

(0035) 石油系炭化水素汚染土壌によるリスクの評価に関する ISO 規格化の動き

○中島 誠¹・王 寧¹・保高徹生²・ISO/TC190 部会¹

¹土壌環境センター・²産業技術総合研究所

1. はじめに

ISO/TC190 (Soil quality : 地盤環境) では、ここ数年、石油系炭化水素で汚染された土壌によるリスクを評価するための ISO 規格化の検討が行われており、日本からもエキスパートを派遣してその審議に参画してきている。検討は、SC3 (第3分科会: 化学的方法と土の特性) /WG6 (有機汚染) と SC7 (土および現地評価) /WG4 (人への曝露) で手分けをして進められており、SC7/WG4 では全石油系炭化水素 (TPH) の炭素数レンジによる画分の方法やリスク評価で取り上げる曝露経路等について ISO 規格が成立したところであり、SC3/WG6 ではそのリスク評価のために用いる TPH 試験法について審議が続けられているところである。

本稿では、SC7/WG4 で審議され成立した ISO 規格である ISO 11504 Soil quality- Assessment of impact from soil contaminated with petroleum hydrocarbons (地盤環境－石油系炭化水素で汚染された土壌からの影響のアセスメント) の概要および SC3/WG6 で審議中の ISO 16558-1 Soil quality- Risk-based petroleum hydrocarbons- Part 1: Determination of aliphatic and aromatic fractions of volatile petroleum hydrocarbons using gas chromatography (static headspace method) (地盤環境－リスクに基づく石油系炭化水素－パート1: ガスクロマトグラフィーを用いた揮発性石油系炭化水素の脂肪族および芳香族画分の測定 (ヘッドスペース法)) および ISO 16558-2 Soil quality- Risk-based petroleum hydrocarbons- Part 2: Determination of aliphatic and aromatic fractions of semi-volatile petroleum hydrocarbons using gas chromatography with flame ionisation detection (GC/FID) (地盤環境－リスクに基づく石油系炭化水素－パート2: 水素炎イオン化検出器付きガスクロマトグラフィー (GC/FID) を用いた半揮発性石油系炭化水素の脂肪族および芳香族画分の測定) の草案の概要を紹介する。

2. ISO 規格化の背景

2005 年の ISO/TC190 総会 (東京) において、SC3/WG6 でオランダから鉱油の毒性評価方法 (炭素数 5~10 (C₅~C₁₀) の脂肪族炭化水素) の新規検討項目 (NWI : New work item) が提案され、SC7/WG4 でデンマークから鉱油に対する人の健康リスク評価についての規格化の検討が提案された。鉱油について、種々の ISO 規格における分析方法による結果では現場で観測される毒性学的影響を説明することができず、既存の ISO 規格と異なる新たな手順がいくつか提案されている状況は望ましくないことから、リスクアセスメントが望む詳細な情報が入るように ISO 手法のスコープ (範囲) を広げようというのが SC3/WG6 の NWI 提案理由である¹⁾。

2006 年の ISO/TC190 総会 (ロンドン) において、両 WG 共同で鉱油汚染土による人の健康への影響の評価を NWI として提案することが決定し、2007 年 11 月に承認された。この NWI 承認直後に行われた 2007 年の ISO/TC190 総会 (シドニー) では、SC3/WG6 と SC7/WG4 との共同会議が設けられ、それぞれのテーマの ISO 規格化について討議された。このときの論点は、全石油系炭化水素 (TPH : Total petroleum hydrocarbon) の炭素数レンジによる画分の方法、リスク評価で取り上げる曝露経路、規格草案の目次構成および内容等であり、日本からも油汚染対策ガイドラインに示されている GC-FID を用いた TPH 試験の方法および油種同定のための TPH 画分方法の概要を紹介した。

その後、2008 年 (デルフト)、2009 年 (ソウル)、2010 年 (プラヴィ)、2011 年 (アデレード) の ISO/TC190 総会での WG 会議や投票を経て、ISO 11504 が 2012 年 6 月に発行された。一方の分析方法については、いずれも 2012 年 6 月に CD (分科会草案) が出された状況であり、各国の投票結果を受けて 2012 年 9 月の ISO/TC190 総会 (ヘルシンキ) における SC3/WG6 会議でも継続して審議が行われている状況にある。

