

土壌・家屋等などの除染方法 のカタログ

- **クリーンアップ分科会**
- **主査 井上正（電力中央研究所）代理
藤田 玲子（日本原子力学会理事）**

クリーンアップ分科会の立ち上げと目的

経緯

日本原子力学会では福島第一原子力発電所事故の調査を行う「原子力安全」調査専門委員会を設置し、そのもとに**環境修復を取り扱う「クリーンアップ分科会」**を立ち上げた

目的

- 各分野の専門家からなる集団として、福島第一原子力発電所敷地内外の**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**を行う
- 関係機関が作成する修復計画について分析し、必要に応じて新たな課題や改良点について提言を行う
- TMIやチェルノブイリ原子力発電所事故の事例と比較すると共に参考にし、今回の事故の修復に関する課題を摘出し、さらに適切な助言を行う

本日の内容

クリーンアップ分科会の活動について

- クリーンアップ分科会の立ち上げと目的
- 「環境修復センターの設置」についての提言
- EURANOSデータベースの作成
- 除染技術カタログの作成
- 「除染モデル検証の実施」によるデータの取得
- 今後の活動

福島第1発電所敷地外修復についての提言

5月21日 「原子力安全」調査専門委員会緊急シンポジウムの開催

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
(6月8日)

「環境修復センターの設置」および除染モデル事業によるすみやかな実証に関する提言 (7月29日)

「EURANOS除染技術データシートのご紹介、翻訳版」をHPにアップ
(8月12日)

「環境修復技術説明資料」(除染技術カタログ)の公表
(9月9日)

この間

5月19日、5月27日、6月11日、7月12日、9月6、13日:福島県、JA、地元自治体、
組織の意見の拝聴

8月8、9日、19日、24日、30日、9月16日:現地試験の実施、農研機構試験の立会い

活動の内容

修復に向けた4項目の提言

提言1:「環境放射線モニタリングセンター」及び「環境修復センター」の速やかな設置

提言2:放射性物質の除去に向けた環境修復戦略を構築

提言3:環境修復技術プログラムの早期の提示

提言4:地域住民の方々の参加のもとに活動

提言1:「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(平成23年7月29日プレリリース)

①「環境修復センター」の設置とその具備する要件を提言

- 発電所敷地外の住民生活環境の修復事業を統括して実行の運営を主体的に行う
- 関係機関や関係者が一体となって、総合的な戦略を作り迅速に放射性物質による汚染を除去し環境を修復する

