

第9章

マスタープラン

要約

第9章 マスタープラン

9.1 マスタープランの基本方針

「バ」国の「安全な水供給と衛生国家政策」(National Policy for Safe Water Supply & Sanitation 1998) は、砒素汚染地域における飲料水の砒素除去と代替水源の供給を短期的ゴールの一つとして掲げている。本マスタープランはこの政策を踏まえ、主として深層地下水¹の開発によりチュアダンガ、ジェナイダ、ジェソールの3県住民に砒素汚染のない安全な飲料水を供給することを目的とする。

UNICEFによれば、「バ」国では地下水による給水率はかつて97%に達していた。しかしその後砒素問題の発生により給水率は低下しているため、本マスタープランは3県住民への安全な水の給水率を97%に回復することを目標とする。マスタープラン策定の基本方針は次のとおりである。

マスタープランの目標年次は2010年とし、短期(2003年)、中期(2005年)、長期(2010年)の3段階に区分する²。

対象地域3県を農村部及び都市部(ポルシャバ)に分けて計画する。

農村部は本調査により作成した全域の砒素汚染濃度分布図に基づきゾーニングを行いゾーン毎に対策を策定する。また詳細な対策を行うため全井戸のスクリーニングを行う。

都市部は、給水地域および未給水地域に分け計画する。給水地域については既存施設の改修及び拡張計画を主とする。未給水地域についてはスクリーニングにより井戸の汚染実態を把握し計画を策定する。

水源は良好な水質を有する深層地下水とする。深層地下水により給水されない地域については、改良型深井戸、砒素除去装置、池水の砂濾過、浅井戸等の代替水源を計画する

砒素汚染のない安全な飲料水の目標水質はバングラデシュ国飲料水水質基準の0.05 mg/l以下に設定する。

計画の全期間にわたって地下水の砒素濃度モニタリングを行い水質の安全性を確保する。

¹ 本マスタープランでは、帯水層を分布深度により、浅層(30-100 m) 中層(100-200 m) 深層(200-300 m) に区分する。

² BAMWSPは開始時(1998年)に15年後(2013年)を目標年次として計画していた。本件ではSWミッション調査時にBAMWSPのスケジュールを考慮しつつ、砒素問題の重大性と緊急性からプロジェクトの目標年次を2010年とすることを先方政府と合意した。調査団としても目標年次を2010年とすることは妥当であると考えた。

9.2 砒素汚染対策地域区分

2000年乾季及び雨季に300ヶ所の既存井において実施した砒素分析結果によれば、深度30～50mの浅層地下水の砒素濃度0.05mg/lを越える地域が調査対象地域の西側で大きく広がっている。一方、東側地域では局所的に0.05mg/lを越える地域もあるが、全体的には基準値以下の濃度を示している。乾季と雨季の砒素濃度分布を比較すると雨季に砒素濃度が上昇する地域もあるがその反対のケースも見られ、大局的に見て両者の間に大きな差はない。砒素汚染対策地域を同定するため、乾季と雨季の濃度の違いを勘案しつつ、砒素濃度分布図をGISで作成したモザマップに重ね合わせ、都市地域（ポルシャバ）を除く農村地域を砒素濃度0.1mg/l以上の緊急改善地域、0.05mg/l以上0.1mg/l以下の準緊急改善地域及び0.05mg/l以下の監視区域に区分した（図9.2.1）³。

緊急改善地域は3県合計で面積670km²に達し、319モザ約51万人が0.1mg/l以上の高い濃度の砒素汚染地域に住んでいる。また、準緊急改善地域の面積は1,221km²で、モザ数517、総人口は約89万人に達している（表9.2.1）。

³ この図は砒素濃度測定密度を19km²に1点の割合で作成したものであるから、測定密度を増せば分布図の精度が上がり、対策範囲が微妙に変化すると考えられる。しかし、この点については全井戸スクリーニングによる修正が可能である。

表 9.2.1 砒素汚染地域の区分

THANA	Urgent Area (As>0.1mg/l)			Semi-urgent Area (As>0.05mg/l)		
	Mouza	Area(Km ²)	Population	Mouza	Area(Km ²)	Population
CHUADANGA						
Alamdanga	4	11.8	4,874	18	59.6	38,327
Chuadanga	23	60.9	43,674	50	156.5	123,772
Damurhuda	3	11.8	8,235	10	54.3	40,651
Jibannagar	16	48.8	27,113	32	75.3	51,384
Sub-total	46	133.3	83,896	110	345.7	254,134
JHENAI DAH						
Harinakunda	---	---	---	5	8.8	4,872
Jhenaidah	2	1.6	982	29	51.7	31,400
Kaliganj	---	---	---	5	12.3	5,202
Kotchandpur	10	21.9	12,148	13	30.4	12,244
Maheshpur	20	46.6	29,865	58	164.1	98,977
Sub-total	32	70.1	42,995	110	267.3	152,695
JESSORE						
Chuagachha	49	94.4	86,857	45	99.4	61,875
Jessore	7	12.8	18,187	20	33.7	40,443
Jhikargachha	50	100.8	71,831	66	117.7	102,932
Keshabpur	61	100.7	83,999	61	115	92,419
Manirampur	45	69.3	54,203	77	167.2	131,977
Sharsha	29	89	68,002	28	74.9	50,572
Sub-total	241	467	383,079	297	607.9	480,218
Total	319	670.4	509,970	517	1220.9	887,047

Statistics of Arsenic Contaminated Area

Thana	14
Union	97
Mouza	836
Area(Km ²)	1,891
Pop (1991Census)	1,397,000
Pop (2001Estimated)	1,756,786

一方、水道施設の設置されている 3 県都市地域（ポルシャバ）の水源井の砒素濃度は表 9.2.2 に示すとおりであり、チュアダンガ、ジェナイダ及びモヘシュプールの各水源井は軽微ではあるが「バ」国水質基準を上回る砒素濃度が検出される。これら 3 ポルシャバで給水を受ける約 25 万人の住民は、直接的な砒素汚染

リスクに曝されている。また、各ポルシャバの未給水地域では浅層地下水を利用して
いるため、砒素汚染地域内に位置する各ポルシャバの未給水地域住民もまた
恒常的に砒素汚染リスクに曝されている。

表 9.2.2 各ポルシャバの人口、給水率、水源井戸数と砒素濃度

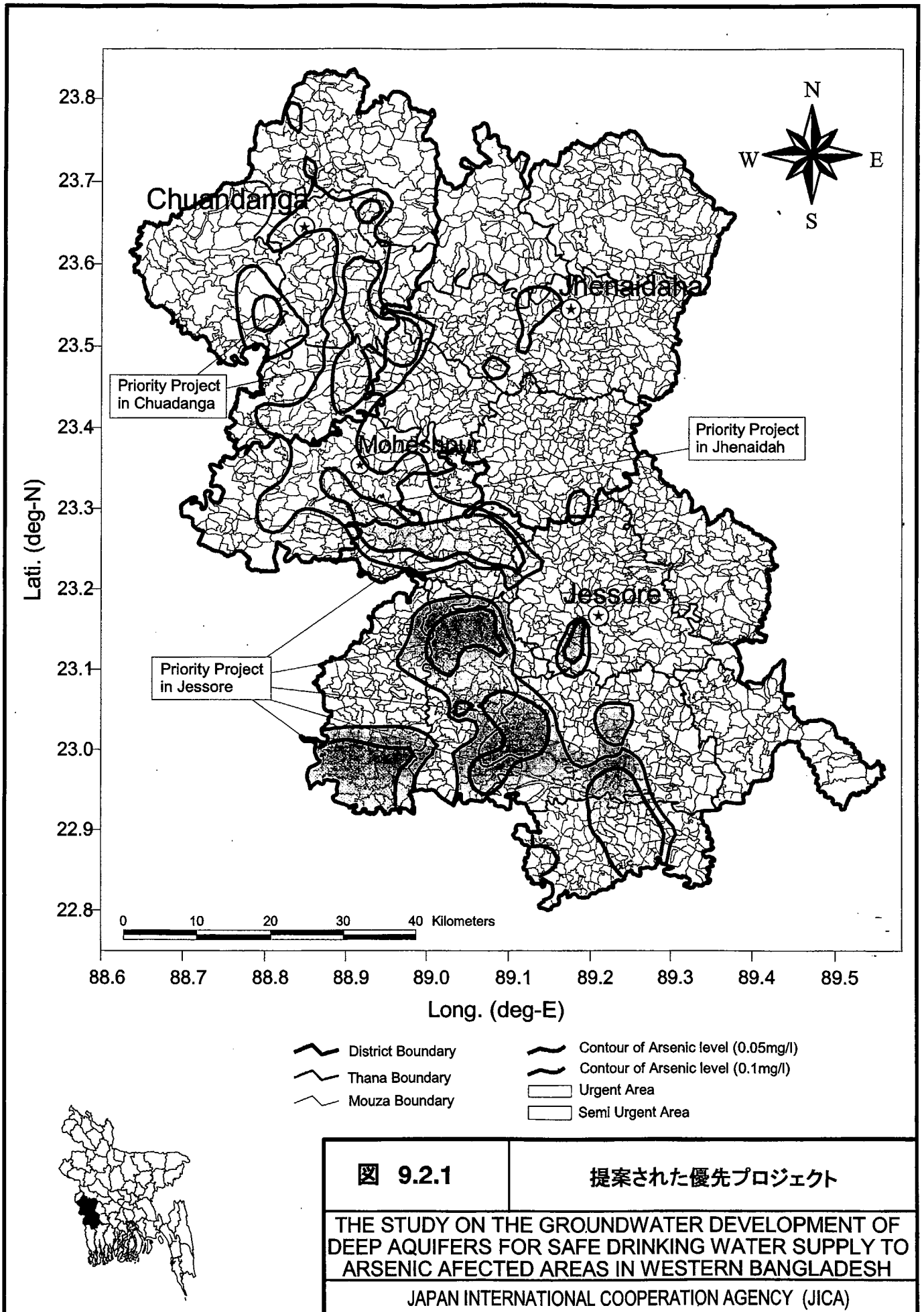
県	ポルシャバ	人口（給水率）	水源井戸数	最高砒素濃度 mg/l （注）
チュアダンガ	チュアダンガ	131,314(25%)	5	0.066
ジェナイダ	ジェナイダ	94,624(32%)	7	0.064
	サイルクパ	28,527(5%)	3	0.008
	カリガンジ	42,891(30%)	3	0.021
	コチャンドプ ール	40,000(30%)	3	0.015
	モヘシュプ ール	24,433(8%)	2	0.072
ジェソール	ジェソール	350,000(41%)	17	0.03

（注）水源井戸のうち最高濃度（2000年12月 2001年1月調査団 AAS分析）

以上のことから、都市地域（ポルシャバ）は、水道施設による給水地域と未給水
地域に区分し、給水地域はさらに水道水源井の汚染地域と非汚染地域に区分す
る。また、未給水地域の汚染対策は農村地域に準じて実施する。以上をまとめ
ると砒素汚染対策地域区分は表 9.2.3 のようになる。

表 9.2.3 砒素汚染対策地域区分

地域	対策地域区分（砒素濃度）	
農村地域	緊急改善地域（0.1mg/l 以上）	
	準緊急改善地域（0.05mg/l 以上 0.1mg/l 以下）	
	監視地域（0.05mg/l 以下）	
都市地域（ポルシャバ）	給水地域	水源井汚染地域（0.05mg/l 以上）
		水源井非汚染地域(0.05mg/l 以下)
	未給水地域	農村地域に準じる



9.3 スクリーニングとマッピング

現在 BAMWSP は国家スクリーニング計画(National Screening Program)として全国的に砒素汚染スクリーニングを進めている。計画のフェーズ 1 では 6 タナ、またフェーズ 2 で 40 タナを対象として実施しており、2001 年 10 月からはフェーズ 3 として全国 147 タナにおいて実施する予定である。この 147 タナのうちには本マスタープラン対象 3 県の 11 タナが含まれている。なお 2001 年 11 月現在、フェーズ 1 及び 2 のスクリーニング結果は未だ公開されていない。BAMWSP のスクリーニングでは、汚染井戸の位置やその濃度を示したマップは公開されていないので、対策施設の種類や設置場所をどのようにしたらよいかなど設計に必要な具体的な情報は現時点では得られない。

本調査で実施したスクリーニングは 1 本 1 本の既存井戸の位置をプロットしたモザマップを作成して砒素濃度の分布を描き、村のどの範囲が砒素に汚染されておりまたどの地域は安全か具体的に視覚的に示すものである。このようなマップが得られれば、応急的な対策として未汚染地域の井戸の活用なども可能となり、恒久的な砒素対策の施設計画も具体的に進めることができると考えられる。従ってこのマスタープランでは砒素汚染対策地域について次に示す手順と方法でスクリーニングとマッピングを行う計画とする。

- スクリーニング調査票、モザマップ⁴の準備
- モザ代表者及び井戸所有者への説明
- 井戸位置の GPS による測定とモザマップへの記入
- 井戸構造、利用者、砒素中毒患者等についての調査
- 採水及びフィールドキットによる砒素濃度測定
- pH, ORP, EC 及び水温測定
- 井戸所有者への測定結果報告
- 汚染井戸のペンキ塗り
- 写真撮影
- 採水及び室内砒素分析 (AAS 分析：指定井戸のみ)
- 砒素汚染濃度分布図作成

⁴ 空中写真や衛星画像を用い縮尺 1/5,000-1/10,000 で作成する。

9.4 砒素汚染メカニズムと対策の方向

調査対象地域3県の水文地質構造をみると、北部のチュアダンガ及びジェナイダ県では地下水は深度数10mから300mまでの砂層及び礫層に賦存しており、帯水層と帯水層の間には顕著な難透水層（粘土層）は発達していない。一方、ジェソール県南部では深度100m前後までの浅層・中層帯水層と深度300m前後の深層帯水層との間には厚い難透水層が発達している。深層帯水層は主に砂層から成り、浅層・中層帯水層に比べると比湧出量は小さく帯水層としての能力はやや低いが、地下水の開発利用は十分可能である。

また、深層地下水の砒素濃度をみると、調査地域北部の観測井では「バ」国飲料水基準値よりもやや高い濃度が検出されるものの、浅層地下水に比べるとその濃度は低い。また、調査地域南部では砒素濃度はAASによる検出限界以下である。

計画対象地域の河川、湖沼などの表流水は雨季には豊富に存在するが乾季には枯渇するものが多く、年間を通して取水の安定性は確保できない。また雑排水や家畜尿の流入によりバクテリアや硝酸、アンモニア等により汚染されており、質量ともに安全な代替水源とはなりにくい。従って、本マスタープランの3県砒素汚染地域への給水は、年間を通して安定的な取水が可能で、水質が良好であり砒素汚染のない深層地下水の開発利用により行うものとする。対象地域北部では深層地下水の砒素濃度が水質基準値を微かに越える地域があるが、これらの地下水からは曝気及び濾過により比較的容易に砒素除去が可能である。

現在、「バ」国で広範に発生している地下水砒素汚染の地化学的メカニズム解明のため世界各地で多くの調査研究が行われているが、未だ定説を得るに至っておらず今後の研究結果に待つところが多い。砒素汚染地下水の広域地下水流動機構についてのシミュレーションによれば、深度100m前後の中層帯水層に掘削されたかんがい用井戸の大量揚水による水頭低下に伴い、深度数10mの浅層に分布する砒素原因層から汚染地下水が浅層および中層帯水層へ移動する機構が明らかである。少なくとも地下水の広域流動から見る限り、深層地下水の水頭は大量揚水により低下した中層地下水の水頭よりも高いため、地下水の流動は常に上向きとなり深層部に向かって砒素汚染地下水が移動することはないと考えられる。

こうした点を考慮し、本マスタープランでは砒素汚染対策は深層地下水の開発利用により行うこととする。一方、雨水集水、池水の砂濾過、浅井戸及び本調査で開発した改良型深井戸の適用可能性は、対象村落の置かれた地理的、地形・地質的環境、代替水源の量と質両面に於ける確保可能性（既存ため池の転用可能性など）、住民維持管理の技術的難易度、維持管理費の支払い意志や能力等により異

なるので、スクリーニング調査とあわせて代替水源調査を行い、その結果、実施可能性のある村落に設置を計画する。

家庭ないし数十人のコミュニティで使用する脱砒素装置は、現段階では適用できる原水の水質や維持管理（吸着剤交換、薬品の注入やスラッジの処理、水質モニタリングなど）についてのさらなる検討が必要である。従って、本マスタープランでは吸着剤方式による脱砒素装置及び雨水収集と太陽熱蒸留装置の組合せをそれぞれモデル事業として実施し、施設を試験的に運用して対象地域への長期的普及を検討する。

9.5 マスタープランのフレームワーク

マスタープランは短期（2003年）、中期（2005年）及び長期（2010年）の3段階に区分する。また地域的には3県を農村地域と都市地域に区分し、さらに汚染対策地域ごとに調査、対策及び研究開発を計画する（図9.5.1）。

9.5.1 調査

1) 短期的対応

a. 全井戸スクリーニング

対策の実施に当たっては対象地域各モザ既存井戸1本1本毎の砒素汚染濃度を調査し、モザ毎の汚染濃度区分図を作成する（マッピング）。現在BAMWSPと関係機関が実施している砒素汚染スクリーニング結果を参考に、本マスタープランでは緊急改善地域及び準緊急改善地域の各モザにおいてスクリーニング及びマッピングを実施する。

b. 代替水源調査

農村部緊急及び準緊急改善地域の各モザにおいて改良型深井戸、池水の砂濾過、雨水集水、浅井戸など代替水源の適用可能性について調査を行う。全井戸スクリーニングと平行して、既存水源の種別、個数、水質、施設諸元（井戸：深度、口径、材質、ポンプ種別、ため池：容量、用途、転用の可否等）、住民維持管理意志、能力等を調査する。

c. 実施可能性調査

対策として提案する優先プロジェクトについて技術的、経済・財務的及び制度的観点からの実施可能性を調査する。

2) 中期的対応

a. 水文地質調査

対象地域において補足水文地質調査を行い、深層帯水層の分布と性状をさらに詳細に把握するとともに、未調査地域については新たな追加調査を行う。

b. 地下水利用調査

地下水は飲料水としてよりもむしろかんがい用水として莫大な量が使用されている。地下水資源の保全管理のため、地下水利用状況について実態調査を行う。

c. 地下水データベースの構築

本開発調査で作成したデータベースに、観測井の地下水位・水質、監視区域に建設するモニタリング井の砒素濃度、全井戸スクリーニング調査、補足水文地質調査、地下水利用調査等の結果を加え GIS データベースを構築する。

3) 長期的対応

a. 地下水資源総合管理調査

3 県対象地域では、飲料水用よりも農業用の地下水利用量のほうが圧倒的に多く、利用量は、1990 年代に入ってポンプの普及にともない急激に増加している。このため広域的な地下水位の低下を引き起こし、これが砒素汚染発生の原因の 1 つとなっている。本マスタープランでは砒素について安全な深層地下水資源の持続的利用をはかるため、短、中期的に実施する水文地質調査、地下水利用調査、データベース構築、モニタリング結果等を総合し、飲料用だけでなく農業用地下水利用をも含めた総合的な地下水資源の開発と保全管理の方策を検討する。

9.5.2 農村地域の対策

(1) 短期的対策

緊急改善地域南部のジェソール県 4 タナは地質構造及び観測井の水質分析から深層地下水の砒素濃度は基準値以下と判断されるため、深層地下水開発による対策が可能である。一方、緊急改善地域北部のジェナイダ県 3 タナ及びチュアダンガ県 4 タナでは深層地下水の砒素濃度が基準値よりも僅かに高い値を示す地域がある。これらの地域については今後慎重にモニタリングを行い、中期的には深層地下水を水源とする広域農村水道を建設する計画とする。従って、短期的にはこれらの地域の公共施設において砒素除去装置と雨水集水施設の建設を行う。

