

B-63 蒸発表層濃縮による土壤中セシウム回収方法に関する基礎実験

○立元 陽子^{1*}・伊藤 洋²

¹北九州市立大学 大学院 国際環境工学研究科 (〒808-0135 北九州市若松区ひびきの1-1)

²北九州市立大学 大学院 国際環境工学研究科 (〒808-0135 北九州市若松区ひびきの1-1)

* E-mail: t2mac015@eng.kitakyu-u.ac.jp

1. はじめに

東日本大震災に伴う原発事故により福島県内を中心に広く放射性物質が拡散した。現在、福島第一原子力発電所から80km圏内のCs^{134,137}の地表面への蓄積量は1m²あたり300万Bq/m²を超えるところもある¹⁾。このような背景から、放射性物質に汚染された農地土壌の対策技術は表土削り取りや反転耕が主流となっており、大量の廃棄土壌の発生や長期的な地下水汚染の可能性があるといった課題がある。著者らは、これまでの研究実績から有機酸による放射性セシウムの分離・除去²⁾と蒸発促進を活用した表層土壌への濃縮³⁾をベースとする汚染物質の回収技術を発想した。

本研究では、土壌からのセシウム分離促進剤として用いる有機酸の選定と蒸発作用により、セシウムを表層に移行・濃縮させる回収技術を発想し、基礎的性質を明らかにすることを目的に室内実験を行った。

2. 回収方法の概念

本研究における蒸発促進システムによるセシウムの表層への移行の概念を図-1に示す。本システムで現位置にて農地汚染土壌上にビニールハウス（トンネル型）を置き、蒸発の促進のために太陽熱を利用した温風発生装置を設置し、強制通風を行うものである。これによりビニールハウス内に加温された風が通気されることで土壌中の水分が蒸発し、毛管上昇が促進される。それに伴って、物質が表層に移動し、地表面の蒸発により濃縮されるようになる。濃縮された表層のセシウムを回収することで、効率的に汚染土壌を回収できることと廃棄物量も減らすことができる。ただし、セシウムについては土壌吸着性があり、移行に時間を要するため、土壌との分離促進

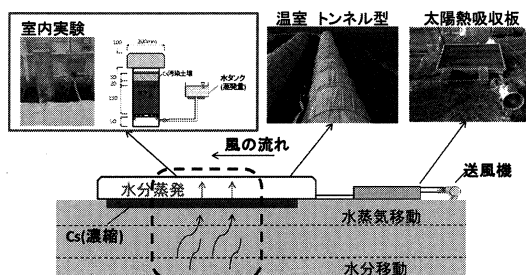


図-1 セシウム回収システムの概念

を目的として環境負荷が小さい有機酸を使用する。

3. 実験方法

本実験では、セシウムの分離促進剤の選定とセシウムの非吸着性トレーサーとしてNaClを用いて蒸発移行試験を行った。まず、安定性セシウムであるCs¹³³ (CsCl) の人工汚染土壌を作製し、有機酸を用いた溶出試験を行った。また、NaCl濃度3%溶液を散布・混合した土壌を作製し、円筒カラムを用いてNaClの蒸発移行試験を行った。

(1) セシウム人工汚染土壌の作製

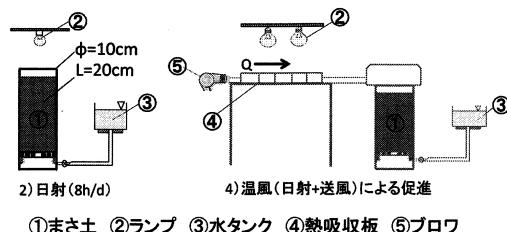
粒径2mm以下に調整したまき土に対して試薬のCs標準液0.6mg/Lを所定量添加して作製した。この溶液をまき土に添加し、よく混合しながら適宜加水し、最終的には含水比10%（体積含水率0.15.1%）程度になるように調整した後、24hr実験室内で養生した。

(2) 有機酸の選定

土壌からCsを分離するために有効な酸を選定するため、シュウ酸、酢酸、クエン酸の有機酸の溶出試験を実施した。また、比較のため1%硝酸で同様の試験を行った。

(3) 円筒カラムを用いた蒸発実験

図-2は用いた実験装置と実験ケースを示したものである。実験ケースは、ケース1；室内環境（促進なし）、ケース2；人工照射のみの促進、ケース3；温風（熱吸収板+送風）による促進、ケース4；送風のみによる促進の計4水準であり、各々5日間行った。土壌はまさ土を用い、約20cm充填した。まさ土の透水係数 $k=1.32 \times 10^{-2}$ cm/s、空隙率 $n=35.6\%$ である。また、水位は表層から8cmの位置に設定した。



