

(S3-21) 現地調査における揮発性有機化合物のサンプリングと 半定量測定（ISO 18400-301:2023）に関する検討

○瀬口 真理子¹ 中島 誠¹・ISO/TC 190 検討部会¹¹ 土壤環境センター

1. 本規格の概要と適用範囲

本規格（ISO 18400-301:2023）¹⁾は、揮発性有機化合物（VOCs）を対象とした現地調査における土壤サンプリングと半定量測定について、既存のISO18400 シリーズでは明確にカバーされていない具体的な要求事項と推奨事項を示すものである。さらに、準備段階に関する情報（サンプリング方針の選択、サンプリング計画の決定）、サンプリング方法、また現場測定に関する記述、VOCsの保存、梱包、輸送および試験室への搬入に関する助言として提示されている。なお、本規格において対象とするVOCsには、揮発性の非有機化合物は含まれていない。

2. 背景およびISO18400 シリーズにおける本規格の位置付け

地盤環境におけるサンプリングに関するISO規格について、2009年以降、それまでのISO 10381シリーズから新たな体系である3レベルアプローチ（アンブレラアプローチ）からなるISO 18400シリーズへの移行が進められてきた^{2),3)}。ISO 18400シリーズは、図1に示すように、レベル0（包括的規格（アンブレラ規格））の下に、レベル1（一般規格）として全てのサンプリングに共通な項目が、レベル2（専用規格）として目的や対象ごとのサンプリングに関わる事項がそれぞれ規格化され、さらにレベル3として方法ごとの規格が設けられる構造となっている⁴⁾。ISO 18400-301はレベル3として初めて発行された規格である。一つのレベル1規格（項目）とレベル2規格（目的・対象）の組合せに対して、複数の方法をそれぞれレベル3規格として規格化することが可能とされており、現地調査における揮発性有機化合物のサンプリングと半定量について、ISO18400-301と異なる方法が新たにレベル3規格として発行することも可能である。表1に、各規格レベルにおけるISO 18400シリーズの規格発行状況を示す。

