

2.8 学会による環境修復への対応

日本原子力学会では、2011年4月「原子力安全」調査専門委員会のもとに、クリーンアップ分科会を立ち上げ、放射性物質による汚染の除去や環境修復について分析し、課題の検討と解決に向けての提言や情報発信を行うこととした。以下、クリーンアップ分科会が中心になって行った環境修復のための主な活動について報告する。

(1) モニタリング，環境修復の一元化への提言

①モニタリングセンター設置への提言

今回のような原発事故においては、適切な情報開示が必要とされる。特に事故の状況や放射性物質による環境汚染の状況に関する情報については、開示が不適切である場合、国民の不安の拡大、事故の発生した原発周辺の一般住民の被ばく被害の拡大を招く可能性がある。これらの情報の中で、モニタリングに関する情報は、事故直後に多数の機関で測定が行われデータが収集されたが、データの集約や正確さの評価に課題が生じることが懸念された。このため、学会では各機関で取得されたデータを集約し、測定地点での比較や時間的な変化など、総合的な解析を行う機関として「環境放射線モニタリングセンター」を設置する必要があることを提言した（福島第一原子力発電所の事故に起因する環境回復に関する提言，2011年6月8日）。この中では、モニタリングの実施に関係する自治体と連携し、家屋、田畑、森林など、きめ細かなデータを取得・収集する必要性を訴え、収集されたデータ及び解析結果は、自治体等を通じて速やかに住民に明示することを提言した。また、本放射線モニタリングセンターの設置と並行して、放射線防護の専門家による現地住民への定期的な説明体制の構築を急ぐことをも提案した。その後、文科省により上記機能を具備したモニタリングセンターの設置がなされた（文科省の一元管理）。

②環境修復センター一元化への提言

発電所敷地内外の環境回復に関しては、環境修復センターの設置と除染モデル事業による速やかなる検証を提言した（2011年7月29日）。当面は敷地外の環境

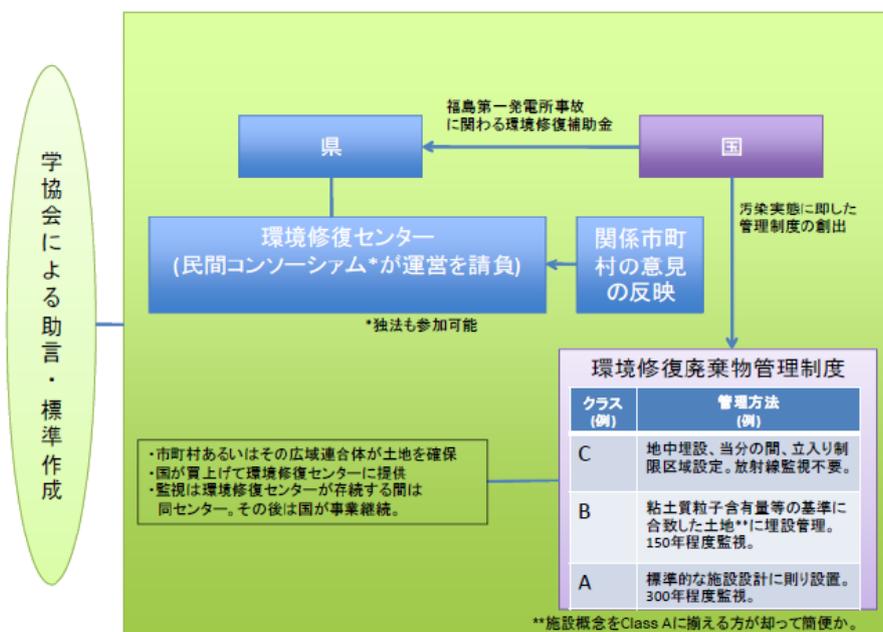


図 2.8-1 環境修復センター及び環境修復廃棄物管理制度のイメージ例

回復に係ることに注力することとし、敷地内については状況の進展に応じ適宜適切な提言活動を行っていくという方針とした。現状敷地外の環境回復は、各自治体において個別の対応活動が見られているが、先を見通した一元的な修復戦略、修復計画策定とそれに基づく実証、実践も機能に含めることとした。具体的には

a.既存技術の適用による放射性物質の除去方策の検討－放射性物質の放出による周辺住民の避難生活が長期に及んでいることから、早期に放射性物質を含む土壌や水、粉塵などを除去する方策を検討

b.新技術の開発－合理的かつ効果的な放射性物質の除去技術を開発

c.除去技術の実証－あらかじめその技術の除染効果を定量的に把握しておくことが重要であるため、実地試験場を被災地域内に設け、適用技術の放射性物質の除去効果を検証するとともに実際の作業にあたっての問題点を確認

d.放射性物質の除去作業によって生じる汚染廃棄物の処理方策－回収、集積された高濃度の放射性物質を含有する廃棄物の対策（保管法および処理処分方策）を検討

する。なお、ここには地方自治体、国等の研究機関、実証試験機関等の関係者が参加することを提案した。ここで記述した機能の一部を持つ組織として、環境省が、福島市内に福島環境再生事務所を開設し、(2012年1月1日より)、除染情報プラザを設置した。また、除染技術に関しては、内閣府などをはじめとし、その他省庁や福島県においても除染モデル事業が実施された。

