

バングラデシュ国
砒素汚染地域地下水開発計画調査
事前調査報告書

平成12年2月

国際協力事業団

序 文

日本国政府は、バングラデシュ人民共和国政府の要請に基づき、砒素汚染地域の地下水開発計画に係る調査を実施することを決定し、国際協力事業団がこの調査を実施することといたしました。

当事業団は、本格調査に先立ち、本件調査を円滑かつ効果的に進めるため、平成11年12月7日より12月17日までの11日間にわたり、当事業団社会開発調査部社会開発調査第二課課長代理 松島正明を団長とする事前調査団（S/W協議）を現地に派遣しました。

調査団は、本件の背景を確認するとともに、バングラデシュ国政府の意向を聴取し、かつ現地踏査の結果を踏まえ、本格調査に関するS/Wに署名しました。

本報告書は、今回の調査を取りまとめるとともに、引き続き実施を予定している本格調査に資するためのものです。

終わりに、調査にご協力ご支援を頂いた関係各位に対し、心より感謝申し上げます。

平成12年2月

国際協力事業団
理事 泉 堅 二 郎



目 次

序文

調査対象地図

写真

第 1 章 事前調査の概要 -----	1
1 - 1 要請背景 -----	1
1 - 2 調査団の構成 -----	1
1 - 3 調査日程 -----	2
1 - 4 協議概要 -----	2
1 - 5 現地調査結果概要 -----	3
第 2 章 調査対象地域の概要 -----	5
2 - 1 自然状況 -----	5
2 - 2 社会・経済状況 -----	6
2 - 3 水利用状況 -----	11
2 - 4 環境・衛生状況 -----	12
第 3 章 砒素汚染の状況と課題 -----	13
3 - 1 砒素遅汚染対策に関する行政組織 -----	13
3 - 2 バングラデシュ国の砒素汚染の現状 -----	16
3 - 2 調査対象地域の砒素汚染の現状と課題 -----	20
第 4 章 本格調査の基本方針 -----	44
4 - 1 本格調査の目的 -----	44
4 - 2 調査対象範囲 -----	44
4 - 3 調査項目と内容 -----	44
4 - 4 調査工程と要員構成 -----	45
4 - 5 調査用資機材 -----	47
4 - 6 調査実施上の留意点 -----	50

付属資料

1 . 要請書及びTAPP、S/W、M/M -----	57
2 . 主要面談者リスト -----	96
3 . クエスチョネア -----	98
4 . 収集資料リスト -----	106
5 . ローカル・コンサルタントリスト -----	110
6 . 物価調査表 -----	113

第 1 章 事前調査の概要

1 - 1 要請背景

バングラデシュ人民共和国では、近年全国的規模で地下水の砒素汚染が広がっており、中毒患者の急増など社会的に深刻な問題となっている。同国政府は、本件対策に関する国家対策委員会（20名）を設置し、安全な飲料水の供給、保健・栄養等に係る対策を検討中であるが、同発生のメカニズムが不明確であることにより、効果的な対策が講じられていない。

砒素問題に対しては、WHO、UNICEF、英国国際開発庁（DFID）等国際機関及び各国援助機関も原因究明、対策の立案等を行っているが、まだ研究途上にとどまっている。また、バングラデシュ国内及び国外NGOも各地での被害発生状況調査等を実施しているが、調査結果に係るデータ蓄積及び分析が効率的になされていない状況にある。

我が国は1980年代よりバングラデシュ国内の飲料水供給に関する協力を実施しており、井戸施設の建設等を中心に供与しているが、供与済施設の一部が砒素のため使用停止となる問題が生じており、1998年4月に砒素対策プロジェクト形成調査を行った結果、本件開発調査の必要性が確認され、1998年10月には砒素汚染現状の把握のための短期専門家3名が派遣された。

かかる状況の下、バングラデシュ国政府は我が国に対し、1998年砒素汚染対策に係る開発調査を要請した。これを受けてJICAは平成11年12月に事前調査団を派遣し、S/Wを署名・交換した。

1 - 2 調査団の構成

担当業務	氏 名	所 属
総 括	松島 正明	国際協力事業団社会開発調査部社会開発調査第二課課長代理
調査企画	井上 健司	国際協力事業団社会開発調査部社会開発調査第二課
水理地質	富田ゆきし	(株)地球システム科学
水質分析	重本 直也	(株)四国総合研究所
給水計画	福田 文雄	(株)ソーワコンサルタント

1 - 3 調査日程

日順	月 日	曜日	日 程
1	12月7日	火	移動 東京 バンコク
2	8日	水	移動 バンコク ダッカ、JICA 打合せ、世界銀行訪問
3	9日	木	計画省、ERD、LEGD、DPHE 訪問
4	10日	金	移動 ダッカ ジョソール、ジョソール県現地調査
5	11日	土	チュアダンガ県現地調査
6	12日	日	ジェナイダ県現地調査、移動 ジョソール ダッカ
7	13日	月	団内打合せ（ハルタル）
8	14日	火	DPHE と S/W 協議
9	15日	水	S/W 締結、日本国大使館表敬及び報告
10	16日	木	松島団長、井上団員帰国、移動 ダッカ バンコク経由で 17 日東京着 ローカル・コンサルタント（BETS）、 コンピュータ販売会社（Dafodil Computer）訪問調査
11	17日	金	マニクガンジ県の ARP を現地調査
12	18日	土	資料整理
13	19日	日	ローカル・コンサルタント（EPC）、原子力センター（水質分析）、 DWASA（井戸掘削）訪問調査
14	20日	月	BWDB（井戸掘削）、EGIS（GIS データベース）、 Soiltech（井戸掘削）訪問調査
15	21日	火	移動 ダッカ ジョソール、ジョソール県現地調査、 クルナ県 DPHE 事務所ラボ現地調査
16	22日	水	チュアダンガ県現地調査
17	23日	木	ジェナイダ県現地調査
18	24日	金	ジョソール県現地調査、移動 ジョソール ダッカ
19	25日	土	水質分析機器市場調査、ローカル・コンサルタント（BETS）訪問調査、 物価調査
20	26日	日	ローカル・コンサルタント（EPC）、EGIS（GIS データベース）、 コンピュータ販売会社（Flora）訪問調査、JICA 事務所報告
21	27日	月	役務団員帰国、移動 ダッカ バンコク
22	28日	火	移動 バンコク 東京

1 - 4 協議概要

(1) 計画省経済開発計画アドバイザー/12月9日

調査団より、本件調査の背景、経緯などを説明のうえ、先方要請内容を踏まえた当方S/W案を示した。同案件のバングラデシュ国側の要請内容に係るTAPP (Technical Assistance Project Proposal)について、修正・再提出が必要となるため、計画省内における同書類の手続きを可能な限りすみやかに進めてほしいと要望を伝えた。

(2) 大蔵省経済協力局(ERD)/同9日

調査団より、本件調査の背景、経緯などを説明のうえ、先方要請書内容を踏まえた当方S/W案を提示し、具体的な調査項目等に係る説明を行った。ERDからは、本件開発調査の実施に際しては、実施機関であるDPHEなどとの協議をまず優先してもらい、右結果を踏まえて15日

の協議に備えたい旨表明越した。

(3) 地方政府農村開発共同組合省(LGRDC)/同9日

- 1) 調査団より、バングラデシュ国内での砒素汚染に関する問題点(政府、ドナー及びNGO等との連携・協調不足、情報の一括管理不足等)を提起のうえ、右を踏まえた当方の考え方、本件調査の目的、具体的調査項目等を説明した。
- 2) 先方より、バングラデシュ国内における地下水(特に砒素汚染の少ない深層地下水)の開発は安全な水供給の観点から、非常に重要であるとの説明があり、右に係る日本側協力を歓迎する旨謝意の表明があった。さらに、調査の実施に際して、特に農村部における公衆衛生の普及も可能な限りコンポーネントに盛り込むよう要望があった。
- 3) 右を受け、当方より、砒素に汚染された農村部における公衆衛生の観点は重要であると考えており、他ドナー(特にUNICEF)が実施している公衆衛生プログラム等との整合性をとりつつ、調査のなかで可能な限り取り組んでいきたい旨を表明した。

(4) 計画省計画局/同15日

当方より、本件 調査の背景、経緯などを説明のうえ、具体的な調査項目等を説明した。また、本件調査の開始に先立ち、既存TAPPの改定が必要になること及び同改訂に際して計画省のアシストを依頼したい旨申し入れたところ、先方より、本件砒素対策の実施は緊急であり、計画省としても全力でアシストする旨表明があり、2週間程度で改訂手続きは終了させることが可能である旨コメントがあった。

1 - 5 現地調査結果概要

(1) ジョソール県(DPHE事務所)

- 1) 同県人口は約250万人、その内約63万人が汚染人口であるとの説明があった。同県内にDPHEが所有する公共井戸数は約2万、その他深井戸が60程度あるとのことであった。
- 2) ジョソール県でもっとも汚染が激しい郡は、シャシャ及びジガルガッチャであり、前者においては、日本のNGO(アジア砒素ネットワーク、AAN)が活動しており、後者においては、バングラデシュ国内NGOであるBRAC (Bangladesh Rural Advance CommIttee)が井戸水に関する調査を実施中とのことであった。その他県内での砒素汚染関連の活動としては、保健省保健局がビタミン剤の投与等を行っている。
- 3) ジガルガッチャ郡では、伝統的な深井戸の掘削現場を視察したが、ドンキー方式と言われる、人力に頼る工法で掘削していた。石工法は手動ポンプで泥水を循環させつつ、ロッドの自重のみにより掘削するため、一定限度の井戸しか掘削することができない(最大100メートル)

ル程度)。また、深層部の比較的汚染度の低い地下水が浅層部の汚染水と混ざりあう不具合が生じる可能性があるように思われた。

- 4) シャシャ郡には、2586本の井戸があり、同公共井戸のほかに民間井戸が約18千本ある。DPHEの井戸に関しては、井戸台帳があり、井戸の場所、タイプ、掘削日、完工日等が記録されている。また、掘削記録もあったが、必ずしも正確でなく、データとしては不十分であるように思われる。
- 5) 同県内で独自の調査研究活動を行っている、我が国NGOであるAANの活動現場であるシャムタ村も参考のため視察したが、既存のため池を利用したPSF第2号機が建設中であった。観測井戸も五箇所で村人自身で観測中であったが、同施設等の維持管理については、今後検討すべき課題が多い様子であった(具体的には、料金徴集体制等)。

(2) チュアダンガ県

- 1) チュアダンガ県は人口約100万人、約8,000箇所の公共井戸がある。DPHEが保有する深井戸はない。当方より、今次調査の目的、項目などを説明のうえ、公衆衛生局が保有する情報量を質したところ、中央本部からの情報をはじめ、他ドナーの活動状況及び結果等はほとんど知らされていない様子であった。右は、本件砒素対策を検討する際の実施体制につき、十分配慮する必要があると思われる。
- 2) 当地では、1980年代中ごろに我が国無償資金協力にて建設された井戸施設(深さ107メートル)があり、深井戸掘削とともにポンプを新設した3箇所とポンプ更新1箇所の計4箇所を視察し、広中式簡易キットを使用して砒素濃度を検査した。右結果、あくまで参考値ではあるものの、4箇所の井戸すべてでバングラデシュ基準である0.05mg/lを超える砒素が検出されたところ、当方より、DPHE事務所責任者に対し、早急に当該場所をはじめとする数箇所の井戸のサンプルを採取して、クルナの実験所で検査するよう提言した。

(3) ジェナイダ県

- 1) 同県人口は、約160万人、汚染人口は約20万人との説明があり、県内のDPHE井戸数は約14千本(深井戸なし)であるとのことであった。同県内にも我が国無償資金協力にて建設された2本の井戸と1箇所のポンプ更新場所があるため、チュアダンガ県同様簡易キットを用いた検査を行った。
- 2) 上記結果、1箇所では0.07~0.15mg/l程度の砒素が検出され、既存の井戸において、ポンプのみ更新した場所では0.10mg/lを超える砒素が検出された。新規に掘削した場所では、本年2月より、地中で細砂が混入したことにより、稼働を停止していた。

第2章 調査対象地域の概要

2 - 1 自然状況

(1) 地形

バングラデシュ国の地形は、チッタゴン丘陵を中心とする東部丘陵地帯と、その他大部分を占める河川の氾濫原である平原部に大別され、調査対象地域は、平原部のガンジス氾濫原に位置している。図2-1にバングラデシュ国の地形区分を示す。

ガンジス氾濫原、旧プラフマプトラ及び中部メグナ氾濫原は、地形学的にみて、毎年のように洪水によって肥沃度が再生されるため、バングラデシュ国のなかでもっとも農業生産性の高い地域となっている。

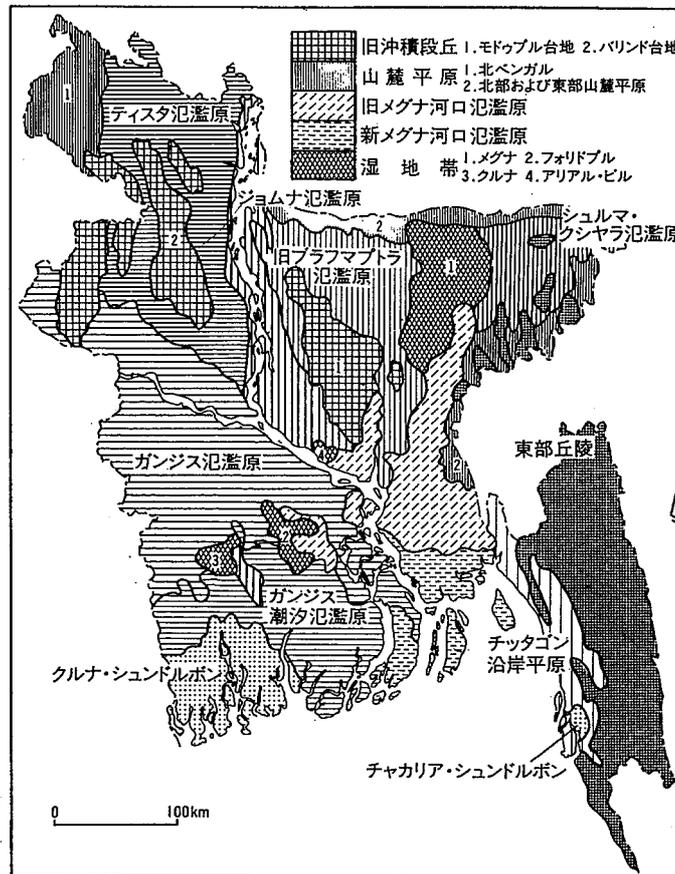


図2-1 バングラデシュ国の地形区分

(2) 地質

調査対象地域の地質は、第四紀の河川堆積物が厚く堆積しており、この堆積物は層相が粘性土、砂質土、砂礫層からなっている。粘性土は地表部に分布しており、層厚は深いところで20m前後を示しているが、一様でなく比較的薄いところも存在している。特に、地表に近い有機物を含んだ粘土層は、他の地層に比べ地層中の砒素含有量が多いことが、アジア砒素ネットワークの調査（1999年4月）で明らかになっている。

砂質土は粘性土の下位に分布し、層厚はジェナイダで60m前後、チュアダンガで50m前後となっている。多くの浅井戸はこの砂質土層を帯水層としている。この砂質土層の下位に粘性土層と砂質土層が交互に存在している。チュアダンガでは、GL-60m以深には中砂から砂礫で成る粗粒子層が分布しており、この層には礫径20～30mmの円～亜円礫が混入している。

(3) 降雨及び気温

季節は乾期（11月～3月）と雨期（4月～10月）に分かれ、調査対象地域では年間1600～1700mm前後の降雨量がある。ジョソールの雨期の平均気温は、28.5℃、乾期は19℃であるが、最高気温は3月～10月にかけて31～36℃前後となり、反面気温が低くなる1月の最低気温は12℃前後となっている。

2 - 2 社会・経済状況

(1) 国の人口

バングラデシュ国統計局（Bangladesh Bureau of Statistics）では、10年周期で人口調査を行っていて、第3次調査を1991年3月に実施した。（次回は2001年）

この調査では、1991年の全人口は111.4百万人（122百万人：1997）であり、内都市部の人口は20.1%、農村部の人口は79.9%である。人口密度は、755人/km²となっている。

都市圏（Statistical Metropolitan Area: SMA）別に見ると（1991年）、首都Dhaka圏は面積1,363km²、人口約684万人、Chittagong圏は面積986km²、人口約235万人、Khulm圏は面積267km²、人口約100万人、Rajshahi圏は面積377km²、人口約54万人である。その他の都市としては、Barisal, Sylhet, Mymensigh, Comilla等がある。バングラデシュ国の家族計画は成功しており、受胎率は1975年に婦人1人当たり6.3人であったのが、1995年には3.5人にまで低下している。人口増加率も1991年以降は年2.17%程度と推測され、経済成長率をかなり下回るまでになっている。今後の人口増加率を年2.1%と推定し、出生率と死亡率の減少を織り込んだうえで予想すると、2000年の人口は130百万人程度と見込まれる。このように増加率は低下してはいるものの、35～40年後には人口が倍となり、230～280百万人のレベルで横ばいとなると予想されている。

