

放射性物質の農地からの除去と農作物への移行低減に向けた農研機構の取組み

(独)農研機構 東北農業研究センター
福島研究拠点
農業放射線研究センター
信濃 卓郎

本部 理事長

- ・
- ・
- ・
- ・
- ・

震災復興
研究統括監

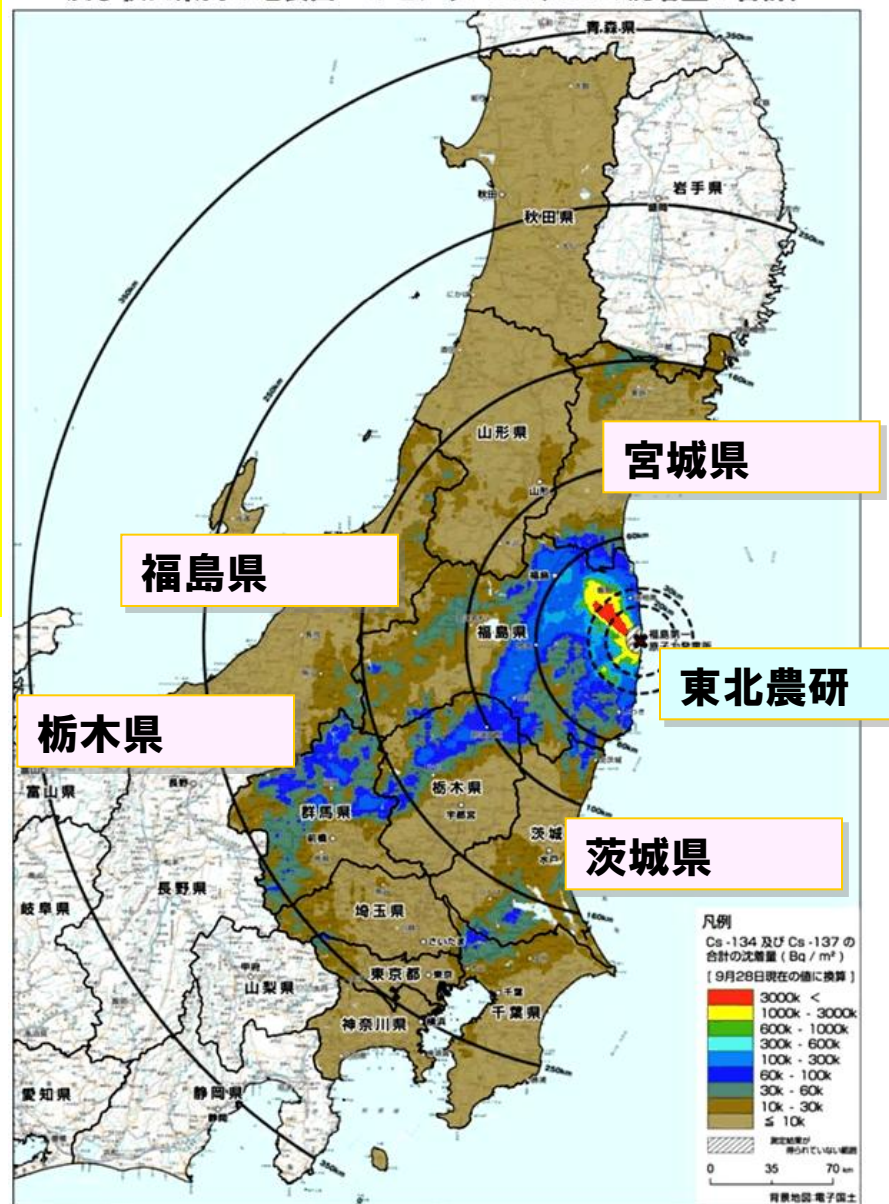
内部研究所

中央研
作物研
果樹研
花き研
野菜研
畜草研
動衛研
食総研
農工研
生研セ

北農研
東北研
農業放射線
研究センター
近農研
九州研

農研機構の組織体制

文部科学省による新潟県及び秋田県の航空機モニタリングの測定結果について(文部科学省がこれまでに測定してきた範囲及び新潟県及び秋田県内の地表面へのセシウム134、137の沈着量の合計)



◆農研機構の取組

H23 緊急対応(対策本部設置、緊急調査・研究を展開、震災復興への提言)

→ 物理的除染技術、水稻・茶の移行低減技術等
(科学技術戦略推進費、農水緊急プロ等)

H24 中期計画を改訂し、放射性物質対策研究(除染、移行低減)を位置づけ、
震災復興研究統括監(本部)、農業放射線研究センター(東北研)に配置

→ 除染技術の拡充、廃棄物の減容・安定化、草地・飼料作の移行低減技術等
(農水省「放射能プロ」開始)



放射性物質に汚染された農地土壌の除染に向け、農林水産省が実施した実証試験

農産物汚染の防止

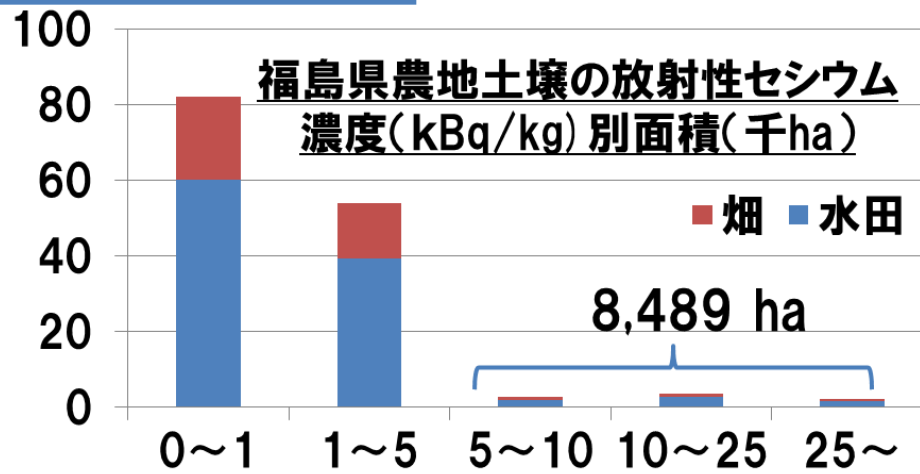
- 農産物の汚染防止による内部被ばくの防止
- 扱う単位は主にBq
- 作物の根が張る範囲(作土層)の放射性物質が問題
- 主にGe分析計で、作土層(水田は15cm深)を計測
- 目標は、生産物の基準値(主に100Bq/kg)内

移行低減

空間線量率の低減

- 地域住民の外部被ばくを低減
- 扱う単位は主にSv
- 土壌の表面の放射性物質が問題
- 測定は主にサーベイメータ、航空計測等も可能
- 目標は、1mSv未満

農地除染



農産物汚染の防止

- 目標は、生産物の基準値
(主に100Bq/kg)内
- 目標は年間1mSv(飲料水
0.1mSv含む)

空間線量率の低減

- 目標は、1mSv未満

50ミリシーベルトより高い帰還困難地域

20-50以下／年の居住制限区域

20ミリシーベルト／年が避難指示解除準備区域

1ミリシーベルトの目標は、前民主党政権が国際放射線防護委員会(ICRP)が示す1～20ミリシーベルトの下限を採用した。

現在は除染の長期目標値。年間1ミリシーベルトは環境省の設けている公衆被爆の上限で時間当たり0.23 μ Sv/h以上の市町村が除染対象。

「国際放射線防護委員会のICRP2007年基準に準拠していて(1960年の基準値では5ミリシーベルト。引き下げられている)、意図せざる被爆を年間1ミリシーベルトとしている。

この勧告に従っている。緊急時には20-100mSv／年以下(短期のみ)、事故後の普及段階は1-20mSv／年(これが現状の日本、この数値には職業被爆やブラジルなどの自然放射能が高い地域も含まれる)。事故収束後は年間1mSvを上限とする(これには医療行為も含まれる)。

$$CLf = \min \frac{Df(t)}{\sum_{foods} DF_{total}(t) \times I \times 0.5}$$

CLf: 飲料水を除く食品の限度値(Bq/kg)

Df(t): 評価年tにおける食品に割り当てられる年間総量(Sv/y)

$DF_{total}(t)$: 評価年tにおける食品区分毎の対象各種合計線量係数(Sv/Bq)－
実行線量係数

I: 当該食品の年間摂取量(kg/y)

評価に用いられた放射性核種(成人)	
核種	経口接種した場合の実効線量係数(Sv/Bq)
Cs-134	1.9 e ⁻⁰⁸
Cs-137	1.3 e ⁻⁰⁸
Sr-90	2.8 e ⁻⁰⁸
Ru-106	7.0 e ⁻⁰⁹
Pu-238	2.3 e ⁻⁰⁷
Pu-239	2.5 e ⁻⁰⁷
Pu-240	2.5 e ⁻⁰⁷
Pu-241	4.8 e ⁻⁰⁹

注意: 低年齢になるほど係数は高まる

計算例: 成人男性、Cs137のみ考慮した場合

評価に用いられた放射性核種(成人)	
核種	経口接種した場合の実効線量係数(Sv/Bq)
Cs-137	1.3 e ⁻⁰⁸

$$CLf = \min \frac{Df(t)}{\sum_{foods} DF_{total}(t) \times I \times 0.5}$$

CLf: 飲料水を除く食品の限度値(Bq/kg)
Df(t): 評価年tにおける食品に割り当てられる年間総量(Sv/year)
Df_{total}(t): 評価年tにおける食品区分毎の対象各種合計線量係数(Sv/Bq)一実行線量係数
I: 当該食品の年間摂取量(kg/year)

飲料水: WHOの基準 10Bq/kg → 約0.1mSv/year
成人男性年間食品摂取量773kg(半分は汚染されていないとして0.5を乗じる)

$$CLf = \min \frac{0.90mSv}{0.000013 (mSv/Bq) \times 773kg \times 0.5} = 179Bq/kg$$