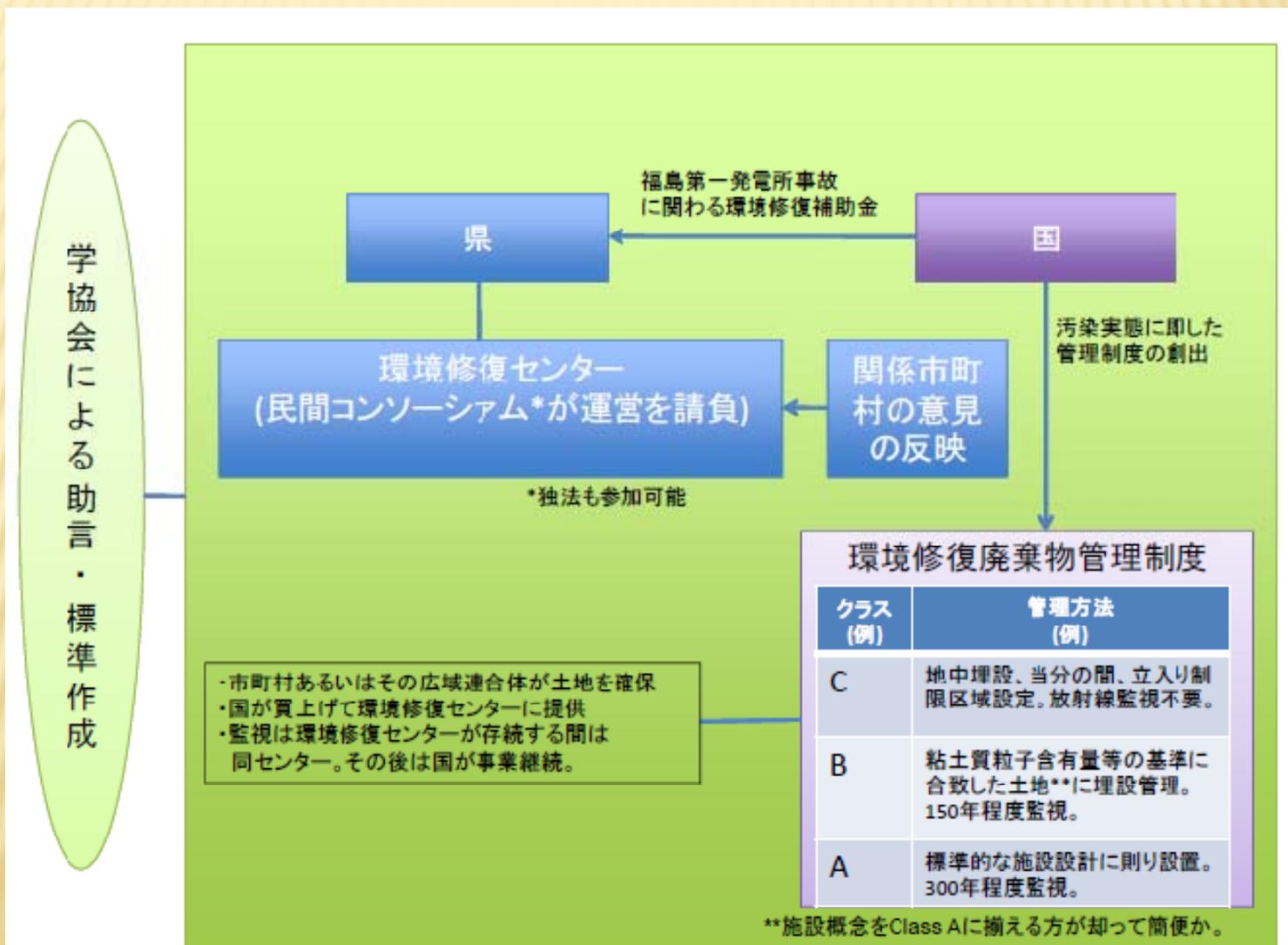
②「環境修復廃棄物管理制度」の策定

- 環境修復の結果として出てくる廃棄物は膨大であり、それらの管理方針を早急に定めることが不可欠である
- 従来の放射性廃棄物処分概念に縛られず実態に即し、機動的に環境修復廃棄物の管理を行う施設を設置する

③除染モデル検証プログラムの実施

- センター本体の設立には法整備などの面で時間がかかることから、設立準備組織で除染効果検証を早急に実施して、本格的除染とその後の避難住民帰還計画立案のためのデータとする

提言：「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）



EURANOSデータベースの作成 (I) (平成23年8月12日ホームページにアップ)

➤ 海外環境修復戦略、修復事例の分析

EURANOS: European approach to nuclear and radiological emergency management and rehabilitation strategies, “Generic Handbook for Assisting in the Management of Contaminated Inhabited Areas in Europe Following a Radiological Emergency Part II: Compendium of Information on Countermeasure Options”

➤ EURANOS除染技術データシートのご紹介

➤ 翻訳版を作成: EURANOS 除染技術データシート翻訳V1.0

クリーンアップ分科会では、放射能汚染エリアの早期かつ合理的な環境修復に資するため、チェルノブイリ発電所事故における環境修復に関する調査(緊急シンポジウム資料: http://www.aesj.or.jp/aesj-symp/presentations/03-02_takahashi.pdf)等を行ってきた。

