

平成 22 年 5 月 28 日現在

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2007～2009

課題番号：19360211

研究課題名（和文）

植物根の生理特性を考慮した土壌重金属の移流分散モデルの構築

研究課題名（英文）

Soil heavy metal transport model in combination with plant root physiology

研究代表者

佐藤 健 (SATO TAKESHI)

岐阜大学・工学部・教授

研究者番号：80135326

研究成果の概要（和文）：鉛汚染土壌に対する酢酸・リン酸塩の施用は，鉛含有量の 8 割以上を緑鉛鉱など難溶性化合物に形態変化させて不溶化を達成していることを明らかにした．原位置不溶化技術への当該技術の展開例として，廃石膏から合成しリン酸塩を含む廃石膏アパタイトを鉛汚染土壌に添加し，植物を栽培することで，鉛不溶化が可能になると考えられ，その有効性を実証した．

研究成果の概要（英文）：A chemical immobilization technology utilizing phosphorous containing amendments along with acetic acid was assessed for attenuation of Pb dissolution and modification of Pb species in solid and liquid phases in an actual shooting range soil. The effect of Pb immobilization was confirmed by sequential extraction of Pb which showed more than 80% of Pb fraction was shifted to Pb species with geochemically stable and a lower solubility than other Pb species. The P amendments technology was applied to in situ Pb immobilization in conjunction with phytostabilization technology utilizing phosphorous containing amendments along with plant in the Pb contaminated shooting range soil.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	2,800,000	840,000	3,640,000
2008 年度	2,700,000	810,000	3,510,000
2009 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	6,000,000	1,800,000	7,800,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・地盤工学

キーワード：移流分散，重金属，植物，根圏土壌，有機酸，廃石膏アパタイト，ファイトレメディエーション，ファイトスタビリゼーション

1. 研究開始当初の背景

(1)日本の重金属汚染事例の 6 割を占める鉛汚染は，射撃場跡地で特に顕著であり，汚染現場は山間地域の斜面の場合が多い．このよ

うな汚染の対策には，侵食による汚染拡散の防止と，荒廃した土壌生態系を修復できる技術を新たに開発することが緊急の課題である．

(2)植物根圏の水分涵養・地盤安定機能と、リン資材による鉛不溶化・毒性低減効果を組合せた新しい鉛汚染土壌の修復技術の着想に至った。

(3)植物とリン資材を組み合わせた土壌の鉛拡散防止技術の実用化には、土壌水分特性を勘案した鉛の溶出挙動と、鉛とリンの反応による不溶化物の生成について、いずれも植物の影響を考慮した予測方法(数値モデル)を確立することが必要になる。

(4)リン資材添加が、鉛の不溶化(緑鉛鉱の生成)に有効であることは公知であるが、植物根の存在する環境下での鉛・リン反応の詳細は、未解明の点が多い。

2. 研究の目的

(1)鉛不溶化メカニズム解明

植物根が分泌する有機酸による土壌鉛の溶解、溶解した鉛とリン資材の反応による不溶化鉛の生成メカニズムを解明する。鉛・リン・植物根の作用想定モデル(根圏鉛不溶化モデル)に基づき、鉛の不溶化量に影響する要因(リン・鉛・有機酸量)と植生の有無による不溶化鉛量との関係を明らかにする。

(2)鉛溶出挙動の解明

土壌溶液中の可溶性鉛の濃度を、有機酸・リン資材の添加量、植生の有無とリン資材の添加量、を変化させ、評価することで、汚染土からの鉛の溶出挙動を明らかにする。

(3)形態分析を導入した溶出挙動モデルの構築

根圏の生理特性が関係した鉛不溶化挙動と鉛溶出挙動を考慮し、汚染土における植物とリン資材の併用による鉛不溶化技術を構築する。

3. 研究の方法

(1)供試土壌

多治見市営総合射撃場跡地の土壌を用いた。環告第18号(溶出試験)による鉛溶出量は2.16 mg/L、環告第19号(含有量試験)による鉛含有量は、14400 mg/kgであった。硝酸・塩酸混合液の強酸分解では、篩別粒径2 mmで18000 mg/kg、篩別粒径0.425 mmで30000 mg/kgの鉛含有量となった。土壌有機物量は8.3%で、一般的な森林表層土と類似する値を示した。逐次抽出法では、イオン交換態鉛9.6%(2800 mg/kg)、炭酸塩結合態56.0%(17000 mg/kg)、鉄・マンガン酸化物結

