

ガンジスデルタのヒ素汚染地下水出現に関わる微生物活動の役割

Role of microbial activity on the formation of arsenic contaminated groundwater in the Ganges delta plain

益田 晴恵 [1]; Seddique Ashraf Ali[2]

Harue Masuda[1]; Ashraf Ali Seddique[2]

[1] 阪市大・理・地; [2] 大阪市大・理

[1] Dept. Geosci., Osaka City Univ.; [2] Geosciences, Osaka City Univ.

ガンジスデルタで発生した大規模なヒ素汚染地下水の出現は、堆積物中微生物活動に伴う地下水の還元により、ヒ素を濃縮する酸水酸化鉄が分解することにより、担体を失ったヒ素が地下水中へ溶出すると説明され(鉄還元説)、これがほぼ定説であった。しかし、私たちは、地表水の鉛直方向への浸透に伴うヒ素を不純物として含む黒雲母の化学的風化作用(加水分解)に伴ってヒ素が溶出する可能性が高いことを見いだした。さらに鉄還元説が正しいならば、酸化還元状態の変動が激しい地下水水位の変動する深度で、ヒ素の担体の変化が観察されるはずであると考え、ヒ素汚染地下水出現頻度の異なる場所の表層とその近くの堆積物中のヒ素の担体物質の変化を追跡した。その結果、酸水酸化鉄はヒ素の重要な担体では有り得ないことを確認した。さらに、従来の説では、ヒ素溶出を規制する地下水の酸化還元状態を決定する重要な要因であった微生物活動が、微生物活動がヒ素を堆積物中に固定し、無毒化する役割を果たしている可能性を見いだした。

バングラデシュのダッカ郊外にあるショナルガオ地域で、ハンドオーガーを用いて、表層から最長で5m程度までの堆積物を4カ所で採取した。このうち、3カ所では、雨季と乾季の2度、同一地点で掘削した。試料は真空パックして、日本に持ち帰り、主成分鉱物組成・化学組成・ヒ素濃度(全ヒ素と形態別ヒ素)を分析した。

同一地点の堆積物試料では、全ての分析項目について、雨季と乾季で大きな違いは見られなかった。したがって、水位変動に伴う酸化還元状態の変化は、ヒ素の挙動に大きな影響を与えているとはいえない。全ヒ素濃度は2~16mg/kgの範囲にあり、ヒ素汚染の全く見られない洪積台地の堆積物も、ヒ素汚染地下水の出現する沖積低地の堆積物とほぼ同じ濃度範囲であった。また、全ヒ素濃度は、雲母類(白雲母+黒雲母)のXRDによるピーク強度、黒雲母の主成分化学組成であるアルミニウム・マグネシウム・鉄の濃度とよい正の相関がある。このことは、黒雲母がヒ素の一次供給源であるという私たちの説を支持するものである。形態別(酸可溶性/炭酸塩や弱く吸着したヒ素、酸化物態/鉄・マンガノ酸化物に固定されたり強く吸着しているヒ素、有機物態ヒ素、難溶性/ケイ酸塩と硫化物中のヒ素)に分離して分析した結果、全ての試料で80%以上が有機物態か難溶性のヒ素であった。難溶性ヒ素は、汚染のもっとも激しい地区の堆積物中で最も高い割合(40~60%)を示すが、ヒ素汚染地下水が出現しない地域のものでは40%程度である。一方、有機物態ヒ素は前者で30~50%であるが、後者では50~60%である。酸水酸化鉄や酸化鉄などに固定されているヒ素は、ヒ素汚染のもっとも著しい地点で、最も多かった。しかし、全ヒ素に対する割合は20%以下であり、同一地点の試料では全ヒ素濃度が高いほど、この割合は低くなる。試料採取地点ごとの比較では、ヒ素汚染地下水出現の程度が低い地域ほど、このヒ素の割合は減少し、汚染の見られない地域では5%以下である。また、堆積物中のTOCは表層から深度2m程度までの堆積物の中で減少しており、有機物態ヒ素の多い堆積物でTOCが多い傾向はない。以上のような堆積物中のヒ素の分布は、ヒ素に関して閉鎖的な環境で、黒雲母の分解に伴って溶出したヒ素が有機物として固定されている可能性を強く示唆するものである。酸水酸化鉄は黒雲母の分解に伴う中間生成物として形成されるが、それ自体はヒ素の担体とはならない。さらに還元的な地下水環境で、硫酸還元反応が卓越する場合には、ヒ素は最終的に黄鉄鉱のような硫化物に固定され移動しなくなる。しかし、本研究地域では、硫酸イオンなどのイオウ化学種に乏しいために、硫化物の生成はあまり盛んでなく、自生有機物が最終的にヒ素を固定するもっとも優勢な物質となっているのだと推定される。ヒ素含有有機物の生成は、結果として、地下水の無毒化の役割を果たしている。