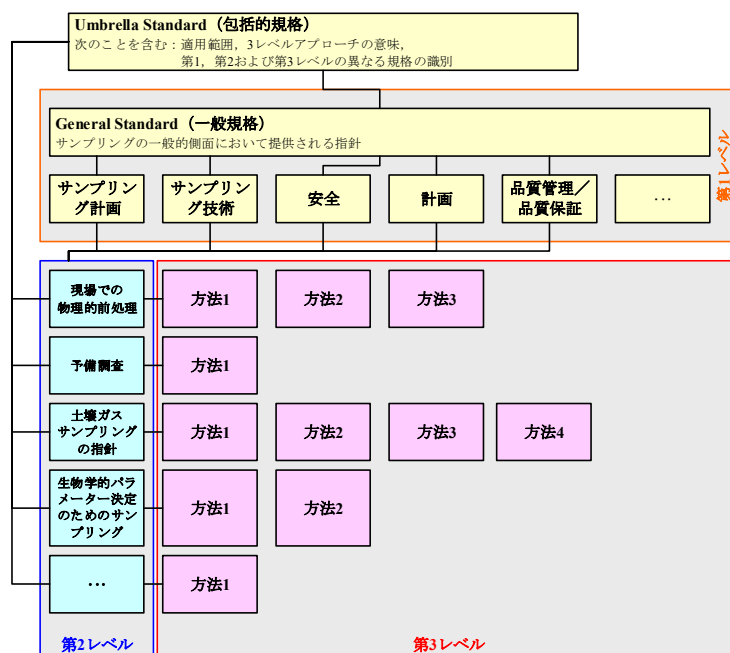
図1 アンブレラアプローチの概要（ISO 18400-100）⁴⁾

表1 ISO 18400 シリーズの規格発行状況

規格のレベル	提案番号	規格タイトル
レベル0 Umbrella standard (包括的規格)	ISO 18400-100:2017	Guidance on the selection of sampling standard (サンプリング規格の選択の手引き選定)
レベル1 General standard (一般規格)	ISO 18400-101:2017	Framework for the preparation and application of a sampling plan (サンプリング計画の準備と実施の枠組み)
	ISO 18400-102:2017	Selection and application of sampling techniques (サンプリング技術の選択と実施)
	ISO 18400-103:2017	Safety (安全性)
	ISO 18400-104:2018	Strategies (戦略)
	ISO 18400-105:2017	Packaging, transport, storage and preservation of samples (サンプルの包装、輸送、保管及び保存)
	ISO 18400-106:2017	Quality control and quality assurance (品質管理及び品質保証)
	ISO 18400-107:2017	Recording and reporting (記録及び報告)
レベル2 Dedicated standard (専用規格)	ISO 18400-201:2017	Physical pretreatment in the field (現地での物理的前処理)
	ISO 18400-202:2018	Preliminary investigation (予備調査)
	ISO 18400-203:2018	Investigation of potentially contaminated sites (潜在的汚染サイトの調査)
	ISO 18400-204:2017	Guidance on sampling of soil gas (土壌ガスのサンプリングの手引)
	ISO 18400-205:2018	Guidance on the procedure for investigation of natural, near-natural and cultivated sites (自然の土地、ほぼ自然の土地及び耕作地の調査手順の手引)
	ISO 18400-206:2018	Collection, handling and storage of soil under aerobic conditions for the assessment of microbiological processes, biomass and diversity in the laboratory (試験所における微生物学的プロセス、バイオマス及び多様性の評価のための好気状態下における土壌の採集、取扱い及び保管)
レベル3	ISO 18400-301:2023	Sampling and on site semi-quantitative determinations of volatile organic compounds in field investigations (現地調査における揮発性有機化合物のサンプリングと現場での半定量測定)

Study on sampling and semi-quantitative measurement of volatile organic compounds in field investigations (ISO 18400-301:2023)

Mariko Seguchi¹, Makoto Nakashima¹, and Study group on ISO/TC 190¹ (¹GEPC)

連絡先: 〒102-0083 東京都千代田区麹町 4-5 KS ビル 3F (一社) 土壤環境センター

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

3. 現地調査における土壌サンプリング

3.1 一般

現地調査における土壌サンプリング方法の選択においては、調査目的、分析データの品質目標と検出限界のほか、土壌の特徴やサイト概念モデル及び先行調査に基づいて想定される VOCs の存在形態等が考慮すべき事項として挙げられている。土壌サンプリングは、図 2 に示す通り、通常以下の 2 つのステップからなる。

①掘削機械による目的深度までの土壌掘削

②原位置サンプリング、または掘削した土壌コアからの試料分取

VOCs に関しては、以下に示す土壌サンプリング方法を適用することが可能である。

- － カuttingシリンダーを使って原位置で試料を充填し、試料中の土壌ガスが密封された状態ですぐに試験室へ搬入する。
- － 小型のコアリング装置（金属製コアリングまたは使い捨てプラスチック製コアリング）を使って掘削土壌から試料を分取し、迅速にガス密封して試験室へ搬入する。
- － メタノールがあらかじめ充填されたバイアル瓶に試料（シリンジまたは適切なコアリング・ツールから現場で押し出された土壌）を分取して試験室へ搬入する。

現場において保存処理を行わずにガラス瓶へ採取する方法は推奨されないが、土壌や調査仕様の特殊性からそのような方法で採取することが必要な場合は、試料からの揮発性物質の損失を最小限に抑えるよう、可能な限りの事前対策を講じることが求められる。

