

(60) 市街地土壌重金属汚染の鉛直濃度分布に関する研究

A study in the vertical distribution of soil contamination
with heavy metals in residential districts

坂内修* 谷腰辰也** 辻貴史*** 米田稔**** 森澤真輔****
Osamu BANNAI*, Tatsuya TANIKOSHI**, Takashi TSUJI***,
Minoru YONEDA****, Shinsuke MORISAWA****

ABSTRACT: Heavy metals exist in soils by nature and are accumulated in soils caused by fallout. It is difficult to identify the amount of soil contamination because fallout was not so heavy compared with natural existence. In this study, soils are divided into two fractions: (upper 0-2.5 centimeters and lower 2.5-5.0 centimeters depth) in order to measure the concentration except the background concentration. As a result of comparing two-layer partitions, arsenic and cadmium are accumulated at the lower layer with the form extracted with nitric acid. Park soils may have been polluted with lead by fallout because the lead is much accumulated in the upper soils than the lower soil.

KEYWORD: Residential districts, Soil contamination, Heavy metal,
Two-layer partitioning

1. 序論

市街地で顕在化する土壌汚染の増加を背景に平成 14 年に土壌汚染対策法が成立し、同年 5 月に公布、平成 15 年 2 月に施行された。土壌汚染対策法では特定有害物質を保管・使用していた土地について土地取引、再開発の際に行うべき土壌汚染調査方法と汚染が認められたときの浄化方法についてまとめられている。汚染物質のうち重金属類については直接摂取することによるリスクに係わる含有量基準が設定されており、Cr, Hg を除く重金属類については 1N 塩酸抽出法¹⁾が採択された。この抽出方法は明らかに全量分析ではなく、土壌を直接摂取した際におこる人体の消化吸收過程を模擬した抽出方法でもないことが報告²⁾されている。また、土壌汚染調査の結果、含有量基準に適合しない状態にあることが判明した土壌中の特定有害物質が自然的原因によるものかどうかの判定方法についても明確な基準はなく、土壌中重金属濃度が有害物質使用施設からの漏洩やケミカルフォールアウトなどの人為的な汚染なのか土壌の性質や地質的影響などの自然的原因によるものかを判別することは困難である。

2. 本研究の目的

土壌汚染対策法で含有量基準の設定されている重金属類は自然界にもともと微量に存在しており、人為的

*京都大学大学院工学研究科博士課程 (Doctor Course Student at Graduate School of Engineering, Kyoto University)

**トヨタ自動車 (TOYOTA Motor Corporation)

***京都大学大学院工学研究科修士課程 (Master Course Student at Graduate School of Engineering, Kyoto University)

****京都大学大学院工学研究科 (Graduate School of Engineering, Kyoto University)

な汚染による蓄積と自然的原因により存在する含有量とを分けて考える必要がある。従って市街地の土壌について汚染土壌を評価する際には、非汚染地域のデータが必要とされる。農用地の土壌中元素については浅見の「日本土壌の有害金属汚染」³⁾などにまとめられている。市街地の土壌に関してバックグラウンドとしての土壌中濃度がどの程度であるかは明らかでない点も多い。「土壌汚染対策法の施行について」⁴⁾では自然的原因による汚染物質の扱いについて以下のように述べている。

土壌汚染調査により溶出量基準に適合しない土壌が自然的原因によるものであることが疑われる場合には、追加調査を行い、以下の 3 つの観点から検討を行い、そのすべてについて条件を満たす場合には土壌汚染対策法の適用対象とはしない。

(1) 砒素、鉛について溶出量が土壌溶出量基準の 10 倍を超える場合は人為的原因である可能性が高いため、溶出量基準の 10 倍を超えないこと。

(2) 全量分析の結果、表 1 に示す自然的原因による含有量の上限値の目安を超えない場合。

(3) 全量分析の結果、濃度分布と有害物質の使用履歴のある場所との関連性を示す局在性が認められない場合。

表1 自然的原因による含有量の上限値の目安

特定有害物質	砒素	セレン	カドミウム	水銀	鉛
上限値の目安値 [mg/kg]	39	2.0	1.4	1.4	140

土壌汚染調査により含有量基準に適合しない土壌が自然的原因によるものであることが疑われる場合には、追加調査を行い、以下の判定基準を満たす場合には土壌汚染対策法の適用対象とはしないと決められている。

