

土壌が分析試料となる場合、測定対象は土壌中の汚染物質、有効成分、土壌構成成分など様々です。そのため、一言で「土壌分析」といってもその範囲は広範です。2016年豊洲市場の環境問題がクローズアップされ、特に土壌の汚染物質の分析については一般に興味を持たれるところとなりました。今年のミニファイルではネガティブな面だけでなく有用面にも焦点を当て、いろいろな側面から土壌の「分析」を取り上げていきます。

「ぶんせき」編集委員会

土壌分析法総論

1 土壌の重要性

土壌は、我々を取り巻く環境構成要素の一つであるとともに、資源でもある。有害物質による土壌資源の汚染は、我々の「食」の汚染に直結する。大気中に舞い上がった土壌粒子を吸引したり、乳幼児が土壌の付着した指をおしゃぶりしたりするような場合を除いて、我々が土壌そのものを口に入れることはほとんどないと言ってよい。土壌は「食」の生産基盤であり、土壌の汚染は食物を通して我々に影響を与える。

土壌は地球の財産である。現在、国標標準化機構 International Organization for Standardization (ISO) の第 190 技術委員会 (TC190) で、土壌中の無機および有機物質などの分析方法が検討、順次決定され、国際規格が公表されつつある。我が国では、「土壌」をとり上げると、「有害物質による土壌汚染」を思い浮かべ、汚染物質の分析にのみ関心が集中する傾向がある。しかし、土壌の重要性は、汚染ばかりによって評価されるわけではない。

2 土壌を分析する

土壌分析は、土地を評価するための重要な手段であった。土地の肥沃度あるいは土地の生産力は、土壌中に含まれている養分含有量によって左右される。土地から生み出される税が収入の大部分を占めていた時代においては、土壌分析・評価（検地）に基づいて土地の税が決められることから、土壌評価は、為政者が行わなければならない最も重要なことであった。土地評価が不十分で税が重すぎれば、農民層の不満が大きくなり、最悪の場合は、逐電や一揆を引き起こした。土壌分析は土地評価のために始まったといえる。

税を公平に徴収するための土壌分析は、それぞれの地域や国によって、利用しやすい方法や分析して意味のある方法を採用して、独自に発展してきた。したがって土地評価のための土壌分析は、その時代の最先端の科学を背景にしていた。目に見えにくい土壌中の成分を酸やアルカリを利用して、金属などを溶解・沈殿させる方法や有機物含量を求める方法などを知識として獲得した錬金術の技術集団であったといわれる¹⁾。

いずれの時代にあっても土壌分析の情報交換はなされてきた。しかし、多種多様な土壌に対して合理的な分析方法を一つに決めることはなかなか困難であり、それぞれの国で構築された分析方法を統一する方向には進まず、今日に至っている。文献にそれらの詳細な経緯などが記載されている^{2)~7)}。

我が国において展開されてきた多くの農業関連事業の中で、土壌分析⁷⁾は必須事項であり、土壌を知るための、また土壌改良のための基本項目を土壌分析結果として公表してきた（表 1）。土壌試料は目的を達成するための代表となるように採取試料数（表 2）などを決定している⁷⁾。科学の進歩に伴って大きく変わった土壌分析の方法もあるが、過去のデータと直接比較するには、同一方法での分析データも必要である。しかし、地域や分野に依存して、分析方法が大きく異なっていることは比較が困難であることは周知であり、国際的に統一された分析方法が求められている所以である。

3 土壌分析の信頼性を担保する

土壌は複雑なシステムを持つ媒体で、個ではなく連続体として存在している。従って、目的に応じて土壌を分析するには、代表となる土壌を選別する方法、採取場所、採取方法、採取数・採取回数、前処理、採用する分析方法、分析機器、分析の精確さなどが適切であることが求められる。分析機器の目覚ましい進歩は、土壌分析を急速に発展させた。しかし、最先端の分析機器が必ずしも土壌分析の目的にかなったものにならないことは、長期モニタリングにおいて、結果の比較を困難にさせる要因ともなっている。土壌分析に関する信頼性の管理は、本ミニファイルにおいて議論されることになる。また、土壌標準物質については、全量分析あるいは 1 mol/L 塩酸抽出分析法による認証値が示されており、土壌汚染対策法などに採用されている土壌分析法（水抽出法、0.1 mol/L 塩酸抽出法）に対応した認証値をもつ標準物質が求められている。

4 土壌分析を規格化する

各国・各地域で行われている土壌分析方法を用いて同一土壌を分析し、その結果を比較する試み⁸⁾がとりまとめられているが、分析方法が著しく異なるために十分な解析は極めて困難であった。このプログラム以降、誰でも納得する、国際的に土壌分析の方法を統一するための努力がなされようとしてきた。

