に実施されたほか、河川や湖沼等の水環境では、河川敷の公園も除染された¹⁾。その他にも、河川や湖沼のモニタリング、水道水の検査、ため池の放射性物質対策、環境動態研究等、県民の安全確保や不安軽減のために、国、地方公共団体、研究機関等において、様々に水環境への放射性物質対策が講じられた。

これらの取組が進展した一方で、避難指示区域において帰還を妨げる理由の一つに水の安全性に対する不安があること、事故前には国内で最大の参加者数を誇った水生生物調査の参加者数が回復していないこと等、県民の水環境に対する懸念が続いている^{2),3)}。事故から8年が経過するなかで、県民の水環境への安全観を回復させるための効果的な対策を講じるためには、水環境への安全観の経年変化やその要因について把握することが必要不可欠である。

このため、福島県環境創造センターでは、福島県県民広聴室が毎年度実施している、県政世論調査を用いて、住民の水や大気環境への安全観と放射線リスクへの不安感の経年変化を調査した。また、放射線リスクへの不安感に影響を及ぼす要因を明らかにするために、クロス集計と二項ロジスティック回帰の統計解析手法を用いて、放射線リスクへの不安感、年齢、性別、東京電力（株）福島第一原子力発電所（以下「発電所」という。）からの距離及び調査年の空間線量率との関連性を評価した。

2. 実施内容及び方法

2. 1. 調査対象地

福島県は東京から200km以内にあり、面積は約13.8万km²であり、2019年1月時点の人口は約190万人である⁴⁾。福島県は地形と気候学によって3つの地域（会津、中通り、浜通り）に区分されており（図1）、総面積の約70%が森林に覆われ、多くの湖や川、地下水を含む豊富な水資源がある。この豊かな水環境は、昔から生物多様性と住民のさまざまな活動を支えていた⁵⁾。

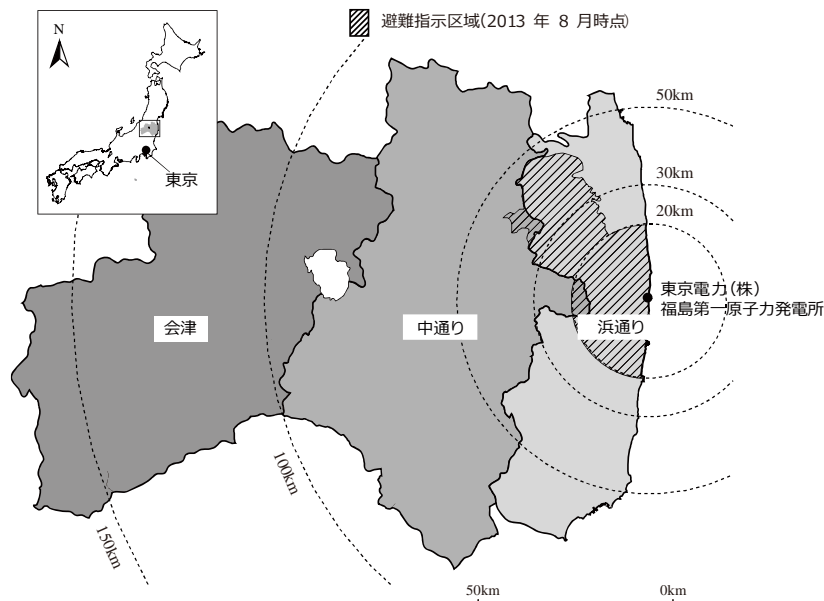


図1 福島県の位置図

2. 2. 福島県県政世論調査

県政世論調査は、毎年、福島県が行政施策の基礎資料とするため、県民の意識やニーズを調査するために実施されており、調査内容は毎年必要に応じて改訂されている。調査対象は、層化二段階無作為抽出法により抽出された市町村の15歳以上の男女1,300人となっている。なお、調査対象は毎年異なっている。調査は郵送送付による方法で行われている。本報告では、2010年から2015年までの調査結果を対象とした⁶⁾。(回答者数及び回答率は表1のとおり)

本報告では、個人の属性として、回答者の年齢、性別、居住地域(避難者については、事故前のもの)に着目した。また、設問として、「あなたの暮らす地域は、水や大気など生活環境の安全が確保されていると思いますか。(水や大気環境への安全観)」、「あなたの生活空間は放射線から安心して暮らすことが出来る空間ですか。(放射線リスクへの不安感)」の2つに着目した。なお、水や大気環境への安全観に関する質問は2010年から、放射線リスクへの不安感に関する質問は2012年から含まれている。回答は、「はい」、「どちらかといえば、はい」、「該当しない、どちらともいえない」、「どちらかといえば、いいえ」及び「いいえ」の5つの選択肢から構成されている。

2. 3. 統計解析

まずカイ二乗検定を用いて、各居住地域における2011年から2015年までの水や大気環境への安全観及び放射線リスクへの不安感の違いを分析した。水や大気環境への安全観については、2010年と2011年の差異も分析した。カイ二乗検定と残渣分析を用いて、属性ごとにこれら要因の差異を分析した。

表1 福島県県政世論調査の回答者及び回答率

調査年		2010	2011	2012	2013	2014	2015
回答者数 (回答率)		790 (60.8%)	824 (63.4%)	789 (60.7%)	803 (61.8%)	741 (57.0%)	713 (54.8%)
性別	男性	356	340	341	348	299	299
	女性	418	471	442	435	434	405
	未回答	16	13	6	20	8	9
年齢	15～19 歳	44	37	37	29	29	29
	20～29 歳	62	72	46	48	46	39
	30～39 歳	90	97	110	84	87	74
	40～49 歳	110	115	102	102	89	93
	50～59 歳	147	163	144	128	125	112
	60 歳以上	327	332	347	398	358	359
	未回答	10	8	3	14	7	7
居住 地域	会津	118	111	115	115	111	98
	中通り	443	490	449	452	404	404
	避難地域を含まない浜通り	158	146	147	156	153	137
	避難地域を含む浜通り	39	50	43	30	34	32
	不明又は未回答	32	27	35	50	39	42

次に、水や大気環境への安全観を目的変数とした二項ロジスティック回帰を行った。説明変数は、Model 1 では年齢、性別及び居住地域を、Model 2 では Model 1 の変数に放射線リスクへの不安感を加えた。また、Model 3 では Model 2 の説明変数に調査年の発電所から居住地域までの距離、空間線量率を加えた。

分析では、次のようにデータを分類した。まず、20 代未満の回答、無回答又は判別不能の回答を除外した。次に、属性については、年齢を5つのグループ（20 代、30 代、40 代、50 代及び60 代以上）に、居住地域を影響の程度に応じて4つのグループ（会津、中通り、避難地域を含む浜通り及び避難地域を含まない浜通りに分類した。回答は「はい」及び「どちらかといえば、はい」を「1」、「該当しない、どちらともいえない」、「どちらかといえば、いいえ」及び「いいえ」を「0」と2つのグループに分類した。オッズ比の参照区には、性別は女性、年齢は20 代、居住地域は会津（最も影響を受けていない地域）とした。回帰分析には IBM SPSS Statistics24 を使用した。また、発電所からの距離は、発電所から調査対象者の回答者が住んでいた市町村役場までの距離（km）とした。空間線量率（mSv/年）は、市町村役場（入手できない場合は、市役所の近くの地点）で世論調査開始日の0:00 にリアルタイム線量計で測定された値を使用した⁷⁾。なお、本研究は福島医科大学倫理委員会による承認を得て実施されている。（承認番号 2899）

3. 結果と考察

3. 1. 水や大気環境への安全観の属性別傾向と経年変化

2015 年において、性別、年齢及び居住地域別に水や大気環境への安全観（「はい」又

は「どちらかといえば、はい」と回答した)の属性別割合を図2に、2010年から2015年の居住地域別の経年変化を図3に示す。2015年の居住地域において、水や大気環境への安全観が高いと回答した人の割合は、避難地域を含む浜通りで有意に低く、会津では有意に高かった。事故前後(2010年と2011年)で比較すると、会津以外の全ての居住地域で水や大気環境への安全観が高いと回答した人の割合は、有意に減少していた。また、事故直後(2011年)と5年後(2015年)のデータとを比較すると、避難地域を含む浜通りを除く全ての居住地域で、水や大気環境への安全観が高いと回答した人の割合は増加していた。会津では事故前と同じかそれ以上に回復したが、事故後5年後であっても、避難地域を含む浜通りでは、事故前の水準よりも依然として低かった。2015年において、男性と女性での割合に有意な差がみられなかったが、年齢では20代と40代が有意に低く、60代以上で有意に高かった。

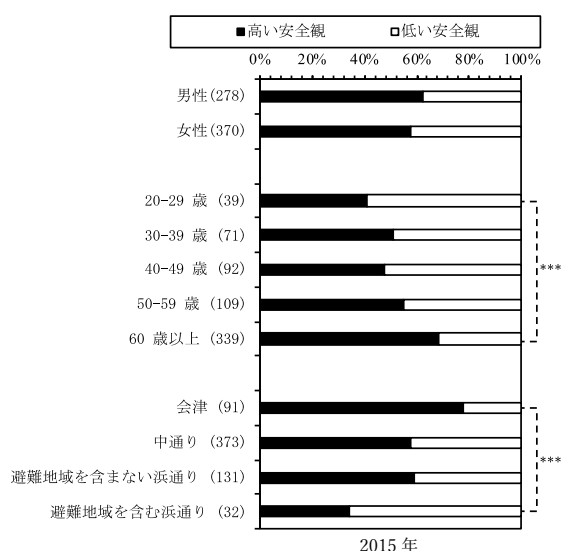


図2 水や大気環境への安全観の属性別傾向
(* $P \leq 0.05$, ** $P \leq 0.01$, *** $P \leq 0.001$)

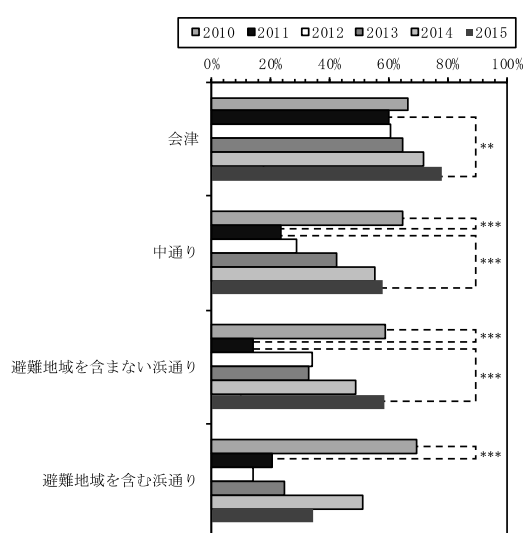


図3 水や大気環境への安全観の経年変化
(* $P \leq 0.05$, ** $P \leq 0.01$, *** $P \leq 0.001$)

3. 2. 放射線リスクへの不安感の属性別傾向と経年変化

2015年の性別、年齢、居住地域別の放射線リスクへの不安感の属性別の割合を図4に、2012年から2015年の居住地域別の経年変化を図5に示す。2015年の居住地域における放射線リスクへの低い不安感の割合は、中通りで有意に低く会津で有意に高かった。事故発生後2年と5年(2012年と2015年)で比較すると、中通り、避難地域を含む浜通りにおいて、放射線リスクへの不安感が低いと回答した人の割合は、有意に増加していた。また、2015年の性別及び年齢別では、性別に有意な差はなく、年齢別では40代で有意に低く、60代で有意に高かった。

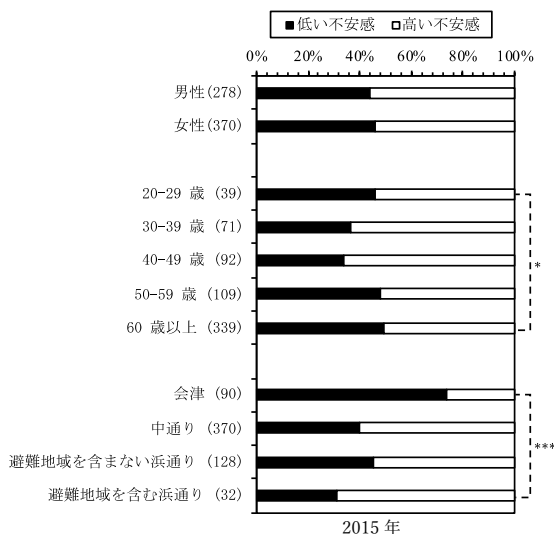


図4 放射線リスクへの不安感の属性別傾向
(* $P \leq 0.05$, ** $P \leq 0.01$, *** $P \leq 0.001$)

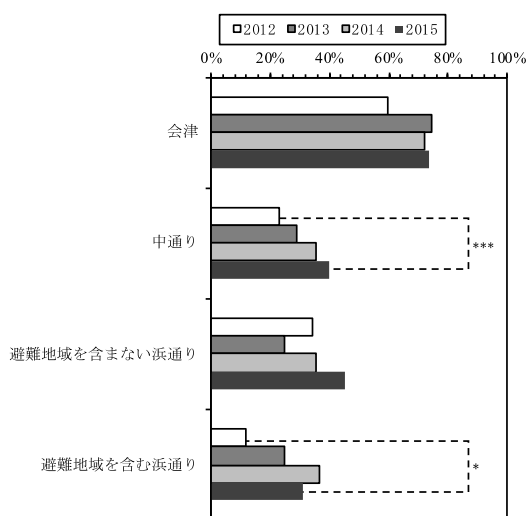


図5 放射線リスクへの不安感の経年変化
(* $P \leq 0.05$, ** $P \leq 0.01$, *** $P \leq 0.001$)

3. 3. 水や大気環境への安全観の要因

表2に Model 1における二項ロジスティック回帰の結果を示す。居住地域では事故以前(2010年)のオッズ比は有意差が見られなかった。しかし、2014年の避難地域を含む浜通りを除き、事故後(2011年)のオッズ比は、全ての居住地域で1未満と有意に低かった。これは、水や大気環境への安全観は会津に比べて、中通り、避難地域を除く浜通りで有意に低いことを示している。2011年と2015年のオッズ比を比較すると、中通りと避難地域を除く浜通りのオッズ比は増加したが、避難地域を含む浜通りのオッズ比はほぼ一定であった。性別のオッズ比もまたほぼ一定であった。2015年の年齢では、60代以上で高く、水や大気環境への安全観と年齢は比較的強い関連性を示していた。

表3に Model 2の二項ロジスティック回帰の結果を示す。低い放射線リスクへの不安感(2012年から2015年)において高く、水や大気環境への安全観と放射線リスクへの不安感の間には強い関連性が見られた。Model 1で観察された居住地域間の有意差は、2015年の避難地域を含む浜通りを除いて2013年以降には見られなかった。一方で2013年と2015年の60代以上のオッズ比は Model 2においても見られており、水や大気環境への安全観との強い関連性があることを示している。

表4に Model 3の二項ロジスティック回帰の結果を示す。2015年におけるオッズ比は、放射線リスクの低い知覚に対するオッズ比は、全期間(2012年から2015年)にわたって高く、60代以上のオッズ比は、2013年と2015年には高くなった。これらの結果は、Model 2の結果と類似していた。2014年を除いて、発電所からの距離におけるオッズ比は1未満であり、放射線リスクへの不安感と水や大気環境への低い安全観との関連性を示した。空間線量率は水や大気環境への安全観との有意な関連性を示さなかった。

表2 目的変数に水や大気環境への安全観を用いたModel 1における二項ロジスティック回帰

	2010		2011		2012		2013		2014		2015		2010-2015	
	オッズ比 (95% CI)	オッズ比 (95% CI)	オッズ比 (95% CI)	オッズ比 (95% CI)	オッズ比 (95% CI)	オッズ比 (95% CI)	オッズ比 (95% CI)	オッズ比 (95% CI)	オッズ比 (95% CI)	オッズ比 (95% CI)	オッズ比 (95% CI)	オッズ比 (95% CI)	オッズ比 (95% CI)	オッズ比 (95% CI)
男性	1.04 (0.76-1.44)	ns	1.31 (0.91-1.89)	ns	1.39 (1.00-1.94)	*	1.18 (0.86-1.62)	ns	1.23 (0.88-1.71)	ns	1.27 (0.90-1.78)	ns	1.22 (1.07-1.39)	**
女性 (ref)	1		1		1		1		1		1		1	
20-29 歳 (ref)	1		1		1		1		1		1		1	
30-39 歳	1.01 (0.52-1.95)	ns	1.50 (0.60-3.72)	ns	0.70 (0.31-1.57)	ns	1.93 (0.84-4.44)	ns	0.80 (0.37-1.70)	ns	1.64 (0.73-3.67)	ns	1.13 (0.83-1.55)	ns
40-49 歳	1.26 (0.66-2.38)	ns	1.47 (0.60-3.59)	ns	0.86 (0.39-1.94)	ns	1.60 (0.71-3.61)	ns	2.08 (0.99-4.39)	ns	1.53 (0.70-3.34)	ns	1.38 (1.01-1.88)	*
50-59 歳	1.69 (0.91-3.14)	ns	1.98 (0.86-4.57)	ns	1.04 (0.49-2.22)	ns	2.38 (1.09-5.18)	*	1.55 (0.76-3.16)	ns	1.97 (0.92-4.24)	ns	1.66 (1.23-2.23)	***
60 歳以上	2.45 (1.38-4.35)	**	4.00 (1.83-8.75)	***	1.68 (0.83-3.39)	ns	4.03 (1.96-8.29)	***	2.40 (1.25-4.60)	**	3.49 (1.74-7.02)	***	2.74 (2.08-3.60)	***
会津 (ref)	1		1		1		1		1		1		1	
中通り	0.98 (0.62-1.57)	ns	0.22 (0.14-0.35)	***	0.27 (0.18-0.43)	***	0.40 (0.25-0.64)	***	0.53 (0.32-0.86)	*	0.38 (0.22-0.67)	***	0.39 (0.32-0.48)	***
避難地域を含まない浜通り	0.76 (0.44-1.30)	ns	0.10 (0.05-0.20)	***	0.34 (0.20-0.59)	***	0.25 (0.15-0.44)	***	0.39 (0.22-0.68)	***	0.39 (0.21-0.73)	**	0.31 (0.25-0.40)	***
避難地域を含む浜通り	1.12 (0.48-2.58)	ns	0.14 (0.06-0.35)	***	0.11 (0.04-0.28)	***	0.18 (0.07-0.46)	***	0.47 (0.20-1.08)	ns	0.13 (0.05-0.33)	***	0.24 (0.17-0.34)	***
2010													3.88 (3.08-4.89)	***
2011													0.73 (0.57-0.92)	**
2012 (ref)													1	
2013													1.47 (1.17-1.84)	***
2014													2.60 (2.07-3.27)	***
2015													3.02 (2.40-3.81)	***

説明変数は年齢、性別、居住地域 (Model 1)。CI は信頼区間、refは参照区、nsは有意差なし ($P > 0.05$)、* $P \leq 0.05$ 、** $P \leq 0.01$ 、*** $P \leq 0.001$ を示す。

表3 目的変数に水や大気環境への安全観を用いたModel 2における二項ロジスティック回帰

	2012		2013		2014		2015		2012-2015							
	オッズ比 (95% CI)	ns	オッズ比 (95% CI)	ns	オッズ比 (95% CI)	ns	オッズ比 (95% CI)	ns	オッズ比 (95% CI)	オッズ比 (95% CI)						
男性	1.44	(0.99-2.10)	ns	1.17	(0.82-1.67)	ns	1.32	(0.90-1.92)	ns	1.42	(0.96-2.09)	ns	1.31	(1.09-1.58)	**	
女性 (ref)	1			1			1			1			1			
20-29 歳 (ref)	1			1			1			1			1			
30-39 歳	0.82	(0.34-2.00)	ns	2.01	(0.80-5.03)	ns	0.81	(0.34-1.94)	ns	2.63	(1.02-6.84)	*	1.32	(0.84-2.07)	ns	
40-49 歳	1.14	(0.47-2.76)	ns	1.74	(0.71-4.27)	ns	2.2	(0.95-5.12)	ns	2.28	(0.90-5.75)	ns	1.71	(1.10-2.66)	*	
50-59 歳	1.07	(0.46-2.48)	ns	2.56	(1.08-6.07)	*	1.27	(0.56-2.89)	ns	2.35	(0.95-5.80)	ns	1.65	(1.07-2.52)	*	
60 歳以上	1.8	(0.83-3.89)	ns	3.89	(1.75-8.62)	***	2.02	(0.96-4.25)	ns	5.11	(2.21-11.8)	***	2.81	(1.90-4.15)	***	
会津 (ref)	1			1			1			1			1			
中通り	0.49	(0.29-0.81)	**	0.95	(0.55-1.63)	ns	1.17	(0.65-2.12)	ns	0.69	(0.36-1.33)	ns	0.77	(0.58-1.02)	ns	
避難地域を含まない浜通り	0.46	(0.25-0.86)	*	0.6	(0.32-1.13)	ns	0.85	(0.44-1.65)	ns	0.58	(0.28-1.22)	ns	0.59	(0.43-0.82)	**	
避難地域を含む浜通り	0.24	(0.08-0.66)	**	0.38	(0.13-1.15)	ns	1	(0.38-2.59)	ns	0.22	(0.08-0.61)	**	0.39	(0.23-0.63)	***	
放射線リスクへの不安感 (低い不安感)	9	(6.08-13.3)	***	8.12	(5.47-12.0)	***	10.4	(6.78-15.8)	***	10.2	(6.61-15.8)	***	9.16	(7.49-11.2)	***	
2012 (ref)	1			1			1			1			1			
2013														1.4	(1.09-1.82)	**
2014														2.49	(1.92-3.23)	***
2015														2.79	(2.14-3.63)	***

説明変数は年齢、性別、居住地域、放射線リスクへの不安感 (Model 2)。CI は信頼区間、refは参照区、nsは有意差なし ($P > 0.05$)、* $P \leq 0.05$ 、** $P \leq 0.01$ 、*** $P \leq 0.001$ を示す。

表4 目的変数に水や大気環境への安全観を用いたModel3における二項ロジスティック回帰

	2012		2013		2014		2015		2010-2015	
	オッズ比 (95% CI)	オッズ比 (95% CI)	オッズ比 (95% CI)	オッズ比 (95% CI)	オッズ比 (95% CI)	オッズ比 (95% CI)	オッズ比 (95% CI)	オッズ比 (95% CI)	オッズ比 (95% CI)	
男性	1.43 (0.98-2.07) ns	1.16 (0.81-1.66) ns	1.3 (0.89-1.90) ns	1.44 (0.98-2.13) ns	1.31 (1.09-1.58) **					
女性 (ref)	1	1	1	1	1					
20-29 歳 (ref)	1	1	1	1	1					
30-39 歳	0.82 (0.34-2.01) ns	1.95 (0.78-4.89) ns	0.81 (0.34-1.93) ns	2.58 (1.00-6.69) *	1.3 (0.83-2.05) ns					
40-49 歳	1.15 (0.47-2.81) ns	1.73 (0.70-4.26) ns	2.22 (0.96-5.17) ns	2.26 (0.90-5.69) ns	1.71 (1.10-2.65) *					
50-59 歳	1.06 (0.46-2.46) ns	2.48 (1.04-5.90) *	1.28 (0.56-2.90) ns	2.32 (0.94-5.71) ns	1.63 (1.06-2.50) *					
60 歳以上	1.77 (0.81-3.85) ns	3.78 (1.70-8.41) ***	2 (0.96-4.20) ns	5.01 (2.17-11.6) ***	2.76 (1.87-4.09) ***					
放射線リスクへの不安感 (低い不安感)	9.48 (6.44-14.0) ***	7.73 (5.25-11.4) ***	10.3 (6.71-15.8) ***	9.96 (6.49-15.3) ***	9.02 (7.40-11.0) ***					
原発からの距離	1.01 (1.00-1.02) *	1.01 (1.00-1.02) *	1 (1.00-1.01) ns	1.01 (1.00-1.02) *	1.01 (1.00-1.01) ***					
空間線量率	0.99 (0.94-1.04) ns	1.06 (0.96-1.16) ns	1.13 (0.83-1.54) ns	1.05 (0.93-1.19) ns	1 (0.97-1.04) ns					
2012 (ref)	1									
2013									1.42 (1.09-1.84) **	
2014									2.5 (1.91-3.27) ***	
2015									2.81 (2.15-3.69) ***	

説明変数は年齢、性別、居住地域、原発からの距離、空間線量率 (Model3)。CI は信頼区間、refは参照区、nsは有意差なし ($P > 0.05$) , * $P \leq 0.05$, ** $P \leq 0.01$, *** $P \leq 0.001$ を示す。

4. まとめ

福島県県政世論調査を用いて、水や大気環境への安全観と属性（年齢、性別、居住地域、発電所からの距離、空間線量率及び放射線リスクへの不安感）との関係を調査した。

クロス集計では、事故後の水や大気環境への安全観が、居住地域で違いがみられ、会津で特に高く、避難地域を含む浜通りで低かった。事故前には居住地域間で大きな違いはなかったことから、避難地域を含む浜通りの水や大気環境への安全観は、原子力発電所事故によるものと考えられた。事故後5年間で水や大気環境への安全観は回復されたが、避難地域を含む浜通りでは事故前の水準までは回復していなかった。

二項ロジスティック回帰では、水や大気環境への高い安全観は、放射線リスクに対する低い不安感と強く関連していることが明らかになった。Model 1 で見られた居住地域間での水や大気環境への安全観の違いは、放射線リスクへの不安感を考慮した Model 2 では、避難地域を含む浜通りを除いてみられなかった。これは、避難指示は放射線リスクへの不安感に影響を与え、その後の水や大気環境への安全観にも強い影響を及ぼしたことが示唆される。

水や大気環境への安全観は、発電所からの距離とも強く関係していた。事故に関連するトラウマや経験もまた、発電所からの物理的な距離と関連している可能性がある。発電所からの距離は、長期的な発電所の廃炉・汚染水対策についての不安の代替要因（proxy）となっている可能性もある。一方、水や大気環境への安全観は空間線量率と明確には関係していなかった。

また、水や大気環境への安全観は年齢層によって大きく異なり、クロス集計では高齢者（60代以上）の方が高かった。さらに、説明変数に放射線リスク認知を追加した、二項ロジスティック回帰においても、水や大気環境への安全観のオッズ比が高いことが明らかとなった。これらの結果は、放射線リスクへの不安感以外の要因が水や大気環境への安全観に関連していることを示唆している。過去の研究では、高齢者ほど河川環境に関心を持ち、水環境保全活動に参加していること^{8),9)}、近隣の河川と何らかの関わりを経験することは肯定的な水環境への意識につながることを示されている¹⁰⁾。これは、高齢者の自然環境への関心と環境保全活動における経験が、環境への安全観に影響を与える可能性があることを示唆している。

事故以来8年が経過し、避難指示が解除されている。このため、福島復興を支援するためには、県民の水環境への安全観を高める必要がある。例えば、避難指示が解除された自治体に若者の帰還を促進しようとする場合、高齢者と水環境活動に参加させることが効果的である可能性がある。放射線リスク対策に加えて、水や大気環境との相互作用について否定的な視点が対策に反映され、地域社会における協力が促進されることが重要である。

なお、本研究は、鈴木 他¹¹⁾において論文公表されているものの一部を引用しているものである。また、福島県の関係各課に情報提供されている。

謝辞

なお、この研究の一部は、日本学術振興会（JSPS）科研費（No：P16H05894）の支援を受けて行われた。

参考文献

- 1) 環境省除染関係ガイドライン（2013年）
- 2) 復興庁原子力被災自治体における住民意向調査
<http://www.reconstruction.go.jp/topics/main-cat1/sub-cat1-4/ikoucyousa/>（令和2年3月5日最終閲覧）。
- 3) 福島県水資源総合計画「新生ふくしま水プラン」。（2013年）。
<https://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/65527.pdf>（令和2年3月5日最終閲覧）。
- 4) 福島県ホームページ <https://www.pref.fukushima.lg.jp/site/ken-no-sugata/>（令和2年3月5日最終閲覧）。
- 5) 福島県水環境保全基本計画（2013年）
<https://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/53640.pdf>（令和2年3月5日最終閲覧）。
- 6) 福島県県政世論調査 <https://www.pref.fukushima.lg.jp/sec/01010e/kouchou1-439.html>（令和2年3月5日最終閲覧）。
- 7) 原子力規制委員会放射線モニタリング情報
<http://radioactivity.nsr.go.jp/map/ja/download.html>（令和2年3月5日最終閲覧）。
- 8) Minagawa T, Shimatani Y. Residents' evaluation of river landscape and influence of the information for restoration of the Gravel Ber at Nagata area on the Tama River. J Jpn Soc Civ Eng 2002;713:115-29.
- 9) Wada Y, Michioku K, Wada N. Evaluation of waterside environment from a viewpoint of inhabitants. J Jpn Soc Civ Eng 2004;776:83-95.
- 10) Otsuka Y, Aramaki T. A relational assessment between water experiences and urban river consciousness by association analysis. J Jpn Soc Civ Eng 2014;70:365-72.
- 11) Satoshi Suzuki, Michio Murakami, Tatsuhiro Nishikiori, Shigeki Harada: Annual changes in the Fukushima residents' views on the safety of water and air environments and their associations with the perception of radiation risks, Journal of Radiation Research, Supplement - Highlight Articles of the First International Symposium, 59(S2), pp.ii31-ii39, 2018. doi: 10.1093/jrr/rrx096.

地域対話が河川流域住民の水環境に対する意識に与える影響

1. 背景・目的

東京電力（株）福島第一原子力発電所事故（以下「事故」という。）以降、福島県では、2009年度は8,510人、2010年度は7,895人と、事故以前は日本一であった水生生物調査の参加者数が2016年度は1,285人、2017年度は1,582人と事故から6年を経過しても回復していない¹⁾。また、2017年度の県政世論調査において、『あなたは震災後、「水」に関わる地域活動やボランティア活動に参加していますか。』の問いに対して、「参加していない」と回答した人が61.5%に上る等、県民の水環境に対する関心の低下が課題となっている²⁾。

これに対し福島県では、『福島県水環境保全基本計画（2013年3月）³⁾』及び『福島県水資源総合計画「新生ふくしま水プラン」（2013年3月）⁴⁾』において、水を介した地域交流の推進等の施策を展開している。地域社会における水環境への関心の高まりや環境保全活動の経験の促進が、県民の水環境への安全観の高まりにつながることを示唆されている⁵⁾。このため、これら施策をより一層効果的に進め、地域の水環境に対する意識の高まりや自主的な環境保全活動等の取組みに繋げていくためには、水に関する地域住民の意識を把握するとともに、水を介した地域交流がもたらす効果の検証、さらには検証結果を踏まえた行政の支援のあり方を検討することが必要である。

そこで今回、県内の2つの河川流域をモデルとして、各河川流域の住民等を対象者とした水環境に関するワークショップを実施し、その前後に対象者に対してアンケート調査を行うことにより、地域対話が河川流域住民の意識に与える影響を検証した。

2. 調査方法

2. 1. 対象河川

夏井川水系新川及び好間川を対象とした。両河川ともにいわき市を主流域とし、新川が平地区及び内郷地区、好間川が好間地区及び三和地区を流れている（図1）。

2. 2. 対象者

各河川流域の住民又は各河川流域で地域活動を実践している自治会、農業団体、市民団体、環境保全団体、商工会、学校等の関係者から16名（新川）及び17名（好間川）を対象者とした。後述のアンケートから、対象者の性別構成は両河川ともに男性の方が多く、年齢構成は新川に比べて好間川で高かった（表1）。また、河川の利用頻度は両河川ともに週1回以上が7割程度を占め、その目的はウォーキングや通勤・通学等の活動が6割程度を占めていた（図2及び図3）。

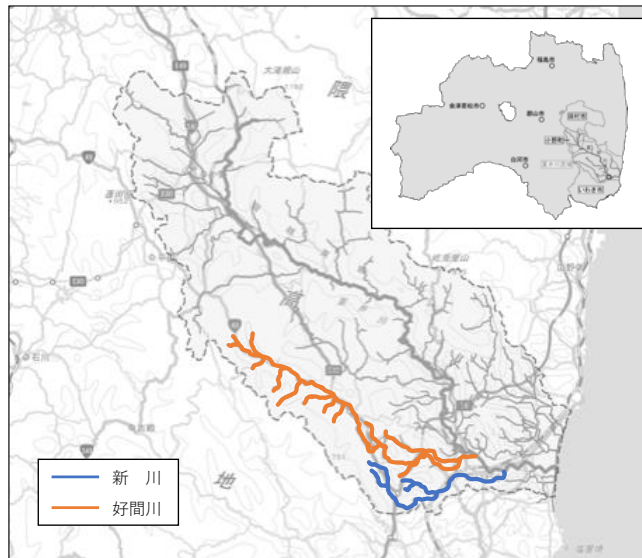


図1 夏井川水系新川及び好間川の位置図

表1 対象者の性別及び年齢構成

		新川		好間川	
		人数	割合	人数	割合
性別	男性	11	69%	13	76%
	女性	5	31%	4	24%
年齢	30代以下	1(0)	6%	1(0)	6%
	40代	5(1)	31%	1(0)	6%
	50代	2(0)	13%	7(2)	41%
	60代	4(2)	25%	5(2)	29%
	70代以上	4(2)	25%	3(0)	18%

※年齢のカッコ内の人数は女性の人数（内数）

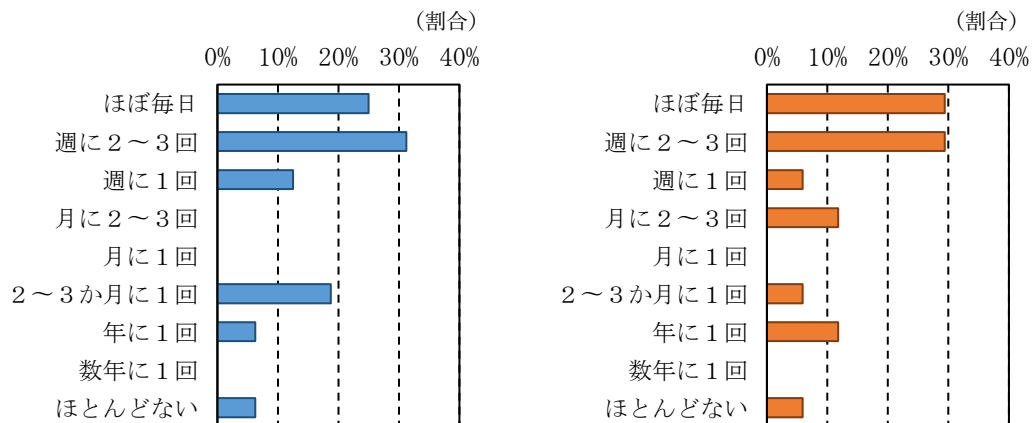


図2 河川の利用頻度（左：新川、右：好間川）

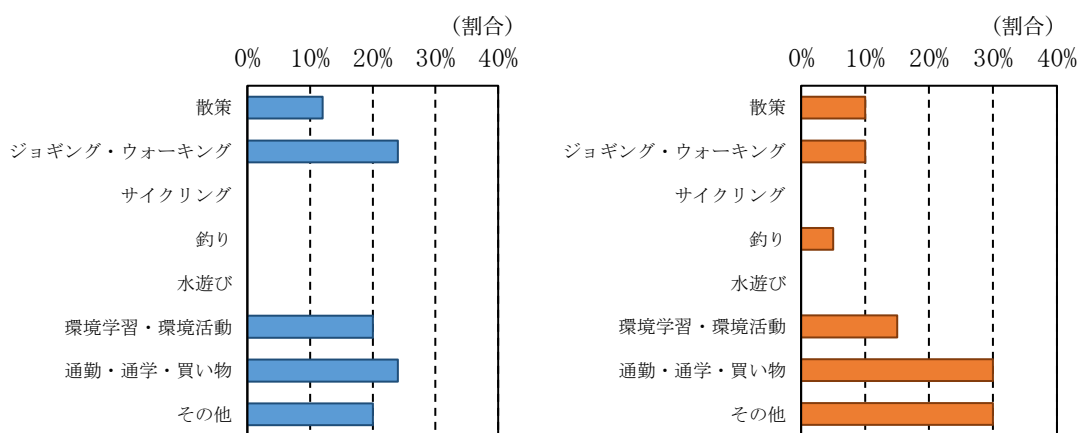


図3 河川の利用目的 (左：新川、右：好間川)

2. 3. ワークショップ

2017年9月28日に新川流域、同年9月29日に好間川流域において、東日本国際大学福迫昌之副学長をファシリテーターに据えて、河川流域の対象者を参加者とした水環境に関するワークショップを開催した。ワークショップは参加者を4～5名ずつ3～4グループに分け、はじめに「河川の魅力と課題」をテーマとしてグループで話し合い、出された意見を模造紙にまとめた。各グループ代表者がまとめた内容を発表し、参加者全体で共有した。次に、「地域で水環境に対する関心を高めるための取組み」をテーマとして同様の流れで話し合い等を行った。最後にファシリテーターが全体を総括した(表2及び写真)。なお、当日はオブザーバーとして、夏井川流域ネットワーク及びいわき市河川課も参加した。ワークショップで抽出した意見は内容に応じて類型化し、まとめた。

表2 当日のプログラム (新川の例)

○開会
○テーマ①
「新川の魅力と課題について考える」
・グループディスカッション (15分程度)
(1グループ5名程度×3グループ)
・グループ発表 (10分程度)
○テーマ②
「新川の関心を高める取組みを考える」
・グループディスカッション (15分程度)
(各グループ5名程度×3グループ)
・グループ発表 (10分程度)
○総括



写真 ワークショップの様子

2. 4. アンケート

地域対話による意識の変化を調査するため、ワークショップ前後に対象者に対して、対象者の属性（年齢層、職業、居住地等）のほか、各河川流域の利用頻度、利用目的、イメージ、良さ及び地域に必要な取組みに関するアンケートを行った。アンケートは既往調査⁶⁾を参考に設問内容を設定し、設問内容に応じて選択式（単一又は複数）及び自由記述の回答方法を採用した（表3）。なお、イメージ、良さ及び地域に必要な取組みの設問については、ワークショップ前後の比較が可能となるよう、設問内容は同一とした。また集計にあたって、イメージ、良さ及び地域に必要な活動の設問については、「そう思う」、「ややそう思う」、「どちらともいえない」、「あまり思わない」、「思わない」の5件法で尋ねているが、各設問の回答を「そう思う」から「思わない」の順に5点から1点と評点し、その合計を回答者数（対象者数）で割って平均点を算出し、評価した。

表3 アンケートの設問構成（属性以外）

※事前アンケート及び事後アンケートにおいて調査した項目

分類	設問概要	回答方法	事前※	事後※
利用頻度	-	選択式(単一)	○	
利用目的	-	選択式(複数)	○	
イメージ	水環境のきれいさ／ごみ量／豊かな自然／身近さ／利便性／安全／水量／歴史・文化／過去との比較／若者の集い	選択式(単一)	○	○
良さ	安全な水の提供／自然災害の緩和／生き物の生息環境の提供／自然との触合いの場の提供／地域住民の交流の場の提供／歴史や文化の実感	選択式(単一)	○	○
良さや課題	自由回答	自由記述	○	○
地域に必要な取組み	水質や水生生物調査等の活動／河川美化活動／水辺の観察会等の活動／川について学ぶ活動／意見交換や地域交流を行う活動／水源地を守る活動	選択式(単一)	○	○
	自由回答	自由記述	○	○
ワークショップ感想	自由回答	自由記述		○

3. 調査及び実施結果、考察

3. 1. ワークショップ

3. 1. 1 魅力と課題

新川のワークショップにおいては、『魅力』として、ホテルが生息している等の「豊かな自然」、散策路が整備されている等の「空間利用」及び石炭との関わり等の「歴史・文化」に関する意見が上位を占めた。また『課題』としては、川に植生が繁茂している等の「豊かな自然」、水質が悪いイメージがある等の「水質・水量」及び河川氾濫の不

安等の「安全性・治水」に関する意見が上位を占めた（図4左）。

他方、好間川のワークショップにおいては、『魅力』として、水質が良好である等の「水質・水量」、多様な生き物が生息している等の「豊かな自然」及び川を身近に感じる等の「親水性」に関する意見が上位を占めた。また『課題』としては、雑草の繁茂等の「豊かな自然」、洪水時の土砂堆積への不安等の「安全性・治水」及び水量が減った等の「水質・水量」に関する意見が上位を占めた（図4右）。

3. 1. 2. 地域で関心を高めるための取組

新川のワークショップにおいては、歴史や自然等に関するブランディング戦略、魅力を発信するマップ作成等の「地域振興」に関する意見が上位を占めたほか、新川の魅力や基礎知識の学習を行う等の「講座」、笹舟競争等の「川を利用した体験」に関する意見があった（図5左）。他方、好間川のワークショップにおいては、桜並木の整備等の「整備」、源流探検やマラソン大会等の「ウォーキング等、運動」、芋煮会やバーベキュー等の「地域振興」に関する意見が上位を占めた（図5右）。

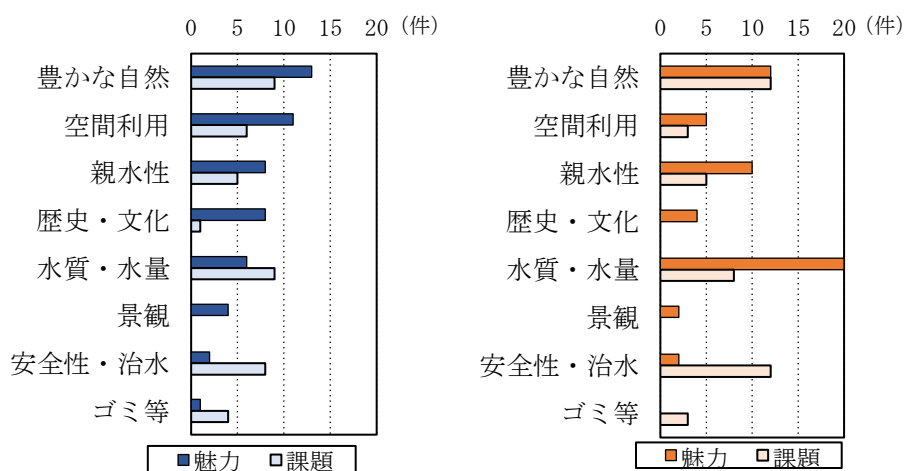


図4 ワークショップで挙げられた魅力と課題（左：新川、右：好間川）

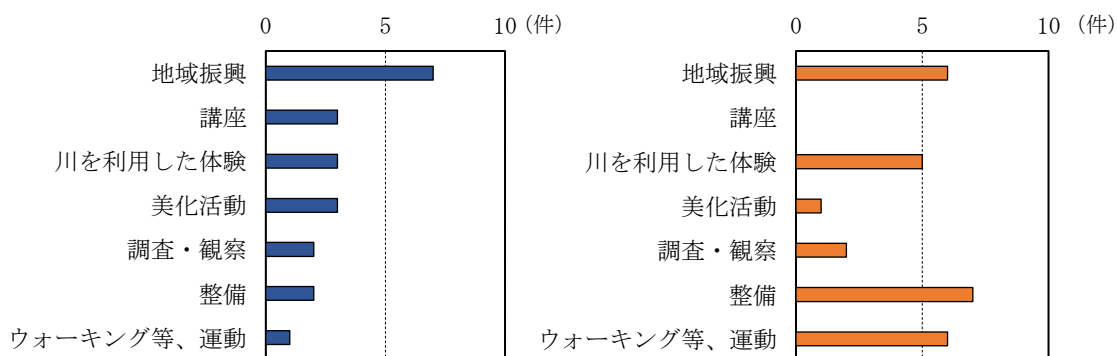


図5 ワークショップで挙げられた関心を高める取組（左：新川、右：好間川）

3. 2 アンケート

アンケート結果から、ワークショップ前後で対象者が抱く各河川への『イメージ』及び『良さ』に関する意識に変化が見られた。新川では、「きれいな水環境である」、「安全な飲み水等の提供」及び「歴史や文化を感じることができる」の項目においてワークショップ前後の平均点が有意に上昇していた。好間川では、「豊かな自然を感じる」、「歴史・文化を感じる」、「若い人たちが集う」、「安全な飲み水等の提供」、「地域住民の交流の場の提供」及び「歴史や文化を感じることができる」の項目においてワークショップ前後の平均点が有意に上昇していた（図6及び図7）。これら項目に関連する内容のほとんどは、各ワークショップで上げられていた意見に含まれていた。また、『地域で必要な取り組み』に関するアンケート結果においても、特に好間川で「水について意見交換や地域交流を行う活動」がワークショップ前後の平均点が有意に上昇していた（図8）ほか、両河川のワークショップに対する感想（自由記述）においても、「改めて河川を見つめ直す機会となった。」、「自分では気づけない良いところをたくさん知った。」及び「上下流域の考え方の違いを知ることができた。」といった類の意見が多く寄せられていた。

4. まとめ

今回、2つの河川をモデルとしたワークショップを実施し、その前後の意識の変化をアンケート調査した。その結果、流域住民の河川に対する意識が良くなった。これはワークショップが、流域住民に対する身近な河川の水環境を想起させる等の関心の向上や河川に対する様々な視点や考え方等の共有化に寄与したためと考えられる。今回のワークショップは、これまで積極的に河川と関わりのある方だけでなく普段は身近な河川を意識せず利用している方も対象としたこと、河川を流域全体として捉えて広域的に参加者を集めたこと、さらには各地域の核となる団体の代表者の多くを対象としたことに意義がある。河川に対する関心の高さや地域の区分けに関わらず対話の場に参加してもらうことが、流域全体での水環境に対する意識の高まりに繋がるとともに、地域の核となる代表者が参加することにより、水環境に対する意識の地域全体への広がりや持続可能で主体的な活動に繋がることが期待される。

なお、本調査は現在も継続中であり、2017年度中には前述のワークショップを踏まえて河川流域を上流から下流まで写真を投影しながら、流域での活動や歴史、文化を参加者で語り合う「バーチャルツアー」やその後振り返りのワークショップを行い、最終的には川の魅力を感じるマップ（図9）を作成した⁶⁾。これら活動の成果はとりまとめて、環境創造センターホームページ（<https://www.pref.fukushima.lg.jp/sec/298/kenkyu.html>）に掲載したほか、作成したマップは、参加者、流域住民、小中学校等への配布を通じて、河川の魅力を伝える活動にも貢献した。

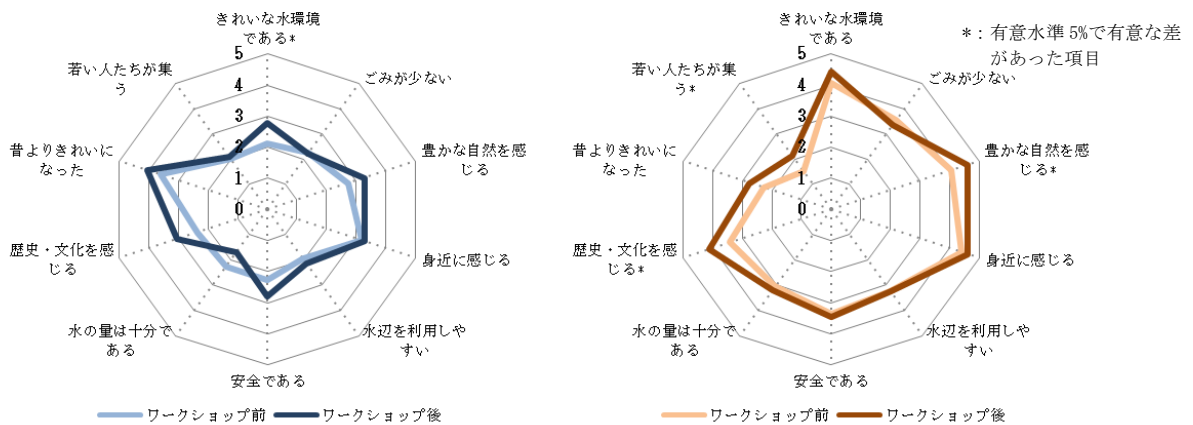


図6 ワークショップ前後の河川に対するイメージの平均点
(左：新川、右：好間川)

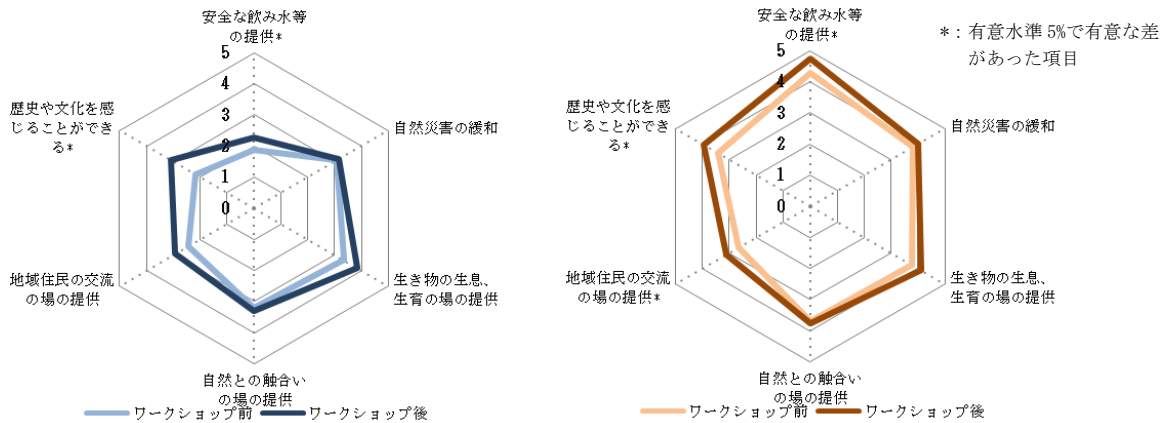


図7 ワークショップ前後の河川に対する良さの平均点
(左：新川、右：好間川)

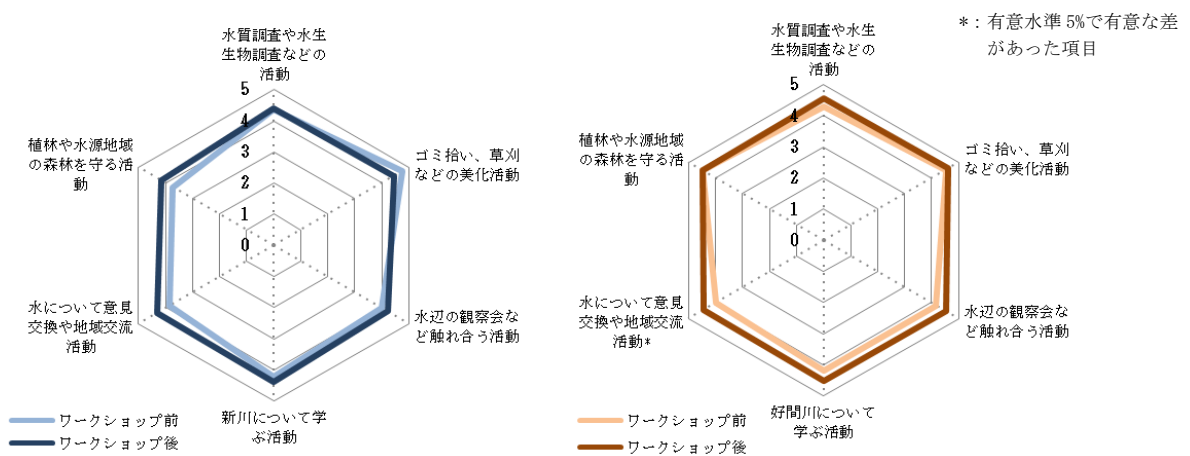


図8 ワークショップ前後の河川の関心を高めるために必要な取組の平均点
(左：新川、右：好間川)

新川とは？

新川は、いわき市内の内郷地区から平地区を流れる二級河川夏井川の一次支流です。流域面積は33.4km²、指定区間延長は24.7kmです。(夏井川水系河川整備計画 平成14年4月福島県)

このマップは？

平成29年度に福島県環境創造センターでは、新川流域の地域の皆さんにご協力いただき、「新川の水環境に関するワークショップ」を開催しました。このマップは、参加者の皆さんがワークショップで、新川流域の魅力などを話し合った結果をまとめたものです。皆さんが、このマップをとおして、新川について考えるきっかけになれば幸いです。

マップについて、何かお気付きのことがありましたら、お気軽にお問い合わせください。
 発行：福島県環境創造センター
 住所：田村郡三春町深作10番2号
 電話：0247-61-6140 FAX：0247-61-6119
 ホームページ：https://www.fukushima-kankyosozou.jp

新川の魅力を感じるマップ
 ～新川の歴史・文化・環境について考えてみませんか？～

新川の水環境を考えるワークショップ事務局 編

みなさんは新川の魅力をいくつか知っていますか？

① **内郷高野地内**
内郷高野地区に産する新川は、上流では川底がはっきりと見えるほどに綺麗な水が流れています。

② **白水小学校裏**
川の中を流れている、ちょっと不思議な場所ですが、新川上流域できれいな水と親しめる空間です。

③ **ライオン岩**
炭鉱時代、金体の形がライオンに似ていたことから、「ライオン岩」と呼ばれているそうです。

④ **吊るしの観音**
岩間に懸られている、非常に小さくて珍しい観音堂です。別名「ツルカケ観音」とも呼ばれています。

⑤ **白水阿弥陀堂**
平安末期に建てられた、国宝建築物にも指定されている世界遺産級の建物です。阿弥陀様の様子は、新川に流れることができます。

⑥ **クマミ温泉**
石炭採掘の際に生じる温泉水を利用した野天風呂があります。最初は「新敷温泉」とも呼ばれていたそうです。

⑦ **新川の今と昔**
今の新川は昔、白水川や古川と呼ばれていました。当時の新川は、新川緑地公園のころを流れていましたが、今は、地下水路になっています。

⑧ **ひょうたん島周辺**
アリオスの裏手には、ひょうたん島という、水辺と親しめる空間があります。春になると、周りでは桜や菜の花が満開となります。

⑨ **夏井川合流地点**
夏井川との合流点には、毎年白鳥が飛来し、別を休める場所となっています。

図9 魅力を感じるマップ（新川の例）

謝辞

本調査の実施にあたり、ワークショップのファシリテーターを務めた東日本国際大学副迫昌之副学長をはじめ、いわき市役所、夏井川流域ネットワーク及び新川並びに夏井川流域の関係者の皆さまには、多大なご協力をいただいたことに感謝申し上げます。

参考文献

- 1) H29 うつくしま川の体験マップせせらぎスクール
<https://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/258450.pdf> (令和2年3月5日最終閲覧) .
- 2) 平成29年度県政世論調査結果報告書 (平成29年11月福島県)
<https://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/244407.pdf> (令和2年3月5日最終閲覧) .
- 3) 福島県水環境保全基本計画 (平成25年3月福島県)
<https://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/53640.pdf> (令和2年3月5日最終閲覧) .
- 4) 福島県水資源総合計画「新生ふくしま水プラン」 (平成25年3月福島県)
<https://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/65527.pdf> (令和2年3月5日最終閲覧) .
- 5) Satoshi Suzuki, Michio Murakami, Tatsuhiro Nishikiori, Shigeki Harada: Annual changes in the Fukushima residents' views on the safety of water and air environments and their associations with the perception of radiation risks, *Journal of Radiation Research, Supplement - Highlight Articles of the First International Symposium*, 59(S2), pp.ii31-ii39, 2018. doi: 10.1093/jrr/rrx096.
- 6) 井能丈正「霞ヶ浦の水環境に関するアンケート調査」
http://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/content/000647929.pdf (令和2年3月5日最終閲覧) .

