

地下水汚染源としての土壌汚染の評価に関する基礎的研究

福井 博*, 横山尚秀**
(*環境工学部, **温泉地学研究所)

Note

The Research on the Evaluation of Soil Pollution as Groundwater Pollution Source.

Hiroshi FUKUI*, Takahide YKOYAMA**
(*Environmental Engineering Division, **Hot Springs Research Institute)

キーワード：有機塩素系溶剤, 地下水汚染, 土壌汚染, 汚染源特定

1. はじめに

近年、トリクロロエチレン等の揮発性有機塩素化合物による地下水汚染が顕在化しており^{1),2)}、汚染拡散防止対策や浄化対策を進めるためには汚染源の特定が重要な課題となっている。しかしながら、地下水汚染は広範囲にわたることや汚染源が複数存在するなどの理由により、汚染源の特定が非常に困難であり、その特定手法の開発が期待されている。そこで、地下水汚染と表裏一体である土壌汚染に注目し、土壌中の汚染物質を揮発性有機塩素化合物による地下水汚染源特定の指標として活用するため、工場ごとに特有な土壌及び地下水中の有機化合物を検索し、その種類と汚染過程を明らかにすることにより、化学的な側面から汚染源を特定する手法の検討を行った。

土壌中には元来多種類の有機化合物が含まれるため、有機化合物の検索にあたっては、事前に汚染の指標となる物質を予測し、的を絞っておく必要がある。現在顕在化している揮発性有機塩素化合物による地下水汚染の多くは、過去に事業場で洗浄剤等として多量に使用されたトリクロロエチレン(TCE)、テトラクロロエチレン(PCE)等の有機塩素系溶剤に起因することから、汚染指標物質の候補には、有機塩素系溶剤に含まれる有機化合物に着目した。有機塩素系溶剤に含まれる不純物の組成は、事業場の洗浄槽で使用される過程で特有の物質が混入し、事業場ごとに様々な特徴を示すと考えられる。そこで、業種の異なる事業場の洗浄槽から、使用中の溶剤を採取し、有機化合物の組成を調べた。さらに、これらの有機化合物が、土壌汚染と地下水汚染を関連づける汚染指標物質となり得るか、人工汚染土壌を用いた溶出実験及び汚染現地の土壌、地下水調査により検討した。

2. 実験方法

2. 1 装置

ガスクロマトグラフ/質量分析計(GC/MS)には、ヒューレットパッカード社のHP6890/HP5973を用いた。なお、揮発性有機化合物の分析には、同社のHP6890シリーズMSD及びHP7694ヘッドスペースサンプラーを用いた。

2. 2 試薬

標準品として用いたチモール、ヘミメリテン(1,2,3-トリメチルベンゼン)、プソイドクメン(1,2,4-トリメチルベンゼン)、メシチレン(1,3,5-トリメチルベンゼン)、デュレン(1,2,4,5-テトラメチルベンゼン)、クメン(イソプロピルベンゼン)、p-シメン(4-イソプロピルトルエン)、1,2-エポキシブタン、1,4-ジオキサン、フェノール、n-オクタン、n-ノナン、ベンズアルデヒドは和光純薬製、m-シメン(3-イソプロピルトルエン)、1,2,3,5-テトラメチルベンゼンはアルドリッチ製、m-エチルトルエンは関東化学製、2,6-ジ-*t*-ブチル-1,4-ベンゾキノン、3,5-ジ-*t*-ブチル-4-ヒドロキシベンズアルデヒド、ブチルヒドロキシトルエン、揮発性化合物標準溶液(水中の揮発性有機化合物分析用)は東京化成工業製、脂肪族炭化水素類標準物質(ASTM-D5307原油定量用)、多環芳香族炭化水素類標準物質(EPA610混合液)はスペルコ製を使用した。

2. 3 試料

2. 3. 1 市販品の溶剤

市販品のTCEを3試料(T1、T2、T3)、PCEを3試料(P1、P2、P3)、1,1,1-トリクロロエタン(MC)及び再生品のTCE、PCEを1試料づつ入手した。

2. 3. 2 事業場の洗浄槽で使用中の溶剤

金属熱処理業（2事業場）の洗浄槽で使用中のTCEを2試料（Tm1、Tm2）、電子部品製造業（1事業場）で使用中のTCEを1試料（Te）、自動車部品製造業（1事業場）で使用中のPCEを1試料（Pc）、その他の配線器具製造業（1事業場）で使用中のTCEを1試料（Tw）、MCを1試料（MCw）及び対照として使用前のTCEを1試料（Twn）採取した。

2. 3. 3 人工汚染土壌

当センターの屋外実験場の地表面下10cmから採取した土壌を4mmの篩にかけ、篩を通過した土壌を使用した。

(1) 溶出試験用

遠沈管（50ml）4本に土壌を各10g入れ、1本に1種類の溶剤を10ml添加し、24時間後に溶剤を留去して人工汚染土壌（A、B、C、D）とした。人工汚染土壌Aには市販品TCE（T1）、Bには市販品TCE（T2）、Cには再生品TCE、Dには市販品PCE（P1）を添加した。

