

農地等における放射能汚染対策技術の開発 成果報告

平成 25 年 7 月 24 日

農林水産技術会議事務局研究統括官室

目次

<u>1. 背景</u>	… 1
<u>2. 研究の概要</u>	… 2
➤ 原発事故発生からの農業放射能対策研究の推移	… 3
<u>3. 研究成果</u>	
➤ 農地等の除染技術の開発	… 4
➤ 作物・飼料への放射性物質移行低減技術の開発	… 11
➤ 放射性物質を含む土壤・作物等の減容化技術の開発	… 14
➤ 放射性物質の農地周辺における動態の解明	… 15

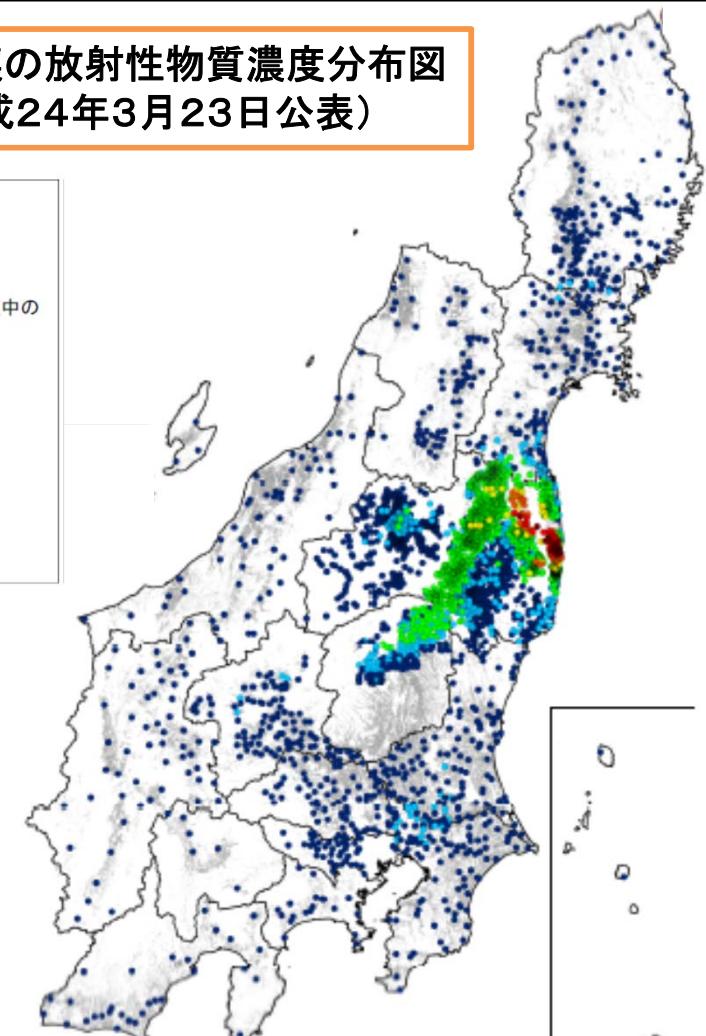
背景

- 平成23年3月11日に発生した東日本大震災に伴う東京電力福島第一原子力発電所の事故により、東北・関東地方を中心とする広い範囲に放射性物質が降下し、農地や森林などを汚染。
- 農地等に沈着した主な放射性物質のうち、セシウム134やセシウム137は物理的半減期がそれぞれ2年、30年と長く、早期の営農再開のためには農地を除染することが必須。
- 放射性物質に汚染された農地を除染する技術についてはそれまで国内にほとんど知見がなく、農地の放射能汚染対策技術を喫緊に研究開発する必要。

放射性物質に汚染された農地の除染技術の開発



農地土壤の放射性物質濃度分布図
(平成24年3月23日公表)



農地土壤の放射性物質濃度分布図

- ・ 東電福島第一原発事故の発生に伴い、15都県、約3,400地点（うち福島県 約2,200地点）の農地土壤を調査し、平成24年3月に公表。
- ・ 平成24年度は補足的なモニタリング調査を実施し、濃度分布図を更新予定。

研究の概要

1. 農地等の除染技術の開発

(1) 農地の除染への取組

表土の削り取り、水による土壤攪拌・除去、反転耕の農地除染の技術を開発

(2) 高濃度汚染地域等での安全・効率的な除染作業技術の開発

放射能防護機能付きトラクタ、畦畔、法面、農道、水路の除染機を開発。除草作業に伴い発生する粉じんによる被曝量の推定

(3) 高吸収植物による除染

2. 作物・飼料への放射性物質移行低減技術の開発

水稻におけるカリの施用、茶におけるせん枝、果樹における粗皮削り、高圧洗浄、牧草における草地更新等の技術を開発

3. 放射性物質を含む土壤・作物等の減容化技術の開発

(1) 汚染土壤から放射性セシウムを分離・除去する技術を開発

(2) 汚染された雑草・稻わら等を炭やペレットにする技術を開発

4. 放射性物質の農地周辺における動態の解明

森林溪流水における放射性物質の動態を解明

放射能対策研究は緊急性が高く、また臨機応変に対応する必要があることから、委託プロジェクト研究や実用技術開発事業等、様々な予算を活用して研究を進捗

原発事故発生からの農業放射能対策研究の推移

原発事故
発生

平成23年度

平成24年度

平成25年度～

農地等の除染

移行低減

減容化

農地除染基本技術の緊急開発

- ①表土の削り取り
- ②水による土壤攪拌・除去
- ③反転耕

工事実施レベルでの実証

- 「農地除染対策の技術書」として施工方法等をとりまとめ
(農村振興局)