(1) バックグラウンド濃度との比較または化合物形態等の確認から、自然的原因によるものであると確認できること。

(2) 特定有害物質の含有量の分布に、当該特定有害物質の使用履歴のある場所等との関連性を示す局在性が認められないこと。

なお、これまでの知見からは、自然的原因により土壌含有量基準に適合しないこととなる可能性がある物質は鉛および砒素であると考えられる。

以上のように溶出量基準、含有量基準を超過した場合についても自然的原因によるものである場合には土壌汚染対策の指定区域から除外される場合があるが、含有量基準については対象地域ごとに判断する必要があり、一律な判断基準は示されていない。

土壌汚染対策法では特定有害物質を使用していた施設、敷地内について土壌汚染調査を行うが、自然的原因による土壌への含有や区域外からのフォールアウトによる大気経由の汚染について対策を求めている。これら自然的要因やフォールアウトによる汚染の影響を把握するために市街地の公園土壌を対象として土壌汚染調査を行う。市街地の公園土壌などは一般に客土が行われるため、自然的原因による汚染物質の含有量は数十 cm 程度の深さ方向についてほぼ均質であると考えられる。造成後に表層へのフォールアウトなどによる大気経由の汚染がある場合、あるいは過去にそのような汚染があった場合は深さ方向にフォールアウトによる濃度分布が見られると考えられる。本研究では重金属類の土壌中濃度が自然的原因であると判断する方法として鉛直方向に二層分割して土壌汚染調査を行う方法を検討し、表層土壌への人為的な汚染の有無を解析することを目的とした。

3. 土壌汚染調査

3. 1 調査対象

一般的な市街地の土壌汚染調査を行うために日本全国を調査対象として土壌サンプリングを行った。土壌

中の重金属濃度は土壌の物理化学的性質のほか、人為的な汚染の影響、海や気候などの自然環境の影響、土壌の地質的な影響等の様々な要因で決定される。一般市街地の土壌として本研究では児童公園の土壌を対象としてサンプリング調査を行った。児童公園を対象とした理由として土地利用による人為的な土壌汚染よりも大気経由のフォールアウトによる土壌汚染が支配的である場所であることが挙げられる。また、土壌の性質が有機炭素の含有量が少ないなどの点で似ていること、比較的均一な採取地点の間隔で土壌採取できること、子供が直接摂取する可能性が高いことも理由として挙げられる。

公園内の土壌採取地点については、5 地点混合方式⁹⁾を採用した。採取方法は、公園の地面に内径 5cm、深さ 5cm の円筒状ステンレス製採土器を 5cm 打ち込み、得られた土壌試料を上部約 2.5cm と下部約 2.5cm に分けて各公園につき 5 地点採取し、均質に等量混合してそれぞれ上層土壌試料、下層土壌試料とした。上層土壌試料と下層土壌試料のそれぞれの深さの範囲は、青木、米田の報告⁹⁾から決定した。青木、米田の報告では神戸市内のある公園土壌について鉛直方向の土壌中重金属濃度分布を求め、Cd や Cr の土壌中濃度が深さ 5cm までで大きく変化している結果を報告している。このことから表層 5cm の土壌がほぼ均質であるとする、重金属の上層土壌中濃度と下層土壌中濃度の差を求めることによって、バックグラウンドとしての土壌中濃度を除いた表層へのフォールアウトなどによる汚染の効果を同定できると考えられる。

本研究では日本海岸気候、内陸性気候、太平洋岸気候、瀬戸内気候が存在し、また様々な産業が存在している日本全国を対象とした。採取地点間隔を 30~40km とし、図 1 に示す合計 75 地点について 2000 年から 2002 年にかけて土壌サンプリングを行った。2000 年に行った内陸部の地点（図中の灰色丸の地点）については含有量基準の測定方法である 1N 塩酸抽出法による測定は行っておらず、これらの地点を除く合計 67 地点について解析を行った。後に示す 0.1N 塩酸抽出法、硝酸抽出法については合計 75 地点について解析を行った。

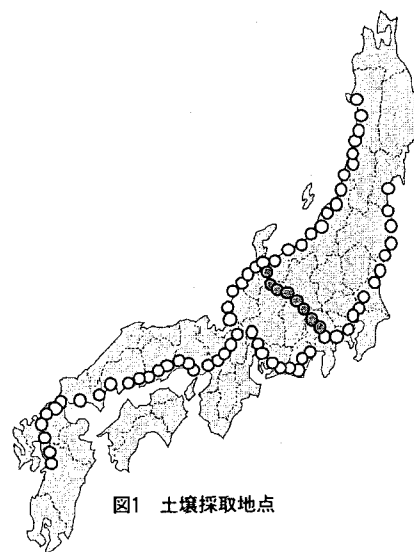


図1 土壌採取地点

3. 2 測定方法

土壌中重金属濃度を測定する方法として本研究では土壌から重金属を抽出し、ICP/MS で抽出溶液中重金属濃度を測定し、土壌中濃度を算出するという方法をとった。

抽出前に以下の操作で試料土壌の前処理を行った。

- (1) 採取した土壌を乾燥機に入れ 12 時間以上 60℃ で乾燥させる。
- (2) 乾燥後自然冷却させ、木製杵の網目 2mm のポリエチレン製網ふるいに通し、分析試料とする。