実際の計算では全ての対象核種の影響を考慮した合計線量係数である0.0000181を用いる。最も食品からの影響が大きいのは13-18歳男性で120Bq/kg。これに基づいて100Bq/kgが決定された。

1) 原発事故後耕起していない農地

放射性物質は表層に分布
粘土等の細粒分に分布



1) 表土削り取り



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



耕起した深さで希釈

4) 水による土壌攪拌・除去(水田)



代かき後、汚染粘土のみを水とともに排出



※ 通常耕起の反復

2) 原発事故後耕起した農地



- 現地のほ場における実証試験 → 土壌中の放射性セシウム濃度や地目に応じた農地土壌の除染技術の適用の考え方(平成23年9月) → 環境省の「除染関係ガイドライン」に反映(平成23年12月)
- 農地土壌の除染技術の手引きを公表(平成24年3月)

土壌の放射性セシウム濃度別適用技術

土壌の放射性セシウム濃度	適用する技術
～ 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、水による土壌攪拌・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



※作物による土壌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



土壌攪拌



固化剤を用いた削り取り



芝・牧草のはぎ取り

土壌の物理的除染(表土はぎとり)



NARO

農研機構



福島県農業総合センター

土壌の物理的除染(表土はぎとり)

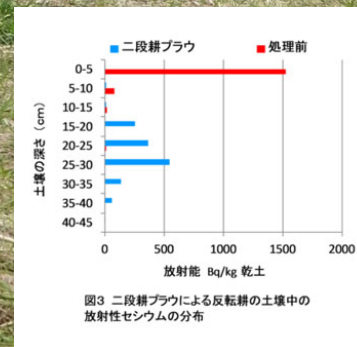


農研機構



福島県農業総合センター

土壌の物理的除染(反転耕)



東北農研(福島県農業総合センター畜産試験場にて)

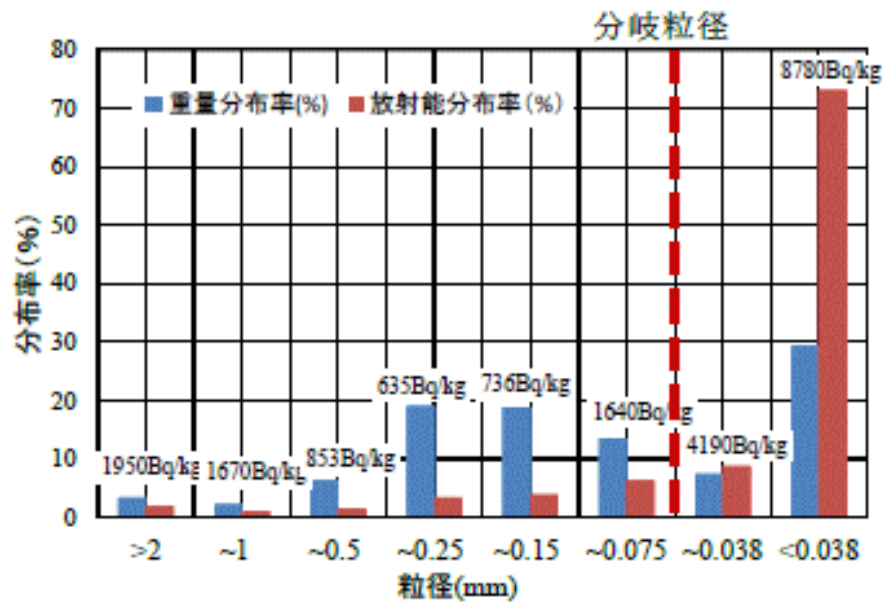
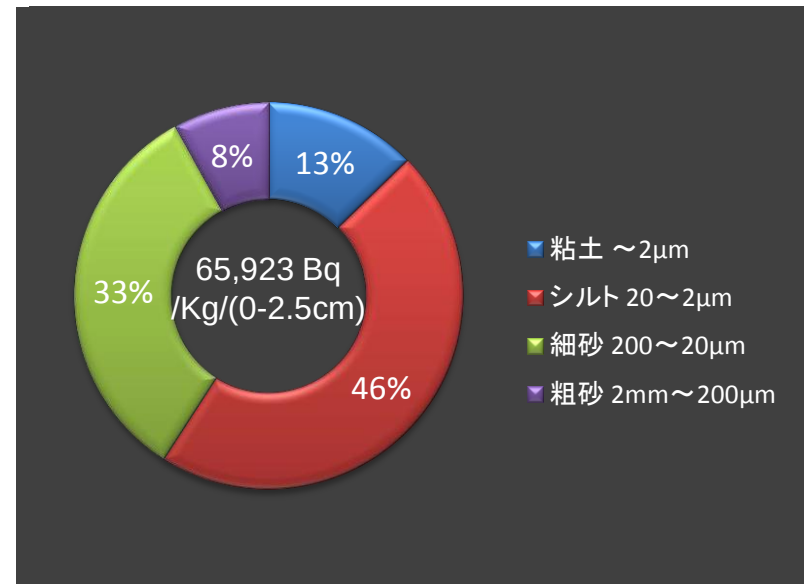


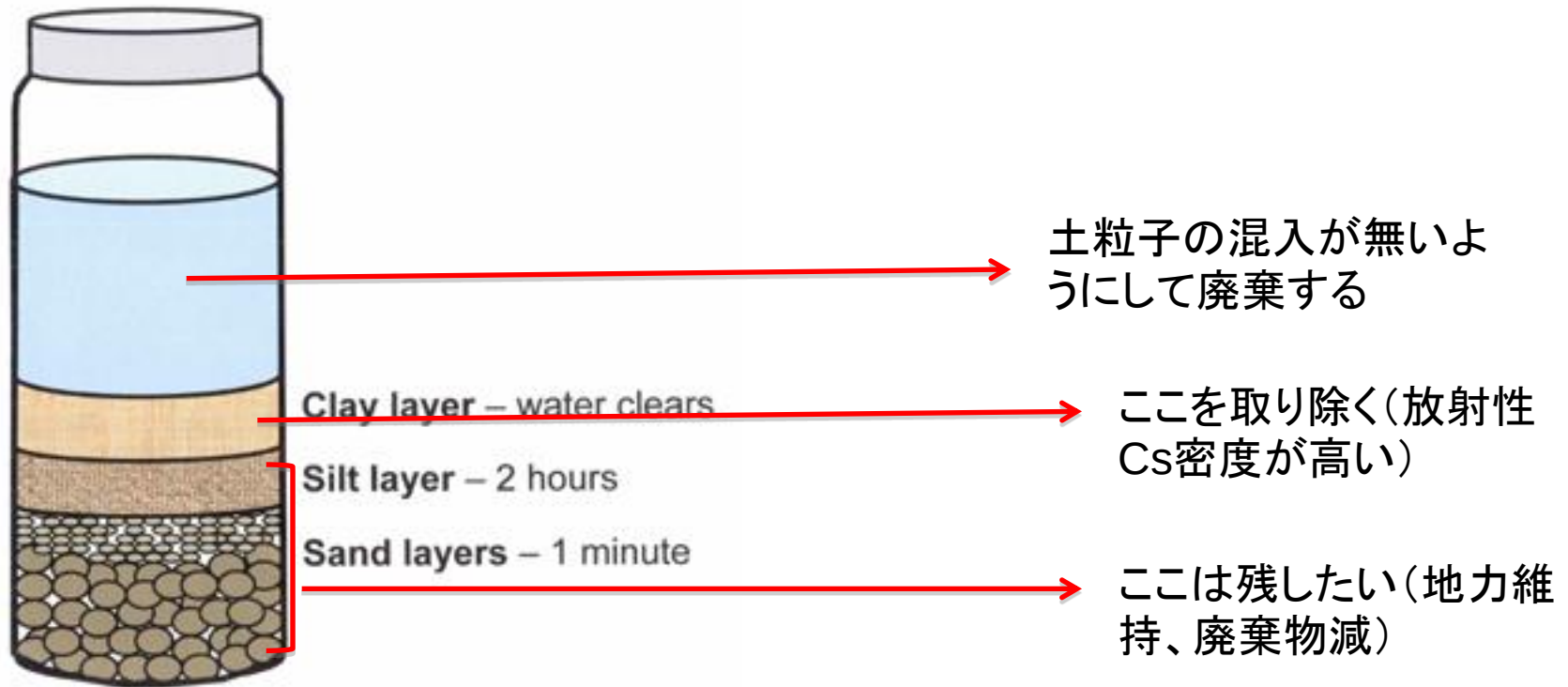
図3 圃場土壌の粒度区分毎の重量分布率と放射性セシウムの放射能分布率



粒径クラス別の寄与率

実際に分けるには。。。土壌学実験にヒントが

土壌の物理的除染(土粒子の分級)



Copyright. 2010. Colorado Master Gardener Program, Colorado State University Extension.