チェルノブイリ事故後、旧ソ連隣国のヨーロッパでは、同様の緊急事態に備えるため、2002～2006年に欧州委員会のもと、EURANOSプロジェクト(<http://www.uranos.fzk.de/>)が実施され、その成果として、緊急時に対応するための4つのハンドブックが作成された。

EURANOSデータベースの作成（Ⅱ） （平成23年8月12日ホームページにアップ）

クリーンアップ分科会では、避難されている方々の早期帰還の実現に向けて、ハンドブックのうち、①居住エリア管理のための包括的ハンドブックに着目し、それに含まれる除染技術データシート(59件)を仮訳し、紹介する。

ID : 1 屋内退避	ID : 31 高圧洗浄
ID : 2 避難	ID : 32 表面除去と置換
ID : 3 安定ヨウ素剤	ID : 33 舗装板の裏返し
ID : 4 呼吸保護のための簡易マスク着用	ID : 34 縛り付け（放射能汚染した表面に汚染を固定する）
ID : 5 窓、ドア、通気口の閉鎖と換気の制限	ID : 35 芝刈り
ID : 6 掃除機を利用した空気の浄化	ID : 36 草と灌木の除去
ID : 7 個人物品／貴重品のカバー、保管、密閉	ID : 37 芝の刈り取り
ID : 8 居住地からの一時的退避	ID : 38 表土と芝土の除去（機械式）
ID : 9 居住地からの永久退去	ID : 39 表土と芝土の除去（手作業）
ID : 10 非居住区域への公衆の立入り制限	ID : 40 汚染されていない土壌で被覆
ID : 11 非居住区域への従事者の(時間、職種による)立入り管理	ID : 41 固着（表面に汚染を固定する）
ID : 12 建物の取り壊し	ID : 42 耕うん機（機械による掘り起こし）
ID : 13 水洗浄	ID : 43 人手による掘り起こし
ID : 14 屋根のブラシかけ	ID : 44 芝や土の表面を覆う（例えばアスファルトで）
ID : 15 サンドブラスト	ID : 45 三層天地返し
ID : 16 高圧水洗浄	ID : 46 耕起

環境修復技術ご説明資料(除染技術カタログ) 暫定第2版 (平成23年9月9日プレリリース)

- ◇日本原子力学会「原子力安全」調査専門委員会クリーンアップ分科会では、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している。
- ◇その一環として、海外情報の調査・翻訳※1、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※2、これに基づいた「ご説明資料(暫定第2版)」を取りまとめている。
- ◇従って、このご説明資料では、修復技術を並列的に取り上げており、実際の適用にあたっては汚染の程度や除染に伴う2次廃棄物の取り扱い、さらには費用対効果などの面から、技術を選定していくことが必要である。クリーンアップ分科会は、自治体・住民の方々が技術の選定を行うにあたって、コミュニケーションしながら積極的に協力していくこととしている。
- ◇今後は適宜、本資料及び技術カタログを充実させていくとともに、地域住民の方々の意見も取り入れていく予定である。
- ◇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、ガレキ等を今回対象物として取り上げた。
- ◇地域住民の方々の除染計画の作成に、本資料が参考になれば幸いである。

※1：EURANOS除染技術データシートのご紹介、日本原子力学会HP (<http://www.aesj.or.jp/information/fnpp201103/chousasenmoniinkai.htm>)

※2：改定作業中



建物（屋根・屋上）の除染技術①



屋根に対しては、放水洗浄、ブラシ洗浄、拭き取り、閉じ込め、屋根の葺き替え、の5種を取り上げた。

屋根の汚染物質は、既に雨で多くが流されていると考えられ、劇的に線量を低減するとは考えにくい。多くの時間を過ごす生活空間に近い。地道に進めることが肝要である。瓦屋根等、日本に独特な屋根については、汚染の状況や除染の効果に関する情報がない。除染プロジェクトの実施結果を今後蓄積していく必要がある。