(2) 長期間静置試験用

遠沈管（50ml）に土壌を5g入れ、洗浄槽で使用中のTCE（Tm1）50 μ l及び市販品のTCE（T1）100 μ lを添加後密封し、暗所に室温で6ヶ月間静置した。

2. 3. 4 汚染現地の土壌と地下水

PCEにより汚染されている土壌（地表面下1m、1地点）及び同敷地内の地下水（浅井戸1ヶ所）を採取した。

2. 4 溶出実験

人工汚染土壌10gを50mlの遠沈管に入れ、蒸留水30mlを加え、10分間振とう後3000rpmで10分間遠心分離し、上澄みを溶出液とした。

2. 5 有機化合物の検索

2. 5. 1 試料の調製

(1) 溶剤

溶剤はヘキサンで10-1000倍に希釈し試料とした。揮発性化合物については、ヘッドスペース法を用い、20mlのバイアルに水10ml、塩化ナトリウム3g、溶剤10-100 μ lを加えた。

(2) 土壌

人工汚染土壌又は汚染現地の土壌10gを50mlの遠沈管に入れ、アセトン25mlを加え10分間超音波抽出を行い、3000rpmで10分間遠心分離した。上澄み液に5%塩化ナトリウム水溶液150mlとヘキサン（25ml、2回）を加えて10分間振とう抽出し、

ヘキサン層を無水硫酸ナトリウムで脱水後遠心エバポレータで濃縮し試料とした。汚染現地の土壌については、難揮発性物質を除去するために劔持らの方法³⁾に準じてシリカゲルカラムクロマトグラフィ（5%含水シリカゲルルーワコーゲルC200、2g、10mm ϕ 、第1画分：ヘキサン30ml、第2画分：10%アセトン/ヘキサン20ml）で精製し、第1、2画分を試料とした。

(3) 溶出液

溶出実験で得られた溶出液20mlを50mlの遠沈管に入れ、ヘキサン（20ml、2回）を加え10分間振とう抽出し、3000rpmで10分間遠心分離後、ヘキサン層を遠心エバポレータで濃縮し試料とした。

(4) 地下水

地下水1lに塩化ナトリウム50g、ヘキサン（50ml、2回）を加え10分間振とう抽出し、無水硫酸ナトリウムで脱水後、遠心エバポレータで約0.5mlに濃縮し試料とした。

2. 5. 2 GC/MS条件

(1) 溶剤及び溶媒抽出物

- ・カラム：SGE製、BPX5（長さ25m、内径0.22mm、膜厚0.25 μ m）、液相5%フェニルポリシロキサン
- ・カラム温度：40 $^{\circ}$ C（2分）-10 $^{\circ}$ C/分-300 $^{\circ}$ C（10分）
- ・注入口温度：250 $^{\circ}$ C
- ・注入法：スプリットレス法（2分後パージ）
- ・キャリアーガス：ヘリウム、平均線速度49cm
- ・インターフェース温度：280 $^{\circ}$ C
- ・イオン源温度：230 $^{\circ}$ C
- ・イオン化法：EI
- ・検出モード：SCAN法

(2) 溶剤（揮発性有機化合物）

- ・カラム：ジーエルサイエンス社製、アクアティック（長さ60m、内径0.25mm、膜厚1.0 μ m）、液相25%フェニル75%ジメチルポリシロキサン
- ・カラム温度：40 $^{\circ}$ C（7分）-8 $^{\circ}$ C/分-180 $^{\circ}$ C-15 $^{\circ}$ C/分-200 $^{\circ}$ C
- ・注入口温度：200 $^{\circ}$ C
- ・注入法：スプリット法（比16）、
- ・キャリアーガス：ヘリウム、平均線速度27cm
- ・インターフェース温度：260 $^{\circ}$ C
- ・イオン化法：EI
- ・検出モード：SCAN法
- ・ヘッドスペースサンプラーオープン温度：60 $^{\circ}$ C
- ・バイアル平衡時間：30分

2. 5. 3 有機化合物の同定

試料及び標準品をGC/MSに注入し、トータルイオンクロマトグラム上の保持時間とマススペクトルが一致することを確認し、同定した。なお、各

試験において空試験を行い、空試験でピークが認められる有機化合物については、奥村の方法に準じ⁴⁾、空試験のピーク面積の3倍以上のピークが試料で認められた場合に同定の対象とした。

3. 結果及び考察

3. 1 有機塩素系溶剤中の有機化合物の同定

3. 1. 1 市販品及び再生品の溶剤

市販品及び再生品の溶剤に含まれる有機化合物の検索を行った結果、酸化防止剤等に使用されるジブチルヒドロキシトルエン (BHT) が市販品のTCE (T1)、PCE (P1, P2, P3) から、安定剤等に使用されるフェノールがTCE (T2, T3) から、*n*-ノナン (C9)、*n*-デカン (C10)、*n*-ウンデカン (C11)、*n*-ドデカン (C12)、*n*-トリデカン (C13)、*n*-テトラデカン (C14) が再生品のTCEから同定された。