テーマ「除染効果の評価に関する研究」

汚染状況重点調査地域における住宅除染の実施状況や課題の整理

1. 背景・目的

平成 23 年 3 月に発生した東京電力（株）福島第一原子力発電所事故による放射性物質の拡散に伴い、福島県をはじめとした地域が広範囲に汚染された。これら環境汚染からの環境回復のため、福島県内では放射性物質汚染対処特措法に基づき、生活圏を中心とした除染が行われ、平成 30 年 3 月末までに帰還困難区域を除く面的な除染が終了した。除染は、国が除染実施計画を策定し除染事業を進める地域（除染特別地域）と市町村が除染実施計画を策定し除染事業を進める地域（汚染状況重点調査地域）との 2 つに大きく分類し行われている（図 1）。

このような広範囲に渡る除染の取組は世界的にも事例が少なく、将来的な災害対応等の参考となる事例が含まれている可能性がある。そのため、除染を進める中で得られた知見を収集・整理することは重要であり、環境省における記録²⁾の作成などが行われている。本調査では、既往の調査等において比較的記録の少ない汚染状況重点調査地域を対象とし、市町村による住宅除染への対応やその中で生じた課題等に関する知見を整理することを目的に、アンケート及びヒアリングの調査を行った。



図 1 除染特別地域と汚染状況重点調査地域
(出典：福島県における除染等の取組¹⁾ 除染対策課)

2. アンケート調査の概要

2. 1. 調査方法

CD により調査票（電子データ）を配布し、電子メールにて回収した。

2. 2. 調査対象

福島県内において汚染状況重点調査地域に指定された市町村のうち、除染実施計画を策定した 36 市町村を対象とした。

2. 3. 回答数及び回答率

実施期間において 31 市町村より回答を得た。（回答率 86%）

2. 4. 実施期間

平成 30 年 8 月 24 日（調査票配布）から平成 31 年 1 月 31 日（回答受付終了）まで

2. 5. 質問内容

住宅除染の実施状況を把握するため「住宅除染の実施有無」及び「実施時期」について、住宅除染の実施体制を把握するため「住宅除染担当課室の設置経緯」、「住宅除染担当課室の役割」及び「住宅除染担当職員数」について、それぞれ質問した。また、住宅除染へ対応する中での課題や課題への関連が想定される事項として「不足感のあったこと、苦心したこと」、「外部からの人的支援」及び「除染に関する知見の収集方法」について質問した。

3. アンケート調査の結果

3. 1. 住宅除染の実施有無

回答のあった 31 市町村のうち、住宅除染を実施したのは 29 市町村であった。

問. 貴市町村では住宅除染を実施しましたか。（ひとつだけ）

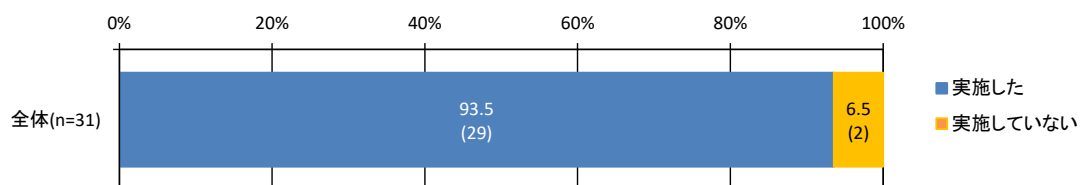


図 2 住宅除染の実施有無（括弧内は市町村数）

3. 2. 実施時期

住宅除染を実施していたのは、平成 23 年度には 7 市町村であった。平成 24 年度以降住宅除染を実施する市町村が増え、平成 25 年度に 26 市町村とピークとなった。平成 29 年度には 4 市町村であった。

問. 貴市町村における住宅除染の実施期間についてお答えください。

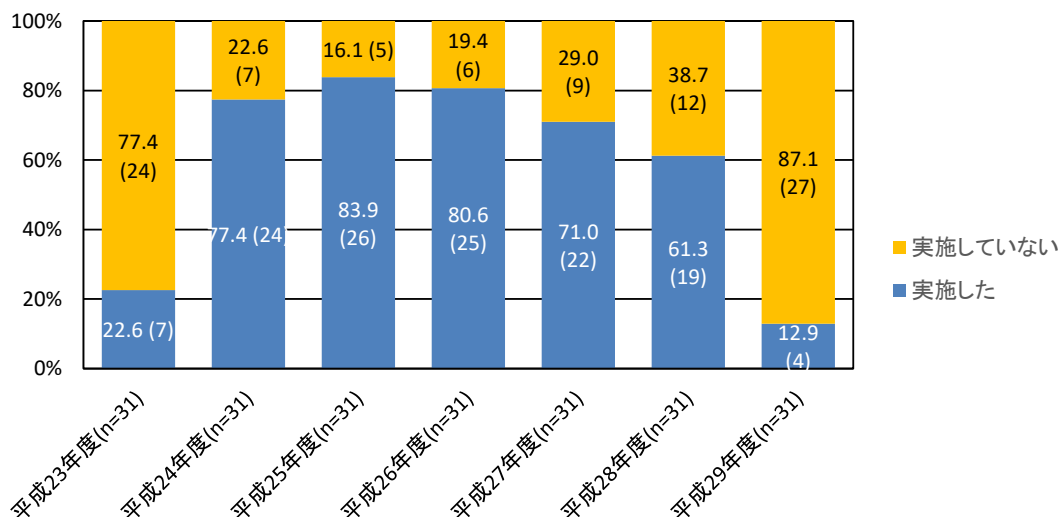


図 3 住宅除染の実施時期 (括弧内は市町村数)

3. 3. 住宅除染担当課室の設置経緯

21 市町村では、担当課室は震災対応のために設置されたものであった。既存の課室に住宅除染対応業務が加わったのは 6 市町村であった。

なお、震災対応のために設置された課室には「原子力災害対策」「放射能対策」「除染対策／推進」「再生復興」などの名称が用いられている。震災以前から存在し、住宅除染対応業務を担うこととなった課室の名称には、「町民」「生活／暮らし」「福祉」「地域整備」などがみられ、多様な役割の部門が住宅除染を担っていたことがうかがえる。

問. 住宅除染を担当する(した)課室の設置経緯について、あてはまるものをお選びください。(ひとつだけ)

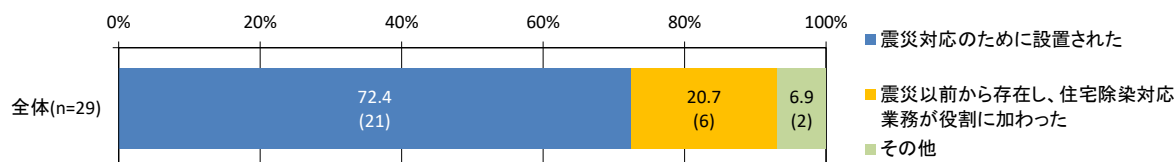


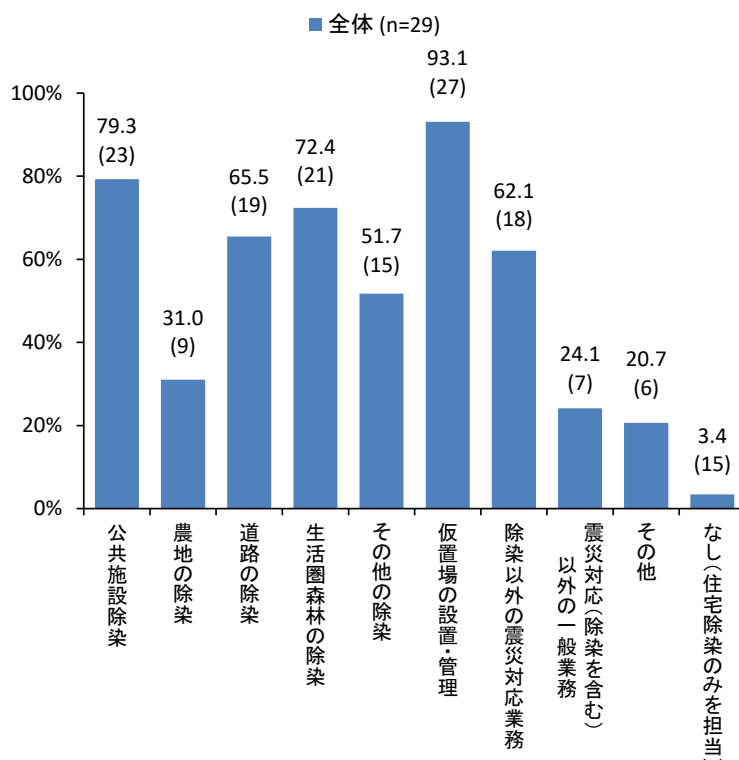
図 4 住宅除染担当課室の設置経緯

3. 4. 住宅除染担当課室の役割

住宅除染担当課室では仮置場設置業務などの役割も担っており、9割以上が「仮置場の設置・管理」を、8割が「公共施設除染」を担っていた。

問. 各年度において住宅除染を担当した課室の①名称、②住宅除染以外に担っていた役割、③住宅除染業務を担当した職員数（概算で可）についてお知らせください。

②：住宅除染担当課室の役割（いくつでも）



*1 住宅除染以外の震災対応：震災の発生により実施することとなった、避難対応や被災状況の把握、賠償対応、健康管理対応等の業務を指す。

*2 震災対応(除染を含む)以外の一般事務：震災の発生によらず実施されている建築、環境、福祉等の業務を指す。

図5 住宅除染担当課室の役割（括弧内は市町村数）

3. 5. 住宅除染担当職員数

住宅除染を実施した市町村における担当職員数について、年度別の平均値を表1に示す。全体での一市町村当たりの平均担当職員数としては、6～10人の職員を要していたことがわかる。同様に、住宅除染実施数³⁾別にみると、実施数1万戸以上の市町村では7～17人、実施数1万戸未満の市町村では3～6人の職員を要していた。

また、市町村別の除染実施数と担当職員数（平均：住宅除染を実施した期間における各年度の職員数を平均したものの職員数）の分布を図6に示す。ここから、除染実施数が

増えることで担当する職員数も増えていることがわかる。

問. 各年度において住宅除染を担当した課室の①名称、②住宅除染以外に担っていた役割、③住宅除染業務を担当した職員数（概算で可）についてお知らせください。

③：住宅除染業務担当職員数（数字：人）概算で可

表1 年度別の住宅除染担当職員数（平均）

		H23	H24	H25	H26	H27	H28	H29
全体	市町村数	7	23	25	24	21	18	4
	一市町村当たりの平均担当職員数	6.3	6.4	7.7	8.5	8.9	8.8	9.5
住宅除染の実施数 1万戸以上の市町村	市町村数	5	7	7	7	7	7	3
	一市町村当たりの平均担当職員数	7.6	10.0	14.0	15.3	16.3	15.7	11.7
住宅除染の実施数 1万戸未満の市町村	市町村数	2	16	18	17	14	11	1
	一市町村当たりの平均担当職員数	3.0	4.9	5.2	5.7	5.2	4.4	3.0

※住宅除染作業、住宅除染に係る住民対応業務、発注業務など直接的に住宅除染の実施に係る業務を、恒常的に（数日などの短期的な応援でなく）担当した常勤職員の延べ人数（兼務者も1名としてカウント）。また、期間中に職員数の変動があった場合はピーク時の人数。

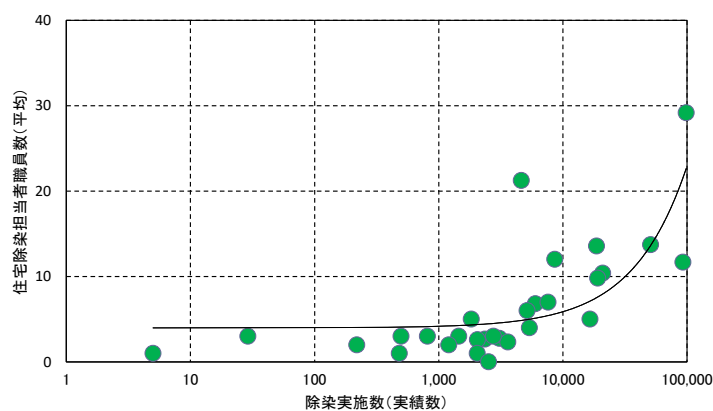


図6 住宅除染実施数と住宅除染担当職員数（平均）の分布

3. 6. 不足感のあったこと、苦心したこと

住宅除染を実施したと回答のあった29市町村のうち、7割以上の市町村が「絶対的な人数の不足」「環境中の放射性物質や放射線の測定に関する知識の不足」「放射線の健康影響に関する知識の不足」「積算など、除染業務の仕様作成や発注に関するノウハウの不足」「除染技術に関する知識の不足」を挙げている。

一方、最も強く不足感があったこと、苦心したこととしては「絶対的な人数の不足」が多く挙げられた。

問. 住宅除染を実施するにあたって、体制面、知識、ノウハウの面で不足感のあったこと、苦心したことがあればお知らせください。不足感があったことや苦心したこと（いくつでも）と、その中で最も強く感じていたもの（ひとつだけ）をお選びください。

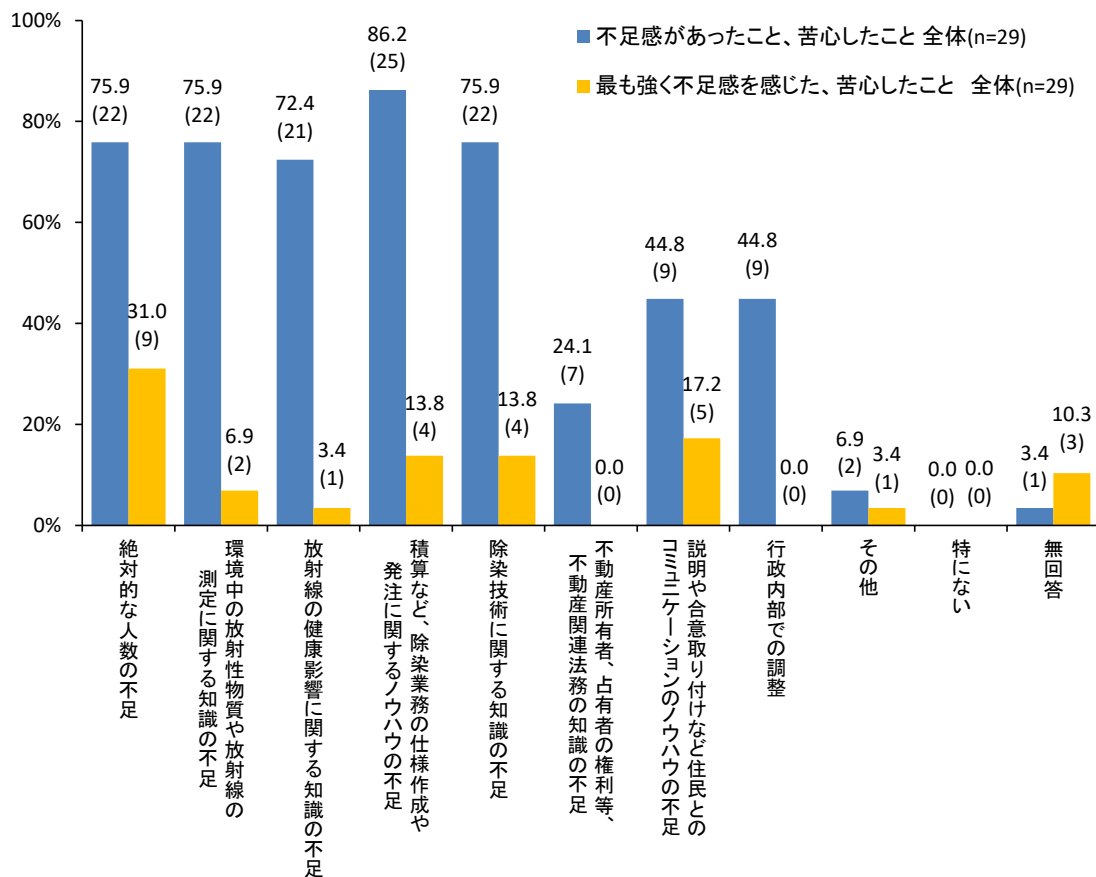


図7 住宅除染において不足感のあったこと、苦心したこと (括弧内は市町村数)

3. 7. 外部からの人的支援

住宅除染を実施した市町村のうち半数以上の市町村が、応援派遣などの人的支援を受けている。内訳として、県外他市町村、国・都道府県、民間企業などからの支援がそれぞれ2割あった。また、県内他市町村からの出向・応援派遣等を受けた事例はなかった。

問. 住宅除染担当職員のうち、外部（貴市町村以外）からの応援派遣など人的な支援を受けましたか。住宅除染を担当した課室において受けたものをお選びください。（いくつでも）

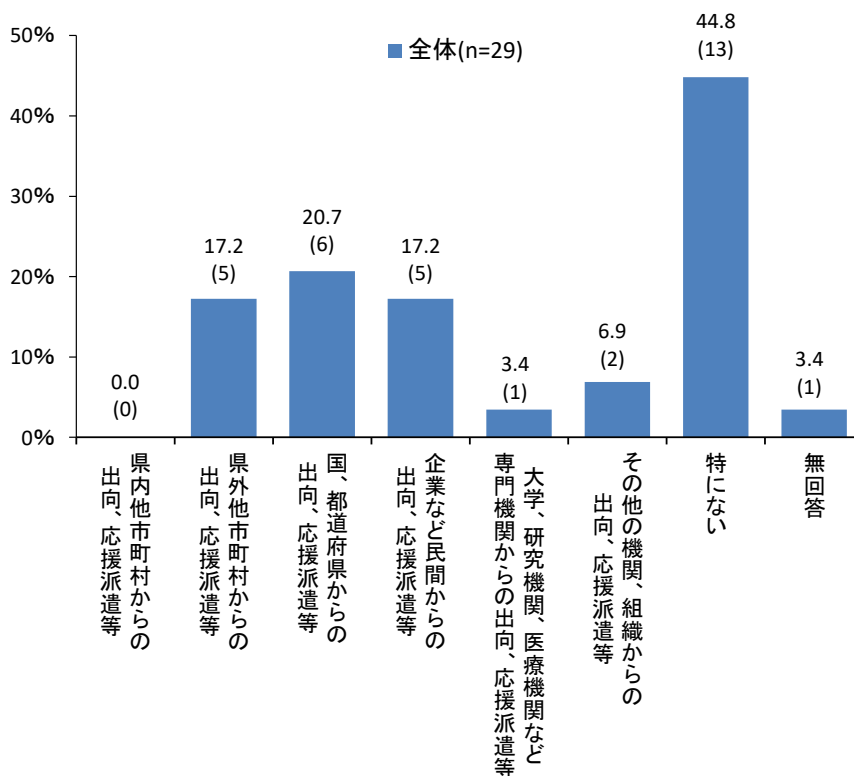


図8 外部からの人的支援（括弧内は市町村数）

3. 8. 除染に関する知見の収集方法

住宅除染を実施した全ての市町村において「ガイドライン等の発行物による情報収集」が行われた。また、「モデル除染」による知見の収集が約8割、「周辺市町村等からの情報収集、情報共有」が約6割の市町村で行われた。

最も効果的なものとしては「ガイドライン等の発行物による情報収集」が最多であった。

問. 住宅除染を本格的に実施する以前の段階で、住宅除染を本格的に実施するために、除染の方法や業務の発注等に関する知見をどのように収集しましたか。知見の収集のために実施した最も効果的だったものをお選びください。

- ①：本格除染以前に実施したこと（いくつでも）
- ②：最も効果的だったもの（ひとつだけ）

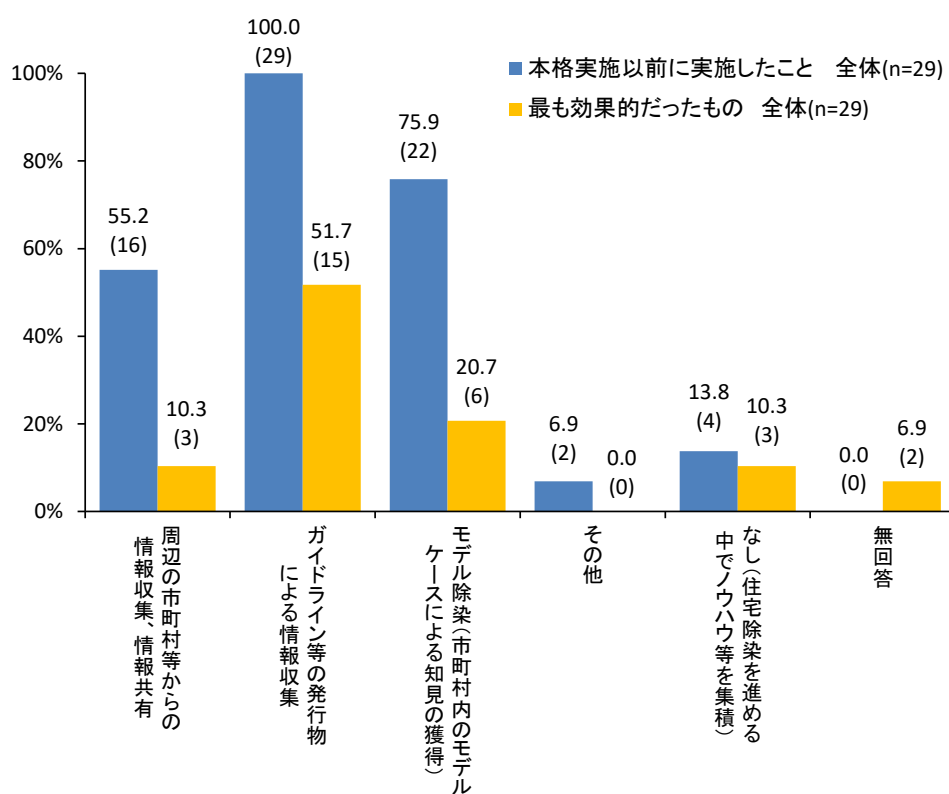


図9 除染に関する知見の収集方法 (括弧内は市町村数)

4. ヒアリング調査の概要

4. 1. 調査方法

訪問によるインタビュー調査を行った。

4. 2. 調査対象

アンケート調査において回答のあった市町村のうち、10 市町村の住宅除染担当者又は過去に住宅除染を担当した職員を対象とした。なお、本報告書で紹介するヒアリング調査の結果は、ヒアリング対象となった機関の現状及び意見を事例的に記したものであり、組織の状況を代表するものではない。

4. 3. 実施期間

平成 30 年 11 月

4. 4. 調査内容

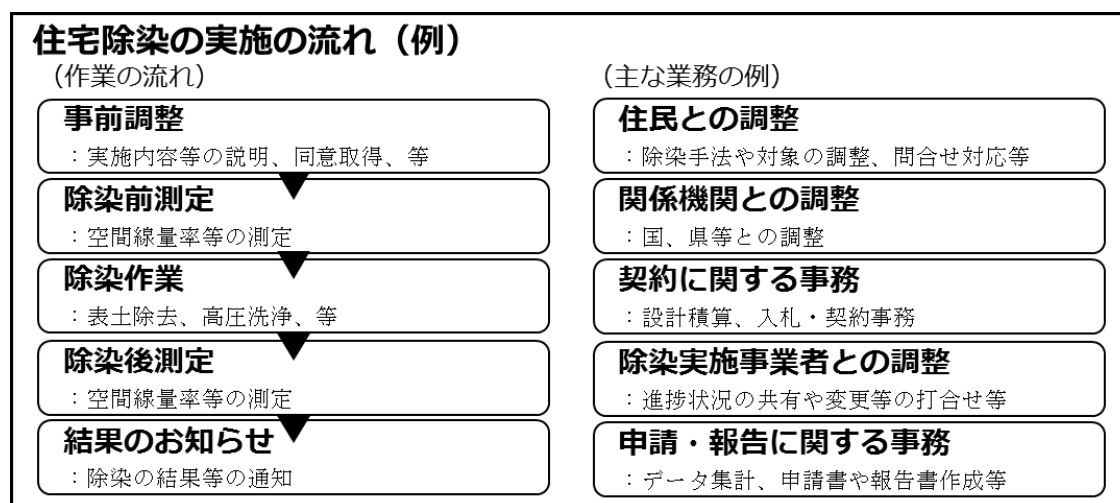
住宅除染を進める中で得られた知見として、「生じた課題とその対応」、「除染の効果」、「情報の発信と収集」及び「今後に向けた教訓」に関する内容とした。

5. ヒアリング調査の結果

5. 1. 生じた課題とその対応

5. 1. 1. 事務に関すること

除染の実施にあたっては、市町村による違いはあるものの、下図に挙げる例のような作業や業務があった。業務として大きく「住民との調整」、「関係機関との調整」、「契約に関する事務」、「除染実施事業者との調整」及び「申請・報告に関する事務」に分類し、それぞれの業務で生じた課題とその対応の事例について以下に記す。



(ア) 住民との調整

- a. 放射線に対する不安や行政等に対する不信感への対応
 - ・ 原子力発電所事故後、特に初期の段階では、職員の放射線に関する知識が十分ではない状況下において、放射線に対する不安や行政、除染実施事業者等に対する不信感への対応が求められた。
 - ・ このような状況の中で、市町村の職員だけではなく、県や国の職員も住民への説明にあたった場合もある。
 - ・ 平時からの住民との対話が、事故時の円滑なコミュニケーションの下地になったと考える市町村もあった。
- b. 除染に関する同意の取得
 - ・ 除染に関する同意の取得に先立って、除染の内容に関する説明会が開催された。説明会は同意の取得に有効な手段と考えられている場合が多いものの、同意が得られない場合もあった。
 - ・ 10世帯程度を対象とした小規模な説明会を繰り返すことで、市町村と住民の信頼関係の形成に役立ったとする市町村もあった。
 - ・ 説明会以外に、市町村や除染実施事業者の戸別訪問による説明も行われた。
 - ・ 除染の手法として、宅地全面の除染ではなく部分的な除染となることや、ガイドライン等により手法や範囲が限られることへの不満を受けた場合もある。
 - ・ 遠隔地に居住していて連絡が取れない土地の所有者に対し、直接訪問して同意を得た場合があった。
- c. 除染作業に関する事故やトラブル
 - ・ 他の地域から集まる作業員への抵抗感や治安悪化への懸念など、住民が除染作業員に対して不安を持つ場合もあった。しかし、このような不安は、除染作業が進むにつれて解消したとする市町村もあった。また、地元の住民が作業員として関わることで不安を解消するなどの取り組みもみられた。
 - ・ 除染作業が原因であるか不明なものを含めた器物損壊等の事故や、スケジュールの調整不足等を発端とする住民と除染実施事業者とのトラブルが発生した場合もある。除染作業完了から数年後に不具合として指摘される場合もあった。
 - ・ 除染作業に関する事故やトラブルに対して、相談窓口の設置、対応マニュアルの整備、作業員の登録管理などの対策がとられる場合があった。
- d. 除染の結果に関する説明
 - ・ 除染前後の空間線量率の測定結果を住民へ報告する事例が多くあった。除染後にも除染実施事業者を含めた協議を行うことで、除染の結果に対する理解を得るよう努めた市町村もあった。
 - ・ 一方で、除染を行っても放射線量が下がらない等、除染の結果に納得が得られない場合もあった。

(イ) 関係機関（国・県）との調整

a. 国や県の判断の遅さ

- ・ 個別の事例に関する交付金の対象範囲等については、国や県の判断が必要とされた。市町村はその都度、国や県に判断を求めたが、先例がないなどの理由により回答を得るまでに長い期間を要したため、事務処理や作業の停滞につながる場合もあった。除染作業を中断させないために、現場判断で作業を進めざるを得ない場合もあった。

b. 国や県の役割及び責任の曖昧さ

- ・ 組織間での情報伝達において、県が判断できないために、直接国へ確認を求められることや市町村が国と県に同時に協議する等の混乱を生じた場合があった。また、市町村への情報伝達の不足も指摘された。
- ・ 一方で、少しずつ市町村の判断に任せられるようになり、状況は改善されてきたとする市町村もあった。

c. ルールの不適切さ

- ・ 国や県が定めるルールが実態に即していなかったとの指摘がみられた。

(ウ) 契約に関する事務

a. 積算基準

- ・ 除染事業の開始当初は除染作業に関する積算基準がなく、先行して行ったモデル除染の事例、他業種の単価や基準、事業者からの見積等を参考にした場合があった。
- ・ 県において暫定積算基準が定められた後は、基準が改定される度に積算内容の変更等の対応が必要となったが、基準がない状態よりは良いとの意見もあった。

b. 技師の不足

- ・ 除染事業の開始当初は技師の職員が不足しており、技術的な知識を要する設計や積算の業務に苦慮した事例が多くあった。
- ・ 土木部局など他部署から協力を得て対応した場合や、土木部局における設計業務の経験のある職員等が対応した場合もある。
- ・ 事務系の職員や未経験の職員が勉強しながら対応したという市町村もみられる。震災前から技師を採用していない市町村もあり、事務系の職員等でも勉強すれば対応できるとの考え方もある。

c. 契約変更への対応

- ・ 除染作業の契約では、作業対象の数量が作業時まで決まらず、契約変更が発生する場合がある。
- ・ これに対しては、あらかじめ対象箇所をすべて測量する等して数量の精度を高めるとの考え方と、概数で速やかに契約して実態に応じ変更するとの考え方がみられた。

(エ) 除染実施事業者との調整

a. 除染実施事業者

- ・ 複数の事業者からなる事業組合が実施する事例や、地元の事業者が実施する事例、大手の事業者等と地元の事業者による共同企業体を実施する事例があった。

b. 除染作業に関するノウハウの共有

- ・ 一般的な土木工事とは異なり、事業者が除染作業に関するノウハウを有していないことから、事業者向けの説明会が開催された場合があった。
- ・ 本格的な除染に先行して市町村が実施したモデル除染を活用し、事業者がモデル除染に参画することで直接ノウハウを得る場合や、本格的な除染の開始後に参入する事業者にモデル除染のノウハウを提供する場合があった。

c. 調整の体制や方法

- ・ 市町村担当者の人員が不足していたことから、効率的な作業が求められた。事業者をグループ分けしてそれぞれに監督員を配置する体制や、渉外等の業務ごとに担当を配置するなどの方法により、指揮系統や役割分担を明確にした体制構築がなされた事例がある。
- ・ 除染作業の現場で発生した問題に対し、「その場で解決する」又は「その日のうちに解決する」といった即時の対応が意識されていた。このため、判断を現場に任せるといった場合もあった。
- ・ 除染実施事業者ごとに対応の違いが生じることを防ぐ目的で、市町村内の全ての除染実施事業者を集めた会議等を定期的で開催し、除染手法や問合せ対応等の情報を共有する機会が設定された事例もある。

(オ) 申請・報告に関する事務

a. 問題点

- ・ 書類作成においては、データの集計や図面の作成等が事務負担となる場合があった。除染事業の開始当初は、除染実施事業者から提出される書類の書式が統一されておらず、事務負担の一因となった事例もある。
- ・ 年度末などの業務が集中する時期に調査依頼がある場合や、同じ内容に関する重複した照会を受ける場合など、調査や照会の依頼者側に配慮を求める事例もあった。

b. 対応策

- ・ GIS等によるシステムを活用した場合があった。また、紙の出力を最小限にするといった人的な取組の事例もみられた。
- ・ 様々な市町村が同様の事務を行っているにもかかわらず、システム化等の対応はそれぞれの市町村で個別に取り組んでいた。システムの設計が不十分で不都合が生じた事例もあり、反省として、設計に係る事前の検討を十分にすべきとの意見もあった。

5. 1. 2. 実施体制に関すること

住宅除染を実施するにあたり、アンケート調査においても課題として挙げられた人員不足の観点を中心に、生じた課題とその対応の事例について以下に記す。

(ア) 人員・人材

a. 人員・人材の不足

- ・ 人員・人材が不足していると感じられていた事例が多かった。絶対的な職員数の不足に加え、設計・積算等の技術的な知識を有する技師の不足が挙げられた。
- ・ 一方、少人数でも業務に対応できたという市町村もあった。

b. 人員・人材の不足への対応

- ・ 技師がいる市町村では、技師が設計や積算の業務を担当し、事務系の職員が申請等の事務を担当する等の役割分担が図られた場合もある。一方で、設計や積算の業務を事務系の職員が担った事例もみられた。
- ・ 民間企業等に、設計積算や現場監督等の業務を外注した市町村もあった。
- ・ 外部からの人材に要求された能力として、現場管理の要員として状況に応じて適切に動ける人や、現場管理のほか書類作成や計画作成等に対応できる人が求められる事例があった。
- ・ 組織内の人選として、前向きさや人当りの良さなどの人柄を求めた事例もあった。

(イ) 組織間の協力・連携

a. 住宅除染を担当する組織の役割

- ・ 住宅除染の担当課の役割として、農地や道路の除染や食品の放射性物質検査等、住宅除染以外に震災関連の他業務を包括的に担当する場合と、住宅の除染のみを担当する場合の2例が多い。ただし、住宅の除染のみを担当する場合、住宅以外の除染は他部署が担当するが、それらの除染の状況を含めた事業全体の取りまとめ窓口として機能する事例が多い。

b. 協力・連携の内容

- ・ 他部署からの協力や連携に関する事例は少ないが、初期の段階で技師が不足していた際に、設計や積算の業務について協力を得たとする場合もあった。
- ・ 除染事業として他部署と協力・連携しなければ進められない部分が少ないことや、他部署も震災対応等で多忙でありお互いに支援し合える状況ではなかったこと等が、協力・連携の少ない理由として挙げられた。また、規模の大きな事業であるため、組織間の協力・連携を前提とした体制よりも、専門に対応する部署において進めるほうが効率的であるとの意見もあった。

5. 1. 3. 知識面に関すること

住宅除染を実施するにあたり、アンケート調査においても課題と挙げられた知識の不

足について、放射線に関する知識と除染に関する知識として生じた課題とその対応の事例について以下に記す。

(ア) 放射線に関する知識

a. 事故後初期の状況

- ・ ほとんどの市町村において、放射線に関する知識を有する職員はいなかった。
- ・ 放射線取扱の経験のある職員が住宅除染の担当課内にいた事例があった。この場合は、業務に対応しながら機器の使用方法や放射線に関する知識を他の職員に教えることができたとされる。

b. 知識の習得方法

- ・ 知識の習得には、研修、講習会、書籍、政府や機器メーカー等の信頼できるウェブサイトの情報、除染関係ガイドラインなど様々な手段が利用された。
- ・ 専門家に意見を求めるほか、放射線取扱主任者等の資格取得を通じた知識の習得や他自治体との情報共有、関連する他の業務を通じた様々な視点からの知識の補強という事例もあった。

c. 習得する知識の範囲

- ・ 習得する知識の範囲の目安として、住民説明会等における住民からの質問へ回答できるようになることが意識されていた場合もあった。

(イ) 除染技術に関する知見

a. 知識の習得方法

- ・ 除染技術等の知識については、先行して除染を実施している他市町村の事例や専門家からの情報収集、県が作成した技術指針や除染関係ガイドラインが参考にされた場合があった。除染が進むことで、現場でのノウハウが蓄積されることが有用であったとする意見もある。
- ・ 新たな手法を模索することや、実証試験、試験施工等によりノウハウを得る場合もあった。

b. 苦慮したこと

- ・ 除染技術の情報が早い段階で市町村に示されず苦慮したとの事例が多くあった。「除染業務に係る技術指針（福島県）」の内容が求めていたものとする市町村もあるが、より早期に示される必要があったとされた。

5. 2. 除染の効果

除染の効果として、線量の低減があった内容と住民の意識の変化について以下に記す。

a. 線量低減に効果があったもの

- ・ 放射線量を低減するためには、除染関係ガイドラインの手法に従い丁寧に除染することが重要と感じられている場合が多くあった。
- ・ 効果のあった手法として、非舗装面では剥ぎ取り等による放射性物質の除去、

舗装面では吸引式の洗浄による効果が高いと感じられている場合があった。

- ・ 一方、周囲からの影響による場合には、宅地を除染しても放射線量は下がりにくい場合もあった。
- b. 住民感情に影響を与えたこと
 - ・ 除染による庭等の外観の変化が住民感情に影響を与える大きな要因となった場合が多くあった。一方で、除染によって放射線量が下がった場合であっても、必ずしも満足感が得られない場合もあった。
 - ・ 住民対応の面では、直接話を聞くこと、住民の目線で考えることが重要という事例があった。除染の結果を住民へ直接持参することで、お互いに顔を見て信頼関係を醸成するという市町村もあった。

5. 3. 情報の発信と収集

5. 3. 1. 情報の発信

- a. 姿勢・方針・工夫など
 - ・ 情報発信の姿勢・方針として、可能な限り全て公表するという考え方は共通していた。ただし、内容が細かすぎず、情報過多にならないように配慮する事例もあった。
 - ・ 単なる公表ではなく、住民とのコミュニケーションを意識して、わかりやすく伝えることや、住民が必要としている情報を伝えることを意識している場合もあった。
- b. 伝えたいメッセージ
 - ・ 除染によって放射線量が下がっていることを住民や市町村外の方々に伝えていくことを意識している場合があった。
 - ・ 除染作業について、マニュアルに基づく適切な作業の実施や、放射線量に応じた除染手法の違いを周知することで、安心感の醸成やトラブルを予防する場合もあった。
- c. 情報発信の事例
 - ・ 市町村から住民等に向けてなされた情報発信の事例を表2に示す。

表2 市町村から住民等に向けての情報発信事例

情報	具体例	媒体
空間線量率	主要な地点の測定値 モニタリングマップ	ホームページ メールマガジン 広報誌 リーフレット
	環境回復の状況	リーフレット（関係自治体や市町村外からの来訪者向け）
全体的な除染計画・進捗・結果	作業計画 除染の方法 進捗状況 全体的な除染の結果 中間貯蔵施設への輸送情報 Q&A	ホームページ 広報誌 リーフレット 回覧版 パネル展
個別の除染計画・進捗・結果	工事のお知らせ	チラシ
	個別の除染の結果	報告書
放射線に関する知識	職員の手作りによるコンテンツ	広報誌 リーフレット

5. 3. 2. 情報の収集

a. 不足感のあった情報

- ・ 国や県の判断の遅さや、問合せ先が国か県かわからない、国と県で情報が異なる等の不満が挙げられた。
- ・ 市町村を主導すべき県が、市町村に知恵を求める姿勢に疑問を呈する事例もあった。

b. 自治体への情報提供について望むこと

- ・ 早めの情報提供を望む場合が多くあった。特に国や県に対し、市町村が拠り所とできる方針や考え方を示して欲しいとの要望がみられた。
- ・ 一方で、市町村によって状況が異なることから、一律の情報提供よりも個別の相談や対応を求める場合もあった。
- ・ 行政では人事異動があることから、除染業務に関する情報を蓄積すべきとの声もみられた。

5. 4. 今後に向けて

a. 教訓となったこと、今後を活かしたいこと

- ・ 心構えとして、落ち着いて行動するための平常心や体力、精神力が大切とする

場合があった。

- ・ 住民対応の面では、先入観やマニュアルに依らず相手に応じて対応することや、日ごろからの交流が大切と感じられている場合があった。
 - ・ 除染業務を通じて、公平さが求められる自治体では個々のニーズに応えきれないとの限界を感じられている場合があった。
 - ・ このほか、災害時の業務を考えるために除染記録を残すことが必要との意見や、住民の不安解消に向けて継続的な放射線量の測定が必要との意見もあった。
- b. 災害等の有事へ対応するため平時から備えておくべきこと
- ・ 初動に向けた備えとして、速やかに初期対応を取るための計画だけではなく、実際に初動対応の人員を確保できる仕組みや予算配分等の経理的な事務を迅速に行う仕組みが必要であるとの意見があった。
 - ・ 平時から様々な事態を想定し、国・県・民間からなる専門チームの設置や他地域との連携を深める等の方策があげられた。
 - ・ また、個人としての対策として、日々家族の所在を把握することや安全な場所を確認すること等の備えを必要とする意見もあった。

6. まとめ

アンケート調査の結果から、市町村による住宅除染への対応は平成 24 年度以降徐々に本格化し、平成 25 年度に最も多くの市町村が実施していたことがわかった。平成 26 年度以降は、住宅除染を実施する市町村が徐々に減少していた。そのような中で、住宅除染の担当課において特に不足と感じた点は、絶対的な職員数の不足であり、次に住民とのコミュニケーションや、放射性物質に関する知識の不足、業務発注時の設計の知識等の不足にも苦労していたことがわかった。

これらを踏まえたヒアリング調査の結果からは、職員として特に技師の不足が挙げられ、適切な役割分担や外部からの支援により対応していた場合があることがわかった。また、放射性物質等に関する知識の不足に対しては、様々な媒体を通じて知識を習得していた様子があった一方で、国や県からの情報提供が大きな課題であった場合もあった。同様に住民とのコミュニケーションにも苦労していたが、平時からの対話が有事の際にも影響する場合があることがわかった。

今後は、これらの事例が適切に防災計画や災害対応へ活かされることが重要である。

謝辞

末筆ながら、お忙しい中調査にご協力いただいた市町村担当者の方々に御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 福島県生活環境部除染対策課：福島県における除染等の取組(平成 30 年 9 月公表),
<http://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/297023.pdf> (令和 2 年 3 月 5 日最終閲覧) .
- 2) 環境省・除染事業誌編集委員会：東京電力福島第一原子力発電所事故により放出された放射性物質汚染の除染事業誌(平成 30 年 3 月 23 日公表),
<http://www.env.go.jp/press/files/jp/108735.pdf> (令和 2 年 3 月 5 日最終閲覧) .
- 3) 福島県：福島復興ステーション「各市町村の除染実施状況」,
<https://www.pref.fukushima.lg.jp/site/portal/progress.html> (令和 2 年 3 月 5 日最終閲覧) .

除染の効果に差異が生じる要因に関する事例的な検討

1. はじめに

1. 1. 背景

福島県では、平成 23 年 3 月に発生した東京電力（株）福島第一原子力発電所の事故により放射性物質に汚染された地域の環境回復を目的として生活圏を中心とした除染作業が行われ、市町村が除染実施計画を策定する汚染状況重点調査地域では平成 30 年 3 月までに面的な除染が終了した。除染による空間線量率等の低減効果については、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構による除染モデル実証事業に関する報告書¹⁾や環境省による除染の効果に関する報告²⁾がとりまとめられている。しかし、除染による表面線量率等の低減率にはばらつきがあり、除染効果の評価や解釈が難しい側面がある。そのため、今回行われた除染により得られた知見を記録として整理することは重要である。

1. 2. 低減率のばらつきの要因

環境省が示している除染による低減率のばらつきの要因を参考として表 1 に示す。環境省報告²⁾では、表面汚染密度が小さい場合や除染範囲が狭い場合には、これらの要因による影響が相対的に大きくなるため、低減率のばらつきは顕著に現れるとされる。

表 1 低減率のばらつきの要因

区分	内容	低減率や測定値への影響
バックグラウンドの影響		バックグラウンドの影響により測定値は高くなる。
測定条件の影響	測定時の天候（積雪や降雨）の影響	積雪による遮へいで測定値は低くなる。 表面が濡れているとβ線が遮へいされ測定値は低くなる。
	測定する場所の状態の違い	周辺に汚染源があると測定値は高くなる。 汚染源との間に遮へい物があると測定値は低くなる。
	測定方法の違い	測定機器、対象物と検出器の距離、測定の位置、数値の読み取り方などで測定値は変わる。
対象物の材質等の影響	素材や含水率などの特性、凹凸などの形状、表面処理などの違い	対象物の素材等によって除染の効果が異なるため、低減率に差が生じる。
	汚染の存在する深さの違い	
	劣化状況や震災による破損状況などの違い	
除染作業の影響	作業監督者、作業員の習熟度	作業員等の熟練度が増すことにより低減率は向上する。
	切削深さ、洗浄圧、除去物の回収率等の違い	除染作業の均一性の違いにより低減率に差が生じる

1. 3. 検討の目的

環境省報告²⁾では、分析の対象を「比較的線量の高い地域において実施した、初期（主に平成23年度）の除染事業」としており、平成24年度以降本格化してきたと考えられる汚染状況重点調査地域の住宅除染のデータは少ないと考えられる。そのため本調査では、汚染状況重点調査地域における住宅除染を対象とした除染の効果に差異が生じる要因に関する知見を得ることを目的に、除染の効果のばらつきの要因と除染の効果との関係について事例的に検討し、結果を整理した。

2. 調査概要

2. 1. 検討する項目

環境省報告²⁾による除染効果のばらつきの要因に応じたいくつかの項目について、除染の効果との関係を検討した。検討した項目は表2に示すとおり。

表2 除染効果のばらつきの要因として検討した項目

区分	内容	検討した項目
バックグラウンドの影響		バックグラウンド
測定条件の影響	測定時の天候（積雪や降雨）の影響	—
	測定する場所の状態の違い	局所的な汚染
	測定方法の違い	除染前後の測定日の間隔
対象物の材質等の影響	素材や含水率などの特性、凹凸などの形状、表面処理などの違い	材質による違い
	汚染の存在する深さの違い	汚染の深さ
	劣化状況や震災による破損状況などの違い	—
除染作業の影響	作業監督者、作業員の習熟度	—
	切削深さ、洗浄圧、除去物の回収率等の違い	除染の手法 除染の実施時期

2. 2. 対象地域

本報告では、調査に協力を得られた県北地域の市町村内で、住宅除染が実施された2地域（地域A及び地域B）を事例として取り上げる。

2. 3. 収集した情報

対象地域の住宅除染における除染前後の表面線量率の測定値、除染対象の表面材質及び測定日の情報を収集した。また、一部の除染対象については、測定点の位置及び除染実施時の状況に関する情報を収集した。

2. 4. 検討の方法

検討する項目毎に除染前後の表面線量率及びその低減率の違いを比較することを基

本とし、検討する項目によって、それぞれの特徴を踏まえた方法とした。対象としたデータは、除染前後における表面線量率及び空間線量率の測定値が存在する地点とし、除染を行っていない可能性のある地点として除染前の空間線量率測定値が $0.23\mu\text{Sv/h}$ の地点を除外した。また、「材質に関する検討」のほかは、住宅地の主たる材質と考えられる「土」を対象とした検討を行った。

また、一部の項目については、図1に示すとおり除染前後の表面線量率の分布を4つの区分に分類した上で、それぞれの特徴を整理した。この分類を用いて検討する項目については、「表面線量率の4分類」を用いた結果として整理した。

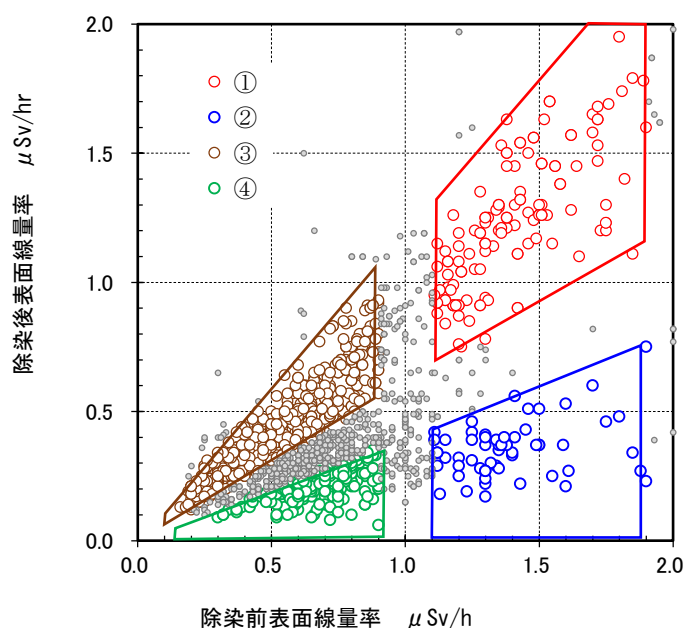


図1 表面線量率の低減効果の分類

なお、4分類の境界は除染前の表面線量率が全て $2\mu\text{Sv/h}$ 以下であること、表3に示すとおり表面線量率の低減率の中央値が約50~70%であることから、表4のとおりとした。

表3 対象地域の表面線量率の低減率

地域	測定年	表面線量率の低減率 (25%-50%-75%値)
地域A	2013	58.7 - 69.0 - 77.8
	2014	56.1 - 66.0 - 74.6
地域B	2013	38.5 - 53.3 - 64.7

表4 表面線量率の4分類の境界

分類①	除染前の表面線量率が高く、低減率が低い地点 ・除染前の表面線量率：1.1～1.9μSv/h ・表面線量率の低減率：40%以下
分類②	除染前の表面線量率が高く、低減率が高い地点 ・除染前の表面線量率：1.1～1.9μSv/h ・表面線量率の低減率：60%以上
分類③	除染前の表面線量率が低く、低減率が低い地点 ・除染前の表面線量率：0.1～0.9μSv/h ・表面線量率の低減率：40%以下
分類④	除染前の表面線量率が低く、低減率が高い地点 ・除染前の表面線量率：0.1～0.9μSv/h ・表面線量率の低減率 60%以上

3. 結果

3. 1. 材質に関する検討

それぞれの地域において、空間線量率等測定値のデータ数が最も多い年のデータを対象として、データ数が100を超える材質について、材質別の表面と空間の除染前後の測定値と低減率を整理した（表5及び表6）。

結果からは、いずれの地域及び材質においても除染による表面線量率の低減が確認された。また、地域Aでは、土や砂利・碎石といった非舗装面の方が、コンクリートやアスファルトといった舗装面よりも低減率が高い傾向にあった。これは、非舗装面を対象とした除染手法は放射性物質を含む表面を一定程度除去する手法であることが理由の一つと考えられる。

表5 地域Aにおける除染前後の表面線量率及び表面線量率の低減率
(平成26年、測定時遮へい体無し)

