

被曝農業時代²を生きぬく¹

第9回

「放射能汚染の土壌科学」シンポジウム、農水省マニュアルから自然凍土除染法、建設土木技術まで最新研究一挙採録

本誌副編集長・浅川芳裕

2012年3月14日に、日本学術会議土壌科学分科会と日本農学アカデミーによるシンポジウム「放射能汚染の土壌科学―森・田・畑から家庭菜園まで―」が行われた。土壌の除染を調べた研究者の最新の知見の中から、農地の除染技術を紹介する。

（取材・まとめ／サイエンスライター・佐藤成美）

農水省が除染マニュアルを発表

昨農林水産省は3月2日に、福島第一原発事故で放射性セシウムに汚染された農地の除染マニュアル「農地土壌の放射性物質除去技術（除染技術）作業の手引き」を公表した。マニュアルでは、効果が高いとされる「表土削り取り」や、「固化石剤を使った削り取り」、「牧草地等での表土剥ぎ取り」、さらに「水による土

壤攪拌・除去」、表層と下層の土を反転させる「反転耕」の五つの除染技術について解説。現場で除染作業をする人に、安全で効率的な作業の参考にしてもらうために、作業の手順や注意事項などを写真やイラストを使って紹介している。

シンポジウムでは、農業環境技術研究所理事長の宮下清貴氏が、「農水省の除染マニュアルとその考え方」と題する講演でこの除染マニュアルについて解説した。これまで、農地の放射性物質除去に関する法律やガイドラインは、農林水産省、環境省や厚生労働省から出されている（表1）。昨年9月14日に農林水産省が公表した「農地土壌の放射性物質除去技術（除染技術）について」は、農水省が行ってきた除染技術の実証実験成果をとりまとめ、土地の用途や放射性セシウム濃度に応じた農地土壌除染技術の考え方を整理したものである。「このマニュアルをもとに今ま

■表1 除染に関連するガイドラインなど

タイトル (URL)	公開日
農林水産省：	
農地土壌の放射性物質除去技術（除染技術）について (http://www.s.affrc.go.jp/docs/press/110914.htm)	2011年9月14日
農地土壌の放射性物質除去技術（除染技術）作業の手引き（第1版） (http://www.s.affrc.go.jp/docs/press/pdf/120302-01.pdf)	2012年3月2日
原子力災害対策本部：	
農地の除染の適当な方法等の公表について (http://www.maff.go.jp/j/kanbo/joho/saigai/jyosen/joho/pdf/111020-a2.pdf)	2011年9月30日
環境省：	
除染関係ガイドライン（第1版） (http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=14582)	2011年12月14日
厚生労働省：	
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省令の公布及びガイドライン制定 (http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r9852000001yy2z.html)	2011年12月22日

出典：宮下氏の発表資料をもとに作成



■表2 表土削り取り実証試験の概要

効果など	方法		
	基本的な削り取り	固化剤を用いた削り取り	芝・牧草のはぎ取り
	農業機械などで表土を薄く削り取る	土を固める薬剤で土壌表層を固化させて削り取る	農地の牧草や草ごと土を専用の機械で削り取る
削り取る土壌の厚さ	約4cm	約3cm	約3cm
土壌の放射性セシウムの濃度 (Bq/kg) の変化	10370→2600	9090→1671	13600→327
放射性セシウムの低減率	75%	82%	97%
廃棄土量 (10aあたり)	約40トン	約30トン	約40トン

出典：宮下氏の発表資料をもとに作成



外部被ばくをできる限り引き下げる

で限られた地域で行って来た実証実験の地域を広げて大規模な実験を行う計画です。その実験からさらに詳細なマニュアルを作ろうとしています」と説明する。

放射性物質除去に關しておおもとになる考え方は、原子力災害対策本部が昨年9月30日に公表した「農地の除染の適当な方法などの公表について」に示されている。

除染の基本目標は、「外部被ばくを可能な限り引き下げること」、「農業生産を再開できる条件の回復」及び「安全な農作物の提供すること」を掲

げている。具体的には、推定年間被ばく線量 20 mSv以上の地域で、2年後にまで50%引き下げること、長期的には1 mSv以下にまで引き下げること、土壌中の放射性セシウムの濃度も可能な限り低下させ、土壌から農作物への移行を低減させることが目標である。

留意事項として、

「作業における安全性を確保すること」はもちろんのこと、廃棄土壌の処理については、「仮置き場の確保の見通しをたてること」、除染処

理後に農地の状態が悪化することも考えられるので「農業生産の再開にむけた地力の回復への対策の実施すること」、必要に応じて表土を削り取る前に除草し、「刈り取った雑草の仮置き場を確保すること」など、幅広くあげられている。「農地の状況をみながら、総合的に対処することが必要だとうたっています」と宮下氏は説明する。

放射性セシウムは、耕起していない農地の表面から2.5 cmの厚さに95%が存在する。放射性セシウムは農地土壌中の粘土粒子と強く結合しており、容易に水に溶け出さない。ため池や用水などの水の汚染はわずかになっているという。また、粘土やシルトなど細かい土粒子に多く結合していることが確認されている。このように、放射性セシウムが表土付近に存在し、土に強くくっついていることが除染技術の前提となる。