排液の基準 (Cs134 60Bq/L, Cs137 90Bq/L以下, 環境省ガイドラインH25.3)

土壌の物理的除染(土壌攪拌一代掻き除染)



農研機構



農村工学研究所(南相馬にて)

土壌の物理的除染(土壌攪拌一代掻き除染)



農研機構



トラクターで代かきした水田(左)から泥水を排水し、放射性物質を除去する実験＝福島県飯館村で8月24日、森田剛史撮影

b) ポンプによる強制排水状況(2011.9.8 毎日新聞)



c) 凝集剤による固液分離状況
上澄液 (^{134}Cs <7.7, ^{137}Cs <6.9 Bq/kg)



土壌の物理的除染(代掻き除染)―小規模水田

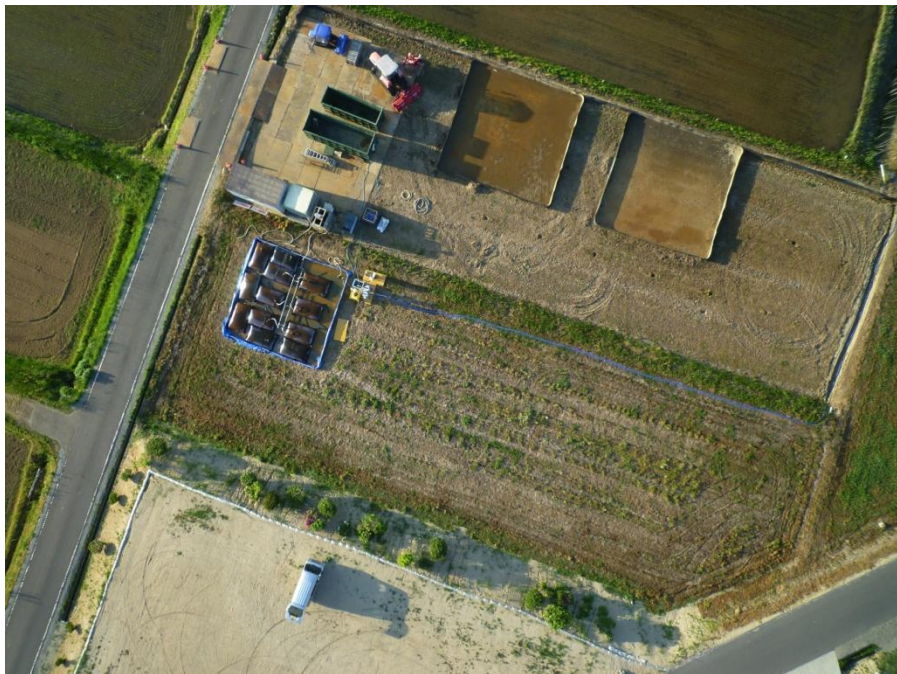


圧縮プレス→脱水バッグ

土壌の物理的除染(代掻き除染)



農研機構



By「ひばりは見た！」



新型5号機



伊達市(小規模水田)H25

土壌の物理的除染(固化剤-表土はぎ取り)



農研機構

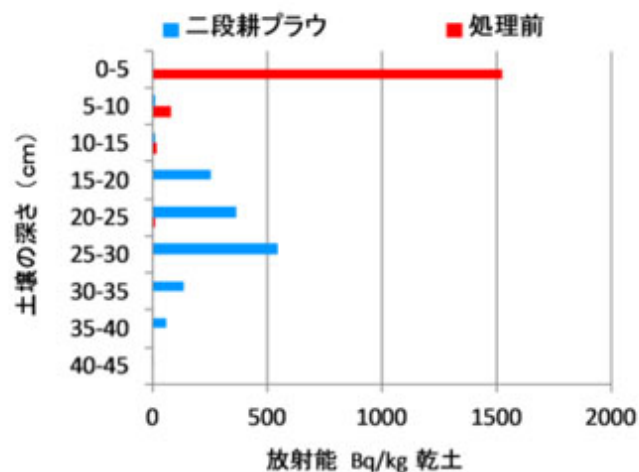


図3 二段耕プラウによる反転耕の土壌中の放射性セシウムの分布
農研機構

確実に表層土を除去したい。
固化剤を3cm程度まで浸透させて
固める。(マグネシア系固化剤)
その後、表土除去



耕起していない圃場では表層数
cmに放射性Csは集積している

- ①固化剤の散布
- ②固化剤の浸透・固化
- ③表層土の剥ぎ取り

土壌の物理的除染(固化剤一表土はぎ取り)



農研機構



土壌表層の固化の状態(8月29日)

農工研(飯舘村)

土壌の物理的除染(固化剤一表土はぎ取り)



農研機構

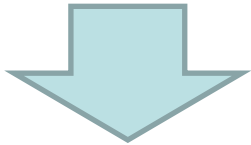


農工研(飯舘村)

除染廃棄物



森林除染残渣
稲わら、堆肥など



土



植物

乾式セシウム処理

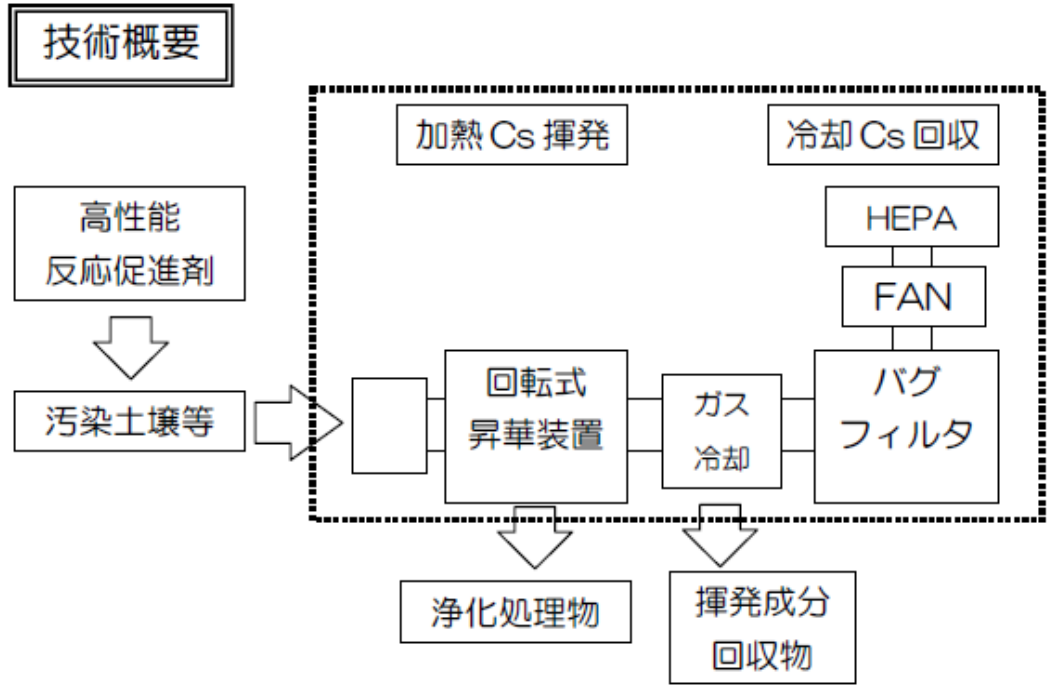


図 2 技術概要図

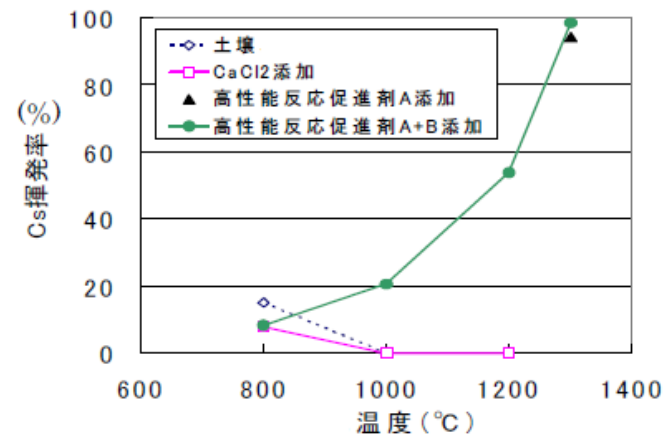
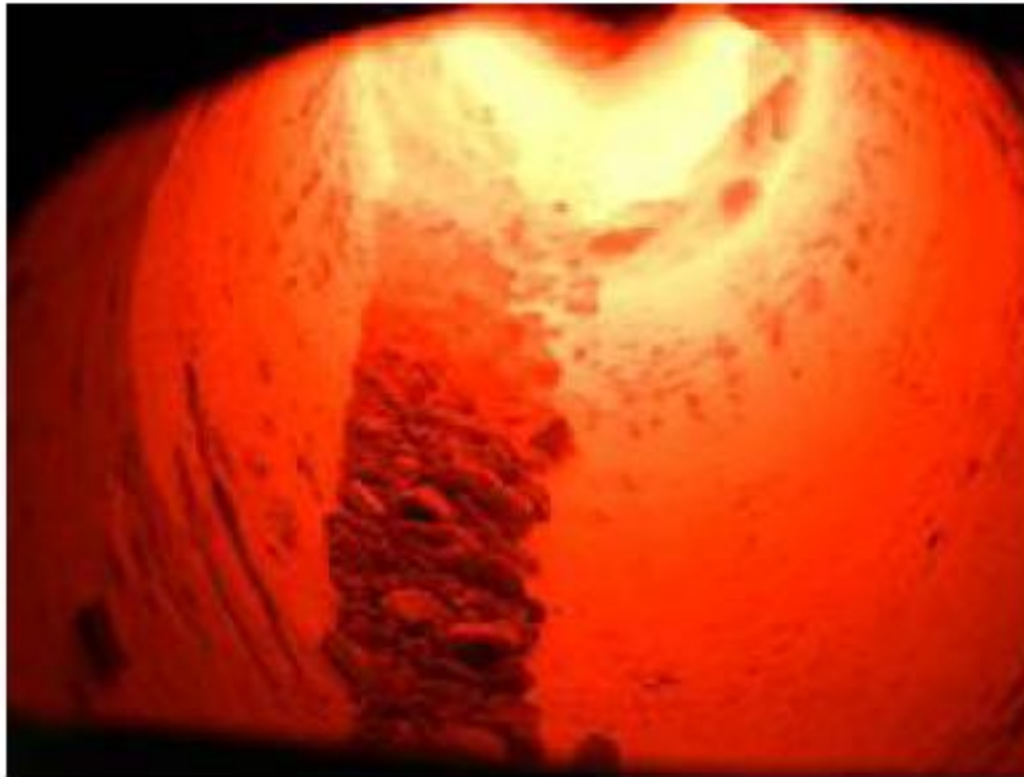