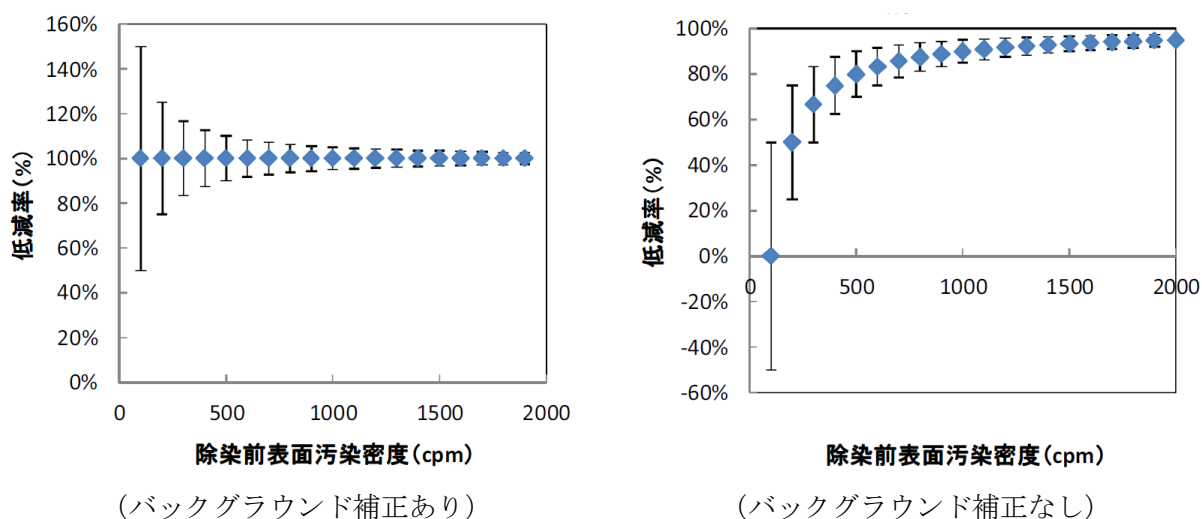
表面材質	データ数	除染前：μSv/h	除染後：μSv/h	低減率：%
		中央値（25%値-75%値）	中央値（25%値-75%値）	中央値（25%値-75%値）
土	1,496	0.51 (0.41 - 0.63)	0.18 (0.15 - 0.20)	66 (56 - 75)
砂利・碎石	671	0.45 (0.35 - 0.60)	0.14 (0.11 - 0.17)	70 (60 - 78)
コンクリート	195	0.32 (0.25 - 0.46)	0.15 (0.12 - 0.20)	51 (34 - 67)
アスファルト	100	0.31 (0.25 - 0.43)	0.19 (0.15 - 0.22)	42 (29 - 57)

表6 地域Bにおける除染前後の表面線量率と表面線量率の低減率
(平成25年、測定時遮へい体有り)

表面材質	データ数	除染前：μSv/h	除染後：μSv/h	低減率：%
		中央値 (25%値-75%値)	中央値 (25%値-75%値)	中央値 (25%値-75%値)
土	874	0.16 (0.13 - 0.20)	0.07 (0.06 - 0.09)	53 (38 - 65)
砂利・碎石	131	0.16 (0.12 - 0.20)	0.06 (0.05 - 0.07)	60 (48 - 71)

3. 2. バックグラウンドに関する検討

環境省報告²⁾によれば、図2に示すとおり表面汚染密度が相対的に低い場合はバックグラウンドの影響を強く受けるため、低減率は低くなる傾向があり、除染効果の評価が難しくなる。同報告では、除染対象物以外からの影響によるばらつきを小さくするため、除染前の表面汚染密度が2,000cpm以上のデータを分析対象としている。なお同報告では、バックグラウンドレベルを「事故前から環境中に存在する放射線量」と「測定対象部位の外側から入射する放射線量を合計した放射線量レベル」と定義している。



※除染前の表面汚染密度によらずバックグラウンドが100cpmであり、その変動幅が±50cpmであるとする場合の低減率の変動幅

図2 バックグラウンドによる影響のイメージ

表面線量率に関しても表面汚染密度と同様に、特に表面線量率の低い場合にバックグラウンドの影響を受け、低減率が小さくなることが予想される。

検討対象地域の除染前表面線量率と低減率の関係を図3に示した。なお、地域Aでは測定時に遮へい体を使用していない測定値、地域Bでは測定時に遮へい体を使用した測定値である。

この結果からは、いずれの地域においても比較的表面線量率の低い地点でバックグラウンドの影響と考えられる表面線量率の低減率の低下がみられた。地域Aでは地域Bに比べて、高い表面線量率で低減率の低下がみられるが、遮へい体を使用しない測定による影響と考えられる。

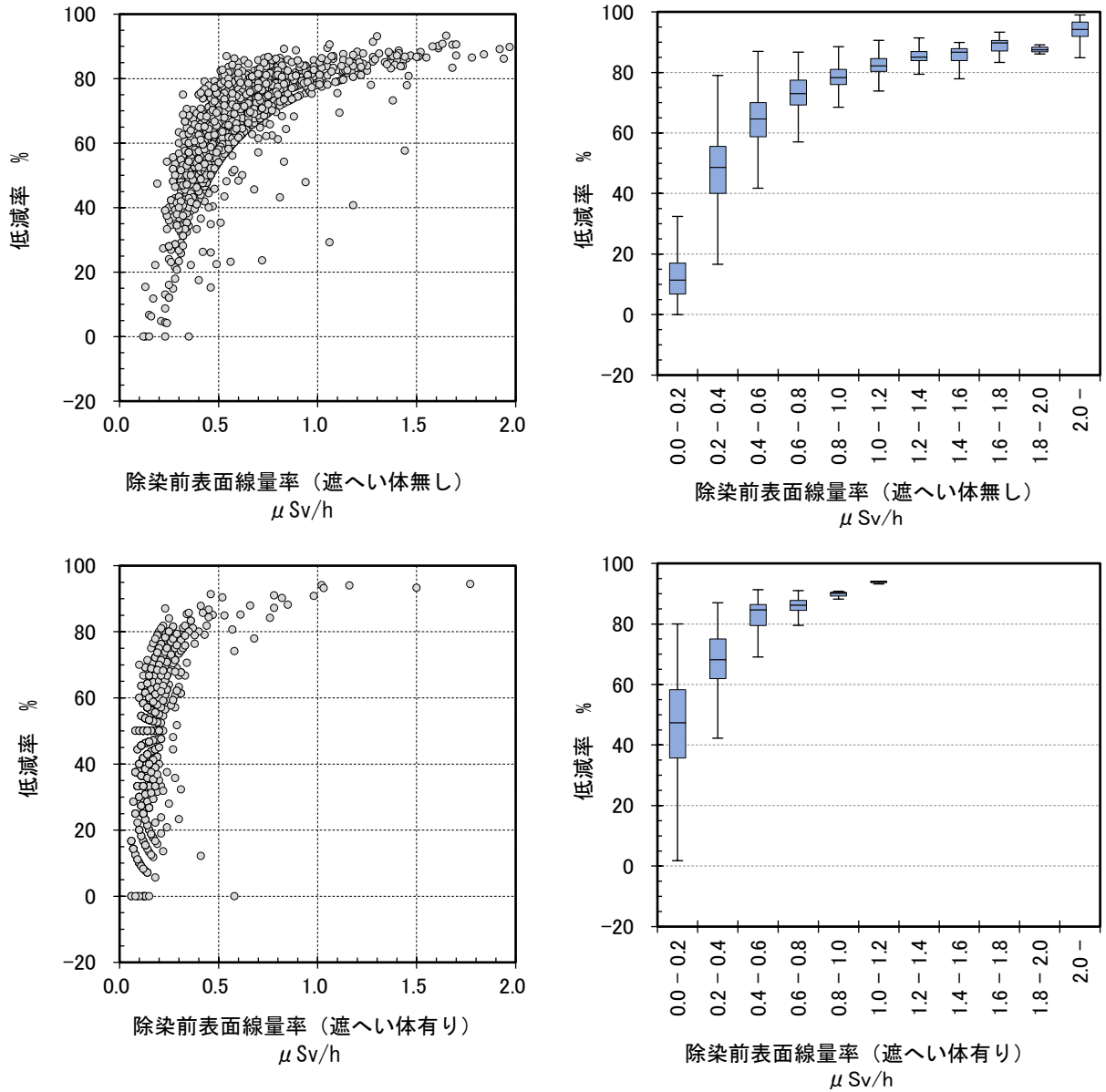


図3 除染前表面線量率と表面線量率の低減率との関係（上：地域A、下：地域B）

3. 3. 除染の実施時期及び除染前後の測定日の間隔に関する検討

同一の対象地域において複数年に渡って除染を行っており、各年のデータ数が100以上ある地域Aについて、各年の低減率を表7に示す。この結果から、除染実施時期による低減効果への影響は小さいと考えられる。

表7 除染実施年別の表面線量率の低減率（表面材質：土）

	データ数	除染前：μSv/h	除染後：μSv/h	低減率：%
		中央値（25%値-75%値）	中央値（25%値-75%値）	中央値（25%値-75%値）
2013	829	0.60 (0.46~0.80)	0.19 (0.16~0.22)	69 (59~78)
2014	1496	0.51 (0.41~0.63)	0.18 (0.15~0.2)	66 (56~75)

放射線量は時間の経過とともに低減するため、除染前後の測定日の間隔が長いと放射性物質の物理的な減衰を加えた評価となる可能性がある（図4）。

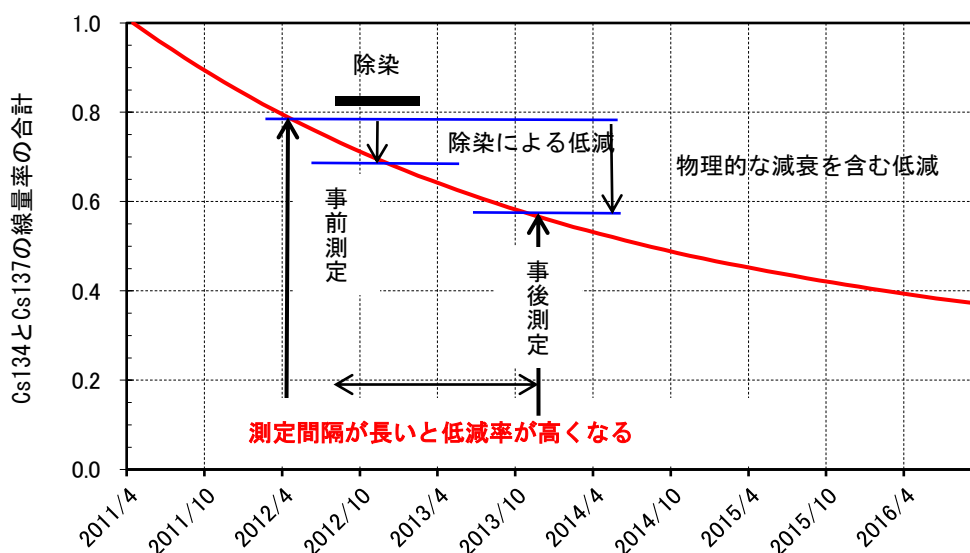


図4 測定時期による低減効果のばらつき模式図

図5に示すとおり、除染前後の測定間隔はいずれの地域においても長期間に及ぶことはなく、また、表面線量率の4分類による違いもみられないため、除染前後の測定日の間隔が除染の効果に差異を生じさせる要因となる可能性は低いと考えられた。一方で、頻度は低いものの、除染前後の測定間隔が1年以上に及ぶ地点もあり、これらの測定値は除染の効果に差異を生じさせる要因になっている可能性も考えられる。

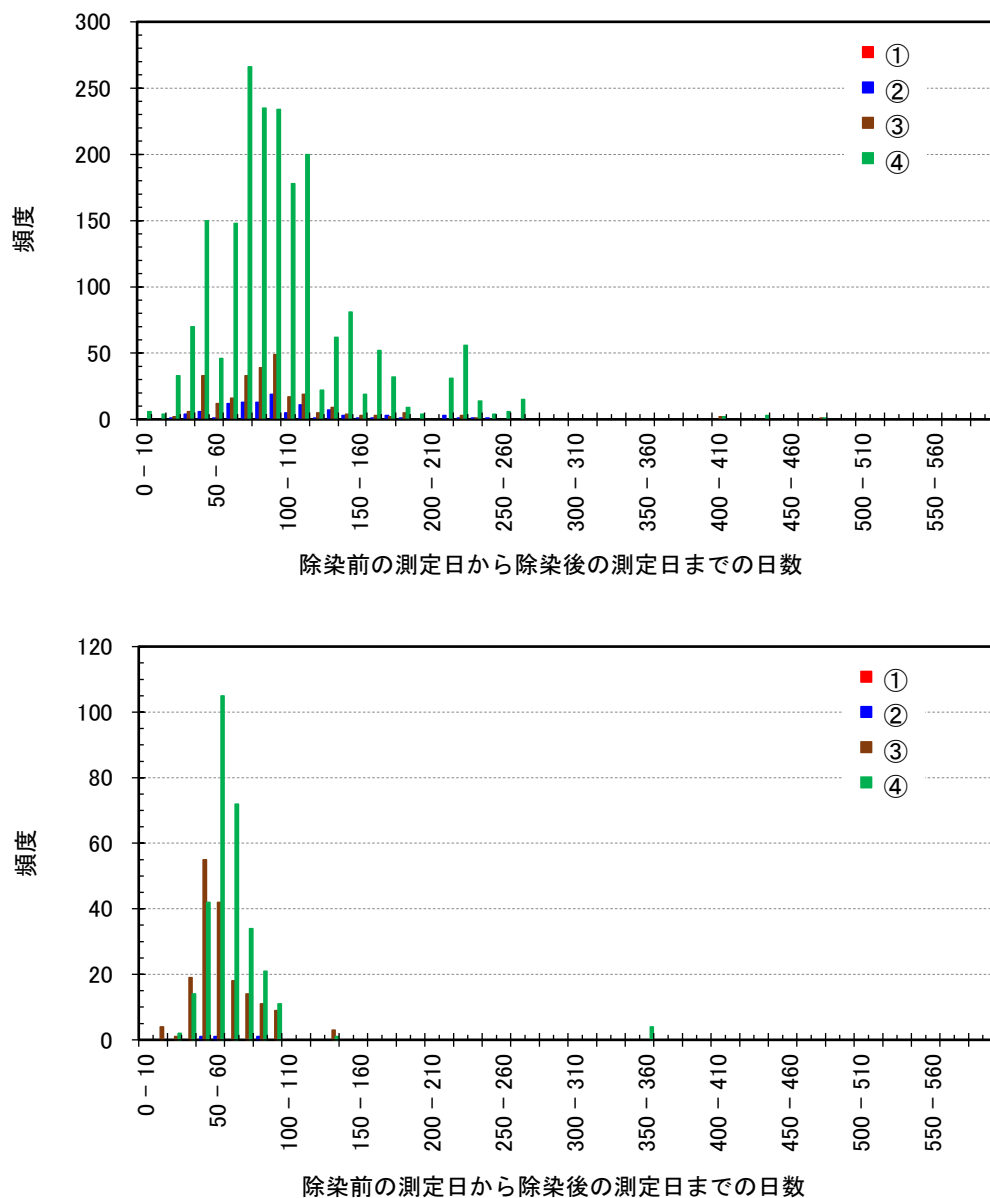


図5 表面線量率の分類毎の除染前後の測定期間（上：地域A、下：地域B）

3. 4. 局所的な汚染に関する検討

局所的に放射線量の高い地点を特定するための具体的な基準値は定められていないが、図6に示す測定値のイメージのとおり、広範囲に一樣な汚染があると仮定した場合には局所的な汚染が存在する地点は異なる高さの測定値の比が異なることを利用し、異なる高さの測定値の分布を確認することが局所的な汚染の推定方法の一つであるとされる⁴⁾。

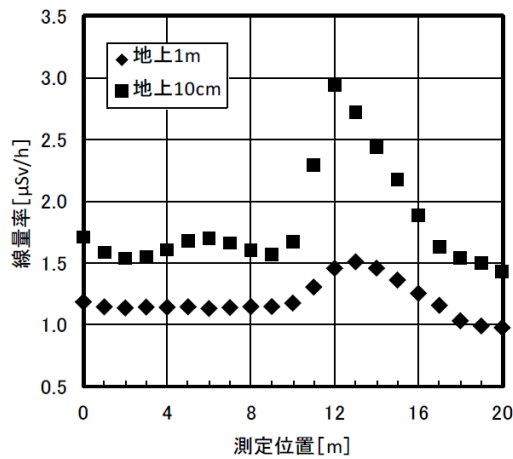


図6 NaI シンチレーション式サーベイメータによる歩行サーベイ（時定数3秒）
 （出典：除染効果確認のための放射線測定手引書³⁾）

表面線量率の4分類毎の空間線量率と表面線量率の比は図7のとおりであり、分類②や分類④の数値が比較的低かった。この結果から、表面線量率の低減率が高い分類に局所的な汚染となっていた地点が多く含まれる可能性があることが示唆された。

一般的に宅地内では、雨樋の排水口付近などが局所的な放射線量の高い地点となりやすいと考えられる。局所的に放射線量の高い地点の除染効果として高い低減率の得られている事例⁴⁾もみられており、表面線量率の4分類のうち、分類②や分類④の空間線量率と表面線量率の比が小さくなった理由として、局所的な汚染の地点を除染したことで除染の効果に差異が生じた可能性があると考えられる。

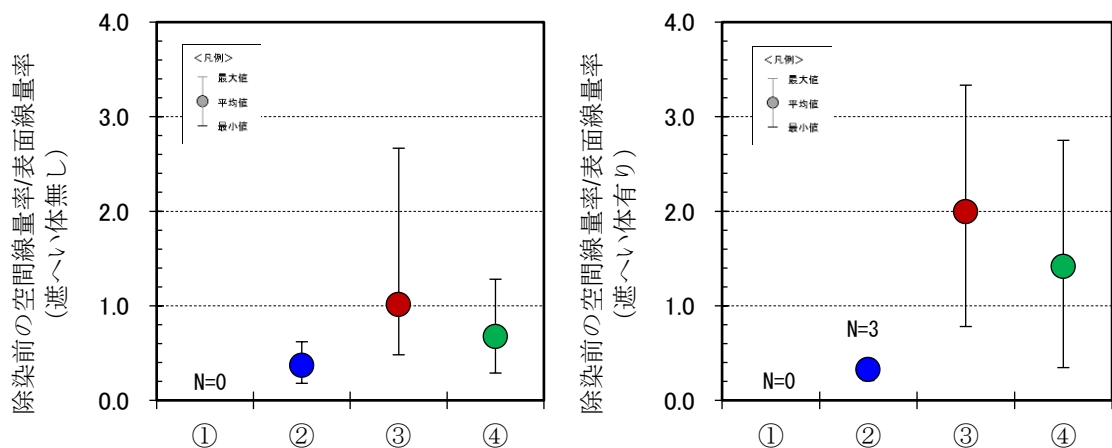


図7 表面線量率の分類毎の除染前の空間線量率と表面線量率の比
 （左：地域A、右：地域B）

3. 5. 汚染の深さに関する検討

放射性物質の汚染の深さが異なることにより、同じ手法で除染を実施していても、汚染が材質の表面に多く分布する場合と比べて下部方向へ浸透している場合では表面線量率等の低減率が低くなるなどばらつきが生じる可能性がある。このため、これまでに得られた除染前後の表面線量率等の測定値を基に、放射性物質の汚染の深さを検討した。

森ら (2017) ⁵⁾ は、舗装道路、未舗装道路、森林について表面線量率と表面汚染密度の関係から放射性セシウムの表面残存性を検討している。森林や未舗装道路では表面線量率が高くても表面汚染密度は低い値を示した点から、放射性セシウムは土壌等の表面にはほとんど分布せず、鉛直方向にある程度浸透していたと推定している。

表面線量率の4分類毎の表面汚染密度と表面線量率の比は、図8に示したとおりであり、明確な差がみられなかった。

これらの点から、放射性物質の汚染の深さが除染の効果に差異を生じる要因となる可能性は確認されなかった。

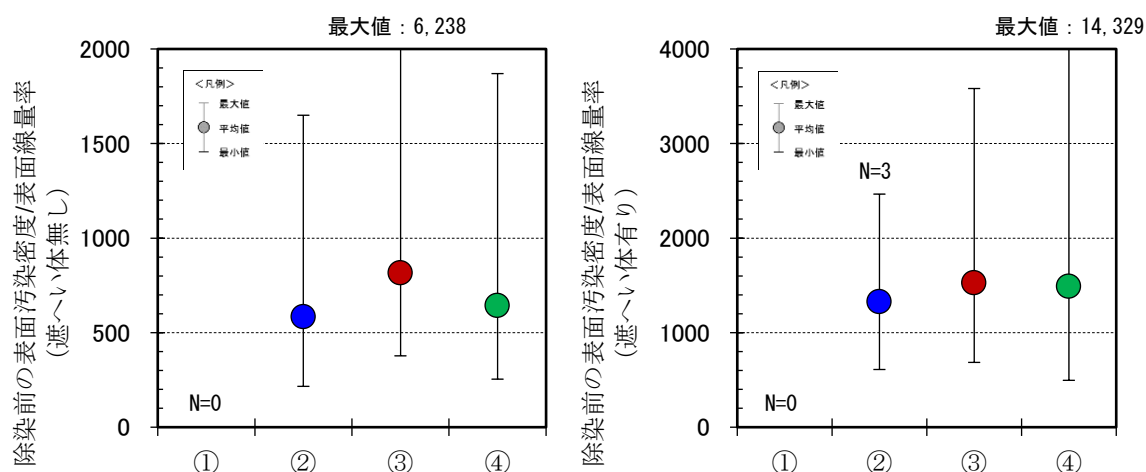


図8 表面線量率の分類毎の除染前の表面汚染密度と表面線量率の比
(左：地域A、右：地域B)

3. 6. 個別の除染実施時の状況を踏まえた検討

調査対象地域における一部の地点については、除染実施時の状況に関する情報を収集した。これらの情報から、土を対象とした除染では、除染の手法として「表土の剥ぎ取り」を実施した地点のほかに、住民の意向等により「除草のみ」等の異なる手法とした地点が混在していることがわかった。それらの地点は、除草前の表面線量率は同程度であるが、表土の剥ぎ取りに比べて表面線量率の低減率が低くなっていた (図9)。

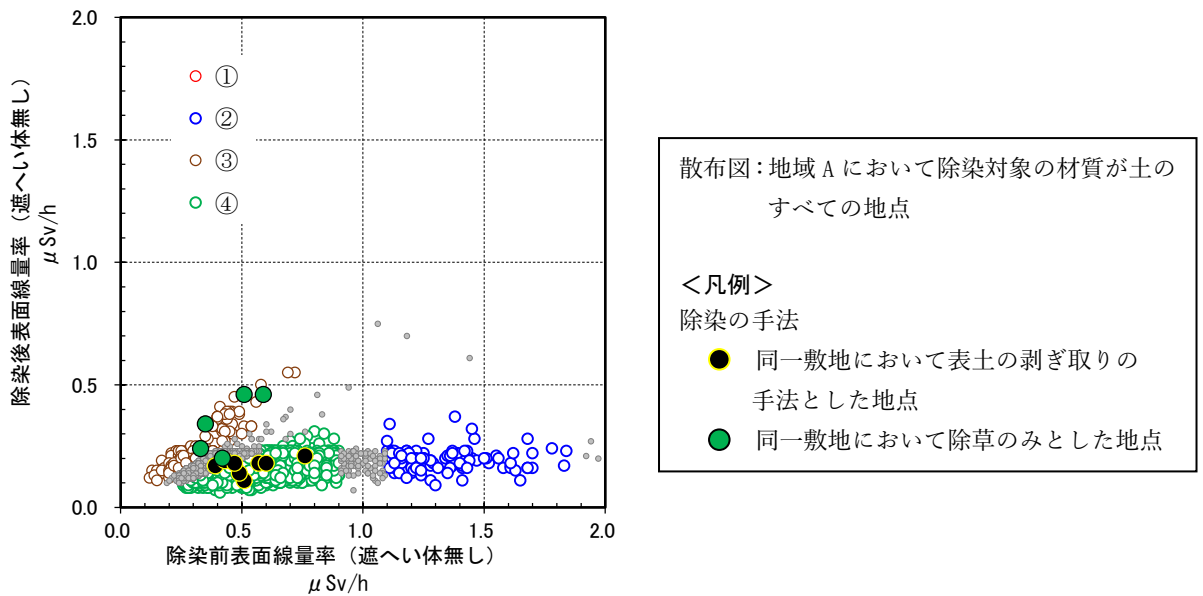


図 9 地域 A における個別の除染実施時の状況の事例

4. まとめ

本報告の対象地域では、除染対象の材質の違いやバックグラウンドによる影響、局所的な汚染による影響が除染の効果に差異を生じる要因となった可能性があることがわかった。また、地域によっては、汚除染の手法の違いが除染の効果に差異を生じる要因となる可能性があることがわかった。

除染前後の表面線量率と除染の効果に差異が生じる要因との関係として、一般的に考えられる作用を模式的に示したものが図 10 であり、このうち、今回の検討により要因として可能性のある項目を色分けして示した。今回の事例を踏まえつつ、除染の効果の評価する場合には様々なばらつきの要因があり、それぞれ影響の程度が異なることや、地域によってそれらの状況が異なることに留意する必要がある。

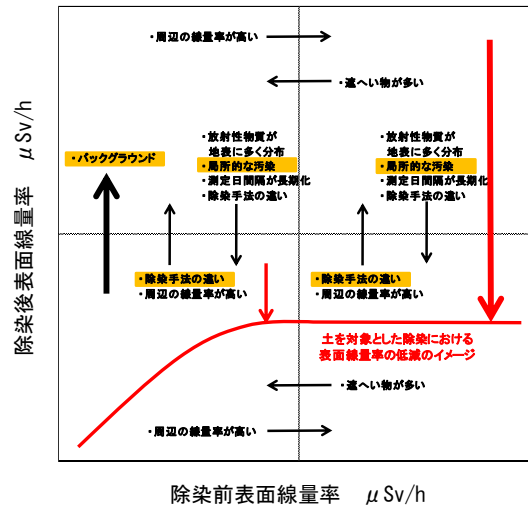


図 10 除染前後の表面線量率と除染の効果に差異が生じる要因との関係の模式図
(黄色部分：本検討の中で要因として可能性のある項目)

謝辞

末筆ながら、お忙しい中調査にご協力いただいた市町村の担当者の方々に御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 国立研究開発法人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【除染モデル実証事業編】報告書（平成 24 年 6 月）。
- 2) 環境省除染チーム：国及び地方自治体がこれまでに実施した除染事業における除染手法の効果について(平成 25 年 1 月)。
- 3) 除染・廃棄物技術協議会除染分科会線量評価ワーキンググループ：除染効果確認のための放射線測定手引書（平成 25 年 3 月）。
- 4) 環境省:除染に関する有識者との意見交換会 ファクトブック, http://josen.env.go.jp/material/pdf/session_140615/session_140615_03_140620.pdf（令和 2 年 3 月 5 日最終閲覧）。
- 5) 森芳友・米田稔・島田洋子・福谷哲・池上麻衣子：表面線量率及び表面汚染密度の測定による放射性セシウムの表面残存状況の評価，環境放射能除染学会誌 5(1). 3-15. (2017)

除染が完了した施設における除染効果の持続性把握

1. 背景・目的

1. 1. 環境回復の状況

平成 30 年 3 月に帰還困難区域を除いた地域の面的な除染が終了したことに加え、放射性物質の物理減衰等により、福島県内の空間線量率は着実に低減している。一方で、放射性物質による再汚染や放射線による健康影響等、依然として県民の放射線に対する不安の声が根強く残っている。

1. 2. 市町村担当課の状況

川俣町では、担当窓口への放射線に関する問合せは減ってきているものの、不安を感じている住民は多いと感じており、この不安の払しょくに向けて除染効果の維持の状況や今後の空間線量率の変化に関する情報が重要として、これらに関する情報提供について環境創造センターへ相談があった。

1. 3. 調査の目的

相談を受けて、除染後の効果持続性を確認するとともに、今後の空間線量率の変化を予測することを目的として、除染が完了した施設を対象とした空間線量率の測定と結果の解析を行った。

2. 調査内容

2. 1. 調査の対象施設

川俣町内の公共施設 5 施設を対象とした。各施設における除染実施時期、除染前の空間線量率測定値、除染後の空間線量率測定値、及び、詳細事後モニタリングにおける空間線量率測定値は、川俣町より提供いただいた。各施設の状況は表 1 のとおり。

表 1 対象施設の状況

対象施設	用途	周辺状況	除染実施時期
川俣町中央公民館	公民館	住宅が多い	2014. 5
福田小学校	学校	農地・山林が多い	2012. 9-10 2014. 3-4
川俣町体育館	体育館	山林が多い 一部に住宅が立地	2012. 12-2013. 6 2015. 8-9
山木屋中学校跡地	学校	農地・山林が多い	2012. 3-4
ちびっこ天国花塚の里	公園	山林	2013. 7-10 2015. 10-11

2. 2. 対象施設における空間線量率の測定

対象施設の敷地において、11～14の地点を設定し、地上1m高さの空間線量率を測定した。測定地点の設定にあたっては、人為的な地表面の改変が起こりにくい場所を選定するとともに、周辺の構造物等からの測定を行い、同一の地点で継続的な測定ができるようにした。空間線量率の測定は平成29年及び平成30年に調査を行った。測定機器は日立アロカ社製NaIシンチレーション式サーベイメータとした。

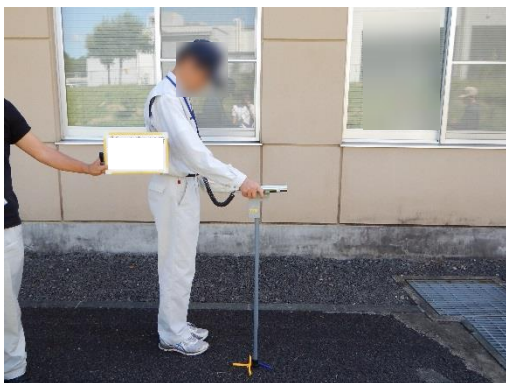


写真1 現地における測定の様子

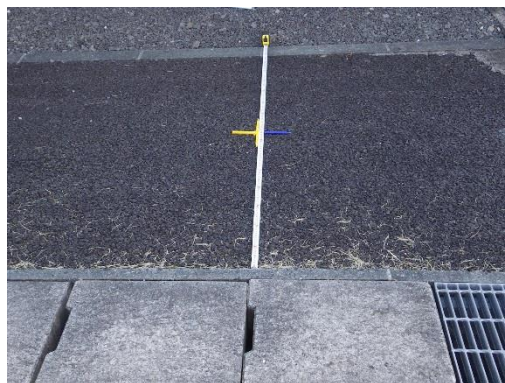


写真2 現地における測定点の測定の様子

2. 3. 今後の空間線量率変化の予測

平成29年に実施した調査（以下「平成29年調査」という。）における測定値に基づき、今後の空間線量率の変化として、測定日から1年後、10年後及び20年後の空間線量率の予測を行った。空間線量率の予測は、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構が作成した分布状況変化モデル¹⁾を使用した。

また、予測結果の整合性を確認するため、平成29年測定値に基づく1年後の予測値と平成30年に実施した調査（以下「平成30年調査」という。）における測定値との比較を行った。

3. 結果

3. 1. 川俣町中央公民館

3. 1. 1. 地上 1m 高さの空間線量率

対象施設の敷地で 14 地点の測定を行った。除染作業時等の測定値を含めた地上 1m 高さにおける空間線量率は表 2 のとおり。

表 2 地上 1m 高さの空間線量率測定値

調査名 (測定日)	除染前 (H25. 1. 7)	除染後 (H26. 7. 2)	詳細事後 モニタリング (H28. 9. 15)	<本調査> 平成 29 年調査 (H29. 9. 13)	<本調査> 平成 30 年調査 (H30. 9. 12)
測定値 (μSv/h) 平均値 (最小値-最大値)	0.40 (0.19-0.75)	0.18 (0.11-0.35)	0.12 (0.07-0.20)	0.12 (0.09-0.18)	0.11 (0.08-0.16)
測定点数	96	96	96	14	14

3. 1. 2. 今後の空間線量率の予測

平成 29 年調査の測定値に基づく将来の予測結果は、表 3 のとおりとなり、10 年後に 33%の低減、20 年後に 42%の低減が見込まれた。また、除染作業時の測定値を含めた地上 1m 高さ空間線量率の推移を図 1 に示す。

表 3 平成 29 年調査の測定値に基づく地上 1m 高さ空間線量率の将来予測

	平成 29 年調査 測定値 (H29. 9. 13)	1 年後 予測値	10 年後 予測値	20 年後 予測値
測定値又は予測値 平均値(最小値-最大値) 単位 : μSv/h	0.12 (0.09-0.18)	0.11 (0.09-0.17)	0.08 (0.07-0.12)	0.07 (0.06-0.10)

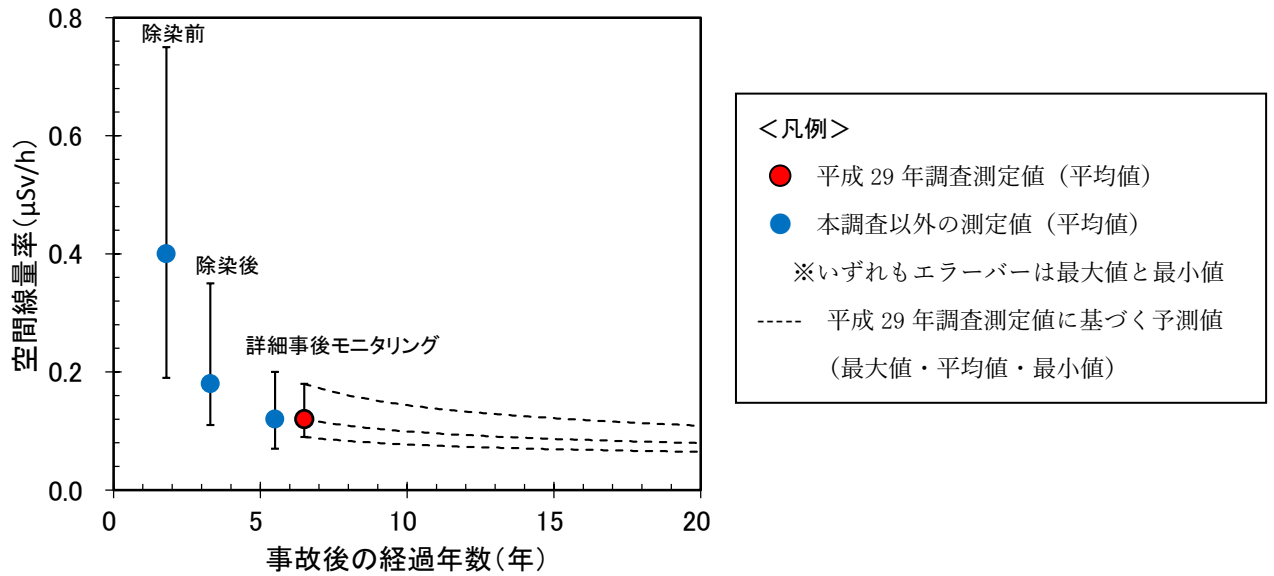


図1 地上1m高さ空間線量率の推移

3. 1. 3. 予測結果の整合性検証

地上1m高さ空間線量率の平均値について、平成29年調査の測定値に基づく1年後の予測値と平成30年調査の測定値を比較した結果、予測値の0.11μSv/hに対し、平成30年調査の測定値が0.11μSv/hであり、良く整合していた。なお、平成29年調査と平成30年調査の地上1m高さ空間線量率の推移と平成29年調査の測定値に基づく将来予測を図2に示す。

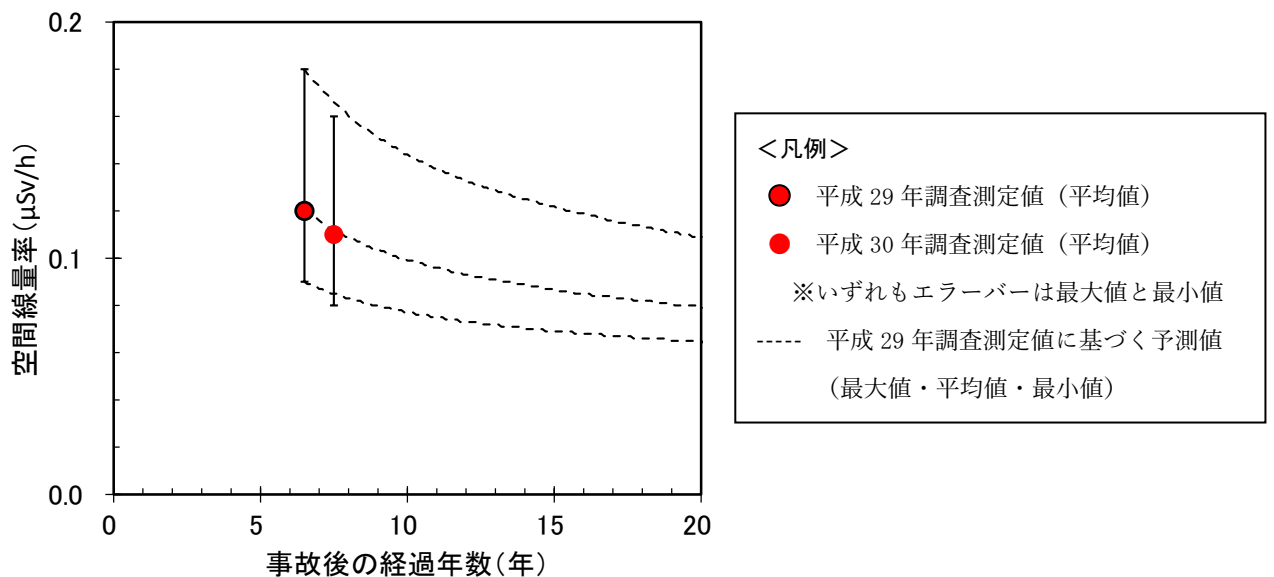


図2 本調査における地上1m高さ空間線量率の推移と平成29年調査の測定値に基づく将来予測

3. 2. 福田小学校

3. 2. 1. 地上 1m 高さの空間線量率

対象施設の敷地で 12 地点の測定を行った。除染作業時等の測定値を含めた地上 1m 高さにおける空間線量率は表 4 のとおり。

表 4 地上 1m 高さの空間線量率測定値

調査名 (測定日)	除染前 (H24. 9. 4)	除染後 (H24. 10. 29)	詳細事後 モニタリング (H28. 11. 17)	<本調査> 平成 29 年調査 (H29. 8. 21)	<本調査> 平成 30 年調査 (H30. 8. 21)
測定値 (μSv/h) 平均値 (最小値－最大値)	0. 30 (0. 17－0. 70)	0. 20 (0. 14－0. 29)	0. 10 (0. 08－0. 15)	0. 11 (0. 08－0. 13)	0. 10 (0. 08－0. 12)
測定点数	32	32	32	12	12

3. 2. 2. 今後の空間線量率の予測

平成 29 年調査の測定値に基づく将来の予測結果は、表 5 のとおりとなり、10 年後に 27%の低減、20 年後に 36%の低減が見込まれた。また、除染作業時の測定値を含めた地上 1m 高さ空間線量率の推移を図 3 に示す。

表 5 平成 29 年調査の測定値に基づく地上 1m 高さ空間線量率の将来予測

	平成 29 年調査 測定値 (H29. 8. 21)	1 年後 予測値	10 年後 予測値	20 年後 予測値
測定値又は予測値 平均値(最小値－最大値) 単位：μSv/h	0. 11 (0. 08－0. 13)	0. 10 (0. 08－0. 12)	0. 08 (0. 06－0. 09)	0. 07 (0. 06－0. 08)

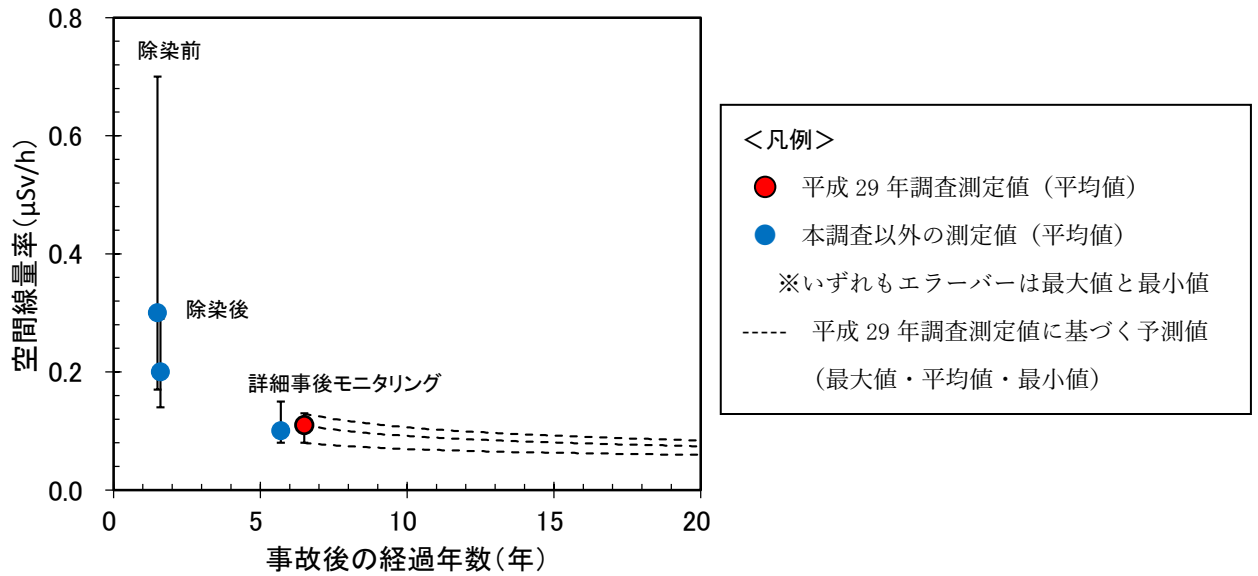


図3 地上1m高さ空間線量率の推移

3. 2. 3. 予測結果の整合性検証

地上1m高さ空間線量率の平均値について、平成29年調査の測定値に基づく1年後の予測値と平成30年調査の測定値を比較した結果、予測値の0.10μSv/hに対し、平成30年調査の測定値が0.10μSv/hであり、良く整合していた。なお、平成29年調査と平成30年調査の地上1m高さ空間線量率の推移と平成29年調査の測定値に基づく将来予測を図4に示す。

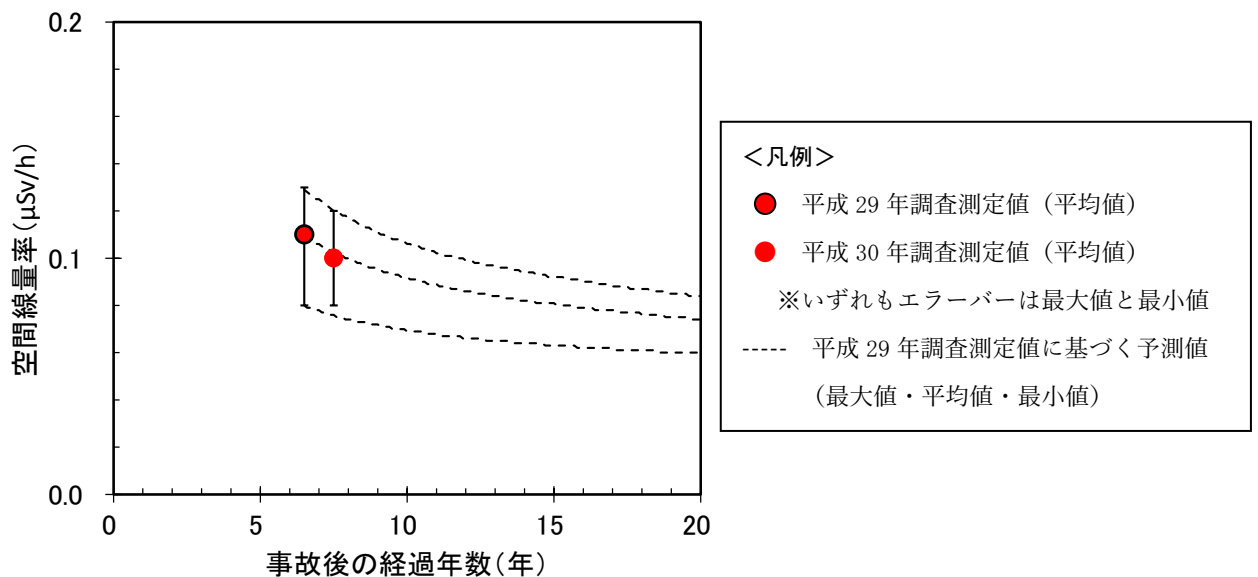


図4 本調査における地上1m高さ空間線量率の推移と平成29年調査の測定値に基づく将来予測

3. 3. 川俣町体育館

3. 3. 1. 地上 1m 高さの空間線量率

対象施設の敷地で 14 地点の測定を行った。除染作業時等の測定値を含めた地上 1m 高さにおける空間線量率は表 6 のとおり。

表 6 地上 1m 高さの空間線量率測定値

調査名 (測定日)	除染前 (H24. 11. 2)	除染後 (H25. 3. 25)	詳細事後 モニタリング (H28. 9. 27)	<本調査> 平成 29 年調査 (H29. 9. 5)	<本調査> 平成 30 年調査 (H30. 9. 12)
測定値 (μSv/h) 平均値 (最小値-最大値)	0.70 (0.09-2.85)	0.43 (0.08-0.99)	0.22 (0.08-0.47)	0.17 (0.12-0.31)	0.16 (0.12-0.27)
測定点数	149	149	149	14	14

3. 3. 2. 今後の空間線量率の予測

平成 29 年調査の測定値に基づく将来の予測結果は、表 7 のとおりとなり、10 年後に 35%の低減、20 年後に 47%の低減が見込まれた。また、除染作業時の測定値を含めた地上 1m 高さ空間線量率の推移を図 5 に示す。

表 7 平成 29 年調査の測定値に基づく地上 1m 高さ空間線量率の将来予測

	平成 29 年調査 測定値 (2017. 9. 5)	1 年後 予測値	10 年後 予測値	20 年後 予測値
測定値又は予測値 平均値(最小値-最大値) 単位：μSv/h	0.17 (0.12-0.31)	0.16 (0.11-0.28)	0.11 (0.08-0.19)	0.09 (0.07-0.15)

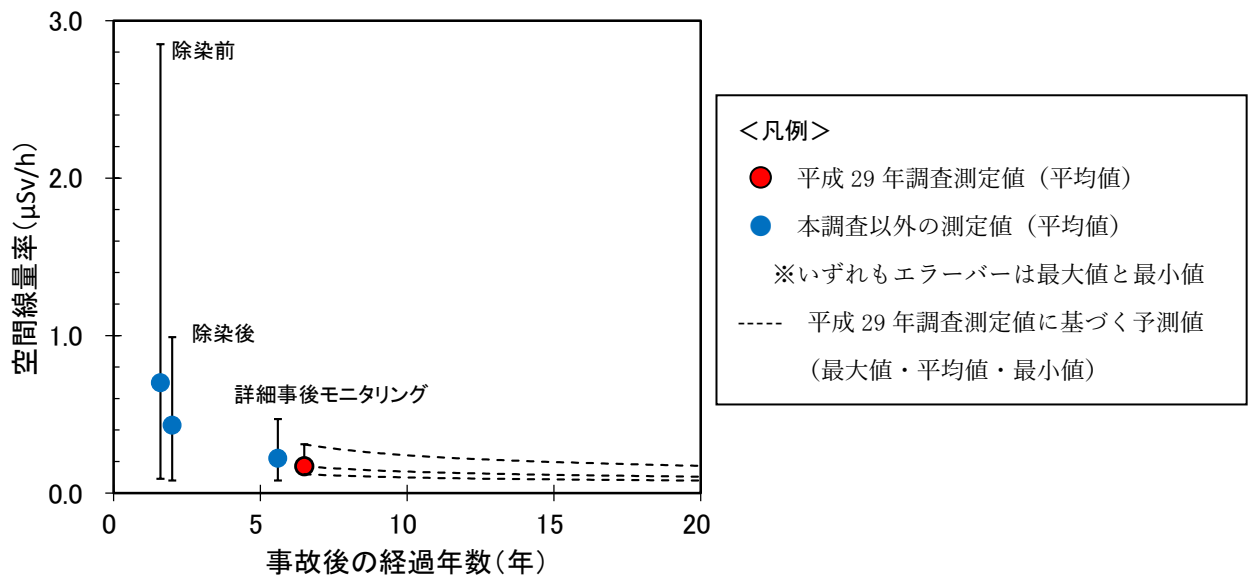


図5 地上1m高さ空間線量率の推移

3. 3. 3. 予測結果の整合性検証

地上1m高さ空間線量率の平均値について、平成29年調査の測定値に基づく1年後の予測値と平成30年調査の測定値を比較した結果、予測値の0.16μSv/hに対し、平成30年調査の測定値が0.16μSv/hであり、良く整合していた。なお、平成29年調査と平成30年調査の地上1m高さ空間線量率の推移と平成29年調査の測定値に基づく将来予測を図6に示す。

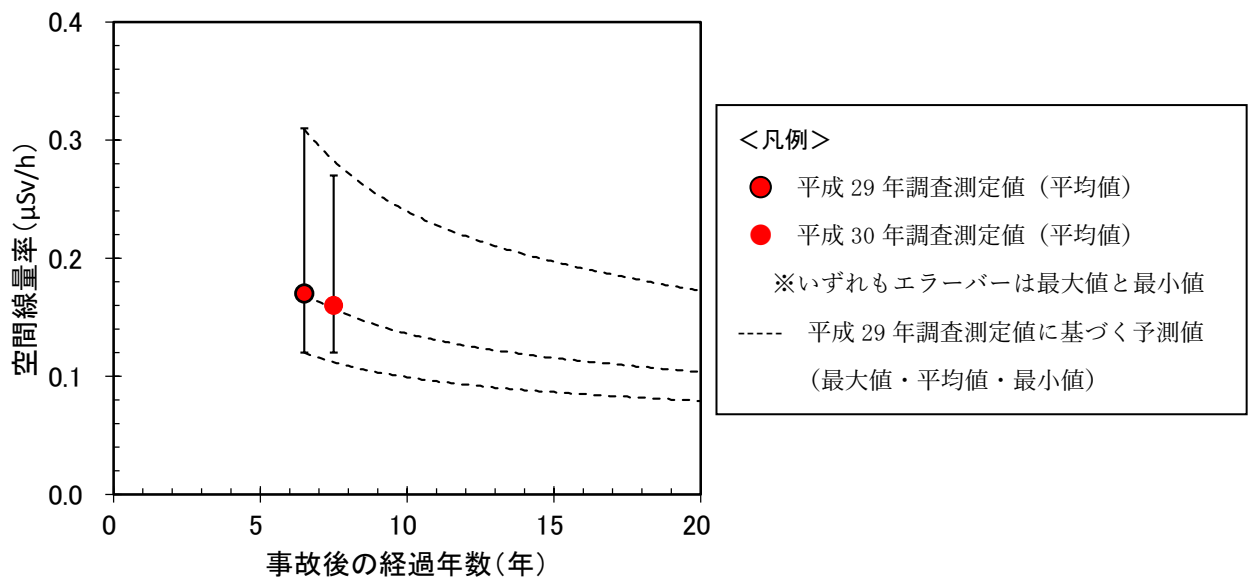


図6 本調査における地上1m高さ空間線量率の推移と平成29年調査の測定値に基づく将来予測

3. 4. 山木屋中学校跡地

3. 4. 1. 地上 1m 高さの空間線量率

対象施設の敷地で 11 地点の測定を行った。除染作業時等の測定値を含めた地上 1m 高さにおける空間線量率は表 8 のとおり。

表 8 地上 1m 高さの空間線量率測定値

調査名 (測定日)	除染前 (H24. 3. 24)	除染後 (H24. 4. 25)	詳細事後 モニタリング (H28. 12. 20)	<本調査> 平成 29 年調査 (H29. 9. 14)	<本調査> 平成 30 年調査 (H30. 9. 12)
測定値 (μSv/h) 平均値 (最小値-最大値)	1. 47 (0. 25-2. 85)	1. 29 (0. 36-2. 27)	0. 36 (0. 09-0. 75)	0. 22 (0. 12-0. 35)	0. 20 (0. 12-0. 32)
測定点数	188	184	190	11	10

※対象施設の使用用途変更等に伴い、調査範囲を変更している

3. 4. 2. 今後の空間線量率の予測

平成 29 年調査の測定値に基づく将来の予測結果は、表 9 のとおりとなり、10 年後に 36%の低減、20 年後に 50%の低減が見込まれた。また、除染作業時の測定値を含めた地上 1m 高さ空間線量率の推移を図 7 に示す。

表 9 平成 29 年調査の測定値に基づく地上 1m 高さ空間線量率の将来予測

	平成 29 年調査 測定値 (H29. 9. 14)	1 年後 予測値	10 年後 予測値	20 年後 予測値
測定値又は予測値 平均値(最小値-最大値) 単位 : μSv/h	0. 22 (0. 12-0. 35)	0. 20 (0. 11-0. 32)	0. 14 (0. 08-0. 21)	0. 11 (0. 07-0. 11)

