

土壌・岩石の自然由来物質に関する調査

Investigation of Harmful Substances Contained in Soil and Rocks due to Natural Causes

鈴木 弘 明 (すずき ひろあき)

日本工営(株) 中央研究所 副技師長

1. はじめに

日本において土壌の汚染に関わる本格的な対応は、「農用地の土壌の汚染防止等に関する法律（1970年12月25日公布）」にはじまる。本法では、カドミウム及びその化合物、銅及びその化合物、砒素及びその化合物の3種類が定められている。これらの物質は、人の健康被害を防止する観点からカドミウム、作物の生育阻害防止の観点から銅及び砒素の含有量基準が設定されている¹⁾。

主に市街地土壌を対象とした土壌汚染は「土壌汚染対策法（2002年5月29日公布）」により法的な対応が開始された。農用地の土壌汚染は、耕作土壌(主に水田土壌)が対象であるが、土壌汚染対策法では、土壌に加えて盛土・埋土等の人工地盤や地質学的には未固結の堆積物とされるものまでが対象となっている。

土壌汚染対策法では2010年4月1日に施行された改正法において自然由来の基準不適合土壌も対象とされ、主に第四紀の自然地層に対しても調査・評価の目が向くことになった。

2. 重金属等に関する日本の特徴

日本は、地形・地質構造的な観点から島弧として位置付けられ、変動帯に位置しており、火山活動が見られると共に海底堆積物が付加された場にあたる。

地球表層を形成する地殻の構成元素を地球全体と日本で比較してみる。地球平均的な上部地殻の組成として、Clarke et al.²⁾を、日本の上部地殻の組成としてTogashi et al.³⁾を引用した(表-1, 表-2)。

日本の上部地殻の砒素(As)とアンチモン(Sb)については、地球の上部地殻の平均的な組成と比較して2~3倍近く高いのが特徴的である。また、この要因としては、火山活動よりも海水の影響が強い海底の細粒堆積物に硫黄と共に付加されたと考えられている⁴⁾。

砒素は、硫黄との結合で主に硫砒鉄鉱や鶏冠石などの硫化鉱物となる。硫砒鉄鉱(arsenopyrite)は、砒素(arsenic)を含んだ黄鉄鉱(pyrite)の意味で命名されているように、砒素は、黄鉄鉱中にも微量に含まれている。また、黄鉄鉱は、酸性水の発生にも大きな関わりを持っている。

日本では、金属鉱床も多く見られ過去に多くの鉱山が稼働していた。黒鉄鉱床、キースラガー鉄床、スカルン鉄床、浅熱水成鉄鉱型鉄床などが代表的なものである。

表-1 地球の上部地殻の組成²⁾

SiO ₂ (%)	59.07	Ni (ppm)	75
TiO ₂ (%)	1.03	Cr (ppm)	100
Al ₂ O ₃ (%)	15.22	Cu (ppm)	55
Fe ₂ O ₃ (%)	6.8	Zn (ppm)	70
MnO (%)	0.11	As (ppm)	1.8
MgO (%)	3.45	Sb (ppm)	0.2
CaO (%)	5.1	Cs (ppm)	3
Na ₂ O (%)	3.71	Ba (ppm)	425
K ₂ O (%)	3.11	Pb (ppm)	13
P ₂ O ₅ (%)	0.3	U (ppm)	1.8

表-2 日本の上部地殻の組成³⁾

SiO ₂ (%)	67.53	Ni (ppm)	38
TiO ₂ (%)	0.62	Cr (ppm)	84
Al ₂ O ₃ (%)	14.67	Cu (ppm)	25
Fe ₂ O ₃ (%)	5.39	Zn (ppm)	74.1
MnO (%)	0.11	As (ppm)	6.5-7.1
MgO (%)	2.53	Sb (ppm)	0.61
CaO (%)	3.9	Cs (ppm)	5.5
Na ₂ O (%)	2.72	Ba (ppm)	458
K ₂ O (%)	2.42	Pb (ppm)	16.9
P ₂ O ₅ (%)	0.12	U (ppm)	2.32

