

真砂に含まれる雲母様粒子に収着するセシウム分布のSEM-EDXによる観察 SEM-EDX observation of Cs sorbed on micaceous particles in granitic sand

末継 淳¹・森 也寸志¹

¹岡山大学大学院環境生命科学研究科

要旨(Abstract)

土壌中のイライトやバイオタイト(黒雲母)等の鉱物はセシウム(Cs)を強固に吸着し、表土の除染を困難にするとされる。発表者らは、雲母等に固定されたカリウムを可溶化するカリウム溶解菌を用いて表土中のCsを可溶化させ、可溶化したCsを人工マクロポアで土壌深部へ除去する方法を検討している。本発表では、まず粗大な雲母様粒子にCsが収着するかどうかを確認し、収着したCsの空間分布をSEM-EDX(走査型電子顕微鏡-エネルギー分散型蛍光X線分析)によって明らかにした。

キーワード 雲母様粒子、セシウム、SEM-EDX、人工マクロポア、カリウム溶解菌

Keyword micaceous particles, cesium, SEM-EDX, artificial macropore, potassium-solubilizing bacteria

1. はじめに

土壌中のイライトやバイオタイト(黒雲母)等の鉱物はセシウムを強固に吸着(e.g., Hinton et al., 2001)し、表土の除染を困難にする。表土の除去や転地返し等には莫大なコストと手間がかかり、作業者の健康影響も懸念されるため、森林などの広域の除染には新たな除染方法が必要である。一方、日本の多くの自治体では、松枯れ病対策等でラジコンヘリコプター等を用いた森林への航空散布(1haあたりの散布費用は15,000円程度)が行われているため、適切な資材を見出すことで森林の除染へ応用できる可能性がある。しかし、航空散布では1回あたりに散布できる資材量が限られるため、多量の薬剤を散布することは難しい。また、森林へのダメージが少なく、安価な資材を選択することも求められる。そこで発表者らは、微生物肥料として中国等で古くから使用されてきたカリウム溶解菌(e.g., *Paenibacillus mucilaginosus*)を用いて、表土中のセシウムを可溶化させ、可溶化したセシウムを人工マクロポア(粗大間隙を持つ資材を充填した縦型穿孔渠)を通じて土壌深部へ除去する方法を検討している(図-1)。カリウム溶解菌は、雲母等に固定されたカリウム等を溶出させる能力を持つため、20kg/haの菌体(小ロット生産では20kg17,000円程度で供給されている)散布によって220kg/haものカリウムを牧草に吸収させるとされる(Basak & Biswas, 2009)。この結果に基づくと、森林の広域除染のコストも現

実的なものになる可能性がある(表-1)。

本発表では、まず、粗大な雲母様粒子にセシウムが実際に収着するかどうかを確認し、収着するセシウムの空間分布を知るために、真砂から回収した雲母様粒子を安定同位体セシウムの水溶液(塩化セシウム)と反応させ、イオン交換水で洗浄後、SEM-EDX(走査型電子顕微鏡-エネルギー分散型蛍光X線検出器)による元素分析を行った。

2. 方法

真砂(花崗岩を主な母材とする陸成未熟土、2mm篩通過物)に含まれる薄片状の有色鉱物粒子をピンセットで回収し、目開き250mmの篩上に乗せてイオン交換水で洗浄後、キムワイプ上で水分を除いてからシャーレに移して保存した。この粒子10mgを50mLのポリプロピレン遠心管に移し、1000倍量(w/w)の10mmol/L CsCl水溶液を加え、25°Cに設定した実験室内で、240rpmの往復振とうを72時間行い、Csイオンを収着させた。

Cs収着処理後の雲母様粒子を10000×gで1分間遠心分離後、沈殿物を目開き250mmの篩上に移してイオン交換水で3回洗浄した。洗浄した粒子のうち3つをカーボンテープ上に乗せ、SEM-EDX(日本電子(株)、JSM-6010LA)にて観察を行った。加速電圧は15kV、EDXによる分析元素は、Si、Al、Fe、Mg、K、Na、Ca、Mn、P、Cl、Csとした。定量にはZAF補正を用いた。

