

II-68

南バングラデシュにおける地下水流動および水質に関する研究

東北大学大学院 学生員 ○梅木知裕
 東北大学大学院 正会員 真野 明
 東北学院大学大学院 正会員 石橋良信

1. はじめに

1971年以降の手押しポンプ井戸の普及に伴い、約1億4000万もの人口を抱えるバングラデシュでは国民の95～97%が飲料水として地下水を利用するようになった。しかし、国土の70%で地下水のヒ素汚染が拡大し、国が定める飲料基準0.05mg/lを超える井戸は25%にものぼり、約3500万人の人々がヒ素中毒の危機にさらされている。そこで本研究では現地での水質観測と、そのデータを基にしたUSGS作成の差分法を用いた地下水流動解析プログラム、MODFLOW等によって地下水流動と物質輸送について調べ、汚染の現状把握や将来の汚染予測を行うことを目的としている。

2. ヒ素汚染の概要及び対象流域

ヒ素汚染は主に深さ40m以内の浅井戸で著しく、深さ150m以上の深井戸においてはほぼ確認されていない。また、ヒ素汚染はバングラデシュ南部・南東部において顕著であるが、北西部や標高の高い北部中央では顕在化していないという地域的な特徴を有している。しかしそのような北部のヒ素汚染が顕在化していない地域でも、局所的に高濃度のヒ素で汚染された井戸が確認されている。さらに、今から1万年前の完新世の沖積層やGangesデルタの堆積物が特にヒ素の影響を受けており、一方で更新世の土壌は通常、ヒ素の影響が小さいという知見が得られている。

Tab.1²⁾のように、ヒ素は硫化鉄や水酸化鉄などの鉱物に吸着・共沈された形、あるいは植物が枯死・堆積した泥炭層に濃縮された形で存在していることが明らかになっている。バングラデシュのヒ素は天然由来のもので、あるメカニズムによって地下に堆積したヒ素が地下水へ溶出していくものと考えられており、現在までのところそのメカニズムについては①還元状態下におけるヒ素を吸着した酸化鉄からの溶出と、②井戸の普及と揚水に伴って地下が酸化状態と変化し、地下に堆積した黄鉄鉱が酸化されることによってヒ素が溶出する³⁾という2つの見解が主流となっているが、未だ決定的な結論は得られていない。

対象流域は、Ganges川の下流のPadma川とGorai川で囲まれた、流域面積がおよそ17,000km²の地域である。当該地域の上中流域では地下水のヒ素汚染が著しく、ある区域では全井戸の80%以上で0.05mg/lを超えるヒ素が検出されており(Fig.1)、下流域では乾季における塩水侵入が懸念されている。

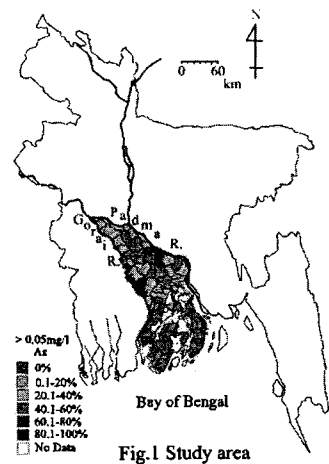


Fig.1 Study area

Table 1: Naturally occurring minerals containing arsenic (NRCC, 1978)

Mineral	Formula	Mineral	Formula
Arsenite	As	Arsenolite	As ₂ O ₃
Antimony arsenide	AsSb	Muscovite	Pb ₃ (PO ₄ AsO ₄)Cl
Realgar	As ₂ S ₃	Adamite	Zn ₂ AsO ₄ (OH)
Opimont	As ₂ S ₃	Erythrite	Co ₂ AsO ₄ ·8H ₂ O
Arsenopyrite	FeAsS	Anaerobicite	Ni ₂ (AsO ₄) ₂ ·8H ₂ O
Nicolite	NiAsS	Scorodite	(Fe Al)AsO ₄ ·2H ₂ O
Gersdorffite	CoAsS	Pharmacosiderite	Fe ₂ (AsO ₄) ₂ ·OH
Cobaltite	CoAsS	Olivine	Cu ₂ (AsO ₄) ₂ ·OH
Srualite	(Co,Ni)As ₂	Beudanticite	PbFe ₂ (AsO ₄) ₂ SO ₄
Skutterudite	(Co,Ni)As ₂		
Loellingite	(FeAs ₂)		
Tennantite	(Cu ₂ As ₂ S ₃)		
Jordanite	(Pb,Tl) ₂ As ₂ S ₃		
Pearceite	As ₂ As ₂ S ₃		
Promite	As ₂ As ₂ S ₃		
Energit	Cu ₂ As ₂ S ₃		
Raibite	Pb ₂ As ₂ S ₃		

