

## 有機物が水田土壌の重金属不動化に与える影響 Immobilization Effects of Heavy Metals in Paddy Soil Using Organic Matter

○櫻井伸治\* 堀野治彦\* 佐原大理\*\* 金森拓也\* 中桐貴生\* 中村公人\*\*\*

○Shinji SAKURAI\*, Haruhiko HORINO\*, Dairi SAHARA\*\*, Takuya KANAMORI\*,  
Takao NAKAGIRI\*, Kimihito NAKAMURA\*\*\*

**1. はじめに** 重金属によって汚染された農地では、経済的な理由から適切な土壌浄化が実施されずに作物生産を行っている地域がある。この問題に対し、食の安全性を担保するため、土壌改良材(特に有機物)を投与することで、重金属を不動化させ、農作物への移行を抑制する試みがなされている。これまでの研究<sup>1)</sup>で、砂丘砂において、有機物による重金属の不動化効果が認められたが、他の土壌での知見は得られていない。特に、水田土は砂丘砂に比べ粘土成分を多く含んでおり、比表面積が大きいことから、元来重金属との化学反応性に富んでいると推測されるため、有機物による不動化の相加効果が小さい可能性もある。本研究では、水田土でも有機物による当該効果が認められるか、さらに土壌種によって不動化のメカニズムに違いがあるかを把握することを目的とした。

**2. 調査方法** (1) **試験概要** 重金属として Cd, Cu, Pb に注目し、土壌にそれぞれ単一添加、またはいずれか 2 種を混合添加したバッチ試験を行った。供試土壌には水田土を、投与有機物に牛ふん堆肥(以下、牛ふん)を用いた。水田土および牛ふんは 2 mm ふりいにかき風乾させた。牛ふんは 10% (w/w)の割合で土壌に投与し、重金属濃度は各種 100 mg/kgDW, 土壌吸引圧は圃場含水量に相当する pF1.5~1.8 に調整した(以下、CM)。重金属に汚染された灌漑水が農地に供給されることを想定し、それぞれを溶液の状態で添加した。試験期間は2ヵ月設け、添加1, 7, 28, 60日後の重金属の化学形態を分析した。実験系は実際の現場を模擬するため側面をアルミ箔で遮光し、約 25°C の室内にて保管した。なお、対照試験(以下、Control)として有機物を投与していない実験系も作成し、同様の試験を行った。

(2) **分析方法** 重金属の分析は Tessier<sup>2)</sup>の逐次抽出法に準じて化学形態別に分離し、ICP-AES を用いて各形態別濃度を測定した。本研究では植物への移行性が大きいと考えられる水溶態、イオン交換態(以下、交換態)、ならびに炭酸塩態(以上、3 形態を一括して可給態)を重点的に測定し、可給態の増減や化学形態別分布から有機物による重金属の不動化効果を検討した。また、土壌の化学的特性の影響を検討するため、有機物含量の指標となる強熱減量、土壌 pH ならびに CEC も測定した。なお、以下の整理には、既報の砂丘砂での結果も含めている。

**3. 結果及び考察** (1) **有機物による可給態重金属濃度への影響** 水田土および砂丘砂における単一添加条件下での可給態濃度の経時変化を Fig.1 に示す。今回の水田土では、全期間を通じ、Cd, Cu,

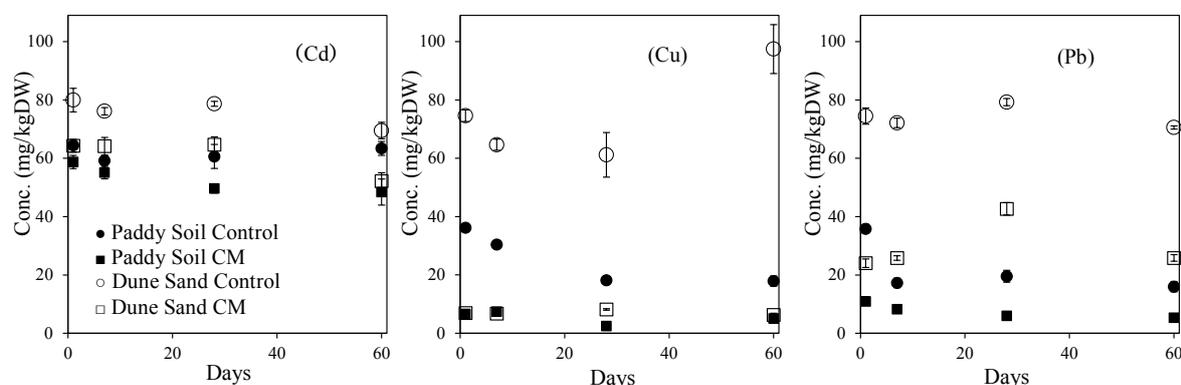


Fig.1 Changes in concentrations of heavy metals in bioavailability form (Error bars show standard deviation, n=3)