実験ケース

- ケース1 室内環境 (ケース2のランプ無し)
- ケース2 日射 (8h/d)
- ケース3 送風 (ケース4のランプ無し)
- ケース4 温風 (日射+送風) (ケース2+ケース4)

図-2 蒸発促進実験装置および実験ケース

(4) 円筒カラムを用いたNaCl蒸発実験

本実験ではNaClの蒸発移行と濃縮現象の基礎的な性質を明らかにすることを目的とした。まず、円筒カラム内にまさ土20cm充填し、表層5cmにNaClを含有（1.7%）させた（後述図6の図参照）。蒸発実験時の実験ケースのケース1～4（図-2参照）と同様の条件で実施した。実験は3日間として72h蒸発試験を行った。実験終了後、深度方向1cmごと（表層は0.2mmごと）に土壌を採取し、溶出試験を行い、ろ過後の溶液を塩分濃度計（0～3%）を用いて、Cl濃度を測定した。表層5cmのNaCl含有土壌は海水濃度に近いNaCl濃度3.2%の溶液（Cl濃度1.9%）を用い、その溶液を粒径2mm以下に調整したまさ土に適宜加水しつつよく混合した。24hr実験室内で養生し、不飽和土壌を模擬するため、最終的に飽和度 $S=50\%$ 程度になるように調整し、体積含水率は平均 $\theta=17.8\%$ （Cl濃度1.7%）となった。

4. 実験結果

(1) セシウム人工汚染土壌

Cs人工汚染土壌を作製し、含有量試験を行い、ICP-MSで測定した結果、Cs含有量は19.4mg/kgとなった。

(2) バッチ試験による有機酸の選定

図-3はバッチ試験による有機酸の選定を示したもので

ある。縦軸はCsの溶出量を示す。酸での溶出量で最も高かったのは硝酸（Cs溶出量 $0.73 \mu\text{g/L}$ ）であり、水のみでの溶出量の56倍であった。また、有機酸の中で最も溶出量が高かったサンプルはシュウ酸（Cs溶出量 $0.45 \mu\text{g/L}$ ）であり、水での溶出量の35倍の値となり、セシウム汚染土壌との分離に最も有効的であった。なお、シュウ酸は、農地による環境影響はないと考えられる。

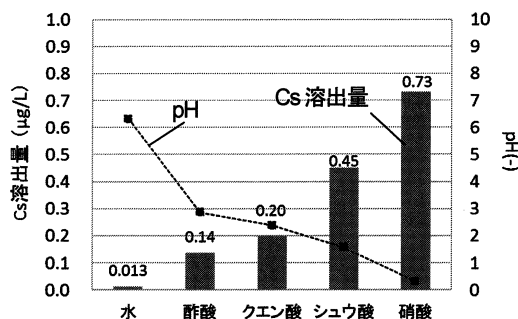


図-3 各種有機酸の溶出量

(3) 円筒カラムを用いた蒸発試験結果

図-4は各ケースの蒸発試験の結果を示したものである。縦軸は平均蒸発量を示している。蒸発試験を4ケース行った結果、蒸発量は、室内環境<日射<送風<温風の順となっている。室内環境は1日の平均蒸発量が1.41 mm/dとなり、温風による促進は11.5 mm/d（8倍促進）、送風のみによる促進は 9.25 mm/d（6.5倍促進）となった。この結果から、送風のみによる促進でも6.5倍とかなりの蒸発促進となっているが、熱吸収板による加温効果を加えることにより、更に蒸発を促進できることが分った。

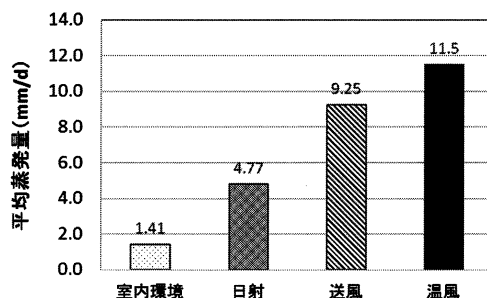


図-4 蒸発試験結果(4ケース)

(4) 円筒カラムを用いたNaCl蒸発実験

図-5は深度方向に1cmごとのCl濃度、体積含水率および蒸発量を合わせて示したものである。深度方向0～5cmはNaCl含有土壌、5cm以下はまさ土となっている。いずれのケースも塩分は表層に向かって移動し、各ケースにおいて表層から概ね1cm以内にClが集積していることが確認できる。それと同時に体積含水率は表層に向かっ