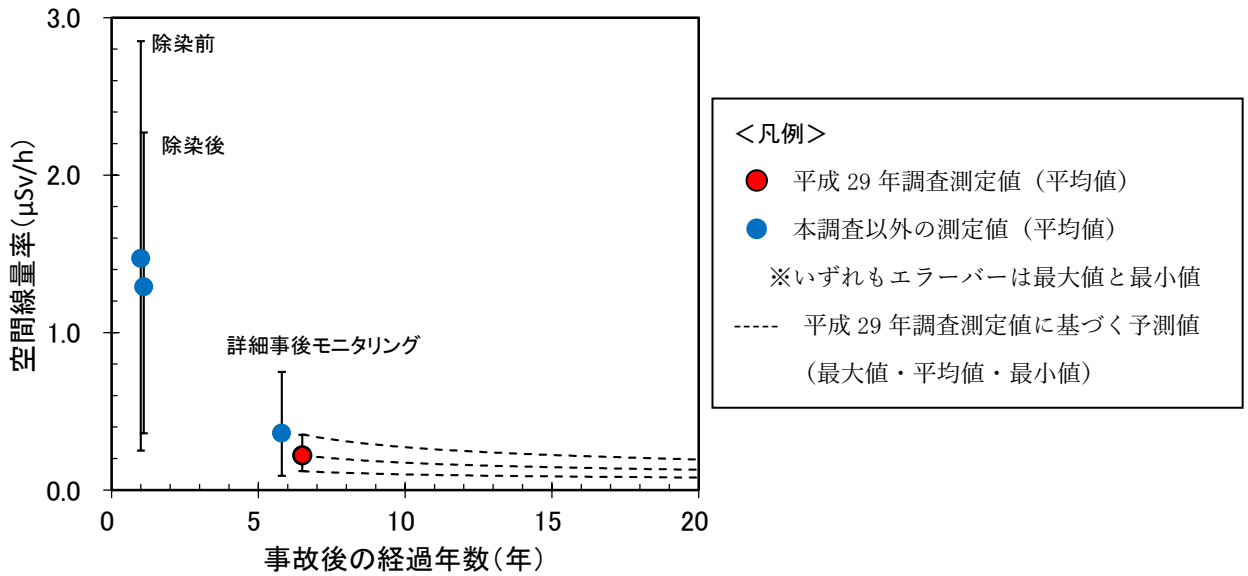


図7 地上1m高さ空間線量率の推移

3. 4. 3. 予測結果の整合性検証

地上1m高さ空間線量率の平均値について、平成29年調査の測定値に基づく1年後の予測値と平成30年調査の測定値を比較した結果、予測値の0.20μSv/hに対し、平成30年調査の測定値が0.20μSv/hであり、良く整合していた。なお、平成29年調査と平成30年調査の地上1m高さ空間線量率の推移と平成29年調査の測定値に基づく将来予測を図8に示す。

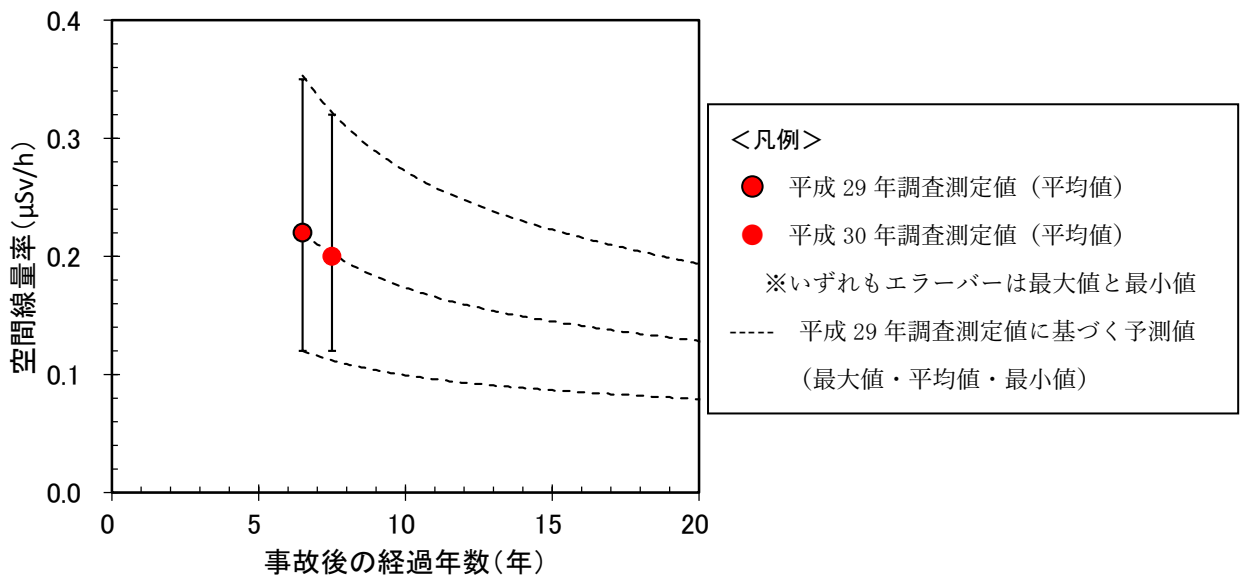


図8 本調査における地上1m高さ空間線量率の推移と平成29年調査の測定値に基づく将来予測

3. 5. ちびっこ天国花塚の里

3. 5. 1. 地上 1m 高さの空間線量率

対象施設の敷地で 13 地点の測定を行った。除染作業時等の測定値を含めた地上 1m 高さにおける空間線量率は表 10 のとおり。

表 10 地上 1m 高さの空間線量率測定値

調査名 (測定日)	除染前 (H25. 7. 11)	除染後 (H25. 10. 4)	<本調査> 平成 29 年調査 (H29. 9. 26)	<本調査> 平成 30 年調査 (H30. 10. 4)
測定値 (μSv/h) 平均値 (最小値-最大値)	0.68 (0.06-1.13)	0.47 (0.25-0.76)	0.20 (0.16-0.31)	0.18 (0.14-0.28)
測定点数	146	146	13	13

3. 5. 2. 今後の空間線量率の予測

平成 29 年調査の測定値に基づく将来の予測結果は、表 11 のとおりとなり、10 年後に 35%の低減、20 年後に 50%の低減が見込まれた。また、除染作業時の測定値を含めた地上 1m 高さ空間線量率の推移を図 9 に示す。

表 11 平成 29 年調査の測定値に基づく地上 1m 高さ空間線量率の将来予測

	平成 29 年調査 測定値 (H29. 9. 26)	1 年後 予測値	10 年後 予測値	20 年後 予測値
測定値又は予測値 平均値(最小値-最大値) 単位：μSv/h	0.20 (0.16-0.31)	0.19 (0.15-0.28)	0.13 (0.11-0.19)	0.10 (0.09-0.15)

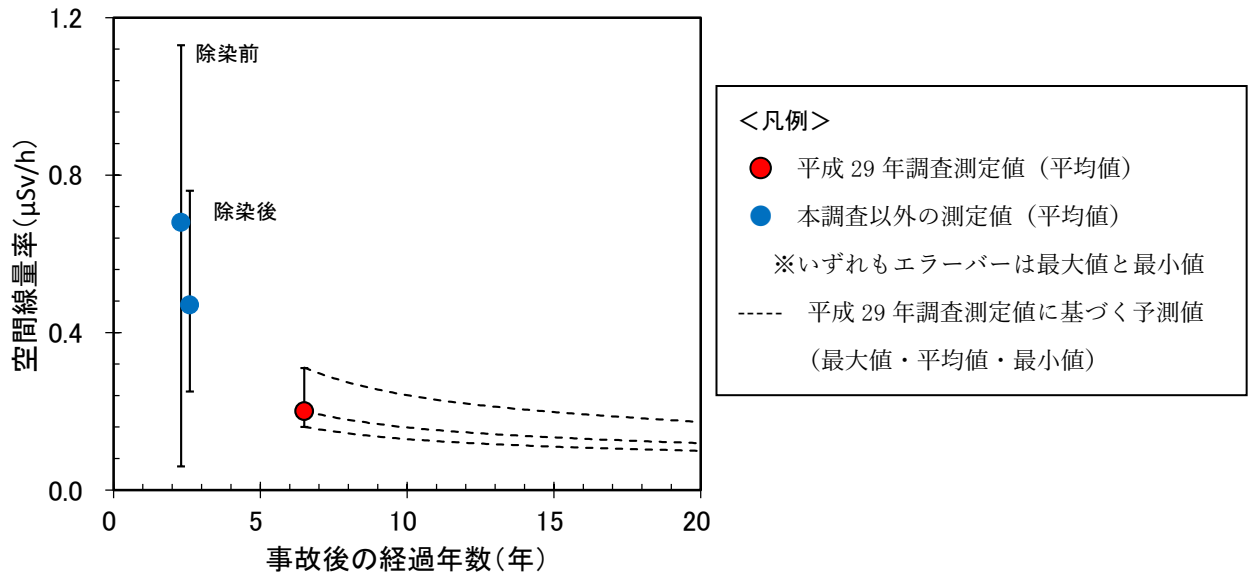


図9 地上1m高さ空間線量率の推移

3. 5. 3. 予測結果の整合性検証

地上1m高さ空間線量率の平均値について、平成29年調査の測定値に基づく1年後の予測値と平成30年調査の測定値を比較した結果、予測値の0.19 μ Sv/hに対し、平成30年調査の測定値が0.18 μ Sv/hであり、良く整合していた。なお、平成29年調査と平成30年調査の地上1m高さ空間線量率の推移と平成29年調査の測定値に基づく将来予測を図10に示す。

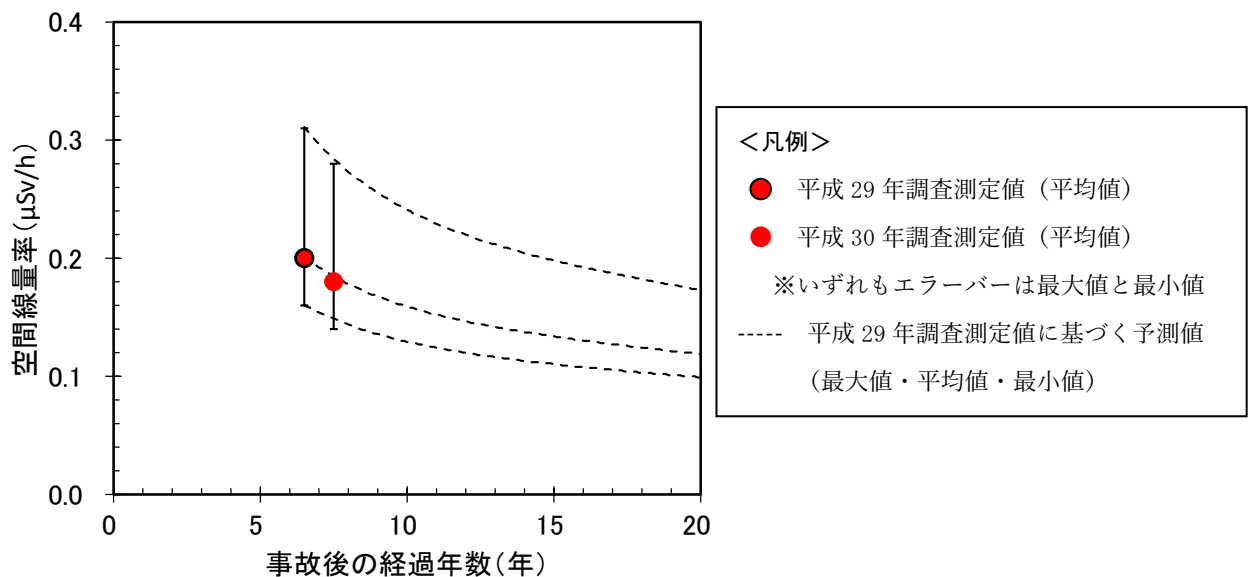


図10 本調査における地上1m高さ空間線量率の推移と平成29年調査の測定値に基づく将来予測

4. まとめ

今回の調査対象施設における 1m 高さ空間線量率の測定値及び平成 29 年調査の測定値に基づく予測値は表 12 のとおりであり、除染後においても空間線量率が低減しており、除染による低減効果が維持されていることがわかった。また同様に、今後の空間線量率は、10 年後には約 27～36%、20 年後には約 36～50%低減すると予測された。さらに、分布状況変化モデル¹⁾による予測値と平成 30 年調査による測定値がよく整合していることから、空間線量率の変化の予測は精度が高いものであると考えられる。

表 12 地上 1m 高さ空間線量率の測定値、予測値及び平成 29 年調査からの低減率

	測定値 : $\mu\text{Sv/h}$		平成 29 年調査の測定値に基づく 予測値 : $\mu\text{Sv/h}$		
	平成 29 年 調査	平成 30 年 調査	1 年後	10 年後	20 年後
川俣町中央公民館	0.12	0.11 (8%)	0.11 (8%)	0.08 (33%)	0.07 (42%)
福田小学校	0.11	0.10 (9%)	0.10 (9%)	0.08 (27%)	0.07 (36%)
川俣町体育館	0.17	0.16 (6%)	0.16 (6%)	0.11 (35%)	0.09 (47%)
山木屋中学校跡地	0.22	0.20 (9%)	0.20 (9%)	0.14 (36%)	0.11 (50%)
ちびっこ天国 花塚の里	0.20	0.18 (10%)	0.19 (5%)	0.13 (35%)	0.10 (50%)

5. 結果の活用

これらの調査結果について川俣町へ報告し、町民へ調査結果をお知らせすることを目的として町が作成した広報資料（図 11）へ掲載された。

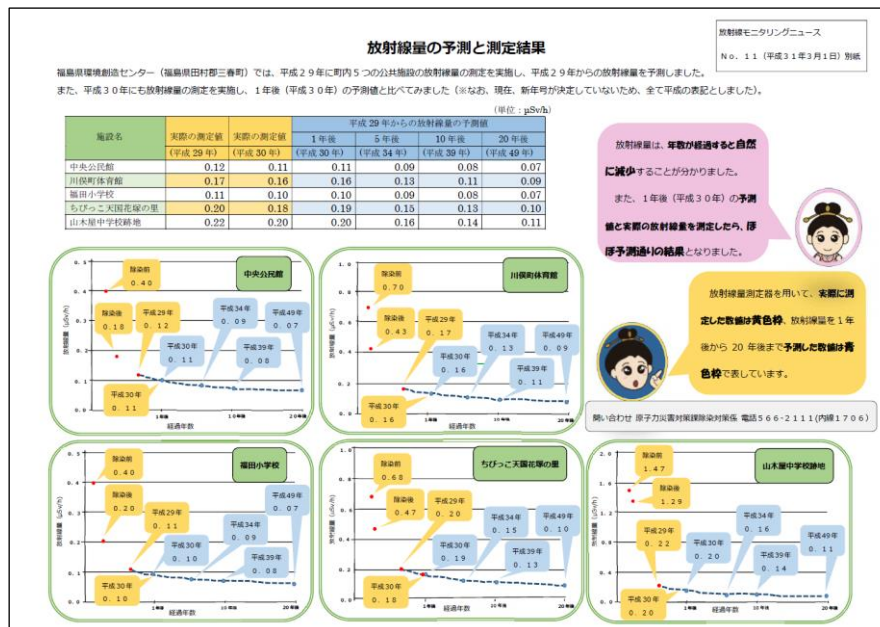


図 11 広報資料

(出典：放射線量の予測と測定結果²⁾ 川俣町)

謝辞

末筆ながら、調査にご協力いただいた川俣町役場の担当者、各施設の管理者及び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の皆様にご礼申し上げます。

参考文献

- 1) 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構：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影響把握手法の確立」成果報告書。
- 2) 川俣町：放射線量の予測と測定結果（放射線モニタリングニュース No. 11 別紙），<https://www.town.kawamata.lg.jp/uploaded/attachment/11334.pdf>（令和2年3月5日最終閲覧）

テーマ「除去土壌や除染廃棄物の処理等の技術的課題に対する研究」

除去土壌等保管容器の袋体性能試験

1. 背景・目的

1. 1. 研究背景

現在、東京電力（株）福島第一原発事故に伴った除染により発生する除去土壌等（除去土壌や、草木や汚泥などの除染廃棄物）は「除去土壌等仮置場」において環境省除染関係ガイドライン¹⁾及び福島県仮置場等技術指針²⁾等に基づき保管されている。今後、これら除去土壌等については中間貯蔵施設へ輸送され、中間貯蔵開始後、30年以内に県外最終処分されることとなっており、輸送までの間の安全な仮置場管理が求められている。現在、輸送は本格化しているものの、当初は中間貯蔵施設の用地取得が思うように進まなかったこと等から、除去土壌等の発生量が全体で約1,400万m³と推計されているのに対して、2019年3月末時点で中間貯蔵施設への輸送が完了したのは約260万m³にとどまっている³⁾。結果、当初3年間とされていた仮置場での保管期間は長期化しており^{3,4)}、それに伴う技術的課題の一つとして、除去土壌等が封入された保管容器（フレキシブルコンテナ、耐候性大型土のう等）をはじめとする仮置場資材の耐久性に対する懸念がある^{3,5,6)}。これら資材は、多くの場合3年以上の保管を想定していない。一部の仮置場では、運搬時の保管容器の破損や上部シートの破損といった事例が報告されている（図1）。前述の通り除去土壌等の総量は極めて膨大であり、全ての保管容器を検査する・新品と交換する、といった対策を要求することは非現実的である。

以上の研究背景から、本章では今後の円滑な除去土壌等管理に資する知見を収集する為、仮置場資材、特に保管容器の長期的耐久性の調査を実施した。

1. 2. 保管容器について

除染活動によって発生する除去土壌等を封入する保管容器の種類を図2に示す。国が除染を実施する地域（除染特別地域）では、保管容器は主に耐候性大型土のう⁷⁾が使用される。一方で市町村が除染を実施する地域（汚染状況重点調査地域）では、フレキシ



→仮置場管理や保管容器運搬の支障に

図1 仮置場保管の長期化による課題

ブルコンテナ ランニング J 型 1 種⁸⁾をはじめ様々な容器が使用されており、その施工方法は自治体や仮置場によって異なる。これら保管容器の性能は「耐候性大型土のう積層工法」設計・施工マニュアル⁷⁾（以下「土のうマニュアル」という。）や JIS Z 1651 「非危険物用フレキシブルコンテナ」⁸⁾（以下「JIS Z 1651」という。）等によって規定されているが、これらの規格は試験項目・試験条件がそれぞれ異なっているため、その耐久性能を一律に比較することは出来ない。実際の仮置場ではフレキシブルコンテナも耐候性大型土のうも除去土壌等保管容器として同様に扱われているのが実情であり、これら保管容器の耐久性を一律かつ網羅的に評価することが求められているが、仮置場の保管容器の耐久性に関する既往の調査報告^{9,10)}はごく少数である。

種類	フレキシブルコンテナ ランニング J 形 I 種	フレキシブルコンテナ ランニング J 形 II 種	フレキシブルコンテナ クロススタンダード形 (耐候性)	耐候性大型土のう	一般大型土のう
写真					
容量	1.0 m ³	1.0 m ³	1.0 m ³	1.0 m ³	1.0 m ³
最大充てん質量	1,500kg	1,500kg	1,500kg	2,000kg	1,000kg
材質の例	ポリエステル繊維 +EVAの両面コーティング	ポリエチレン織布 ラミネーション加工有り	ポリプロピレン織布 ラミネーション加工無し	ポリプロピレン織布 ラミネーション加工無し	ポリプロピレン織布 ラミネーション加工無し
製造加工方法	一体成形 《=高周波溶着方式》	一体成形 《=熱風溶着》	非一体成形 《=縫製》	非一体成形 《=縫製》	非一体成形 《=縫製》
繰り返し充填	可能	可能	数回程度可能	数回程度可能	1回程度
除染における 主要用途の例	除去土壌・除染廃棄物の 保管容器 ※除染の現場などでの保管 が長期にわたり、除去土壌等 中の汚水の環境中への流出が 懸念される場合に限る。	除去土壌・除染廃棄物の 保管容器 ※除染の現場などでの保管 が長期にわたり、除去土壌等 中の汚水の環境中への流出が 懸念される場合に限る。	除去土壌・除染廃棄物の 保管容器 ※除染の現場などでの保管 が長期にわたり、除去土壌等 中の汚水の環境中への流出が 懸念される場合に限る。	除去土壌・除染廃棄物の 保管容器 ※除染の現場などでの保管 が長期にわたり、除去土壌等 中の汚水の環境中への流出が 懸念される場合に限る。	除染廃棄物を処理施設等へ 運搬する際の容器 ※短時間の運搬に限る。 (長時間の運搬や保管には 使用不可。)

※性能に関する規格の例

○耐候性能

JIS Z 1651…JIS B 7753に規定される装置での200時間の暴露試験等を実施し、フレキシブルコンテナJ型は初期強度の少なくとも70%、それ以外は初期強度の少なくとも50%を維持していること。

日本フレキシブルコンテナ工業会の自主規格…900時間の耐候性試験を行い、初期強度の70%を維持していること。

「耐候性大型土のう積層工法」設計・施工マニュアル…900時間の耐候性試験を行い、240N/cm以上の引張強度を維持していること等。

○防水性能

日本フレキシブルコンテナ工業会の自主規格…JIS K 6404-7Bによる漏水なきこと。

図2 保管容器の種類（引用：福島県、仮置場等技術指針（第5版）²⁾、p.14）

そこで本章では、仮置場で使用される代表的な保管容器（フレキシブルコンテナ ランニング J 形 1 種・2 種、耐候性大型土のう）について、それぞれの試験規格である土のうマニュアルに基づく試験と JIS Z 1651 に基づく試験の両方を実施し、各種保管容器の長期耐久性を調査・比較した。

2. 実施内容及び方法

2. 1. 試験準備

本章の試験対象となる保管容器は、福島県内の県北地域の仮置場一か所（以下「仮置

場 A」という。)及び県南地域の仮置場一か所(以下「仮置場 B」という。)において、それぞれ現地で保管されている容器から選定した。仮置場 A 及び仮置場 B の施工イメージを図 3 に示す。仮置場 A は除去土壌等の保管に耐候性大型土のうを使用している一方で、仮置場 B では主にフレキシブルコンテナ ランニング J 形 1 種が使用されている。また、仮置場 A では除去土壌等保管容器と、除去土壌等からの放射線を遮へいする目的で設置された遮へい用土のうの両方が通気性防水シートの下で遮光保管されている一方で、仮置場 B では除去土壌等保管容器のみが遮光保管され、遮へい用土のうは日光曝露された状態で設置されている。

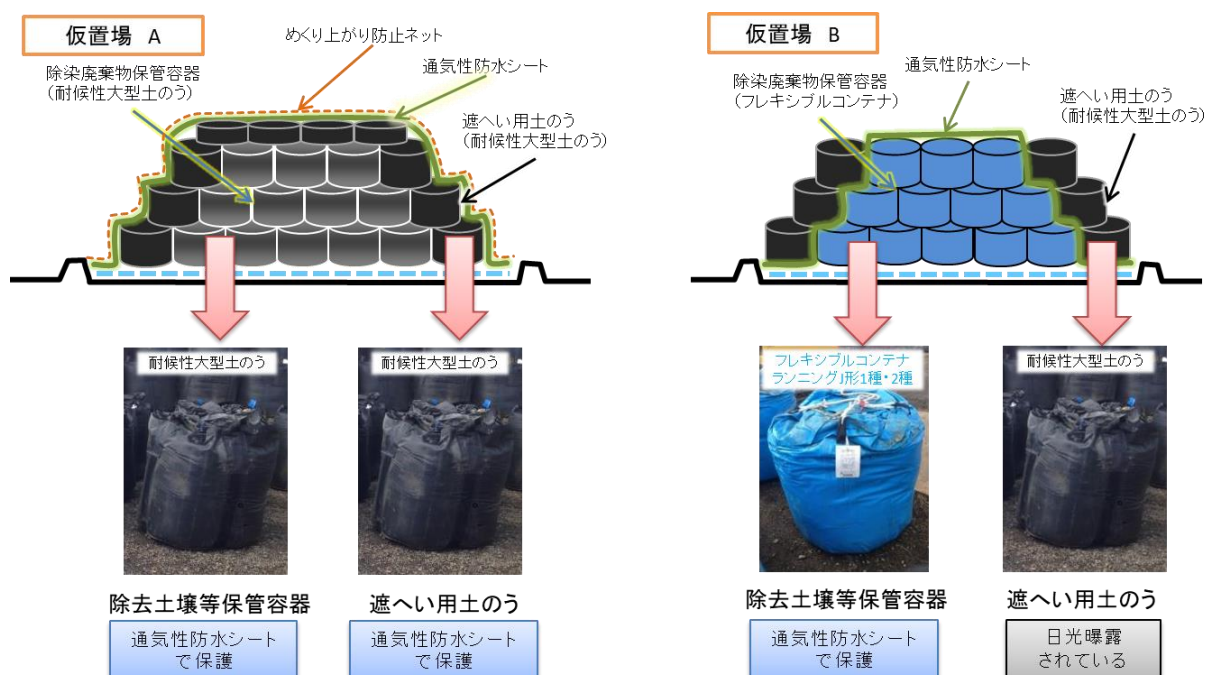


図 3 試験対象の保管容器を回収した仮置場の施工イメージ

2. 2. 「土のうマニュアル」に基づく袋体性能試験

2. 2. 1. 試験内容

2. 1. の仮置場で選定した保管容器(除去土壌等保管容器及び遮へい用土のう)の袋体を回収し、土のうマニュアルに規定される袋体性能項目の内の 2 つ、吊上げ・吊下ろし試験と落下衝撃試験を実施した。試験内容のイメージを図 4 に示す。

まず、各保管容器の内容物の重量を 1.5t (14.7kN) 前後に調整する。そして、容器に 10kN の錘を載せた状態で吊上げ・吊下ろしを 9 回繰り返す、次に 20kN の錘を載せた状態で容器を吊上げて 5 分間保持する。その後は同じ容器に対して、錘を外して高さ 80cm から落下させることを 3 回繰り返して落下衝撃性能を調べた。ここまでは土のうマニュアルに規定された試験内容と同じ条件であるが、この時点で保管容器に大きな亀裂等が

ない場合は、更に落下試験を合計 10 回まで行い、その後はさらに落下高さを 90cm から 160cm まで 10cm 刻みで高くして 1 回ずつ落下衝撃試験を実施した。なお、保管容器に亀裂等が発生した時点でその容器の試験は終了し、次の試験体に移行することとした。

これらの試験では、保管容器の通常の使用（15～20kN 程度の負荷で容器を数回吊上げる）では起こりえない大きな負荷が発生するため、実使用の条件よりも過大な負荷をかけて安全性を評価する試験であると言える。

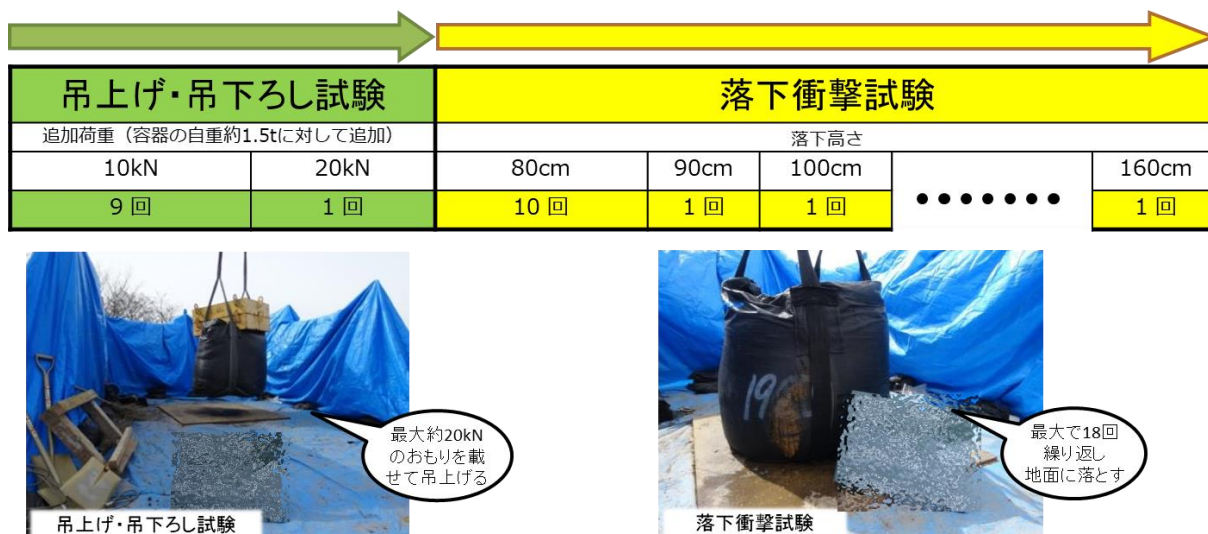


図4 土のうマニュアルに基づく袋体性能試験のイメージ

2. 2. 2. 試験対象

土のうマニュアルに基づく袋体性能試験を実施した保管容器を表1にまとめる。容器の保管年数は約 1.7～5.2 年で、再現性を確認するための繰り返し試験数は 3 又は 6 とした。また、一部の保管容器については、3 段積層の最上段に設置された容器と最下段に設置された容器で強度に差異があるか比較を行った。

表1 試験対象の保管容器（土のうマニュアルに基づく袋体性能試験）

設置場所	種別	メーカー名 (仮称)	保管状態
仮置場 A	耐候性大型土のう	A 社	遮光保管
仮置場 B	耐候性大型土のう	B 社	日光曝露
	耐候性大型土のう	C 社	日光曝露
	耐候性大型土のう	D 社	日光曝露
	耐候性大型土のう	E 社	日光曝露
仮置場 B	フレキシブルコンテナ ランニング J 形 1 種	S 社	遮光保管
	フレキシブルコンテナ ランニング J 形 1 種	T 社	遮光保管
	フレキシブルコンテナ ランニング J 形 1 種	U 社	遮光保管
	フレキシブルコンテナ ランニング J 形 1 種	V 社	遮光保管
	フレキシブルコンテナ ランニング J 形 2 種	W 社	遮光保管
	不明※	X 社	遮光保管

※仮置場 B を管理する自治体で保管されていた仕様不明品。外見からフレキシブルコンテナ ランニング J 形 1 種と同等品と推察される。

2. 3. 「JIS Z 1651」に基づく袋体性能試験

2. 3. 1. 試験内容

2. 1. の仮置場で選定した保管容器（除去土壌等保管容器および遮へい用土のう）の袋体を回収し、JIS Z 1651 に規定される 2 種類の性能試験（繰返し頂部吊上げ試験、圧縮・積重ね試験）を実施した。試験内容のイメージを図 5 に示す。なお、土のうマニュアルに基づく袋体性能試験ではひとつの容器に対して 2 つの試験（吊上げ・吊下し試験、落下衝撃試験）を連続的に実施しているが、JIS Z 1651 に基づく袋体性能試験で実施した今回の 2 つの試験（繰返し頂部吊上げ試験、圧縮・積重ね試験）はそれぞれ異なる容器で評価を行った。

繰返し頂部吊上げ試験においては、模擬内容物を保管容器の本体側面高さの 80～85%詰めた状態で、まず荷重 3.0t (29.4kN) で 70 回吊上げ、次に破袋するまで荷重を増やしていき、破袋時の荷重を計測した。実際の保管容器の運搬・吊上げ時にかかる負荷は 15～20kN 程度であると推察されるため、実使用よりも過大な負荷をかけて安全性を評価した試験と言える。

圧縮・積重ね試験においては、模擬内容物を保管容器の本体側面高さの 80～85%詰め

た状態で荷重 18.9t (185.2kN) をかけて、そのまま破袋に至るまでの時間を計測した。
 (ただし、保持時間は 6 時間を限度とした) 保管容器積層時にかかる負荷は最大でも 76.5kN とされる (土のうマニュアルにおける 6 段積層時の最大鉛直応力の試算値) ため、こちら実使用の条件よりも過大な負荷をかけた試験である。



図5 JIS Z 1651 に基づく袋体性能試験のイメージ

2. 3. 2. 試験対象

JIS Z 1651 に基づく袋体性能試験を実施した保管容器を表 2A 及び 2B にまとめる。
 なお、JIS Z 1651 に基づく袋体性能試験は作業に長い時間を要することから、繰り返し試験は実施せずに各条件一回ずつの評価とした。

表 2A 試験対象の保管容器 (繰り返し頂部つり上げ試験)

設置場所	種別	メーカー名	保管状態	使用年数			
				未使用	2.7 年	3.5 年	4.8 年
仮置場 A	耐候性大型土のう	A 社	遮光保管	未使用	2.7 年	3.5 年	4.8 年
仮置場 B	フレキシブルコンテナ ランニング J 形 1 種	S 社	遮光保管	未使用	—	3.9 年	—
		V 社	遮光保管	—	—	—	4.8 年

表 2B 試験対象の保管容器（圧縮・積重ね試験）

設置場所	種別	メーカー名	保管状態	使用年数			
				未使用	2.7年	3.5年	4.8年
仮置場 A	耐候性大型土のう	A社	遮光保管	未使用	2.7年	3.5年	4.8年
仮置場 B	フレキシブルコンテナ ランニング J 形 1 種	S社	遮光保管	未使用	3.0年	3.9年	—
		V社	遮光保管	—	—	—	4.8年

3. 試験結果及び考察

3. 1. 「土のうマニュアル」に基づく袋体性能試験

土のうマニュアルに基づく袋体性能試験の結果を図 6A、図 6B 及び図 6C に示す。仮置場で約 1.7～5.2 年保管された除去土壌等保管容器は、落下衝撃の耐久性が経年変化によって徐々に低下する傾向が見られるものの、ほぼ全ての容器が土のうマニュアルに規定された性能⁷⁾を満たしており、実用に支障ない水準で強度が保たれていることが確認された（図 6A 及び 6C）。また、日光曝露された遮へい用土のう（耐候性大型土のう）はシートで遮光された除去土壌等保管容器に比べて耐久性が大きく低下しており（図 6B）強度低下の主な要因は直射日光や風雨等による影響であることが示唆された。

また、保管容器の積層位置（上段・下段）によって耐久性能に差異があるか比較した結果を図 7A 及び 7B に示す。上段に比べて下段の方が積層負荷により袋体に作用する荷重が大きい⁷⁾ため、当初は下段の容器が上段の容器と比べてより強度低下が著しいと予想された。しかし、比較の結果では、上段の容器と下段の容器で明確な差は見受けられなかった。

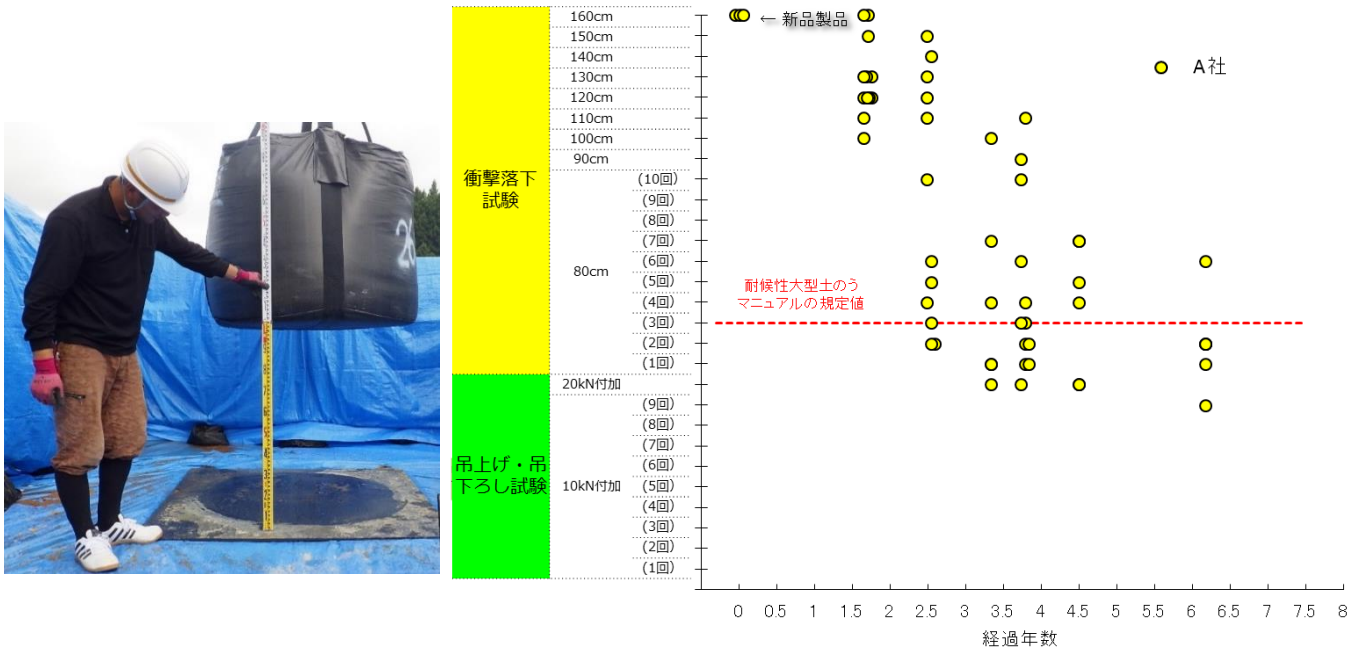


図 6A 土のうマニュアルに基づく袋体性能試験結果（耐候性大型土のう、遮光保管）

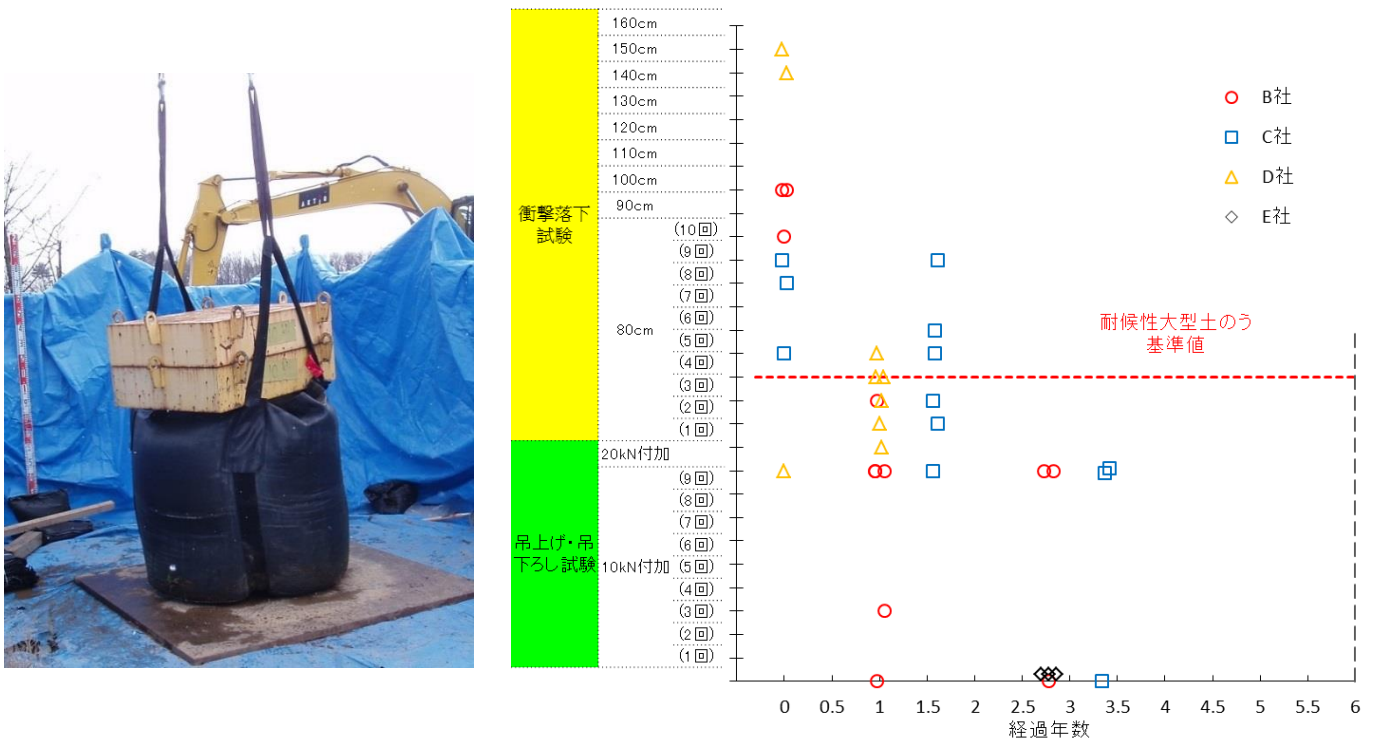


図 6B 土のうマニュアルに基づく袋体性能試験結果（耐候性大型土のう、日光曝露）

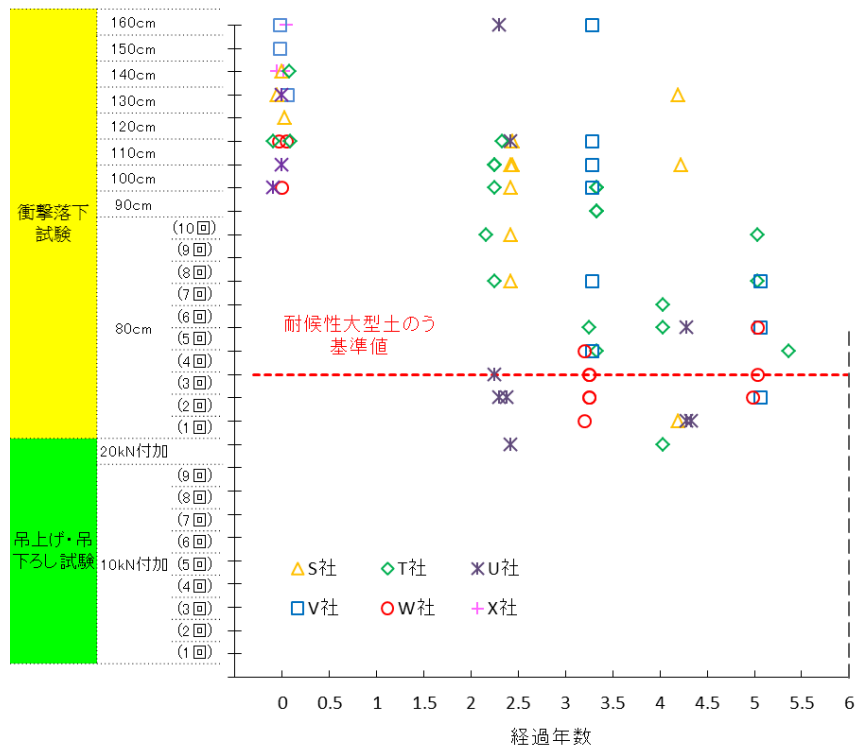


図 6C 土のうマニュアルに基づく袋体性能試験結果（フレキシブルコンテナ、遮光保管）

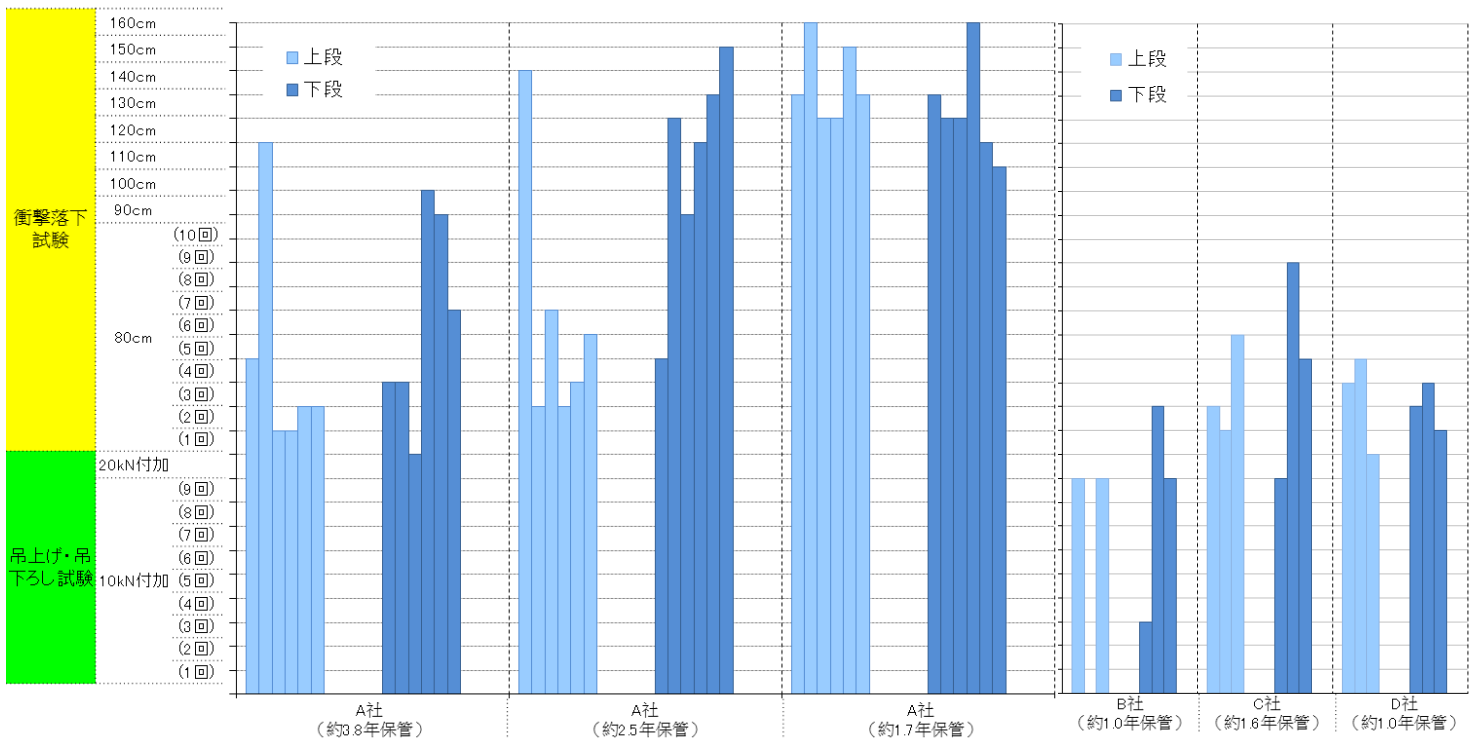


図 7A 積層位置による耐久性能の比較結果（耐候性大型土のう）
（A社：遮光保管、B/C/D社：日光曝露）

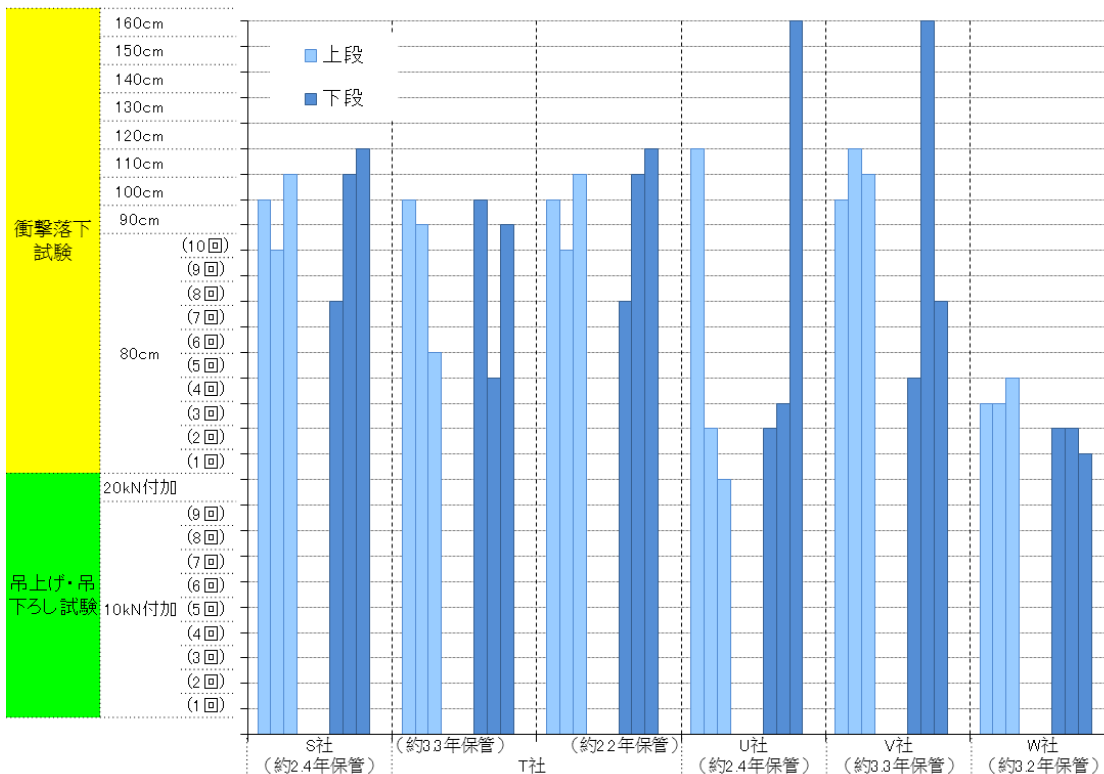


図 7B 積層位置による耐久性能の比較結果 (フレキシブルコンテナ、すべて遮光保管)

3. 2. 「JIS Z 1651」に基づく袋体性能試験

試験結果のイメージの一例を図 8A 及び図 8B に、試験結果の一覧を表 3A 及び表 3B に示す。

繰り返し頂部吊上げ試験については 3.0t 吊上げ×70 回で破袋する容器は無かったことから、保管容器の通常の使用 (15~20kN 程度の負荷で容器を数回吊上げる) に十分な強度を保持していることが確認できた (表 3A)。また、破袋に至るまでの最大荷重の経年変化を図 9A にまとめた。保管 3 年~5 年の間で吊上げ性能の明確な低下は見られなかった。

圧縮・積重ね試験については、最大圧縮荷重 (18.9t) に到達するまでに破袋する容器は無かった。ただし、3 年を超えて保管されていた容器については最大圧縮荷重を 6 時間保持する前に破袋に至った (表 3B)。また、最大圧縮荷重に到達してから破袋に至るまでの荷重時間を図 9B にまとめた。特に A 社の 4.8 年使用した耐候性大型土のうについては最大圧縮荷重に到達した直後に破袋しており、未使用品と比較して明確な強度低下が確認された。これは遮光保管された容器であっても積層負荷等によって徐々に生地強度低下が進行しているためと考えられる。

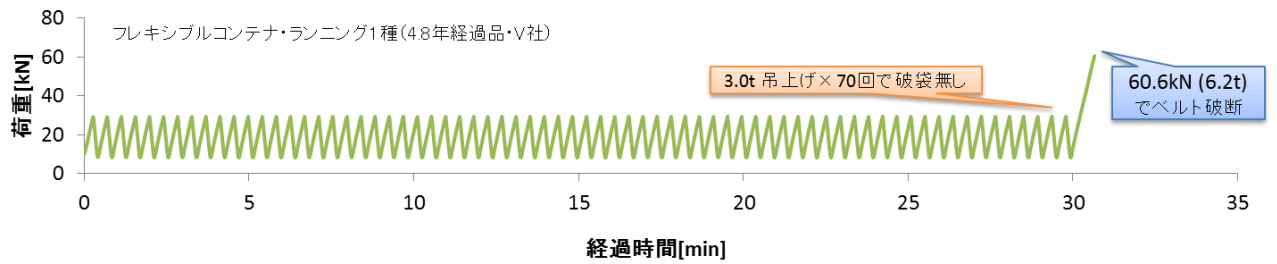


図 8A JIS Z 1651 に基づく繰り返し頂部吊上げ試験結果の一例

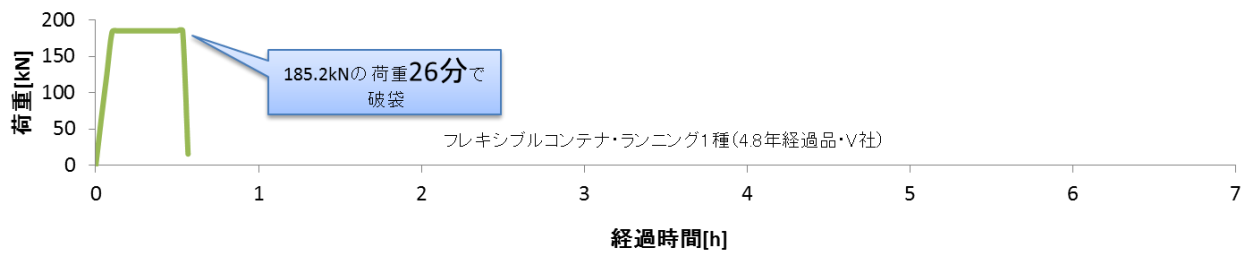


図 8B JIS Z 1651 に基づく圧縮・積重ね試験結果の一例

表 3A JIS Z 1651 に基づく繰り返し頂部吊上げ試験結果

種別	メーカー名	使用年数	繰り返し荷重 (3.0t 吊上げ×70回)	破袋時の荷重	破袋の様子
耐候性大型土のう	A社	未使用	破袋なし	39.4kN(4.0t)	縫製部から破袋
		2.7年	破袋なし	60.5kN(6.2t)	縫製部から破袋
		3.5年	破袋なし	65.3kN(6.7t)	縫製部から破袋
		4.8年	破袋なし	54.1kN(5.5t)	縫製部から破袋
フレキシブルコンテナ ランニングJ形1種	S社	未使用	破袋なし	75.7kN(7.7t)	本体生地から破袋
		3.9年	破袋なし	63.3kN(6.5t)	ベルト破断
	V社	4.8年	破袋なし	60.6kN(6.2t)	ベルト破断

