

土壤中重金属の不動化に有効な投与材の検討 Investigation on effective amendments for heavy metal immobilization in soils

○櫻井伸治* 松尾奈保** 梶間谷俊介* 堀野治彦* 中桐貴生* 中村公人***

○SAKURAI Shinji*, MATSUO Naho**, KAJIMAYA Shunsuke*, HORINO Haruhiko*,

NAKAGIRI Takao*, NAKAMURA Kimihito***

1. はじめに 重金属汚染が広範囲に及んでいる農地では、時間やコストの面から除染は困難と考えられるが、そのような地域でも緊急避難的に作物生産を余儀なくされることも少なくない。そこで、水稲残渣や石灰等(以下、改良材)を投与して土壤中の重金属を不動化させ、作物への移行を抑制する試みがなされている。しかし、土壌や改良材の化学的性質と重金属の化学形態との関係性については不明な点が多い。本研究では、改良材投与による重金属の移行性の変化を評価するとともに、不動化に有効な改良材の性質を検討した。

2. 研究方法 (1)実験条件 Table 1 に示す条件でバッチ試験を実施した。土壌、牛ふん堆肥(CM)および鶏ふん堆肥(PM)は2 mm ふるいにかけて、稲わら(RS₀, RS₁, RS₃)はミキサーで粉碎し、それぞれ風乾させたものを試験に供した。重金属は水溶液の状態に添加し、1, 7, 28, 60 日後に各重金属の化学形態分析を行った。土中環境を模擬するために土壌容器の側面を遮光し、適宜補水することで実験系の含水量を維持しつつ室内にて静置した。また、対照試験として改良材無投与の条件(Ctl)も作成した。(2)化学形態分析 Tessier¹⁾の逐次抽出法を基にして化学形態別に分離し、各濃度を測定した。植物への移行性が高いと考えられる重金属の水溶態、イオン交換態(交換態)および炭酸塩態を一括して可給態とし、可給態濃度の増減や化学形態別分布から重金属の不動化効果を検討した。また、pH、改良材混合土の強熱減量(有機物量)、陽イオン交換容量(CEC)および水溶性有機炭素(D-TOC)も測定した。(3)重回帰分析 砂丘砂、水田土および両土壌を統合したものの各条件において重回帰分析を行い、各重金属の水溶態、水溶態+交換態([水+交])、可給態への影響要因の特定を試みた。説明変数は強熱減量、CEC、D-TOC および pH とし、多重共線性を考慮した上でステップワイズ法により寄与度の高いものを選択した。

3. 結果および考察 (1)改良材投与による重金属の移行性変化 砂丘砂、水田土および各改良材混合土の性質を Fig. 1 に示す。各土壌の Ctl 同士を比較すると、いずれの項目も砂丘砂より水田土の方が 7~9 倍大きい。両土壌ともに、強熱減量は CM および PM、CEC は CM、D-TOC は PM を投与した場合に他の改良材と比較して値が大きくなっている。また、各土壌の改良材無投与の条件における重金属の可給態濃度を比較すると(Fig. 2)、水田土(Ctl 条件)における Cu, Cd, Pb の可給態濃度は、試験期間を通して砂丘砂 Ctl 条件の 27~53 %, 77~91 %, 23~48 %であり、いずれの重

Table 1 Conditions of soil batch test

重金属	銅(Cu), カドミウム(Cd), 鉛(Pb)
添加方法	それぞれ単一添加(100 mg kgDW ⁻¹)
供試土壌	砂丘砂, 水田土(圃場含水量で維持)
改良材と混合割合	牛ふん堆肥(CM) 10 %(w/w)
	鶏ふん堆肥(PM) 10 %(w/w)
	稲わら(RS ₀ , RS ₁ , RS ₃)* 5 %(w/w)

* RS₀は腐熟化させていないもの、RS₁およびRS₃はそれぞれ1, 3ヵ月腐熟化させたもの

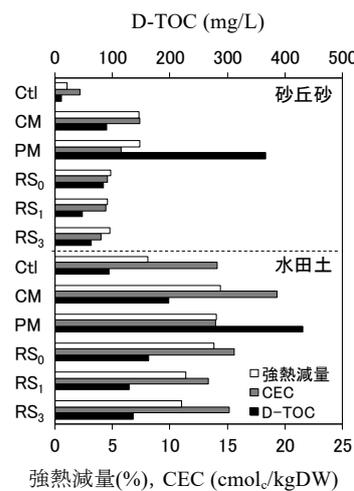


Fig. 1 Components of soils mixed with each amendment

* 大阪府立大学大学院生命環境科学研究科 Grad. School of Life and Environmental Sciences, Osaka Pref. University

** 西日本電信電話株式会社 Nippon Telegraph and Telephone West Corporation

*** 京都大学大学院農学研究科 Grad. School of Agriculture, Kyoto University

キーワード: 重金属 改良材 不動化 可給態 水溶性有機炭素

金属に対しても水田土はある程度の不動化効果を有している。

各改良材混合土における重金属の可給態濃度から不動化効果を比較すると(Fig. 2), 両土壤ともに CM 投与の効果が最も高く, Cu > Pb > Cd の順で Ctl に対する可給態濃度の減少率が大きくなった(Table 2). これは, CM 投与によって土壤の CEC が高まり(Fig. 1), 一般的に正電荷を持つとされる重金属が土壤または改良材により多く吸着されたと推察される. PM は CM に次いで可給態濃度が低くなる傾向に

あるものの(Fig. 1), 両土壤ともに可給態の中でも最も移行性の大きい水溶態が増加している. これは, PM に含まれる D-TOC と重金属の結合により重金属が水溶性錯体として存在するためと考えられる. なお, RS は腐熟の程度によらず Ctl よりも可給態濃度が増加することもあり, 重金属の不動化効果は認められなかった.