注：表-1, 表-2共に、左側は地殻の主要構成物質、右側は微量成分の中から筆者が選定。

過去には鉱山の稼働に伴い、いわゆる鉱害問題が発生している。神岡鉱山のカドミウムや土呂久鉱山の砒素、足尾銅山の銅による汚染問題がよく知られた事例である。

また、日本の地質に特徴的な例として、水銀は中央構造線に沿って、ふっ素は花崗岩の分布地帯で多く見られることなども挙げられる。

3. 自然由来物質に関する情報収集

土壌汚染対策法が適用される調査については、法令及びガイドラインにしたがって実施されている。

法の適用対象外である岩石(岩盤)についても、自然界で緩やかに風化が進行している状態では問題が発生しなくても、未風化岩を掘削等で大量に地表部に晒すと基準以上の有害物質の溶出や酸性水の発生が見られることがあり、対応が取られる事例がある。

掘削岩石の対応については、「建設工事における自然由来重金属等含有岩石・土壌への対応マニュアル(暫定版)」⁵⁾や「建設工事で発生する自然由来重金属等含有土対応ハンドブック」(土木研究所ほか, 2015)などを参考に調査が進められている。また、各事業で独自のマニ

ュアルを作成して工事が進められる場合も多い。

土壌汚染に関する調査は、①事前調査、②現地調査、③分析・評価の3段階に大別される。

特に自然由来に関する事前調査においては、調査対象地の地球化学的な文献等の情報収集が必要となる。

本稿では主に公刊文献の所在等を紹介する。

また、近年は、Web上で閲覧できるGIS情報が整備されてきており、このような情報から調査対象地の概況を把握した後、精密な資料を購入することが可能である。

国土交通省HP：土地総合情報ライブラリーの土地基本情報⁶⁾では「自然由来特定有害物質情報」として以下の資料が紹介されている。

- 地圏環境インフォマティクス
- 日本の地球化学図
- 宮城県土壌自然由来重金属バックグラウンドマップ
- 土壌・地質汚染評価基本図
- 表層土壌評価基本図

3.1 地圏環境インフォマティクス⁷⁾

東北大学大学院環境科学研究科が作成・提供している地圏環境情報のGIS統合版であり、地形図、地質図、土壌図、変質帯分布図、鉱山位置図に加え、岩石・土壌・河川堆積物中の元素濃度などについて全国の情報が網羅されている(大学へ申込書を送付した後配布される)。また、東北地方については、「建設技術者のための東北地方の地質」と共にGIS版が発売されている。

現在、日本の鉱山は、ほとんどが休廃止されており、個々の鉱山について文献等で調査する必要があるが、過去にとりまとめられた資料として、日本鉱産誌(全12巻、工業技術院地質調査所)や日本の鉱床総覧(上下巻、日本鉱業協会)がある。これらは、図書館等で閲覧する必要がある(日本鉱産誌については、A、BI-a~cの4巻が主な閲覧対象)。また、鉱業の盛んであった県については、県別の鉱山誌などが発刊されている場合がある(秋田県、山形県、岩手県など)。

3.2 日本の地球化学図

現在「海と陸の地球化学図」⁸⁾として産業技術総合研究所地質調査総合センターが公開しており、河川や海の底質について、硝酸・過塩素酸・ふっ化水素酸分解による含有量のデータ及びそれに基づいて作成された地球化学図が閲覧できる。また、最近では0.1N塩酸抽出法によるデータも公開されている。

なお、2016年1月から関東地方については、より詳細な採取地点のデータ・地球化学図が公開されている。この地球化学図を利用する上での留意点として、試料採取時期に底質に及んでいる人為的な有害物質使用に伴う影響が含まれている点が挙げられる。特に休廃止鉱山や臨海工業地帯周辺では濃度の評価において自然由来だけではない場合があることを理解しておく必要がある。

また、産業技術総合研究所地質調査総合センターがweb上で公開している地質図Navi⁹⁾でも地球化学図や鉱床・鉱微地を地質図や地形図と重ねて閲覧することが可能である。