緊急及び準緊急改善地域のうち上記計画によりカバーされない地域では、代替水源調査結果に基づき、改良型深井戸、池水の砂濾過、雨水集水、砒素除去装置、浅井戸等の施設を計画する。また、監視地域では、砒素濃度の動向を監視するためのモニタリング井を設置する。

a) ケシャブプール・タナ農村給水深層地下水開発（優先プロジェクト 1）

緊急改善地域のうちジェソール県南部の 4 タナでは深度 100m から 200m に渡り厚く発達する粘土層を境に浅層帯水層と深層帯水層が明瞭に区分される。砒素分析結果によれば、浅層帯水層は砒素に汚染されているが、深層帯水層は汚染されていないことが確認されており、深層地下水開発により砒素汚染のない安全な水

の供給が可能である。

ケシャプール郡は、緊急改善地域のなかで最も多い 61 モザ(Mouza)、人口約 84,000 人が砒素汚染の影響を受けており、とくにバンカバルシ村に見られるように既存井戸すべてが汚染されている村が多いため優先プロジェクトとする。プロジェクトは村の中心部に深度 300m 級の深井戸、高架水槽、配水管及び公共水柱（レベル 給水施設）を建設して村民に砒素汚染のない地下水を給水する。

b)社会的弱者への砒素安全水供給（優先プロジェクト3）

緊急改善地域北部では砒素除去装置や雨水集水施設建設による緊急的な砒素対策を計画する。これらの施設は、住民の労働やコスト負担によって運営維持管理されなければならないため、施設・装置による飲料水の安全性と利便性、操作性等について長期間の啓蒙普及活動が必要である。そこで、計画は啓蒙普及活動の一環として、学校や病院など公共施設において、子供や病人など自助努力による対策実施が不可能である社会的弱者を対象に実施する。施設は、運営維持管理コストが最低限であり、装置運転に伴う廃棄物やスラッジの問題も最低限に抑えられる雨水集水施設と太陽熱蒸留装置の組み合わせとする。

c)タナ砒素対策推進センター(優先プロジェクト4)

緊急改善地域北部では砒素除去装置の活用が緊急対策の一つである。コミュニティでの維持管理コスト負担が同意されれば、吸着装置の活用が有効と考えられる。本プロジェクトは長期の砒素対策啓蒙普及活動の拠点として、緊急改善地域に含まれる DPHE タナ事務所に砒素対策促進センターを建設し、維持管理コスト負担に同意したコミュニティに砒素除去装置の配布と技術サポートを行うものである。このことにより、コミュニティの自助努力による持続可能な砒素汚染対策を促進、サポートする。プロジェクトでは DPHE 各タナ事務所に砒素対策促進センター事務所及び付設倉庫を建設し、吸着型砒素除去装置及び吸着剤、運搬用車両等をストックする。

d)代替水源建設

緊急及び準緊急改善地域のうち上記の計画でカバーされない地域では、スクリーニング結果に基づき、改良型深井戸、池水の砂濾過、雨水集水施設及び浅井戸のうち一種類を各モザ最低 1 ヶ所で建設する。

改良型深井戸の建設は、帯水層の分布状況からみて本工法が適用可能なジェソール県南部地域で行う。

池水の砂濾過は、飲料水用に転用可能で年間を通じて水利用が可能な池において建設する。

雨水集水施設は各モザの公共施設に建設する。

浅井戸は地表水汚染を避ける構造とする。

e) モニタリング井戸設置

監視地域の各タナ毎に代表的な既存井戸を選定し年1回の砒素濃度分析を行う。

モニタリング井戸は本調査で実施した300既存井から選定する。

(2) 中期及び長期対策

農村部の中期対策は、緊急改善地域南部については深層地下水開発によるレベル

給水施設の建設をジカルガチャ・タナ他3タナ124モザにおいて計画する。また、中・長期的対策として緊急改善地域北部及び準緊急改善地域全域をカバーする広域農村水道を建設する。改良型深井戸等の代替水源施設建設は選定された各モザにおいて引き続き実施する。

a) ジカルガチャ・タナ他農村給水深層地下水開発

緊急改善地域南部のジカルガチャ、マニラムプール及びシャルシャの124モザにおいて深度300m級の深井戸、高架水槽、配水管及び公共水栓（レベル給水施設）を建設して村民に砒素汚染のない地下水を給水する。124モザの人口は194,000人である。

b) 広域農村水道

緊急改善地域北部と準緊急改善地域では、広域の農村地域への給水方式として一括して地下水を処理して給水する広域農村水道を計画する。これらの砒素汚染地域の対策は汚染された地下水を処理するか、砒素に汚染されていない地表水を処理するかまたは雨水を集めるかしかなく、いずれにしても制約条件が多く、持続的に運営可能な地域は限られる。本計画は緊急及び準緊急改善地域のチュアダンガ県4タナ、ジェナイダ県5タナ、ジェソール県2タナ合計419モザの総人口741,000人に対し広域水道パイプラインにより給水するもので、各モザでは受水タンク及び村内配管、公共水栓を建設する。また水源は、各ポルシャバ給水施設及び各タナに新たに建設する給水施設の地下水に求めるものとする。

c) 代替水源建設

緊急及び準緊急改善地域のうち広域農村水道でカバーされないモザでは、スクリ

ーニング結果に基づき、改良型深井戸、池水の砂濾過、雨水集水施設及び浅井戸のうち一種類を各モザ最低1ヶ所で建設する。

9.5.3 都市地域の対策

計画対象3県ではポルシャバ及び各タナの中心部が都市地域をなし、水道施設の給水を受ける地域と未給水地域に区分できる。このうちチュアダंगा、ジェナイダ、モヘシュプールの水道施設では、水源井の砒素濃度が「バ」国基準値を越えているため砒素除去プラントの建設を含む緊急対策が必要である。また、サイルクバ、カリガンジ、コチャンドプール及びジェソールの水道水源は現状では砒素汚染を受けていないが中期的には施設のリハビリテーション及び拡張を行うこととする。

なお、これらのポルシャバの未給水地域では現状では砒素に汚染された浅層地下水を利用しているので、応急的な対策を行う。また、各タナ中心部は都市化しつつある地域であり、ジェナイダ県の4ポルシャバと同様に中・長期的には水道施設を整備するとともに、これらの水源施設を広域農村水道の水源として利用する。

(1) 短期的対策

a) 3都市給水施設改善及び拡張（優先プロジェクト2）

水源井戸が砒素汚染を受けているチュアダंगा、ジェナイダ及びモヘシュプールの3ポルシャバ給水施設の改善及び拡張を行う。この計画は短期対策として実施するが、2010年の長期目標として戸別給水および公共水栓による給水普及率はそれぞれ50%を目標とする。施設は脱砒素プラント、深井戸（リハビリ及び増設）、高架水槽（新設）、配水管（リハビリ及び拡張）、公共水栓（新設）などを行う。

b) 都市周辺部への給水

3都市周辺の未給水地域では、主要道路に沿って給水地域から配水管を伸ばし、公共水栓を設置する。公共水栓から離れた地域にはリキシャ等による運搬を行う。また、緊急時の対策用としてタンクローリーを配置する。

(2) 中・長期的対策

a) 4都市給水施設改善及び拡張

ジェナイダ県のサイクルパ、カリガンジ、コチャンドプール及びジェソールの4ポルシャバ給水施設の改善及び拡張を行う。この計画は中期対策として実施するが、2010年の長期目標としてパイプ給水および公共水栓による給水普及率はそれぞれ50%を目標とする。施設は、サイクルパ、カリガンジ、コチャンドプールでは高架水槽を新設し、配水管の延長と公共水栓の新設を行う。ジェソールでは配水管を延長し公共水栓を新設する。このほか各ポルシャバ給水施設にマスターメーター、各戸メーターを設置する。

b) タナ給水施設建設

緊急及び準緊急改善地域内の都市化が進むチュアダングアラムダンガ、ダムルフダ、ジバナガルの3タナ、ジェナイダ県のハリナクンダ・タナ、ジェソール県のチュアガッチャ、ジカルガッチャ、ケシャブプール、マニラムプール、シャルシャの5タナ首都において都市給水施設を建設する。水源は深井戸とし、脱砒素プラント、高架タンク、配水管及び共同水栓を設置する。各タナ首都の水源は広域農村水道にも連結する。

9.5.4 研究開発及びモニタリング

本マスタープランでは、砒素対策の有効性を検証するためモニタリングを実施する。また各種の研究開発を行い、砒素対策手法を確立して「バ」国内の他地域へ適用する。

(1) 短期

モニタリング開始

砒素汚染メカニズム研究

ジェナイダ水質分析室の活用（水質分析受託、DPHE職員トレーニング）

地下水位・水質の観測

(2) 中期

短期対策の評価

モニタリング継続

砒素汚染メカニズムの解明

水質分析技術者のトレーニング

スラッジの安全処理技術開発

(3) 長期

中期対策の評価

対策効果の検証

砒素対策手法確立（他地域への応用）

図9.5.1 バングラデシュ国砒素汚染地域マスタープランフレームワーク (ジェソール、ジェナイダ、チュアダンガ県)

政 府 区 分	調査対象地域三県				研究開発・モニタリング
	農村部		都市部		
	汚染地域	監視地域	給水地域	未給水地域	
短期	調査	南部緊急改善地域 代替水源調査 (IDW,PSF,RWH,ARD,SDW)	北部緊急改善地域 全井戸スクリーニング調査	給水地域	モニタリング開始 砒素汚染メカニズム調査
	対策	優先プロジェクトNo.1 ケンチャププール農村給水深層地下水開発 (61モザ) ・深井戸、高架タンク、配水管 ・公共水栓	優先プロジェクトNo.2 3都市給水施設改善拡張 チュアダンガ、ジェナイダ、モヘシユブール ・試験井の活用 ・砒素除去プラント ・施設のリハビリテーション ・マスターマーター、各ユーザー ・高架タンク	既存井戸のモニタリング	都市周辺部の給水計画 ・給水タンク車 ・リキシヤによる運搬 ・配水管と公共水栓
中期	調査	改良型深井戸、池水の砂濾過、雨水集水施設、浅井戸設置 優先プロジェクトNo.3 社会的弱者への砒素安全水供給 ・雨水集水施設・太陽熱蒸留装置 (学校・病院) 優先プロジェクトNo.4 タナ砒素対策促進センター ・砒素装置の展示、保管、脱砒素装置の配布	水文地質調査 ・地下水利用調査 ・地下水データベース構築	4都市給水施設改善拡張 サイルク、パカリガンジ、コチャンドプール、ジェソール ・施設のリハビリテーション ・マスターマーター ・各ユーザー ・高架タンク	短期対策の評価 モニタリング継続
	対策	改良型深井戸、池水の砂濾過、雨水集水施設、浅井戸設置 広域農村水道建設 深井戸、砒素除去プラント、送水管、水櫃 (各モザ) 建設 チュアダンガ (アルマダンガ、チュアダンガ、ダムルファナガル) ジェナイダ (ハリナクンダ、ジェナイダカリガンジ、コチャンドプール、モヘシユブール) ジェソール (チャウガッチャ、ジェソール等) (合計 419 モザ)	タナ首都給水施設建設 チュアダンガ (アラムダンガ、ダムルファダ、シバナガル) ジェナイダ (ハリナクンダ) ジェソール (チュアガッチャ、ジカルガッチャ、ケンチャププール、マニラムプール、シヤルシヤ) ・深井戸、砒素除去プラント ・高架タンク、配水管、公共水栓	砒素汚染メカニズム解明 分析技術者トレーニング スラッジ安全処理技術開発	
長期	調査	農村給水深層地下水開発 ジェソール (ジカルガッチャ、マニラムプール、シヤルシヤ) (124 モザ) 深井戸、高架タンク、配水管、公共水栓	地下水資源総合管理調査 全域のモニタリング	地下水資源総合管理調査 全域のモニタリング	中期対策の評価
	対策	改良型深井戸、池水の砂濾過、雨水集水施設、浅井戸設置 地下・地表水管理 地下水モニタリングネットワークの建設	都市給水施設の改善・拡張 (継続)	都市給水施設の改善・拡張 (継続)	対策効果の検証 砒素汚染対策手法の確立 ・他地域への適用

IDW: 改良型深井戸
 PSF: 池水の砂濾過
 RWH: 雨水集水施設
 ARD: 脱砒素装置

9.6 運営維持管理と啓蒙活動

9.6.1 運営維持管理計画

「バ」国の「安全な水供給と衛生国家政策」は、地方政府とコミュニティ組織（CBO）の管理者を通じ、利用者の計画、開発、OM への参加をはかることや、コミュニティ組織による段階的なコスト負担、経済的なサービス価格導入などを方針として掲げている。

マスタープランではこの方針を踏まえ農村部に建設する給水施設の運営維持管理については VLOM（Village Level Operation & Maintenance）を基本方針とし、住民自身が維持管理組織を結成し、ケアテーカー等を選出して給水施設の運営・維持管理を行うものとする。また、運営維持管理費用は住民負担とする。施設の定期点検は、年 1 回以上行うものとする。点検・修理は、DPHE タナ事務所が実施する。これに伴い DPHE タナ事務所組織の改編、技術職員のトレーニング、機材の整備等を実施する。

一方、既存都市給水施設の運営・維持管理は現在各ポルシャバが実施している。本マスタープランにおいても都市給水施設の運営維持管理は引き続きポルシャバが実施するが、給水サービス及び経営改善のため必要な技術的、組織・制度的見直しを行うものとする。

9.6.2 啓蒙活動

砒素汚染による中毒やバクテリア等による水系疾患の防止のために安全な飲料水の摂取が不可欠である。砒素対策のためには住民自身が砒素問題について十分な知識と情報を持つ必要があるため、本マスタープランでは各種対策の実施と平行して住民に対し衛生教育を含めた砒素問題啓蒙活動を行う。また、村落に設置された給水施設や脱砒素装置等の代替施設の運営維持管理については、DPHE タナ事務所や NGO 職員が村民に対し教育と訓練を行う。なお、これら DPHE タナ事務所や NGO 職員には、トレーナーズトレーニング(TRT)を行い組織及び個々の能力の強化（キャパシティビルディング）を計るものとする。

第10章

優先プロジェクト

要約

第10章 優先プロジェクト

10.1 ケシャプール深層地下水開発

10.1.1 プロジェクトの妥当性

ジェソール県のケシャプールはマスタープランの緊急改善地域にあり深層地下水開発のプレフィージビリティ調査を行った。

ジェソール県南部の帯水層は深度 100 m から 200 m の厚い粘土層により浅層帯水層と深層帯水層に明瞭に区分される。砒素分析結果によれば浅層帯水層は汚染が激しいが深層地下水は汚染されていない。したがって深層地下水開発により砒素に対して安全な水の供給が可能である。

ケシャプール・タナは 61 モザあり人口は約 84,000 人でありジェソール県各タナの中では最大の人口地域である。このタナは深刻な砒素汚染が進んでおり優先プロジェクトとして取り上げる意義がある。調査位置図をサポートイングリポート 2 の Figure 1.3.2 へ、また行政区分と人口を表 11.1.1 に示す。

10.1.2 プロジェクト概要

給水施設は深井戸、電動ポンプ、高架水槽、給水管（パイプライン）及び公共水栓からなり 61 モザに各 1 セット建設し、砒素のない安全な地下水を供給する。実施に先立って以下の調査を実施する。

(1) スクリーニング

対象地域の既存井戸の全数スクリーニングを行う。スクリーニングの目的は次のとおりである。

砒素安全な井戸を検証し住民に告知する。

砒素汚染マップを作成し給水計画に反映させる。

砒素汚染の被害実態を把握する。

(2) 啓蒙教育

砒素問題、保健衛生及び給水施設の維持管理について住民の啓蒙と教育を行う。

(3) 能力開発

ケシャプールにプロジェクト支援の専門家やチューターを確保して政府機関、タナ及びモザの人材養成と能力開発を計る。

10.1.3 給水施設

(1) 給水地域

61 モザの総面積は 100.7 km²、1 モザ当たりの面積は 1.65 km² である(半径 1.3 km 以内)。

(2) 給水人口

61 モザの人口 83,999 (1992 年)、1 モザ平均 1,377 人である。2010 年の 1 モザ当たり人口は 1,880 人である。

(3) 消費水量

35 lcd に設定した。

(4) 給水施設

表 10.1.1 給水施設表

施設	仕様	モザ当たり	合計
1 生産井	φ 150mm Depth of 300m, 24m screen	1	61
2 ポンプ	1 operating, 1 stand-by Lifting pipe, control panel included	2	122
3. 発電器	1 operating, 1 stand-by	2	122
4. 制御室	RC, brick wall Equipment room (4m x 4m), control room (4m x 3m), Total area of 28m ² GI pipes, φ 50mm	1	61
5. パイプ	Capacity 15m ³ , RC	100m	6,100m
6. 給水塔	PVC pipes, φ 100mm	1	61
7 配水パイプ	Sluice valve	5,200m	317,200m
8.パイプ付属品	Sludge outlet Pipe terminal	1 set	61 sets
9. 公共水栓	φ 13mm	104	6,344

10.1.4 プロジェクトコスト

プロジェクトコストは下表に示す。

表 10.1.2 プロジェクトコスト

単位：タカ

項目	モザ当たり	61 モザ
1. スクリーニング	45,360	2,766,960
2. 啓蒙教育	115,200	7,027,200
3. 能力開発	388,800	1,555,200
4. 建設	10,048,320	612,947,520
合計	10,234,375	624,296,880

10.1.5 プロジェクトの実施

プロジェクトは DPHE により実施される。DPHE は PMU（プロジェクト管理委員会）を組織し常勤スタッフを配置する。PMU は DPHE ジェソール事務所におき、コンサルタントとコントラクターを調達して工事を行いプロジェクトを運営管理する。

10.1.6 運営維持管理（OM）方針

1. モザ住民は水監理委員会を組織して給水施設を民主的に運営維持管理する。
2. 委員会は水料金徴収と会計に責任を持つ。
3. 施設の OM は地方民間業者にまたは NGO に委託する。
4. DPHE は定期的水質モニタリングを行う。

10.1.7 維持管理コスト

OM コストの試算結果は下表に示す。

表 10.1.3 OM コスト（モザ当たり月額）

Item	Price (Tk)
1. 発電器燃料 (1.51/h x 8h x 30 days x 50Tk/l)	18,000
2. 消耗品	4,000
3. 修理	3,000
4. 労力	18,000
5. 事務室用品	1,000
6. その他	1,000
合計	45,000
ユーザー(月額)	23.9
1m ³ 当たり単価	22.8

10.1.8 水料金

定額料金

1 ユーザー当たり月額 23.9 タカが必要である。平均所帯人数は 4.71 人であり 1 所帯の月額は 112.6 タカになる。

従量料金

使用水量から推定すると飲料水、調理用水のみに使用する場合の水料金は 1 ユーザー当たり月額 8.2 タカ、1 所帯当たり月額 38.6 タカである。

社会調査によれば支払い意志額は 1 所帯 16 ~ 75 タカである。定額料金は支払い意志額を超えるため、従量料金が適している。

10.1.9 代替案

パイプ給水の代替案としてハンドポンプ給水を検討した。

(1) 給水施設

施設は深井戸、TARA ハンドポンプ及びプラットフォームからなる。この施設は消費水量を 35 lpcd としたとき 185 人に供給可能である。2010 年の推定給水人口は 1 モザ 1,880 人であるから、1 モザ当たり 10 本が必要である。

(2) 建設コスト

建設コストは下表に示す。

表 10.1.4 建設コスト

単位：タカ

項目	井戸当たり	モザ当たり
1. 生産井	295,000	2,950,000
2. ハンドポンプ	22,000	220,000
小計	317,000	3,170,000
1. 予備費 (20%)	63,400	634,000
合計	380,400	3,804,000
2. 設計管理 (20%)	76,100	761,000
総計	456,500	4,565,000

(3) 維持管理費

1 モザ当たりの維持管理費は月額 6,890 タカである。水料金は一人当たり月額 3.7 タカまたは 1 所帯当たり 17.3 タカである。

(4) パイプ給水との比較

給水量は同じであるがパイプ給水の場合、共同水栓までの距離は 50m 以内である。しかし、ハンドポンプの場合 200m 以内である。コスト比較は下表に示す。

表 10.1.5 コスト比較

単位：タカ

給水施設	建設コスト (モザ当たり)	維持管理費 (モザ当たり月額)
ポンプ及びパイプライン	10,049,000	45,000
ハンドポンプ井戸 (10 ヶ所)	4,565,000	6,890