図 1 各種模擬試料の昇華温度と Cs 揮発率との関係

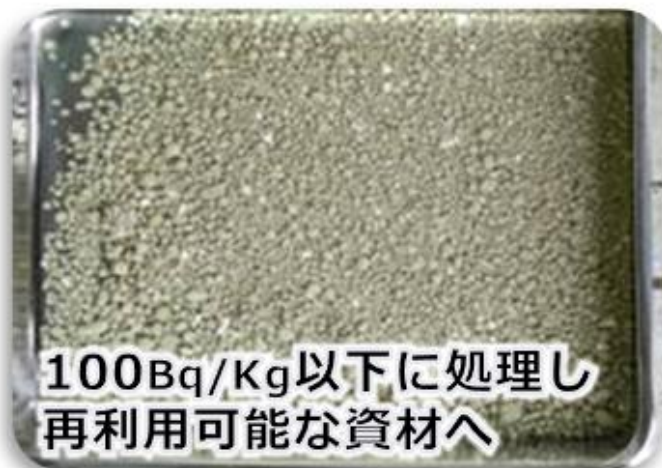
反応促進剤と混合





1300度以上で回転焼成し、セシウムを効率的に昇華

浄化処理物と塩化セシウムに 分離除去



除去率
99.9%

植物由来廃棄物の問題点：

- 1) 比重が小さい→フレコンに入る量が少ない。
- 2) 水分が多い→腐る、ガスが発生する。
- 3) 密に入れられない→積み重ねられない。

1/5～1/10に減容、水分15%、
<8000 Bq/kg

バイオマス減容化システム

作物残渣、わら

枝葉



①原料の細断



②乾燥

③粉砕

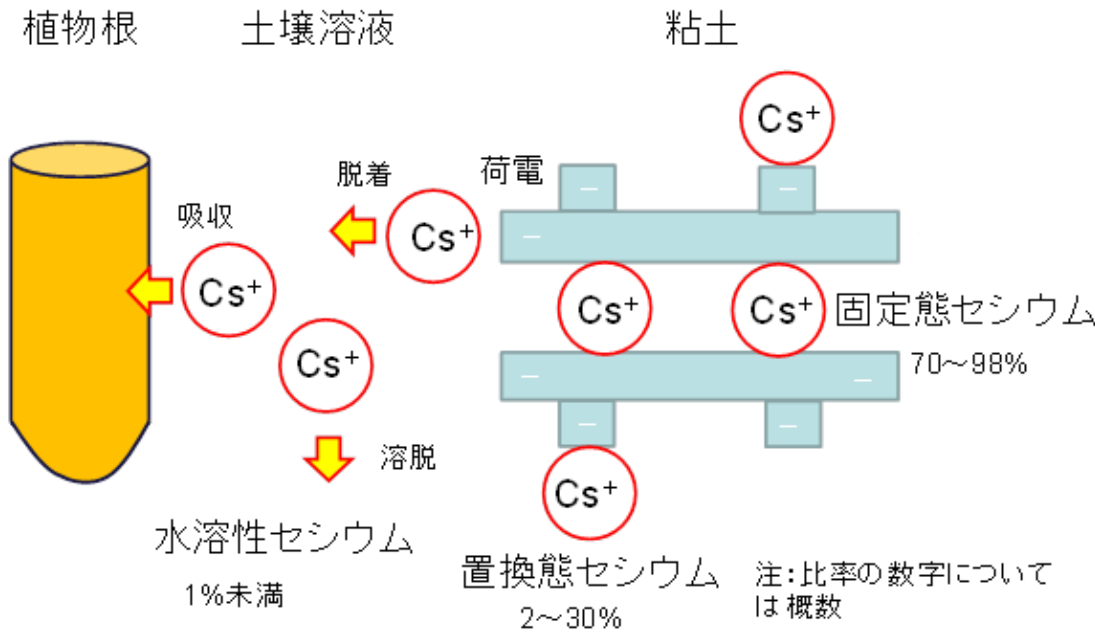
④混合・調製



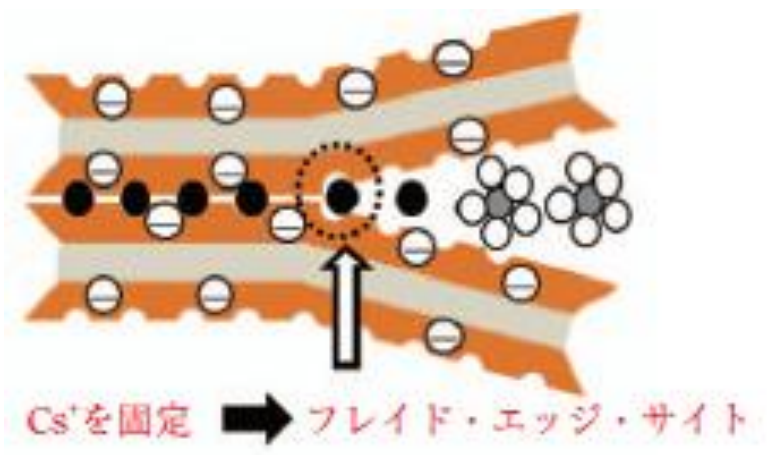
⑤成型処理



土壌-植物系における放射性セシウムの動態



(農環研: 広報資料パネルより)



放出直後: 無担体で反応しやすい

大気中の固形物等に保持
降雨等により降下

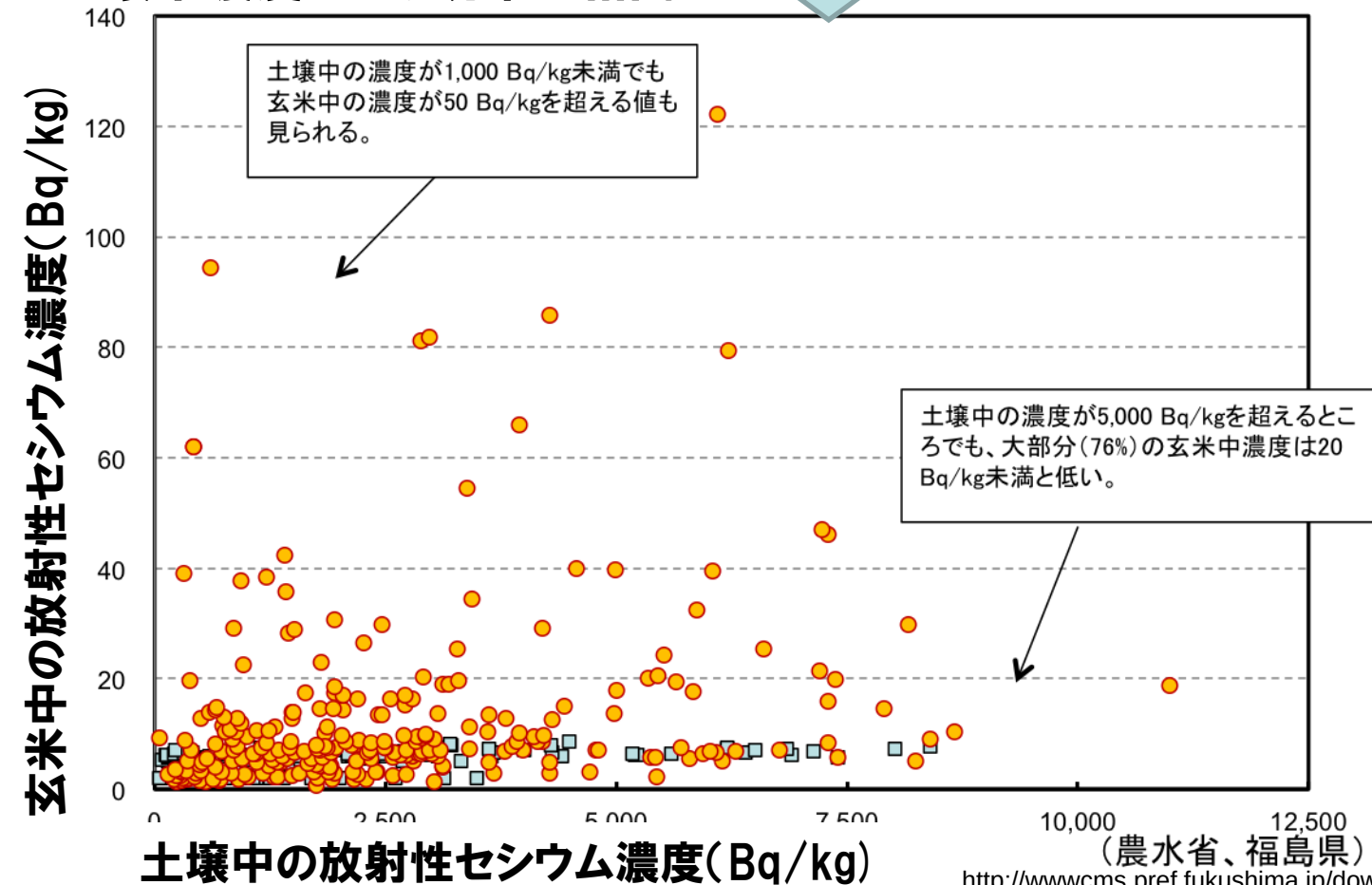
植生やリ
ターに吸着

植物

土壌と反応
(土壌特性、環境条件、時間が影響)