市販品のTCE (T1, T2, T3) 及び再生品のTCEのトータルイオンクロマトグラムは図1のとおりであり、クロマトグラム上には、同定された物質以外に未同定物質のピークが認められ、有機化合物の組成が製品ごとに異なっていた。一方、PCEに含

まれる有機化合物の組成については、TCEのような製品間の差が認められなかった。

なお、再生品のTCE中のC9等の*n*-パラフィン類は鉱物油等に含まれる物質であり、再生前の成分が残留していると思われる。このような再生品の溶剤が土壤に漏れ出した場合、鉱物油等を扱わない業種でも、汚染土壤からこれらの成分が検出される可能性があると考えられる。

3. 1. 2 事業場の洗浄槽で使用中の溶剤

過去に事業場の敷地等に漏れ出した溶剤は、使用前のものだけでなく、洗浄槽等で使用中のものや廃棄するまで保管中のものであったと考えられる。そこで、事業場の洗浄槽で使用中の溶剤を採取し、溶剤に混入する有機化合物について検索を行った。同定結果は表1のとおりである。金属熱処理業の洗浄槽内のTCE (Tm1, Tm2) からは*n*-パラフィン類の*n*-オクタン (C8)~*n*-オクタコサン (C28)、ベンゼン系炭化水素類の1, 2, 3-トリメチルベンゼン、1, 2, 4-トリメチルベンゼン、1, 3, 5-トリメチルベンゼン、