(2) 除染技術紹介

①除染技術カタログの作成・紹介(EURANOSを中心とする説明用資料)と保管仮置き場の解説
発電所敷地外を対象に、汚染地域の環境修復に関する技術を検討するため、環境修復戦略、シナリオ並びに修復技術の分析を行った。具体的にはチェルノブイリ発電所事故の事例をもとにした環境修復技術の分析と修復技術をまとめたEURANOSプロジェクトを中心に調査を進め、日本への適用性や学会の見解を含めた修復技術カタログを作成した。また、修復対象として、建物(屋外、屋内)、公共施設(公園・運動場、道路)、水、田、畑地、果樹園、牧草地・牧畜、森林、水域、生活用品、ガレキ等を対象物として取り上げ、適用可能な技術のリスト化を行い、地域住民の方々の除染計画の作成に参考になるような説明用資料を作成した(以下参照)。

・除染技術カタログ Ver. 1.0 のご紹介 (2011/10/25) 除染技術カタログ Ver. 1.0<クローンアップ分科会関連>、日本原子力学会ホームページ
” <http://www.aesj.or.jp/information/fnpp201103/chousasenmoniinkai.html>”

また、除染に伴って発生する除去土壌を一時的に保管する仮置場について、その設置や運営に従事される市町村の担当者やその周辺住民の疑問や不安に対応するための解説文を

表 2.8-1 除染技術カタログの技術リスト

1	屋根 葺き替え	20	水耕田 荒かき	39	森林 集水域での水処理	52	公共施設 道路 吸引洗浄
2	屋根 放水洗浄	21	水耕田 土壌洗浄	40	森林 地下水・表面水のモニタリング	53	公共施設 道路 高圧洗浄
3	屋根 ブラッシング	22	水耕田 ファイトレメディエーション	41	水域 井戸水のモニタリング	54	公共施設 道路 表面除去と置換
4	壁 放水洗浄(漆喰、土壁は不可)	23	水耕田 施肥	42	水域 河川水のモニタリング	55	公共施設 道路 舗装板の裏返し
5	壁 硝酸アンモニウム洗浄	24	畑地 表土の剥ぎ取り	43	水域 水源のモニタリング	56	公共施設 道路 汚染物の固定
6	壁 閉じ込み	25	畑地 土地掘り起し	44	水域 水道水の浄化	57	特殊建物 化学除染と超音波処理
7	壁 ポリマーコーティング&ペインティング	26	畑地 プラウによる表土剥ぎ取りと埋設	45	生活用品 拭きとり	58	特殊建物 汚染換気システムの浄化
8	壁 削り取り	27	畑地 低セシウム吸収作物の栽培	46	生活用品 吸引清掃	59	特殊建物 化学的除染
9	敷地 削り取り	28	畑地 土壌洗浄	47	生活用品 洗浄	60	特殊建物 ポリマーペースト
10	敷地 表面被覆	29	畑地 土壌の希酸洗浄とCsの吸着除去	48	生活用品 その他のクリーニング法	61	特殊建物 電気化学的除染
11	敷地 天地返し	30	畑地 ファイトレメディエーション	49	生活用品 汚染物の除去	62	可燃瓦礫
12	敷地 芝刈り	31	畑地 施肥	50	公共施設 運動場 表土替え	63	不燃瓦礫
13	敷地 草や灌木の撤去	32	果樹園 モニタリング	51	公共施設 道路 散水洗浄	64	動物の死骸
14	敷地 汚染物の表面固定	33	果樹園 落葉と表土の回収				
15	家屋 取り壊し	34	果樹園 表面水の回収と処理				
16	屋内 表面除去	35	牧草地 牧草播種、刈取り				
17	屋内 表面洗浄	36	牧草地 表土の剥ぎ取り				
18	水耕田 薙き込み	37	森林 落葉の回収				
19	水耕田 表土の剥ぎ取り	38	森林 樹木および灌木の剪定				

作成した。内容としては、立地条件や安全確保のための施設要件と管理要件について、環境省の「除去土壌の保管に関するガイドライン（平成 23 年 12 月第 1 版）」をベースとし、必要に応じて日本原子力学会・クリーンアップ分科会の検討に基づく推奨事項を付加して解説した。