- 土壌中のセシウムの形態
- 固定態: 移動し難い
 - 置換態: 中間的反応性
 - 水溶性: 吸収され易い

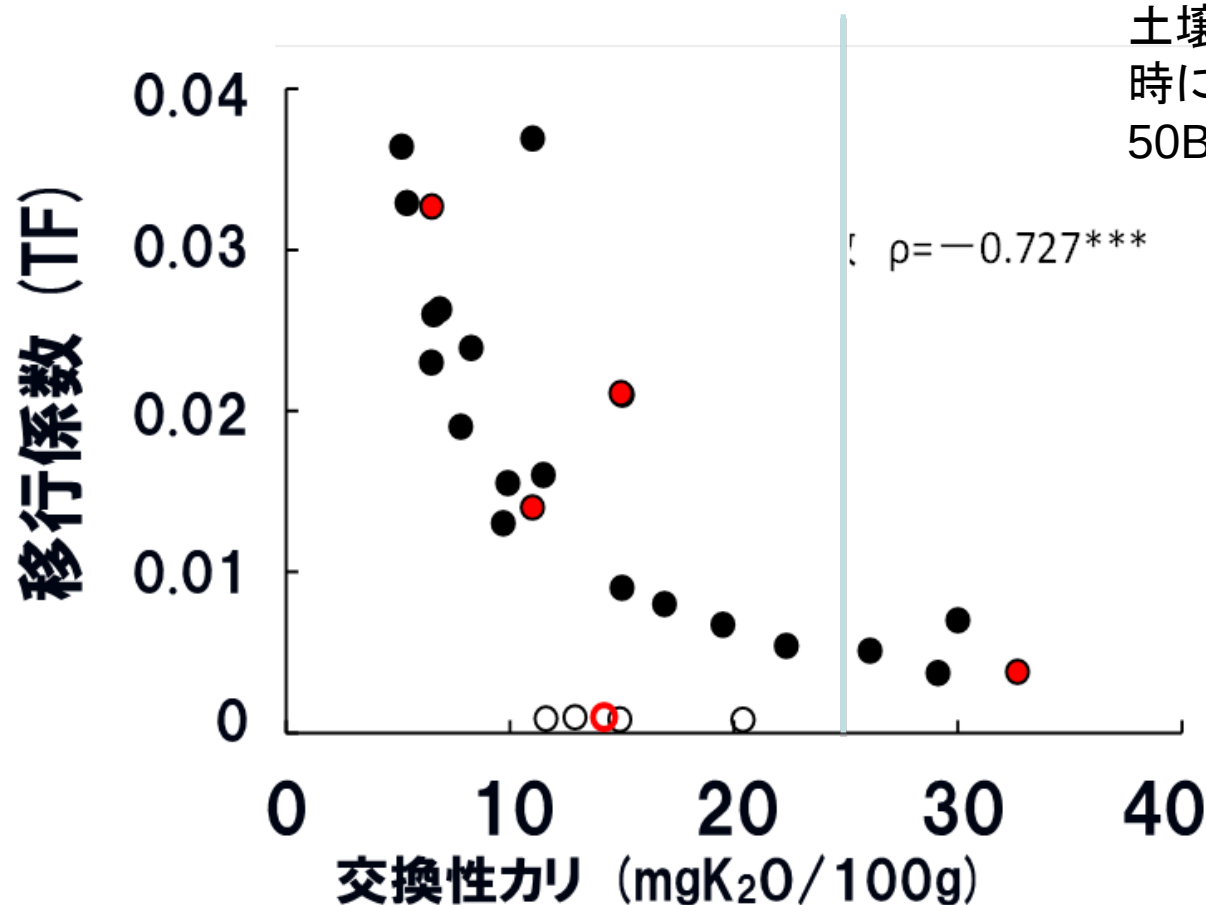
玄米の放射性セシウム濃度と多地点の 土壌中濃度には、明確な相関なし



玄米の放射性セシウムの移行係数
は、土壌の交換性カリ含量と負相関

TF=植物の濃度／土壌の濃度

土壌5,000Bq/kgの
時に移行係数0.01なら植物は
50Bq/kg。

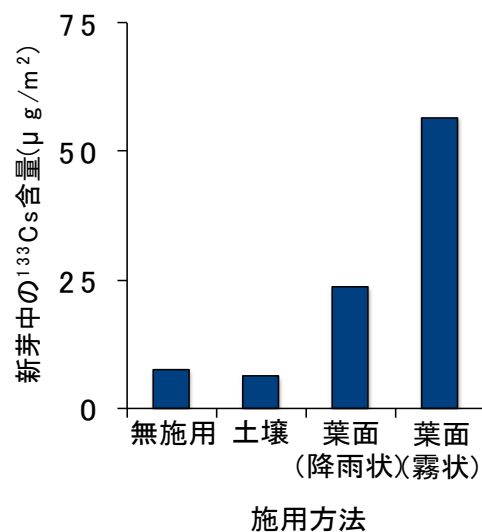


(中央農研成果)

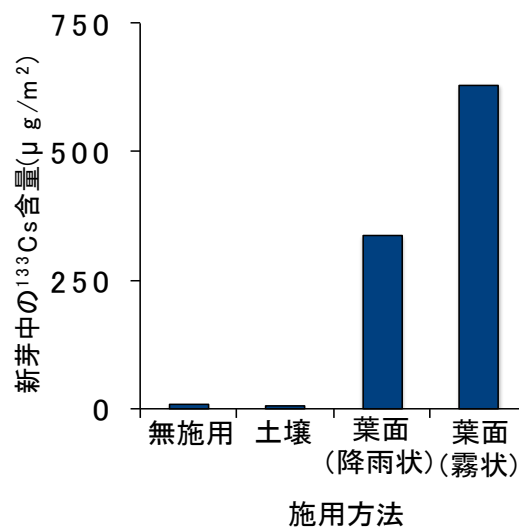
土壌の交換性カリ
含量の目安
25 mgK₂O/100g

24年作の各県指
導に活用

^{133}Cs 施用量: $570 (\mu\text{g}/\text{m}^2)$

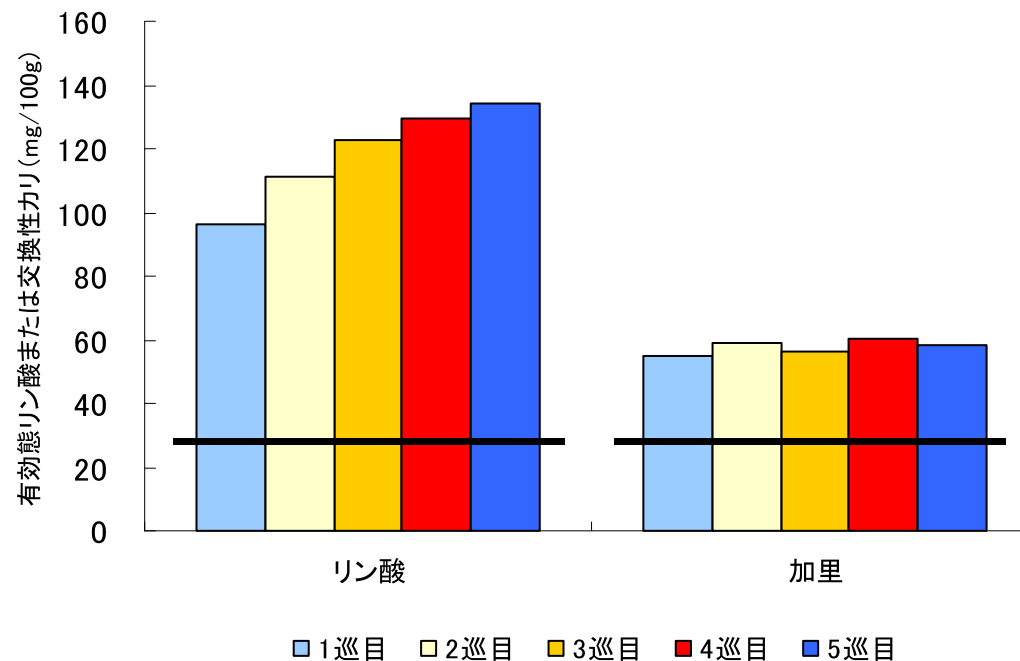


^{133}Cs 施用量: $5360 (\mu\text{g}/\text{m}^2)$



- 安定同位体セシウム(^{133}Cs)を土壌あるいはチャの葉面に施用すると、施用1ヶ月後の移行量は、葉面散布で多くなり、土壌からはほとんど移行しない。

○茶園地に蓄積している有効態リン酸及び交換性カリウムの推移



資料:「土壤環境基礎調査(79～98年)」、「土壤機能モニタリング調査」(99～03年)

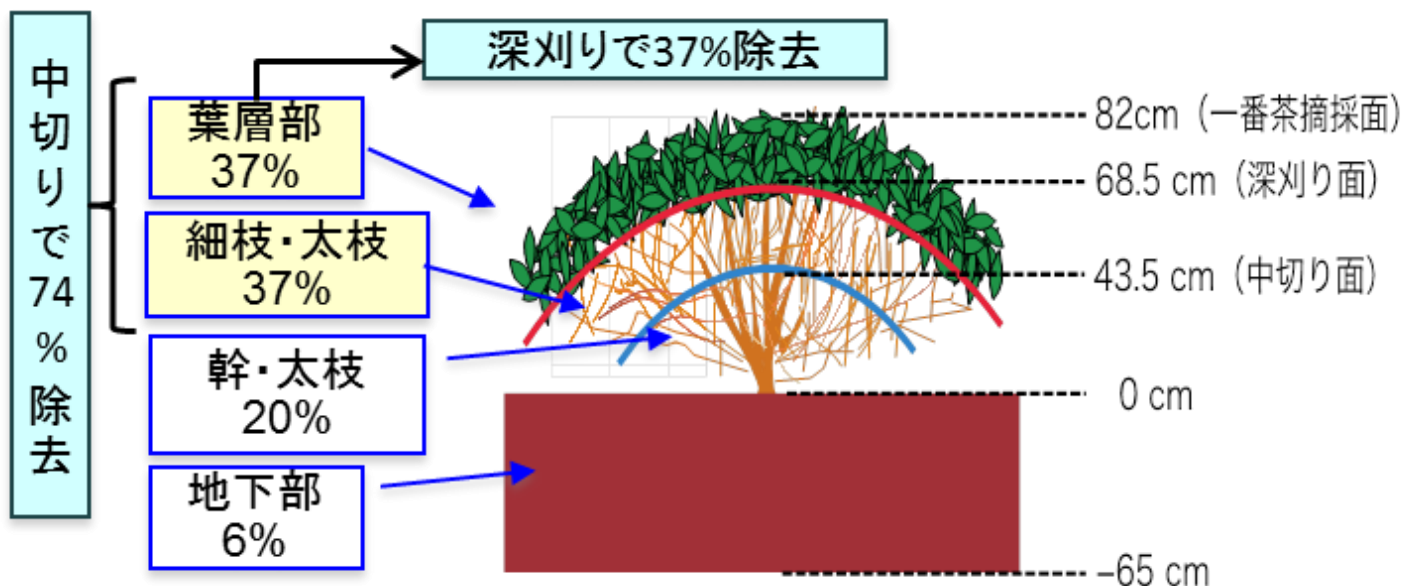
1巡目:79～83年(341地点)、2巡目:84～88年(350地点)、3巡目:89～93年(353地点)、