3. 石油系炭化水素で汚染された土壌によるリスクのアセスメントに関する ISO 規格の概要

堆積物を含む土壌、土質材料および関連する材料中の石油系炭化水素について、人の健康、環境および他の潜在的受容体へのリスクを評価するために分析を行うときの石油系炭化水素画分や個々の化合物の選択方法が

Trend of ISO standardization about assessment of risk by soil contaminated with petroleum hydrocarbons

Makoto Nakashima¹, Ning Wang¹, Tetsuo Yasutaka², ISO/TC190 Study Group¹ (¹GEPC, ²AIST)

連絡先: 〒102-0083 東京都千代田区麹町 4-2 (一社) 土壌環境センター

TEL 03-5215-5955 FAX 03-5215-5954 E-mail info@gepc.or.jp

潜在的受容体へのリスクを評価するために分析を行うときの石油系炭化水素画分や個々の化合物の選択方法が SC7/WG4 で検討され、選択するための提案が ISO 11504（以下「本規格」という。）として規格化された。石油系炭化水素に基づく多くの製品はしばしば炭化水素以外の物質も含んでいるため、本提案はそのような化合物も包含している。なお、評価基準として用いる基準やガイドラインについては、国や地域の規制の問題であることが一般的であるため、本規格では設定されていない。また、本規格には曝露評価のための特定のモデルや用いる特定のパラメーター値の提案は含まれておらず、それらの問題へのガイダンスに関しては ISO 15800（Soil quality – Characterization of soil with respect to human exposure（人の曝露に関する土壌の評価））を参照することとなっている。

3.1 適切な TPH 画分と個々の化合物の提案

本規格で提案されているのは、地域や国の規制が他の要件を設定していないときのリスク評価で測定および使用するのに適切な石油系炭化水素画分と個々の化合物である。

表-1 に、人の健康および環境に関するリスク評価で使用するために提案された石油系炭化水素画分を示す。これらは等価炭素（EC：equivalent carbon）数に基づき設定されている。石油系炭化水素の EC 数はその沸点に関連したものであり、n-アルカンの沸点で標準化され、非極性の沸点ガスクロマトグラフィーカラムにおける保持時間と関係付けられている。本規格では、ここで提案されたそれぞれの画分について、法的に特別な要求がある場合を除き、附属書 A で情報提供されている物理化学特性および附属書 B で情報提供されている相対的毒性を使用することが推奨されている。

提案された石油系炭化水素画分では、高沸点側の EC 数の範囲について、脂肪族と芳香族を分離した画分の範囲が EC 44 まで、それを超える分は脂肪族と芳香族の分離なしで EC 70 までが一つの画分となっている。これについて、Total Petroleum Hydrocarbon Criteria Working Group（TPHCWG）による方法の初期バージョンでは測定・評価される対象に炭素数 35（EC35）より大きな炭化水素は含まれておらず²⁾、米国石油協会（API: American Petroleum Institute）がその修正を提案している。API の提案³⁾は、原油の存在するサイトでのリスクに基づく分析にも使えるように EC44 まで定量できるガスクロマトグラフィー法に変更することと、EC 44 を超える範囲について脂肪族と芳香族を分けずに EC 70 までの範囲を一つの画分することであった。EC >44~70 については、脂肪族と芳香族の分離が物理的に難しく、毒性データが原油の真空蒸留による真空残渣油全体としてしか有効でないことが考慮されている。本規格の中では触れられていないが、本規格で提案されている画分方法はイギリスで人の健康リスク評価に用いられている方法と同じであり、脂肪族・芳香族別に EC >35~44 をカバーする画分と脂肪族と芳香族を合わせた EC >44~70 の画分が TPHCWG による方法に追加されている⁴⁾。

表-2 に、評価の対象とされるべきとされている個々の化合物のリストを示す。石油系炭化水素混合物には同じ画分に含まれる他の化合物よりも毒性の高い特定の化合物が含まれている可能性もあることから、そのような化合物については曝露と有害性の評価を別途行うことが提案されている。

