

## 土壤汚染調査のための簡易分析技術

### —いかに迅速かつ正確に現場で特定有害重金属汚染を評価するか—

丸茂 克美<sup>1)</sup>・江橋 俊臣<sup>2)</sup>・氏家 亨<sup>3)</sup>・武島 俊達<sup>4)</sup>

#### 1. はじめに

近年、企業が工場を海外移転したり、あるいは工場を閉鎖して、工場用地を宅地などに再開発する事例が多くなったが、こうした工場跡地などでは鉛や砒素などの重金属やトリクロロエチレンなどの揮発性有機化合物による土壤汚染が顕在化している。

環境省のホームページによると、土壤汚染が判明した事例は平成9年には48件であったが、平成12年には134件に達している。しかし、これらの数字はヨーロッパや北米の土壤汚染の判明事例(数万とも数十万とも言われる)に比べて遥かに少なく、我が国の経済規模から推定すると、まだ相当数の汚染サイトが潜在的に存在すると推定される。

1980年代から1990年代に北米やヨーロッパでは、米国のスーパーファンド法を皮切りに土壤環境保護のための法整備がなされ、それと符号して土壤汚染調査が実施された。ヨーロッパや北米の土壤汚染の判明事例が多いのはこうした背景に起因する。

このような国際的な流れを受けて、我が国でも土壤汚染対策法(平成14年法律第53号)が、平成14年5月29日に公布され、平成15年2月15日から施行された。この法律は土壤汚染の状況の把握に関する措置(土壤汚染状況調査)、及びその汚染による人の健康被害の防止に関する措置(浄化対策など)を定めたものである。この法律は砒素や鉛などの特定有害物質を取り扱う事業所など(有害物質使用特定施設)が廃止される場合、この事業所の土地の所有者、管理者、あるいは占有者は、土壤汚染の有無を調べるための土壤汚染状況調査を実施しなくてはならないと定めている。

この土壤汚染状況調査において、汚染状況を現場での確かつ迅速に把握できる簡易分析技術があれば、調査対象地域の汚染状況の詳細を的確に把握し、精密分析を実施すべき汚染土壤試料を採取することが可能となる。しかし、もし現場で汚染状況を把握することができなければ、汚染箇所を見落としてしまう可能性がある。

簡易分析の対象有害物質として最も重要なのが鉛、砒素、六価クロムであり、揮発性有機化合物に関してはトリクロロエチレンとテトラクロロエチレン、そしてシス-1, 2-ジクロロエチレンである。これらの有害物質による汚染は土壤汚染事例全体の7割以上を占めているため(環境省ホームページより)、この報告はこうした有害物質を対象として土壤汚染調査を迅速かつ確に実施するための簡易分析技術の現状を紹介するとともに、簡易分析技術の今後の課題について言及する。

#### 2. 特定有害物質及び指定区域の指定基準

土壤汚染対策法の対象となる物質(特定有害物質)はトリクロロエチレンなどの揮発性有機化合物(第一種特定有害物質、第1表)、鉛や砒素などの重金属等(第二種特定有害物質、第2表)、そして有機燐化合物などの農薬など(第三種特定有害物質、第3表)の25物質である。ただし水銀は総水銀とアルキル水銀を別の項目としているので厳密には26物質となる。これらの有害物質が人に摂取される経路には、①有害物質を含む土壤を直接経口摂取する場合や、②土壤中の有害物質が地下水に移動し、有害物質を含んだ地下水を摂取してしま

1) 産総研 海洋資源環境研究部門  
2) ドリコ株式会社  
3) 国土防災技術株式会社  
4) アステック株式会社

キーワード：土壤汚染対策法、比色法、分光光度計、鉛、砒素、六価クロム

—いかに迅速かつ正確に現場で特定有害重金属汚染を評価するか—

第1表 第一種特定有害物質(揮発性有機化合物)の土壤溶出量基準・含有量基準。

項目	溶出量基準	含有量基準
ジクロロメタン	0.02mg/l以下	なし
四塩化炭素	0.002mg/l以下	なし
1,2-ジクロロエタン	0.004mg/l以下	なし
1,1-ジクロロエチレン	0.02mg/l以下	なし
シス-1,2-ジクロロエチレン	0.04mg/l以下	なし
1,1,1-トリクロロエタン	1mg/l以下	なし
1,1,2-トリクロロエタン	0.006mg/l以下	なし
トリクロロエチレン	0.03mg/l以下	なし
テトラクロロエチレン	0.01mg/l以下	なし
ベンゼン	0.01mg/l以下	なし
1,3-ジクロロプロペン	0.002mg/l以下	なし