表 3B JIS Z 1651 に基づく圧縮・積重ね試験結果

種別	メーカー名	使用年数	最大荷重	最大荷重の保持時間	破袋の様子
耐候性大型土のう	A社	未使用	185.2kN (18.9t)	360分	破袋なし
		2.7年	〃	360分	破袋なし
		3.5年	〃	34分	ベルト縫製部より破袋
		4.8年	〃	< 10秒	ベルト縫製部より破袋
フレキシブルコンテナランニングJ形1種	S社	未使用	〃	360分	破袋なし
		3.0年	〃	360分	破袋なし
		3.9年	〃	243分	本体生地（胴接合部以外）より破袋
	V社	4.8年	〃	26分	本体生地（胴接合部以外）より破袋

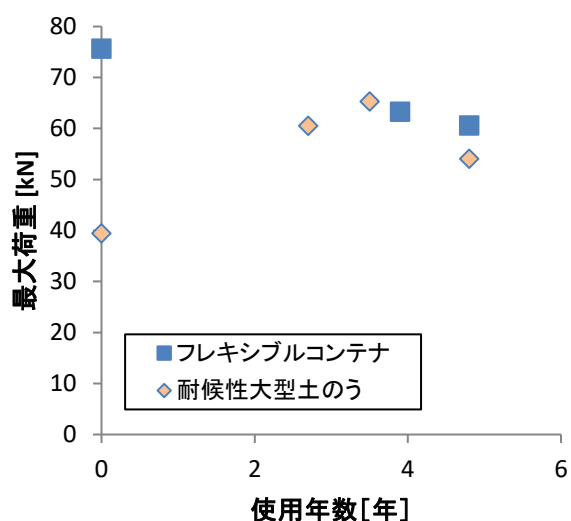


図 9A 繰り返し頂部吊上げ性能の経年変化

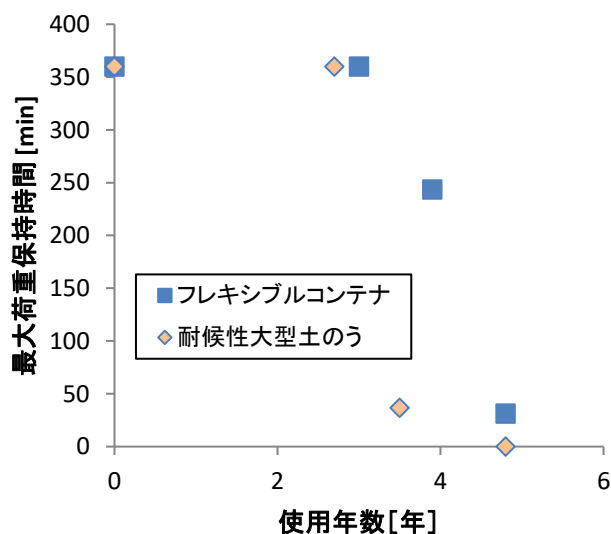


図 9B 圧縮・積重ね性能の経年変化

繰り返し頂部吊上げ試験及び圧縮・積重ね試験による破袋の様子を図 10 及び図 11 に示す。

繰り返し頂部吊上げ試験では、年数が経過したフレキシブルコンテナは吊ベルトが主な破袋要因となっていた。しかし、保管容器は遮光保管されているため、吊ベルトの耐候劣化が進行したとは断定できない。仮置場での運搬中にベルトにねじれが発生し、試験

時にベルトに偏荷重がかかっていた可能性も考えられる。一方で、耐候性大型土のうは使用年数によらず、ベルト縫製部から破袋した。

圧縮・積重ね試験では、年数の経過したフレキシブルコンテナは胴接合部（比較的強度が低いとされる）ではない生地から破袋した。これは、除去土壌等に含まれる木の枝や碎石等の突起物が原因で、局所的な強度低下が起きたと推測される。一方で、耐候性土のうは使用年数によらず（比較的強度が低いとされる）ベルト縫製部から破袋した。最大荷重の保持時間は年数経過ごとに短くなっており、縫製部近辺を含む容器生地全体の強度が徐々に低下していると推測される。



フレキシブルコンテナ ランニングJ形1種、左から 未使用品（S社）、3.9年使用（S社）、4.8年使用（V社）
（未使用品はベルト下部の本体生地から破袋、他は吊ベルトが破断）



耐候性大型土のう（A社）左から 未使用品、2.7年使用、3.5年使用、4.8年使用
（全て、吊ベルト縫製部から破袋）

図10 繰返し頂部吊上げ試験による保管容器破袋の様子



フレキシブルコンテナ ランニング J 形
1 種・3.9 年使用 (S 社) (本体生地 (胴
接合部以外) より破袋)

フレキシブルコンテナ ランニング J 形
1 種・4.8 年使用 (V 社) (本体生地 (胴
接合部以外) より破袋)

耐候性大型土のう・4.8 年使用 (A 社)
(吊ベルト縫製部から破袋)

図 11 圧縮・積重ね試験による保管容器破袋の様子

4. まとめ

福島県内の仮置場で 2～6 年程度使われた保管容器 (除去土壌等保管容器及び遮へい
用土のう) について、長期耐久性を調査した。約 6 年間遮光保管された容器 (耐候性大
型土のう又はフレキシブルコンテナ ランニング J 形 1 種・2 種) について、実使用に
十分な強度を保持していることが確認された。本章では土のうマニュアルと JIS Z 1651
の二つの規格に基づいて袋体性能評価を実施したが、耐候性大型土のうとフレキシブル
コンテナ ランニング J 形 1 種・2 種との間に明確な性能の差異は見られなかった。一
方で、日光曝露された容器については強度低下が比較的早い傾向が見受けられ、今後の
経年変化をより注視する必要があると考えられる。当センターでは、今後も継続的に保
管容器の耐久性調査を実施する予定である。

謝辞

本章に掲載した袋体性能試験の実施にあたっては、仮置場を管理する市町村の方々に
大変お世話になりました。また、保管容器の評価方法の検討については福島県ハイテク
プラザより助言を受けながら実施しました。末筆ながら、ここに記して感謝します。

参考文献

- 1) 環境省：除染関係ガイドライン (平成 25 年 5 月 第 2 版 (平成 30 年 3 月追補))、
2018、
http://josen.env.go.jp/material/pdf/josen-gl-full_ver2_supplement_1803.pdf
(令和 2 年 3 月 5 日最終閲覧)。

- 2) 福島県：仮置場等技術指針（第5版）、2017、
<https://www.pref.fukushima.lg.jp/site/portal/kariokiba-gijutsushishin.html>
（令和2年3月5日最終閲覧）。
- 3) 環境省：中間貯蔵施設情報サイト、除去土壌等の輸送について
<http://josen.env.go.jp/chukanchozou/transportation/>（令和2年3月5日最終閲覧）。
- 4) 環境省：除染特別地域（直轄除染地域）における除去土壌等の保管状況について（環境回復検討会（第14回））、2015、<http://josen.env.go.jp/material/session/pdf/014/mat03.pdf>（令和2年3月5日最終閲覧）。
- 5) 川崎興太：福島県における市町村主体の除染の実態と課題 2012年から2016年までの市町村アンケート調査の結果に基づいて一。環境放射能除染学会誌，Vol. 5， No. 4， pp. 267-304 (2017)。
- 6) 環境省：第17回環境回復検討会議事録、p. 30、2016、
<http://www.env.go.jp/jishin/rmp/conf/17-gijiroku.pdf>（令和2年3月5日最終閲覧）。
- 7) 財団法人土木研究センター「耐候性大型土のう積層工法」設計・施工マニュアル、2012。
- 8) JIS Z 1651:2008「非危険物用フレキシブルコンテナ」ほか
- 9) 斎藤卓、ほか：除染廃棄物仮置場で使用中のフレキシブルコンテナの長期耐久性能確認、2016、土木学会第71回年次学術講演会、講演要旨集 pp. 893-894。
- 10) 環境省：仮置場の管理について（環境回復検討会（第15回））、2015、
<http://www.env.go.jp/jishin/rmp/conf/15/mat02-1.pdf>（令和2年3月5日最終閲覧）。

仮置場資材の長期耐久性試験

1. 背景・目的

福島県内の除染活動で発生した除去土壌等は、仮置場や現場保管場所（以下「仮置場等」という。）で除去土壌等保管容器等に収納して保管されている（図1）。除去土壌等保管容器にはフレキシブルコンテナと耐候性大型土のうの2種類が主に使われている^{1,2)}。一般的に前者はポリエチレン又はポリエステル織布、後者はポリプロピレン織布で構成されており、光安定剤や酸化防止剤によって耐候性が高められている。また、除染活動で使用される除去土壌等保管容器の性能はJIS Z 1651³⁾又は耐候性大型土のうのマニュアル⁴⁾によって規定されており、一般的な土のう袋よりも耐久性・耐候性が優れている。また、これら保管容器は原則的に上部遮水工（通気性防水シートや遮水シート等）に覆われ、直射日光や雨風を防いだ状態で保管されている。

現在、仮置場等から中間貯蔵施設への除去土壌等の輸送は本格化しているものの、当初は中間貯蔵施設の用地取得が思うように進まなかったこと等から、除去土壌等の発生量が全体で約1,400万m³と推計されているのに対して、2019年3月末時点で中間貯蔵施設への輸送が完了したのは約260万m³にとどまっている⁵⁾。その結果、仮置場等での除去土壌等の保管期間が当初想定の3年を超過した場所が未だに数多く残っており、現地資材の破損等の懸念が示されている^{6,7)}。

そこで福島県環境創造センターでは、除去土壌や仮置場等の適切な管理に資する知見の収集のため、除去土壌等保管容器として使用されているフレキシブルコンテナや耐候性大型土のう等といった仮置場資材の長期耐久性を調査している。保管容器の吊上げ時の安全性や積み重ね時の安全性についての調査結果は、前章に記載した通りである。これは、過去に報告している⁸⁾。本章では、保管容器の生地または吊ベルトの試験片や遮水シート類を用いた物性評価及び形態観察を実施した。

2. 実施内容及び方法

2. 1. 試験準備（仮置場資材の回収）

2. 1. 1. 保管容器（仮置場現地品）



図1 仮置場と保管容器

福島県内の市町村によって管理された仮置場等で使用されているフレキシブルコンテナ及び耐候性大型土のうについて、仮置場現地にて約2～6年経過した容器を回収し、その容器生地及び吊ベルトから試験片を作製した。各々の仮置場で使用される保管容器は異なる（図2）ため、本研究では遮光保管された耐候性大型土のう及びフレキシブルコンテナと、日光曝露された状態で保管された耐候性大型土のうを回収した。保管容器の種類については、耐候性大型土のう7メーカー（ここではA, B, C, D, E, F, Gと呼称する）と、フレキシブルコンテナ5メーカー（同じくS, T, U, V, Wと呼称する）の保管容器を回収した。

2. 1. 2. 保管容器及び遮水シート類（耐候性試験）

2. 1. 1で回収した保管容器と同規格・同メーカーの未使用品と、仮置場で保管容器の上部遮水工に使用されているシート類（遮水シート、通気性防水シート）の未使用品に対して、カーボンアーク灯式耐候性試験機⁹⁾を使用した紫外線促進曝露を行った（図3）。曝露条件はJIS Z 1651の耐候性試験B法に準拠する³⁾。この時、促進曝露300時間は屋外使用1年に相当するとされる⁴⁾。本研究では3種類の曝露時間（900、1,500、3,000時間）で処理した。また、試験対象は耐候性大型土のう2メーカー（A, B）、フレキシブルコンテナ3メーカー（S, V, W）、通気性防水シート2メーカー（L, M）遮水シート1メーカー（N）とした。

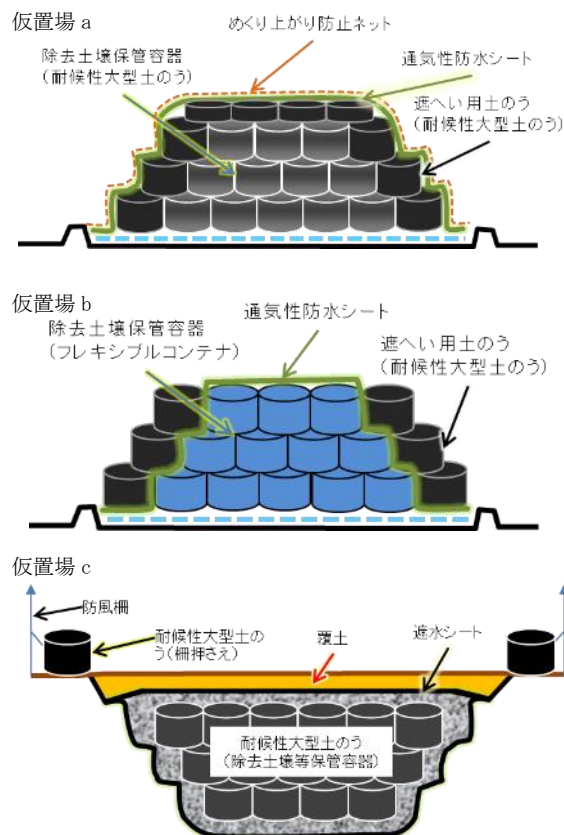


図2 仮置場のイメージ図

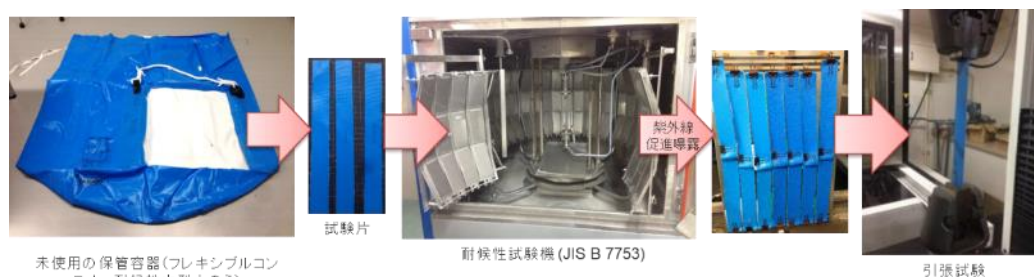


図3 耐候性試験の手順

以下、A社の耐候性大型土のうを「土のう(A)」、S社のフレキシブルコンテナを「フレコン(S)」、L社の通気性防水シートを「通気性防水シート(L)」と表記する。尚、遮光保管されていた土のう(A)のベルト部分は、促進曝露や日光曝露された土のう(A)とは規格が異なるため、区別して土のう(A')と表記する。

2. 2. 試験内容

2. 2. 1. 引張試験（保管容器生地）

2. 1で準備した保管容器生地に対して、万能試験機（島津、AGS-10kNG）による引張試験を実施し、たて糸方向及びよこ糸方向の引張強さを求めた（図4）。試験片の作製条件及び試験条件はフレキシブルコンテナ³⁾又は耐候性大型土のう⁴⁾の規格に準拠した。繰り返し数は3とした。

2. 2. 2. 引張試験（吊ベルト）

2. 1で準備した保管容器吊ベルトに対して、100kN材料試験機（Instron、5582型）による引張試験を実施し、引張強さを求めた（図4）。試験片の作製条件及び試験条件は耐候性大型土のう⁴⁾の規格に準拠した。繰り返し数は3とした。



図4 引張試験の手順（保管容器生地または吊ベルト）

2. 2. 3. 引張試験（遮水シート類）

2. 1で準備した通気性防水シート及び遮水シートに対して、万能試験機（島津、AGS-10kNG）による引張試験を実施し、原反よこ方向及び接合部よこ方向の引張強さを求めた。試験片の作製条件及び試験条件は日本遮水工協会の自主基準¹⁰⁾に記載されて

いる、通気性防水シート及び遮水シートの規格（JIS K 6251, JIS L 1908 等）に準拠した。繰り返し数は3とした。また、通気性防水シートについては、防水機能を有する多孔質シート部分が破断した時点の応力を引張強さとした。

2. 2. 4. 形態観察

2. 1で準備した保管容器（耐候性大型土のう）の生地及び吊ベルトに対して、走査電子顕微鏡（日本電子、JSM-6010LA）（以下「SEM」という。）を用いて試験片の表面及び断面の微細構造観察、さらにエネルギー分散型X線分析（以下「EDS」という。）による元素分析を実施した。観察試料は前処理として白金蒸着を行った。

断面SEM観察においては試験片をエポキシ樹脂の内部に埋め込み、自動研磨装置（Buehler、Automet 300）によって削り出した試料断面（polished surface）を観察した。

なお、本章の観察対象は、顕著な強度低下が確認された耐候性大型土のうに限定しており、フレキシブルコンテナ及び遮水シート類は観察対象に含まれない。

3. 試験結果及び考察

3. 1. 引張試験（保管容器生地）

保管容器の生地の引張試験の結果を図5にまとめる。土のう(A)の生地は、たて糸で最大約11%、よこ糸で最大約19%の強度低下が見られた。また、フレコン(V)については、たて糸で最大約12%、よこ糸で最大8%の強度低下が見られた。経年による強度低下は見られたものの、仮置場で遮光保管されていた全ての保管容器について、耐候性大型土のうマニュアル基準値（240 [N/cm]）を満たしていることが確認された。製品ごとの劣化速度に明確な差は見られなかった。

一方で、仮置場で日光曝露された保管容器については、同マニュアル基準値を下回る試料が見受けられ、特に強度低下が大きいケースでは、3.4年日光曝露した土のう(C)のよこ糸の引張強さは139 [N/cm]で、未使用品に対して約61%低下していた。

紫外線促進曝露による耐候性試験の結果では、保管容器の種類によって劣化状況に差が見られた。3,000時間曝露時の強度に着目すると、耐候性大型土のうの場合、3,000時間曝露による強度低下は最大で約40%だった（土のう(B)、よこ糸）のに対して、フレキシブルコンテナの強度低下は最大約85%だった（フレコン(V)、よこ糸）。促進曝露3,000時間は屋外使用10年に相当すると言われているが、仮置場で日光曝露された土のう(B)は約2.7年で約38%の強度低下が確認されている。これは、耐候性試験の結果から推測される劣化速度の約4倍であり、紫外線促進曝露では再現されない要因（クリープ、熱履歴など）により劣化が促進されていると推測される。

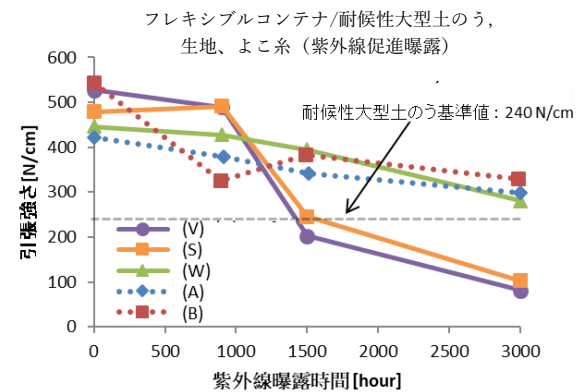
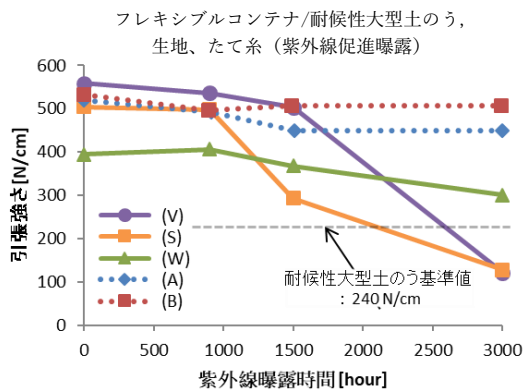
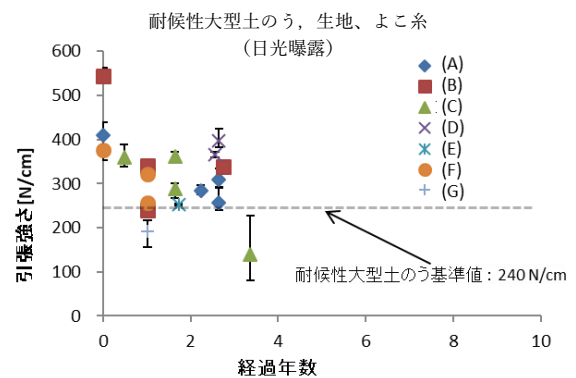
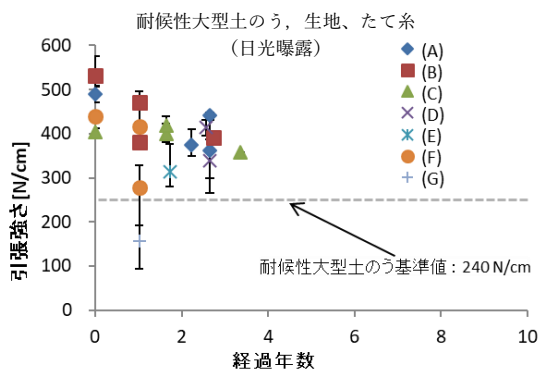
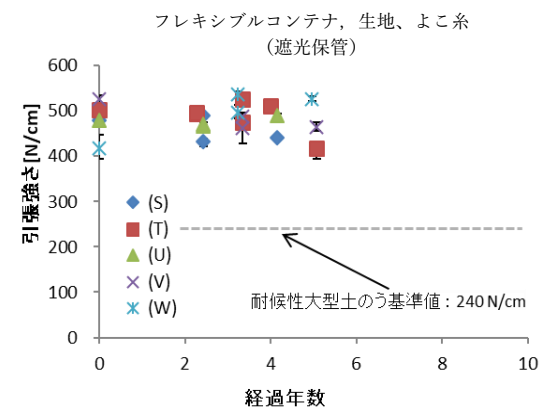
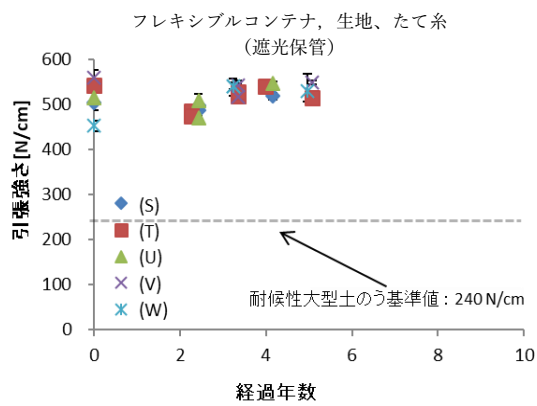
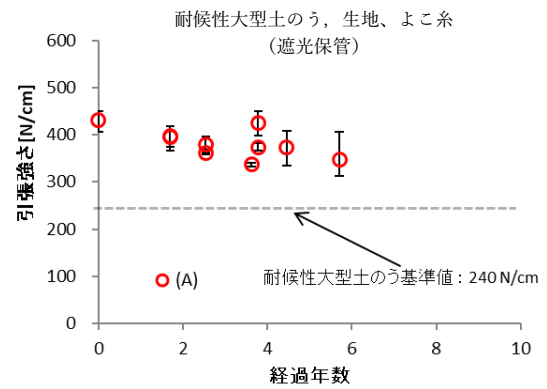
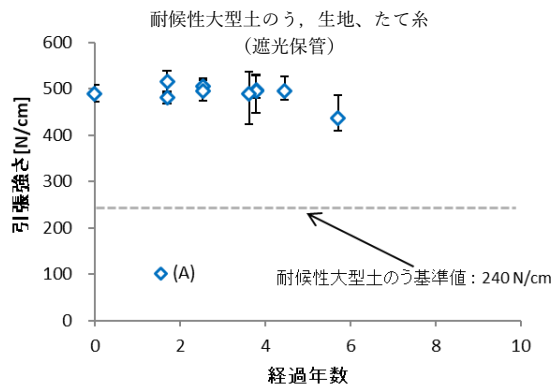


図5 保管容器生地の引張試験 (仮置場保管品、耐候性試験)

3. 2. 引張試験（保管容器吊ベルト）

吊ベルトの引張試験の結果を図6にまとめる。紫外線促進曝露処理を最大3,000時間（屋外使用10年相当）施した場合であっても、全試料が耐候性大型土のう基準値（30 [kN]）又はフレキシブルコンテナのマニュアル基準値（20 [kN]）と同程度の強度を保持していることが確認された。

一方で、3.1と同様に、仮置場で日光曝露された吊ベルトについて同基準値を下回るケースが見受けられた。例えば、2.7年日光曝露された土のう(B)の吊ベルトの引張強度は15.6 [kN]と基準値の約半分であった。これは、耐候性試験の結果から推測される劣化速度の約9倍である。一方で、遮光保管された土のう(A')の吊ベルトは約6年経過した後でも十分な強度を保持していた。また土のう(C)の吊ベルトのように、長期間の日光曝露の後でも強度を保持しているケースも見られた。

3.1及び3.2の結果から、日光曝露された保管容器の劣化速度は耐候性試験による推定よりも速く、特に吊ベルトについては日光曝露によって顕著に強度が低下していることが明らかになった。

実際に、これらの日光曝露された保管容器を仮置場で回収する際、一部の保管容器は、吊上げ時にベルトが破断して吊上げ不可能になるケースが見受けられ、取扱に注意を要することが確認された。

3. 3. 引張試験（遮水シート類）

遮水シート類の引張試験の結果を図7にまとめる。最大3,000時間の紫外線促進曝露による耐候性試験において、遮水シート(N)については引張強さの低下が見られなかった。一方で通気性防水シート(L)と(M)では有意な強度低下が見られ、特に通気性防水シート(L)の接合部では、3,000時間の紫外線促進曝露により未使用品の161 [N/cm]から約80%の強度低下が見られた(32.8 [N/cm])。実際の仮置場でも、通気性防水シート(L)と同規格の資材に関して、施工から数年以内にシート接合部から破損する事例

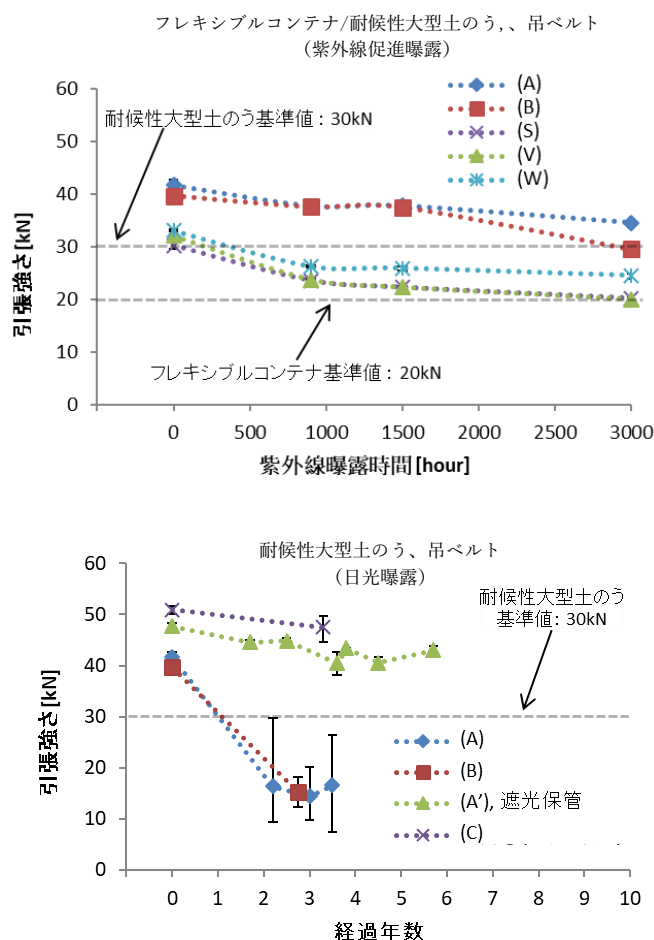


図6 保管容器吊ベルトの引張試験
(仮置場保管品、耐候性試験)

が見受けられる（図8）。これらの試験結果は実際の仮置場の資材破損事例の傾向とも一致していると思われる。ただし、当初想定されていた3年よりも短い期間（2年以内）で上部シートが破損するケースも報告されており、3.1や3.2と同様、シート類の強度低下が想定以上に促進されている可能性がある。

今後は、仮置場で回収したシート類の耐久性試験にも着手しつつ、遮水シート類の劣化状態と劣化要因について引き続き調査を進める。

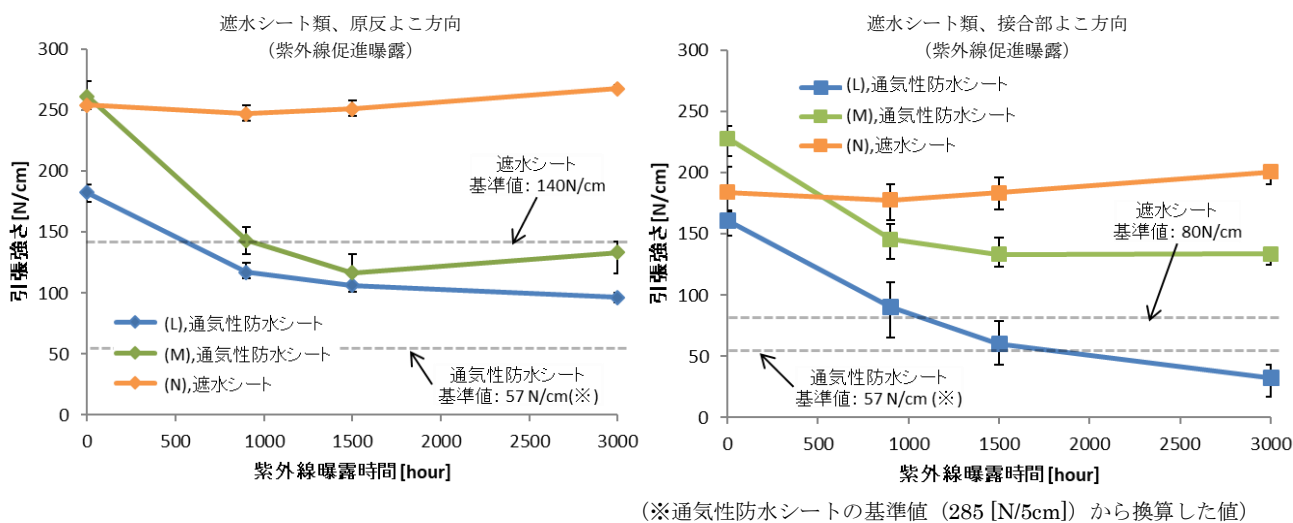


図7 遮水シート類の引張試験
(仮置場保管品、耐候性試験)



図8 通気性防水シートの破損例

3. 4. 形態観察（耐候性大型土のう）

土のう(B)の生地の断面観察及びEDSによる元素分析の結果を図9に示す。耐候性大型土のうの生地やベルトの主成分はポリプロピレンであり構成元素の大半は炭素であるが、生地や吊ベルトに混入している直径0.1~10 μm の粒子にはCa及びOが含まれていることが確認された。これは、増量剤として使用されている炭酸カルシウムの粒子と思われる。また、日光曝露により劣化した土のう試料では、粒子が脱離して出来た穴の周辺にクラックが発達するケースが見受けられた。このことから、炭酸カルシウム粒子の脱離が土のうの構造欠陥、ひいては強度低下に影響している可能性が考えられる。

土のう(A)の吊ベルト及び生地のSEM観察写真を図10に示す。紫外線促進曝露3,000時間の試料が比較的平滑な表面であるのに対して、仮置場で日光曝露された資材については幅0.1~1 μm 程度のクラックが無数に発生していることが確認された。土のう製品はポリプロピレンのフラットヤーンで構成されており、新品の土のう生地や吊ベルトであっても繊維方向に平行なクラックは若干量存在する。しかし、日光曝露された保管容器ではクラックのサイズと量が大きく増大しており、繊維方向に垂直なクラックの発生も確認されている。

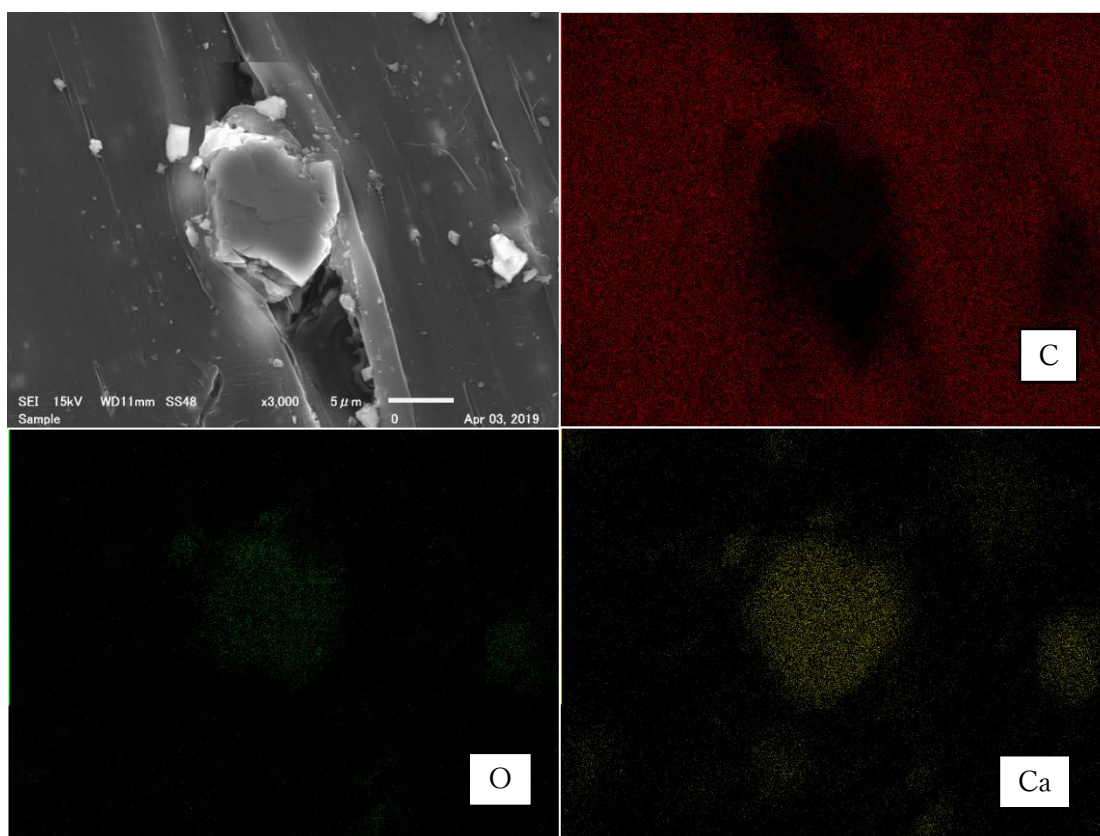
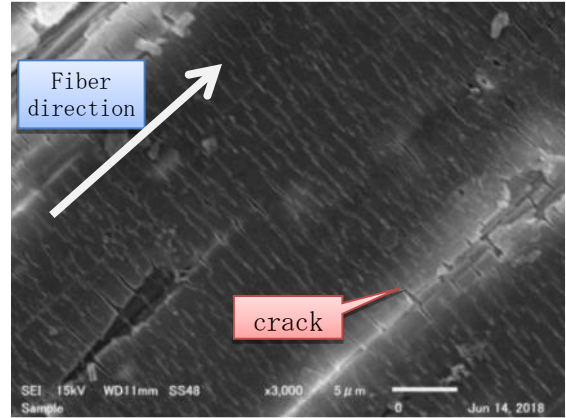
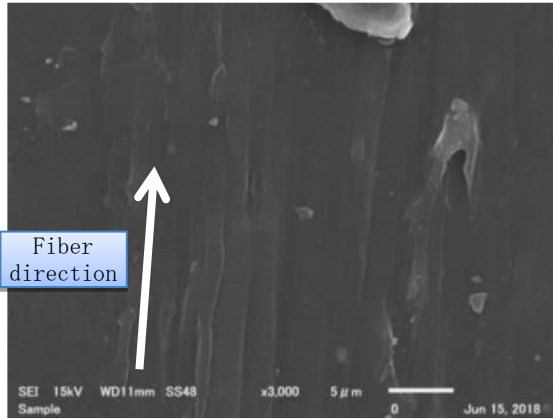


図9 土のう(A) ベルト（未使用品）の表面SEM写真及びEDS元素分布

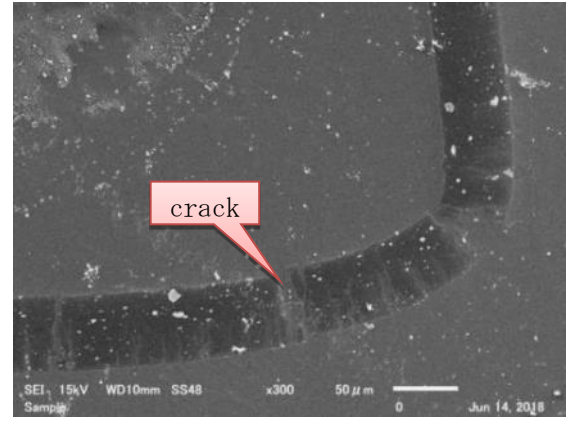
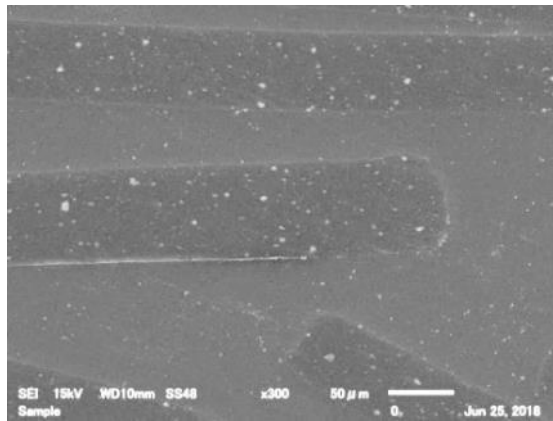
UV3, 000hr (紫外線促進曝露)

日光曝露、2年

土のう(A), 吊ベルト
表面観察



土のう(A), 吊ベルト
断面観察



UV3, 000hr (紫外線促進曝露)

日光曝露、2年

土のう(A), 生地
表面観察

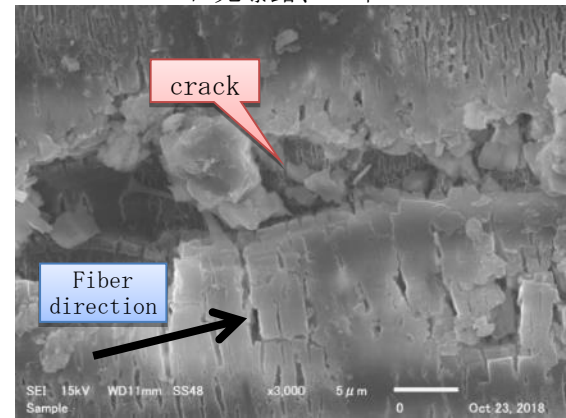
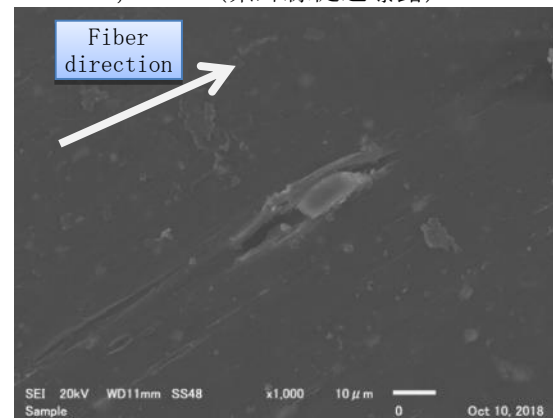


図 10 土のう(A)の表面/断面 SEM 写真

日光曝露された土のう (B) 及び (C) の SEM 写真を図 11 に示す。土のう (C) の吊ベルトはフラットヤーンではなく PP モノフィラメントで構成されており、SEM 写真の様子が他の試料とは異なる。日光曝露された土のう (B) については (A) と同様にクラックが発達している一方で、土のう (C) の吊ベルトではクラックの発達を確認されなかった。この日光曝露された土のう (C) の吊ベルトの引張強度は 47 [kN] と十分な強度を保持している一方で、クラックの発達した土のう (A) 及び (B) の吊ベルトは明確な強度低下を示している (図 6)。

以上の観察結果から、耐候性大型土のうのクラック発達状態とその力学的強度には一定の相関関係があると推測される。

今後は、資材劣化が促進されている要因 (熱履歴やクリープ負荷等) の特定と、資材の劣化状態を簡易的に評価する手法の開発を目指し、引き続き調査を進める予定である。

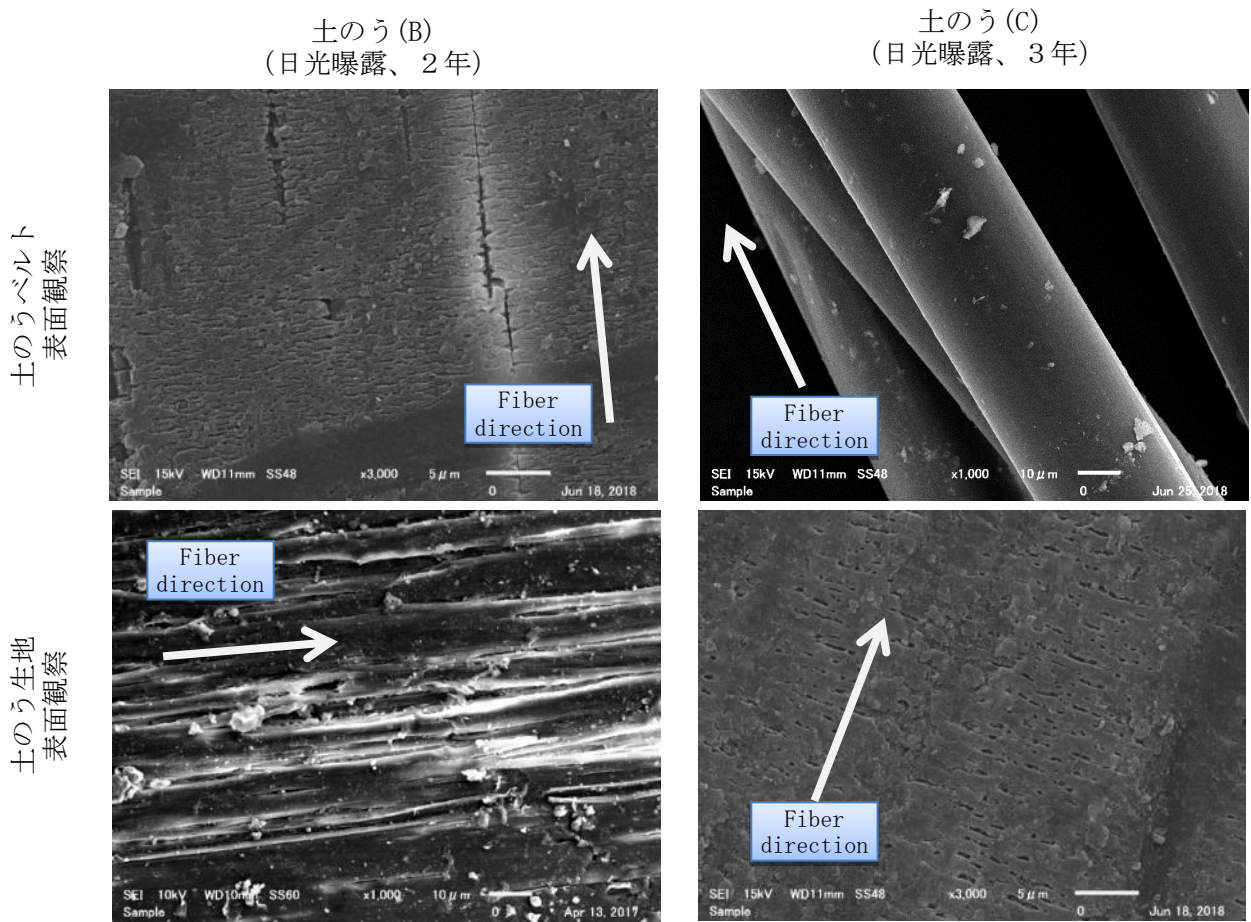


図 11 土のう (B) 及び土のう (C) の表面 SEM 写真

4. まとめ

福島県内の除去土壌等仮置場で最大約6年経過した保管容器（耐候性大型土のう及びフレキシブルコンテナ）及び上部遮水工に使用されている遮水シート類について、引張試験・耐候性試験により長期耐久性を評価した。その結果、6年遮光保管された容器が実使用に十分な強度を保持していることが確認された。一方で、1～3.5年日光曝露された保管容器は引張強さの低下が比較的早く、一部では保管容器の吊上げが困難なほどの強度低下が見受けられた。日光曝露による強度低下は耐候性試験の結果に基づく想定よりも早く進行しており、3年以内にマニュアル基準値を下回るケースが見受けられた。

謝辞

本研究の一部は、（地独）大阪産業技術研究所及び福島県ハイテクプラザとの共同研究により実施された。また、本研究の一部は、JSPS 科研費（JP18009391）の助成を受けて実施された。

本研究に使用した保管容器等の試料を入手するにあたり仮置場を管理する市町村の皆様大変お世話になりました。末筆ながら、ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 環境省：除染関係ガイドライン（平成25年5月 第2版（平成30年3月追補））、2018、
http://josen.env.go.jp/material/pdf/josen-gl-full_ver2_supplement_1803.pdf
（令和2年3月5日最終閲覧）。
- 2) 福島県：仮置場等技術指針（第5版）、2017、
<https://www.pref.fukushima.lg.jp/site/portal/kariokiba-gijutsushishin.html>
（令和2年3月5日最終閲覧）。
- 3) JIS Z 1651:2008「非危険物用フレキシブルコンテナ」ほか
- 4) 財団法人土木研究センター「耐候性大型土のう積層工法」設計・施工マニュアル、2012.
- 5) 環境省：中間貯蔵施設情報サイト、除去土壌等の輸送について、
<http://josen.env.go.jp/chukanchozou/transportation/>（令和2年3月5日最終閲覧）。
- 6) 環境省：仮置場の管理について（環境回復検討会（第15回））、2015、
<http://www.env.go.jp/jishin/rmp/conf/15/mat02-1.pdf>（令和2年3月5日最終閲覧）。
- 7) 環境省：第17回環境回復検討会議事録、p.30、2016、

- 8) 高橋、ほか：福島県内の除去土壌等仮置場における保管容器の長期耐久性の調査、ジオシンセティックス技術情報、Vol. 34、No. 2、2018.
- 9) 日本工業標準調査会：JIS B 7753「サンシャインカーボンアーク灯式の耐光性試験機及び耐候性試験機」，2007.
- 10) 日本遮水工協会：現場保管場所・仮置場の上部シート（通気性防水シート・遮水シート）および 下部シート等の自主基準（第3版），2014、
http://www.nisshakyo.gr.jp/kiyun_rev3.pdf（令和2年3月5日最終閲覧）.