このタイプの他の化合物には、同様に石油系炭化水素混合物に認められる窒素、硫黄および酸素を含む化合物（NSO 化合物）が含まれていることが示されている（例えば、ベンゾ[b]チオフェン、カルバゾール）。また、石油系炭化水素に基づく多くの製品には、製品の目的に応じた異なるタイプの添加物が含まれており、これらは高水溶性、低生分解性あるいは低い嗅覚・味覚上の検出閾値をもっていることから（例えば、メチル・ターシャリー・ブチル・エーテル（MTBE）、エチル・ターシャリー・ブチル・エーテル（ETBE）、ターシャリー・アミル・メチル・エーテル（TAME）、エタノール、脂肪酸メチル・エステル（FAME））、リスク評価で考慮されるべき NSO 化合物および添加物として表-3 に示すリストが提案されている。なお、全てのサイトでこれら全ての化合物が関係しているわけではないことや、鉛添加剤

表-1 提案された EC 数に基づく石油系炭化水素画分（ISO 11504）

脂肪族画分	芳香族画分
>5~6	>5~7
>6~8	>7~8
>8~10	>8~10
>10~12	>10~12
>12~16	>12~16
>16~35	>16~21
>35~44	>21~35
	>35~44
>44~70	

表-2 評価に含まれるべき個々の化合物の提案（これで全てではない）（ISO 11504）

閾値のない化合物	閾値のある化合物
ベンゼン	n-ヘキサン
ベンゾ[a]ピレン	トルエン
ベンゾ[a]アントラセン	エチルベンゼン
ベンゾ[b]フルオランテン	キシレン
ベンゾ[k]フルオランテン	スチレン
ベンゾ[ghi]ペリレン	ナフタレン
クリセン	メチルナフタレン
コロネン	アントラセン
ジベンゾ[a,h]アントラセン	フルオランテン
インデノ[1,2,3-c,d]ピレン	フェナントレン
	ピレン

表－3 評価に含まれるべき個々の化合物の提案 (ISO 11504)

NSO 化合物	添加物
ベンゾ[b]イオフェン	エチル・ターシャリー・ブチル・エーテル (ETBE)
ジベンゾフラン	メチル・ターシャリー・ブチル・エーテル (MTBE)
ジベンゾチオフェン	ジイソプロピルエーテル (DIPE)
アクリジン	メタノール
カルバゾール	エタノール
アニリン	ブタノール
ジメチルジサルファイド	ターシャリー・ブチル・アルコール (TBA)
4-メチルアニリン	脂肪酸メチルエステル (FAME)
4-メチルクノリン	ターシャリー・アミル・メチル・エーテル
チオフェン	アミノ・エチル・エタノラミン
クノリン	ジエチレン・トリアミン (DETA)
	エチレン・ジアミン
	テトラエチレンペンタミン (TEPA)
	1,2-ジブromoエタン
	1,2-ジクロロエタン

や燃料染料のように特定のサイトでは他の化合物が関係してくるかもしれないことに注意が必要であること等も記載されている。必ずこれらの物質すべてを測定して評価しなければならないということではない。

本規格では附属書 C として各国で提案されている TPH 画分の方法が表－4 に示す一覧表のかたちで示されている。日本の「油汚染対策ガイドライン」において示されている TPH 画分の方法（脂肪酸と芳香族を区分しない EC 6-12、12-28、28-44 の三つの画分）は、汚染物質の油種を確認するためのものであり、本規格で対象としているような人の健康や環境に関するリスクを評価するために設定されているものではないが、国レベルで設定されている TPH 画分の方法であるということで掲載の要望を出し、認められた他の国の方法と並んで記載されることとなった。

3.2 石油系炭化水素と全石油系炭化水素 (TPH)

石油系炭化水素を議論する上で注意が必要な事項として、石油系炭化水素という用語と全石油系炭化水素 (TPH : Total petroleum hydrocarbon) という用語の違いについて説明されている。石油系炭化水素は原油に由来する水素および炭素を含む化合物のことを指す。これに対して、TPH は環境媒体中の石油に基づく炭化水素の測定可能な量、すなわちサンプリングや化学分析により得られる実際の結果を指す。また、TPH は方法によって定義される用語であり、TPH 濃度の推定はそれらの測定に用いる分析方法に大きく依存する。

3.3 土壌中の石油系炭化水素の曝露評価

人の健康リスクの評価に関する一般的なガイダンスは ISO 15800 を参照することとされており、人と環境へのリスクを評価するときのサイト概念モデルでは以下のような多くの側面が考慮されるべきとされている。

