

バングラディッシュの地下水ヒ素汚染について

SUBSURFACE OCCURRENCE AND CONTAMINATION OF ARSENIC IN GROUNDWATER OF BANGLADESH

藤井 孝文¹ モハマド・マスド・カリム²

¹正会員 大日コンサルタント株式会社 (〒500 岐阜市藪田南3-1-21)

²正会員 大日コンサルタント株式会社 (〒500 岐阜市藪田南3-1-21)

Subsurface contamination of arsenic in the southwestern Bangladesh has threatened severely, which affects health of millions of people. A preliminary estimation reported that 44% of total area of Bangladesh (34 districts) and 53 million people are great risk of this disaster. Experts at Bangladesh Council for Scientific and Industrial Research (BCSIR) found the highest contamination of 14 mg/l in a shallow tube well water of Pabna district and 220 mg/kg of soil in Sylhet district ¹⁾. This paper is a preliminary investigation of the recent arsenic calamity in Bangladesh. In organizing the paper, water resources management and geo-hydrological occurrences have been discussed to figure out the reason of contamination. The concentration distribution of arsenic and the stratigraphic occurrence are presented. It is observed that arsenic concentration in tubewell water of 31 districts of Bangladesh contain above the maximum permissible limit (0.05 mg/l). And the concentration of arsenic in tubewell water decreases with the depth of subsurface.

Key Words : Bangladesh, Arsenic, Geo-hydrological occurrence of arsenic

1. はじめに

バングラデシュでは地下水と土壌がヒ素に汚染され、バングラディッシュ全体のおよそ44%(34地区)と5,300万人の農村の人々が、ヒ素中毒の危険にさらされていると考えられる。特にインドの西ベンガル地方の国境に接するバングラデシュ南西部では、土壌と地下水に高濃度のヒ素汚染が確認されている。

バングラディッシュでは、飲料水の85%程度を地下水に依存している。科学産業調査(BCSIR)では、パブナ地区北部の井戸の地下水中に最高で14mg/lのヒ素が検出された。またシルヘット地区の土壌中では220mg/kgのヒ素が検出された。¹⁾世界保健機構(WHO)が定める飲料水中のヒ素濃度の基準値は0.01mg/lである。一方、バングラデシュにおける基準値はこれよりゆるく、0.05 mg/lである。これらの基準値に比して、上記の観測値がいかに高いかが分かる。

ヒ素に汚染された飲料水を摂取することは、まずメラニン沈着、角質化、結膜炎、気管支炎、胃潰瘍を引き起こし、次に神経障害や肝炎を引き起こし、

最終的には胃腸炎による壊疽、肝硬変、皮膚癌を引き起こす。

この研究は現在のバングラデシュにおけるヒ素による地下汚染の予備的考察として、バングラディッシュ年報に基づいて井戸による灌漑面積の変遷を、18DTP(18 District Town Project)のデータに基づいてヒ素濃度の分布について分析したものである。

2. ヒ素汚染の現状と背景

(1) 西ベンガルのヒ素汚染

現在地下水のヒ素汚染の問題は世界の各地から報告されているが、インドの西ベンガルとバングラデシュの南西部におけるそれは最も大規模なものと考えられる。

インドの西ベンガル地方における地下水のヒ素汚染は、1978年頃に始まる。ヒ素研究に関する最初の公式報告は、Tropical Medicine学校(カルカッタ)の K. C. Shaha博士²⁾が1983年7月に発表している。

西ベンガルは6地区（人口3千万、面積34,000 km²）では、地下水中にWHOの基準値0.01mg/l以上のヒ素が検出された。表-1は、ヒ素汚染を受けた西ベンガルの6地区における調査結果である。ヒ素による健康被害を受けた人数は113万人に及ぶ。

ヒ素汚染を受けたブロック	37ブロック
ヒ素汚染を受けた村	312村
ヒ素汚染を受けた面積	7,719.4 km ²
ヒ素被害概算人数	1,132,304人
皮膚障害を受けた人数	175,908人

