

パキスタン・パンジャブ地方におけるフッ素・ヒ素複合汚染地下水の形成に関わる帯水層構造

Aquifer structure of fluoride and arsenic contaminated groundwater in Punjab, Pakistan

益田 晴恵 [1]; 三田村 宗樹 [2]; 大和 昌史 [3]

Harue Masuda[1]; Muneki Mitamura[2]; Masafumi OWA[3]

[1] 阪市大・理・地; [2] 大阪市大・理・地球; [3] 大阪市大・理・地球

[1] Dept. Geosci., Osaka City Univ.; [2] Geosci., Osaka City Univ.; [3] Earth science, Osaka city Univ.

パキスタン・パンジャブ地方はインダス川上流に位置する平原であり、半乾燥地帯に広大な農地が広がっている。この国第2の都市であるラホール郊外では、工場廃水・石炭のばい煙・肥料などの無秩序な放出によって、大気・土壌を通じたフッ素とヒ素を高濃度に含む地下水汚染が進行している (Farooqi et al., 2006)。しかし、地下水汚染の集中する地域は、汚染源の分布地域とは必ずしも一致しないことから、帯水層構造が汚染の出現に深く関わっていることが推定された。そのため、最も汚染の進んだ集落 (カラランワラ) で6つの井戸を掘削し、岩相を観察し、帯水層構造を決定した。また、そのうちの一つの井戸から深度約60mまでの擾乱されていない堆積物を採取し、鉱物や化学組成の分析を行った。

本地域はインダス川の支流であるラビ川の氾濫原と更新統台地の境界付近にあり、大部分の集落は台地の上にある。台地の上位約15mは細粒の風成層であるが、8~10m付近にさらに細粒の固い層があり、これが不圧地下水の下位の不透水層となっている。氾濫原が干上がる乾季には、不圧地下水はこの不透水層上位を通過して氾濫原に流出し、乾季末期には不圧地下水も干上がる。被圧帯水層はこの地域では少なくとも2層はある。第一帯水層の上位は風成層であるが、15m付近より下は石英の多い細粒砂である。30m付近に3m程度の厚さの不透水層があり、その下位に石英の多い細粒砂からなる第2帯水層がある。二つの不透水層は連続が悪いために、一部の地下水は、下位の帯水層に流出する。地域住民が最もよく利用している井戸の掘削深度は24~27mで、第一被圧帯水層の最下部に相当している。この深度の井戸が最も汚染が進んでいるが、第二被圧帯水層も汚染されており、特にヒ素の含有量は全ての井戸でWHOの勧告基準 (0.01mg/L) を超えている。

第一被圧帯水層の最下部の深度は一樣ではなく、氾濫原との境界に垂直な東西断面では、最も汚染の進んだカラランワラ集落中央部で周辺より5m程度くぼんだ凹地となっている。約500m西にあるワランピラワラ集落では、第一被圧帯水層の最下部はカラランワラよりも浅い位置にあるが、高濃度のフッ素・ヒ素汚染が見られる。また、分析を行った堆積物からトリフルオロ酢酸が検出され、汚染源の一つがこの集落近くを通る工場廃水を含む水路であると推定される。以上のことから、この周辺で涵養された地下水が、カラランワラ集落付近で停滞していると推定される。

カラランワラで掘削した堆積物のうち、上位の15mまでの試料中のヒ素濃度は9~40mg/kgの範囲にあり、淡水成の堆積物中のヒ素濃度としては比較的高い値を示す。粘土分が多い試料ではヒ素濃度が高いが、粘土分とヒ素濃度には必ずしもよい相関があるわけではない。むしろ、不圧帯水層では、粘土分とヒ素がともに高濃度である部分を除けば、ヒ素濃度は9~11mg/kgで比較的一定しており、季節ごとに地下水が流出することで濃度が均質化されていると考えられる。一方、第一被圧帯水層中では同じ風成層であっても、さらに高濃度のヒ素が含まれることから、この帯水層にヒ素を濃縮させる何らかのメカニズムが作用していると考えられる。

汚染源が地上に広く分布している場合であっても、地下水汚染は一樣に広がるわけではない。涵養源の位置と、帯水層構造が汚染地下水の形成に深く関わっており、過剰揚水による地下水流量と流路の変更などが、汚染拡大を助けている可能性がある。