本研究で対象とする重金属類は土壌中で多様な形態で蓄積されており、土壌中重金属濃度を抽出溶液の濃度から算出する場合、その抽出方法によって濃度は大きく変化する。上下層の濃度分布がどの蓄積形態で大きく変化するかを求めるため、以下に示す 1N 塩酸抽出法、0.1N 塩酸抽出法、硝酸抽出法の 3 つの抽出方法を用いて重金属類を抽出した。

3. 3 1N 塩酸抽出法

重金属類の含有量基準の測定方法として、六価クロムを除いて 1N 塩酸抽出法が採用された理由として答申では以下のように述べられている。

土壌中の対象物質の含有量の測定方法については、土壌環境中での化合物の形態の変化及び土壌からの対象物質の体内での摂取の実態を考慮して、一定の安全性は見込むが完全分解による全量分析までは行

われないような分析方法とする。具体的には、金属類の全量を計る方法として知られているアルカリ溶融法やフッ酸混酸分解法といった分解力の非常に強い方法を用いず、土壤環境中での化合物の形態の変化及び土壌からの対象物質の体内での摂取の実態の双方を考慮する。

この抽出手順を以下に述べる。

- (1) 分析試料 5g を 200mL 三角フラスコに秤取する。
- (2) 1N 塩酸^①を 150mL 加えて三角フラスコにゴム栓をした後、室温で 12 時間振とうする。答申では振とう強度（回転数）については言及されていないため 150[rpm]とした。
- (3) 振とう終了後、この試料を十分な時間静置した後、上澄み液を孔径 0.45 μm のアセテートフィルタでろ過し、超純水^②で 25 倍に希釈したものを試料液とする。
- (4) 試料液を ICP/MS で測定し、土壌抽出の溶液中濃度から土壌中濃度[mg/kg-soil]を換算する。

3. 4 0.1N 塩酸抽出法

本研究で採用した 0.1N 塩酸抽出法は農用地土壌汚染対策地域の指定要件に係わる特定有害物質のカドミウム、銅及びヒ素の量の検定に用いられる 0.1N 塩酸浸出法^③を、分析試料及び抽出溶液量を 1/2 にした方法である。胃酸の pH は個人差が大きいが、およそ pH1~3 の間にあり、0.1N 塩酸抽出法は 1N 塩酸抽出法よりも人間の胃液の状態に近いと考えられる。この抽出手順を以下に述べる。

- (1) 分析試料 5g を 50mL ネジ蓋付きポリプロピレン製遠沈管に秤取する。
- (2) 0.1N 塩酸^①を 25mL 加え、インキュベータ内で 35℃ 恒温に保ち、ロータリーシェイカーで 12 時間、振とう強度（回転数）150[rpm]で振とうする。
- (3) 終了後、2500[rpm]で 3 分間遠心分離にかけ、上澄み液を孔径 0.45 μm のアセテートフィルタでろ過し、超純水^②で 25 倍に希釈して試料液とする。
- (4) 試料液を ICP/MS で測定し、土壌抽出液の溶液中濃度から土壌中濃度[mg/kg-soil]を換算する。

3. 5 硝酸抽出法

金属類の全量を計る方法として知られているアルカリ溶融法やフッ酸混酸分解法は特別な施設と安全に対する熟慮が必要である。本研究では安全性などを考慮し、アルカリ溶融法やフッ酸混酸分解法のように土壌粒子内部に包蔵される金属までは抽出できないが、塩酸抽出法よりも強い抽出法を期待できる方法として硝酸と湿式分解装置を用いた湿式分解法^④を採用した。湿式分解装置（CEM 社製 MDS2000）ではマイクロウェーブにより容器内を高圧条件下として土壌粒子を部分的に溶解する。この方法を硝酸抽出法と呼び、抽出手順を以下に示す。