(2) 国の社会状況

以下に社会状況を示すおもな指標を挙げる（数字は原則として1995/96）。

- 1) 粗出生率 (Crude Birth Rate per 1000 population) : 26.9%
- 2) 粗死亡率 (Crude Death Rate per 1000 population) : 8.5%
- 3) 発育率 (Growth Rate per 1000 population) : 18.4%
- 4) 胎児死亡率 (Infant Mortality rate per 1000 live birth) : 78%
- 5) 避妊具普及率 (Contraceptive Prevalence Rate) : 48.7%
- 6) 出生時余命 (Life Expectancy at Birth; Years) : 58.7 (男 : 58.2、女 : 57.9)
- 7) 一病床当人数 (Person per Hospital Bed) : 3,288
- 8) 一医師当人数 (Person per Physician) : 4,725
- 9) 一看護婦当人数 (Person per Nurse) : 9,630
- 10) 平均初婚年齢 (Mean Age at first marriage) : 18.3
- 11) 飲用水利用可能率 (Access to Safe drinking Water household) : 96.3%
- 12) 衛生的便所利用可能率 (Access to Hygienic Toilet household) : 33.5%
- 13) 民間労働人口 (Civilian Labor Force; million) : 51.2
- 14) 産業別労働人口比率/農業 : 66.4%、工業 : 12.0%、その他 : 21.6%
- 15) 失業率 (Unemployment Rate) : 18.5%
- 16) 日摂取2122カロリー以下者比率/都市 : 46.7%、農村 : 47.8%
- 17) 日摂取1805カロリー以下者比率/都市 : 26.2%、農村 : 28.3%
- 18) 7歳以上の国民の識字率 : 32.7%
- 19) 宗教別人口構成/回教徒 (Muslim) : 88.3%、ヒンズー教徒 : 10.5%、仏教徒 : 0.6%、キリスト教徒 : 0.3%
- 20) 学校数
 - 国立総合大学 (Govt. University) : 11
 - 私立総合大学 (Non-Govt. University) : 18
 - 国立医科大学 (Govt. Medical College) : 13
 - 私立医科大学 (Non-Gov. Medical College) : 5
 - 工科大学 (Engineering College) : 4
 - 大学 (College) : 1,268
 - 中等学校 (Secondary School) : 11,019
 - 初等学校 (Primary School) : 61,550
- 21) 学校在籍者数
 - 総合大学学生数 (University Enrollment) : 134,813

大学学生数 (College Enrollment) : 1,032,635

中等学校学生数 (Secondary School Enrollment) : 4.9 million

初等学校学生数 (Primary School Enrollment) : 16.6 million

(3) 国の経済

以下に産業・経済状況を示すおもな指標等を挙げる (数字は原則として1995/96)。

1) 主たる農産物

米、小麦、ジャウト、イモ、サトウキビ、茶、タバコ、豆類 (pulses)、香辛料、バナナ、マンゴ、ココナッツ

2) 主たる産業

ジャウト・綿織物業、衣料業、茶加工業、製紙業、セメント製造業、化学肥料製造業、製糖業、

3) 主たる鉱産物

天然ガス、褐炭 (lignitecoal)、石灰岩、陶器・ガラス原料

4) 主たる輸出品

既製衣料品、原ジャウト、ジャウト製品、茶、魚、皮革、新聞用紙

5) 国内総生産 (GDP in 1995/96) : Tk1,301billion (US \$ 32billion)

6) 国内総生産産業別比率 (%) :

農林水産業 (30.7)

工業 (9.6)

建設業 (5.8)

運輸倉庫通信 (11.2)

公益事業 (2.1)

通商 (9.0)

住宅 (9.5)

行政防衛 (5.5)

銀行保険 (1.9)

その他 (14.4)

7) 1人当たり国内総生産 (Per Capita GDP) : Tk10,821 (US \$ 265)

8) 国内総生産実質年成長率 (GDP Growth Rate) : 4.7%

9) 国内貯蓄率 (Domestic Saving/GDP) : 7.8%

10) 国民貯蓄率 (National Saving/GDP) : 15.3%

11) 粗投資率 (Gross Investment/GDP) : 17.0%

- 12) 公共投資率 (Public Investment/GDP) : 6.3%
 - 13) 企業投資率 (Private Investment/GDP) : 10.7%
 - 14) 輸出額 (Value of Exports : million US \$) : 3,800
 - 15) 輸入額 (Value of Imports : million US \$) : 6,500
 - 16) 輸出率 (Exports/GDP) : 11.9%
 - 17) 輸入率 (Imports/GDP) : 20.4%
 - 18) 当座国際収支 (Current Account Balance/GDP) : (-) 4.0%
 - 19) 外貨保有高 (Foreign Exchange Reserves : million US \$) : 2,039
 - 20) 外貨受取高 (Remittances from Abroad : million US \$) : 1,215
 - 22) 為替交換率 (Exchange rate : Tk/US \$) : 40.84
- 22) 国家財政
- 総支出 (Total Expenditure/GDP) : 18.1%
 - 総歳入 (Total Revenue/GDP) : 11.9%
 - 財政赤字 (Overall Deficit) : 6.2%

バングラデシュ国の1996予算年度の国内総生産 (GDP) 実質年成長率は4.7%であった (1992予算年度 : 4.2%、1993予算年度 : 4.5%、1994予算年度 : 4.2%、1995予算年度 : 4.4%)。

この成長率は発展途上国の平均に近いものではあるが、貧困状態から大幅に転換しようとする多くの変革計画が目標とする数字からはかなりの隔たりがある。

農林水産業は、労働力の66.4%を雇用する中心部門であってGDPの31%を占める。内訳を見ると、農業が73.2%、漁業が9.6%、畜産業が9.7%、林業が7.5%となっている。バングラデシュ国の国土は世界でももっとも肥沃であるが、資本や技術力の不足のために、単位面積当たり収穫量は世界最低の段階にある。また、農林水産業が経済の中心であるため、バングラデシュ国経済は天候や農産物の国際価格変動に左右されやすく、1987年、1988年の大洪水や1991年のサイクロンなどでは大きな打撃を受けた。政府財政支出の約40%を外国援助に依存している。

(4) 国の立法組織

バングラデシュ国の議会は一院制で、選挙区から選出された300名の議員と、この選挙区選出議員による間接選挙によって選ばれる30名の婦人議員の計330名から成る。Jatiya Sangsadと呼ばれるこの議会が、憲法の定めるところにより、国の立法権のすべてを行使する。

(5) 国・地方の行政組織

バングラデシュ国の行政の長は、大統領によって多数党首から選ばれる首相である。国は行政上の便宜から6つの行政地域（Administrative Division）に分けられ、各々に地域長官（Divisional Commissioner）が置かれる。そして、各々の地域（Division）は更にZila（県）に分割される。1984年に実施された行政改革によりZilaの数は64となった。各Zilaには副長官（Deputy Commissioner）が置かれる。Zilaは更にThana（タナ）に分けられ、Thana長官（Thana Nirbahi Officer）が置かれる。現在Thanaの数は490である。

選挙によって選ばれる地方自治体は、都市地域においてはPourshava（町：Municipality）、農村地域ではUnion Parishad（Union Council）と呼ばれる。さらにZilaとThana、には、それぞれZila Parishad、Thana Parishadがある。現在、全国のMunicipalityの数は107、Unionの数は4,451である。

(6) 調査対象地域の社会経済状況

調査対象地域内のジョソール県には8つのタナ、ジェナイダ県には6つのタナ、チュアダンガ県には4つのタナがあり、それぞれのタナの1998年における推定人口を表2-1に示す。調査対象地域の全人口は約510万人であり、ジョソール県が約250万人、ジェナイダ県が約160万人、チュアダンガ県が約100万人となっている。

調査対象地域は典型的な米作を中心とした農村地帯であるが、都市部ではジュート等の農産物の集積地として、ダッカ - インド、ダッカ - クルナ道路の要衝として、商業活動が盛んである。特に大きな工場はないものの、家内工業が盛んでレンガ工場が多く立地している。

表2-1 調査対象地域のタナとその人口

県名	タナ名	人口(1998年)
Jessor	Jessor	631,480
	Abhoynagar	243,572
	Bagarpara	201,064
	Jhikargacha	280,738
	Monirampur	388,104
	Keshabpur	238,306
	Sharsa	308,002
	Chowgacha	216,407
District Total		2,507,673
Jhenaidha	Jhenaidha	396,553
	Sailkupa	349,124
	Hornakunda	192,900
	Kaliganj	260,796
	Kotchandpur	127,577
	Moheshpur	293,197
District Total		1,620,147
Chadanga	Chadanga	265,701
	Alandanga	292,214
	Dhamurhuda	253,851
	Jiban Nagar	148,892
District Total		960,658
Grand Total		5,088,478

出所：DFIF 1999

< 2-2の各種データの出所 >

- "1995 Statistical Yearbook of Bangladesh" Bangladesh Bureau of Statistics, Ministry of Planning、1996年12月刊
- "Bangladesh Economic Review1996" Ministry of Finance、1996年8月刊
- "Statistical Pocketbook of Bangladesh 1996" Bangladesh Bureau of Statistics, Ministry of Planning、1997年1月刊

2 - 3 水利用状況

(1) 都市部

調査対象地域の都市部(町)における水道水は、現在37本の生産井戸により供給されている。ジョソール県(1町)で13本、ジェナイダ県(5町)で18本、チュアダンガ県(1町)で6本となっている。この内、1984年度JICA無償資金協力(飲料水給水施設整備計画)で設置された井戸は、ジェナイダ県で3本、チュアダンガ県で2本の計5本である。

1日の供給量は、ジョソール町で9,560m³/日、ジェナイダ町で2,100m³/日、チュアダンガ町

で2,500m³/日であり、給水人口は約20万人で、調査対象地域の全人口510万人に対し約4%の普及率にとどまっている。

しかしながら、都市部の水需要の要求は大きく、給配水管網の拡張と生産井戸の増設が必要となっている。水道水源については、都市部を流れる河川はあるものの、乾期には水がわずかに流れる河川であり、通年の水道水源とはしては利用できない。

(2) 農村部

調査対象地域の農村部では、飲料水、農業用水ともに井戸による地下水を水源としている。調査対象地域内には、飲料水用としてDPHEの井戸が約4.5万本、個人の井戸が約21.4万本、合計約25.9万本の井戸がある。一方、農業用水としてBADC (Bangladesh Agriculture Development Cooperation) の井戸が約1.8万本、個人の井戸が約7.0万本、合計約8.8万本の井戸がある。農業用の井戸は乾期にのみ使用されている。

2 - 4 環境・衛生状況

バングラデシュ国の各都市における環境衛生施設の責任機関は以下のとおりである。

表2-2 環境衛生施設責任区分

都 市	施設区分	機 関 名		
		DWASA	SWASA	DPHE
ダッカ市	上水道			
	下水道			
	排水及び廃棄物			
チッタゴン市	上水道			
	下水道			
	排水及び廃棄物			
その他の都市	上水道			
	下水道			
	排水及び廃棄物			

(注) CWASA、DWASA、公衆衛生技術局 (DPHE) は、地方自治体開発省が管轄している。

WASA (Water Supply and Sewerage Authority) が管轄しているのは、ダッカ市とチッタゴン市の2市である。クルナ市においてもWASA設立の法案が成立しているが、まだ実施に至っていない。その他の地方都市の水道事業はすべてDPHEの管轄となっている。通常、水道施設の建設をDPHEが行い、管理運営は地方自治体 (町 : Pourashava) が行っている。

下水道は、ダッカ市の一部に下水管渠が布設されているが、チッタゴン市を含め、地方都市に下水道施設はなく、無処理のまま河川あるいは海に放流されている。

第3章 砒素汚染の状況と課題

3 - 1 砒素汚染対策に関する行政組織

(1) 国家砒素対策委員会

バングラデシュ国内での広範な井戸水などによる砒素汚染及びそれに伴う深刻な砒素被害の発覚にかんがみ、砒素汚染問題に対する国家的政策の決定や関係機関の施策の調整を行うために、バングラデシュ政府は国家砒素対策委員会（National Steering Committee）を組織している。この委員会は、保健・家族福祉省（MoHFW）、環境・森林省（MoEF）、水資源省（MoWR）、地方自治・農業開発・協力省（MoLGRDC）やWHOなどの各機関のメンバー20名より構成されており、MoHFWの大臣が議長を務めている（図3-1）。

この国家砒素対策委員会は、1～2か月に1回程度開かれており、情報交換と各分野の活動状況が議論されているようであり、実質的な活動はその下部組織である砒素汚染に関する科学研究委員会（Scientific Research Committee）や砒素技術委員会（Arsenic Technical Committee）に委ねられており、砒素による健康被害の調査、水質分析や代替水源の調査、砒素汚染の起源解明などが検討されている。

(2) 公衆衛生工学局（DPHE）

公衆衛生工学局（Department of Public Health Engineering: DPHE）は、地方自治・農業開発・協力省（Ministry of Local Government, Rural Development, Cooperatives: MoLGRDC）の下部組織であり、ダッカとチッタゴンを除く他の都市部及び地方全域における上水及び下水等の衛生施設の計画・設計・建設を所轄しており、バングラデシュ国内全域で発生している地下水の砒素汚染問題に対して、具体的な施策を講ずべき主たる担当機関である（図3-2）。

DPHEの長は、Chief Engineerであり、その下部にサークル単位のSuperintending Engineerがおり、さらにその下部にDistrict単位のExecutive Engineerが配されている。地方の各県（District）ごとに、District事務所が設置されており、さらに各Districtに属する各タナ（Thana）にはタナ事務所が設置されている。井戸の施工工事やフィールドキットによる井戸水の砒素濃度の検査に関する原データは、このタナレベルの事務所に保管されている。

また、クルナ、ラジシャヒ、コミラ、マイメンシンの4地区にオランダ政府やUNICEF、WHOの援助によって導入された分析室を所有しており、各タナ事務所からの依頼により井戸水の砒素濃度の測定等を行っている。

