

土壌含有元素の溶出特性及び溶出リスクの評価に関する研究

染矢雅之・東野和雄・佐藤綾子・下間志正

【要 約】本研究では、鉛汚染土壌を用いた上向流カラム通水試験を実施し、土壌含有 28 元素の溶出特性の把握を試みた。その結果、鉛やヒ素等の有害元素の溶出挙動に土壌の化学的性質や他元素の溶出挙動が深く関係することが示唆された。

【目 的】

土壌中有害元素の溶出リスクを正しく理解するためには、有害元素の存在量や化学形態のみならず、土壌に含まれる他の元素の存在量やその挙動の影響、土壌の化学的性質も含めた評価が重要になると考えられる。その関係を評価した研究として、森林土や農地の土壌を対象にした事例は少なからず存在するが、土壌汚染対策法の調査対象となる工場跡地や住宅地等の土壌に関する事例は少ないのが現状である。そこで本研究では、都内より採取した鉛汚染土壌を用いて上向流カラム通水試験を実施し、土壌に含まれる多元素の溶出特性と土壌の化学的性質を包括的に評価することを試みた。

【方 法】

試料：都内の鉛溶出基準値を超過する実汚染土壌 1 検体を対象にした。土壌試料は風乾処理した後、2mm 目のふるいを用いて粒径調整した (<2mm)。

試験方法：本研究では、土壌からの有害物質の溶出挙動をより実環境に近い形で評価できる上向流カラム通水試験を試験方法として採用した。上向流カラム通水試験は、一部（人工雨水の使用）を除いて ISO/TS21268-3 規格に準拠して実施した（図 1）。得られた各液固比における溶出液とそのろ液について、濁度、電気伝導率（EC）、pH を測定した後、硝酸処理を行い、28 元素を ICP-MS もしくは原子吸光光度計にて定性・定量した。

【結果の概要】

土壌中の 28 元素を測定した結果、Li、Cr、Co、Zn、Ga、Ge、Se、Zr、Ag、Cd、Cs の 11 元素については大半の測定試料で定量下限以下の値であった。その他の 17 元素（Mg、Al、Si、Ca、Ti、V、Mn、Fe、Cu、As、Rb、Sr、Mo、Sn、Sb、Ba、Pb）については、上向流カラム通水試験の試験開始時から終了時（累積液固比として約 21）までに経時的に採取したろ液及び未ろ過溶液中濃度を定量した。それら 17 元素の定量結果を基に解析・考察した結果、以下の知見が得られた。

- (1) 17 元素の溶出濃度と累積液固比との関係について解析した結果、その経時的な溶出パターンから各元素を 6 つのカテゴリに分類した（図 3）。
- (2) 溶出挙動に関する結果に基づくと、図 3 の①に分類した Ca や Mg などの大半は、雨が降ると土壌からイオン態として速やかに溶出し、その溶出量は時間と共に減少すると考えられる。なお、溶出液の EC も経時的な減少傾向を示しており（図 2）、その他の代表的な土壌中イオンである K^+ や Na^+ など（未測定）も土壌から速やかに流亡すると推測される。
- (3) 微細な土壌コロイド粒子の間接指標とした溶出液の濁度と EC との関係を評価したところ、EC が 20 mS/m 程度まで低下すると濁度の上昇がみられた（図 2）。この結果から推測すると、土壌コロイドは、雨水に溶け込むイオン成分が多い（=EC が高い）と凝集沈殿するが、ある一定量までイオン量が低下すると溶液中で分散し、土壌から流出すると考えられる。ここで、鉛をはじめとする図 3 の②と④に分類した元素に関しては濁度との間に強い正の相関関係が認められた（図 4）。以上の結果を総合すると、Ca など図 3 の①に分類した元素の土壌からの溶脱によって土壌コロイドが分散し、結果としてそれら土壌コロイドに吸着する鉛等の有害元素溶出量が増加するといった一連のイベントが起こったことが予想される。
- (4) 本試験において、時間の経過に伴うマンガン溶出量の増加がみられた（図 5）。なお、マンガン溶出濃度と濁度との間に相関関係は認められなかった（data not shown）。マンガン溶出濃度の増加の原因について考察すると、日数の経過と共に、土壌を詰めたカラム内の雰囲気が還元的になり、酸化状態などの不溶化態として存在していたマンガンがイオン化態に変化したことが溶出量増加の原因と考えられた。また、このマンガン濃度の上昇と関連して、ヒ素溶出濃度の上昇傾向がみられた（図 5）。実環境において、ヒ素は鉄やマンガンと土壌中で共存しており、本試験土壌においても、マンガン溶出に伴って、それらマンガンに吸着していたヒ素の溶出量が付随して上昇したと考えられた。

【結言】

結論として、鉛やヒ素等の有害元素の溶出挙動に土壌の化学的性質や他元素の溶出挙動が深く関係することが示された。本成果は、有害元素の溶出挙動の把握および溶出リスク評価の際の有用な基礎的知見になることが期待される。

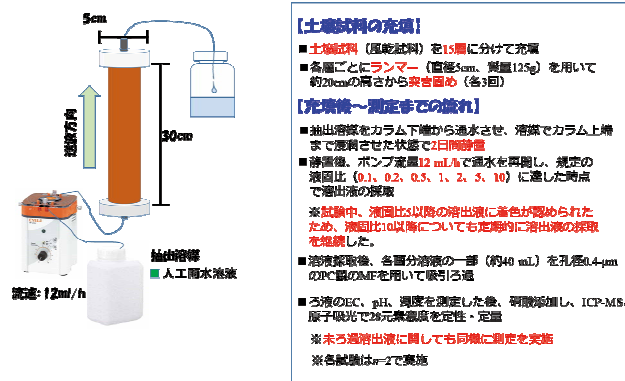


図1 上向流カラム通水試験

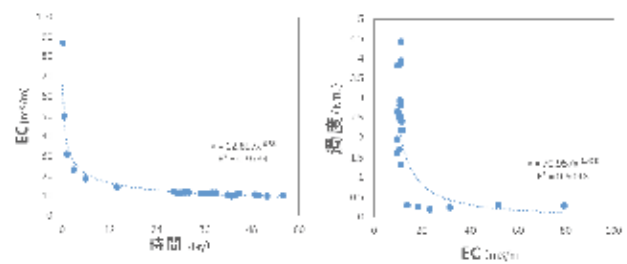


図2 上向流カラム通水試験における EC の経時変化 (左) および EC と濁度との関係 (右)