1. 放水洗浄

◇水洗浄や高圧洗浄によって、汚染物質を除去する

◇屋根の素材、放水方法等によって、除染効果は異なる

※水洗浄 (ID13)：沈着後1週間以内に相当量の降雨があれば除去率約20%を達成。繰り返しの効果は小さい。時間の経過とともに除去効率は大幅に低下。

※高圧水洗浄 (ID16)：沈着後早期に実施すれば、除去率約30%を達成。繰り返しの効果は小さい。温水（約65℃の高圧水）を利用した場合、除去率約50～85%を達成 (ID17)。

◇現在では、既に降雨により多くの汚染物質が洗い流されていると考えられる

◇汚染水が庭の土壌に流れないように作業するか、もしくは流れ込んだ土壌を除去する

※想定される液体および固体廃棄物発生量は、次の通り。

- ・水洗浄： 液体廃棄物 50L/m²、固体廃棄物 0.1～0.2kg/m²程度 (ID13)
- ・高圧水洗浄： 液体廃棄物 20L/m²、固体廃棄物 0.2kg/m²程度 (ID16)
- ・高圧温水洗浄：液体廃棄物 30L/m²、固体廃棄物 0.2～0.4kg/m²程度 (ID17)



文中のID番号はEURANOSハンドブックの除染技術データシートに対応

環境修復技術ご説明資料暫定第2版より引用



建物（屋根・屋上）の除染技術②



2. ブラシ洗浄

◇建物の屋根の汚染を回転ブラシなどにより洗浄する。ただし、茅葺屋根には適用不可。

※除去率は50～85%程度を期待できるが、繰り返しの効果は低い(ID14)

◇ブラシ洗浄の除去効果は、素材や表面の平滑度等によって異なる

※除染効果は、沈着後10年まで有効。ただし、屋根の材料による(ID14)

◇薬剤等を用いると多少除染効果は向上するが、汚染水処理が難しくなる

◇粉塵や苔などの廃棄物が発生するため、廃棄物の処理方策や受け入れ環境の整備が必要

※廃棄物量は、液体廃棄物として15L/m²、固体廃棄物（ダスト、苔）として0.2～0.6kg/m²程度(ID14)

◇汚染水が庭の土壌に流れないように作業するか、もしくは流れ込んだ土壌を除去する



3. 拭き取り

◇建物の屋根の汚染を拭き取りにより洗浄する

◇汚染水が飛散しないため、汚染拡大防止が期待できる。

◇薬剤等を用いると多少除染効果は向上するが、汚染水処理が難しくなる

◇茅葺屋根については、拭き取りは使えない

◇廃棄物が発生するため、廃棄物の処理方策や受け入れ環境の整備が必要である



文中のID番号はEURANOSハンドブックの除染技術データシートに対応

環境修復技術ご説明資料暫定第2版より引用



建物（屋根・屋上）の除染技術③



4. 閉じ込め（汚染物質の固定化）

◇表面に固定化塗料を吹き付け、汚染物質を固定化する

※表面を除染するわけではないため、本方法での線量低減は見込めないが、
粒子の再浮遊防止による吸入防止は期待できる(ID21)

※固定化は、沈着後でも効果がある(ID21)

◇汚染物質が発生しない利点はあるが、汚染物質はそのまま残る。

◇屋根を葺き替えする場合、作業時の作業被ばくの低減に利用できる

◇ペインティング材の選定が必要



5. 屋根の葺き替え

※本方法は、上記除染方法で効果が得られず、屋内に居ても屋根からの被ばくが相当量予想される
ような高濃度の汚染除去に適用

◇古い屋根材料と一緒に屋根表面から汚染物質を除去する

◇放射性物質をほとんど取り除くことが可能である

◇通常の屋根の葺き替え費に加え、屋根の処分費が加算されるため、
その他方策が適用できない場合に採用する

◇多量の廃棄物が発生するため、廃棄物の処理方策や受け入れ環境の整備が必要

※廃棄物は、タイルやスレートが20~50kg/m²発生(ID18)