②水田による実証試験

上記①の除染技術カタログについては、ヨーロッパの事例が調査対象の中心であった。このため、水耕田については知見が乏しく、正しい判断を行う上で現場での必要な知見不足が懸念された。そこで、机上では気づかない評価ポイントを把握することを目的とし、水耕田を対象とする除染技術の実証確認を行う事とした。試験については、1年目に農作業を行う上で、作業者の被ばく低減のための除染方法の実証、2年目に水稻栽培時の放射性核種の移行抑制効果の実証を行った。

被ばく低減の除染試験に関しては推奨されている方法のうち、農業者が自ら実施可能であり、処分の必要な廃棄物となる土壌が発生しない、もしくは発生量が小さいと考えられる代かきを実証対象とした。水稻栽培時の放射性核種の移行抑制に関しては、ゼオライト散布による効果とカリウム施肥の有無を散布条件に掛け合わせ、これらの組み合わせによる玄米へのセシウム移行抑制の有効性を確認する事とした。なお、これらの作業はJA そうま営農経済部および農地所有者の協力のもとに、現地試験や放射能濃度測定などをクリーンアップ分科会会員のボランティア活動により実施した。

a. 代かき試験による被ばく低減効果の実証 1),2),3)

2011年6月より実証試験候補地である福島県南相馬市馬場広畑地区を管轄するJA そう



図 2.8-2 水耕田における代かき実証試験の様子

まの関係者と打ち合わせを実施し、また、候補地近隣農家への環境修復に関する説明会を経て、現地試験（時期、内容、場所等）を実施した。

対象の水耕田は震災後未耕起で、8月に草刈りと耕起後に1回目の代かきを、9月に2回目の代かきを実施した。いずれの場合も被ばく低減を促進するため、代かき作業直後に排水を行った。代かき試験実施箇所の概略を図 2.8-3 に示す。

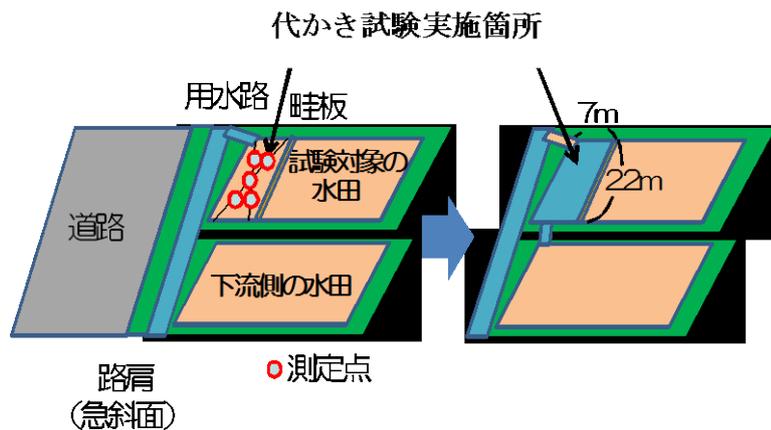


図 2.8-3 代かき試験実施箇所の概略図

8月は草刈り後、耕起後、代かき+排水後の空間線量率測定および土壌サンプリングを行

った。また、代かき前後の空間線量率の測定し、農作業従事時の被ばく線量低減効果を確認した。耕起深さ、代かき深さは共に 15 cm、湛水深は畦高さの平均 20 cm で行った。

9 月は 2 回目の代かき試験(耕起+代かき+排水)を実施し、1 回目と同様、土壌のサンプリング、各工程前後の空間線量率を測定した。

8 月及び 9 月に代かき作業を実施した際に利用した

用水(8月8日, 8月9日, 9月16日にそれぞれ回収, また, 水源の水に関しては9月12日に別途回収)及び代かき後の用水中の Cs-137 放射能濃度を測定した。1 回目の代かき実施時の用水路に用水を引いた直後の 8 月 8 日の試料のみ非常に高い放射性セシウム濃度を示した。但し, この用水のろ液(1 万分画分子量フィルタでろ過)の放射性セシウム濃度は検出限界以下であった。水源水の放射性セシウム濃度がほとんど検出されていないことを考慮すると, 対象水耕田の用水路が震災後特に水を流していないため, 表面に蓄積していたコロイド状のセシウム吸着物質流され, 用水中に混入しものが検出されたと推定される。また, 用水の濃度が低下していくことに関しては, 流水開始初期にはその濃度は高かったものの, 流水を継続することにより下流に放射性セシウム含有物が減少していくことに因るものと考えられる。

