

土壤鉱物による放射性 Cs 固定反応 Radiocaesium fixation by soil minerals

山口紀子・

(独) 農業環境技術研究所

要旨

一度土壤に吸着した放射性 Cs が土壤溶液に再分配される割合は非常にわずかである。このことが農作物による放射性セシウムを経根吸収量を最小限に抑えている一方で、空間線量を下げることが目的とした土壤の除染を難しいものにする一因ともなっている。沈着した放射性セシウムの大部分が土壤にとどまるメカニズム、および土壤の放射性セシウム固定能評価法を解説する。

キーワード：フレイド・エッジ・サイト， 放射性セシウム捕捉ポテンシャル (RIP)

Key words: Frayed edge site, Radiocaesium interception potential (RIP)

1. 放射性セシウムの吸着サイト

土壤中でセシウムイオン (Cs^+) は、土壤有機物や粘土鉱物に由来する負電荷に保持される。土壤中の負電荷量は、陽イオン交換容量 (CEC) として評価できる。しかし、放射性 Cs の土壤中への保持されやすさは、CEC のみでは説明できない。これは土壤中に Cs に対する選択性の極めて高い負電荷が存在するため、放射性 Cs の保持されやすさが、負電荷の全量のみには単純に依存しないからである。

Cs^+ の保持メカニズムという観点から整理すると土壤の負電荷は、① Cs^+ よりも Ca^{2+} などの他の陽イオンとの親和性が高く、いったん Cs^+ を保持したとしても容易に放出する負電荷、② Cs^+ を選択的に保持しやすいが、他のイオンとの競合により、 Cs^+ が放出される負電荷、③ Cs^+ を選択的に固定し、いったん固定すると容易に放出しない負電荷の3種類に大別できる(図1)。①は、土壤有機物の官能基や、アロフェン、イモゴライトなど層状構造をもたない粘土鉱物の持つ負電荷に由来する。②には、2:1型層状ケイ酸塩鉱物の層間が相当する。③はフレイド・エッジ・サイト (FES) とよばれ、放射性 Cs の中長期的挙動や植物への吸収されやすさを考えるうえで最も重要な負電荷である。雲母類の風化により層間が膨潤した鉱物における膨潤層と非膨潤層との境界に位置するくさび形に開いた部分であり、 Cs^+ を捕捉すると風化によって開きかけた層間が再び閉じ、 Cs^+ を固定する。風化した雲母、イライトやパーミキュライトに存在する。たとえば土壤中 ^{137}Cs 濃度が 5000 Bq kg^{-1} であるとして、これを CEC と同じ単位に換算すると、 $10^{-9} \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ となる。 5000 Bq kg^{-1} の ^{137}Cs は、CEC のせいぜい 100 億

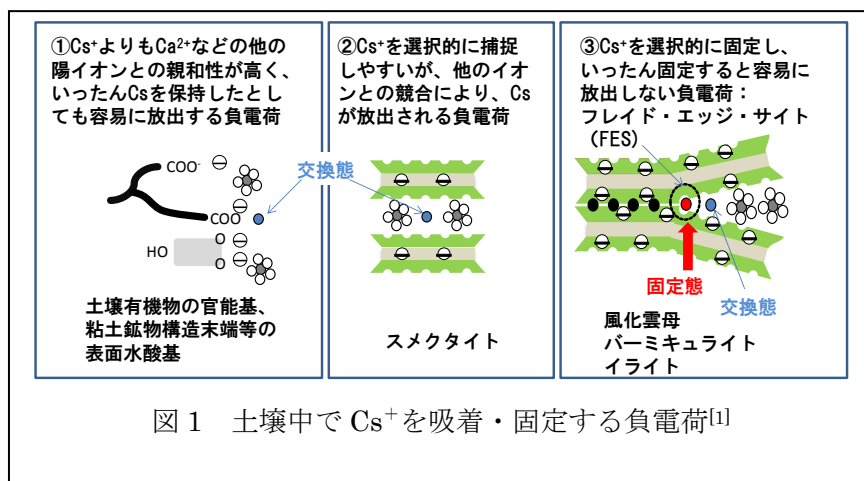


図1 土壤中での Cs^+ を吸着・固定する負電荷^[1]

