

農地と森林除染の新たな試み

東京大学大学院農学生命科学研究科

農学国際専攻 溝口勝

1. はじめに

福島第一原発から放出された放射性セシウムは粘土粒子に強く固定されているため、土壌表層 5cm 以内に大部分が蓄積されているとの報告があります。こうした現状を踏まえて、①表土剥ぎ取り、②代かき、③反転耕の農地除染技術の現場実証実験が進められています。しかしながら、これらは夏場に作業することを前提とした技術です。東京大学・明治大学・高エネルギー加速器研究機構の有志研究者はボランティアグループ「ふくしま再生の会」と連携し、飯舘村農業委員会の協力を得ながら、土壌の凍結融解を利用した除染技術の開発に取り組んでいます。このシンポジウムでは、その方法について説明すると共に、ふくしま再生の会が実施している森林除染の取り組みについても紹介したいと思います。

2. 凍土剥ぎ取り法—冬の間に凍土を剥ぎ取れ！

福島県飯舘村では雪が少なく気温が低いために冬期に土壌が凍結します。自然凍結した土壌（凍土）はアスファルトのように固いために、数 cm の厚みの凍土を地元農家が所有する重機で容易に剥がすことができます。私たちは 2012 年の 1 月上旬に 5cm 程度凍結している水田土壌を剥ぎ取ることで地表面からの放射線量(コリメータ付)が $1.28 \mu\text{Sv/h}$ から $0.16 \mu\text{Sv/h}$ に低下することを現場実験で確認しました

(写真・1, 2)。この放射線量の劇的な低下は凍土の剥ぎ取りによって土壌表層の放射性セシウムが除去できたことを意味します。実験では $4\text{m} \times 5\text{m}$ の面積の凍土がバックホーにより 20 分程度で効率的に剥ぎ取られていきました。この方法は自然の寒さに任せるだけで良く、前処理に伴う作業員の被爆リスクを低減させることができます。

凍土が厚すぎると肥沃な表土を剥ぎ取りすぎることになります。したがって、この方法では凍土剥ぎ取り作業のタイミングが重要になります。私たちは着色料の水溶液を入れた凍結深度計を農地に埋設することで簡単に目視できることも確認しています。(写真 3)

飯舘村では毎年秋に水田を耕耘するために水田の地表面は平らではなく凸凹状態になっています。また、2011 年夏には耕作をしなかったために水田の至る所に夏草が繁茂したり、その夏草を刈り取った地区があったり、イノシシが穴を掘っていたり、地表面状態は地区や水田ごとに異なります。こうした水田では凍土剥ぎ取りの効果が低いでしょ



写真1 飯舘村佐須字滑の水田における
凍土剥ぎ取り実証実験（2012年1月8日）



写真2 板状の塊のまま
重機で剥ぎ取られた凍土



写真3 凍結深度計による凍土厚の確認

う。しかし、春から夏にかけて水田を湛水し、代かきし、水を自然に下方浸透させれば、放射性セシウムを吸着した粘土粒子が表層に集積しますので、その状態で次の冬を待って凍土を剥ぎ取れば効率的に水田土壌の除染ができると思われます。畑地や牧草地に関しても凍土の剥ぎ取り法が使えるそうです。ただし、これらの農地では剥ぎ取りやすい凍土をつくるために、冬前に重機で転圧したり、散水するなど、表層土壌の条件を整えておく必要があります。

3. 融解土掃出し法－春には解けた凍土を掃き出せ！

2月の時点で飯舘村の水田土壌の凍結深は既に10cm以上に達していました。この状態で「凍土剥ぎ取り法」を適用すると、肥沃な表土を無駄に失うこととなります。一方、春になると地表面の雪や凍土が融解し、泥水が地中に残る凍土に行く手を阻まれるために、水田のあちこちに放射性セシウムを含んだ泥んこや水溜りができることが予想されます。この状態の時に雨が来ると大量の放射性セシウムが土壌浸食で拡散するリスクがあります。飯舘村と同じように嬬恋村のキャベツ畑土壌は冬期に凍結し春先に地表面から融解するので、土壌浸食のリスクがあります（写真4）。畑ですらこのような泥んこ状態になるのですから、飯舘村の水田はもっとドロドロの状態になることでしょう。