仮置場資材の経年変化に係る化学分析試験

1. 背景・目的

前章までの報告では、仮置場資材の長期耐久性を評価してきた。その結果、従来は長期耐久性の指標とされてきた紫外線促進曝露試験から推測される劣化速度に比べ、実際の仮置場現地で日光曝露された一部資材の劣化が速いことが明らかになった。紫外線促進曝露試験では再現できない要因により劣化が促進されたと推測される。

劣化が進行した保管容器の一部はクレーン等による吊上げが不可能なほど強度が低下するケースも報告されており、仮置場管理や除去土壌等輸送における問題となっている。中間貯蔵施設への輸送作業において、保管容器が吊上げ時に破損することは、作業員の安全管理上の問題となる可能性や除去土壌等の輸送スケジュールの遅延等の影響が考えられる。

現場で発生しているこれらの技術的課題に対応するためには、保管容器等資材の劣化が促進された要因を特定し、必要に応じて対策を講じるための知見を収集する必要がある。劣化要因を特定するためには、引張試験や袋体性能試験のような、資材の力学特性に着目した試験を実施するだけでは必ずしも十分ではない。保管容器や遮水シート類は一種の高分子（樹脂）材料であり、高分子の持つ化学的・物理的特性に着目した、より精緻な分析評価が必要となる。

そこで本章では、仮置場で使用されている保管容器等資材の劣化要因を特定するため、各種化学分析試験により保管容器の劣化状況や高分子材料としての特性変化について調査する。また、これら化学分析の知見を基に、仮置場で使用されている保管容器の劣化状況を判定する手法の開発を目指す（図1）。除去土壌等の輸送の前に「この保管容器は吊上げても問題ないか」を簡便に判断できれば、除去土壌等の輸送や管理において有用と考えられる。

化学分析に着目した本研究テーマはまだ発展途上の段階であり、フェーズ2でも引き続き研究を進める予定である。今回のフェーズ1報告では、上記の研究目的達成に向けた調査の進捗状況について報告する。

2. 実施内容及び方法

除去土壌等保管容器のような高分子材料の劣化を評価するための手法を表1にまとめる。高分子材料の劣化時の特性変化には、力学特性の低下（引張強さ等）、酸性官能基の増加、分子量の低下、変色（黄変等）、ひび（クラック）の発生、等が考えられる。表1で挙げた手法は、これらの特性変化を検知し高分子材料の劣化状況を評価することが出来る。

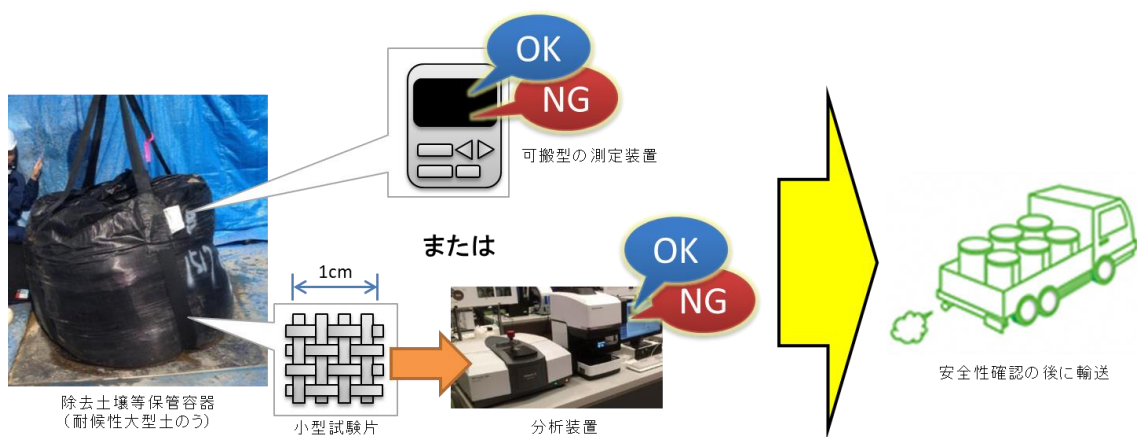


図1 保管容器の劣化状況判定手法のイメージ図

表1 高分子（樹脂）材料の劣化評価手法

名称	手法	特徴
引張試験	樹脂を破断するまで引っ張ることで強度を評価する。吊ベルトの引張強さを評価するのに最適。	大型の試験片（ベルト全幅 150cm 以上）を要する破壊試験である為、除去土壌保管容器に適用するのは困難。
比色計	酸化時の変色や光沢の変化を評価する。	試験片の採取が不要（非破壊試験） 仮置場でのオンサイト測定が可能。
TG-DTA	酸化開始温度の変化から酸化状態を評価する。	微小な試験片によって測定可能 (1cm×1cm 以下)
FT-IR	酸化状態の指標である carbonyl index の変化から酸化状態を評価する。	
ケミルミネッセンス	試料中の微量の過酸化物の発光を検知することで酸化劣化状態を評価する。	
ゲル浸透クロマトグラフィー (GPC)	樹脂の分子量分布から劣化状態を評価する。	
表面粗さ測定	樹脂表面の微細なクラックの量・深さを測定することで劣化状態を評価する。	

資材の劣化によって起こり得る問題の一つとして、保管容器を吊上げて輸送する時に吊ベルトが容器重量を支えきれずに破断することが考えられる。吊ベルトの引張試験を実施すれば吊ベルトの強度を直接確認できるが、保管容器を破袋してベルト試験片を採取する必要があり引張試験を実施した保管容器は使用不可能となることから、除去土壌等保管容器に対して本格的に適用することは困難である。研究目的の達成に

は、除去土壌等保管容器の耐久性に影響が出ないように、試験片採取が不要な分析方法、もしくは微小な試験片（1cm×1cm 以下）で劣化状況を評価できる分析方法の開発が必要となる（図 1）。今回の報告では、表 1 に記載された熱重量示差熱分析（TG-DTA）、赤外分光分析（FT-IR）、比色計及びケミルミネッセンス法について取り扱う。

なお、前章の調査において日光曝露された保管容器（耐候性大型土のう）に顕著な強度低下が見られたことから、今回の報告では耐候性大型土のう（ポリプロピレン製）を主な試験対象とする。

2. 1. 試験準備（保管容器の回収）

福島県内の仮置場等（図 2）で使用されている耐候性大型土のうについて、仮置場現地にて約 2～6 年経過した容器を調達し、その生地及び吊ベルトから試験片を作製した。また、上記の容器と同規格・同メーカーの未使用品に対して、耐候性試験機¹⁾を使用した紫外線促進曝露を行った（曝露条件は JIS Z 1651²⁾ に準拠。この時、促進曝露 300 時間は屋外使用 1 年に相当するとされる³⁾。本報告では、3,000 時間（屋外使用 10 年相当）処理した試験片を使用した。

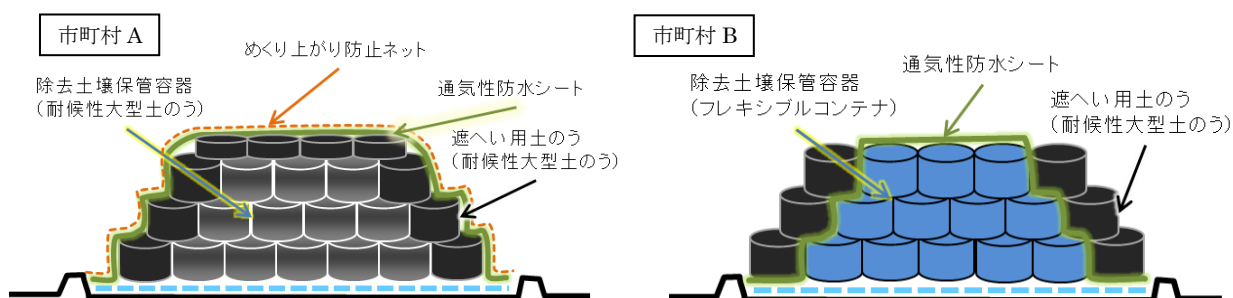


図 2 調査対象の仮置場のイメージ図
（※この他、地下型保管仮置場の市町村 C も調査対象を含む）

2. 2. 耐候性大型土のうの化学分析

2. 1 で準備した試験片に対して、高分子構造の劣化状態を評価するため、耐候性大型土のう（メーカー A）のベルト表面の赤外分光分析（Thermo Scientific、Nicolet iS50、ATR 法（顕微））を実施した。試験対象は、未使用品・紫外線促進曝露 3,000 時間・仮置場日光曝露 3 年の 3 種類を比較した。

また、耐候性大型土のう（メーカー A）生地の劣化評価には熱重量示差熱分析（TA Instruments、STD Q600）を実施した。昇温速度は 10°C/min、空気雰囲気（流量 100 ml/min）、最大温度 500°C で熱分解時の挙動を評価した。試験対象は、未使用品・紫外線促進曝露 3,000 時間・仮置場日光曝露 2.2 年の 3 種類を比較した。

3. 結果と考察

まず、耐候性大型土のう（メーカーA）の生地の TG-DTA 分析の結果を図 3 に示す。日光などによって劣化した高分子材料は、酸化開始温度が低温側にシフトする、即ち熱分解しやすくなることが知られている⁴⁾が、未使用品に対して促進曝露 3,000 時間の示差熱曲線は 200°C 近傍で低温側にシフトしており、劣化が進行していることが示唆された。一方で仮置場日光曝露品の示差熱曲線は 200°C~300°C の領域で未使用品とほぼ同じプロットを辿っていることから、仮置場日光曝露品の劣化は促進曝露 3,000 時間に比べてわずかであることを示している。しかし、前章の結果から、仮置場日光曝露品は促進曝露 3,000 時間よりも引張強さの低下が顕著であり、未使用品のおよそ半分程度まで強度が低下している。よって、TG-DTA による劣化評価と引張試験による劣化評価に食い違いが生じている。

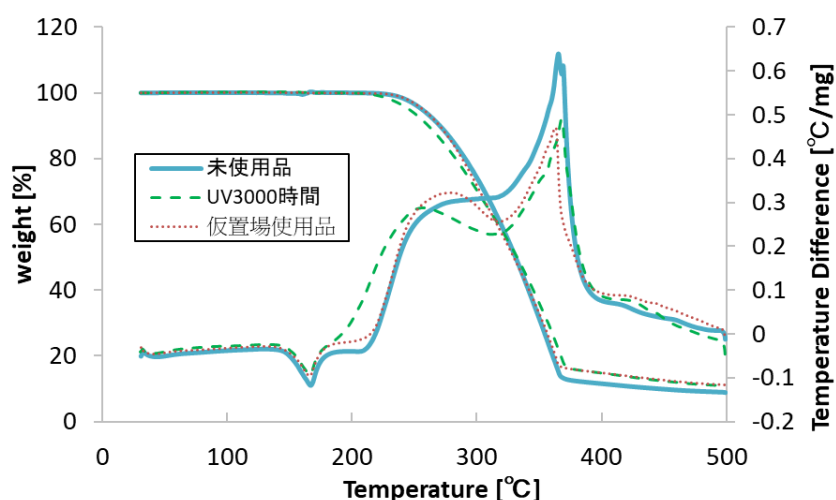


図 3 耐候性大型土のう (A) 生地の TG-DTA 分析

次に、耐候性大型土のう（メーカーA）のベルト表面の FT-IR 分析の結果を図 4 に示す。日光などによって劣化した高分子材料は酸化反応が進むため、カルボニル基由来のピーク（1,600~1,800 cm^{-1} 近傍）が増大することが知られている⁴⁾。実際に未使用品と促進曝露 3,000 時間を比較すると、促進曝露 3,000 時間の試料ではカルボニル基由来のピークが確認できる。一方で仮置場日光曝露品では、明確なカルボニル基由来のピークが確認できなかったことから、仮置場日光曝露品の酸性官能基量、すなわち劣化は促進曝露 3,000 時間に比べてわずかであると推測される。しかし、図 4 のベルト引張強度の値が示すとおり、仮置場日光曝露品の引張強さは促進曝露 3,000 時間に比べて明確に低下している。よって、TG-DTA と同様に、FT-IR による劣化評価でも引張試験との食い違いが生じていることが明らかになった。

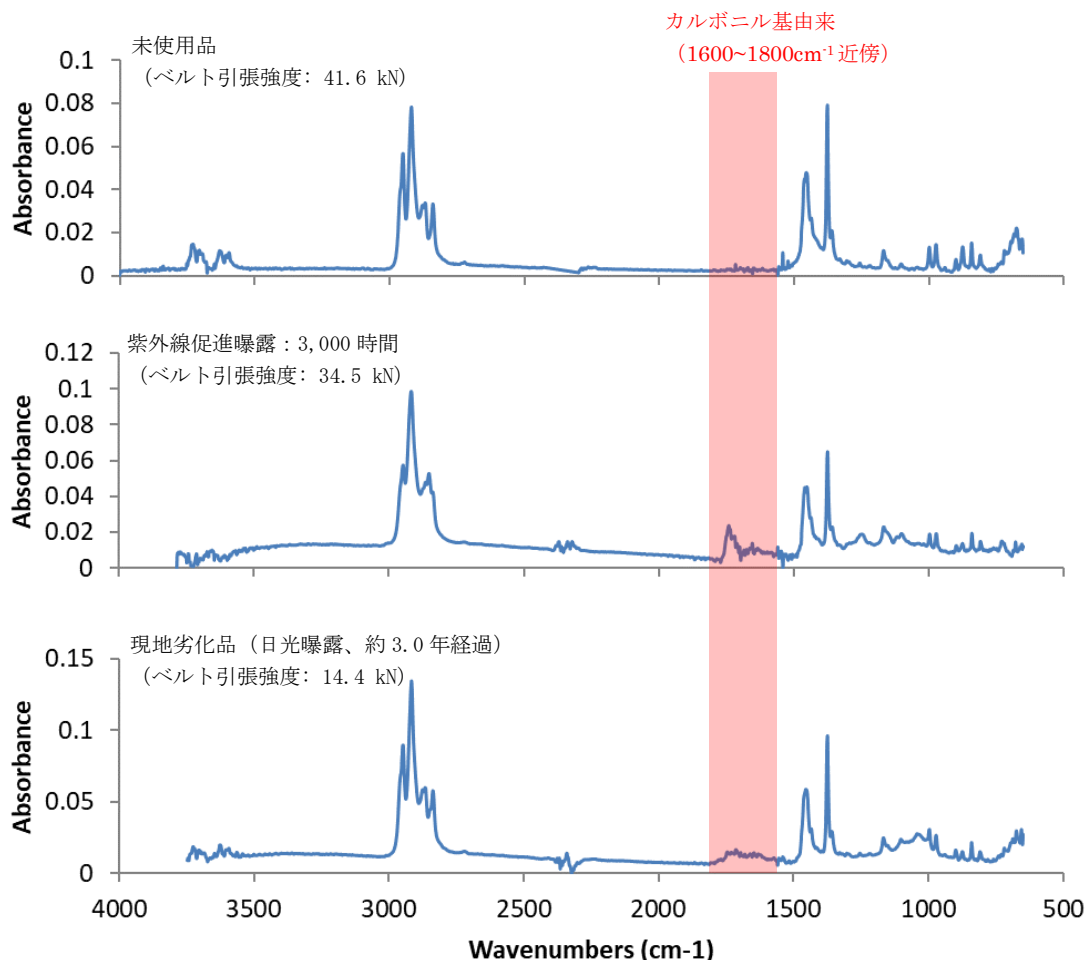


図4 耐候性大型土のう(A)ベルトのFT-IR分析

ポリプロピレン等の高分子材料が紫外線により劣化する際は、分子鎖切断による分子量の低下や酸性官能基の増大を伴う⁴⁾。上記のTG-DTAやFT-IRは、そのような分子レベルの化学的変化を検知する手法である。

また、比色計及びケミルミネッセンス法による分析の結果、未使用の保管容器と仮置場で劣化した保管容器を識別することができなかった。

本章の分析結果から、日光曝露された保管容器等資材の強度低下の主要因は、高分子の化学的劣化とは異なる可能性が示唆された。今後は、分子レベルの化学的変化に加えてより高次構造の変化（クラック発生による表面粗さの増大等）についても分析評価を実施する予定である。

4. まとめ

福島県内の除去土壌等仮置場で使用されている保管容器（耐候性大型土のう、ポリ

プロピレン製) について、化学分析による劣化状況調査を実施した。その結果、日光曝露された耐候性大型土の強度低下の主要因は、高分子の化学的劣化とは異なる可能性が示唆された。

今後は、「保管容器の劣化評価手法の開発」「保管容器の劣化要因の調査」という2つの研究目的を達成するため、引き続き調査を進める予定である。

劣化評価手法開発においては、分子量分析(ゲル透過クロマトグラフィー)及び表面粗さ測定の有用性を新たに検討する。また、今回報告した分析方法(TG-DTA、FT-IR)についてもより詳細な分析結果をとりまとめる。

劣化要因調査においては、日光曝露された保管容器の劣化状態の再現試験を実施する。劣化が促進された主要因は、紫外線とそれ以外の要因(クリープ負荷、温度変化等)による相乗効果であると推測されるため、クリープ試験等によって仮置場における劣化状況を疑似的に再現し、劣化が促進された要因を明らかにする。

謝辞

本研究の一部は、(地独)大阪産業技術研究所及び福島県ハイテクプラザとの共同研究により実施された。また、本研究の一部は、JSPS 科研費(JP18009391)の助成を受けて実施された。

本研究に使用した保管容器等の試料を入手するにあたり仮置場を管理する市町村の皆様大変お世話になりました。末筆ながら、ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 日本工業標準調査会: JIS B 7753 「サンシャインカーボンアーク灯式の耐光性試験機及び耐候性試験機」、2007.
- 2) 日本工業標準調査会: JIS Z 1651 「非危険物用フレキシブルコンテナ」、2008.
- 3) 財団法人土木研究センター「耐候性大型土の積層工法」設計・施工マニュアル、2012.
- 4) 福島県ハイテクプラザ: プラスチックの環境レポート : 生産サイドからの技術的アプローチ : 高分子材料の加工および使用雰囲気の影響する環境技術、2001.

不陸対策実証試験とその経過観察実施結果

1. 背景・目的

福島県内の除染活動で発生した除去土壌等は、中間貯蔵施設へ輸送されるまでの間、除染を実施した現場や仮置場で一時保管されている。仮置場の維持管理は市町村が行っているが、維持管理を行う上での技術的課題が挙げられている。その課題の一つに、可燃性除染廃棄物の減容等の影響による仮置場頂部における不陸の発生がある。仮置場頂部に不陸が発生すると、降雨や降雪の影響により、不陸箇所に滞水が発生する。滞水が発生すると、上部シートに対し、溜まった水による応力がかかり、その結果シートの破れにつながる可能性がある。仮置場を維持管理する市町村では、シートの破れ等につながらないように、定期的に排水作業を行っているものの、降雨降雪があれば滞水が発生するため、費用面や労力面で負担がかかるといったことで課題となっている。

そうした市町村の課題に対し、福島県では、市町村除染技術支援事業（市町村等からの課題・要望に対する現地における実証試験等の実施・評価を行い、その結果得られた技術・知見を市町村が活用することを目的に実施した事業）において、不陸対処方法を検討するための実証試験を実施した¹⁾。本研究では、実証試験実施後に、試験場所において経過観察を実施し、施工効果を確認した。

2. 実証試験内容

2. 1. 実証技術

既存の仮置場上部シート上に、軟弱地盤上の盛土補強材等に使用される一軸延伸タイプのジオグリッドを敷設し、敷設したジオグリッドの延伸方向に吊り下げ荷重を下げた後、その上から新たな上部シートを敷設する技術を実施した。

本技術を施工した結果、敷設したジオグリッドの機能により、上部シートに載荷重（今回の場合、滞水、積雪）がかかった場合でも荷重が分散される。また、ジオグリッドよりも上部シートの方が伸びが大きいことから、上部を完全なフラットな状態にすることは難しいものの、なだらかな沈下の発生に留まり、陥没上の沈下の発生を防止することができる。この結果、上部シートの損傷を防止することが見込まれる。なお、ジオグリッドに対する吊り下げ荷重によるテンションにより、降雨や降雪による滞水が原因で発生した沈下は、滞水がなくなることで、施工直後の状態に復元することが見込まれる。

2. 2. 試験場所

福島県県南地区の仮置場における、天端部に滞水した不陸が発生している保管場所を試験場所とした。試験場所の基本情報を表1に示す。また、施工前の試験場所の状況を図1に示す。

表1 試験場所の基本情報

試験場所の面積	約 420m ² (天端部) 長辺部：約 32m、短辺部：約 13m
保管物の保管開始年月	平成 28 年 3 月
地盤改良の実施状況	無
保管物の種類	除去土壌、可燃性除染廃棄物
保管物の積み方	1、2 段目：除去土壌 3 段目：除去土壌、可燃性除染廃棄物
上部シートの種類	通気性防水シート
上部シートの修復	無
保管容器の種類	フレキシブルコンテナ
ガスの発生状況	無
不陸の発生原因	<ul style="list-style-type: none"> ・可燃性除染廃棄物の腐敗 ・上段保管物の荷重による圧密沈下



図1 施工前の試験場所の状況

2. 3. 施工方法

既存の仮置場上部シート上に一軸延伸タイプのジオグリッドを敷設し、敷設したジオグリッドの延伸方向に吊り下げ荷重を下げた後、その上から、通気性防水シート等を敷設した。ジオグリッドの敷設は、図2に示すジオグリッドの縦・横方向が、仮置場天端部短辺方向に縦方向、仮置場天端部長辺方向に横方向となるようにした。施工全体のフローを以下に、施工状況を図3にそれぞれ示す。

実証技術施工後は、試験場所の経過観察を行い、天端部において目視で確認された滞水した不陸の状況確認及び最深地点における深さ、短辺方向の長さ及び長辺方向の長さの測定を行った。なお、経過観察の実施頻度は、施工1年目は1ヶ月に1回程度、施工

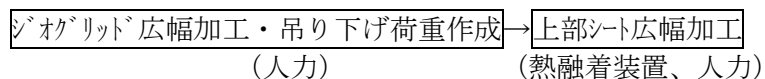
2年目は3ヶ月に1回程度とし、2017年1月～2018年12月の期間で実施した。経過観察実施の様子を図4に示す。



図2 ジオグリッド（一軸延伸タイプ）の外観及び模式図
（前田工織総合カタログより抜粋）

【施工全体フロー】

・工場加工



・現場施工

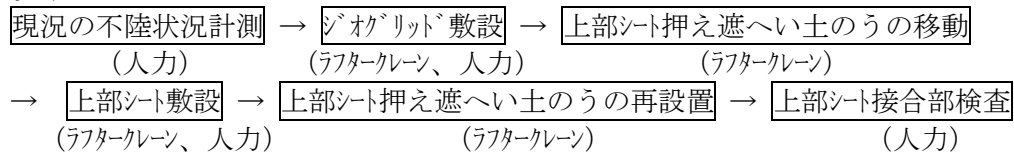


図3 実証技術の施工状況（左：ジオグリッド敷設、右：通気性防水シート敷設）



図4 経過観察実施の様子

2. 4. 施工効果の評価

実証技術の施工による、陥没状の沈下の防止効果及びその効果による上部シートの損傷の防止について、本実証試験で使用したジオグリッドの品質管理上、許容できる沈下深さ（以下「許容沈下深さ」という。）を以下の方法を用いて算出し、許容沈下深さと現場で測定した実測の滞水した不陸の深さを比較し評価を行った。

【許容沈下深さの算出方法】

- ・実証試験で使用したジオグリッドの品質管理上の伸び率は、表2に示す製品の規格・特性から、横方向で15%、縦方向で4.5%となる。
- ・不陸発生箇所は、図5のとおり円弧状に伸びていると仮定し、実証試験で使用したジオグリッドの品質管理上の伸び率における沈下深さを許容沈下深さとする。
- ・なお、実証試験で使用したジオグリッドの品質管理伸び率における沈下深さは、表3、表4の関係が示される。
- ・許容沈下深さの算出は、表3、表4の関係より、現地で測定した不陸発生箇所の短辺方向の幅を B_1 、長辺方向の幅を B_2 としたときの許容沈下深さをそれぞれ H_1 、 H_2 としたときに示される以下の関係式を用いて行う。

（許容沈下深さの算出式）

短辺方向許容沈下深さの推定の関係式 $H_1=0.131 \times B_1 \dots \textcircled{1}$

長辺方向許容沈下深さの推定の関係式 $H_2=0.242 \times B_2 \dots \textcircled{2}$

表2 実証試験で使用したジオグリッドの製品の規格と特性

方向	材質	品質管理伸び率	備考
縦方向	アラミド繊維	4.5%	「アデム HG-50」の品質管理伸び率を適用
横方向	高密度ポリエチレン	15%	樹脂特性に基づく伸び率を適用

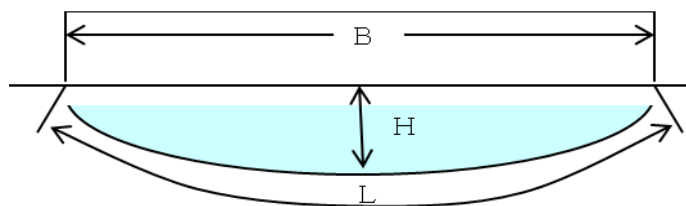


図5：不陸発生状況のイメージ

(B：沈下前距離(幅)、L：沈下後の円弧長、H：沈下深さ)

表3 縦方向ジオグリッド伸び4.5%時の深さと長さの関係

単位：m

幅(B)	深さ(H)	円弧長(L)		幅(B)	深さ(H)	円弧長(L)
0.5	0.065	0.523		3.0	0.392	3.135
1.0	0.131	1.045		4.0	0.523	4.180
1.5	0.196	1.568		5.0	0.653	5.225
2.0	0.262	2.090		10.0	1.308	10.45

表4 横方向ジオグリッド伸び15%時の深さと長さの関係

単位：m

幅(B)	深さ(H)	円弧長(L)		幅(B)	深さ(H)	円弧長(L)
0.5	0.121	0.525		3.0	0.727	3.15
1.0	0.242	1.050		4.0	0.970	4.20
1.5	0.364	1.575		5.0	1.212	5.25
2.0	0.485	2.100		10.0	2.424	10.50

3. 結果・考察

3.1 不陸の発生状況

試験場所において経過観察を行い、滞水した不陸の発生状況を確認した。経過観察時の試験場所の様子を図6に示す。また、経過観察時に確認された不陸の発生位置の模式図を図7-1及び図7-2に示す。

不陸の発生状況について、経過観察を行った中で確認された不陸の発生数の最大は施工前と同程度であった。また、不陸の発生数は、経過観察を行った時期により小さな不陸が乾燥等により消失しており、変動が確認された。



図6 経過観察時の試験場所の様子

3. 2 施工効果の評価

試験場所において経過観察を行い、滞水した不陸の最大深さ、短辺方向及び長辺方向の幅の長さを測定した。測定した短辺方向及び長辺方向の幅の長さより、「2. 4. 施工効果の評価」における①、②式を用いて許容沈下深さを算出した。算出した許容沈下深さは実測の深さと比較し、許容沈下深さに対する実測深さの割合を求めた。不陸の深さ測定結果の一部を図8に示す。また、各不陸における許容沈下深さに対する実測深さの割合を求めた結果について、短辺方向（ジオグリッド縦方向）を図9に、長辺方向（ジオグリッド横方向）を図10にそれぞれ示す。

不陸の深さについて、施工前と施工後の発生位置は全く同じでないため、単純な比較とはならないが、経過観察時に測定した深さは、経過観察を行った時期により変動があるものの、施工前と比較して減少していることが確認できた。

短辺方向における許容沈下深さに対する実測深さの割合は、ほぼ全ての不陸において100%以下であるのが確認できた。また、長辺方向における許容沈下深さに対する実測深さの割合は、不陸Bを除いたほぼ全ての不陸において100%以下であるのが確認できた。不陸Bは施工前の不陸で最も深さが大きく、かつ短辺方向に連続して発生した不陸cの上部に位置していた。ジオグリッドを敷設した際、短辺方向に荷重を下げているものの、テンションが足りておらず、既に陥没状となっていた可能性がある。ジオグリッド自身が敷設時に既に陥没状となっていた場合、ジオグリッド自体の伸びは品質管理伸び率（15%）に至らないため、本来の許容沈下深さ未満となる。これが一因となったことから不陸Bにおける長辺方向における許容沈下深さに対する実測深さの割合が100%を超えた結果となったと考えられる。なお、ジオグリッドが本来の品質管理伸び率に至っていないこと、シート自身にも伸びがあることから、不陸Bのジオグリッドやシートの損傷には至らないと考えられる。

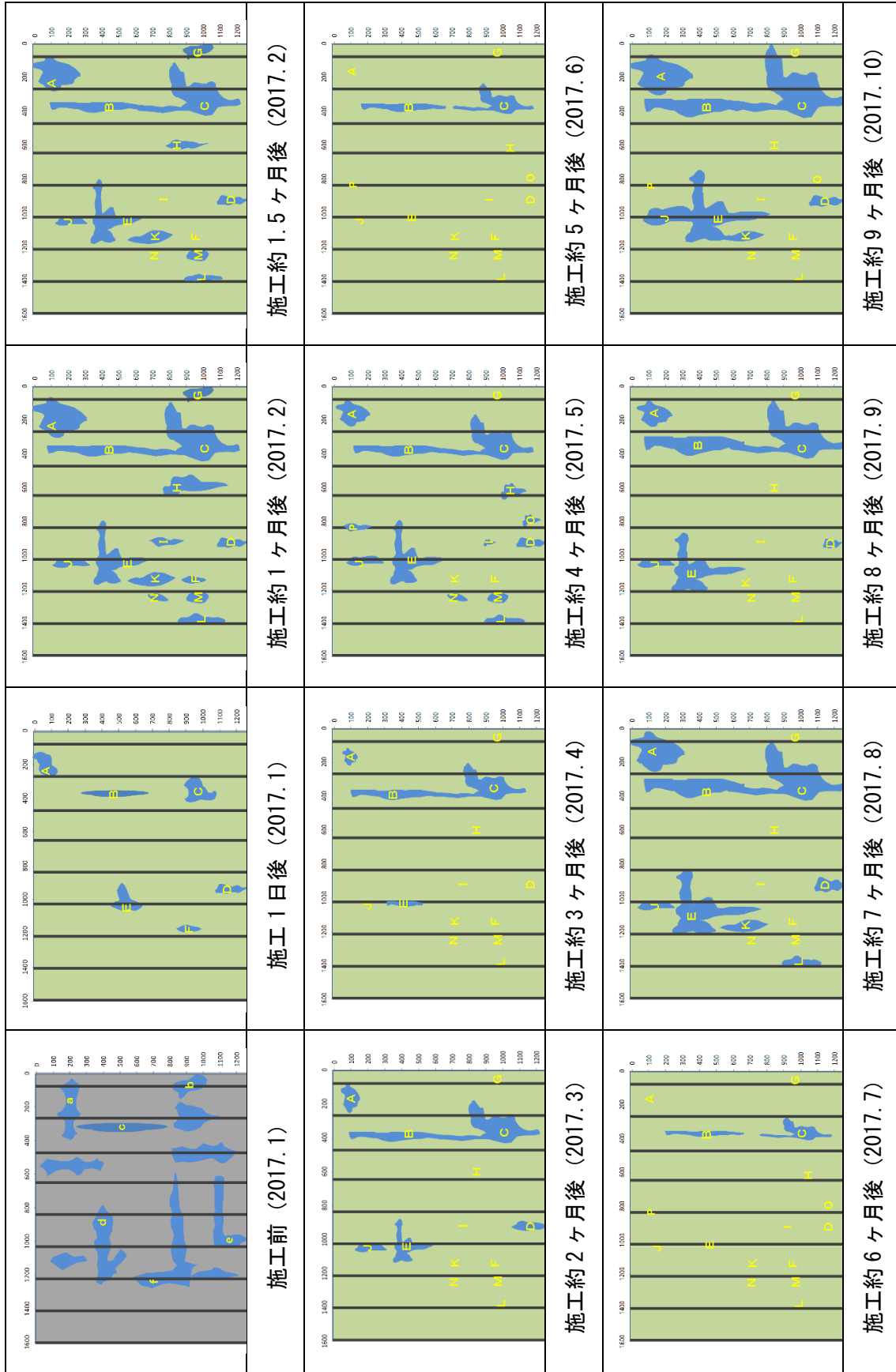


図 7-1 不陸発生位置の模式図

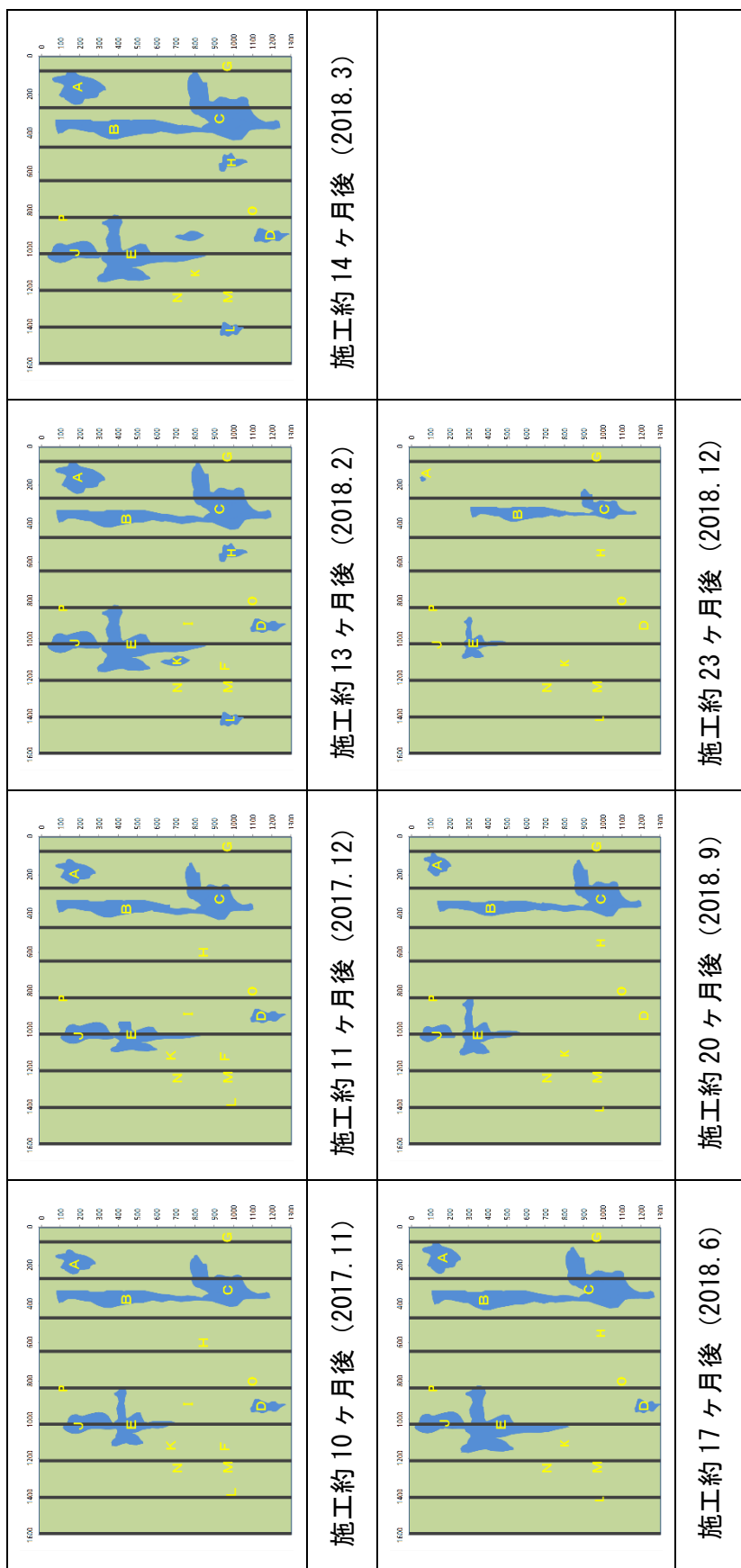
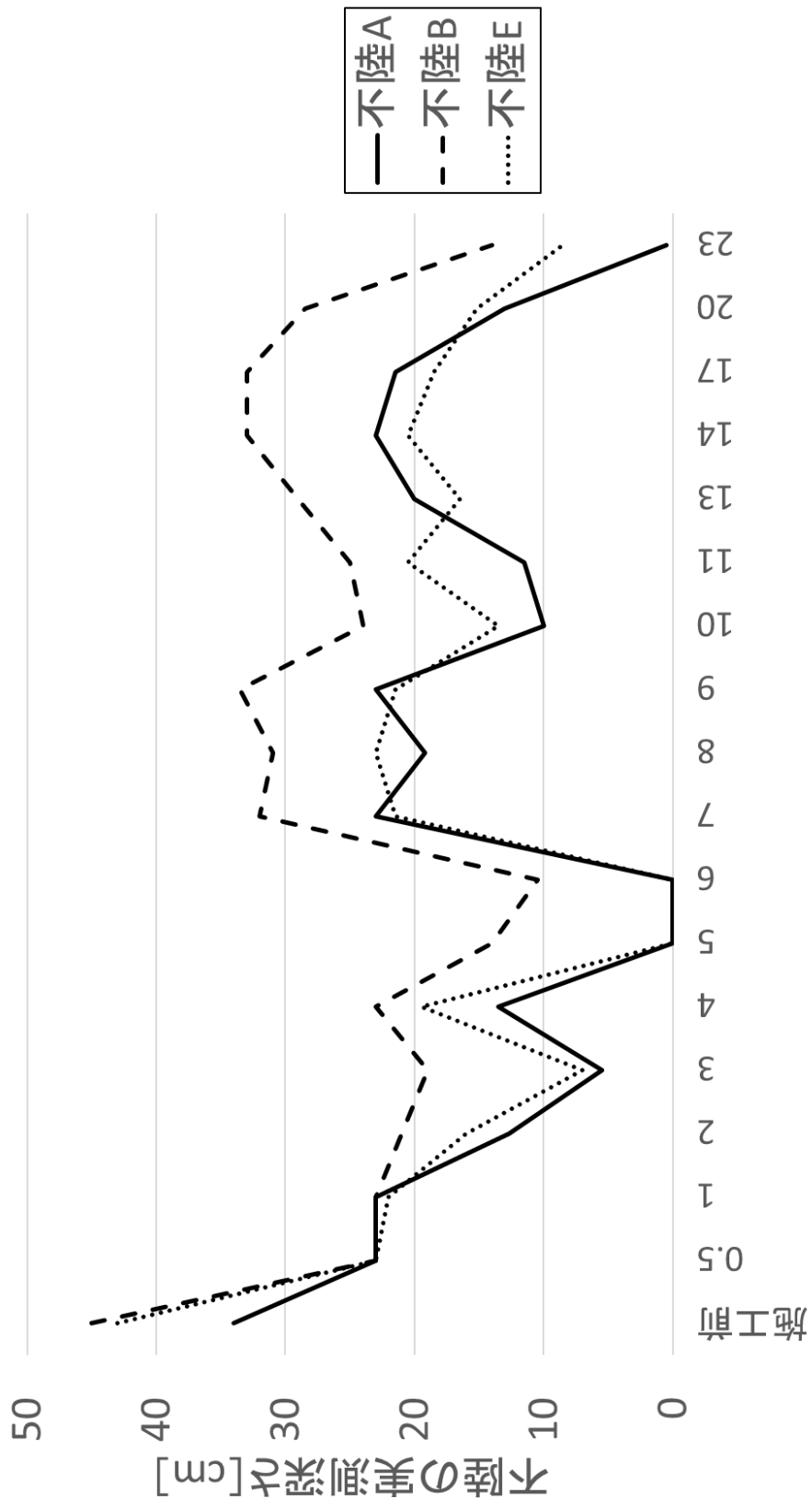


図7-2 不陸発生位置の模式図



施工からの経過月 [ヶ月]

図 8 不陸の深さ測定結果

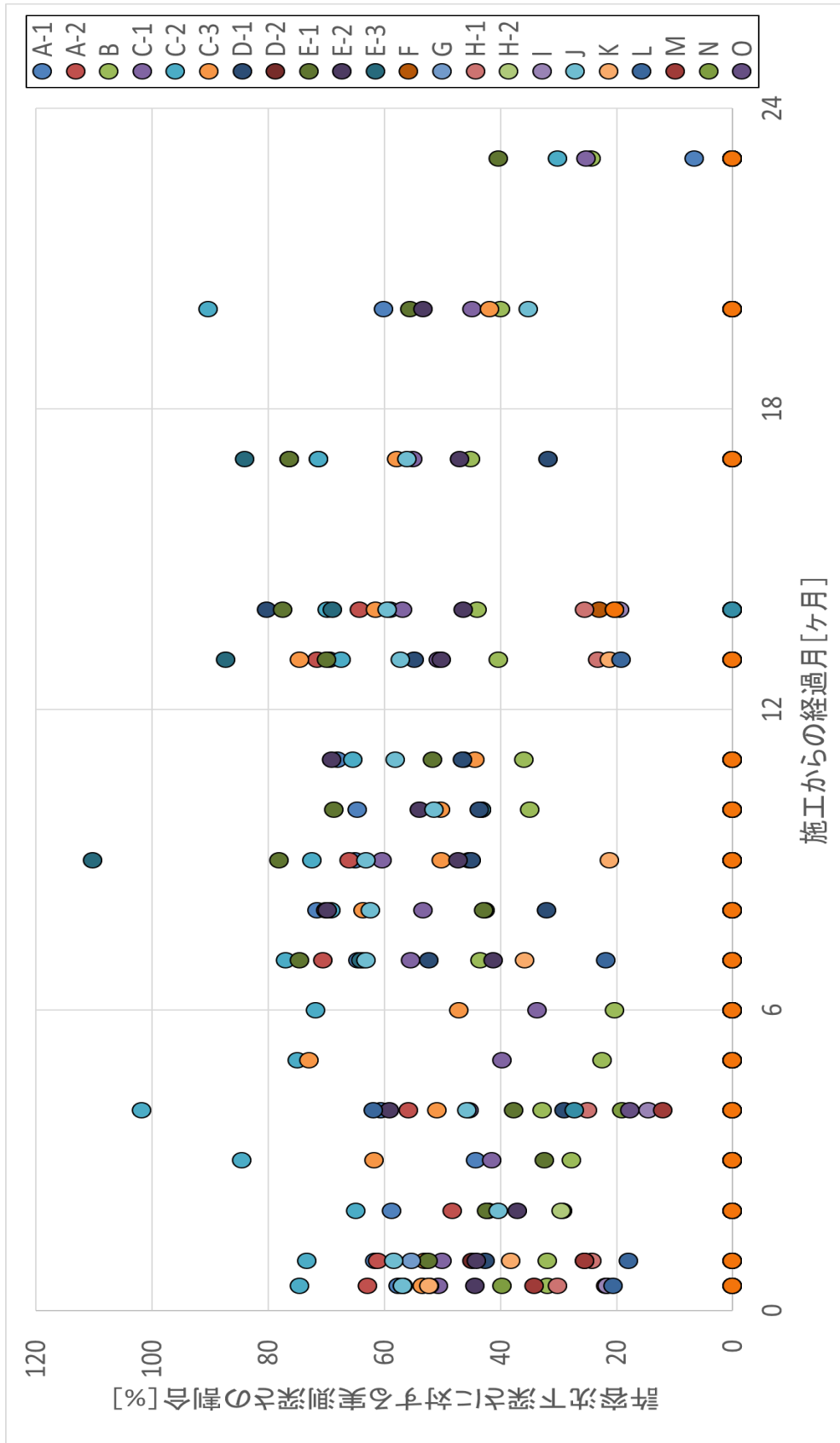


図9 短辺方向（ジオグリッド縦方向）における許容沈下深さに対する実測深さの割合

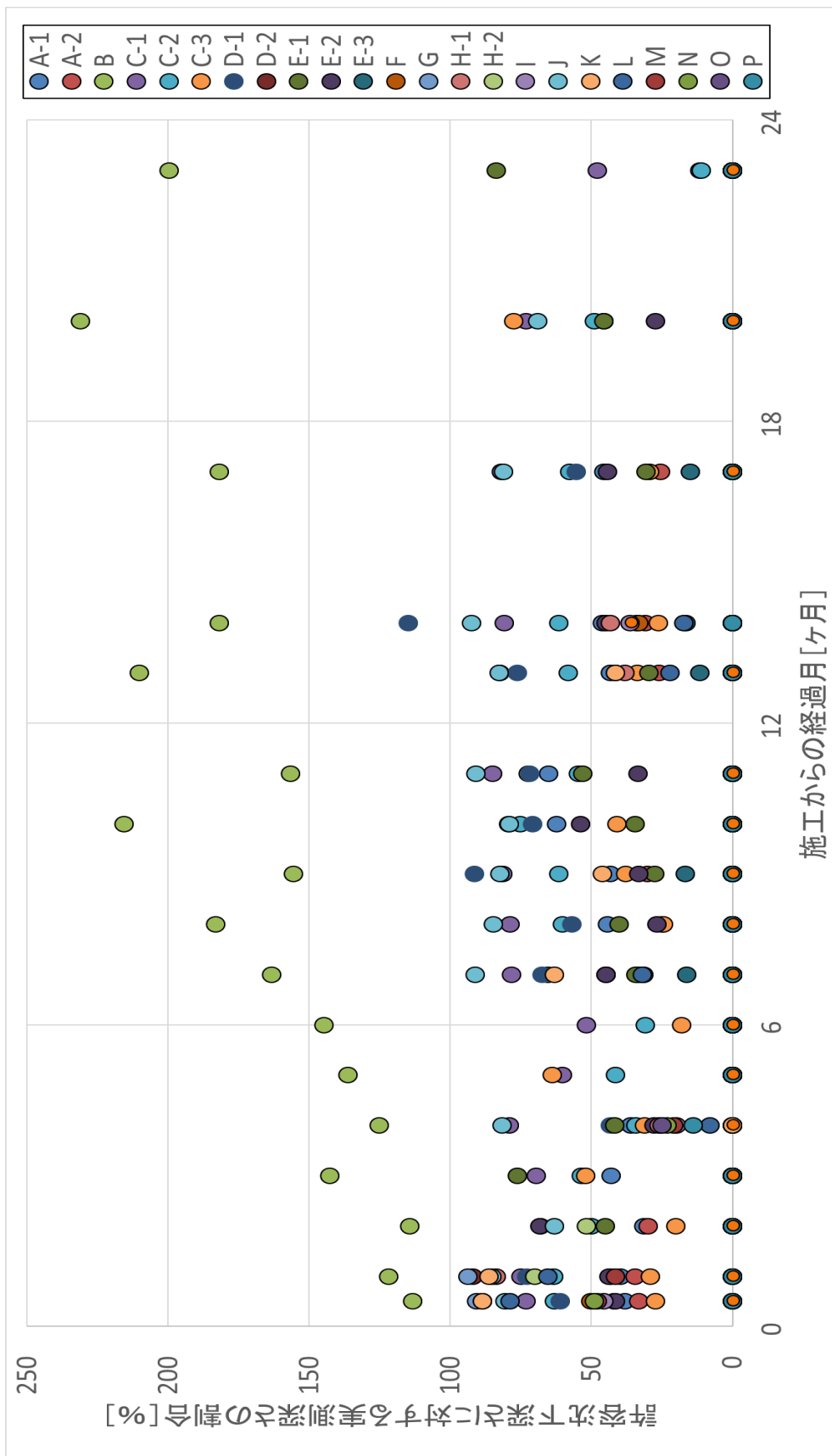


図 10 長辺方向（ジオグリッド横方向）における許容沈下深さに対する実測深さの割合

4. まとめ

今回実施した、仮置場の天端部で発生した滞水の不陸に対する実証試験について、実施した経過観察の範囲では、敷設したジオグリッドの機能により、乾燥等により滞水が解消されたこと、施工前と比較して深さが減少したこと、ほぼ全ての不陸の深さが許容沈下深さ未満であることから、上部シートの損傷の防止対策について、一定の効果があることが確認できた。

謝辞

末筆ながら、お忙しい中本調査に協力いただきました市町村の御担当者の方々に御礼を申し上げます。

参考文献

1) 福島県環境創造センター、「平成 28 年度市町村除染技術支援事業実証試験実施結果報告書」、平成 29 年 4 月

<https://www.pref.fukushima.lg.jp/sec/298/28sityousonjosen.html>

(令和 2 年 3 月 5 日最終閲覧) .

仮置場原状回復作業時の課題への対応策の検討に係る基礎調査

1. 背景・目的

福島県内の除染活動で発生した除去土壌等は、除染を実施した現場や仮置場で一時保管された後、順次中間貯蔵施設への輸送作業が行われており、福島県外で最終処分するまでの間、安全かつ集約的に管理・保管されている。中間貯蔵施設への除去土壌等の輸送量は年々増加しており、保管する全ての除去土壌等の輸送が終了した仮置場も出てきている。輸送が終了した仮置場は、除去土壌等を保管していた場所の跡地（以下「保管場所跡地」という。）において空間線量率の測定や土壌中の放射性セシウム濃度等の測定を行い、跡地の汚染が無いことを確認したうえで、従前の土地利用を基本として原状回復が行われる。仮置場の原状回復は、今後中間貯蔵施設への除去土壌等の輸送量の増加に伴い、実施数の増加が見込まれる。

そうした中、福島県環境創造センターでは、今後実施数の増加が見込まれる、仮置場の原状回復について、作業を行う上での技術的課題への対応策等を検討するための調査研究を行うこととし、保管場所跡地の土壌汚染有無確認調査及び保管場所跡地の土壌硬度調査を実施した。

2. 実施内容

2. 1. 跡地の土壌汚染有無確認調査

仮置場跡地の原状回復を実施する際に実施する、除去土壌等を搬出し終えた仮置場における保管場所跡地の土壌汚染が無いことを確認するための空間線量率等測定について、より効果的な手法を検討するため、実際の仮置場跡地において、跡地土壌の汚染有無確認調査を行った。

2. 1. 1. 実施方法

跡地土壌の汚染有無確認調査として、除染関係ガイドラインに準拠して実施する方法と、面的な放射線量の把握が可能である歩行サーベイ機器を利用する方法の2方法を実施した。また、実施した結果より、跡地における汚染有無の判断も行った。

2. 1. 1. 1. 除染関係ガイドラインに準拠する方法

除染関係ガイドライン（第2版、環境省、平成28年9月追補）の条件に準拠して対象地点を選定し、選定した地点の空間線量率測定を行った。

空間線量率測定では、NaIシンチレーション式サーベイメータ（以下「サーベイメータ」という。）を使用して、地上1m高さの空間線量率測定を行った。測定では、サーベイメータの時定数を10に設定し、測定地点の直上に検出器が来る状態で90秒待機し、その後10秒おきに5回指示値を読みとった。

【除染関係ガイドライン（第2版、環境省、平成28年9月追補）記載内容】

・跡地汚染確認対象の大きさが20m×20mを超える場合

対象場所において、除去土壌等を置いていた区画の約10mメッシュで分けした箇所を土壌採取地点とする。

・跡地汚染確認対象の大きさが20m×20m未満の場合

対象場所の四隅及び中央1ヶ所を土壌採取地点とする。

2. 1. 1. 2. 歩行サーベイを利用する方法

保管場所跡地の面的な放射線量の把握が可能な、歩行サーベイ機器と呼ばれる機器を使用して線量測定を行い、線量分布の確認を行った。作業では、環境創造センターが保有する歩行サーベイ機器（以下「センター保有測定器」という。）を使用した。機器の性能等について以下に示す。

【センター保有測定器の性能等】

- ・車載型の空間線量率測定器である KURAMA-II について、バックパック型とすることで歩行サーベイできるよう改良した機器（図1のとおり）。
- ・GPS機能を有しているため、測定した結果を地図上にプロットすることができ、放射線量分布図を作成できる。



図1 センター保有測定器

2. 1. 2. 実施場所

福島県内の汚染状況重点調査地域における仮置場3箇所を実施場所とした。対象とした仮置場は、全ての保管場所からの除去土壌等の輸送が終了した、福島県内会津地域の仮置場A、福島県内浜通り地域の仮置場B及び福島県内県南地域の仮置場Cである。それぞれの仮置場における調査対象場所とした保管場所跡地を図2に示す。

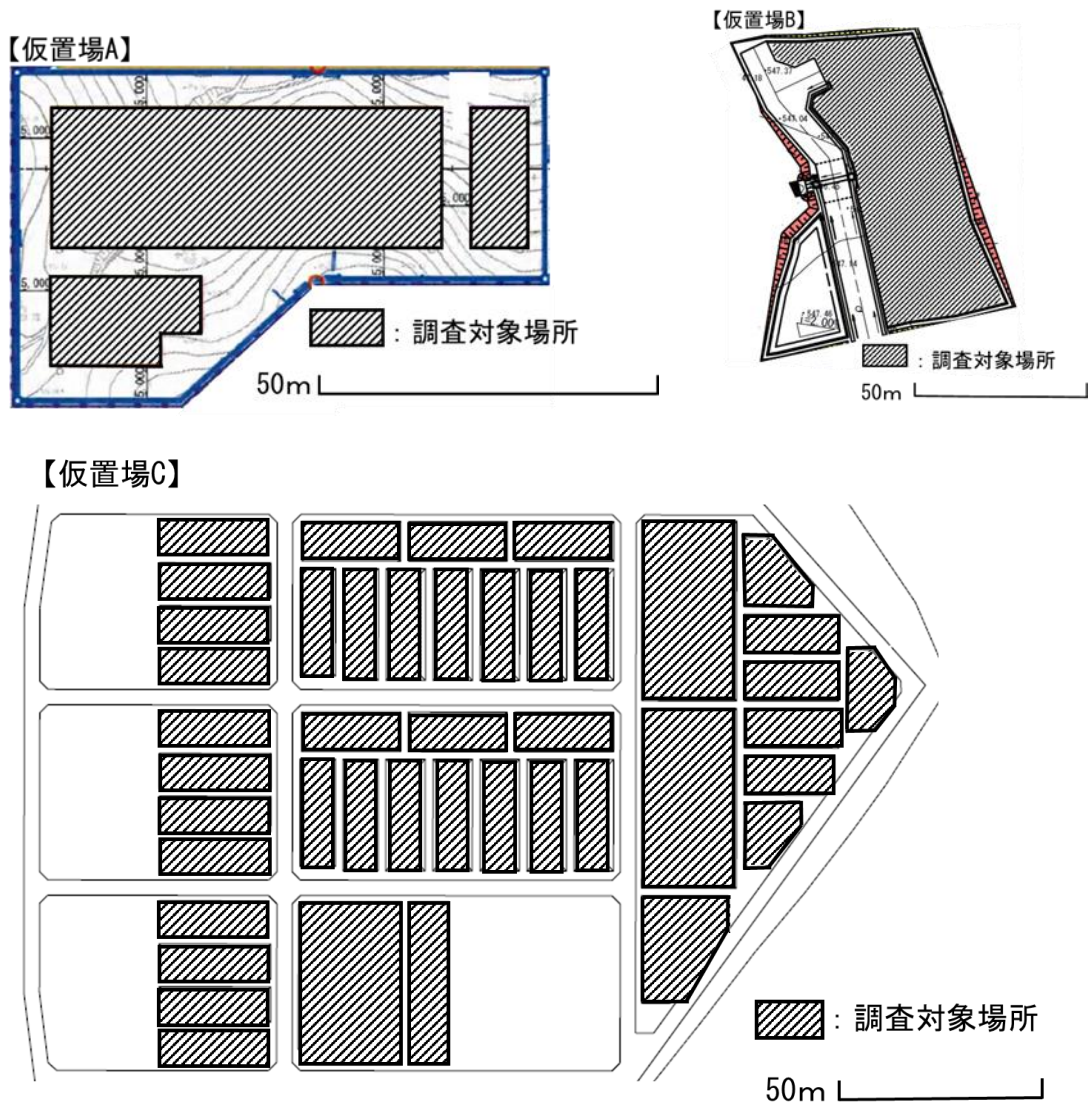


図2 各仮置場における調査対象場所

2. 1. 3. 測定地点の選定

対象とした仮置場の調査対象場所の大きさ及び形状に応じて、除染関係ガイドライン（第2版、環境省、平成28年9月追補）を基本としつつ、より精緻に測定を行えるよう設定した表1の考えのもと、測定地点を選定した。仮置場Aの調査対象場所1箇所における測定地点の一例を図3に示す。

表1 測定地点の考え方

保管場所の跡地の大きさが20m四方より大きい場合
<ul style="list-style-type: none"> ・ 除染関係ガイドラインを基本として選定した地点 対象地を約10mメッシュに区切った際の各メッシュの中心 ・ より精緻な測定のため追加で選定した地点 各メッシュの四隅部分及び対象地の中心
保管場所の跡地の大きさが20m四方より小さい場合
<ul style="list-style-type: none"> ・ 除染関係ガイドラインを基本として選定した地点 対象地の四隅部分及び対象地の中心 ・ より精緻な測定のため追加で選定した地点 その他対象地の隅部分等、現場の形に合わせて選定した地点

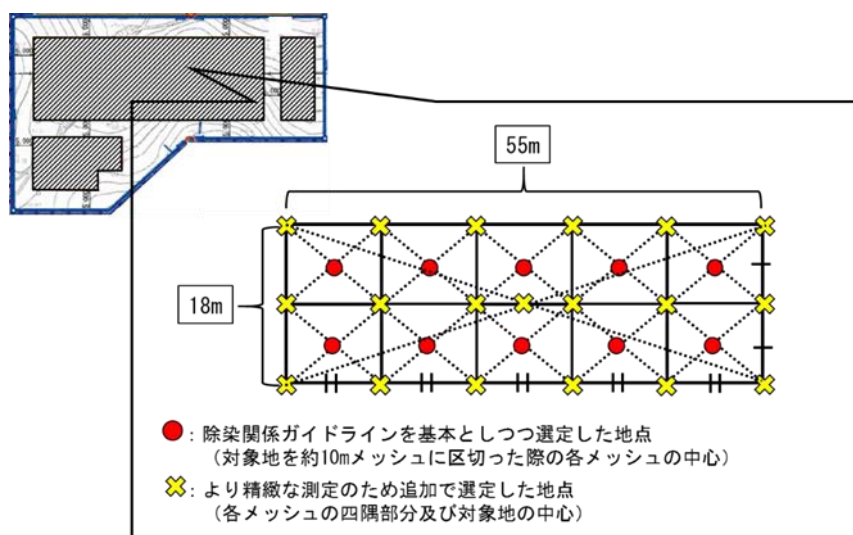


図3 仮置場 A における測定地点の一例

2. 1. 4. 跡地汚染有無の確認

空間線量率の測定結果から、実施場所における跡地の汚染有無の確認を行った。確認方法は、除染関係ガイドラインでは、「除去土壌等の保管開始後の仮置場で測定した空間線量率等は、除去土壌等の保管開始前の空間線量率等の変動幅と比較する」とされていることから、実施場所の仮置場における「保管開始前に測定した空間線量率の変動幅」と、「保管場所跡地で測定した空間線量率」を比較し、実施場所における保管場所跡地の汚染有無を確認した。なお、保管開始前の測定結果は、仮置場を設置する市町村から提供を受けた。