(2)重金属の移行性を左右する各要因の影響度

各重金属の化学形態に対する土壤が持つ性質の影響を重回帰分析により評価した結果を Table 3 に示す. 重金属種ごとに見ると, Cu の水溶態は両土壤ともに D-TOC と高い正の相関を示した. この傾向は, 水溶態がほぼ検出されなかった水田土の Pb を除く他の条件でも同様に見られる. また, 水田土において交換態の Pb も検出されないことが多かったため, 用いた説明変数による水田土における Pb の[水+交]濃度の分析精度は最も低くなっている. なお, Pb に関して, 表には示さないものの, 砂丘砂と水田土を統合して分析した場合の可給態濃度と CEC の間には $R^2 = 0.85$ の高い相関があり, CEC の高い改良材で土壤中の Pb の可給性を抑制できると思われる. Cd を見ると, 両土壤ともに目的変数に用いた化学形態の中で[水+交]画分に対して得られた重回帰式の決定係数が最も大きい. Cd の[水+交]濃度は pH 依存性を持つことが指摘されているが, 砂丘砂では CEC も同程度の寄与度があることがわかる. 総じて, Table 3 に示すほとんどの説明変数の標準偏回帰係数は D-TOC で正, pH および CEC で負となっている. すなわち, 重金属の移行抑制には D-TOC 含有量が少なく, CEC および pH が高い改良材が有効であることが統計的にも示された.

4. おわりに 本研究で用いた改良材の中ではいずれの重金属に対しても CM が最も重金属不動化効果が高く, その要因として, 他に比べ CEC および pH が高く, D-TOC 含有量が少ないことが関与していると示唆された. こうした改良材の性質を左右する因子には腐植物質等が想定されるため, その含量や化学組成を同定する必要がある. 参考文献 1) Tessier A. et al.(1979): Anal. Chem., 51(7),844-851

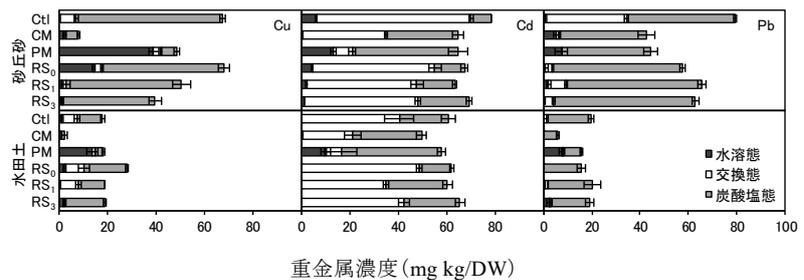


Fig. 2 Speciation of heavy metals in 28 days after added (Error bars show standard deviation, n=3)

Table 2 Changes in available concentration percentages (%) of heavy metals in soil mixed with each amendment to those in Ctl

改良材	Cu		Cd		Pb	
	砂丘砂	水田土	砂丘砂	水田土	砂丘砂	水田土
CM	-91 ~ -88	-87 ~ -72	-25 ~ -16	-24 ~ -7	-68 ~ -46	-70 ~ -52
PM	-48 ~ -28	-50 ~ 13	-18 ~ 4	-29 ~ -5	-44 ~ -7	-71 ~ -6
RS ₀	-4 ~ 26	-7 ~ 55	-14 ~ -2	2 ~ 16	-28 ~ -4	-20 ~ 35
RS ₁	-25 ~ 12	-64 ~ 4	-19 ~ -4	-12 ~ 2	-17 ~ -3	-7 ~ 39
RS ₃	-41 ~ -16	-32 ~ 5	-15 ~ -11	-6 ~ 9	-21 ~ 0	-17 ~ 15

Table 3 Factors affecting chemical forms of heavy metals (p<0.05)

目的変数	Cu			Cd			Pb			
	説明変数	係数	R ²	説明変数	係数	R ²	説明変数	係数	R ²	
砂丘砂	水溶態濃度	D-TOC	0.77	0.58	D-TOC	0.71	0.50	D-TOC	0.71	0.68
		CEC	0.20		pH	-0.53		CEC	-0.35	
	[水+交]濃度	D-TOC	0.62	0.37	CEC	-0.48	0.82	pH	-0.53	0.62
		pH	-0.36		D-TOC	-0.22		CEC	-0.35	
可給態濃度	CEC	-0.77	0.59	CEC	-0.58	0.32	CEC	-0.88	0.78	
	水溶態濃度	D-TOC	0.88	0.78	D-TOC	0.71	0.54	pH	0.69	0.47
水田土	[水+交]濃度	D-TOC	0.64	0.52	pH	-0.86	0.73	CEC	-0.36	0.12
		CEC	-0.32		pH	-0.71		CEC	-0.47	
	可給態濃度	pH	-0.55	0.51	pH	-0.71	0.49	pH	-0.48	0.53
		CEC	-0.36	CEC	-0.36	CEC	-0.47			