4巡目:94～98年(340地点)、5巡目:99～03年(85地点)

資料:地力増進基本指針

注: リン酸の実線は地力増進基本指針による適正な有効態リン酸の上限値(30mg/100g)。

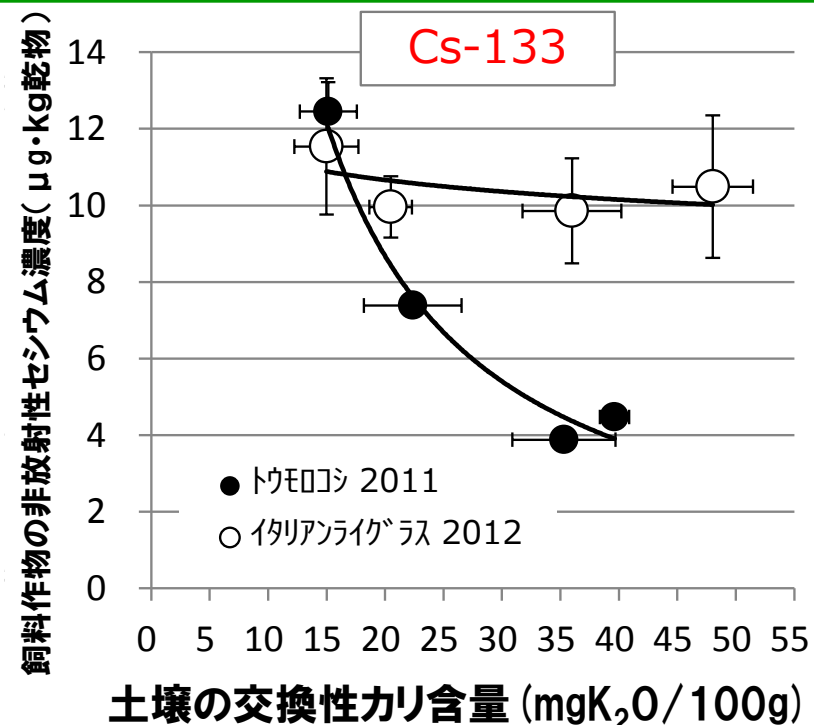
交換性カリウムの実線は各県で定められている土壤診断基準、JA全農監修「土づくり肥料のQ&A」及び独法研究者への聞き取りを基に乾土100g当たりの交換性カリウム含有量の適正域(上限値)を30mg/100gと設定した。



(野茶研成果)

- 2012年6月3日、一番茶摘採後の放射性セシウムは深刈り面より上に37%、中切り面より上に74%が存在しました。これらのせん枝処理で樹体から放射性セシウムを除去できる。

飼料畑二毛作における
移行低減のための土壌交換性カリ含量
牛ふん堆肥の継続的施用によるカリ供給



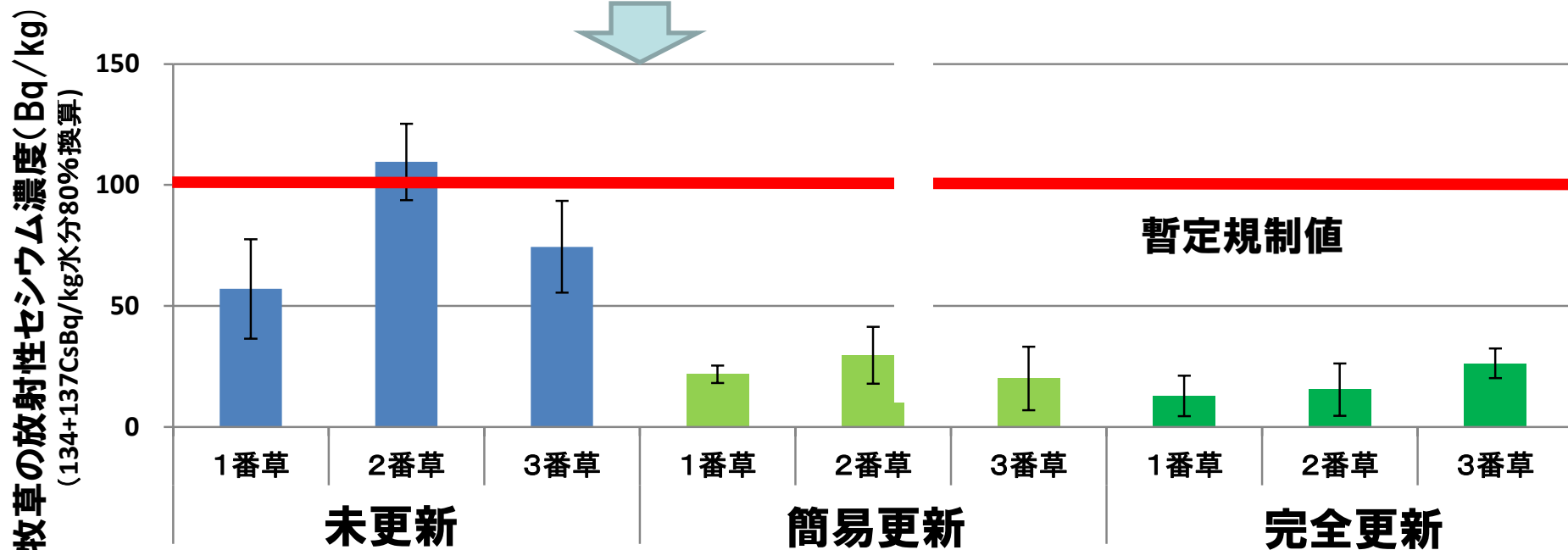
種間差？ 多年生のため？ (畜草研)



(飯野町)



草地更新により
採草地表面の空間線量率の低減
新播牧草中セシウム濃度の低減



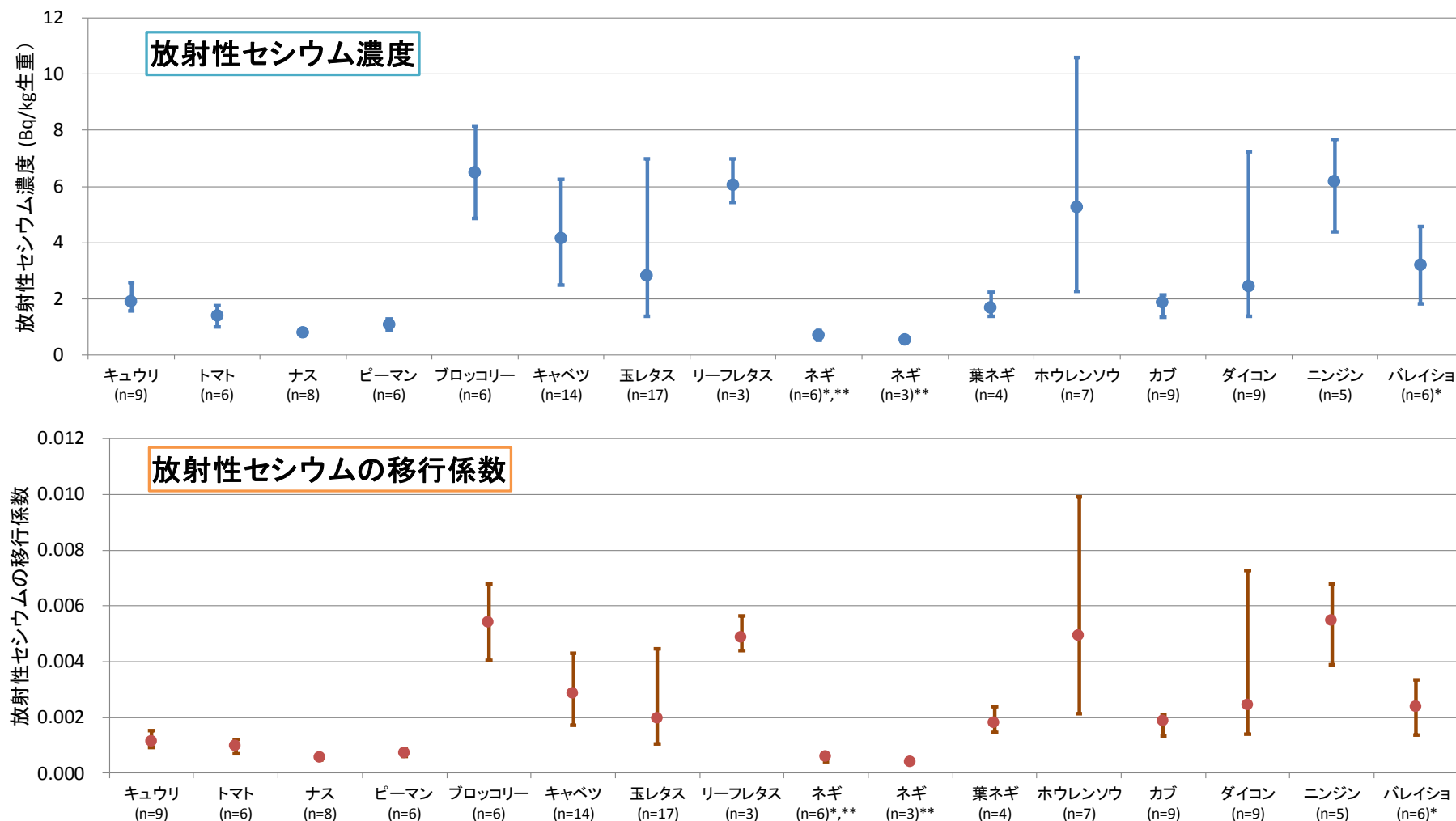


図1 各種夏作野菜における可食部の放射性セシウム濃度とその土壌からの移行係数

図中の*は腐植質黒ボク土での栽培、その他は淡色黒ボク土での栽培。

図中の**には検出限界以下の数値があり、それを除外してグラフ化した。

図中のバーは、最大値-最小値を示す。

2012年産麦類の分析例（福島研究拠点；福島市）

麦種	セシウム134 Bq/kg	セシウム137 Bq/kg	134+137 Bq/kg	サンプル採取日
オオムギ	1.2	1.9	3.1	2012年6月15日
コムギ(糊熟期)	ND<5.6	ND<6.2	-	2011年6月18日