うことが考えられる。

## 2.1 含有量基準

有害物質を含む土壌を直接経口摂取する場合、例えば子供などが手についた土を口にしてしまう場合や、飛散した土ほこりを吸い込んでしまう場合、有害物質が消化器官の中で溶解し、体内に吸収されてしまうと健康に害を及ぼすことになる(直接摂取リスク)。従って土壌中の有害物質が胃の中の環境でどの程度溶解するか評価することにより、土壌が健康に害を及ぼすほど汚染されているかどうか判断できる。環境省告示第19号では、6g以上の土壌を1mol/l塩酸溶液(胃の中は1mol/l程度の塩酸溶液中の酸性環境であると想定)と重量体積比3%の割合になるように混合し、2時間連続振とうさせた後に、酸溶出する砒素、鉛、カドミウム、水銀などの有害物質量を測定することにより、これらの有害金属の体内での溶解量を評価することができるとしている。ただし、六価クロムについては0.005molの炭酸ナトリウムと0.01molの炭酸水素ナトリウムを溶かして1リットルとした溶液を使って溶解する。

この1mol/l塩酸処理による有害物質の溶解量を含有量として扱い、砒素や鉛、水銀などの有害物質ごとに含有量基準(第2表)を設けて、土壌試料が基準を超過した場合には汚染土壌とされる。また、その汚染が人為的な行為によって発生した場合には調査地は指定区域として指定されることになる。

## 2.2 溶出量基準

土壌中の有害物質が地下水に移動し、有害物質

第2表 第二種特定有害物質(重金属等)の土壤溶出量基準・含有量基準。

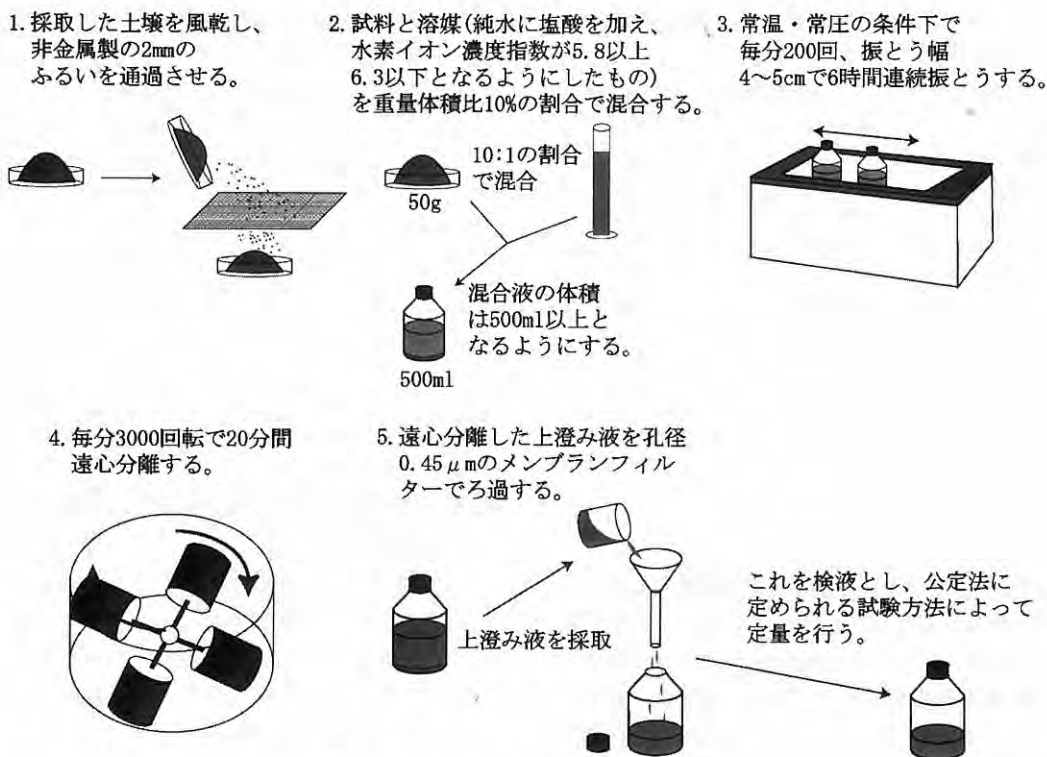
項目	溶出量基準	含有量基準
カドミウム	0.01mg/l以下	150mg/kg以下
全シアン	検出されないこと	遊離シアン50mg/kg以下
鉛	0.01mg/l以下	150mg/kg以下
六価クロム	0.05mg/l以下	250mg/kg以下
砒素	0.01mg/l以下	150mg/kg以下
総水銀	0.0005mg/l以下	15mg/kg以下
アルキル水銀	検出されないこと	なし
セレン	0.01mg/l以下	150mg/kg以下
ふっ素	0.8mg/l以下	4,000mg/kg以下
ほう素	1mg/l以下	4,000mg/kg以下