- (1) 分析試料 0.5g を湿式分解装置（CEM 社製 MDS2000）用試料容器に秤取する。
- (2) 60%濃硝酸^⑤15mL を加え、MDS2000 を表 2 に示す条件で作動させ、終了後試料容器内の上澄み液を取り出して超純水^②で 25 倍に希釈して孔径 0.45 μm のアセテートフィルタでろ過し、試料液とする。
- (3) 試料液を ICP/MS で測定し、土壌抽出液の溶液中濃度から土壌中濃度[mg/kg-soil]を換算する。

^①Wako CHEMICALS 社製

^②MILLIPORE 日本ミリポア社製

^③Wako CHEMICALS 社製

有害金属測定用特性試薬 塩酸を超純水で希釈

Milli-Q 超純水装置システムを使用

有害金属測定用特性試薬 硝酸を超純水で希釈

表2 湿式分解装置MDS2000作動条件

ステージ	圧力 [psi]	時間 [min]	TAP時間 [mir]
1	40	10	5
2	80	15	8
3	120	20	10

3. 6 ICP/MS による測定

測定用 ICP/MS としては HEWLETT PACKARD 製、ICP 質量分析装置 HP4500 を用いた。測定対象元素は Na, Mg, Al, K, Sc, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Zr, Cd, Sn, Sb, Cs, Pb の 20 元素である。

各抽出溶液の ICP/MS による検出限界を求めるために、各抽出操作において blank (空操作) サンプルをそれぞれ 5 サンプルずつ作成した。検出限界は (blank サンプル濃度の平均値) + (blank サンプル濃度の標準偏差の 3 倍値) あるいは標準液より作成した検量線の式が適用可能な範囲内での最小濃度の値のうち高い方とした。表 3 に検出限界濃度値を示す。

表3 各抽出方法における検出限界 [mg/kg-soil]

元素	Cr	Cu	Zn	As	Se	Cd	Pb
0.1N塩酸抽出法	1.1	0.053	0.44	0.043	0.035	0.0025	0.25
1N塩酸抽出法	2.9	0.3	13	0.37	0.21	0.012	0.099
硝酸抽出法	0.2	0.14	21	0.34	0.29	0.060	0.11

4. 調査結果

4. 1 平面濃度分布の解析

3つの抽出方法による濃度の算術平均値を表 4 に示す。表の×印は検出限界以下の値が多かったことを示している。表より、各元素とも硝酸抽出による濃度がもっとも高い。また、Cu を除いて 1N 塩酸抽出による濃度が 0.1N 塩酸抽出による濃度より大きい。As は 0.1N 塩酸抽出法、1N 塩酸抽出法でも硝酸抽出法に比較的近い濃度となった。

表4 各抽出方法による濃度の算術平均 [mg/kg-soil]