耕起前の土壌試料に関しては, γ線スペクトロメトリによる放射性セシウム濃度, 粒度分布, 主要鉱物分析,

沈降速度の情報を得た。深さ 5 cm (表層部) 及び 15 cm (作土層) より採取した土壌の放射性セシウム濃度はそれぞれ 2.3×10^4 Bq/kg, 1.3×10^4 Bq/kg であり放射性セシウムが比較的表層部に存在していることが示され

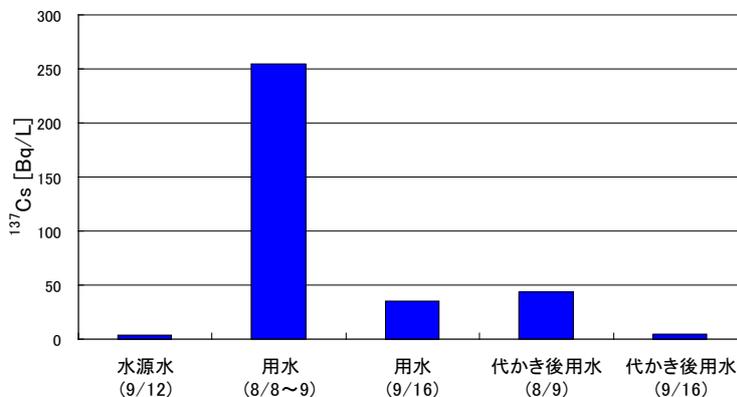


図 2.8-4 代かき作業の用水の放射性セシウム濃度

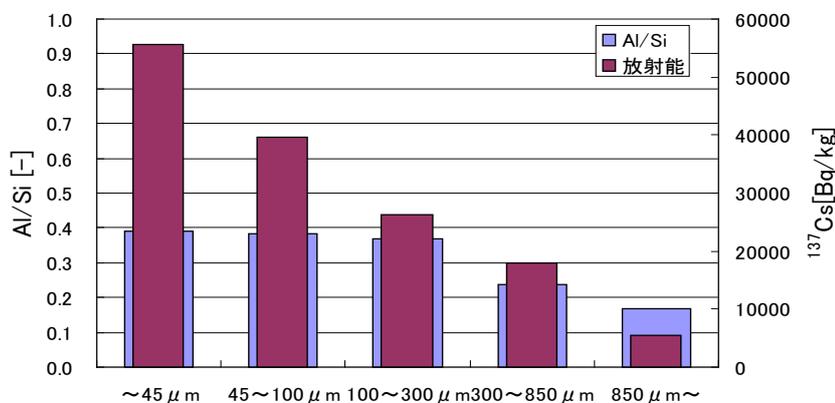


図 2.8-5 表層部(5cm)土壌の粒径毎の Al/Si 比と放射性セシウム濃度

た。また、表層部試料について、乾式篩で分級した後、各部分の Al/Si 比と放射能濃度を調査した。放射性セシウムは粒径の小さな土壤に、また Al/Si 比が大きい部分に比較的多く存在していた。

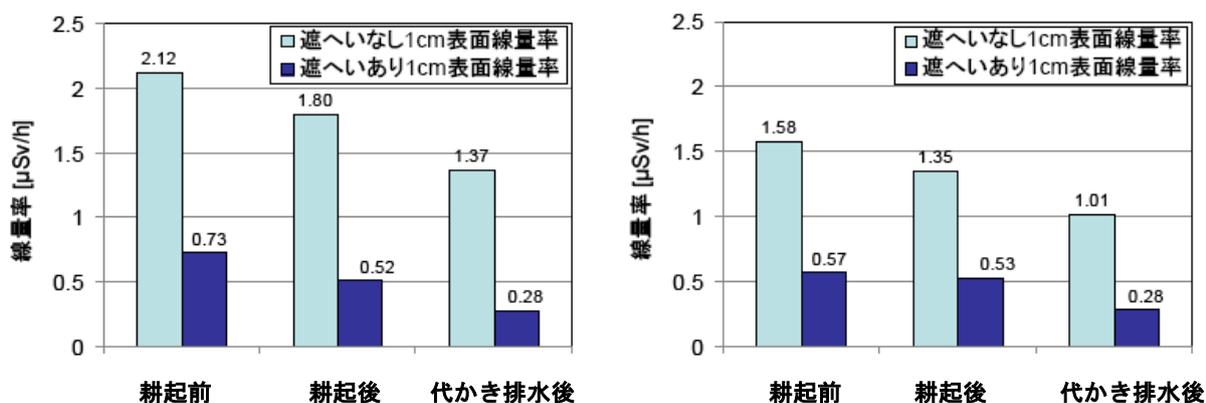


図 2.8-6 試験水耕田の線量率変化 (左図:8月実施試験, 右図:9月実施試験)