文中のID番号はEURANOSハンドブックの除染技術データシートに対応

環境修復技術ご説明資料暫定第2版より引用



水田の除染技術①



水田の除染については、耕起、表土の剥ぎ取り、代かき、土壌洗浄、植物栽培による土壌浄化、施肥の6種を取り上げた。
これらの対象については、土壌自身が稲作のための機能を有するため、その機能を勘案した除染方法を選定しなければならない。
また、汚染のレベルや土壌の性質に応じた対応が必要であると考えられるため、自治体、農家、農業や放射能の専門家の中で、良く議論して進めることが重要である。

1. 耕起

- ◇土壌表面に放射性セシウムは沈着していると想定されることから、機械もしくは手作業によって、土壌を掘り起こし、非汚染土壌と混合・希釈させることによって、表土の汚染物質濃度を下げる
 - ※大半が何年もの間、土壌の表面から50mm以内に沈着している例が多い（ID43,46）。
- ◇水田あたりの放射エネルギーに変化はないため、低減効果は限られる
- ◇掘り起こし深さによって、効果は異なる。
 - ※30cm耕越で、線量率が72.5%低減可能
 - ※除染係数は、深さ等に係らず1である。（ID43、46）
 - ※耕うん機で150mm深さまで掘り起こした場合 γ 線、 β 線の線量率は1/2~1/3に減少（ID43）
 - ※プラウで250~300mm深さ（耕起）まで掘り起こした場合、 γ 線の線量率は1/2~1/5に減少（ID46）
 - ※プラウで450~900mm深さ（耕起）まで掘り起こした場合、 γ 線の線量率は1/5~1/10に減少（ID46）
- ◇汚染物質の発生はなく、既存のトラクタを用いるため、実現性は高い
- ◇廃棄物は発生しない（汚染物質は除去しない）



文中のID番号はEURANOSハンドブックの除染技術データシートに対応

環境修復技術ご説明資料暫定第2版より引用



水田の除染技術②



2. 表土の剥ぎ取り

- ◇ 土壌表面に放射性セシウムは沈着していると想定されることから、表土を剥ぎ取り、汚染物質を除去する。
- ◇ 「敷地、庭等 1. 表土の削り取り」参照
- ◇ 固化剤を散布することによって、効率的に除去可能

※マグネシウム系固化剤を散布することで、2~3cmの表土剥ぎ取り試験を実証試験中（農水省）

3. 代かき

- ◇ 放射性セシウムは微粒子（粘土）に吸着していることから、代かきによって濁水とし、強制落水によって、汚染物質を除去する。
- ◇ 代かき後の泥水を排水し、後段で吸着処理（農水省実証中）