なお、北海道では、北海道立総合研究機構地質研究所がピクトグラム(絵文字)という手法で自然由来有害物質に遭遇するリスク¹⁰⁾を試験公開している。

3.3 宮城県土壌中の自然由来重金属等バックグラウンドマップ¹¹⁾

宮城県環境生活部環境対策課と東北大学大学院環境科学研究科が共同で作成・公開したもので、土壌溶出量(環境省告示18号準拠)により砒素(As)、鉛(Pb)の地球化学図が作成されている数少ない事例である。また、土壌含有量(環境省告示19号準拠)や蛍光X線を用いた全含有量のデータも公開されている。

また、土壌ではないが、自然由来の地下水汚染状況として地下水砒素濃度分布図¹²⁾を公開している千葉県の例もある。

3.4 土壌・地質汚染評価基本図や表層土壌評価基本図

産業技術総合研究所地質調査総合センターが作成しており、「土壌評価図」¹³⁾として7つの地域が既に公開されている。土壌・地質汚染評価基本図は、土壌や地層について特定有害物質などのバックグラウンド濃度や溶出量に関する情報が地質図と共に整理されている(姉崎、仙台)。また、表層土壌評価基本図は、土壌中の重金属等及び土壌主要構成成分の含有量・溶出量などのバックグラウンド情報の公開を目的として作成されている(宮城県地域、鳥取県地域、富山県地域、茨城県地域、高知県地域)。当初公開された6地域は、電子メディア(CD-ROM)で販売されているが、2017年3月に公開された高知県地域についてはHPから自由にダウンロードする形式のみとなっている。

3.5 その他の地形・地質・地下水情報

土壌・岩石の自然由来物質に関わる調査では、以上のような地球化学的な資料と共に、基本的な地形・地質・地下水情報の収集も必要となる。

(1) 地形情報

地形情報については、国土地理院¹⁴⁾や地方自治体などが作成した地形図や空中写真を入手することが行われる。また、調査対象地土地の利用状況を把握する情報として土地利用図・土地利用現況図を入手したり、過去の地形情報として土地条件図や治水地形分類図¹⁵⁾を入手したりすることもある。土地条件図は、土地の自然条件等(山地、台地・段丘、低地、水部、人工地形などの地形分類)が示されており、昭和30年代から実施している土地条件調査の成果を基に公表されている。治水地形分類図は、治水対策を進めることを目的に、国が管理する河川の流域のうち主に平野部を対象として、扇状地、自然堤防、旧河道、後背湿地などの詳細な地形分類及び河川工作物等が盛り込まれている。このほか、明治期の低湿地データなども調査対象地を理解する上で有益な資料である。これらの地形情報については、国土地理院がweb上で公開している地理院地図¹⁶⁾で閲覧可能である。

(2) 地質情報

地質情報については、平面的なデータ(地質図)と鉛

直方向のデータ（地質断面図、地質柱状図）が存在する。

地質図については、産業技術総合研究所地質調査総合センターが発行している5万分の1地質図幅¹⁷⁾がある（北海道については、多くは国土交通省北海道局、北海道立総合研究機構地質研究所が発行元）。図幅の一部は、閲覧可能（200 dpi）であり、図幅の説明書を読むことも可能である。なお、5万分の1地質図幅は、日本全国を網羅しているわけではないため、20万分の1地質図幅¹⁸⁾を使用することもある（一部閲覧可能）。また、20万分の1地質図幅の境界線の不連続を日本全国統一の凡例を用いることによって解消した20万分の1日本シームレス地質図¹⁹⁾が作成されており、2017年5月からVersion2が公開されている。地方別の土木地質図や各県別の地質図も地方自治体などから発行されているものがある。最近発行されたものとしては、北海道土木地質図（日本応用地質学会北海道支部）や最新名古屋地盤図（地盤工学会名古屋支部）などがある。

地質断面図は、土地分類基本調査（垂直調査）として作成した9つの都市地域の東西・南北の地質断面図が国土交通省国土政策局国土情報課のHP²⁰⁾で閲覧可能である。また、このHPでは、表層地質図、地形分類図、土壤図などを整理した土地分類基本調査の結果も閲覧可能である。

