

土壌中の放射性セシウムの振る舞いについて

西村 拓（東京大学大学院農学生命科学研究科 生物・環境工学専攻環境地水学研究室 教授）

福島第一原子力発電所の事故で放出された放射性物質は、まだ、その多くが沈着した地域に残存している。除染によって集められた放射性廃棄物の管理、地表に沈着した放射性物質の移動や移行を考えるために、放射性物質が土壌中の動態についてよく考える必要がある。

セシウム(以下 Cs)は、原子半径が大きく、Na や Ca、その他の重金属に比べて水和しにくい特徴を持っている。その結果、①Cs は収着する土粒子との間に水分子を挟まないことが多い。加えて Cs は、②土中の粘土粒子の表面にあるケイ素四面体シートの平面部にある凹部にちょうどはまり込むことでさらに高い収着選択性を示す。さらには、③層状の粘土粒子の端部近傍にある凹部について、Cs が埋まり込んだまま層間が閉じてしまって安定・非可動な状態になる。③のようなタイプの Cs 保持をする場所を FES (Frayed Edge Site)と呼ぶ。結果として、①<②<③と程度の差はあるが、Na、Ca といった他の陽イオンに比べて Cs は、土に対して非常に高い収着選択性(大きな K_d 値)を示す。

土中の化学物質は、土中を流れる水と共に移動することが多い。化学物質が土壌に収着しない場合、流れた水の量から化学物質の移動量を大よそ推定することができる。このとき、収着があると、その分、化学物質の移動が(水の移動に比べて)遅くなる。遅れの指標の一つに遅延係数 $R(R=1+\text{乾燥密度} \times K_d / \text{体積含水率})$ がある。遅延係数 R が 100 程度でも、化学物質の移動は顕著に遅いものとなる。Cs の場合、既往の研究で K_d が 1000 を超えることが報告されており、結果として遅延係数 R は数千を超える値になる。これは、イオン化した水溶性 Cs が土中では非常に動きにくいことを示唆している。しかし、原子力発電所事故後に測定された土壌中の放射性 Cs 濃度分布は、大きな R 値から推定される移動に比べてはるかに大きな移動が生じていたことを示している。この部分を十分に理解することは、今後の除染廃棄物管理や汚染地域の除染や利用において重要である。

遅延係数 R が大きい場合でも、化学物質がコロイドと呼ばれる微細な粒子(一般に $2 \mu\text{m}$ 以下)に収着したまま移動すると、予想よりも速い移動になることが知られている。過去の放射性 Cs の移動に関する研究では、 $0.4 \mu\text{m}$ のフィルターを通過した液体試料中の Cs 濃度を評価し、これを水溶性と言っているケースもある。しかし、落ち葉層から採取した懸濁液について、 $0.45 \mu\text{m}$ フィルター通過した液体試料を分析したところ、微細な粒子が多数検出された事例もある。大きな遅延係数、大きな移動、そして土中水中に存在する微細粒子を併せて考えると、予想よりも大きな Cs の移動は、土中のコロイド粒子の移動に伴う促進移動であった可能性が高い。

そこで、福島県内の放射性 Cs で汚染されている落ち葉を採取し、これから水で抽出した有機物コロイドと放射性 Cs を含んだ懸濁液を調製し、これを土壌中に流し込む実験を試みた。非常に有機物コロイド濃度の高い条件であるため、野外の原位置の現象そのままではないことに注意が必要であるが、条件によっては、有機物コロイドと共に、速い速度で放射性 Cs が土壌中を移動する現象も観察された。このような移動の違いがどうして生じるのか、また現場でも生じ得るのかどうか、今後さらに検討する予定である。

Cs は、粘土鉱物粒子の端面近くにある FES に埋まり込むとかなり固定化される。他方、土壌中の有機物コロイド、粘土粒子の平面部における収着は FES に比べると確率的には高いが、収着の強さは弱い。あくまで仮説の域を出ないが、事故後、地表面に存在する植物などの粗大有機物や砂・シルトといった大きな粒子、さらには、粘土粒子の平面部に一旦収着した Cs は、時間の経過と共に、有機物分解に伴う水相への放出、水中の有機物コロイド等への収着・脱着の繰り返し等を経て最終的に FES に到達して安定化する。その過程で、コロイド粒子と共に移動した Cs が、放出直後の大きな移動を生んだ可能性がある。この場合、Cs は徐々に FES へ移行し、コロイドと共に移動可能な Cs が減るため、時間とともにコロイドによる Cs 促進移動が緩和されることになる。

この話題提供では、土壌中に限定し侵食にともなう Cs の移動については触れていない。しかし、これも今後しっかりと検討しなければならない課題として残されている。

謝辞 生物・環境工学専攻修士の細川聡一郎、植松慎一郎両君、NPO ふくしま再生の会、飯舘村菅野宗夫氏、明治大学復興支援プロジェクトには、試料採取等に関して大変お世話になりました。