Ⅱ－１．生産の再開に向けた技術

生産現場　普及関係者　行政担当者

津波減災空間創出のための合意形成支援技術

「復興後の景観」、「津波の到達範囲」、「復興後の環境変化」の GIS 可視化技術を用いれば、被災住民参加による復興計画策定の場面において、被災住民の「津波減災空間」に関する理解を深め、合意形成を支援することができます。

復興後の景観　－復興後の地域の姿をイメージする－

農地、水路、道路等に関する地図、画像などのデータを管理し、地図上に貼り付けることができる 3 次元 GIS エンジン「VIMS」や「ランドスケープイメージャー（農村景観シミュレーター）」を用いて、復興後の地域の姿についての景観予測画像を作成し、それを被災住民に提示します。そのことによって、復興計画案に対する住民の理解も深まり、議論も活発になります。そして復興後の地域の姿を見せることによって、被災住民を元気づけるという副次的効果も期待できます。

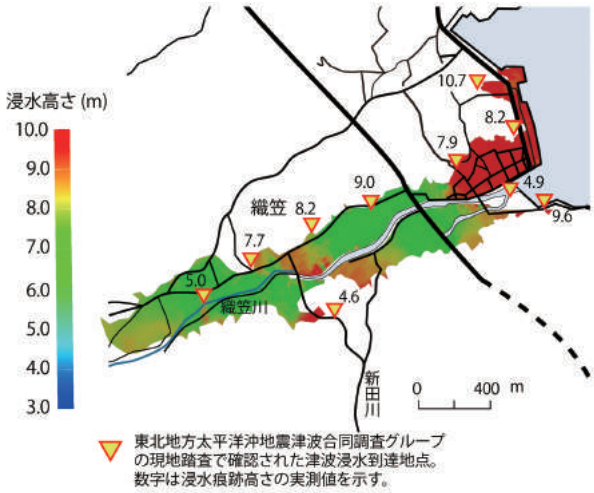
右奥にある住宅の石垣の高さまで津波は押し寄せてきた

住宅と農地の間に第2堤防兼集落道を整備する

復興後の景観シミュレーションの例

津波の到達範囲　－津波はどこまで到達するのかを見える化する－

「堤防の高さ」、「第 2 堤防の有無」、「農地の区画」などを変えて、「沿岸農地氾濫シミュレーションモデル」を用いて津波浸水シミュレーションを行えば、津波の到達範囲、到達時間などがわかり、被災住民参加で策定される復興計画に科学的根拠を与えることができます。



東日本大震災の津波が襲来した場合

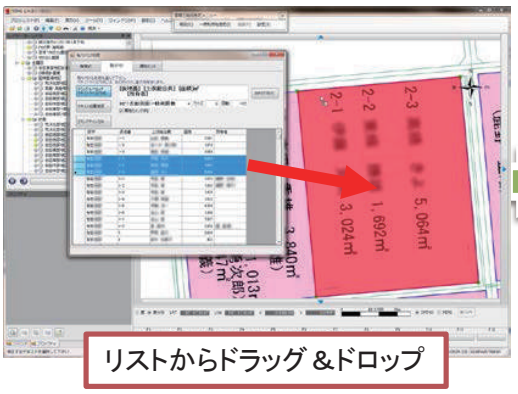
復興後の農地を歩いてみる　ーハウス群の整備や防潮堤の見え方を検討するー

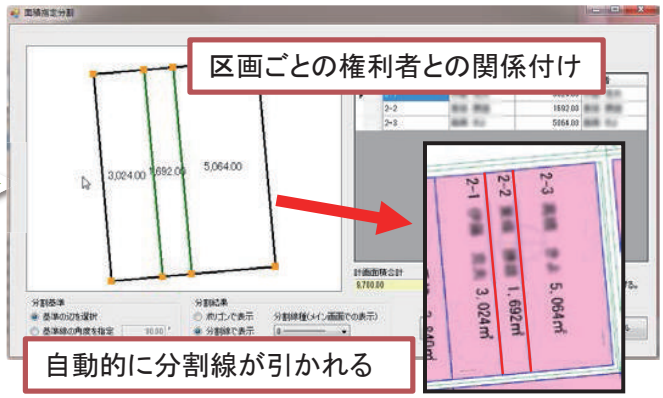
復興土地利用計画（案）による圃場整備実施による効果について、地権者および耕作農家の理解醸成を図るために、GIS と 3DCAD の融合で、自由な視点場・視角・視野界などを設定し、違和感なく整備後の農地の形状を仮想体験できるようになり、住民に分かりやすい計画を示すことができるようになりました。

圃場整備における換地・一時利用地指定　ービジュアル化によって圃場整備を支援するー

圃場整備計画図または工事確定測量図に対して、権利者のリストからドラッグ＆ドロップで図面としての文字と区画と権利者との関係付けを同時に行うことができます。

VIMS では、区画を権利の面積値でポリゴンを分割し、指定した辺から自動的に分割ができます。業務に特化したアプリケーションを準備することで、農地復興において効率的な処理が可能になりました。





注意点

3 次元 GIS エンジン「VIMS」は誰でも簡単に利用できるように設計されていますが、VIMS に関する研修を受講するとより容易に基礎から応用面まで習得できます。

問い合わせ先

農研機構　農村工学研究所　防災研究調整役　電話 029-838-8193

関連情報

農研機構　成果情報

「岩手県大船渡市吉浜地区における地域復興計画支援」

http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/nkk/2011/412a0_10_06.html

「沿岸部の農地を利用した津波の遡上抑制効果」

http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/nkk/2011/412a0_10_05.html

行政担当者　民間企業

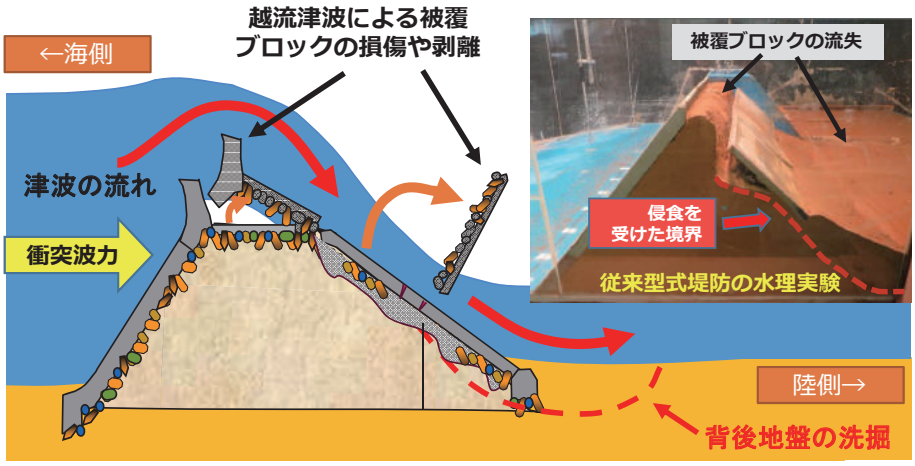
地形制約等に応えられる 地震・津波に粘り強い海岸堤防の構築技術

東日本大震災級の巨大津波に対して背後地の被害を軽減するためには、強靭な海岸堤防を構築して、津波のエネルギーを減勢し、浸水域を軽減させる必要があります。このため、本研究では、巨大津波を発生させる水理実験装置を用いて堤防構造の耐久性試験を行い、従来型式の構造的弱点を大幅に改善した強靭な耐津波化堤防を開発しました。

従来型堤防の構造的弱点としては、被災調査と堤防の水理実験結果に基づけば、次の要因が主として考えられます。

（ア）盛土上に設置された被覆ブロックは、揚力や抗力等の働きによって容易に引き剥がれる。

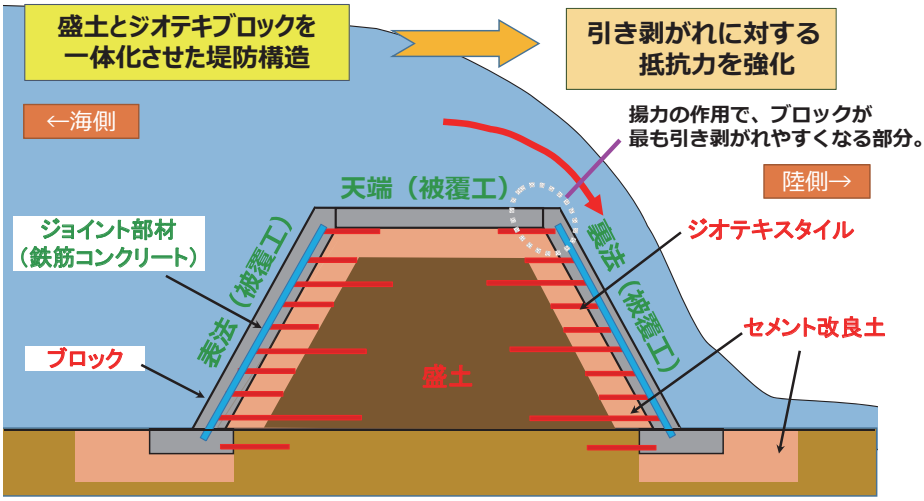
（イ）堤体内部に発生した浸透流によって被覆工が流失する。



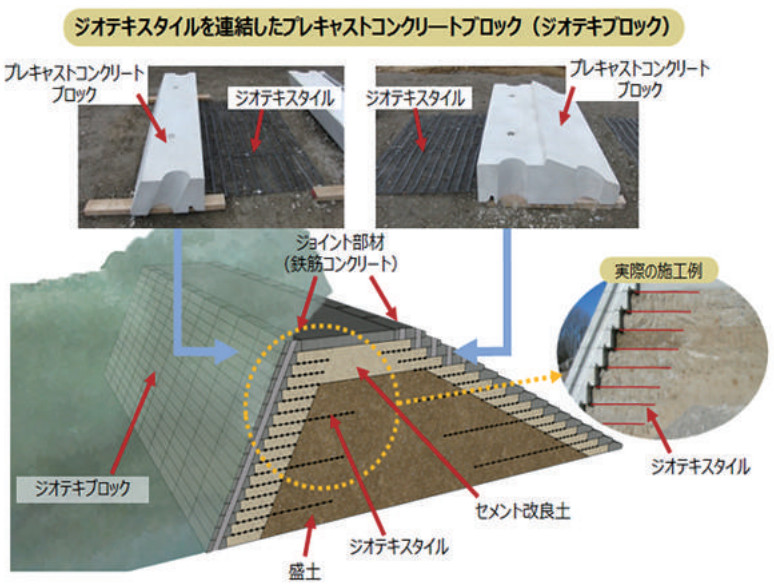
従来型堤防の構造的弱点

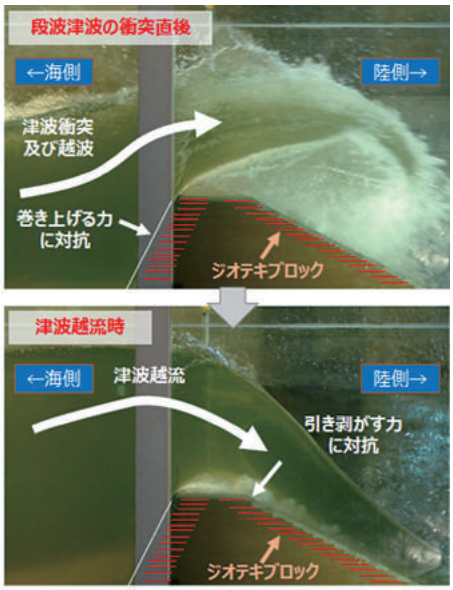
従来型堤防の構造的弱点を改善した三面一体化堤防は、ジオテキスタイル（盛土を補強するための高分子材料で作られたネット）を連結したプレキャストコンクリートブロック（以下、ジオテキブロックと呼ぶ）に、難透水性のセメント改良土を組み合わせています。これにより、海側と陸側の堤防の被覆工と天端工の三面を盛土と一体化した構造を構築することができます。

また、ジオテキスタイルは耐アルカリ性を有する材質で、引張強度 20 ～ 30 kN/m 程度のものを使用します。海側法面は、津波衝突時にジオテキブロックを巻き上げる力が作用するため、ブロック同士を鉄筋コンクリートで剛に連結した構造を採用します。



地震・津波に粘り強い三面一体化堤防





三面一体化堤防の実施イメージ（左図）と巨大津波による水理実験の様子（右図）

農村工学研究所では、三面一体化堤防を実際に構内に建設して、施工上の問題点や今後の課題等の洗い出しを行う（施工確認試験と呼ぶ）と共に、15 分の 1 の堤体モデルを実験用水槽に設置して、巨大越流津波に対する耐津波性能の検証（堤防の水理実験と呼ぶ）を実施しました。

堤防の水理実験結果、次のことが確認されました。

（ア）難透水性ゾーンによって堤体内部への津波の浸入が遮断されるので、ジオテキブロックが押し出されません。

（イ）揚力や抗力によってジオテキブロックを引き剥す力が作用しますが、ジオテキスタイルによってジオテキブロックを盛土に固定しているので、引き剥がれを防止できます。

三面一体化堤防の施工手順は以下の通りです。

（ア）ジオテキブロックの据付、（イ）セメント改良土の撒出し、（ウ）転圧および整地の手順で、所定高さまで繰り返します。堤防天端工はコンクリートを打設し、完了です。

ジオテキブロックの据付

セメント改良土の撒出し

転圧と整理

導入後のメリットとしては、以下のものが挙げられます。

（ア）ジオテキブロックの使用により急な勾配の堤防が構築可能です。

（イ）この技術により従来型式堤防に比べて耐震性の向上、耐津波化を図りながら建設用地の減少および建設コストの削減が期待できます。

（ウ）減少した用地は景観や憩いの場としての機能を持つ緑の空間として活用することも可能です。

問い合わせ先

農研機構　農村工学研究所　防災研究調整役　電話 029-838-8193

関連情報

農研機構　成果情報　「地形制約等に応えられる地震・津波に粘り強い海岸堤防の構築技術」
https://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/nkk/2014/14_072.html

行政担当者　民間企業

地震・大雨等に備える老朽化ため池の改修技術

大規模地震や豪雨による老朽化ため池の崩壊を防ぐためには、「堤体の耐震化」、「排水強化対策」を両立させた改修技術の導入が有効です。ジオテキスタイル巻込み工法とドレーン材（粗粒材）を使用することで、堤体の安定性を向上させることができます。

現在の設計基準を満足していない老朽化ため池は、地震や大雨に対して災害リスクが高い状態にあり、早急な改修が求められています。一方、大規模な改修事業は多額の財政支出と時間を要します。このため、ため池の劣化状況に応じて、部分的な改修を実施していくことが必要です。

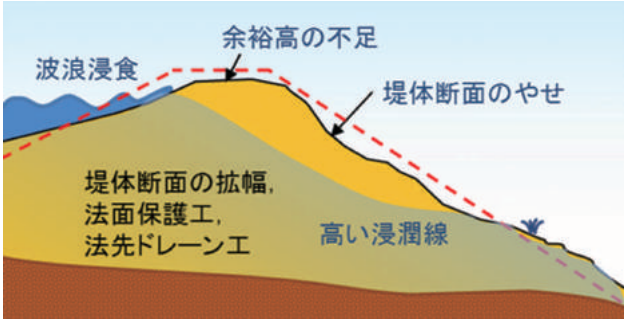
本改修技術は、地震・大雨等に対して堤体の強度が不足し、浸潤線が高い状態にある老朽化したため池堤体を対象としています。堤体下流法先にジオテキスタイル（網目状の高強度ネット）とドレーン材を使用した独自の補強構造を構築することにより、法先部の強度増加と排水強化を同時に図ることができます。これにより堤体内部を不飽和状態に維持でき、かつ、地震力に対するせん断抵抗力が増すため、従来の土を突固めたのみの堤体に比べて、大幅に地震・大雨等に対する安定性を向上することができます。

適用できる老朽化ため池としては以下のものがあります。

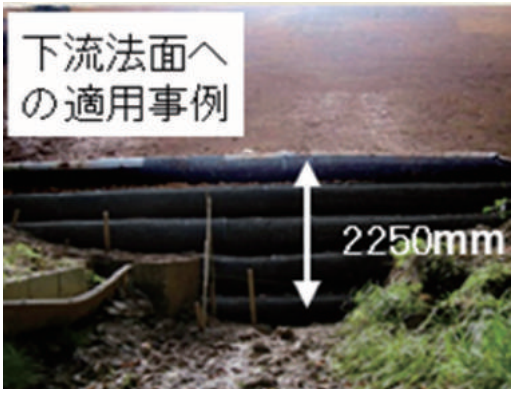
1. 堤体断面形のやせたため池：
   → 堤体断面の拡幅、波浪浸食防止等が必要

2. 堤体にクラック及び変形が見られるため池：
   → ベンチカットによる盛立てが必要

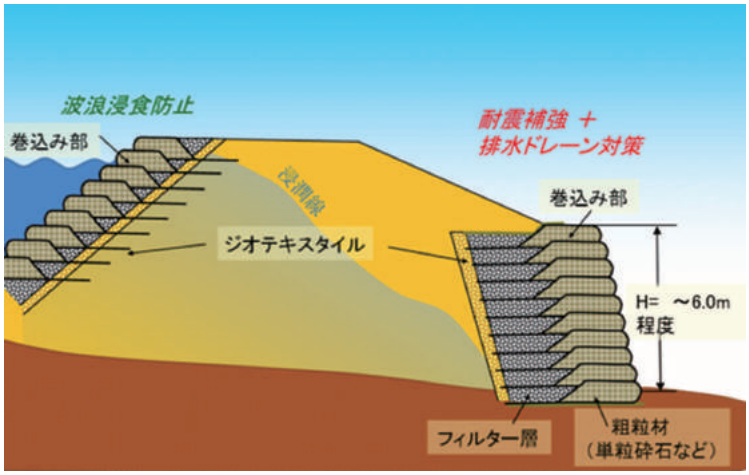
3. 浸潤線位置が高いため池：
   → 下流法尻での排水機能向上が必要



老朽化ため池堤体のイメージ



老朽化ため池のジオテキスタイル巻込み工法による改修事例

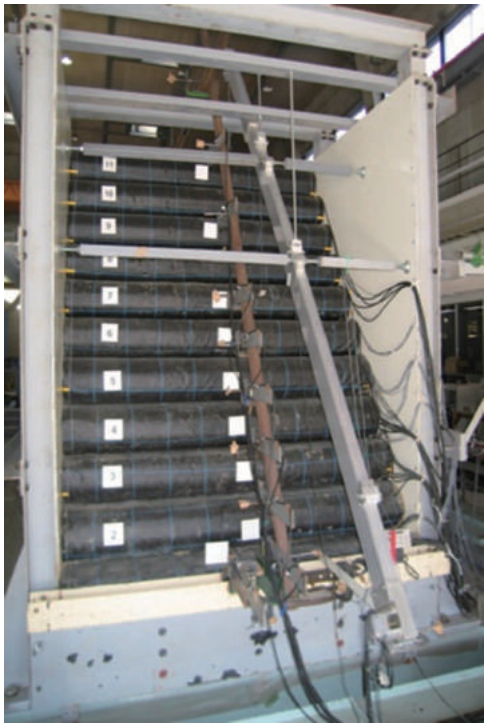


ジオテキスタイル巻込み工法を用いた老朽化ため池の改修イメージ

ジオテキスタイルを巻込んだ独自の補強構造を採用することにより、高い耐震性の実現を持った法面の急勾配化が容易で、建築用地の縮小を図ることができます。さらに、ジオテキスタイルで巻込んだ中詰め材にドレーン材（粗粒材）を用いることで、法先の排水機能を強化すると共に、貯水池側の堤体法面に適用することで、波浪浸食対策として使用することも可能です。

ジオテキスタイル巻込み工法の採用による利点：

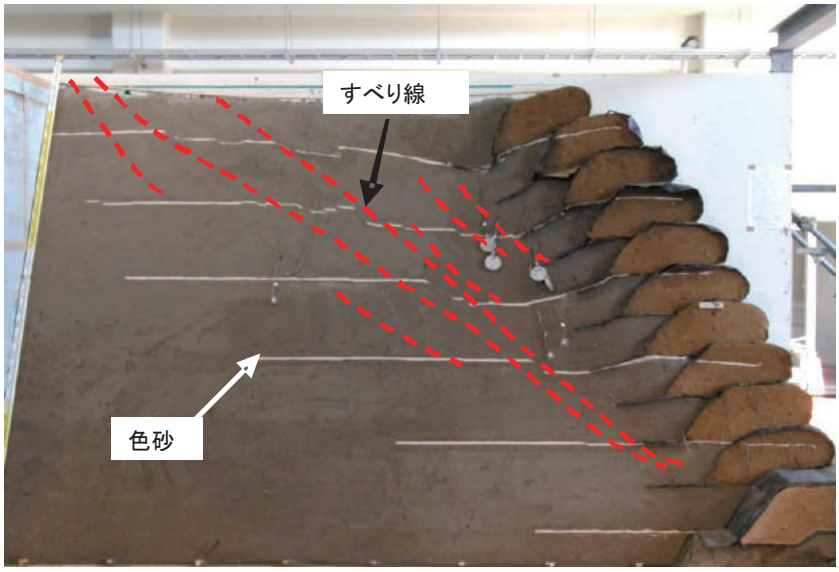
1. 高い耐震性：
   → 独自構造の採用により、高い耐震性を実現
2. 用地面積の縮小：
   → 法面の急勾配化が可能
3. 排水強化対策：
   → 粗粒材による高いドレーン機能を実現
4. 波浪浸食対策：
   → 巻込み＋ドレーン材による法面の保護効果



ジオテキスタイル巻込み工法で構築した壁面

ジオテキスタイルは、堤体のすべりに対する変形量を抑制する効果が高いため、設計外力を超えるレベル２地震に対しても大幅な変形抑制効果が期待できます。

農村工学研究所で実施した大規模振動実験で、堤体に対して震度７と同等の地震を与えた場合、ジオテキスタイルが敷設されていない領域でのすべりの発生は見られますが、ジオテキスタイル巻込み工法による独自の補強構造によって法面部へのすべりの発達を抑制する効果があることが確認されています。



震度７（1,400gal）後の堤体断面の変状

（加震後に断面を掘削した様子）

注意点

ジオテキスタイルの選定にあたっては、紫外線劣化などの耐久性を考慮する必要があります。

問い合わせ先

農研機構　農村工学研究所　防災研究調整役　電話 029-838-8193

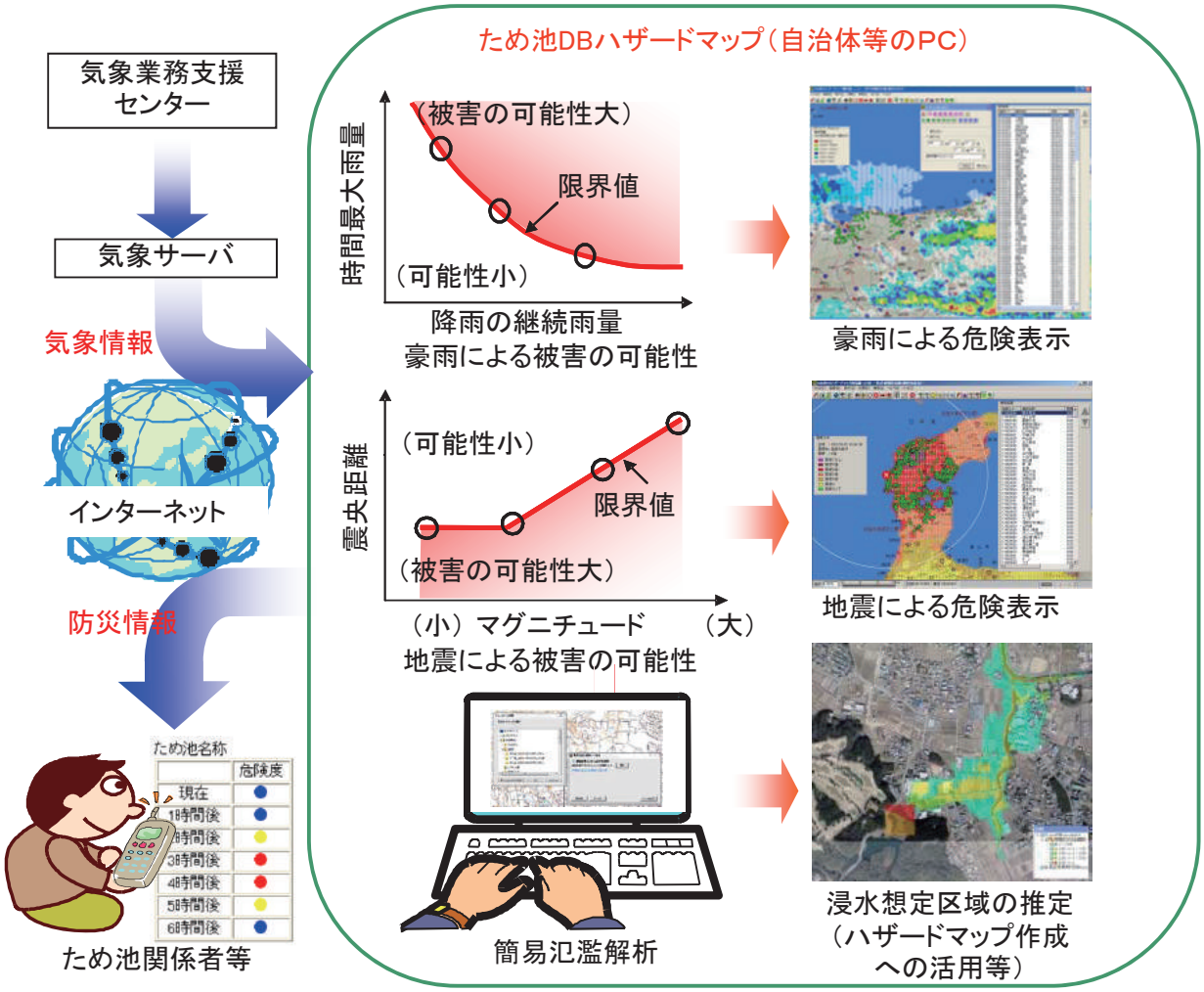
行政担当者

ため池の災害予測システムを用いた減災対策

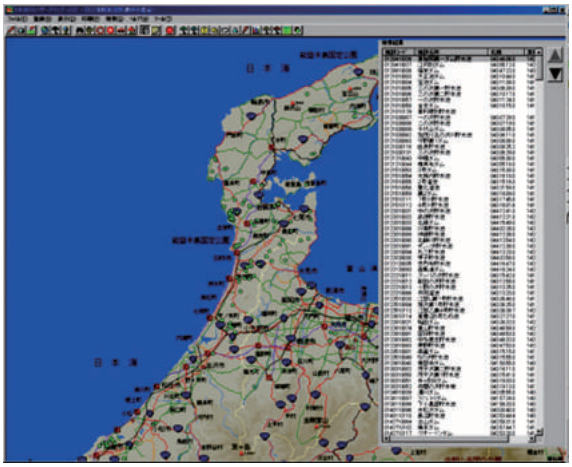
毎年、少なくないため池が豪雨や地震で被災しています。被災に伴ってため池が決壊した場合、農地などの農業生産基盤とともに、人命にも大きな被害を与えるおそれがあります。

ため池の防災・減災対策にあたっては、豪雨や地震に耐えられるように計画的に施設の改修を進めるとともに、未改修のため池においてはハザードマップの作成や防災情報の発信などのソフト対策による減災対策で人命を守ることが必要です。

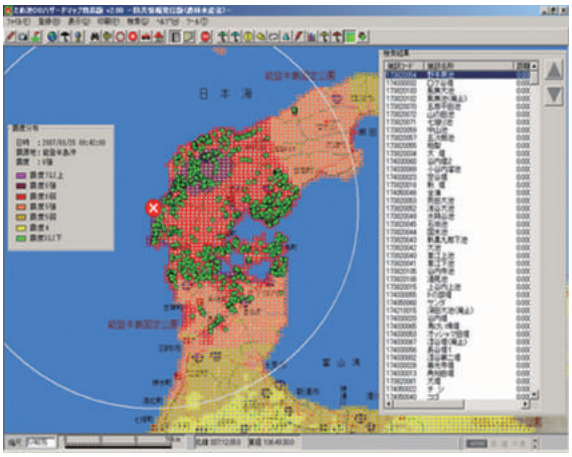
開発したシステムでは、現場技術者が自ら行う簡便な操作により、ため池ハザードマップ作成時に必要な決壊時の浸水想定区域を詳細地形や決壊地点、浸水域の粗度係数を考慮した氾濫解析で精度良く推定することができます。また、気象情報からため池の被災危険度をリアルタイムに予測し、メールやホームページを通してため池関係者等に伝達することができます。本システムの活用によってため池ハザードマップや情報連絡体制の整備ができ、適切な避難判断・行動による農村の防災・減災力の向上を図ることができます。



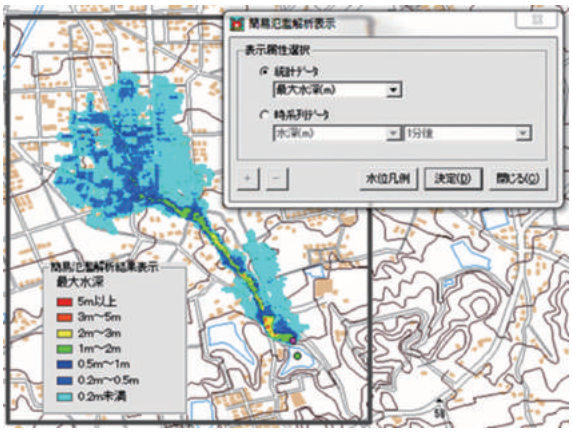
「ため池 DB ハザードマップ」システム



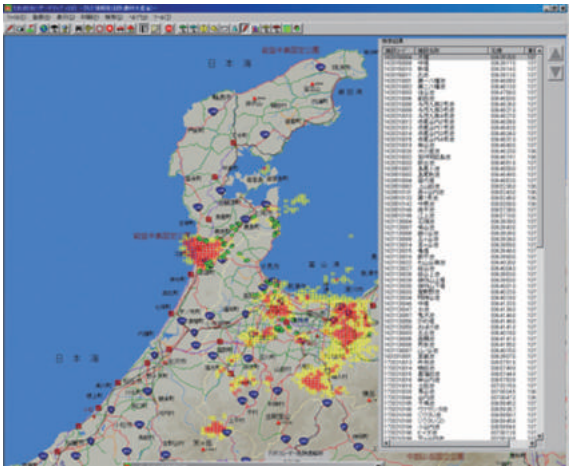
ため池の台帳管理
（例：総貯水量５万トン以上のため池（緑丸）の抽出）



震央距離・震度分布によるため池の検索
（例：推計震度分布による震度６以上のため池）



簡易氾濫解析で求めた浸水想定区域
（例：最大水深分布の推定結果）



雨量データとため池の重ねあわせ
（例：豪雨による被災危険度メッシュとため池）

注意点

浸水想定区域の推定（簡易氾濫解析）は国土地理院提供の基盤地図情報（5m メッシュの数値標高モデル、未整備地区は 10m メッシュ）を用いて行うことから、得られた結果は微地形や小規模な盛土、水路などが反映されていない場合があります。簡易氾濫解析で推定した結果の利用にあたっては、解析結果の妥当性を技術者の視点で氾濫域の現況を踏まえて必ず確認する必要があります。なお、親子ため池の連鎖的な決壊は想定していません。

降雨による危険度評価は、ため池が被害を受ける可能性が高まっていることを示すもので、被害の発生確率や、被害の発生すること等を示すものではありません。

地震における危険度評価は、一定以上の震度に見舞われたと予想されるため池を抽出するもので、ため池の被災確率を示すものではありません。

問い合わせ先

農研機構　農村工学研究所　防災研究調整役　電話 029-838-8193

関連情報

農業農村工学会誌、81(8)、615-619(2013)
「ため池決壊時の簡易氾濫解析の改善に関して」
農研機構　成果情報
「リアルタイムで防災情報を提供する「ため池防災情報配信システム」」
http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/nkk/2011/a00a0_01_85.html
「詳細地形等を考慮したため池決壊時の簡易氾濫解析手法」
http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/nkk/2013/13_069.html

※「ため池 DB ハザードマップ」は農研機構と一般財団法人日本水土総合研究所、（株）ジー・アンド・エスが共同で開発した「ため池防災データベース」を基に開発したものです。

行政担当者　民間企業

地震観測記録に基づき農業用フィルダムに地震動が与える影響を監視する技術

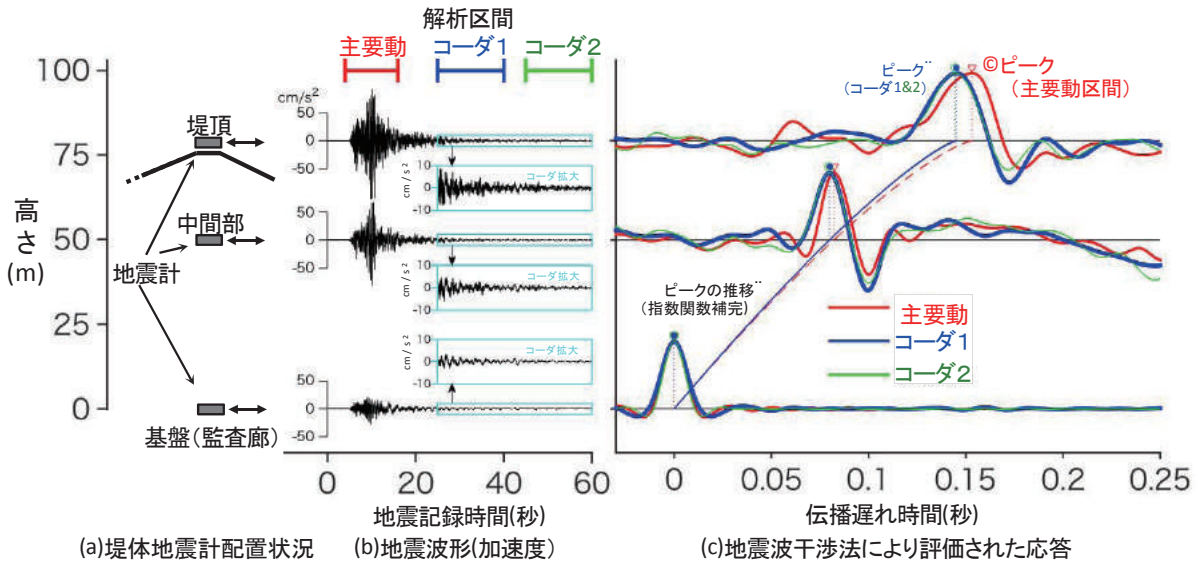
大規模地震発生時の本震の強震動記録は、農業用ダムの地震時挙動や被災機構等を考える上で必要不可欠な情報です。そのことから現在国営事業によって建設されたダムについては、197 地区全てに地震計が設置されています。これらの地震計の観測記録にはダムがどのように揺れたかという情報だけではなく、ダムの基礎地盤から堤体を伝播してきた地震波の情報が含まれており、構造物の状態に関する情報も抽出できるものと考えられます。

本研究は、農業用ダムを対象として、その地震観測記録に地震波干渉法とよばれる解析手法を適用する事によって、ダム堤体の地震波伝播特性を評価するものです。それにより、築堤後の圧密過程や長期供用時における堤体の状態変化や大規模地震における強震動が堤体に与える影響を評価することができます。

地震波干渉法は地震動の観測記録の相互相関処理等の時系列解析によって抽出された波形等から 2 点間の地震波伝播特性（地震波伝播速度、減衰）を評価することを可能にする技術です。特に逆重畳と呼ばれる処理に基づく評価手法は、構造物の振動特性が様々な要因によって変化する様子を監視に適していること実証しました。その上で同手法を農業用貯水池の堤体（農業用ダム）の地震計観測記録に適用しました。

大型のフィルダムでは基礎・中間部・堤頂に地震計を有する場合がありますが、その農業用ダムの地震観測記録に提案手法を適用することによって、基礎から堤頂部への地震波が伝播する状況を確認することができ、地震波伝播時間を評価することが可能であることを実証しました。

