

ネパールにおける地下水砒素汚染の特徴～トロクノワール村の調査結果～

宮崎大学工学部 松本直之(学生会員),若林貢, M.M.Hussainuzzaman, 横田 漠
宮崎大学機器分析センター 田辺公子

1.はじめに

我々は1996年よりバングラデシュにて地下水砒素汚染の機構解明や代替水源の開発に取り組んできた。ガンジス下流域におけるそれらの課題はほぼ解決されてきたが、ガンジス上流域のネパールにおいても1999年に地下水砒素汚染が確認された。汚染地域はガンジス平野に接するタライ平原であったが、その後の調査で同平原は全域的に汚染されていることが判明した。

ガンジスの下流と上流域では砒素汚染機構が異なると考えられ、我々は2003年12月から1年間に渡って3度、タライ平原のナワルパラシ県で調査を行った。調査内容は、地下水の砒素汚染・水質調査、地質調査、農業構造調査および医学調査などであり、調査対象村は3村となっている。

ここではそれらの調査結果の一部として、トロクノワール村を対象とした地下水の砒素汚染・水質特性と地質調査結果、およびそれに基づいた砒素汚染メカニズムに関する考察を述べるものである。

2.調査方法

2003年12月にトロクノワール村の砒素汚染状態を把握するため、村に存在する全飲料用井戸41本の地下水砒素濃度測定と水質分析を行った。砒素測定は水素化砒素発生原子吸光法で行った。水質分析に関しては、pH、EC、ORP、DO、 HCO_3^- は現地測定し、溶存イオンは高速液体イオンクロマトグラフィー(DIONEX: DX-120)により測定した。また、2004年5月に行ったボーリング調査の試料について、砒素溶出試験(環境庁水質保全局環境庁告示第46号)を行った。

3.調査結果および考察

1) 地下水砒素汚染分析

砒素濃度測定結果をトロクノワール村の地図にプロットしたものがFig.1である。その結果、日本の環

境基準でありWHOの推奨基準の0.01mg/lを超過する井戸は村全体で76%、ネパールの環境基準0.05mg/lを超えるものは72%という汚染状況であった。これまでの調査結果ではナワルパラシ県内の平均汚染率は26%と報告されているので、同村はタライ平原全体の中でも極めて深刻な砒素汚染にあることが明確となった。

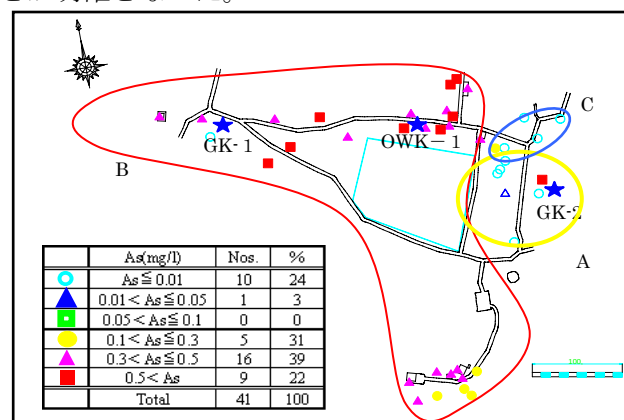


Fig.1 トロクノワール村砒素濃度分布図

次に、砒素濃度と井戸深度(聞き取り)との関係をFig.2に示す。明らかにA、B、Cの3グループに分けられることがわかる。井戸深度が17~21mの井戸(図中B)において砒素濃度が高い傾向がみられ、井戸深度が11~20m(同A)と34~46m(同C)の井戸において砒素濃度が低い傾向がみられた。このことから、17~21mの地層において砒素が多く存在していると考えられる(後出Fig.3参照)。なお、Fig.1中にもA、B、Cのグループ分けを示している。

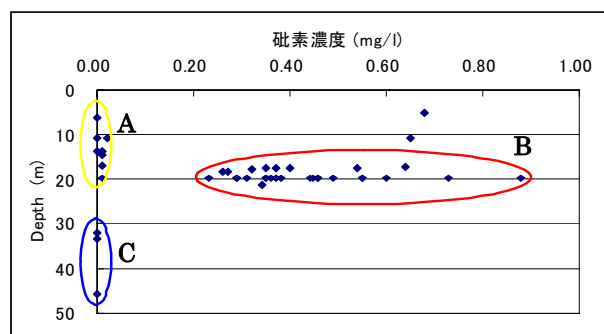


Fig.2 砒素濃度と井戸深度の関係

砒素の溶存形態としては3価砒素(As^{3+})と5価

砒素 (As^{5+}) があるが、砒素高濃度のBグループでは3価砒素の割合が高く、砒素低濃度のAグループでは5価砒素の割合が高かった。また、村のほとんどの井戸でORP値が負の値を示し、正の値を示したCグループの井戸 (砒素濃度: 0mg/l) のみであった (後述2) 参照)。