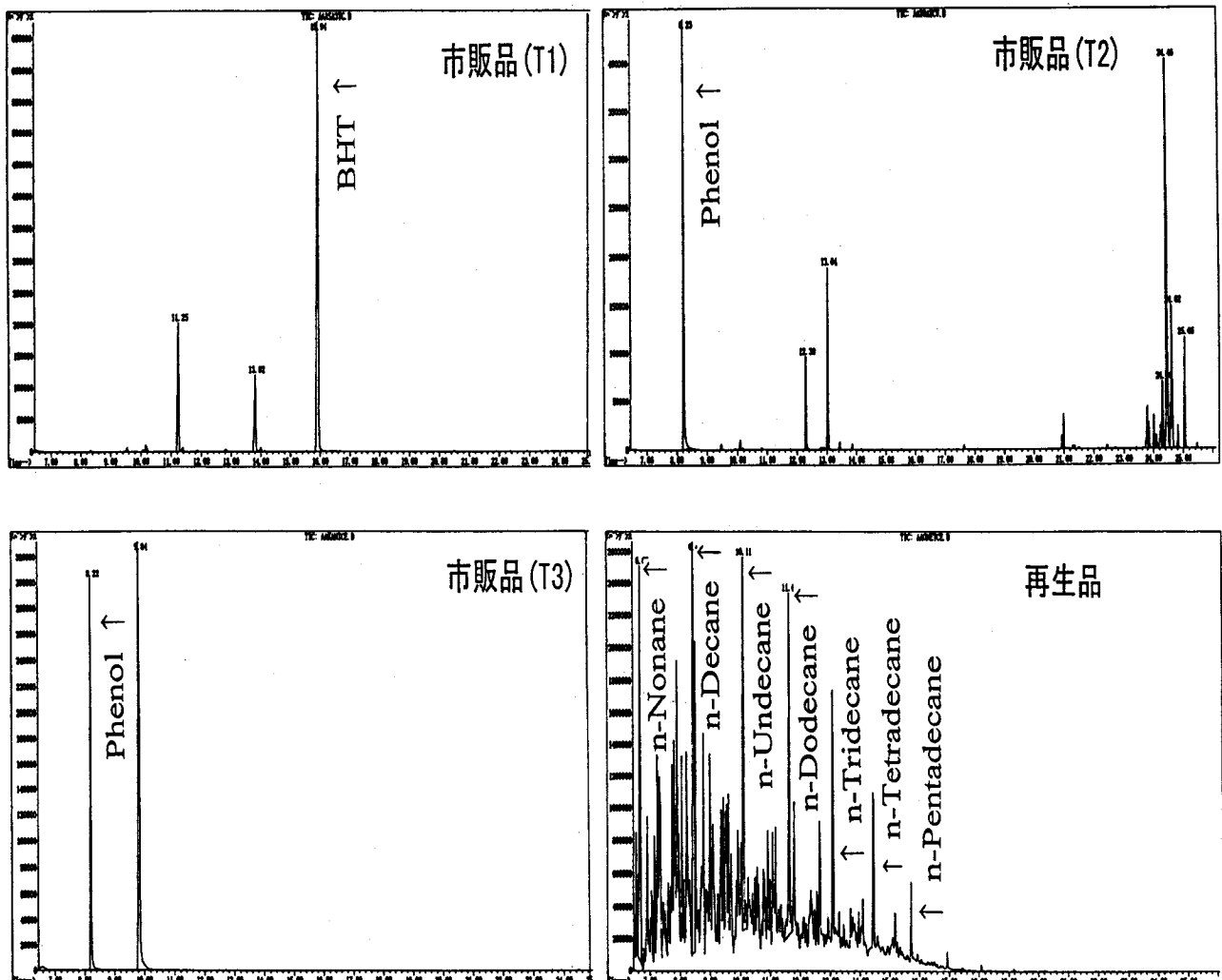


図1 トリクロロエチレン (市販品、再生品) のトータルイオンクロマトグラム

表1 事業場の洗浄槽で使用中の溶剤に含まれる有機化合物

| | 有機化合物 | 構造式 | CAS No. | 金属熱処 | 金属熱処 | 電子部品 | 自動車部 | その他の配線器具 | |
|----|--------------------------------|----------|-----------|-------|-------|------|------|----------|----|
| | | | | 理業(1) | 理業(2) | 製造業 | 品製造業 | 製造業 | |
| | | | | TCE | TCE | TCE | PCE | TCE | MC |
| 1 | n-オクタン | C8H18 | 111-65-9 | ○ | | | | | |
| 2 | n-ノナン | C9H20 | 111-84-2 | ○ | ○ | | | | |
| 3 | n-デカン | C10H22 | 124-18-5 | ○ | ○ | | | | |
| 4 | n-ウンデカン | C11H24 | 1120-21-4 | ○ | ○ | | | | |
| 5 | n-ドデカン | C12H26 | 112-40-3 | ○ | ○ | | | | |
| 6 | n-トリデカン | C13H28 | 629-50-5 | ○ | ○ | | | | |
| 7 | n-テトラデカン | C14H30 | 629-50-5 | ○ | ○ | | | | |
| 8 | n-ペンタデカン | C15H32 | 629-62-9 | ○ | ○ | | | | |
| 9 | n-ヘキサデカン | C16H34 | 544-76-3 | ○ | ○ | | | | |
| 10 | n-ヘプタデカン | C17H36 | 629-78-7 | ○ | ○ | | | | |
| 11 | n-オクタデカン | C18H38 | 593-45-3 | ○ | ○ | | | | |
| 12 | n-エイコサン | C20H42 | 112-95-8 | ○ | ○ | | | | |
| 13 | n-トトラコサン | C24H50 | 646-31-1 | ○ | ○ | | | | |
| 14 | n-オクタコサン | C28H58 | 630-02-4 | ○ | | | | | |
| 15 | イソプロピルベンゼン | C9H12 | 98-82-8 | ○ | ○ | | | | |
| 16 | m-エチルトルエン | C9H12 | 620-14-4 | ○ | ○ | | | | |
| 17 | 1,3,5-トリメチルベンゼン | C9H12 | 108-67-8 | ○ | ○ | | | | |
| 18 | 1,2,4-トリメチルベンゼン | C9H12 | 95-63-6 | ○ | ○ | | | | |
| 19 | 1,2,3-トリメチルベンゼン | C9H12 | 526-73-8 | ○ | ○ | | | | |
| 20 | 3-イソプロピルトルエン | C10H14 | 535-77-3 | ○ | ○ | | | | |
| 21 | 4-イソプロピルトルエン | C10H14 | 99-87-6 | ○ | ○ | | | | |
| 22 | 1,2,4,5-テトラメチルベンゼン | C10H14 | 95-93-2 | ○ | ○ | | | | |
| 23 | 1,2,3,5-テトラメチルベンゼン | C10H14 | 527-53-7 | ○ | ○ | | | | |
| 24 | ナフレン | C10H8 | 91-20-3 | ○ | ○ | | | | |
| 25 | アセナフテン | C12H10 | 83-32-9 | ○ | ○ | | | | |
| 26 | アセナフチレン | C12H8 | 208-96-8 | ○ | ○ | | | | |
| 27 | フルオレン | C13H10 | 86-73-7 | ○ | ○ | | | | |
| 28 | アントラセン | C14H10 | 120-12-7 | ○ | ○ | | | | |
| 29 | フェナントレン | C14H10 | 85-01-8 | ○ | ○ | | | | |
| 30 | フルオランテン | C16H10 | 206-44-0 | ○ | ○ | | | | |
| 31 | ビレン | C16H10 | 129-00-0 | ○ | ○ | | | | |
| 32 | クリセン | C18H12 | 218-01-9 | ○ | ○ | | | | |
| 33 | ベンゾ(a)アントラセン | C18H12 | 56-55-3 | ○ | ○ | | | | |
| 34 | ベンゾ(a)ピレン | C20H12 | 50-32-8 | ○ | | | | | |
| 35 | チモール | C10H14O | 89-83-8 | | | | ○ | | |
| 36 | 2,6-ジ-tert-ブチル-1,4-ベンゾキノン | C14H20O2 | 719-22-2 | | | | | ○ | |
| 37 | 3,5-ジ-tert-ブチル-4-ヒドロキシベンズアルデヒド | C15H22O2 | 1620-98-0 | | | | | ○ | |
| 38 | ブチルヒドロキソトルエン | C15H24O | 128-37-0 | | | | | ○ | |
| 39 | フタル酸ジ-2-エチルヘキシル | C24H38O4 | 117-81-7 | | | | | | ○ |
| 40 | 1,1-ジクロロエチレン | C2H2Cl2 | 75-35-4 | | | | | | ○ |
| 41 | 1,1-ジクロロエタン | C2H4Cl2 | 75-34-3 | | | | | | ○ |
| 42 | 1,2-エポキシブタン | C4H8O | 106-88-7 | | ○ | ○ | | ○ | ○ |
| 43 | シス-1,2-ジクロロエチレン | C2H2Cl2 | 156-59-2 | | | | | ○ | ○ |
| 44 | 四塩化炭素 | CCl4 | 56-23-5 | ○ | ○ | ○ | | ○ | ○ |
| 45 | 1,2-ジクロロエタン | C2H4Cl2 | 107-06-2 | | | | | | ○ |
| 46 | ベンゼン | C6H6 | 71-43-2 | ○ | | ○ | | ○ | |
| 47 | ブromoジクロロメタン | BrCHCl2 | 75-27-4 | ○ | ○ | ○ | | ○ | |
| 48 | 1,4-ジオキサン | C4H8O2 | 123-91-1 | | | | | ○ | |
| 49 | トルエン | C7H8 | 108-88-3 | ○ | | ○ | | | ○ |
| 50 | 1,1,2-トリクロロエタン | C2H3Cl3 | 79-00-5 | | | ○ | | | ○ |