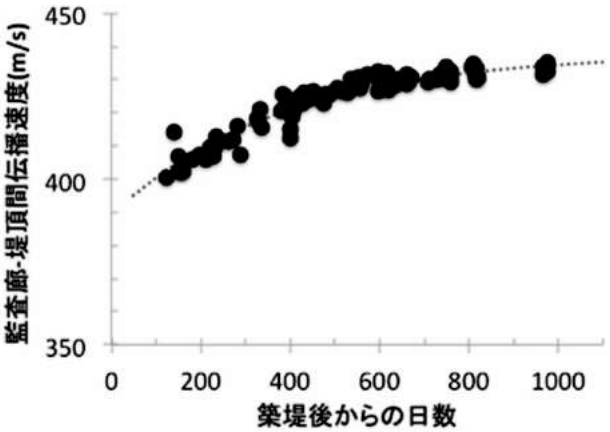
提案手法した手法は地震計観測記録の一部（5 ～ 10 秒程度）からも地震波伝播特性を安定的に評価することができます。この特徴を活かして、コーダとよばれる地震波形の尾部と加速度が大きな主要動との結果を比べたところ、より加速度が大きな主要動の方が、伝播速度が遅延する傾向を評価することができることができました。このように地震動の強さが堤体の振動特性に与える影響を評価することができます。



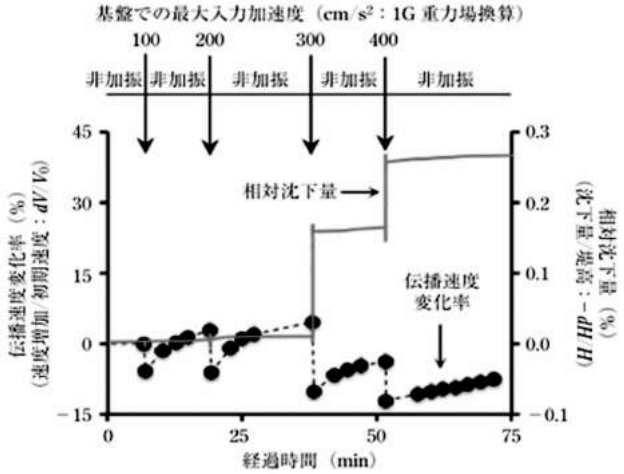
堤体地震観測における地震波形と地震波干渉法により評価された応答

この提案手法を繰り返し発生する地震波形について適用すれば、地震波伝播時間の推移を評価することによって、築堤後の圧密に伴う剛性の変化に対応した地震波伝播速度の変化を監視することができます。

また同手法は室内実験にも適用することができます。遠心載荷振動模型実験における堤体模型の振動伝播特性の変化の監視に適用することによって、強制的な加振に起因する剛性低下を反映した振動伝播速度の変化（一時的な速度低下と、その後の回復過程）を監視することができました。このような系統的な実験を通して、土構造物としての農業用フィルダム地震動がどのような影響を与えるかを評価することが可能となります。



築堤後の地震波伝播速度の変化



遠心力載荷振動実験による振動が
地震波伝播速度に与える影響の把握

問い合わせ先

農研機構　農村工学研究所　防災研究調整役　電話 029-838-8193

関連情報

農業農村工学会誌、81(8)、627-630
「地震波干渉法に基づく農業用フィルダム等土構造物の地震波伝播特性評価」
農業農村工学会誌、82(12)、19-22
「長期供用農業用ダムにおける地震観測システムの整備とその意義」

行政担当者　民間企業

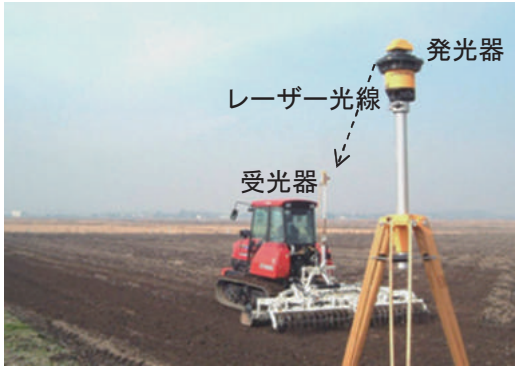
被災農地の再整備・管理に寄与する圃場基盤整備技術

津波により被災した沿岸域の水田では、地盤沈下、土砂の著しい堆積などにより、圃場均平を含む再整備が必要です。その際に必要となるのは、高精度で迅速な測量技術、及び均平化技術です。また、再整備の際、将来の営農を見越した大区画化が計画されており、これを実現するためには、高精度・低コストな均平・整地技術が有効です。

レーザー制御を利用した均平化技術

レーザーレベラーは、発光器からのレーザー光線（パルス信号）を受光器が感知し、その光線に追従するようにトラクタに装着した排土板を制御することで、均平度± 15mm で整地ができる作業機です。液状化などによる不陸修正や再整備の仕上げ工程となる地表面の均平・整地に活用できます。また、復旧後の営農において、直播や不耕起栽培などによる効率的な作業体系の導入にも寄与します。

段差のある水田を合筆して大区画圃場を整備する場合、レーザープラウを用いた反転均平工法（下層の土を運土して均平化を図る）により、整備後の作土の厚さを確保できます。



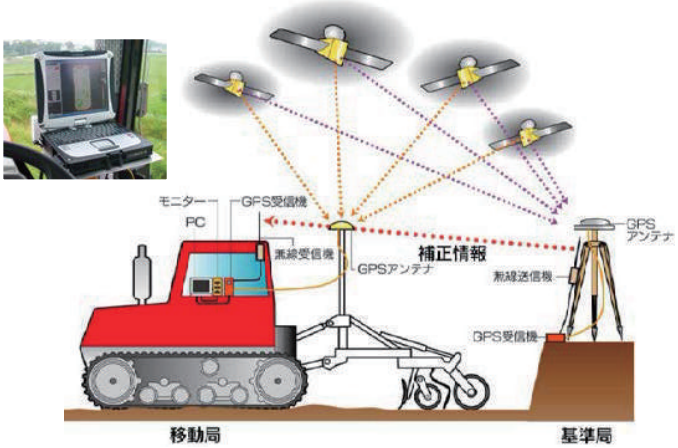
レーザーレベラー

レーザープラウ

RTK － GPS 測位を用いた測量および均平化技術

衛星からの位置情報に加え、基地局からの無線、または携帯電話を通じて補正情報を得ることで、高精度の位置情報が得られる RTK（リアルタイムキネマテック）測位を用いる測量・均平化技術です。GPS レベラーはレーザーレベラーと同等の精度で均平化ができ、レーザーレベラーで問題となっていたレーザーの相互干渉を解消し、発光距離による精度の低下、発光器設置の手間が省略できます。

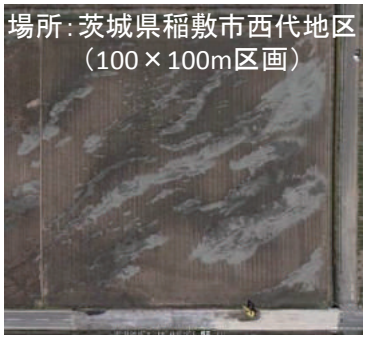
GPS レベラーでは走行時にトラクタ内に搭載されたパソコン上に自動的に標高マップ、切土・盛土マップ、運土量計算、圃場面積、走行軌跡が作成されます。リアルタイムに更新される標高マップを用いて、標高の高い地点から低い地点に効率的に運土することができ、レーザーレベラーに比べて約 4 割の時間短縮が可能です。



RTK-GPS レベラーの概要

震災によって液状化被害を受けた水田において、田面の起伏を調査したところ、レーザー測量に比べて 1/5 の作業時間で高精度な標高マップを得ることができました。津波や液状化被害を受けた低平地水田地帯において、再整備時の測量は多くの時間と労力を要しますが、本技術を用いることで低コスト、かつ迅速に測量でき、早期の復旧に寄与します。

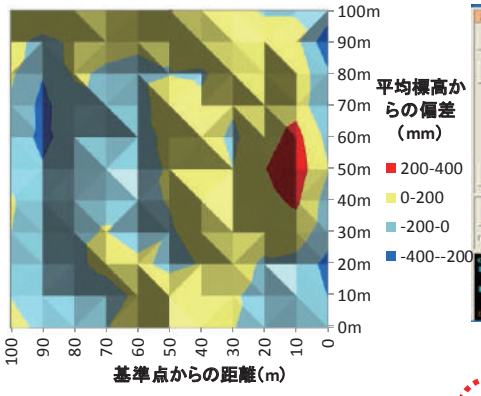
被災水田の状況



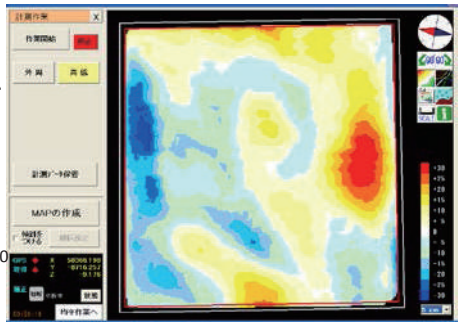
出典：Google Earth

※灰色のエリアが憤砂した箇所。憤砂と不陸には相関は見られない。

レーザー測量結果



GPS測量結果

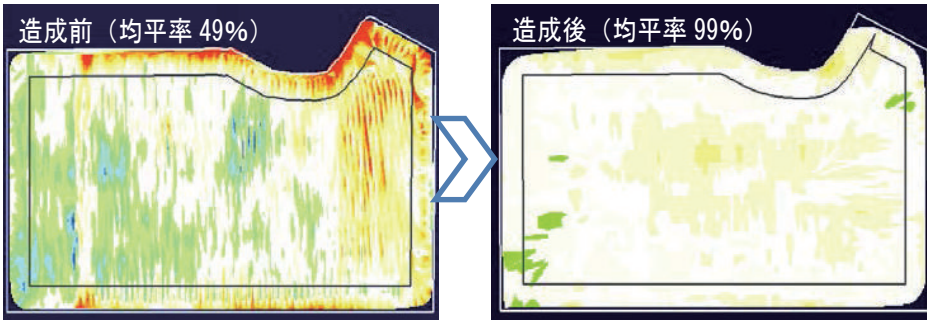


レーザー測量：平成23年4月28日
測量地点：10mメッシュ（121地点）
作業時間：4.6時間・人/ha
最大高低差：約650mm

GPS測量：平成23年5月18日
測量地点：1秒間に1回・2.5m間隔で走行（約8,000地点）
作業時間：1.0時間・人/ha
最大高低差：約630mm

被災した水田における測量結果

復旧後に効率的な営農に向けて、複数の水田の合筆による大区画化を図る際も、GPS レベラーを用いることで農家でも容易に施工ができます。



・調査地は茨城県稲敷市新利根地区
・25cm程度の高低差がある4筆の圃場を合筆し、1.85haの圃場を造成
・作業時間は17時間
・均平率とは設定高から±2cm以内の地点割合

合筆前後の標高マップ

注意点

均平化を図る際に堆積土壌がある場合は土壌成分を調べ、作土として利用不可な場合は取り除く必要があります。GPS レベラーの補正情報を携帯電話で受信する際は、専用の回線と契約する必要があります。

問い合わせ先

農研機構　農村工学研究所　防災研究調整役　電話 029-838-8193

関連情報

農研機構　農村工学研究所　東日本大震災復興支援農工研特設サイト
http://www.naro.affrc.go.jp/org/nkk/2011fukkoushien/gijyutsujouhou/bunyabetsu/01/01.html
農業および園芸　第 87 巻第 1 号　p179-188、「東日本大震災による水田面の起伏（不陸）、亀裂、液状化に関する復旧対策技術」

生産現場　普及関係者　行政担当者

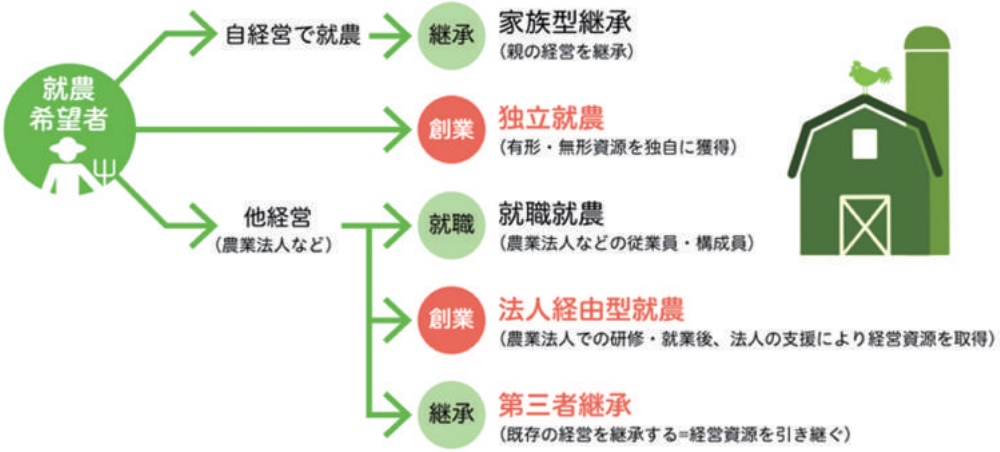
新しい農業を担う経営体の育成・支援

被災地では離農する農家も多く見られる中で、復興に向けて若者が新規就農しようとする動きも見られます。そのような非農家子弟の新規就農を進めていくうえで、パンフレット「新規就農指導支援ガイドブックー新規参入者の円滑な経営確立をめざしてー」を参照することで、就農希望者が自分に適した就農方式等の選択や、就農支援機関の担当者が取り組むべき内容を把握でき、新規就農をより円滑に進めることができます。

また、被災地では、機械・施設がすべて津波で流出した方も多く、新たに一から営農を再開する農業者もおられます。そのため、機械・施設等を新規に整備して営農を再開する際には、投資の費用や資金繰りも考慮しながら、実効性のある合理的な営農計画を策定していくことが求められています。そのような営農計画策定を支援するため、「営農計画策定支援システム Z-BFM 」を開発しました。

農業への新規参入を円滑に進めるためのポイント　ーパンフレット「新規就農指導支援ガイドブックー新規参入の円滑な経営確立をめざしてー」ー

非農家出身者が就農して農業経営者になるには、大きくわけて、独立就農（経営資源を独自に確保して創業する）、第三者継承（後継者がいない既存経営を継承する）、法人経由型就農（農業法人に就職した後、その法人の支援を得て創業する）の３つの方式があります。



多様な新規就農の方式

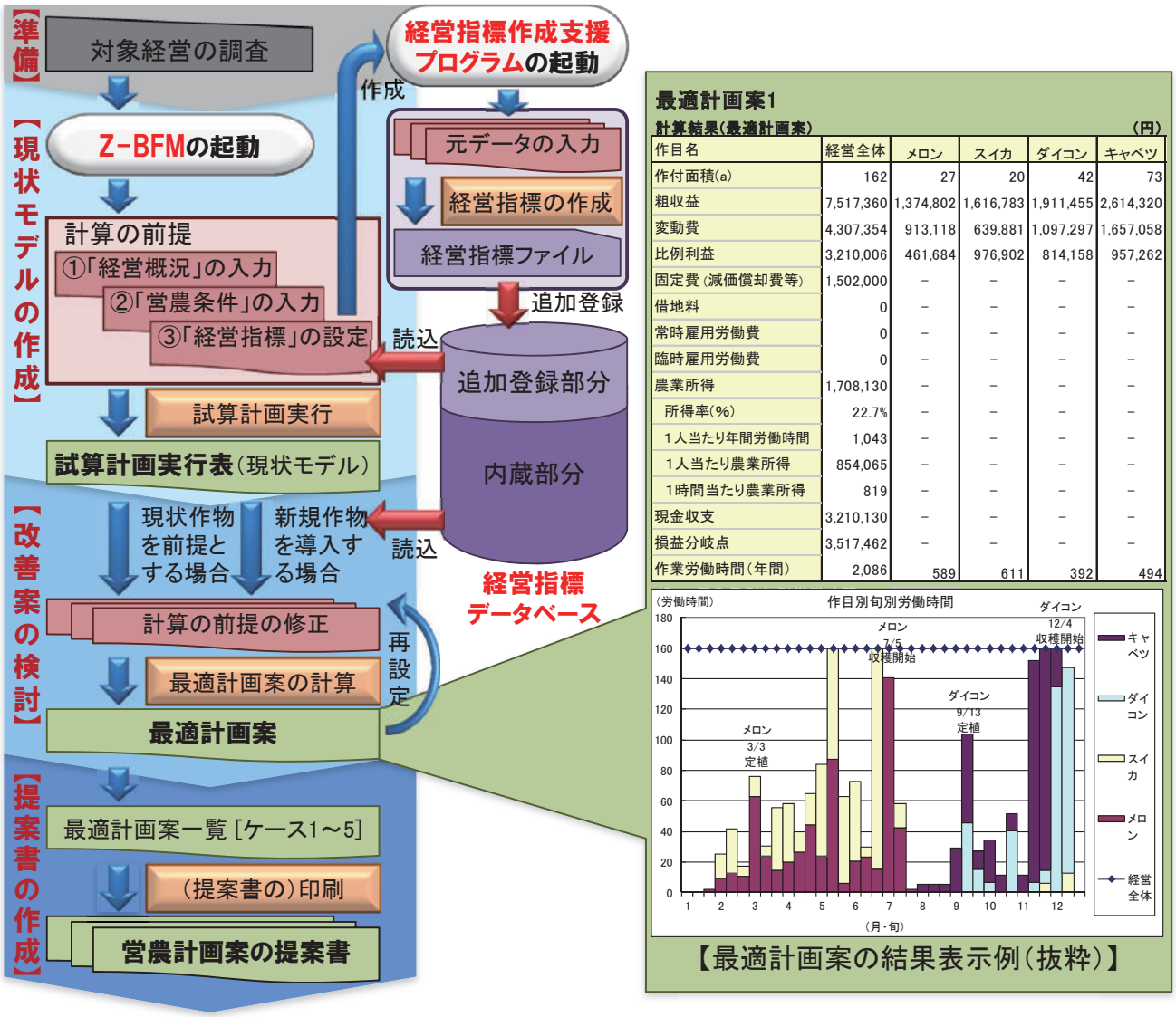
これらの方式は、有形資源（農地・施設・機械）や無形資源（技術・信用・販路）の獲得方法、経営の裁量・自由度等が異なるため、それぞれの方式に応じた取り組みを進めていくことが有効です。

各就農方式の特徴

	タイプ	有形資源	無形資源	対人関係で必要な対応	経営開始後の自由度	取り組みが多い作目・部門
独立就農	創業	独自に獲得	独自に獲得	地域の農業者などとの良好な関係づくり	比較的制約が少ない	施設野菜・花き
法人経由型就農	創業	法人の支援により獲得	法人の無形資源を利用	農業法人との信頼関係の維持	一定の制約	施設野菜・露地野菜
第三者継承	継承	移譲者から取得	移譲者の無形資源を利用	移譲者との信頼関係構築や交渉	一定の制約	果樹・酪農・稲作・施設野菜

合理的な営農計画策定に向けて　－営農計画策定支援システム Z-BFM －

この手法を用いると簡易に営農計画案が策定できるとともに、試算結果がわかり易く表示されます。また、経営指標データベースも内蔵しているので、これまで作付けの経験がない新規作物の導入を含め、多様な経営改善案を作成することができます。



Z-BFM の構成と活用方法

注意点

営農計画策定支援システム Z-BFM には標準的な経営指標データベースを内蔵していますが、実態にあった営農計画を策定するためにはできるだけ対象となる農業経営の実績データに修正して計画策定を行うことが有効です。

問い合わせ先

農研機構　中央農業総合研究センター　情報広報課　電話 029-838-8979

関連情報

「新規就農指導支援ガイドブック－新規参入者の円滑な経営確立をめざして－ 」や「営農計画策定支援システム Z-BFM」のプログラム及び解説マニュアルは、農研機構中央農業総合研究センターのホームページ（http://fmrp.dc.affrc.go.jp/）からダウンロードすることができます。

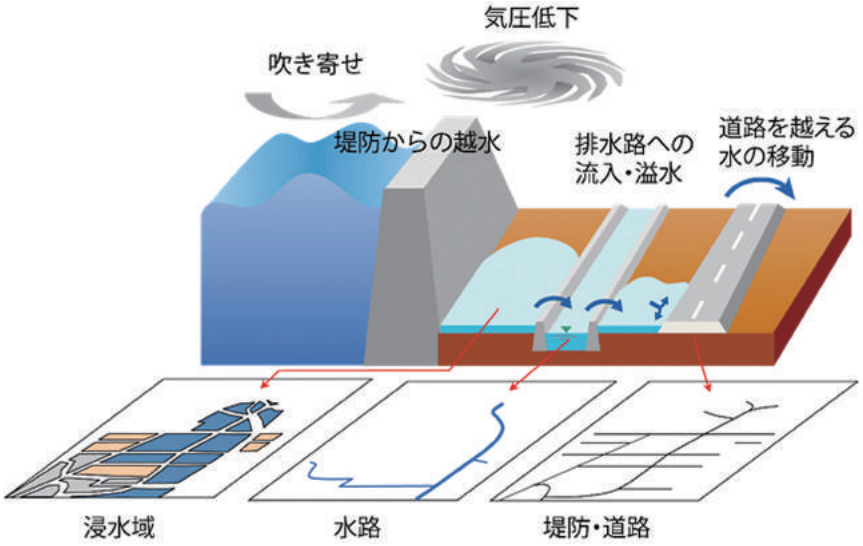
行政担当者　民間企業　大学・試験研究機関

排水路や農道が整備された沿岸部農地に適用する浸水解析モデル

水路網が整備された沿岸部農地の浸水過程を忠実に再現できるモデルです。水路を浸水域から分離し、１次元でモデル化することで細い水路でも容易に解析に取り込めるほか、解析をブロック単位で行うことで道路等による浸水の遮蔽を表現できます。

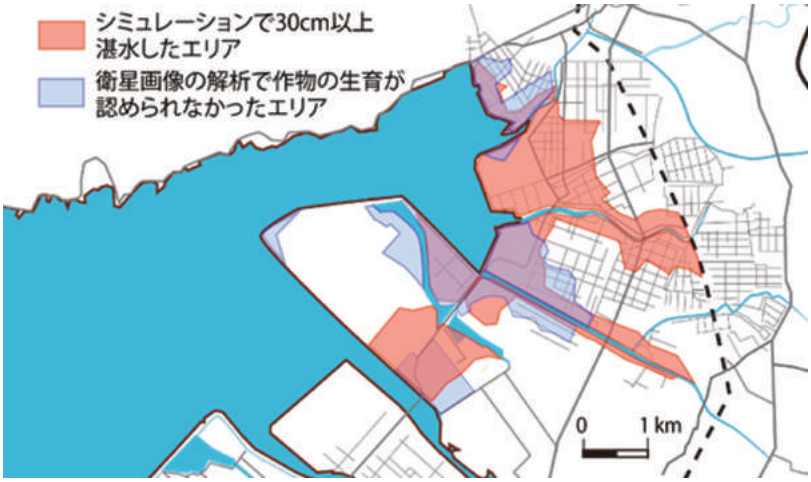
洪水、高潮、津波などによる浸水被害では、地区内の水路網が浸水域の拡大および排水に影響を及ぼしています。このため、沿岸部の農業地域の浸水被害を予測するには排水施設等の機能を適切に評価する必要があります。

本モデルは、水路や農道が整備された沿岸部の農業地帯における津波、高潮や洪水による浸水を解析します。本モデルでは、浸水域および海域から分離した水路内の流れの状況を１次元不定流モデルで解析し、水路からの越流量で浸水域と結合します。水路流れの解析に１次元モデルを用いることで水路幅に応じた解析データを作る必要がなくなり、水路幅が狭い農業用排水路でも容易に解析に取り込むことが可能になりました。



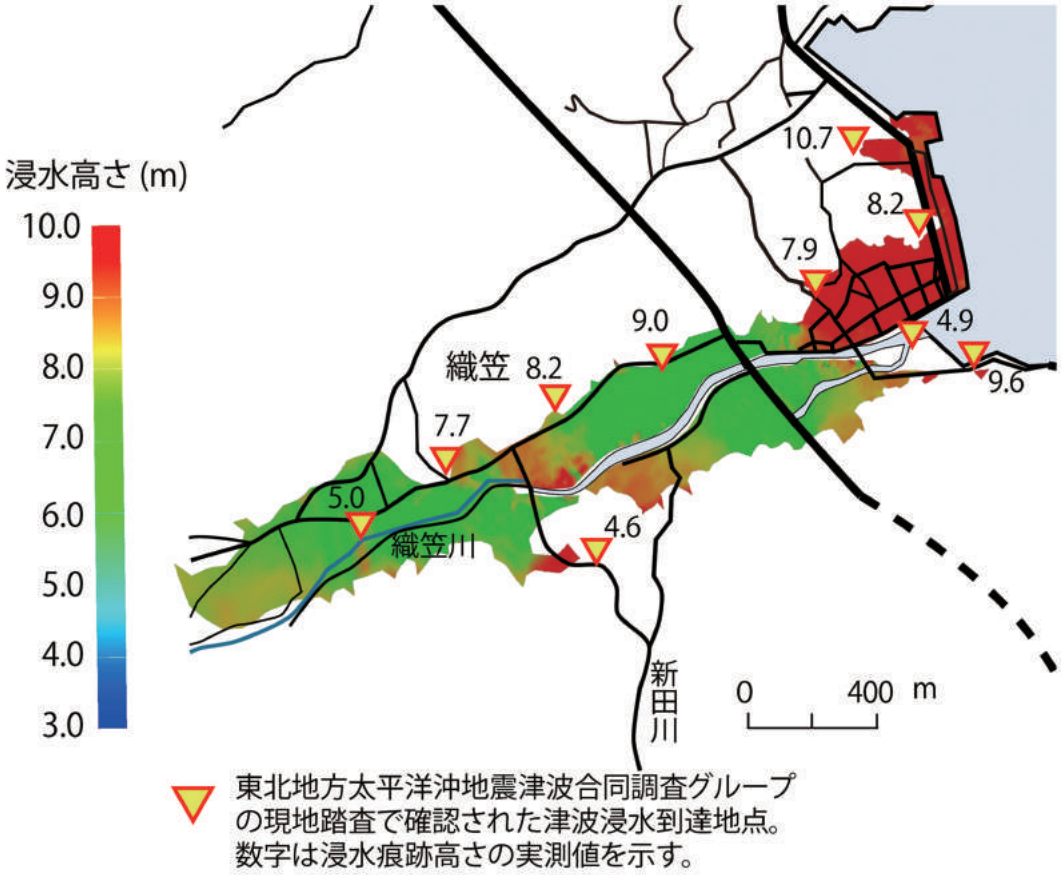
解析モデルの概念図

1999 年 18 号台風における八代海の高潮災害時の氾濫過程を再現し、河川を遡上した高潮が溢水する様子が確認されました。衛星画像の解析で塩害や土砂の流入により稲の生育不良が認められたエリア（水色）は、シミュレーションで 30cm 以上の湛水があったエリア（赤色）に包含されていることがわかります。



1999 年台風 18 号による八代海高潮の再現結果

東北地方太平洋沖地震津波の浸水解析に本モデルを適用しました。この解析では、航空レーザー測量による地盤標高データを用いており、浸水痕（▽）をほぼ正確に再現できていることがわかります。



本モデルによる津波の浸水解析例

注意点

津波浸水域の解析には、津波の初期波高を決めるための断層モデル、高潮の解析には台風に伴う風向・風速や気圧の分布等を解析するモデルが別途必要です。

問い合わせ先

農研機構　農村工学研究所　防災研究調整役　電話 029-838-8193

関連情報

プログラム登録「沿岸部農地の氾濫解析モデル」

農研機構　成果情報「排水路や農道が整備された沿岸部農地に適用する浸水解析モデル」

http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/nkk/2012/210e0_01_46.html

行政担当者　生産現場

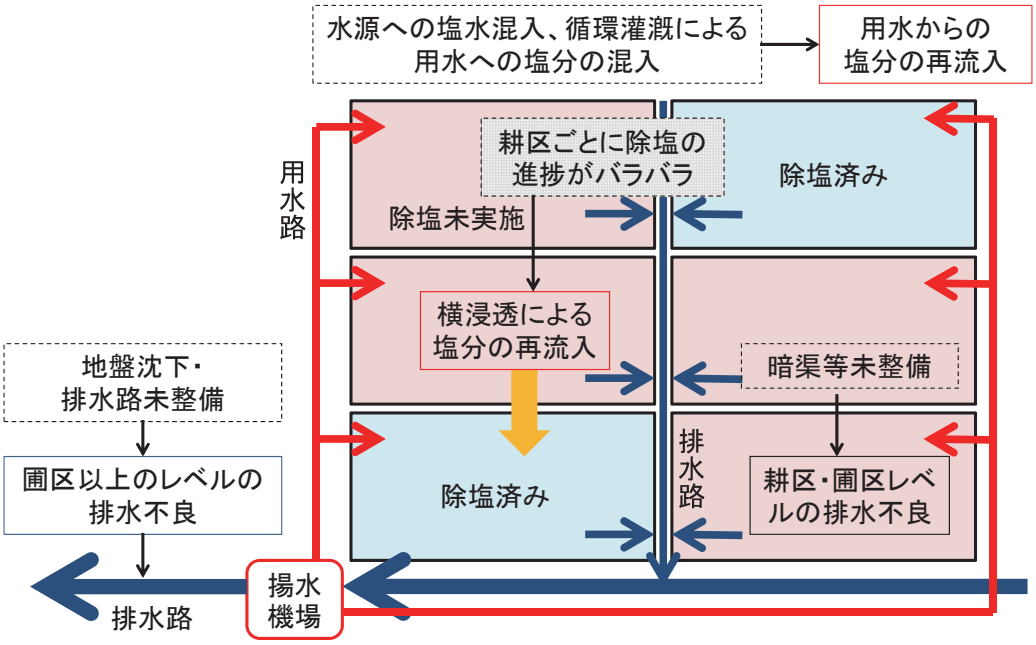
現地調査を踏まえた 津波被災農地の除塩における留意点

津波被災農地で除塩を行う場合には、用排水管理を圃区以上の範囲で行い、循環灌漑地区では用水の塩分濃度を監視する必要があります。また、津波により酸性硫酸塩土壌が流入し堆積した場合には、除塩の際には硫酸根を含まない石灰質資材を利用する必要があります。さらに、被災農地では復旧期間中に耐塩性の高い難防除性の雑草が侵入することから、こうした高耐塩性雑草を継続的に適期防除することが望まれます。

津波被災農地における除塩の基本的な方法は、農林水産省ホームページの「農地の除塩マニュアル」(http://www.maff.go.jp/j/nousin/saigai/pdf/15100701.pdf)に示されています。ただし、除塩の対象農地によって、灌漑方式や排水条件、ヘドロ等の津波堆積物の性状、被災後の雑草の繁茂の状況が異なっています。そのため、除塩を効果的に行い、津波堆積物や雑草の影響の少ない円滑な営農再開につなげるために、①水管理、②ヘドロ対策、③雑草防除についての留意点をまとめました。

水管理

除塩が進みにくい要因として排水条件の不備や除塩済み農地への塩分再流入等があります。そのため、用排水管理は、圃区以上、特に排水性の悪い場合は農区以上の単位で行い、用水の塩分濃度を監視することが望まれます。



（循環灌漑の場合）

津波被災農地からの除塩が進みにくい要因

ヘドロ対策

津波堆積物の理化学性を分析した結果、H_2O_2 可溶性イオウ含量が 0.1%を越える酸性硫酸塩土壌が広く見られました。除塩では必要に応じて石灰質資材を投入しますが、その際、酸性硫酸塩土壌が残る農地では、硫酸カルシウムを主成分とする石膏よりも、硫酸根を含まない消石灰や炭酸カルシウム等の利用が望まれます。

津波被災農地の堆積物・農地土壌の理化学性

層名		pH		EC	交換性塩基含量 (mg/100g)				CEC	0.1NHCl可溶性含量 (mg/kg)			水溶性陰イオン含量 (mg/kg)			イオウ(S)含量 (%)	
		(H_2O)	(H_2O_2)	(mS/cm)	K_2O	CaO	MgO	Na_2O	(me/100g)	Cu	Zn	Cd	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	(H_2O_2)	(易酸化性)
ヘドロ (n=21)	最大値	7.5	5.5	29.0	124	470	343	1548	52.8	6.0	57.7	0.8	95,233	27	12,680	1.02	0.90
	平均値	6.3	4.2	14.0	63	237	213	1107	32.3	2.9	38.0	0.4	37,001	5	4,292	0.32	0.17
	最小値	5.2	2.3	3.6	18	94	71	422	17.2	0.4	10.8	0.2	6,361	0	679	0.08	0.02
堆砂 (n=10)	最大値	7.9	7.0	9.5	45	288	110	783	34.8	4.8	41.6	0.3	22,235	169	4,152	0.24	0.17
	平均値	6.7	5.9	3.2	17	131	48	341	17.6	2.3	13.9	0.1	6,540	62	1,016	0.08	0.05
	最小値	5.6	3.9	1.0	6	36	1	66	2.4	0.4	2.9	0.0	1,320	1	109	0.00	0.00
冠水表層 (0-10cm) (n=70)	最大値	6.6	6.5	6.2	27	271	80	662	40.6	6.5	13.9	0.3	14,255	65	1,642	0.11	0.09
	平均値	5.4	5.0	1.8	12	102	29	219	23.4	3.7	4.6	0.1	2,951	12	420	0.06	0.04
	最小値	4.8	3.2	0.2	4	30	0	17	10.2	0.6	0.7	0.0	71	0	68	0.00	0.00
非冠水表土 (n=3)	最大値	6.1	5.3	0.1	11	263	14	23	28.0	4.6	5.5	0.2	17	18	75	0.05	0.05
	平均値	5.7	5.2	0.1	10	186	10	20	24.7	4.3	5.1	0.1	15	13	64	0.04	0.04
	最小値	5.0	5.0	0.1	9	106	8	16	18.8	4.1	4.7	0.1	12	6	49	0.03	0.02

雑草防除

被災農地ではイヌビエ、コウキヤガラ等の高耐塩性の難防除性の雑草の侵入や優占がみられました。そのため除塩や復旧工事の待機期間から実施中、更に除塩後から営農再開まで、田面での除草剤散布、耕起、畦畔除草等の雑草管理を継続的に行うことが望まれます。

津波被災地域の農地植生

属性	ヘドロ堆積	表面水のEC ms/cm	被災後の耕耘	平均種数	一年生雑草率 %	多年生雑草率 %	優占種	畦畔の主な草種
							下線は難防除雑草、※は耐塩性が高いとされる草種	
津波被災農地（水田）	2cm以上 n=4	2.5-6.5	なし	4	64	36	コウキヤガラ※、イヌビエ※	コウキヤガラ※、ギシギシ※
	1cm程度 n=1	0.17-0.30	なし	17	78	22	イヌビエ※、シロザ※	オニノゲシ、ノボロギク、メヒシバ、シロツメクサ
	なし n=2	未計測	あり	4	71	29	イヌビエ※	ハルジオン、オニノゲシ、シロツメクサ
被害なし（休耕田）	なし n=2	未計測	あり	21	17	83	クサヨシ、マコモ、ガマ、ヒメガマ、セリ、ヨモギ	セイタカアワダチソウ、ススキ、シロツメクサ

問い合わせ先

農研機構　農村工学研究所　防災研究調整役　電話 029-838-8193

関連情報

農研機構　成果情報
「現地調査を踏まえた津波被災農地の除塩における留意点」
http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/nkk/2011/420a0_01_52.html
農研機構　農村工学研究所技報
「平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震による津波被災農地における平成 23 年春期除塩作業の実施状況と今後の課題」
http://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/files/213No8.pdf
「平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震による津波被災農地の堆積物・土壌の理化学的特徴」
http://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/files/213No4.pdf
「平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震による津波被災農地の植生管理の必要性 －宮城県仙台平野南部における調査から－」
http://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/files/213No21.pdf