給水の用途を飲料水・調理用水に限ると水消費量は 12 lpcd である。井戸数は 1 モザ当たり 4 ヶ所となり建設費と維持管理費は約半分になる。しかし水汲みの距離は 320m 以内になる。建設コスト及び OM コストは下表に示す。

表 10.1.6 建設費と維持管理費

単位：タカ

給水施設	建設費 (モザ当たり)	維持管理費 (モザ当たり月額)
ハンドポンプ井戸 (4ヶ所)	1,826,000	2,756

10.2 都市給水施設改善及び拡張

10.2.1 プロジェクトの妥当性

調査地域の7ポルシャバにはそれぞれ都市給水施設がある。それらのうちチュアダング、ジェナイダ及びモヘシュプールの生産井の一部は砒素汚染を受けている。

1. 3ポルシャバの既存井戸 (深度 100-150 m) の砒素汚染は 0.05 ~ 0.1 mg/l であるがチュアダングの1ヶ所の生産井は 0.12 mg/l を示している。
2. 3ポルシャバでは約 250,000 人が処理することなく汚染水を飲んでい
3. 砒素除去装置 (ARP) により砒素を基準値以下に下げることが可能である。砒素は 18 DTP で建設された曝気・砂濾過 タイプの除去装置と同様な装置で除去できる。
4. 現在の施設に水処理施設を設置すれば現在の水需要を満たすことが可能である。
5. 3ポルシャバの給水率は 8 ~ 32% であり新しい生産井が必要である。パイプライン及び公共水栓の新設により現在浅井戸を使用している地域への拡張が可能となる。
6. 地方都市における砒素対策のモデルとなる。

10.2.2 計画内容

3ポルシャバの給水状況を表 10.2.1 に示す。ジェナイダおよびチュアダングの給水範囲は広くなく施設は劣化している。モヘシュプールには高架水槽がなく井戸ポンプから直接送水している。従って砒素除去装置建設だけでなく現施設のリハビリ及び拡張が必要である。

表 10.2.1 ポルシャバ給水施設諸元

都市	ジェナイダ	モヘシュプール	チュアダンガ
給水人口	94,624	25,490	152,000
所帯数	11,775	4,980	10,700
給水戸数	2,320	375	2,541
給水率 (%)	31.6 %	8 %	18.7 %
公共水栓 (数)	40	9	10
生産水量(m ³ /day)	3,000	863.65	3,000
生産井 (数)	7	2	6
パイプライン (km)	55	8.67	42.5
高架水槽 (数)	3	0	3
浄水施設	0	0	0
ハンドポンプ井戸	785	550	700
カバー率	24.89 %	92 %	14.0 %

10.2.3 プロジェクトの提案

(1) 給水範囲と人口

給水範囲はポルシャバ地域である。2005年及び2010年人口予測値は表10.2.2(成長率: 1.8%)に示す。給水率は2005年75%、2010年100%を見込む。給水は戸別給水50%及び公共水栓50%を想定した。

表 10.2.2 給水人口予測

District	Pourashava	2001	2005	2010
Jhenaidah	Jhenaidah	97,000	105,000	115,000
	Mohespur	31,000	35,000	40,000
Chuadanga	Chuadanga	155,000	167,000	182,000
Total		285,001	309,005	339,010

(2) 水需要予測

単位水需要量は下表に示す。

表 10.2.3 単位水需要

	単位水需要 (l/c/d)
戸別給水 (13人/戸)	100 l/c/d
公共水栓(100人/個)	35 l/c/d
損失 (漏水他)	上記の30%

各ポルシャバの水需要量は下表に示す。

表 10.2.4 需要予測

2000				2005		2010	
Population	Existing Production Capacity (m ³ /d)	Operation Hours	Production Capacity (12hrs)	Population	Water Demand (m ³ /d)	Population	Water Demand (m ³ /d)
94,624	3,000	5	7,000	105,000	7,000	115,000	10,000
30,000	870	4	3,000	35,000	2,000	40,000	4,000
152,000	3,000	6	6,000	167,000	11,000	182,000	16,000
276,624	6,870		16,000	307,000	20,000	337,000	30,000

(3) 水供給の概念

既存井戸のリハビリ及び将来の水需要に対応するため井戸を新設する。水処理後、砒素安全水は住民に配水される。運転時間は1日12時間を予定する。

(4) 目標水質

目標の砒素濃度は現在のバングラデシュ飲料水水質基準の0.05 mg/l以下とする。

(5) 水質処理

調査地に近いシャトキラ及びマニクガンジに建設された施設の観察によれば基準値の0.05 mg/l以下にすることは可能と考えられる。酸化剤と凝集剤が加わればWHOガイドラインの0.01 mg/l以下にすることも可能である。従って、水処理方法は既に他の地域でも実証済みである曝気 - 濾過法を使用する。

(6) 施設計画

3 ポルシャバの計画施設は表 10.2.5 に示す。

表 10.2.5 3ボルシャバの計画施設数

Pourashava Facility	Chudadanga			Jhenaidah			Moheshpur		
	Total	Existing	2005	Total	Existing	2005	Total	Existing	2005
1 Production Well (No.)	14	5	6	10	7	1	3	2	0
2 Well Pump (No.)	14	5	6	10	7	1	3	2	0
3 Pump House (No.)	14	5	6	10	7	1	3	2	0
4 Transmission Pipe (km)	14	0	11	10	0	8	3	0	2
5 Treatment Plant	2 Plant (5 Unit)	0	1 Plant (3Unit)	1 Plant (3Unit)	0	1 Plant (2Unit)	1 Plant (1Unit)	0	1 Plant (1Unit)
6 Over Head Tank (No.)	7	3	2	5	3	1	2	0	1
7 Clean Water	7	0	5	6.26	1.26	4	2	0	1
8 Transmission Pump (No.)	6	0	3	4	0	3	3	0	2
9 Pump House (No)	2	0	1	1	0	1	1	0	1
10 Reticulation Pipe (km)	110	43	68	107	59	48	20	9	11
11 Incidental Equipment									
12 House Connection (No.)	7,000	2,682	2,135	4,423	2,320	709	1,538	360	650
13 Stand Post (No.)	910	10	616	575	40	353	200	0	131
			2,183				1,394		529
			284				181		69

10.2.4 建設コスト

18DTP（オランダ援助）の実績に基づき 建設コストを試算すると下表のとおりである。

表 10.2.6 2010 年目標の場合の建設コスト

単位：10 万タカ

Item	Chuadanga	Jhenaidah	Moheshpur	Total
1) 直接建設費	1,485.47	847.74	377.90	2,711.11
2) 用地費他	74.27	42.39	18.90	135.56
3) エンジニアリングサービス	148.55	84.77	37.79	271.11
4) 管理費	222.82	127.16	56.69	406.67
5) 予備費	193.11	110.21	49.13	352.44
合計	2,124.22	1,212.27	540.40	3,876.89

10.2.5 年間維持管理費

年間の運営維持管理費は運転費（サラリー、電力、燃料、薬品など）、維持費、修理費、その他のコストからなる。

表 10.2.7 年間運営維持管理費

単位：10 万タカ

District	Pourashava	2001	2005	2010
Jhenaidah	Jhenaidah	16.46	33.49	48.43
	Moheshpur	4.16	15.11	20.43
Chuadanga	Chuadanga	18.36	68.97	86.74
Total		38.98	117.56	155.61

これに対して収入は水料金を 1 戸あたり月額 200 タカとした場合下表のようになる。

表 10.2.8 年次ごとの収入

REVENUE

単位：10 万タカ

District	Pourashava	2001	2005	2010
Jhenaidah	Jhenaidah	13.92	17.91	26.10
	Moheshpur	2.16	5.68	8.28
Chuadanga	Chuadanga	16.092	28.76	41.93
Total		32.172	52.34	76.30

10.3 社会的弱者層への砒素安全水供給

10.3.1 目的及び妥当性

農村部における砒素汚染対策は農村の受益者自身の労働、コスト負担によって持続可能とならねばならない。無条件での砒素除去装置などの配布は長期的観点から自助努力による対策促進のために避けるべきである。従って砒素対策の普及は、啓蒙活動から始まる長期の過程になると予想される。一方で、病院や学校などの病人、子供などの社会的弱者層では自助努力による対策実施が不可能であるので、緊急の支援が必要である。これら弱者層への対策はできるだけ維持管理費が低いかまたはゼロであることが望ましい。この点で雨水集水施設と太陽熱蒸留装置の組合せが適している。これらの施設の利用を通して病院や学校を訪れる人々への砒素問題への積極的なインパクトが期待できる。

10.3.2 プロジェクトの内容

(1) 基本概念

太陽熱蒸留装置は維持管理コストが低く砒素除去効果はほとんど 100%に近い。欠点は多量の水を生産できないことである。一方、雨水集水装置は雨季に限られるが、組合せにより両者の欠点を補完しあえば効果的に砒素安全水を利用できる。

(2) 実施場所

実施場所は緊急及び準緊急改善地域内タナの保健施設と学校とする。タナ保健施設では病院が稼働しており医療サービスを提供している。プロジェクトでは代替水源のない施設と学校を併せて 50 ヶ所選定した。

各タナ別のモザ及び人口は下表のとおりである。

表 10.3.1 タナ別モザ数及び人口

District	Thana	Urgent area		Semi-urgent area	
		Mouza	Population	Mouza	Population
CHUADANGA	Alamdanga	4	4874	18	38327
	Chuadanga	23	43674	50	123772
	Damurhuda	3	8235	10	40651
	Jibannagar	16	27113	32	51384
JHENAIDAH	Harinakunda	-	-	5	4872
	Jhenaidah	2	982	29	31400
	Kaliganji	-	-	5	5202
	Kotchandpur	10	12148	13	12244
	Maheshpur	20	29865	58	98977
JESSORE	Chaugachha	49	86857	45	61875
	Jessore	7	18187	20	40443
	Jhikargachha	50	71831	66	102932
	Manirampur	45	54203	77	131977
	Sharsha	29	68002	28	50572

(3) システム

システムは下記のとおりである。

- 学校または病院屋上の雨水集水施設
- 初期雨水遮断施設
- 雨水貯留タンクと砂濾過タンク
- 地下水揚水施設（ソーラーユニット付き）
- 地下水の鉄除去装置
- 太陽熱蒸留装置（真空ポンプ及びマルチ効果システム）
- その他のパイプ類

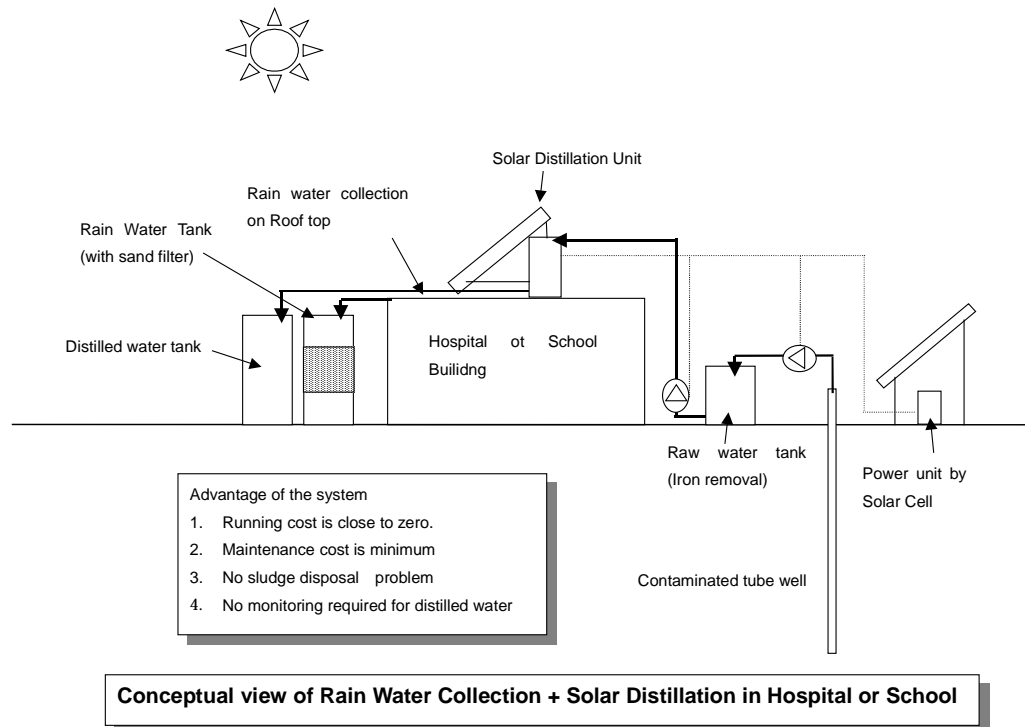


図 10.3.1 太陽熱蒸留及び雨水集水システム概念図

10.3.3 受益者とコスト

(1) 受益者数

プロジェクトの性質から見て受益者はこれらの施設から砒素問題の知識を得る人々である。病院 14 ヶ所と学校 36 ヶ所での受益者総数は 86,400 人が見積もられる。

(2) コスト

50 ヶ所で 358 百万 タカが見込まれる、また年間維持管理費は 3 百万タカと見積もられる。

10.4 タナ砒素対策促進センター

10.4.1 目的及び妥当性

調査地域の深層地下水開発の安全性が確認された地域以外では、砒素除去装置（ARD）の活用が緊急の対策の一つである。コミュニティでのコスト負担が同意されれば、吸着装置の活用が有効である。タナ砒素対策促進センターでは、そうしたコスト負担に同意したコミュニティが砒素除去による水供給を開始するのに必要な技術サポートと砒素除去装置本体を有償で提供することによって、自助努力による持続可能な砒素汚染対策を促進、サポートする。

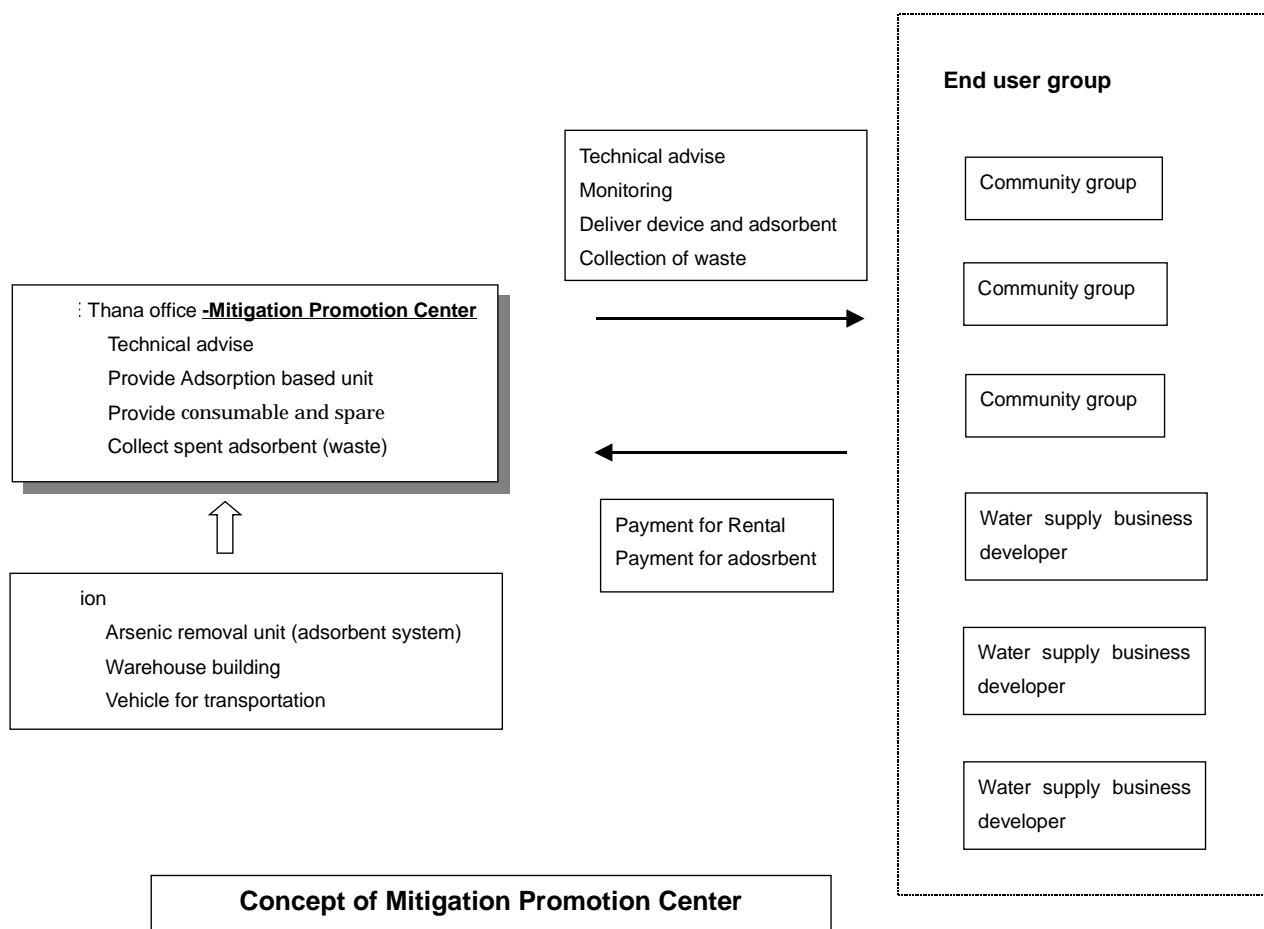


図 10.4.1 タナ砒素対策促進センター概念図

10.4.2 プロジェクトの内容

(1) 基本概念

吸着型砒素除去装置は現段階では農村地域に適用可能なオプションである。しかし、この装置は定期的に吸着剤の取り替えが必要なため住民のコスト負担の同意なしには持続的な維持管理はできない。一方、これに同意したコミュニティにはARDを提供し技術的支援を行う。

センターはコミュニティのアクセスポイントになる。雨水集水装置や曝気・濾過方式のARDについても助言を行う。

(2) 建設場所

緊急及び準緊急改善地域の各タナ DPHE 事務所に設置する。

(3) センターの内容

- アドバイザーと水質テストキット
- ソシアル・保健ワーカー
- ARD 及びメディア保管倉庫
- 廃棄メディア保管倉庫
- 車両

10.4.3 受益者とコスト

ARD の必要なコミュニティは啓蒙教育活動により把握する必要があるが、ここでは 2,000 台（1 台当たり 100 人に供給）を計画する。従って受益者総数は 200,000 人である。またこれに伴う初期コストは 208 百万タカ、センターの運営費として 5 百万タカが見込まれる。

10.5 プロジェクト評価

4つの優先プロジェクトはNPV法に基づきFIRRとEIRRを求め評価した。

10.5.1 ケシャプール深層地下水開発プロジェクト

このプロジェクトはレベル2のパイプ給水とタラ・ハンドポンプによるレベル1給水の二つのオプションがある。

(1) レベル2パイプ給水

1) 運転費

計画によれば施設建設は詳細設計等を含めて2年間で実施する。年間運転コストは表10.5.1により54万タカである。施設の大規模な更新はないものと仮定し小規模な修理は年間維持費及び修理費で賄うものとする。

表 10.5.1 年間の施設運転費

Item	Cost
Fuels for generator	216,000
Consumables (engine oil, etc.)	48,000
Maintenance and repair	36,000
Manpower cost	216,000
Office utensils	12,000
Miscellaneous expenses	12,000
Total	540,000

Unit: Tk/mouza/year

Remark: Cost of water quality monitoring is excluded from the operation cost above.