第3表 第三種特定有害物質(農薬等)の土壤溶出量・含有量基準。

項目	溶出量基準	含有量基準
PCB	検出されないこと	なし
チウラム	0.0006mg/l以下	なし
シマジン	0.003mg/l以下	なし
チオベンカルブ	0.02mg/l以下	なし
有機燐	検出されないこと	なし

を含んだ地下水を摂取する場合にも健康に害を及ぼすことになる(地下水等摂取リスク)。従って、土壌から有害物質がどの程度溶出するかを調べて、土壌が汚染されているかどうかを判断する必要がある。具体的には土壌を風乾し、非金属製の2mmの目の篩を通過させて得た土壌試料(単位g)と溶媒(純水に塩酸を加えて、水素イオン濃度指数が5.8以上6.3以下となるようにしたもの、単位ml)とを重量体積比10%の割合で混合し、その混合液が500ml以上となるよう(例えば50gの土壌と500mlの純水を混ぜる)調整した後、この混合液を振とう機で6時間攪拌し、溶出した有害物質の量を測定する(公定法による溶出試験)ことにより、土壌中の有害物質の地下水への移動に伴う地下水等摂取リスクを評価できるとしている(第1図)。

なお、地下水等摂取リスクに関する基準値は、現行の土壌環境基準を用いることとされ、26の有害物質に対する溶出基準値が設けられている(第1～3表)。もし土壌試料が基準を超過した場合には汚染土壌とされ、その汚染が人為的な行為によって発生した場合には調査地は指定区域になる。



第1図 現行公定法による溶出試験の概要

### 3. 土壤汚染対策法で定められた土壤汚染状況調査法の概要

有害物質使用特定施設を設置した工場・事業所を廃止した場合、敷地の所有者には土壤汚染状況調査義務が課せられる。また、有害物質使用特定施設を設置した工場・事業所が操業している場合や、かなり以前に操業を中止してしまって敷地が更地になっている場合でも、その土地や周辺の土壤汚染状況・土地履歴などから、基準値を超える有害物質の汚染が存在する可能性が高い場合や、土壤汚染に起因する地下水汚染の可能性が高く、地下水等摂取リスクがある場合にも、土壤汚染状況調査が必要となることがある。

土壤汚染状況調査の範囲は、有害物質使用特定施設の設置された工場・事業所の敷地すべての区域が対象となり、100m<sup>2</sup>の単位区画において1地点の土壤試料採取等を行うこととなる。この100m<sup>2</sup>の単位区画内に配管や地下ピットなどの特定有害物質の施設があった場合には、この場所が汚染箇所になる確率が高いため、この地点で土壤採取を行

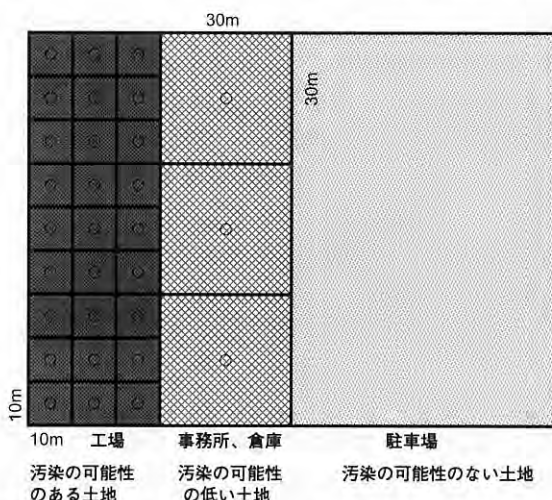
い、こうした汚染の確率が高い施設がない場合には、区画の中央を採取地点にする(第2図)。

ただし土地の使用履歴から汚染の可能性が低いと判断される場合には、900m<sup>2</sup>の単位区画での土壤試料採取等を行うことができ、汚染がまったく存在しないと判断される区画では土壤試料採取等を行う必要がない(第2図)。

揮発性有機化合物などの第一種特定有害物質(第1表)の調査では、地表から80~100cmの深度の地中において土壤ガスを採取し、土壤ガス中の揮発性有機化合物の量を測定する。この深度に地下水が存在するために土壤ガスが採取できない場合には、その地下水を採取して揮発性有機化合物などの第一種特定有害物質の量を測定する。このガス調査で揮発性有機化合物などが検出された場合には、土壤汚染の状況を評価するために、深さ10mの深度までボーリング調査を行って土壤を採取し、第一種特定有害物質の溶出量を測定する。