現場段階での実用化 さらなる課題への取組

環境省「除染関係ガイドライン」

除染作業機の開発

- 放射能防護機能付きトラクタ
- 畦畔、法面、農道、水路除染機
- 除染用反転耕プラウ

高濃度汚染地域の農地除染技術開発、個別技術の高度化

- ①安全・効率的な除染作業技術の開発
- ②表土削り取りや反転耕が適用できない水田の除染
- ③放射性物質の高吸収植物の探索、吸収メカニズムの解明

傾斜牧草地除染作業機(H24)

放射性物質動態予測技術開発

- 農地土壤からの放射性セシウムの放出
経路及び量の予測

放射性セシウム移行要因解明と農産物への放射性物質の移行低減技術の開発

実用・検証段階に近い品目:米、飼料作物、麦、野菜、果樹、茶 研究段階品目:大豆、なたね

放射性物質を含む土壤・作物等の減容化技術の開発

【汚染廃棄土壤】乾式セシウム除去技術(H23～)、シュウ酸による除去技術(H24～)

【雑草、稻わら等】ペレット化装置・移動式炭化装置(H23～24)

順次、現場に導入・実用化へ

農地の除染への取組

- 現地のほ場における実証試験を踏まえ、土壤中の放射性セシウム濃度や地目に応じた農地土壤の除染技術の適用の考え方を提示(平成23年9月14日)。環境省の「除染関係ガイドライン(第2版)」に内容が反映(平成25年5月2日)。
- 確立された技術を着実に現場で導入するため、必要な用具や具体的な作業手順等を示した農地土壤の除染技術の手引き(平成24年3月2日)や、工事実施レベルでの実証を踏まえ施工上の留意点等を示した「農地除染対策の技術書」(平成24年8月31日)を公表。実証では、表土削り取りにより土壤の放射性セシウム濃度が8~9割減少するなどの効果を確認。

土壤の放射性セシウム濃度別適用技術

土壤の放射性セシウム濃度	適用する主な技術
~ 5,000 (Bq / kg)	反転耕、移行低減栽培(※)、表土削り取り(未耕起圃場)
5,000 ~ 10,000 (Bq / kg)	表土の削り取り、反転耕、水による土壤搅拌・除去
10,000 ~ 25,000 (Bq / kg)	表土削り取り
25,000 (Bq / kg) ~	固化剤を使った表土削り取り

反転耕(畑、水田)



移行低減栽培



資材施用区の耕うん

※ 作物による土壤中の放射性セシウムの吸収を抑制するため、カリウムや吸着資材を施用する栽培方法。



基本的な削り取り



固化剤を用いた削り取り



水による土壤搅拌・除去



芝・牧草のはぎ取り

農地土壤除染のイメージ

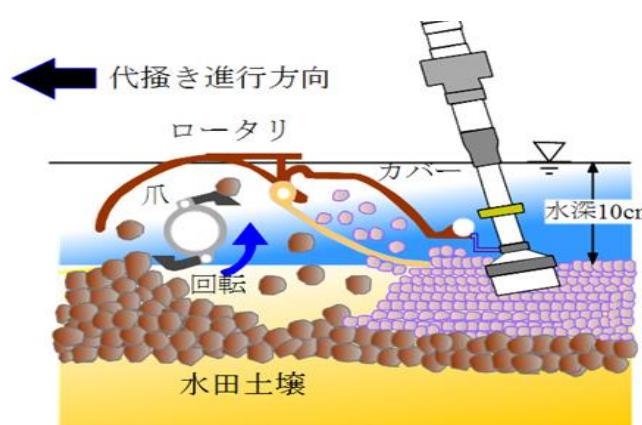
1) 原発事故後耕起していない農地

放射性物質は表層に堆積

作土層

放射性物質

2) 原発事故後耕起した農地



1) 表土削り取り

As a result, the *labeled* and *unlabeled* data are combined into a single *supervised* dataset, which is then used to train a model. This approach is called *semi-supervised learning*.

A red arrow pointing right and a blue arrow pointing down, indicating a downward trend.

汚染土をほ場から除去

2) 反転耕

汚染土を下層に埋設

3) 深耕

A decorative background featuring a repeating pattern of small, red, diamond-shaped dots on a yellow background. The pattern is composed of a grid of dots that create a subtle, textured effect. The yellow background is a solid color, and the red dots are a darker shade of red. The pattern is centered and covers most of the page.

耕起した深さで希釀

4) 水による土壤搅拌・除去 (水田)

A grid of small red dots arranged in a rectangular pattern on an orange background. The dots are evenly spaced and form a clear grid structure.

代かき後、粘土のみを排出

A close-up image of a woven fabric, showing a repeating pattern of small, dark, circular holes and a solid orange-yellow background.

