

カラム流出実験による重金属の非線形吸着特性の推定

Inverse estimation of nonlinear sorption parameters of heavy metals from column outflow experiments

○朝田 景*, 斎藤 広隆*, 西村 拓**

Asada, K., H. Saito, T. Nishimura

はじめに

表土の重金属含量が人為的または自然的要因によって管理基準値を超過するような汚染土壌では、バッチ試験から得られる重金属の吸着特性が十分大きいにも関わらず、重金属が下層の非汚染土壌へ溶脱することが確認されている (Asada et al. 2010) . バッチ試験結果と異なるこのような現場の現象は、土壌の重金属汚染が地下水汚染を引き起こすリスク評価には反映されていない. そこで、比較的容易に得ることができるバッチ試験結果を補正することで、実際の重金属の挙動を表す溶質移動パラメータを得ることができれば、より正確な環境リスク評価を行うことにつながると考える. 本研究では、表土に汚染土壌、下層土に非汚染土壌を模擬したカラムからの重金属の流出特性を用いて、重金属移動に関するパラメータを逆解析によって推測した. 重金属の吸着特性の実測値及び推定値を比較検討し、バッチ試験の吸着特性補正式を作成する際の基礎的な情報とした.

研究方法

カラム流出試験：内径4cm、高さ15cmのカラムの上層10cmに重金属汚染土壌、下層5cmに非汚染土壌を、それぞれ乾燥密度 1.05g cm^{-3} で詰めた. カラム上端からpH 5.0に調整した溶液を約50時間 0.7mm min^{-1} で供給した. カラム下端の流出水は一定時間ごとにフラクションコレクターで採水し、pH、EC（装置：YOKOGAWA PH81とSC82）及び亜鉛濃度（装置：SHIMADZU AA-6200）を測定した. 実験後、カラム内の土壌を深さ1cmごとに分けて風乾し、亜鉛濃度を測定した. 供試土壌の性質は表1に示した. また、別途、バッチ試験によって亜鉛のフロインドリッヒ吸着係数を求めた.

溶質移動パラメータの推定：重金属の土壌内移動及び流出解析には、土中水分・溶質移動予測プログラムHYDRUS-1D (Shūminek et al. 2005)を用いた. 流出水中の亜鉛濃度の時間変化から、カラム土壌内の亜鉛移動に関して、Dual-Porosity (Mobile-Immobile Water:MIM)

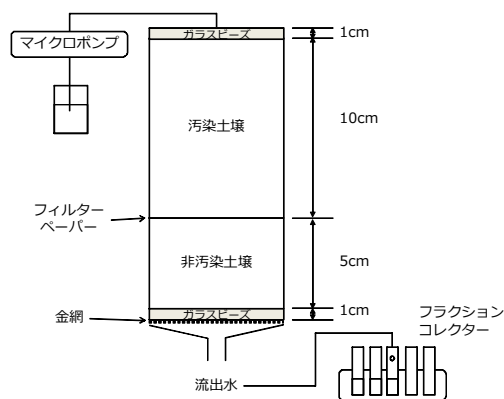


Figure1. The column experiment apparatus

*東京農工大学農学部 Department of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology. **東京大学大学院農学生命科学研究科 Department of Biological and Environmental Engineering, University of Tokyo.

キーワード：溶質移動、土壌の重金属汚染、吸着係数、亜鉛

Table1. Soil chemical and physical characteristics

	pH(H ₂ O)	EC	TC	TN	T-Zn	Mobile-Zn [†]	τ_r^{\ddagger}	τ_s^{\ddagger}	a^{\ddagger}	n^{\ddagger}	K_s^{\ddagger}	f^{\ddagger}
	-----	$\mu\text{S cm}^{-1}$	g kg^{-1}		mg cm^{-3}		$\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$		cm^{-1}	-----	cm hrs^{-1}	-----
Polluted soil	6.22	109.96	24.18	2.53	0.21	6.79×10^{-2}	0.12	0.60	0.27	1.36	2.40	0.50
Unpolluted soil	5.10	99.85	6.35	0.88	0.10	5.96×10^{-3}	0.09	0.44	0.49	1.23	0.18	0.50

[†]0.1mol L⁻¹HCl extraction zinc. [‡]van Genuchten model parameters

Modelのパラメータ（不動相水分量 θ_{im} 及び交換係数 α ）及び分散長 λ を逆解析によって推定した。さらに、得られた溶質移動パラメータを定数として固定し、フロイドリッヒ吸着特性のパラメータ (K_f と β) を逆解析によって推定した。

結果と考察

流出水中の亜鉛の時間変化を図2に示した。流出初期に亜鉛の濃度は高く、その後急激に減少した。約45時間以降、亜鉛濃度は約 $2.50 \times 10^{-5} \text{mg cm}^{-3}$ で一定となった。亜鉛のフラックス濃度はゼロにはならず、流出し続けることが分かった。

図2に点線で示したのは、MIMモデルのパラメータ及び分散長を逆解析によって推定した時、及び、実線は逆解析によって推定した全てのパラメータ (θ_{im} , α , λ , K_f , β) を定数として順解析を行った時の亜鉛のフラックス濃度である。どちらの解析結果も亜鉛の流出特性をよく表わしている。表2に、バッチ試験から直接求めたフロイドリッヒ吸着等温線のパラメータ (K_f と β) 及びカラム流出試験から間接的に求めたパラメータを示した。上層の汚染土壌の K_f は実測地よりも若干小さく推定された。一方、下層にある非汚染土壌の K_f と β 共に1オーダー大きく見積もられた。これは、吸着濃度プロファイルを見ると、上層土の

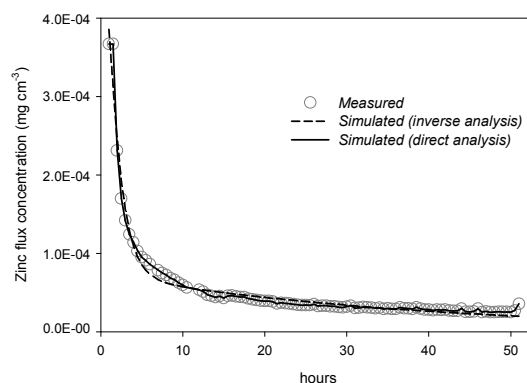


Figure2. Elution of zinc from column bottom together with inverse simulation results

Table2. Measured and simulated transport parameters for zinc leaching

		K_f	β	R^2
		$\text{cm}^3 \text{mg}^{-1}$	-----	
Polluted soil	Measured [†]	3.88×10^{-3}	0.28	0.988
	Simulated	1.01×10^{-3}	0.29	0.972
Unpolluted soil	Measured [†]	1.60×10^{-3}	0.26	0.969
	Simulated	1.45×10^{-2}	1.23	0.972

[†]obtained by the batch experiment

亜鉛吸着濃度の減少が下層土比べて著しいためと考えられる。本研究結果を踏まえ、異なる土壌に対しても同様の実験・解析を行い、バッチ試験の吸着特性補正式の作成について検討した。

引用文献

- Asada, K. et al. 2010. Accumulation and mobility of zinc in soil amended with different levels of pig-manure. J. Environmental science and Health, Part B. *In press*.
- Šimůnek, J. et al. 2005. The HYDRUS-1D software package for simulating the one-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably-saturated media. Version 3.0. HYDRUS Softw. Ser. 1. Dep. of Environ. Sci., Univ. of California, Riverside, CA.