作土(15cmまで)の放射性セシウム濃度は1,200Bq/kg程度

麦類の分析はゲルマニウム半導体検出器により、食品総合研究所が実施

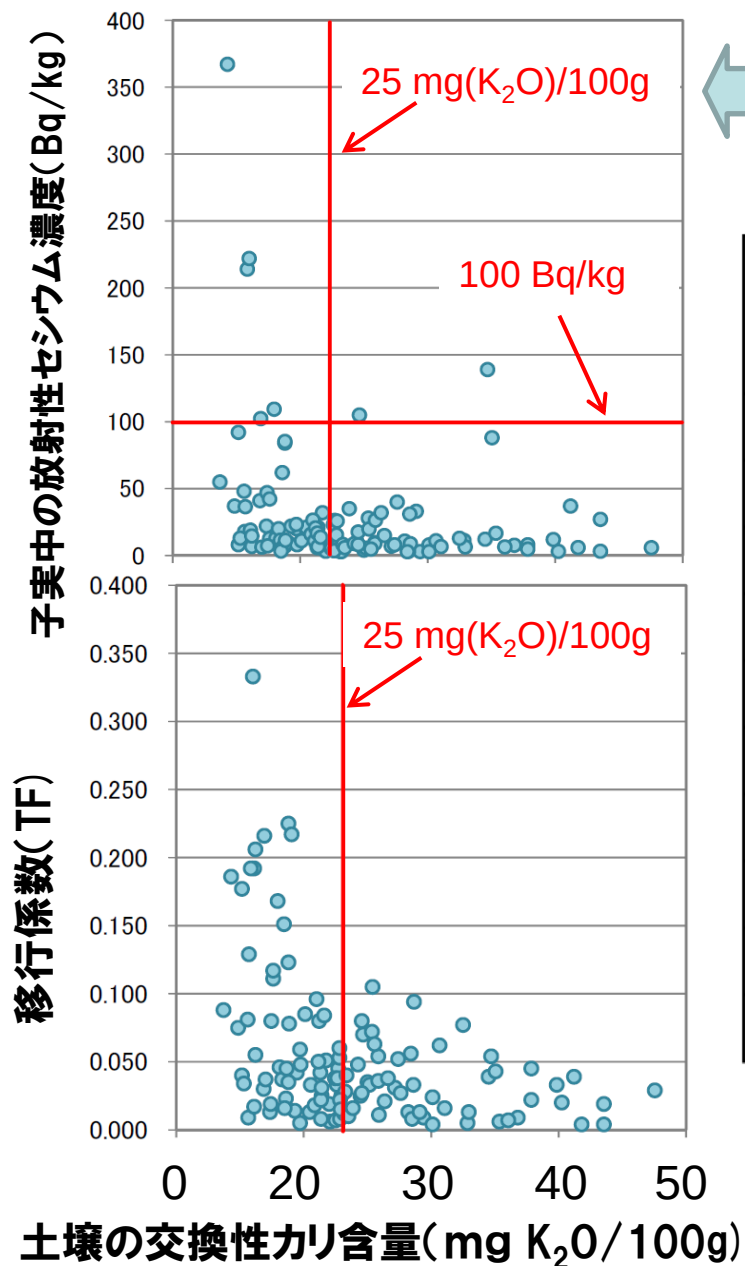
中央農研による2011年産大豆の分析例

土壌タイプ	土性	土壌の放射性Cs 濃度 Bq/kgDW	子実の放射性Cs濃度 Bq/kgDW	移行係数 (子実/土壌)
灰色低地土	CL	193～249	24～38	0.095～0.167

島田ら(2012)

**大豆については、加里施肥や土壌改良資材の効果を6箇所の連絡試験で検討。
加里施用による抑制効果が認められる場合があったが、安定した効果を得るに
は、移行係数に及ぼす他の要因の解明が必要。**

大豆の放射性セシウム吸収要因と対策



平成23年度に50Bq/kg以上の119地点について
平成24年度作を調査した結果
子実の放射性Cs濃度が高い圃場の情報

番号	大豆の放射性Cs濃度(Bq/kg)	ほ場の土壌の状況							営農上の特徴
		放射性Cs濃度(Bq/kg)	交換性放射性Cs濃度(Bq/kg)	土壌100mg中K ₂ O含量	雲母由来の粘土鉱物の有無	粒径組成(粘土割合)	pH	全炭素	
1	367	1,978	43	8.6 mg	×	36.4 %	6.3	2.1 %	・前3年は大豆作付 ・ケイ酸カリ40kg施用
2	223	666	112	12.0 mg	×	22.6 %	5.2	2.5 %	・前3年は不作付地
3	214	1,115	101	11.7 mg	×	30.5 %	5.7	4.6 %	・前3年は大豆作付
4	139	2,565	114	49.4 mg	×	39.0 %	5.9	2.4 %	・ケイ酸カリ40kg施用
5	109	652	135	15.9 mg	×	21.1 %	5.2	5.0 %	・前3年は大豆作付
6	105	1,504	94	29.3 mg	×	18.5 %	5.1	1.8 %	
7	102	473	91	13.8 mg	×	39.9 %	5.4	2.1 %	・前3年は大豆作付
8	92	520	43	10.3 mg	×	13.9 %	5.4	3.0 %	
9	88	2,046	244	50.1 mg	×	38.1 %	5.6	1.9 %	・前3年は大豆作付 ・ケイ酸カリ40kg施用
10	84	685	150	17.6 mg	○	19.4 %	4.5	2.2 %	・麦後不耕起栽培

土壌の交換性カリが低

固定力の強い粘土が無

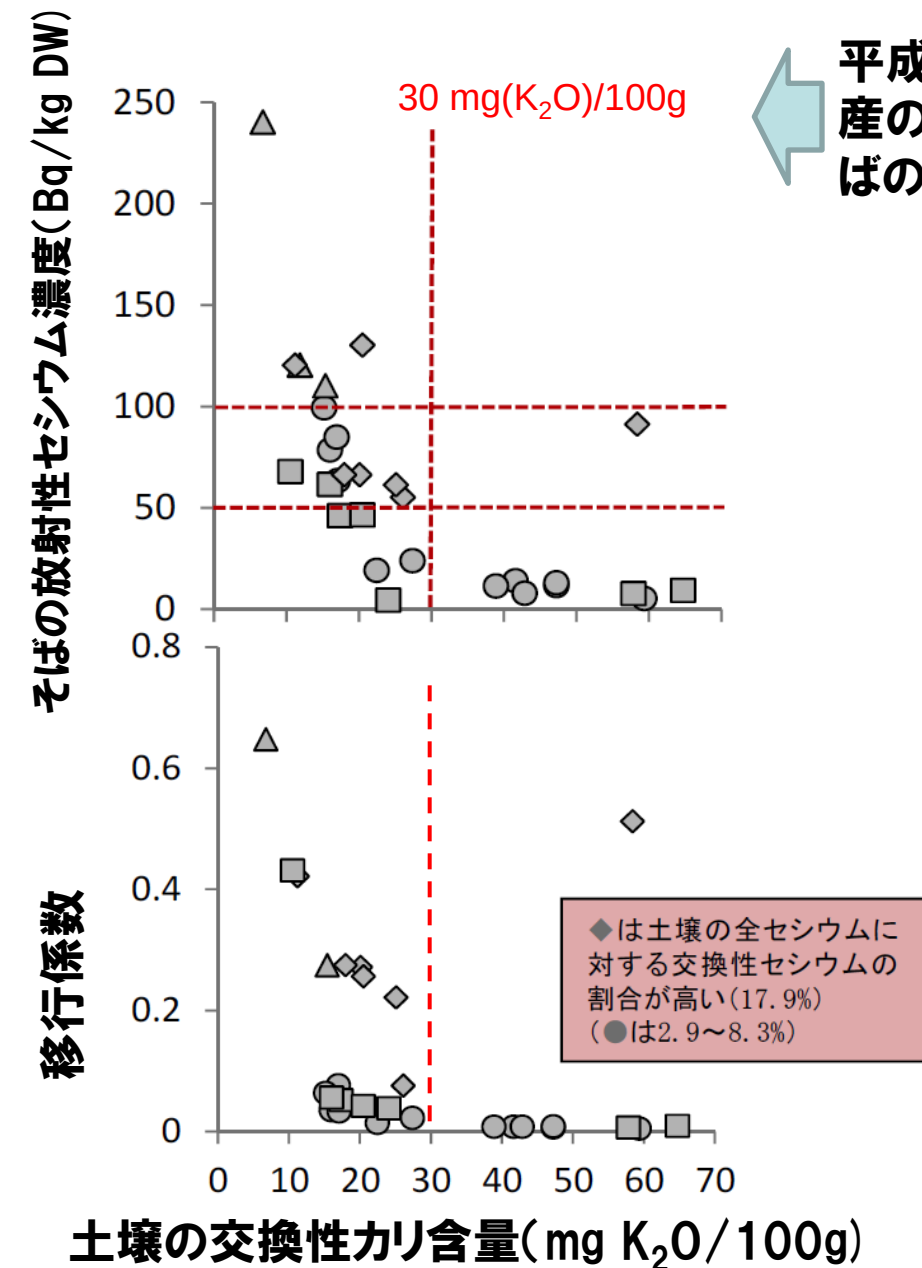
粘土含量が低

低pH

(農水省、農研機構、農環研)

<http://www.maff.go.jp/j/kanbo/joho/saigai/pdf/daizu.pdf>

そばの放射性セシウム吸収要因と対策



平成24年のA県(△)、B県(◇)、C県(○)、D県(□)
産のそばの栽培後の土壌の放射性セシウム濃度とそ
ばの放射性セシウム濃度の関係を示したもの
そばの放射性Cs濃度が高い圃場の情報