- ① もっともらしい汚染源－経路－受容体のつながり
- ② 汚染源の性質（燃料タイプ、NAPL/溶解相、新鮮な/風化した燃料、高/低濃度）
- ③ 適切なサロゲート（内標準）や指標化合物を含む原料中に存在する化合物
- ④ 関連する化合物の毒性
- ⑤ 関連する輸送・曝露経路
- ⑥ 存在する受容体の性質や感度
- ⑦ 関連する輸送・曝露経路
- ⑧ 汚染物質へのありそうな曝露から見えてくる受容体に対するありそうな結果

3.4 毒性評価方法

原理的に、毒性は製品全体の毒性、指標化合物の毒性または製品の画分の毒性に基づき評価されるとして、製品全体の方法では風化していない製品全体（例えば、軽油、JP-4、ジェット推進燃料）に対して、指標の方法では一つ以上の有毒な化合物（例えば、ベンゼン、発がん性 PAHs）の毒性に、画分の方法では石油系炭化水素混合物のそれぞれの画分に分配された毒性の尺度にそれぞれ使用されることが示されている。

3.5 サンプリングと調査に関する問題

サンプリング、前処理、サンプルの保管と輸送および分析について、推奨される方法について述べている ISO 規格の番号がそれぞれ挙げられている。分析方法については、ISO 22155 (Soil quality – Gas chromatographic

表－4 各国で提案されている石油系炭化水素画分（ISO 11504）

国	非分割画分	脂肪族画分	芳香族画分	指標パラメーター	炭素数範囲
オーストラリア		6 5-6,6-8,8-10,10-12, 12-16,16-35	7 5-7,7-8,8-10,10-12, 12-16,16-21,21-35		5-35
ベルギー	1	7	8	なし	6->44
カナダ	4 (6-10,10-16,16-34,>34)			なし	6-34
ドイツ		5 6-8,8-10,10-12, 12-16,16-34	3 9-10,10-12,12-15	揮発物, PAH	6-16
デンマーク	3 (6-10,10-25,25-40)			NSOs	6-40
日本	3 (6-12,12-28,>28)			なし	6-44
オランダ		6/9 ^b 5-6,6-8,8-10,10-12, 12-16,16-21	7/10 ^b 5-7,7-8,8-10,10-12, 12-16,16-21,21-35-		5-40
ニュージーランド	4			なし	7-36
スウェーデン		5 5-8,8-10,10-12, 12-16,16-35	6 8-10(2 グループ), 10,35(4 グループ)	あり ^a	6-35
イギリス	1 (>44)	7 5-6,6-8,8-10,10-12, 12-16,16-35,35-44	8 5-7,7-8,8-10,10-12, 12-16,16-21,21-35, 35-44		5->44
アメリカ (API)	1 (>44)	6 5-6,6-8,8-10,10-12, 12-16,16-21	7 5-7,7-8,8-10,10-12, 12-16,16-21,21-35		6->44
アメリカ (MaDEP)		3 5-8,8-18,18-35	2 9-10,10-22	あり	5-36
アメリカ (TPHCWG)		6 5-6,6-8,8-10,10-12, 12-16,16-21	7 5-6,6-8,8-10,10-12, 12-16,16-21	なし	5-35

注：本情報は本 ISO 規格のための ISO ワーキンググループのメンバーからの方法に基づき編集している。

^a 7 種類の特定の芳香物と 4 種類の添加物と同一。

^b TNRCC 法と同じ。しかし、より多い画分。

determination of volatile aromatic and halogenated hydrocarbons and selected ethers – static headspace method (揮発性芳香族およびハロゲン化炭化水素およびのガスクロマトグラフィー測定－ヘッドスペース法))、ISO 15009 (Soil quality – gas chromatographic determination of the content of volatile aromatic hydrocarbons, naphthalene and volatile halogenated hydrocarbons – Purge-and-trap method with thermal desorption (揮発性芳香族炭化水素、ナフタレンおよび揮発性ハロゲン化炭化水素の成分のガスクロマトグラフィー測定－熱脱着・パージ&トラップ法))、ISO 16703 (Soil quality – Determination of content of hydrocarbon in the range C₁₀ to C₄₀ by gas chromatography (ガスクロマトグラフィーによる C₁₀ から C₄₀ の範囲の炭化水素の成分の測定)) が示されており、注釈として 4. で後述する ISO 16558-1 および ISO 16558-2 が現在開発中であることが示されている。高沸点成分が存在している可能性がある場合には、API により開発されたそれらの測定の方法論が使用可能である。