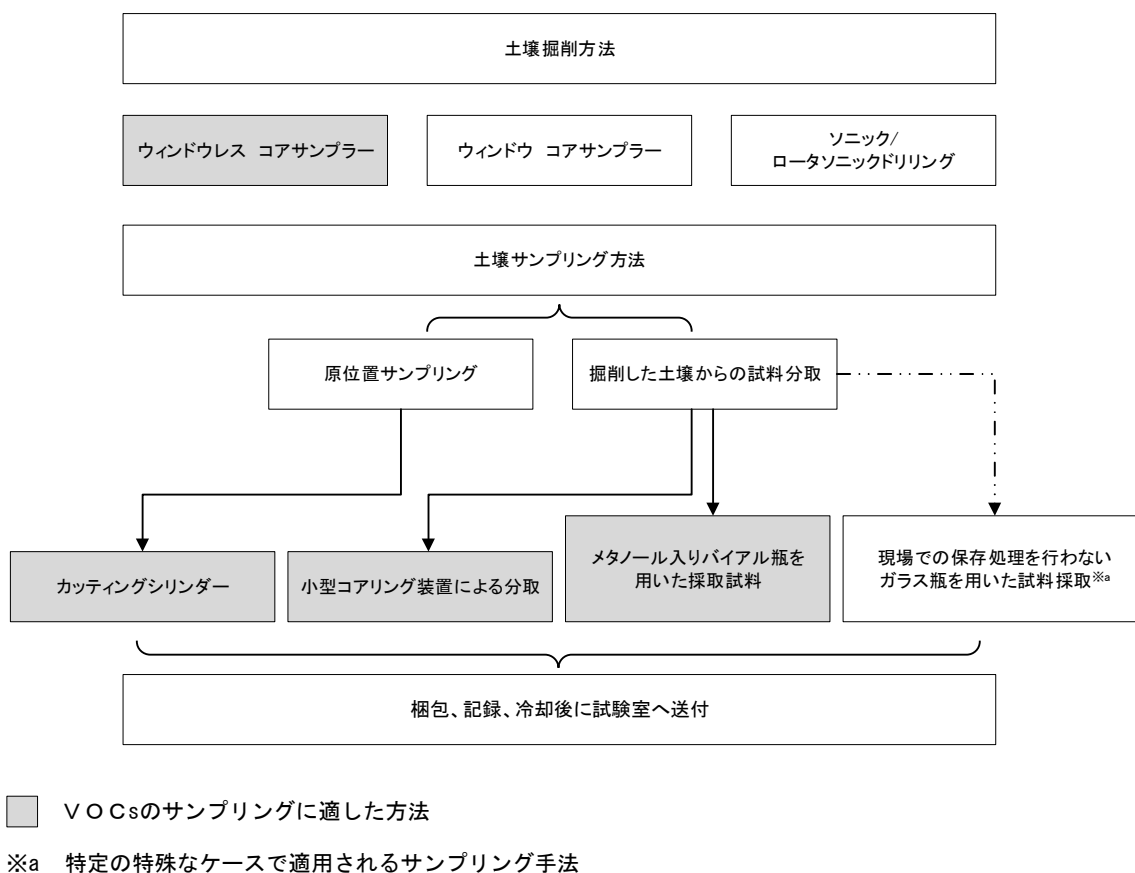


図2 土壌サンプリング方法の選択手順 ¹⁾を微修正

3.2 土壌掘削方法

3.2.1 一般事項と土壌掘削方法

VOCs を対象とした調査の観点から、土壌構造を保全し攪乱させないよう土壌試料を採取するための可能な掘削方法について、具体的な情報が提供されている。また、VOCs を対象とした土壌サンプリングと測定を行う際に、適切な掘削方法およびサンプリング装置の選択方法に関する情報についても提示されている。VOCs の損失を最小化しつつ、調査従事者の安全と健康および環境保護のため、試料の保存には特に注意を払わなければならない。

土壌の掘削方法を検討する際に考慮されるべき重要な点は、原位置での状態を代表する土壌サンプルが採取される事である。分析に供する試料は、原位置での状態と同等の物理的および化学的特性を保持しつつ試験可能な状態でなければならず、掘削によって物理的に変化しない方法で試料を採取する必要がある。