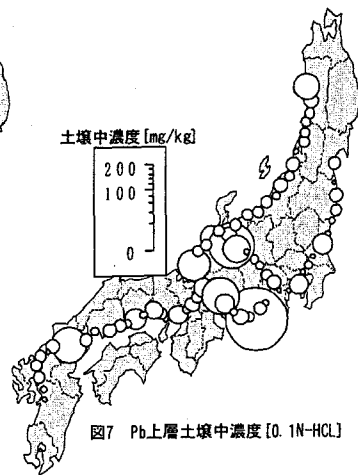
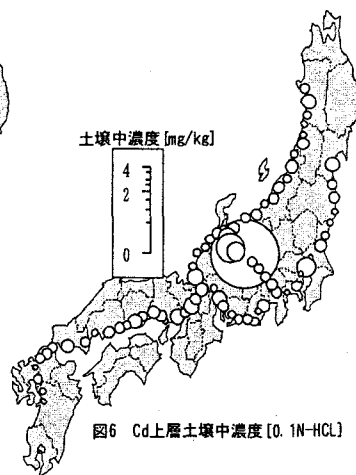
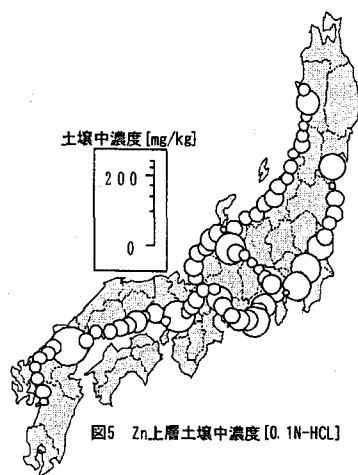
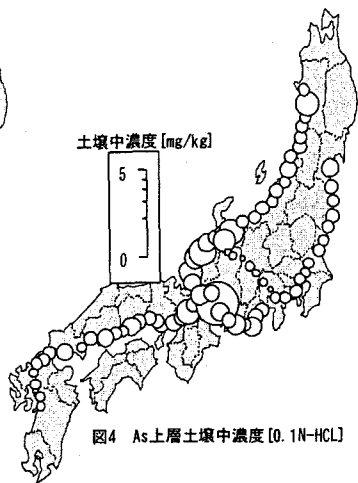
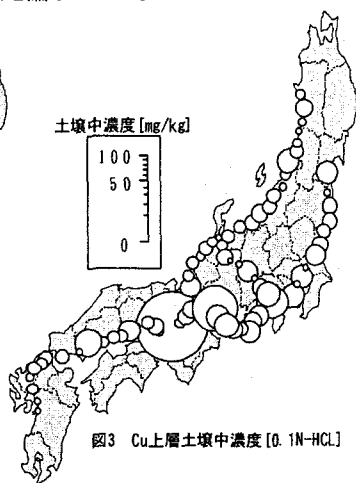
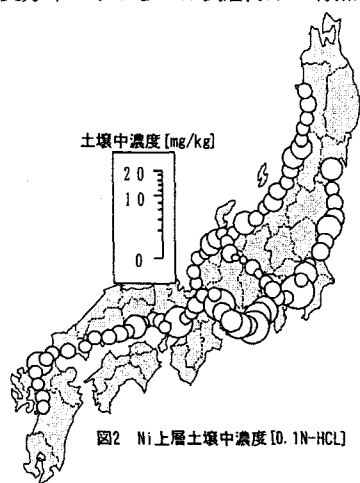
元素	Cr	Cu	Zn	As	Se	Cd	Pb
0.1N塩酸抽出法	×	7.7E+00	1.1E+01	1.4E-01	×	7.1E-02	5.9E+00
1N塩酸抽出法	×	5.0E+00	2.2E+01	2.5E+01	×	8.9E-02	1.0E+01
硝酸抽出法	3.7E+02	3.1E+02	1.7E+03	4.9E+01	4.2E+00	6.7E-01	5.6E+02

3つの抽出方法のうち、地域的な差が明瞭に現れたのは 0.1N 塩酸抽出法、1N 塩酸抽出法であった。これは 0.1N, 1N 塩酸抽出法が土壌粒子表面に収着した重金属類を抽出し、硝酸抽出法は全量分析に近い方法であるため、土壌中総濃度に比べ表層への蓄積量が少ない場合、表層への蓄積量の差が現れにくいことがあげられる。

塩酸抽出法のうち、中部地方内陸部を含む 75 地点について調査を行った 0.1N 塩酸抽出法による土壌中濃度について地図上にプロットし、地域的な傾向が見られるかを考察する。

上層土壌中濃度分布について特に顕著な分布の傾向が現れたものを図 2~7 に示す。図中の円の面積がその地点で採取した公園土壌中濃度を示している。図 2,3 の Ni, Cu などは明らかに工業活動の活発な地域、特に東海工業地域周辺で高濃度となる傾向があり、内陸の農村部では低い濃度を示していた。このような傾向を示す元素として他に Mn などがある。これらの元素はその周辺の工業活動による影響が考えられる。逆に As は図 4 に示すように日本海側で高濃度となる傾向が見られた。これについては海塩粒子の影響や中国大陸から西風によって来た汚染物質の影響が考えられる。図 5,6,7 に示すように Zn, Cd, Pb はある特定の地域で高濃度となっている。これらは汚染源からの拡散が比較的小さいことが原因と考えられる。これら 3つの図を比較すると高濃度となる位置は必ずしも一致しない。このことは Zn, Cd, Pb の汚染源が異なっている可能性が考えられる。しかし汚染分布に地域性が現れる原因としてバックグラウンドとしての地質の違い

も考えられ、このような上層濃度の平面濃度分布のみでは、汚染源特定のための根拠としては弱い。また、ここに図示しなかった他の元素については上層濃度の地域差にはっきりとした傾向が見られず、上層濃度分布のみからでは表層汚染の有無を論じにくい。



上層と下層との濃度差と濃度比の値を、分布図に示して検討した。図8, 9, 10にAs, Cd, Pbの分布図を示す。なお、これらの図において各地点の矢印の長さは濃度比 ($[\text{上層}]/[\text{下層}]$) の対数に比例しており、上向きが正となっている。よって下向きの矢印の地点では下層の方が濃度値が高い。矢印の長さについての凡例では元素毎に、濃度比の対数の絶対値を示している。また各地点の濃度差の絶対値を円の面積で表している。図より、Asは上下層の濃度差が小さく上下層の濃度分布に地域的な傾向は見られなかった。このことからAsの高濃度地点はフォールアウトによる汚染というよりも地質的要因が強いのではないかと考えられる。Cd, Pbはそれぞれ上層濃度が高濃度となっていた地点と上層濃度上昇が大きい地点が一致しており、これらの地点周辺に比較的拡散範囲の小さい汚染源が存在すると考えられる。このように上層と下層の濃度差を比べることは土壌表層への高濃度の原因についての有効な情報になると考えられる。