重金属などの第二種特定有害物質(第2表)や、農業などの第三種特定有害物質(第3表)調査のための試料採取については表層(地表から深度5cm

—いかに迅速かつ正確に現場で特定有害重金属汚染を評価するか—



第2図 土壤汚染状況調査の概要。

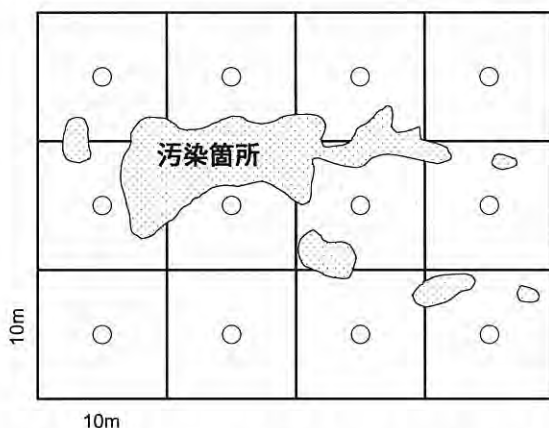
までの部分)の土壤試料と、深度5cmから45cmまでの間の土壤試料を垂直方向に均等に採取し、それらの二つの土壤試料の同量を均等に混合して1試料とし、含有量と溶出量試験に用いる。なお、この土壤採取方法では、地表から50cmまでの土壤を均等に採取した場合に比べて、地表の土壤の割合が9倍になっていることがポイントとなる。これは表層土壤の汚染を重要視しているためである。

#### 4. 有害物質の現場簡易分析法の重要性と問題点

土壤汚染状況調査において、現場において汚染箇所を的確に把握できれば、土壤汚染状況の詳細を迅速に把握し、汚染対策を講じることが可能となる。しかし、もし現場で汚染箇所を把握できないと、100m<sup>2</sup>の単位区画の中央を機械的に採取地点にしなくてはならず、第3図に示すように汚染箇所を見逃してしまう可能性がある。また現場調査で採取した土壤試料を環境計量証明事業所に送って分析を依頼する場合、分析結果が得られるまでに数日かかるため、分析結果を現場調査に反映できないという問題が発生する。

##### 4.1 揮発性有機化合物などの現場簡易分析

揮発性有機化合物は常温において揮発性が高いため、現地での試料採取や分析が重要な意味を有している。また、揮発性有機化合物を現場分析するための検知管や、現場分析用の光イオン化検



第3図 機械的に試料採取を行って、汚染箇所が発見できない場合。

出器を用いるガスクロマトグラフ(GC-PID)、ガスクロマトグラフ質量分析計が普及していることから、現場分析の有効性が広く認められている(環境庁水質保全局, 1999; 中島, 2001; 生野, 2002)。

第一種特定有害物質(揮発性有機化合物など)に対する「土壤ガス調査に係わる、ガス採取および測定方法」は、土壤汚染対策法施行規則第5条第2項1号および第2号の規定に基づき、環境省告示第16号で詳細が決められている。土壤ガス採取方法や土壤ガス分析方法がこの告示に従っており、かつ十分な分析精度が確保できる環境であれば、分析は室内、車内または野外のいずれにおいても実施することができる。従って現場で土壤ガスの採取と分析を実施することにより、現場調査をしながら汚染状況を把握することが可能となる。

##### 4.2 重金属などの現場簡易分析

重金属などの第二種特定有害物質や、農薬などの第三種特定有害物質の調査の場合には、現場での公定法分析は極めて困難である。例えば土壤中の鉛含有量を測定するためには、1mol/l塩酸と土壤を混ぜて2時間連続振とうし、土壤中の鉛を溶出させなくてはならず、また分析装置としてアセチレンガスを必要とする原子吸光分析装置や、アルゴンガスが必要なICP質量分析計を用いなくてはならない。また溶出試験分析を実施するためには水と土壤を混ぜ、6時間振とう後に遠心分離機を使ってろ液を回収しなくてはならない(第1図)。従って公定法に基づく含有量試験や溶出試験を現場で



第4表 有害元素溶出量の環境基準値と簡易分析法。

対象項目	溶出環境基準	簡易測定方法	測定範囲
カドミウム	0.01mg/l	検知管 分光光度計	0.2mg/l 0.002mg/l
六価クロム	不検出である こと	検知管 バックテスト 分光光度計	0.5mg/l 0.2mg/l 0.01mg/l
総水銀	0.0005mg/l	検知管 分光光度計	0.03mg/l 0.0001mg/l
鉛	0.01mg/l	検知管 イノムアッセイ	0.5mg/l 0.015mg/l 0.003mg/l
砒素	0.01mg/l	分光光度計 分光光度計	0.2mg/l 0.01mg/l