ウィンドウレスコアサンプラーを用いた掘削方法は、揮発性物質を対象とした調査において有効であり、土壌の攪乱を最小限に抑えつつ、VOCs の損失を抑えることができる。一方、ウィンドウコアサンプラーを用いた掘削方法は、基本的には試料分取前に土壌が大気にさらされる構造となるため、揮発性物質を対象とした調査における試料採取法としては適していないが、建屋内の調査で他の手法では採取が困難な場合等に適用可能な方法である。なお、硬質な岩石、コンクリート、その他の障害物や振動のみによる方法では掘削が困難な土壌を対象とする場合には、ソニックまたはロータリーソニックドリリングが有効となる場合があるが、無水掘削においては、ドリルロッドから発生する熱により揮発性物質の損失を引き起こす可能性があるため、地質状況を勘案しつつ必要に応じて掘進速度や回転数を低減させる等、ソニックドリリングのプロセスを変更してこれらの現象を低減させるようにする。

3.2.2 孔内閉塞

ボーリング完了後の掘削孔は、帯水層間の汚染拡散等を防ぐため、周囲の地盤と同等以下の透水性を示す材料で充填されるよう配慮する。また、観測井を設置する等、後続の行程に影響がある場合は、埋め戻しに関する適切な技術的要件について事前に検討する。孔内閉塞においては空隙が生じないようにする。

非透水層または低透水性層でのベントナイトによる孔内閉塞は注意して行い、実施手順を記録にも残すようにする。

3.3 土壌サンプリング

3.3.1 一般

ISO 18400-301:2023 では、適切なサンプリング方法を選択するために考慮すべき重要な点として、土壌採取に伴って起こりうる VOCs の損失を最小限に抑える事としている。日本における土壌汚染対策法（環境省告示等に基づく公定法）では、現場で採取された土壌試料が試験室へ持ち込まれた後に抽出操作を経て分析されるのに対し、本規格では VOCs の揮発損失を極小化するため、試料採取直後の現場対応を重視している点が特徴である。この観点を踏まえた本規格における VOCs に関する土壌サンプリング方法として、以下が挙げられている。

- － 原位置サンプリング：原位置でカッティングシリンダーに充填して地表に引き上げ、キャップで閉じる。
- － 掘削した土壌からの試料分取：土壌掘削後にサンプルを採取し保存する。
- － 小型のコアリング装置（金属製コアリング、使い捨てプラスチック製コアリング）を用いた採取
- － 事前にメタノールを充填したバイアル瓶を用いた採取

カッティングシリンダー（またはステンレス鋼管）は、地表から目的深度まで、あるいはあらかじめ掘削されたボーリング孔の底部において、（手動または掘削機によって）地中に打ち込まれることで試料採取が可能となる。小型のコアリング装置は、乱れのない試料を採取できる点に優れているが、採取可能量が少量である。バイアル瓶を用いたサンプリングを行う場合は、VOCs 濃度が過小評価となることを避けるため、現場で保存処理を行う事が推奨される。なお、予め充填するメタノールはほとんどの VOCs に使用できるもののすべての VOCs に使用できるわけではない事に留意する必要がある。更に、メタノールは周囲空気中に存在する VOCs を捕捉する可能性があるため、車両の排気ガスがメタノールを介してサンプルを汚染する懸念もある。

これらのサンプリング方法は、土壌構造を保持しつつ VOCs の損失を低減させるよう適用されるべきであるが、いずれにしても VOCs 分析に供する試料の採取は、迅速に実施される必要がある。また、少量の試料を採取する装置を使用する場合、それぞれのサンプルが採取された場所で、（乾燥試料）／（（自然状態の）土壌試料）の測定のための追加サンプルを採取する必要がある。採取試料を入れた容器はヘッドスペースを最小にするために土壌で完全に充填する必要がある、また一度密閉した上で水分の損失を避けるため、さらに別の容器に入れて密閉する。