2) プロジェクト収入の推定

社会調査によれば支払い意志額(WTP)は使用水量にかかわらず月額1所帯当たり16から75タカである。また、1人当たりの支払い意志額は、3.39から18.75タカである。一方下表に示すように年間OMコストは1人当たり287タカと計算されるので、上限の1人18.75タカでも年間OMコストはカバーできない。

表 10.5.2 計画施設のOMコストとWTP

(1) O/M cost	540,000 Tk/mouza/year	(1)
(2) Population supplied	1,880	(2)
(3) Per capita cost of O/M	287Tk/year	(1)/(2)
(4) Monthly WTP per capita	From 3.39 to 18.75Tk/month	WTP survey
(5) Annual WTP per capita	From 40 to 225Tk/year	(4) X 12 (months/year)

3) プロジェクト評価

初期投資額の回収も含めると、維持管理費は年間1人当たり650タカに達し農村部住民のWTPをはるかに超える。これらの数字から見ればレベル2システムは実施不可能と判断される。

(2) レベル1ハンドポンプ給水

代替案としてレベル1ハンドポンプにした場合のOMコストは下表のとおりである。

1) OMコスト

表 10.5.3 施設の OM コスト

項目	コスト (TK/well/year)	備考
ハンドポンプスペアパーツ	550	毎年更新
DPHE スタッフ日当	2,800	井戸検査
巡回車両燃料	1,750	DPHE 車両
ハンドポンプ解体清掃	2,400	3年ごと
ハンドポンプ更新	770	10年ごと
合計	8,270	

備考: ハンドポンプ取り替え費用を含む。

1モザ当たり4本のハンドポンプが必要なためOMコストはモザ当たり年間33,080タカと見積もられる。

2) プロジェクト収入の推定

WTPは1人当たり月額3.39から18.75タカ(年間1人当たり40.68から225タカ)である。定額料金を年間1人当たり40から225タカに設定すると、プロジェクト収入が計算できる。

3) プロジェクト評価

表10.5.4は各定額料金を設定したときのNPVとFIRRを示す。割引率はインフレ及び貸し出し利率を考慮し10%に設定した。

表 10.5.4 財務的实施可能性指標の推定

水料金 (Tk/capita/year)	NPV (タカ)	FIRR (%)
40	-1,424,646	-20.5%
100	-794,549	-2.9%
150	-269,468	6.1%
170	-59,435	9.2%
200	255,614	13.5%

上表が示すように水料金を年額1人当たり200タカに設定した場合プロジェクトは民間貸出金利12-13%を考慮しても実施可能である。もし、初期コストがドナーまたは政府により贈与される場合、持続的な維持管理は1人年間100タカの水料金でも達成でき、プロジェクトは実施可能である。

10.5.2 都市給水施設改善及び拡張

(1) プロジェクト評価

財務的実施可能性の指標であるNPVとFIRR をもとにプロジェクト期間後 15 年を考慮して評価した。

1) 維持管理費

施設維持管理費は次表のように設定した。

表 10.5.5 施設維持管理費

単位：千タカ

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
O/M	114	114	182	290	290	290	321	355	393

備考: 2010年以降は393,000タカで固定。

2) プロジェクト収入の推定

水道料金は戸別給水については、月定額100タカ（1戸当たり）の場合と、現在シャトキラで適用している（月定額100タカ + 1m³当たり5タカ）をもとにプロジェクト収入を推定した。

3) 解析結果

各定額水道料金を100～200タカに変化させたときのNPV とIRRを推定した。さらに1m³当たり5タカを加えた場合についても推定を行った。その結果投資コストを自己資本または銀行借り入れで調達した場合のNPVはいずれの水道料金の場合も負の値を示しプロジェクトは実施不可能である。しかし施設建設費を政府資金またはドナーが贈与した場合は、月額1戸当たり200タカの定額料金でも、また1m³当たり5タカを加える場合もプロジェクトは実施可能である。

10.5.3 その他の2プロジェクトの評価

(1) 社会的弱者層への砒素安全水供給

財務的に実施可能なレベルの受益者負担を推定し、FIRR は現在の民間貸し出し利率を考慮し10%を設定した。プロジェクトの持続性のためには 月額受益者一人当たり 60 タカ が必要である。

(2) タナ砒素対策促進センター

財務的にプロジェクトは実施可能である。FIRR は 10%に設定した。受益者による維持管理費負担は 150 から 200 タカ が持続性のために必要と考えられる。

10.6 広域農村水道計画

緊急改善地域北部では深層地下水の一部も砒素に汚染されている。この地域と準緊急改善地域での砒素安全水の供給は、砒素汚染された地下水または砒素汚染のない地表水を処理するか雨水を集めるかしかないが、いずれにしても制約条件が多く、持続的に対策が可能な地域は限られる。そこで、中長期的対策としてこれら農村地域へ一括して地下水を処理して給水する広域水道計画を策定した。

10.6.1 計画の目的及び設計条件

(1) 計画の目的

本計画は、前章で述べたようにマスタープランの中長期的対策として、深層地下水開発の対象とならない農村部を対象に砒素安全水をパイプラインにより供給することを目的とする。計画対象地域はタナ別に示すと次表のとおりである。

表 10.6.1 タナ別計画対象地域及び人口

県	タナ	モザ数	人口	需要水量 m ³ /d	計画水量 m ³ /d
CHUADANGA	Alamdanga	22	43,201	1,512	1,210
	Chuadanga	73	167,446	5,861	4,688
	Damurhuda	13	48,886	1,711	1,369
	Jibannagar	48	78,497	2,747	2,198
	Sub total	156	338,030	11,831	9,465
JHENAI DAH	Harinakunda	5	4,872	171	136
	Jhenaidah	31	32,382	1,133	907
	Kaliganj	5	5,202	182	146
	Kotchandpur	23	24,392	854	683
	Moheshpur	78	128,842	4,509	3,608
	Sub total	142	195,690	6,849	5,479
JESSORE	Chuagacha	94	148,732	5,206	4,164
	Jessore	27	58,630	2,052	1,642
	Sub total	121	207,362	7,258	5,806
Total		419	741,082	25,938	20,750

本計画ではこれら汚染地域の 80%は広域水道パイプラインによって給水を受けるものとする。各モザは受水料金とモザ内の受水タンク及び村内配管、公共水栓の建設費及び維持管理費を負担することになる。

(2) 設計条件

1) 給水区域及び給水人口

表 10.6.1 に示す汚染地域内人口の 80%を 2010 年の給水人口とする(592,866 人)。

2) 計画給水量

飲料水のみを給水するものとして一人当たり 35 l/d/c とする。

3) 水源

本計画は水源を既存の都市水道水源（地下水：深度 100m 前後）および各タナ・センターに新設する水源（地下水）に求めるものとする。既存の都市水道は 12 時間運転を標準としているので、夜間時間を延長して処理施設を運転すれば農村部で必要とする水量は十分生産できる。しかし、この地域の都市水道は 7 つのポルシャバにしかない。例えばチュアダンガ県ではチュアダンガ・ポルシャバのみである。一つの都市水道から県全域に給水することも可能であるが、大広域にすべきか小広域にすべきかは経済比較により決定すべきである。そこで都市化が進んでいるタナ・センターも多いことから、各タナ・センターにモヘシュプール並の都市水道施設を建設し、そこを核にして周辺農村地域に給水することとする。即ちタナ毎の広域水道としてその維持管理責任はタナ DPHE にあるものとする。

(3) 送水ポンプ設備

各タナ・センター浄水場に近接して送水ポンプ場を設置する。汚染されていないタナ・センター（例えばカリガンジ）には生産井からの水を受ける送水ポンプ給水井を設置してそれに隣接して送水ポンプ場を設置する。（ブースターポンプ方式も検討する必要がある。）

(4) モザ受水槽

各モザには 1 日使用量に見合う受水槽を設置する（50～100 m³）。高さは地盤より 10 m 程度として洪水時にも水没しないようにする。またボールタップを設置して自動的に満水時止水できる構造とする。モザ内の配管はそれぞれのモザ水管理委員会（仮称）で決定する。

(5) 送水管

送水管の口径は送水量から求めるが、送水施設の建設費と維持管理費の和が最小となるような経済的口径を採用する。経済口径と経済的流速は一般的には 0.7 m/sec～1.0 m/sec といわれている。送水管の管種はダクティル鑄鉄管とする。モザ受水槽以下の管は PVC とする。

10.6.2 施設計画

広域農村水道のパイプライン敷設概要図を図 10.6.1 に示す。また施設の概要を表 10.6.2 及び 10.6.3 に示す。

表 10.6.2 各タナの設計配水量及びモザ受水タンク平均容量

県	タナ	配水量(m ³ /d)	受水容量 (平均) m ³	施設
CHUADANGA	Alamadanga	1,590	72	新設
	Chuadanga	6,162	84	既存
	Damuruhuda	1,799	138	新設
	Jibannagar	2,889	60	新設
	小計	12,440		
JHENAI DAH	Harinakunda	179	36	新設
	Jhenaidah	1,192	38	既存
	Kaliganj	191	38	既存
	Kotchandupur	898	39	既存
	Moheshpur	4,741	61	既存
	小計	7,201		
JESSORE	Chaugaccha	5,473	58	新設
	Jesoore	2,158	80	既存
	小計	7,631		
合計		27,272		

表 10.6.3 各タナ毎の施設数量内訳

タナ	井戸	高架タンク	原水送水管 (km)	浄水場	送水ポン プ	ポンプ小屋	清浄水送水管 (km)
Alamadanga	2	1	2	1	3	1	56
Chuadanga Sadar	0	0	0	0	3	1	80
Damuruhuda	2	1	2	1	3	1	53
Jibannagar	3	1	3	1	3	1	50
小計	7	3	7	3	12	4	239
Harinakunda	2	1	2	1	3	1	40
Jhenaidah Sadar	0	0	0	0	3	1	38
Kaliganji	0	0	1	0	3	1	27
Kotchandpur	0	0	1	0	3	1	31
Moheshpur	0	0	0	0	3	1	92
小計	2	1	4	1	15	5	228
Chaugaccha	5	2	5	2	3	1	114
Jesoore Sadar	0	0	2	0	3	1	27
小計	5	2	7	2	11	2	141
合計	14	6	18	6	38	11	608

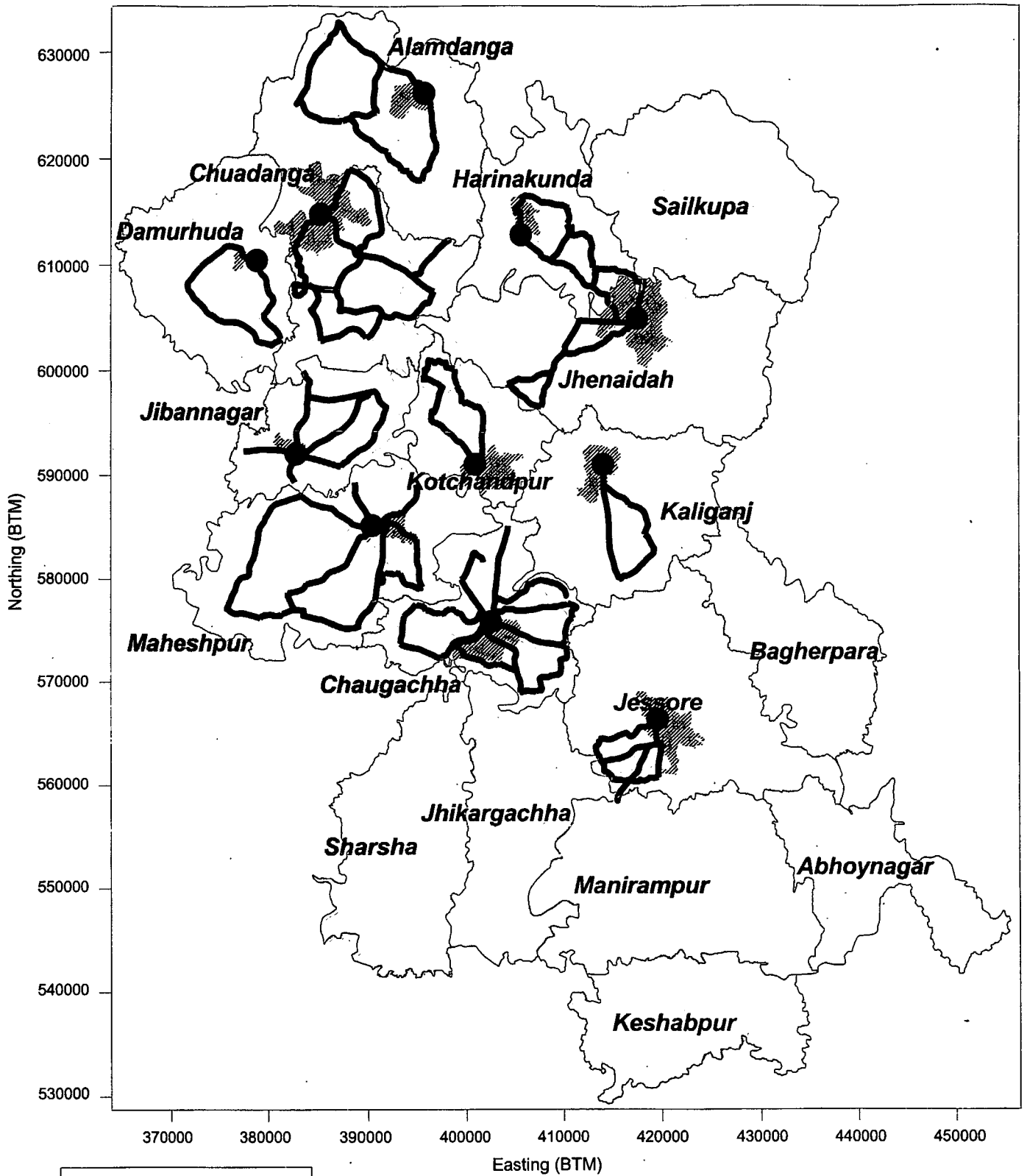
10.6.3 工事費概算

工事費は最近実施されたオランダの18DTPの実績を参考に都市給水施設と同様の方法で算定した。

次表に示すように2010年を目標年次として6億9千万タカ(約15億円)度と推定される。

表 10.6.4 広域水道建設コスト(10万タカ)

建設	建設コスト
Chuadanga	3,021.55
Jhenaidah	2,098.14
Jessore	1,797.87
Total	6,917.55



LEGEND

- Pumping Station
- Pipeline
- ⌞ Thana Boundary
- ⌞ Union Boundary
- ▨ Thana Center
- Urgent Area
- Semi Urgent Area
- Observation Area

図 10.6.1	広域農村水道のパイプライン施設概要図
THE STUDY ON THE GROUNDWATER DEVELOPMENT OF DEEP AQUIFERS FOR SAFE DRINKING WATER SUPPLY TO ARSENIC AFFECTED AREAS IN WESTERN BANGLADESH	
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)	

第11章

ケシャプール地区補足調査

要約

第11章 ケシャプール地区補足調査

補足調査は、4つの優先プロジェクトのうち、ケシャプール地域深層地下水開発プロジェクトの実施可能性について検討するため実施した。調査内容は、スクリーニング調査、地図作成、さく井・揚水試験、社会調査、給水計画、施設設計/積算、事業評価からなる。

11.1 スクリーニング調査

11.1.1 サイトの選定

ケシャプール緊急改善地域の61モザのうち人口、地理環境、村落の特徴等を考慮して16モザを選定した。

表11.1.1及び図11.1.1に対象モザとその位置を示す。

表11.1.1 ケシャプール地区16モザの面積と人口

NO.	ユニオン	モザ	面積 km ²	人口*	人口密度	略号
	Keshabpur	Madhyakul	3.0448	2702 3485	887.4	MD
	Keshabpur	Ram l handrapur	1.9588	1303 1359	665.2	RH
	Keshabpur	Habaspol	0.8185	799 1107	976.2	HB
	Keshabpur	Byasdanga	1.2272	992 1118	808.3	BY
	Keshabpur	Brahmakati	1.4967	1231 1448	822.5	BM
	Keshabpur	Bhagati	3.1694	3096 4153	976.8	BN
	Keshabpur	Maguradanga	1.3425	1142 1303	850.7	MG
	Keshabpur	Khatiakhali	0.7047	648 895	919.5	KK
	Keshabpur	Baliadanga	1.8232	1925 2907	1055.8	BL
	Keshabpur	Kesabpur	0.4184	1000 1512	2390.1	KS
	Keshabpur	Sabdia	1.1650	1013 1720	869.5	SB
	Keshabpur	Altapol	5.0479	6022 8702	1193	AP
	Keshabpur	Sujapur	1.4821	1117 1373	753.7	SP
	Keshabpur	Bajitpur	0.7332	809 1142	1103.4	BJ
	Keshabpur	Sarfabad	0.8016	549 519	684.9	SF
	Panjia	Rajnagar Bankabarsi	2.4255	(1769 1941)	729.3	RB

*人口データ：左；1991，右；2001
R. Bankabarsi については世帯数から推定

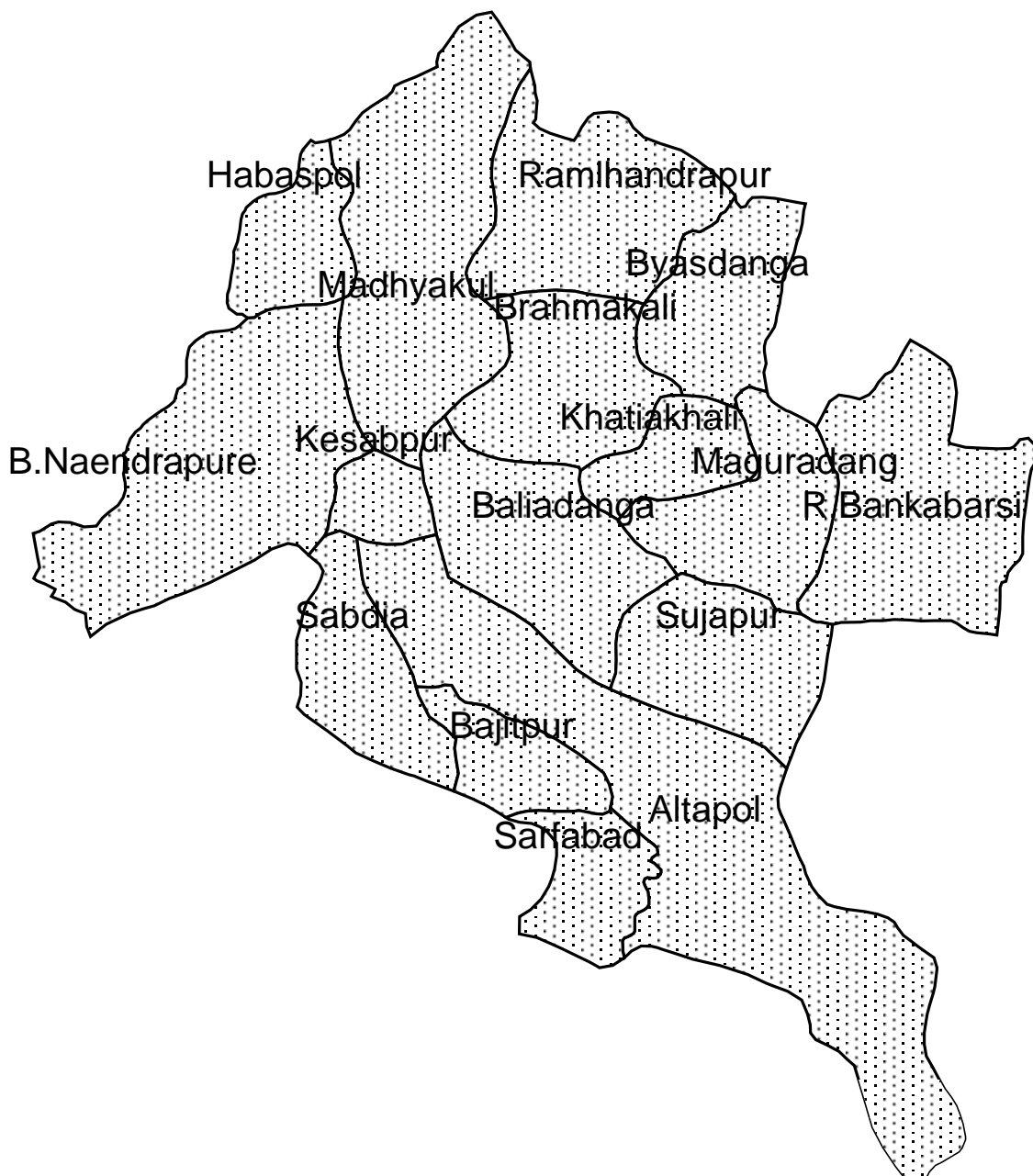


図 11.1.1 16 モザ位置図

11.1.2 調査項目と方法

16モザの既存井戸においてフィールドキット(FK)により砒素, pH, ORP 及び EC を測定した。FK と比較するため既存井戸の約 10%から採水を行いジェナイダ分析室で AAS により分析した。なお、低い砒素濃度が検出された場合も採水を行い AAS で分析した。