DPHEは砒素汚染問題に対して、各種国際機関（WHO、UNICEF）やドナー（世界銀行や英国、オランダ等）と共同で砒素汚染問題に取り組んでいる。

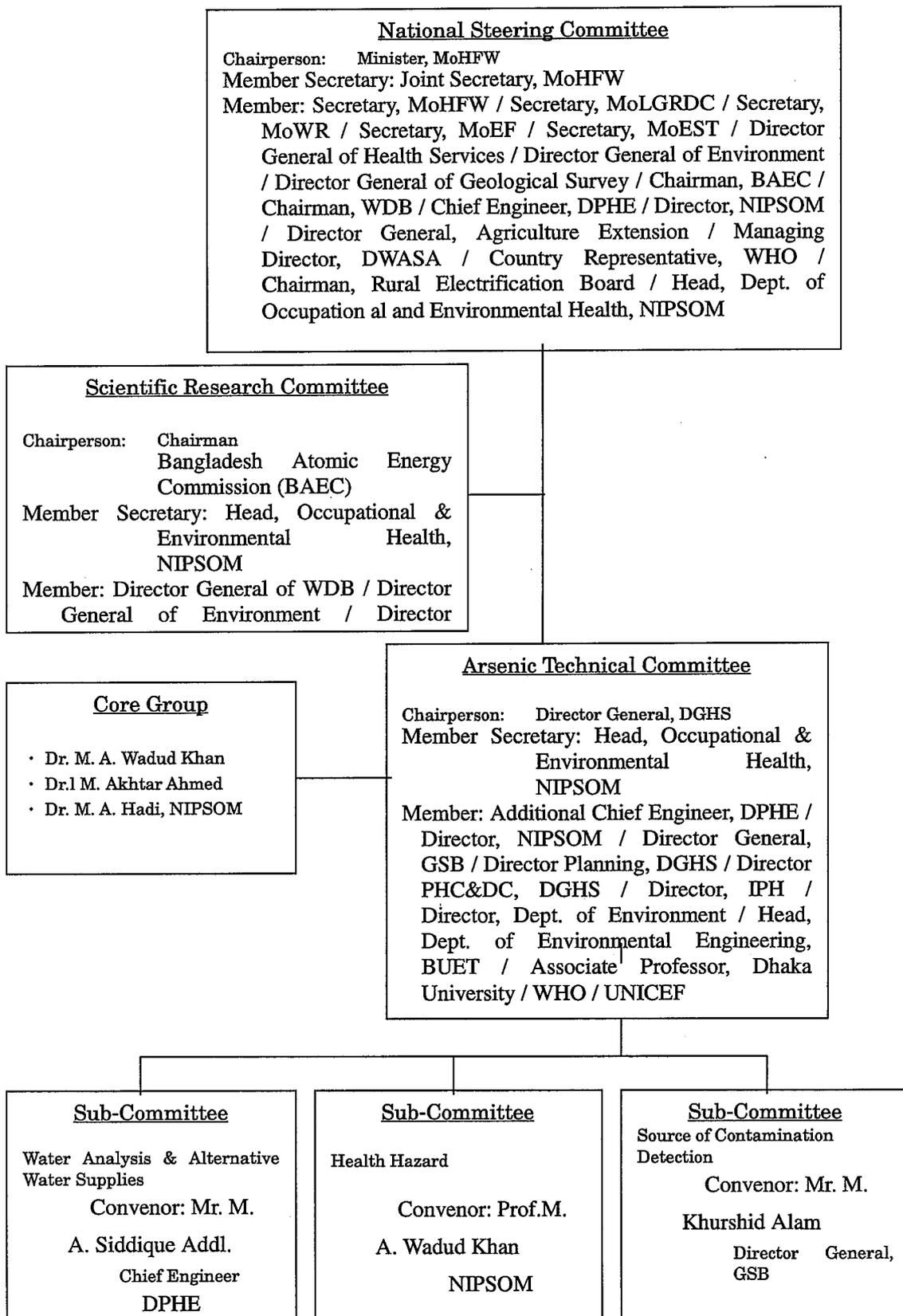


図3-1 砒素汚染問題に関する国家対策委員会

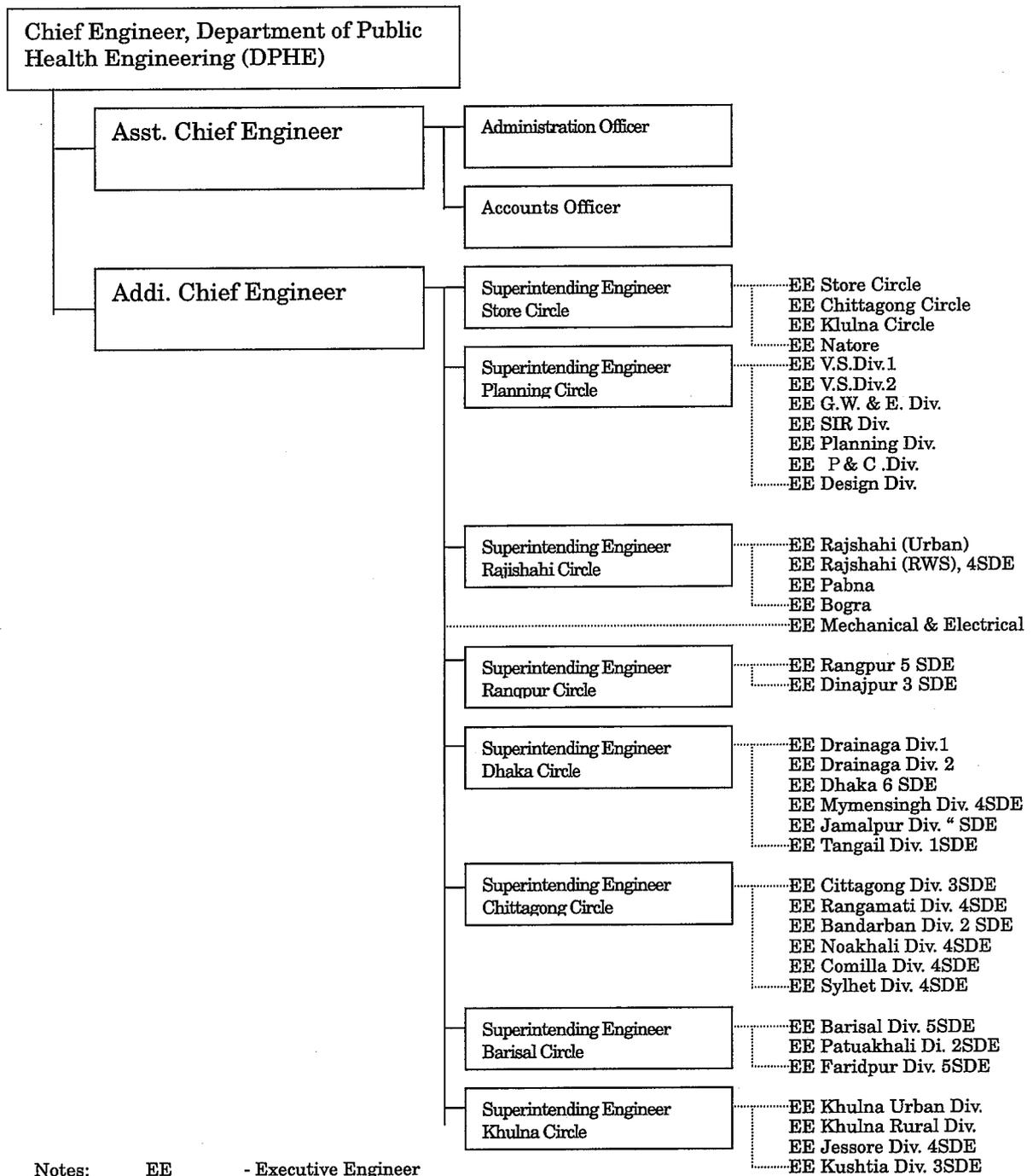


図3-2 DPHEの組織図

(3) その他関連機関

1) 水資源省 (MoWR) 及び水資源開発局 (BWDB)

MoWR (Ministry of Water Resources) はバングラデシュ国における排水、洪水対策、農業用灌漑に関連する水資源開発を管轄する機関である。BWDB (Bangladesh Water Development Board) は地下水を含む水資源開発を担当し、主に灌漑用地下水の開発を行っている。地下水位や地下水質、井戸ボーリング柱状図などの基礎データを保有しており、地下水砒素汚染の起源解明を担っている。

2) 保健・家族福祉省 (MoHFW) 及び国立予防社会医学研究所 (NIPSOM)

MoHFW (Ministry of Health Family Welfare) に属する保健局 (Directorate General of Health Services) は、医療面から砒素問題に取り組んでいる。また、MoHFWに属する国立予防社会医学研究所 (National Institute of Preventive and Social Medicine: NIPSOM) は、バングラデシュ国内での実質的な公衆衛生を管轄する機関であり、医療機関としての立場から砒素中毒患者の診断を行なうほか、フィールドキットによる砒素汚染調査、簡易砒素除去用の粉末の配布などさまざまな活動を展開している。

3 - 2 バングラデシュ国の砒素汚染の現状

(1) バングラデシュ国の砒素汚染の現状

バングラデシュ国で最初に砒素汚染された地下水が見つかったのは1993年である。また、最初の砒素中毒患者はナワブガンジ県のバロゴリアで、1994年にNIPSONM (国立予防医学研究所) によって確認された。それ以降西南部のガンジスデルタのインドとの国境地帯で地下水の砒素汚染が報告されるようになった。1995年以降は基準値を超える高い砒素濃度を示す地下水が、国内のいたるところの浅井戸、深井戸で見つかっており、現在までのところ、国内全64県の内59県という広範囲な地域で砒素汚染が報告されている。すでに砒素中毒であると認定されている患者が全国で約7,600名おり、約2,000万人が砒素汚染の危機にさらされていると言われており、社会的な重大問題となっている。

最近行われたDfID (英国国際開発省: 1999年1月) の調査報告書によれば、全国の251タナで行った合計2,023の地下水サンプル中、51%がWHOのガイドライン値 (0.01ppm) を超え、35%がバングラデシュの基準値 (0.05ppm) よりも上であった。

汚染の原因やメカニズムについては今のところ確定したものがないが、地層中に存在する砒素がなんらかの原因で地下水に溶け込んだものと考えられている。特に、最近の調査では地表付近に存在する砒素を多く含んだ有機物を含む粘土層からの溶出が多いのではないかとされている。

砒素問題については、バングラデシュ政府をはじめ、世界銀行、UNICEF、WHOはじめ多

くの国際機関やドナー国、NGOが積極的に取り組んでおり、それぞれ多方面からの精力的な活動を行っている。

(2) 各ドナーの援助動向

各主要ドナーの援助動向は以下のようにまとめられる。主要ドナーのプロジェクト実施地域は図3-3に示す地点である。

1) 世界銀行

1997年4月にFact Finding Missionが派遣され、それを受けてBangladesh Arsenic Mitigation Project (BAMWSP)が1998年8月にスタートした。まず実施機関であるProject Management Unit (PMU)が設立され、スタッフが集められた。この機関の中にはNational Arsenic Mitigation Information Center (NAMIC)が含まれており、砒素問題に関する情報が収集、管理されることになっているが、DPHEとの関係や内部的調整不足より、具体的な活動のテンポは遅いようである。BAMWSPは砒素問題解決に向けた総括的なものであり、以下に示すプログラムからなっている。

- National Emergency Screening Program
- Awareness Creation/Communication Campaign
- Provision of Alternative Drinking Water Supply
- Creation of Linkages to Other Sectors

1999年10月からは、National Emergency Screening Programが開始された。このプログラムの第1フェーズは6タナ、967村をカバーするもので、井戸の砒素測定とペインティング、砒素患者の特定、啓蒙活動等からなり、最終的には全国の460タナをカバーする計画である。

2) UNICEF

UNICEFでは1970年頃から農村部に100万本以上の井戸を設置している。UNICEFの砒素問題に対する活動は、井戸水のテスト、代替水源の確保と啓蒙活動で、井戸水のテストはインド製キッドを用いて行っている。現在全国の4タナで、スクリーニング調査から代替水源確保までを含めた総合調査をBRACと共同して開始した。そのうちの1つのタナは、ジョソール県のジガルガッチャタナである。

1999年12月からは、砒素汚染問題についての啓蒙を計るために、テレビ、ラジオ、新聞等の主要メディアを通じたキャンペーン活動を大々的に開始した。

3) UNDP

UNDP援助プロジェクトの第1フェーズ (Emergency 200 Village Survey with MoHFW and DCH) では、200村においてすべての井戸のスクリーニングとマーキング、健康調査、

砒素汚染除去技術のテストや啓蒙キャンペーンを行った。第2フェーズ調査では (Emergency Village-wide Screening of Tubewells and Health in 300 villages) 更に300村をカバーする予定でいる。

4) WHO

1993年9月に砒素汚染に関する井戸の調査を開始した。WHOは財源が少なく、役割としては技術的にアドバイスしていくと言う基本スタンスを持っている。バングラデシュWHOでは、これまで砒素の測定技術や除去技術に重点を置いていたが、今後は診断・治療の面での取り組みを強化していく方針であるようだ。

5) イギリス (DFID)

砒素汚染のメカニズム解明及び実態把握の解明を目的とした第1フェーズ調査 (Groundwater Studies for Arsenic Contamination in Bangladesh) が1998年1月から1999年1月まで実施された。この調査では、砒素汚染が発生しているとされた251タナについて、平均8つのDPHE井戸から地下水サンプルを採取し、砒素汚染の実態について明らかにされた。現在第2フェーズ調査を実施中で、3つの重点地区 (ナワブガンジ、ファリドプール、ラクシンプール) の水質についてのモニタリング調査を行っている。3次元シミュレーション解析による砒素汚染に関する将来予測も計画されている。

来年3月には終了の予定。

6) オランダ (NEDA)

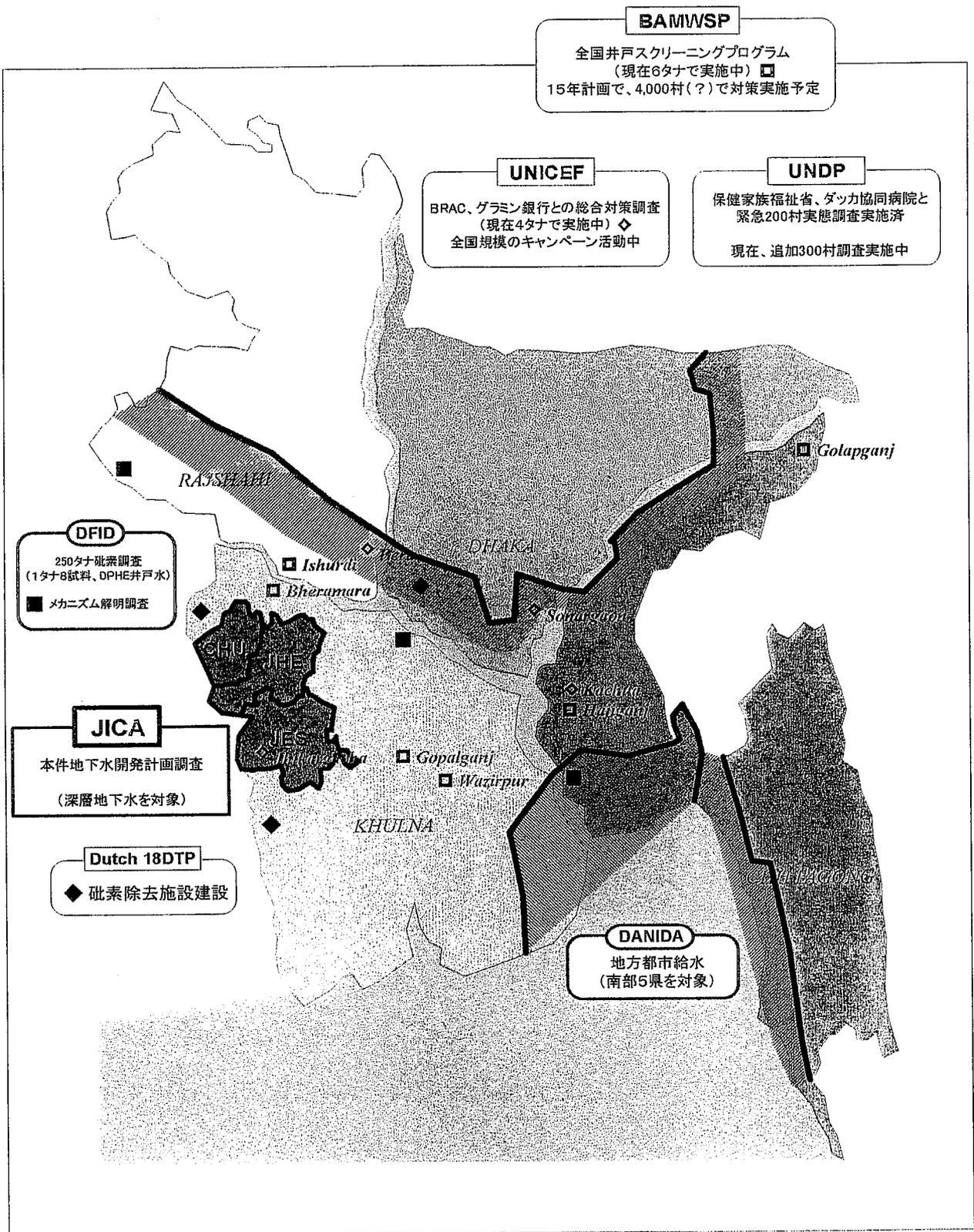
1978年から1998年の予定で18県を対象とする上水施設建設プロジェクト (18 District Towns Water Supply, Sanitation and Drainage Project) を実施している。18県の中で5つの都市が砒素問題を抱えており、鉄及び砒素を除去する施設を設置している。

また、水資源省と協力して環境地理情報システム (EGIS) を設置し、砒素汚染に関するデータベースを構築している。

7) デンマーク (DANIDA)

南部の5県を対象にUrban Water and Sanitation Projectを実施している。第1フェーズは1991年から1997年まで実施され、都市部の給水と農村部でのハンドポンプ浅井戸による安全な水の供給が目的であった。しかし、DANIDAプロジェクトで設置した浅井戸からも砒素が検出されたため、砒素を取り除くための簡易装置の開発や住民への普及啓蒙活動も行った。

第2フェーズは第1フェーズ同様に南部の5県を対象に1997年7月から開始され、都市部では200~300mの生産井戸 (36本) の掘削、農村部ではハンドポンプ深井戸を (12,500本) を掘削する計画である。農村部は5年、都市部は10年の計画である。また、今後の砒素汚染や塩水侵入を予測するために、シミュレーション解析を行うことも検討している。



バングラデシュで現在実施中の 主な砒素汚染対策プロジェクト位置図

(JICA Expert team, 1999)

図3-3 主要ドナーのプロジェクト実施地域

8) その他のドナー

その他のドナーとしては、SDC（スイス）、USAID（アメリカ）、AusAID（オーストラリア）、CIDA（カナダ）などがあり、それぞれの独自の活動を行っている。