1,2,3,5-テトラメチルベンゼン、1,2,4,5-テトラメチルベンゼン、イソプロピルベンゼン、3-イソプロピルトルエン、4-イソプロピルトルエン、*m*-エチルトルエン及び多環芳香族炭化水素類のナフタレン、アセナフテン、アセナフチレン、フルオレン、アントラセン、フェナントレン、フルオランテン、ピレン、クリセン、ベンゾ(a)アントラセン、ベンゾ(a)ピレンが同定された。これらの有機化合物は、製造工程で使用される焼き入れ油や前洗浄で使用される灯油等に由来すると考えられる。自動車部品製造業の洗浄槽内のPCE(Pc)からは、水溶性塗料等を使用されるチモールが同定された。その他の配線器具製造業の洗浄槽内のTCE(Tw)からは、使用前のTCE(Twn)に含まれるBHT及びその分解物⁵⁾として知られている2,6-ジ-*t*-ブチル-1,4-ベンゾキノン(BHT-キノン)、3,5-ジ-*t*-ブチル-4-ヒドロキシベンズアルデヒドが同定された。

洗浄槽内の溶剤の使用前後に含まれる有機化合物のトータルイオンクロマトグラムは図2のとおり

りであり、比較した3事業所では同じ種類のTCEを使用しているにもかかわらず、使用中に有機化合物の組成がまったく異なることが明らかになった。その他の配線器具製造業で使用中のTCE(Tw)には、使用前のTCE(Twn)に含まれていなかったBHTの分解物の出現が認められている。また、トータルイオンクロマトグラム上には、同定された物質以外にも未同定物質のピークがあり、これらの保持指標(PTRI)を算出し、マススペクトルを整理保存することにより、汚染指標物質の候補として利用可能と考えられる。

以上の結果より、事業場の洗浄槽で使用中の溶剤には、洗浄成分及びその分解物に由来する有機化合物が含まれており、その組成が業種ごとに異なることから、複数の汚染源が隣接し、同じ種類の溶剤を使用しているにもかかわらず、それぞれの汚染源の土壌中には組成の異なる有機化合物が含まれると推測される。