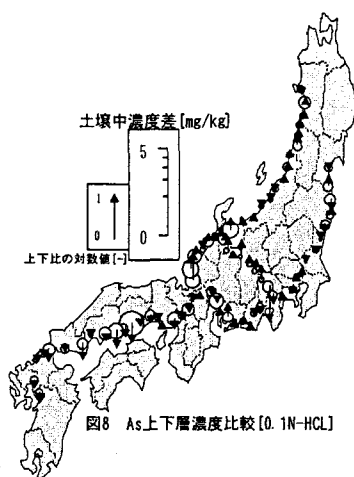


図8 As上下層濃度比較 [0.1N-HCL]

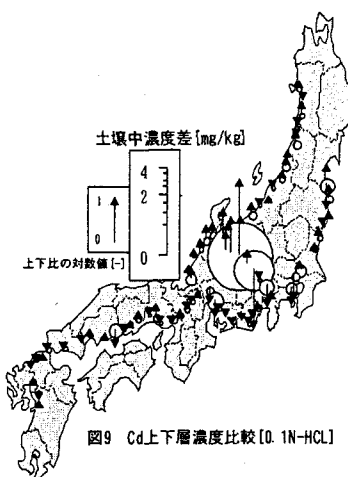


図9 Cd上下層濃度比較 [0.1N-HCL]

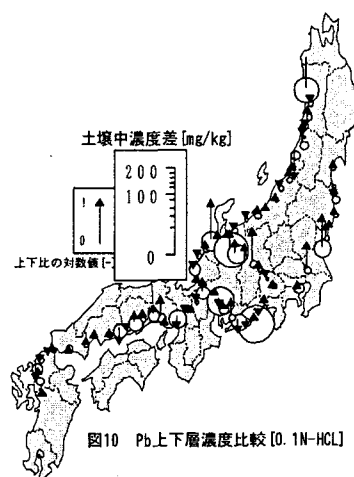


図10 Pb上下層濃度比較 [0.1N-HCL]

4. 2 上下層の濃度分布図による解析

上層と下層の濃度分布で特に高濃度の地点が存在しなかった元素はバックグラウンドとしての土壌中濃度を測定していたと考えられる。一方で高濃度の地点が存在した元素についてはフォールアウトによる汚染が考えられ、上下層の濃度分布に傾向が見られる。そこで、0.1N 塩酸抽出法 (75 地点)、1N 塩酸抽出法 (67 地点)、硝酸抽出法 (75 地点) の各抽出方法について、上層・下層濃度の散布図をグラフに示した。横軸に下層土壌中濃度を取り、縦軸に上層土壌中濃度をとる。両軸ともに同じスケールで表しており、傾き 1 の直線上では上層と下層の濃度が等しいことを示している。

図 11(a),(b),(c)に As の各抽出方法における上層・下層濃度の散布図を示す。図より、0.1N 塩酸抽出法の濃度分布では高濃度の地点が 1 地点存在し、その地点の上下層の濃度比 (上層/下層) は 0.89 であった。このことより 0.1N 塩酸により抽出される As は高濃度の地点で上下層どちらにも同程度蓄積していることがわかる。1N 塩酸抽出法の濃度分布では高濃度の 2 地点について上層のほうがやや濃度が高い傾向が見られる。硝酸抽出法の濃度分布では高濃度の地点で下層濃度が高いという傾向が見られるが、上層が高いという地点も存在する。以上より 4. 1でも述べたように As については上層が高いという明らかな傾向が見られないことから、0.1N、1N 塩酸抽出法の土壌中 As 濃度はバックグラウンドによる影響が大きいと考えられる。硝酸抽出法による土壌中 As 濃度で下層が高くなるのは土壌中の粘土粒子など粒径の細かいものが下層に移動した結果ではないかと考えられる。図 2, 3, 5 に示す Ni, Cu, Zn についても 0.1N、1N 塩酸抽出法および硝酸抽出法で同様の結果となったのでこれらの元素についてもバックグラウンドの影響が大きいと考えられる。