3.3.2 現場での保存処理を行わないガラス瓶を用いた試料採取

VOCs を対象とした土壌調査において、現場での保存処理を行わないガラス瓶を用いた試料採取は、土壌中

の VOCs 含有量を過小評価する可能性があるため推奨されない。ただし、特定のケースにおいてこの方法が適正と判断される場合は、その理由や採取状況等も記録した上で適用する。

乱れのない状態で土壌試料を採取することが困難な方法となるため、揮発性化合物が失われる可能性がある。試料を採取する際は、瓶内の土壌を軽く圧縮し、瓶内のヘッドスペースを可能な限り最小限に抑え、更にサンプリング時間と大気に直接さらされる時間を短縮させる必要がある。この方法により試料を採取した場合は、その旨を試験報告書に記載し、調査報告書にも適用理由について記載するようにする。

4. 現地調査における揮発性有機化合物の半定量測定

4.1 一般

VOCs を対象とした現地測定を行う場合には、半定量測定機器（例：光イオン化検出器、水素炎イオン化検出器、検知管）が適用される。これらの装置を用いることで、VOCs の潜在的な存在を特定する迅速な現場スクリーニングが可能となり、以下の3つの主目的を達成することができる。

- ①事前サンプリング計画に対する現場での適切な修正や変更
- ②試験室へ搬入する分析試料の選定
- ③現地調査の従事者に対するリスク評価

しかしながら、現場測定機器の相対精度を考慮すると、これらの半定量的な測定は土壌ガスの正確な検証には不向きであり、適用する場合は ISO 18400-204 に従って行う必要がある。

ほとんどの現場測定機器は、土壌や周囲の湿度、埃、温度変化などの現場条件に敏感で、機器によっては、特定の揮発性化合物に対して感度が高いものもある。そのため、対象化合物に対する機器の感度については情報を把握しておく必要がある。

使用する測定機器は、定期的な校正が必要であり、校正記録には、少なくとも装置の識別番号、特性、校正仕様、校正頻度、校正手順を明記する。

なお、掘削したボーリングコアに半定量測定を適用する際は、試料からの VOCs の損失を避けるため、予め分析に供する土壌試料を迅速に採取しておき、残ったボーリングコアの表面をスクリーニングして測定するようにする（ウィンドウレスサンプラーを使用する場合を除く）。

4.2 ポータブル機器の利点と限界

表2に、揮発性有機化合物を対象とした半定量測定におけるポータブル機器の利点と限界を示す。

表2 揮発性有機化合物を対象とした半定量測定におけるポータブル機器の利点と限界 ¹⁾

機器	分析ガス	利点	制限事項
光イオン化検出器(PID)	光イオン化可能なVOCsの総濃度の測定	- 迅速に結果が判明する（＜1分、2秒毎に測定可能） - 使いやすい - 比較的低コストである - 分析に伴って気体（検体）を破壊しない - VOC検出範囲：0,001 µl/l (ppmV) ～ 25,000 µl/l (ppmV)	- 特定の化合物を対象とした検出はしない（付属ランプにより全化合物の濃度として検出） - PIDによって実際に検出される化合物を調整する数種類のランプが存在する - 予備校正が必須となる - メタンの検出は不可 - 湿度や埃に敏感である
水素炎イオン化型検出器(FID)	可燃性VOCsの総濃度測定	- 迅速に結果が判明する（＜1分） - 特定の化合物の同定が可能 - VOC検出範囲：1 µl/l (ppmV) ～ 10,000 µl/l (ppmV)	- ガス相への切り替え前に溶媒を使って汚染物質を抜き取るステップでは、ユーザー側に一定の技術的能力が要求される - キャリブレーションの時間が長い - 現地でも機器起動のための水素ガスの供給源が必要 - 測定に伴う安全性が必ずしも確保されていない - 燃焼のための酸素を必要とする - 二酸化炭素濃度が高い場合、エラーとなる可能性がある - 湿度や埃に敏感である - 分析に供したサンプルは破棄される
検知管	土壌中の特定の元素、化合物または生成化合物の検出	- 迅速に結果が判明する（5分～20分） - 使いやすい - 低コスト - メンテナンスの頻度が少なく済む - 豊富なガス種（200種類以上の化合物） - VOC検出範囲：0.1µl/l (ppmV) ～ 10,000µl/l (ppmV)	- 測定可能な対象化合物の種類が限られている - 半定量法である - 化合物による干渉が発生する - 精度と可読性に限界がある - 湿度と温度に対する交差感度が高い - 他の化合物と干渉する

