

放射性物質で汚染された土壌の修復は可能か

田中 俊逸

1. はじめに

2011年3月11日の東日本大震災においては、地震とその後の巨大津波によって福島第一原子力発電所の原子炉を冷却する電源が失われ、4つの原子炉から大量の放射性物質が大気中に放出された。放射性物質は大気を移動しながら地上に降り注ぎ、福島県を中心とする広い範囲の土壌が放射性物質によって汚染された。放射性物質のうち特にCs137は半減期が20年であり、このことは、20年経っても放射線のレベルは現在の半分にしかならないことを意味する。環境省は、汚染された表面土壌を剥ぎ取って、3年間仮置き場に保管、その後、中間貯蔵施設に30年間保管する除染のスキームを提案しているが、中間貯蔵施設の建設場所が決まっていないこともあり、除染はあまり進んでいない。また、除染によって生じる土壌の量が大量のことから、土壌から放射性物質を取り除き、汚染土壌の体積を減らす減容化技術の開発が求められている。本講義では、開発されつつある放射性物質の除去技術の幾つかを、私達の取り組みも含めながら紹介し、放射性物質で汚染された土壌の修復が本当に可能なのか考えてみたい。

2. 土壌汚染調査

2011年の6月に文部科学省が中心になって、「福島第一原子力発電所事故に伴い放出された放射線物質の分布状態等に関する緊急調査研究」が行われた。この調査では、短期間で福島県全域の2300カ所もの土壌の採取を行う必要があったことから、全国から研究者及び学生のボランティアを募り、福島の二本松を起点として調査を行った。私も研究室の学生2名とともにこの調査に参加し、川俣町で土壌採取の講習会を受けた後で、次の日、いわき市で土壌の採取を行った。土壌の採取は、表面土壌をプラスチック製の容器に詰めるものであり、採取場所によっては、深さ方向での濃度分布を調べるために、30cmのパイプを土壌に打ち込んで土壌の柱状試料を得た。この調査の結果は、文部省から公表されているが、そのデータの一部を示したものが次のページの表である。福島第一原子力発電所の北西にある地域の放射線量が比較的高く、60km以上離れている福島市でも高い放射線量が観測されていることが分かる。



写真 川俣町での土壌試料の採取風景

表 土壤汚染調査結果の一例

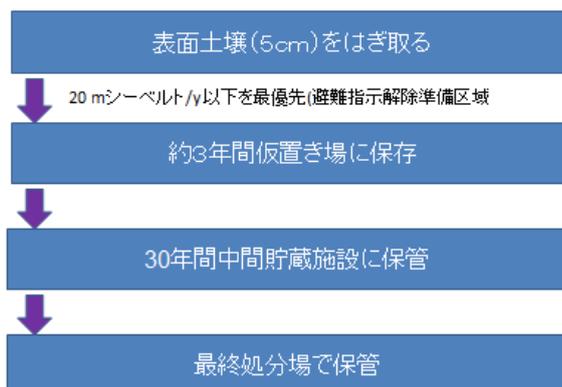
Sampling point(in June, 2011)	I(131) Bq/kg	Cs(134)	Cs(137)	Te(129m)	others	Air dose rate / μ Sv/h
Namie Town 22km N/W	1,300	340,000	420,000	78,000	Te(129, Nb(95), Ag(110m)	34.0
Namie Town 31km N/W	340	85,000	110,000	20,000	Te, Ag	23.5
Takami Town 24km N	ND	1,200	1,500	ND		0.4
Yamana 32km W	ND	1,400	1,700			0.7
Shimikitaba 23km S	35	600	700	629		0.6
Fukaya 41km N/W	130	13,000	17,000	4,3000	Ag, Te	8.6
Fukushima Cty 62km N/W	120	10,000	13,000	2,500	Te	0.8

3. 除染の方針

環境省では、放射性物質によって汚染された土壤に対して、20mSv/y以下の土壤を最優先として、その表面土壤を剥ぎ取り、約3年間仮置き場に保管した後に、中間貯蔵施設に30年間保管する除染のスキームを作成し、除染を開始している。しかし、肝心の中間貯蔵施設の建設候補地が見つからないことから除染作業はそんなに進んでいない。

さらに、除染しなければならないものは、右に示すように土壤だけでなく、消極灰や上下水道事業で発生するスラッジなども大量に存在する。これらの保管には、広大な場所が何か所も必要であり、土壤やスラッジから放射性物質だけを取り除く、減容化技術の開発が待たれている。

環境省による除染の方針



除染しなければならないものの種類と量

- 土壤(校庭、病院・民家の周り、農地、森林等)
15,000,000 – 28,000,000 m³ (福島県内)
1,400,000 – 13,000,000 m³ (福島県以外)
- 焼却灰, 30,000 tons
- 上水、及び下水処理場からのスラッジ
90,000 tons
- コンクリート
- アスファルト
- 植物

4. 土壌の修復技術

汚染された土壌から放射性物質である Cs137 や Cs134 などを取り除くために、現在様々な方法が研究され、一部は福島県内の実際の汚染箇所でも実証試験が行われている。これらの中には、土壌洗浄法、吸着法、植物を用いる方法、微生物を用いる方法、電気を用いる方法などがある。