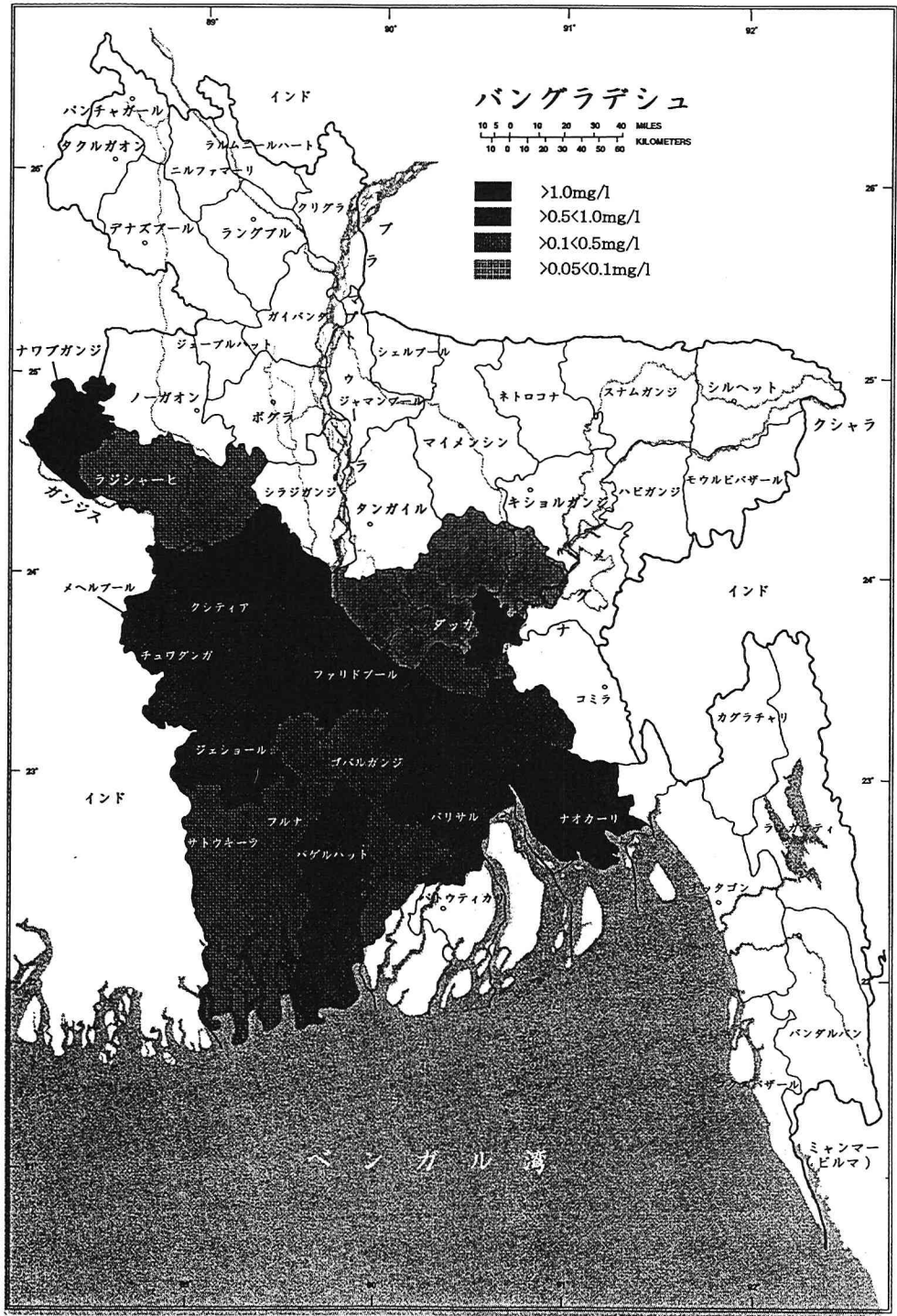


図-1 ヒ素による汚染地域と井戸水の汚染レベル

(2) バングラディシュ南西部のヒ素汚染

西ベンガル の調査結果から、国境を接するバングラディシュの西地区においても地下水のヒ素汚染が懸念された。DPHE (Department of Public Health and Engineering) は、1993 年 8 月から BAEC(Bangladesh Atomic Energy Commission)を通じてパンチャガル、タクルガオン、ディナズプール、ノーガオン、ナワブガンジ、チュワダンガ、メヘルプール、ジェナイダ、クシティア、サトゥキーラ、ジェショールで34地区の井戸の水質調査を行うことを決定した。