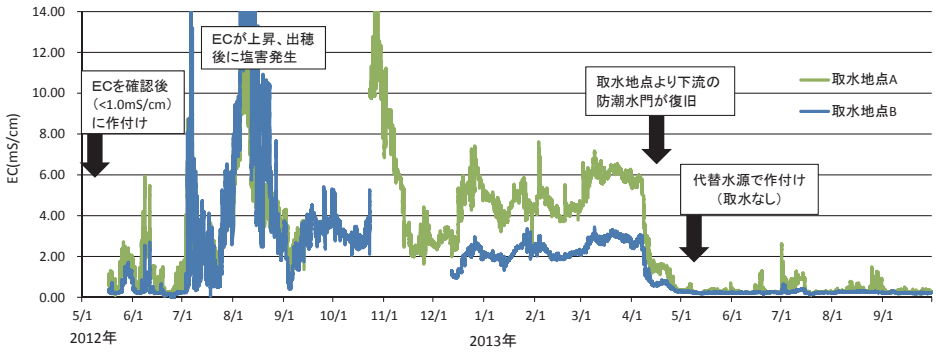
行政担当者　生産現場

被災農地の塩分管理のためのモニタリング技術

津波被災農地の冠水被害からの復旧には、塩害を受けた農地の被害状況を迅速に把握するとともに、除塩対策を行うための農業用水の確保が重要です。このため、面的な塩分分布の迅速な測定技術や農業用水の塩分モニタリング技術が有効です。また、被災から復旧して営農を再開した農地においても引き続き塩分管理が必要となります。この場合、土壌塩分の簡易診断やモニタリングの行えるセンサーを利用することが有効です。

農業用水の塩分のモニタリング

地盤沈下等により農業用水に塩分浸入がある場合、対策の検討には塩分濃度の時間的な変動を考慮した長期のモニタリングが必要です。また営農再開後に、短期間の塩分上昇に対応した用水管理を行うには、EC データ送信システムによるリアルタイムでのモニタリングが有効です。

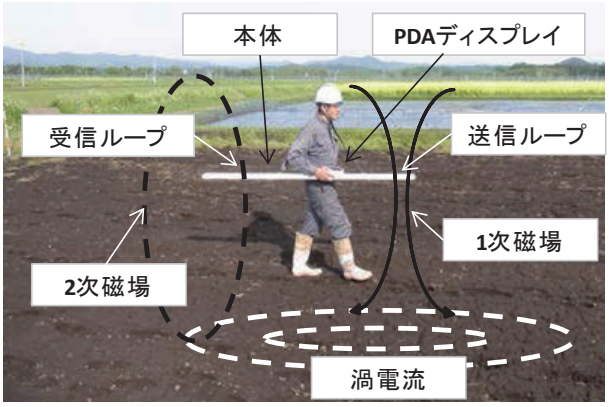


農業用水の電気伝導度の長期モニタリングの例
（塩分濃度の季節変動や周辺の復旧工事の影響が把握できる）

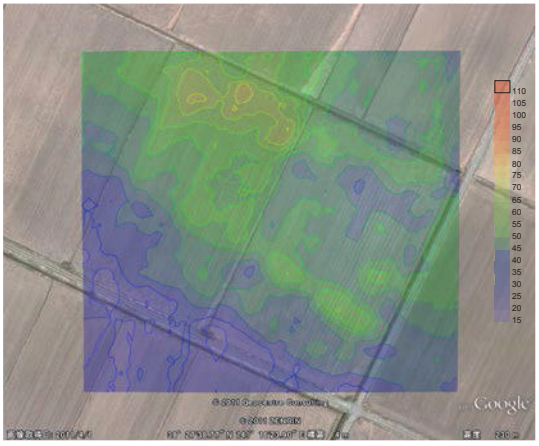
EC データ送信システム

面的な塩分分布の迅速な測定技術

電磁探査装置を持って、圃場内を歩くことによって広い範囲の塩分分布を迅速に測定できます。GPS 情報との併用により、農地における面的な塩分分布が一目で分かります。塩害を受けた農地の被害状況の把握や転作の可否などを総合的に判断する場合に有効です。



測定の概要



塩分濃度の面的分布の測定例
（約 2ha の測定時間は 36 分）

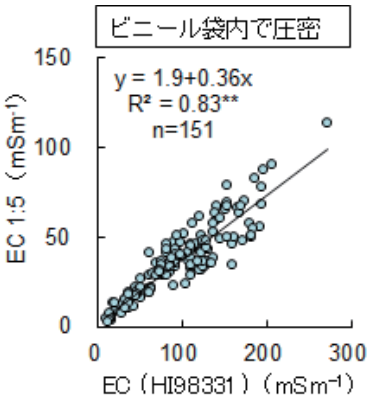
現場で実施できるセンサーによる簡易な土壌塩分（電気伝導度）測定

ペースト状もしくは湿潤状態の土壌をビニル袋内で圧縮し、安価な電気伝導度センサーを用いて、現場で従来法に近い精度での測定ができます。先に紹介した電磁探査法と併用して、圃場の中で塩分濃度の高い箇所の検出や、ほ場の塩分状況の総合判断に有効です。

電極部

センサー例

測定状況

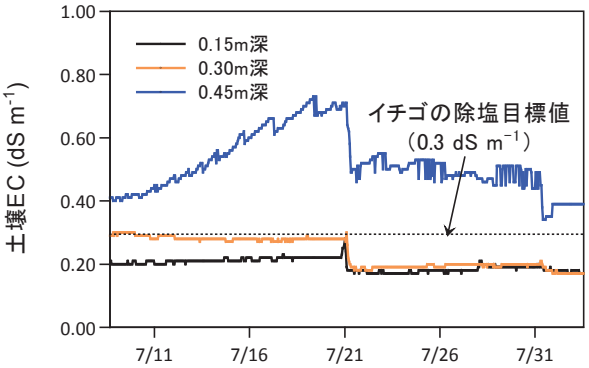


従来法との相関

センサーによる土壌塩分濃度を監視する簡易技術

土壌水分量と電気伝導度、地温を同時に計測できるセンサーを活用すると非破壊で連続的な土壌塩分濃度の推定が行えます。営農再開後の土壌塩分管理に有効に活用できます。

センサー設置状況と観測データ回収の様子



除塩過程での塩分（電気伝導度）の連続的なモニタリング事例

問い合わせ先

農研機構　農村工学研究所　防災研究調整役　電話 029-838-8193
東北農業研究センター　業務推進室　電話 019-643-3419

関連情報

農研機構　成果情報

「電磁探査法による海水浸水農地の土壌電気伝導度測定」
http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/tarc/2011/111b1_10_02.html

「市販土壌 EC センサを用いた海水浸水農地の土壌電気伝導度簡易測定法」
http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/tarc/2011/111b1_10_03.html

「震災で地盤沈下した農地で塩害を回避するための農業用水のモニタリング」
http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/nkk/2013/nkk13_s18.html

「農地基盤中の塩分濃度をリアルタイムで監視する簡易技術」
http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/nkk/2014/14_076.html

生産現場　行政担当者

津波被災農地で栽培を再開するための耐塩・耐湿性作物

東日本大震災の津波により冠水した田畑では、復旧工事や除塩作業が進み、農作物の作付けが再開しつつあります。しかし、一部の田畑では未だ海水の影響が残り、塩害による農作物の生育不良が発生しています。こうした海水の影響が残っている農地で安定して農業を再開するために、耐塩性の作物選択や品種開発を進めています。また、真水による除塩を行った田畑で畑作物を栽培する場合には、過湿の影響が長引くことが予想されるため、湿害に強い作物や栽培法の導入が有効です。

残塩水田では、農業を再開するための有効な対策として、数年間は耐塩性の飼料用水稲品種を栽培し、水田環境の回復を待って良食味品種に切り替えることが考えられます。これまで海外では耐塩性が強い品種としてインディカ品種の「NonaBokra（ノナボクラ）」などが見出されていますが、日本ではその必要性が低く、優れた耐塩性品種は育成されていませんでした。そこで作物研究所では、インディカ品種「NonaBokra」の優れた耐塩性を、茎葉収量の高い飼料用水稲品種「たちすがた」に導入し、耐塩性が強い飼料用水稲品種の「ソルトスター」を開発しました。「ソルトスター」の耐塩性は、「リーフスター」「コシヒカリ」などの水稲品種よりも顕著に強く、その理由として「ソルトスター」の葉に含まれる Na^+ 濃度が「リーフスター」より低いことによることが宮城県石巻市の現地栽培試験から明らかとなりました。「ソルトスター」は東北・関東地域での栽培に適した熟期であり、津波被災水田での水稲栽培をスムーズに再開させるための中継ぎ品種として利用が期待されます。

また九州沖縄農業研究センターでは、九州で栽培されている飼料用水稲品種「モーれつ」に、高い耐塩性を見出しました。「モーれつ」は塩濃度の高い土壌（EC 値 983 μS/cm）で栽培しても、他の品種と比較して、初期生育が抑制されにくいという結果が得られています。

石巻市現地水田で栽培した飼料用水稲品種「ソルトスター」（右の３列）と「リーフスター」（左の手前２列）

塩濃度の高い土壌での栽培試験（移植後 35 日目）
左から３番目が飼料用水稲品種「モーれつ」

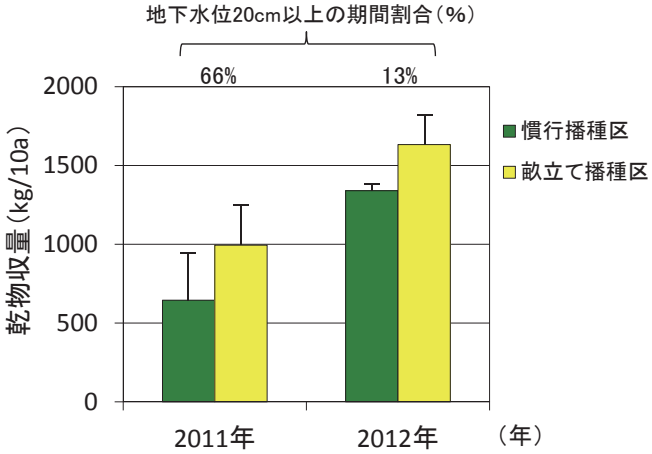
飼料作物の中では、オオムギが耐塩性に優れ、また、イタリアンライグラス、ペレニアルライグラス、トールフェスク、リードカナリーグラスといった牧草類は、耐塩性・耐湿性とも比較的高いことが知られています。諫早湾干拓地で行われた試験では、耐塩性の強い飼料作物を緑肥として栽培することで、土壌中に間隙が形成され、透水性が向上し、除塩が促進されることが報告されています。耐湿性が低いトウモロコシ等については、アップカットロータリと施肥播種機を組み合わせた耕うん同時畝立て播種を行うことで、湿害を軽減することが可能です。

主な飼料作物の耐塩性と耐湿性

草種	耐塩性	耐湿性
オオムギ	強	弱
リードカナリーグラス	やや強	強
イタリアンライグラス ペレニアルライグラス トールフェスク	やや強	やや強～中
オーチャードグラス クローバ類	やや弱	中
トウモロコシ	やや弱	弱

飼料用トウモロコシの
耕うん同時畝立て播種

畝立て播種されたトウモロコシの初期生育



湿害発生圃場における慣行播種区と畝立て
播種区の飼料用トウモロコシの乾物収量

注意点

塩濃度が高い土壌で栽培された飼料作物を家畜に給与する場合には、作物体中の栄養成分が給与に問題がないか確認する必要があります。

問い合わせ先

農研機構
作物研究所　企画管理室　電話 029-838-8260（耐塩性飼料用水稲品種「ソルトスター」）
畜産草地研究所　業務推進室　電話 029-838-8618（飼料作物の耐塩性と耐湿性）
九州沖縄農業研究センター　広報普及室　電話 096-242-7682（飼料用水稲品種「モーれつ」）

関連情報

農研機構　成果情報
「耐塩性が強く茎葉が多収な稲発酵粗飼料用新品種「ソルトスター」」
http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/nics/2014/nics14_s10.html
「二毛作トウモロコシの耕うん畝立て播種に適した作業工程とその湿害軽減効果」
http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/nilgs/2013/13_014.html
「飼料イネ品種「モーれつ」は生育初期の耐塩性が高い」
https://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/karc/2008/konarc08-27.html
日本暖地畜産学会報 56:43-47

行政担当者　普及関係者　大学・試験研究機関

農地土壌の放射性セシウム汚染広域マップ

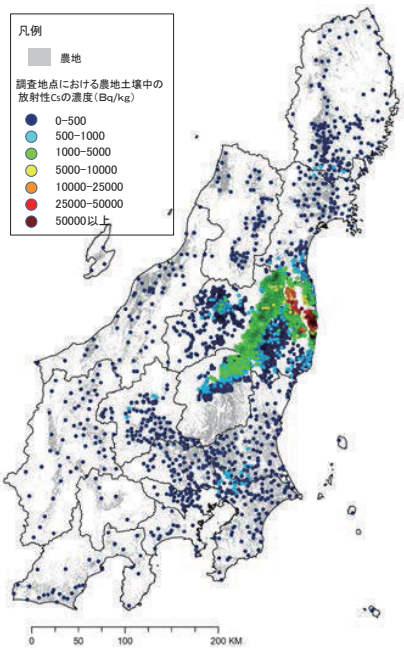
福島第一原発事故後、福島県など 15 都県の農地土壌の放射性セシウム濃度を測定し、空間線量率と放射性セシウム濃度の関係から調査地点以外の放射性セシウム濃度を推定し、面的な広がりを地図として表示しました。福島県については毎年地図を更新し、農地の放射性セシウム濃度の推移を見ることができます。

平成 23 年 11 ～ 12 月に岩手県から静岡県までの 15 都県の 3,423 地点における農地土壌をライナー付き土壌試料採取器で採取し、0 ～ 15cm 深さの土壌の ^{134}Cs、^{137}Cs 濃度についてゲルマニウム半導体検出器を用いて測定し、測定値については平成 23 年 11 月 5 日を基準日として補正しました。

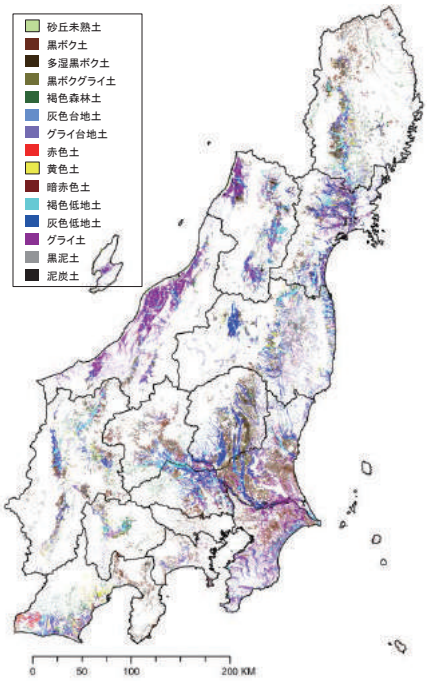
農地 1m 上の空間線量率から農地土壌の放射性セシウム（^{134}Cs ＋ ^{137}Cs）濃度を推計する 10 類型の回帰式を作成し、放射性セシウム濃度の実測値データ、農業環境技術研究所が平成 13 年の土地利用にもとづいて作成したデジタル農耕地土壌図および文部科学省が作成した航空機による空間線量率分布図を用いて、調査地点以外の農地土壌の放射性セシウム濃度分布を推定しました。

その結果、農地土壌の放射性セシウムは福島第一原発から北西へ向かって 10,000Bq/kg を超える高い濃度が分布し、さらに福島県中通りの南西部から栃木県中～北部と宮城県南部へ向かって 1,000Bq/kg を超える濃度の広がりをみせることが明らかとなりました。

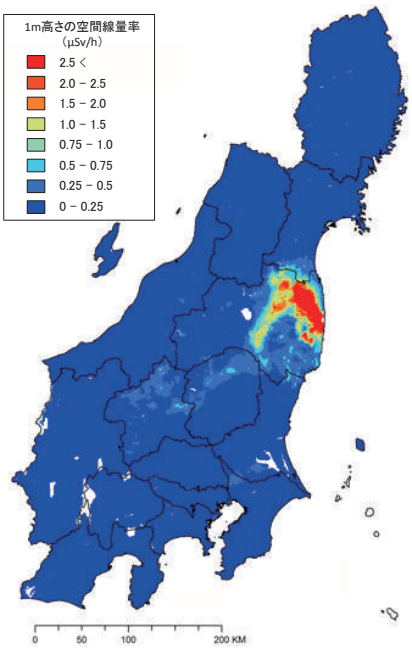
平成 24 年以降も福島県において同様の調査を継続し、農地土壌の放射性セシウム濃度の推移を追うとともに、分布推定図を作成しています。毎年作成される分布推定図は、地形図に重ね合わせた地図などによって農家の営農指導等に利用されています。



調査地点の放射性セシウム濃度
（実測値データ）

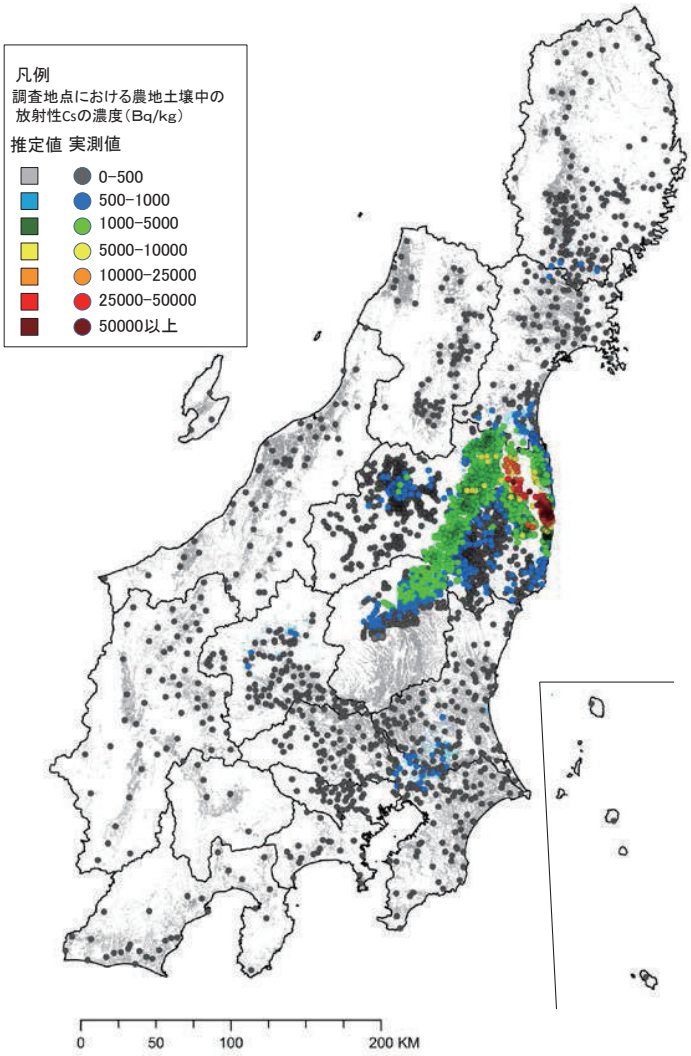


デジタル農耕地土壌図
（農業環境技術研究所作成）



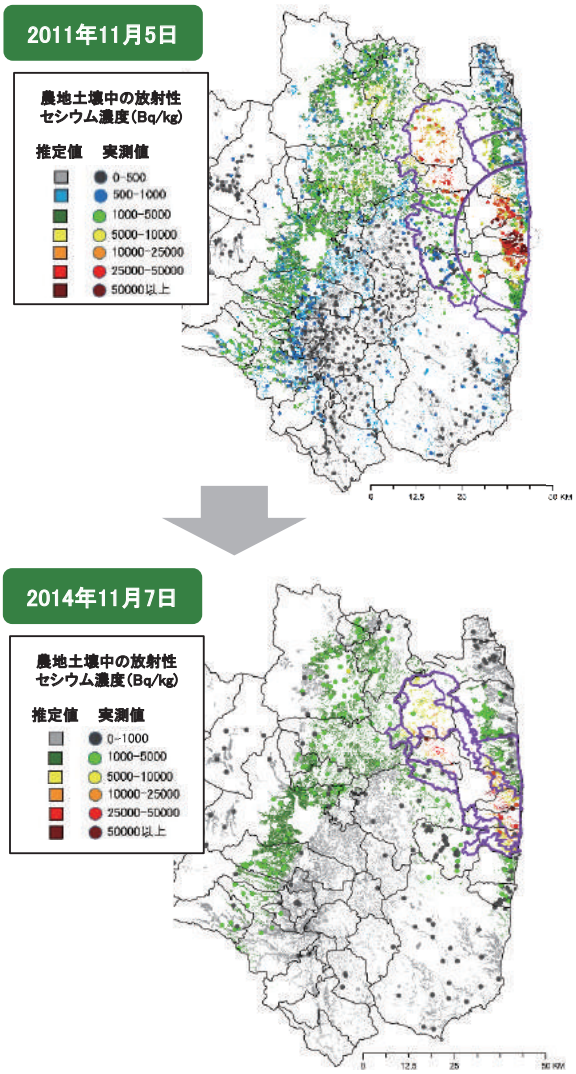
空間線量率分布図
（文部科学省作成）

それぞれの図および回帰式から、放射性セシウム濃度の分布推定図を作成します。



農地土壌の放射性セシウム濃度の実測値と分布推定図（2011 年 11 月 5 日）

作土中の放射性セシウム濃度 5,000Bq/kg 以上の農地が福島第一原発から北西方向に広がり、福島県中通りから栃木県北部、また宮城県南部にかけて 1,000Bq/kg 以上の農地が連続していることが分かりました。



2011 年と 2014 年の福島県東部における農地土壌の放射性セシウム濃度推定図

放射性セシウムの濃度は物理的減衰にともない低下しますが、農地土壌における低下割合は各年とも物理的減衰とほぼ同程度でした。

注意点

避難指示区域内では除染工事が進められています。工事の進捗状況により推定値と異なった放射性セシウム濃度となっている可能性があります。

問い合わせ先

農業環境技術研究所　研究コーディネータ　電話 029-838-8200

関連情報

農業環境技術研究所　成果情報「農地土壌の放射性物質濃度分布の把握」
http://www.niaes.affrc.go.jp/sinfo/result/result28/result28_02.html
農林水産省農林水産技術会議事務局　「農地土壌の放射性物質濃度分布図の作成について」
http://www.s.affrc.go.jp/docs/map/index.htm

行政担当者　普及関係者　大学・試験研究機関

空間線量率に基づく土壌の放射性セシウム濃度の簡易推定

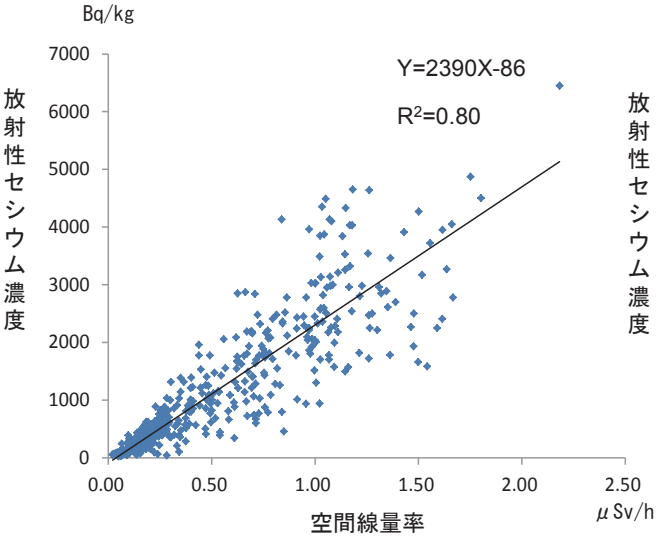
地表面から 1m の高さの空間線量率から、農地土壌における放射性セシウムの濃度を算定する方法です。農地土壌の放射性セシウム濃度は空間線量率（地表 1m 高）と一次の相関関係にあります。空間線量率（μSv/h）を計測することにより、農地土壌のおおよその放射性セシウム濃度（Bq/kg）を算定できます。

平成 23 年から継続的に農地の 1m 高さの空間線量率と 0 ～ 15cm 深さの土壌の ^{134}Cs および ^{137}Cs 濃度をゲルマニウム半導体検出器を用いて測定を行ってきました。

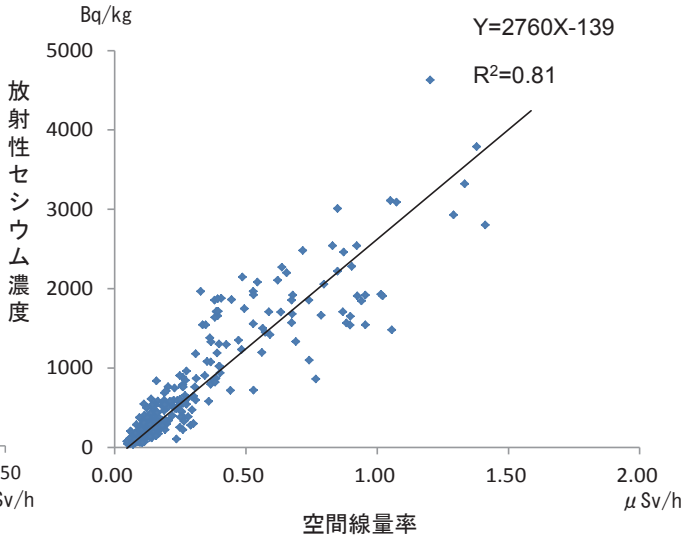
農地 1m 上の空間線量率と農地土壌の放射性セシウム（^{134}Cs ＋ ^{137}Cs）濃度との間には一定の相関関係が認められることから、土壌や土地利用ごとに類型化し、空間線量率から農地土壌の放射性セシウム濃度を推計する回帰式を作成しました。

時間の経過とともに放射性セシウムが減衰し、空間線量率と放射性セシウム濃度の関係が変化するため、回帰式は毎年更新しています。

平成 23 年は 10 類型の、平成 24 年以降は 7 類型の回帰式を作成しています。

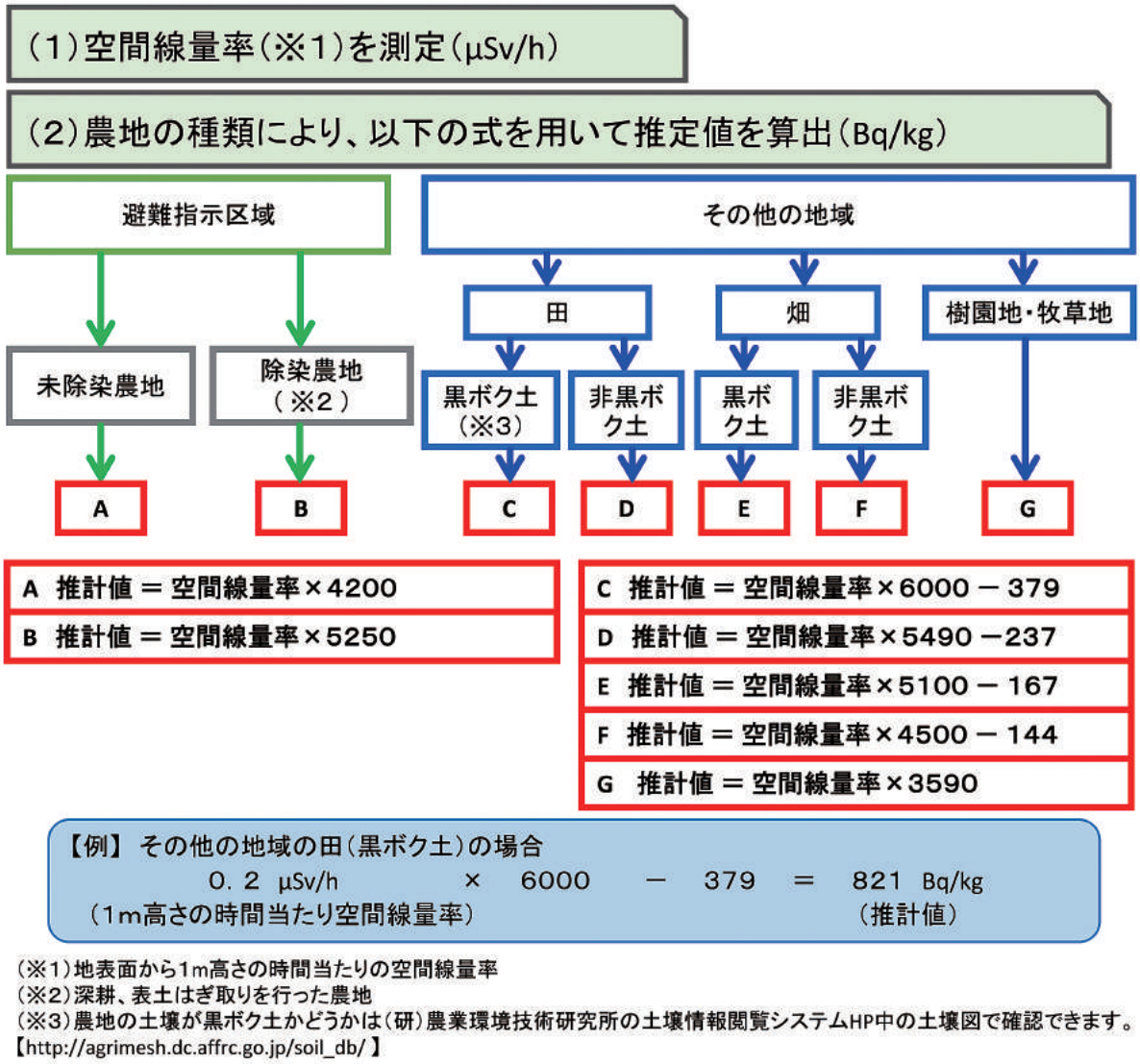


耕起農地における非黒ボク土の空間線量率と土壌放射性セシウム濃度の関係（平成23年）



耕起農地における黒ボク土の空間線量率と土壌放射性セシウム濃度の関係（平成23年）

空間線量率と放射性セシウム濃度との関係を黒ボク土や非黒ボク土、耕起や非耕起の水田、普通畑、樹園地など、土壌や土地利用で類型化して、それぞれの相関関係を求めました。



(※1)地表面から1m高さの時間当たりの空間線量率
(※2)深耕、表土はぎ取りを行った農地
(※3)農地の土壌が黒ボク土かどうかは(研)農業環境技術研究所の土壌情報閲覧システムHP中の土壌図で確認できます。
【http://agrimesh.dc.affrc.go.jp/soil_db/】

放射性セシウム濃度推定の手順（回帰式を土壌や土地利用などにより７区分に類型化）

農地の土壌放射性セシウム濃度を推定するには、農地の 1m 高さの空間線量率を測定するか、文部科学省のホームページ「放射線量等分布マップ拡大サイト」で公表されている航空機モニタリングによる放射線量等分布マップで 1m 高さの空間線量率を確認します。次いで、農地が避難指示区域かそれ以外の地域かを選定します。さらに、農地が田、普通畑、樹園地・牧草地かどうかを選び、最後に農地が黒ボク土か非黒ボク土かを確認して、それぞれの回帰式から土壌放射性セシウム濃度を推定します。このとき、農地の土壌が黒ボク土かどうかは、農業環境技術研究所の土壌閲覧システムの土壌図で確認できます。

この方法は、一定の誤差はありますが、営農現場でおおよその濃度を把握する際に役立ちます。

注意点

この回帰式は平成 26 年 11 月 7 日現在のものであり、時間の経過とともに ^{134}Cs と ^{137}Cs が減衰し、回帰式の係数も変わってきます。今後も、調査地点を選択して、毎年、1m 高さの空間線量率と農地土壌の放射性セシウム濃度を測定し、推定式を更新していきます。

問い合わせ先

農業環境技術研究所　研究コーディネータ　電話 029-838-8200

関連情報

農業環境技術研究所　成果情報「農地土壌の放射性物質濃度分布の把握」
http://www.niaes.affrc.go.jp/sinfo/result/result28/result28_02.html
農林水産省農林水産技術会議事務局　「農地土壌の放射性物質濃度分布図の作成について」
http://www.s.affrc.go.jp/docs/map/index.htm

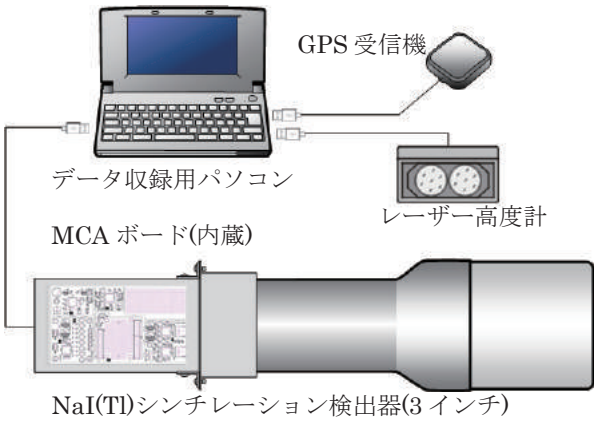
行政担当者　民間企業　大学・試験研究機関

農地土壌の放射能分布を推定する空間ガンマ線測定技術

NaI(Tl) シンチレーション検出器、スペクトル分析器、高度計、GPS 受信機等を使用した農地土壌を対象としたガンマ線測定技術です。土壌から放出される核種毎のガンマ線強度を、非破壊かつ面的に短時間で測定することができます。

農地土壌から放射性セシウムを除去する場合、除染前後の放射性セシウムの面的分布状況を測定・比較して効果を検証する必要があります。これまでは土壌試料をサンプリングし、実験室で乾燥・調整した上で遮蔽されたガンマ線検出器で放射能を測定していましたが、この方法は分析に時間と費用を要するためサンプル数が限られ、圃場内の放射能の偏りや、除染が不十分な箇所の把握が困難でした。本技術は野外で核種毎のガンマ線強度を測定する装置により、農地およびその周辺を移動させながら連続測定することで、土壌の放射性セシウムの面的分布を把握する手法です。

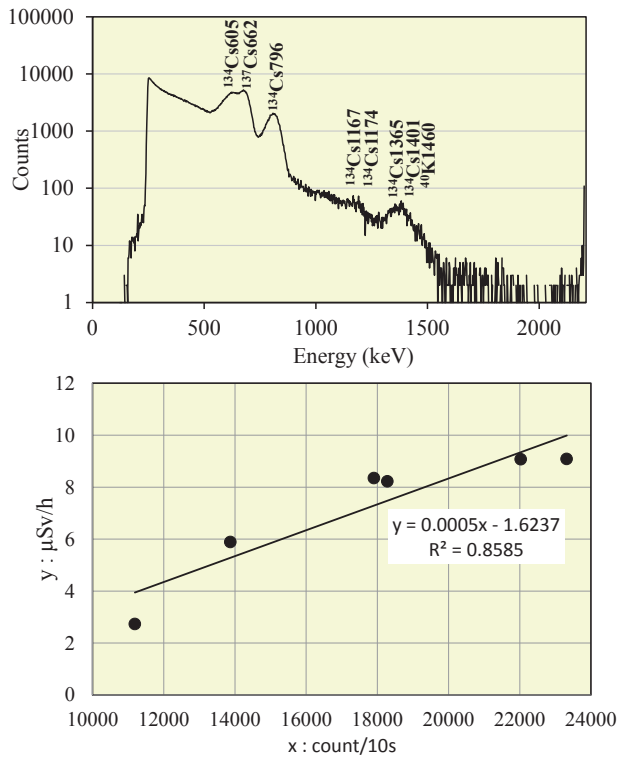
測定システムは3インチNaI(Tl) シンチレーション検出器、MCA（マルチチャンネルアナライザ）ボード、レーザー高度計、GPS 受信機、データ収録用パソコンから構成され、任意の測定時間間隔でガンマ線スペクトル強度、位置情報、高度情報を記録します。システム全体の重量は 5kg 程度で、電源はパソコンから供給され 4 時間以上の連続測定が可能です。



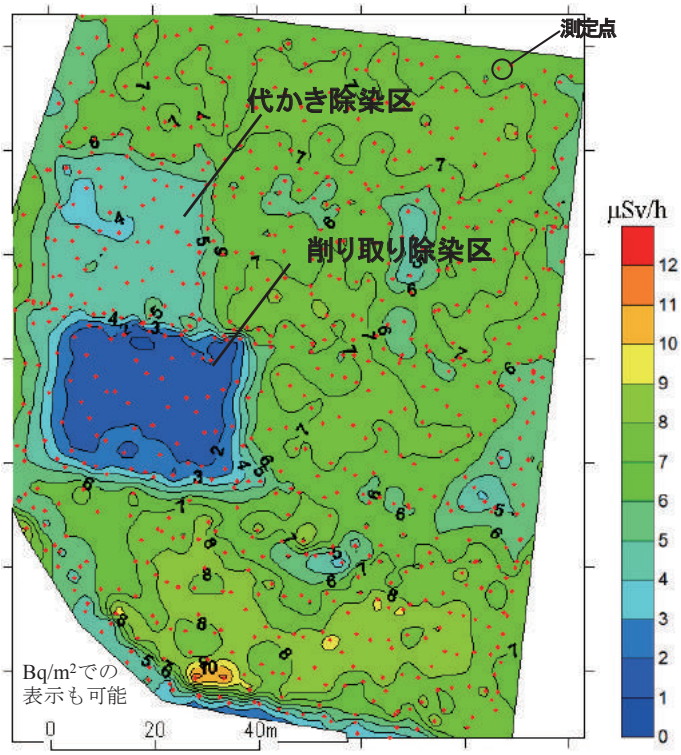
システム構成

システムは気球、無人ヘリ、ラジコン移動車等の移動体に搭載することを前提に設計されており、遠隔操作によって農地のガンマ線強度を迅速かつ面的に測定することができます。移動体は現場状況、測定高度（低いほど高解像度）を勘案して選定します。ラジコン移動車を使用した場合、10a あたりの測定時間は約 20 分です。