この他、揮発性化合物が含まれている場合のサンプリングにおける損失の予防措置については ISO 22155 および ISO 15009 で述べられている方法が、前処理について ISO 14507 (Soil quality – Pretreatment of samples for determination of organic contaminants (有機汚染物質の測定のためのサンプルの前処理)) で述べられている方法が、サンプルの保管と輸送について ISO 18512 (Soil quality – Guidance on long and short term storage of soil samples (土試料の長期および短期保存に関する指針)) で述べられている方法がそれぞれ推奨されている

4. リスク評価のための土壌中の石油系炭化水素化合物の分析方法に関する ISO 規格草案の概要

揮発性と半揮発性の石油系炭化水素化合物に対して、SC3/WG6 では、ヘッドスペース GC/MS 法による揮発性石油系炭化水素化合物 (C₆~C₁₀) の分析法の規格草案 (ISO/CD16558-1) および GC/FID による半揮発性石

油系炭化水素化合物 (C₁₀~C₄₀) の分析法の規格草案 (ISO/CD16558-2) がそれぞれ検討されてきた。両分析法の規格草案の概要を図-1 に示す。

4.1 土壌サンプリング

分析に供する土壌のサンプリングは ISO10381-1 (Soil quality - sampling - part 1: guidance on the design of sampling programmes (サンプリング計画の設計に関する指針)) および 10381-2 (Soil quality - sampling - part 2: guidance on sampling techniques (サンプリング技術の指針)) に従う。土壌サンプルはいずれも有姿のままを使用する。土壌の揮発性化合物分析 (ISO10381-1) に関して、揮発性化合物の揮発損失を最小限に抑えるために次の二つの土壌サンプリング手法を強く進められている。一つは、現場で採取した有姿土壌を事前に準備したメタノール入りの容器に入れ、実験室に持ち込む方法であり、先端を切断したプラスチック注射筒等を工夫して使用し、土壌をなるべく攪乱させないまま採取する。このとき、土壌を完全にメタノールに浸すことが重要である。もう一つは、ステンレスやアルミ製のコアチューブで土壌を直接採取し、コアチューブごとにそのまま実験室に持ち込んで、溶出操作を行う方法である。

4.2 揮発性石油系炭化水素化合物分析法の概要

メタノールを用いて現場で処理した土壌サンプルについて実験室で溶出操作を行う必要はないが、コアチューブ等でサンプリングを行った場合は、実験室にて液固比 2 倍のメタノールで土壌を 30 分水平振とう抽出し、得られた抽出液を分析に供する。土壌の種類によってはメタノールが土壌に吸収されるため、メタノール量が足りない場合は適宜メタノール量を増やし、抽出操作を行う。

機器分析では、ヘッドスペースを装着した GC/MS で対象となる個別の芳香族化合物及び脂肪族化合物および、C₆~C₁₀ の画分を定量する。規格草案には定量範囲は提示されておらず、分析条件例が次のように挙げられている。[ガスクロ条件] 固定相: DB1、SE1 等のような非極性なもの、膜厚: 0.5 μm~3 μm、カラム長さ: 30~60m、内径: 0.25~0.32mm、オープン温度: 40°C 4min、4°C/min 200°Cまで、200°C 10分、キャリアガス: ヘリウム、ガス流量: 20cm/s~30cm/s、Inlet: 200°C、スピリット率 1:20。[ヘッドスペースサンプラー条件] オープン: 80°C、注射針あるいは送液ライン: 90°C、サンプリング量: 1ml、バイアル平衡時間: 30min。