ISO TC190 では、土壌試料を採取するための計画、現場観測・測定、採取、採取試料の前処理、保管、運搬、試験部分準備、抽出、分析・定量などを規格化するためのプロジェクトを下部委員会ごとにつくり、それらを進展させている。それに反して、JIS では、土壌の化学的・生物学的な性質に関する試験方法はいまだ規格化されていない。ただし pH 測定に関しては、JIS Z 8802 : 2011 として規定されている。

ISO TC190 は、土壌 pH の測定に関して ISO 10390 : 1994 に規定している。この規格ではガラス電極を用いて土壌 pH をルーティンに測定するためには、土壌：水比を 1 : 5 (v/v) とするとしている。保水性の高い土壌であっても容積比が 1 : 5 であれば、懸濁液または上澄液を得ることができ、さらに計量カップなどで土壌試料の一定量を採取できれば、土壌 pH 分析を迅速に進めることができる。これまで我が国における土壌 pH の測定は、土壌（風乾土重量）1 に対して 2.5 倍量の水（容積）を加えて測定するとされている⁷⁾。ただし保水性の高い土壌の種類（泥炭土、黒ボク土）では、2.5 倍量の水では懸濁液が得られず 5 あるいは 10 倍量の水を加えて測定しており、ISO の方法に統一する合理

表 1 我が国における土壌に関する調査と土壌分析

所管・組織	法・調査・規格	土壌の物理性 ^{a)}	土壌の化学性 ^{b)}	対象物質など
農林水産省	地力保全基本調査 (1959-1978)	6項目	15項目	
	土壌環境基礎調査 (1979-1998)	6項目, pF=0 (最大保水容量) 時の測定は省略	15項目	Cd ^{c)} , Cu ^{c)} , As ^{d)} Zn ^{c)} , Pb ^{e)}
	土壌機能実態モニタリング調査 (1999-)	6項目, pF=0 (最大保水容量) 時の測定は省略	15項目	
環境省	農用地の土壌の汚染防止等に関する法律 (1970) 2010年に改正			Cd ^{f)} , Cu ^{g)} , As ^{h)}
	土壌環境基準 (1991) を10回改正			ジクロロメタンなど29項目 ⁱ⁾
	土壌汚染対策法 (2002) を9回改正			クロロエチレンなど26項目 ^{j)}
経済産業省	日本工業規格 (JIS)	篩分け	pH測定	分析方法は法令に引用されている
非政府組織	国際標準化機構 (ISO) による国際規格	22項目, その他議論中の項目あり	60項目, その他議論中の項目あり	ISO/TC 190 にサンプリング, 分析法が規定されている

- a) 作土の厚さ, 緻密度, 仮比重, 三相分布 (固相, 液相, 気相), 保水性 (土壌中の水柱位を $pF = \log(\text{水柱 cm})$ で表した時の pF と水分量の関係, $pF = 0, 1.5, 2.7$ の三点で測定), 有効水分
- b) pH (H₂O), pH (KCl), 置換酸度 (y1), 電気伝導度 (EC), 全炭素, 全窒素, 陽イオン交換容量 (CEC), 交換性カルシウム, マグネシウム, ナトリウム, 塩基飽和度, 可給態リン酸 (トルオーグ法), 可給態ケイ酸, 可給態窒素, 硝酸態窒素
- c) 抽出法: 0.1 mol/L 塩酸抽出, 分解法 (全量): 過塩素酸分解
- d) 抽出法: 1 mol/L 塩酸抽出, 分解法 (全量): 過塩素酸分解
- e) 抽出法: 1 mol/L 酢酸アンモニウム溶液, 分解法 (全量): 過塩素酸分解
- f) Cd については, 土壌ではなく, 精米あるいは玄米中の Cd 含有量 (全量)
- g) 0.1 mol/L 塩酸抽出 (含有量 mg/kg)
- h) 1 mol/L 塩酸抽出 (含有量 mg/kg)
- i) 抽出法: 水 (pH 5.8 以上 6.3 以下) 溶出量 (mg/L), 対象物質: カドミウム, 全シアン, 有機燐, 鉛, 六価クロム, 砒素, 総水銀, アルキル水銀, PCB, 銅, ジクロロメタン, 四塩化炭素, クロロエチレン, 1,2-ジクロロエタン, 1,1-ジクロロエタン, シス-1,2-ジクロロエチレン, 1,1,1-トリクロロエタン, 1,1,2-トリクロロエタン, トリクロロエチレン, テトラクロロエチレン, 1,3-ジクロロプロペン, チウラム, シマジン, チオベンカルブ, ベンゼン, セレン, ふっ素, ほう素, 1,4-ジオキサン
- j) 抽出法: 水 (pH 5.8 以上 6.3 以下) 溶出量 (mg/L), 重金属等 (第二種特定有害物質) については, 1 mol/L 塩酸抽出 (含有量 mg/kg) なども規定されている, 対象物質: 四塩化炭素, 1,2-ジクロロエタン, 1,1-ジクロロエチレン, シス-1,2-ジクロロエチレン, 1,3-ジクロロプロペン, ジクロロメタン, テトラクロロエチレン, 1,1,1-トリクロロエタン, 1,1,2-トリクロロエタン, トリクロロエチレン, ベンゼン, カドミウム, 六価クロム, シアン, 水銀, アルキル水銀, セレン, 鉛, 砒素, ふっ素, ほう素, シマジン, チオベンカルブ, チウラム, PCB, 有機リン