しかし、春先にはこの土の性質を利用した除染作業が可能です。すなわち、5cm ぐらいまで凍土が解けるタイミングを見計らって、地表面の泥んこを掃き集めれば良いのです。嬬恋村のキャベツ畑では土壌浸食防止の技術が求められていましたが、飯舘村の水田では逆に均等に土壌浸食を促進する技術が必要です。これには、たとえば、テニスコートやグラウンド整備に使われる「トンボ」や「ブラシ」による表土回収が有効だと思います。バキュームポンプを使えばなお効果的でしょう。



写真4 春先の凍土融解（群馬県嬬恋村キャベツ畑の例；2002年3月11日；著者撮影）



写真5 汚染凍土の埋設実験
(2012年1月14日)

4. 覆土による放射線量低減法－汚染土壌を地中に埋めろ！

除去された汚染土壌の処理は大きな課題です。廃土処分場を飯舘村内に作るとしてもその場所の選定が難しく、仮に場所が決まったとしても処分場の容量はすぐに飽和状態となることでしょう。また、廃土処分場への搬入順番待ちの間の周辺への粉塵による放射性物質拡散リスクがあり、さらに、放射性物質を含む汚染土壌を処分場に移動させる途中で除染を済ませた地域へ放射性物質を再拡散させるリスクもあります。このような状況下で考えられる現実的な対策は、農地の一角に穴を掘って汚染土壌を埋設し、汚染されていない土壌で覆土することです。室内実験の結果によると 50cm 程度覆土すれば放射線

量を 1/100 くらいに減衰できることが報告されています。そこで、私たちは1月に現地で汚染凍土の埋設実験を行いました（写真5）。その効果については評価できていませんが、作業そのものは至って簡単でした。

農地内における覆土保存に関しては、原位置の水条件や処理土量と関わる汚染土保存溝の物理的な配置と放射性汚染土からの放射性物質漏出の防止という課題があります。農地の下層に砂層や礫層がある場合には地下水位が浅いので、これら粗粒の土層よりも浅い溝を掘る必要があります。深さにもよりますが、たとえば、表層 5～10cm の土壌を 1m 深さの溝に投げ込んで保存すると考えると、溝の面積は水田面積の 10%あれば十分でしょう。

5. 森林の除染法

飯館村の 74%は山林です。宅地や農地のある平坦地を除染しても降雨の度に山林から少しずつ放射性セシウムを含んだ粘土粒子が流れ込んでくることが考えられます。また、風の強いときには土埃として粘土粒子が舞い上がって運ばれることもあるでしょう。集落をクリーンに保つためには流域全体での除染方法を考える必要があります。集落に環濠を作り、山林からの粘土粒子が入り込むのを防ぐことも有効かも知れません。しかし残念ながら、農水省と林野庁で管轄が違うこともあり、こうした総合的な除染技術については議論があまり進んでいないようです。

このような状況の中、ふくしま再生の会では、森林の落葉を除去することで 1m 高さの空間線量が広葉樹林で最大で 40%、針葉樹林で 20%減少することを確認しています（写真6）。また、落葉を山奥から連続的に運搬する方法についても実証実験を行っています。しかし、広大な面積に対して具体的にどのような手順で森林除染を進めるべきかについては見通しが立っていません。

6. 土壌環境モニタリング法

農地や森林の除染を行ったときに、その効果を評価する必要があります。そのためにはいくつかの重要なポイント（ホットスポット）で継続的に放射線モニタリングを行うことが必要です。特に、降水量や風向風速などの気象と放射線量の関係、降水量と小河川の流出量や濁水量との関係を注意深く観測することが重要でしょう。私の研究室では農地モニタリングシステムを開発し、世界各地の農地から画像情報や気象・土壌情報を集めていました。福島原発事故直後はこのシステムに若いボラ