8月と9月に実施した水耕田の1cm表面での線量率測定結果を図2.8-6に示す。図には測定器部分に表面以外の部分に遮蔽を取り付けた測定結果と、遮蔽を用いない結果を併記した。8月及び9月の線量率の変化はいずれの場合も段階的に低減することに加え、排水後の測定では、水による遮へい効果が確認された。

土壤については、1回目の耕起前とそれぞれの代かき作業後表面層(表面5cm)及び作土層(深さ15cm)の採取試料の平均放射能濃度を比較した(表面層は2回目の代かき作業後は未実施)。測定結果から1回目(8月)の代かきで50%程度、2回目(9月)の代かきでもさらに50%程度濃度が低減していることが確認できた。

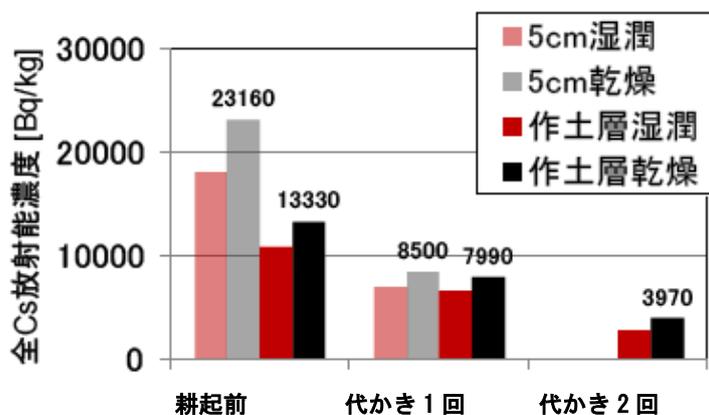


図 2.8-7 代かき試験土壤の放射性セシウム濃度変化

b. 玄米への放射性セシウム移行抑制効果確認^{4),5)}

セシウムの農作物への移行に対する影響を与える要因としては、土壤の性質、使用する用水および施肥する肥料などが考えられる。そこで、水田土壤、用水の放射性セシウム濃度を測定しておき、農業用土壤の浄化もしくは除染への適用技術として期待されているゼオライトの散布、チェルノブイリでも行われていたカリウム施肥について、実施の有無に