3 - 3 調査対象地域の砒素汚染の現状と課題

(1) 井戸の砒素汚染の現状

調査対象地域は、南東部のメガーナ河の河口付近や南西部と同様、砒素汚染の激しい地域の1つである。表3-1にDPHEクルナ分析室で行った砒素含有量試験結果を示す。これによれば、WHO基準（0.01mg/l以上）を超えているものは、ジョソール県で69%、ジェナイダ県で54.2%、チュアダンガ県で70.7%である。バングラデシュ国の基準値（0.05mg/l以上）を超えているのは、ジョソール県で47.3%、ジェナイダ県で34.8%、チュアダンガ県で37.4%である。試験対象となった井戸水の選定基準については不明な点があるが、おおよその傾向を示していると思われる。

DPHEの各タナ事務所の担当者からの聞き込み情報によれば、各県で砒素汚染による症状が確認できる患者の多いタナは、ジョソール県ではジガルガッチャ、シャシャ、ジェナイダ県ではカイガンジ、マシエシュプール、チュアダンガ県ではダムルフッダ、アラムダンガである。砒素汚染の分布状況の詳細や時系列的变化、患者数やその推移等については今後早急に明らかにすべき問題点である。

また、水道水源用の生産井戸については、ジェナイダ地区の稼働中生産井戸6本の砒素濃度を分析（1999年12月18日、DPHEクルナ分析室）した結果、北部の2本についてはバングラデシュ基準を超える（0.06mg/l、0.07mg/l）濃度を示すことが分かった。また、チュアダンガ地区では、1996年9月に行った水質試験で、JICA無償協力井戸の1つからバングラデシュ国の基準値以上の砒素濃度を示す地下水が見つかった。

(2) DPHEとBADCの井戸の実態と水利用

調査対象地域には、表3-2に示すように、DPHE管轄の生活用水及び飲料用の井戸（DPHE管理+個人用）が25万9,000本程度存在する。そのうちDPHEの各タナ事務所で管理されているものは4万5,000本、個人用のものは21万4,000本程度ある。これらの井戸は深度45m以浅の浅井戸で、深度45m以深の深井戸はこのうち208本である。一方、BADC管轄の灌漑用の浅井戸は全部で8万8,000本程度あり、BADCが管理しているものは1万8,000本、個人用のものは7万本程度存在する。深井戸は2000本程度ある。DPHEの井戸の稼働状況については、表3-3に示した。これによるとChock up（使用停止）の井戸は、全体の2～3%程度である。

(3) 井戸掘削技術の現状

バングラデシュ国内のDPHEが管轄する飲料用井戸及びBADCの灌漑用浅井戸は、ほとんどが掘削径10cm以下で、直径38mmのPVCパイプを装填するものである。掘削は、ラッガー方式ないしはドンキーポンプを用いたジェッティング方式と呼ばれる人力掘削方式である。地層の状況によるが、スラッガー方式はおおよそ45m程度までの掘削、ドンキーポンプを用いたジェッティング方式では最大150m程度まで掘削できるようである。上部からの汚染水や地下水の浸入を防ぐためのシール技術は確立していない。ちなみに、DPHE県事務所の情報によれば深度45mの掘削井戸（ハンドポンプ付き）は5,000～6,000Tk程度である。

一方、水道水源用の生産型深井戸や灌漑用深井戸は、掘削口径300～500mmで、パイプの直径は150～200mmが一般的で、掘削は機械掘削で行われている。深度は100～150mが多く、最近ではチッタゴン市付近の沿岸部で300m程度の井戸が掘削されているが、まだまだ施工実績は少ない。機械掘削の場合、200～300mの深度の井戸掘削技術以外に、深い位置でのシール技術の問題がある。

ちなみに、ダッカ市内の水道水源井戸の深度は150mクラスで、入札により決定された国内の井戸業者が施工している。

表3-1 Tube wellから採取した地下水の砒素含有量試験結果 (実験室)

Dtistic	Thana	As test result					Highest value
		Sample Nos.	A	B	C	D	
Jessore	Jessore Sadar	188	84	25	27	52	0.61
	Abhaynagar	39	23	5	2	9	0.56
	Bagherpara	9	5	2	2	0	0.07
	Manirampur	122	37	36	20	29	0.38
	Keshabpur	131	25	28	37	41	0.49
	Jhikargachha	257	56	72	56	73	0.06
	Sharsha	44	17	6	6	15	1.17
	Chaugachha	34	9	5	7	13	1.3
Total(nos)		824	256	179	157	232	
/Total(%)			31.1%	21.7%	19.1%	28.2%	

Dtistic	Thana	As test result					Highest value
		Sample Nos.	A	B	C	D	
Jhenidah	Jhenidah Sadar	25	16	5	3	1	0.15
	Sailkupa	25	15	3	4	3	0.42
	Harinakunda	16	8	5	1	2	0.22
	Kaliganj	24	6	4	8	6	0.22
	Kotchandpur	20	8	6	3	3	0.21
	Moheshpur	34	13	5	6	10	0.53
	Total	144	66	28	25	25	
/Total(%)			45.8%	19.4%	17.4%	17.4%	

Dtistic	Thana	As test result					Highest value
		Sample Nos.	A	B	C	D	
Chuadanga	Chuadanga	49	22	22	2	3	0.14
	Alamdanga	51	10	2	1	38	0.79
	Damurhuda	179	45	68	36	30	0.92
	Jibannagar	15	9	6	0	0	0.03
Total		294	86	98	39	71	
/Total(%)			29.3%	33.3%	13.3%	24.1%	

Note: A<0.01mg/l 0.01<B<0.05 0.05<C<0.10 0.1<D

Source: Arsenic Test Report up to June 1999 (DPHE, Zonal Laboratory, Khulna)

表3-2 調査対象地域の既存井戸本数 (Dec. 12, 1999現在)

District	DPHEの管轄井戸数			BADGの管轄井戸数			Total
	Shallow		Deep	Sallow		Deep	
	DPHE	Private	DPHE	BADC	Private	BADC	
Jessore	21,932	144,455	208	—	27,942	1,160	195,697
Jhenaidha	16,088	40,645	0	217	27,186	465	84,601
Chuadanga	7,974	28,880	0	17,753	14,850	455	69,912
Total	45,994	213,980	208	17,970	69,978	2,080	350,210

注: — : は数字が不明

Source: JICA事前調査団聞き取り調査

表3-3 調査対象地域での井戸の可動状況 (DPHE管轄井戸)

Dtistric	Thana	Shallow		Tara		Deep		Total
		Running	Chock up	Running	Chock up	Running	Chock up	
Jessore	Jessore Sadar	3,195	82	545	12	0	0	3,834
	Abhaynagar	2,077	44	17	0	77	0	2,215
	Bagherpara	1,742	36	46	9	0	0	1,833
	Manirampur	3,656	80	77	5	67	0	3,885
	Keshabpur	2,284	10	10	2	43	0	2,349
	Jhikargachha	2,782	41	227	7	0	0	3,057
	Sharsha	2,339	22	117	14	21	0	2,513
	Chaugachha	1,916	26	133	9	0	0	2,084
	Total	19,991	341	1,172	58	208	0	21,770

Dtistric	Thana	Shallow		Tara		Deep		Total
		Running	Chock up	Running	Chock up	Running	Chock up	
Jhenidah	Jhenidah Sada	3,147	125	177	4	0	0	3,453
	Saikupa	3,144	30	840	15	0	0	4,029
	Harinakunda	1,719	30	223	13	0	0	1,985
	Kaliganj	2,690	63	148	4	0	0	2,905
	Kotchandpur	1,018	14	13	0	0	0	1,045
	Moheshpur	2,525	16	54	1	0	0	2,596
	Total	14,243	278	1,455	37	0	0	16,013

Dtistric	Thana	Shallow		Tara		Deep		Total
		Running	Chock up	Running	Chock up	Running	Chock up	
Chuadanga	Chuadanga	1,475	22	263	5	0	0	1,765
	Alamdanga	2,466	41	23	0	0	0	2,530
	Damurhuda	1,816	66	426	36	0	0	2,344
	Jibannagar	1,221	14	0	0	0	0	1,235
	Total	6,978	143	712	41	0	0	7,874

Source: Thana Wise Hand Tubewell Status upto June 98 (DPHE)

(4) 砒素汚染のモニタリングと水質分析技術の現状

1) 井戸水砒素濃度のモニタリング方法

調査対象3県（ジェソール、ジェナイダ、チュアダンガ）のDPHE地方事務所では、管轄する各県の各タナにインド製の砒素分析用フィールドキットを1個ずつ支給し、各タナに分布する井戸水に含まれる砒素濃度を監視することとしている。井戸水の砒素濃度測定は、住民に砒素障害の表れた井戸を優先して調査しているようであるが、大半のタナ事務所の所有するインド製フィールドキットは、初回に配布したのみで、分析用試薬を消費してしまったままで以後の試薬補充がないものや分析機器のうちガラス製の器具が破損して使用できないものが大部分で、実際にはほとんどフィールドキットによる検査ができなくなっているのが現状であり、新しいフィールドキットの供給を望む声が多かった。

砒素分析用フィールドキットは、あくまで砒素濃度の目安を検査するものであり、正確な砒素濃度は、クルナ地方研究所にて測定する必要があるが、同研究所の分析処理能力が低い

ため（検査用試料水をクルナ研究所に送付後、分析結果が得られるまで14日～30日かかること）、十分な数の試料水を分析するには至っていない。その結果、あくまで目安として測定したフィールドキットの分析値が唯一の測定値となる場合が多く、またフィールドキットの分析値とクルナ研究所で測定したより正確な分析値が相違するという事も発生し、砒素濃度から見た井戸水の安全性判定に混乱が生じることとなる。

砒素測定用フィールドキットの供給に際しては、その測定値があくまで目安であり、正確な測定値はクルナ研究所で実施すべきことを十分認識させる必要がある。また、正確な砒素濃度を測定できる研究機関の増強、強化が望まれる。

また、井戸水の砒素濃度測定においては1回のみ測定し、その結果にて飲料適否を判定している場合が大半であるが、季節的な変化（特に、雨期と乾期）や経年変化を把握して飲料適否を判定すべきであり、必要なデータの収集が望まれる。

2) 井戸水の砒素濃度測定結果

調査対象3県における井戸水の砒素濃度測定結果を表3-4に示した。砒素濃度はフィールドキットによるものとクルナ研究所にて測定されたものがあり、バングラデシュ国の砒素濃度基準値0.05mg/l以下（No）か以上（Yes）に分類されている。

フィールドキットとクルナ研究所での測定数を比較すると、クルナ研究所での測定数がはるかに少なく、正確な測定が十分に実施されていないことが明らかである。また、各タナごとの測定結果において、測定数のうち基準値（0.05mg/l）を超える試料数の割合は、フィールドキットを用いた場合とクルナ研究所で測定した場合でよく一致しているものもあるが、かなりかけ離れている場合も見られる。フィールドキットの測定試料とクルナ研究所での測定試料が同一とはかぎらないため直接、比較するのは難しいが、クルナ研究所での測定が正確であるとするならば、フィールドキットによる測定の不確かさの表れと推測される。

表3-4 調査対象3県内の井戸本数及び砒素濃度測定結果

District	Thana	As test of tube well(*)											
		Field kit				Laboratory				Field kit + Laboratory			
		Number	Yes	No	Yes(%)	Number	Yes	No	Yes(%)	Number	Yes	No	Yes(%)
Jessore	Jessore Sadar	415	168	247	40.50%	62	46	16	74.20%	477	214	263	44.90%
	Abhoynagar	450	105	347	23.30%	58	10	48	17.20%	508	115	395	22.60%
	Bagarpara	105	7	98	6.70%	7	1	6	14.30%	112	8	104	7.10%
	Manirampur	291	159	132	54.60%	110	43	67	39.10%	401	202	199	50.40%
	Keshabpur	218	180	38	82.60%	157	95	62	60.50%	375	275	100	73.30%
	Jhikargacha	26,886	15,475	11,411	57.60%	232	127	105	54.70%	27,118	15,602	11,516	57.50%
	Sharsha	1,139	579	569	50.80%	38	18	20	47.40%	1,177	597	589	50.70%
	Chowgacha	326	90	236	27.60%	20	18	2	90.00%	346	108	238	31.20%
	Total	29,830	16,763	13,078	56.20%	684	358	326	52.30%	30,514	17,121	13,404	56.10%
Jhenaidah	Jhenaidah Sadar	147				7				154	1	153	0.60%
	Sailkupa	167				18				185	18	167	9.70%
	Hornakunda	33				9				42	9	33	21.40%
	Kaligonj	229				17				246	13	233	5.30%
	Kotchandpur	68				14				82	4	78	4.90%
	Moheshpur	410				23				433	114	319	26.30%
	Total	1,054				88				1,142	159	983	13.90%
Chuadanga	Chuadanga Sada	151	2	149	1.30%	8	0	8	0.00%	159	2	157	1.30%
	Alamdanga	162	51	111	31.50%	34	33	1	97.10%	196	84	112	42.90%
	Dhamurhuda	1,606	615	991	38.30%	199	65	134	32.70%	1,805	680	1,125	37.70%
	Jiban Nagar	102	28	74	27.50%	6	0	6	0.00%	108	28	80	25.90%
	Total	2,021	696	1,325	34.40%	247	98	149	39.70%	2,268	794	1,474	35.00%

*) Yes: $\geq 0.05\text{mg/L}$, No $< 0.05\text{mg/L}$

いずれにしても、基準値を超える砒素濃度が各井戸水から、かなり高い確率で検出されており、井戸水の砒素汚染が広範囲に存在することがわかる。また、基準値を超えた砒素濃度が検出される割合は、同一県内の各タナ単位でも大きな違いがあり、各県単位でいえば、ジェナイダに、チュアダंगा、ジョソールの順番に砒素濃度が基準値を超える割合が高くなっており、地下水の砒素汚染に地域的な分布のあることがうかがえる。

3) クルナ研究所の砒素分析能力

クルナ研究所の保有する砒素分析用分析機器は以下のとおり。

- ① 吸光光度計、蒸留水製造器、水素化砒素発生器 (19個)
- ② ドラフトチャンバー (砒素分析用、2台)

井戸水の砒素濃度測定については、分析に必要な水素化砒素発生器を19個、吸光光度計1台を所有しており、分析担当者3名が従事していることから、20試料/日程度の分析処理能力はあると推定される。ただ、砒素分析に要する化学薬品、試薬が国内調達品では純度不十分で使用できず、ドイツMerk社製のものを使用する必要があるが、これらの供給・補充が十分になされておらず、砒素分析処理能力の低下につながっている。砒素分析については、外部からの分析受託を520タカ/試料で請け負っている。管轄する対象3県で砒素測定を希望する試料数は膨大であり、十分な対応ができていないのが現状であり、砒素測定用分析機器の増強ならびに分析員の配置が急務と考えられる。

(5) 砒素除去装置の開発と普及の現状

井戸水などに含まれる砒素の除去方法として、砒素を鉄沈澱物あるいはアルミニウム沈澱物とともに沈澱させる共沈法が一般に用いられている。この砒素除去原理は、大型の生産井戸用として、また小型の家庭用簡易器具にも応用されているが、今回の調査対象3県において、砒素除去装置・器具はほとんど普及していないのが現状である。

1) 生産井戸用脱砒素装置

オランダは18DTPプロジェクト(18 District Towns Water Supply, Sanitation & Drainage Project)として、バングラデシュ国内18県都市部に上水を供給することを目的とする支援を行っている。このプロジェクトの一環として、砒素汚染している生産井に対する対策として、生産井戸用の脱砒素装置をマニクガンジ(Manikganj)、シャトキラ(Shatkira)、メヘルプール(Meherpue)に既に設置し稼働させている。

この脱砒素装置は、空気酸化により砒素を鉄と共沈させたのち、共沈物を砂ろ過するという方式のものである(図3-4)。まず、砒素を含む原水を階段状の棚の上部から落下させることにより、原水を空気と接触させて(エアレーション)酸化する。原水中に鉄が含まれていない、あるいは鉄濃度が低い場合には、塩化第二鉄などの水溶液を添加する。エアレーションにより、原水中の2価の還元性鉄(Fe^{2+})は3価の鉄(Fe^{3+})となり、沈澱性の水酸化第二鉄($Fe(OH)_3$)となる。この際に原水中に共存する3価の還元性砒素(As^{3+})はより溶解性の低い5価の砒素(As^{5+})に酸化されるとともに水酸化第二鉄に吸着され、鉄と砒素を含む共沈物が形成される。

次に、鉄砒素共沈物を含む水を砂を充填した層に送り、鉄砒素共沈物をろ過分離することにより、原水中の砒素を除くことができる。砂層でろ過された鉄砒素共沈物は定期的に逆洗を行い、除去された鉄砒素共沈物を含む逆洗浄水は、沈澱地に送られる。鉄砒素共沈物(スラッジ)は沈澱地底部に堆積するので、上澄み水を排除ののち、堆積物を掻き出し、乾燥する。