※ 通常耕起の反復

農地除染（1. 表土削り取り）

- 放射性物質降下後に耕起されていない圃場では、表土削り取りによって放射性物質の除去が可能。試験では、土壤の放射性セシウム濃度を約75%低減。
- 多量に発生する排土の処理が課題。



バーチカルハローによる表面碎土



リアブレードによる削り取り



バックホーによる積み込み

○ 土壤の放射性セシウム濃度
10,370 Bq/kg → 2,600 Bq/kg
(75%減)

○ 表面線量率
7.1 μ Sv/h → 3.4 μ Sv/h

○ 排土量
約40t/10a

○ 作業時間(削り取りまで)
55~70分/10a程度

耕起していない農地であれば、線量、地目に係わらず適用可能。

多量の排土が発生するため、その処理が課題

農地除染（2. 反転耕）

- プラウ耕により、放射性セシウムで汚染された表層土と下層土を反転させる手法を開発。
- 地表から1m高の空間線量を約6割低減可能。
- 表土除去のように放射性物質を取り去る方法ではないため、将来にわたって管理が必要。



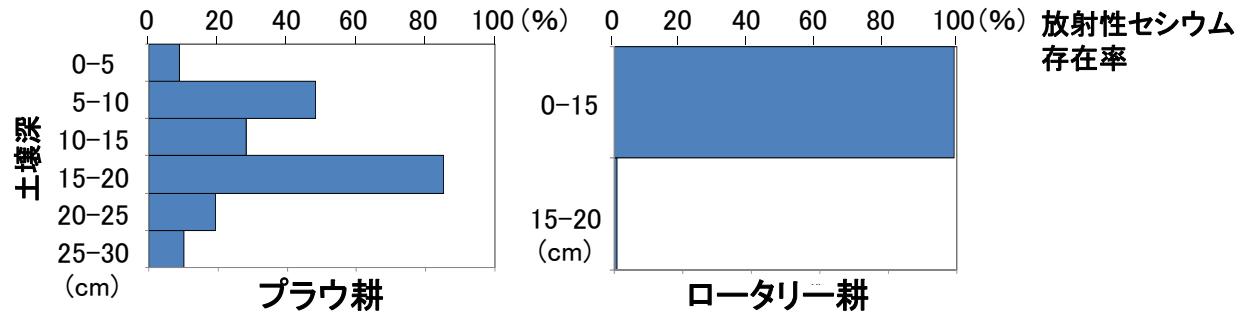
ジョインター付きプラウ
(耕深30cm:トラクター牽引)



改良型二段耕プラウ
(耕深45cm:トラクター牽引)

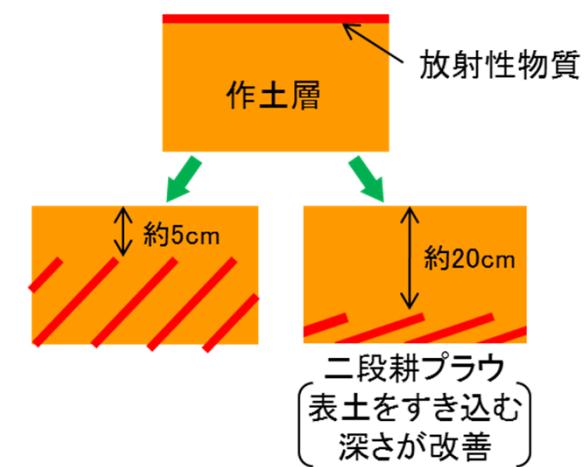


二段耕プラウ
(耕深60cm:D6ブル牽引)



反転プラウ(30cm)耕後の放射性物質の深度分布

反転耕の効果等(30cmプラウの場合)
○表面線量率: $0.7 \mu \text{Sv}/\text{h} \rightarrow 0.3 \mu \text{Sv}/\text{h}$
○排土:なし ○作業時間:30分/10a程度



施工前に、土壤診断、地下水位等による地下水汚染リスク評価が必要

農地除染（3. 水による攪拌・除去～代かき除染）

- 水田の表層土壤を水で攪拌した後、放射性セシウム含有量の高い粘土を主体とする細粒子を排出し、濁水を固液分離して放射性セシウムを多量に含有する土壤のみを排出する手法を開発。
- 放射性セシウムが水田から流出する可能性もあることに留意し、固液分離を適切に行い、下流側に十分配慮を行った上で排水を行う必要。



①レーザーレベルセンサー付き
トラクターによる土壤解碎



②水の導入、
土壤攪拌



③ポンプによる濁水の排水

④濁水の貯留、凝集剤添加による粘土の沈殿



⑤加圧ろ過装置による水と粘土の分離



⑥排出された粘土



○地上1m空間線量率

$1.77 \mu\text{Sv}/\text{h} \rightarrow 1.24 \mu\text{Sv}/\text{h}$ (30%減)

○土壤中の放射性セシウム濃度

$3,060 \text{ Bq}/\text{kg} \rightarrow 1,170 \text{ Bq}/\text{kg}$ (62%減)

○玄米中の放射性セシウム濃度

$40 \text{ Bq}/\text{kg} \rightarrow 17 \text{ Bq}/\text{kg}$ (58%減)

○玄米収量

$635 \text{ kg}/10\text{a} \rightarrow 539 \text{ kg}/10\text{a}$ (15%減)