4.3 半揮発性石油系炭化水素化合物の分析

採取した土壌を液固比 2 倍 (例えば、20g 土壌: 40ml 溶媒) のアセトンで抽出し、まず抽出液の TPH を GC/FID で分析する。この分析で TPH 含有量が認められた場合、次に、抽出液中における脂肪族と芳香族の石油系炭化水素化合物を分離して分析する。脂肪族化合物に関しては、アセトン抽出液をシリカゲルカラムに分取し、n-ヘプタン溶媒で脂肪族石油系炭化水素化合物を分離回収する。芳香族化合物に関しては、ジクロロメタン溶媒を用いて芳香族石油系炭化水素化合物をシリカゲルカラムから溶離回収する。このようにして分離精製した溶液について、GC/FID を用いて脂肪族及び芳香族のそれぞれの C₁₀~C₄₀ 画分を定量する。本分析方法は、200mg/kg (乾土) 以上の TPH 含有の土壌に適している。規格草案の付録には、主な分析条件例が次のように記載されている。オンカラム注入量: 1-3 μl、カラム: WCOT シリカ、カラム長さ: 12m、カラム内径: 0.32 mm、液相フェーズ: BPX-5、膜厚: 1.0 μm、プレカラム: 不活性シリカ融解キャピラリ: 2m×0.53mm、キャリアガス: ヘリウム、圧力: 100 kPa、検出器: 水素炎イオン化検出器、検出温度: 360°C、温度プログラム: 80°C 1 min 保持、20°C/min 昇温 360°Cまで、360°C 保持 15min。

4.4 規格草案の制定に関わるいくつかの議論点

4.4.1 揮発性石油系炭化水素化合物の検出方法

ISO 16558-1 の当初の規格草案では、揮発性石油系炭化水素化合物の分析に GC/FID を用いることとなっていた。しかし、その後の精度管理データにより、GC/FID 法は定量下限値に問題がないものの脂肪族と芳香族を分けることが困難で回収率を過剰に評価する可能性があることが判明したため、GC/MS を用いる定量法に切り替えられた。

4.4.2 半揮発性の全石油系炭化水素化合物 (TPH) のアセトンによる抽出時間

現草案 (ISO/CD 16558-2) では、半揮発性 TPH のアセトンによる抽出時間は 30 分とされているが、30 分のみの抽出では回収率が悪いという既存の情報があるため、回収率や操作の現実性を考慮し、最終案 (FDIS) における抽出操作時間は 2 時間に修正される予定である。