5. プルシアンブルー修飾マグネタイトを用いる土壌の修復

私達の研究室でも右の図に示すように、砂鉄の成分であるマグネタイト表面を、プルシアンブルーという無機系色素の微細結晶で修飾することによって、放射性セシウムを磁石で回収するシステムを開発している。プルシアンブルーにはその格子内にセシウムを取り込む性質があり、水中のセシウムイオンについては、プルシアンブルー修飾マグネタイトを添加して攪拌した後、

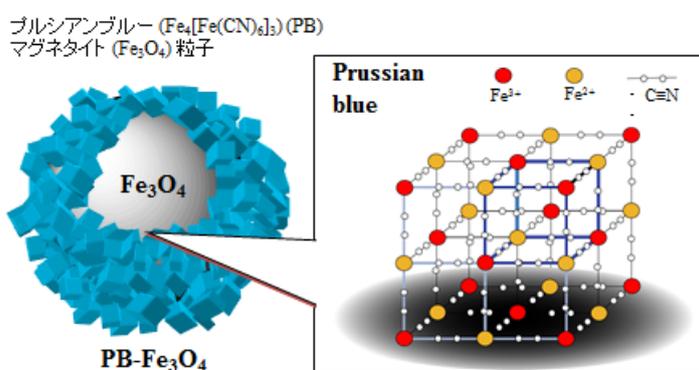


図 プルシアンブルー修飾マグネタイト₁

磁石によって、マグネタイトを集めることでセシウムイオンをほぼ 100%取り除くことができた。これを土壌中のセシウムイオンの除去に用いた時には、土壌からセシウムイオンを溶出するために、シュウ酸での処理や、過酸化水素による処理が必要であった。三重大学のグループは、セシウムイオンの吸着剤としてゼオライトを用い、ゼオライトとマグネタイトを結びつけて、磁石によるセシウムイオンの回収の研究を行っており、実際に福島県内の土壌での実証試験も行われており、磁石による回収方法の有用さが実証されつつある。

6. 動電的手法によるセシウム汚染土壌の修復

土壌中に入ったセシウムイオンは、時間とともに土壌との結合が強くなり、ついには簡単には溶出できなくなる。このような現象はエージングと呼ばれ、セシウムイオンが土壌中の粘土鉱物の細孔内に入り込むためと考えられている。一旦細孔内に入り込むと温和な条件ではセシウムイオンは溶出せず、強い酸やシュウ酸などの有機酸の使用が不可欠となる。

また、粘土鉱物の細孔内の水は、粘土鉱物の透水性が悪いことから、通常の方法では洗い出すことができない。従って、土壌洗浄法やフラッシング法などの方法では汚染物質を除去することはできない。

動電的手法は、汚染土壌の近傍に電極を挿入し、電極間に直流の電位を印加して、電荷

を有する汚染物質については電気泳動によって、電荷を持たない中性の物質については土壤に電位を印加した時に発生する電気浸透流によって移動し、除去しようとするものである。この方法は、粘土鉱物の細孔内の水を電気浸透流によって動かすことのできる方法であり、そのためこの方法はセシウムイオンのように細孔内に入り込んだ汚染物質を溶出するのに優れていると思われる。

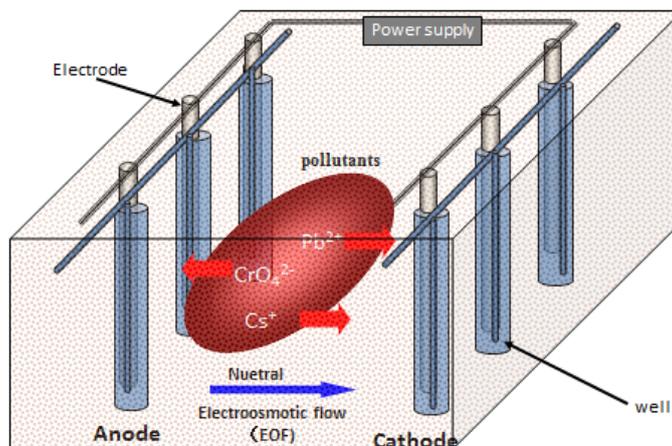


図 動電的手法の概念図

韓国の研究者である Kim はこの方法を用いて放射性物質によって汚染された土壤の修復を図っている。処理日数はかかるものの、かなり低いレベルにまで除去が可能であることを報告している。また、福島土壤への適応の可能性も示している。私達の研究室でもこの手法の有用性を示す研究を行っており、この方法が将来効率のよい減容化法になる可能性を示している。

7. 終わりに

現在、種々の修復技術の検討が行われているが、処理すべき土壤の量があまりにも多すぎて、すぐに適用できる技術は今のところないと思われる。また、あるとしてもその技術を用いて放射性物質の除去をしようとすると長い時間がかかるであろう。とすると当面、仮置き場や中間貯蔵施設での長期の保管が避けられない状況である。今後ともさらに優れた技術の開発が必要であるが、それとともにその技術をどのように使っていくのかという国の方針を定めることが必要であると思われる。