1996年の7月にクルナDPHE研究室は、バゲルハット、チュワダンガ、クシティア、メヘルプール、ゴパルガンジで53本の試料を採取して調査を行った。

1996年の8月にはラジュシャヒDPHE研究室がパブナ、ナワブガンジ、ラジュシャヒで43本の試料を採取して調査を行った。調査の結果は表-2、3に示す通りであり、それぞれ37本、24本の試料にWHOの基準値を越える汚染が確認された。

さらに1996年9月にBAECが、ナワブガンジのラジャマプール町で10本の試料を採取して調査を行った。調査の結果は表-4に示す通りであり、8本の試料にWHOの基準値を越える汚染が確認された。

これまで様々な組織によって行われた調査をまとめた最新の統計を表-5と図-1に示す。現在までにバングラディシュでは38地区において調査が行われ、31地区で約2,130万人がヒ素に汚染された水を飲んでいると見積もられる。

表-2 クルナDPHE研究室試験所の調査結果

地区名	資料数	ヒ素濃度 (mg/l)		
		<0.01	>0.01<0.05	>0.05
バゲルハット	13	5	4	4
チュワダンガ	19	8	11	-
クシティア	4	-	-	4
メヘルプール	6	3	-	3
ゴパルガンジ	11	-	3	8
Total	53	16	18	19

表-3 ラジュシャヒDPHE研究室試験所の調査結果

地区名	資料数	ヒ素濃度 (mg/l)		
		<0.01	>0.01<0.05	>0.05
パブナ	16	5	-	11
ナワブガンジ	25	12	-	13
ラジュシャヒ	2	2	-	-
Total	43	19	-	24

表-4 BAEC DPHE 研究室試験所の調査結果

地区名	資料数	ヒ素濃度 (mg/l)		
		<0.01	>0.01<0.05	>0.05
ナワブガンジ	10	2	-	8
Total	10	2	0	8

表-5 バングラディシュの38地区のヒ素汚染調査

汚染地区数	31地区
汚染地区面積	56,715 km ²
汚染地区の人口	4,900万人
調査地区の都市数	209市
汚染地区の都市数	110市
汚染濃度0.05 mg/l以上の都市数	90市
汚染濃度0.05 mg/l以上の都市面積	27,684 km ²
汚染濃度0.05 mg/l以上の都市人口	2,130万人

(3) ティーバッグ現象によるヒ素の溶出

これまでの研究によってヒ素の溶出する機構についてはティーバッグ現象という考え方が提唱されている。このメカニズムを図-2に示す。ヒ素の源泉はガンジス川の旧河道が岩盤を侵食して運んだ堆積物である。堆積物の中にはアルセノパイライト (FeAsS) と呼ばれるヒ素を含有する鉱物が形成される。アルセノパイライトは地下水中にある限り、不活性なままである。しかし空気との接触によりアルセノパイライトは水和化合物となる。

1960年代 (西ベンガルの緑の革命) 以降の集中的な灌漑によって帯水層は下がり、その層の水は空気と入れ替わって、アルセノパイライトは水和化合物となった。その後、雨期を迎える毎に地下水位は上がり、モンスーン洪水後に地下水位が下がるとティーバッグからにじみ出すように地下水にヒ素が溶出するというものである。

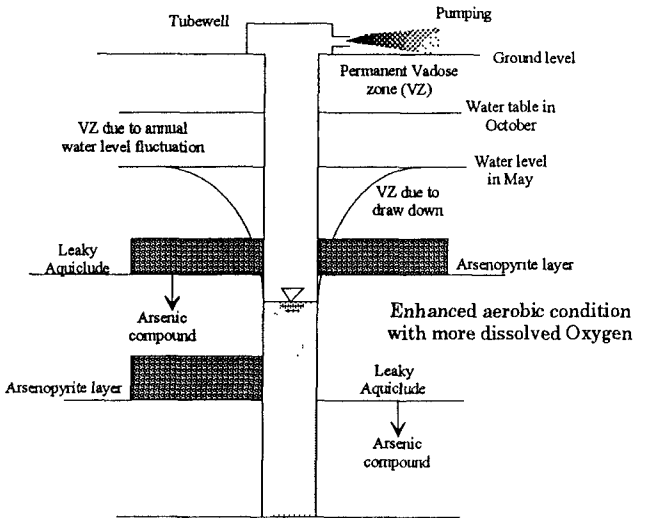


図-2 ティーバッグ現象によるヒ素の溶出

3. データの解析

(1) 調査データについて

今回の解析には次データを用いた。

バングラディッシュ年報⁴⁾

18DTPデータ⁶⁾

18DTP (18 District Town Project) は、1979年にオランダ政府の援助を得てバングラディッシュのLGRD (Ministry of Local Government and Rural Development) 省によって創設され、DPHEによって運営されている。