※浅い代かき試験の実証試験（農水省）

※吸着処理剤を開発中（農水省/JAEA）

※代かき試験実施中（クリーンアップ分科会）

- ◇ 水田あたりの放射エネルギーが減少するため、低減効果は期待できる
- ◇ 汚染水による用水路下流域への汚染拡大を防ぐ対策を施す



環境修復技術ご説明資料暫定第2版より引用



水田の除染技術③



4. 土壌洗浄（物理的および化学的洗浄処理）

◇剥ぎ取った土壌を洗浄する方法。物理的処理と化学的処理に大別。

物理的洗浄：放射性セシウムが微細粘土鉱物粒子に保持されやすいことを利用して、汚染土壌を選別する方法

化学的洗浄：土壌に強く保持されている放射性セシウムを洗浄溶液で剥ぎ取る方法

◇適切な洗浄処理方法が確立されることが前提である

◇発生する廃液は、従来の減容技術で総量を減らした上で、処理・管理する

◇現地洗浄が可能となるように、移動式洗浄機の開発を目指している

※農林水産省、研究機関、ゼネコン等で開発中

◇土壌の性質を元の状態に戻すことができるかの検証が必要である



5. 植物栽培による土壌浄化（ファイトレメディエーション）

◇放射性セシウムを経根吸収しやすい植物や作物を栽培、刈り取ることで、汚染土壌から汚染物質を除去する

◇水田あたりの放射エネルギーが減少するが、低減効果は低いと考えられる

※植物栽培による土壌浄化の実証試験中（農水省）

◇植物の処理・処分費用が発生する一方で、表土の剥ぎ取りより安価と考えられるため、費用対効果の観点から評価が必要

◇汚染植物の処理方法が確立されると実現性が高まる

※汚染植物の焼却技術を開発中（農水省/JAEA）



環境修復技術ご説明資料暫定第2版より引用



水田の除染技術④



6. 施肥

◇カリウム、アンモニウムおよび石灰などを施肥することで、
作物への放射性セシウムの移行率をコントロールする。

カリウム：吸収を低減 アンモニウム：吸収を促進 石灰：吸収を低減

◇施肥により米への移行率の低下が期待される

※施肥の実証試験中（農水省）

◇安価と考えられる

◇新たな廃棄物の発生及びその対処が不要のため、実現性は高い



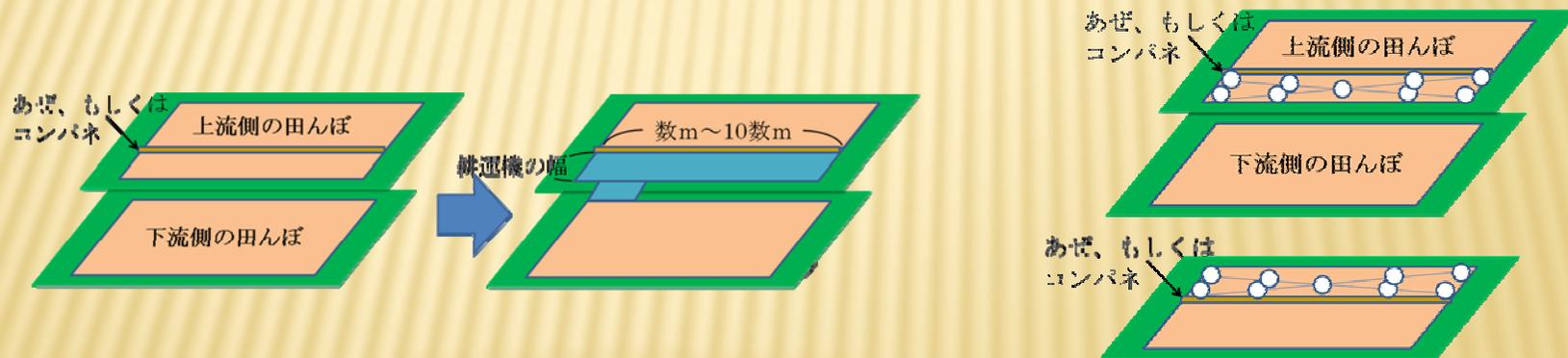
「除染モデル検証の実施」によるデータの取得 水田における耕起、荒かき試験（8月8,9日、9月16日）

目的:

代掻き後あぜから排水することで田んぼの放射濃度を下げる試験(以下、「排水試験」と、代掻きで濁った水を一定時間毎に容器に採取する試験(以下、「静置試験」)の2つの試験を同一の田んぼで同時に実施し、これらの試験結果を比較することで、除染の効率の違いを把握する。

また、得られた結果をもとに、より除染効果が高く、かつ農家の方々が行える現実的な代掻き方法(改良排水試験など)を今後速やかに提案する。

上記試験を通し、**水田や畑の除染技術の客観的評価に役立てるデータを取得する。**



上流側の田んぼに仕切りを作り、下流側の田んぼに水を移す

土壤サンプリング箇所

JAそうまと共同で実施

「除染モデル検証の実施」によるデータの取得 水田における耕起、荒かき試験（8月8,9日、9月16日）



実施状況

JAそうまと共同で実施

地元の方々との情報交換会（8月9日）

日時：2011年8月9日（火） 9:30-12:00

場所：福島県南相馬市原町馬場公会堂

内容：講演と質疑応答

天野 治氏講演 “福島第1原子力発電所の事故と放射線影響”