具体的な作業手順と研究成果を記載

農林水産省の新しい除染マニュアルでは、作業手順をかなり具体的に説明している。使う作業機も具体的にだ。たとえば、表土削り取りでは、バーチカルハローを用いて碎土した後、リアブレードにより砕いた土を削り取り、バックホーにより土を積

み込み運搬するなどの手法だ。これは、農家の保有する農業機械を利用した方法であるが、建設作業用機械を使った場合の例もあげられている。

実証試験の成果も記載している。

飯館村における実証実験では、表土削り取りでは、土壌1 kgあたりの放射性セシウムの75%が低減したという。表面線量率も7.1 Sv/hから3.4 Sv/hに減少した。10 a程度の削り取りまでの作業時間は55～70分だった。「耕起していない農地であれば、線量や土地の用途に関わらず適用が可能ですが、廃棄する土の量が多いので、土壌の集積場所をあらかじめ決めておくことが必要です」と宮下氏はコメントした。表土削り取り実証試験の概要を表2に示す。

反転耕では、プラウにより30 cm以上の反転耕起を行い、土の中の放射性物質を土の中深くに埋め込む。福島県本宮市で行った実証試験では、30 cmの反転耕起で表層に局在した放射性物質は15～20 cmの深さを中心に0～30 cmの深さに拡散した。通常のプラウ耕では、地表面の空間線量率は0.66から0.40 μSvに減少し、マニュアルに記載した方法では0.30 μSvまで減少した。また45 cmの反転で表土は20～45 cmの土中に、60 cmの反転で40～60 cmの土中に移動し

た。
水による土壌除去・攪拌とは、水の表層土壌を水により攪拌（浅代かき）し、濁水を排水した後、水と

土壌を分離して土壌だけを排出する方法である。土壌を攪拌して、粘土などの細粒子を排出することによる除染技術だ。廃棄する土の量が削り

■表3 農地土壌除染技術適用の考え方

土壌の放射性セシウム濃度	畑		水田	
~5,000 Bq/kg	耕起されていないところでは、●表土削り取りを選択することが可能。農作物への移行を可能な限り低減する観点、また、空間線量率を下げる観点から、必要に応じて○反転耕、○移行低減栽培技術、●水による土壌攪拌・除去の手法を適用。			
5,000~10,000 Bq/kg	地下水位		土壌診断・地下水位	
	低い場合 (数値は検討) ●表土削り取り ○反転耕	高い場合 (数値は検討) ●表土削り取り	低地土 ●表土削り取り ●水による土壌攪拌・除去 ○反転耕 (耕盤が壊れる)	低地土以外 ●表土削り取り ●水による土壌攪拌・除去 (低地土により効果低) ○反転耕 (耕盤が壊れる) (地下水位が低い場合のみ適用)
10,000~25,000 Bq/kg	●表土削り取り		●表土削り取り	
25,000 Bq/kg~	●表土削り取り。 ただし、高線量下での作業技術の検討が必要。 (例えば土ほこりの飛散防止のための固化剤の使用)		●表土削り取り。 ただし、高線量下での作業技術の検討が必要。 (例えば土ほこりの飛散防止のための固化剤の使用)	

注) ●は廃棄土壌が出る手法、○は出ない手法。

出典：農地土壌の放射性物質除去技術（除染技術）作業の手引き

今後の対策に向けて

取りにくくれば少なく、繰り返し行うことができる。飯館村での実証試験では、土壌中の放射性セシウムが約36%低減した。土壌の種類にもよるが、宮下氏は低減率は30~70%と推定している。

マニユアルでは、このような除染技術とともに、どの方法をとるかに

ついての基本的な考え方も示されている（表3）。農地の放射線の濃度にあわせて、適した方法を採用すればよいのだが、「この濃度はあくまでも目安です」と宮下氏が付け加えた。除染すれば、排出した土の処理も問題だ。現在、原発処理として開発されているセシウム除去技術が、いづれ農地にも適用されるだろうという。

また、農水省の調査で、空間線量率と土壌中の放射性セシウムの濃度に高い相関があることがわかり、そこから農地の土壌汚染濃度の分布も推定されている。詳細なものは後日発表される予定というが、現時点では放射性セシウムの濃度が土壌1kgあたり5000Bqをこえるところは、8400haもある。

「農産物汚染の経路などのメカニズムはかなりわかってきました。土壌の種類は違いますが、チェルノブイ

りの経験も今後の対策にかなり適用できると思っています。ただし、環境条件や農業の形態は多様ですから、植物への移行対策などを含め広く総合的に考えなくてはなりません。また、環境中の放射性セシウムの挙動も長期的に監視し、生態への影響も考えていく必要があります」と宮下氏は締めくくった。

粘土と一体で考える

東京大学大学院農学生命科学研究科教授の溝口勝氏は、凍った土をそのままはぎとればよいという「自然凍土除染法」という新しい方法を考案した。溝口氏は、土壌学の専門家で「ふくしま再生の会」のメンバーとして山林除染の実験にも参加している。