2. 2. 跡地の土壌硬度調査

保管場所跡地について、除去土壌等の保管による跡地土壌の締固まりの程度を確認するため、2種類の方法を用いて土壌硬度調査を行った。

2. 2. 1. 実施方法

2. 2. 1. 1. コーンペネトロメータを使用する方法

実施場所とした仮置場における保管場所跡地において、「2. 2. 3」に記載の考えの下で調査地点を選定し、選定した地点においてコーンペネトロメータを使用して土壌硬度調査を実施した。コーンペネトロメータを使用して土壌硬度調査を実施するにあたり、貫入速度は1cm/sとして、10cm貫入毎に荷重計の読値を記録した。なお、貫入作業は、100cmに至るまで実施することとした。使用したコーンペネトロメータを図4に示す。



図4 コーンペネトロメータ

2. 2. 1. 2. 山中式土壌硬度計を使用する方法

実施場所とした仮置場における保管場所跡地において、「2. 2. 1. 1」と同様の考えの下で対象地点を選定し、選定した地点において山中式土壌硬度計を用いて土壌硬度調査を実施した。山中式土壌硬度計を使用して土壌硬度調査を実施するにあたり、図5のような試掘を現地に作成し、その断面を対象として調査を実施した。調査は、断面の頂上部を0cmとし、5cm深さ毎に硬度計を貫入し、100cm深さに至るまで実施した。なお、測定は3反復とし、その平均を調査結果とした。山中式土壌硬度計を図6に示す。

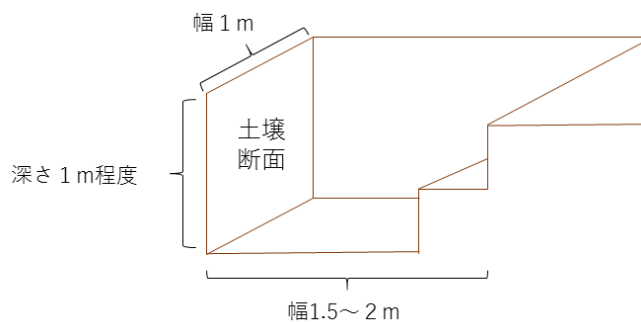


図 5 作成する試掘の例



図 6 山中式土壌硬度計

2. 2. 2. 実施場所

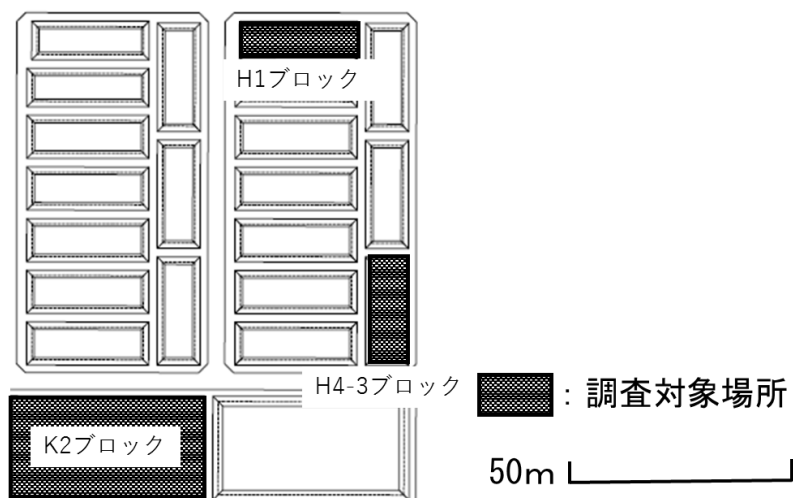
2. 2. 2. 1. コーンペネトロメータを使用する方法

福島県内の汚染状況重点調査地域における仮置場 2 箇所を実施場所とした。対象とした仮置場は、福島県内県南地域の仮置場 D 及び福島県内浜通り地域の仮置場 E である。仮置場それぞれの情報を表 2 に、実施場所における調査対象場所を図 7 にそれぞれ示す。

表 2 実施場所とした仮置場の情報

仮置場名	元土地利用	調査区画	保管物種類	保管面積	保管期間
仮置場 D	山林	H1 ブロック	可燃性除染廃	約 110m ²	約 3 年
		H4-3 ブロック	棄物	約 120m ²	約 1.5 年
		K-2 ブロック	除去土壌	約 840m ²	約 3 年
仮置場 E	運動場	A3 ブロック	除去土壌	約 270m ²	約 2 年
		B1 ブロック	可燃性除染廃 棄物	約 250m ²	約 3 年

【仮置場D】



【仮置場E】

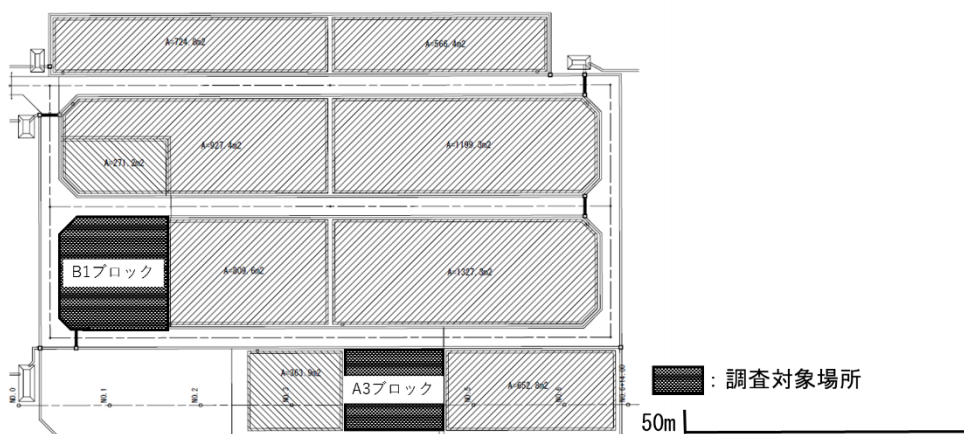


図7 実施場所における調査対象場所

2. 2. 2. 2. 山中式土壌硬度計を使用する方法

福島県内の汚染状況重点調査地域における仮置場2箇所を実施場所とした。対象とした仮置場は、福島県内県南地域の仮置場F及び福島県内浜通り地域の仮置場Gである。仮置場それぞれの情報を表3に、実施場所における調査対象場所を図8にそれぞれ示す。

表3 実施場所とした仮置場の情報

仮置場名	元土地利用	調査区画	保管物種類	保管面積	保管期間
仮置場 F	牧草地	C4 ブロック	除去土壌及び	約 560m ²	約 3 年
		D1 ブロック	可燃性除染廃 棄物	約 2,200m ²	約 3 年
		Blank [※]	—	—	—
仮置場 G	山林	ブロック 2	除去土壌及び 可燃性除染廃 棄物	約 250m ²	約 4 年

※:Blank とは、実施場所とした仮置場内において除去土壌等を設置していなかった箇所を示す。

【仮置場F】



【仮置場G】

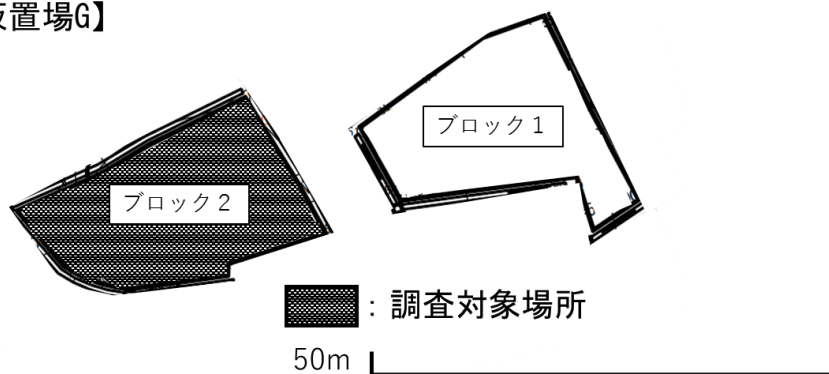


図8 実施場所における調査対象場所

2. 2. 3. 測定地点の選定

実施場所における各調査区画について、図9のように測定地点を選定した。選定した地点は、各調査区画における中心点、区画の端点及び前記2点の中心点の計3地点とし、それぞれ「対象調査区画A地点」、「対象調査区画C地点」及び「対象調査区画B地点」とした。

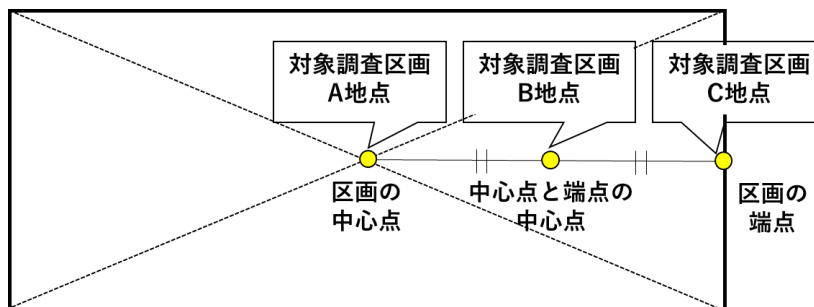


図9 測定地点の選定箇所

3. 結果・考察

3. 1. 跡地土壌の汚染確認調査

3. 1. 1. 除染関係ガイドラインに準拠する方法

仮置場A、仮置場B及び仮置場Cについて、保管場所跡地における空間線量率の測定結果等をそれぞれ表4に示す。

仮置場Aについて、保管場所跡地における空間線量率の測定結果は最大0.05 μ Sv/h、保管開始前に測定した空間線量率の変動幅は0.05~0.18 μ Sv/hだった。仮置場Bについて、保管場所跡地における空間線量率の測定結果は最大0.13 μ Sv/h、保管開始前に測定した空間線量率の変動幅は0.26~0.40 μ Sv/hだった。仮置場Cについて、保管場所跡地における空間線量率の測定結果は最大0.07 μ Sv/h、保管開始前に測定した空間線量率の変動幅は0.03~0.14 μ Sv/hだった。

仮置場A、仮置場B及び仮置場Cいずれにおいても、保管場所跡地で測定した空間線量率は、保管開始前に測定した空間線量率の変動幅に収まっているか、大きく下回っていることが確認できた。

表4 保管場所跡地における空間線量率の測定結果等

	仮置場 A	仮置場 B	仮置場 C
測定地点数	38	23	457
保管場所跡地での測定結果	0.05 μ Sv/h ^{※1}	0.13 μ Sv/h ^{※1}	0.07 μ Sv/h ^{※1}
保管開始前での測定結果	0.12 μ Sv/h ^{※2}	0.33 μ Sv/h ^{※2}	0.09 μ Sv/h ^{※2}
保管開始前での測定結果の変動幅	0.05 ～0.18 μ Sv/h ^{※3}	0.26 ～0.40 μ Sv/h ^{※3}	0.03 ～0.14 μ Sv/h ^{※3}
(参考) 保管開始前での測定結果について日数による減衰計算を行った結果	0.07 μ Sv/h ^{※4}	0.16 μ Sv/h ^{※4}	0.06 μ Sv/h ^{※4}

※1：各測定地点で5回測定を実施した平均値のうち、最大となった値を示している。

※2：各仮置場において、保管開始前に複数地点で測定を実施した平均値を示している。

※3：変動幅の上限値及び下限値は、「保管開始前での測定結果 \pm (3 \times 標準偏差)」で計算している。

※4：各仮置場において、保管開始前に測定を実施した月から、保管場所跡地で測定した月までの期間における計算結果を示している。

3. 1. 2. 歩行サーベイを利用する方法

仮置場 A、仮置場 B 及び仮置場 C について、歩行サーベイ機器を使用した保管場所跡地における線量測定結果の線量分布図を図 10～12 に示す。また、歩行サーベイ機器を使用して線量測定を行うのに要した時間を表 5 に示す。

線量分布図を確認したところ、仮置場 A、仮置場 B 及び仮置場 C における測定結果について、表 4 に示した保管開始前の変動幅に収まっているか、大きく下回っていることが確認できた。また、線量測定を行うのに要した時間は、サーベイメータ等を使用して線量測定を行うのに比べて、歩行サーベイ機器を利用して線量測定を行う方が、対象とした仮置場全てのブロックで短かった。



図 10 仮置場 A における線量分布図



図 11 仮置場 B における線量分布図



図 12 仮置場 C における線量分布図

表5 歩行サーベイ機器を利用して測定するのに要した時間

仮置場名	ブロック数	総面積	要した合計時間	サーベイメータを用いた場合に要した合計時間
仮置場 A	3ブロック	約 1,030m ²	約 22 分	約 89 分
仮置場 B	1ブロック	約 630m ²	約 8 分	約 54 分
仮置場 C	9ブロック	約 2,720m ²	約 82 分	約 506 分

3. 1. 3. 跡地汚染有無の確認

「3. 1. 1」の結果より、仮置場 A、仮置場 B 及び仮置場 C いずれにおいても、保管場所跡地で測定した空間線量率は、保管開始前に測定した空間線量率の変動幅に収まっているか、大きく下回っていることが確認できた。また、「3. 1. 2」の結果より、仮置場 A、仮置場 B 及び仮置場 C いずれにおいても、歩行サーベイ機器を使用した場合の測定結果は、保管開始前に測定した空間線量率の変動幅に収まっているか、大きく下回っていることが確認できた。

以上のことより、対象とした仮置場の保管場所跡地について、明確な汚染は無いと考えられる。

3. 2. 跡地の土壌硬度調査

3. 2. 1. コーンペネトロメータを使用する方法

仮置場 D 及び仮置場 E におけるコーンペネトロメータを使用した土壌硬度調査結果について図 13 に示す。

コーンペネトロメータを使用して土壌硬度の測定を行ったところ、全ての地点において当初予定していた 100cm まで達することができず、測定ができた深さは最大でも 9.5cm であった。また、コーンペネトロメータの読値からコーン貫入抵抗値を求めたところ、1,009~1,488 kN/m² だった。求めたコーン貫入抵抗値について、表 6 に示す建築基準法施行令第 93 条に記載されている地盤の種類に応じた許容応力度と比較した結果、「岩盤」にあたる応力度以上であることが確認できた。

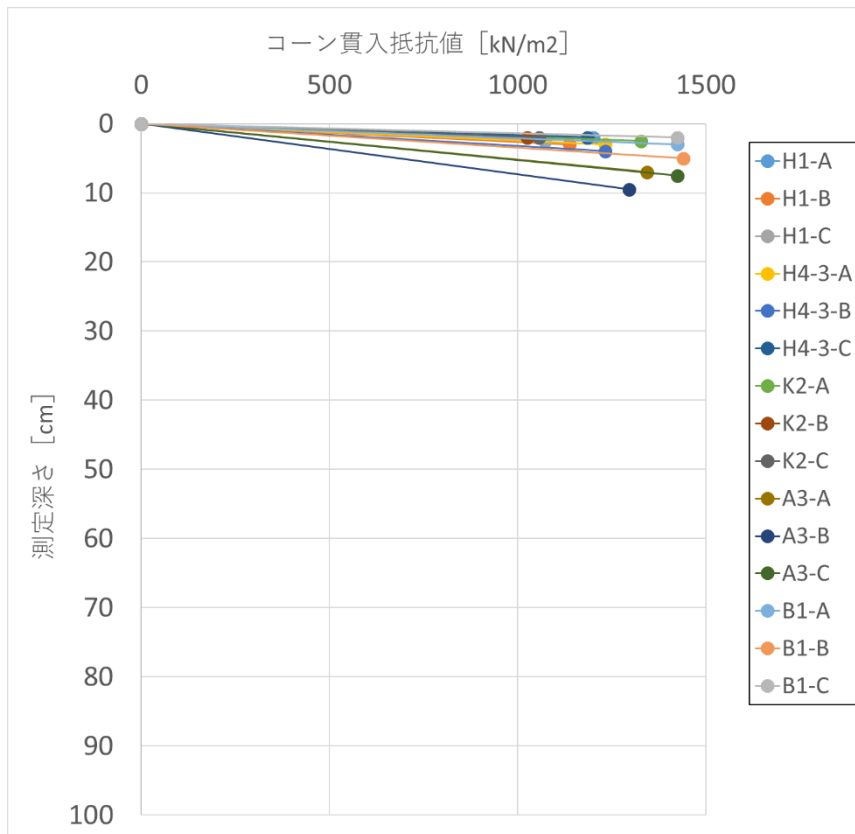


図 13 仮置場 D 及び仮置場 E における
コーンペネトロメータを使用した土壌硬度調査結果

表6 建築基準法施行令第93条に記載されている地盤の種類に応じた許容応力度

地盤	長期に生ずる力に対する 許容応力度 [kN/m ²]
岩盤	1,000
団結した砂	500
土丹盤	300
密実な礫層	300
密実な砂質地盤	200
砂質地盤（地震時に液状化のおそれのないものに限る）	50
堅い粘土質地盤	100
粘土質地盤	20
堅いローム層	100
ローム層	50

3. 2. 2. 山中式土壌硬度計を使用する方法

仮置場Fにおける山中式土壌硬度計を使用した土壌硬度調査結果について、実施したD1ブロック、C4ブロック及びBlankそれぞれを図14に示す。また、D1ブロック及びC4ブロックにおける調査結果の平均を算出した結果と、Blankにおける調査結果の平均を算出した結果を比較した結果を図15に示す。仮置場Gにおける山中式土壌硬度計を使用した土壌硬度調査結果について図16に示す。

仮置場Fについて、D1ブロック及びC4ブロックの測定結果では、表層から40cmまで土壌硬度が大きい傾向が見られた。D1ブロックにおいては、表層から10cm深さまで土壌硬度が特に大きいのが確認できた。C4ブロックにおいては、区画の中心に近くなるほど土壌硬度の大きさが大きくなるのが確認できた。また、D1及びC4ブロックにおける調査結果の平均とBlankにおける調査結果の平均を比較したところ、除去土壌等を保管していたD1及びC4ブロックの方が土壌硬度の大きさが大きいことが確認できた。

仮置場Gについて、表層から10cm深さまで土壌硬度の大きさが特に大きいのが確認できた。また、仮置場FにおけるC4ブロックと同様に、区画の中心に近くなるほど土壌硬度の大きさが大きくなる傾向が確認できた。

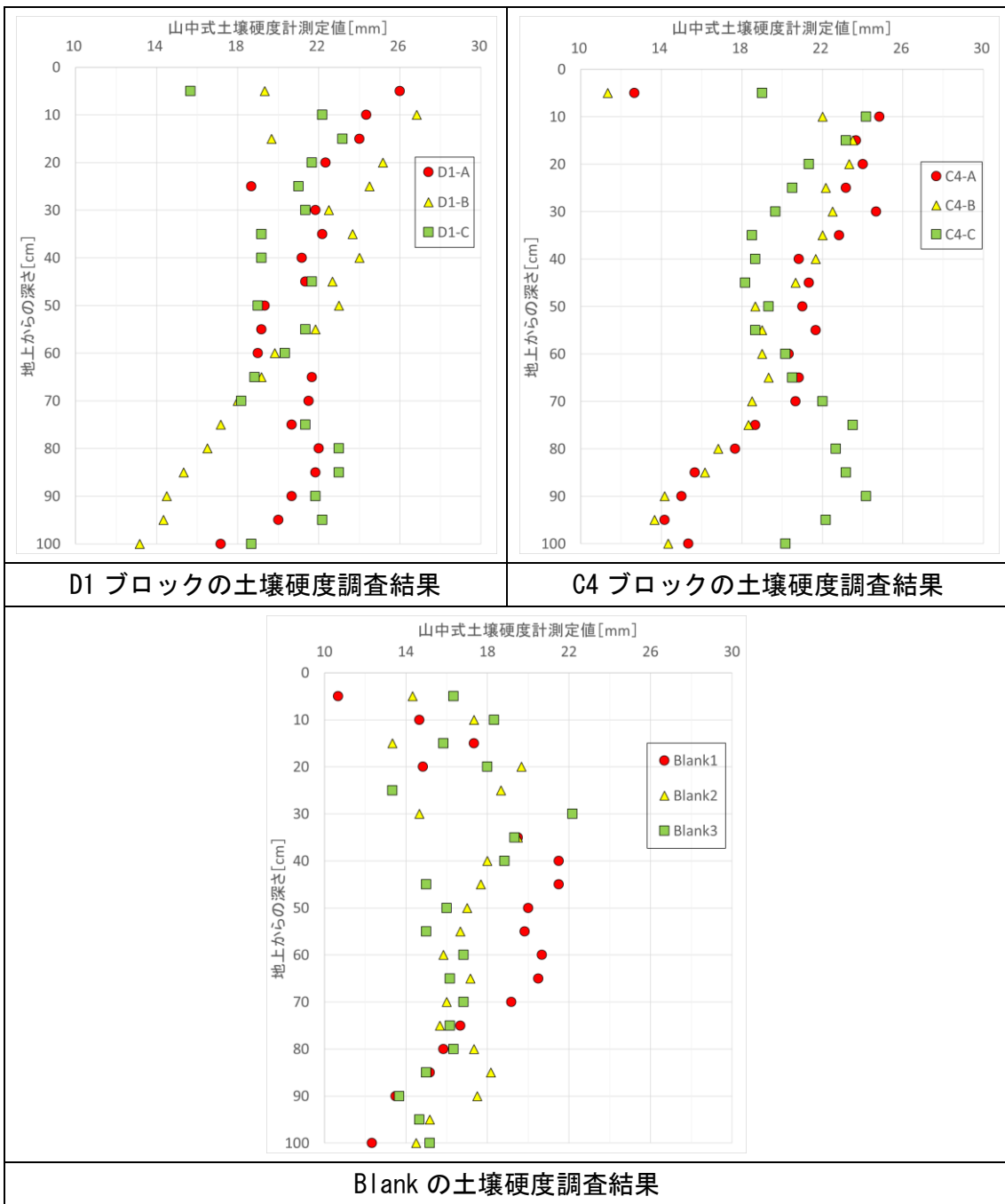


図 14 仮置場 F における各ブロックの土壌硬度調査結果

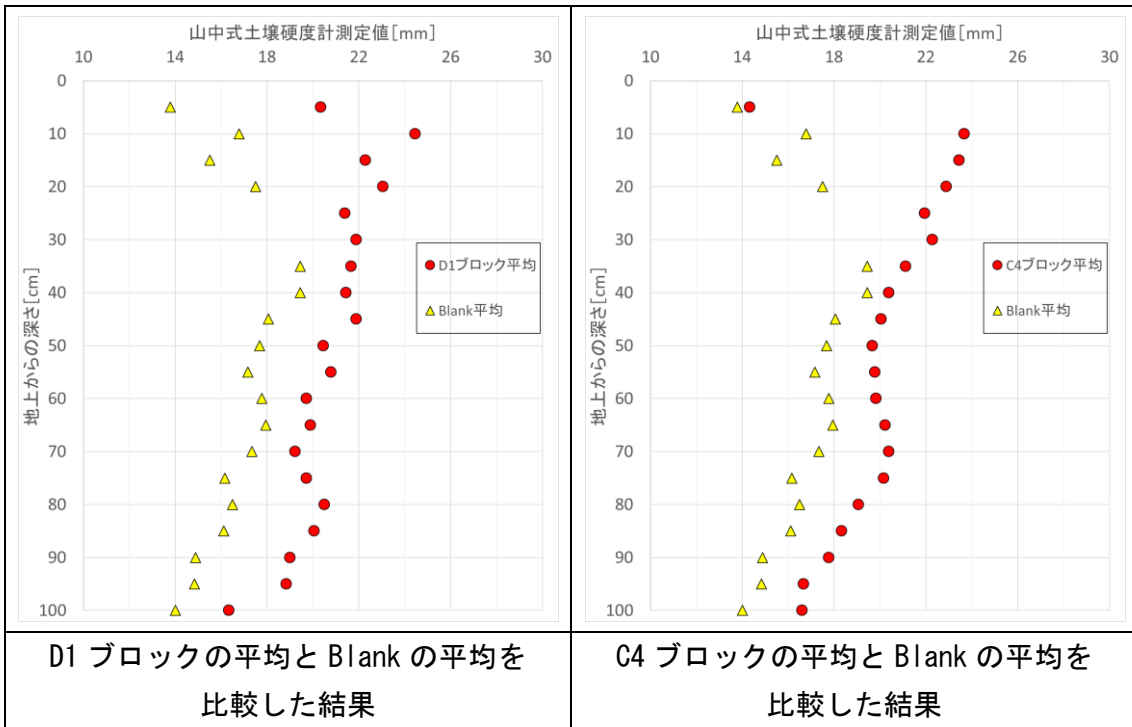


図 15 D1 ブロック及び C4 ブロックにおける調査結果の平均を算出した結果と、Blank における調査結果の平均を算出した結果を比較した結果

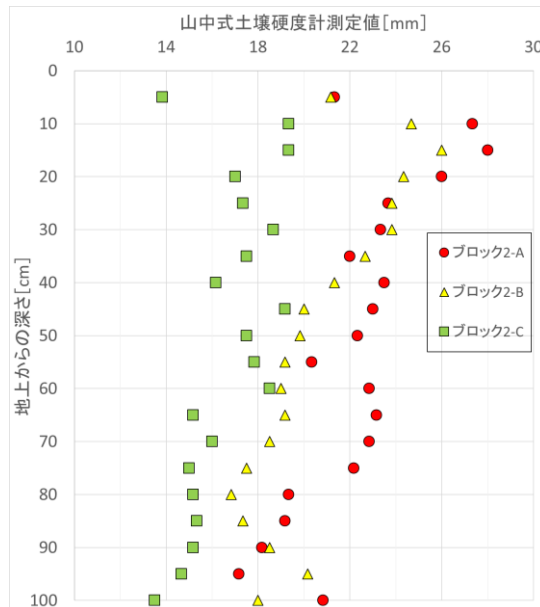


図 16 仮置場 G における土壌硬度調査結果

4. まとめ

4. 1. 跡地土壌の汚染有無確認調査

今回実施場所とした仮置場 A、仮置場 B 及び仮置場 C について、「3. 1. 3」の結果のとおり、保管場所跡地における明確な跡地の汚染は無いと考えられた。また、歩行サーベイ機器を使用した測定については、サーベイメータを使用した測定と比較し、短時間で対象全体の測定が可能であること、線量分布図のように可視化した結果を示すことができることから、効果的な測定方法であると考えられた。

4. 2. 跡地の土壌硬度調査

コーンペネトロメータを使用した土壌硬度調査について、当初予定していた 100cm のうち、最大でも 9.5cm 深さまでの測定しかできなかった。これは、除去土壌等を保管していたことで土壌の硬度が大きくなったためと考えられる。当該機器については、軟弱地盤を対象とした土壌硬度の測定機器であるため、除去土壌等を保管していたことで土壌の締固まりが発生している仮置場跡地においては、実施対象として適していない機器である可能性が示唆された。

山中式土壌硬度計を使用した土壌硬度調査について、除去土壌等を保管していた場所の方が、保管していなかった場所に比べて土壌硬度が大きいことが確認できた。また、土壌硬度は、表層付近が特に大きく、40cm 程度の深さまでは大きい傾向があるのが確認できた。当該機器による土壌硬度調査については、図 6 に示すような試掘を現地に作成する必要があるものの、コーンペネトロメータを使用した場合と比べて深さ方向の土壌硬度を確実に確認することができることから、調査方法として適していると考えられる。

謝辞

末筆ながら、お忙しい中本調査に御協力いただいた各市町村の御担当者の方々に御礼申し上げます。

テーマ「仮置場等の安全性評価及び住民合意形成手法に関する研究」

仮置場等の安全性評価について

1. 背景・目的

除染によって生じた放射性物質を含む土壌や可燃物(以下「除去土壌等」という。)は国が設置する中間貯蔵施設へ搬入されるまでの間、仮置場や現場保管場(以下「仮置場等」という。)にて保管されることとされている。除染で生じた除去土壌等の量は膨大であることから、生活環境から隔離された保管場を確保し全量を保管することは困難であり、除染実施場所毎あるいは地域毎に保管する手法が採用されている。これらの仮置場等は公衆の生活圏に存在することから、仮置場等での除去土壌等の管理による人の健康や生活環境への影響が懸念される。そのため、仮置場の管理に際しては必要に応じた安全対策を実施することで、公衆の被ばく線量を合理的に達成可能な範囲で低く保つことが重要である。また、施設の管理上の安全対策をとったうえでも、何らかの事故が生じてしまった場合に備え、事故の種類に応じた事故対応を検討しておくことは重要であると思われる。

そこで、本研究では、除去土壌等の管理に起因する公衆の被ばくについての重要なシナリオを特定することを目的とし、事故時を含めた公衆の被ばく経路を整理し評価する。また、評価結果については、後述する除去土壌等の管理の際の放射線防護の考え方と照らし合わせることで、仮置場等の安全性についても判断を行うこととした。

2. 方法・実施内容

2. 1. 評価対象地域

東京電力(株)福島第一原子力発電所の事故(以下「原発事故」という。)に伴い放出された放射性物質に汚染された地域の除染は、市町村及び国によって実施されることとなり、市町村が除染を行う汚染状況重点調査地域は図1のように定められている。県は市町村除染の支援を行う役割を担うこととなっていることから、本研究では汚染状況重点調査地域を評価対象地域とした。

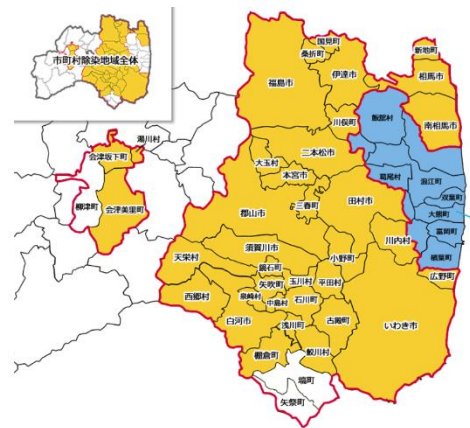


図1 評価対象地域

2. 2 除去土壌等の管理の現状及び評価のスコープ

除染により生じる放射性物質を含む除去土壌等は図2に示すスキームで管理されることとなっている。除去土壌等は、既に表1に示す量の除去土壌等が発生しており、こ

れらが県内の仮置場や現場保管において保管されている。また、今後のフォローアップ除染を含む除染で生じうる除去土壌の総量は、環境省の試算では最大で 2,800 万 m³とされている¹⁾。本報告書においては、現在の最も主要な管理工程である仮置場等での保管工程を評価の対象とした。

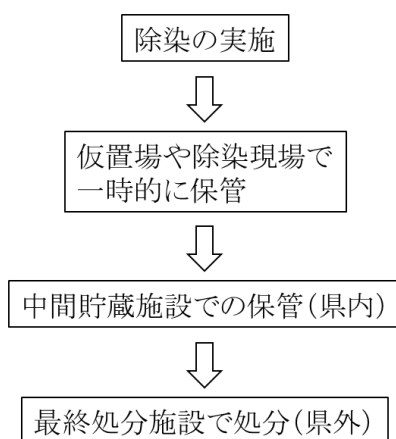


図2 除去土壌等のフロー

表1 県内の除染に伴い生じた除去土壌等の仮置場等における保管状況^{2),3)}

地域	保管状況	箇所数	総発生数・保管物数 (万 m ³)
除染特別地域 (平成 31 年 3 月末時点) *1	仮置場	194	565
汚染状況重点調査地域*2 (福島県内のみ、平成 31 年 3 月末時点)	仮置場	616	529
	現場保管	86, 175	
合計			1, 094

*1 仮置場のほか、一時保管所、仮仮置場等を含む。

*2 檜葉町、富岡町、大熊町、双葉町、浪江町、葛尾村、飯舘村を除く 52 市町村が対象

2. 3. 一般的な仮置場の構造

仮置場における安全対策として求められる施設要件は、①遮へいと離隔、②除去土壌の飛散防止、③雨水等の侵入の防止の3つが示されている⁴⁾。仮置場の保管形式や構造は、上記の施設要件に加え、撤去時の作業性や確保可能な敷地面積に留意し設置されている。図3に一般的な地上保管型の仮置場の構造を示す。本構造は対象核種が放射性セシウムであることを鑑み設計されている。具体的な留意事項としては、以下の項目が挙げられる⁴⁾。

- ・ 柵の設置による無用な立ち入りの禁止
- ・ 遮へい用土のうの設置による適切な遮へい又は居住地からの離隔
- ・ 遮水シートの利用などによる雨水侵入防止措置
- ・ 集水柵の確保や下部遮水シートによる放射性物質の漏えい防止
- ・ ガス抜き管の設置による可燃物の腐敗に伴うガスの発生および蓄熱への対策

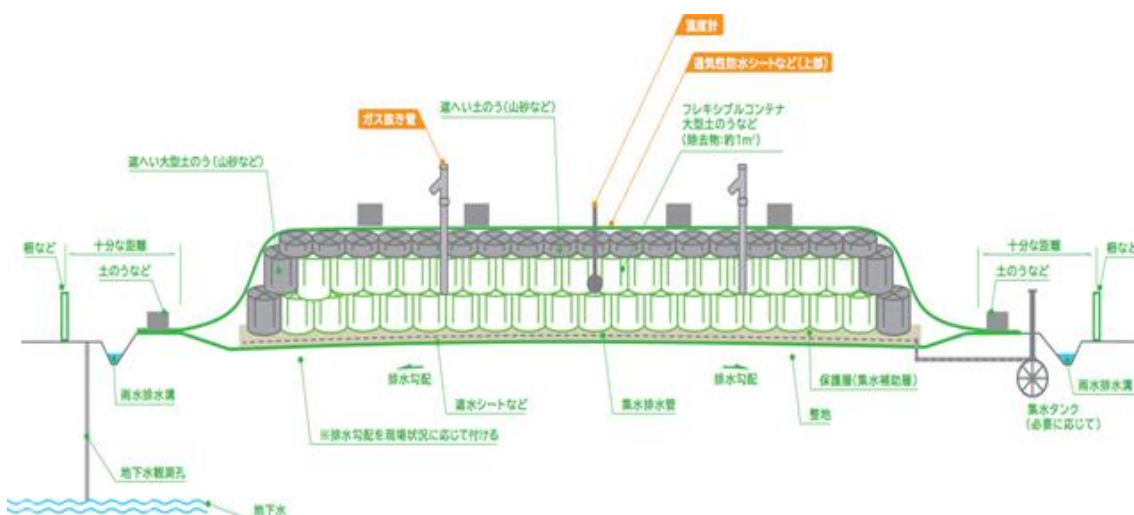


図3 一般的な地上保管型の仮置場の構造⁵⁾

2. 4. 除去土壌等の管理における放射線防護の考え方

除去土壌等からの放射線の影響を受ける対象は、除染や仮置場等の設置等作業に係る作業員、定期的なモニタリング等の軽作業員及び一般公衆が挙げられる。そこで、これらの対象に対する放射線防護上の規制について、以下において整理する。

除染等業務に従事する労働者の放射線障害防止のため、厚生労働省により、「東日本大震災により生じた放射性物質により汚染された土壌等を除染するための業務等に係る電離放射線障害防止規則」⁶⁾（以下「除染電離則」という。）が施行されている。除染電離則の適用対象業務には、安全評価の対象となる除去土壌等の収集、運搬又は保管の業務が含まれており、除染や仮置場等の設置等作業に係る作業員については本規則が適用される。一方、一般公衆や定期的なモニタリング等の軽作業員は除染電離則の適用外

であり、除染関係ガイドラインにおいては、「除去土壌からの放射線による公衆の追加被ばく線量が年間 1mSv 以下となるように施設を設計する」とされている。これは、原子力安全委員会が平成 23 年 6 月に示した「東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故の影響を受けた廃棄物の処理処分等に関する安全確保の当面の考え方について」⁷⁾において、“処理等に伴い周辺住民の受ける線量が 1mSv/年を超えないようにするとともに、(中略) 周辺住民の被ばくを抑制するように特段の配慮が必要である。”という考え方に沿ったものであると考えられる。また、事故時の評価においては、「中間貯蔵施設の概略安全評価」や「浅地中トレンチ処分の安全評価手法：2013」において、発生事故あたり 5mSv を超えなければ、過度の放射線被ばくを及ぼさないと判断する、とされている。したがって、本研究では、表 2 のとおりに関連規制と除去土壌等からの放射線の影響を受ける対象との関係を整理した。

表 2 関連規制と除去土壌等からの放射線の影響を受ける対象との関係

	除染電離則が適用 (線量限度：年間 50mSv、 5 年で 100mSv)	除染電離則が非適用 (参考レベル： 年間 1mSv、事故時 5mSv)
除染や仮置場等の設置 等作業に係る作業員	○	×
定期的なモニタリング 等の軽作業員	×	○
一般公衆	×	○

ここで、除染電離則が適用される作業員については、個人線量の管理がなされることから評価対象外とし、除染電離則が適用されないケースについてのみ評価対象として取り扱うこととした。

2. 5 モデル仮置場の設定

県内には約 800 箇所及び仮置場等が存在し、これらを個別に評価することは困難である。したがって、代表的な仮置場等を適切に設定しこれを評価することで、全体の仮置場の安全評価を行う。主要なパラメータ及び代表的な値を表 3 のとおり設定した。ここで、規模については、現場保管と仮置場では大きく異なることから、それぞれについて代表的なケースを設定した。仮置場の規模については、県内仮置場の箇所あたりの保管量の平均値を基にして設定した。また、土壌の放射能濃度については、県内の避難指示区域外における第 3 次航空機モニタリングによる空間線量率の最大値を基に、地表面が一様に汚染された場合の地表面汚染密度 (Bq/m²) と空間線量率 (μSv/h) 間の換算係数から地表面汚染密度を算出した。得られた地表面汚染密度の値を用い、表層 5cm を除染したと仮定して土壌濃度 (Bq/kg) を算出し、平成 27 年 4 月時点の濃度に減衰補正し、

500Bq/kg 毎に切り上げた値を採用した。この時、平成 23 年 3 月時点におけるセシウム 134 とセシウム 137 の比率が 1:1 であると仮定した。なお、放射能濃度については、百の位で切り上げた値を採用した。

表 3 モデル仮置場の設定

No.	パラメータ名	単位	値	
1	規模	m ³	仮置場	800
			現場保管	4
2	除去土壌等の放射能濃度	Bq/kg	¹³⁴ Cs	2500
			¹³⁷ Cs	8500
3	除去土壌の密度	kg/m ³	1600 ⁷⁾	

2. 6 被ばく経路の設定

仮置場において保管されている除去土壌等から想定される被ばく経路は、対象核種がセシウム 134 及びセシウム 137 であることを考慮し、保管時における想定被ばく経路を表 4 のとおりに設定した。

表 4 保管時のシナリオ

	事象	線源	被ばく形態	評価対象
平常時	近隣での居住	定置された除去土壌等	外部 (経路 1)	公衆
	定期モニタリング	定置された除去土壌等	外部 (経路 2)	作業員
事故時	火災による除去土壌等の放出及び遮へい機能の喪失	大気中へ放出された粉塵	吸入 (経路 3)	公衆
			外部 (経路 4)	公衆
		地表面に沈着した除去土壌等	外部 (経路 5)	公衆
		敷地内に残留した除去土壌等	外部 (経路 6)	公衆
	大雨による除去土壌等の流出	汚染された農作物 (自家栽培)	経口 (経路 7)	公衆
			地表面に流出した 除去土壌	外部 (経路 8)
	施設外への漏えい防止機能の喪失	飲用水	経口 (経路 9)	公衆
	河川の氾濫による除去土壌等の流出	汚染された農作物 (自家栽培)	経口 (経路 10)	公衆
			汚染された土壌	外部 (経路 11)
		汚染された土壌	吸入 (経路 12)	公衆

2. 7 評価方法

<除去土壌等からの外部被ばく評価、経路>

$$D_{\text{ext}}(i) = C_{\text{waste}}(i) \cdot S_0 \cdot t \cdot DF_{\text{ext}}(i) \cdot (1 - \exp(-\lambda \cdot t)) / (\lambda \cdot t) \quad (1)$$

ここで、

$D_{\text{ext}}(i)$: 放射性核種 i による外部被ばく線量 ($\mu\text{Sv}/\text{y}$)

$C_{\text{waste}}(i)$: 除去土壌等中の放射性核種 i の濃度 (Bq/kg)

t : 被ばく時間 (平常時 : h/y , 事故時 : $\text{h}/\text{事故}$)

$DF_{\text{ext}}(i)$: 放射性核種 i の外部被ばくに対する線量換算係数 ($\mu\text{Sv}/\text{h}) / (\text{Bq}/\text{kg})$)

λ : 放射性核種 i の崩壊定数 ($1/\text{h}$)

S_0 : 外部被ばくに対する遮へい係数 (-)

とした。任意の3次元形状を有する体積線源からの外部被ばく線量を評価する際の線量換算係数 $DF_{\text{ext}}(i)$ は、MCNP コード、QAD - CGGP2R を用いて求めた。

<地表面からの外部被ばく評価、経路>

$$D_{\text{ext}}(i) = C_{\text{ground}}(i) \cdot S_0 \cdot t \cdot DF_{\text{ext}}(i) \quad (2)$$

ここで、

$D_{\text{ext}}(i)$: 放射性核種 i による外部被ばく線量 ($\mu\text{Sv}/\text{y}$)

$C_{\text{ground}}(i)$: 地表面の放射性核種 i の濃度 (Bq/m^2)

t : 被ばく時間 (h)

$DF_{\text{ext}}(i)$: 放射性核種 i の外部被ばくに対する線量換算係数 ($\mu\text{Sv}/\text{h}) / (\text{Bq}/\text{m}^2)$)

λ : 放射性核種 i の崩壊定数 ($1/\text{h}$)

S_0 : 外部被ばくに対する遮へい係数 (-)

また、地表面の放射性核種濃度に関しては、汚染の経路に応じて以下のとおり求めた。

・大気放出経路における地表面の放射性核種濃度

大気放出経路による地表面の汚染に関しては(3)式により求める。

$$C_{\text{ground}}(i) = Q_A(i) \cdot (\chi/Q) \cdot V_g \cdot \frac{f_1}{\lambda} (1 - e^{-\lambda T_0}) \quad (3)$$

$Q_A(i)$: 放出される放射性核種 (Bq/s)

χ/Q : 大気中相対濃度 (s/m^3)

V_g : 放出粒子の沈着速度 (m/s)

f_1 : 沈着した放射性核種のうち残存する割合 (-)

T_0 : 核種放出期間 (h)

なお、大気中相対濃度 (χ/Q) の導出方法について詳細は省略するが、大気中相対濃度 (χ/Q) の導出には、「発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針」に基づくプ

ルーム式を用いた。本報告書では、仮置場から仮置場敷地境界である除去土壌等表面から 8m 以遠のエリア内で、乾性沈着による最大着地濃度地点を評価点とし、当該地点の大気中相対濃度 (χ/Q) を導出した。

・水系放出経路（除去土壌の河川への流出）における灌漑利用により汚染された土壌の放射性核種濃度

水系放出経路による灌漑に伴う土壌の汚染に関しては(4)式により求める。ここで、灌漑水から土壌への放射性核種の移行は瞬時平衡を仮定した。

$$C_{\text{ground}}(i) = C_{\text{soil}}(i) \cdot \rho_v \quad (4)$$

$$C_{\text{soil}}(i) = C_{\text{water}}(i) \cdot \left(K_d(i) + \frac{\varepsilon}{\rho(1-\varepsilon)} \right) \quad (5)$$

$$C_{\text{water}}(i) = C_{\text{waste}}(i) \cdot \left(\frac{C_{\text{ss}}}{1 + K_{\text{dss}}(i) \cdot C_{\text{ss}}} \right) \quad (6)$$

$$C_{\text{ss}} = \rho \cdot V_{\text{waste}} / (V_{\text{river}} \cdot t) \quad (7)$$

$C_{\text{soil}}(i)$: 灌漑により汚染された農地土壌中の放射性核種濃度 (Bq/kg)

ρ : 土壌密度 (kg/m³)

V_{waste} : 河川に流出した除去土壌等の体積 (m³)

V_{river} : 河川流量 (m³/d)

t : 流出した除去土壌等が全て下流に流されるまでに要する期間 (d)

C_{ss} : 河川中の除去土壌等由来の懸濁物質 (kg/m³)

$C_{\text{waste}}(i)$: 除去土壌等中の放射性核種 i の濃度 (Bq/kg)

$C_{\text{water}}(i)$: 河川水中の放射性核種 i の濃度 (Bq/m³)

$K_{\text{dss}}(i)$: 河川中懸濁物質 - 河川水間の放射性核種 i に対する収着分配係数 (m³/kg)

$K_d(i)$: 農地土壌 - 灌漑用水間の放射性核種 i に対する収着分配係数 (m³/kg)

ρ_v : 土壌の有効密度 (kg/m²)

<粉じんからの外部及び吸入被ばく評価、経路>

$$D_{\text{sub}}(i) = C_{\text{air}}(i) \cdot DF_{\text{sub}}(i) \cdot t \quad (8)$$

$$D_{\text{inh}}(i) = C_{\text{air}}(i) \cdot R_{\text{inh}} \cdot DF_{\text{inh}}(i) \cdot t \quad (9)$$

ここで、

$D_{\text{sub}}(i)$: 大気中の放射性核種 i による外部被ばく線量 ($\mu\text{Sv}/\text{y}$)

$DF_{\text{sub}}(i)$: 大気中の放射性核種 (i) からの浸漬による外部被ばくに対する換算係数 ($\mu\text{Sv}/\text{h}) / (\text{Bq}/\text{m}^3)$

$D_{\text{inh}}(i)$: 放射性核種 i による外部被ばく線量 ($\mu\text{Sv}/\text{y}$)

R_{inh} : 呼吸率 (m³/h)

$DF_{\text{inh}}(i)$: 放射性核種 i の吸入被ばくに対する線量換算係数 ($\mu\text{Sv}/\text{h}) / (\text{Bq}/\text{m}^3)$

$C_{air}(i)$: 大気中の放射性核種 i の濃度 (Bq/m³)

t : 被ばく時間 (h)

なお、短時間の事故時の評価であること、また評価対象核種の半減期が長いことから、物理減衰については考慮していない。

また、大気中の放射性核種濃度に関しては、汚染の経路に応じて以下のとおり求めた。

・大気放出経路における大気中の放射性核種濃度

$$C_{air}(i) = Q_A \cdot (\chi/Q) \quad (10)$$

ここで、

$Q_A(i)$: 放出される放射性核種 (Bq/s)

χ/Q : 大気中相対濃度 (s/m³)

・水系放出経路（除去土壌の河川への流出）における灌漑利用により汚染された土壌の舞い上がりにおける大気中の放射性核種濃度

$$C_{air}(i) = C_{soil}(i) \cdot d_R \quad (11)$$

ここで、

d_R : 大気中ダスト濃度 (kg/m³)

なお、 $C_{soil}(i)$ については(5)～(7)により求めた。

<経口被ばく評価、経路>

$$D_{ing} = C_{food}(i) \cdot H_f \cdot DF_{ing}(i) \cdot G_f \quad (12)$$

ここで、

D_{ing} : 放射性核種 i による経口被ばく線量 (μSv/y)

$C_{food}(i)$: 食品中の放射性核種 i の濃度 (Bq/kg)

H_f : 食品摂取量 (kg/y)

DF_{ing} : 放射性核種 i の経口被ばくに対する線量換算係数 (μSv/h) / (Bq/kg)

G_f : 食品の市場希釈係数 (-)

検討している経路において、汚染が生じると設定した食品類は、農産物、飲用水である。食品としては市場非流通物の摂取が想定される食品を対象としており、例えば川魚については、福島県の摂食制限が依然多くの地域でなされている現状を鑑み、対象外とした。畜産についても、自家消費用に畜産を行うことは一般的に想定されないため、対象外とした。また、農産物の具体的な評価対象は、葉物野菜、米、その他（果実、非葉菜）の3種に大別した。それぞれの汚染経路ごとの食品中の放射性核種濃度は以下のとおり算出した。

・大気放出経路における農産物の放射性核種濃度

$$C_{\text{leaf}}(i) = Q_A(i) \cdot (\chi/Q) \left(\frac{V_g \cdot (1 - e^{-\lambda_{\text{eff}} T_0})}{\lambda_{\text{eff}} \rho_V} + \frac{V_g \cdot \text{TF}_{\text{soil-leaf}}(i) \cdot (1 - e^{-\lambda t_0})}{\lambda(i) P_V} \right) f_t f_d \quad (13)$$

$$C_{\text{rice}}(i) = C_{\text{soil}}(i) \cdot \text{TF}_{\text{soil-rice}}(i) \quad (14)$$

$$C_{\text{other}}(i) = C_{\text{soil}}(i) \cdot \text{TF}_{\text{soil-other}}(i) \quad (15)$$

$$C_{\text{soil}}(i) = C_{\text{ground}}(i) / P_V \quad (16)$$

ここで、

$C_{\text{leaf}}(i)$: 葉菜中の放射性核種濃度 (Bq/kg)

$Y_{\text{Ground-veg}}$: 葉菜の栽培密度 (kg/m²)

$\text{TF}_{\text{soil-leaf}}(i)$: 葉菜-土壌間の移行係数 (Bq/kg-wet / Bq/kg-dry)

$C_{\text{rice}}(i)$: 米中の放射性核種濃度 (Bq/kg)

$\text{TF}_{\text{soil-rice}}(i)$: 米-土壌間の移行係数 (Bq/kg-wet / Bq/kg-dry)

$C_{\text{other}}(i)$: その他の農産物中の放射性核種濃度 (Bq/kg)

$\text{TF}_{\text{soil-other}}(i)$: その他の農産物-土壌間の移行係数 (Bq/kg-wet / Bq/kg-dry)

P_V : 土壌実効表面密度 (kg/m²)

なお、 $C_{\text{ground}}(i)$ は(3)式により求める。

・水系放出経路 (除去土壌層から地下水への放射性核種の移行) における飲用水の放射性核種濃度

$$V_I = R_I \times A_P \times N_P \times DR_P \quad (17)$$

$$R_{Fi} = 1 + (\rho_w \times K_{di} \div W_{RW}) \quad (18)$$

$$L_{Ri} = R_I \div (W_{RW} \times H_P \times R_{Fi}) \quad (19)$$

$$V_{Ai} = H_P \times A_P \times N_P \times DR_P \times \rho_w \times C_{wi} \times L_{Ri} \quad (20)$$

$$C_{Gi} = V_{Ai} \div (V_I + V_G) \times 0.001 \text{ m}^3/\text{L} \quad (21)$$

ここで、

V_I : 浸出水の一年あたりの流出量 (単位 : m³/year)

R_I : 浸出水の単位面積当たりの流出速度 (m/year)

A_P : フレキシブルコンテナの底面積 (m²)

N_P : フレキシブルコンテナの個数 (-)

DR_P : フレキシブルコンテナの破損割合 (-)

R_{Fi} : 放射性核種 i の遅延係数 (-)

ρ_w : 保管物の密度 (kg/m³)

K_{di} : 放射性核種 i の吸着分配係数 (Bq/kg-dry per Bq/L)

W_{RW} : 含水率 (-)

L_{Ri} : 放射性核種 i の年間あたりの流出率 (-)

H_P : フレキシブルコンテナの高さ (m)

V_{Ai} : 放射性核種 i の一年あたりの流出量 (Bq/year)

$C_{\#i}$: 保管物中の放射性核種 i の濃度 (Bq/kg)

C_{Gi} : 地下水中の放射性核種 i の濃度 (Bq/L)

・水系放出経路 (除去土壌の河川への流出) における農産物の放射性核種濃度

$$C_{\text{leaf}}(i) = C_{\text{soil}}(i) \cdot \text{TF}_{\text{soil-leaf}}(i) \quad (22)$$

なお、 $C_{\text{soil}}(i)$ は式(5)～(7)により求めた。また、葉菜以外の米やその他農産物中放射性核種濃度は式(14)～(17)により求めた。

2. 8 評価パラメータ

ここでは、各シナリオの評価に用いたパラメータを示す。

<近隣での居住 (経路 1) >

経路 1 に設定した仮置場に保管されている除去土壌等の保管場近隣での居住時に生じうる外部被ばく評価は式(1)を用いて行う。式(1)に使用されるパラメータについて、表 5 に示す。ここで、直接線及びスカイシャインによる外部被ばくに対する線量換算係数は国立研究開発法人日本原子力研究開発機構が MCNP コードを用いて導出した結果を提供いただき、使用した。