実施することは手間と時間、そしてアセチレンガスやアルゴンガスが必要なため、現実的ではない。

一方、砒素や鉛、カドミウム、六価クロム、シアンなどの現場での溶出量分析としてバックテストなどの簡易分析法が普及している(第4表)。こうした簡易分析法は迅速に結果が得られるため、現場の汚染状況を把握する上では有効である(金子・磯江、2002)。しかし、土壌・地下水汚染に係る調査・対策指針および運用基準(環境庁水質保全局、1999)ではこれらの簡易分析方法に対して、「現地で直ちに結果が得られるものの、その精度や測定結果は相対的なものである」という位置づけがなされている。

## 5. 重金属溶出量評価のための簡易分析法の概要

砒素や鉛、六価クロムなどの重金属の土壌からの溶出量を評価するための簡易分析法には、①溶出に要する時間を大幅に短縮して迅速かつ容易に測定する簡易比色法(試験紙法、バックテスト法、検知管法など)と、②公定法に基づく溶出試験と同じ原理で操作を大幅に効率化した分光光度法がある。これらの方法はいずれも検液中に存在する物質が特定の波長の光を吸収、あるいは発光する特性を応用したものである。様々な波長の光の吸収量や発光量を目視で評価する方法が簡易比色法であり、光センサーを通して光の吸収量・発光量を電気信号に変換し、各波長の吸収量・発光量から測定対象物質の濃度を測定する方法が分光光度法である。以下に、これらの方法の概要を記す。

### 5.1 簡易比色法

#### 5.1.1 試験紙法

分析対象とする元素に反応して発色する試薬を染み込ませて乾燥させた試験紙を検液につけ、そこに吸収されるイオンとの反応による色の変化を標準色と比較して、測定したい元素の濃度を求める方法である。リトマス試験紙による溶液のpHの測定も一種の試験紙法である。この方法は古くから利用されているが低濃度の測定は難しい。

#### 5.1.2 バックテスト

ポリエチレンチューブの中に試薬が密閉されたものを使用時に開封し、検液をスポイドのように吸い込み、指定時間後に比色する方法。このテストの道具は水溶液中に含まれる対象物質を簡易に検出する水質分析キットとして(株)共立理化学研究所より市販され、広く利用されている(奥村、2003; 岡内、2000a)。バックテストは対象とする元素の種類も多く、試験紙に比べて一桁程度精度も高い。ただし、妨害物質が共存すると発色してしまう。例えば砒素の分析をする場合、燐や鉄が検液に含まれると、分析精度は悪くなる。口絵5、6に砒素、六価クロムのバックテストの結果を示す。砒素のバックテストでは検液が青く発色し、六価クロムについては赤紫の発色が確認された。

#### 5.1.3 エオシンY-クラウンエーテル会合体法による鉛の簡易比色法

この方法は水道水質基準(0.01mg/l)を測定するためにKaneko *et al.* (2002)により考案された方法であり、検液中の鉛をチューブの中で鉛クラウンエーテル錯体にし、この鉛錯体とエオシンYとの会合体を生成させ、検液を振り混ぜることで、チューブの壁面に鉛を吸着させ、チューブの壁面に吸着している会合体をエタノールで脱離して比色する。この方法を応用したキットが共立理化学研究所より簡易化され市販されている。

エオシンY-クラウンエーテル会合体法による鉛の簡易比色法分析結果を口絵8に示す。水道水質基準、土壌環境基準である0.01mg/lでもわずかに桃色の発色が見られた。

#### 5.1.4 検知管法

処理剤や発色剤を付けた粒子を細長いガラス管に封入したものが検知管であり、検知管内部で対象物質と薬剤との反応によって着色した粒子中の層の長さから濃度を求める方法を検知管法という。吸水用検知管を直接検液に浸透する方法や、検液

を吸引して検知管中の発色剤を付けた粒子と反応される方法、水中から気化したガスを吸引する方法などがある。シアン、水銀、砒素などの測定方法が開発されている。

## 5.2 簡易分光光度法

簡易比色法の欠点である目視による個人差、詳細な数値を読み取れないことなどの問題点を解決するため、様々な濃度の分析対象元素を含んだ標準溶液に反応試薬を加えて測定対象元素特有の波長の吸光や発光を起こさせ、その吸収量や発光量を光学系と電気回路を通して測定して検量線を作成し、この検量線を用いて検液中の分析対象元素の濃度を求める方法である。