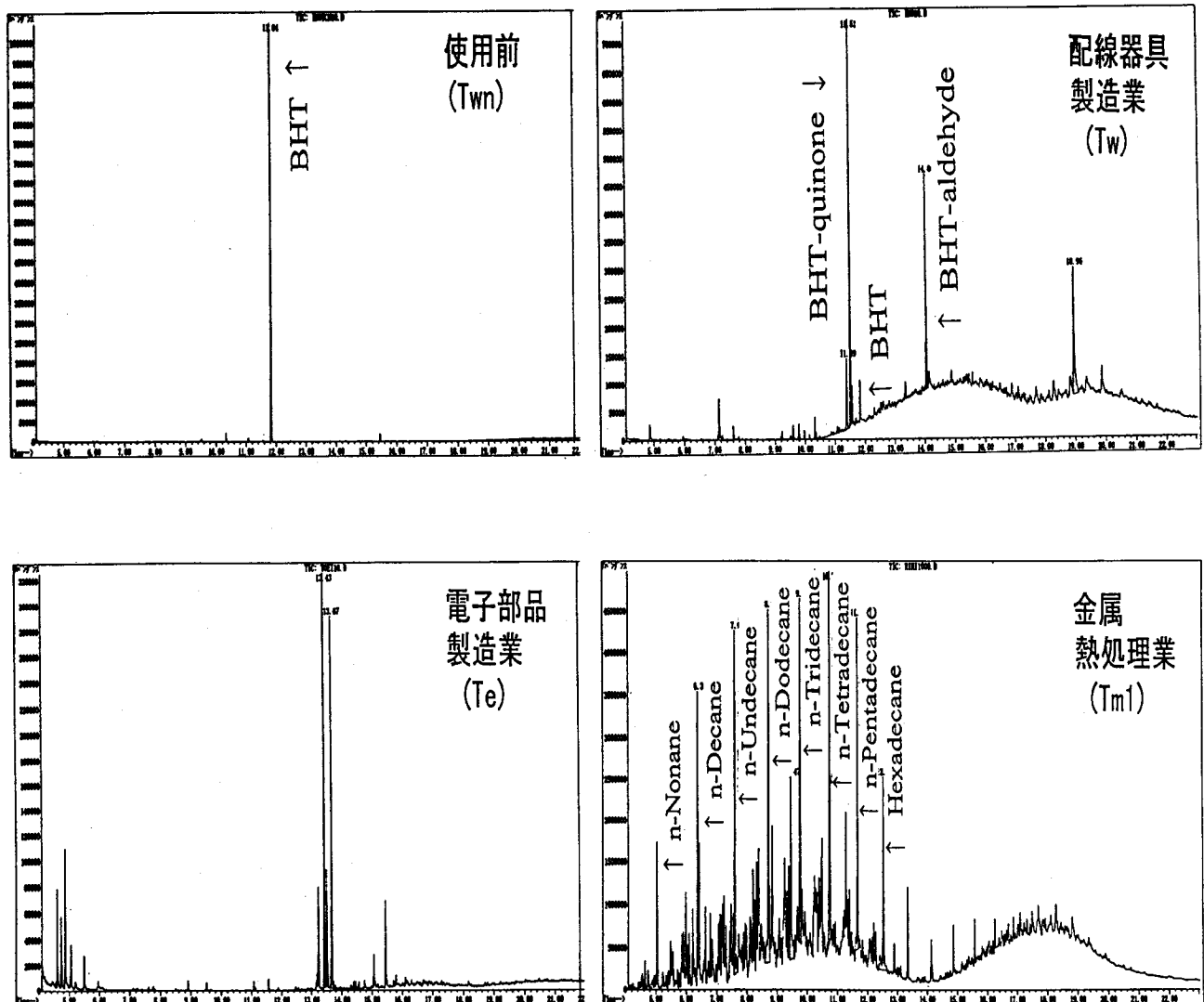


図2 トリクロロエチレン（洗浄槽）のトータルイオンクロマトグラム

なお、洗浄槽内のTCEに含まれる揮発性化合物については、市販品のTCE (T1) で同定された1,2-エポキシブタン、四塩化炭素、ブロモジクロロメタンに加えてベンゼン (Tm1、Te、Tw)、トルエン (Tm1、Te)、1,1,2-トリクロロエタン (Te) が新たに確認された。使用中のMC (MCw) 中には市販品で同定された1,1-ジクロロエチレン、1,1-ジクロロエタン、1,2-エポキシブタン、cis-1,2-ジクロロエチレン、四塩化炭素、1,2-ジクロロエタン、1,4-ジオキサン、1,1,2-トリクロロエタンが同定されたが、洗浄工程で加わった物質は確認できなかった。このように、溶剤中の揮発性化合物の組成は、使用中にベンゼン、トルエン等が加わるものの、事業所ごとの特徴は認められなかった。

3. 2 人工汚染土壌を用いた溶出実験

溶剤が土壌中に漏れ出した場合、汚染指標物質の候補として挙げられた溶剤中の有機化合物が土壌と溶出液から検出されるか否か調べるため、人工汚染土壌と水を用いた溶出実験を行った。

(1) 溶出試験

溶剤 (TCE、PCE) を添加した人工汚染土壌 (4 試料) 及びその溶出液に含まれる有機化合物の検索を行った結果は、表 2 に示すとおりである。添加した溶剤に含まれる有機化合物が人工汚染土壌と溶出液から検出され、人工汚染土壌中の有機化合物組成が溶出液に反映されることを確認した。また、BHTを含むTCE (T1) を添加した人工汚染土壌の溶出試験では、溶出液中にBHT-キノンや図 3 に示すようなマススペクトルの未同定物質が出現した。汚染現地では、これらの分解生成物 (未同定物質を含む) も汚染指標物質として役立つと考えられる。

(2) 長期間静置試験

溶剤が土壌中に漏れ出した場合、溶剤中の有機化合物が時間の経過でどのように変化するか調べる

ため、溶剤を添加後 6 ヶ月間経過した人工汚染土壌を用い、同様な溶出実験を行った。その結果、土壌及び溶出液から検出される有機化合物の種類は、時間の経過によって違いがみられた。n-パラフィン類 (C9-C16) 及びベンゼン系炭化水素類は、溶剤添加直後の土壌及び 6 ヶ月経過後の土壌から同様に検出され、まったく変化が認められなかった。また、これらの物質は、溶剤添加直後と 6 ヶ月間経過後に行った溶出実験の溶出液にも検出された (C15, 16は痕跡程度)。一方、BHTは溶剤添加直後の土壌と溶出液中に検出されたが、6 ヶ月経過後には痕跡程度となり、これに代わり、BHTの分解物であるBHT-キノンが検出された。また、6 ヶ月経過後の土壌と溶出液に、新たにベンズアデヒドが検出された。このように、溶剤に含まれる有機化合物の中には、土壌中で分解され易い物質、水との接触過程で新たに出現する物質のあることが確認された。