分の1程度であるということになる。FES由来の負電荷は量は少ないがCsに対する選択性が極めて高いこと、FESでCsと競合する土壤中イオンは、 K^+ と NH_4^+ のみであることから、物質量としてはごくわずかな放射性Csを吸着するためには重要である。一方、FESへのCs⁺到達速度が遅いため、放射性Csの土壤への沈着後間もないうちは、主に②の負電荷にCs⁺が一時的に吸着されていると考えられる。①,②の負電荷に分配される画分を交換態、③の負電荷、すなわちFESに分配される画分を固定態と定義する。

2. 放射性セシウム捕捉ポテンシャル

中長期的な放射性Csの挙動を考えるうえで、土壤がどの程度FESを持っているか、すなわち放射性Csを固定するポテンシャルがあるかを評価する必要がある。その評価手法として、放射性セシウム捕捉ポテンシャル (Radiocaesium Interception Potential, RIP) がCremersら^[2]により提案された。この手法はチオ尿素銀イオンや Ca^{2+} のような比較的大きな陽イオンが前述の①、②のサイトを占有しやすい一方FESには形状的にアクセスできないこと、FESには水和力が小さく、FESに形状的にフィットする K^+ およびCs⁺が優先的に分配されることを利用した手法である。①、②の負電荷をチオ尿素銀イオンあるいは Ca^{2+} でマスクし、FESを K^+ で飽和する。この状態で K^+ に対する $^{137}Cs^+$ の分配係数を求める。このような特殊な条件下での K^+ に対する $^{137}Cs^+$ の分配係数と溶液中K濃度の積をRIPとして定義する。

これまでに、福島県を中心に400地点以上の農地土壤のRIPを測定し^[3]、現在もデータの拡充をおこなっている。原発事故影響地域の土壤のRIPは黒ボク土で低い傾向にあり、低地土であってもベルギーの研究者らにより収集されてきた世界に分布する典型的土壤^[4]よりも低い傾向があった。RIPを土壤特性のひとつと捉えれば、放射性Csの中長期的な植物移行や水系への分配を示す指標として有効である。大気圏内核実験由来の放射性セシウムの玄米移行係数は、K施肥が十分なされた管理された圃場であれば土壤のRIPにより説明ができる。一方で、RIPがFESのみを評価しているのか、放射性Csが交換態から固定態に移行する速度やメカニズムについては不明な点が多い。

土壤固相から土壤溶液へ分配される放射性Csは割合としてはわずかである。しかし、土壤中放射性Cs濃度が高い場合は、そのわずかな放射性Cs量が無視できない。酸や塩溶液による放射性セシウム抽出法は、①、②のサイトからの交換抽出にくわえ、抽出剤に含まれるカチオンと放射性CsのFESをめぐる競合反応をとまなう。FESへの選択性の低いCa塩などを抽出剤として用いると、放射性CsがFESに再吸着され、抽出されない。現在交換性放射性Csの抽出法として用いられている1M酢酸アンモニウム溶液による抽出では、高濃度の NH_4^+ との競合により、FESへの放射性Csの再分配が抑制される一方、FESに存在する放射性Csも抽出している可能性がある。中長期的な放射性Csの挙動を考えるうえで、交換態から固定態への移行を考慮し、FESへの放射性Csの固定割合、固定速度を評価する必要がある。

参考文献

- [1] 2012年農環研究成果発表会資料 http://www.niaes.affrc.go.jp/sinfo/sympo/h24/niaes2012_04.pdf
- [2] Cremers et al., Nature, 335, p247 (1986)
- [3] 農林水産省プレスリリース <http://www.s.affrc.go.jp/docs/press/130709.htm>
- [4] Vandebroek et al., J. Environ. Radioactiv. 104 p87 (2012)