この分析法では分光光度計を用いる。分光光度計の構造は簡単で、タングステンランプやハロゲンランプなどを光源として用い、モノクロメーターや光学フィルターを用いてこれらの光源から特定の波長の光を取り出し、光吸収・発光物質となった元素イオンを含む溶液セル(試料室)に特有の波長の光を通して、その光量を光電子倍增管やフォトダイオードで検出し、光度の信号を記録するものである。装置もかなり軽量・小型化しており現場に搬送することが容易である。なお、可視光領域の分光光度法は肉眼で検液の濃淡を見比べることができるため、比色法の一つである。

六価クロム、カドミウム、鉛分析に関する溶出試験の検液の分析は、公定法に定められた試料処理方法と分析手順を踏めば、分光光度法でも精度の高い分析が可能となる。ただし溶出試験の検液には様々な妨害物質が共存する場合があるため、発色処理などの複雑な操作が必要であり、分析時間を要する場合が多い。

## 6. 砒素、六価クロム、鉛の簡易分光光度法

簡易分光光度法ではホウ素、フッ素、六価クロム、遊離シアン、マンガン、鉄、ニッケル、銅、亜鉛、砒素、銀、鉛などの簡易分析を行うことができる。ここでは砒素、六価クロム、鉛を例にして簡易分光光度法を紹介する。

### 6.1 検液の作成方法

分析対象が地下水などの液体の場合には、液体をそのまま検液とし、砒素、六価クロム、鉛の簡易分光光度分析を行うことが可能である。この場合に検液に濁度がある場合にはろ紙を使ってろ過するか、遠心分離機で懸濁物を除去する必要がある。

一方、土壤から溶出する砒素、六価クロム、鉛を測定する場合、以下のような手順で実施する必要がある。

- 1) 公定法による溶出試験では、土壤試料50gに対して純水500mlの割合(重量比で1対10)で混合するが、この公定法に準じて土壤:純水比(例えば土壤試料10gと純水100ml、あるいは土壤試料5gと純水50ml)で土壤と純水を混ぜて混合液を作成し、この混合液を容量300~500mlの容器に入れる。試料量を公定法による溶出試験より少なくする際には、試料の不均一によるデータのバラつきが出てしまう可能性があることに注意する必要がある。
- 2) 混合液を常温・常圧で振とう器(毎分200回、振とう幅4~5cm)を用いて約1時間程度連続して振とうする。この際公定法による溶出試験では6時間連続して振とうするが、本簡易分析では約1時間程度で十分である。なお、振とう器の代わりに超音波を利用して土壤中の有害金属を溶出させることも可能である。
- 3) 混合液中の上澄み液を遠沈管に入れて遠心分離機で毎分3,000~5,000回転で懸濁物を遠心分離する。懸濁物が十分に沈降せずに上澄み液がまだ濁っている場合には、再度遠心分離するか、ろ紙、あるいは公定法による溶出試験に準じて0.45  $\mu$ mのメンブランフィルターによりろ過する。これらの作業で懸濁物から分離された上澄み液を検液とする。

### 6.2 酸化モリブデン青比色法(JIS K 0102の46.1.2)による砒素の簡易分光光度法

砒素の比色分析法としてはDDTC銀(ジエチルジチオカルバミド酸銀)法(JIS K 0102の61.1)が一般的に使用されているが、水素化砒素発生装置が必要となることと、取り扱いに注意を有するクロロホルムを使用することなどにより、簡易比色法とし適当でないと考えられる。そこでここではリン酸を分析する方法である酸化モリブデン青法を用いた比色分析を紹介する。この簡易分析法はDDTC銀(ジエチルジチオカルバミド酸銀)法に比べて若干精度が落ちる場合があるが、簡便に分析できる利

点を有する(岡内, 2000b).

酸化モリブデン青法の手順としては, はじめに下記(1), (2)の溶液を作成する(JIS K 0102の46.1.2).

(1)モリブデン酸アンモニウム溶液:七モリブデン酸六アンモニウム四水和物15g, 硫酸182ml, アミド硫酸アンモニウム10gに水を加えて1Lとする.

(2)塩化すず溶液:塩化すず二水和物1g, 塩酸5ml, すずの粒状のものを2, 3個に水を加えて50mlとする.

続いてモリブデン酸アンモニウム溶液5ml, 塩化すず溶液0.25mlの割合で検液に加えた後, 攪拌する. 約15分程度放置して発色させた後, 710nm付近の吸光度を分光光度計により測定する(JIS K 0102の46.1.2).