11.1.3 スクリーニング結果

スクリーニング結果は位置図、井戸情報を記録した調査票と砒素、pH、ORP、EC 及び水温測定結果を各モザ毎にまとめた。

(1) 井戸の数と深度

スクリーニングの結果、16 モザの井戸総数は 3,037 本である (補足調査合計: 2,963 +モデル村落ラジュナガル・バンカバルシ: 74 本)。

図 11.1.2 は人口 100 に対する井戸本数 (密度) を示す。ケシャプール・モザが最大密度を示す。ケシャプール・モザの周辺も密度が高い。図 11.1.3 は井戸深度を示す。深度 40-60m の井戸が多いが、バガティ・ナレンドラプール、サルファバッドやサブディア・モザでは 20 から 40 m の井戸が多い。とくにバガティ・ナレンドラプール・モザの 70%はこの深度である。

(2) フィールドキットによる砒素分析

1) 浅井戸 (管井)

図 11.1.4 は各モザの井戸位置での砒素汚染分布を示したものである。ほとんど全ての井戸が 0.2 mg/l 以上の砒素濃度である。0.1 mg/l より低い地域は調査地域の西端と南東部である。図 11.1.5 には FK により測定した 3037 本の井戸による砒素汚染コンターを示した。0.5 mg/l 以上の汚染地域が全体に広がっている。図 11.1.6 は AAS による 379 本の測定結果を示したもので、ほとんどのサンプルは 0.2 から 0.5 mg/l を示し、0.1 mg/l 以下は調査地域の西側境界に沿った西端と南東部に分布し FK の測定結果と同様である。

2) かんがい用井戸

図 11.1.7 は 37 ヶ所のかんがい用井戸の FK による測定結果を示す。砒素濃度は大部分の地域で 0.2 mg/l 以上である。0.1 mg/l の分布地域も浅い管井戸の汚染分布と同様である。

(3) 地下水の水質

pH7.0 ~ pH7.2 が多くのモザで見られる。バリアダングでは、pH6.8 以下のものも多い。Eh は 50 から 150 mV を示す。また EC は調査地の中央から西側で、北西-南東方向に 100 mS/m 以下の値が分布する。調査地の東側では、140 mS/m 以上の値である (図 11.1.8)。Eh-pH の関係は図 11.1.9 に示すように砒素濃度 0.1 mg/l 以上の値を示す点が、pH7 ~ 7.5 と Eh50 ~ 120 mV の値の間にプロットされる。

(4) FK と AAS の比較

図 11.1.10 には FK と AAS の測定数値の比較図を示す。フィールドキットの値は 0.07 mg/l 以下では、AAS の値より小さい傾向にある。またその値より上では AAS よりも高い値を示す。

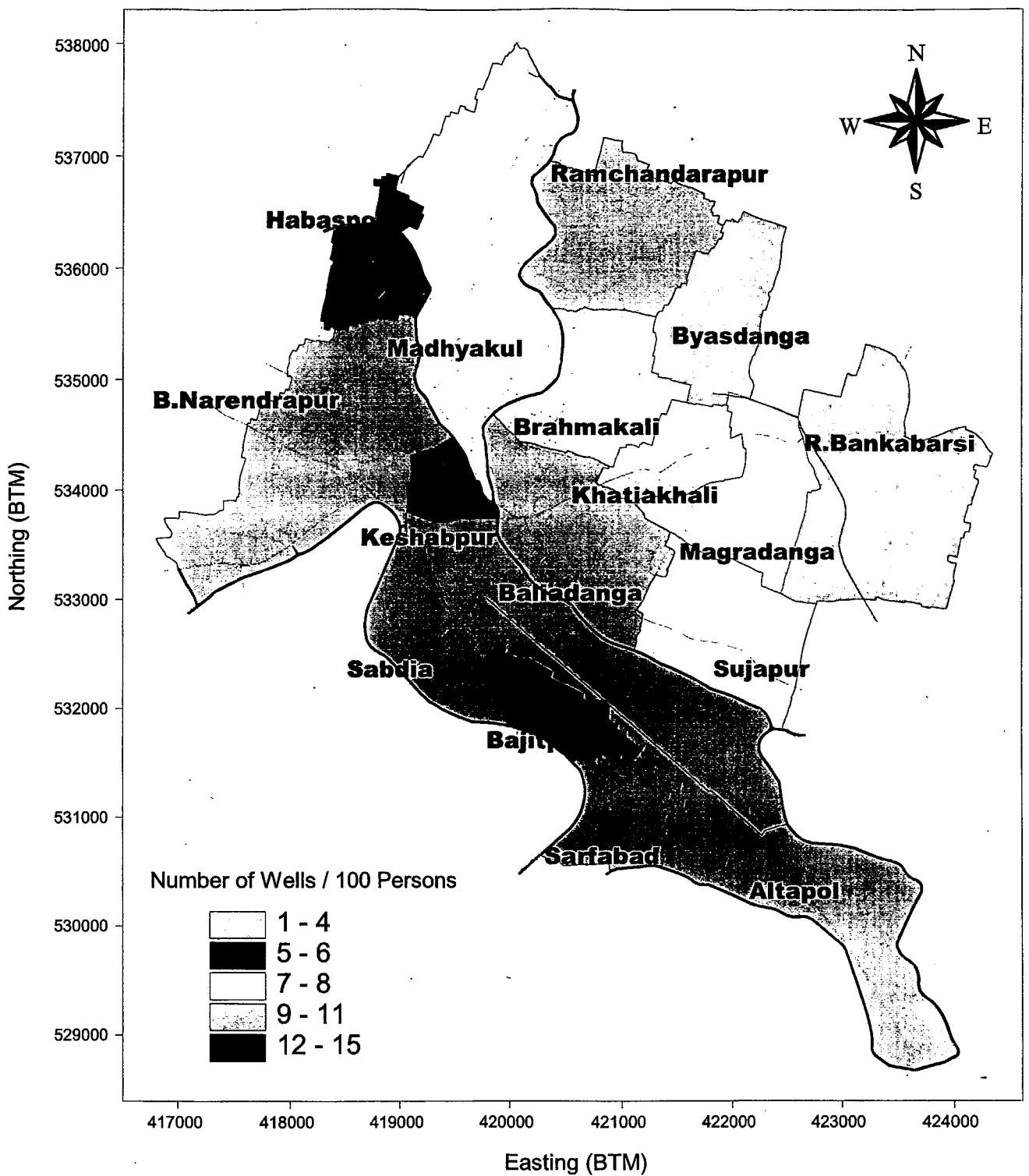


図 11.1.2

人口100人に対する井戸の本数

THE STUDY ON THE GROUNDWATER DEVELOPMENT OF DEEP AQUIFERS FOR SAFE DRINKING WATER SUPPLY TO ARSENIC AFFECTED AREAS IN WESTERN BANGLADESH

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)

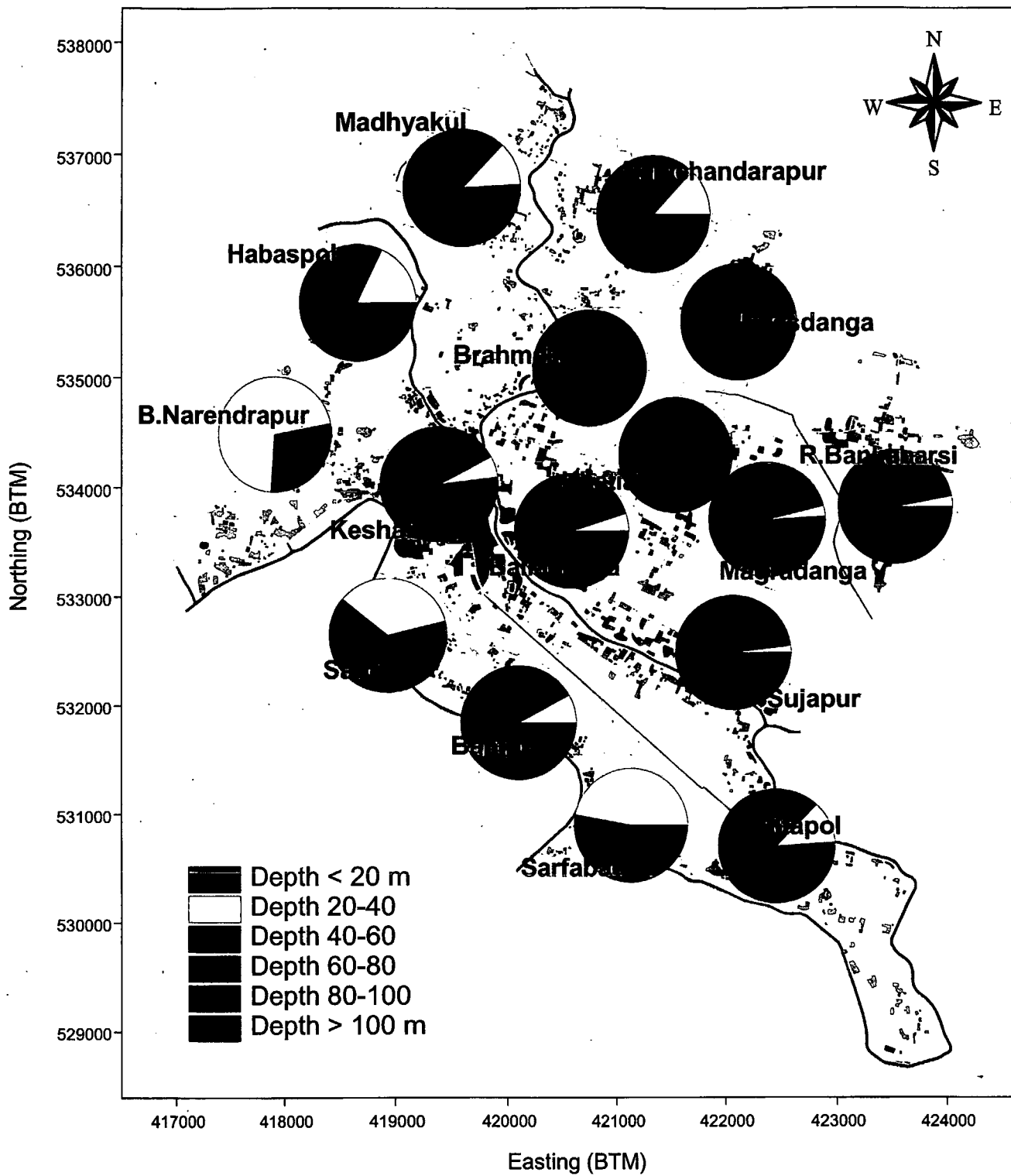


図 11.13

井戸深度区分グラフ

THE STUDY ON THE GROUNDWATER DEVELOPMENT OF DEEP AQUIFERS FOR SAFE DRINKING WATER SUPPLY TO ARSENIC AFFECTED AREAS IN WESTERN BANGLADESH

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)

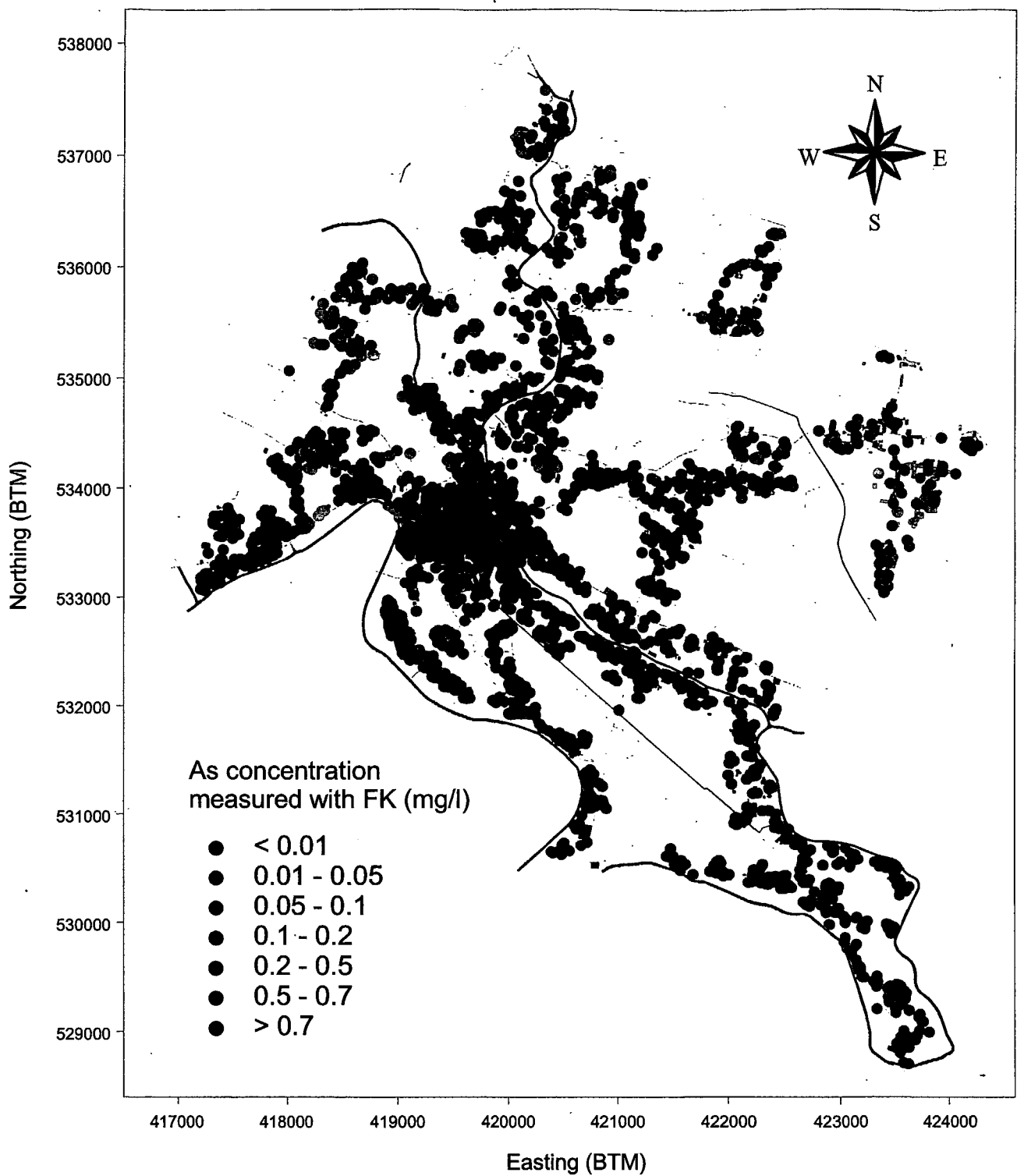
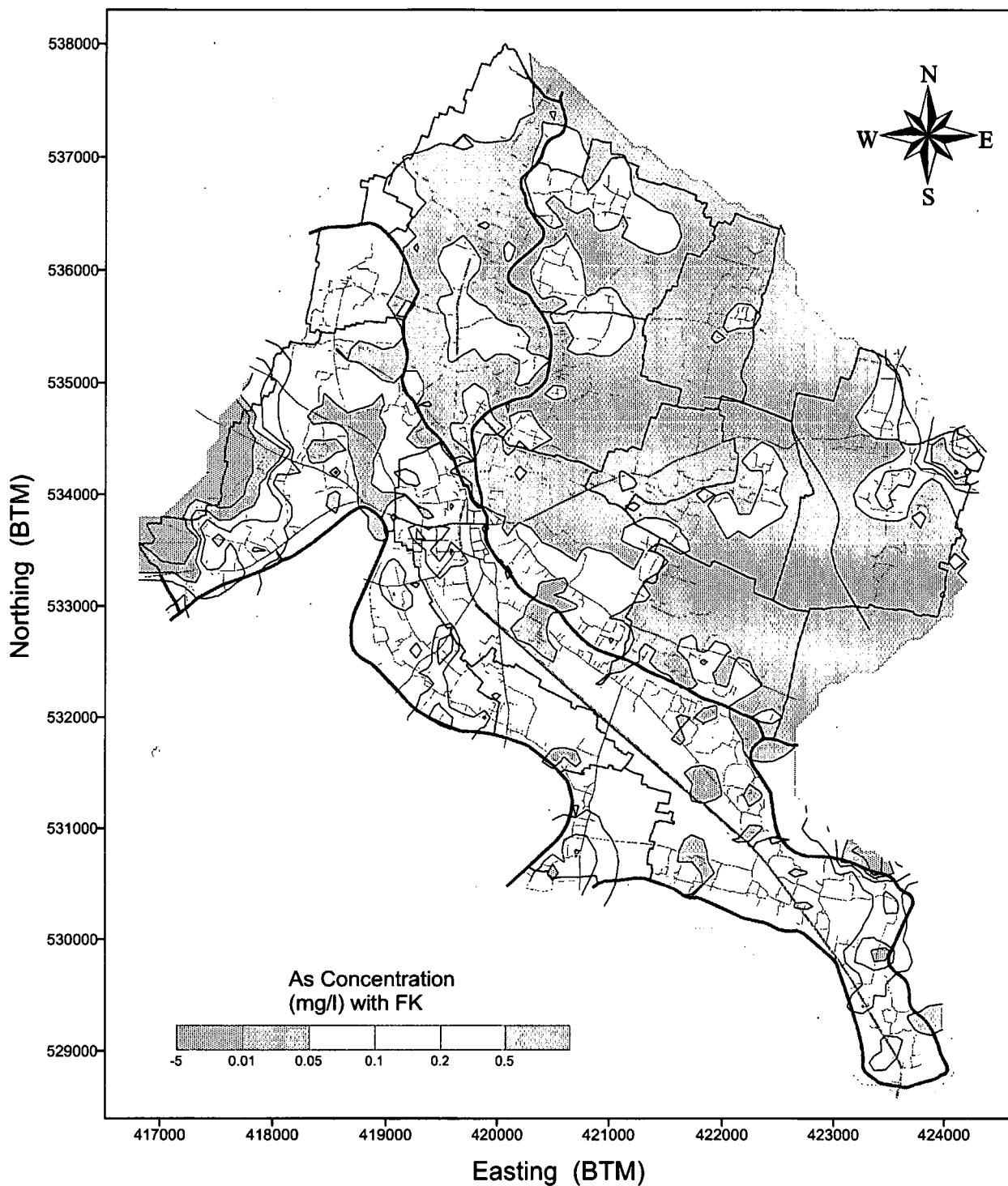


図 11.1.4

各井戸における砒素濃度分布図

THE STUDY ON THE GROUNDWATER DEVELOPMENT OF DEEP AQUIFERS FOR SAFE DRINKING WATER SUPPLY TO ARSENIC AFFECTED AREAS IN WESTERN BANGLADESH

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)



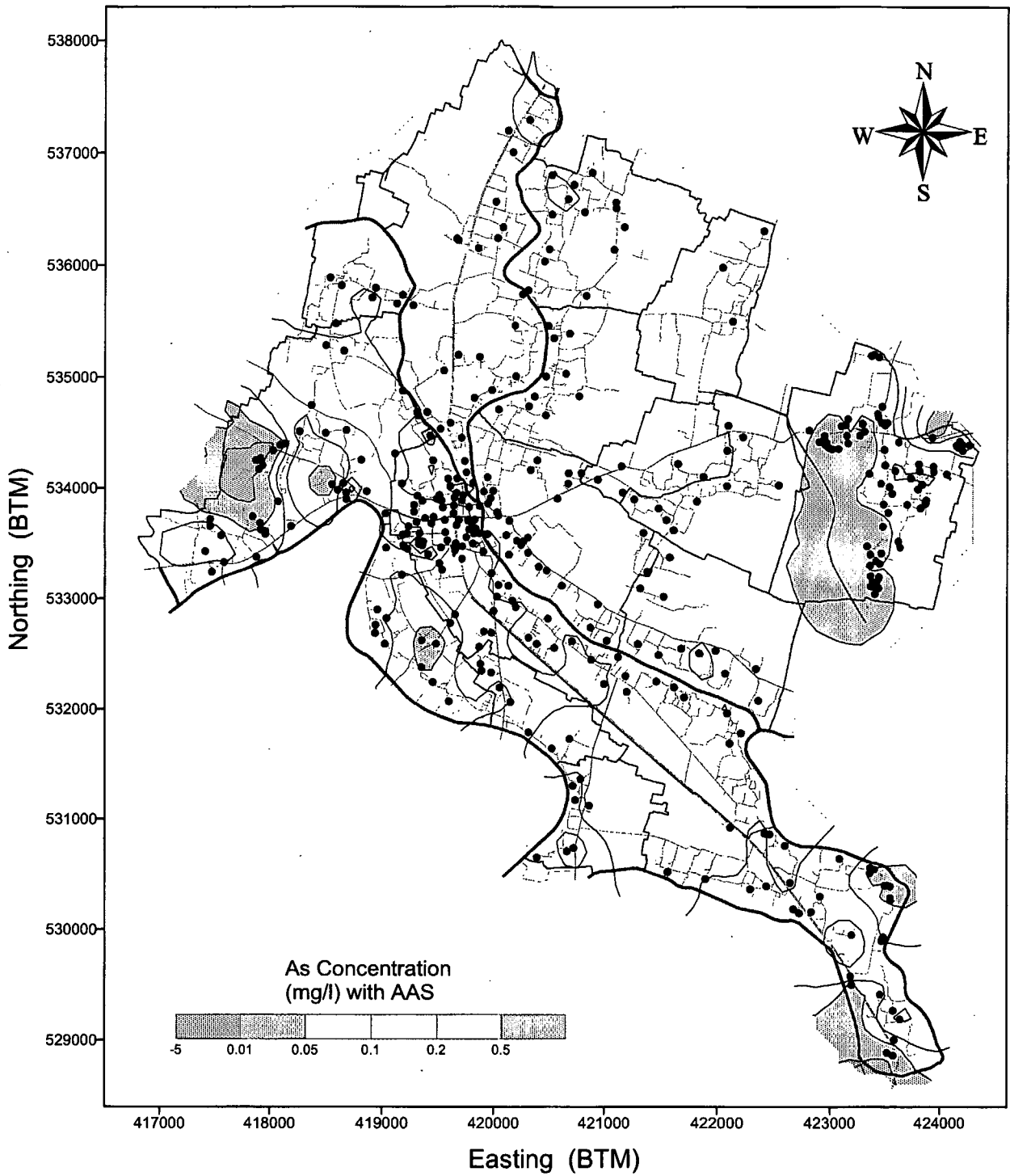
[The arsenic concentrations of groundwater were measured at 3037 existing wells with Field Kits during the supplementary survey Jan. to Feb. 2002.]