移動体に搭載した測定状況（右：気球、
左上段：無人ヘリ、左下段：ラジコン移動車）



上段：ガンマ線スペクトル、
下段：カウント数と空間線量率の関係



除染後の測定例：
代かき除染区、削り取り除染区ではそれぞれ除染試験を実施．除染方法の違いにより、空間線量率の低下度が異なる様子が分かります。

測定によって得られたガンマ線スペクトルはソフトウェアによって自動記録された後、核種弁別され、バックグラウンド値除去、核種毎のピーク面積算出、高度補正等によって土壌からのガンマ線強度に換算されます。また、求められた放射性セシウムの積算カウント数と、同じ地点で測定した空間線量率との間には高い相関が見られ、近似式を用いてカウント数を空間線量率に換算できます。

福島県飯舘村の未耕起水田で実施された除染試験後の、測定時間間隔 10 秒、高度 5cm、移動速度約 0.5m/s の気球による測定では、削り取り除染を行った試験区、水による土壌攪拌（代かき）除染を行った試験区において、ガンマ線空間線量率が周辺の未処理の農地に比べて面的に小さくなっていることが確認できます。

注意点

ガンマ線のバックグラウンド値（農地土壌以外から放出されるガンマ線）を除去するため、予め調査地区周辺の水面上等でバックグラウンド測定を行う必要があります。また、放射性物質のフォールアウト後、耕起等によって放射性物質が土壌表面から深部に拡散している圃場では、ガンマ線強度と土壌中の放射性物質濃度の関係が異なるので地区ごとに換算式を求める必要があります。

問い合わせ先

農研機構　農村工学研究所　防災研究調整役　電話 029-838-8193

関連情報

農研機構　成果情報
「農地土壌の放射能分布を推定する空間ガンマ線測定技術」
http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/nkk/2013/13_075.html
農研機構　プレスリリース
「農地や環境中の放射線を迅速に測定する装置の開発」
https://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/press/laboratory/nkk/055800.html

生産現場　行政担当者　大学・試験研究機関

農業用水やため池における放射性セシウムの実態調査と新しい観測技術

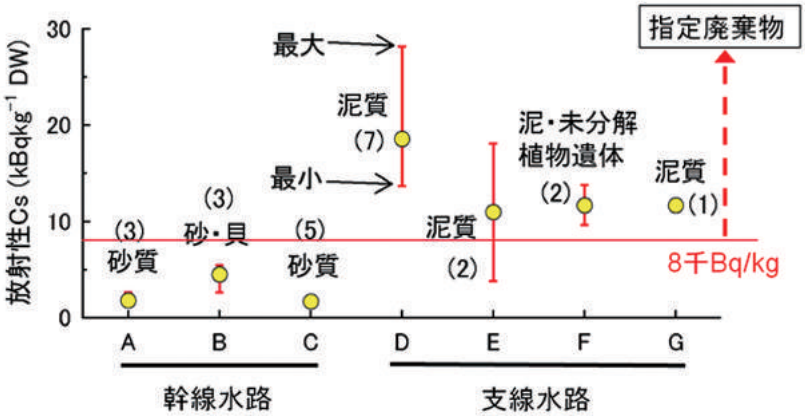
震災後の農業用水路やため池において放射性セシウムの実態調査や調査に役立つ観測技術の開発を行いました。農業用水路では、今後の水路管理に活かすため、水路に堆積する放射性セシウムを調べて、その特徴を明らかにしました。また、用水中に含まれる放射性セシウム濃度をリアルタイムで把握するため、濁度センサーを用いた放射性セシウム濃度の連続推定技術を開発しました。さらに、ため池の底質を対象として、簡便に底質に含まれる放射性セシウムからのガンマ線を計測する技術を開発しました。

農業用水路に堆積する放射性セシウムの特徴

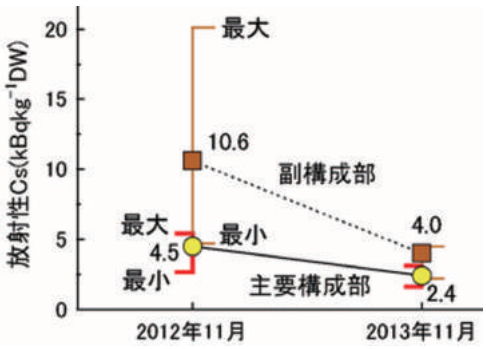
中通り北部に立地する一つの農業用水系統を対象として、上流から支線水路の末端までの主な堆積物の発生地点について、堆積物中の放射性セシウム濃度を調べました。2012 年秋の調査では、幹線用水路に堆積している砂質堆積物の放射性セシウム濃度は概して低く、反対に、流速が比較的遅い支線用水路でみられる泥状堆積物中では放射性セシウム濃度が高く、指定廃棄物となる基準を超過するものも見られました。また、幹線水路の余水吐の掘込部に生じた堆積物中の放射性セシウム濃度を、水路除染前（2012 年 11 月）と 1 年後（2013 年 11 月）で比較したところ、水路除染（2013 年 4 月実施）により放射性セシウム濃度が大きく低減したことがわかりました。

←余水吐掘込部の堆積物の状況

水路除染後の様子→（余水吐）



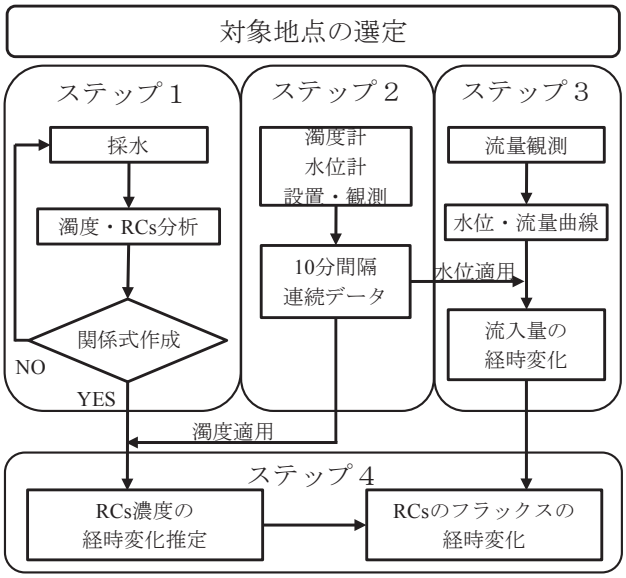
農業用水路の堆積物に含まれる放射性セシウムの濃度



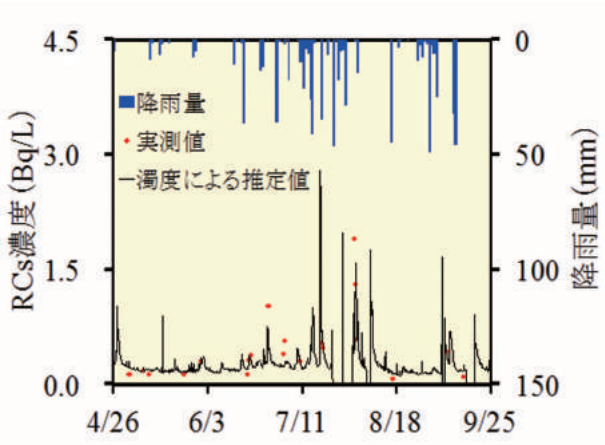
水路除染前後の放射性セシウム濃度

農業用水中の放射性セシウムの連続推定技術

農業用水に含まれる放射性セシウム濃度を濁度の連続観測から推定する手法を開発しました。濁度センサーを用いることで、主に懸濁態として水に含まれている放射性セシウム濃度を簡易的に把握することができるようになりました。今後、農業用水を管理する土地改良区などで活用されることが期待されます。



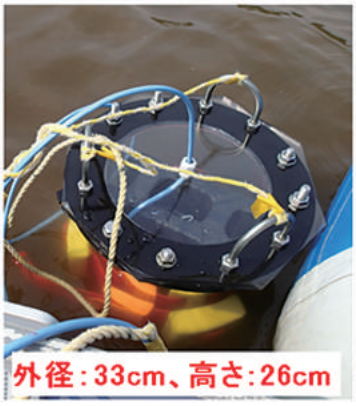
放射性セシウム（RCs）推定法の手順



放射性セシウム（RCs）濃度の実測値と推定値の算定例（2013 年）

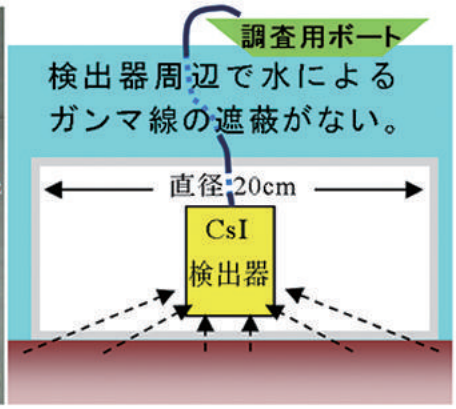
ため池等の底質に含まれる放射性セシウムからのガンマ線計測技術

ため池等の水域には、底質に高い放射性セシウムが蓄積することが知られていますが、その分布状況を迅速に知ることは困難でした。そこで、水中の底質に含まれる放射性セシウムから放出されるガンマ線を簡便に測定する技術を開発しました。本機の利用によって、ガンマ線の平面的な分布傾向の把握やホットスポットの抽出を効率よく実施できます。



装置の外観

装置の構成



検出部の構造

問い合わせ先

農研機構　農村工学研究所　防災研究調整役　電話 029-838-8193

関連情報

水土の知（農業農村工学会誌）82(3)、33-37(2014)
水土の知（農業農村工学会誌）83(1)、35-38(2015)
農研機構　成果情報「ため池等の水域の底質に含まれる放射性Csからのガンマ線計測システム」
http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/nkk/2014/14_077.html

行政担当者　大学・試験研究機関

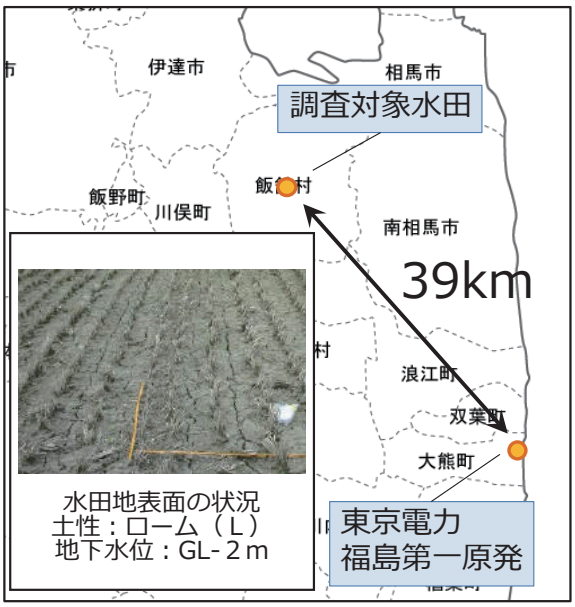
水田土壌の深度別および粒径クラス別の放射性セシウム濃度

東日本大震災に伴う原発事故により放射性物質が降下した水田における土壌の放射性セシウム濃度は、深度別では表層が最も高く、粒径クラス別では粒径が小さいクラスほど高いことが分かりました。

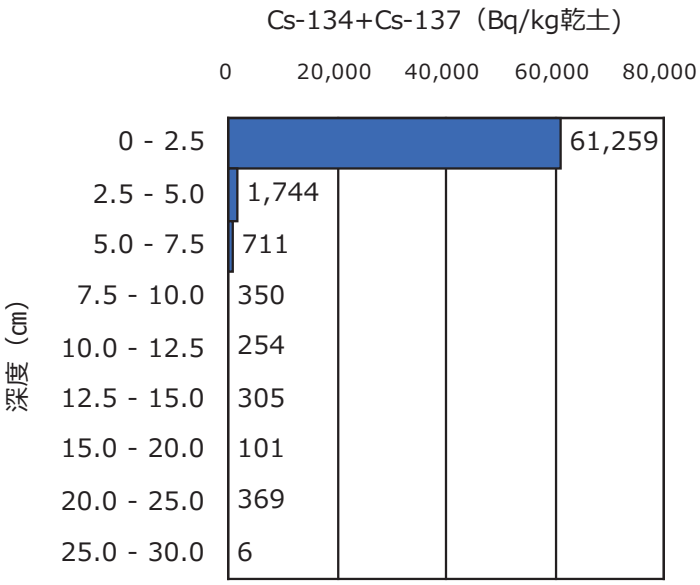
こうした放射性セシウム濃度の分布特性は、農地除染技術（汚染表土の除去技術や水を利用した土壌攪拌による除染技術）を開発する参考情報になりました。

原発事故後３カ月経過した水田の土壌では、放射性セシウム（^{134}Cs および ^{137}Cs）が検出され、放射性ヨウ素(I-131)は検出されませんでした。土壌の放射性セシウム濃度(^{134}Cs と ^{137}Cs の合計値)は、深度０～15cm の平均で 10,770（Bq/kg 乾土）でした。調査対象水田は、東京電力福島第一原子力発電所から北西方向に 39km 地点に位置し、原発事故以降耕起していませんでした。

耕起していない水田の土壌に含まれる放射性セシウムは表層に多く分布しました。土壌の深度別放射性セシウム濃度は６～61,259（Bq/kg 乾土）の範囲で、深度０～2.5cm の層では最大値 61,259（Bq/kg 乾土）を示し、深度 2.5cm 以深の層では 1,744（Bq/kg 乾土）以下でした。



調査対象水田の位置と地表面の状況



土壌の深度別放射性セシウム濃度

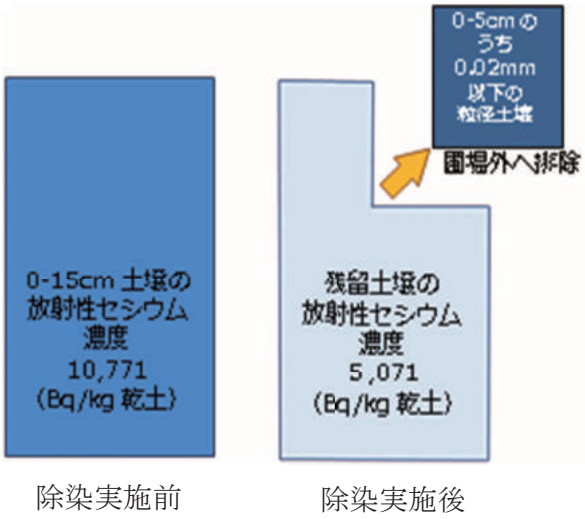
土壌の放射性セシウム濃度は粒径クラスによって異なり、小さな粒径クラスほど高い値を示しました。粒径クラス別の放射性セシウム濃度は、深度 0 ～ 2.5cm 土壌の場合、0 ～ 0.002mm が 179,133（Bq/kg 乾土）で最も高く、粒径クラスが大きくなるほど濃度は低い値でした。また、深度 2.5 ～ 5.0cm の土壌も同様の傾向でした。

このように、水田土壌の放射性セシウムの分布特性が明らかとなり、表層 0 ～ 5cm 土壌をはぎ取る方法（汚染表土の除去技術）や、表層 0 ～ 5cm 土壌を代かきして粒径 0.02mm 以下の細粒土壌を含む濁水を強制排水する方法（水を利用した土壌攪拌による除染技術）による農地除染の有効性を示す情報となりました。例えば、後者の除染方法を行うと、深度 0 ～ 15cm 土壌の放射性セシウム濃度は、10,771（Bq/kg 乾土）から 5,071（Bq/kg 乾土）に低下すると試算されました。

土壌の粒径クラス別の放射性セシウム濃度

粒径クラス*（mm）	重量組成割合（%）	Cs-134+Cs-137（Bq/kg 乾土）	
		深度 0-2.5cm	深度 2.5-5 cm
0-0.002	4.8	179,133	14,323
0.002 -0.02	29.6	106,267	6,687
0.02-0.2	45.2	66,633	2,983
0.2-2	20.4	22,160	990

*水分散し、水中沈降とフルイ分けにより分画



水を利用した土壌攪拌による除染実施後の放射性セシウム濃度の試算結果

注意点

図表に示した数値は、現地調査実施時（2011 年 6 月 13 日）のものです。

問い合わせ先

農研機構　農村工学研究所　防災研究調整役　電話 029-838-8193

関連情報

土壌の物理性、121、43-38

「浅代かき強制排水による水田土壌中の放射性物質除染法の有効性に関する事前検討」

https://js-soilphysics.com/downloads/pdf000/121000.pdf

生産現場　普及関係者　行政担当者

汚染表土の除去技術

東日本大震災による東京電力福島第一原子力発電所の事故により、放射性物質が農地を含む広い範囲に降下しています。耕うんしていない圃場等では、放射性物質が表層に多く集積しているため、表土を除去することにより、効果的に除染することができます。

農業機械を利用して表土を削り取る作業手順は、砕土、削り取り、集積、排出、袋詰めです。上下方向の攪拌の少ないパワーハローを使用して表土を膨軟にし、リアブレードで削り取り、フロントローダで集積後ダンプに積み込み、圃場外へ排出、その後、バックホー等によりフレキシブルコンテナに袋詰めを行います。圃場内での作業時間は、合計２～2.5 時間 /10a、圃場外の袋詰め時間は削り取り深さ約 4cm(40m^3) で 10 ～ 13 時間 /10a 程度です。

農業機械による圃場表土除去作業手順

汚染農地等の除染作業において問題となる作業者の放射線内部被ばくと外部被ばく量を抑制・低減するために開発された技術（次項）を、除染電離則※に準じた方法で測定・評価し、作業時の粉じん実態の把握と抑制効果を明らかにしました。その結果、農地や農地周辺におけるトラクタ利用による除染作業時のキャビン内粉じん濃度は、除染電離則で定められた高濃度粉じん(10mg/m^3) より大幅に小さくなりました。防じん効果は標準仕様キャビンより、高性能フィルタ等を装備した防じん型及びシールド型キャビンが高くなりました。
(※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)

粉じん測定状況
（左：キャビン内、中央：農道表層はぎ取り機、右：乾燥した圃場での作業）

作業者の安全を考慮し、鉛板や鉛ガラス等により運転位置の線量を約 1/2 以下としたシールドキャビンや、キャビン内への粉塵等の流入を低減する高機能フィルター付きの空気清浄器を装備したトラクタを開発しました。また、圃場内の表土除去については、遠隔操縦および自立運転が可能なトラクタを開発し砕土等の実証試験も行っています。さらに、農道、法面、畦畔、用排水路用の圃場周辺用除染作業機も開発しました。圃場周辺用除染作業機は市販されています。

シールドキャビン＋空気清浄器付トラクタ

遠隔操縦トラクタ（右：操作機搭載車）

圃場周辺の除染用作業機

除染作業用トラクタ（上）と圃場周辺除染用作業機（下）

農地除染のため行われる表土削り取り作業をより一層効率的に進めるため、水田等の表土を幅 2m で最大深さ 8cm 程度まで削り取ると同時に畝状に集積するトラクタ装着式の表土削り取り機を開発しました。これまで除染現場で使用されてきた建設用機械の自走式表土削り取り同時掬い上げ機（スキマー）やパワーショベル等と連携して作業することにより、それぞれの作業を単独の機械で行うよりも効率的な作業が可能です。この表土削り取り機は市販されています。

表土削り取り機による
一次削り取り作業（深さ4cm）と
集土状況

スキマーによる二次削り取り（深さ1cm）と
ダンプトレーラへの削土掬い上げ作業

ダンプトレーラによる
ほ場内運搬・集積

パワーショベルによる
フレコン詰め・搬出

除染事業区での作業例（表土削り取り機とスキマーとの連携作業）

従来の建機による表土除去の場合、除去厚さの制御が困難となり、処理土量の増加や取り残しの発生等が懸念されます。そのため、削り取り厚さを必要最小限に制御し、安全、確実に剥ぎ取る方法を開発しました。

最初に、汚染土壌を固化するため、マグネシア系やカルシウム系等の土壌固化剤を添加したスラリーを散布します。固化する厚さは表層２～3cm 程度で、約１週間後、固化した表層土壌を削り取ります。固化すると流出や飛散が防止され、固化部分の物性の違いにより、選択的な削り取りが可能となります。さらに、固化剤により、表層の土壌が白く着色されるため、削り取り状況を目視により確認しながら作業を行うことが可能です。

削り取りは、通常ブルトーザーやグレーダー等を利用して行いますが、横からの漏れ等が発生します。そこで、パワーショベルにバケットを装着し、ショベルの旋回機能を利用して、バケットによる表層土の剥離と集積を行うことにより、目視で削り取り厚さを確認しながら作業を行うワイパー工法を開発しました。さらに、バケットを 90° 回転させ、バキュームの吸引ホースを接続可能とし、バケット内部にカッターを内蔵した改良型アタッチメントも開発しました。削り取り、集積、搬出が１工程で行えるため、作業の効率性や安全性が向上します。

固化剤の吹きつけ作業と固化後の状況

ワイパー工法

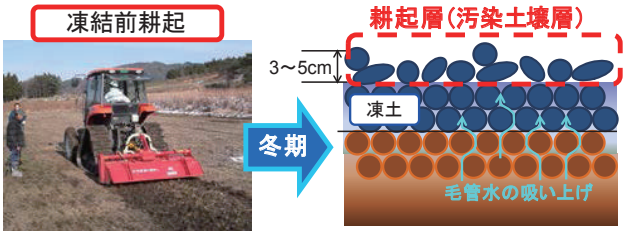
改良型アタッチメント

ワイパー工法＋バキュームカーで吸引

（削り取り、集積、搬出が１工程で可能）

福島県飯舘村など山間部では冬期（12 月下旬～ 3 月上旬頃まで）の最低気温が概ね -5℃以下になるため、厚い凍土が形成されます。そこで、除染の早期化を図るため、凍土が形成される冬期の表土削り取り工法を開発しました。本工法では凍土の形成が土壌水分の毛管上昇によって促進されることに着目し、剥ぎ取る土壌表層を凍結前に耕起します。それによって空隙の多い土塊状態になり、毛管上昇及び凍土形成が抑制され、凍結後の耕起層の削り取りを容易にします。

福島県飯舘村での現地実証試験では、作業効率の向上（耕起作業を含め作業時間は 1/3 に低下）、削り取り厚さの制御（新工法 5cm、無対策 10cm）、削り取り土塊サイズの改善（新工法 10cm 程度、無対策 50cm 程度）が確認されました。なお、削り取り前後の地表面の空間線量率は 2.8 μSv/h から 0.5 μSv/h に低下しました。



・現地実証試験では、トラクタの走行速度は2～3km/h、ロータリーの回転速度は最も遅く設定
・耕起作業は約1h/10aで削り取り時間の1/10以下

冬期除染工法の概要

現地実証試験

注意点

表土の削り取りは、作付けが制限された未耕起の水田（または畑）を対象として実施します。表土の削り取りにより発生する汚染土壌を保管する置き場所が必要になります。

問い合わせ先

農研機構　中央農業総合研究センター　情報広報課　電話 029-838-8979（表土削り取り）
農村工学研究所　防災研究調整役　電話 029-838-8193
（固化剤による表土削り取り、冬期における表土除去工法）
生物系特定産業技術研究支援センター　研究調整役　電話 048-654-7026
（除染用作業機）

関連情報

農研機構　東日本大震災への対応「除染に関する研究成果」
http://www.naro.affrc.go.jp/disaster/research_tech/decontamination/index.html

撹拌耕うんによる放射性セシウムの移行低減（傾斜草地対策）

土壌の放射性セシウム濃度が低い場合には表土除去を行わなくても、土から作物への放射性セシウム移行を抑制する対策を採ることで、作物の濃度を暫定許容値以下に抑えることが可能です。牧草の場合は、耕うんして種をまき直す草地更新が移行低減に有効であり、この方法が平地の牧草に適用されています（p132 参照）。しかし、15 度を超える傾斜地では転倒などの危険性から使用できる耕うん作業機がありませんでした。そこで、傾斜地用の無線トラクタに装着して耕うんするロータリを開発しました。深さ 12 ～ 15cm まで耕うんでき、作業能率は 1 時間当たり 7 ～ 11a 程度です。このロータリは平成 26 年から市販されています。

開発したロータリを無線傾斜地トラクタに装着して耕うんする様子（傾斜 20 ～ 24° 草地）

生産現場　普及関係者　行政担当者　民間企業

土壌攪拌（代かき）による除染技術

除染対象とする圃場を湛水させ、各種方法で土壌攪拌（代かき）し泥水を回収した後、凝集沈殿を行い放射性物質を高濃度に含む微細土壌を分離します。微細土壌は、脱水後に搬出用の袋に詰めて搬出します。本技術は、持ち出す土量が少量のため、作土層が薄い、あるいは下層に礫が存在する圃場や原発事故後に表土を耕起した圃場など、放射性物質を除去するための表土削り取りや反転耕による除染が難しい圃場に効果的な除染技術です。作成した作業の手引きでは、中山間地域の棚田などの小規模から、平場の 30a 標準区画などの比較的規模が大きな水田圃場までを対象として、具体的な作業方法について解説しています。さらに、除染後の水稲栽培の留意点についても解説しています。

小規模水田の技術

小規模水田では、水田を湛水し分散剤を施用して土粒子を分散させた後、圃場全体の土壌攪拌（代かき）と懸濁水（泥水）の排水を繰り返すことで、水中に分散した放射性物質を多く含む微細土壌を圃場から除去する方法です。排水した懸濁水をフィルタープレス等で脱水して微細土壌のみを取り出し、搬出用の袋に詰めて搬出します。この技術は、撹拌後の土壌懸濁液を速やかに圃場全体から排水する必要があるため、数 a 規模の小規模水田が対象です。平成 24 年度に福島県伊達市で実施した実証試験では、除染作業により土壌高さ 1m の空間線量率は 30.1%（除染前：1.77 μSv/hr、除染後：1.24 μSv/hr）、作土 0 ～ 15cm の放射性セシウム濃度は 61.9%（除染前：4,990 Bq/kg、除染後：1,900 Bq/kg）低減しました。

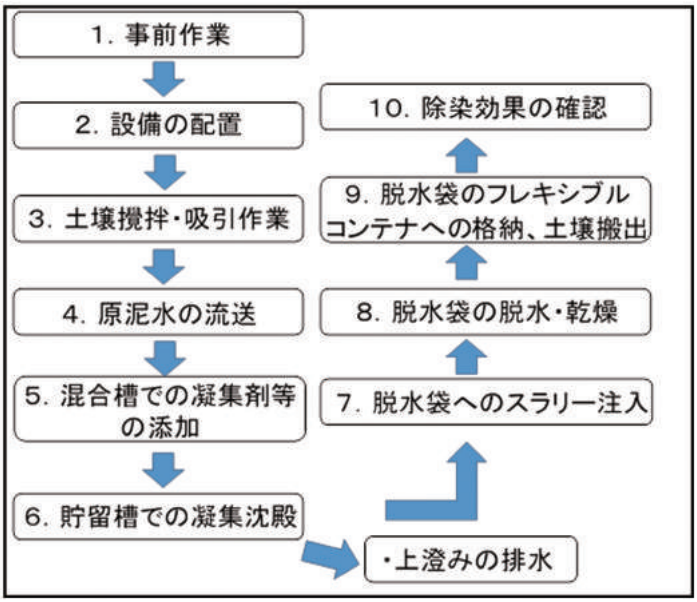
小規模水田での作業の流れ

圃場への給水状況

懸濁水の排水状況

大規模水田の作業

大規模水田を対象とする放射性物質低減技術は、対象とする水田を湛水させた後、大型のトラクターの後部に装着した土壌攪拌器（ハロー）と泥土吸引機器を用いて、トラクターの走行中に土壌を攪拌し直ちに泥水を連続回収します。平成 24 年 7 月に福島県飯舘村で実施した実証試験では、圃場内をトラクターが 3 回走行した場合、土壌高さ 1m の空間線量率は 25.3%（除染前:2.45 μSv/hr、除染後：1.83 μSv/hr）、作土 0 ～ 15cm の放射性セシウム濃度は 16.2%（除染前：7,602 Bq/kg、除染後：6,369 Bq/kg）低減しました。



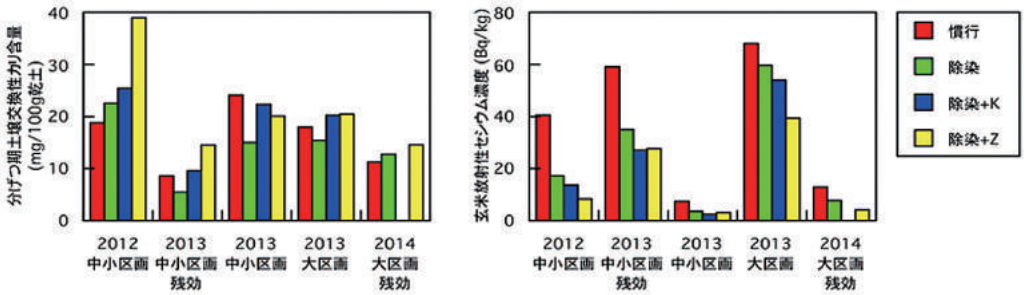
大規模水田での作業の流れ

大規模水田での土壌攪拌・吸引作業の流れ

泥土の袋詰簡易脱水状況（共通）

除染後の水稲栽培の留意点

除染後の水稲栽培の減収対策として窒素施肥量は、慣行より多くする必要があります。増施量は作期や品種により異なりますので、農業普及所などに問い合わせください。また、放射性セシウムの吸収抑制効果を有するカリウムが除去される場合がありますので、カリ上乗せ施用は吸収抑制に有効です。さらにゼオライト資材の適用も効果があります。



除染後水田におけるカリ増施とゼオライト施用効果

（+K：カリ 10kg/10a 増施、+Z：ゼオライト 1t/10a 施用）

注意点

作業においては、関係法令を遵守するとともに、除染関係ガイドライン（環境省、平成 23 年 12 月 14 日）、除染等業務に従事する労働者の放射線障害防止のためのガイドライン（厚生労働省、平成 23 年 12 月 22 日）を参照し、作業者の安全には十分留意すること。本手法は、専門の技術者の下、安全対策に十分留意して実施する必要があります。農家や個人が実施することは、想定していません。

問い合わせ先

農研機構　農村工学研究所　防災研究調整役　電話 029-838-8193（大規模水田の作業）
東北農業研究センター　情報広報課　電話 019-643-3414（除染後の施肥）
農業環境技術研究所　研究コーディネータ　電話 029-838-8200（小規模水田の作業）

関連情報

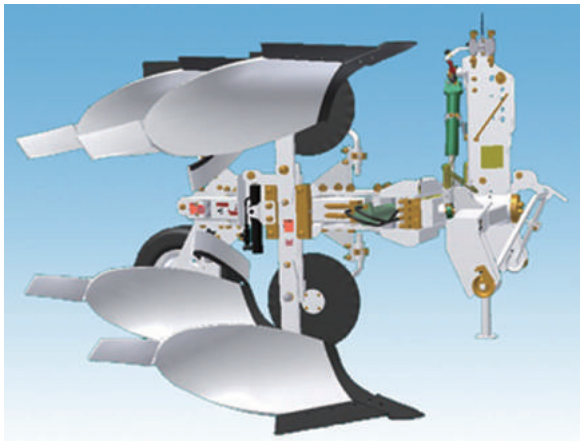
農研機構・農環研　プレスリリース「土壌攪拌（代かき）による放射性物質低減技術の実施作業の手引き」（平成 28 年 1 月 20 日）
http://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/press/laboratory/nkk/061219.html

生産現場　行政担当者

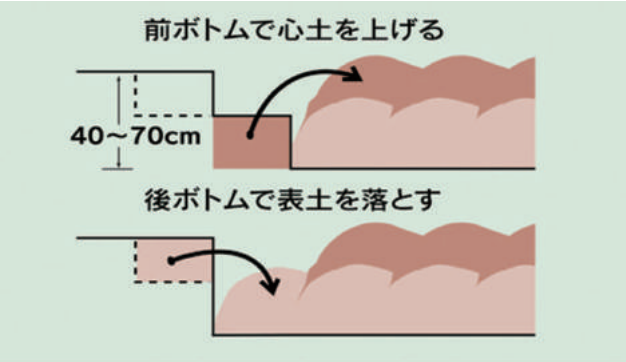
反転耕による汚染土壌の埋却技術

表層に放射性セシウムが降下した圃場で、土壌の放射性セシウム濃度が 5,000Bq/kg 以下の場合には、除染用プラウによる反転耕を耕深 30cm 以上になるように実施することで、放射性セシウム濃度の高い表層の土壌の 1/2 以上を深さ 15cm よりも下層に埋却することが可能となり、空間線量率を低減することができます。

反転精度の向上のために水田用二段耕プラウ（耕深 25 ～ 35cm）と、畑用二段耕プラウ（35 ～ 70cm）を開発しました。二段耕プラウは、前ボトム（深い）が心土を持ち上げて反転し、そこにできた溝に後ボトム（浅い）が表土を落とすので、放射性セシウム濃度の高い表層の土壌を確実に下層に埋却することが可能になります。表層の放射性セシウム濃度が高い土壌のうち、1/2 以上が耕深の半分よりも下層に埋却されます。

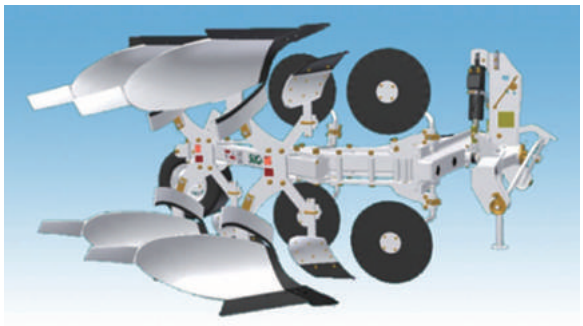


水田用二段耕プラウ（リバーシブル）



畑用二段耕プラウ（リバーシブル）

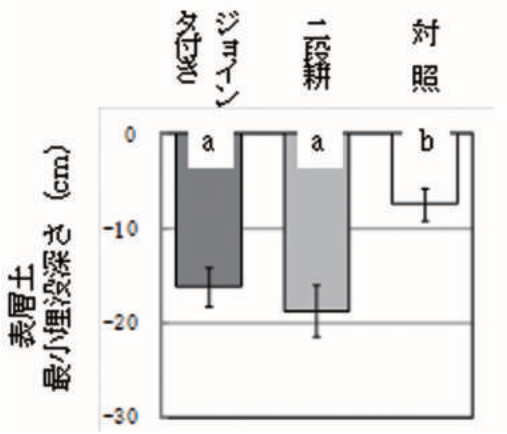
二段耕プラウの作業速度は遅いため、さらに高速で作業が可能なジョインタ付きプラウも開発しました。ジョインタにより一部の土壌が浅い位置に埋却される現象が解消され、反転の精度が向上します。



ジョインタ付きプラウ（リバーシブル 2 連）

開発したプラウにより耕起前の表層土（深さ10cmの土）は確実に埋没します。最小埋没深さ（プラウ耕後に整地、鎮圧し、最も浅い場所の深さを測定）は、水田用二段耕プラウで18.7cm、ジョインタ付きプラウで16.2cmとなり、従来プラウに比べそれぞれ約9cm、11cm深くなりました。

圃場が不耕起の場合、開発したプラウにより反転耕を実施したところ、地上1mで計測した空間線量率は、耕起前に比較して大きく低減しました。反転耕作業前に不耕起であれば、二段耕プラウを用いると低減率は74～87%に、ジョインタ付きプラウ（改良機）では68%になりました。また、既に耕起してある圃場条件での低減率は、二段耕プラウで48～56%、ジョインタ付きプラウ（改良機）で39～51%になりました。