これに関連して、その他の関連規格の抽出時間を再度精査し、適切な抽出時間を検討する必要があると提案されている。

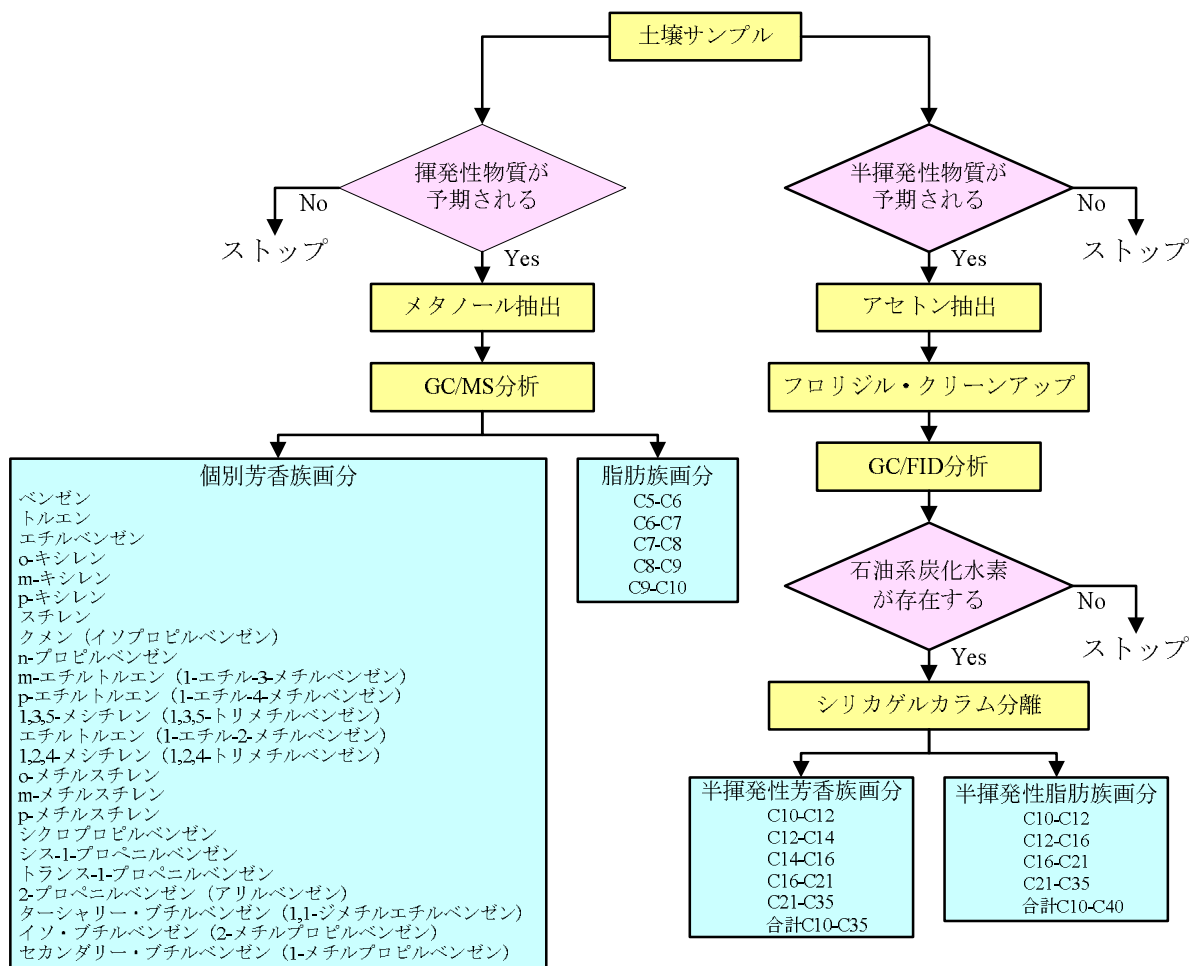
4.4.3 半揮発性芳香族の石油系炭化水素化合物の抽出溶媒

現案においては半揮発性芳香族の石油系炭化水素化合物の分離にジクロロメタンを使用することとなっている。ジクロロメタンとヘプタンの混合溶媒も使用可能であることから、最終案にはこれらも盛り込まれる可能

性が高い。

4.4.4 半揮発性石油系炭化水素化合物の定量範囲

半揮発性石油系炭化水素化合物の定量範囲は、当初は C₁₀～C₄₄となっていた。しかし、分析時間が長くなることおよび C₄₀以上の画分の化合物のリスク評価への寄与が小さいことを考慮し、現案では定量範囲は C₁₀～C₄₀となっている。ただし、GC/FID の分析チャートより C₄₀以上の画分が確認される場合、報告書に明記する必要があるとされている。



図－1 揮発性および半揮発性の芳香族・脂肪族石油系炭化水素化合物の分析法の概要

5. おわりに

本稿では、石油系炭化水素による土壤汚染サイトに対するリスクアセスメントおよびそのための分析の方法について、ISO規格化の動向を紹介した。今後は、分析方法に関する二つの規格 (ISO 16558-1、ISO 16558-2) の成立に向けた審議が引き続き行われるとともに、アセスメントに関する規格 (ISO 11504) を改訂するためのNWIが提案され、評価対象とするEC数の範囲の変更等について改訂の要否や内容が審議される見込みである。

参考文献

- 1) Harmsen, J., J.W. Hutter, T. Win, J. Bamabas, P. Whittle, N. Hansen and H. Sakai (2005) : Risk assessment for mineral oil: Development of standardized analytical methods in soil and soil-like material, Alterra-Report 1225, 27p.
- 2) Total Petroleum Hydrocarbon Criteria Working Group (1997) : Selection of representative TPH fractions based on fate and transport considerations (RfCs) for total petroleum hydrocarbons (TPH), Total Petroleum Hydrocarbon Criteria Working Group Series, Volume 3, Amherst Scientific Publishers, 102p.
- 3) American Petroleum Institute (2001) : Risk-based methodologies for evaluating petroleum hydrocarbon impacts at oil and natural gas E&P sites, API Publication Number 4709.
- 4) Environmental Agency (2005) : The UK approach for evaluating human health risks from petroleum hydrocarbons in soils, Science Report P5-080/TR3, 22p.