高濃度汚染地域等での安全・効率的な除染作業技術の開発

- 作業者の被ばく量を低減するためのシールドキャビン付トラクタやロボットトラクタを開発。
- 除染した農地の再汚染を防ぐため、畦畔、法面、農道、水路の汚染物質を効率的に除去する技術を開発。

シールドキャビン付きトラクタ



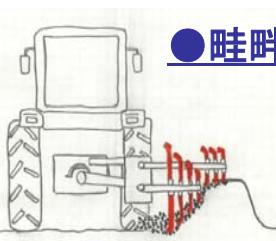
ロボットトラクタ



鉛板や含鉛ガラスにより、放射線量を低減

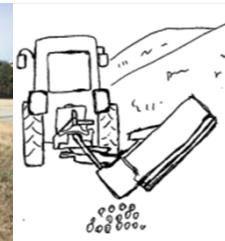
遠隔操作で運転できるトラクタを開発

畦畔、法面、農道、水路の除染技術の開発



●畦畔表土削り取り機の開発

- ・カット爪の改良
- ・排土装置の追加
- ・削取り深さの調整機構



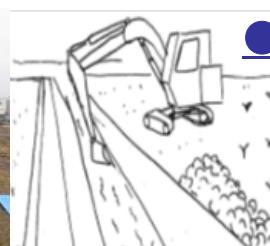
●法面表土削り取り機の開発

- ・カット爪の改良
- ・排土装置の追加
- ・削取り深さの調整機構



●農道表層剥ぎ取り機の開発

- ・オフセット機構
- ・剥取り深さ調節機構



●用排水路内土砂掬い上げ機

- ・防じん対策
- ・オフセット機構
- ・バケット形状の改良

高吸収植物による除染

- 植物による農地の除染を検証するため、ヒマワリやアマランサス等の放射性セシウム高吸収植物の栽培試験を実施。
- 土壤の放射性セシウム量に対して植物体に吸収される量は非常に少なく、高吸収植物による除染は多大な時間をおよそと予測。



ヒマワリは、アマランサス等とともに、セシウムを最も吸収する作物の一つ（(財)環境科学技術研究所）

http://www.ies.or.jp/japanese/research/seikaH21pdf/3000_H21.pdf

飯舘村内の畠地（放射性セシウム約7700 Bq/kg）にて吸収量を実証的に測定

- ヒマワリ地上部の放射性セシウム濃度 **52 Bq/kg 生重（約520 Bq/m²）**
- 土壤の放射性セシウム濃度 **7,715 Bq/kg (1,068,000 Bq/m²)**
- 土壤からの吸収分
約1/2000

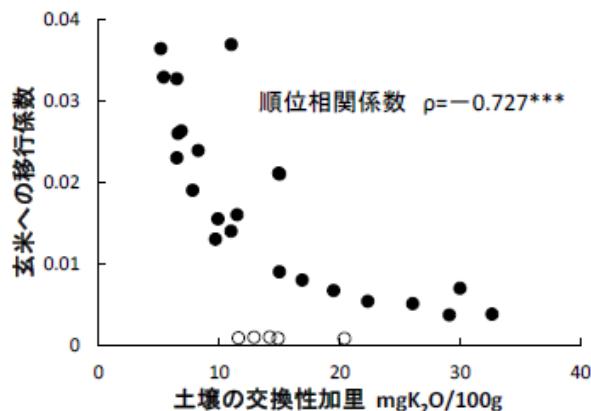


放射性セシウムを含むヒマワリ残渣の燃焼試験

作物・飼料への放射性物質移行低減技術の開発

- 土壤中の交換性カリ含量の増加が、玄米中の放射性セシウム濃度の低減に有効であることを確認。
- 野菜への放射性セシウムの移行は非常に少ないことを確認。
- 果樹では粗皮削りや高圧洗浄、茶樹ではせん枝が移行低減に有効と確認。
- 草地更新（草地を耕し、新たに播種し直すこと）は牧草への放射性セシウム移行低減に有効と確認。
- 一般機械での草地更新作業が困難な傾斜牧草地に適用できる除染技術を開発。
- 水稻、大豆、そば、牧草について、放射性セシウムが作物に移行しやすい土壤要因の解明に取組中。