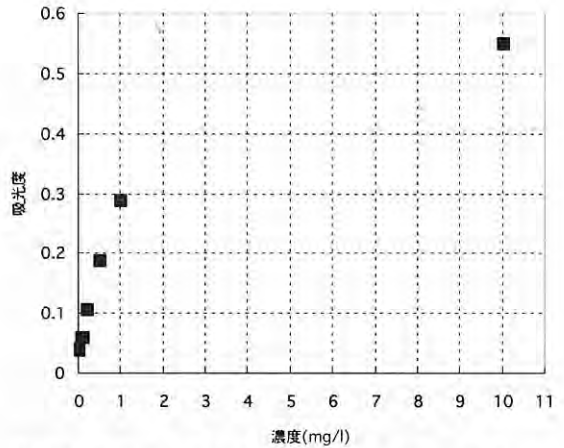
この方法はリン酸イオンを分析するための手法でもあり, リン酸イオンが共存すると砒素と同程度の発色をするため, リン酸イオンを完全に除去してから測定する必要がある. さらに検液のpHが5~9の範囲を超える際には希硫酸または苛性ソーダを用いて中和する必要がある. また銅や鉄, 六価クロムなども共存する場合には測定値に誤差を与える.

この分析を迅速に行うためには, 各試薬の調合がされたパックテストの反応薬を代用品として用いると便利である. 第4図に0.01~10mg/lの砒素標準液を作成し, パックテストの反応薬を使って, 酸化モリブデン青比色法で砒素濃度を測定した結果を示す. なお, 測定には島津製作所製UV-1600を用いた. 砒素濃度が1mg/lをこえると吸光度が高すぎて検量線が湾曲してしまう. さらに砒素濃度が0.1mg/l以下の測定を行う場合には十分な吸光度が得られないため, 測定値がばらつく可能性がある. 砒素の溶出基準は0.01mg/lであるため, 基準値付近の測定を行う場合には検液を濃縮するなどの前処理を施した後, 測定を行う必要がある.

### 6.3 ジフェニルカルバジド比色法(JIS K 0102の

#### 65.2.1)による六価クロムの簡易分光光度法

検液を硫酸酸性とし, ジフェニルカルバジド溶液(ジフェニルカルバジド0.5gをアセトン25mlに溶かし, 水を加えて50mlとする)を加えた後, 攪拌する. 約5分程度放置して発色させた後, 540nm付近の吸光度を分光光度計により測定する.



第4図 簡易分光光度法による砒素分析結果(酸化モリブデン比色法 測定波長710nm).

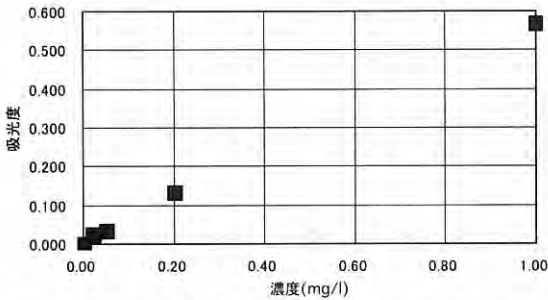
ここでも, 分析を迅速に行うためには, 各試薬の調合がされたパックテストの反応薬を代用品として用いると便利である(奥村, 2003). 第5図に0.02~1.0mg/lの六価クロム標準液を作成し, 標準液の六価クロム濃度を測定した結果を示す. 測定には島津製作所製UV-1600を用いた. 六価クロム濃度が0.05mg/l以下の標準液の測定を行う場合には十分な吸光度が得られないため, 測定値がばらつく可能性があるが, 六価クロムの溶出基準値は0.05mg/lであるため, 本試験法は現行公定法による溶出試験のための簡易分析法としては適当である. なお, 検液中に $As^{3+}$ ,  $Fe^{2+}$ のような還元性物質が共存すると六価クロムが還元され, 三価クロムになってしまうため, 前処理を行って還元性物質を酸化させた後, 測定を行うことが必要となる.