番号	そばの放射性Cs濃度 (Bq/kg)	ほ場の土壌の状況								倒伏の有無
		土壌中の放射性Cs濃度 (Bq/kg)	交換性放射性Cs濃度の割合 (%)	土壌100mg中K ₂ O含量(mg)	雲母由来の粘土鉱物の有無	粒径組成 (粘土割合、%)	pH	全炭素 (%)	作土深 (cm)	
1	240.0	371	28.3	6.8	○	17.6	5.5	2.1	15	有
2	120.0	72	20.7	11.9	×	19.9	6.3	4.0	15	有
3	113.8	1,558	4.0	15.2	×	19.2	6.3	1.2		
4	110.0	401	6.7	15.4	○	19.8	5.8	5.4	10	無
5	86.9	157	12.1	10.5	×	21.9	6	6.6	17	有
6	79.6	1,113	2.9	17.0	×	21.4	5.6	12.3		
7	62.8	1,100	6.8	16.0	×	12.1	6.3	2.8	21	有

交換性放射性
セシウム割合
が高い

土壌の交換
性カリが低

低pH

倒伏
あり

(農水省、農研機構、農環研)

<http://www.maff.go.jp/kanto/seisan/pdf/soba.pdf>

◆農研機構の取組

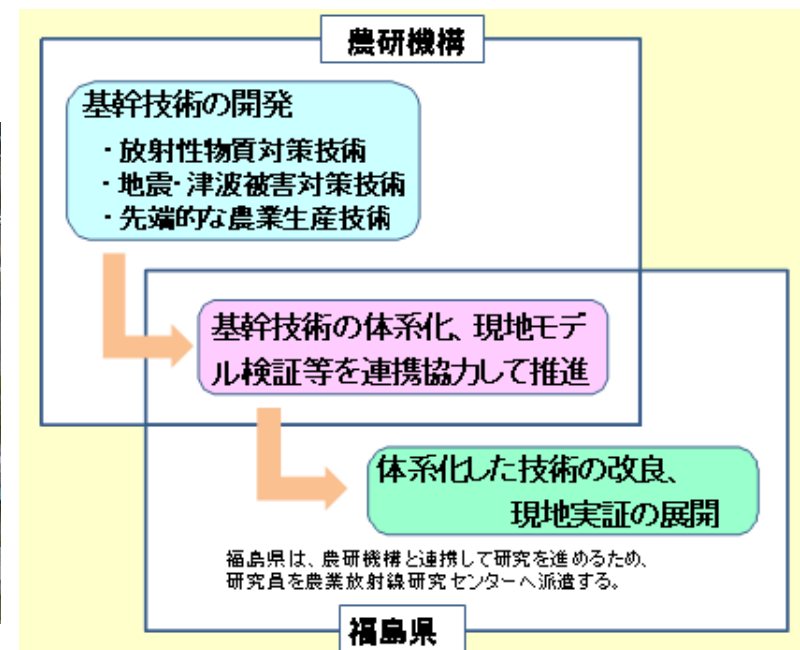
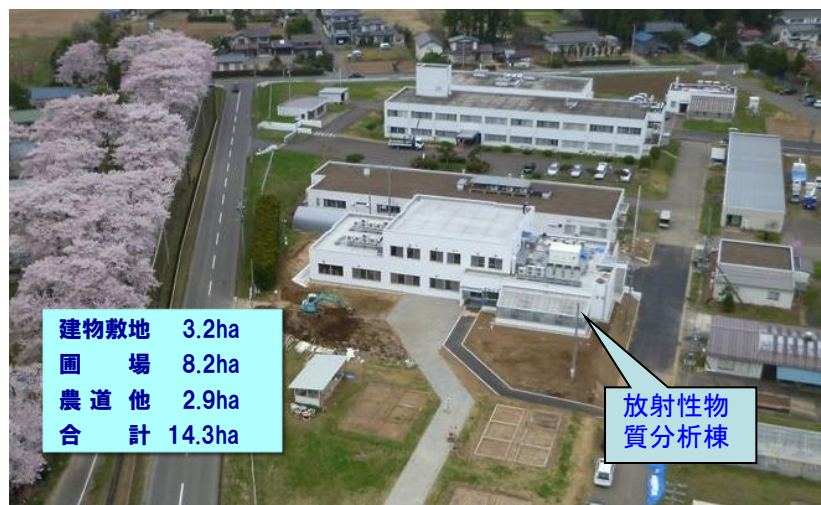
H25 放射性物質分析棟の完成

→ 土壌・植物・水などの詳細な分析を可能にする。

(Cs動態プロ、物理的除染など)

福島県との間に連携協定を締結

→ 福島県研究員の駐在(3名)の受け入れ、農業復興に向けた取組み。



福島県との連携協力の概念図



被災地域での営農再開へ(基準値超えは出さない)

(外れ値から科学的知見はうまれるか)

農地生態系→農業生態系→地域生態系

水、土砂、大雨、風、雪解け、森林
雑草管理、地力維持、野生動物、
除染後の圃場管理、客土、用水路、
除染廃棄物。。。



春先の植え付け前の圃場から巻き上がる砂嵐

1アール

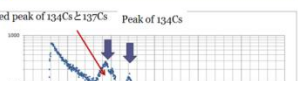
10m x 10m x 1cm = 1ton (sp. 1.00)

福島県全農地15万ヘクタール = 1500万トン(フレコン1500万個)



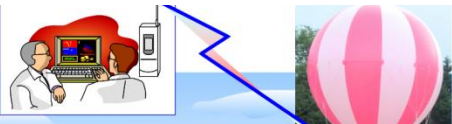
個別除染技術から体系化技術へ

スペクトル解析→ ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 、 ^{40}K 、 ^{214}Bi (U) 計数率

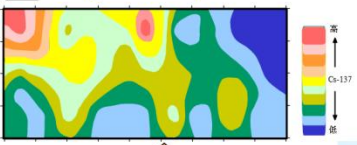


Combined peak of ^{134}Cs と ^{137}Cs Peak of ^{134}Cs

空中ガンマ線スペクトロメータ (AGRS) によるフォールアウト汚染農地のモニタリング技術



^{137}Cs 分布図



重ね合わせ
気球空中写真



放射能分布の評価技術(事前・事後)
(農工研)



シールドキャビン付きトラクタ



圃場内



井関農機(株)

ほ場内の表土剥ぎ作業

シールドキャビン付きトラクタを用いた農地除染作業技術の検証

除染技術
(生研セ+5社)



シールドキャビン付きトラクタ



圃場内

ほ場内の表土剥ぎ作業

フルクローラ型トラクタ等を用いたほ場内除染作業技術の検証

生産安定化
被災農地での
営農再開へ



生産力の診断技術
と対策マニュアル
(福島農総セ)

生産性要因
放射性Cs関与要因(K等)
放射性Cs濃度

放射能リスク
の予測技術
(東北研)

安全性の担保

作業安全
性評価
(中央研)



農道・水路

農道表層剥ぎ取り機



用水路内土砂掘り上げ機

農道表層剥ぎ取りならびに用排水路内土砂掘り上げ作業機の検証

(株)クボタ



シールドキャビン付きトラクタ



畦畔・法面

畦畔表土剥ぎ取り機



(株)ササキコーポレーション
法面表土剥ぎ取り機

シールドキャビン付きトラクタを用いた畦畔および法面等の除染作業技術の検証

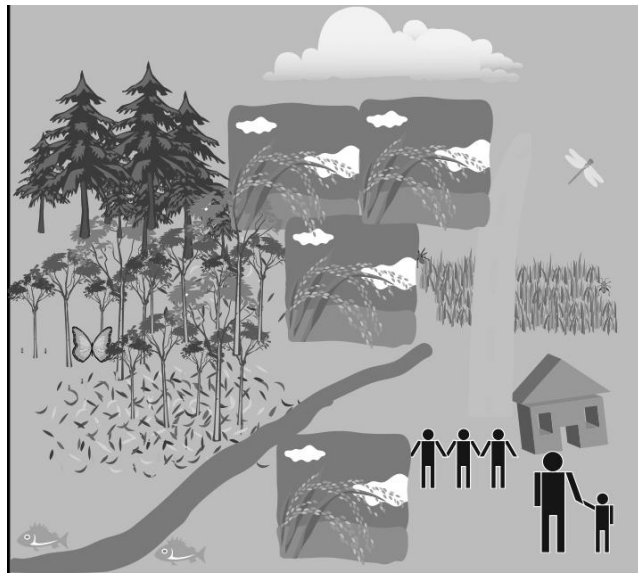
- ・外れ値が生じる原因究明と対策
 - ・耕作が出来ない農地の管理
 - ・除染後の農地の管理
 - ・野生動物の管理
 - ・営農環境の改善
 - ・カリウムによる抑制の持続性
 - ・カリウム過剰による養分バランスの悪化
 - ・植物が根圏土壤に与える影響が放射性セシウム動態に変化をもたらすのか？
 - ・なぜ植物種によって移行係数が異なるのか(K要求量だけで説明可能か？)
 - ・カリウムによる放射性セシウム吸収抑制効果が種によって異なるのはなぜか？
 - ・移行係数の経年変化を様々な土壌で統一的にモデル化できるのか？
 - ・微生物性の関与はどのように評価するのか？
 - ・微視的環境での生物への影響は評価されたのか？
 - ・根系と放射性セシウム吸収の対応付けは出来たのか？
 - ・植物が吸収する場での放射性セシウム動態は解明されたのか？
 - ・取込み後の体内での移動を何が決めているのか？
- などなど

生産安定化



安全性の担保

被災地域での営農再開へ



農地生態系→農業生態系→地域生態系

放射性物質動態研究

リスク発生の実態解明と要因解析

対策技術の既存技術への組み込み

研究の多角化（廃棄物処理、リサイクル技術、化学性、生物性、物理性、etc.）
研究者ネットワークの構築と知見の共有化（大気核実験、チェルノブイリ、東電福島原発、etc.）

→ 未来への遺産、未来への提言（技術、知識の蓄積と発信）