土壤の交換性カリと放射性セシウムの玄米への移行係数の関係



果樹の粗皮削り等

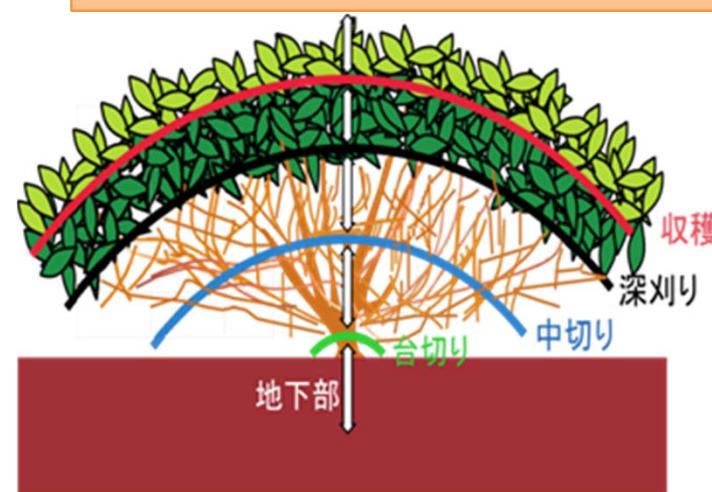


樹体に付着した放射性セシウムを、樹体表面の粗皮削り、高圧水による樹体洗浄等により低減。

無線トラクタを利用した傾斜牧草地の除染 (草地更新)技術の開発



茶の剪定

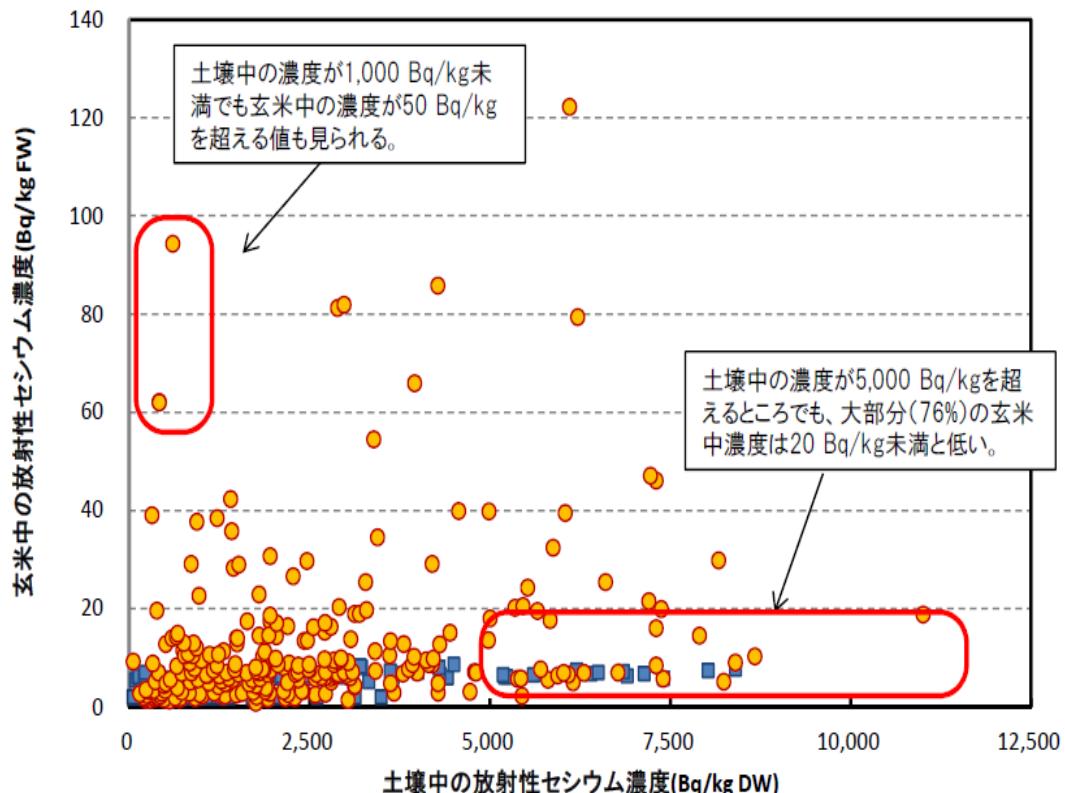


葉や樹体に付着し、茶葉に移行する放射性セシウムを、剪定・整枝により低減。

移行低減（1. 放射性セシウムが作物に移行しやすい土壌要因の解明）

- 土壌中の放射性セシウム濃度と玄米中の放射性セシウム濃度との間には直接的な関係性はみられず、土壌の性質（粘土鉱物の含有量等）が大きく影響している可能性。

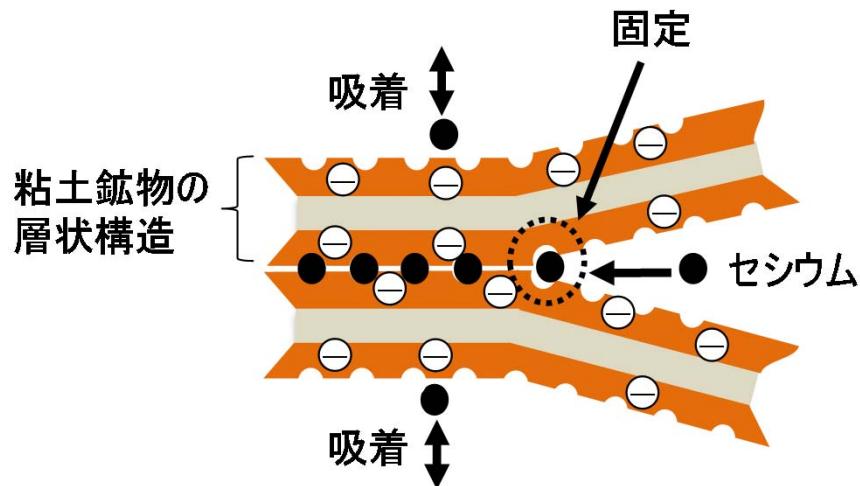
土壌中の放射性セシウム濃度と玄米中の放射性セシウム濃度との関係



「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)」より抜粋

- ✓ 土壌中の放射性セシウム濃度と玄米中の放射性セシウム濃度との間には、直接的な関係性はない。

放射性セシウムを固定する能力の高い粘土鉱物の例(バーミキュライト、イライトなど)

