

バングラデシュ・シヨナルガオのヒ素汚染地下水形成に関わる帯水層構造と地下水流動

Aquifer structure and groundwater flow related to arsenic contaminated groundwater in Sonargaon, Bangladesh

益田 晴恵^{1*}, 前田俊介¹, 岡林克樹¹, 三田村宗樹¹, セディキ・アシュラフ・アリ², 中屋真司³, 森川徳敏⁴
MASUDA, Harue^{1*}, Shunsuke Maeda¹, Katsuki Okabayashi¹, Muneki Mitamura¹, Ashraf Ali Seddique², Shinji Nakaya³, Noritoshi Morikawa⁴

¹ 益田晴恵, ² ジェソール科学技術大学, ³ 信州大学工学部, ⁴ 産業技術総合研究所

¹Harue Masuda, ²Jessore Science and Technology University, ³Faculty of Engineering, Shinshu University, ⁴AIST

ガンジスデルタは世界最大のヒ素汚染地下水が出現する地域として知られている。この地域でのヒ素汚染地下水は、生物化学的作用により地下水が還元され、それに伴ってヒ素を吸着している酸水酸化鉄が分解することによって生じると説明されてきた。しかし、私たちは、バングラデシュ・シヨナルガオで行ってきた一連の研究を通して、ヒ素を不純物として含む碎屑性の黒雲母ないしは緑泥石が化学的風化作用により分解することによって、ヒ素汚染地下水が形成すると考えてきた。また、ヒ素汚染地下水形成には、地下水利用の増加による影響があると考えられてきたが、どのような関連があるかは不明であった。本研究では、バングラデシュ・シヨナルガオの調査地域でもっとも地下水涵養が活発な集落で、掘削により帯水層構造を明らかにすること、コア掘削により帯水層堆積物中のヒ素を固定する物質を特定すること、深度の異なった地下水でのヒ素と関連元素の濃度変化を追跡すること、地下水の年代測定により涵養年代とヒ素汚染の関係性を明らかにすることによって、ヒ素汚染地下水形成最初期に帯水層で起こっている化学反応と人為による影響について検討した。

コア掘削と深度の異なる井戸掘削は、もっともヒ素濃度の高い地下水が出現する井戸 (1.2 mg/L) の近傍で行った。この地域のヒ素汚染地下水は、-30~40m に位置する不透水層である更新世の粘土層の上位にある完新世の砂層を帯水層としている。また、粘土層の下位にある更新世の被圧地下水は汚染されていない。ところが、コア掘削地点においては、粘土層が欠如しており、二つの帯水層は直接接触していた。今回の掘削地点の南方にも粘土層の欠如している地点があるが、この周辺の地下水中のヒ素濃度も高い。すなわち、本調査地域では、粘土層が欠如しているところに高濃度のヒ素汚染地下水が分布している。また、地下水の年齢は、800mg/L を超すヒ素を含む地下水では 1990 年以降に涵養されたものが多い。これらのことから、更新世の被圧地下水が過剰揚水により水圧低下し、鉛直方向の地下水浸透が盛んになったことに伴って、ヒ素汚染地下水が形成されたと考えられる。

ヒ素の原因物質は緑泥石である。逐次段階抽出法による帯水層堆積物中のヒ素は、大部分が難溶態 (ケイ酸塩 + 硫化物) として存在するが、地下水位面付近 (-7 m 付近) で、酸水酸化鉄に伴うヒ素の割合が増加する。また、-5, -10, -15m の深度での地下水中のヒ素の濃度とイオン価を分析した結果では、-5m の試料で濃度は 0.3mg/L 程度あり、As(III):As(V)=0.4:0.6 で、緑泥石のイオン価の比にほぼ等しかった。一方、-10m では、濃度は 800mg/L を超し、As(III):As(V)=0.95:0.05 となり、-15m でもあまり変化しない。これらのことは、緑泥石が調和溶解することでヒ素が溶出し、この反応は-5?-10m でもっとも盛んであることを示している。この深度では、酸素が失われていないため、緑泥石の分解に伴って溶出した鉄は酸水酸化鉄として沈殿している。

以上の結果から、本地域では、地下水涵養が活発化し、鉛直方向への好氣的地下水の流入が増加することに伴って、還元的な地下水環境が酸化的に変化したために、Fe(II) に富む緑泥石の分解が促進されることによって、ヒ素が地下水中に溶出したと結論づけられる。還元的な地下水環境は、ヒ素をより溶解度の高い亜ヒ酸に変化させているが、ヒ素溶出の本質的なきっかけではない。緑泥石は、他の地域でも帯水層中に広く出現することが知られていることから、このヒ素汚染地下水形成メカニズムは、ガンジスデルタの広い地域で、最初期のヒ素溶出を説明している可能性がある。

キーワード: ガンジスデルタ, ヒ素汚染地下水, 緑泥石, 化学的風化作用, 形態別化学分析

Keywords: Ganges delta, arsenic contaminated groundwater, chlorite, chemical weathering, sequentially extracted chemical analysis