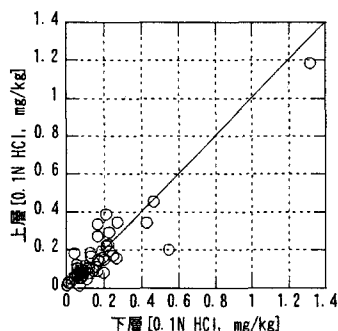


図11 (a) As上下層濃度分布 [0.1N HCl]

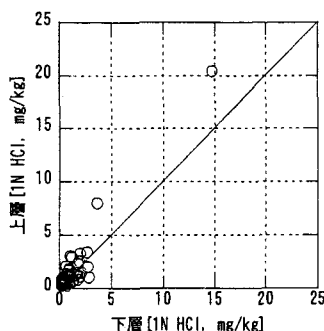


図11 (b) As上下層濃度分布 [1N HCl]

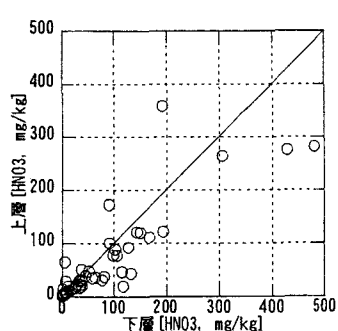


図11 (c) As上下層濃度分布 [HNO3]

次に Cd の各抽出方法における上層・下層濃度の散布図を図 12(a),(b),(c)に示す。0.1N 塩酸抽出法では上層で 2.47mg/kg の地点と下層で 0.86mg/kg の地点が存在し、この地点は 2000 年に調査した中部地方内陸部の農村地域であった。特に上層が高濃度の地点は 2001 年まで操業していた神岡鉱山の近くであった。4.1 でも述べたようにここでは下層に比べて上層濃度が明らかに高いことから、フォールアウトなどによる人為的汚染が存在すると言える。一方硝酸抽出法では下層がやや濃度が高いという傾向が見られる。この原因として現在よりも過去において多量の汚染があったものが時間の経過とともに下層に浸透したと考えられる。1N 塩酸抽出法では上下層で同程度に濃度分布するという傾向が明らかとなった。しかし中部地方内陸部について 1N 塩酸抽出法による測定を行っていないため、より高濃度の地点では上層あるいは下層に蓄積する傾向が見られる可能性も考えられる。

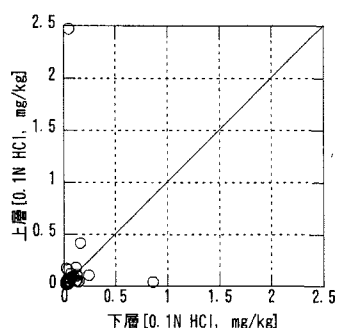


図12 (a) Cd上下層濃度分布
[0.1N HCl]

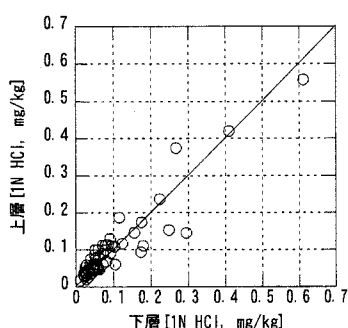


図12 (b) Cd上下層濃度分布
[1N HCl]

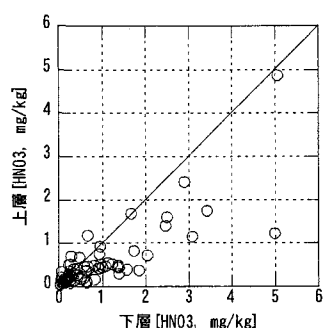


図12 (c) Cd上下層濃度分布
[HNO3]

Pb の各抽出方法における上層・下層濃度の分布図を図 13(a),(b),(c)に示す。いずれの抽出方法においても高濃度の地点では上層濃度が下層濃度より高いという傾向が見られる。全量分析法に近い硝酸抽出法でも上層濃度が下層濃度より高いことから、自然界にもともと存在している Pb の蓄積よりも大気経路によるフォールアウトによる蓄積が大きいこと、その蓄積がごく表層に存在していることがわかる。この原因として、かつて使用されていた有鉛ガソリンによる大気汚染などが今も土壤に蓄積しているのではないかと考えられる。

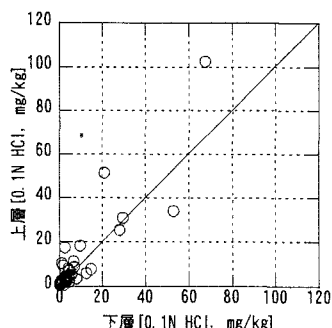


図13 (a) Pb上下層濃度分布
[0.1N HCl]