3. 3 汚染現地の土壌及び地下水調査

PCEにより汚染された土壌と地下水を採取し、現在までの検討で得られた汚染指標物質を手がかりに有機化合物の検索を行った。その結果、土壌中にはBHT、BHT-キノン、n-パラフィン類 (C12~C24)、ベンゼン系炭化水素類 (1,2,3-トリメチルベンゼン、1,2,4-トリメチルベンゼン、1,3,5-トリメチルベンゼン、1,2,3,5-テトラメチルベンゼン、1,2,4,5-テトラメチルベンゼン、イソプロピルベンゼン、3-イソプロピルトルエン、4-イソプロピルトルエン、m-エチルトルエン) 及び多環芳香族炭化水素類 (ナフタレン、アセナフテン、アセナフチレン、フルオレン、アントラセン、フェナントレン、フルオランテン、ピレン、クリセン、ベンゾ (a) アントラセン、ベンゾ (a) ピレン、ジベンゾ (a, h) アントラセン、インデノ (1,2,3-cd) ピレン、ベンゾ (ghi) ペリレン) が検出された。一方、地下

表 2 人工汚染土壌の溶出試験で検出された有機化合物

| 有機化合物 | 人工汚染土壌 A | | | 人工汚染土壌 B | | | 人工汚染土壌 C | | | 人工汚染土壌 D | | |
|------------|-----------------|----|-----|-----------------|----|-----|-------------|----|-----|-----------------|----|-----|
| | 添加溶剤:市販品TCE(T1) | | | 添加溶剤:市販品TCE(T2) | | | 添加溶剤:再生品TCE | | | 添加溶剤:市販品PCE(P1) | | |
| | 溶剤 | 土壌 | 溶出液 | 溶剤 | 土壌 | 溶出液 | 溶剤 | 土壌 | 溶出液 | 溶剤 | 土壌 | 溶出液 |
| トリクロロエチレン | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | | |
| テトラクロロエチレン | | | | | | | | | | ○ | ○ | ○ |
| ブチルヒドロキシルエ | ○ | ○ | ○ | | | | | | | ○ | ○ | ○ |
| n-ウンデカン | | | | | | | ○ | ○ | | | | |
| n-ドデカン | | | | | | | ○ | ○ | ○ | | | |
| n-トリデカン | | | | | | | ○ | ○ | ○ | | | |
| n-テトラデカン | | | | | | | ○ | ○ | ○ | | | |
| メンチレン | | | | | | | ○ | ○ | ○ | | | |
| ブノドクマン | | | | | | | ○ | ○ | ○ | | | |
| フェノール | | | | ○ | ○ | ○ | | | | | | |