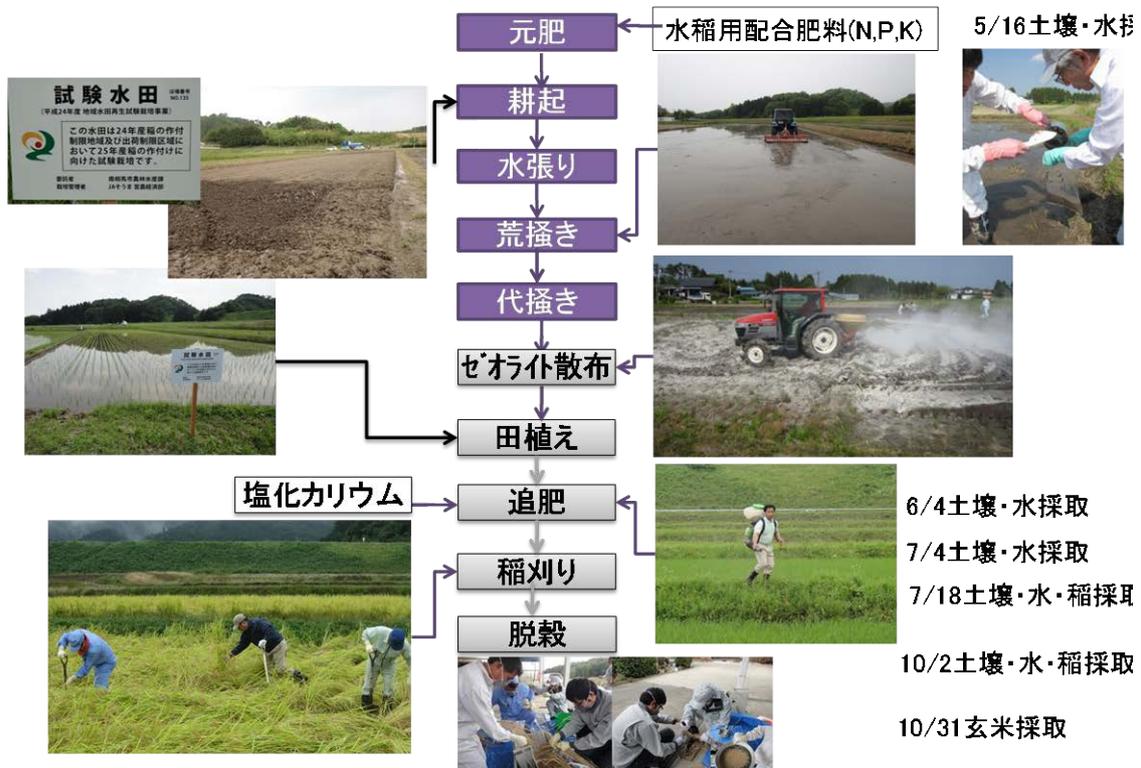


図 2.8-8 放射性セシウム移行抑制効果確認試験の様子

よる放射性セシウム移行抑制効果を確認することとした。具体的にはゼオライト散布，カリウム施肥の実施の有/無の水田で，水稻の栽培を行い，栽培した稲体を刈り取り，作物中に含まれる放射性セシウム濃度を測定し，対象土壌の放射性セシウム濃度と比較し移行率を評価した。

2012年5月に管轄内で試験作付けを予定していたJA そうまと，試験に関する打ち合わせ，福島県南相馬市馬場広畑地区で水田（20 m×50 m）を借用して実施すること，及び日程と作業内容を決定した。現地では，5月から10月にかけて田植え，施肥，稲刈り，脱穀の作業を実施した。各工程において，土壌および稲体，水のサンプリングを行った。採取した試料はGe半導体検出器により¹³⁷Csおよび¹³⁴Csの放射能を測定して，放射性物質濃度を求めた。測定結果よりゼオライト散布やカリウム施肥による放射能低減効果について検討し，放射性セシウム移行挙動や除染に関する情報を得た。

当該水田の近くには水源となるため池があり，片側の用水路から取水し，他方の用水路へ排水する構造となっている。図 2.8-9 に示すように水田をカリウム施肥の有無により2区画に，さらにそれぞれについてゼオライト散布無，通常量および2倍量散布し，A～Fの6区画とした。それぞれの区画について，土壌，稲体，採取した。また，稲刈り後には脱穀を行い，得られた玄米試料についてはさらに精米した。

水稻栽培を実施した試験田の耕起後土壤の放射性セシウム濃度の分布を図 2.8-10 に示す。試験田はゼオライト散布とカリウム施肥の条件により 6 区画に分割している。耕起後の土壤試料は 1 区画につき対角線上に 9 点の採取点を設定した。全 54 点の放射性セシウム濃度のばらつきは大きく、

平均値が 5.4×10^3 Bq/kg, 各区画の平均値は $4.7 \times 10^3 \sim 6.3 \times 10^3$ Bq/kg であった。なお、用水(サンプリング日:5月6日,28日,6月2日,7日,10月2日)の放射性セシウム濃度は 1.5 Bq/kg 以下であり、用水に起因する新たな放射性セシウム Cs の流入はないと考えられる。

各区画から収穫した玄米中の放射性セシウム濃度はいずれも一般食品の基準値 (100 Bq/kg) を大きく下回り、1/3 以下であった。収穫した玄米に対する土壤からのセシウムの移行係数 (土壤と玄米の放射性 Cs 濃度比) は 0.01 以下で、放射性廃棄物処分等で使用されている移行係数の 1/10 以下となった。

ゼオライト散布の有無による玄米中の放射性セシウム濃度の 変化は大きくなく、Cs 移行抑制効果は大きくないと考えられる。一方、カリウム施肥については収穫量に差が見られ、放射性セシウム濃度がやや