(2) 灌漑方式別の灌漑面積の変遷

図-3は、1979～1994年における灌漑方式別の灌漑面積の変遷を示す。地下から水を取る灌漑方式 (PowerPumps, Tubewells, Swing Baskets) による面積が増加する一方、川と運河からの表面水使用 (Canals) は減少している。これはバングラディッシュの地下水使用が着実に増加していることを示す。

1960年代半ばにインドの西ベンガルで起こった緑の革命の影響を受けて、バングラディッシュで初めての深井戸 (約120メートル) ができた。その後バングラディッシュ政府によって1980年代半ばまで、より大きく深い井戸が作り続けられた。大規模な農場経営者は機械式深井戸を、小規模な農民は安い浅井戸を作った。バングラディッシュ政府は地下水汲み上げの機械の輸入を積極的に行い、汲み上げの規制を行わなかったため井戸による灌漑は増加した。灌漑のための過剰開発と水管理の不足、帯水層の不十分な水補給が、バングラディッシュの至る所で水不足を導いた。地表面からの地下水深さが8m以深の地域がバングラディッシュ全体に占める割合は、1986年に12%、1992年に20%、1994年に25%と増加している。最近の研究では、乾期の北部地域における地下水深さが20m以深の割合が54%に及ぶと報告された。⁵⁾

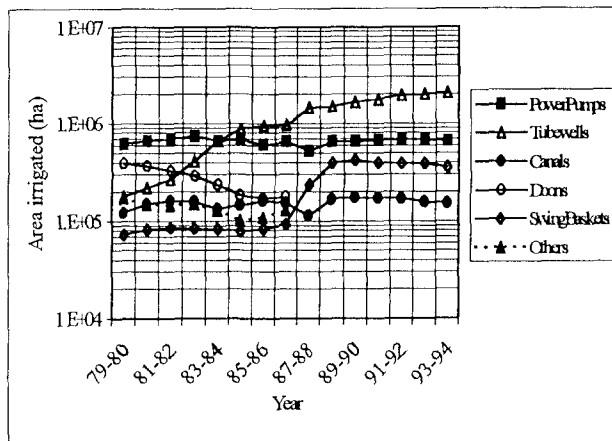


図-3 灌漑方式別の灌漑面積

(3) 地域別の井戸による灌漑面積の変遷

図-4、5は、地域別の1983～1993年の深井戸、浅井戸によって灌漑された面積を示す。両方の井戸による灌漑面積は年を追うごとに増加し、バングラディッシュ全体で深刻な水不足を示しているといえる。灌漑のための地下水汲み上げの他に国内の飲料水の85%以上は、地下水によってまかなわれている。⁵⁾ 人口約1千万の首都ダッカは、生活用水の95%を地下水でまかなっている世界の唯一の都市である。ダッカではWASA (Water Supply and Sewerage Authority) によって210箇所の深井戸が稼働している。他にNGOsの400箇所の深井戸が稼働している。さらにWASAはダッカ周辺で100箇所のより深い井戸を計画している。1990年にWASAはダッカの地下水調査で地下水位が急激に下がっているということを確認した。その理由について帯水層の過剰開発と不十分な水補給が原因であると述べている。