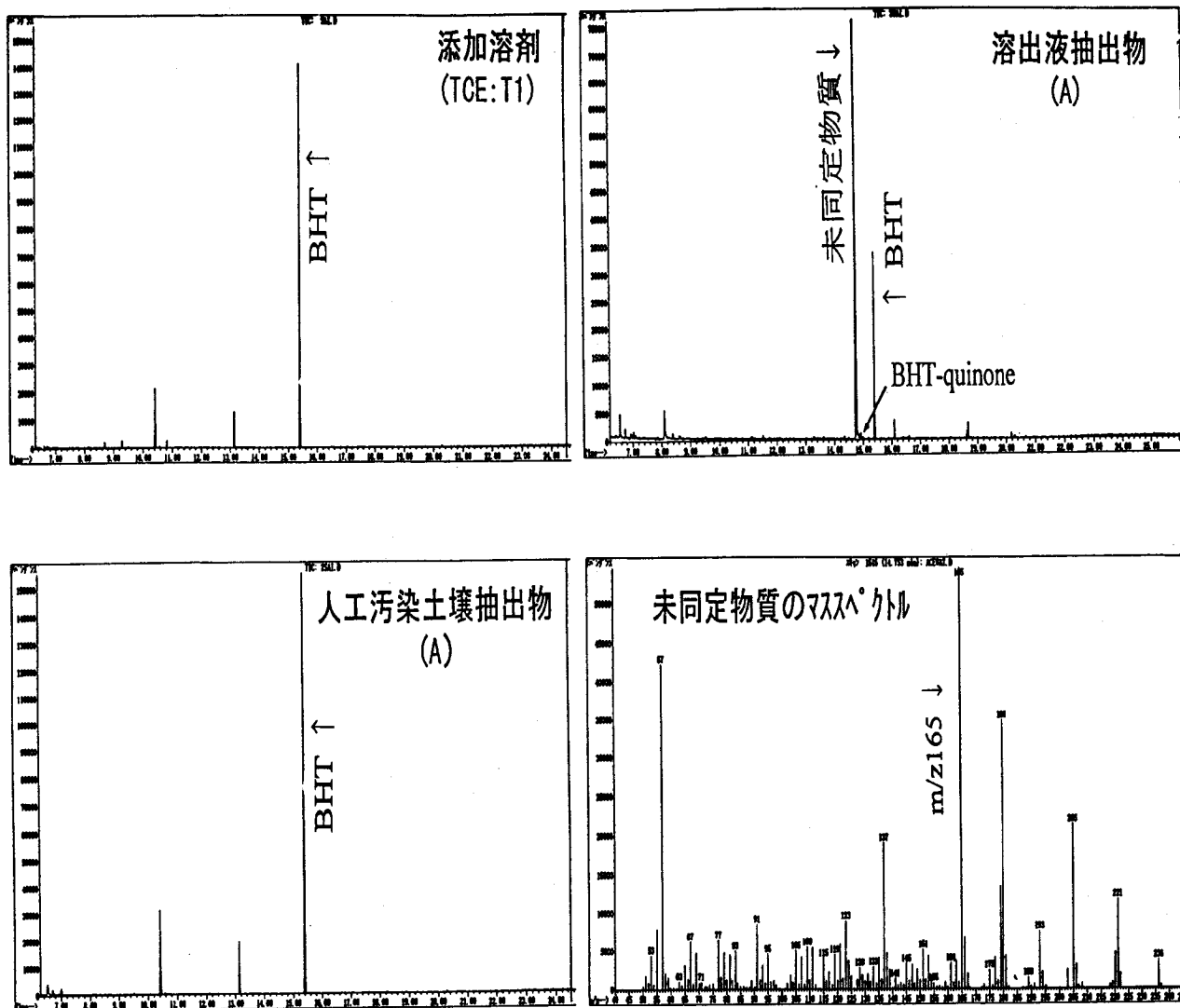


図3 溶出実験における各試料のトータルイオンクロマトグラム

水中にはBHT、BHT-キノン及びn-パラフィン類 (C12~C24) が認められた。また、土壌及び地下水から、図3と同様のマススペクトルを示す未同定物質が認められた。このように、汚染現地の土壌と地下水から溶剤に含まれる有機化合物が複数検出されることを確認した。なお、今回は定量を行っていないが、n-パラフィン類及び多環芳香族炭化水素類等は環境中に常在する物質であるため、実際の地下水汚染源特定調査では定量が必要である。周辺地下水の流動調査、水質調査等の一部としてこれらの物質を定量することにより、汚染指標として活用できると考えられる。また、n-パラフィン類及び多環芳香族炭化水素類は、油流出事故や石油製品の燃焼等溶剤以外の要因でも検出される可能性があることから、構成成分の組成比等の量的な検討を行い、由来を明らかにする必要があると考えられる。一方、汚染現地では、汚染指標の候補に挙げた物質以外に予期せぬ物質が検出されることも考えられるため、見逃さないための有機化合物検索が特定調査に欠かせないと考えられる。

今後、汚染現地におけるデータを蓄積し、どのような物質が汚染源特定の指標として有効か、化学的な側面から検討を重ねていく必要があると思われる。

4. まとめ

有機塩素系溶剤による地下水汚染の汚染源特定指標として活用するため、工場ごとに特有な溶剤に含まれる有機化合物を検索し、それらが土壌汚染と地下水汚染を関連づける汚染指標物質となり得るか否か検討した。

(1)市販品、再生品及び事業場の洗浄槽で使用中の有機塩素系溶剤に含まれる有機化合物を検索したところ、汚染指標物質の候補として50種類の有機化合物が同定された。

事業場の洗浄槽には業種ごとに異なる洗浄成分及びその分解物等に由来する有機化合物が認められた。このことから、溶剤により汚染された土壌中には、汚染源ごとに異なる物質が含まれていると推測された。

(2) 溶剤が土壤中に漏れ出した場合を想定し、人工汚染土壌に対し、水を用いた溶出実験を行った結果、添加した溶剤中に含まれる有機化合物が土壌及び溶出液から検出され、土壌中の有機化合物組成が溶出液に反映されることを確認した。また、溶出液にはBHTの分解物が認められ、未同定物質を含め、これらの分解物等も汚染指標物質として役立つと考えられた。

(3) 汚染現地の土壌と地下水を採取し、溶剤に含まれる汚染指標物質を手がかりに、有機化合物を検索したところ、複数の物質が検出されることを確認した。

以上の結果より、実際の地下水汚染源特定調査では、周辺地下水の流動調査、水質調査等の一部として溶剤に含まれる有機化合物を定量することにより、汚染指標として有効に活用できると考えられる。

参考文献

- 1) 神奈川県環境部水質保全課：平成2～9年度神奈川県地下水質測定結果（1990～1997）
- 2) 福井博、横山尚秀、三村春雄、粟屋徹：地下水汚染対策調査－汚染源特定調査事例－、神奈川県環境科学センター研究報告, 20, 61～64 (1997)
- 3) 劔持堅志、荻野泰夫ら：油汚染時における化学成分のスクリーニング分析、環境化学, 7 (3)、561-576 (1997)
- 4) 奥村為男：GC/MSによる水中の化学物質の微量多成分分析、環境化学, 5 (3)、597-604 (1995)
- 5) K. Yamamoto, K. Tamiya, T. Mizutani: Identification of new Metabolites of Butylated Hydroxytoluene (BHT) in Rats., J. Pharm. Dyn., 2, 164～168 (1979).