地質柱状図は、各地点の詳細な地質を把握する上で重要な情報である。国土交通省で実施された調査の地質柱状図をデータベース化した土木研究所の国土地盤情報検索サイト“KuniJiban”²¹⁾やKuniJiban及び幾つかの都道府県で実施された調査の柱状図を統合した防災科学技術研究所の統合化地下構造データベース“ジオ・ステーション”²²⁾、地盤工学会が作成した“全国電子地盤図”²³⁾などが著名である。また、都道府県や地盤工学会の各支部などで作成したデータベースも無償（一部有償）で公開されている。これらのデータベースの所在は、国土交通省の宅地防災に関するデータベースのリスト²⁴⁾として整理されている。なお、地盤工学会関東支部では、関東7都県及び山梨県域の柱状図データを網羅した新・関東の地盤（DVD付）を頒布している。

このほか、地質に関する全国を網羅した入手可能な書籍としては、日本の地質（全9巻＋総索引＋増補版、共立出版）と日本地方地質誌（全8巻、朝倉書店）がある。

(3) 地下水情報

地下水位の情報としては、前出の国土交通省国土政策局国土情報課のHP²⁰⁾で地下水マップ、地下水の見える化調査（地下水図面手法調査）の成果、水基本調査（地下水調査）による全国地下水資料台帳などが閲覧できる。産業技術総合研究所地質調査総合センターでは、日本水理地質図、水文環境図²⁵⁾などを頒布している。農林水産省東北農政局では、4地域に分けて水文地質図集を作成しており、図書館等で閲覧できる。また、地盤沈下に関する地下水位情報が環境省の全国地盤環境情報ディレクトリ²⁶⁾や各自治体の公表資料から入手できる。

地下水質に関する情報としては、水質汚濁防止法に基づき環境省が毎年公表している地下水質測定結果²⁷⁾や各自治体が公表している地下水質測定結果が入手できる。国土交通省では、地下水水質年表（1987～2002年）を公表しており、国会図書館等で閲覧できる。また、国土交通省では、水文水質データベース²⁸⁾においても地下水質データを公開している。

なお、日本地下水学会の地域地下水情報データベース²⁹⁾では、学会誌及び日本の地下水（農業用地下水研究グループ、1986）の地域地下水情報が閲覧できる。

4. 自然由来の評価

現地調査に関しては、調査対象地の地形・地質特性などの地域特性に応じて適宜実施される。本稿では詳細を述べないが、自然由来の基準不適合が生じる地質的特性（地質・変質・風化など）を把握することが重要となる。

現地調査で得られた試料の分析結果を加味し、自然由来物質に関する検討・評価が行われる。

特に土壌の場合は、第1に自然由来と判断できるかの検討が必要となる。検討にあたっては、土壌汚染対策法の施行通知「土壌汚染対策法の一部を改正する法律による改正後の土壌汚染対策法の施行について」（環水大土発第100305002号、2010年3月5日）の別紙や「土壌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2版）」の“Appendix-3. 土地の土壌の特定有害物質による汚染状態が専ら自然に由来するかどうかの判定方法及びその解説”³⁰⁾が利用される。

評価のポイントは、①基準不適合の原因が不明であること、②土壌汚染状況調査において土壌汚染が地質的に同質な状態で広がっていること、③特定有害物質の種類、含有量等の濃度及び分布特性の3点となっている。

第1の“基準不適合の原因が不明であること”は、人為汚染がないことを論拠立てる必要性を示しているが、書面が2009年の改正法公布前に、自然的原因による基準不適合土壌を法の対象外として判定する方法として作成されていることから厳密さが弱い表現となってしまうことに留意が必要である。また、本書面が作成された当時は、人の生活に関わる低濃度の土壌汚染も法の対象としない意図も含まれていたと聞いたことがある。

第2の“土壌汚染状況調査において土壌汚染が地質的に同質な状態で広がっていること”は、盛土・埋土を除く自然地層では事前調査や現地調査結果から比較的容易に評価できるであろう。