合態21.2%(6400 mg/kg)、腐植結合態8.2%(2500 mg/kg)、残渣態5.0%(1500 mg/kg)となり、土壌鉛の50%以上が炭酸塩結合態として土中に存在していた。

(2)根圏鉛不溶化モデルの実験

供試土壌に、緑鉛鉱 $Pb_5(PO_4)_3Cl$ の化学式がモル比で $[Pb]/[PO_4]=5/3$ であることから $5/X$ と置き、 $X=0,1,3,5,7,9,11$ となるようリン資材を添加混合し、混合試料の質量が 15.00 ± 0.01 gとなるようコニカルチューブ(ファルコン, 352098)へ秤量した。有機酸は0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 mol/Lの酢酸水溶液を用意し、供試土壌へ5 mLずつ添加した。これらの土壌は反応を進行させるために密栓湿潤状態で3日間養生、その後4日間室温で風乾させた。供試土壌は統計的に評価するため、繰り返し3とした。

(3)植物と廃石膏アパタイトによる鉛不溶化実験

供試土壌に所定量の廃石膏アパタイト(HAP)を混合後、15 mL チューブに入れた。このチューブに鉛を高濃度集積するソバ(*Fagopyrum esculentum*)を播種・育成した(根圏)。またソバを育成しないチューブも設けた(植物無)。養水分は、チューブの底部を切り取り、ガーゼで覆った下部より適宜補充した。HAP添加率は土壌に対する重量比で0, 1, 3, 4, 6%に設定した。日照温度条件は、それぞれ14時間日照, 20℃程度とした。発芽から2, 4, 6週目の土壌を採取した。土壌の採取方法は、チューブを解体し、植生区では根に付着してふるい落ちない土壌を採取、無植生区では全量を採取した。これらの試料を風乾した後、分析に供した。

(4)分析項目

養生、風乾させた土壌を 3.000 ± 0.001 gに秤量し、環境省告示18号に準じてpH 6.0の溶媒を30 mL加え(土壌:溶液=1:10), 24 h振とうさせた。その後5000 rpm, 5 min遠心分離し、0.45 μm フィルターで上澄み液をろ過して検液とした。検液はpHを測定(東亜ディーケーケー社, MM-60R マルチ水質計)し、ICP-AES(堀場製作所, ULTEMA2)を用い、鉛(Pb)、アンチモン(Sb)、リン(P)を定量した。鉛形態分析には逐次抽出法を採用した。

4. 研究成果

(1)有機酸(OAc)を添加することで土壌pHが低下し、鉛溶出が急激に増加した。リン酸塩(KP)と併用することで溶出量を抑制できることがわかった。

(2)KP 添加のみでは土壌 pH がアルカリ領域になり、資材無添加に較べて、鉛・アンチモン溶出量が増加した。KP・OAc の併用で、鉛溶出量を資材無添加より 20～80%減少させることに成功した。

(3)KP の施用で残渣態鉛の割合が増加し、KP・OAc の併用 (KAP11-OAc2.5) で、残渣態鉛の割合は全鉛含有量の 82%まで増加した。



図1 土壌鉛の形態分析結果

(4) 根圏の鉛溶出量は廃石膏アパタイト (HAP)添加量が増加するごとに減少する傾向を示した。0%区, 1%区では原土 (7.26mg L⁻¹-water) を超え, 3%添加区で原土と同程度, 4%区, 6%区で原土を下回る値を示した。また, 4%区, 6%区については 2week よりも 4, 6week で高い値となった。植物無の鉛溶出量は, いずれの添加率においても原土以下となり, HAP 添加量の増加に伴い減少する傾向が見られた。また, 各 HAP 添加率で 2, 4, 6week に有意な差はなかった。

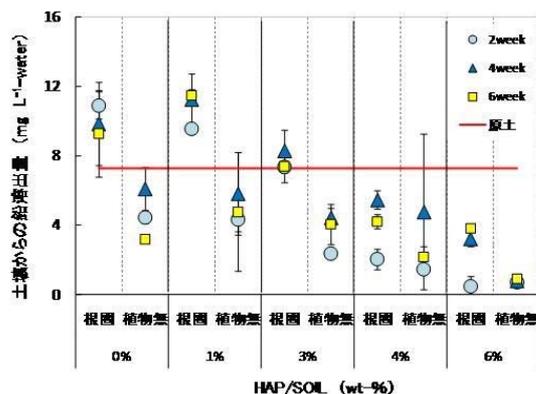


図2 水抽出試験による鉛溶出量

(5) 植物を併用した場合においても, HAP 添加率の増加に伴い, 鉛不溶化効果が促進されることが明らかとなった。しかし, 植物の利用は根付近で有機酸の影響が強く, 不溶化処理をしても植物がない土壌より根圏近傍で鉛が可溶化することが示された。そのため, HAP 添加量は植生の有無により変える必要