4.3 現地調査におけるサンプルの保管と輸送

サンプリング後は、土壌試料を冷蔵庫やクールボックス等の冷暗所に保管する。これにより試験室までの搬入時間を延ばす事ができ、ISO 18400-105 に準拠すれば、適切な保冷温度は(4±2)℃である。但し、試料は出来るだけ早く、可能であればサンプリング後 24 時間以内に試験室へ搬入するのが望ましい。温度変化により、VOCs は異相間で分配を変化させる。冷却は凝縮を助長し、試料容器内での分離を引き起こす可能性があるため、温度変化は可能な限り低減させなければならない。また、試料容器中にメタノールを充填することで、温度変化による採取試料への影響を最小限に抑えることができる。

4.4 サンプリング器具の洗浄

二次汚染防止のため、すべての装置および器具は（ステンレス鋼スcoop等の）不活性材料で作製されたものを使用すべきであり、詳細は ISO 18400-102 を参照されたい。土壌サンプルの採取後は、掘削器具とサンプリング器具を洗浄する。器具によっては、圧力洗浄機または実験室用洗剤とワイヤーブラシを使用することができる。後続のサンプルを採取するにあたって器具を再利用する際には、コンタミネーションがないかチェックする。

保護具としての手袋は、使い捨ての製品を使用し頻繁に交換するか、耐久性のあるものを使用する場合は定期的な交換、または汚染が生じた際に交換するようにする。

4.5 品質保証および品質管理、データ品質評価

土壌サンプリング計画では、公正で的確に採取されたサンプルのみが調査結果やプロジェクトの意思決定に確実に反映されるよう、品質保証（QA）と品質管理（QC）を行う必要がある。品質管理のために確保するサンプル数は、現場で採取するサンプルの総数や、試験室からの助言も考慮した上で決定する。

データ評価の際には、ブランクサンプルの結果を参照するなどして、サンプリング条件や試料採取に伴って損失した可能性のある VOCs について考慮する。ブランク値が異常に高い場合（例として、最低値のデータの 50% 以上の場合等）は、その理由について精査しなければならない。また、サンプリング方法の選定理由は記録に残し、データの信頼性における潜在的な影響についても言及すべきである。

4.6 記録及び報告

サンプルの採取方法とその後の取り扱いに関する詳細な説明は、サンプリング記録と最終調査報告書に記載する。現場での観察（外観、土質等）及び（PID 等を用いた）測定結果は、サンプリング記録に体系的に記録し、試験室での分析データとも併せて総合的に評価しつつ報告書に記載する。

5. 本規格における VOCs を対象とした土壌サンプリングプロセス

揮発性有機化合物を対象とした本規格におけるサンプリングプロセス、および各項目に関するレベル 1 の ISO18400 シリーズの番号を図 3 に示す。

6. 我が国における本規格の適用性について

ISO 18400-301 と日本の土壌汚染対策法に基づく VOCs 調査における違いとして、ISO 18400-301 が VOCs の物理化学的特性を考慮した多様な掘削・サンプリング技術の選択肢を提供し、半定量的測定を含めた現場での迅速な判断に主眼を置いて定められているのに対し、土壌汚染対策法は規制基準適合の判定を目的とした厳密なサンプリング・公定分析法により構成されている点が挙げられる。具体的には、調査地点や密度の選定に関しても、ISO 18400-301 では現場状況に合わせてより柔軟に、汚染の可能性が高い箇所や深度で重点的にサンプリングする事を特徴としているのに対し、土壌汚染対策法では原則として 10 m×10 m の区画毎や汚染のおそれがある場

