

2S-Dp01 自然的要因に起因するヒ素土壌汚染問題とその修復技術

○井上 千弘
(東北大院・環境)
inoue@er.kankyo.tohoku.ac.jp

我が国の重金属類による土壌汚染問題は、足尾銅山鉱毒事件など鉱山に由来する重金属類の農用地汚染に端を発している。その後、工場からの排出、タンクからの漏洩、埋め立て廃棄物からの溶出など人為的な原因による有害重金属類の土壌汚染が各地で発生するようになったが、汚染が顕在化しにくいため調査・対策とも長い間行われなかった。平成14年の土壌汚染対策法の制定に伴って、ようやく土壌汚染の調査やその修復が本格的に実施されるようになった。重金属含有土壌の場合、汚染修復の手法としては汚染土壌を全量掘削して別の場所に運搬し、埋め立て、土壌洗浄、焼却などの処理を施す「掘削除去法」が主体となっている。掘削除去法では、掘削した土壌の処理は汚染現場とは別の場所で行われるため、土壌の運搬費用が高くなることや汚染土壌の拡散の恐れがあることが問題となっている。

一方、土壌中の重金属類は自然に形成された地層中にも存在しており、重金属類を多く含む地質体には、主に金属鉱床に由来するものと海成堆積物に由来するものがある。これらを含む岩石や土壌が、トンネル工事などの際に掘削によって地表にさらされたときに、しばしば土壌環境基準の値を超過する鉛、ヒ素、カドミウムなどの重金属類の溶出が生じる。土壌汚染対策法の施行以降、このような岩石や土壌の存在が広く知られるようになり、「自然由来の土壌汚染問題」と呼ばれている。このような岩石や土壌は多くの場合、土壌汚染対策法の適用対象ではないが、「法に準じた適切な措置」が求められている。

ヒ素は地殻を構成する岩石や土壌に少量存在する元素で、日本列島の上部地殻におけるヒ素の含有量の平均値は6.5～7.1 mg/kgであり、その値は大陸地殻にくらべて2～3倍高いといわれている。これに対し第四紀沖積層の未固結堆積物ではヒ素含有量は概ね2～22mg/kgの範囲とされ、シルト層や粘土層の方が含有量は多くなっている。土壌中に存在するヒ素は、硫酸鉄鉱等の含ヒ素鉱物の形態、水酸化鉄に吸着した形態、黄鉄鉱の結晶構造中に微量含有された形態、粘土鉱物に吸着した形態など、様々な化学形態で存在する。このような土壌中のヒ素の化学形態の違いにより、水への溶出挙動も異なってくる。例えば、水酸化鉄に吸着しているヒ素イオンは、弱アルカリ環境になると水酸化鉄が負に帯電するため脱着してしまう。また水酸化鉄が強い還元状態におかれると、水酸化鉄が還元されて二価の鉄イオンが生じるため、吸着していたヒ素イオンも溶出してしまう。一方、硫化鉱物中に存在するような場合は、地中の嫌気的環境におかれる限り溶出してくることはないが、酸素にさらされた場合には硫化鉱物が酸化溶解し、ヒ素も溶出する。

ヒ素に関する自然的要因に起因した問題は、現在全国の土木工事の現場で顕在化しつつある。例えば仙台市で行ってきた地下鉄建設工事に伴って、50万立方メートル以上のヒ素溶出の恐れのあるトンネル掘削残土が発生している。他にも青森県の八甲田トンネル、福島県の甲子トンネルなど同様の事例が数多く知られるようになっている。これらの残土は「法に準じた適切な措置」が求められているが、多くの場合、ヒ素の水溶出量は土壌環境基準値をわずかに上回る程度である。しかし発生量が膨大となる場合が多く、掘削除去法を適用した場合、莫大な処理費用が発生する。また汚染原因者が特定できないので、その費用を誰が負担するのかという問題もある。そのため、バイオレメディエーションやファイトレメディエーションに代表される生物の機能を活用した安価な浄化技術に大きな期待が寄せられている。

Naturally occurring soil contamination of arsenic and its treatment technologies

○Chihito Inoue
(Grad. Sch. Environ. Stud. Tohoku Univ.)

Key words arsenic, soil contamination, treatment

2S-Dp02 微生物によるヒ素の可溶性 - 汚染土壌のバイオレメディエーションを目指して -

○天知 誠吾
(千葉大・園芸)
amachi@faculty.chiba-u.jp

東アジアを中心に地下水のヒ素汚染が問題となっている。特に被害の大きいインド西ベンガル州からバングラデシュにかけては、6000万人以上もの人々がWHOの飲料水質ガイドライン(10 µg/L)以上のヒ素を含む地下水を飲用している。堆積物中のヒ素は主にヒ酸[As(V)]としてフェリハイドライトのような鉄鉱物に吸着した形で存在し、吸着性の低い亜ヒ酸[As(III)]に還元されることで溶出する。ヒ素の溶出には嫌気性の金属(またはメタロイド)還元微生物が重要とされ、ヒ素の吸着ホストである鉄鉱物が異化的鉄還元細菌に還元された結果ヒ素が溶出する経路、また吸着したヒ酸が異化的ヒ酸還元細菌により直接還元され溶出する経路が提唱されている。世界各国のヒ素汚染堆積物からは代表的な鉄還元細菌として知られる*Geobacter*属細菌が高い頻度で検出されている。また、これまでに少なくとも2種類の*Geobacter*属細菌のゲノムに異化的ヒ酸還元酵素遺伝子(*arrA*)が見つかった。以上のことは、鉄還元能とヒ酸還元能を併せ持った*Geobacter*属細菌がヒ素の溶出に関与することを示唆しているが、これまでにヒ酸を唯一の電子受容体として生育する*Geobacter*属細菌は見つかっていなかった。演者らは最近、国内の水田土壌から異化的ヒ酸還元能を持つ*Geobacter* sp. OR-1の分離に初めて成功した。OR-1株はヒ酸の他、可溶性鉄、フェリハイドライト、フマル酸など幅広い電子受容体を利用可能であった。本発表では、ヒ素溶出モデル微生物としての*Geobacter* sp. OR-1について、その性質、特に鉄鉱物や土壌固相に吸着したヒ素の溶出能についてX線吸収微細構造(XAFS)解析の結果なども併せて紹介する。また、ドラフトゲノム解析から明らかになったOR-1のヒ素代謝遺伝子群(Arsenic island)の特徴や、これら遺伝子の発現様式、プロテオーム解析結果などについても紹介する。

Arsenic dissolution by bacteria and its potential application to bioremediation

○Seigo Amachi
(Fac. Hortic., Chiba Univ.)

Key words arsenic, arsenate reduction, *Geobacter*, bioremediation