3. 観測方法

2003 年 12 月 23 日～25 日に、Gorai 川と Padma 川の分流部付近である Kushtia 地方の飲料用・灌漑用井戸で、地下水位・DO・pH・EC・酸化還元電位等を測定した。現地の井戸のほぼ全ては、各自治体によって簡易的にヒ素濃度が測定され、バングラデシュの飲料基準を超えるヒ素濃度が観測された井戸は赤いペンキで、それ以外の安全だと思われる井戸は緑色のペンキで塗り分けられている。1 つの村において 3 箇所の異なる深さの井戸で観測を行ってサンプルを採取し、採取したサンプルのヒ素濃度は Atomic Energy Commission で分析を進めている。

4. 結果と考察

Tab.2 に現地での観測結果を示した。観測地域では浅井戸が主流であり、Gorai・Padma 両河川の分流点付近の West Gowteg や Shiraidha では汚染が顕在化していなかったが、それより南側の観測地では観測した井戸のほぼ半数でヒ素汚染が確認された。

酸化還元電位を表す Eh と DO の観測値より、一般的に観測地域の地層は還元状態であるが、特にヒ素で汚染されている地点で還元状態が進行していることが分かった。この結果より、特に Kushtia 地方においては、主に還元的なメカニズムによってヒ素が溶出していると推察された。また採取された水を数日放置したところ鉄分の沈殿が確認され、この地域ではヒ素が鉄と共沈して堆積した可能性があることが示された。

一方で硫化水素臭が確認された観測地もあり、堆積物中の硫化物がヒ素の溶出に影響を与えている地域があると推察された。

Tab.2 Actual measurement

No	village name	Well Depth (ft)	Well Depth (m)	GWD Depth (m)	Elevation (m)	DO (mg/l)	pH	Ec (μ s/cm)	Eh (mV)	Temp (°C)	Remarks
1-1	West Gowteg	120				0.04	6.66	853	40	24.7	As free
1-2	West Gowteg	70				0.20	6.67	823	25	27.0	As free
1-3	West Gowteg	90				0.00	6.65	793	75	28.4	As free
1-0	West Gowteg			2.91	12						
2-0	Shiraidha		22.8	6.62	29						
2-0-2	Shiraidha		18.0	6.48	34						
2-1	Shiraidha	90			10	0.00	6.85	887	50	28.3	As free
2-2	Shiraidha	120			36	0.00	6.72	941	30	27.5	
3-1	Nondalpur	110			41	0.00	6.80	922	<-100	28.3	As free
3-2	Charcapra	45			6	0.00	6.66	833	<-100	34.1	contaminated
3-3	Charcapra	120			12	0.10	6.55	766	<-100	28.1	contaminated
3-0	Charcapra			8.60	26						
4-1	Muskshedpur	100			33	0.00	6.81	778	25	28.3	
4-2	Muskshedpur	160	47.0	5.17	19	0.00	6.56	722	<-100	29.0	irrigation well contaminated
4-3	Kasheempur	130			15	0.00	6.67	893	<-100	29.0	contaminated
5-1	Baharampur	120			32	1.00	6.67	911	35	27.0	As free
5-2	Baharampur	150	47.0	4.86	9	0.00	6.47	887	<-100	28.5	irrigation well
5-3	Baharampur	130			26	0.00	6.68	1049	<-100	28.5	contaminated
6-1	Naduria	130			26	0.00	6.80	816	<-100	27.0	contaminated
6-2	Naduria		47.0	5.55	29	0.00	6.50	640	<-100	28.3	sulfated ir.Well
6-3	Naduria	160			20	0.00	6.60	733	25	28.3	
7-1	Adharjota	150			22	0.00	6.64	997	15	28.0	
7-2	Adharjota		46.5	4.00	12	0.00	6.73	1154	<-100	28.7	H ₂ S smell
7-3	Adharjota	450			12	0.00	6.54	1027	<-100	26.0	

5. まとめ

現地調査により地層が還元状態であることが示され、ヒ素汚染が確認された地域ではより還元状態となっていることが示された。この観測結果等を基にして、今後 MODFLOW 等による地下水流動・物質輸送の解析を進めることで汚染の現状把握や将来予測を行う予定である。

参考文献

- 1) DG Kinniburgh, P L Smedley : Arsenic contamination of groundwater in Bangladesh Vol 1: Summary, 2001
- 2) M. Feroze Ahmed : Arsenic contamination: Bangladesh perspective, ITN-BANGLADESH, p23, 2003