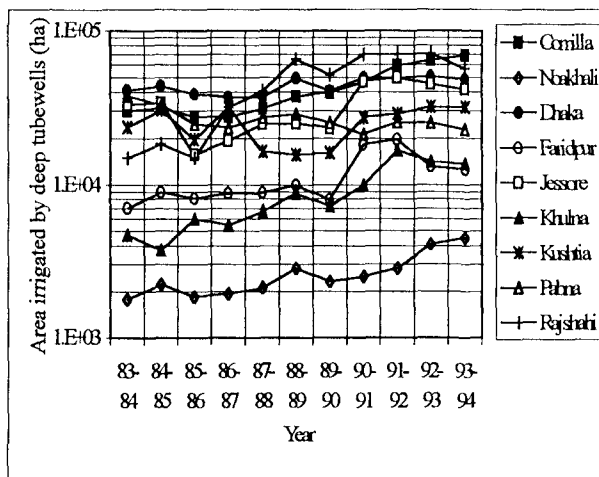


図-4 深井戸による地区別の灌漑面積

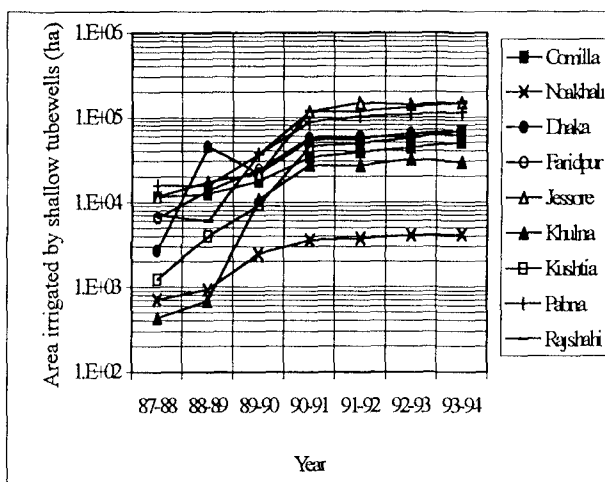


図-5 浅井戸による地区別の灌漑面積

(4) 18DTPによるヒ素汚染調査

18DTPは、1995年12月、1996年8月、1996年12月の3回にわたって井戸水を調査している。18地区のうち6地区の井戸水でWHOの基準値以上のヒ素が検出された。ヒ素汚染が確認された6地区の調査結果を表-6に示す。しかしこれらの中においても、いくつかの井戸ではヒ素濃度がWHOの定める基準値以下であった。ヒ素汚染が場所により認められないことは、ヒ素汚染が局所的な地下水理現象と人間の活動に影響されることを示しているといえる。

表-6 ヒ素汚染が認められた6地区の調査結果

地区名	ヒ素濃度 (μg/l)					Total
	< 2	2~ 10	10~ 50	50~100	> 100	
マニカマシ	1	3	10	3	0	17
マグラ	2	4	5	2	0	13
ナライル	2	2	9	0	1	14
サトキラ	1	0	8	5	1	15
メルポール	1	2	12	4	4	23
シェルポール	1	3	2	0	0	6

(5) 井戸の深さとヒ素汚染濃度の関係

図-6は井戸の深さと地下水中のヒ素の濃度の関係を示す。1996年12月のデータではヒ素の濃度は、深さにしたがって減少する傾向にある。このことは予想されたことであるが、いくつかの試料にはこの傾向に反対する結果があった。

(6) 年次変化とヒ素汚染濃度の関係

図-7は、1995年と1996年の12月における井戸の深さと汚染濃度の関係を示す。1995年に比べ1996年にはより低いヒ素濃度が観測された。これがヒ素の年次の変動であるかは不明確である。

(7) 季節変化とヒ素汚染濃度の関係

図-8は、1996年8月と12月における井戸の深さと地下水中のヒ素濃度の関係を示す。地下のヒ素濃度はほとんどの井戸において12月の方が8月より低い。汚染を受けた地域のほとんどが、ガンジスーパナ河のデルタにあり、河川の影響を受けているものと考えられる。ガンジス河のHardinge橋における平均流量は、8月が23,900m³/s、12月が2,680 m³/sであった。

