

## 発電所事故後の放射性セシウム移行における天然有機物の寄与 Role of organic matter on transfer of radioactive cesium after the power plant accident.

○ダンク ウオック テュエット, 辰野宇大, 西村 拓  
Nishimura Taku, DANG, Quoc Thuyet, Tatsuno Takahiro

### 1. はじめに

2011年3月の東日本大震災時の事故で福島第一原子力発電所から放出された放射性物質は、4年を経過した現在も農作物への移行や空間再分布の有無、除染の効果等で課題となっている。また、K肥料の積極的施用等Cs吸収抑制のための営農が実施されているが、いつまでK肥料の施用を続けるのかという問いに答えるためには、土壤環境における定常・非定常のCs動態を明らかにする必要がある。

### 2. Cs一時貯蔵庫としての土壤有機物

Csは土壤、特に風化雲母等の粘土画分によく吸着する。Nakamaru et al. (2006)は、農地土壤87試料の分析結果の幾何平均として約2200L/kgという選択係数を得た。石川ら(2007)は農地土壤のCs交換平衡の選択係数が多くの土で1000L/kgを超えると共に粘土含量(%)の増大に対して指数関数的に増えることを報告した。CsはKと類似した挙動をすることが知られており、そのため、上述のようにK肥料施用で作物によるCs吸収を抑制できる。また、Csは、K同様に粘土鉱物表面の六員環や風化して乱れた端面(Frayed Edge Site)に捕捉されるとほぼ不可逆に固定されると考えられている(山口ら, 2012)。

他方、Nemoto&Abe(2013)は、玄米へのCs移行の有無と水稻植物体中の放射性Cs分布の測定から、玄米に放射性Csが検出されるような場合に新しい葉に高濃度で放射性Csが検出される一方、玄米にCsが検出されない場合には、古い葉の放射性Csが高いことを報告し、夏場の有機物分解によって有機物に吸着していたCsが液相に放出され、その後、根に吸収されたと考察している。また、Nakamaru(2006)は、農地土壤の固相に吸着したCsの3-17%が土壤有機物に吸着しており、この土壤有機物に吸着したCsの大半が酢酸Naで抽出可能な交換性Csであると報告している。また、土中水中の溶存態と呼ばれる形態の放射性Csの平均45%が溶存有機物と結合していたと報告している。

### 3. 土中の鉛直一次元のCs移動の遅延

土壤への放射性Csの吸着が線形吸着でかつ平衡状態になっていると仮定し、溶質の移流分散方程式と線形吸着等温線を組み合わせると、遅延係数Rを得ることができる。Rは、選択係数( $K_d$ : L/kg), 土壤の乾燥密度( $\rho_d$ : M/L<sup>3</sup>), 体積含水率( $\theta$ : L<sup>3</sup>/L<sup>3</sup>)を用いて以下の様にあらわされる(西村, 2014)

$$R = 1 + \frac{\rho_d}{\theta} K_d$$

このモデルでは、化学物質の移動は、水の移動に比べて1/Rの速さになると考える。たと

例えば、乾燥密度  $1\text{g/cm}^3$ 、間隙率 0.61、選択係数  $2200\text{L/kg}$  として試算すると  $R=3600$  となる。この値は、Cs の移動が移流分散方程式に従う様な溶質移動であれば、積算浸透水量  $3600\text{mm}$  に対して  $1\text{-}2\text{mm}$  程度しか動かないことを意味する。

4. 現場における観測結果の例

文献に報告されているイオン交換選択係数を採用すると、事故で放出された放射性 Cs は、地表近傍の集中的に存在してほとんど動かないと考えられる。過去 4 年間、これと矛盾しない報告が多くなされており、現地における除染も表層に集中していると仮定して設計されている。しかし、実際に現場で分布を調査するとそうではない場合もある。たとえば、福島県飯館村 F 地区の放棄林地においてサンプリングした表層  $30\text{cm}$  の土層の測定結果では、図-1 のように深さ  $20\text{cm}$  程度の位置で  $1\text{kBq/kg}$  程度の放射性 Cs が検出された。放射性 Cs 濃度と土壤の全炭素量の関係について整理すると(図-2)。