表5 経路1の評価に用いるパラメータ

パラメータ名称		式中記号	単位	設定値	設定根拠
放射性核種濃度	¹³⁴ Cs	$C_{waste}(i)$	Bq/kg	2500	表3
	¹³⁷ Cs			8500	
外部被ばくに対する遮へい係数		S_0	-	0.6	1日のうち、16時間屋内に滞在すると仮定し、屋内滞在時の遮へい係数を1.0、屋外滞在時の遮へい係数をIAEA TECDOC-1162の0.4を採用した。
被ばく時間		t_0	h/y	8760	1年間を想定した。
外部被ばくに対する線量換算係数(仮置場)	¹³⁴ Cs	$DF_{ext}(i)$	μSv/h per Bq/kg	2.15E-06	MCNPコードを用い、以下の体系で解析を行った。遮へい条件についてはガイドラインに従い設定した。 線源の形状：20m×20m×2m 線源の密度：1.5g/cm ³ 遮へい条件：側面遮へい30cm 評価点：20m×2mの面から8m 評価高さ：1m
	¹³⁷ Cs			8.17E-07	
外部被ばくに対する線量換算係数(現場保管)	¹³⁴ Cs	$DF_{ext}(i)$	μSv/h per Bq/kg	5.02E-07	MCNPコードを用い、以下の体系で解析を行った。遮へい条件についてはガイドラインに従い設定した。 線源の形状：2m×2m×1m 線源の密度：1.5g/cm ³ 遮へい条件：なし 評価点：公衆は2m×1mの面から4m 評価高さ：1m
	¹³⁷ Cs			1.91E-07	
放射性核種の崩壊定数	¹³⁴ Cs	λ	1/y	0.336	ICRP Publ.107の半減期より設定した。
	¹³⁷ Cs			0.023	

<定期的なモニタリング(経路2)>

経路2に設定した仮置場に保管されている除去土壌等の保管場でのモニタリング作業時における外部被ばくについて、式(1)により評価を行う。式(1)に使用されるパラメータについて、表6に示す。

表 6 経路 2 の評価に使用するパラメータ

パラメータ名称		式中記号	単位	設定値	設定根拠
放射性核種の濃度	¹³⁴ Cs	$C_A(i)$	Bq/kg	2500	表 3
	¹³⁷ Cs			8500	
外部被ばくに対する遮へい係数		S_0	-	1.0	保守的に 1 とした。
被ばく時間		t_0	h / y	365	毎日 1 時間かけて仮置場内のモニタリングを行うと想定した。
スカイシャイン+ 直接線 (仮置場)	¹³⁴ Cs	$DF_{ext}(i)$	μSv/h per Bq/kg	6.75E-06	MCNP コードを用い、以下の体系で解析を行った。遮へい条件についてはガイドラインに従い設定した。 線源の形状：20m×20m×2m 線源の密度：1.5g/cm ³ 遮へい条件：側面遮へい 30cm 評価点：20m×2m の面から 1m 評価高さ：1m
	¹³⁷ Cs			2.57E-06	
放射性核種の崩壊 定数	¹³⁴ Cs	λ	1/y	0.336	ICRP Publ. 107 の半減期より設定した。
	¹³⁷ Cs			0.023	

<火災による除去土壌等の放出および遮へい機能の喪失 (経路 3 ~ 7) >

経路 3 ~ 7 に設定した大気への放射性核種の放出において想定した事故の状況を図 4 に示す。

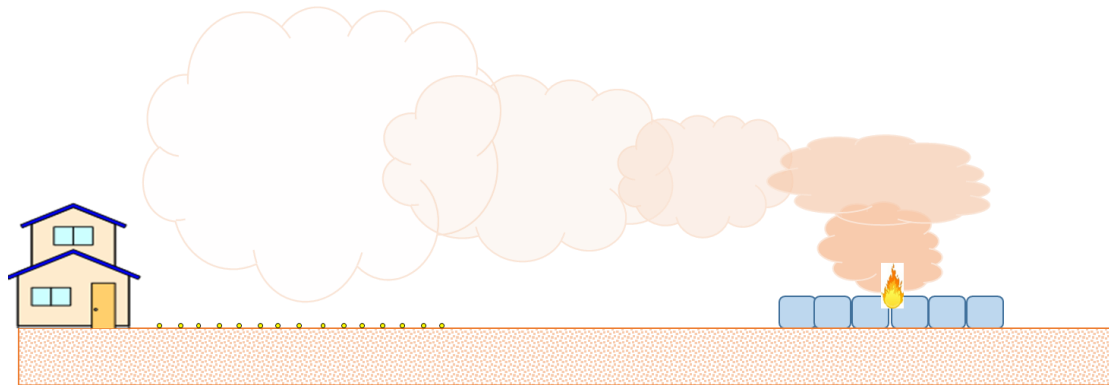


図 4 除去土壌等の大気放出事故時に想定される状況例

(a) 大気中へ放出された粉じんによる外部被ばくおよび吸入被ばく (経路 3 及び経路 4)

経路 3 及び経路 4 に示す被ばく経路は、式(8)~(10)を用いて評価を行った。式(8)~(10)に使用されるパラメータを表 7 に示す。

表7 経路3及び経路4の評価に使用するパラメータ

パラメータ名称	式中記号	単位	設定値	設定根拠	
放射性核種の濃度	¹³⁴ Cs	C _A (i)	Bq/kg	2500	表3
	¹³⁷ Cs			8500	
大気中相対濃度	χ/Q	s/m ³	2.74E-02	福島県の気象統計の結果を基に、大気拡散計算を行い、最も安全側となる最大濃度を採用した。	
被ばく時間(火災発生から鎮火まで)	t ₀	h/事故	12	消火完了に要する時間を12時間と想定した。	
火災により燃焼する廃棄物等の重量	W _w	kg	1.28E+5	影響を受ける割合を、IAEA-TECDOC-401, Tranch Fire Scenarioの表4のRelease Fractionsを参考に、保守的に幅の上限である0.1とし、表3のパラメータを基に導出した。	
火災における放射性核種の排気への移行率	R _{Cs}	-	1	セシウムの全量が排気に移行すると仮定した。	
外部被ばくに対する線量換算係数(ブルーム)	¹³⁴ Cs	DF _{ext} (i)	μSv/h per Bq/m ³	2.51E-04	RI クリアランス評価で設定されているブルームに対する換算係数の値を用いた。
	¹³⁷ Cs			9.09E-05	
吸入被ばくに対する線量換算係数	¹³⁴ Cs	DF _{inh} (i)	μSv/Bq	6.6E-03	ICRP Publ.72で示された、一般公衆(成人)の吸入による被ばく換算係数を設定した。
	¹³⁷ Cs			4.6E-03	

なお、大気中相対濃度は、福島県の気象統計の結果を基に主要なパラメータを以下のとおり設定し算出した。

- 風速(m/s) 2(m/s)
- 大気安定度 D
- 放出幅 0m
- 放出高さ 2m
- 評価高さ 1m

ここで、大気中相対濃度は距離に対する最大着地濃度を示す地点の値を採用した。

(b) 地表面に沈着した除去土壌等による外部被ばく(経路5)

経路5に示す被ばく経路は式(2)及び(3)を用いて評価を行う。式(2)及び(3)において使用されるパラメータを表8に示す。

表 8 経路 5 の評価に使用するパラメータ

パラメータ名称		式中記号	単位	設定値	設定根拠
放射性核種の濃度	¹³⁴ Cs	Cground(i)	Bq/kg	2500	表 3
	¹³⁷ Cs			8500	
被ばく時間		t_0	h/y	8760	保守的に除染をしないと仮定した。
火災により燃焼する除去土壌の重量		W_w	Kg	1.28E+5	影響を受ける割合を、IAEA-TECDOC-401, Tranch Fire Scenario の表 4 の Release Fractions を参考に、保守的に幅の上限である 0.1 とし、表 3 のパラメータを基に導出した。
火災における放射性核種の排気への移行率			-	1	影響を受けた廃棄物中に含まれるセシウムの全量が排気に移行すると仮定した。
外部被ばくに対する遮へい係数 (事故時)	公衆	S_0	-	0.6	1 日のうち、屋内滞在時 (16 時間) の遮へい効果 (遮へい係数 : 0.4) を考慮して設定した
放射性核種の土壌残留係数		f_1	-	1	保守的に全て残留すると仮定した。
外部被ばくに対する線量換算係数 (核種が沈着した土壌)	¹³⁴ Cs	$DF_{ext}(i)$	Sv/s per Bq/m ²	1.6E-15	US EPA Federal Guidance Report No. 12 を基に設定した。
	¹³⁷ Cs			5.7E-16	
放出粒子の沈着速度 (乾性沈着)		V_g	m/s	0.0015	IAEA TECDOC-1777 を基に設定した。
放射性核種の崩壊定数	¹³⁴ Cs	λ	1/y	0.336	ICRP Publ. 107 の半減期より設定した。
	¹³⁷ Cs			0.023	
核種放出期間		T_0	h	12	消火完了に要する時間を 12 時間と想定した。
大気中相対濃度		χ/Q	s/m ³	2.74E-02	福島県の気象統計の結果を基に、大気拡散計算を行い、最も安全側となる最大濃度を採用した。

(c) 敷地内に残留した除去土壌等 (経路 6)

経路 6 に示す被ばく経路は式 (1) を用いて評価を行う。ここでは、事故の影響に伴い、遮へい機能が失われた状況を想定し、近隣居住者の受ける外部被ばくを想定している。式(1)で用いるパラメータを表 9 に示す。

表 9 経路 6 の評価に使用するパラメータ

パラメータ名称		式中記号	単位	設定値	設定根拠
放射性核種の濃度	¹³⁴ Cs	$C_A(i)$	Bq/kg	2500	表 3
	¹³⁷ Cs			8500	
外部被ばくに対する遮へい係数		S_0	-	0.6	1 日のうち、16 時間屋内に滞在すると仮定し、屋内滞在時の遮へい係数を 1.0、屋外滞在時の遮へい係数を IAEA TECDOC-1162 の 0.4 を採用した。
被ばく時間		t_0	h / y	730	仮置場の修復に 1 か月を要すると仮定した。
スカイシャイン+ 直接線 (仮置場)	¹³⁴ Cs	$DF_{ext}(i)$	$\mu\text{Sv/h}$ per Bq/kg	1.78E-05	MCNP コードを用い、以下の体系で解析を行った。遮へい条件についてはガイドラインに従い設定した。 線源の形状：20m×20m×2m 線源の密度：1.5g/cm ³ 遮へい条件：なし 評価点：20m×2m の面から 8m 評価高さ：1m
	¹³⁷ Cs			6.79E-06	
放射性セシウムの 崩壊定数	¹³⁴ Cs	λ	1/y	0.336	ICRP Pub1. 107 の半減期より設定した。
	¹³⁷ Cs			0.023	

(d) 汚染された農作物の摂取による内部被ばく (経路 7)

経路 7 に示す被ばく経路は式 (12)～(16) を用いて評価を行う。ここでは、事故の影響に伴い、周辺の農耕土壌の汚染を通じて汚染された農産物を摂取することによる内部被ばくを想定している。式 (12)～(16) で使用されるパラメータを表 10 に示す。なお、 $C_{\text{ground}}(i)$ は表 8 で示したパラメータを用いて算出した値を用いた。

表 10 経路 7 の評価に使用するパラメータ

パラメータ名称		式中記号	単位	設定値	設定根拠	
土壌実効表面密度		P_v	kg/m ²	280	U. S. NRC Regulatory Guide 1. 109 において使用している値を設定した。	
年間食品摂取量	葉菜類	H_f	kg/y	20. 3	浅地中トレンチ処分の安全評価手法:2013 を基に設定した。	
	米類			58. 5		
	その他農産物			160. 5		
	米類	1	浅地中トレンチ処分の安全評価手法: 2013 を基に、保守的に 1 とした。			
市場希釈係数	葉菜類	G_f	-	0. 1	浅地中トレンチ処分の安全評価手法:2013 を基に自家栽培の値を設定した。	
	その他農産物			0. 1		
線量換算係数	¹³⁴ Cs	$DF_{ing}(i)$	Sv / Bq	1. 30E-8	IAEA-SS-115 の値を用いた。	
	¹³⁷ Cs			1. 90E-8		
土壌-農作物間の移行係数	米類	$TF_{soil-leas}(i)$	(Bq/kg-wet/ Bq/kg-dry)	0. 0016	IAEA TECDOC 1616 (P248) に示されるフォールアウトの ¹³⁷ Cs についての日本における実測値(white rice)を採用した。	
	葉菜類	$TF_{soil-leas}(i)$,		0. 04		IAEA SRS 19 の値を採用した。
	その他農産物	$TF_{soil-others}(i)$				
栽培密度(葉菜)		ρ_v	Kg/m ²	2	一般公衆線量評価を基に設定した。	
放射性核種の崩壊定数	¹³⁴ Cs	λ	1/y	0. 336	ICRP Publ. 107 の半減期より設定した。	
	¹³⁷ Cs			0. 023		
放射性核種の葉菜上の実効減衰定数	¹³⁴ Cs	λ_{eff}	1/y	18. 436	一般公衆線量評価を基に設定した。	
	¹³⁷ Cs			18. 123		
放出粒子の沈着速度(乾性沈着)		V_g	m/s	0. 0015	IAEA TECDOC-1777 を基に設定した。	
栽培期間年間比		f_t	-	1	保守的に 1 とした。	
摂取前洗浄による残留比		f_d	-	1	保守的に 1 とした。	

<大雨による除去土壌等の流出（経路 8）>

経路 8 に示す被ばく経路は式 (1) を用いて評価を行う。なお、経路 8 の事故では図 5 に示すとおり、道路側溝に除去土壌が流出したのち堆積した側溝上を歩行する際に受ける外部被ばくを想定した。式 (1) で使用されるパラメータを表 10 に示す。

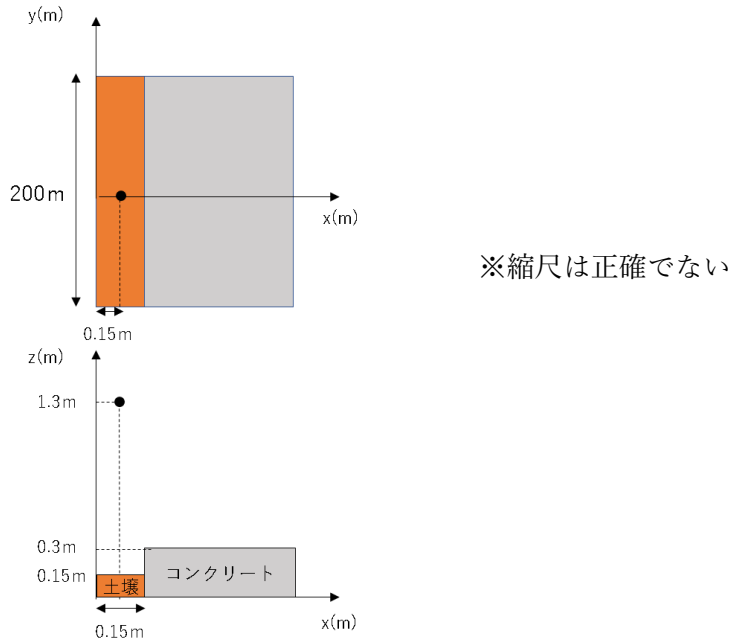


図 5 大雨に伴う除去土壌等の流出事故

表 11 経路 8 の評価に使用するパラメータ

パラメータ名称		式中記号	単位	設定値	設定根拠
放射性核種の濃度	^{134}Cs	$C_A(i)$	Bq/kg	2500	表 3
	^{137}Cs			8500	
外部被ばくに対する遮へい係数		S_0	-	1.0	保守的に 1 とした。
被ばく時間		t_0	h / y	365	道路上を毎日 1 時間歩行する生活様式を想定した。
外部被ばく線量換算係数	^{134}Cs	$DF_{ext}(i)$	$\mu\text{Sv/h}$ per Bq/kg	2.6E-05	大雨により 10%の除去土壌等が流出し、その 10%が側溝上に堆積すると仮定した。QAD-CGGP2R コードを用い、以下の体系で解析を行った。 線源の形状：0.15m×0.3m×180m 線源の密度：1.5g/cm ³ 遮へい条件：なし 評価点：図 5 のとおり
	^{137}Cs			9.5E-06	
放射性セシウムの崩壊定数	^{134}Cs	λ	1/y	0.336	ICRP Pub1. 107 の半減期より設定した。
	^{137}Cs			0.023	

＜水系を通じた施設外への漏えい防止機能の喪失（経路9）＞

経路9として、水を介した除去土壌等からの放射性セシウムの漏えいを防ぐための機能が失われるシナリオを設定し、上部及び下部遮水シートの破れや保管容器の損傷が生じた状況を想定した。被ばく経路としては、仮置場外へ漏えいした放射性セシウムが地下水へ移行したのち飲用水利用される経路を想定した。想定した事故の状況を図6に示す。以上を基に放射性セシウムが地下水を経由して漏えいした際に生じうる追加被ばく線量を式(12)及び(18)～(22)を用いて評価した。評価に用いたパラメータを表12に示した。

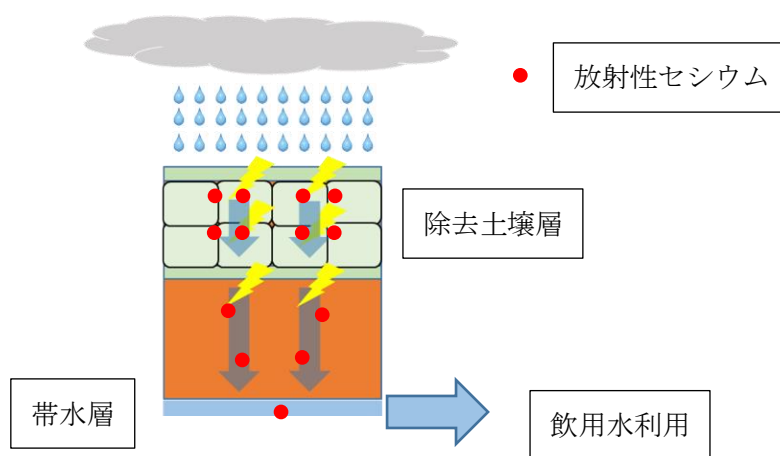


図6 雨水侵入に伴う地下水への放射性セシウム漏えい

表 12 経路 9 の評価に使用するパラメータ

パラメータ名称	式中記号	設定値	単位	設定根拠
コンテナの高さ	H_P	m	1.1	除染関係ガイドライン
コンテナの底面積	A_P	m ²	1.1	
コンテナの破損割合	DR_P	—	0.2	20%が破損すると仮定
仮置場の地下水の流れと垂直な幅	W_S	m	20	仮置場の長辺の長さを設定
保管物の密度	ρ_W	g-dry /cm ³	1.6	中間貯蔵施設の概略安全評価について
含水率	WR_W	—	0.3	浅地中トレンチ処分の安全評価手法:2013 を基に設定した。
収着分配係数	K_{di}	Bq/kg-dry	270	IAEA TRS-364 ⁴⁾
単位面積当たりの浸出水の流出速度	R_I	m/year	0.4	地下水ハンドブック ⁵⁾
帯水層の厚さ	T_G	m	5	設定値
帯水層の有効空隙率	EP_G	—	0.3	保管物と同様
地下水の流速	R_G	m/d	1	同上 ⁵⁾
飲用水に関する放射性物質濃度から被ばく線量への換算係数	DCF_{di}	μSv/year per Bq/L	¹³⁴ Cs: 15.45 ¹³⁷ Cs: 10.57	IAEA SRS-19 ⁷⁾

＜河川の氾濫による除去土壌等の流出（経路 10）＞

経路 10 では河川の氾濫による除去土壌等の放出シナリオとして、河川底に除去土壌等の一部が堆積し、定常的に放射性セシウムが河川水へ溶出することで汚染された河川水を灌漑用水として利用することによる、汚染された農産物の摂取、汚染された土壌からの外部被ばく及び舞い上がり土壌の吸入被ばくを想定した。本被ばく経路は式(12)を用いて評価を行う。また、式(12)で用いる食品中の放射性核種濃度は式(5)～(7)、(14)、(15)、(23)を用いて求めた。図7に想定した事故状況を示す。また、式(5)～(7)に用いたパラメータを表13に示す。なお、式(14)、(15)、(23)で用いるパラメータは表10と同様の値を用いた。

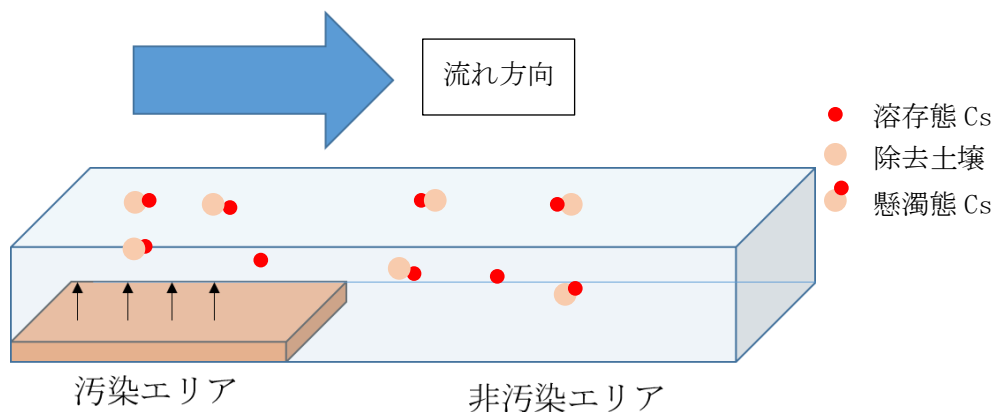


図7 河川氾濫後の除去土壌の堆積

表 13 河川氾濫に伴う水系放出経路による灌漑に伴う土壤汚染評価に使用するパラメータ

パラメータ名称		式中記号	単位	設定値	備考
除去土壤残留時間		t	d	365	一年間で除去土壤がすべて底質から流されると想定
土壤密度		ρ	kg/m ³	1600	表 3
土壤流出量		V _{waste}	m ³	800	全体の 100%が流出し河川底にとどまると仮定した。
放射性核種の濃度	¹³⁴ Cs	C _{waste} (i)	Bq/kg	2500	表 3
	¹³⁷ Cs			8500	
放射性核種の崩壊定数	¹³⁴ Cs	λ	1/y	0.336	ICRP Publ. 107 の半減期より設定した。
	¹³⁷ Cs			0.023	
土壤-河川水間の収着分配係数		Kd _{ss}	m ³ /kg	1000	ORNL-5786 より設定した。
河川流量		V _{river}	m ³ /d	5.7×10 ⁶	本宮観測所における過去5年間の阿武隈川の流量の平均値を利用した。
土壤間隙率		ε	-	0.38	浅地中トレンチ処分の安全評価手法:2013 を基に設定した。

表 14 経路 10 の評価に用いるパラメータ

パラメータ名称	式中記号	単位	設定値	設定根拠	
土壌中放射性核種濃度	^{134}Cs	$C_{\text{soil}}(i)$	Bq/kg	6.6E-1	表 10 に示すパラメータを用いて式 (5) により求めた。
	^{137}Cs			2.3	
年間食品摂取量	葉菜類	H_f	kg/y	20.3	平成 16 年国民健康・栄養調査報告における値を用いた。
	米類			58.5	
	その他農産物			160.5	
市場希釈係数	葉菜類	G_f	-	0.1	浅地中トレンチ処分の安全評価手法:2013 を基に農耕者の値を設定した。
	米類			1	浅地中トレンチ処分の安全評価手法:2013 を基に、保守的に 1 とした。
	その他農産物			0.1	浅地中トレンチ処分の安全評価手法:2013 を基に農耕者の値を設定した。
線量換算係数	^{134}Cs	$DF_{\text{ing}}(i)$	Sv / Bq	1.30E-8	IAEA-SS-115 の値を用いた。
	^{137}Cs			1.90E-8	
土壌-農作物間の移行係数	葉菜類	$TF_{\text{soil-leas}}(i)$	(Bq/kg-wet/ Bq/kg-dry)	0.04	IAEA SRS 19 の値を採用した。
	米類	$TF_{\text{soil-leas}}(i)$		0.0016	IAEA TECDOC 1616(P248)に示されるフォールアウトの放射性セシウムについての日本における実測値(white rice)を採用した。
	その他農産物	$TF_{\text{soil-others}}(i)$		0.04	IAEA SRS 19 の値を採用した。
放射性セシウムの崩壊定数	^{134}Cs	λ	1/y	0.336	ICRP Publ. 107 の半減期より設定した。
	^{137}Cs			0.023	

<河川の氾濫による除去土壌等の流出（経路 11）>

経路 11 に示す被ばく経路は式(2)及び(4)～(7)を用いて評価を行う。また、式(2)及び式(4)で用いるパラメータを表 15 に示す。なお、式(5)～(7)で用いるパラメータは表 13 と同様の値を用いた。

表 15 経路 11 の評価に用いたパラメータ

パラメータ名称	式中記号	単位	設定値	設定根拠	
地表面の放射性核種濃度	¹³⁴ Cs	$C_{ground}(i)$	Bq/m ²	1.9E+2	式(4)より導出した。
	¹³⁷ Cs			6.3E+2	
被ばく時間	t_0	h/y	500	浅地中トレンチ処分の安全評価手法:2013 を基に農耕者の値を設定した。	
外部被ばくに対する遮へい係数	S_0	-	1	保守的に 1 とした。	
外部被ばくに対する線量換算係数（核種が沈着した土壌）	¹³⁴ Cs	$DF_{ext}(i)$	Sv/s per Bq/m ²	1.6E-15	US EPA Federal Guidance Report No. 12 を基に設定した。
	¹³⁷ Cs			5.7E-16	
放射性セシウムの崩壊定数	¹³⁴ Cs	λ	1/y	0.336	ICRP Publ. 107 の半減期より設定した。
	¹³⁷ Cs			0.023	
土壌実効表面密度	P_v	kg/m ²	280	U. S. NRC Regulatory Guide 1.109 において使用している値を設定した。	

<河川の氾濫による除去土壌等の流出（経路 12）>

経路 12 に示す被ばく経路は式(5)～(7)、(9)及び(11)を用いて評価を行う。また、式(9)、(11)で用いるパラメータを表 16 に示す。なお、式(5)～(7)で用いるパラメータは表 13 と同様の値を用いた。

表 16 経路 12 の評価に用いたパラメータ

パラメータ名称	式中記号	単位	設定値	設定根拠
大気中ダスト濃度	d_R	kg/m ³	5.0E-7	浅地中トレンチ処分の安全評価手法:2013 を基に農耕者の値を設定した。
大気中の放射性核種濃度	¹³⁴ Cs	$C_{air}(i)$	3.3E-7	式(11)より導出した。
	¹³⁷ Cs		1.1E-6	
被ばく時間	t_0	h/y	500	浅地中トレンチ処分の安全評価手法:2013 を基に農耕者の値を設定した。
吸入被ばくに対する線量換算係数	¹³⁴ Cs	$DF_{inh}(i)$	μSv/Bq	ICRP Publ. 72 で示された、一般公衆(成人)の吸入による被ばく換算係数を設定した。
	¹³⁷ Cs		6.6E-03	
放射性セシウムの崩壊定数	¹³⁴ Cs	λ	1/y	ICRP Publ. 107 の半減期より設定した。
	¹³⁷ Cs		0.336	
呼吸率	R_{inh}	m ³ /h	1.2	ICRP Publ. 89 を基に算定した。

3. 評価結果

表 4 に示したシナリオに関する線量評価の結果を表 17 に示す。

表 17 各シナリオの線量評価

経路	状況	被ばく線量(mSv)	対象
1-(a)	平常時	6.0×10^{-2}	公衆
1-(b)		1.4×10^{-2}	公衆
2		7.9×10^{-3}	モニタリング作業員
3	事故時	5.2×10^{-2}	公衆
4		1.5×10^{-3}	公衆
5		3.0×10^{-1}	公衆
6		4.6×10^{-2}	公衆
7		8.4×10^{-1}	公衆
8		4.9×10^{-2}	公衆
9		3.0×10^{-5}	公衆
10		1.2×10^{-4}	公衆
11		3.2×10^{-3}	公衆
12		1.3×10^{-8}	公衆

平成 27 年 4 月時点のモデル仮置場を対象に、想定される被ばくシナリオを評価した結果、平常時における追加被ばく線量は参照値とした年間 1mSv を下回ることが予想された。また、事故時における追加被ばく線量は参照値とした事故あたり 5mSv を下回ることが予想された。

事故時の評価において、最も影響が大きいと想定されたのは、火災事象の発生時における汚染された農産物の経口被ばく経路であった。したがって、生活圏に存在する仮置場において大規模な火災事故が発生した場合においては、本経路については注意を払う必要がある。すなわち、農産物の汚染が懸念されるレベルであるかを判断するための空間線量率の測定を行う、またその結果に基づき汚染が懸念される場合には、特に初期沈着による汚染が懸念される葉菜について放射能測定を行うこと等が挙げられる。これらの対応を適切にとることで、仮に大規模な事故が生じたとしても無用な被ばくを防ぐことが可能である。

また、平常時の被ばく経路として設定した公衆の外部被ばく経路は、ガイドラインに沿った仮置場の設計を行うことで、追加被ばく線量が 0.06 mSv/年と低く抑えられることが示されたが、本シナリオは必ず発生するものであることから、今回想定したシナリオの中でも重要なシナリオと考えられる。

なお、本報告書においてはあくまで各被ばく経路におけるハザードの大きさについてのみ評価を行っており、発生確率に関する言及はしていないが、リスクとはハザードと発生確率により評価されるものであり、ハザードが大きい事故であっても、その発生確率が小さければ、リスクとしては小さくなる。例えば、今回最も影響が大きいと推定された火災事故の発生確率は、最終処分場の例でみると平成 16-19 年度において約 0.1% であるとの報告がされている他、県内の除去土壌等の仮置場においてもこれまで発生が明らかになっているのはわずか 1 件にとどまっている。これらのことを踏まえると、仮置場において火災や豪雨等が生じることによる除去土壌等の大気や水系といった外部環境への流出事象のリスクは十分に小さいと判断してよいと考えられる。

なお、今回は保管時を対象としたことから、遮へいや離隔が適切になされた体系を評価したが、今後の除去土壌等の輸送時においては、遮へい土の撤去により一時的に周辺の空間線量率が上昇する可能性があることから、輸送計画の段階で遮へい土の撤去による影響を十分に検討する必要がある。

謝辞

外部被ばく線量換算係数の導出に際し、ご協力いただいた国立研究開発法人日本原子力研究開発機構の山田様に感謝いたします。

参考文献

- 1) 中間貯蔵施設に係る「当面 5 年間の見通し」、環境省、2016 年、

- http://josen.env.go.jp/chukanchozou/action/acceptance_request/pdf/correspondence_160327_01.pdf（令和2年3月5日最終閲覧）。
- 2) 除染仮置場等の状況（福島県内）、
http://josen.env.go.jp/plaza/info/data/pdf/data_1907_02.pdf（環境再生プラザ、令和2年3月5日最終閲覧）。
 - 3) 除去土壌等の保管状況を更新しました（平成31年3月末時点）、
<https://www.pref.fukushima.lg.jp/site/portal/hokanjyoukyou.html>（ふくしま復興ステーション、令和2年3月5日最終閲覧）。
 - 4) 除染関係ガイドライン - 除去土壌の保管に係るガイドライン、環境省、H25年
 - 5) 除染情報サイト - 仮置場について、
http://josen.env.go.jp/soil/temporary_place.html（令和2年3月5日最終閲覧）。
 - 6) 平成23年厚生労働省令第152号、厚生労働省、2011年、
<https://www.mhlw.go.jp/file/06-Seisakujouhou-11300000-Roudoukijunkyokuanzeneiseibu/0000030858.pdf>（令和2年3月5日最終閲覧）。
 - 7) 東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故の影響を受けた廃棄物の処理処分等に関する安全確保の当面の考え方について、原子力安全委員会、2011年、
https://www.env.go.jp/jishin/rmp/conf/18/ref01_1r.pdf（令和2年3月5日最終閲覧）。
 - 8) 中間貯蔵施設の概略安全評価について、環境省、2013年、
http://josen.env.go.jp/soil/pdf/safety_measure_04_02.pdf（令和2年3月5日最終閲覧）。

仮置場等の設置に係る住民合意形成について

1. 背景・目的

福島県内では、除染により生じた放射性物質を含む土壌・草木類を中間貯蔵施設に搬出するまでの間、仮置場や現場保管（以下「仮置場等」という。）において安全に保管することとなっている。これら仮置場等の設置に係る知見、とりわけ住民合意形成に関する知見は、単に原発事故に伴う対応の範囲にとどまらず、例えば廃棄物処理施設の立地選定といった、様々な施設の立地に係る住民合意形成において参考になるものと考えられる。

そこで、福島県環境創造センターでは、除染実施計画を作成した自治体等を対象としたヒアリング調査、及び一般住民を対象としたアンケート調査を行い、仮置場等の設置に係る住民合意形成に関する知見をとりまとめた。

2. 実施内容

2. 1. ヒアリング調査

除染により生じた土壌や草木等を保管するための仮置場等の設置方針や具体的な立地選定過程における住民参加の方策等に係る情報を収集するため、仮置場の設置に携わった自治体等担当者を対象としたヒアリングを行った（以下「行政ヒアリング」という。）。また、仮置場設置に際しての立地地域住民の意見を把握するため、立地地域住民代表を対象としたヒアリングを行った（以下「住民ヒアリング」という。）。

2. 1. 1 行政ヒアリング

2. 1. 1. 1 ヒアリング対象

福島県、宮城県及び栃木県において、以下の考え方で選定した 38 自治体を対象とした。

- ・平成 30 年 4 月時点で放射性物質汚染対処特措法（平成 23 年法律第 110 号）に基づく汚染状況重点調査地域に指定され、除染実施計画を策定している自治体（福島県内 34 自治体、宮城県、栃木県内各 1 自治体）
- ・同法に基づく除染特別地域に指定されている自治体（福島県内 2 自治体）

2. 1. 1. 2 ヒアリング項目（主なもの）

①自治体の状況

除染実施計画策定の状況、除染実施計画策定前の除染対策 等

②仮置場設置方針

- ・仮置場立地選定にあたっての主体、住民関与、会議体の設置方針 等
- ・仮置場設置単位（大規模集約型、中規模集約型又は分散型）、形式、収容物、候補地

選定方法 等

【仮置場設置単位】

○大規模集約型

自治体全体の仮置場設置、又は自治体内広域の範囲で複数設置

○中規模集約型

自治体内の支所・方部・旧市町村単位で設置、又は複数行政区単位で設置

○分散型

自治体内の行政区、大字単位で設置又は町内会・地区・組単位で設置

③仮置場候補地選定

実際の仮置場立地選定に係る関係者の関与、手法、課題 等

④仮置場の合意形成過程事例

自治体の代表的（又は特徴的）な仮置場の大きさ、立地選定過程 等

2. 1. 1. 3 その他

ヒアリング実施にあたっては、仮置場等の立地選定に携わった担当者に協力をいただいた。なお、当時の担当者が他部署等に移っている場合には、現担当者に協力をいただいた。

2. 1. 2 住民ヒアリング

仮置場の立地選定に係る住民間の協議方法について調査を行うため、「ア 行政ヒアリング」での結果において、特に仮置場の立地選定過程において住民が関わっていた自治体を抽出し、仮置場の立地選定に関与した地域の組織・団体の代表者を対象としたヒアリングを行った（以下「住民ヒアリング」という。）。

2. 1. 2. 1 ヒアリング対象

表1に示す。

表1 住民ヒアリングの対象

No	自治体区分	相手方
1	県北ブロック	元行政区長
2	県北ブロック	元行政区長
3	県北ブロック	元行政区長
4	県中ブロック	元行政区長
5	県南ブロック	元行政区長
6	県南ブロック	元行政区長
7	県南ブロック	元行政区長
8	相双ブロック	住民団体代表
9	県外ブロック	元行政区長

2. 1. 2. 2 ヒアリング項目（主なもの）

- ①仮置場の立地選定について
 - 候補地選定方法
 - 立地選定過程
 - 立地選定に対する住民感情の変化 等
- ②設置した仮置場との関わりについて
 - 監視体制 等

2. 2 住民アンケート調査

「2. 1 ヒアリング調査」の結果から、仮置場の設置方針や立地選定における住民合意形成過程は自治体によって異なっており、さらに自治体内でも地域によって異なることも明らかとなった。

そこで、地域毎の特性を検討するため、同一自治体から異なる2地域を対象として、仮置場設置に関する住民アンケート調査を行った。なお、対象とする地域は、仮置場の設置単位が住民の仮置場に対する印象に与える影響を明らかにする観点から、仮置場の設置単位が異なる2地域から選定することとした。

2. 2. 1 調査対象

福島県内でこれまでに市町村合併が行われた自治体において、地域性が異なり、かつ仮置場の設置単位が異なる2地域（地域A（集約型）及び地域B（分散型））で、全体で3,000世帯とし、地域毎に1,500世帯を対象とした。結果、地域Aで296世帯（回答率19.7%）、地域Bで282世帯（回答率18.8%）からの回答を得た。

2. 2. 2 調査方法

- ・地域指定郵便で調査票を送付し、返信は郵便で受け付けた。
- ・調査票の配布先は、仮置場設置地区からの距離を基準として、距離が近い地区から順に優先的に選択し、対象世帯数を満たす範囲とした。

2. 2. 3 主な調査項目

2. 2. 3. 1 対象者全員

- ・原発事故後の放射能問題に対する当時の気持ち
- ・仮置場に対する当初の印象
- ・仮置場を設置することへの印象とその理由
- ・仮置場を設置する際に適切と思う規模感
- ・仮置場の受入可否を判断する際に必要な要件
- ・仮置場の認知

2. 2. 3. 2 仮置場が地区内である場合

- ・仮置場の設置に係る情報を認知したきっかけ
- ・住民説明会への参加の有無
- ・仮置場が設置されることが決定した際の印象とその理由
- ・説明会の進め方についての考え
- ・現在の仮置場のイメージ

3. 結果

3. 1 ヒアリング調査

3. 1. 1 行政ヒアリング

3. 1. 1. 1 ヒアリング項目別回答の整理

①自治体の状況

- ・7割以上の自治体において、除染実施計画の策定前に学校の除染や通学路の除染など放射線に対する感受性の高い子供の被ばく線量を低減するための対策を実施していた。
- ・福島県内の自治体では、線量低減化活動支援事業を活用し、自治会や町内会といった単位での除染対策も実施していた。
- ・5割以上の自治体において、除染実施計画の策定に際し、除染の作業方法及び除去土壌等の発生量を把握するためのモデル除染を実施していた。

②仮置場設置方針

- ・8割以上の自治体において、行政が主体となって方針を策定していた。
- ・一方で、方針策定にあたっては、除染や仮置場を含めた原発事故関係の様々な政策

決定時における合意形成を円滑に進めるための住民代表を含む新たな会議体を構築した場合もみられた。

- ・ 6割以上の自治体において、方針策定の初期段階では、除去土壌等の管理や輸送などの効率性を考慮し、仮置場設置単位を自治体で1箇所といった大規模集約型にすることとしていた。
- ・ 一方で、実際に仮置場設置方針の策定や立地選定の段階において、住民等との意見交換の結果を踏まえて、仮置場設置単位を行政区や自治会単位とする等、集約であっても結びつきの強いコミュニティ単位での設置を目指す等、方針を転換しているケースが見られた。

③仮置場候補地選定

- ・ 仮置場候補地の選定では、住民主導で進めた自治体の割合が5割以上で最も多く、次に行政主導で進めた自治体が3割以上を占めた。また、ケースに応じて住民と行政双方が主導で進めた自治体も一定の割合で確認できた。
- ・ 行政主導で進めた自治体において、行政が候補地を選定し、地権者の合意を得たのち、候補地周辺住民への説明会を通じて、正式に場所を決定する過程で進めていた。
- ・ この場合、必ずしも住民に決定権（拒否権）があるわけではないものの、住民の意見は考慮され、単に候補地の変更だけでなく、住民の不安を軽減するための対応を実施したり、情報を丁寧に説明していたりしていた。
- ・ 住民主導で進めた自治体において、住民自治組織やその連合体などの住民組織が行政の要請を受けて地域内の調整を行っていた。
- ・ この場合、住民組織の役割は候補地の提案や地権者の合意取得までとし、必ずしも地域全体の住民合意形成までを担うわけではなかった。
- ・ 候補地の選定は、行政と住民間で進めるだけでなく、住民同士の話合いで進めるケースが見られた。住民同士の話合いは地域コミュニティの範囲となるため、結果として、住民主導で進めた自治体の仮置場は、行政区単位といった分散型が多かった。
- ・ そのための前提として、仮置場を設置することの有用性やその必要性に関する共通理解が必要であり、初期段階における共通理解の形成が行政の役割であった。

④仮置場の合意形成過程事例

- ・ 総論的に候補地の地権者から合意を得ることよりも、周辺住民から合意を得ることの方が困難であった。候補地の地権者からは合意を得たものの、候補地周辺住民からの反対意見が多いため、当該候補地への立地を断念したケースが見られた。
- ・ 行政と候補地周辺住民との交渉では、予め個別に住民を訪問するなどして、賛同を一定程度得てから説明会に臨んだものの、少数であっても一部の住民の反対意見に同調する形で反対に回るケースもあった。
- ・ これは、当初賛同していた住民のほとんどは消極的な理由（苦渋の決断という言葉

がよく聞かれた)であったため、積極的な反対意見に影響されたものと考えられた。このようなケースでは、行政ではなく、地域住民の信頼を得た住民代表者などが、合意形成に関与することが有効であると考えられた。

- ・仮置場の設置において住民から挙げられた不安を分類すると、「放射線量の上昇」、「周辺の環境変化（水質等）」及び「仮置場の管理」に大別された。
- ・「放射線量の上昇」への不安に対しては、「放射線量の揭示」、「HP での情報発信」、「地域の人に線量測定を委託」などが不安軽減対策として取られていた。
- ・「周辺の環境変化（水質等）」への不安に対しては、「仮置場付近の地下水や利用井戸水のモニタリング」、「仮置場からの排水の管理」といった、住民目線に立った不安軽減対策が取られていた。
- ・「仮置場の管理」への不安に対しては、「仮囲いフェンスの適切な利用」、「住民による監視体制の実施」などが不安軽減対策として取られていた。

3. 1. 1. 2 仮置場設置単位毎の整理

自治体ヒアリング調査の結果から、自治体の仮置場設置方針について、仮置場設置単位毎に「①候補地の提案」、「②地権者や周辺住民への説明」、「③仮置場設置の意思決定」の項目に分け、その役割を担った主体別に整理を行った。同様に、「④設置方針の転換」についても仮置場設置単位毎に整理した。また、各自治体における仮置場設置単位は主なものを選定している。

まず、仮置場設置単位毎に①～③を整理した結果を表2～表4に示す。

全体的な傾向として、大規模集約型は、①～③の全ての段階で行政がその役割を主体的に担う割合が高いことが確認された。その一方、分散型では、①～③の全ての段階で住民がその役割を主体的に担う割合が高いことが確認された。また、仮置場候補地の選定や意思決定について、住民代表を含む住民組織が行い、これに基づき周辺住民へ説明する役割を行政が主体的に担うといったケースも比較的多く見られた。また、項目別の傾向は次のとおりとなった。

①候補地の提案

候補地の提案について、大規模集約型は、中規模集約型及び分散型と比較して、行政が主体となる割合が高い結果であった。また、住民が主体となる場合、大規模集約型では個人であるケースが多い一方で、中規模集約型及び分散型では、何らかの住民組織であるケースが多かった。

②地権者や周辺住民との交渉

地権者や周辺住民との交渉について、大規模集約型では行政が主体となる割合が高く、分散型では住民の割合が高い結果であった。

③仮置場等設置の意思決定

仮置場等設置の意思決定について、大規模集約型と比較して、中規模集約型及び分

散型の方が、住民組織による意思決定がなされた割合が高い結果となった。

なお、仮置場の決定した組織とは、仮置場の決定に関する意思決定を実質的に行っていた組織を指し、決して法的な権限のありかを指すものではない。

次に、仮置場設置単位毎に④を整理した結果を表5に示す。当初の方針を大規模集約型として策定した自治体のうち4割以上が、小規模な単位で仮置場を設置する方針に転換したことが確認された。その一方、当初の方針において中規模集約型及び分散型の方針を策定した自治体は、ほとんど方針の変更がないことが確認された。

表2 自治体における仮置場設置単位（大規模集約型）

対象自治体	設置単位	①候補地の提案	②地権者や周辺住民との交渉		③仮置場設置の意思決定	
			地権者との交渉	周辺住民との交渉	決定に関わった組織	具体的な組織
自治体1	市町村内一箇所	行政	無し	行政	行政	
自治体2	市町村内一箇所	住民	行政	無し	行政	住民説明会
自治体3	市町村内一箇所	行政	無し	行政	行政及び住民	住民説明会
自治体4	市町村内一箇所	行政	行政	無し	行政	住民説明会
自治体5	市町村内一箇所	住民	行政	行政	住民	協議会
自治体6	市町村内一箇所	行政	行政	住民	住民	行政区・町内会
自治体7	市町村内一箇所	行政	無し	無し	行政	
自治体8	市町村内一箇所	住民	行政	無し	行政	住民説明会
自治体9	市町村内一箇所	行政	行政	行政	行政	住民説明会
自治体10	市町村内一箇所	行政	行政	行政	行政	住民説明会
自治体11	市町村内一箇所	行政	無し	無し	行政	
自治体12	市町村内広域の範囲で複数箇所	行政	行政	行政	行政	住民説明会
自治体13	市町村内広域の範囲で複数箇所	行政	無し	無し	行政	
自治体14	市町村全体の一箇所及び行政区	行政及び住民	行政	行政	行政及び住民	住民説明会

表3 自治体における仮置場設置単位（中規模集約型）

対象自治体	設置単位	①候補地の提案	②地権者や周辺住民との交渉		③仮置場設置の意思決定	
			地権者との交渉	周辺住民との交渉	決定に関わった組織	具体的な組織
自治体15	支所、方部、旧町村等	行政	行政	行政	行政	住民説明会
自治体16	支所、方部、旧町村	住民	住民	行政	住民	協議会
自治体17	支所、方部、旧町村	住民	住民	住民	住民	行政区・町内会
自治体18	支所、方部、旧町村	行政及び住民	行政	行政	住民	行政区・町内会
自治体19	支所、方部、旧町村	住民	行政	行政	行政	
自治体20	複数行政区	行政及び住民	行政	行政	行政	住民説明会
自治体21	複数行政区	住民	住民	住民	住民	行政区・町内会

表4 自治体における仮置場設置単位（分散型）

対象自治体	設置単位	①候補地の提案	②地権者や周辺住民との交渉		③仮置場設置の意思決定	
			地権者との交渉	周辺住民との交渉	決定に関わった組織	具体的な組織
自治体22	行政区等	住民	住民	行政	行政	住民説明会
自治体23	行政区	住民	住民	住民	住民	行政区・町内会
自治体24	行政区	行政及び住民	行政	行政	行政及び住民	住民説明会
自治体25	行政区	住民	住民	住民	住民	行政区・町内会
自治体26	行政区	住民	行政	行政	行政	住民説明会
自治体27	行政区	住民	住民	住民	行政	
自治体28	行政区	住民	住民	住民	住民	行政区・町内会
自治体29	行政区	住民	住民	住民	住民	行政区・町内会
自治体30	行政区	住民	行政及び住民	行政	住民	行政区・町内会
自治体31	行政区	住民	行政	行政	行政	
自治体32	行政区	行政	行政	行政	行政	住民説明会
自治体33	行政区	住民	行政	行政	住民	行政区・町内会
自治体34	大字等	住民	行政及び住民	行政	住民	行政区・町内会
自治体35	大字	住民	行政	行政	行政	
自治体36	大字	行政及び住民	行政及び住民	行政及び住民	行政及び住民	住民説明会

表5 自治体の仮置場等設置方針の当初の方針と実際の方針

当初想定 の設置単位	実際の 設置単位	自治体 数	県北	県中	県南	相双 いわき	会津	県外
大規模集約型	大規模集約型	13*	0	4	2	4*	3	0
	中規模集約型	1	0	0	0	0	0	1
	分散型	10	3	3	1	3	0	0
	設置せず	2	0	1	0	0	0	1
	計	26*	3	8	3	7*	3	2
中規模集約型	大規模集約型	0	0	0	0	0	0	0
	中規模集約型	6	1	3	2	0	0	0
	分散型	2	2	0	0	0	0	0
	設置せず	0	0	0	0	0	0	0
	計	8	3	3	2	0	0	0
分散型	大規模集約型	1	0	0	1	0	0	0
	中規模集約型	0	0	0	0	0	0	0
	分散型	4*	1	0	1	2*	0	0
	設置せず	0	0	0	0	0	0	0
	計	5*	1	0	2	2*	0	0
総計		39*	7	11	7	9*	3	2

*: 1市町村において、「大規模集約型」と「分散」とどちらにも回答があったため、重複して集計を行っている。

3. 1. 2 住民ヒアリング

住民ヒアリングの結果について、項目別に整理した結果を示す。

3. 1. 2. 1 仮置場の立地選定について

- ・仮置場の規模の大小にかかわらず、例えば、行政区組織の役員といった住民代表者を中心に候補地選定がなされているケースがあった。
- ・仮置場の立地選定にあたっては、行政区組織の会議において採決をとったケースと、あえてとらずに行政区組織の役員のみで決定したケースがあった。
- ・採決をとらなかったケースの理由として、賛成者のほとんどが消極的賛成であり、

採決を取った場合、意見が容易に変わる可能性が示唆されたためであった。

- ・住民間での話し合いの場を設け、時間をかけたことによって、徐々に冷静な議論が可能となった。
- ・議論に必要な情報について行政への提供依頼を行うなどしつつ、議論を積み重ねることで、住民理解が少しずつ深まり、具体的な条件へと議論が進んでいるケースがあった。
- ・住民代表者の信頼感が住民理解醸成の要因になっているとの意見があった。

3. 1. 2. 2 設置した仮置場との関わりについて

- ・住民又は行政から住民による仮置場の監視を行う旨の提案があった。

3. 2 住民アンケート調査

アンケート調査の回答について整理した結果、次のとおりとなった。

- ・仮置場の設置における意思決定構造に影響を及ぼす質問において、地域 A (集約型) と地域 B (分散型) での回答に大きな違いは確認できなかった。
- ・仮置場の設置方針に関連する質問において、一部の質問で地域 A と地域 B の地域間で違う傾向が確認された。
- ・地域 A と地域 B の回答割合で違う傾向が見られたものの一例としては、仮置場の設置に肯定的な態度を示した理由があげられた。具体的には、仮置場の設置が決定した際、「やむを得ない」、又は「必要だ」と肯定的な態度を示した住民について、その理由を尋ねたところ、「地域外の除染物は受入しない方針であったから」との回答をした人の割合が、地域 A に比べ、地域 B の地域の方で高い結果が見られた。

4. まとめ

4. 1 ヒアリング調査

4. 1. 1 行政ヒアリング

- ・仮置場設置方針について、8割以上の自治体において行政が主体となって方針策定が行われていたが、一部の自治体では、合意形成を円滑に進めるための住民代表を含む新たな会議体を構築している場合もあった。また、6割以上の自治体では、方針策定の段階において、自治体で1箇所といった大規模集約型の仮置場を設置することとしていた。なお、実際の仮置場設置方針の策定や立地選定の段階では、住民等との意見交換の結果を踏まえて、集約であっても行政区や自治会単位等の結びつきの強いコミュニティ単位での設置を目指す等、方針を転換しているケースが見られた。
- ・仮置場候補地の選定について、住民主導で進めた自治体の割合が5割以上で最も多く、次に行政主導で進めた自治体が3割以上を占めた。また、住民と行政双方が主

導で進めた自治体も一定の割合で確認できた。行政主導で進めた自治体では、行政が候補地を選定し、地権者の合意を得たのち、周辺住民へ説明会を通じて正式に場所を決定する過程をとっていた。住民主導で進めた自治体では、住民自治組織やその連合体などの住民組織が行政の要請を受けて地域内の調整を行っていた。

- ・仮置場の合意形成過程事例について、総論的に候補地の地権者から合意を得ることよりも、周辺住民から合意を得ることの方が困難であった。
- ・上記について、仮置場設置単位毎に「①候補地の提案」、「②地権者や周辺住民への説明」、「③仮置場等設置の意思決定」及び「④設置方針の転換」の項目を整理したところ、全体的な傾向として、大規模集約型では①～③の全ての段階で行政がその役割の主体を担う割合が高いのに対して、分散型では①～③の全ての段階で住民がその役割の主体を担う割合が高いことが明らかとなった。また、大規模集約型の仮置場設置を当初の方針としていた自治体の4割以上において、立地選定を進める過程で中規模集約型や分散型に方針転換していた。

4. 1. 2 住民ヒアリング

- ・仮置場選定方法として、行政区組織の役員といった住民の代表者を中心に候補地選定がなされているケースが見られた。
- ・立地選定過程として、行政区組織の会議において採決をとったケースと、あえてとらずに行政区組織の役員のみで決定したケースが見られた。
- ・仮置場の立地選定における住民感情の変化として、住民間での話合いの場を設け、時間をかけることにより徐々に冷静な議論が可能となった、行政による必要な情報の提供により住民理解が醸成された等のケースが見られた。

4. 2 住民アンケート調査

- ・仮置場の設置方針に関連する質問において、一部の質問で集約型と分散型の地域間で違う傾向が確認され、違いが確認された質問の一例は、地域外の除去土壌等の受入可否等、仮置場の設置に肯定的な態度を示した理由であった。

謝辞

末筆ながら、お忙しい中調査にご協力いただいた行政担当者の方々に御礼申し上げます。