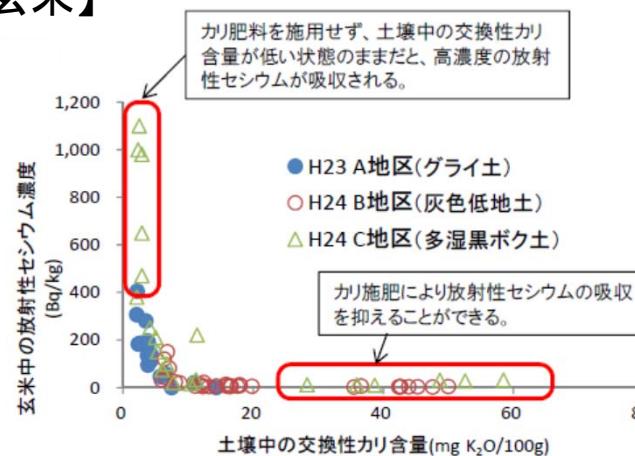


- ✓ 粘土鉱物は、表面に負の電荷を持ち、セシウムを「吸着」することができるほか、一部の粘土鉱物は時間の経過とともにセシウムを内部に取り込んで「固定」する能力を持つ。
- ✓ 「吸着」されたセシウムは、植物が吸収することができるが、一旦、「固定」されると植物が吸収することが難しくなる。

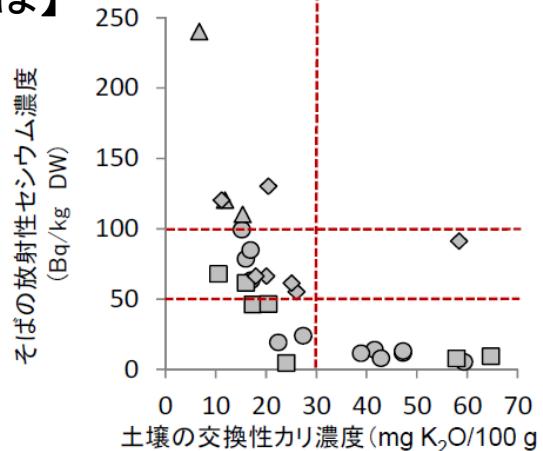
移行低減（2. 米、大豆、そばにおけるカリ肥料施用による吸収抑制）

- 土壤中のカリウムはセシウムと化学的に似た性質を有しており、土壤の交換性カリ含量が高くなるにつれて、玄米、大豆、そばの放射性セシウム濃度は低下。

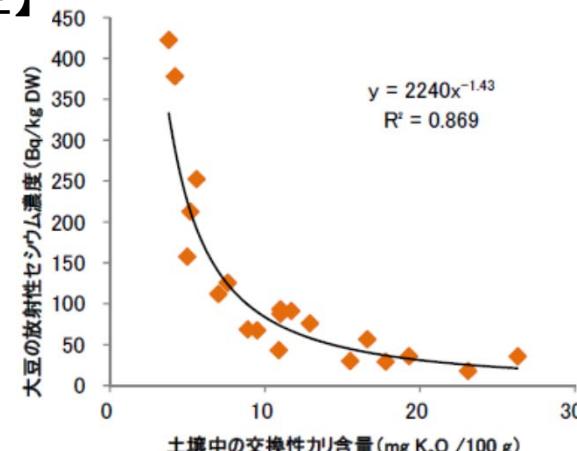
【玄米】



【そば】

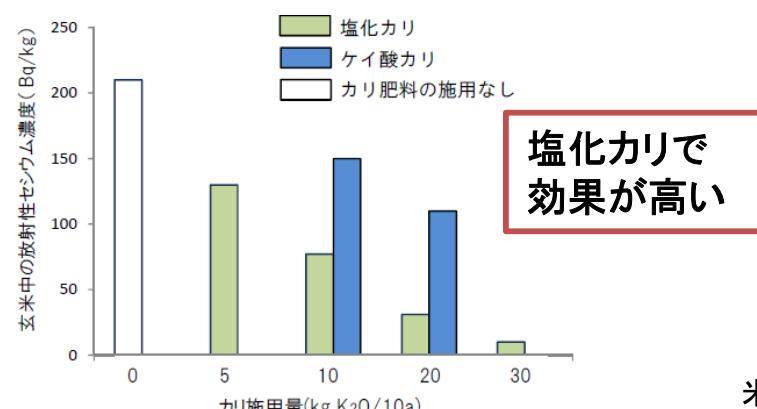


【大豆】

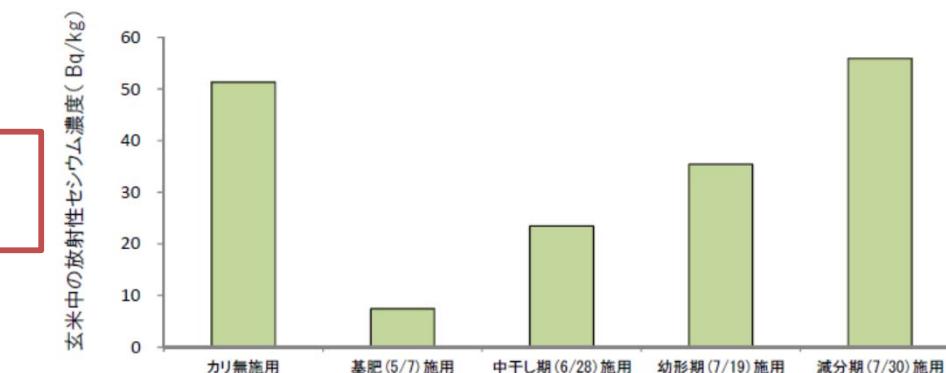


さらに、肥料の種類や施用時期についても検討。(下図は、米の例)