### 6.4 エオシンY-クラウンエーテル会合体法による鉛の分析

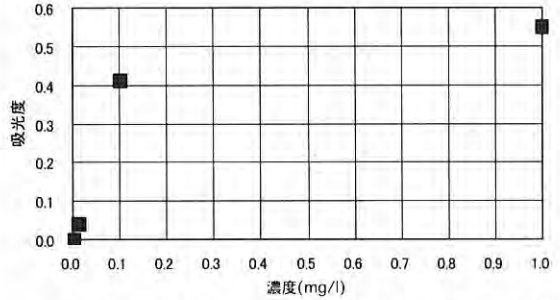
エオシンY-クラウンエーテル会合体法による鉛の簡易比色法の場合と同様に, 検液を一定量測り取り専用チューブに入れる. 硫酸を加え, 還元剤を加えた後, 10分以上放置する. 次にエタノールを添加し, 攪拌した後, 水酸化ナトリウム, テトラプロモフルオロセインナトリウム(エオシンY)を加える. 約1分間激しく振り混ぜた後, 検液を捨てる. このとき, 鉛のクラウンエーテル錯体とエオシンYとの会合体が生成し, 専用チューブの壁面に鉛が付着する. これにエタノールを加えることで, 脱離させた



—いかに迅速かつ正確に現場で特定有害重金属汚染を評価するか—



第5図 簡易分光光度法による六価クロム分析結果(ジフェニルカルバジド比色法 測定波長540nm)。



第6図 簡易分光光度法による鉛分析結果(エオシンY-クラウンエーテル会合体法 測定波長520nm)。

ものを検液とし、520nm付近の吸光度を分光光度計により測定する。

ここでも、分析を迅速に行うためには、各試薬の調合がされた鉛の簡易比色法キット(共立理化学研究所)の反応薬を代用品として用いると便利である。第6図に0.01~1.0mg/lの鉛標準液を作成し、これらの標準液の520nm付近の吸光度を分光光度計で測定した結果を示す。測定には島津製作所製UV-1600を用いた。標準液の鉛濃度が溶出基準値である0.01mg/lでも十分な吸光度が得られ、本試験法は公定法による溶出試験のための簡易分析法として有効であることがわかる。しかし標準液の鉛濃度が0.1mg/lをこえると吸光度が高すぎて検量線が湾曲してしまうため、測定誤差が大きくなる可能性がある。

この試験法は検液中の鉛を20~50倍まで濃縮して測定を行うため、上述した砒素、六価クロムの比色法と比較して低濃度まで測定することができる。ただし、検液のpHが5~9の範囲を超える際には希硫酸または苛性ソーダを用いて中和する必要がある。鉄などの共存物質が多量に共存する場合には標準添加法などにより補正する必要がある。

## 7. 終わりに

パックテストや簡易比色法による簡易分析は、現場で六価クロムや砒素、鉛汚染の有無を判断するのに利用できる。しかし、検出限界が環境基準値に達しないため、汚染を見落としてしまう場合もあり得る。

小型分光光度計を用いた六価クロムや砒素、鉛の簡易分光光度法は、検出限界が溶出基準以下であるため、土壤の溶出量試験に活用することが可能

である。ただし、砒素の分析の場合には、検液を濃縮する必要がある。また妨害元素が存在したり、検液のpHが規定値の範囲に収まらない場合には、精度が低下することがあるので、注意が必要である。

さらに、小型分光光度計を用いた六価クロムや砒素、鉛の簡易分光光度法は対象元素ごとに異なった試料調整を施して分析をしないとけないため、汚染原因となる元素が事前にわからない場合には、分析に手間がかかる。

汚染現場の簡易分析では、どのような汚染物質がどの程度存在するかを迅速に把握することが求められる。従って今後はICPや蛍光X線分析のように、同時に様々な元素が分析できる簡易分析技術の開発が求められる。

## 参考文献

- Emiko Kaneko, Junichi Isoe, Takuya Iwabuchi, Suwaru Hoshi, Kunihiko Akatsuka and Takao Yotsuyanagi (2002) : In-vessel extraction using a microtube and its application to the fluorimetric determination of trace lead. *The Analyst*, 127, 219-222.
- 生野 朗(2002) : 実践的ガスクロマトグラフィー, 地質汚染(鈴木喜計編著), オーム社出版局, 220p.
- 金子恵美子・磯江準一(2002) : 簡易分析法水質分析キット, 分析2002, 7, 360-365.
- 環境庁水質保全局(1999) : 土壌・地下水汚染に係る調査・対策指針および運用基準.
- 中島 誠(2001) : 実践者のバイブル「土壌・地下水汚染にどう対処するか」, 化学工業日報社, 265p.
- 岡内完治(2000a) : パックテストで環境しらべ, 合同出版, 155p.
- 岡内完治(2000b) : 砒素濃度簡易測定キット, 地球を守る環境技術100選, 公害対策技術同友会編集, 260p.
- 奥村 浩(2003) : 水中の化学物質の簡易な測定法, 表面技術2003, 54, 281-283.

MARUMO Katumi, EBASHI Toshiomi, UJIE Toru and TAKESHIMA Toshikatsu (2003) : A review of handy chemical analytical methods of toxic elements in soil samples.

<受付: 2003年5月15日>