写真6 森林の落葉除去実験（2011年10月22日）



写真7 森林内に設置された
モニタリング装置

ンティアグループが開発した放射線センサーを取り付けて、飯舘村の森林内と宅地の3か所で環境モニタリングを実施しています（写真7）。現在、そのデータ解析を進めているところですが、積雪により空間線量が低下することや晴天で乾燥した日には空間線量が高くなる傾向があることなどがわかってきています。

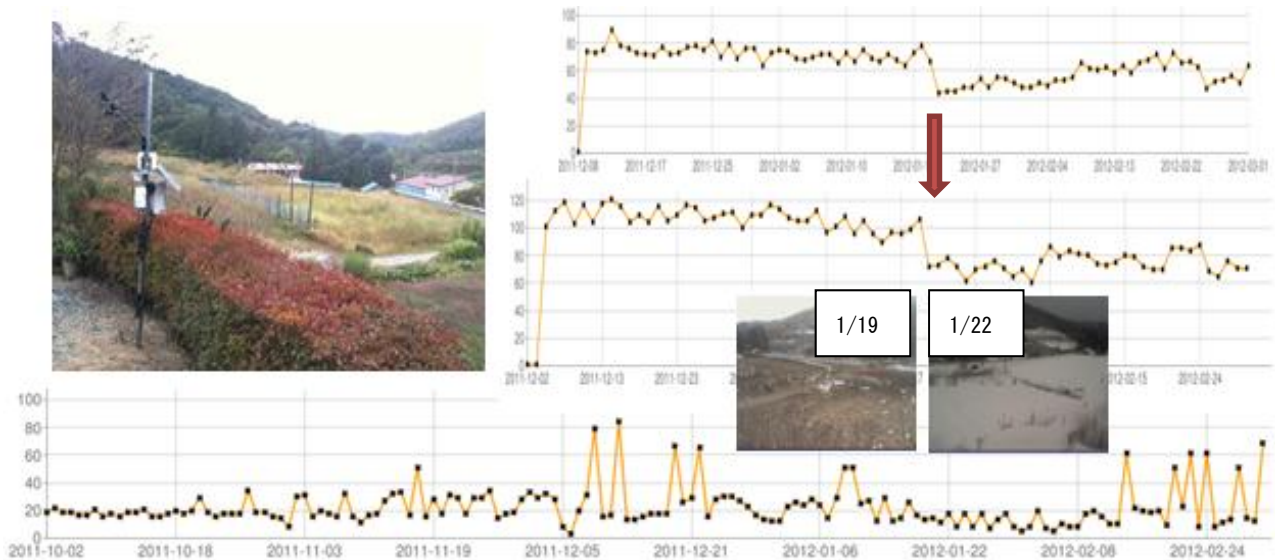


図1 飯舘村に設置された環境モニタリングデータ。気象データの他に1m高さの空間線量、土壌データ、現地画像が自動送信されてくる。グラフは(A) 森林内、(B) 森林伐採地、(C) 民家の庭の空間線量。積雪により空間線量が低下することがわかる(1/19と1/22)。

7. おわりに

農地と森林の除染はかつて人類が経験したことの無い挑戦です。目の前に放射性物質で汚染された農地と森林がある、という現実に対して、一人でも多くの人々が知恵を出し、現場実証試験をするしかないのでしょう。

冬と春限定ではありますが、飯舘村における土壌の凍結融解を利用した除染技術は単に待つだけで良いのでコスト的にも大変有望です。この技術で最も重要なのは、施工の“タイミング”です。すなわち、凍土深と融解深の予測とモニタリングが鍵になります。そのためには、土壌科学、特に土壌物理学の知見が不可欠です。また、総合的観点からは農地工学などの農業土木学や砂防工学などの森林科学の経験が重要になります。ここで提案した融解土掃出し法はこれまでの私が実施してきた凍土研究の知見に基づき予見でしかありません。この3月の実証試験を経て来年度に実践できる技術にしていきたいと思っています。

参考資料：

- 1) 福島土壌除染技術：<http://www.iai.ga.a.u-tokyo.ac.jp/mizo/edrp/fukushima/fsoil/>
- 2) ふくしま再生の会：<http://www.fukushima-saisei.jp/>