【肥料の種類】



【施用時期】



参考:

豆腐中の放射性セシウム濃度は、原料である大豆中放射性セシウム濃度の10分の2(平均)。

(農水省「畑作物(麦・大豆・そば)についてのQ&A」より)

追肥よりも基肥として施用する方が効果が高い

米: 「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月公表)
大豆: 「放射性セシウム濃度が高くなる要因とその対策について 大豆」(平成25年3月公表)
そば: 「放射性セシウム濃度が高くなる要因とその対策について そば」(平成25年3月公表)

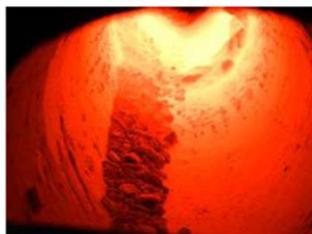
放射性物質を含む土壤・作物等の減容化技術の開発

- 汚染土壤から放射性セシウムを分離するために、土壤を加熱して分離する技術や、有機酸によって土壤から溶かし出して除去する技術開発を進めているところ。
- 汚染稻わら、家畜ふん堆肥、雑草、落葉等についても、保管現場で処理できる移動式の小型炭化装置や、ペレット状に圧縮固化して減容化する技術を開発。最大で1/20～1/25まで減容化可能。

汚染土壤からの乾式セシウム除去技術



回転式電気炉(ロータリーキルン)



炉内の様子と焼成物

土壤から放射性セシウムを分離し、濃縮セシウム塩として回収。焼成物は建設骨材として利用可能

移動式の小型炭化装置の開発



移動困難な汚染稻わらや堆肥等を保管場所で炭化して減容化
植物系廃棄物の安定・減容化のためのペレット化技術



除染作業に伴い発生する雑草、落葉等の植物系廃棄物をペレット化により安定・減容化するための処理条件等を検証

放射性物質の動態解明(1. 森林からの溪流水中の放射性物質の観測)

- 森林の下流に位置する農地へ流入する溪流水の影響が懸念されていることから、溪流水中の放射性物質濃度の調査を実施。
- 溪流水中の放射性セシウム濃度はほとんどが検出下限値（ 134Cs 、 137Cs 共に1 Bq/L）未満。
- 一時的な溪流水中の放射性セシウム濃度の上昇は、降雨等による懸濁物質が主な由来と考えられる。

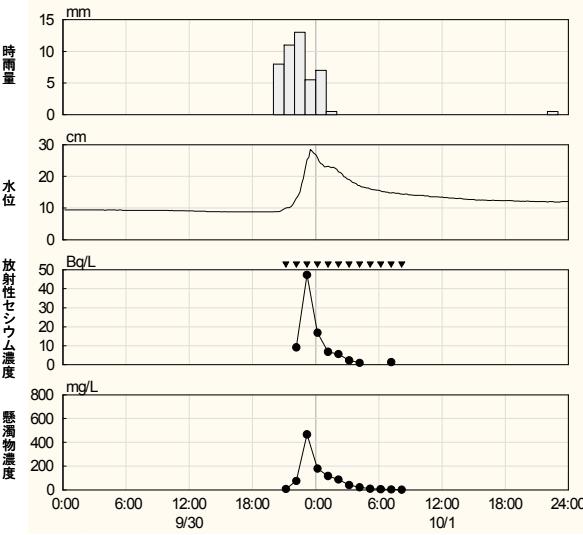
・福島県内の溪流水の放射性物質濃度調査(平成24年)

森林から流れ出る溪流水を採取し、放射性物質濃度を測定

採水期間	3/1-4/30	5/1-7/31	8/1-10/31
採水箇所数	6	3	2
採取試料数	342	264	175
検出下限値(1 Bq/L)未満	333	260	169
検出 (最小値-最大値(Bq/L))	9 (1.0-5.8)	4 (1.0-13.1)	6 (1.1-6.8)
濾過後の検出 (最小値-最大値(Bq/L))	0 <1	0 <1	2 (1.1-2.3)

