

誰も汚していないのに、自然土壌が汚染土壌に変化!!

ー 海成土壌の強酸性化現象と重金属類の溶出 ー

土壌・地下水・地盤担当 石山 高

1 はじめに

近年、土壌汚染は大きな環境問題となっています¹⁾ (図1)。平成14年度に施行された土壌汚染対策法^{*1}により、多くの土壌汚染に対処しています。土壌汚染で見つかった汚染物質としては、揮発性有機化合物^{*2}や重金属類^{*3}が知られていますが、なかでも鉛や砒素などの重金属類による土壌汚染事例が数多く報告されています(図2左)。汚染原因としては、有害物質を取り扱っている工場での不適切な対応や埋土・盛土由来など様々ですが、重金属類による土壌汚染では自然由来と判断されるケースも見られます(図2右)。自然由来とは、文字通り“自然現象により土壌汚染が発生”したということですが、誰も有害物質を使用していないのに土壌汚染が生ずるといったことはどうしたことなのでしょうか？なぜ、このような現象がおこるのでしょうか？

本講演では、自然由来の土壌汚染が発生しやすい土壌の特徴や発生場所の地域的特性、自然由来の土壌汚染が発生するメカニズムなどについて発表します。また、本講演の後半では、埼玉県環境科学国際センターが現在取り組んでいる自然由来の土壌汚染に対する対策技術について解説します。

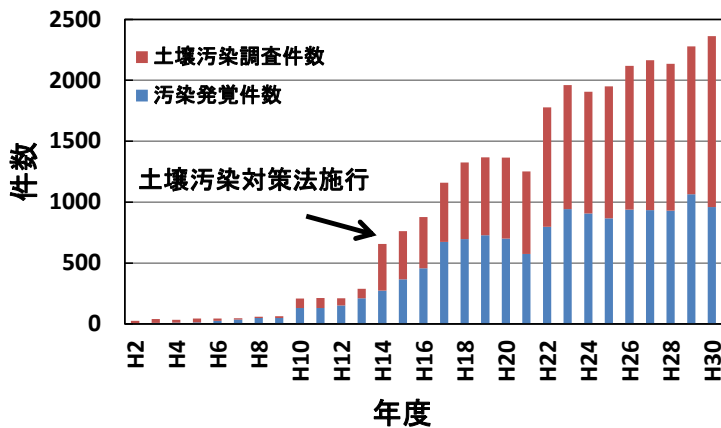
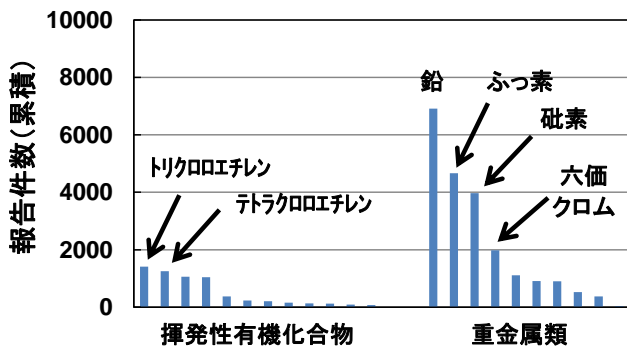


図1 年度別土壌汚染調査事例数と汚染発覚件数（環境省データより）



	揮発性有機化合物	重金属類
事業所による不適切処理	25	87
事業所が設置される以前における不適切処理	3	83
埋土・盛土	0	16
自然由来	0	30
その他(不明含む)	15	195

図2 汚染物質の基準不適合事例数（左）と汚染原因（右）（環境省データより）

2 自然由来の土壤汚染

2.1 自然由来の土壤汚染とは

重金属類はもともと土壤中に存在し、この重金属類が原因で土壤汚染が生じる場合があります。一方、揮発性有機化合物はもともと土壤中には存在しておらず、これを使用する事業所（例：金属加工業やクリーニング業など）における不適切な取り扱いにより土壤汚染が発生するケースがほとんどです。したがって、自然由来の土壤汚染は、重金属類で発生する特異な現象と言えます。自然由来の土壤汚染は、鉱山地帯（高濃度の重金属類を含む鉱物が土壤中に存在）で多くみられますが、最近では市街地でも多数報告されるようになりました。鉱山地帯ではない市街地でなぜ自然由来の土壤汚染が生ずるのでしょうか？そのメカニズムはどうなっているのでしょうか？次項以降では、市街地における自然由来汚染土壤の代表例である海成堆積物について解説します。