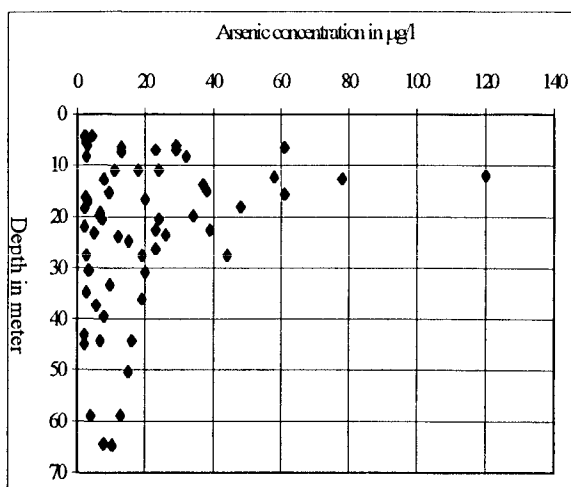


図-6 ヒ素濃度と井戸の深さの関係

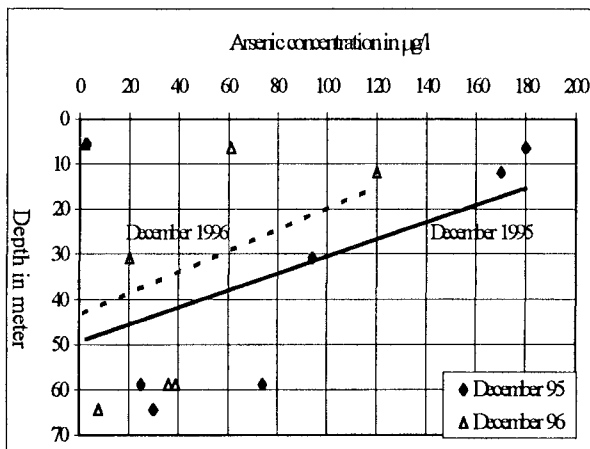


図-7 1995年と1996年の12月におけるヒ素濃度と井戸の深さの関係

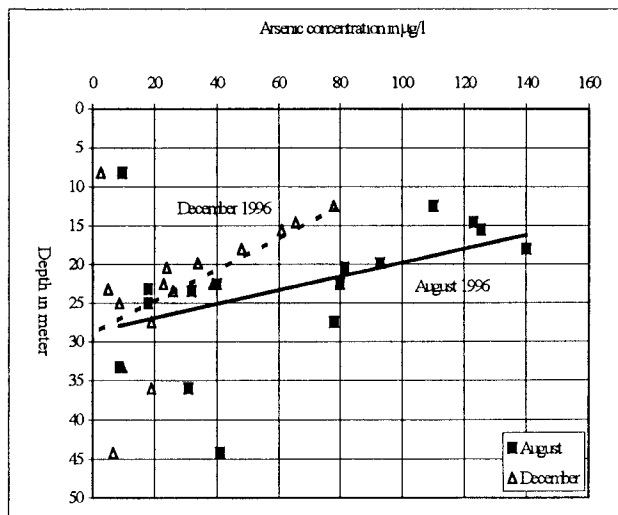


図-8 1996年8月と同年12月におけるヒ素濃井戸井戸の深さの関係

4. 結 論

以上の考察により次の結論が導き出される。

①バングラディシュのほぼ44%にわたる広い範囲で地下水が基準値以上の高濃度のヒ素汚染にさらされていると見積もられる。

②高濃度に汚染された地区においても、いくつかの井戸は基準値以下であり、局所的な現象や人間の活動に起因していると考えられる。

③ヒ素汚染濃度は井戸が深くなると低くなる傾向にある。しかし若干の試料はこの傾向の逆であった。

④同じ井戸における1996年12月のヒ素濃度は1995年12月より低い濃度であったが原因は不明確である。

⑤同じ井戸における1996年12月のヒ素濃度は同年の8月より低い濃度であった。季節変動は河川の流量に起因するものと考えられる。

今後の課題として次の項目について、研究を進めることが必要と考えられる。

①安価で簡易な浄水システムの開発と供給が必要である。

②表面水の利用と給水システムの計画と管理を進める必要がある。

③ヒ素による地下汚染現象を解明するために詳細の調査と研究が必要である。

謝 辞

本研究を行うにあたり、多くの調査データの提供を頂いたDPHEに深く感謝します。

参考文献

- 1) The New Nation, A daily newspaper of Bangladesh, 11 November, 1996.
- 2) 堀田宣之, 「砒素は全身を冒す」を実感, アジア砒素ネットワークニュースレターNO.1, 1996.
- 3) Das, et. al. (1994), Arsenic Contamination in Groundwater in Six Districts of West Bengal, India: the Biggest Arsenic Calamity in the World, Analyst, 119, pp.168N-170N.
- 4) Statistical YearBook of Bangladesh (1995), Bangladesh Bureau of Statistics, Government of Bangladesh.
- 5) NMIDP, Groundwater Development Potential, National Minor Irrigation Project, Bangladesh Water Development Board.
- 6) 18DTP, DPHE Presence of Arsenic in Groundwater in the 18 District Towns Project, a DPHE Project Report Working with Dutch Aid, 1996.

(1997. 9. 30受付)