第3の“特定有害物質の種類、含有量等の濃度及び分布特性”の評価であるが、特定有害物質の種類、特定有害物質の含有量の範囲、特定有害物質の分布特性の3点で検討される。1点目の特定有害物質の種類については、自然界に存在する第二種特定有害物質8項目への該当性となる。また、溶出量が土壌溶出量基準の概ね10倍以内が目安とされているが、砒素については自然由来であっても10倍を超える例もあることから留意が必要である。2点目の特定有害物質の含有量の範囲につ

いては、六価クロムを除き、自然由来の汚染と判断する際の含有量（全量分析）の上限値の目安が示されており、該当性の判断となる。上限値の目安は、人為汚染の可能性が高い含有量を統計的に算出している。鉛については判断が難しい事例もある。また、地層毎に日本の上部地殻の平均値などと比較しておくことも重要な場合がある。3点目の特定有害物質の分布特性については、人為汚染の有無に加えて、砂質土と粘性土では含有量が異なることが多いため、層相との比較の観点も重要となる。また、溶出量の分布特性も加味する必要がある。

なお、自然由来の判断を誤った事例として、上流域において鉱山が稼働していたにもかかわらず鉱床が存在していたことのみから判断してしまった事例、工場においてアルカリ（苛性ソーダ）が漏洩し自然地層の砒素の溶出を促進させてしまったにもかかわらず判断してしまった事例などもあることから、最終的な判断は、総合的な見地から行うことが必要である。

最後になるが、本稿では自然由来を自然界における地層の生成過程で付加された有害物質に起因するものとしてきたが、一般の社会生活における有害物質の使用（例えば、過去にマーキュロクロムや水銀体温計、水銀電池の使用による水銀汚染、水道管に鉛管を使用していたことによる鉛汚染など）まで法による土壤汚染として扱うべきなのか、また、災害による火災で生じた鉛汚染はどうであろうか。今後、自然由来と人為汚染の境界についても議論が必要であろう。