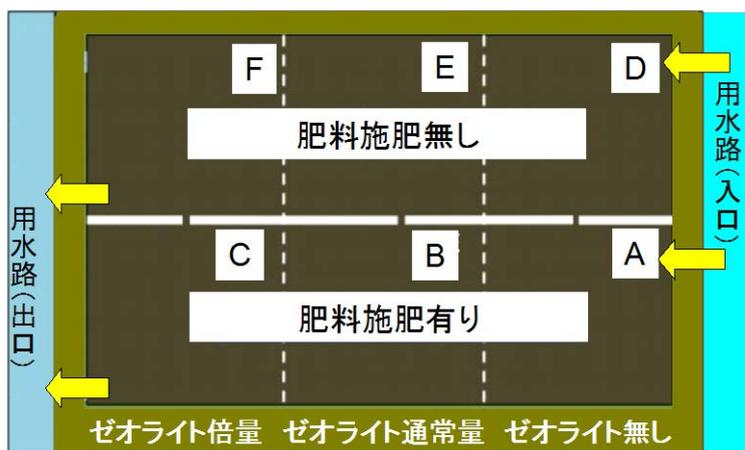


図 2.8-9 放射性セシウム移行抑制確認試験水田

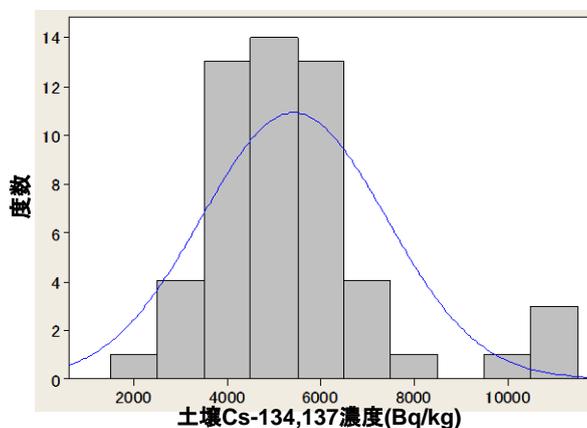


図 2.8-10 試験水田土壤の放射性セシウム濃度の分布

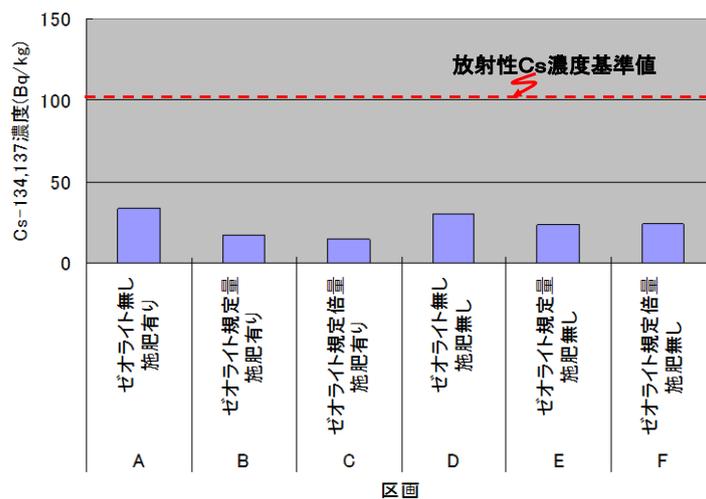


図 2.8-11 収穫した玄米の放射性セシウム濃度

下回るような傾向が見られ、放射性セシウムの玄米への移行を若干抑制している傾向が見られた。

玄米中へのセシウムの移行に関しては、福島県と農林水産省が福島県内で行われた水稲栽培の結果に基き、平成 25 年 1 月に検討結果を報告している⁶⁾。今報告の中では、玄米へのセシウムの移行に関し、水田土壌中のセシウム濃度やゼオライトの存在、土壌中のカリウムの濃度等の影響を評価している。これらの結果によると、玄米中へのセシウムの移行に影響を与える因子のひとつは土壌中のカリウム濃度であり、農作業で実施可能な行為としてカリウム肥料の施肥がセシウム移行抑制に効果がある方法のひとつであると報告している。

クリーンアップ分科会では玄米へのセシウム移行に関し、上述の関係機関との情報交換や、JA そうまをはじめとする現地関係者と連携した実証試験等の活動を今後も継続する。汚染地域が一日も早くもとの姿に戻れるよう、これらの活動を通して協力をしていく。

(3) 地域との対話

専門家集団として日本原子力学会は中央政府と地方自治体・地域住民との橋渡しや、修復計画の作成、修復技術の選定を行う際の基本的事項を伝える役目として各種催しを開いた。また、環境修復センター一元化への提言の中で触れた、除染情報プラザへの協力も実施してきた。ここではこれらの活動についての概略をまとめた。

①地域対話フォーラムの開催

放射線影響分科会とクリーンアップ分科会は福島県と共同で福島の住民の方々も早く現状復帰できるように講演とパネル討論を組み合わせた「安全・安心フォーラム」を 2011 年度に飯坂温泉、郡山市、南相馬市、いわき市で実施した。2012 年度は同じ内容の主旨で、放射線モニタリング、健康影響、環境修復、仮置き場の安全性などにも説明の範囲を広げた「除染の推進に向けた地域対話フォーラム」を 5 回開催している。

この中で代表的な相談項目としては、小さな子供に対する放射線の影響が多く、子・孫に対する注意点や家の中でも被ばくしてしまうのにどのように安全を意識すればよいかなどがあつた。また、質問事項は広島・長崎やチェルノブイリ（ベラルーシ）をベースに基準値を検討している設定の妥当性や、変更があつた食品の規制基準の妥当性などがあつた。また、バックグラウンドの線量率で用いられる、広島やインドの事例や公表値との差により生じる影響・低線量被ばくについて等外部被ばくに対する質問もあつた。また事故発生後の放出挙動や事故機の現状についての問い合わせもあつた。シンポジウムでは、いろいろな意見も発信された。例えば甲状腺の検査や治療の保証、食品の流通や検査に対する意見があつた。今後、非専門家である住民の方々へ、専門家集団として正確でわかりやすい情報を提供する事が必要である。学会ではこの対応として前述の EURANOS データ集を翻訳した「資料集」の発刊のほかにも、環境省の廃棄物関係ガイドラインの内容をかみ砕いた「仮置き場 Q&A」などを発行してきている。