マニクガンジに設置されている脱砒素装置の処理能力は、 $200m^3/h$ 、1日の処理量： $3000m^3/day$ であり、1日～2日に1回の頻度で逆洗を行っている。砂ろ過層には粒径 $1.2\sim 1.5mm$ の砂が用いられており、砂ろ過層の厚さは $1.5m$ である。この脱砒素装置の製造コストは、約3500万円とのこと。このような砒素除去性能を示す一例(マニクガンジ設備)として、原水の砒素濃度 = $0.08mg/l$ 、鉄濃度 = $7.00mg/l$ であったものが、処理後では砒素濃度 = $0.024mg/l$ 、鉄濃度 = $0.05mg/l$ になったという結果がある。

このような生産井戸用脱砒素装置は、今回の調査対象3県内には設置されていない。ただし、この脱砒素装置の構造や性能に関するデータは、調査対象3県内の生産井戸用に脱砒素装置を設置する必要がある場合や家庭用などの小型井戸に適用できる脱砒素装置を開発す

る際に大いに参考となるであろう。

2) 家庭用簡易砒素除去器具

バングラデシュ国立予防社会医学研究所 (National Institute of Preventive and Social Medicine: NIPSOM) では、インド式 2 段バケツ方式の簡易砒素除去器具の普及図ったことがある。類似の 2 段バケツ方式の砒素除去器具が、DPHE-DANIDAによっても開発されている (DPHE-DANIDA Urban Water, Sanitation Project)。また、世界銀行のBAMWSP プロジェクト (Bangladesh Arsenic Mitigation Water Supply Project) においても、簡単な家庭用砒素除去方法が開発されている。これらの簡易砒素除去器具における脱砒素の原理は、前述の生産井戸用脱砒素装置と類似で、井戸水を空気酸化ののち、砒素を水酸化アルミニウム等と共沈させるというものである。このような簡易脱砒素器具では、上段のバケツに井戸水を入れ、攪拌することにより、空気酸化したのち、凝集剤 (硫酸バンドなど) を添加し、砒素を水酸化アルミニウムとともに共沈させる。この砒素を含む共沈物をフィルターや砂層でろ過したのち、下段のバケツに砒素除去された水を貯留し、必要に応じて蛇口より水を取り出すというものである (図3-5)。

DPHE-DANIDA方式の器具では、砒素濃度0.12~0.46mg/ lの井戸水 19箇所にて、フィールド試験を実施した結果、処理後水の砒素濃度はすべてバングラデシュ国の基準値である0.05mg/ l以下になり、高い砒素除去効率を示すことがわかった。

2 段バケツ方式などの簡易砒素除去器具は、このように砒素除去に効果を示すことがわかってはいるが、水もれがおこる、1 回の処理水量が少ない (20 l 程度) などの問題のほか、安価に多量に供給するための資金、システムが確立されていないため、ほとんど普及していないのが現状である。また、砒素汚染被害に対する住民の意識不足も簡易砒素除去器具の普及を鈍らせている要因の 1 つと考えられる。

今回の調査対象 3 県内では、アジア砒素ネットワーク (AAN) がジョソール県シャシャタナ、シャムタ村内でインド式バケツ器具250個を配布したにすぎず、他の地区では、バケツ方式の簡易砒素除去器具を見かけたことがないというのが現状であり、ほとんど普及していない。このような簡易砒素除去器具の普及を図るためには、より安価な器具を製作し、多量に供給できるかが重要な要因と考えられる。また、十分な処理容量とするとともに操作が容易なものとすべきである。

(6) 砒素汚染防止対策の現状

井戸水に含まれる砒素を除去する方法以外の砒素汚染防止対策として、砒素濃度の低い池水や雨水、深井戸水を利用する方法などが考えられている。これらの砒素汚染防止対策も、調査対象 3 県内ではほとんど利用されていないのが現状である。

1) 池水砂ろ過 (PSF) 方式

砒素濃度の低い池水を砂ろ過し、飲料水に利用する方法 (Pond Sand Filter法) である。砂ろ過では池水に含まれる懸濁物 (藻など) を除去する。この方法では、あらかじめ池水の砒素濃度を測定し、砒素濃度の低い池を選定することを前提としているため、砒素汚染の影響は少ない。一般に池水など表層水の砒素濃度は低いと言われているが、これは砒素が表層で空気酸化され、難溶解性の5価の砒素となって沈澱するためと推定される。

ただし、民家に近い池では、池で洗濯を行ったり、生活排水、下水等が浸透するなどの理由により、砒素汚染よりも衛生上の問題 (バクテリア汚染) が懸念されており、塩素滅菌等の処理が必要となる場合がある。

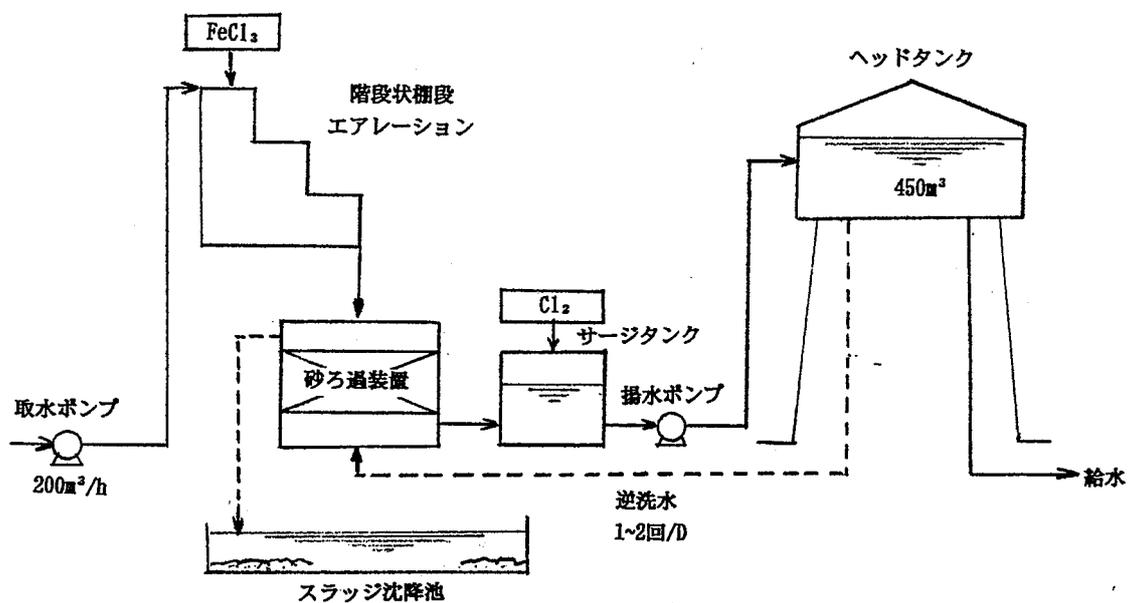


図3-4 生産井戸用脱砒素装置のフロー

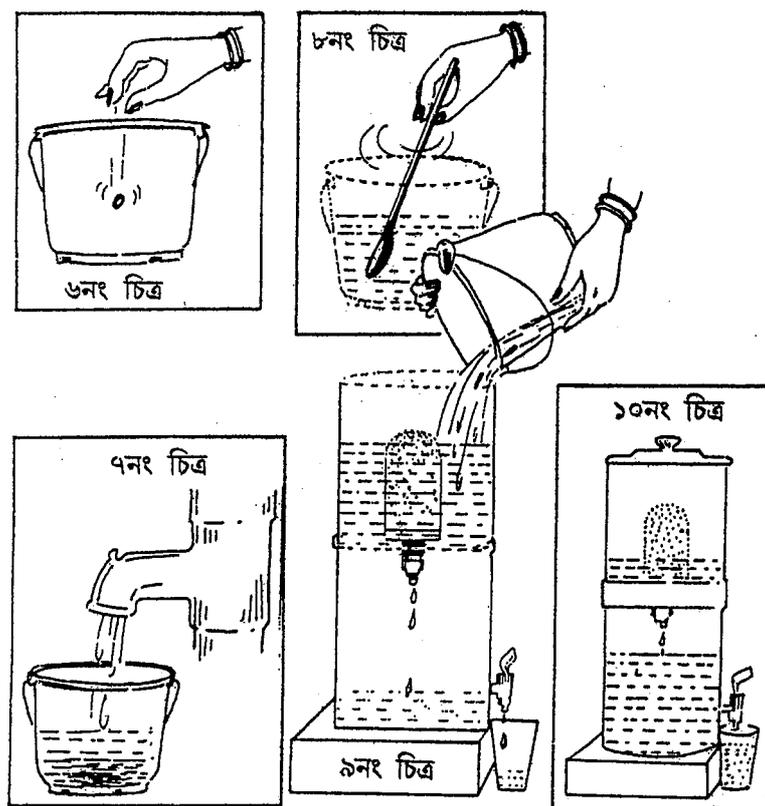


図3-5 2段バケツ式簡易砒素除去器具の例

このようなPSF設備は、調査対象3県内では、ジョソール県シャシャタナ、シャムタ村にAANにより1基が完成しており、デウイ村(シャムタ村の東隣)にもAANにより1基が建設中である。また、ジョソール県ジッコルガチャタナ、シャガルプル村では、UNICEF-DPHEとBRAC (Bangladesh Rehabilitation Assistance Committee)により6基のPSF設備が設置されているが、まだまだ十分設置数であるとは言い難く、管理方法も十分に確立されていないのが現状である。

2) 雨水の利用

UNICEFでは、屋根に付けた樋を利用して雨水を集積する方法やビニールシートを広げて雨水を集める方法など簡易な雨水利用方法を検討している。また、世界銀行のBAMWSPプロジェクトにおいても、雨水利用の研究がなされているが、いずれも実用化するには至っていない。

3) 調査用井戸の掘削

DPHEでは、砒素汚染の少ない井戸を開発するため、調査用井戸の試掘を進めている。調査対象3県内での試掘井戸数(1997年~99年)は表3-5のとおりであり、砒素濃度が基準値以下の井戸が見いだされている。

このように調査用井戸を試掘し、砒素濃度を測定することは、砒素汚染の少ない井戸を見いだすという現実的な対策になるとともに地下水の砒素汚染状況の把握や地質構造の検討に活用できるデータを得ることにもつながる。ただし、調査対象3県での試掘井戸数は、砒素濃度の高い多数の井戸本数に比べ、対策を提供するに十分な数であるとは決して言えない。

表3-5 調査用掘削井戸リスト

District	Thana	Village	Installation Date	Depth(ft)	As(mg/L)
Chuadanga	Damurhuda	Joyrampur	07.10.99	400	0.1
		Gopalpur	12.10.99	470	0.02
Jhenidah	Kotchandpur	Bholabaria	25.08.99	440	0.01
		Bagdanga	26.08.99	440	0.02
	Sailkupa	Habibpur	03.09.99	445	0.01
		Monohorpur	04.09.99	385	0.01
	Moheshpur	Ramchandrapur	21.08.99	420	0.03
		Krishna Chandrapur	20.08.99	460	0.05
	Kaliganj	Rakra	29.08.99	505	0.02
		Majdia	29.08.99	440	0.02
Jessore	Jhikorgacha	Kamarpara	07.03.98	625	0.01
		Ujialpur	11.03.98	620	0.02
		Palla	08.11.99	1000	0.01
		Ganganandapur	11.11.99	1000	0.05
		Kirunpur	31.10.99	1000	0.08
		Jafarnager	04.11.99	1000	0.01
		Baysa	03.11.99	920	
		Rajadumuria	12.11.99	930	
		Alipur	29.10.99	900	
		Sankarpur	06.11.99	930	
	Deuli	28.11.99	950		
	Manirampur	Nagarghop	12.03.98	600	0.19
	Keshabpur	Shahapara	16.03.98	600	0.19
	Sharsha	Samta	29.07.97	730	
		Samta	20.07.97	660	

(7) 水道施設の現状

1) 水道事業の行政組織

バングラデシュ国の行政組織は、県 (Zila: District) の下にタナ (Tana) があり、タナの都市部に町 (Pourashava: Municipality) ある。町の首長は住民の選挙によって選ばれ、タナの長官は中央政府からの任命となっている。調査対象地域の3県内には全部で18のタナがあり、1998年の想定人口は510万人となっている (前節 表2-1参照)。

地方都市の水道は、DPHEにより建設され、管理運営は町 (Pourashava) の管轄となっている。各県にはDPHEの地方事務所があり、通常は、Executive EngineerとAssistant Engineerの2名が本部から配属されており、その他必要な所員は現地雇用となっている。調査対象地域の3県には、表3-6に示す7つの町 (Pourashava) で水道事業が行われている。

表3-6 調査対象地域の生産井戸の概要

県 (District) 名	町 (Pourashava) 名	生産井戸本数 (稼働中)	備 考
Jossor	Jossor	13	ADB の 5 都市水供給プロジェクト
Jhenaidah	Jhenaidah	7	内 3 本は JICA 無償
	Saikupa	3	GOB の 23 都市水供給プロジェクト
	Kaliganj	3	
	Kotchandpur	3	
	Mohespur	2	
Chuadanga	Chuadanga	6	内 3 本は JICA 無償
合 計		37	内 6 本は JICA 無償

2) 水道の普及状況

調査対象地域の水道は、すべて深井戸の地下水を水源として給水を行っている。現在、表 3-5-2 に示す 7 町で 37 本の生産井戸が稼働しており、その内 6 本は JICA 無償資金協力で建設されたものである。表 3-7 に調査対象地区の主要 3 町 (ジョソール町、ジェナイダ町、チュアダンガ町) の水道主要指標を示す。

給水人口は、表 3-7 に示す「DATA BOOK 1998 (Urban Water Supply System) - DPHE」のデータから、主要 3 町では 13.5 万人と推計される (表 3-8 参照)。主要 3 町以外のジェナイダ県内の 4 町 (Saikupa 町、Kaliganj 町、Kotchandpur 町、Mohespur 町) の水道については、バングラデシュ国独自の予算による「23 都市水供給プロジェクト」で 1998 年 6 月に完成し、操業間もないため給水事業のデータがなく、井戸の本数 (計 11 本) から推計すると、給水人口は 6 ~ 7 万人程度と推定される。したがって、調査対象地域の総人口約 510 万人に対し、給水人口は約 20 万人で、その普及率は 4 % にとどまっている。

表3-7 調査対象地域の主要3町の水道主要指標

		単位	Jessor 町	Jhenaidah 町	Chuadanga 町
一般事項	人口	人	310,000	94,624	152,000
	所帯数	世帯	15,000	11,775	10,225
	生産井戸（稼働中）	本	13	7	6
	高架タンク（稼働中）	基	6	3	3
	鉄分除去施設（稼働中）	基	0	0	0
	給配水管網延長	km	108	59	41
	直接給水接続軒数	軒	5,489	2,417	2,550
	公共水洗（使用中）	栓	65	13	11
	公共井戸（DPHE）	本	1,251	785	700
	貯水容量	m ³	6,000	1,200	1,200
	職員数	人	76	13	18
	1日当たり水供給量	m ³	9,555	2,133	2,500
	1日当たりポンプ稼働時間	時	8	5~6	6
	水道管理運営母体		DPHE+町 (Pourashava)	町 (Pourashava)	町 (Pourashava)
財務状況	月当たり電気代	Tk	225,000	50,000	65,000
	月当たりの人件費	Tk	180,000	28,000	31,000
	月当たりその他経費	Tk	17,000	3,000	12,000
	運転経費合計	Tk	422,000	81,000	108,000
	月平均水道料金請求額	Tk	350,000	76,000	92,000
	月平均水道料金徴収額	Tk	300,000	70,000	76,000
	銀行口座残高（6月末/'97）	Tk	320,000	72,000	0
	電気料金未払い累計額（6月/'97）	Tk	1,642,000	426,000	1,350,000
	水道料金未払い累計額（6月/'97）	Tk	2,744,000	242,000	580,000
サービス指標	水道のサービス区域	%	25.00	31.60	18.70
	公共井戸のサービス区域	%	12.11	24.89	12.73
	水道利用可能時間	時	8	5~6	6
	水道料金（1/2 インチ）	Tk	50	50	40
	1 km当たりの接続軒数	軒	50.8	41.0	62.2
効率指標	無収水率	%	30.86		
	1 m ³ 当たりの製造コスト	Tk/m ³	1.47	1.27	1.63
	職員数 / 100 接続軒数	軒	1.38	0.54	0.71
	運転経費率（運転経費 / 請求額）		1.21	1.07	1.17
	料金徴収率	%	86	92	83

出所：「DATA BOOK 1998 (Urban Water Supply System) – DPHE」及び聞き取り調査結果

表3-8 調査対象地域の主要3町の給水人口と原単位実績

町名	町の人口 (a)	給水サービス 区域 (b)	給水人口 (c = a × b)	送水量 (m ³ /d) (d)	原単位 (l/pc/d) (e = d × 1000/c)
Jessor	310,000	25.0 %	77,500	9,555	123
Jhenaidah	94,624	31.6 %	29,900	2,133	71
Chadanga	152,000	18.7 %	28,400	2,500	88
合計	556,624	24.4 %	135,800		