☒ 11.1.5

フィールドキットで測定した
砒素濃度分布図

THE STUDY ON THE GROUNDWATER DEVELOPMENT OF
DEEP AQUIFERS FOR SAFE DRINKING WATER SUPPLY TO
ARSENIC AFFECTED AREAS IN WESTERN BANGLADESH

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)



[The arsenic concentrations of groundwater were measured at 379 existing wells with AAS during the supplementary survey Jan. to Feb. 2002.]

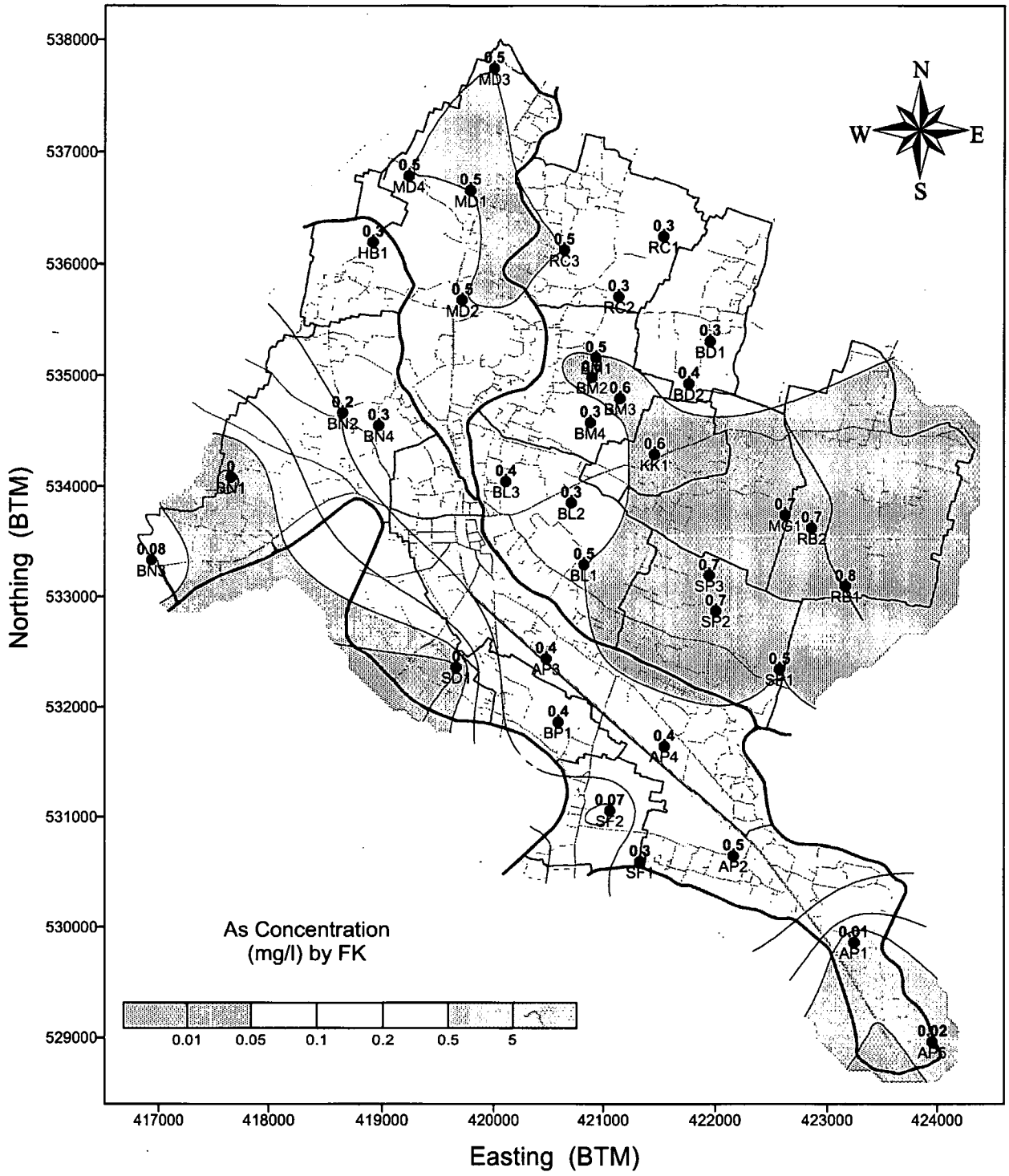
● Location of Measured Existing Well

図 11.1.6

原子吸光で測定した
砒素濃度分布図

THE STUDY ON THE GROUNDWATER DEVELOPMENT OF
DEEP AQUIFERS FOR SAFE DRINKING WATER SUPPLY TO
ARSENIC AFFECTED AREAS IN WESTERN BANGLADESH

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)



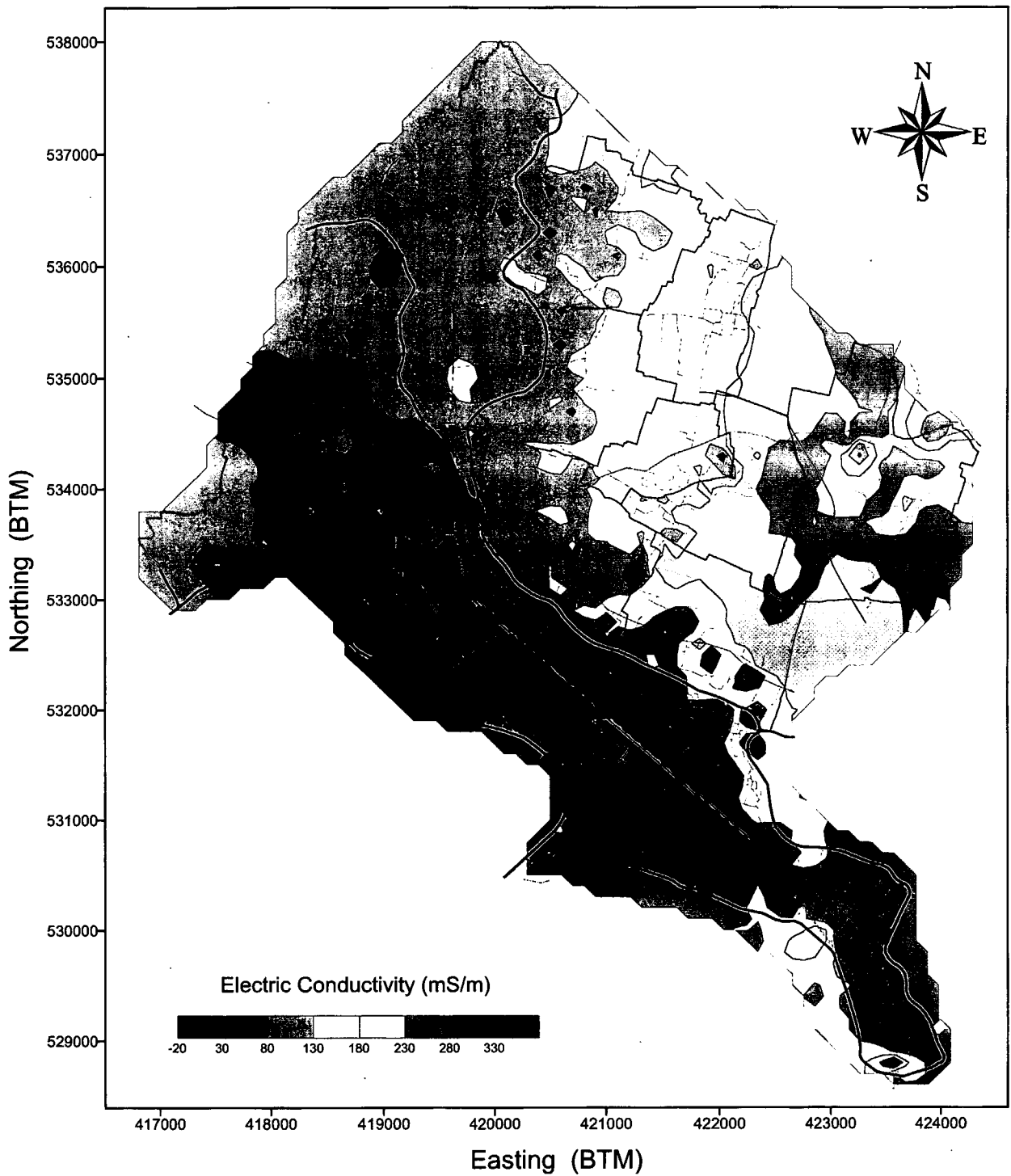
[The arsenic concentrations of groundwater were measured at 37 existing irrigation wells by the AAN Field Kit during the supplementary survey Jan. to Feb. 2002.]

図 11.17

農業用井戸の砒素汚染分布図

0.05 Existing Well with As Concentration (mg/l) by AAN Field Kit

THE STUDY ON THE GROUNDWATER DEVELOPMENT OF DEEP AQUIFERS FOR SAFE DRINKING WATER SUPPLY TO ARSENIC AFFECTED AREAS IN WESTERN BANGLADESH
 JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)



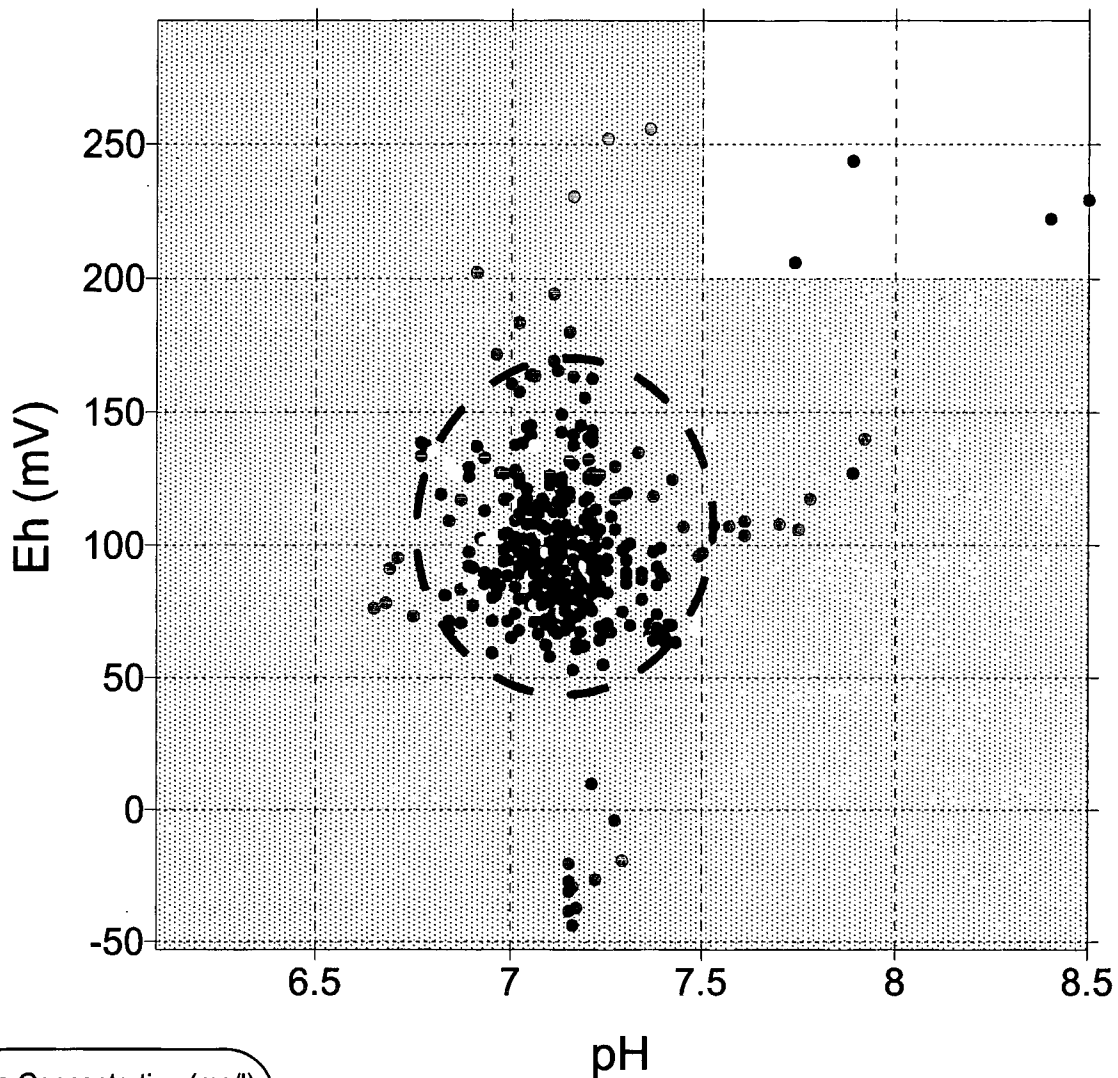
[Electric conductivity (EC) of groundwater was measured at 3037 existing wells with portable EC meters during the supplementary survey Jan. to Feb. 2002.]

☒ 11.1.8

既存井戸における電気伝導度分布図

THE STUDY ON THE GROUNDWATER DEVELOPMENT OF DEEP AQUIFERS FOR SAFE DRINKING WATER SUPPLY TO ARSENIC AFFECTED AREAS IN WESTERN BANGLADESH

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)



- As Concentration (mg/l)
Analyzed by AAS
- 0 to 0.01
 - 0.01 to 0.05
 - 0.05 to 0.1
 - 0.1 to 0.5
 - 0.5 to 1



High Arsenic Concentration Zone

[The ORP and pH values were measured at existing wells from January to March 2002 by potable ORP meter and potable pH meter. The arsenic concentrations were analyzed by the AAS in Jhenaidah Laboratory.

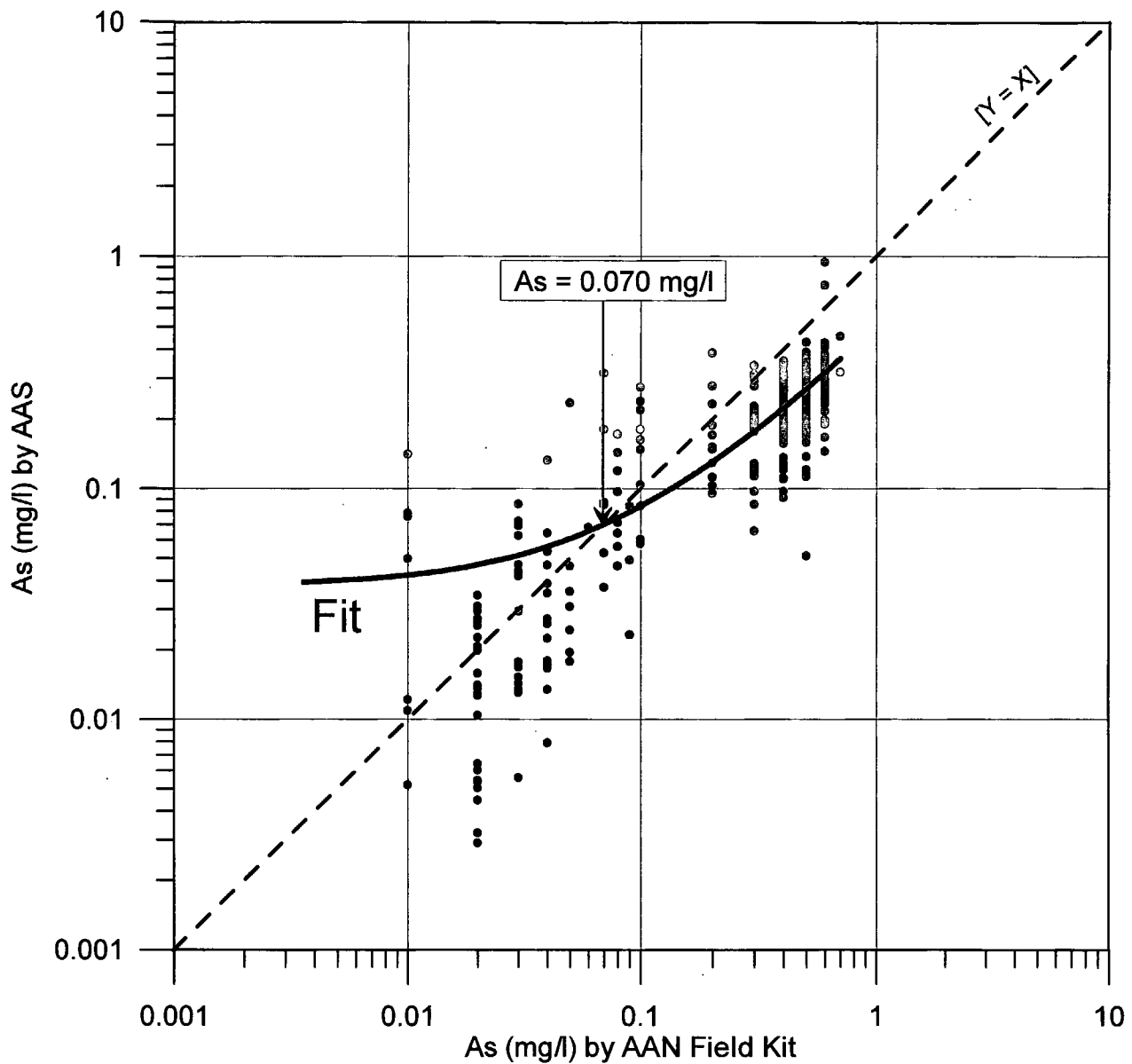
The reading ORP values were converted into Eh values by:
 $Eh (mV) = [ORP \text{ meter reading value (mV)}] - 0.71978 * [Temp (deg-C)] + 224.363]$

図 11.1.9

既存井戸におけるEh-pH-As相関図

THE STUDY ON THE GROUNDWATER DEVELOPMENT OF DEEP AQUIFERS FOR SAFE DRINKING WATER SUPPLY TO ARSENIC AFFECTED AREAS IN WESTERN BANGLADESH

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)



相関結果
 回帰式: 直線
 $Y = 0.4654463052 * X + 0.03759712448$
 データ数 = 349
 相関係数 = 0.602472

(The arsenic concentrations were measured in Screening Survey in February to March 2002.)