表 2 土壌保全調査事業における土壌群別土壌調査地点⁷⁾

土壌群	調査地点		面積	
	地点数	%	ha	%
岩屑土	46	0.2	14,830	0.3
砂丘未熟土	189	1.0	24,194	0.5
黒ボク土	4,077	20.9	954,249	18.6
多湿黒ボク土	1,075	5.5	348,820	6.8
黒ボクグライ土	167	0.9	52,610	1.0
褐色森林土	1,873	9.6	443,077	8.6
灰色台地土	481	2.5	157,515	3.1
グライ台地土	175	0.9	44,560	0.9
赤色土	304	1.6	45,204	0.9
黄色土	1,676	8.6	326,241	6.4
暗赤色土	191	1.0	37,042	0.7
褐色低地土	1,496	7.7	408,138	8.0
灰色低地土	4,295	22.1	1,141,808	22.3
グライ土	2,934	15.1	904,651	17.7
黒泥土	251	1.3	77,752	1.5
泥炭土	241	1.2	141,911	2.8
合計	19,471	100.0	5,122,602	100.0

土壌の分布面積に応じて, 地点数を決定している。

性があるものと思われる⁵⁾。

ISO 第 190 技術委員会第 3 小委員会において, acid sulfate soil の酸性度の評価法に関して検討が進められているが, acid sulfate soil は「酸性硫酸塩土 (壤)」という「土壌名」(固有名詞) であって, 「硫酸酸性土壌」⁹⁾ という「土壌名」は誤りである。農林水産省ホームページ検索¹⁰⁾ においても同様の誤りがみられる。技術用語の和訳は正確を要する。ぜひ訂正をお願いしたい。

5 ミニファイルに企画されている土壌分析

土壌分析についてのミニファイルでは, これまで我が

国が経験してきた土壌採取法, 分析法, 分析結果の解析法, さらには, 土壌汚染に関係する「農用地の土壌の汚染防止等に関する法律」, 「土壌環境基準」や「土壌汚染対策法」に定められた土壌分析法について解説される企画が準備されており, 会員諸氏ならびに関係者の方々に興味深い情報が提供されることになると期待される。

文 献

- 1) 山根一郎: “環境の質を採点する”, 環境情報科学センター編, p. 37 (1978), (環境情報科学センター)。
- 2) 農林産省振興局: “地力保全基本調査における土壌分析法”, p. 19 (1959)。
- 3) M. Peech: “Methods of Soil Analysis, Part 2 Chemical and Microbiological Properties”, Edited by C. A. Black, p. 914, (1965), (American Society of Agronomy, Inc., Wisconsin)。
- 4) 森 信行, 嶋田永生: “土壌養分分析法”, 土壌養分分析法委員会編, p. 29 (1970), (養賢堂)。
- 5) G. W. Thomas: “Methods of Soil Analysis, Part 3 Chemical Methods”, Edited by D. L. Sparks, p. 475 (1996), (Soil Science Society of America, Inc., Wisconsin)。
- 6) 亀和田國彦: “土壌環境分析法”, 土壌環境分析法編集委員会編, p. 195 (1997), (博友社)。
- 7) 農林水産省生産局: “土壌保全調査事業成績書 (土壌環境基礎調査編, 土壌機能モニタリング調査編)”, p.1 (2008)。
- 8) 岡崎正規: ベドロジスト, **20**, 140 (1986)。
- 9) 平田 桂, 王 寧, 松村光夫, 石川洋二, 浅田素之, ISO/TC190 部会: (0062) ISO/TC190 における土壌中化学物質の分析法の制度現状について, https://www.gepc.or.jp/engineer/isotc190/kenkyu20_pp_s4_18.pdf (2017 年 12 月 6 日, 最終確認)。
- 10) 太田誠一・仲摩栄一郎: 土壌モニタリング, http://www.maff.go.jp/j/kokusai/kokkyo/nousui_bunya/pdf/11_6_3_kaihatsuchi.pdf (2017 年 12 月 6 日, 最終確認)。

〔有)日本土壌研究所 岡崎正規〕