給水使用量のデータとして、主要3町の給水原単位の実績を表3-8に示す。ジョソール町が123 l/人/日、ジェナイダ町が71 l/人/日、チュアダンガ町が88 l/人/日となっている。ただし、これらはポンプの稼働時間から算定した送水量であり、漏水などによるロスを考慮し実際の給水量をこの70%とすると、ジョソール町で86 l/人/日、ジェナイダ町で50 l/人/日、チュアダンガ町が62 l/人/日となり、バングデシュ国の地方都市の目標値である120 l/人/日を下回っている。なお、調査対象地域の水道の給水サービスは、水量の不足と財政難による電気代節約のため、全地域で時間給水を行っている。

3) ジョソール (Jessor) 町の水道施設概要

ジョソール町の給水システムは、ADBの「5 District Water Supply Project」によって建設され、1991年6月に完成した。その後はDPHEのメンテナンス期間で、1994年6月までに町に管理が移管される予定であったが、移管作業が遅れ、現在もDPHEと町との共同管理となっている。

ジョソール町の市街地には、16本の生産深井戸が掘削されたが、そのうち3本はフィルターが詰まるなどの理由で使用されておらず、現在13本の井戸が稼働中である。ADBプロジェクトでは、市内3箇所に鉄除去施設 (IRP) を設置したが、鉄分の濃度が小さく (2 ppm程度)、運用コストがかかるため、現在は使用されていない。塩分については全く問題はない。給水サービス時間は、午前6:00~9:00と午後12:00~5:00の計8時間となっている。給配水管網の最大管径は250mmで、全延長は108kmとなっており、ジョソール町の給配水管網図を図3-3に示す。

4) ジェナイダ (Jhenaidah) 町の水道施設概要

ジェナイダ町の水道施設は、1984年度JICA無償資金協力により深井戸が2本、高架水槽が3基、既設井戸1箇所にポンプが設置された。当時、既設井戸がすでにDPHEにより2本完成しており、その後DPHEにより更に3本の井戸が増設され、現在は7本の生産井戸で給水を行っている。現在、給配水管網の最大径は200mmで、総延長は59kmとなっており、図3-4にジェナイダ町の水道施設配置図を示す。給水サービス時間は、4つのポンプが午前6:00~8:00、午後12:00~2:00・4:00~5:00の計5時間、3つのポンプが午前6:00~8:00、午後

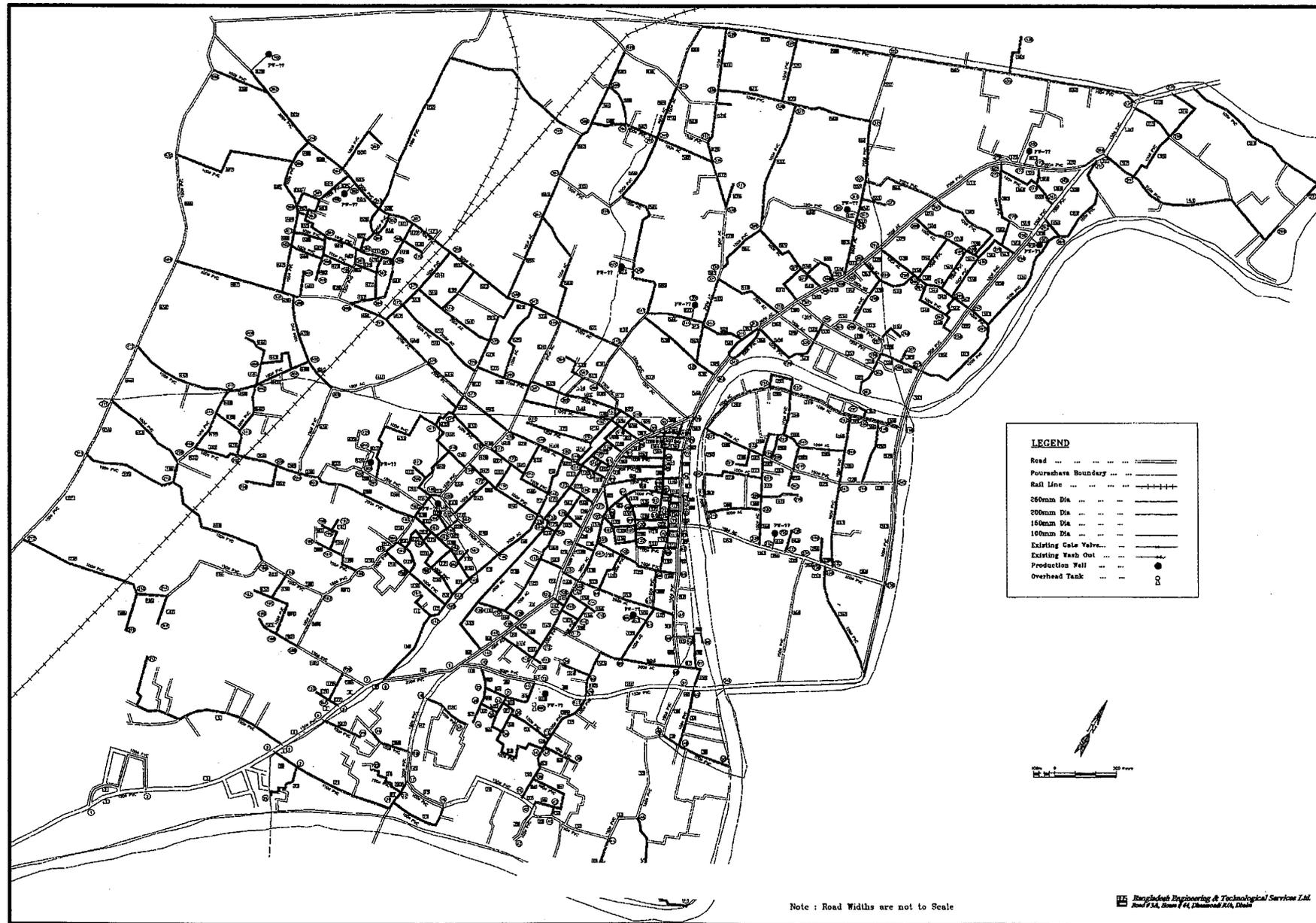


図3-3 ジョソール町の給配水管網図

12:00～2:00・4:00～6:00の計6時間となっている。

事前調査団の訪問調査時に、サンプルを採取してDPHEクルナ事務所ラボで分析するように依頼した、生産井戸の砒素分析結果を表3-9に示す。水質分析を行った6本の生産井戸のうち、2箇所でバングラデシュ基準の0.05mg/lを超える砒素濃度が検出された。

表3-9 ジェナイダ町の生産井戸の砒素分析結果

採水試料 No.	砒素分析結果(mg/l)	備 考
No.1	0.03	
No.2	0.03	JICA 無償によりポンプのみ設置。
No.3	0.01	JICA 無償により深井戸掘削 (No.3)
No.4	0.07	
No.5	0.06	
No.6	0.01	
No.7	-	JICA無償により深井戸掘削、ただし、現在ポンプ修理中のため採水不可。

5) チュアダング (Chudadanga) 町の水道施設概要

ジェナイダ町の水道施設と同じく、1984年度JICA無償資金協力により深井戸が3本、高架水槽が3基、既存井戸1箇所にもポンプが設置された。その後水需要量の増加により、DPHE独自の予算で2本の井戸が増設され、現在は6本の生産井戸で給水を行っている。給配水管網の総延長は、現在は41kmとなっている。給水サービス時間は、午前5:30～9:00、午後12:30～2:00・5:30～6:30の計6時間となっている。

無償資金協力で建設した3本の井戸のうち、第3ポンプ場の井戸(深度:108m)から基準値以上の砒素が検出され(0.052mg/l)、1995年12月に運転を停止したが、事前調査団の訪問調査時にはほかに運転を再開していた。その際、サンプルを採取してDPHEクルナ事務所ラボで分析するように依頼したが、調査期間中には実施されなかった。

6) 水道事業の経営状況

調査対象地域の町の水道料金徴収体系は、定額方式を採用しており、水使用量測定のためのメーターは一切設置されていない。また、公共水栓がジョソール町で65箇所、ジェナイダ町で13箇所、チュアダング町で11箇所使用されており、それらの水道料金は町が負担しており、無駄水の一因となっている。

表3-10にジョソール町の水道料金表を示す。水道料金は、家の大きさや家族数に関係なく一律であり、建物の階数が増すごとに追加料金を取るシステムになっている。ジョソール町の場合、全水道接続軒数5,489軒のうち、接続給水管径1/2"と3/4"の住宅接続軒数が5,215軒で95%を占めており、大口水利用者である工場は水道を使用していない。

表3-6に主要3町の水道主要指標を示すが、3町とも運転経費率（運転経費/請求額）が1.0以上で、上水製造コストが水道料金請求額を上回っている。実際の水道料金徴収額は請求額より更に10～20%下がるため、毎月相応の赤字が累積されている。それらの資金不足は電気料金の未払いによって凌いでおり、水道事業経営体として成り立っていない状況である。

ジョソール町の場合、月当たりの電気代22.5万タカに対し、1997年6月時点での電気代未払い累計額は164.2万タカで、7.3か月分の滞納となっている。また、ジェナイダ町では8.5か月分、チュアダングア町では20.8か月分の電気代を滞納しており、水道料金値上げなどの抜本的な経営改善が必要な状況である。

表3-10 ジョソール町の水道料金表

用途	接続軒数	接続径 (インチ)	接続費 (TK/軒)	月額料金 (TK/月)	1) 階層追加料金 (TK/階/月)	再接続費 (TK/軒)	2) 検査料金 (TK/回)
住宅	1,836	1/2	500	50	30	200	100
	3,379	3/4	650	75	45	300	100
	15	1	1,500	175	131.25	350	150
	6	1 1/2	3,000	450	337.50	600	200
	0	2	5,000	1,000	750	1,000	300
会社 事務所 政府機関	44	1/2	750	75	75	200	100
	101	3/4	950	100	100	250	100
	39	1	1,500	300	300	300	150
	5	1 1/2	3,000	1,000	1,000	400	200
	2	2	5,000	1,500	1,500	500	250
商業	21	1/2	950	150	150	300	150
	35	3/4	1,200	250	250	400	150
	4	1	2,000	400	400	500	200
	1	1 1/2	4,500	1,000	1,000	700	300
	1	2	7,500	1,500	2,000	900	400
工場 *1999年 現在適用 なし	0	1/2	1,200	200	200	400	150
	0	3/4	2,000	300	300	500	150
	0	1	3,000	450	450	800	200
	0	1 1/2	5,000	1,500	1,500	1,000	300
	0	2	7,500	2,500	2,500	1,200	400

注：1) 建物の階層が増えるごとに水道料金が追加される。

2) 使用者からの要請による漏水等の検査料

(8) 井戸水の水質と脱砒素実験結果

調査対象 3 県内の都市部生産井戸及び地方農村部小型井戸の水を採取し、砒素を含む各種有害元素の濃度を測定するとともに砒素除去実験を試みた。

1) 試料採取箇所

都市部生産井戸： ジェナイダ町 No. 3 生産井戸 (JICA無償)

地方農村部小型井戸： ジェナイダ県モヘルシュプルタナ チャンドララブル村内民家
(インド国境近く)

2) 試験方法

採取した試料水(原水)を十分、空気と接触させることにより、沈澱物が生成したが、これをメンブランフィルターでろ過することによりろ過水を得た。また、空気と接触させ沈澱物を含む水に無機粘土系凝集剤を添加し、その上澄み水を分取した。これらの原水、ろ過水及び凝集剤添加後の上澄み水に含まれる砒素等の有害元素濃度を測定した。砒素は水素化-ICP(プラズマ発光分光分析)法により分析し、鉄、マンガン、クロム、カドミウム及び鉛はICP法、水銀は加熱気化-冷原子吸光法により測定した。

3) 試験結果

試料水(原水)、ろ過水及び凝集剤添加後の上澄み水の水質分析結果を表3-11に示す。

表3-11 井戸水の水質と脱砒素実験結果

(単位: mg/l)

元素	都市部生産井戸水				地方農村部小型井戸水				バングラ デシュ国 飲料水 基準
	原水	ろ過水 ¹⁾	凝集剤添加上澄水		原水	ろ過水 ¹⁾	凝集剤添加上澄水		
			WS ²⁾	W ²⁾			WS ²⁾	W ²⁾	
As	0.02	0.02	0.01	0.01	0.30	0.10	0.11	0.07	0.05
Fe	0.62	<0.02	0.19	0.27	7.4	<0.02	1.5	0.79	0.3-1
Mn	0.52	0.51	0.48	0.49	0.18	0.13	0.14	0.12	0.1
Cr	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	0.05
Cd	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	0.005
Pb	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.05
Hg	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	0.001

1) 原水を空気酸化後、メンブランフィルター(0.45 μm)でろ過したろ液

2) 原水を空気酸化後、凝集剤を添加、静置後の上澄み水。凝集剤(日本のメーカーが市販)を使用。

都市部生産井戸水

都市部生産井戸水（原水）では、砒素濃度が0.02mg/lであったが、これはクルナ研究所での測定値0.01mg/lとほぼ一致しており、バングラデシュ国の飲料水基準（表3-12）中の砒素基準濃度0.05mg/l以下となっている。砒素以外には、鉄（0.6mg/l）及びマンガン（0.5mg/l）の濃度が比較的高い。特にマンガンについては、バングラデシュ国の飲料水基準値0.1mg/lをはるかに超えており、砒素以外の汚染物質として注意する必要がある。クロム、カドミウム、鉛及び水銀については、検出下限値以下のごく低濃度で、いずれもバングラデシュ国の飲料水基準値を下回っており、これらの成分による汚染の影響はないと考えられる。

都市部生産井戸水を空気と接触させたものでは、褐色沈澱物が生成したが、この沈澱物をろ過したる液では、砒素濃度は原水中と同程度（0.02mg/l）で、鉄がほとんど除去された（<0.02mg/l）が、マンガンはほとんど除去されなかった。これはマンガンが空気酸化では十分に酸化されず、水酸化物沈澱とならなかったためと推定される。砒素と鉄濃度の低下が同時に起こっていることから、砒素が水酸化鉄沈澱物と共沈したものと推定される。

さらに、空気酸化により沈澱物の生成した井戸水に凝集剤を添加したものの上澄み水では、砒素濃度0.01mg/l前後で、鉄濃度も原水に比べ低下しており（0.2~0.3mg/l）、沈澱物の凝集効果が認められるが、マンガンについては沈澱物となっていないため凝集効果は認められなかった。

地方農村部小型井戸

地方農村部小型井戸（原水）中の砒素濃度は0.3mg/lであり、バングラデシュ国の飲料水基準値をはるかに超えている。鉄濃度7.4mg/l及びマンガン濃度0.18mg/lもバングラデシュ国の飲料水基準値を超えており、この井戸水は飲料用として不適であることがわかった。クロム、カドミウム、鉛及び水銀については、検出下限値以下のごく低濃度で、いずれもバングラデシュ国の飲料水基準値を下回っていた。

一方、この井戸水を空気酸化し、ろ過したる過水では、飲料水基準値以下ではないものの砒素濃度が低下（0.1mg/l）しており、鉄はほとんど除去されているが、マンガンについては原水中濃度に比べいくらか低い値を示した。砒素と水酸化鉄の共沈物が生成したためと推定される。

さらに、空気酸化により沈澱物の生成した井戸水に凝集剤を添加したものの上澄み水では、砒素濃度（0.07~0.11mg/l）、鉄濃度（0.8~1.5mg/l）が原水に比べ明らかに低下しており凝集剤の凝集効果が認められるが、砒素については飲料水基準値以下までには低下しなかった。凝集剤添加量を増加することによって、さらに上澄み水の砒素を低下できる

可能性がある。ただし、マンガンについては、前述の水の場合と同様に、凝集効果は認められなかった。

まとめ

- (a) 井戸水中の砒素濃度については、都市部生産井戸（0.02mg/l）では飲料水基準（0.05mg/l）以下であったが、地方農村部小型井戸（0.3mg/l）では基準値以上の高濃度が検出された。空気酸化により砒素の大半は鉄と共沈し、その共沈物は凝集剤添加により容易に凝集し、ある程度除去できることがわかった。凝集剤添加量を増加させることにより、さらに砒素濃度を低下できる可能性がある。
- (b) 鉄濃度は、都市部生産井戸（0.6mg/l）では飲料水基準（0.3-1mg/l）以下、地方農村部小型井戸（7.4mg/l）では基準値以上であった。空気酸化により、水酸化物として沈澱し、凝集剤添加により凝集し、地方農村部小型井戸の鉄濃度を基準値以下まで低下できることがわかった。
- (c) マンガンについては、都市部生産井戸（0.5mg/l）、地方農村部小型井戸（0.2mg/l）ともに飲料水基準値（0.1mg/l）を超える高濃度で含まれており、空気酸化によってもほとんど沈澱物を形成しないため、凝集剤添加はその除去に効果を示さなかった。砒素以外の元素として、マンガンによる井戸水汚染も発生している可能性があることから、早急にその汚染状況の調査を行う必要があり、必要であればその対策技術も検討する必要がある。
- (d) クロム、カドミウム、鉛及び水銀については、都市部生産井戸、地方農村部小型井戸ともにいずれの元素も検出下限値以下のごく低濃度で、飲料水基準値を下回っており、問題のないことが確かめられた。