図 11.1.10	フィールドキットと原子吸光で 測定した結果の比較
THE STUDY ON THE GROUNDWATER DEVELOPMENT OF DEEP AQUIFERS FOR SAFE DRINKING WATER SUPPLY TO ARSENIC AFFECTED AREAS IN WESTERN BANGLADESH	
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)	

11.2 さく井・揚水試験

11.2.1 さく井

水文地質と砒素濃度を確認するためブラマカティ・モザにてさく井を実施した(図 11.2.1、11.2.2 参照)。

浅層帯水層は砒素により汚染されているので深層地下水を目標とした。調査地域の深層地下水は厚い粘土層により浅層帯水層と分離されている。図 11.2.3 は地質柱状図と検層図(比抵抗, 自然ガンマ, SP)を示す。掘削孔では 287m から 298m 間で粗砂、砂礫層からなる深層帯水層に達した。ケーシングプログラムは図 11.2.4 に示す。

11.2.2 揚水試験

井戸完成後、段階試験、連続試験及び回復試験を行った。揚水試験中砒素測定のため地下水を採水するとともに、現地にて水温、pH、ORP 及び EC を測定した。連続揚水試験結果は図 11.2.5 に示す。透水量係数(T)と貯留係数(S)はそれぞれ $2.450 \text{ m}^2/\text{day}$ 及び 5.87 E-1 であった。

揚水試験中 FK による砒素濃度は 0.0 から 0.01 mg/l を測定したが AAS による分析では検出限界以下であった。

11.2.3 ケシャプール地区の水文地質構造

(1) A-B-C 断面

断面位置図は図 11.2.6 に示す。図 11.2.7~8 には、南北方向の A-B-C 地質断面図を示した。大きくは帯水層として 3 層準みられる。上部帯水層は、深度 50~100 m に位置し連続的に分布する。この層からの地下水は砒素に汚染されている(バングラデシュ基準値以上)。中部帯水層は、深度 220 m 付近にみられるが、連続性はよくなく、ケシャプール・モザの北側とタラタナの一部に見られる。この層から地下水は砒素に汚染されていない(バングラデシュ基準値以内)。下部帯水層は、深度 300 m 付近にみられ、このさく井地点周辺に分布するが広がり不明である。この層の地下水は砒素に汚染されていない(バングラデシュ基準値以内)。この帯水層は南に向かうにつれ、300 m の深度よりも深くなる可能性が高い。

(2) D-F 断面

図 11.2.9 には、図 11.2.7~8 に並行する地質断面図を示した。大きくは帯水層として 2 層準みられ、ともに連続性はよい。上部帯水層は、深度 20~70m であり、層

厚は 50m 程度である。この層は A-B-C 断面の上部帯水層に対比される。この層からの地下水は砒素汚染されている（バングラデシュ基準値以上）。下部帯水層は、深度 150m～250m に分布する。この層は A-B-C 断面の中部帯水層に対比される。この層からの地下水は砒素に汚染されていない（バングラデシュ基準値以内）。

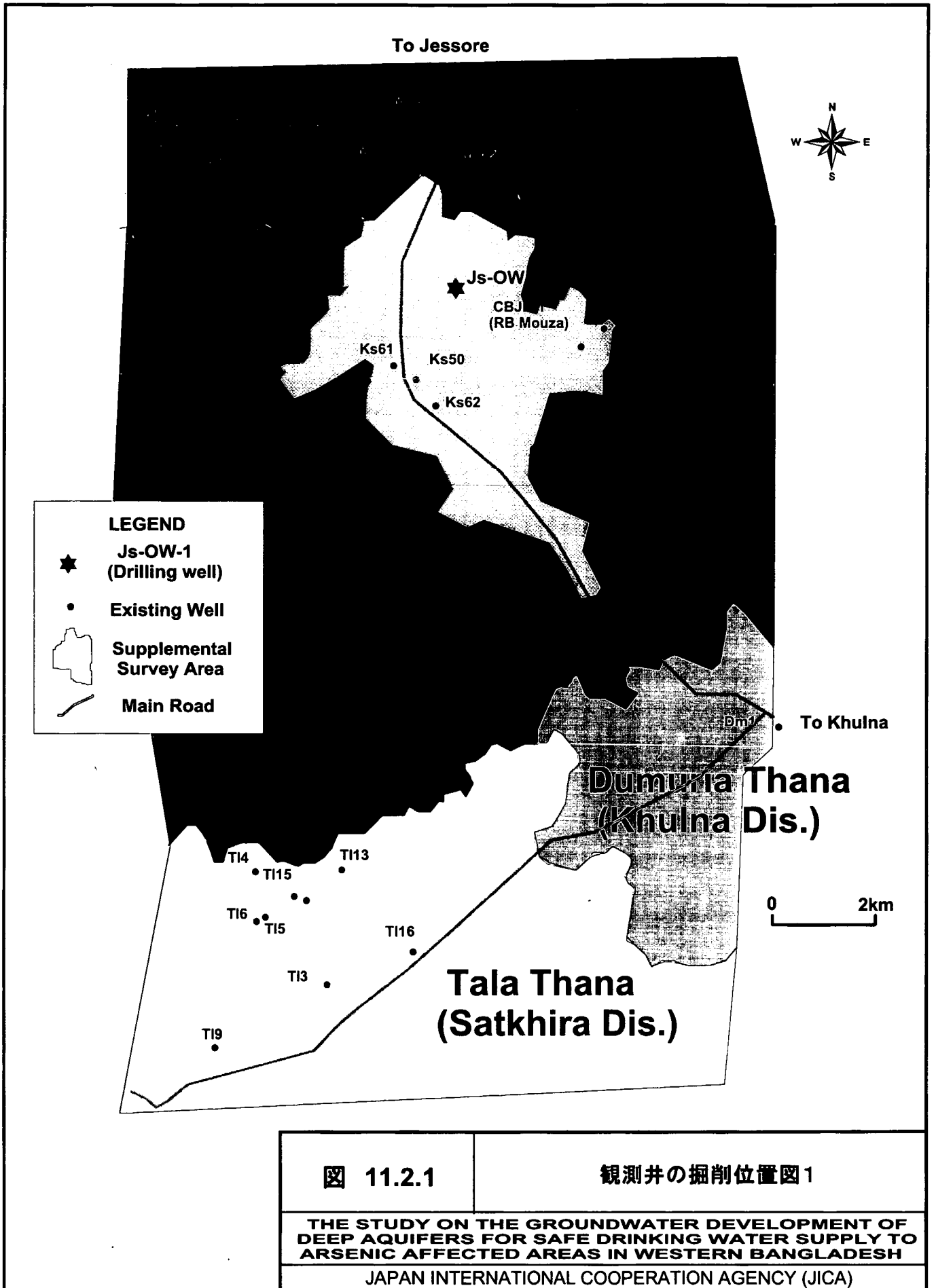


図 11.2.1

観測井の掘削位置図1

THE STUDY ON THE GROUNDWATER DEVELOPMENT OF DEEP AQUIFERS FOR SAFE DRINKING WATER SUPPLY TO ARSENIC AFFECTED AREAS IN WESTERN BANGLADESH

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)

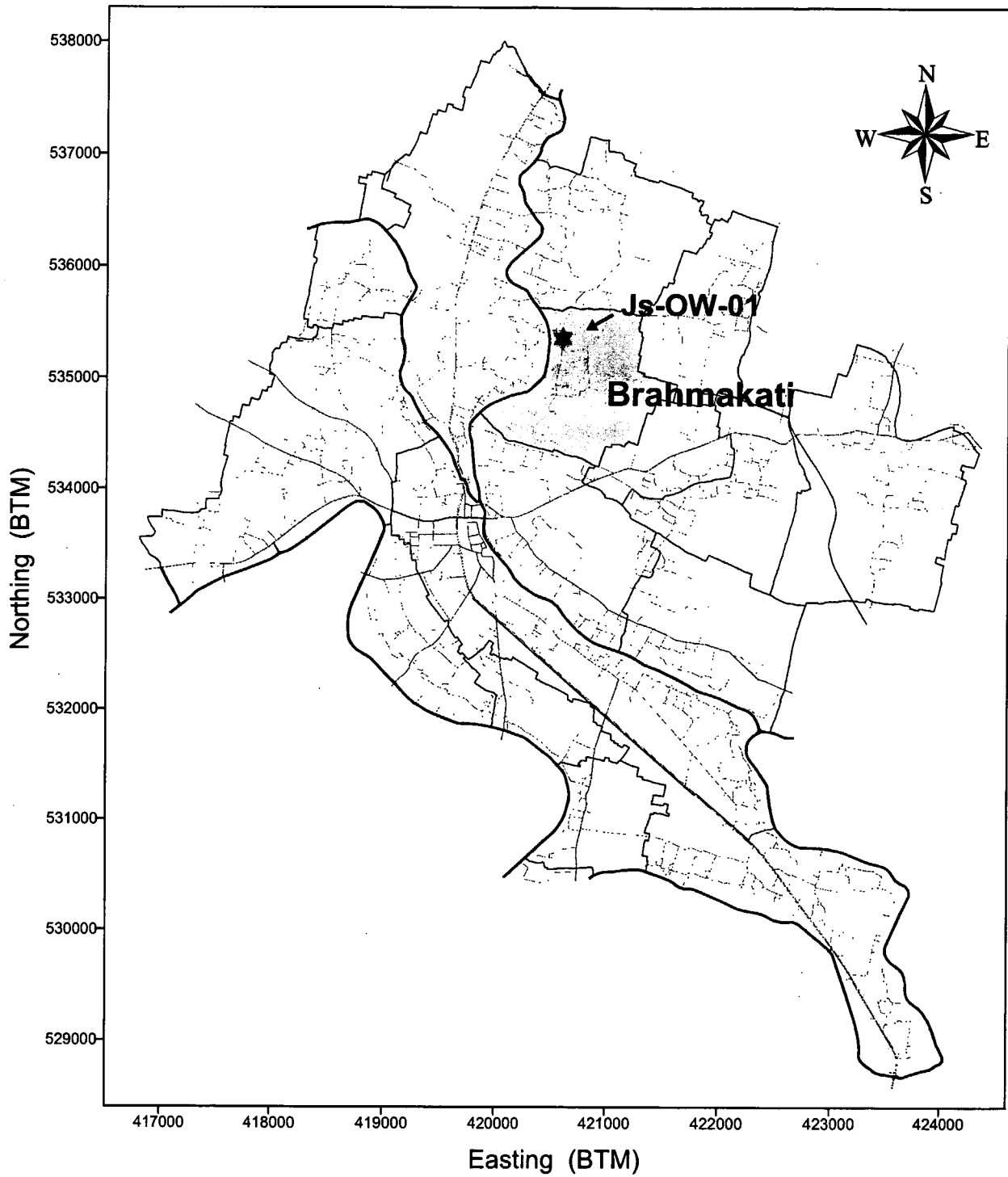
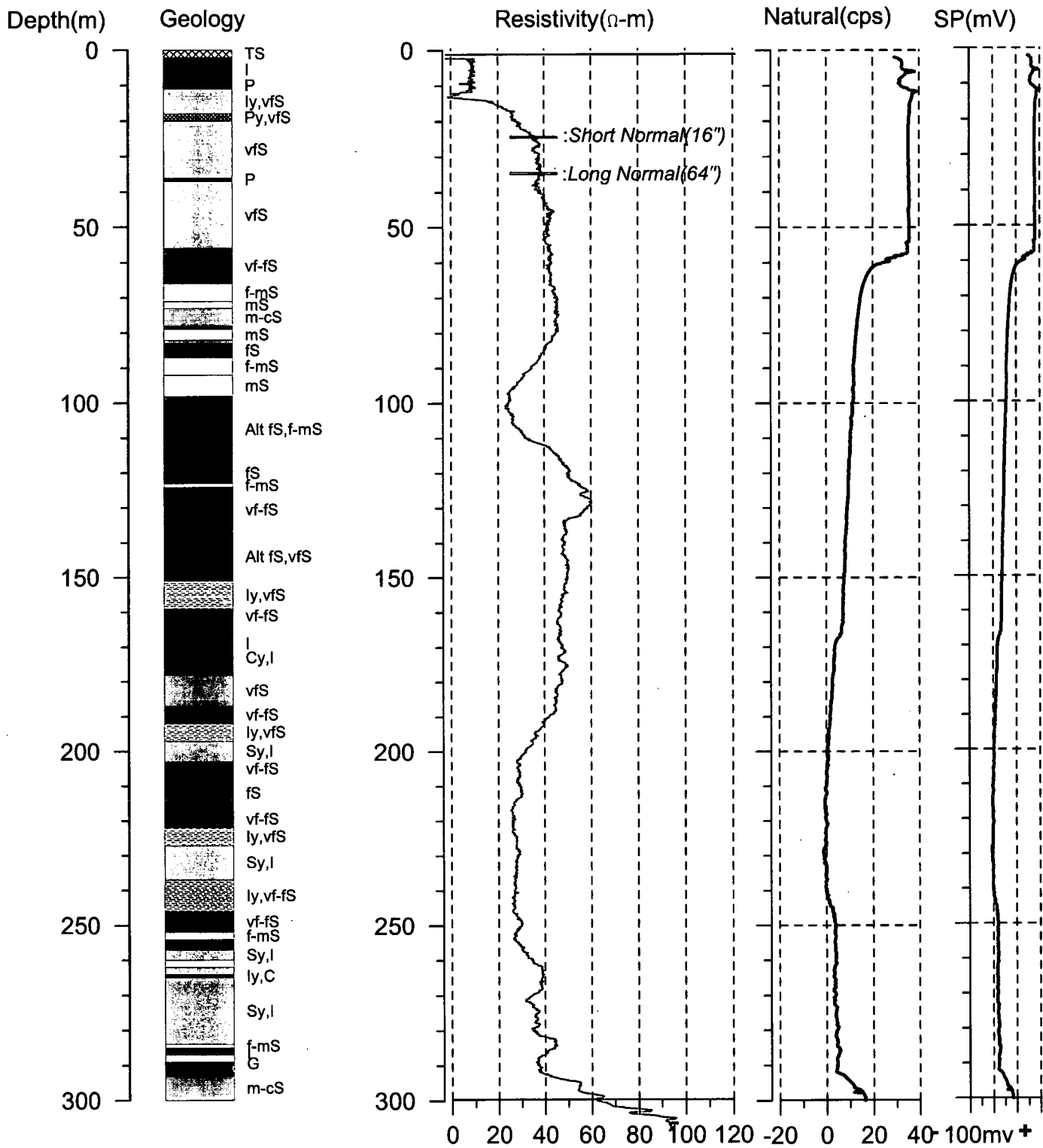


図 11.2.2

観測井の掘削位置図2

THE STUDY ON THE GROUNDWATER DEVELOPMENT OF DEEP AQUIFERS FOR SAFE DRINKING WATER SUPPLY TO ARSENIC AFFECTED AREAS IN WESTERN BANGLADESH

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)



C: Clay	Cy: Clayey
I: Silt	ly: Silty
S: Sand	Sy: Sandy
G: Gravel	w: with
v: very	-: to
f: fine	Alt: Alternation
m: medium	P: Peat
c: coarse	TS: Top Soil

図 11.2.3

JS-OW-1での柱状図及び物理検層結果
[ブラマカティ、ケシャプール]

THE STUDY ON THE GROUNDWATER DEVELOPMENT OF DEEP AQUIFERS FOR SAFE DRINKING WATER SUPPLY TO ARSENIC AFFECTED AREAS IN WESTERN BANGLADESH

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)

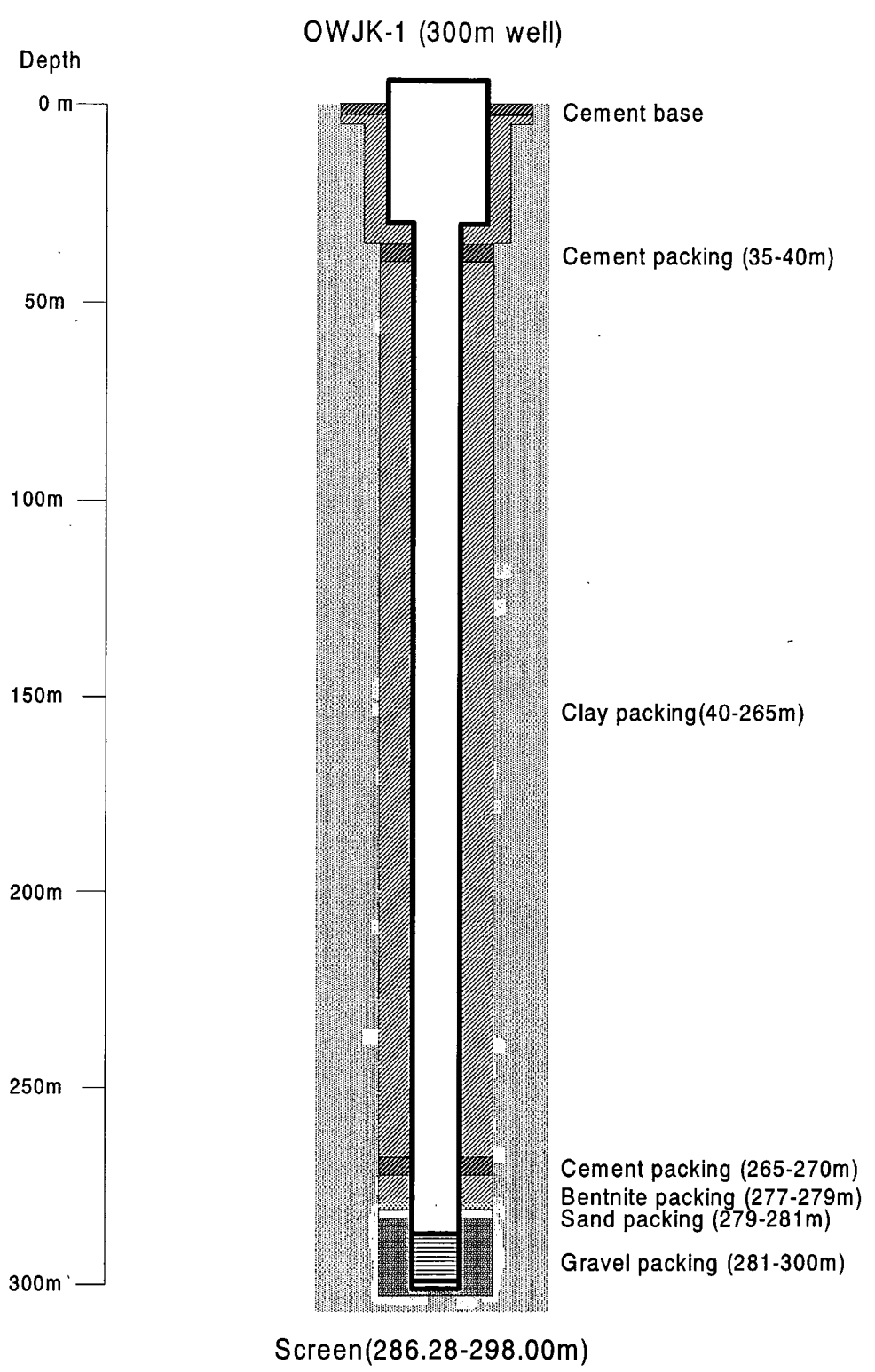
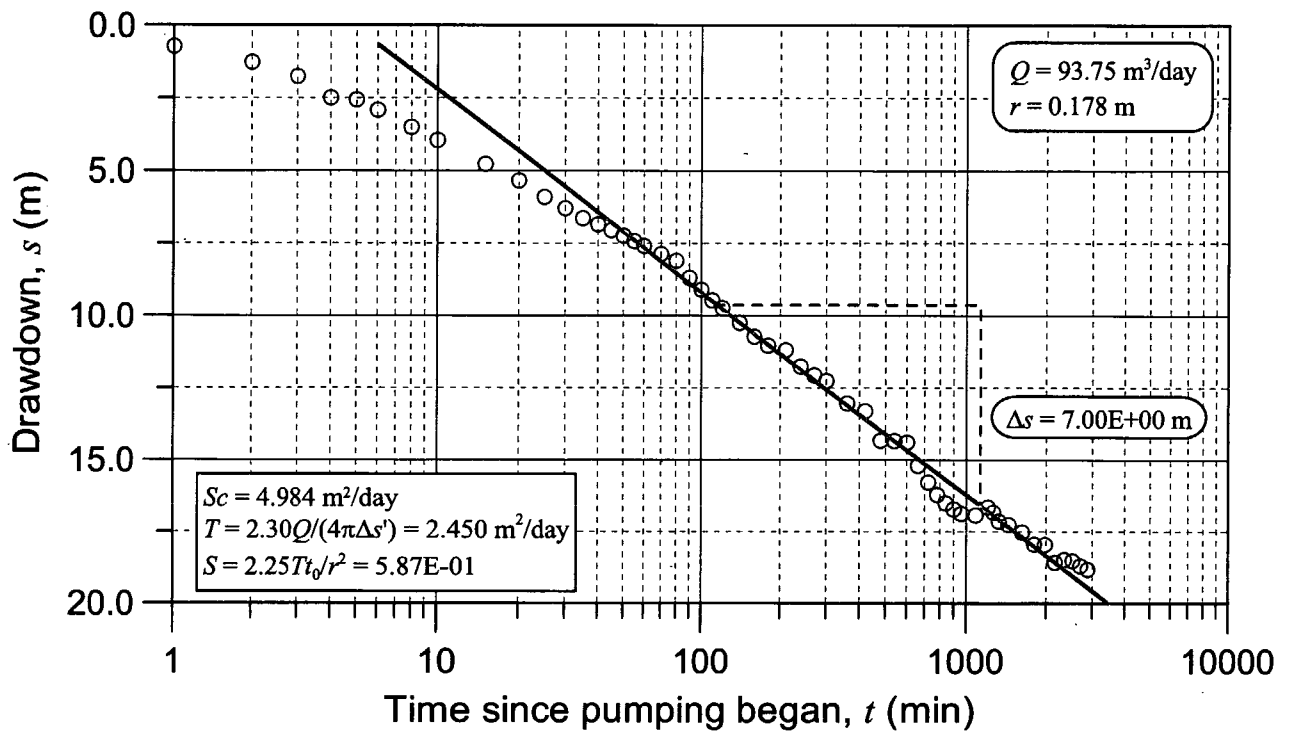