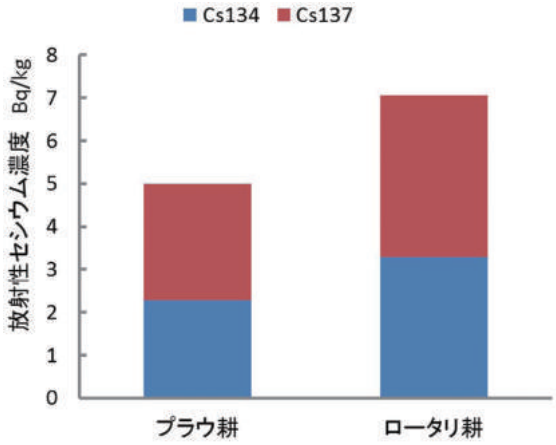
表層土の最小埋没深さ（未耕起粘質水田）

また、飼料畑においても耕深30cmのプラウ耕により空間線量率の低減が確認されています。

圃場の耕起状況および反転耕の方法による耕起前後の線量率変化の違い

耕起状況	耕深 cm	プラウの種類	1m線量率 μSv/h プラウ前	プラウ後	低減率
不耕起	45	畑用二段耕プラウ	1.30	0.17	87
	45	畑用二段耕プラウ	2.13	0.41	81
	30	水田用二段耕プラウ	0.46	0.12	74
	30	ジョインタ付きプラウ	1.63	0.52	68
耕起	30	水田用二段耕プラウ	1.03	0.47	56
	30	水田用二段耕プラウ	0.65	0.34	48
	30	ジョインタ付きプラウ	0.41	0.20	51
	30	ジョインタ付きプラウ	0.51	0.31	39

反転耕を実施した後の作物栽培において、水稲では無代かき移植により、玄米の放射性セシウム濃度が低下する傾向がありました。また、飼料畑でのトウモロコシでも、浅耕ロータリと比べプラウ耕栽培により放射性セシウム濃度は同等か低下する傾向を示しました。



注意点

すでに深耕（耕深15cm以上）や反転耕を実施した圃場では、あらたに反転耕を実施しても十分な効果が得られない場合があります。

反転耕により、下層の礫が表層に出てきた場合には、別に除礫の処理が必要になる場合があります。また、反転耕により地力等の低い土壌などが表層に来ることも考えられますので、土壌分析を実施して、作物の栽培に必要な施肥等を行ってください。

問い合わせ先

農研機構　中央農業総合研究センター　情報広報課　電話 029-838-8979

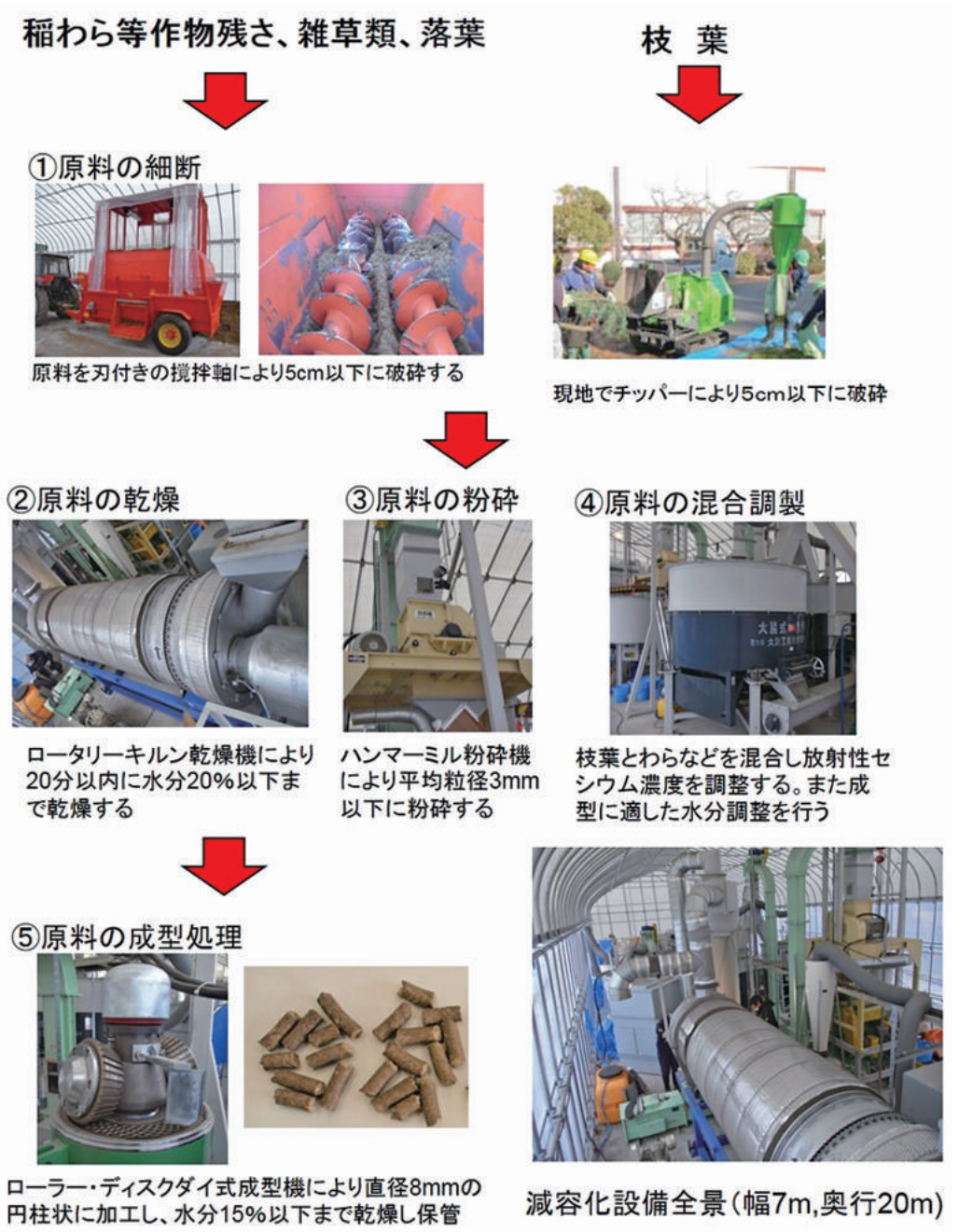
関連情報

農研機構　技術紹介パンフレット「除染用反転耕プラウの開発とその利用」
http://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/pamphlet/tech-pamph/043445.html

行政担当者

汚染物の減容化処理

東京電力福島第一原発事故に伴う除染作業で発生する作物残さ、雑草、枝葉等は、そのままフレコンバッグ（フレキシブルコンテナバッグ）に保管すると、腐敗して崩れるため２段までしか積めず、多量の保管容積が必要となる問題があります。そこで、放射性物質を含む稲わら等作物残さや、雑草、枝葉等を荒破砕→乾燥→粉砕→混合→成型処理により元の容積の 1/5 から 1/10 に減容し、水分 15%以下で安定的に貯蔵保管できる処理方式を開発しました。



汚染物の減容化プラントの処理工程

稲わら等の作物残さ、雑草類はそのままでは処理できないため、前処理として飼料調製用の横軸カッティングミキサーで5cm以下の長さに切断します。枝葉は現場で粉砕刃付きのチッパーにより破砕処理を行い、フレコンバックで減容化プラントに搬送します。

前処理された原料を、ロータリーキルン式乾燥機により20%以下の水分まで乾燥処理します。乾燥機への熱風の吹き込み温度は250～430℃で、送風方向は併流方式、排気温度70℃以上で排気湿度50%以下になるよう風量制御を行います。なお、詰まりやすい発酵稲わらでは、均一に乾燥するため、2種類以上の曲げ角度の異なる攪拌板を組み合わせ、キルン中央部には遮風円筒を設置しました。

乾燥した材料は、プレート板式のハンマーミルにより粒径3mm以下に粉砕します。繊維系材料はかさ密度が低く粉砕能力が低下するため、下網に角状の抵抗棒を複数設置します。

乾燥・粉砕材料は放射性物質濃度を基に8,000Bq／kg以下になるよう、平型混合機等で混合・水分調製を行い、ローラー・ディスクダイ式成型機によりペレットに成型処理し、15%以下の水分まで乾燥しフレコンバッグで屋内保管します。成型盤の孔径はφ8mmで有効板厚24mm、成型適正水分はわら類で約20%、雑草類で15%程度でした。成型処理によりかさ密度は500kg／m^3以上になり、1／5から1／10の容積に減容できます。

作業者等への内部被爆を低減するため、乾燥工程まではサイクロンで、粉砕行程以降はサイクロン＋バグフィルターにより除塵します。

試験結果を基に、原料水分40%での処理能力400、800、1,200kg／hのプラントの試算を行った結果、それぞれ約1.0、1.2、1.3億円程度と想定されます。

減容化プラントの主な装備機器

原料処理能力（水分40%相当）	乾燥能力	成型能力	乾燥機仕様 キルン寸法	乾燥機仕様 バーナー能力	乾燥機仕様 灯油消費量	混合機 攪拌容積	成型機仕様 成型盤寸法	成型機仕様 消費動力
kg／h	kg／h	kg／h						
400	100	300	φ1.5m×6m	700MJ/h	約20L／h	1,200L×2台	直径30cm	15kW
800	200	600	φ1.8m×9m	1,400MJ/h	約40L／h	1,800L×3台	直径40cm	30kW
1200	300	900	φ18m×12m	2,100MJ/h	約60L／h	1,800L×3台	直径60cm	45kW

注意点

除染作業で発生する作物残さや雑草の放射性セシウム濃度は比較的低い値を示しますが、針葉樹の枝葉などでは高い数値を示すことがあります。枝葉の放射性物質濃度が高い場合は、放射線濃度に見合ったうすめるための原料が必要になります。

処理材料の水分含有量が高いと、乾燥能力は一定のため処理量が減少し、燃料コストが高くなります。このため、天日乾燥や堆肥発酵処理により材料水分を40%以下に低減させておくことが重要です。

問い合わせ先

農研機構　中央農業総合研究センター　情報広報課　電話 029-838-8979

行政担当者　民間企業　大学・試験研究機関

放射性物質汚染土壌等からの乾式セシウム除去技術

除染で発生する大量の除去土壌中には、放射性セシウムが吸着しています。これら除染で発生する廃棄物量は 2000 万体を超えるとされており、そのほとんどが汚染された土壌です。

この技術は、放射性セシウムの揮発を促進する熱処理条件を明らかにすることにより、汚染された土壌から、土工資材等に利用可能なレベル（100Bq/kg 以下）まで放射性セシウムを分離除去（99% 以上）することができます。

この技術を用いることで、除染によって発生した廃棄土壌等の大幅な減容化が可能であり、除染および及び廃棄物処理の現場での活用が期待されます。

現在、技術の実証を実際のプラントレベルで再現する試験を、飯舘村蕨平地区において環境省の実証事業により進めています。

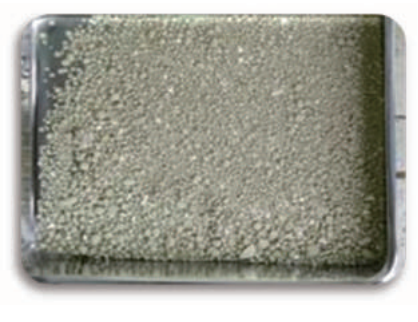
非放射性セシウムが吸着した模擬の土壌を用いたラボ試験では、そのまま加熱したり塩化物を添加して加熱しても、セシウムは殆ど、昇華気化しないという結論をえました。この解決策として高性能反応促進剤（以下、「促進剤」と称する）を開発しました。促進剤を添加することによって、セシウムを 100%近くまで昇華させることが可能となりました。

この知見を基に、放射性セシウム含有模擬汚染土壌および実汚染土壌を用いて、種々条件を変えた管状昇華装置を用いた加熱試験によって、放射性セシウムの浄化に適した促進剤の添加割合および配合、浄化温度と保持時間に関する知見を得ました。結果、再生利用を可能とするクリアランスレベル（100Bq/kg）を満足する浄化処理物を得ることができました。

また、昇華気化した放射性セシウムを集塵機で捕集した微粉末（濃縮セシウム塩）の放射能濃度は数十万～百万 Bq/kg あり、汚染土壌中の放射性セシウムが濃縮されていることを確認しました。回転式昇華装置による連続浄化試験においても、促進剤を適正に添加して、高温（1300℃以上）にすることが重要です。同様に、実汚染土壌に稲わらを添加して連続浄化試験を行った場合でも、100Bq/kg 以下の浄化処理物を得ることができます。

農地除染等により発生する大量の廃土
森林除染残渣、稲わら、堆肥など

高性能反応促進剤と汚染土壌を混合し
回転式昇華装置へ投入



セシウム昇華
（1300℃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
100Bq/kg 以下に処理し
再生利用可能な資材へ

昇華したセシウムは
バグフィルタでキャッチ

除去率を向上させた浄化結果

	汚染土壌 (Bq/kg)			浄化処理物(Bq/kg)			除去率
	Cs134	Cs137	合計	Cs134	Cs137	合計	
実汚染土壌１	27,100	28,900	**56,000**	＜26	19	**＜45**	**99.9%**
実汚染土壌２	33,000	34,300	**67,300**	＜17	29	**＜46**	**99.9%**

実機ベースでの資材化実証試験（平成 26 年～）

飯舘村蕨平において、基礎研究の成果を用いた、仮設資材化施設（処理能力 10 トン / 日程度）を設置しました。

・焼却灰や土壌からセシウムを分離させ、再生利用可能な資材を生成する実証事業を併せて行います。
・浄化処理物は工事資材として使用することが可能となります。

注意点

本成果を用いることで、放射性セシウムに汚染された土壌の大幅な減容化が可能であり、現地での実証、除染及び廃棄物処理の現場での活用が期待されますが、焼却残渣（主灰、飛灰）の保管方法、焼却にかかるコストなどに留意する必要があります。

問い合わせ先

国際農林水産業研究センター　技術促進科　電話 029-838-6717

関連情報

環境省　放射性物質汚染廃棄物処理情報サイト
http://shiteihaiki.env.go.jp/initiatives_fukushima/specified_waste/

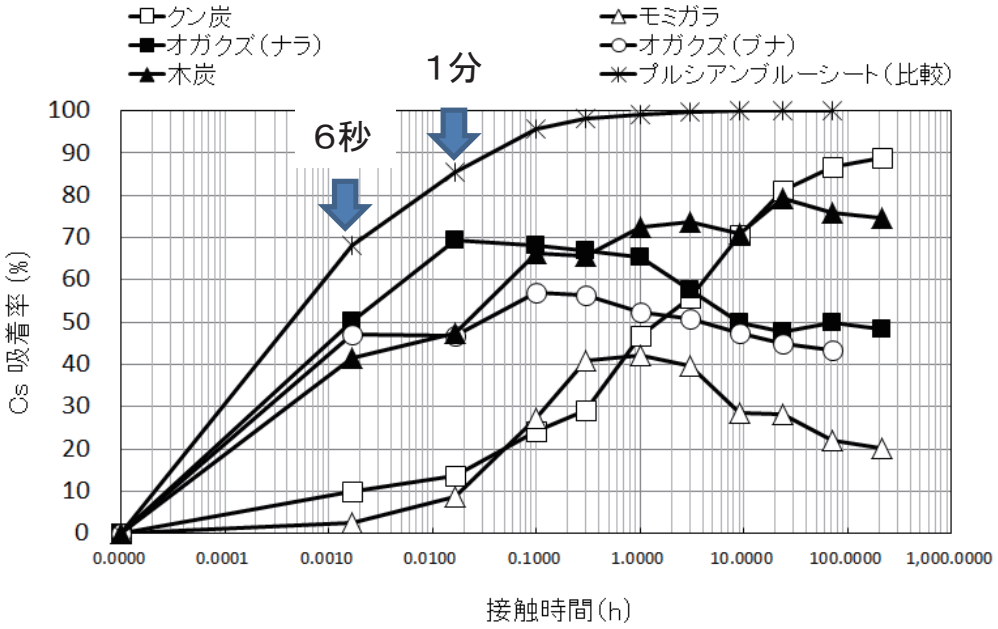
大学・試験研究機関　行政担当者

モミガラ等の低利用有機資材のセシウム吸着特性

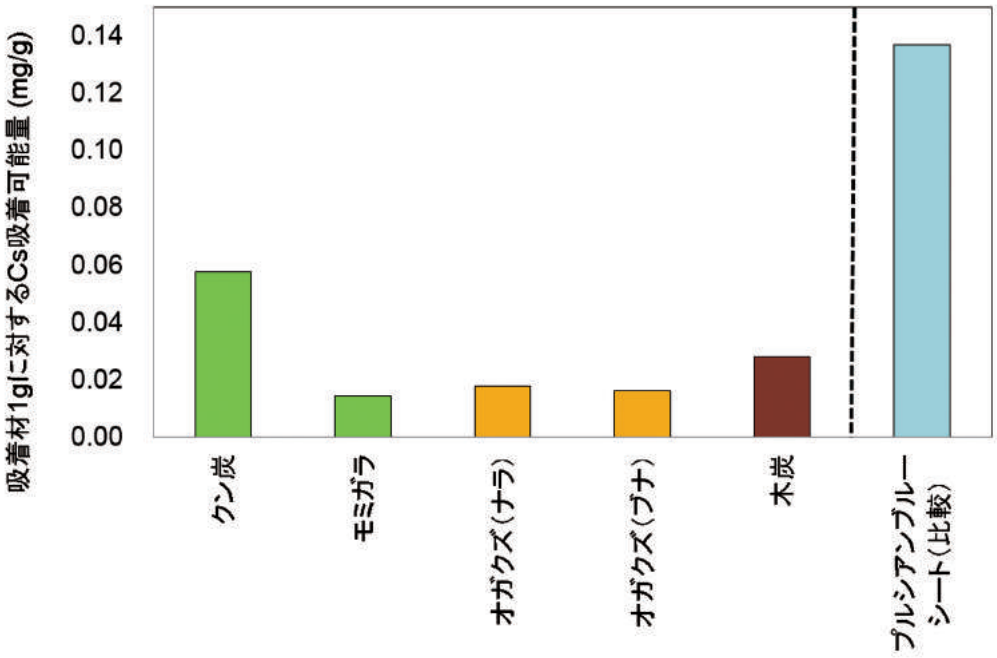
モミガラ等の農村に賦存する低利用有機資材が持つセシウム吸着特性と農業用水の除染効果を調べました。溶存態セシウムの吸着では、水との接触時間が短い場合、オガクズや木炭が比較的優れていました。実際のため池の水を利用した除去試験では、放射性セシウムの除去率はゼオライトフィルターで 35%、モミガラで 17% と効果は限られていました。

2011 年に福島県内各所において放射性セシウム濃度が基準値を超過したコメが見つかったことを契機として、農業用水に含まれる放射性セシウムの対策の検討が求められました。そこで、本研究では、モミガラ等の農村部で比較的容易に入手できる低利用有機資材による農業用水の除染効果を調べました。

まず、モミガラなどの農村部に賦存する低利用有機資材の溶存態セシウムの吸着特性を知るために吸着バッチ試験を行いました。その試験は、セシウムと吸着材の比較的短時間の接触における吸着性も評価できるものです。得られた結果を見ると、特に短時間（6 秒～ 1 分）の接触におけるセシウムの吸着率は、比較対象としたプルシアンブルーシート（不織布）に次いで、オガクズ（ナラ）、オガクズ（ブナ）、木炭で比較的良好な吸着性能が得られました。一方、くん炭は、最終的に 9 割近くのセシウムを吸着したものの、1 分程度の接触時間では、15% 未満の吸着率しか得られなかったため、くん炭の利用にあたっては接触時間を長くとる工夫が必要であることがわかりました。また、モミガラでは、短時間接触によるセシウムの吸着率は極めて低く、最終的な吸着率も 20% 程度と期待される効果は限定的であることがわかりました。



低利用有機資材を用いたセシウムの吸着バッチ試験



各資材の単位質量当たりの吸着量

また、各資材の単位質量当たりのセシウム吸着量は、比較対象としたプルシアンブルーシートと比べると、1～4割程度であることがわかりました。

その他に、用水中に含まれる放射性セシウムの回収を想定して、モミガラ、ゼオライト、くん炭の３資材を充填した袋を水田水口に置いて通水する試験を行いました。

その結果、資材の容量当たりの放射性セシウム回収量は、相対回収効率の比較からゼオライトがやや高く、次いでモミガラ、くん炭の順となりました。このような現場の試験では、懸濁態放射性セシウムの回収が効果の主体となります。この試験では、ゼオライトの２種類の粒径の違いによる放射性セシウム回収率への影響は小さく、通水量の影響が大きいことがわかりました。

また、実際のため池水を利用した同様の試験では、放射性セシウムの除去率は、ゼオライトフィルターで約 35%、モミガラで 17% と効果は限定的でした。除去率は、ろ過資材の多段化や通水流量の制限等により向上する可能性がありますが、目詰まりによる資材の交換など管理に多くの手間がかかるため、実用性は低いものと考えられます。

注意点

本技術では、全般に放射性セシウムの除去効率は低く、実用性は小さい。また、国内の被災地では、農業用水中の放射性セシウム濃度は全般的に低く、吸収抑制対策技術がほぼ整ったので、現在では用水除染のニーズは小さい。さらに、本技術を適用する場合、使用後の有機資材の処分ルートを確保する必要があります。一方、今後、他国を含め同様の災害が生じた際に、代替手段がない場合に活用される可能性があります。

問い合わせ先

農研機構　農村工学研究所　防災研究調整役　電話 029-838-8193

関連情報

農工研技報 214、123-133（2013）

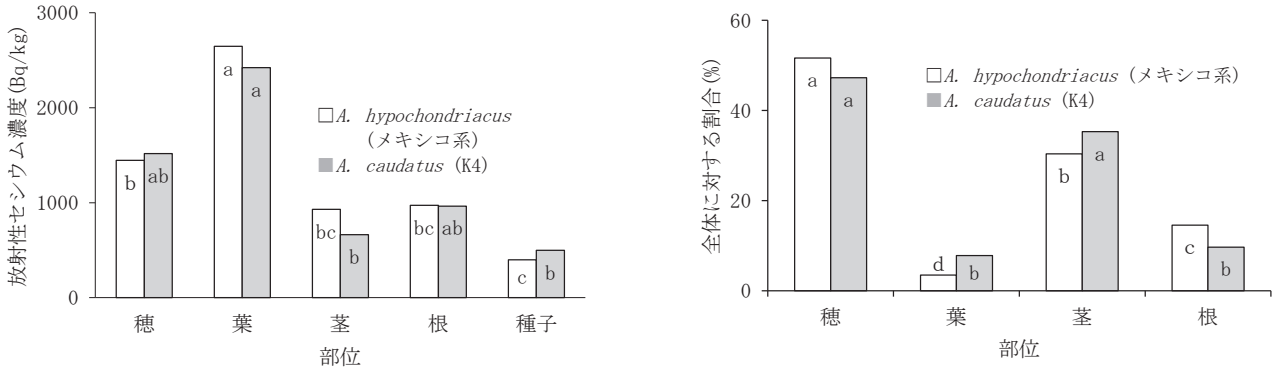
大学・試験研究機関

汚染地域で栽培したアマランサス属の放射性セシウム吸収特性

福島県内の汚染地域で栽培したアマランサスの放射性セシウム濃度は葉部で高く、種子は低い値となります。アマランサスによる放射性セシウムの移行係数はケナフより高い値を示し移行係数、除去率は最大値でそれぞれ 0.354、0.283%です。大学・試験研究機関における研究上の情報として利用できます。

ヒユ科一年生のアマランサス属作物（*Amaranthus spp.*）は土壌から植物体への放射性セシウムの移行性が高いことが報告されています。そのため東京電力福島第一原子力発電所の事故により汚染された福島県内の田圃場と畑圃場において 2011 年から 2013 年の 3 カ年にわたりアマランサス 2 種（*Amaranthus hypochondriacus* L. と *Amaranthus caudatus* L.）と希少金属類の土壌浄化に有効と考えられているケナフ（*Hibiscus cannabinus* L.）を比較として、放射性セシウムの吸収特性を評価しました。

アマランサスの放射性セシウム濃度（^{134}Cs と ^{137}Cs の合算値）は、葉が 2000 Bq/kg を超え最も高く、穂が 1000 Bq/kg を超え、種子が最も低い値を示します。このときの植物体全体の乾物重に対する各部位の割合は、穂が 40%を超え最も高く、葉は最も低くなります。アマランサス 2 種の放射性セシウム濃度に種間差は認められません。アマランサスの放射性セシウムの移行係数は 0.020 から 0.354 の範囲を示し、ケナフより高い値となりました。移行係数は田圃場の方が畑圃場より高く、年々低下する傾向を示します。アマランサスによる土壌中からの放射性セシウムの除去率はケナフより高い値ですが、最大値が「メキシコ系」の 0.283%（2011 年の田圃場）にとどまりました。このようにアマランサス属による除去率は、放射性物質の土壌浄化（ファイトレメディエーション）には十分ではなく、対策としては使えないと考えられます。



アマランサス属の部位別放射性セシウム濃度（左）と乾物重割合（右）

2013 年 9 月 18 日に各 20 個体を調査した結果．放射性セシウム濃度は乾物重当たりの ^{134}Cs と ^{137}Cs の合算値．
異文字は各品種内における部位間の統計的有意差を表す（Tukey 5%）．

アマランサスとケナフの移行係数（上）と除去率（下）の推移

試験場所	種	放射性セシウム移行係数		
		2011年	2012年	2013年
田圃場	*A. hypochondriacus*（メキシコ系）	0.354	0.130	0.228
	A. caudatus(K4)	―	0.288	0.195
	ケナフ(74-3)	0.043	0.023	0.051
畑圃場	*A. hypochondriacus*（メキシコ系）	0.132	0.049	0.020
	A. caudatus(K4)	―	0.116	0.033
	ケナフ(74-3)	0.024	0.035	0.010

試験場所	種	放射性セシウム除去率　(%)		
		2011年	2012年	2013年
田圃場	*A. hypochondriacus*（メキシコ系）	0.283	0.022	0.141
	A. caudatus(K4)	―	0.081	0.092
	ケナフ(74-3)	0.033	0.016	0.042
畑圃場	*A. hypochondriacus*（メキシコ系）	0.106	0.019	0.026
	A. caudatus(K4)	―	0.039	0.027
	ケナフ(74-3)	0.042	0.030	0.015

2011年は10月25日、2012年は9月28日、2013年は10月3日の調査結果.
移行係数=kg当たり植物体（乾物重）放射性セシウム濃度/kg当たり土壌（乾物重）放射性セシウム濃度. 除去率=a当たり放射性セシウム吸収量/a当たり土壌中の放射性セシウム含量（深さ15cm、仮比重：1）×100.

注意点

試験は福島県川俣町において3カ年にわたり同一の田圃場(非湛水)と畑圃場で実施しました。連作栽培ではありません。田と畑圃場における3ヶ年平均の土壌中放射性セシウム濃度はそれぞれ4536 Bq/kg、3499 Bq/kg、交換性カリはそれぞれ17.8 mg K_2O/100g、49.2 mg K_2O/100gでした。

問い合わせ先

農研機構　作物研究所　企画管理室　電話 029-838-8260

関連情報

農研機構　成果情報「汚染地域で栽培したアマランサス属の放射性セシウム吸収特性」
日本作物学会紀事 84「アマランサス属による放射性セシウムのファイトレメディエーション効果」大潟ら(2015)

生産現場　普及関係者　行政担当者

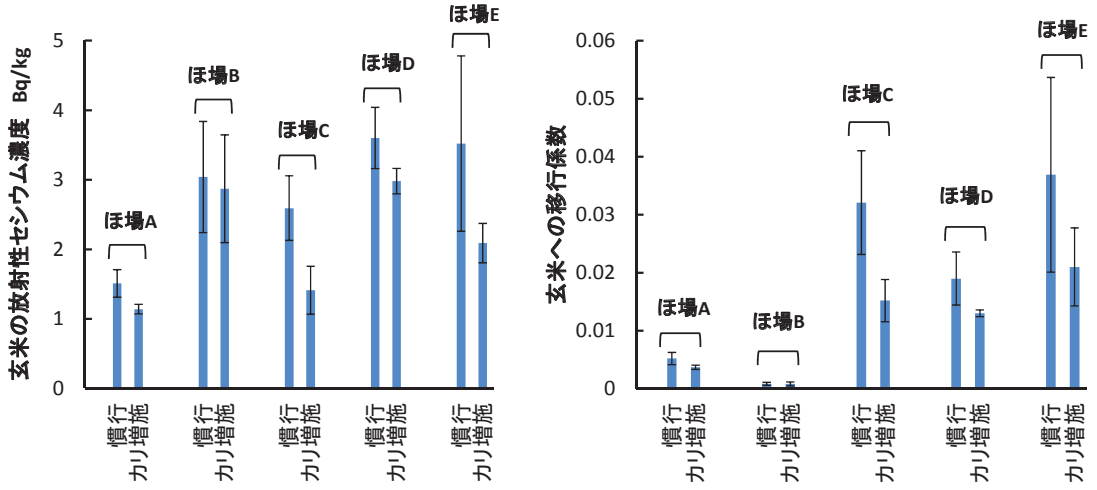
玄米の放射性セシウム濃度低減技術

平成 23 年産や 24 年産のごく一部のコメから、それぞれ暫定基準値（500Bq/kg）や基準値（100Bq/kg）を超える放射性セシウムが検出されました。カリウムの少ない水田では、土壌の交換性カリウムが 25mgK_2O/100g 程度になるように土壌改良し、地域慣行の施肥を行うことにより、玄米の放射性セシウム濃度を低減できます。

カリウムを慣行施肥の 3 倍量施用すると、粘土鉱物としてバーミキュライトを多く含み放射性セシウムの移行係数が低い土壌（下図のほ場 B）を除き、玄米の放射性セシウム濃度や移行係数（水分 15% 玄米の放射性セシウム濃度 Bq/kg ÷作土の放射性セシウム濃度 Bq/kg）が低下しました。

化学肥料に加えて牛ふん堆肥を長期連用した土壌は、化学肥料のみを施用した土壌に比べて、交換性カリウムが高く、玄米の放射性セシウム濃度や移行係数が低くなりました。一方、長年にわたりカリウムを施用していない土壌では、施用した土壌に比べて玄米の放射性セシウム濃度や移行係数が高いことがわかりました。

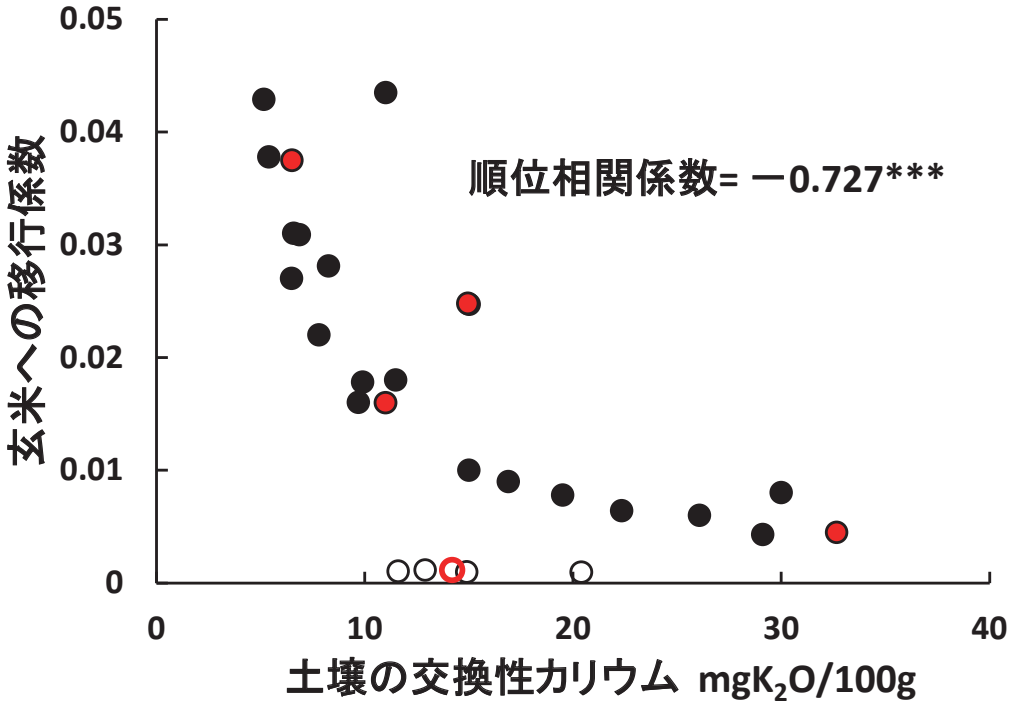
ゼオライトやバーミキュライトなどの土壌改良資材を 0.5t/10a ～ 1t/10a 施用すると、移行係数が低下する傾向が認められた場合もありましたが、統計的な有意差は得られませんでした。低下傾向が認められた事例では、交換性カリウムが増加しており、資材に含まれていたカリウムが吸収抑制に役立ったと考えられます。



カリウム増施用による吸収抑制

カリ増施は、カリの基肥と追肥がともに慣行の 3 倍量。ただし、ほ場 E は基肥のみ 3 倍量。ほ場 A と B：灰色低地土、C：低地水田土（造成）、D と E：多湿黒ボク土。土壌（栽培後）の放射性セシウム濃度（Bq/kg）：A;300、B;3680、C;90、D;210、E;100。品種はすべてコシヒカリ。エラーバーは標準偏差。圃場ごとでは慣行とカリ増施との間に有意差はなかったが、試験全体では 1% 水準で有意差有り。

玄米への移行係数は、粘土鉱物としてバーミキュライトを多く含む土壌を除き、土壌の交換性カリウムが高いほど低下します。ただし、この低減効果は交換性カリウムが 25mgK_2O/100g 以上では小さくなります。



交換性カリウムと玄米への移行係数との関係

白抜きプロット（○）は粘土鉱物としてバーミキュライトを多く含む土壌（前ページの図のほ場 B）。
赤のプロットは土壌改良資材施用区。*** は 0.1% 水準で有意であることを示す。

本成果に基づき、平成 25 年度には福島県、栃木県、宮城県、群馬県内の計 8 万 4 千 ha の水稲作でカリウム資材の増施が行なわれました。

注意点

水稲の健全な生育には、カルシウムやマグネシウム等、他の養分とのバランスも考慮する必要があります。このため、カリウム資材の施用による吸収抑制対策を行う場合には、まず土壌診断を実施して、交換性カリウム含量を把握することが大切です。

問い合わせ先

農研機構　中央農業総合研究センター　情報広報課　電話 029-838-8979

関連情報

農研機構　プレスリリース「玄米の放射性セシウム低減のためのカリ施用」
http://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/press/laboratory/narc/027913.html
農研機構　東日本大震災への対応　水稲に関する研究成果
「水田土壌のカリウム供給力の向上による玄米の放射性セシウム濃度の低減」
http://www.naro.affrc.go.jp/disaster/files/radioactivity_p_r_01.pdf

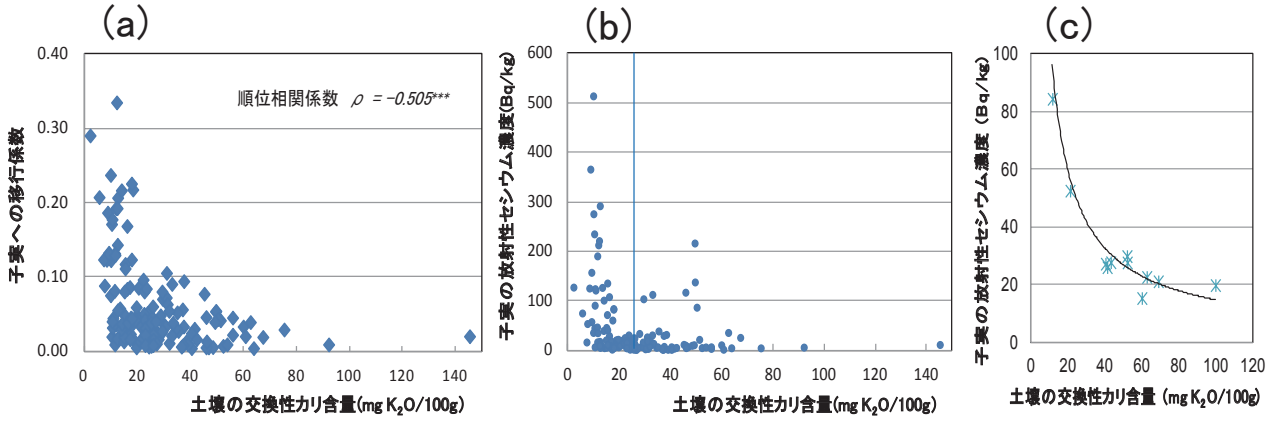
生産現場　普及関係者　行政担当者

カリ施用による大豆子実の放射性セシウム濃度の低減

作土の交換性カリ含量が一定の値を下回ると大豆子実の放射性セシウム（Cs）濃度や移行係数が大きく上昇する場合があります。作土の交換性カリ含量を 25 mg K_2O/100 g 以上とした上で、慣行量の速効性カリ肥料を基肥に施用すれば、子実の放射性 Cs 濃度の殆どを基準値内に抑えられます。