参 考 文 献

- 1) 中央環境審議会：カドミウムに係る土壤環境基準（農用地）及び農用地土壌汚染対策地域の指定要件等の見直しについて（答申），2010/5/18，入手先〈<http://www.env.go.jp/press/files/jp/15654.pdf>〉（参照 2017.9.4）
- 2) F. W. Clarke and H. S. Washington: The composition of the Earth's crust, 1924., 入手先〈<https://pubs.er.usgs.gov/publication/pp127>〉（参照 2017.9.4）
- 3) S. Togashi et al.: Young upper crustal chemical composition of the orogenic Japan Arc, 2000., 入手先〈<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2000GC000083/full>〉（参照 2017.9.4）
- 4) 富樫茂子ほか：日本列島の“クラーク数”若い島弧の上部地殻の元素存在度，地質ニュース，No. 558, 2001/2, 入手先〈https://www.gsj.jp/data/chishitsunews/01_02_04.pdf〉（参照 2017.9.4）
- 5) 建設工事における自然由来重金属等含有土砂への対応マニュアル検討委員会：建設工事における自然由来重金属等含有岩石・土壌への対応マニュアル（暫定版）および資料集，2010/3，入手先〈http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/region/recycle/d03project/index_0305manual.htm〉（参照 2017.9.4）
- 6) 国土交通省：土地総合情報ライブラリー 土地基本情報 土地取引に関わる土壌汚染関連情報，入手先〈http://tochi.mlit.go.jp/?post_type=generalpage&p=10107〉（参照 2017.9.4）
- 7) 東北大学大学院環境科学研究科：地圏環境インフォマティクス，2008，入手先〈<http://geoserv.kankyo.tohoku.ac.jp/genius/fabout.html>〉（参照 2017.9.4）
- 8) 産業技術総合研究所地質調査総合センター：海と陸の地球化学図〈<https://gbank.gsj.jp/geochemmap/index.html>〉（参照 2017.9.4）
- 9) 産業技術総合研究所地質調査総合センター：地質図 Navi，入手先〈<https://gbank.gsj.jp/geonavi/>〉（参照 2017.9.4）
- 10) 北海道立総合研究機構環境・地質研究本部地質研究所：地質由来有害物質情報システム GRIP，入手先〈<http://grip.gsh.hro.or.jp/index.html>〉（参照 2017.9.4）
- 11) 宮城県環境生活部環境対策課，東北大学大学院環境科学研究科：宮城県土壌中の自然由来重金属等バックグラウンドマップ，2009，入手先〈<https://www.pref.miyagi.jp/soshiki/kankyo-t/dojomap.html>〉（参照 2017.9.4）
- 12) 千葉県地下水汚染対策連絡会，砒素含有地下水に係る調査対策部会：地下水砒素濃度分布図，2000/3，入手先〈https://www.pref.chiba.lg.jp/suiho/chikasui/documents/chiba-as_1.pdf〉（参照 2017.9.4）
- 13) 産業技術総合研究所地質調査総合センター：土壌評価図，入手先〈https://www.gsj.jp/Map/JP/soils_assessment.html〉（参照 2017.9.4）
- 14) 国土地理院：国土地理院の地図・空中写真・基盤地図情報，入手先〈<http://www.gsi.go.jp/tizu-kutyu.html>〉（参照 2017.9.4）
- 15) 国土地理院：主題図（地理調査），入手先〈<http://www.gsi.go.jp/kikaku/index.html>〉（参照 2017.9.4）
- 16) 国土地理院：地理院地図〈<https://maps.gsi.go.jp/>〉（参照 2017.9.4）
- 17) 産業技術総合研究所地質調査総合センター：5万分の1地質図幅，入手先〈<https://www.gsj.jp/Map/JP/geology4.html>〉（参照 2017.9.4）
- 18) 産業技術総合研究所地質調査総合センター：20万分の1地質図幅，入手先〈<https://www.gsj.jp/Map/JP/geology2.html>〉（参照 2017.9.4）
- 19) 産業技術総合研究所地質調査総合センター：20万分の1日本シームレス地質図，入手先〈<https://gbank.gsj.jp/seamless/>〉（参照 2017.9.4）
- 20) 国土交通省国土政策局国土情報課：国土調査（土地分類基本調査・水基本調査等），入手先〈<http://nrb-www.mlit.go.jp/kokjo/inspect/inspect.html>〉（参照 2017.9.4）
- 21) 土木研究所：国土地盤情報検索サイト“KuniJiban”〈<http://www.kunijiban.pwri.go.jp/jp/>〉（参照 2017.9.4）
- 22) 防災科学技術研究所：統合化地下構造データベース“ジオ・ステーション”，入手先〈<http://www.geo-stn.bosai.go.jp/jps/>〉（参照 2017.9.4）
- 23) 地盤工学会：全国電子地盤図，入手先〈<http://www.denshi-jiban.jp/>〉（参照 2017.9.4）
- 24) 国土交通省：宅地防災/データベース，入手先〈http://www.mlit.go.jp/toshi/toshi_fr1_000013.html〉（参照 2017.9.4）
- 25) 産業技術総合研究所地質調査総合センター：日本水理地質図，水文環境図，入手先〈<https://www.gsj.jp/Map/JP/environment.html>〉（参照 2017.9.4）
- 26) 環境省：全国地盤環境情報ディレクトリ，入手先〈<http://www.env.go.jp/water/jiban/directory/index.html>〉（参照 2017.9.4）
- 27) 環境省：地下水質測定結果，入手先〈<http://www.env.go.jp/water/chikasui/>〉（参照 2017.9.4）
- 28) 国土交通省：水文水質データベース，入手先〈<http://www1.river.go.jp/>〉（参照 2017.9.4）
- 29) 日本地下水学会：地域地下水情報データベース，入手先〈<http://www.jagh.jp/jp/g/activities/committee/research/gwdb.htm>〉（参照 2017.9.4）
- 30) 環境省：土壌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2版）Appendix-3，入手先〈http://www.env.go.jp/water/dojo/gl_ex-me/index.html〉（参照 2017.9.4）

（原稿受理 2017.9.8）