性が示唆された。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計8件)

Hashimoto, Y., Taki, T, and Sato, T.: Sorption of dissolved lead from shooting range soils using hydroxyapatite amendments synthesized from industrial byproducts as affected by varying pH conditions, *Journal of Environmental Management*, Vol.60, pp.1784-1789, 2009. 査読有

Hashimoto, Y., Matsuhuru, H., and Sato, T.: Attenuation of lead leachability in shooting range soils using poultry waste amendments in combination with indigenous plant species, *Chemosphere*, Vol.73, 643-649, 2008. 査読有

松古浩樹, 橋本洋平, 佐藤健: 室内実験による植物の排水抑制効果と土中水移動との関係, *土木学会論文集G*, Vol.63, No.2, p.p.120-127, 2007. 査読有

Yohey Hashimoto and Takeshi Sato: Removal of aqueous lead by poorly-crystalline hydroxyapatites, *Chemosphere*, Vol.69, pp.1775-1782, 2007. 査読有

松古浩樹, 橋本洋平, 佐藤健: 植物機能を活用した射撃場跡地の汚染土壌管理と環境修復 *地盤工学会誌「土と基礎」*, Vol.55, No.7, pp.37-39, 2007. 査読有

松古浩樹, 本田宗央, 武藤淳司, 田村英生, 小島淳一, 佐藤健: 現地実証試験における植物による鉛汚染土壌の浄化と拡散防止効果, *土木学会論文集*, Vol.63, No.1, pp.51-57, 2007. 査読有

[学会発表](計7件)

佐藤健, 沓名亮輔, 橋本洋平: 酸性雨条件下における根圏土壌の鉛溶出抑制機構, 第64回土木学会年次学術講演会講演概要集, -221 (CD-ROM), 2009年9月2日, 福岡大学。

白水真和, 佐藤健, 橋本洋平: 植物と不溶化処理を併用した汚染土壌中の鉛の溶解性, 第64回土木学会年次学術講演会講演概要集, -221 (CD-ROM), 2009年9月2日, 福岡大学。

吉田孝敏, 佐藤健: 鉛汚染土壌への有機酸添加によるリン酸-鉛結合不溶化の促進と限界, *土木学会中部支部研究発表会講演概要集 (CD-ROM)*, 2009年3月3日, 名城大学。

松古浩樹, 橋本洋平, 佐藤健: 鉛汚染土壌におけるリン資材併用によるファイトスタビリゼーションの効果, 日本土壌肥料学会全国大会講演概要, 2008年9月16日, 名古屋市立大学.

滝友宏, 橋本洋平, 佐藤健: 鶏糞焼却灰による射撃場汚染土壌からの鉛の溶出移動の抑制, 第17回日本環境化学討論会, 2008年6月11日, 神戸国際会議場.

星屋誠, 橋本洋平, 佐藤健: 根圏土壌における水分と重金属移動のモデル化に関する研究, 土木学会中部支部研究発表会講演概要集(CD-ROM), 2008年3月7日, 金沢大学.

落合陽輔, 佐藤健: リン資材添加による根圏土壌の鉛不溶化の促進, 土木学会中部支部研究発表会講演概要集(CD-ROM), 2008年3月7日, 金沢大学.

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計1件)

名称: 土壌汚染金属の不溶化機能を有する緑化基盤材

発明者: 橋本洋平, 佐藤健

権利者: 国立大学法人 岐阜大学

種類: 特許

番号: 特願 2008-220919

出願年月日: 2008年8月29日

国内外の別: 国内

取得状況(計0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年月日:

国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

<http://repository.lib.gifu-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

佐藤 健 (SATO TAKESHI)

岐阜大学・工学部・教授

研究者番号: 80135326

(2) 研究分担者

橋本 洋平 (HASHIMOTO YOHEI)

三重大学・大学院生物資源学研究科・准教授

研究者番号: 80436899

高見澤 一裕 (TAKAMIZAWA KAZUHIRO)

岐阜大学・応用生物科学部・教授

研究者番号: 00159005

(3) 連携研究者

加藤雅彦 (KATOH MASAHIKO)

岐阜大学・工学部・助教

研究者番号: 00578312