また、鉄の地下水存在形態として2価 (Fe^{2+}) と3価 (Fe^{3+}) があるが、同村では2価鉄の存在割合が高かった。さらに、窒素化合物は砒素高濃度のBグループにおいて $\text{NH}_4^+ > \text{NO}_2^- > \text{NO}_3^-$ という存在形態を示し、砒素低濃度のCグループでは逆に $\text{NH}_4^+ < \text{NO}_2^- < \text{NO}_3^-$ という存在形態を示していた。

以上のことより、同村における砒素は還元環境下で溶出したものと考えられる。

2) 水質分析結果

ヘキサダイアグラムを Fig.3 に示す。同図より、AグループとBグループの地下水は、それぞれ異なったイオンバランスを示しているので、AとBとは帯水層が異なっていることがうかがえる。

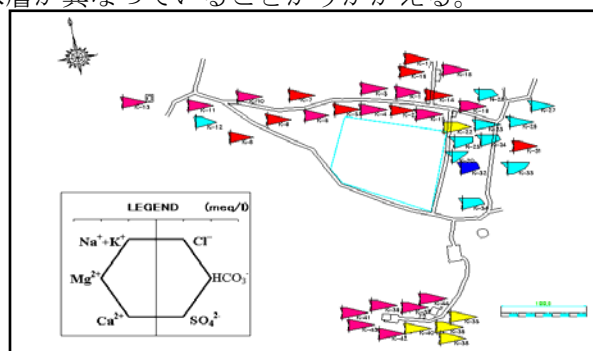


Fig.3 ヘキサダイアグラム分布図

ORP については、Bグループでは $-130 \sim -33\text{mV}$ とマイナスで還元環境下にあり、Cでは $29 \sim 103\text{mV}$ と酸化環境下にある。地下水が還元環境下にある場合 (Bグループ) は透水性が悪く停滞性の地下水体を形成しており、逆に酸化環境下 (Aグループ) では透水性が比較的良好で循環性の高い地下水体を形成していると考えられる。

つぎに、地下水の陽イオン組成についてはBグループでは $\text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$ という傾向がみられた。地下水の陽イオン組成は $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Na}^+$ となるが、ここでは Na^+ 優勢型となり、軟水化現象が起きているので、Bグループは停滞性の著しい地下水であると考えられる。

これらは1)で述べた還元環境下での砒素溶出現象を説明する材料となっている。

3) 地層中砒素の含有量分析

聞き取り調査による井戸深度と砒素濃度との関係については Fig.2 に示した通りで、17~21mの地層において砒素が多く存在することが予見されたことについては既述した。

その点を踏まえ、Fig.1の☆印の3点でボーリング試料について、砒素溶出試験を行った。その結果を Fig.4 に示す。

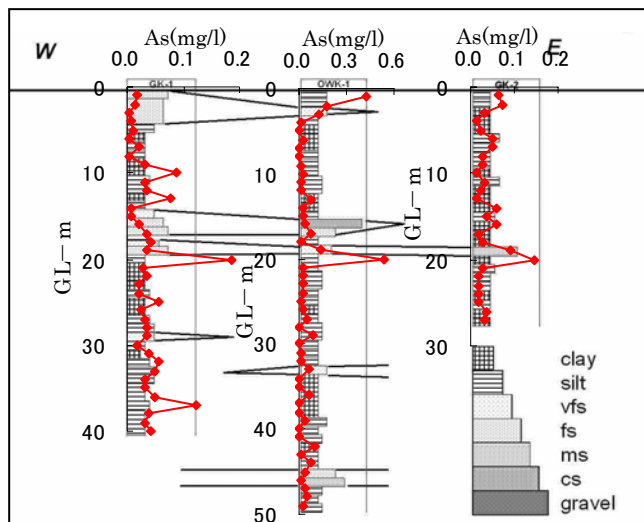


Fig.4 砒素溶出試験結果

Fig.4から20mの地層から高濃度の砒素が溶出していることがよくわかる。Fig.2の裏づけが得られたこととなる。

4.おわりに

トロクノワール村の地下水砒素汚染はタライ平原全体の中でも極めて深刻なものであることが明確となった。汚染は20m付近の深度を持つ井戸に集中的に認められたが、それはボーリング試料の砒素溶出試験結果からも確認出来た。

また、砒素汚染機構については還元環境下での砒素溶出であると判断された。それは高濃度砒素汚染井戸水中の砒素や鉄の存在形態、 $\text{NH}_4^+ / \text{NO}_3^-$ 比、ORP値、 Na^+ などから総合的に考察されたものである。

現在、治安の問題で現地に行くことが出来ない。治安の回復と代替水の建設が緊急な課題となっている。

参考文献

- ① 湊秀雄 監修 日本地質学会 環境地質研究委員会 編 (1998) 砒素をめぐる環境問題 自然地質・人口地質の有害性と無害性
- ② 地下水問題研究 編 (1994) 地下水汚染論 — その基礎と応用