溪流水中の放射性物質は、泥等の濁りが主な由来

・降雨開始から1時間毎に溪流水を採取



降雨時採水(9/30-10/1)の結果

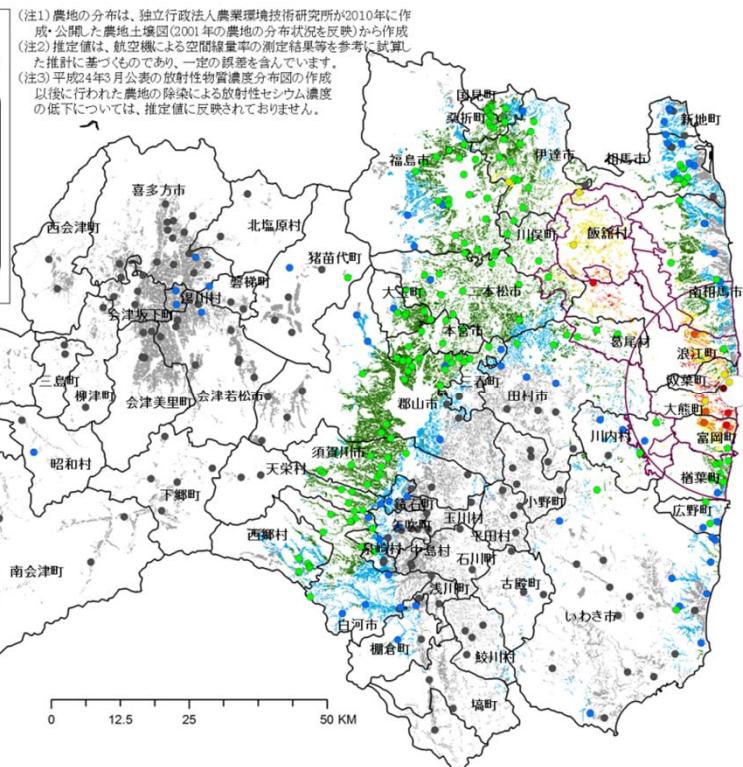
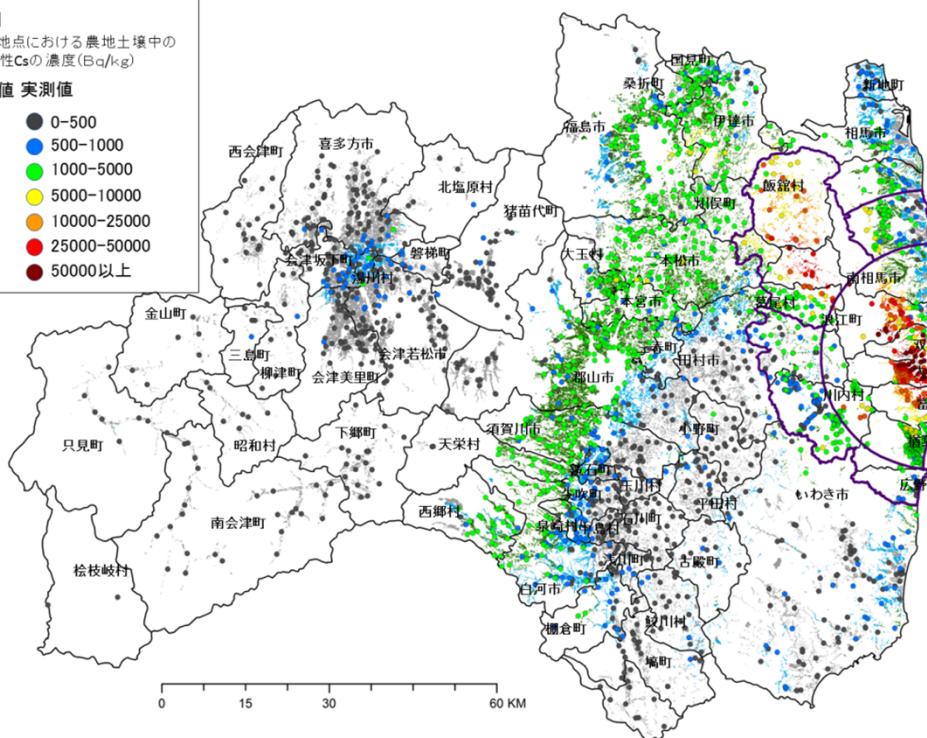
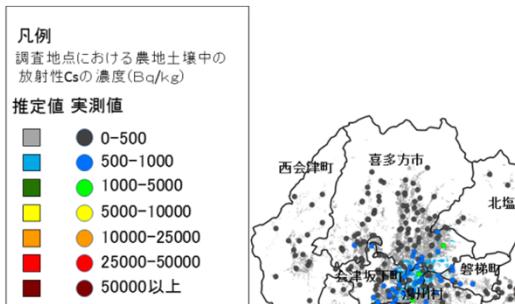
放射性セシウムの濃度のグラフ上端の逆三角形は採水時を示す。時雨量は直近のアメダス観測所の値。

☆ 溪流水中の放射性物質濃度の上昇は、降雨により増水する際の一時的な濁りによるものと考えられる。

放射性物質の動態解明（2. 今後の取組）

- 汚染農地からの放射性物質の拡散が懸念されており、放射性セシウムの動態解明とその予測技術の開発が必要。
- 森林・農地からの放射性物質の流出・飛散の実態を把握し、農作物や河川、地下水への影響を予測する技術や、流出・飛散を防止する技術を開発。

2011年11月



福島県農地土壤の放射性Cs濃度分布図(基準日2011年11月5日)(農林水産省、2012)

福島県農地土壤の放射性Cs濃度分布図(基準日2012年12月28日)(農林水産省、2013)

農地土壤の放射性セシウム濃度変化