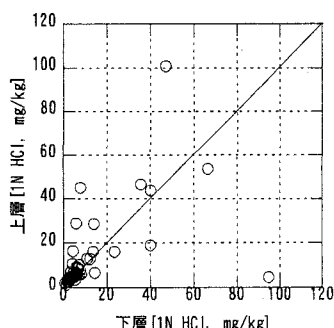


図13 (b) Pb上下層濃度分布
[1N HCl]

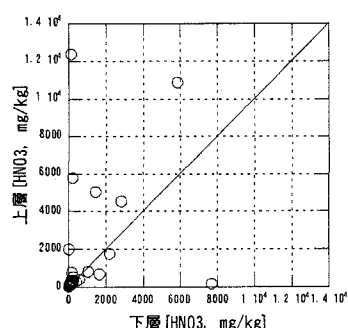


図13 (c) Pb上下層濃度分布
[HNO3]

5. 結論

土壤汚染調査においてフォールアウトによる汚染の影響を把握することを目的とした。特定の汚染源による汚染のおそれが少ない市街地の公園土壌を対象とし、鉛直濃度分布を解析するために深さ方向に二分割して上下層の土壌中濃度を測定し、土壌表層への汚染の有無の解析を試みた。得られた結論を以下に示す。

0.1N 塩酸抽出法による上下層の濃度分布より、As は上下層の濃度分布は同程度でありバックグラウンドの影響が大きいと考えられる。Cd、Pb では上層濃度が高濃度となっていた地点と上層濃度上昇が大きい地点が一致しており、これらの地点周辺に比較的拡散範囲の小さい汚染源が存在すると推測された。

上層濃度と下層濃度を散布図にして示した結果、0.1N、1N 塩酸抽出法による土壌中 As 濃度は上下層で明らかな差は見られず、バックグラウンドによる影響が大きいと考えられる。0.1N 塩酸抽出法による土壌中 Cd 濃度は上層あるいは下層に高濃度で蓄積している地点が存在することが明らかとなった。1N 塩酸抽出法では上下層ともに同程度抽出され、バックグラウンドによる含有量の影響が大きいと考えられる。硝酸抽出法による土壌中 As、Cd 濃度が下層で高くなったのは土壌中の粘土粒子など粒径の細かいものが下層に移動した結果と考えられる。

Pb はいずれの抽出法でも高濃度の地点では下層より上層のほうが高濃度であるという傾向が示された。このことから自然界にもともと存在している Pb の蓄積よりも大気経路によるフォールアウトによる蓄積が大きいこと、その蓄積がごく表層に存在していることがわかる。また、Pb 濃度分布に局所的な汚染の傾向が見られることも考えると、かつて使用されていた有鉛ガソリンによる大気汚染などが今も土壌に蓄積していると考えられる。

このように高濃度地点の分布に地域性が見られた As、Cd、Pb などについて、二層分割法による解析により、これらの濃度分布には As は自然的要因が、Cd、Pb はフォールアウトによる汚染が大きく関与していると考えられる。土壤汚染調査において鉛直方向に分割して土壌採取を行い複数の抽出方法によって測定する本研究の手法は、自然的要因による土壌への含有やフォールアウトによる汚染物質の表層蓄積といった土壤汚染の原因解明に有効な手法となりうると考えられる。

参考文献

- 1) 中央環境審議会答申、土壤汚染対策法に係わる技術的事項について、平成 14 年 9/20, p. 26-30
- 2) 坂内修、辻貴史、米田稔、森澤眞輔、土壤重金属汚染の測定と土壌の直接摂取による健康リスクの評価、環境工学研究論文集、Vol. 40, 2003
- 3) 浅見輝男、日本土壌の有害金属汚染、アグネ技術センター、2000
- 4) 環境省環境管理局、土壤汚染対策法の施行について、平成 15 年 2/4、環水土第 20 号、別紙 1
- 5) 環境省水質保全局、土壌・地下水汚染に係る調査・対策指針運用基準、1999
- 6) 青木豊明、米田稔、阪神・淡路大震災による陸水および土壌環境への影響、水環境学会誌、19 巻 5 号、pp. 351-355, 1996
- 7) 土壌標準分析・測定法委員会編、土壌標準分析・測定法、博友社、p. 347-348
- 8) CEM 社、MDS-2000 操作マニュアル アステック株式会社、p. 160