2.2 海成堆積物由来の土壤汚染

海成堆積物とは、かつて海底にあった土壤のことです。埼玉県は今では海なし県ですが、今から約6000年前（縄文時代）には県南部まで海が入り込んでいました（図3）。そのため、県南部や南東部を中心に地中には海成堆積物が分布しています。海成堆積物には黄鉄鉱（ FeS_2 ）と呼ばれる硫化鉱物がたくさん含まれており、この鉱物が掘り起こされて地上で雨や大気と触れることで硫酸という化学物質を生成するのです（図4）。硫酸が生成することで土壤 pH は大きく低下し、鉛や砒素など様々な重金属類が溶出しはじめます。海成堆積物は地上に放置しておくだけで自然に酸性土壤へ変化するため、この汚染は自然由来の土壤汚染と言えます。現在、日本各地から報告されている自然由来の土壤汚染の多くは、このような海成堆積物から発生しています。わたしたちの身の回りには、誰も汚していないのに、自然現象で汚染土壤が発生することもあるのです。

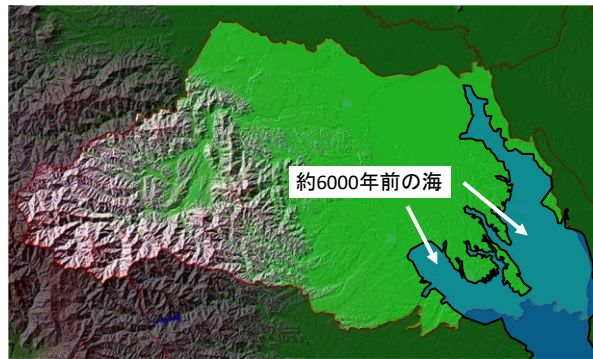


図3 今から約6000年前（縄文時代）における海岸線

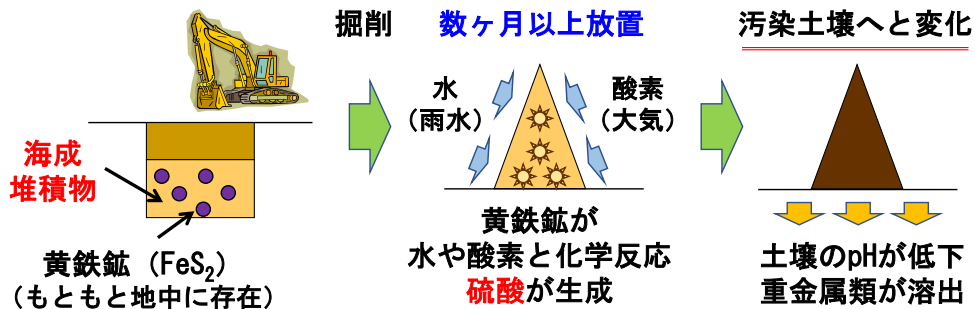


図4 海成堆積物由来の汚染メカニズム

3 環境科学国際センターの取り組み

自然由来の土壌汚染は、事業所の敷地内で発生する人為的な土壌汚染と異なり広い範囲で発生するという特徴を有しています。したがって、その対策には膨大な時間、労力と費用を必要とすることが大きな問題となっておりました。環境科学国際センターでは、このような問題を解決するため、従来の対策方法に比べて簡単で安価な技術の開発に取り組んできました。

黄鉄鉱（硫化鉄物）から硫酸が生成される反応では、雨（水）や大気（酸素）の他、土壌微生物が深く関与していることが知られていました²⁾。環境科学国際センターでは土壌微生物に着目し、土壌微生物の働きを封じることで黄鉄鉱から硫酸が生成する反応を抑制する技術を開発しました³⁾（図5）。具体的には、海成堆積物に貝殻片（本研究ではホタテ貝の貝殻片を使用）を混ぜ込むことで、微生物の働きを封じる技術を開発しました。土壌微生物の働きには土壌の pH が大きく影響を及ぼし、pH が高くなるほど働きが鈍ることが知られていました²⁾。我々はこの知見に注目し、海成堆積物に土壌の pH を高める効果がある貝殻を加えることで、微生物の働きを抑えることができるのではないかと発想しました（図5）。貝殻は水産加工業から産業廃棄物として排出されることが多く、その再利用方法も長い間検討されてきました。我々は、貝殻を環境保全材料として有効利用することで対策費の大幅な削減につながると考えました。

海成堆積物に貝殻片を加え、黄鉄鉱の反応が抑制できるか検討した結果を図7に示します。黄鉄鉱の反応が進むと大量の硫酸イオン（ SO_4^{2-} ）が生成します。海成堆積物に水や酸素を接触させた状態で硫酸イオン濃度を測定したところ、実験開始から数か月後には大量の硫酸イオン濃度が検出されました（図6左 ●印）。一方、海成堆積物に貝殻片を加えたところ、硫酸イオンの生成は大きく抑制されることが明らかになりました（図6左 ■印）。貝殻片を加えた実験では、硫酸生成が抑えられたため、土壌の pH の低下（土壌の強酸性化現象）も防ぐことができました（図6右）。土壌の強酸性化現象を抑制したことで、重金属類の溶出量は大幅に減少しました。