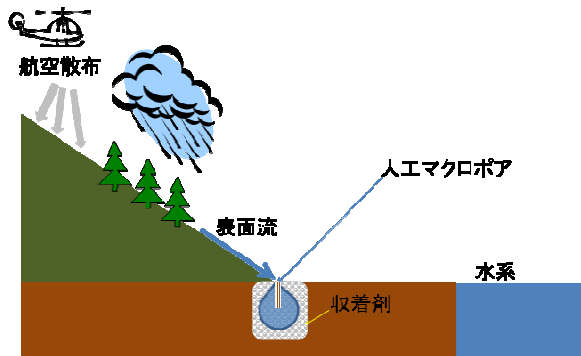


図-1 航空散布による除染法の概要

表-1 散布強度2t/km²のときの概算処理コスト

費目	コスト(万円/km ²)
乾燥菌体	33~170
輸入手数料等	6.6
菌体運送費等	6.5
航空散布費	154.4
計	201~338

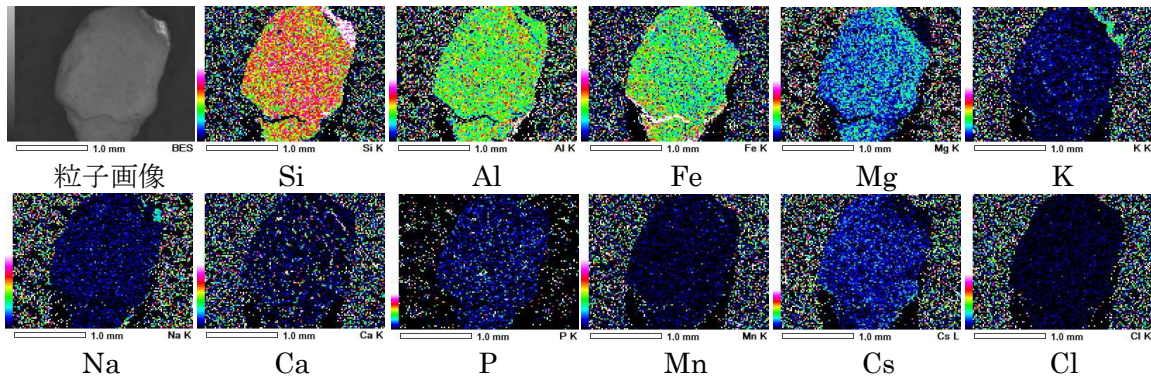


図-2 実験後の試料のSEM-EDX画像

2. 結果および考察

真砂に含まれていた黒雲母 (biotite) と見られる粒子は、元素比の結果 (表-2) によると、鉄雲母 (annite, $\text{KFe}_3\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH}, \text{F})_2$) を主成分とするものと考えられた。この雲母様粒子のSi/Al比は2以下で、純粋な鉄雲母よりもAlが豊富に存在するため、既往の研究 (本間, 1978) で指摘されているように、クロライト化の影響を部分的に受けているものと推察された。この粒子を塩化セシウム水溶液と72時間反応させ、イオン交換水で洗浄した粒子にはCsが検出されたが、Clは非常に低い値であった (表-2) ため、Csを選択的に収着することがわかった。また、粒子周辺部に存在する他の鉱物の部分ではCs濃度は低いため、他の鉱物よりも雲母に選択的にCsが収着していることが示されている (図-2右上部)。

表-2のデータでは、原子数比率で2%前後 (質量比で4%前後) のセシウムが収着していることが示されている。この収着量は、真砂中の雲母

表-2 CsCl収着・洗浄後の雲母様粒子の元素比

元素名	原子数比率 (%)			平均
	粒子1	粒子2	粒子3	
Si	39.03	39.52	37.94	38.83
Al	18.79	24.63	21.46	21.63
Fe	24.92	18.72	23.01	22.22
Mg	6.22	6.05	8.55	6.94
K	3.89	1.93	1.58	2.47
Na	1.69	1.58	1.56	1.61
Ca	2.07	3.01	2.68	2.59
P	0.89	1.17	0.88	0.98
Mn	0.20	0.78	0.26	0.41
Cs	2.17	2.60	2.09	2.29
Cl	0.13	0.01	ND	0.07

様粒子が1%しかない場合でも、400mg/kgものセシウムを収着する能力があることを示すものである。したがって、見かけ上は単一粒子のように見える雲母様粒子が、大きな収着容量を持つことが確認された。

3. 今後の課題

本発表で得られたセシウム収着後の雲母様粒子にカリウム溶解菌を接種し、セシウムの溶脱実験を行い、下方浸透効果を検証する予定である。

4. 謝辞

本研究の成果の一部は日本学術振興会の最先端・次世代研究開発支援プログラム「人工マクロポアによる土壌水下方浸透の促進と有機物貯留による劣化土壌環境の修復」から発展的に得られたものである。記して感謝する次第である。

参考文献

- 本間弘次, 1978, 岩石鉱物鉱床学会誌, Vol. 79, pp. 253-261
- Hinton et al., 2001, J. Radioanal. Nucl. Chem., Vol. 249, pp. 197-202
- Basak & Biswas, 2009, Plant Soil, Vol. 317, pp. 235-255