経時的に EC が減少し、その値がある一定値以下になると濁度が上昇する傾向がみられた。

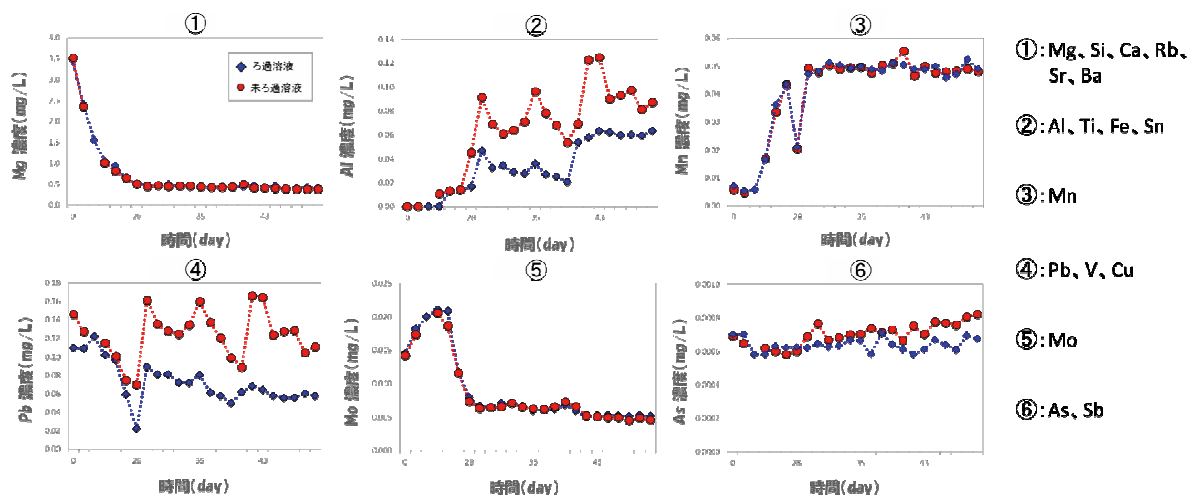


図3 上向流カラム通水試験におけるろ液及び未ろ過溶液中各元素の経時的な溶出挙動

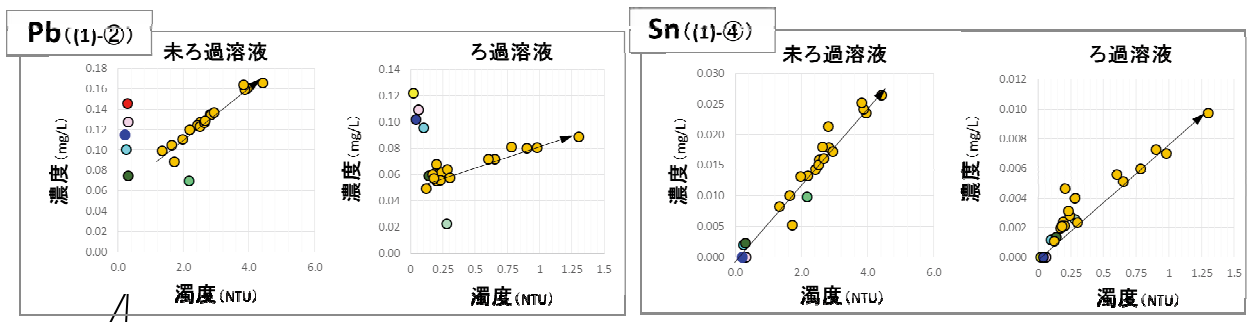


図4 上向流カラム通水試験より得た未ろ過抽出液とろ液中の元素濃度と濁度との関係

溶液の濁度（土壌コロイド）が高いと Pb や Sn などの元素溶出濃度も高い → Pb や Sn の大半は土壌コロイドに吸着して溶出

黄色以外のプロットは液固比5までのデータを示す。鉛は、液固比5まで濁度と相関がなく、その大半は溶存態鉛と考えられる。

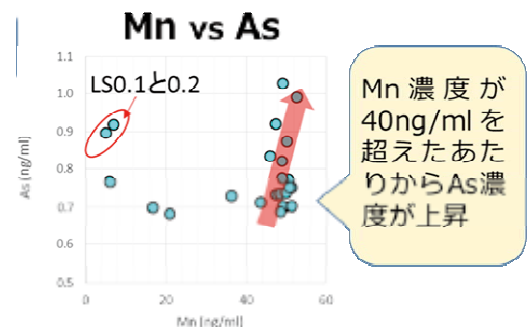
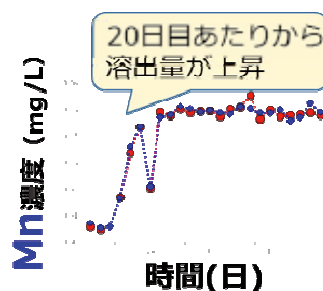


図5 マンガン溶出濃度の経時変化 (左) およびマンガンとヒ素溶出濃度との関係 (右)