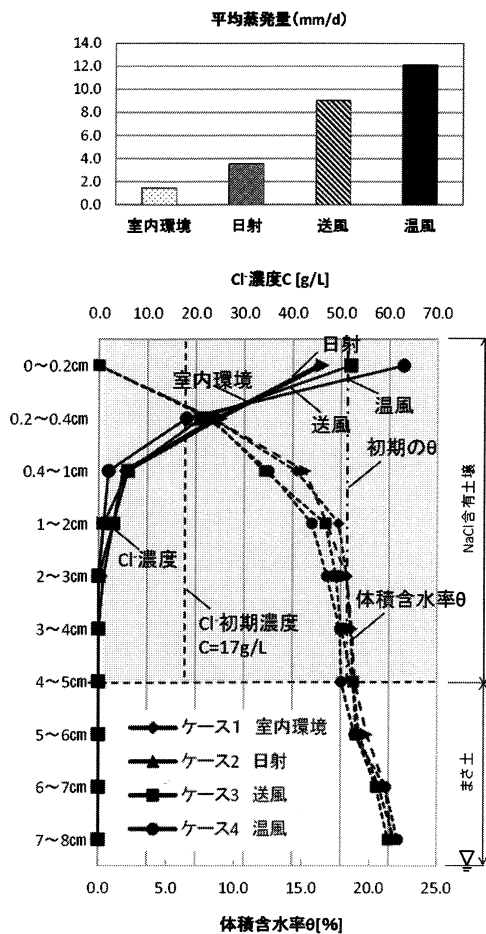


図-5 深度方向におけるCl濃度と蒸発量

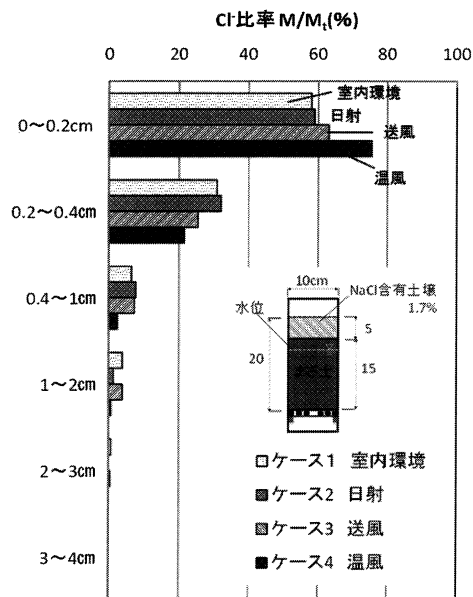


図-6 Cl含有量比率 M/M_t

て小さくなっている。また、蒸発によって表層で濃縮されたCl濃度（0～0.2cm深度）はケース1～4の順に大きくなっている。

図-6は、各ケースにおける深度方向におけるCl含有量の比率 M/M_t を示したものである。 M は各深度におけるCl含有量を示している（ $M=\theta \times C$ ）。また、 M_t は深度方向5cm以内のCl含有の総量であり、 $M_t=6.7g$ である。蒸発量はケース1～4の順に大きくなっている。各深度におけるCl含有量比率は0～0.2cm間では概ね60～75%、0.2～0.4cm間では20～30%、0.4～1.0cm間では0.4～1.0%となっている。Clは蒸発により、いずれのケースも表層1cm以内で M_t の90%の含有量が得られた。特に、ケース4の温風による促進の場合では、表層0～0.4cm間で94%のClが表層に濃縮されていることが認められた。

5. まとめ

得られた成果は以下のとおりである。

- ① 土壤中のセシウムを分離させるのに有用な有機酸はシュウ酸が最も有用である可能性が示唆され、溶出試験におけるCs溶出量（ $0.45 \mu g/L$ ）は水のみでの溶出量の約35倍の値となった。
- ② 蒸発量の促進方法は、促進なし（室内環境）に比較して送風促進の蒸発量は6.5倍、温風（熱吸収板+送風）では8倍となり、十分な蒸発促進効果が得られた。
- ③ 蒸発によって表層で濃縮されたClはいずれのケースも塩分は表層に向かって移動し、全体に表層から概ね1cm以内にClが集積していることが確認できる。
- ④ 蒸発に促進を行ったNaClの蒸発移行実験において、Clは表層に向かって移動し、濃縮していることが分かった。特に、温風による促進の場合は、表層0.4cm以内でClの集積比率は94%となった。

参考文献

- 1) 菅野均志（2011）：大津波による農耕地土壌への影響－宮城県の広域土壌調査の事例から、平成23年度東北農業試験研究推進会議 作物推進部会 畑作物研究会（夏期）研究会資料，pp.25～29。
- 2) 立元陽子・伊藤洋（2013）：蒸発促進による土壌中セシウム回収方法に関する基礎実験（I），第19回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会講演集，(社)土壌環境センター，pp.172～175。
- 3) 高石万理・伊藤洋・大石徹・安藤彰宣・門上和希と夫（2012）：蒸発過程における重金属移行抑制に関する基礎実験，第17回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会講演，(社)土壌環境センター，pp.14～17。