表3-12 バングラデシュ国の水質基準

No	Parameters	Unit	Drinking Water	Recreational water	Fishing Water	Industrial water	Irrigation water	Livestock Water	Coastal water
1	Acidity	mg/L			<20				
2	Alkalinity(total)	mg/L			70-100				
3	Al	mg/L	0.2				1		
4	Sb	mg/L	0.5	2	0.025		3		
5	NH ₃ (as N)	mg/L			1.2		15		60
6	As	mg/L	0.05	0.2			1	1	1
7	Ba	mg/L	0.5						
8	Benzene	mg/L	0.01						
9	Bicarbonate	mg/L						500	
10	BOD	mg/L	0.2	3	6	10	10		
11	B	mg/L	1					1<, 2	
12	Cd	mg/L	0.005				0.01	0.5	0.3
13	Ca	mg/L	75					700	
14	CO ₂ (dissolved)	mg/L			6				
15	Cl	mg/L	150-600 *)	600	600		600	2000	
Chlorinated alkanes									
16	Carbon tetrachloride	mg/L	0.01						
17	1,1dichloroethylene	mg/L	0.001						
18	1,2 dichloroethylene	mg/L	0.03						
19	Tetrachloroethylene	mg/L	0.03						
20	Trichloroethylene	mg/L	0.09						
Chlorinated phenols									
21	Pentachlorophenol	mg/L	0.03						
22	2,4,6trichlorophenol	mg/L	0.03						
23	Chlorine(residual)	mg/L	0.2	0.3	<0.01				2
24	Chloroform	mg/L	0.09						
25	Cr ⁶⁺	mg/L	0.05	0.05		0.5			
26	Cr(total)	mg/L	0.05		0.05				
27	COD	mg/L	4	4		3-10 ^{†)}			3
28	Coliforms(faecal)	n/100ml	0				10		
29	Coliforms(total)	n/100m L	2	200	5000		1000	100	1000
30	Colour	Hazen unit	15	Clear	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
31	Cu	mg/L	1		<0.4		0.2		0.3
32	CN	mg/L	0.1	0.1					0.2
33	Detargents	mg/L	0.2						
34	DO	mg/L	6 ^{‡)}	4-5	4-6	5	5	4-6	6
35	EC	mhos/cm		500	800-1000		750		
36	F	mg/L	1	1.5				4	
37	Formaldehyde	mg/L							
38	Hardness(as CaCO ₃)	mg/L	200-500		80-120	250 ^{¶)}			

*) 1000 for Coastal, 1500 for extreme situation in coastal, †) For boiler feed water, depending on boiler pressure, ‡) Desirable limit, ¶) 2-40 for boiler feed water, 50-130 for tanning, 1 for cooling water and for air conditioning water

No	Parameters	Unit	Drinking Water	Recreational water	Fishing Water	Industrial water	Irrigation water	Livestock Water	Coastal water
39	H ₂ S	mg/L				1-5			
40	I	mg/L							
41	Fe	mg/L	0.3-1 ^{*)}			0.5 ^{†)}			
42	Kjeldahl Nitrogen (total as N)	mg/L	1	1	1				
43	Pb	mg/L	0.05		0.05	0.01	0.1	0.05	0.2
44	Mg	mg/L	30-50					250	
45	Mn	mg/L	0.1			0.1-1 ^{†)}	2		
46	Hg	mg/L	0.001		0.001				
47	Ni	mg/L	0.1				0.5		0.2
48	Nitrate(as N)	mg/L	10					250	
49	Nitrite(as NO ₂)	mg/L	<1		0.03				
50	Odour		Odourless	Unobjectionable	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
51	Oil & grease	mg/L	0.01	0.1	0.01				15
52	Organo Phosphorous Compounds	mg/L	0	0					
Organo chlorine compounds									
53	Aldrin & dieldrin	mg/L	0	0					
54	Chlordane	mg/L	0	0					
55	DDT	mg/L	0	0					
56	Hexachlorobenzene	mg/L	0	0					
57	Heptachloro & heptachlorepoxyde	mg/L	0	0					
58	Lindane(HCH)	mg/L	0.003						
59	Methoxychlor	mg/L	0.03						
60	2,4D	mg/L	0.1						
61	Percent Sodium	%							
62	PH	mg/L	6.5-8.5	6-9.5	6.5-8.5	6-9.5	6.0-8.5	5.5-9	6-9
63	Phenolic compounds (as phenol)	mg/L	0.002	0.001					1
64	PO ₄	mg/L	6	6	10		10		
65	P	mg/L	0		1.0				
66	K	mg/L	12						
Radioactive materials ^{¶)}									
67	Gross α activity	Bq/L	0.01						
68	Gross β, γ activity	Bq/L	0.1						
69	Se	mg/L	0.01	0.05			0.05		
70	Si	mg/L							
71	Ag	mg/L	0.02						0.05
72	Na	mg/L	200					1000	
73	Na adsorption ratio	mg/L					8-16		
74	Na ₂ CO ₃ (residual)	mg/L							
75	NaCl	mg/L						2860-12000	
76	SS	mg/L	10	20	25	75			75

*) 5 for maximum tolerable limit in absence of better source, †) 0.25 for textile dyeing, 0.2 for tanning, ‡) 0.5 for air conditioning, 0.2 for textile dyeing and for tanning, ¶) Detailed values will be set up by Bangladesh Atomic Energy Commission.

No	Parameters	Unit	Drinking Water	Recreational water	Fishing Water	Industrial water	Irrigation water	Livestock Water	Coastal water
77	Sulfide(as S)	mg/L	0						
78	SO ₄	mg/L	400				1000		
79	Tar	mg/L	0	0	0				
80	Taste		Not offensive	Normal	Normal	Normal	Normal	Not offensive	Normal
81	T.D.S	mg/L	1000			1500 ^{*)}	2000	5000	
82	Temperature	°C	20-30	20-30	20-30	20-30	20-30	20-30	30
83	Sn	mg/L	2						
84	Turbidity	J.T.U	10	10		50			75
85	Zn	mg/L	5		10		5		

*) 50-500 for boiler feed water

Note:

- 1) Blank in the table shows NYS in the original table which means probably to be not yet standardized.
- 2) Drinking water should not contain pathogenic organisms, parasites, algae, other organisms.
- 3) Recreational water should be free from materials which impart colour, taste, turbidity e.g. oils, greases, phenols, substances which may settle to form objectionable deposits or float on the surface as debris, oil and scum, toxic substances including radionuclides, physiologically harmful to man, fish or other aquatic plants or animals, and substances which are likely to result in promoting the growth of undesirable aquatic life.

第4章 本格調査の基本方針

4 - 1 本格調査の目的

- (1) バングラデシュ国政府の要請に基づき、同国西部3県（ジョソール、ジェナイダ、チュアダングア）を対象として深層地下水開発を中心とした砒素汚染対策についてのマスタープランを策定し、優先プロジェクトへのプレ・フィージビリティスタディを実施する。
- (2) 同調査の実施を通してカウンターパートへの技術移転を図る。

4 - 2 調査対象範囲

調査対象地域は同国西部3県（ジョソール、ジェナイダ、チュアダングア）とする。

4 - 3 調査項目と内容

(1) 第1段階:現況調査とデータベースの構築

対象地域の汚染関連データ、井戸資料等を収集・分析し、実施機関であるバングラデシュ国公衆衛生工学局(以下、DPHE)が所有する既存井戸(約45,000本)に係るデータベースを作成する。また、先方実施機関との協議を踏まえ、井戸現状調査のための井戸を選定し、それらの井戸の水質、構造等の調査を行い、砒素汚染の現状を把握するとともに、既存の資料等から将来の人口、マクロ経済動向、産業動向を予測し、マスタープラン策定のための社会経済フレームを設定する。

本段階では、生産井戸周辺水位観測孔の設置及びモニタリング、深度別地下水の採水及び分析、脱砒素装置の室内実験等を行い、第2段階で実施される予定の実証試験の仕様(観測深井戸、改良型深井戸、脱砒素装置等)を検討する。

また、調査結果を他ドナー機関などの関係者と共有し、相互的情報交換を行えるようにするために本調査のWeb Siteの立ち上げを検討する。

(2) 第2段階:深井戸掘削・砒素除去装置等に係る実証試験とマスタープランの策定

砒素汚染メカニズムの解明に資する実証試験ならびにモニタリング(観測深井戸の掘削、揚水試験、観測深井戸の地下水の採水及び分析、電気探査、生産井戸周辺水位モニタリング等)を行う。

農村部における既存井戸の汚染対策に資する調査ならびに実証試験(ベースライン調査、改良型深井戸の掘削、脱砒素装置の実証試験、代替水源の検討等)を行い、同結果を踏まえて汚染対策マスタープランを策定するとともに、短期緊急的に必要な優先プロジェクトの選定を行う。

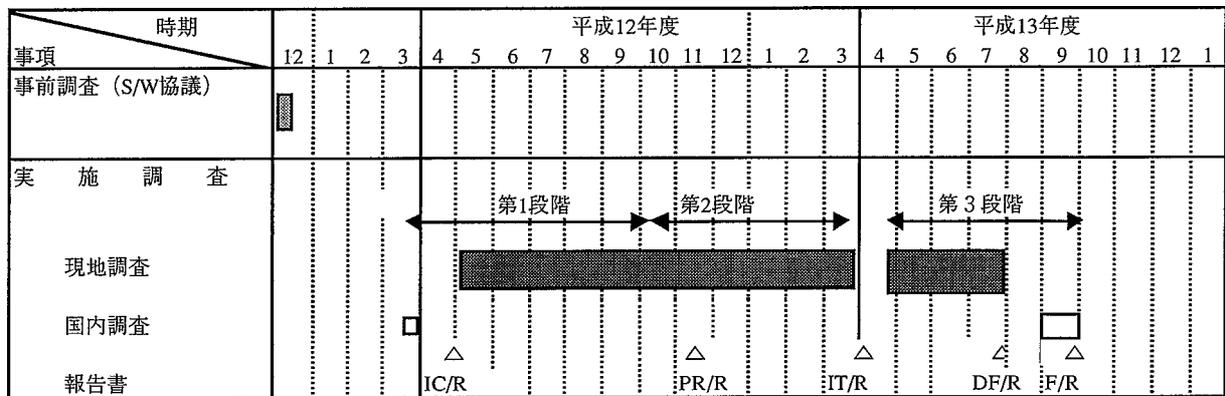
(3) 第3段階:優先プロジェクトに係るプレ・フィージビリティスタディの実施

第2段階での実証試験ならびにモニタリング結果等に基づき、地下水開発シミュレーション、地下水流動解析を行い、汚染メカニズムの解明を図る。また、第2段階のマスタープランで選定された優先プロジェクトに対するプレ・フィージビリティスタディ調査を実施する。

4 - 4 調査工程と要員構成

(1) 調査工程

調査工程は、原則として平成12年3月中旬に開始し、約18か月後終了をめどとする。全体調査行程はほぼ次のとおりである。



- Note
- IC/R : Inception Report
 - PR/R : Progress Report
 - IT/R : Interim Report
 - DF/R : Draft Final Report
 - F/R : Final Report

図4-1 全体調査行程

(2) フローシート

調査行程のフローシートを図4-2に示す。

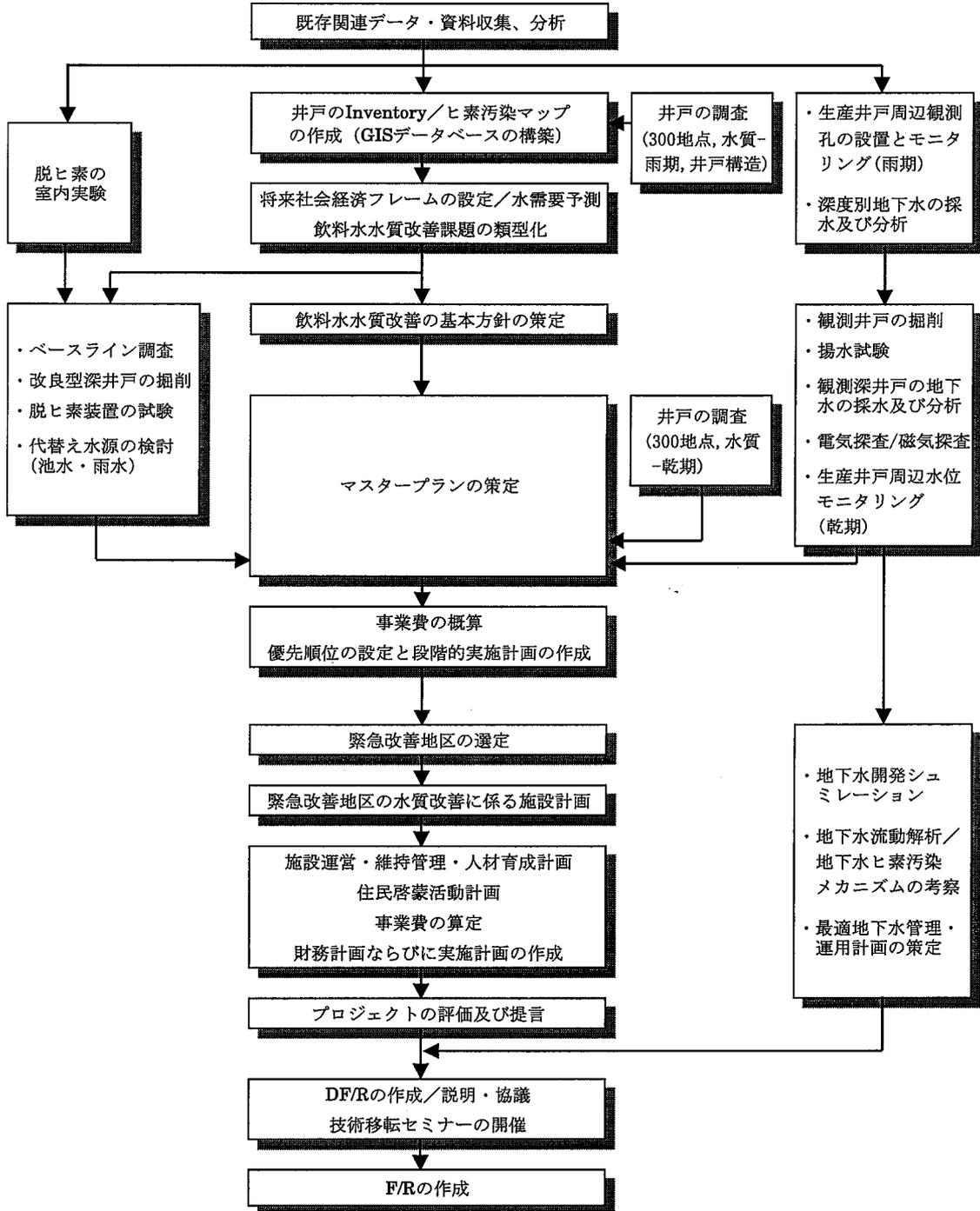


図4-2 調査のフローシート

(3) 要員構成

本調査団の構成は、水理地質、井戸掘削指導、水質分析、給水計画/給水施設設計の専門家を中心として、社会・経済/財務計画、社会配慮、システムエンジニアを配し、おおむね以下の要員により構成される。

- 1) 総括
- 2) 水理地質(1)(水文/解析)
- 3) 水理地質(2)(電気探査)
- 4) 井戸掘削指導(1)(観測深井戸)
- 5) 井戸掘削指導(2)(改良型深井戸)
- 6) 水質分析(1)(脱砒素装置)
- 7) 水質分析(2)(")
- 8) 給水計画/給水施設設計
- 9) 社会・経済/財務計画
- 10) 社会配慮・環境配慮
- 11) 情報システム(GIS)

4 - 5 調査用資機材

(1) DPHEの保有資機材

1) DPHEクルナ研究所保有の分析機器

DPHEは、4つの地方研究所を保有しているが、対象3県を管轄するクルナ研究所を訪問し、保有する分析機器を調査した。同研究所の保有する主要機器は以下のとおり。

<クルナ研究所保有の主な分析機器>

PH計、電導度計、培養器(細菌培養用)、乾燥器、電子天秤、吸光光度計、滴定装置(硬度測定用)、濁度計、蒸留水製造器、水素化砒素発生器、ドラフトチャンバー、原子吸光光度計(故障中)