大豆子実への放射性セシウムの移行係数は、作土の交換性カリ含量が増加すると、水稲の目標値とした 25mg K_2O/100g までは大きく低下し、さらに交換性カリ含量が 50mg K_2O/100g 程度までは低下傾向が認められます（a）。

2011 年産で 50Bq/kg を超える放射性セシウムが検出された地域において、2012 年産について 143 地点で調査した結果、収穫後の作土の交換性カリ含量が水稲作での目標値とした 25mg K_2O/100g 以上あれば、大豆の放射性セシウム濃度は 96.5%が基準値（100Bq/kg）以下でした（b）。また、単一圃場では、作土の交換性カリ含量と大豆子実の放射性セシウム濃度の関係はより明瞭になります（c）。

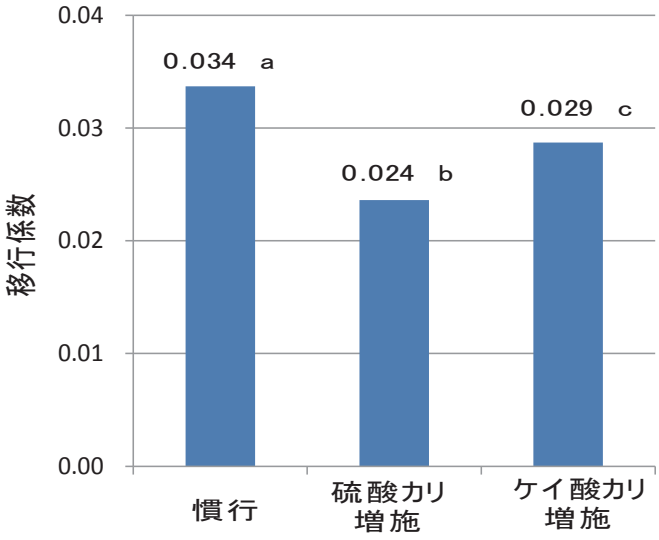


収穫時期の作土の交換性カリ含量と（a）子実への移行係数、（b）、（c）子実の放射性セシウム濃度の関係

（a）、（b）：．平成 2011 年産で 50 Bq/kg を超える放射性セシウムが検出された地域（福島、岩手、宮城、栃木各県）において、2012 年産について調査したデータセット。　（c）：単一圃場におけるデーターセット（福島県内、2013 年産）。放射性セシウムの移行係数、濃度：^{134}Cs と ^{137}Cs の合計。

移行係数:大豆子実の放射性セシウム濃度（Bq/kg 新鮮重）÷作土の放射性セシウム濃度（Bq/kg 乾燥重）により算出。

大豆では、放射性セシウムはカリウムと同様に、主に葉期から子実肥大盛期までに盛んに吸収します。そのため、カリ施肥は基肥を基本とします。カリ施肥は緩効性のケイ酸カリよりも速効性の硫酸カリの基肥施用の方が効果が高いです。速効性カリは硫酸カリ、塩化カリともに放射性セシウム吸収抑制効果は同等で、作土の交換性カリ含量が 90 mg K_2O/100g 程度になるまで施用しても減収は認められません。



硫酸カリ、ケイ酸カリ増施の違いが移行係数に及ぼす効果

※ 図中の a、b、c は、Tukey 法による多重比較において、
5% 水準で有意差があることを示す。
データは 3 地域で実施されたのべ 7 試験の平均値。
カリ肥料の慣行施用量は 8 ～ 10kg K_2O/10a、
カリ増施区は 24 ～ 30kg K_2O/10a で全量を基肥施用した。

以上から、作土の交換性カリ含量が 25mg K_2O/100g を目標として、硫酸カリや塩化カリなどの速効性カリ肥料を施用した上で、地域の施肥基準に応じたカリ施肥を行うことが、大豆子実の放射性セシウム濃度を基準値内に抑えるために有効です。

注意点

カリ肥料の施用量が多いと大豆のマグネシウム吸収を阻害する場合があるため、播種前の酸度矯正では苦土石灰を施用するなど十分なマグネシウム補給を行ってください。大豆作付け期間中の土壌中のカリ含量の推移は、生育量、降水量、土壌特性などによって異なるため、カリウム施肥の際に考慮が必要です。

問い合わせ先

農研機構　中央農業総合研究センター　情報広報課　電話 029-838-8979

関連情報

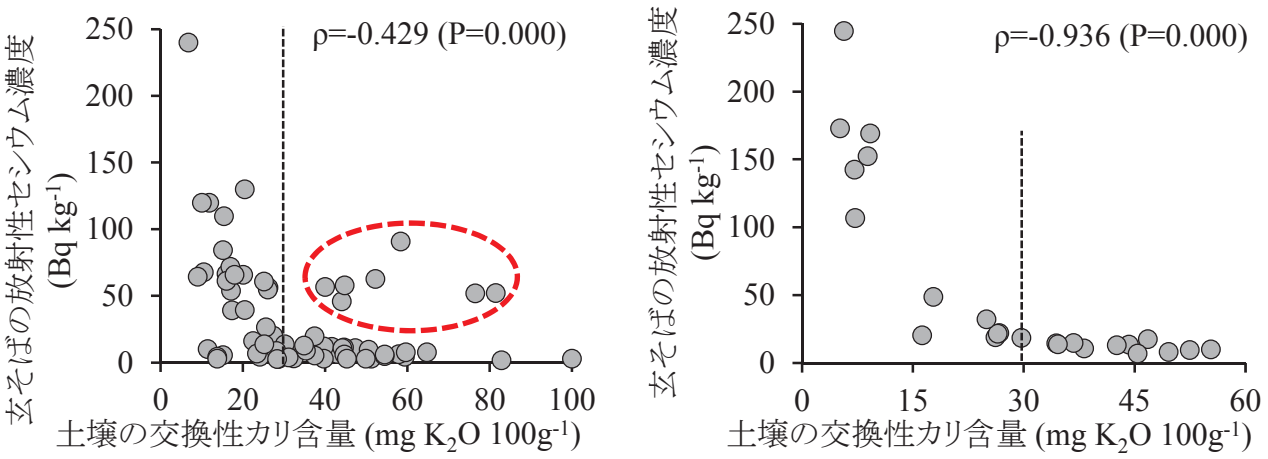
農研機構　成果情報
「カリ施用による大豆子実の放射性セシウム濃度の低減」
http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/narc/2013/13_077.html

生産現場　普及関係者　行政担当者

カリ施用による
玄そばの放射性セシウム濃度の低減

土壌からそばへの放射性セシウムの移行を十分に低減するには、栽培前の作土の交換性カリ（K_2O）含量を速効性のカリ肥料を用いて乾土 100 g あたり 30 mg K_2O を目標に土壌改良した上で、地域の施肥基準に応じた施肥を行うことが有効です。

農家圃場と現地試験圃場いずれにおいても、収穫後の作土の交換性カリ含量が 30mg K_2O/100g 以上だと、交換性放射性セシウムの割合が高い土壌（赤点線内の圃場）を除き、玄そばの放射性セシウム濃度は十分に低下しました。赤点線で囲まれた農家圃場は、土壌の交換性放射性セシウム（植物に吸収されやすい形態の放射性セシウム）の割合が高い傾向にありました。



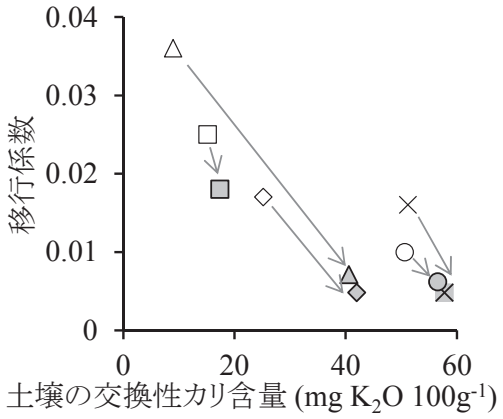
土壌の交換性カリ含量と玄そばの放射性セシウム濃度との関係

左：2012 年の農家圃場（福島県、宮城県、栃木県、岩手県、n=68）
右：2013 年の現地（福島県伊達市）圃場試験
ρ は順位相関係数を、P は有意確率を示す。土壌の交換性カリ含量は収穫後の作土の値。点線は土壌の交換性カリ含量が 30mg K_2O/100g を示す。現地試験圃場は土壌の交換性カリ含量を 4 段階、ゼオライトの施用の有無を設けた。現地圃場試験の品種は会津のかおり。

以上の結果から、そばにおける放射性セシウムの吸収抑制対策として、栽培前の作土の交換性カリ含量を速効性のカリ肥料を用いて 30 mg K_2O/100g 以上とした上で、地域の施肥基準に応じた施肥を行うこととしました。
2013 年には、福島県、宮城県、栃木県、岩手県の 2142ha のそば圃場で、吸収抑制対策が行われました。

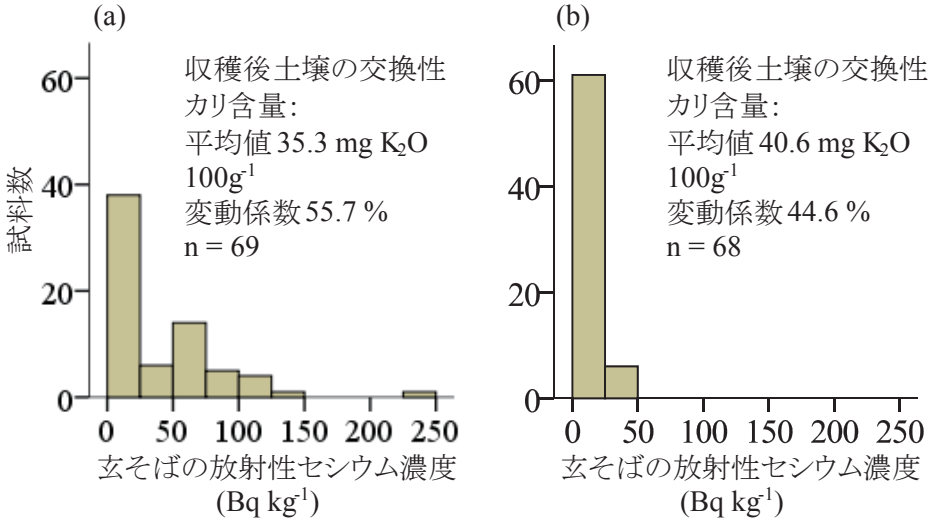
2012 ～ 2013 年にそばを連作した５地点の農家圃場では、2013 年の吸収抑制対策により、2012 年と比較して、いずれの圃場においても作土の交換性カリ含量が増加し、玄そばへの放射性セシウムの移行係数（玄そばの放射性セシウム濃度÷作土の放射性セシウム濃度）は低下しました。

全体として、農家圃場における 2013 年産の玄そばでは、放射性セシウム濃度の基準値（100 Bq kg^{-1}）の超過は認められず、放射性セシウム濃度はすべての玄そばで 50 Bq kg^{-1} 以下となり、2012 年産と比較して大きく低下しました。



そばを連作した農家圃場における収穫後の作土の交換性カリ含量と移行係数

白は 2012 年産、灰色は 2013 年産の値。同一圃場は同一形状のプロット。



農家圃場における 2012 年産（a）および 2013 年産（b）玄そばの放射性セシウム濃度の頻度分布

注意点

カリ肥料を施用しても交換性カリ含量が上がりにくい圃場や、交換性放射性セシウムの割合が高い圃場が稀に存在し、それらの圃場では玄そばの放射性セシウム濃度が高まりやすいことから、土壌の交換性カリ含量と玄そばの放射性セシウム濃度は可能な限り詳細に把握することが大切です。

問い合わせ先

農研機構　東北農業研究センター　情報広報課　電話 019-643-3414

関連情報

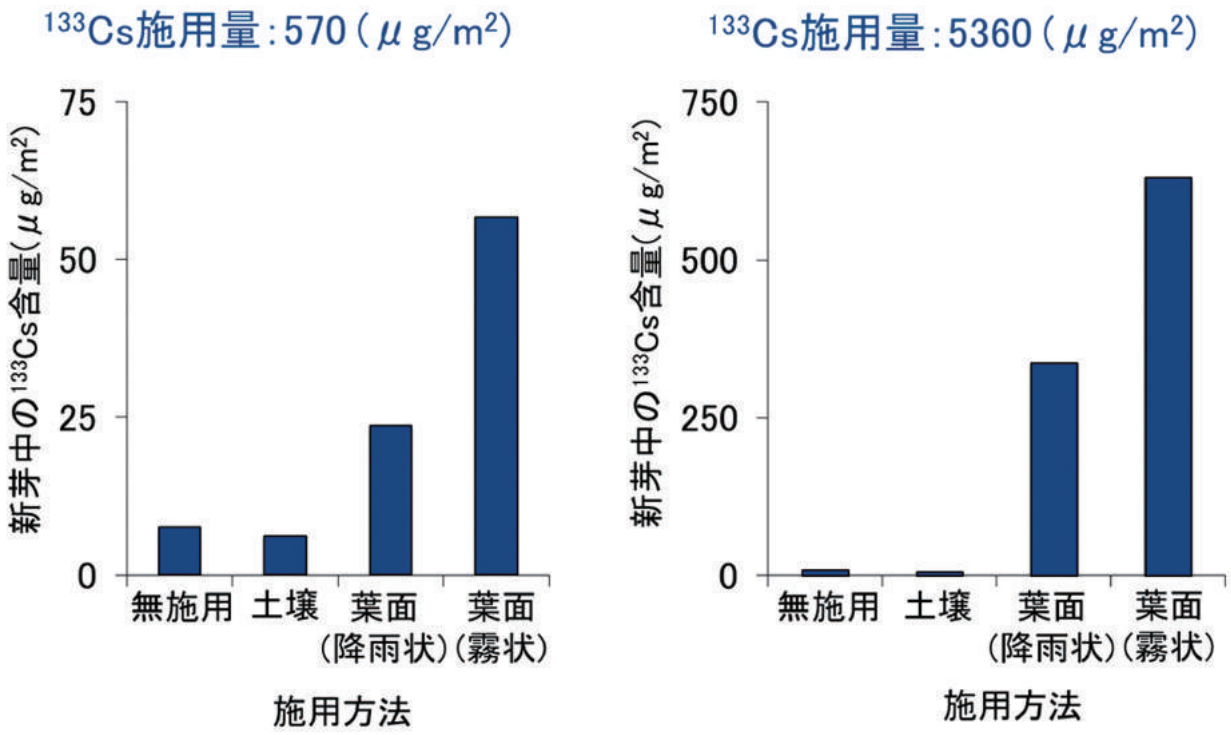
農水省ら（2014）「放射性セシウム濃度の高いそばが発生する要因とその対策について～要因解析調査と試験栽培等の結果の取りまとめ～（概要 第２版）」
http://www.maff.go.jp/j/kanbo/joho/saigai/pdf/h25soba_yoin.pdf（2014 年１月）
Kubo K. et al. (2015) Field Crops Res. 170(1):40-46

生産現場　普及関係者　行政担当者

茶の放射性セシウム濃度低減技術

放射性セシウム濃度の暫定規制値を超過した茶園では、深刈りや中切り等のせん枝を行うことにより、樹体に蓄積された放射性セシウムが除去され、新芽の放射性セシウム濃度を低減できます。

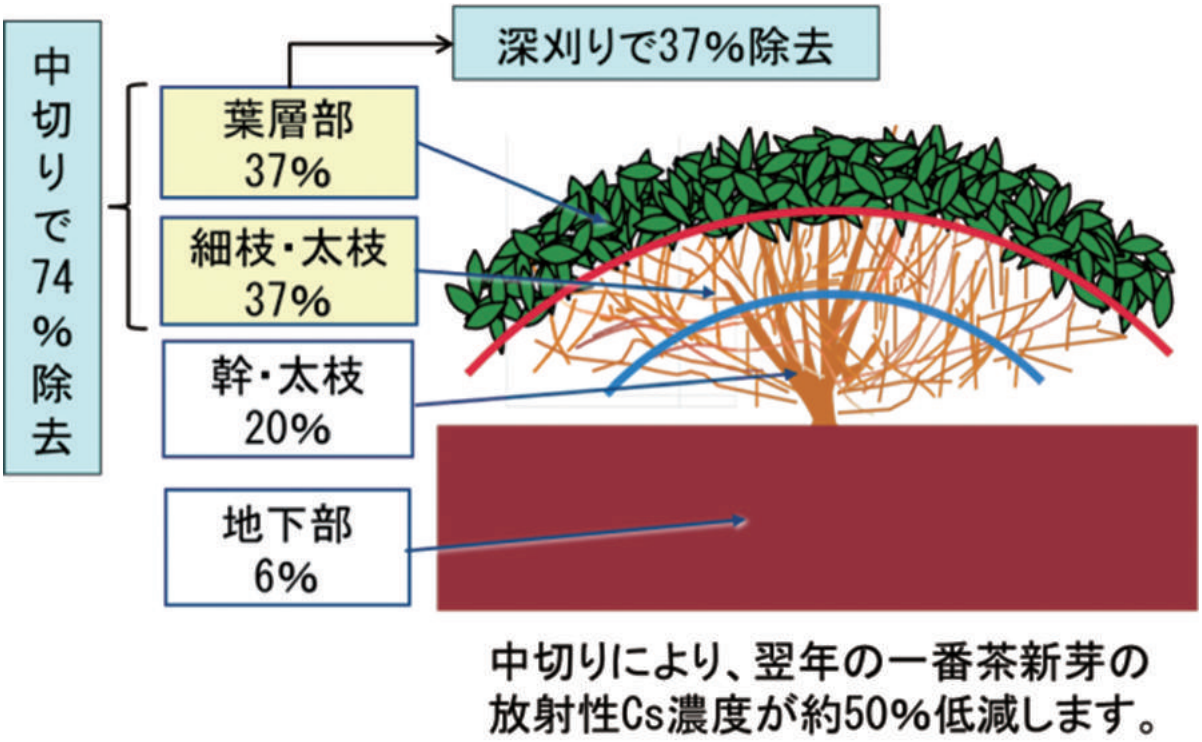
セシウムを土壌あるいは茶の葉面に施用すると、施用から１ヶ月後の新芽中のセシウム含量は、葉面散布で大きい値、土壌施用で小さい値となりました。この傾向は、セシウム散布後４年目までに採取したいずれの茶期の新芽においても変わりませんでした。このことから、土壌から茶の新芽へのセシウムの移行量は小さいと言えます。茶の放射性セシウム汚染の主な原因は、古葉や枝条から吸収されたセシウムの新芽への転流です。



セシウム（^{133}Cs）施用１ヶ月後の二番茶新芽中のセシウム含量

平成 23 年 3 ～ 5 月の放射性セシウムの積算降下量が約 1,400 Bq/m^2 であった地域の茶園において、一番茶摘採後には、深刈り面より上に 37%、中切り面より上に 74% の放射性セシウムが存在しました。これらのせん枝処理を行うことにより、それぞれのせん枝面よりも上に存在する放射性セシウムを樹体から取り除くことができます。中切りによって、翌年の一番茶の放射性セシウム濃度が約 50%低減しました。このように、新芽への放射性セシウムの移行量を低減するための緊急対策手法として、深刈りや中切りなどのせん枝処理が有効です。

関係各県においてこの技術は茶の放射性セシウム濃度の早期低減に有効であることが確認されています。また、この対策は茶産地で広く実施され、平成 25 年から基準値を超過する茶はなくなりました。



一番茶摘採後の茶樹部位ごとのセシウム含量とせん枝による放射性セシウムの除去効果

注意点

せん枝によって刈り取った枝葉の処理については、農林水産省等の方針に従って行う必要があります。

問い合わせ先

農研機構　野菜茶業研究所　研究調整役　電話 050-3533-3802

関連情報

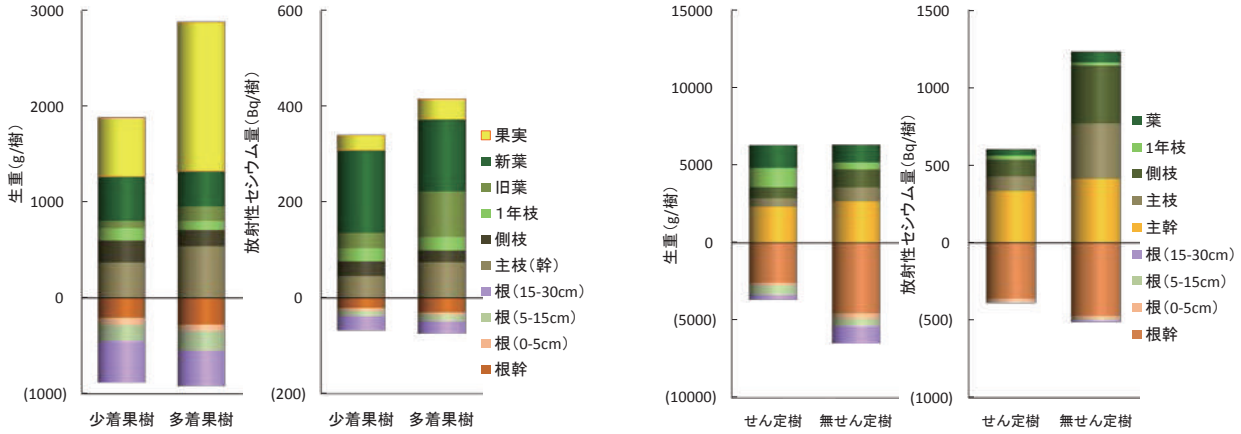
農研機構　成果情報
「チャ新芽へのセシウムの移行とせん枝による放射性セシウムの除去」
http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/vegetea/2011/a00a0_01_73.html

生産現場　普及関係者　行政担当者

果樹における放射性セシウムの移行特性

原発事故による放射性セシウムに直接汚染された部位の放射性セシウム濃度は高いものの、果実の放射性セシウム濃度は、年とともに速やかに低下しています。

2011 年冬期に調査したウンシュウミカンでは、樹全体に含まれる放射性セシウムの約 50% が葉に分布しています。着果量が少なく、汚染後に発生した枝（１年枝）や葉（新葉）が多い樹では、42% が新葉に分布しています。ブルーベリーでは、事故前にせん定していた樹で 54%、無せん定樹で 66% が側枝・主枝・主幹に分布し、樹全体に含まれる放射性セシウム量は、無せん定樹がせん定樹の約 2 倍になっています。しかし、汚染後に発生した枝や葉の分布割合は、ともに 5% 前後です。



ウンシュウミカン（左）とブルーベリー（右）の１樹当たりの各部位の生重と放射性セシウム量

（2011 年、試料採取地：茨城県つくば市）

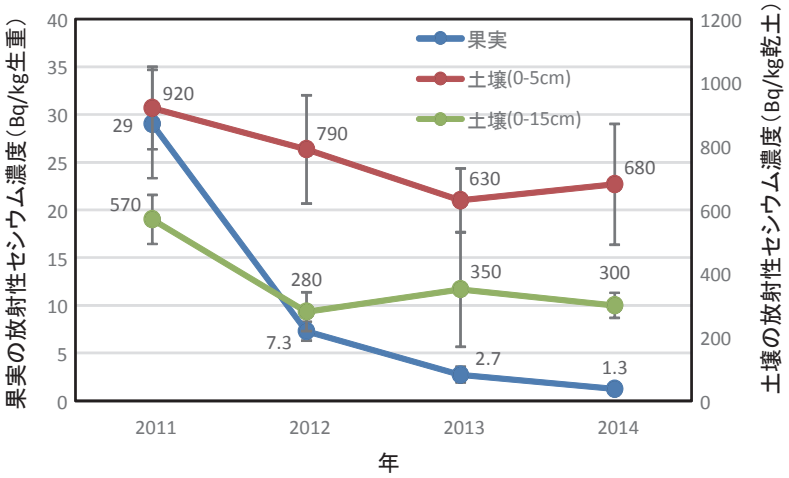
2011 年秋冬期の樹体各部位の放射性セシウム濃度は、事故時に葉があったウンシュウミカンでは葉、葉がなかったブルーベリーでは側枝・主枝で高い値となっていますが、クリでは、事故時にあった枝（2 年枝）と事故後に発生した枝（1 年枝）・葉・果実の濃度に大きな差はありません。ブルーベリー無せん定樹の事故時にあった側枝・主枝の濃度は、せん定樹の 2 倍以上と高く、事故後に発生した 1 年枝・葉の濃度も約 2 倍となっています。

樹体各部位の放射性セシウム濃度（2011 年、試料採取地：茨城県つくば市）

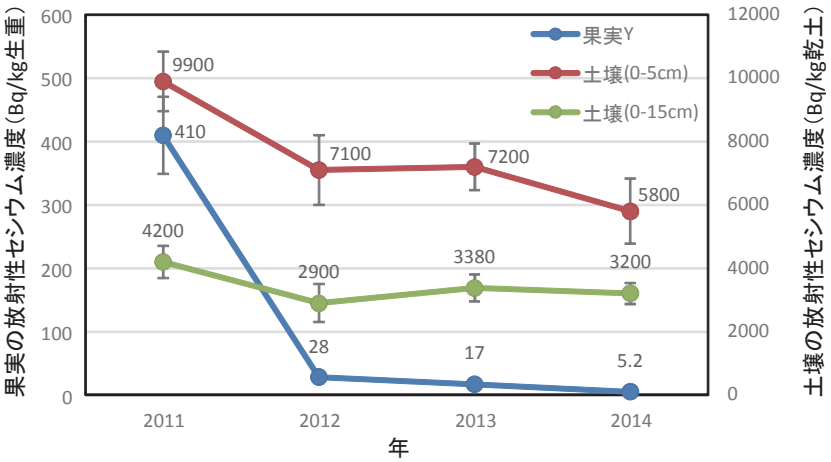
	ウンシュウミカン		ブルーベリー		クリ
	少着果樹	多着果樹	せん定樹	無せん定樹	
果実	51	28	−	−	29
新葉	373	411	27	61	45
旧葉	417	614			
1年枝	211	304	21	42	21
側枝	134	146	153	322	38（2年枝）
主枝			171	397	
主幹			143	154	
主枝・主幹	124	138			
根（ 0- 5cm）	78	78	136	54	8.4
根（ 5-15cm）	65	64	5	21	0-15cmの土壌に含まれる直径7mm以下の根
根（15-30cm）	69	71	7	9	

生重 1kg 当たりの放射性セシウム濃度（Bq/kg）。根の値（ウンシュウミカン、ブルーベリー）は、各深さの土壌中にある直径 2cm 以下の根の濃度。ブルーベリーは収穫後の調査のため、果実の結果はありません。

2011 年から 4 年間、ブルーベリーとクリの果実と植栽土壌の放射性セシウム濃度を調査しました。トラクタなどによる耕起を行わない果樹園では、土壌表層（0-5cm）の放射性セシウム濃度が高くなっています。4 年間の変化を見ると、土壌の放射性セシウム濃度は、放射性セシウムの自然減衰（^{134}Cs と ^{137}Cs が 1:1 で存在すると 2 年後には約 3/4 となる）と同程度に低下しています。しかし、ブルーベリーやクリの果実の放射性セシウム濃度は、より急激に低下しています。



ブルーベリー果実と植栽土壌の放射性セシウム濃度の経年変化（試料採取地：福島市）



クリ果実と植栽土壌の放射性セシウム濃度の経年変化（試料採取地：つくば市）

その他の関連する研究成果もあわせて考えると、果樹では直接汚染された部位から果実へ移行した放射性セシウムが、果実の放射性セシウム濃度を高めている可能性が考えられます。

注意点

放射性セシウムに直接汚染された部位の放射性セシウム濃度が、事故後に発生した新生器官（果実、葉、１年枝）の濃度より高い傾向は、バラ科果樹（モモ、リンゴ、ニホンナシ）、カキ、ブドウ、カンキツ類など多くの果樹で確認されています。

問い合わせ先

農研機構　果樹研究所　業務推進室　電話 029-838-6453

関連情報

農研機構　成果情報

「放射能で汚染されたウンシュウミカンとブルーベリーにおける放射性セシウム分布」
http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/fruit/2012/510b0_03_05.html

「フォールアウトを受けたブルーベリー園における放射性セシウムの動態」
http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/fruit/2014/fruit14_s24.html

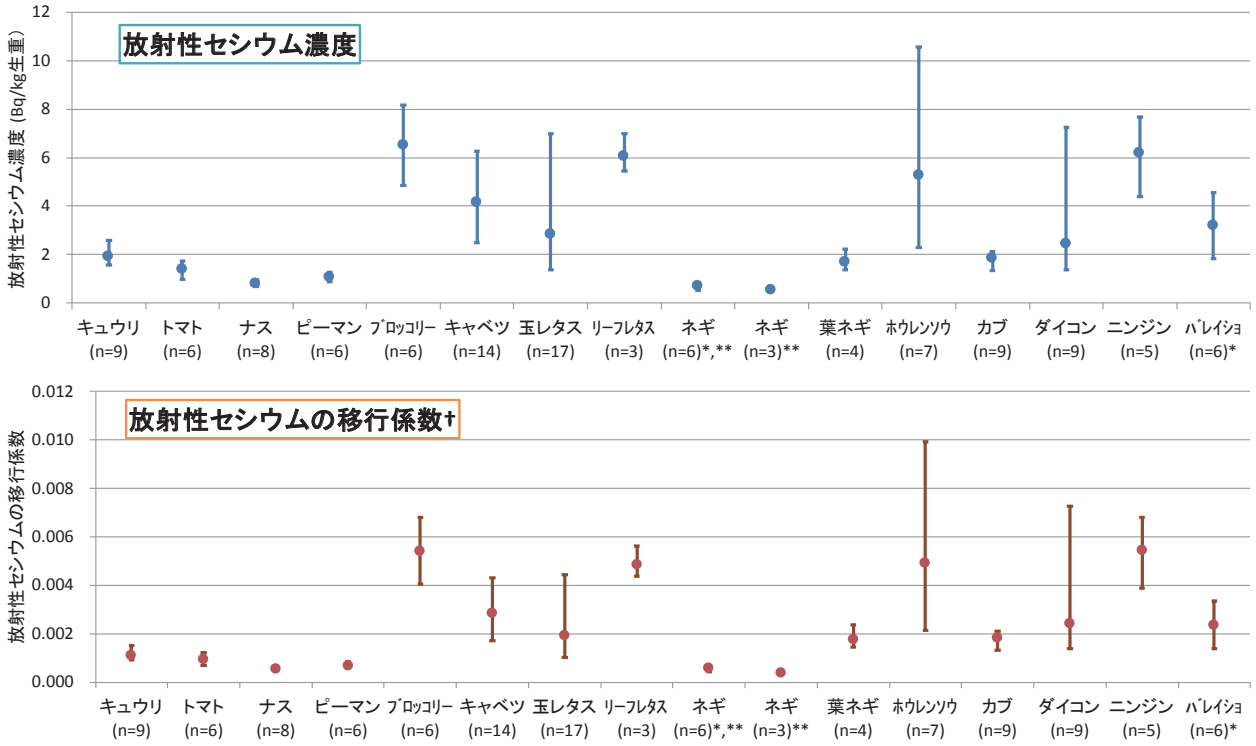
「フォールアウトを受けたクリ園における放射性セシウムの動態」
http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/fruit/2014/fruit14_s23.html

普及関係者　行政担当者

夏作および秋冬作野菜への土壌中の放射性セシウムの移行係数

東日本大震災による原発事故に伴うフォールアウトの影響を受けた土壌においては、半減期が長く土壌中での移動性が低いため作土に長期間残留する放射性セシウムが、農産物の主要な汚染核種になると考えられました。そのため、土壌から農産物への放射性セシウムの移行動態を把握することは重要ですが、野菜についてのデータはほとんど報告されていませんでした。そこで、各種野菜を栽培し、放射性セシウムの移行係数を算出しました。行政部局や普及機関における施策や普及活動上の情報として利用できます。

福島市内の淡色黒ボク土畑（$^{134}Cs+^{137}Cs$ 941 ～ 1698Bq/kg, pH6.3, 交換性カリ 93.6mg/100g, CEC 24.5me/100g）、または、腐植質黒ボク土畑（$^{134}Cs+^{137}Cs$ 872 ～ 1359Bq/kg, pH6.7, 交換性カリ 87.6mg/100g, CEC 30.2me/100g）において、平成 23 年に栽培した夏作野菜 15 品目の可食部への放射性セシウムの移行係数（= 野菜中の放射性セシウム濃度 Bq/kg 生重 / 土壌中の放射性セシウム濃度 Bq/kg 乾土、放射性セシウムは ^{134}Cs と ^{137}Cs の合計）は、0.0004 ～ 0.0055、秋冬作野菜 9 品目の可食部への放射性セシウムの移行係数は、0.0003 ～ 0.0064 です。これらの数値は、農林水産省のプレスリリース（平成 23 年 5 月 27 日）添付資料「農地土壌中の放射性セシウムの野菜類及び果実類への移行の程度」において科学論文に報告されたデータとして示された移行係数 0.0004 ～ 0.039 の範囲内です。

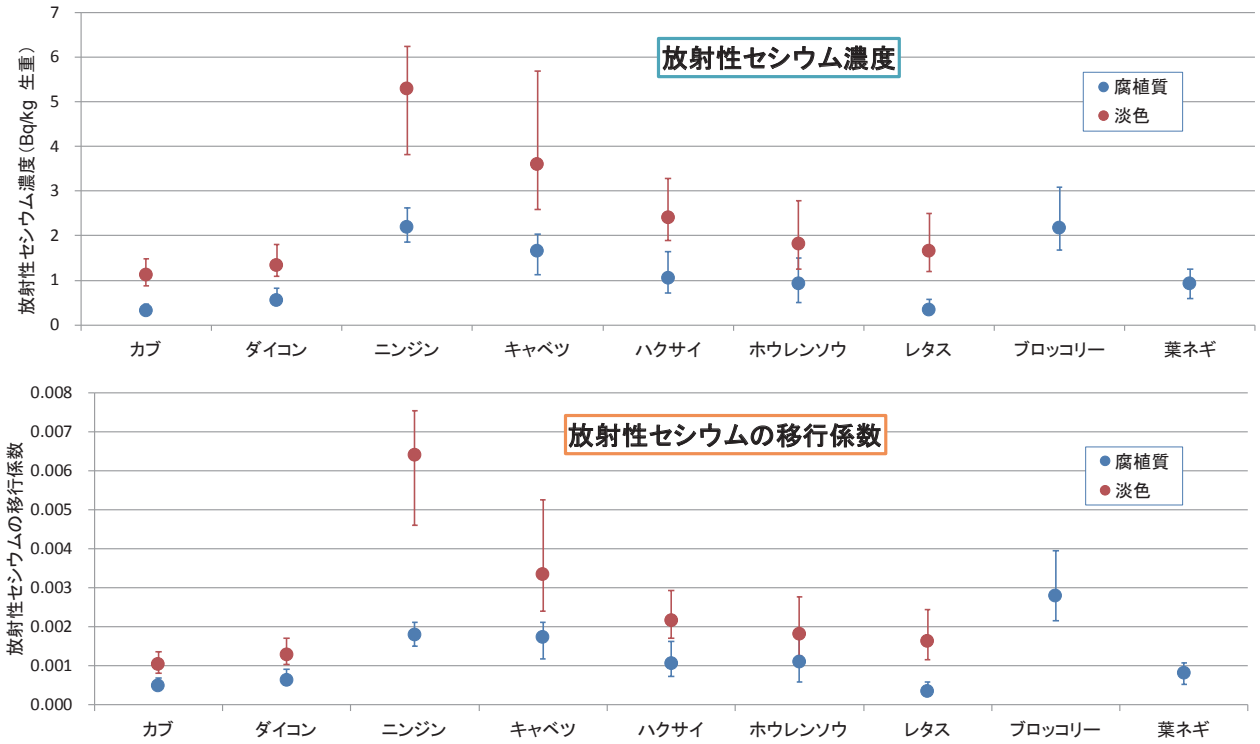


夏作野菜における可食部の放射性セシウム濃度とその土壌からの移行係数

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

夏作野菜の放射性セシウム濃度および移行係数は、葉菜類、いも・根菜類で比較的高く、果菜類で低い傾向にあります。しかし、葉菜類でもネギでは低く、品目によってばらつきがあります。放射性セシウム濃度は最も高いブロッコリーでも 6.49Bq/kg で、野菜の基準値よりきわめて低い値です。