事故後、調査時点まで土壤のかく乱が無いと思われる地点では、全炭素含量(TC)と土中の放射性 Cs 濃度が良い相関を示す。これは、何らかの形で有機物と Cs が共に移動していることを示唆していると考えられる。

5. 何が放射性 Cs の移動を促進しているのか？

予備実験としてカラム実験を行った。飯館村 F 地区の林地林床のリターに純水を加えて一昼夜振とうし、懸濁液を採取した。これを二分し、一方は懸濁液(A)のまま、他方は過酸化水素水を加えて加温処理した(B)。いずれの懸濁液も  $1000\text{Bq/kg}$  程度である。これを飯館村の水田土壤を充填した長さ  $10\text{cm}$  カラムに流入させたところ、A は  $1\text{ pore volume}$  程度からカラム下端排出水の濁度が上昇し始めたが、B は  $5\text{ pore volume}$  流してもすべての懸濁物がカラムに捕捉され、下端排出水は透明なままであった。化学物質移動を促進する過程として、無機コロイド、有機コロイド、溶存有機物の可能性が考えられるが、予備実験の結果では、深い位置まで移動するのは、無機コロイドではない可能性が示唆された。

引用文献: 石川他(2007): Radioisotopes, 56:519-528, 西村拓(2014); 土壤の物理性, 126:37-43. Nakamaru (2006): Colloids and Surf. A, 306:111-117, Nemoto&Abe(2013); Chap.3 Radiocesium absorption by rice in paddy field ecosystem, In Agricultural. Implications of the Fukushima Nuclear Accident, 19-27, Springer Inter. Publ., 山口ら(2012): 農環研報, 31:75-129

謝辞: 本研究に関して、科研費 25517005(代表久保成隆), 24380130(代表者西村拓), 特別研究員奨励費 26・04399 から支援を受けました。また、Cs の測定は東京大学農学部放射性同位元素施設に協力いただきました。

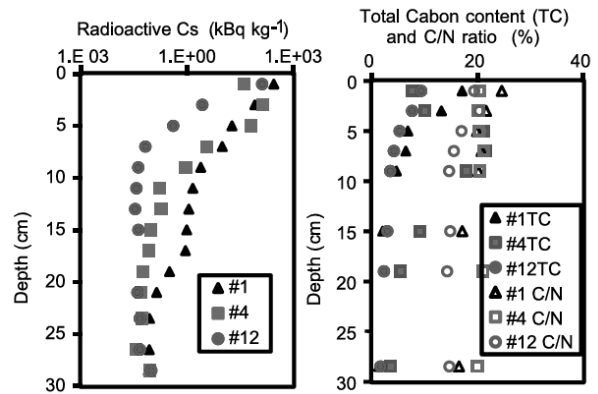


図-1 飯館村 F 地区放棄林地土中の放射性 Cs 分布(西村, 2014)

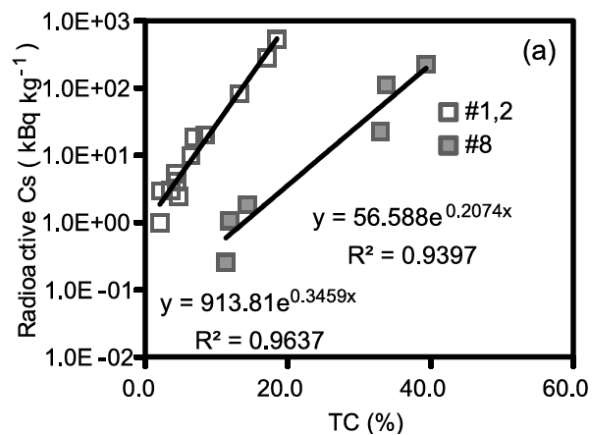


図-2 飯館村 F 地区放棄林地土壤の全炭素含量(TC)と放射性 Cs 濃度(西村, 2014)