②除染情報プラザへの協力

学会では環境省と福島県が共同で運営している「除染情報プラザ」を積極的に活用した除染促進活動を支援することとした。このために除染情報プラザへの専門家の派遣を行い、実際の除染情報プラザの支援としては以下を行っている。

- ・ 除染情報プラザの機能向上を図るため、除染プラザ運営機関に対して除染技術、放射線影響などに関する原子力学会の知見を提供する。
- ・ 地元の方の積極的な利用促進を図るため、広報活動を支援する。
- ・ 各種除染情報の収集とマッチング作業を行う。
- ・ 放射線の健康影響、除染の方法、仮置や中間貯蔵等について、住民からの質問などに対応する専門家を派遣する。
- ・ 除染情報プラザにおいて行われるミニ講習会について、テーマ設定の提案や講師派遣などの支援を行う。
- ・ 学会の専門家が講師となり、現地を巡回するミニ講習会を開催する。

また、市町村が推進する除染作業が円滑に進むように、市町村の要望に従い、専任の担当アドバイザーを置くこととした。

除染情報プラザの活動については、土曜日を含む祝祭日にクリーンアップ分科会のメンバーがボランティアで、プラザ内のアドバイザーとしての継続的な支援を開設以来行っている。当初放射線影響や、県内の線量率などに関する関心が高かったが、最近は除染活動に関する質問内容が多くなっていることが特徴的である。

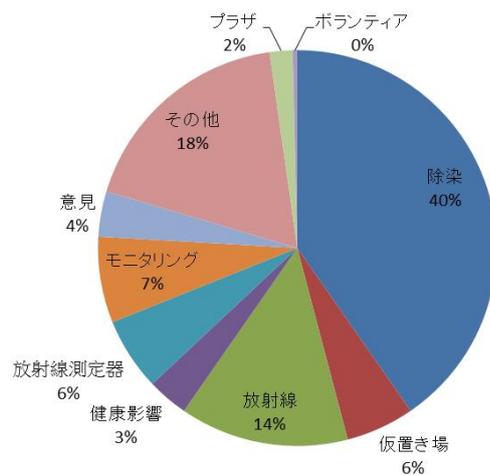


図 2.8-12 最近の除染情報プラザ来訪者質問分類
(平成 25 年 4 月以降)

(4) まとめ

日本原子力学会では、環境修復への対応として、モニタリングや環境修復の一元化への仕組み作りに関する国への提言や、汚染地域で除染を行う際に除染技術を選定しやすいように除染技術についての紹介を行ってきた。技術調査に関しては海外の事例の文献調査を行い日本へ適用する事を考慮し、対象を選定した。また評価例が少ない水田での稲作に対しては被災地である南相馬市で水耕田及び稲作作業を実施し必要なデータを取得した。また、フォーラム開催や除染情報プラザで地域との対話を行うための活動を実施してきた。

今後もこのような活動を継続し、分かりやすい情報発信とそれを行うための改善を進め、説明に用いられる情報を適切に更新する必要があると考える。

参考文献

- 1) 佐藤ら, '水耕作業における放射性セシウムの挙動と除染に関する研究 (1) 全体計画と現地の概要', O33, 日本原子力学会「2012 年秋の大会」2012 年 9 月, 広島大学) .
- 2) 三倉ら, '水耕作業における放射性セシウムの挙動と除染に関する研究 (2) 放射線測定と汚染状況の評価', O34, 日本原子力学会「2012 年秋の大会」2012 年 9 月, 広島大学) .
- 3) 神徳ら, '水耕作業における放射性セシウムの挙動と除染に関する研究 (3) 荒搔き作業と除染効果の評価', O35, 日本原子力学会「2012 年秋の大会」2012 年 9 月, 広島大学) .
- 4) 佐藤ら, '水稻栽培試験田における放射性セシウムの挙動と除染に関する研究 ; (1) 試験計画および現地概要', A41, 日本原子力学会「2013 春の年会」2013 年 3 月, 近畿大学) .
- 5) 三倉ら, '水稻栽培試験田における放射性セシウムの挙動と除染に関する研究 ; (2) 水稻栽培試験におけるセシウムの挙動評価', A42, 日本原子力学会「2013 春の年会」2013 年 3 月, 近畿大学) .
- 6) 福島県, 農林水産省, "放射性セシウム濃度の高い米が発生する要因とその対策について", 平成 25 年 1 月.