秋冬作野菜の放射性セシウム濃度および移行係数は、ブロッコリー、ニンジン、キャベツで比較的高く、レタス、葉ネギ、ダイコン、カブで低い傾向にあります。放射性セシウム濃度は最も高いニンジンでも 5.31Bq/kg で、野菜の基準値より遙かに低い値です。土壌タイプでは、放射性セシウム濃度、移行係数共に、腐植質黒ボク土より淡色黒ボク土で高くなりましたが、腐植質黒ボク土の方が生育が良かったことも影響した可能性があります。



秋冬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

図中のバーは、最大値－最小値を示す　　サンプル数（n）＝ 9
腐植質黒ボク土と淡色黒ボク土で栽培した

注意点

これらの数値は平成 23 年に福島県の施肥基準に基づいた栽培条件下で得られたもので、異なる土壌条件等の下では変動する可能性があります。

問い合わせ先

農研機構　東北農業研究センター　業務推進室　電話 019-643-3419

関連情報

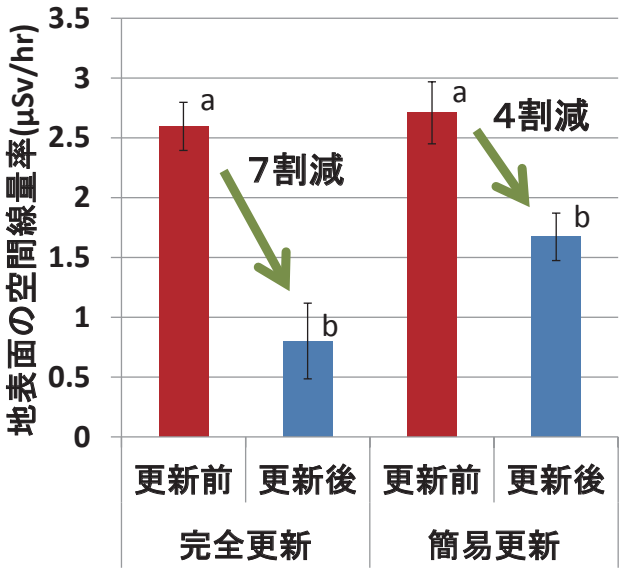
農研機構　成果情報「各種夏作野菜への土壌中の放射性セシウムの移行係数」
http://www.naro.affrc.go.jp/org/tarc/seika/jyouhou/H23/tohoku/H23tohoku001.html
農林水産省農林水産技術会議事務局　平成 23 年度新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業「麦類、ナタネ及び秋冬野菜における放射性セシウムの移行制御技術の開発（課題番号 23069）」
http://www.s.affrc.go.jp/docs/nogyo_gizyutu/pdf/3_1.pdf

生産現場　普及関係者　行政担当者

草地の更新による除染効果と更新作業の要点

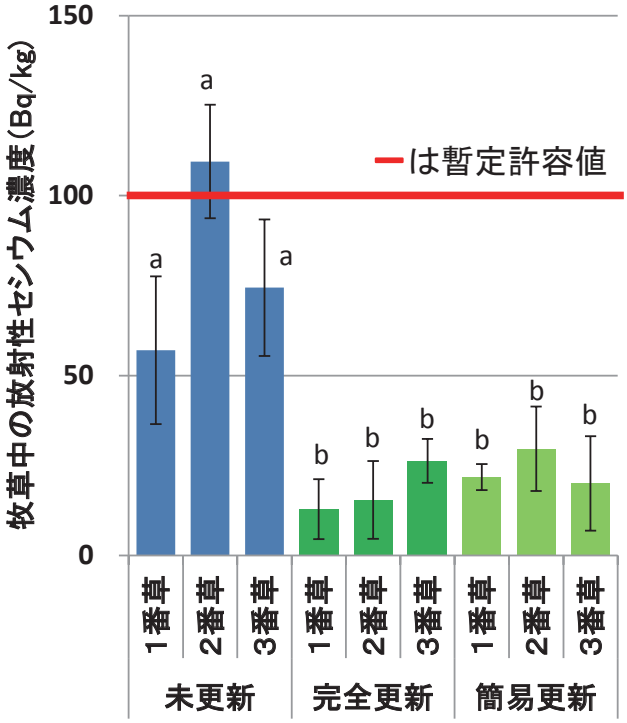
草地の除染の目的は、ひとつは追加外部被ばく線量の低減、もうひとつが生産された牧草中放射性セシウム濃度を暫定許容値以下の濃度とすることです。耕起による土壌の攪拌・混合を伴う草地更新は、草地表面の空間線量率と牧草の放射性セシウム濃度の低減に有効ですが、その低減程度は耕うん法の違いによって異なり、耕深が深いほど、砕土率が高いほど牧草中の放射性セシウム濃度は低減されます。

草地更新は採草地表面の放射線空間線量率と新播牧草中放射性セシウム濃度を低減でき、放射性セシウムを深く埋没させるプラウ耕を組み合わせる完全更新法が有効です。また、十分な土壌撹拌が出来れば、ディスクハロー耕等による表層撹拌でも移行低減効果が得られることから、草地更新で空間線量率と牧草のセシウム濃度の低減を図ることができます。



草地更新前後の草地表面の空間線量率（2011）

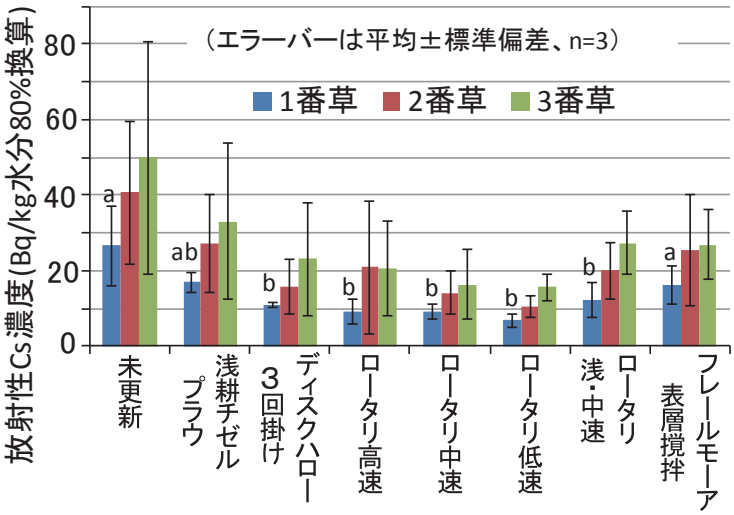
・完全更新（n=44）；
　プラウ耕後にディスクハロー耕を３回実施
・簡易更新（n=33）：
　ディスクハロー耕を３回実施
・各草地を 10m メッシュで区切り、その中央の地表面空間線量率を、サーベイメータ（日立アロカ TGS-121）で測定
・グラフ上の縦棒は標準偏差、各処理の異なる文字間で有意差（p<0.001）あり（t 検定）



草地更新による牧草中放射性セシウム濃度（2012）の低減

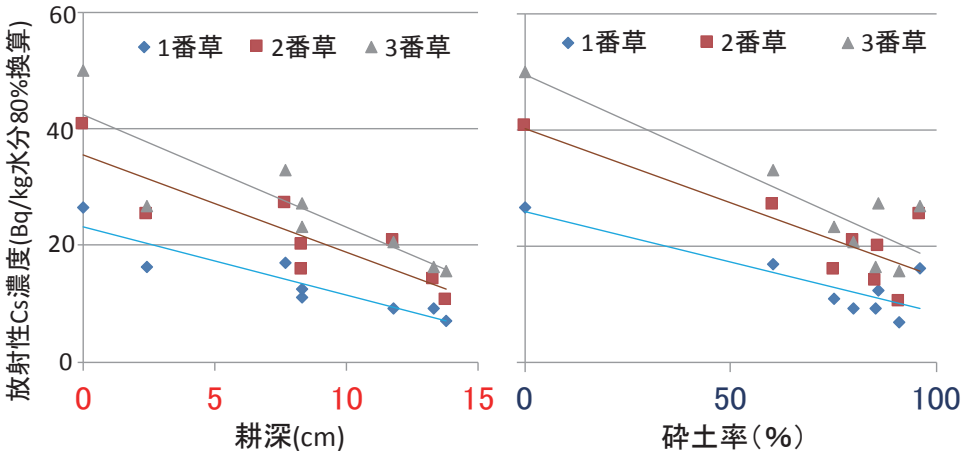
・早春、1、2 番草収穫後、
　$N-P_2O_5-K_2O$= 各 5kg/10a を施用
・グラフ上の縦線は標準偏差、n=3
　各番草の処理の異なる文字間で有意差あり
　（Tukey 法、1･3 番草（p<0.05）、2 番草（p<0.01））

草地更新による牧草の放射性セシウム濃度の低減程度は、耕うん法の違いによって異なり、耕深 13cm まででは、耕深が深いほど、砕土率が高いほど放射性セシウム濃度は低減されました。



耕うん作業法別の牧草放射性セシウム濃度（2013）

1 番草の異なる文字間に有意差あり（P<0.05;Tukey 法）



草地更新時の耕深・砕土率と牧草中の放射性セシウム濃度との関係（2013）

注意点

0-15cm 深土壌中の交換性カリ含量が 30mgK_2O/100g 乾土以下の場合、暫定許容値を超える牧草が生産される事例が散見されることから、草地更新時のカリウム施肥の目標値を 0 ～ 15cm 深土壌 :30 ～ 40mg-K_2O/100g 乾土としています。実施の際は、各自治体の畜産担当課等に問い合わせて行ってください。

問い合わせ先

農研機構　畜産草地研究所

問い合わせ専用フォーム　https://form.affrc.go.jp/nilgs-naro/inquiry/form.html

企画管理部業務推進室　電話 029-838-8618　FAX 029-838-8606

関連情報

農研機構　成果情報

「草地更新により採草地表面の放射線空間線量率と新播牧草中 Cs 濃度を低減できる」

https://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/nilgs/2011/a00a0_01_75.html

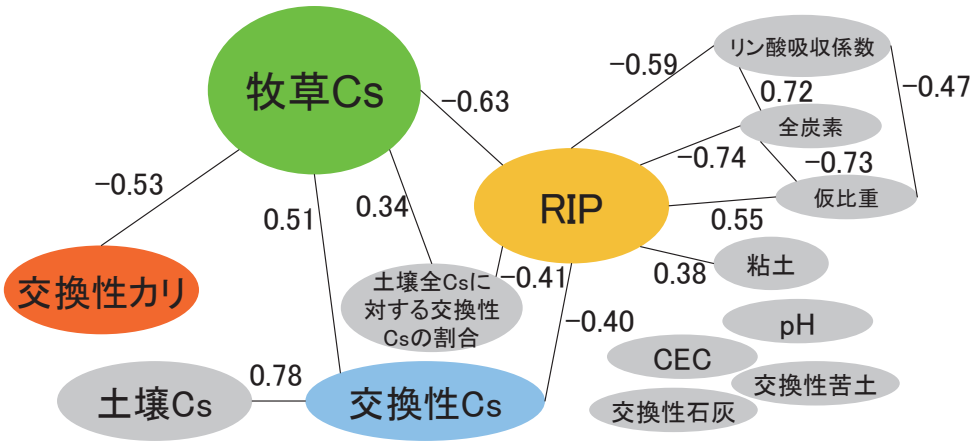
「草地更新による除染では耕深が深く、砕土率が高い耕うん法の効果が高い」

http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/nilgs/2013/13_078.html

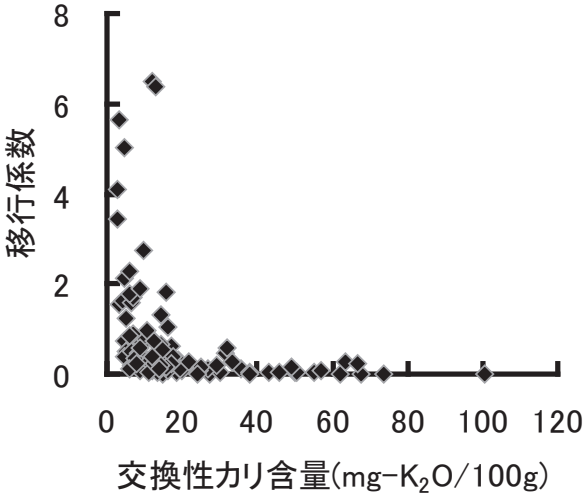
生産現場　普及関係者　行政担当者

牧草の放射性セシウム低減のためのカリ施肥

草地更新による除染を行った草地を調査したところ、牧草の放射性セシウム濃度に関係する主要な土壌化学性は、交換性カリ含量、放射性セシウム捕捉ポテンシャル（RIP）であること、土壌中の交換性カリ含量（0 ～ 15cm 深の目標：30 ～ 40mg-K_2O/100g 乾土）を高めて行う草地更新は、牧草の放射性セシウム吸収抑制に有効であることがわかりました。
また、草地更新による除染を行った採草地は、更新後も適切なカリ施肥の継続が必要です。カリ施肥を怠り、交換性カリ含量が大きく低下すると、牧草中の放射性セシウム濃度は再び暫定許容値を超えることがあります。



牧草中放射性セシウム濃度を中心とした相関図（2012）
数字は相関係数（p<0.05）を示す。
CEC、pH、リン酸吸収係数、粘土含量以外は分布の正規化のために対数変換した。



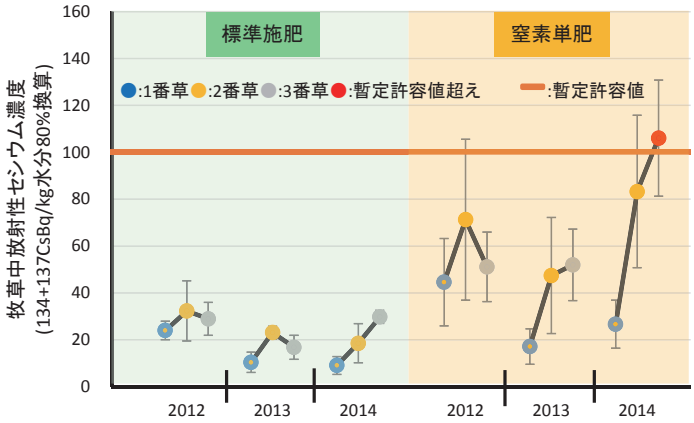
更新草地における牧草への放射性セシウム（^{134}Cs+^{137}Cs）の移行係数と交換性カリ含量との関係（2012）
移行係数：牧草放射性セシウム濃度（水分 80% 換算値）÷土壌放射性セシウム濃度（0-15cm 深）

カリ収支から見て、牧草収穫によるカリウムの採草地土壌からの持出は大きく、窒素単肥での肥培管理のような粗放的な草地管理では、土壌中の交換性カリ含量を大きく低下させます。そのため、持出カリウム量に相当するカリ施肥量（この事例では標準の２～３倍量程度）の施肥により、牧草中の放射性セシウム濃度上昇のリスクを低減することができます。

肥培管理方法別の平均カリ（K_2O）収支

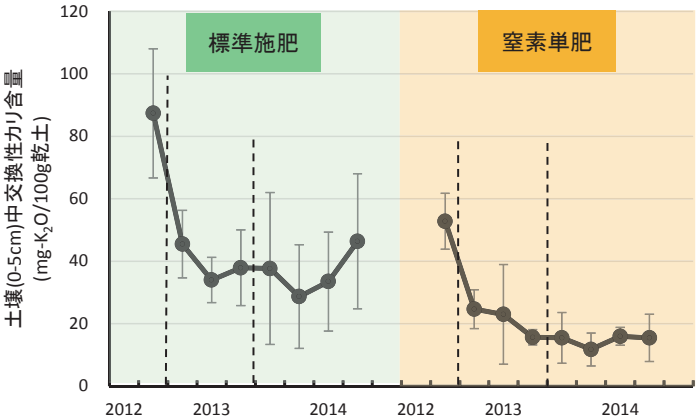
施肥管理	乾物収量(kg/10a/年)			カリ持出量(kg/10a/年)			カリ施肥量	カリ収支(kg/10a/年)		
	2012年	2013年	2014年	2012年	2013年*	2014年*	(kg/10a/年)	2012年**	2013年	2014年
標準	891	996	1119	28	37	36	15	−3	−22	−21
窒素単肥	817	979	978	26	28	24	0	−16	−28	−24

※土壌は褐色低地土　追肥：年3回(早春、1番刈後、2番刈後)
標準区：N-P_2O_5-K_2O=各5kg/10a/回　窒素単肥区：N=5kg/10a/回(尿素使用)
*:^{40}K含量(Bq/kg)からの推定値　**:2012年のカリ収支は更新時の基肥分を加えている



肥培管理方法別の牧草中放射性セシウム濃度の推移（算術平均、n=3、グラフ上の棒線は標準偏差を示す）

注）耕種概要
- 土壌：褐色低地土
- オーチャードグラス優占
- 草地更新：2011 年秋
- 更新時の草地耕起法
  ディスクハロー耕（耕起深 6-7cm）
- 基肥：窒素（N）- リン酸（P_2O_5）- カリ（K_2O）= 各 10kg/10a
- 土壌改良資材：熔りん 100kg/10a、苦土石灰 200kg/10a
- 追肥（早春・1 番・2 番刈後）
  標準施肥区：N-P_2O_5-K_2O= 各 5kg/10a
  窒素（尿素）単肥区：N=5kg/10a
- 土壌（0-15cm）放射性セシウム平均濃度（2014 年 3 月）:2019Bq/kg 乾土



肥培管理方法別の土壌（0-5cm 深）中交換性カリ含量の推移

(算術平均、n=3、グラフ上の棒線は標準偏差を示す)
※耕種概要は同上

注意点

実際の肥培管理にあたっては、適宜土壌診断を行って、交換性カリ含量を把握するとともに、各農業指導機関等に相談し、更新草地の土壌条件に応じて行うことに加え、牧草中のカリウム濃度が高まることに留意してください。

問い合わせ先

農研機構　畜産草地研究所
問い合わせ専用フォーム　https://form.affrc.go.jp/nilgs-naro/inquiry/form.html
企画管理部業務推進室　電話 029-838-8618　FAX 029-838-8606

関連情報

農研機構　成果情報
「更新草地において牧草への放射性セシウムの移行を低減する交換性カリ含量」
http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/nilgs/2013/13-079.html
「牧草中放射性セシウム濃度低減のために、草地更新後もカリ施肥継続は必要」
http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/nilgs/2014/14_079.html

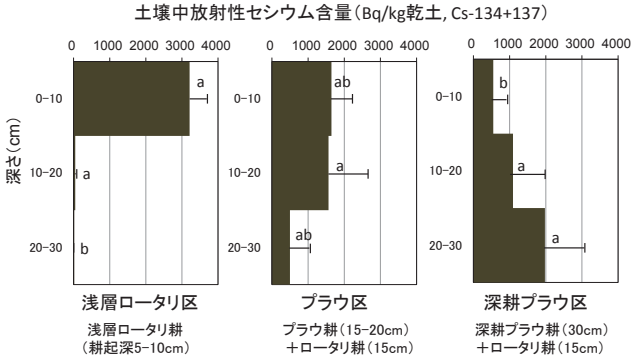
生産現場　普及関係者　行政担当者

堆肥の継続的な施用が単年生飼料作物の放射性セシウム濃度低減に有効

畜産物の放射性セシウム汚染防止のために、飼料中の放射性セシウム濃度を低減させる必要があります。畜産経営では、土ー草ー家畜のサイクルで養分が循環していますが、放射性セシウムがこの循環系に入り込むことによる影響の解明や飼料への蓄積を制御する技術の開発が求められています。

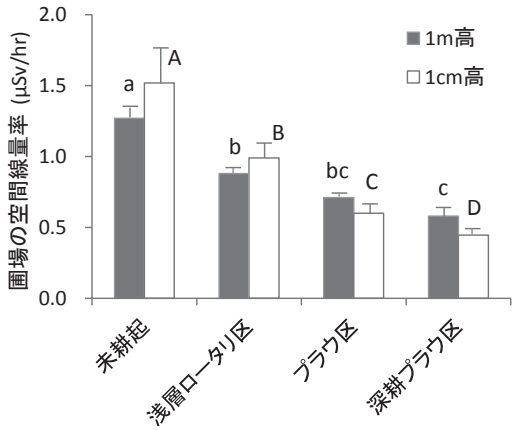
飼料畑で栽培される単年生飼料作物の放射性セシウム濃度の抑制には、作付け毎に施肥基準等で推奨されている量の堆肥を施用して、土壌のカリ肥沃度を維持する養分管理が有効です。

表層土壌に沈着した放射性セシウムをプラウ耕により土壌の深い層に埋設することで、圃場の空間線量率を低下させることが可能です。また、耕起後の圃場でも耕起深を高めることで空間線量率を低下させることができます。これにより作業者の外部被爆量を低減できます。しかし、30cm 程度の深耕プラウ耕では、飼料用トウモロコシ、イタリアンライグラスの放射性セシウム濃度には明確な影響がみられませんでした。



プラウ耕による放射性セシウムの埋設効果

異文字は土壌深さごとに耕起処理区間に有意な差があることを示す（Tukey 法、$P<0.05$）。誤差線は標準偏差を示す。

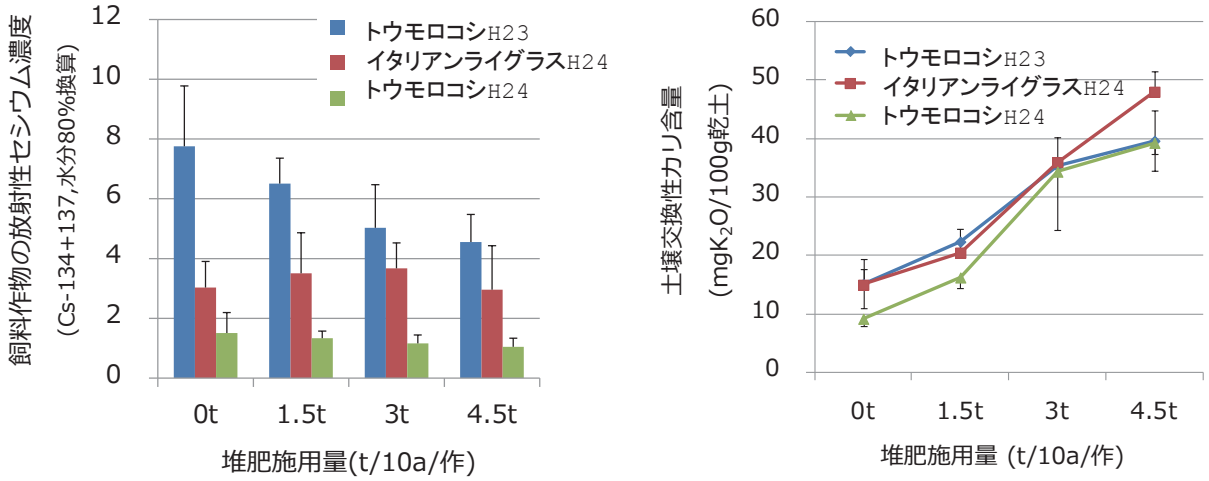


プラウ耕による圃場の空間線量率低減効果

異文字は測定高さごとに耕起処理区間に有意な差があることを示す（Tukey 法、$P<0.05$）。誤差線は標準偏差を示す。

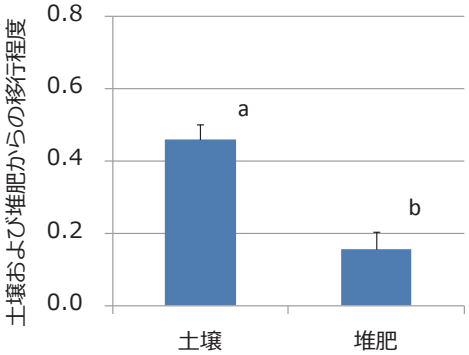
プラウ耕作業の様子（上）とプラウ耕により埋却された表層の分布状況（下）

飼料用トウモロコシーイタリアンライグラス2毛作では、一作あたり3t/10a（カリ成分25kg）程度で、堆肥を継続的に施用することが飼料作物中の放射性セシウム濃度の低減に有効です。また、平成23年に比べて平成24年の放射性セシウム濃度は1/4程度に大幅に減少しています。堆肥3t/10aの継続的施用では、作付け後の交換性カリ含量が飼料畑土壌診断基準の上限値（30～50mgK_2O/100g乾土）程度に維持され、放射性セシウムの移行抑制の点からも望ましい養分管理です。



堆肥の継続的な施用による飼料用トウモロコシの放射性セシウム濃度の低減

堆肥に放射性セシウムが含まれることもありますが、土壌に比べて移行程度も低く、このような堆肥施用による作物への影響は小さいと考えられます。



土壌の放射性セシウム濃度20Bq/kgの圃場に、放射性セシウム3800Bq/kgの牛ふん堆肥7t/10aを施用し、飼料用トウモロコシを栽培して調査しました。

土壌からの放射性セシウムの移行程度は、非汚染堆肥区について下式から算出し、堆肥からの移行程度は、汚染堆肥区から非汚染堆肥区を差し引いた値について下式から算出しました。

移行程度＝作物濃度÷土壌濃度

（いずれも乾重あたりの濃度）

堆肥の継続的な施用による飼料用トウモロコシの放射性セシウム濃度の低減

注意点

イタリアンライグラスについては、採取深20cm程度の交換性カリが15mg/100g程度以上あれば、それ以上の堆肥やカリ肥料施用による放射性セシウム低減効果は得られていません。堆肥中放射性セシウムの暫定許容値は、畜産農家が自らの圃場に還元する等の例外を除き、400Bq/kg（製品重量）となっています。

問い合わせ先

農研機構　畜産草地研究所
問い合わせ専用フォーム　https://form.affrc.go.jp/nilgs-naro/inquiry/form.html
企画管理部業務推進室　電話 029-838-8618　FAX 029-838-8606

関連情報

農研機構　成果情報「堆肥の継続的な施用は飼料用トウモロコシの放射性セシウム低減に有効である」
http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/nilgs/2011/a00a0_01_74.html

Harada H et al. (2014) Transfer factor of radioactive cesium of forage corn (*Zea mays* L.) from soil to which contaminated farmyard manure had been applied. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 60, 782-789, http://dx.doi.org/10.1080/00380768.2014.919835

Harada H *et al.* (2015) Cesium-137 concentration of forage corn and Italian ryegrass in a double cropping system under different rates of cattle farmyard manure application after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station accident in 2011. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 61, 972-982, http://dx.doi.org/10.1080/00380768.2015.1066233

生産現場　普及関係者　行政担当者

放射性セシウムを含む家畜ふん堆肥やサイレージの安全な処理・利用方法

放射性セシウムを暫定許容値以上に含有する家畜ふん堆肥や牧草サイレージが残存しています。これらの汚染バイオマスの処理にあたっては、合理的でかつ、作業者の安全が確保できるような処理方法を採用する必要があります。バケットローダによる家畜ふん堆肥のハンドリング作業では粉塵吸引による内部被曝が相対的に小さいこと、汚染サイレージは堆肥化によって放射性セシウムを内部に留めたまま減量・減容できること、汚染サイレージを圃場にすき込んでも作物への移行は限定的であること、などが明らかとなりました。

放射性セシウム濃度が暫定許容値を大きく超える堆肥であっても、切り返し作業中の吸塵による内部被曝は、堆肥が生産された地域における外部被曝量に比べて小さい値でした。

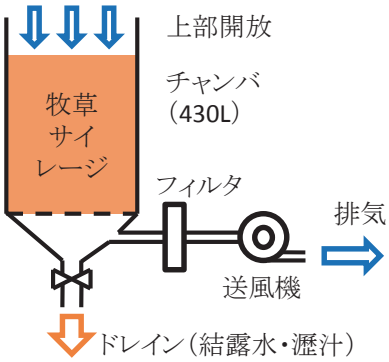
堆肥切り返し作業１時間あたりの被曝量比較

作業者分類		内部被曝線量（預託実効線量）	外部被曝線量
バケットローダのオペレータ	キャビン付き	測定限界以下	0.6
	キャビン無し・マスク防護無し	0.02	
堆肥舎周辺作業者	マスク防護無し	0.004～0.007	0.4～0.9

単位：μSv、作業1時間あたり
測定場所：畜産草地研究所那須研究拠点（屋外の空間線量率は0.6～1μSv/h程度）
供試堆肥：4530Bq／kg現物、水分41%、約10ｔ

堆肥切り返し作業

吸引通気式堆肥化装置を用いて放射性セシウム汚染サイレージを堆肥化し、通気および排出されるドレイン（結露水や滴汁）の放射性セシウム濃度を測定しました。堆肥中を通過してきた通気および堆肥化装置周囲の空気から放射性セシウムは検出されませんでした。ドレイン中には低濃度の放射性セシウムが含まれましたが、総量は僅かでした。



吸引通気式堆肥化装置による堆肥化

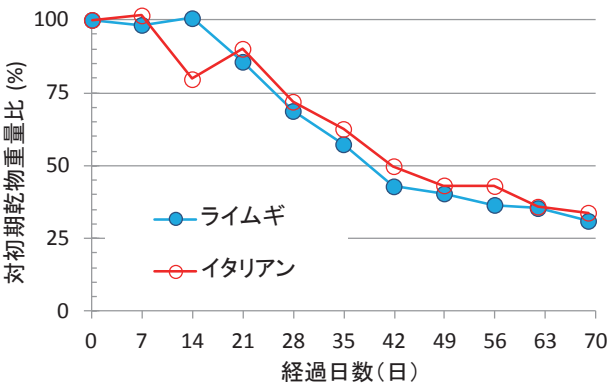
吸引空気とドレインの放射能濃度

	開始～5週間後まで						
	吸引空気			ドレイン			
	通気量（m^3）	放射能濃度（Bq/m^3）（検出下限値） Cs-134	Cs-137	重量（kg）	放射能濃度（Bq/kg） Cs-134	Cs-137	放射能（Bq）
ライムギ	502	N.D.（0.0009）	N.D.（0.0005）	18.1	7.3	7.7	271
イタリアンライグラス	502	N.D.（0.0005）	N.D.（0.0004）	25.8	2.9	3.4	165
周辺空気	1800	N.D.（0.0002）	N.D.（0.0002）	－	－	－	－

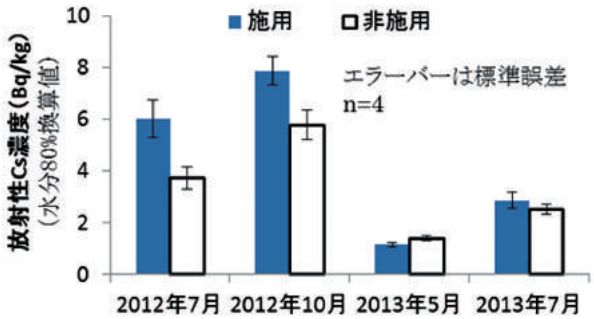
・ドレインの放射能はCs-134とCs-137の和

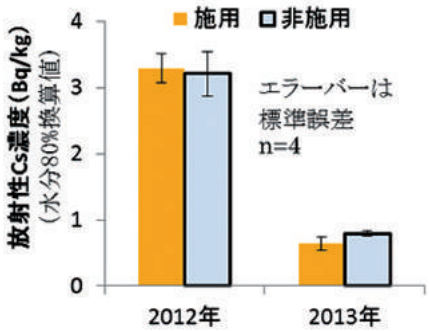
原料サイレージの乾物量は10週間後に1/2～1/3に減少し、容積はおよそ1/2となりました。原料サイレージに含まれる放射性セシウムはほとんど全て堆肥化物中に留まるため、周辺環境を汚染せずに減量・減容が可能です。

放射性セシウム汚染サイレージ22,000Bq/m2相当量を圃場にすき込んだ後に飼料作物を栽培したところ、すき込み当年のオーチャードグラスの放射性セシウム濃度は約2Bq/kg（水分80%換算）高くなりましたが、僅かな上昇に留まりました。2年目以降および飼料用トウモロコシでは放射性セシウム濃度の上昇は認められませんでした。散布前後の空間線量率には明確な変化は見られませんでした。



堆肥化による乾物重量の減少





放射性セシウム含有サイレージ還元施用圃場の作物中RCs濃度
（左：オーチャードグラス、右：トウモロコシ）

土壌：褐色低地土、土壌中RCs濃度：625Bq／kg乾土、交換性カリ：23.6mg／100g、
施用サイレージ中RCs濃度：4560Bq／kg現物、施用量：4.9t現物／10a

①ベールを細断しマニュアスプレッダに積載

②マニュアスプレッダで圃場に散布

③プラウですき込み

注意点

圃場条件等により放射性セシウムの移行程度は異なる可能性があります。細断型でないロールベーラで梱包されたベールでは、マニュアスプレッダ積載の前にベールシュレッダやフィードミキサによる解体切断工程が必要です。飼料に供することができない牧草等のすき込みは、8,000Bq／kg以下の場合に、生産された圃場へ還元できます。8,000Bq／kgを超える場合、すき込み処理はできません。

問い合わせ先

農研機構　畜産草地研究所
問い合わせ専用フォーム https://form.affrc.go.jp/nilgs-aro/inquiry/form.html
企画管理部業務推進室　電話 029-838-8618　FAX 029-838-8606

関連情報

農研機構シンポジウム「自給飼料および畜産物への放射性物質移行とその低減技術」資料
http://www.naro.affrc.go.jp/nilgs/kenkyukai/noken_sympo/index.html

生産現場　大学・試験研究機関

水稲のセシウム濃度についての品種間差および土壌交換性セシウム／カリウム比との関係

同一圃場で育てた水稲の地上部全体および玄米のセシウム濃度には品種間差があり、インド型品種で高く、日本型品種では「ふくひびき」等が濃度が低い傾向があります。また、玄米のセシウム濃度は土壌のバーミキュライト量に関わらず土壌交換性セシウム／カリウム比と正相関が高くなります。

飼料用イネのセシウム濃度に関する品種間差異

水稲の放射性セシウム濃度の低減対策の１つとして、放射性セシウム濃度の低い品種の利用が考えられます。特に、飼料用イネでは、草型や遺伝的背景などに変異が大きいため、品種選択による低減効果が大きいことが期待できます。そこで、飼料用イネ品種を中心に幅広いタイプのイネを栽培し、稲発酵粗飼料（稲 WCS）として利用される地上部全体および飼料用米として利用される粗玄米のセシウム濃度の品種間差を明らかにしました。濃度測定に当たり、2012 年は茨城県つくばみらい市の水田圃場で 20 品種 3 反復で非放射性の ^{133}Cs について濃度を比較し、2013 年は福島県内のある圃場で 9 品種 5 反復で ^{134}Cs と ^{137}Cs の合計である放射性セシウムの濃度を比較しました。

稲 WCS での利用を想定した地上部全体のセシウム濃度（水分 80％換算値）は、両年ともインド型品種の多くで日本型品種と比べ有意に高く、最大で2.1-3.3倍の品種間差が認められます。また、粗玄米のセシウム濃度を見た場合、暫定許容値基準にあわせて 15％に水分換算すると、稲 WCS を想定した地上部全体の濃度と比較して高い値となります。粗玄米のセシウム濃度は、地上部全体と同様にインド型品種の多くで日本型品種と有意な差があります。その差は最大で 3.0-4.5 倍の開きがあり、地上部全体よりも差が開く傾向があります。地上部全体及び粗玄米の双方において、日本型品種の中にも品種間差はありますが、「ふくひびき」などは両年とも濃度が安定して低い水準にあります。