本技術では貝殻片を混ぜ込み、微生物の働きを抑える

図5 環境科学国際センターが開発した対策技術の原理

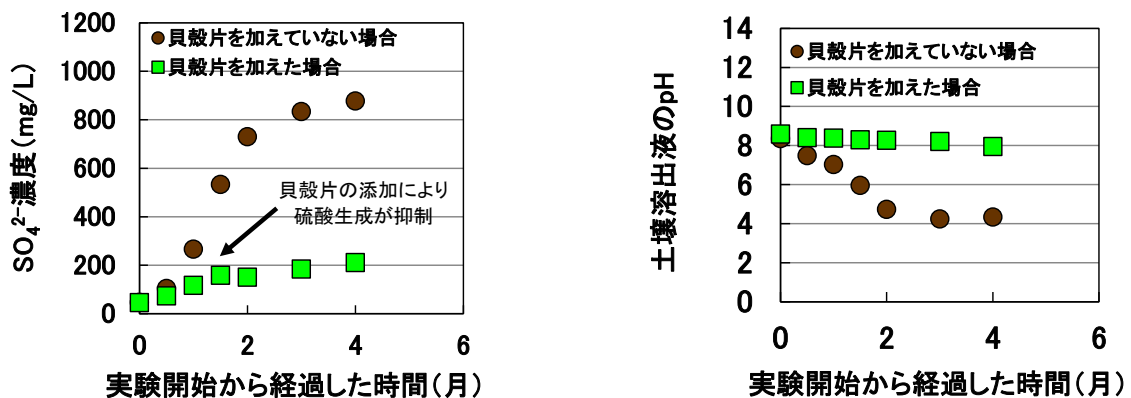


図6 貝殻片添加の効果（左：硫酸の生成抑制効果、右：酸性化の抑制効果）

海成堆積物の対策技術としては、海成堆積物を遮水シートで被覆した後に土を上から被せる方法（図7 ①）や溶けだした重金属類を吸着する材料を海成堆積物の下に敷設する方法（図7 ②）が一般に採用されています。一方、環境科学国際センターが開発した技術（図7 ③）は海成堆積物に貝殻を混ぜるだけで完了するため、従来の対策技術（図7 ①、②）に比べて処理が簡単で対策費を大きく削減することが可能となります。また、水や酸素との接触を遮断するという従来の発想ではなく、土壌微生物の働きを封じることで黄鉄鉱の反応を抑制するという試みは国内外を問わず、ほとんど検討されていません。

土壌汚染対策には膨大な費用を要することから、対策を実施することで企業利益が大きく圧迫されるケースも数多く報告されています。我々が目指している対策技術の簡略化や低コスト化は、汚染対策の促進に繋がるばかりでなく、環境分野における命題である『環境と経済の両立』にも役立つものと考えています。

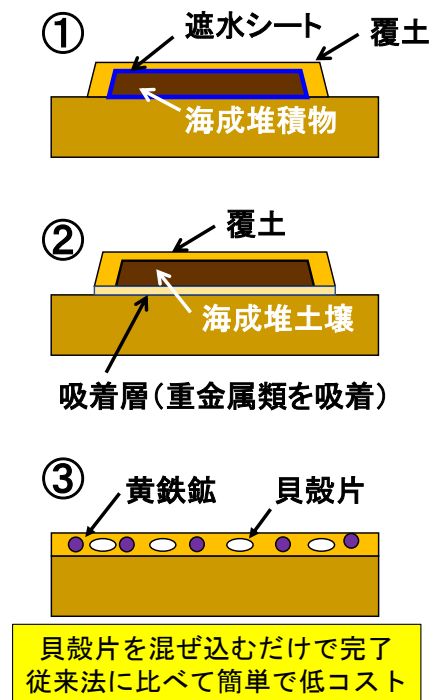


図7 既存の対策技術との比較

4 まとめ

本講演では土壌汚染問題を取り上げ、なかでも自然由来の土壌汚染について簡単に紹介しました。また、環境科学国際センターの取り組みとして、貝殻片を用いた低コストで環境に優しい対策技術について説明しました。

土壌は個人の所有物であることから、その対策費用や調査費用は土地所有者が全額負担することが原則です。土地所有者の経済的な負担を抑えるためにも、安価な汚染対策技術の開発は重要です。我々は、今後も簡単、迅速、低コストなどに力点を置いた対策技術の開発に携わっていきたいと思います。

用語解説

注1) 土壌汚染対策法：市街地土壌の保全を目的として制定された法律（平成14年度施行）

注2) 揮発性有機化合物：蒸発しやすい有機化合物（トリクロロエチレン、テトラクロロエチレンなど）

注3) 重金属類：鉛やカドミウムなどの重金属と砒素やふっ素などの非金属を合わせた総称

文献

- 1) 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（2010）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
- 2) V. P. Evangelou and Y. L. Zhang (1995) A Review: Pyrite oxidation mechanisms and acid mine drainage prevention, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, **25**, 141-199.
- 3) 石山高, 他2名 (2017) 貝殻片を利用した低コストで環境負荷の少ない海成堆積物中重金属類の長期汚染リスク対策手法の開発, *水環境学会誌*, **40**, 235-245.