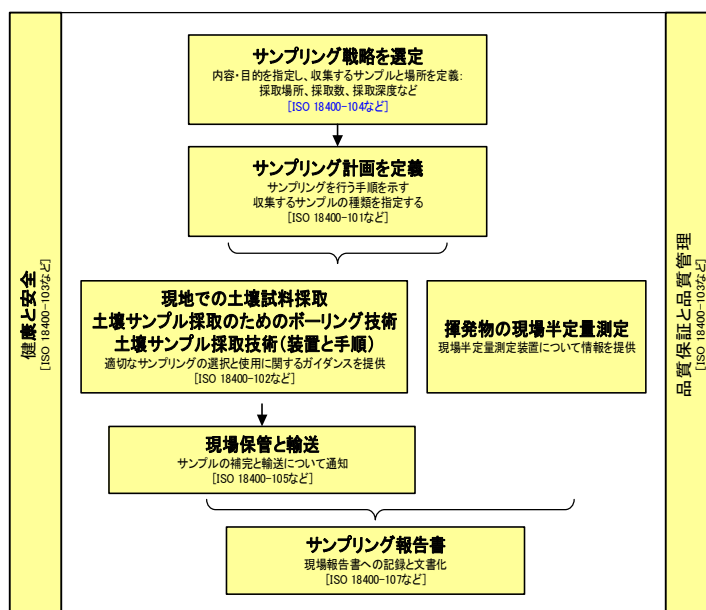


図3 VOCs を対象とした本規格における土壌サンプリングプロセス（ISO 18400-301:2023）¹⁾

所毎に所定の調査地点を設け、ボーリング調査についても1 m 毎に実施する等、均一かつ法的に定められた密度で行う方法となっている。

我が国では土壤汚染対策法に基づく調査方法が一般的となっており、土壤汚染対策法成立後は本規格で示される採取試料時のスクリーニングを目的とした現地での半定量測定等は、現状ではあまり実施されていない。一方、土壤汚染対策工事においては措置を的確に実施するため、基準不適合土壤が認められる範囲及び深さにおいて、より詳細な濃度分布の把握が必要な場合等にポータブルガスクロマトグラフ、検知管等の簡易分析の採用が可能となっている⁹⁾。また、原位置浄化対策を実施する場合における進捗管理等にも用いられており、それらの機会に本規格で提示される事項を参照することは有用である。

土壤汚染対策法に基づく調査手法は、ISO 18400-301 でも提示されている配慮事項等の要所を抑えつつ、日本独自の土地利用状況やリスクへの考え方に基づき、一連の手順を通じて効率的で精度確保が可能となるよう構成されているものの、本規格と比較しながら、改めてその考え方や背景を知ることが、地盤環境分野に携わる技術者や研究者にとって非常に有益であると考えられる。

参考文献

- 1) ISO (2023) : ISO 18400-301:2023 Soil quality--Sampling -- Part 301: Sampling and on site semi- quantitative determinations of volatile organic compounds in field investigations. 52p.
- 2) 中島 誠・ISO/TC 190 部会(2018) : 地盤環境に係るサンプリングのための新たな ISO 規格 ―ISO 18400 シリーズの概要―, 第 24 回地下水・土壤汚染とその防止対策に関する研究集会講演集, pp.486-491.
- 3) 中島 誠・保高徹生・平田桂・角田真之・ISO/TC190 部会(2015) : ISO/TC 190/SC 2 (サンプリング) における ISO 18400 シリーズの審議状況と土壤ガスサンプリング企画草案における日本としての課題, 第 21 回地下水・土壤汚染とその防止対策に関する研究集会講演集, pp.259-264.
- 4) ISO (2017): ISO 18400-100:2017 Soil quality –Sampling—Part.100: Guidance on the selection of sampling standard. 4p.
- 5) 環境省水・大気環境局土壤環境課(2020) : 土壤汚染対策法に基づく調査及び措置に関するガイドライン(改訂第 3.1 版), pp.466-467