表　飼料用イネの非放射性セシウム濃度の品種間差異（2012 年）

品種・系統名	地上部全体(WCS) Cs濃度（μg/kg-水分80%換算）	粗玄米 Cs濃度（μg/kg-水分15%換算）	生態型
ハバタキ	3.88 a	9.13 abc	インド型
IR64	3.77 a	9.31 abc	インド型
北陸193号	3.75 a	11.51 a	インド型
もちだわら	3.60 a	10.14 ab	インド型
ミナミユタカ	3.09 a	7.03 cdef	インド型
タカナリ	3.05 ab	8.36 bcd	インド型
たちすがた	2.66 ab	4.52 gh	中間型
べこあおば	2.59 bc	6.19 defg	日本型
リーフスター	2.47 bc	4.63 fgh	日本型
関東飼242号	2.46 bc	7.05 cde	インド型
たちあやか	2.32 bc	3.23 h	日本型
夢あおば	2.31 bc	5.03 efgh	日本型
Kasalath	2.25 bc	5.95 defg	インド型
ホシアオバ	2.13 c	4.01 gh	日本型
たちはやて	2.10 c	4.87 efgh	日本型
べこごのみ	2.04 c	4.29 gh	日本型
コシヒカリ	2.02 c	4.02 gh	日本型
日本晴	1.99 c	3.28 h	日本型
ひとめぼれ	1.91 c	3.85 gh	日本型
ふくひびき	1.84 c	3.78 gh	日本型

注1）同一記号はTukeyの多重比較において有意差がないことを意味する。(P<0.05)
2）セシウム濃度については、地上部全体及び粗玄米とも利用場面に即した水分値で換算した。

表　飼料用イネの放射性セシウム濃度の品種間差異（2013 年）

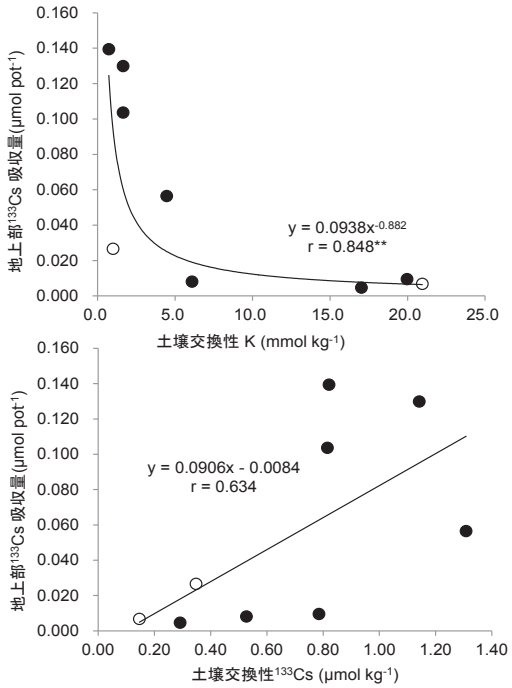
品種名	地上部全体 Cs濃度（Bq/Kg）	粗玄米 Cs濃度（Bq/Kg）
ハバタキ	99 a	230 ab
北陸193号	98 a	285 a
たちはやて	73 b	159 cd
モミロマン	64 bc	179 bc
夢あおば	47 cd	117 de
べこあおば	42 cd	112 de
ひとめぼれ	38 d	79 e
べこごのみ	31 d	65 e
ふくひびき	30 d	64 e

注1）^{134}Csと^{137}Csの合計値であり、日付を2013/10/1に揃えて、減衰率補正を行った。
2）同一記号はTukeyの多重比較において有意差がないことを意味する。(P<0.05)
3）土壌のCs濃度は圃場平均で5590Bq/KgDWである。

現在、放射性セシウム濃度の低減対策としてはカリウム施用等が有効と考えられていますが、継続的なカリウム施用は資材費や環境への負荷の点で問題があると考えられます。飼料用イネでは、上述のように、セシウム濃度の品種間差が認められますので、「ふくひびき」など放射性セシウムを蓄積しにくい品種の利用も低減対策として有効になると考えられます。

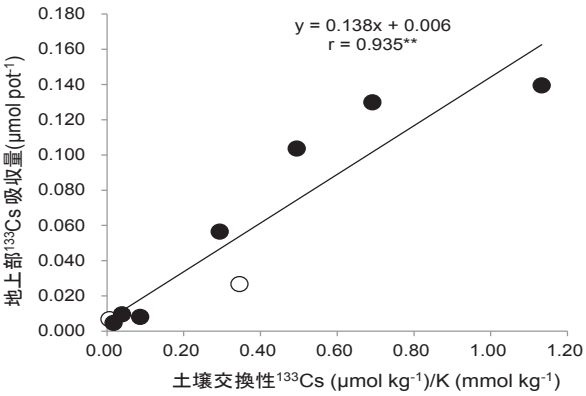
水稲のセシウム吸収・蓄積と土壌交換性セシウム / カリウム比との関係

コメの放射性セシウム濃度の低減対策を確立するためには、セシウムの吸収、蓄積に影響する土壌要因の詳細な解明が必要です。これまでコメの放射性セシウム吸収は土壌の交換性カリウムが高まると低下する関係があることがよく知られていますが、バーミキュライトが多い土壌などでは同じ交換性カリウム濃度であっても、セシウム吸収がより低くなる場合がみられます。また、非放射性セシウム吸収量は交換性セシウムが高い土壌で増加する傾向にありますが有意な関係はみられません。以上より、単純に土壌中のカリウム濃度・セシウム濃度だけでは、セシウム吸収・蓄積を推定する土壌指標としては不十分と考えられます。

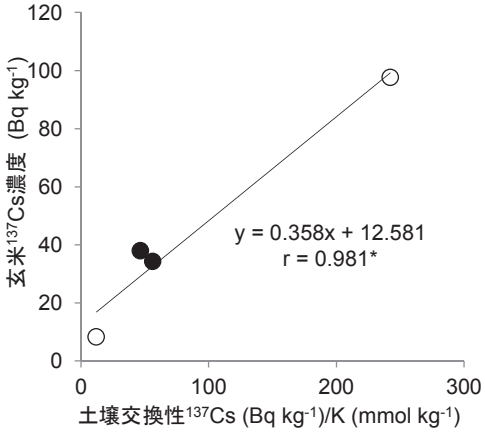


土壌での地上部 ^{133}Cs 吸収量と土壌交換性 K（上図）および土壌交換性 ^{133}Cs（下図）との関係
（○はバーミキュライトの多い土壌）（**P ＜ 0.01）

そこで、土壌の交換性セシウムおよび交換性カリウムを組み合わせて、水稲のセシウムの吸収、蓄積との関係性を調べたところ、水稲へのセシウム吸収および玄米のセシウム濃度は、土壌のバーミキュライト量に関わらず、土壌の交換性セシウム / カリウム比と高い相関が認められることが確認できました。このことから、交換性セシウム / カリウム比は、水稲のセシウムの吸収、蓄積濃度を推定する上で、有用な土壌指標となり得ると考えられます。



地上部 ^{133}Cs 吸収量と土壌交換性 ^{133}Cs/K の関係
（○はバーミキュライトの多い土壌）（**P ＜ 0.01）



玄米 ^{137}Cs 濃度と土壌交換性 ^{137}Cs/K の関係
（○はバーミキュライトの多い土壌）（*P ＜ 0.05）

注意点

飼料用イネのセシウム濃度の品種間差については、品種間差の出やすい土壌条件などについても今後検証を重ねる必要があります。土壌指標については様々なタイプの圃場での検証を通じて、施肥量の最適化に向けての活用につながると考えられます。

問い合わせ先

農研機構　作物研究所　企画管理室　電話 029-838-8260

関連情報

農研機構　成果情報
「飼料用イネのセシウム濃度の品種間差」
http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/nics/2013/nics13_s10.html
「水稲のセシウム吸収・蓄積は土壌交換性セシウム / カリウム比と関係が高い」
http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/nics/2014/nics14_s12.html

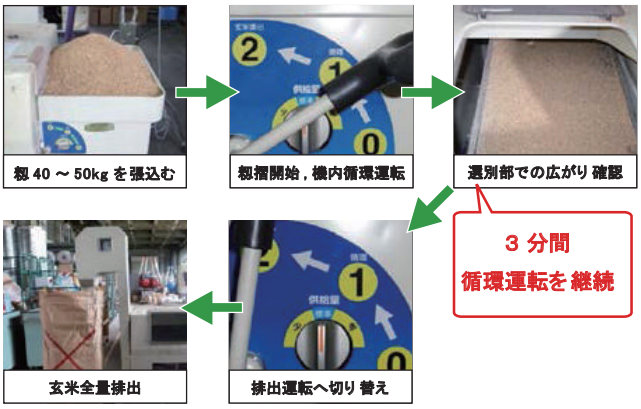
生産現場　普及関係者　行政担当者

「とも洗い」を主体とした玄米の交差汚染防止技術

籾摺機での玄米への放射性物質の付着および混入による汚染を防ぐため、原料である籾を用い、汚染の原因物質である機内の残留物を効率的に除去する簡易清掃方法、通称「とも洗い」を開発しました。とも洗いにより簡便かつ効果的に玄米の交差汚染を防止できます。2013 年 7 月、とも洗いを主体とした交差汚染防止対策は国のガイドラインとして策定され、営農再開地域における玄米の汚染防止に利用されました。

東京電力福島第一原子力発電所事故以降、一度も使用されていない籾摺機では、放射性セシウムを含むホコリ等が籾摺機内に残留していることがあります。この籾摺機を未清掃のまま用いると、機内残留物の一部は玄米とともに排出され、玄米を汚染する原因になります。このような汚染は交差汚染と呼ばれ、この汚染を防止するためには、籾摺機内の残留物を効率的に除去できる清掃方法が必要です。しかしながら、籾摺機は構造が複雑であるため、一般的な清掃方法である機体の分解では清掃むらが生じやすく、生産現場での交差汚染防止対策として不十分です。

とも洗いとは、交差汚染を防止するため、原料である籾を用いて機内残留物を洗い出す操作方法です。具体的には、40 ～ 50kg の籾を籾摺機に投入し、籾摺機内で慣行より長い 3 分間循環運転を行った後、全量排出する操作方法です。慣行より長い 3 分間の循環運転によって、少ない原料での効率的な残留物除去ができます。なお、とも洗いに用いた原料は、誤って出荷する玄米に混入しないよう明確に区分して管理する必要があります。



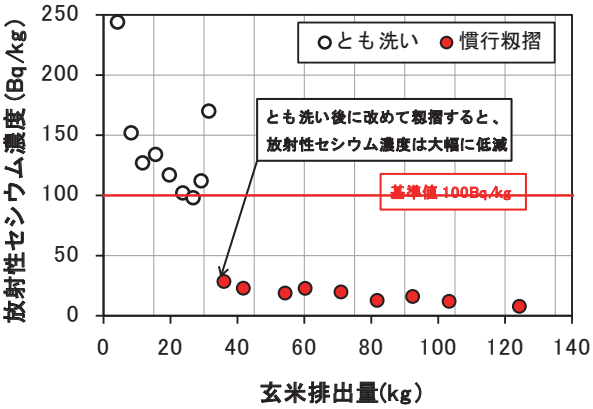
とも洗いの作業手順の例

未清掃の籾摺機を対象に、籾 40kg を用いてとも洗いを行った後、続けて慣行の籾摺作業を行った結果を右図に示します。

とも洗い原料には機内の残留物が多く付着し、その放射性セシウム濃度は高い値を示します。一方、とも洗い後に慣行の籾摺作業を行うと、玄米の放射性セシウム濃度は一般食品の基準値である 100Bq/kg（以下、基準値）を大きく下回ります。汚染程度の異なる籾摺機でも同様の傾向を示し、とも洗い後に籾摺した玄米が基準値を超える事例は認められませんでした。

とも洗いは、籾摺機を所有する農家が個別に対処できる、作業が短時間である、機体の分解といった一般的な清掃方法に比べて作業のむらもなく確実な方法であるとともに費用も安価であるため、生産現場で実施しやすい交差汚染低減方法です。

この結果に基づき、生産現場での交差汚染防止対策が検討されました。



脚注：籾40kg用いたとも洗い、ならびに同一籾を用いた慣行籾摺作業中に排出された玄米を小袋へ連続的に回収。各袋に回収した玄米の放射性セシウム濃度を縦軸に、その袋が排出された時点の玄米排出量を横軸に表示。

とも洗いの効果

2013 年 7 月、農林水産省と協議の結果、交差汚染防止対策は「米の収穫・乾燥・調製工程における放射性物質交差汚染防止ガイドライン」に掲載され、とも洗いは営農再開地域における主たる交差汚染防止対策と位置づけられました。

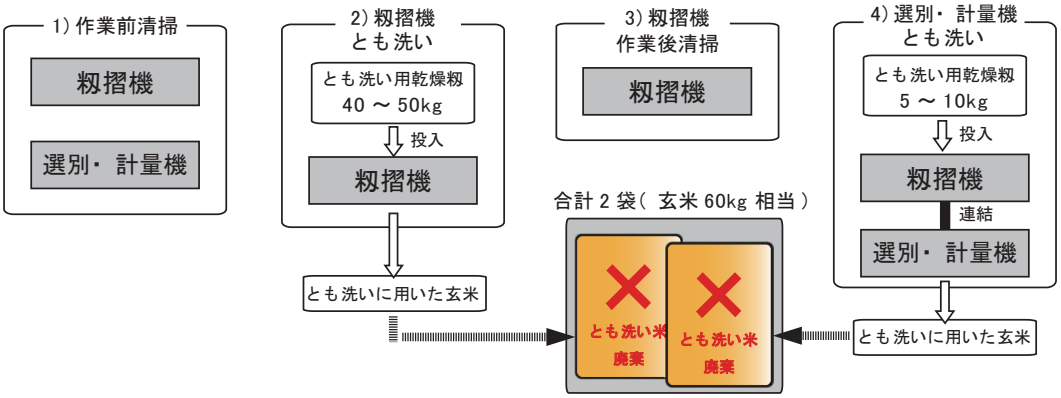
ガイドラインでの作業手順は以下の１）～４）のとおりです。

１）　作業前清掃：籾摺機、選別・計量機について、各取扱説明書に従い機内残留物を除去する。なお、両機がパイプで連結されている場合、予め切り離しておく。

２）　籾摺機のとも洗い：生産者の収穫した当該年産の乾燥籾を用いて籾摺機のとも洗いを実施する。排出された玄米は、食用の米と混同しないよう、明確に区分できる袋に入れる。

３）　籾摺機の作業後清掃：機内に残留した摺出米などを取扱説明書に従い除去する。

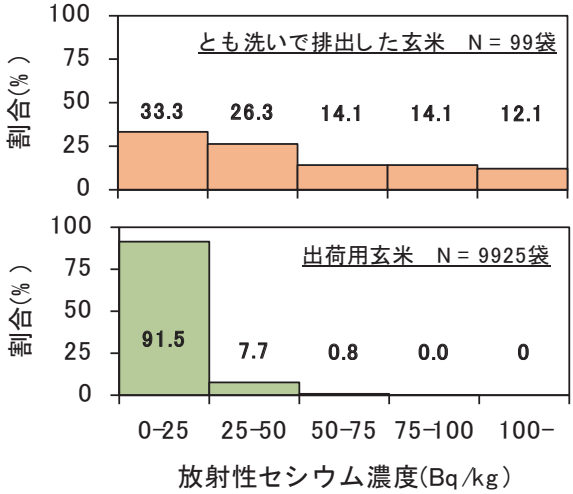
４）　選別・計量機のとも洗い：籾摺機と選別・計量機を連結後、籾摺機に籾を流して籾摺、選別・計量を流れ作業で実施し、機内残留物を除去する。排出された玄米は、２）と同様、明確に区分できる袋に入れる。



交差汚染防止対策の流れ（籾摺機、選別・計量機を有する生産者の例）

2013 年度の営農再開地域において、交差汚染防止対策の効果検証を行った結果（試験実施機関：福島県）、とも洗いに使用して排出した玄米では基準値の 100Bq/kg を超えるものも見られましたが、その後に調製した出荷用玄米の 9925 袋では基準値超過は認められず、その大半は 25Bq/kg 未満でした。

このように、とも洗いを主体とした交差汚染防止対策は、玄米の汚染防止に有効であることが確認できました。



交差汚染防止対策の効果

注意点

交差汚染防止対策は、玄米への放射性物質の付着と混入を防止するものです。そのため、生育中に放射性物質を吸収した米の放射性セシウム濃度を低減する効果はありません。詳しくは、関連情報に記載した「米の収穫・乾燥・調製工程における放射性物質交差汚染防止ガイドライン」を参照して下さい。

問い合わせ先

農研機構　生物系特定産業技術研究支援センター　企画第２課　電話 048-654-7000

関連情報

米の収穫・乾燥・調製工程における放射性物質交差汚染防止ガイドライン
http://www.maff.go.jp/j/kanbo/joho/saigai/pdf/kome_130709.pdf

農研機構 HP　籾摺機の機種別「とも洗い手順書」
http://www.naro.affrc.go.jp/brain/iam/disaster/index.html

生産現場　行政担当者　民間企業

農産物の加工・調理工程における放射性セシウムの動態

農産物に含まれる放射性セシウムは食品と同じ基準値によって規制されています。農産物は、ほとんどの場合、加工・調理した後に食べられます。加工・調理工程での放射性セシウムの動態を明らかにすることは、行政や食品産業界にとって正確なリスク評価・管理に役立つとともに、農家や消費者、食品を扱う企業の不安を軽減し、食品に含まれる放射性物質に関する理解の促進に貢献します。

小麦の製粉工程における放射性セシウムの動態

小麦玄麦を製粉し、ふすまと小麦粉に分画すると、放射性セシウム量はふすまに 0.8、小麦粉に 0.2 が分配されました。小麦製粉後のふすまの放射性セシウム濃度は、小麦玄麦の 2.26 倍となり、小麦粉の放射性セシウム濃度は小麦玄麦の 0.29 倍となりました。このことから、小麦玄麦の放射性セシウム濃度が基準値以下であれば、小麦粉の安全性は確保されます。

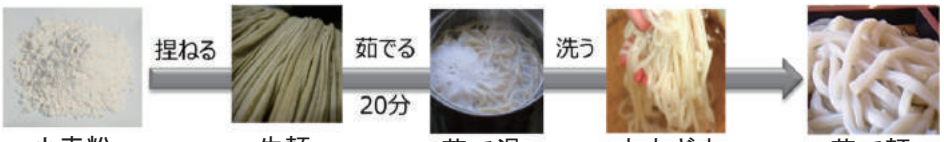
	玄麦	ふすま	小麦粉
分配割合	1.0	0.8	0.2

小麦製粉加工によるふすまと小麦粉への放射性セシウムの分配

うどんの加工・調理における放射性セシウムの動態

小麦粉 100 に水 31 を加えてうどん生麺を製造すると、うどん生麺の放射性セシウム濃度は小麦粉の 0.7 倍となりました。うどん生麺の放射性セシウム濃度は小麦粉よりも低下しますが、これは放射性セシウムの除去によるものではなく、製麺時に加えた水による希釈効果によるものです。

うどんを茹で調理すると、生麺に含まれる放射性セシウムは、茹で湯へ 0.62 ～ 0.70、すすぎ水へ 0.02 ～ 0.08 が除去され、茹で麺の放射性セシウム濃度は生麺の 0.04 ～ 0.06 倍の濃度に低下しました。うどんの茹で調理では、食べ頃の適切な茹で時間で十分な低減効果が得られ、それ以上茹で時間を延ばしても放射性セシウム濃度は低下しません。



	小麦粉	生麺	茹で湯	すすぎ水	茹で麺
分配割合	1.0	1.0	0.62～0.70	0.02～0.08	0.12～0.20

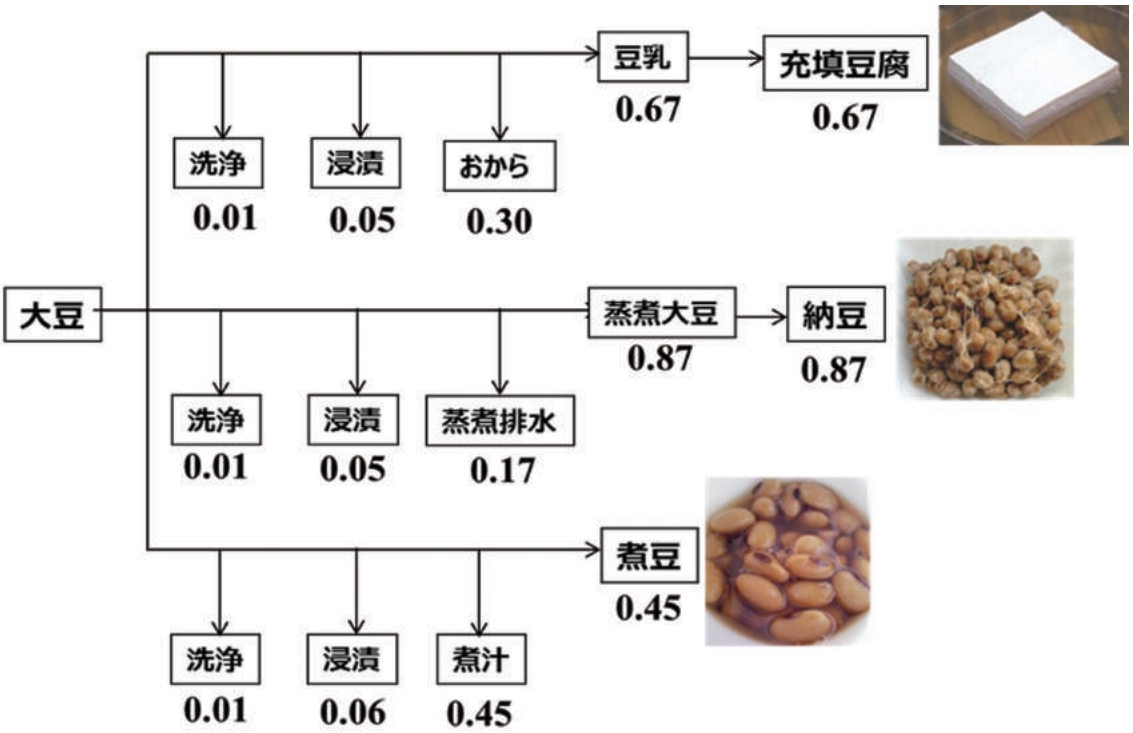
うどん調理工程での放射性セシウムの分配

大豆の加工・調理工程における放射性セシウムの動態

乾燥大豆を加工・調理する場合は、最初に行う洗浄・浸漬処理において、大豆に含まれる放射性セシウムの 0.06 ～ 0.07 が、洗浄水・浸漬水へと除去されます。

さらに、豆腐加工工程ではおからとして 0.30、納豆加工工程では蒸煮排水として 0.17、煮豆調理工程では煮汁として 0.45 の放射性セシウムが加工・調理品から除去されます。また、納豆の加工の際に納豆菌による発酵工程では放射性セシウムの低減や増加はありませんでした。

豆腐、納豆、煮豆では、それぞれ原料大豆の放射性セシウム濃度の 0.12 倍、0.40 倍、0.20 倍の放射性セシウム濃度となります。つまり、原料大豆の放射性セシウム濃度が基準値以下であれば、豆腐、納豆、煮豆の安全性は確保されます。



豆腐・納豆・煮豆の加工・調理工程での放射性セシウムの分配

注意点

実際の加工・調理条件について試験機による調製を行い、調理条件は「日本食品成分分析表文責マニュアル」に準拠し、一般敵な加工時間を目安としています。市販品では製造者によってそれぞれ異なる場合があることから、分配割合や濃度の変化量が完全には一致せず、数値に幅があることに注意が必要です。

問い合わせ先

農研機構　食品総合研究所　放射性物質影響研究コーディネーター　電話 029-838-7325

関連情報

環境パラメータ・シリーズ４増補版（2013）「食品の調理・加工における放射性核種の除去率」（公益財団法人原子力環境整備促進・資金管理センター）
http://www.rwmc.or.jp/library/other/file/RWMC-TRJ-13001-2_zyokyoritu_honpen.pdf
農研機構　食品総合研究所　放射性物質影響研究ワーキンググループ
http://www.naro.affrc.go.jp/nfri/contens/nfriwg/riwg/index.html

生産現場　普及関係者　行政担当者

営農再開に向けたイノシシ被害リスクの現状と対策

避難指示区域におけるイノシシ被害対策においては、侵入防止柵の運用や農地周辺の環境整備などの、ごく一般的な対策の徹底が重要です。

営農再開におけるイノシシ被害リスク

避難指示区域では、人間活動が低下したことによって野生動物の活動が次第に活発化することが予想されます。このため、営農再開において深刻な獣害の発生が懸念されます。

しかし、当該地域の農地周辺でのイノシシ出没状況がどのようなものなのかという情報は、ほとんどありませんでした。効果的な獣害対策のためには現状のリスクを科学的に把握し、どのような対策が有効なのかを考える必要があります。

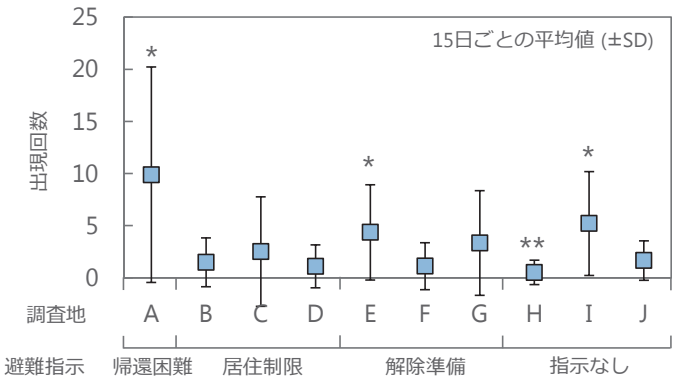
避難指示区域で活動するイノシシの親子

イノシシの出現頻度と出現時間帯に避難指示が及ぼした影響

避難指示区域と近隣の区域外の農地に計 30 台の自動撮影カメラを設置し、2013 ～ 2014 年にイノシシの出現状況を調査したところ、出現頻度と避難指示には関係がありませんでした。避難指示区域でも出現の少ない場所や、区域外（指示なし）でも出現の多い場所がみられます。

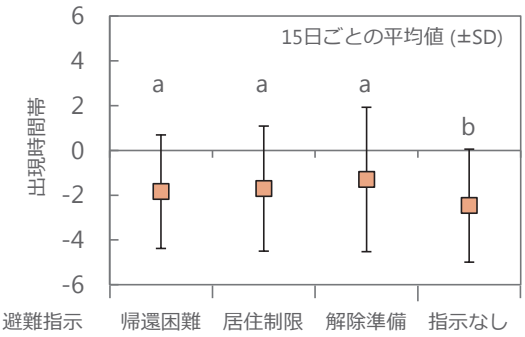
一方で、避難指示区域のイノシシは近隣の区域外よりも昼間に近い時間帯に多く出現する傾向がありました。これは避難指示による人間活動の低下によって、イノシシが警戒を解きつつあるためと考えられます。

人間活動の低下によって被害リスクが徐々に増加している問題の構造は、全国の他地域と同様です。有効な対策も他の地域と同じで、駆除に頼った対策では被害軽減を期待できません。侵入防止柵の運用や農地周辺の環境整備などの、ごく一般的な対策の徹底が重要です。



イノシシ出現頻度と避難指示との関係

＊有意に多い調査地、** 有意に少ない調査地



イノシシ出現時間帯と避難指示との関係

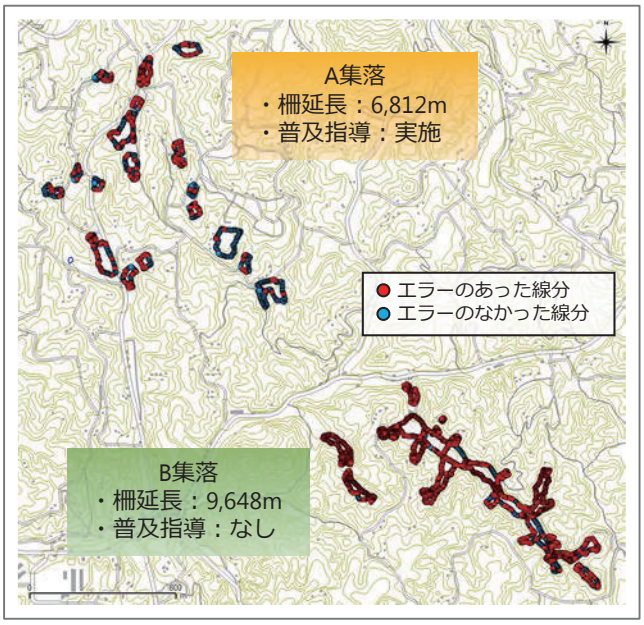
各日の日出 / 日入を基準（0）として出現の中心が昼間であれば正に、夜間であれば負になるように出現時間帯を算出しました。図中の異なる英字間に有意な差が認められます。

電気柵による野生動物の侵入防止技術

全国的に普及している“侵入防止柵による被害防除”は、適切に運用されれば効果が高いことが確かめられていますが、実際には様々なエラー（使用方法の間違いや過度な省略）によって十分な効果が発揮されていない場合が多い技術でもあります。特に獣害対策に不慣れな農業関係者が多い避難指示区域周辺では、単に柵を設置するだけでは実効性が期待できません。

そこで避難指示区域に隣接する地域の中山間集落で電気柵の設置状況を調査し、この地方特有のエラーをあらかじめリストアップしたところ、13 種類のエラーが柵の施工段階に発生していました。

また、これらのエラーは普及指導（設置や管理の方法に関する助言）によって大幅に低減できます。営農再開農地に電気柵を設置する場合、これらのエラーが発生しないように、あるいは発生しても解消できるように、継続的な技術支援が不可欠です。



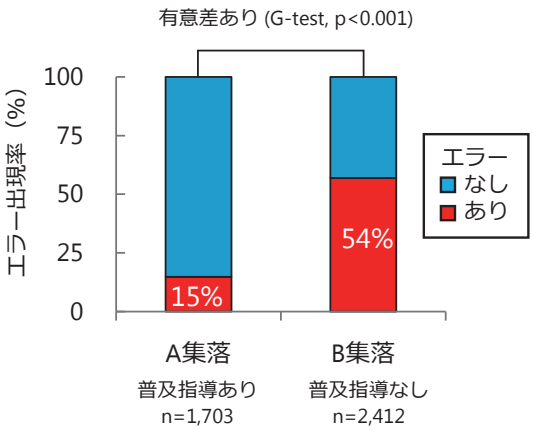
電気柵設置状況を調査した集落

電気柵 4m を 1 線分としてエラーの有無を調査しました。調査対象の電気柵は同時期に一斉設置されたものです。
A 集落には設置や管理の方法を継続的に指導しました。

営農再開農地に電気柵を設置する場合に起こりうるエラー（使用方法の間違いや過度な省略）

記号	類型		エラーの発生要因	
	エラーの内容	柵線の状態	地形要因	起伏と柵線の位置関係
（a）	柵線高の不正	高	水路上	起伏頂点を横断
（b）	柵線高の不正	高	ゲート内	起伏頂点を横断
（c）	柵線高の不正	低	ゲート内	起伏頂点を横断
（d）	柵線高の不正	高	水路やゲート以外	起伏頂点を横断
（e）	柵線高の不正	低	水路やゲート以外	起伏頂点を横断
（f）	柵線高の不正	高	段差際	起伏頂点と並走
（g）	柵線高の不正	高	なし	起伏なし
（h）	柵線高の不正	高(上)	なし	起伏なし
（i）	柵線高の不正	低	なし	起伏なし
（j）	柵外地面の通電阻害（アスファルトなど）	－	－	－
（k）	柵に構造物が隣接	－	－	－
（l）	碍子が内向き	－	－	－
（m）	支柱に碍子なし	－	－	－

“電気柵運用上のエラー”の内、施工段階に発生したエラーをリストアップしました。この他にも柵設置路線の設計段階や維持管理段階などにエラーが発生する可能性があります。



エラー出現率と普及指導との関係

注意点

イノシシ出現状況は 2013 年 8 月～ 2014 年 7 月のモニタリング結果を解析したものであり、今後も時間経過にしたがって出現状況は変化していくと考えられます。

問い合わせ先

農研機構　東北農業研究センター　情報広報課　電話 019-643-3414

生産現場　普及関係者　行政担当者

除染農地の営農再開までの間の雑草管理

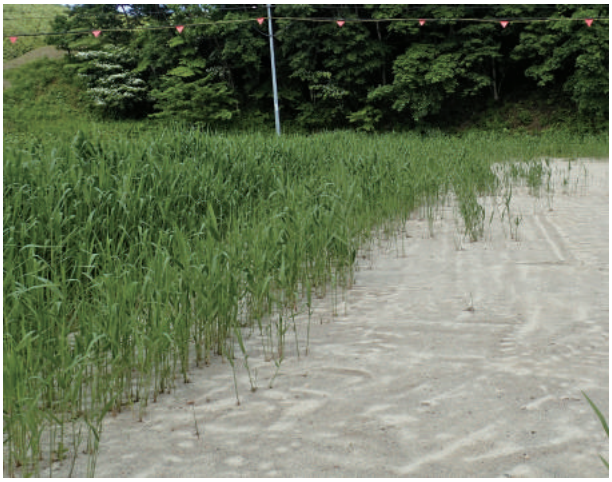
農地除染までの期間や除染から返還まで期間が長いと畦畔草地などから侵入した多年生雑草が圃場にまん延することが確認されています。また、傾斜農地では客土の流亡が生じています。営農再開の妨げにならないよう、除草剤と耕耘を組み合わせた省力的な雑草管理と牧草などによる被覆が必要です。

東日本大震災による東京電力福島第一原子力発電所の事故により、住民が避難して耕作を中断した農地での除染が進んでいます。今後、その維持管理は帰還予定の農業者が担うことなります。
事故後１～２年以内に除染を行い、牧草類を播種した農地では、刈払主体の管理で牧草類の優占する植生が維持できています。

客土後、耕起前の除染農地

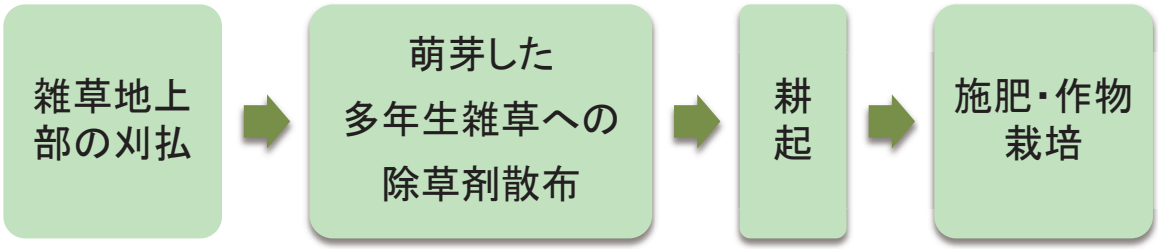
2012 年にモデル除染が行われ、その後
刈払主体で維持されている農地

一方、除染開始までに年数が経過した農地では、地下茎で繁殖する多年生雑草が繁茂しています。また、畦畔、法面からは表土の剥ぎ取りが行われないため、そこから雑草が再び本田内に侵入しています。これらの雑草は今後の維持管理や営農再開時の支障になることが予想されます。



客土後に畦畔からヨシが侵入した水田（左）と客土後にヨモギが優占した畑地（右）

多年生雑草が優占した耕作放棄畑の復元には、地上部の刈払（春～夏）→地下部から再生・萌芽した多年生雑草に対する非選択性茎葉処理除草剤の散布（夏）→耕起（秋）の体系で翌年から復作が可能です。この体系は除染農地にも適用できます。



多年生雑草が優占した耕作放棄畑の復元作業体系（例）

除染後の傾斜畑では客土した土壌の流亡が生じています。今後の農地の利用も考慮し、入手しやすく管理の容易な牧草や緑肥作物を導入した土壌保全、地力回復が必要です。

客土後に土壌流亡が生じた傾斜畑

牧草を導入した傾斜除染農地

注意点

除染後農地の雑草管理に除草剤を用いる場合、「休耕田」に登録のある剤を使用する必要があります。ラベルの内容を確認し、その範囲で使用してください。多年生雑草の防除に浸透移行性の茎葉処理剤を散布する場合、雑草の地上部がある程度繁茂し、地下部が伸長を始める時期が最も効果があります。多年生雑草の組成や地下部の量により、根絶に必要な手段や期間が異なるため、圃場の状態によっては処理後の再生が異なる場合があります。休耕田で省力的に散布できる除草剤の登録拡大および傾斜畑への牧草類導入とその維持手法について現在取組中です。

問い合わせ先

農研機構　東北農業研究センター　業務推進室　電話 019-643-3419

関連情報

農研機構　成果情報
「多年生雑草が優先した耕作放棄畑の復元方法」
https://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/narc/2011/220b0_01_37.html