これらの分析機器を使用することにより、一般的な水質検査項目(鉄、カルシウム、マグネシウム、マンガンなど)及び砒素を分析可能であるが、原子吸光光度計が故障中であり、この機器でしか分析できないナトリウム、カリウムなどの分析は現状では実施できない。

2) DPHE地方事務所保有の砒素分析用フィールドキット

対象3県(ジョソール、ジェナイダ、チュアダンガ)のDPHE地方事務所では、管轄する各県の各タナにインド製の砒素分析用フィールドキットを1個ずつ支給しているが、必要な試薬の補充がないものや分析機器のうちガラス製の器具が破損して使用できないものが大部分で、砒素測定用器材としてはほとんど機能していない。

3) DPHEの保有する地質探査機器及び井戸観測機器

DPHEが保有する物理探査機器は、電気探査機器（スウェーデンABEM社製 SAS300）2台と電気検層器機器2台である。いずれも型式は古いタイプのもので、現状ではほとんど使われていないようである。管理しているのはDPHE本部のResearch and Development Division である。

4) DPHE地方事務所保有のコンピュータ機器

対象3県（ジョソール、ジェナイダ、チュアダンガ）のDPHE地方事務所のうち、ジョソールには、ADBの9 District Water Supply and Sanitation Projectの「おまけ」として、コンピュータが1セット納入されている。ただし、Word、Excel等の事務処理一般を用途としたもので、GISデータベースの構築には新たなソフトとハードが必要である。また、コピー機が3県の地方事務所ともなく、事務処理の近代化、効率化が著しく遅れている。

(2) 必要な調査用資機材

1) 水質分析機器及び分析用薬品

対象3県の井戸水に含まれる砒素濃度をより正確に測定するため、本格調査では3県の中心に位置するDPHEジェナイダ地方事務所あるいはジョソール事務所に砒素測定研究所を設立し、より効率的に砒素の分析を実施する。また、脱砒素室内試験及び実証実験に際しては、実験用ポンプと無機粘土系凝集剤が必要である。調査に必要な水質分析用資機材は以下のとおり。

原子吸光光度計（可搬型）	3台（現地調達）
電子天秤（最少秤単位：0.01g）	3台（現地調達）
蒸留水製造器	3台（現地調達）
ドラフトチャンバー	3台（現地調達）
ガラス機器類	各1式（現地調達）
(a) メスフラスコ	
(b) メスシリンダー	
(c) メスピペット	
(d) 水素化砒素発生器	
試料水採取プラスチック瓶	各1式（現地調達）
(a) 砒素分析用（500ml）	
(b) カドニウム等用（500ml）	
砒素分析用薬品	各1式（現地調達）
(a) 塩酸	

- (b) ヨウ化カリウム
- (c) 塩化スズ
- (d) 亜鉛末
- (e) 硝酸鉛
- (f) クロロホルム

実験用ポンプ	3台
無機粘土系凝集材	20kg

2) 電気探査/磁気探査、観測井戸/簡易水質測定器

地質構造物理探査として、電気探査と磁気探査測定器が必要である。また、観測深井戸、生産井戸周辺観測孔等の井戸の観測、ならびに簡易水質測定のための測定器が必要である。調査に必要な資機材は以下のとおり。

電気探査測定機器（付属品一式含む）	1台（現地調達）
電磁波探査装置（付属品一式含む）	1台
GPS（携帯用）	4台
ポータブル水位計（50m）	5台
PHメーター（水温測定可能）	3台
電気伝導メーター	3台
ORTメーター	3台
トランシーバー	5台
改良型井戸掘削用シール材	1式

3) GISデータベース構築用コンピュータ

GISデータベース構築用のコンピュータソフトとハードが必要である。調査に必要な資機材は以下のとおり。

PCコンピュータ（付属品一式含む）	3台（現地調達）
レーザープリンタ	3台（現地調達）
プロッター	1台（現地調達）
GISソフト	3セット（現地調達）
コピー機	3台（現地調達）

4) Web Site構築用パソコン

PCコンピュータ
サーバー

4 - 6 調査実施上の留意点

(1) 情報の一元化とデータベースの構築

バングラデシュ国の砒素問題対策のために、多くの国際援助機関、ドナー国、NGOが援助を実施しているが、カウンターパートであるDPHEに情報が集積されておらず、正確な現状の把握がなされないままになっている。本格調査においては、調査対象地域の西部3県（ジョソール、ジェナイダ、チュアダンガ）の地下水砒素汚染に係るデータベースを構築し、情報の一元化を図るとともに、Web siteなどを利用しながら砒素汚染対策に取り組む国際機関、ドナー国、NGOに情報を開示し、より効果的かつ包括的な砒素問題対策立案のための基礎データとする。また、本格調査終了後のDPHEによる管理運営を念頭に、データベースの入力・更新に係る技術指導を、DPHEカウンターパートに行う必要がある。

(2) 地下水砒素汚染のメカニズムの解明

現在までのところ、砒素汚染のメカニズムについては酸化説と還元説の2つが考えられている。酸化説は地層に含まれる黄鉄鉱（Pyrite）が酸化する際に、砒素が地下水中に溶け出す現象、還元説では三価の水酸化鉄が還元する際に、地層中の砒素が地下水中に溶け出す現象である。現状では還元説のほうが支持されているようであるが、メカニズムを明解に説明できるまでは至っていない。調査地域の水理地質構造と井戸の関係は次頁の図4-3に示すように推定される。

DfiDが全国で行った調査（1999年1月）によれば、バングラデシュ基準値以上の砒素濃度が検出された井戸は、深度100m未満のものが圧倒的に多く、深度200mを超えるような深い井戸の砒素濃度はほとんどの井戸で基準値以下であった。また、10m以浅の浅い地下水の砒素濃度は基準値以下のものが多い状況にある。砒素の汚染源は18,000年前の最終氷期終了後から現在までに堆積したヒマラヤ起源の比較的新しい氾濫源ないしは三角州堆積物に含まれる砒素で、これが地下水に溶出しているとされている。特に地表に近い有機物を含んだ粘土層は、他の地層に比べて地層中の砒素含有量が多いことが、アジア砒素ネットワークの調査（1999年4月）で明らかにされており、この層が主たる汚染源である可能性が強くなってきている。

しかし、一般には上述したような傾向はあるものの、地域によってはかなり深部でも砒素濃度の高い地下水の存在が報告されており、事実関係も含めて早急に砒素汚染メカニズムの解明が必要である。バングラデシュで掘られている生産深井戸（200m以上）は、塩水化対策用のものがほとんどで、チッタゴンやコルナ等の沿岸部に集中している。今回開発の対象とする深層地下水については、現在のところ、具体的な基礎的データが得られていないので、この部分についての基礎的データの収集とともに、砒素汚染との関連性を把握し、将来の開発の可能性を含めた検討が必要である。

(3) 最適地下水管理・運用計画の策定

深層地下水の開発にあたっては、対象となる深層地下水が開発対象になるかどうかを見極めるために、水質（砒素、その他の水道一般項目）と水理定数（透水係数、貯留係数、漏水係数等）を事前に把握し、開発上の問題点を明らかにする必要がある。また、開発の可能性が確かめられれば、開発に先立って次の項目について検討を加える必要がある。

砒素汚染を拡大するような2次汚染の可能性。

沿岸部に近い地域では、塩水化の可能性。

広域的な地盤沈下の可能性。

井戸の機能不全や周辺井戸の揚水能力の低下。

良質な地下水を、継続的にかつ安定的に供給するには、上述した事項を考慮しつつ、事業の計画段階からハード、ソフト両面からの最適な地下水管理・運営計画を策定し、この計画に沿った適正なる地下水管理・運営を行う必要がある。

ハード面からの地下水管理・運用計画としては、モニタリングによる水位、水質の管理システムの構築がある。特に、砒素濃度は場所によって、季節や地下水位の変動状況に応じて変化することが予想されるので、系統だったモニタリング体制を確立する必要がある。フィールドキッドによる測定は、個人的な読み取り誤差や測定精度上の問題が考えられるので、吸光光度計を使った砒素濃度の測定体制（DPHE県事務所での測定）が確立されることが望まれる。また、シミュレーション解析により、将来の水位・水質の変動がある程度予想できるので、実際の測定データとシミュレーション予測値を照合することによって、大局的な変動状況が把握できる。この際、農業灌漑用の井戸からの揚水量の増減については、特に注意を払う必要がある。

ソフト面からの地下水管理・運用計画としては、地下水管理・運用の必要性を関係する各機関の管理者及び技術者に認識させる必要がある。それには、問題の本質やことの重要性を理解させる教育や技術面のトレーニング、セミナー等が必要である。また、スムーズな実施体制の確立、他の関係機関との強調なども重要な課題である。

(4) 生産型/改良型井戸の技術開発

生産型深井戸とは深層地下水を対象とした口径の大きな生産井戸のことで、都市部の水道水源用の井戸が対象となる。生産型井戸の技術上の問題点は、深度250m～300mクラスの生産井戸の掘削とそれに伴う深い位置での完璧なシールである。最近ではチッタゴン市では最近300mクラスの生産井戸が幾つか掘られているようであるが、地盤条件の異なる調査対象地域（チッタゴン市付近は厚い粘土層、調査地域は砂層主体）では、このような掘削技術は確立さ

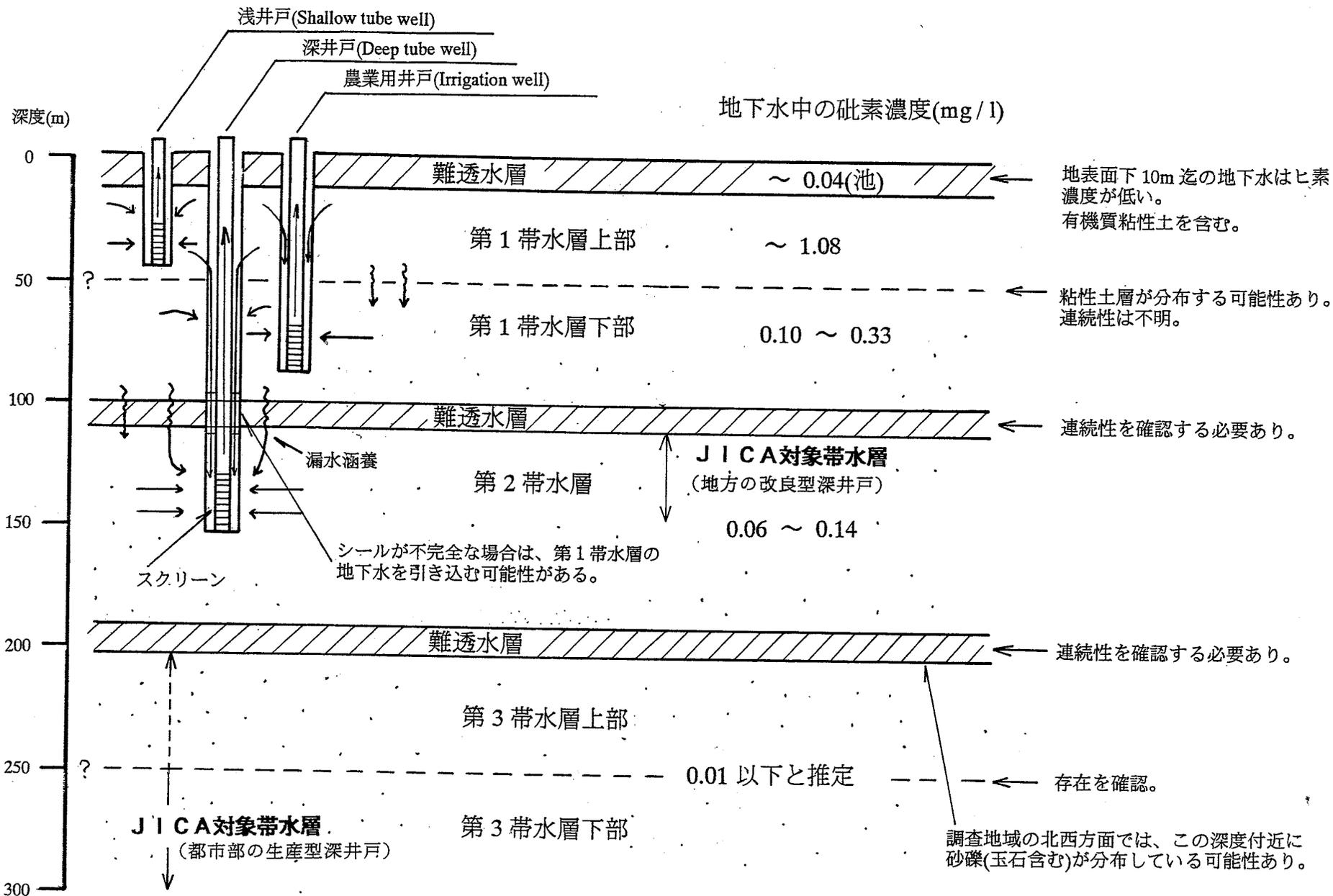


図4-3 調査地域の水理地質構造と井戸の関係

れていないと判断される。シール技術については、経験に基づいた技術が必要な分野であり、仮に不完全なシールの場合、上部の高砒素濃度地下水の進入を許すことになり、汚染拡大の原因にもなる。地域の地層にあった完全なシール工法を確立すべきである。このような観点から、生産型深井戸の掘削技術とシールの施工技術は、相手側に技術移転すべき重要な技術と考えられる。

一方、改良型深井戸は、口径の小さな人力掘削井戸（ドンキーポンプを使用）の改良井戸ことで、村落での小規模給水の対象になるものである。この井戸の場合も今までは単に掘削した後、パイプを立て込んだ状態のものが多く、シールはほとんど施されておらず、上部の砒素汚染地下水が井戸壁面を通過して深部に流れ込んでいる可能性がある。簡単にでき、確実性の高いシール技術の開発が最大の課題であるため、この点に焦点を絞った開発技術を本格調査で行う必要がある。

(5) 簡易砒素除去装置の技術開発

オランダは18DTPプロジェクト（18 District Towns Water Supply, Sanitation & Drainage Project）の一環として、製造井用の大型脱砒素装置（棚段式エアレーション-砂ろ過方式）をほかに設置、稼働させている。大型生産井戸において脱砒素を行う必要がある場合には、このような方式をそのまま、あるいは改良したものを採用すればよいと考えられることから、本調査ではこのような大型生産井戸ではなく、小型の井戸を対象とした脱砒素装置の開発をめざすものとする。

小型井戸に適用できる脱砒素装置においても、脱砒素の原理は大型生産井戸と同様に、エアレーションにより砒素を鉄と共沈させ、その共沈物を砂ろ過あるいは凝集剤添加による沈降分離を利用するものとするが、この場合には大型生産井戸用の脱砒素装置に比べ、小型の装置を数多く普及する必要があることから、装置の製造コストやメンテナンスの容易性を十分配慮したものでなくてはならない。したがって、装置設計にあたっては、項成部品に極力、現地で調達できるものを活用するとともにメンテナンスの容易性を達成するため、より簡単な構造のものとする。

また、砂ろ過層に捕捉された鉄-砒素共沈物は定期的に逆洗することにより除去する必要がある。凝集剤を添加して沈降分離させた鉄-砒素共沈物も定期的に排除する必要がある。このように定期的に発生する鉄-砒素共沈物を主体とするスラッジについても、その環境保全を考慮した安全な処分方法を検討する必要がある。

(6) DPHE地方事務所における水質分析能力の強化

井戸水の砒素簡易分析器具として、各種のフィールドキットが開発され、普及しているが、

この方法は簡便ではあるが測定結果の信頼性は低く、その精度について現在、議論がなされているところである。

本調査においては、正確な砒素濃度を測定するということを前提とするため、フィールドキットによる測定は実施せず、現地のDPHE地方事務所に分析室を設立し、正確な砒素濃度を測定することとする。現地分析室での現地分析員に対する砒素分析技術に関する教育・指導も本業務の範囲内とし、砒素分析技術に係る技術移転を図ることとする。

(7) 他機関及び他ドナーとのコーディネーションの強化

バングラデシュ国の砒素問題取り組みとして、国家砒素対策委員会をはじめ、医療機関を含む多くの政府関係機関が関係している。さらに、国際機関ならびに他のドナー国においては、世界銀行、UNICEF、WHO、UNDP、イギリス（DFID）、オランダ、デンマーク（DANIDA）、アメリカ（USAID）等数多くの機関が援助を実施しており、それら関係機関との調整と協力が不可欠であるが、バングラデシュ側のカウンターパートであるDPHEの調整能力は決して高いとはいえず、本格調査実施にあたっては、本格調査団のリーダーシップによって、他機関及び他ドナーとのコーディネーションの強化を図っていく必要がある。