佐々木道也氏講演 “放射線測定結果の概要”



講演風景



会場風景

JAそうまと共同で実施

地元の方々との情報交換会（8月9日）

次年度以降に安心して農作業をするために意見交換会を開催した。質疑の概要は以下。

・野菜や稲の放射能について、また、ビニールハウスの中の野菜の放射能量、桂川の水の放射能量についての質問があった。特に家庭で栽培している野菜の放射能量がどの位であるかを知りたいと希望が多く、**定常的に放射性物質を測定できるようにしてほしい**との要望が大きかった

簡易なNaI分析装置(富士電機製など)約450万円

・土壌を含めた家屋や公共施設の除染の国や県の対応は極めて遅く、待ってられないことも多い。是非、**国や県に除染を早くするように働きかけてほしい。また、可能ならば実際の除染作業についてアドバイスしてほしい。**

・来年の米作の種モミの発注をしなければならないが、土壌の汚染状態がわからないと来年の米作ができるかどうかわからないので**早急に土壌の線量測定をしてほしい**。また、**来年の稲作が可能かどうかの判断をJAとして統一的にほしい**との要望があった。

・農作物に原発による被害があると申請してもこれまでは賠償金は支払われないことが多かった。今回も支払われないのではないかと懸念があるとの意見に対し、農作物を作り、汚染していて出荷できない場合はきちんと申請していくことが重要である。JAは**地区でまとめて損害賠償金を申請できるようなシステム作り**に協力してほしい。

放射性物質の測定（8月9日）

意見交換会の後、意見交換会出席者からじゃがいもやきゅうりなどの野菜が多く持ち込まれ、放射性物質の測定を行った。地元で栽培している野菜からは基本的に汚染は出ず、出席者からは安心して自家栽培の野菜が食べられるようになったとの感謝の言葉が多く聞かれた。



簡易NaI分析装置

JAそうまと共同で実施

今後の活動

- ①除染ガイドライン（内閣府原子力災害対策本部8/26公表）に従い、公表した除染技術カタログを用い、市町村が作成する除染計画に協力（共同作業）する
- ②市町村が作成する除染計画の作成に当たっては除染技術についての説明会や勉強会を開催する
- ③福島においてシンポジウムや国際会議を主催、共催する
- ④海外機関との連携を図り海外機関によるレビューに協力する

本格除染に向けての除染計画の策定

1. 目標の設定

- 目標とする年間積算線量(生活圏内、生産活動、公共活動) 例5~10mSv

2. 区域及び対象ごとの優先順位付け

- 区域:市街地、農地(水田、畑、牧場)、山里(家屋、森林)
- 対象:ホットスポット、高線量のところから

3. 汚染状況の詳細な確認(汚染状況の可視化)

- 詳細な除染マップ(200~500mメッシュ)
- その中でのホットスポットの調査

4. 除染対象ごとの方針及び方法の決定

①除染対象

- 家屋、道路、公共施設:空間線量率の低減
- 農業用地:放射能濃度の低減

②除染方法

- ソフト除染(比較的線量率、濃度が低いところ):拭き取り、洗浄、雑草除去、すき込み、天地替え
- ハード除染(比較的線量率、濃度が高いところ):剥ぎ取り、土の入れ替え、葺き替え

5. 実施主体の検討

- 住民が実施
- 自治体(業者)が実施

6. 仮置き場の確保

- 仮置き場は除染実施の市町村に設置

上記除染計画策定に当たっては専門家の協力(共同作業)が不可欠

ご清聴ありがとうございました