先にも述べたように、放射性セシウムは、粘土に強く固定され、土壌の表層の5cm以内に大部分が蓄積されていると報告されている。「セシウムは少量でも粘土の特定の部分に選択的に吸着されます。ですから、放射性セシウムはセシウム単体で考えるのではなく、粘土粒子と一体化して、つまり粘土コロイドとして考えることが、除染のポイントです。つまり、粘土をどうとればよいかということです」とまず放射性セシウムを除染するポイントを示した。溝口



氏らが調査した飯館村の斜面では、上層の線量は $2.5 \mu\text{Sv/h}$ であったが、斜面の下層は $7.0 \mu\text{Sv/h}$ であった。これは、雨で粘土が斜面を流れて下にたまっただけのためである。この調査から、粘度の移動に注意が必要ながわかってきている。

凍った土ははがれやすい

飯館村の現場での調査をもとに考察したのが、自然凍土除去法だ。表土削り取りなどの農地の除染法は、あくまでも夏場の作業を前提としたものだが、これは、冬の寒さを利用してしまおうというものだ。飯館村は雪が少なく、気温が低いため冬季には土壌が凍結する。自然凍結した土壌を凍土というが、この凍土はアスファルトのように固いため、数センチの厚みの凍土を農家の所有する重機で簡単にはがすことができる。表層のセシウムも除去できる。

土が凍るとき、土壌中の水分が凍結面の近くに集まってくる。すると凍土の水分が増えて、その下の土の水分が減るため、凍土が乾いた土の上に乗っかり、盛り上がるような状態になる。そのため、凍った土がはがれやすくなるというメカニズムだ。

2012年1月に行った実験では、5cmの厚さの凍土が板状の塊の

ままではぎ取ることができた。水田の土壌をはぎ取ること、地表の放射線量が $1.28 \mu\text{Sv/h}$ から $0.16 \mu\text{Sv/h}$ に低下することも確認できた。 4×5 メートル四方の土地の表面をはぎとるのにかかった時間はわずか20分であった。「自然にまさせるだけでよいからとにかく簡単です。前処理も必要ないので作業する人の被ばく量も減らすことができます」と溝口氏は説明する。

ただし、凍土が厚くなり過ぎると、肥沃な表土を削り過ぎることにもなる。そこで、土壌の凍り方をよく把握する事が大切だ。着色料入りの水溶液をいれた凍結深度計を農地に埋めることで、凍った状態を簡単に確認する方法も考案した。これは、細長い目盛りのついたチューブに水と食紅などの着色料をいれたもので、水だけが白く凍るので、その深さを測ることができる。

この方法は、耕起していない水田で実施できるが、耕起したり、夏草が生えたりして表面がでこぼこした水田では行うことができない。「そんな水田では春から夏にかけて灌水し、代かきをしてあげばいい」という。水は自然に下方に移動し、放射性セシウムが吸着した粘土は浮いてくる。秋に水を抜いて冬を待ち、凍土をはぎとれば効率的に水田の土壤

の除染ができると溝口氏は考えている。

ベントナイトシートを活用

「はぎとった土は、地中にうめるのが最も現実的です」と溝口氏は続けた。廃土を処分する場所を確保するのは難しく、土壌を処分場へ運ぶのは放射性物質をまき散らす可能性もある。そこで、農地の一角に穴をほり、汚染土壌をうめ、汚染されない土壌をかぶせればいい。室内実験の結果では、50cm埋めれば、放射線の量は100分の1に減ることがわかった。1月に行った試験では、溝をほり底にベントナイトシートをしいてから土をいれた。地下水への影響が心配だったからだ。ベントナイトシートは粘土鉱物であるベントナイトをシートにした遮水シートで、公園の池やため池などの漏水防止などに使われる。「まだ結果は評価できませんが、ベントナイトシートは水の侵入を防ぐとともに、放射性セシウムを吸着する効果があるので、土中に放射性セシウムが広がることはないと考えています」と溝口氏は説明する。

現場をみて総合的な技術の活用

溝口氏の自然凍土除染法は農業土

木的な発想から生まれたものというが、日本土壤協会会長の松本聰氏も、建設土木技術を除染に応用できるとコメントした。建設土木の現場では、土壌を大きさをふるい分けする「分級」という技術がある。その分級を応用して、粘土を除去するという試みが紹介された。

原発事故から1年経ち、除染技術の実証実験の結果も得られたことから、ようやく除染への動きが見えてきた。しかし、国や県などから除染法が示されても、マニュアルにある農機具を必ずしも農家が持っているとも限らないし、大型の農業機械が入れない水田も多いはずだ。聴衆者から「必要以上のコストをかけて、効果のない大規模な除染を行うのは税金の無駄使いではないか」との指摘もあつた。「除染の必要な地域は、かなりあるが大規模な除染が必要なのはそのうちの5%です。残りの地域では、ホットスポットを早く見つけて、その環境にあった効果的な除染法を行うのが大切」と司会を務める土壤科学分科会委員長の三輪睿太郎氏が回答した。

現場をまずよく知り、適切な方法を選ぶことから除染は始まる。さまざまな技術を総合的に活用することが必要だ。