\* 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

\*\* 水資源機構 Japan Water Agency

\*\*\* 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 有機物 不動化 可給態 水田土

Pbの可給態濃度はControlに対しCMでそれぞれ7~24%, 72~87%, 52~70%減少している。砂丘砂を用いた試験でも同様の傾向を示しており、粘土分の多い水田土でも有機物による重金属の不動化効果は確認できた。

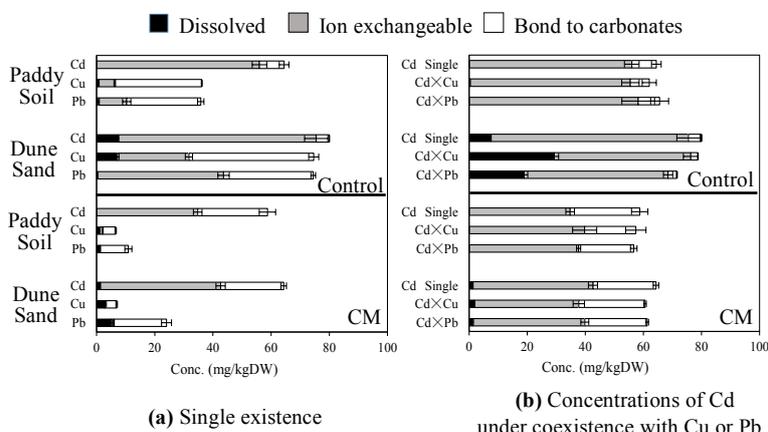
**Table 1** Chemical properties of soils tested  
(pH is the average of each value measured during test period)

Property	Paddy Soil		Dune Sand	
	Control	CM	Control	CM
Ignition loss (%)	8.07	14.40	1.07	7.29
Soil pH (1:5, water)	6.1	7.3	5.5	7.3
CEC (cmol <sub>c</sub> /kgDW)	15.75	19.33	2.25	7.36

各土壌条件での化学的特性を **Table 1** に示す。土壌のCECを見ると、水田土では砂丘砂よりも1桁高く、交換容量に富んでいると言える。しかし、添加した重金属を当量換算すると0.1~0.3 cmol<sub>c</sub>/kgDWと低く、本研究ではCECの大小自体が重金属の不動化メカニズムに関与しているかは不明である。強熱減量の結果を見ると、両土壌とも、牛ふん投与によって約6%上昇しているが、水田土、砂丘砂自体のそれは、それぞれ約8%、約1%と異なっている。各重金属のControlにおいて、水田土の可給態濃度は砂丘砂のそれと比較して、Cdで10~20%、CuとPbでは50~80%程度低く(**Fig.1**)、当初より水田土に含有される有機物により不動化されていることが窺われた。次に、砂丘砂CMと水田土Controlの化学的特性を比較すると、強熱減量はほぼ等しく、pHは平均値に示される通り、全期間を通じ、砂丘砂の方が高かった(**Table 1**)。一般に、重金属はpHの上昇に伴い、不溶化しやすくなると言われているが、CdやPbの可給態濃度では砂丘砂CMが水田土Controlを上回る箇所も見られる(**Fig.1**)。したがって、CdやPbの不動化には、pHよりも有機物含量が支配的であることが示された。また、Cuでは、砂丘砂CMの可給態濃度は水田土CMのそれと同程度まで減少している。しかし、両土壌の化学的特性を比較したものの、Cuの不動化に対するpHと有機物含量の関与の程度を明らかにするまでには至らなかった。

(2) **各重金属の化学形態による比較** 試験開始1日後の各重金属の単一存在下、ならびにCdを含む2種混合共存下(Cd×Cu, Cd×Pb)における化学形態別分布を **Fig.2** に示す。Control並びにCMでのCdの水溶態+交換態濃度を見ると、それぞれ可給態濃度に対して約90%、約60%を占めている。一般的に、植物への移行性は水溶態>交換態>炭酸塩態の順であることから、

Cdは他の重金属と比較して移行しやすいと言える。一方、**Fig.2(a)**で砂丘砂のControlを見ると、Cdは他の重金属と共存することで、単一存在下での水溶態濃度に比べ3~4倍に増加している。このことから、Cdは他の重金属共存下で移行性が向上すると考えられる。しかし、水田土では単一、共存に関わらず移行性に大きな差はみられない。



**Fig.2** Speciation of heavy metals in 1 day after added  
(Error bars show standard deviation, n=3)

**4. おわりに** 有機物による重金属の不動化効果は、砂丘砂と同様に水田土においても確認できた。CdとPbでは、不動化のメカニズムに対して有機物が大きく関与している一方で、Cuの不動化には、有機物以外の要因(例えば、pH, ORPなど)が関係していることが示唆された。このことから、重金属種によって不動化のメカニズムは異なると推察される。いずれにせよ、水田土は重金属に対して元来、不動化効果のある程度有しているが、有機物を投与することで、農作物への移行がより抑制されると期待される。なお、本研究は日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究(B)課題番号15H04568ならびに若手研究(B)課題番号17H15348の補助を得て遂行した。ここに謝意を示す。**引用文献** 1)金森他(2016):土壤物理学会大会講演要旨集, 90-91, 2)Tessier A. et al.(1979): Anal. Chem., 51(7),844-851