図 11.2.4

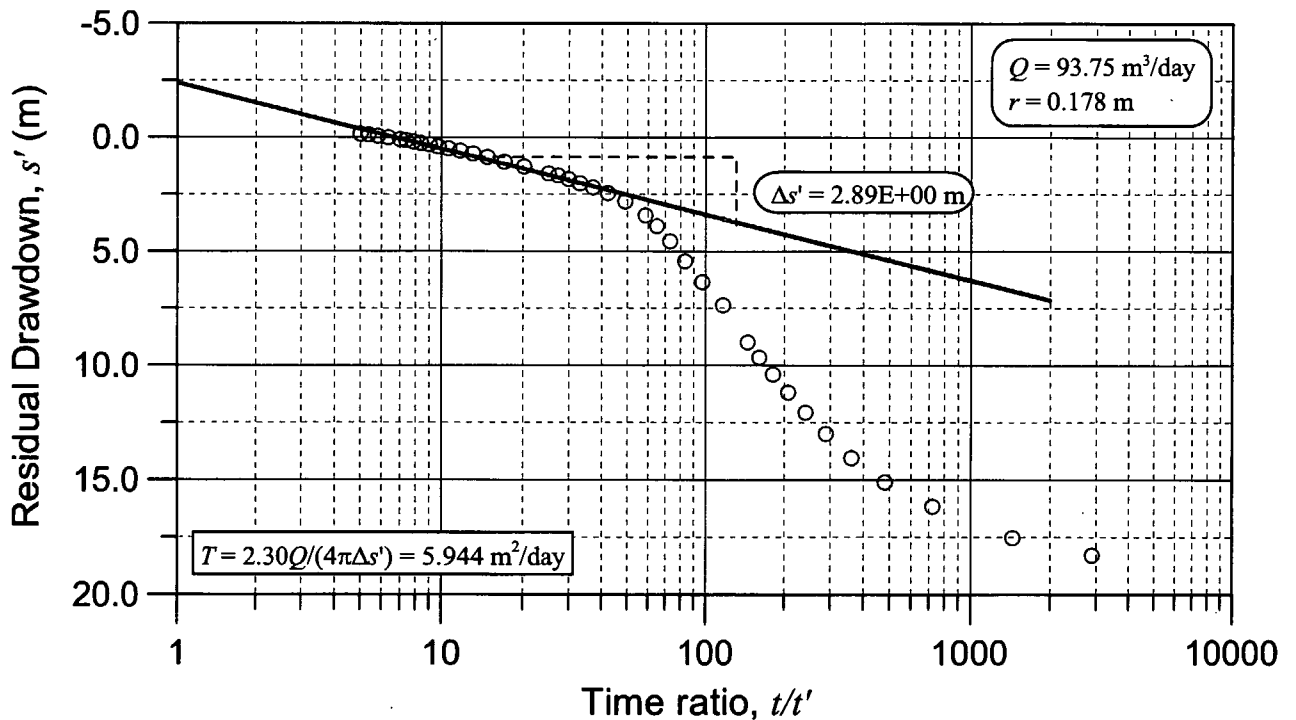
観測井のケーシングプログラム
(JS-OW-1: プラマカティ)

THE STUDY ON THE GROUNDWATER DEVELOPMENT OF
DEEP AQUIFERS FOR SAFE DRINKING WATER SUPPLY TO
ARSENIC AFFECTED AREAS IN WESTERN BANGLADESH

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)




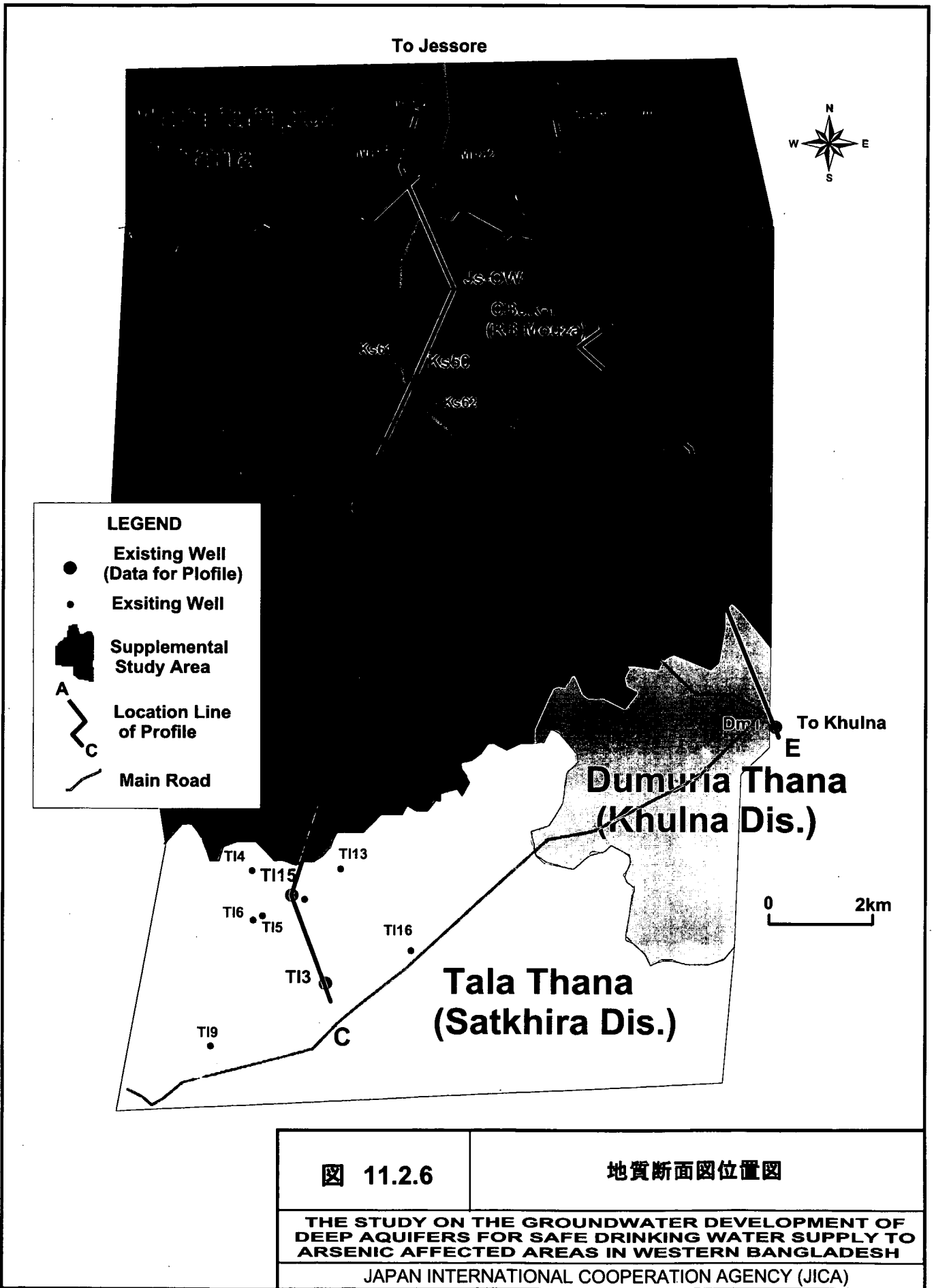
(a) Continuous Pumping Test at Js-OW-1 Well



(b) Recovery Test at Js-OW-1 Well

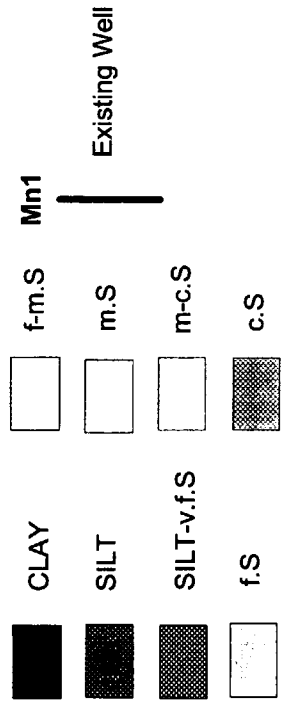
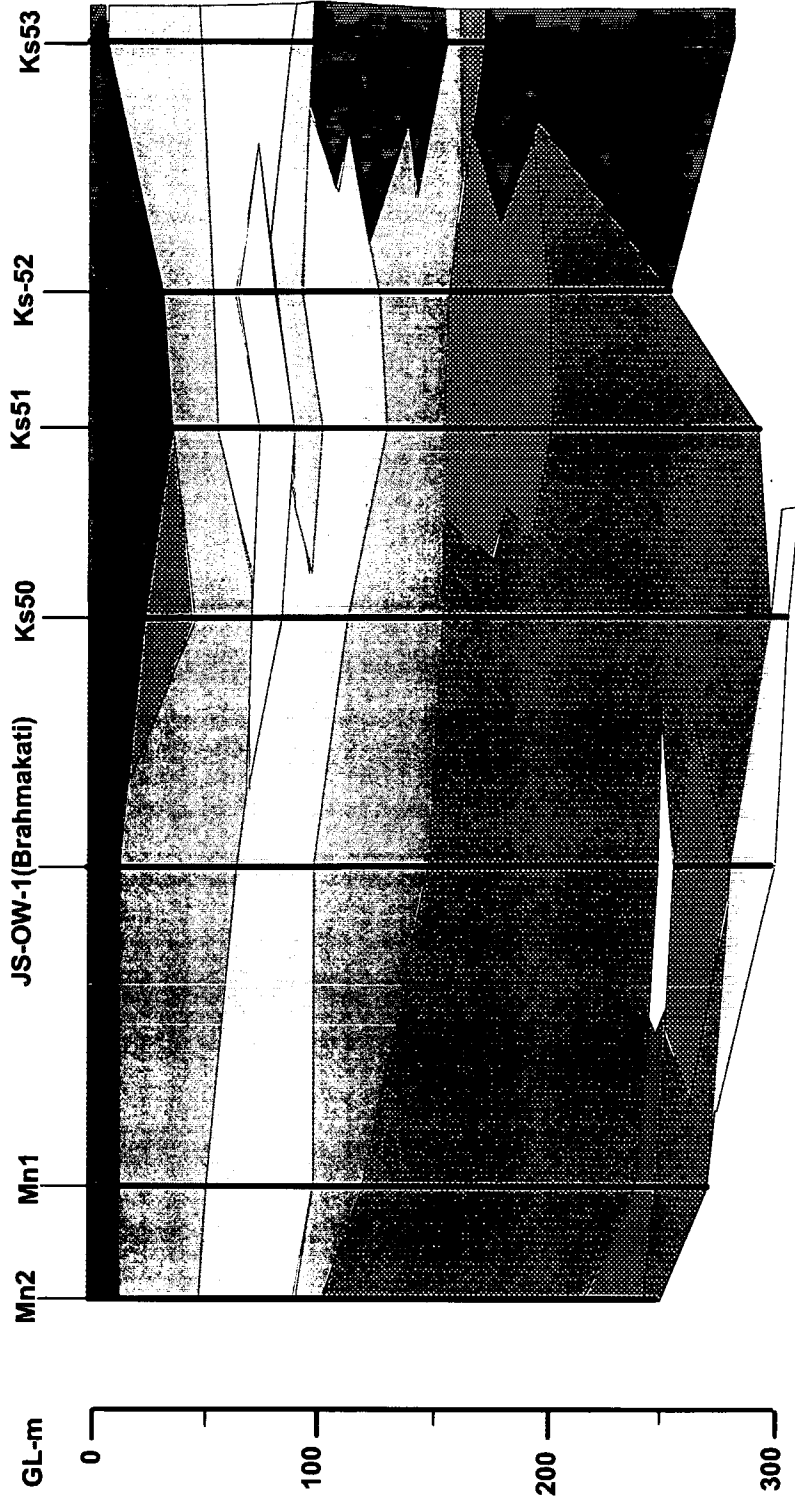
Location: Brahmakati,
Keshabpur, Jessore
Site No.: KSB-1
Well No.: Ksb-1
Well Depth: 299.0 m
Well Diameter: 355.60 mm
Screen Depths: 286.28-298.0 m
Screen Length: 11.72 m
SWL: GL- 6.385 m
on 10-03-2002

 11.2.5	JS-OW-1での連続揚水試験及び 回復試験結果
THE STUDY ON THE GROUNDWATER DEVELOPMENT OF DEEP AQUIFERS FOR SAFE DRINKING WATER SUPPLY TO ARSENIC AFFECTED AREAS IN WESTERN BANGLADESH	
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)	



North ←

→ South
B

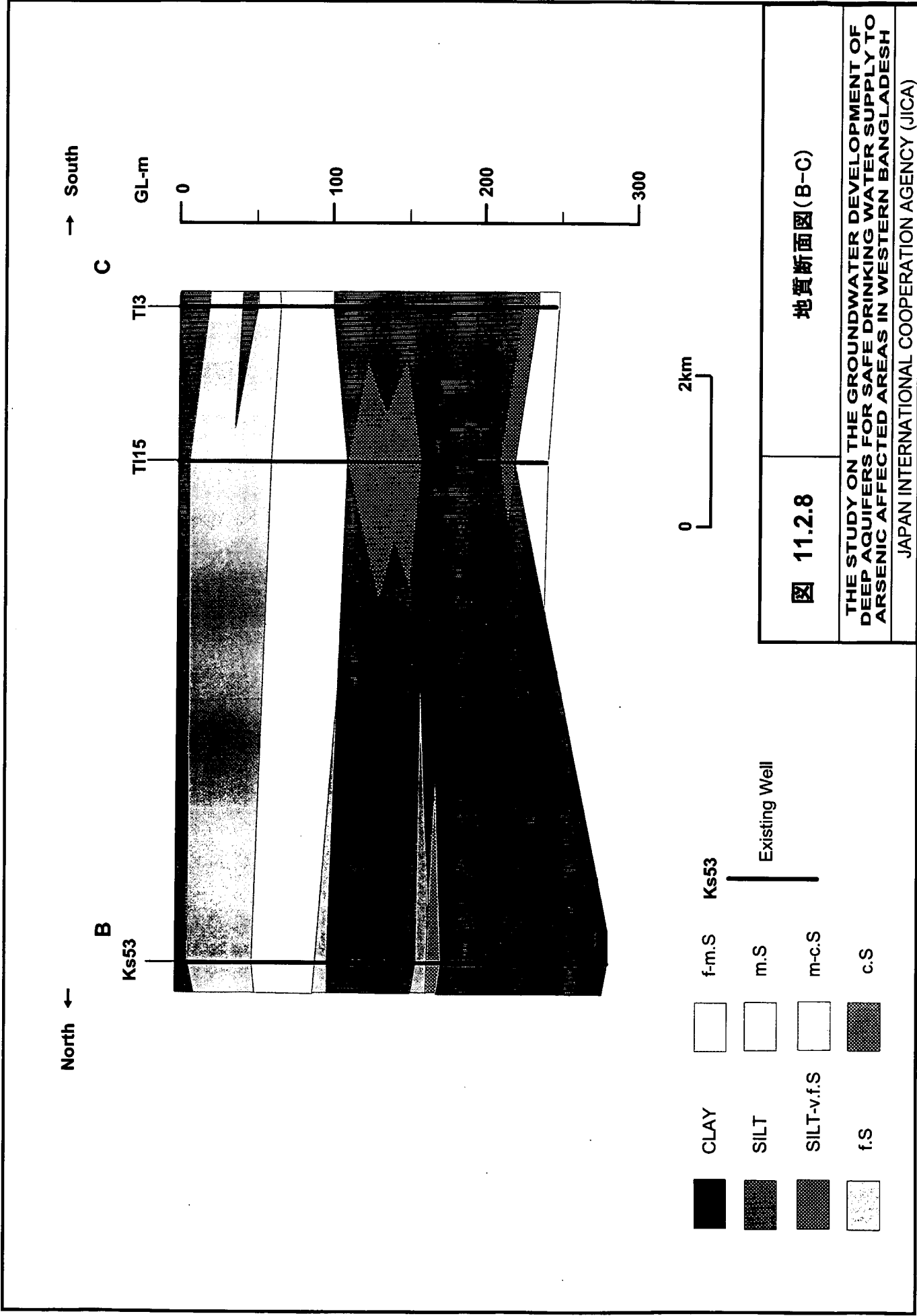


地質断面図(A-B)

図 11.2.7

THE STUDY ON THE GROUNDWATER DEVELOPMENT OF DEEP AQUIFERS FOR SAFE DRINKING WATER SUPPLY TO ARSENIC AFFECTED AREAS IN WESTERN BANGLADESH

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)



- CLAY
- SILT
- SILT-v.f.S
- f.S
- f-m.S
- m.S
- m-c.S
- c.S
- Existing Well
- Ks53

图 11.2.8

地質断面図(B-C)

THE STUDY ON THE GROUNDWATER DEVELOPMENT OF DEEP AQUIFERS FOR SAFE DRINKING WATER SUPPLY TO ARSENIC AFFECTED AREAS IN WESTERN BANGLADESH

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)

North ←
D

AAN DTW
Dulladanga

Ks54 CBJK-1

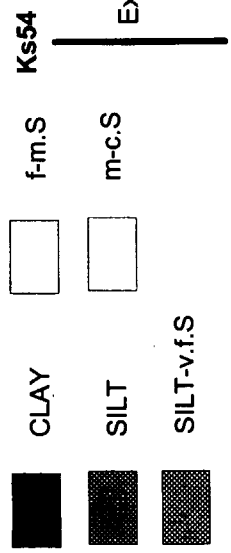
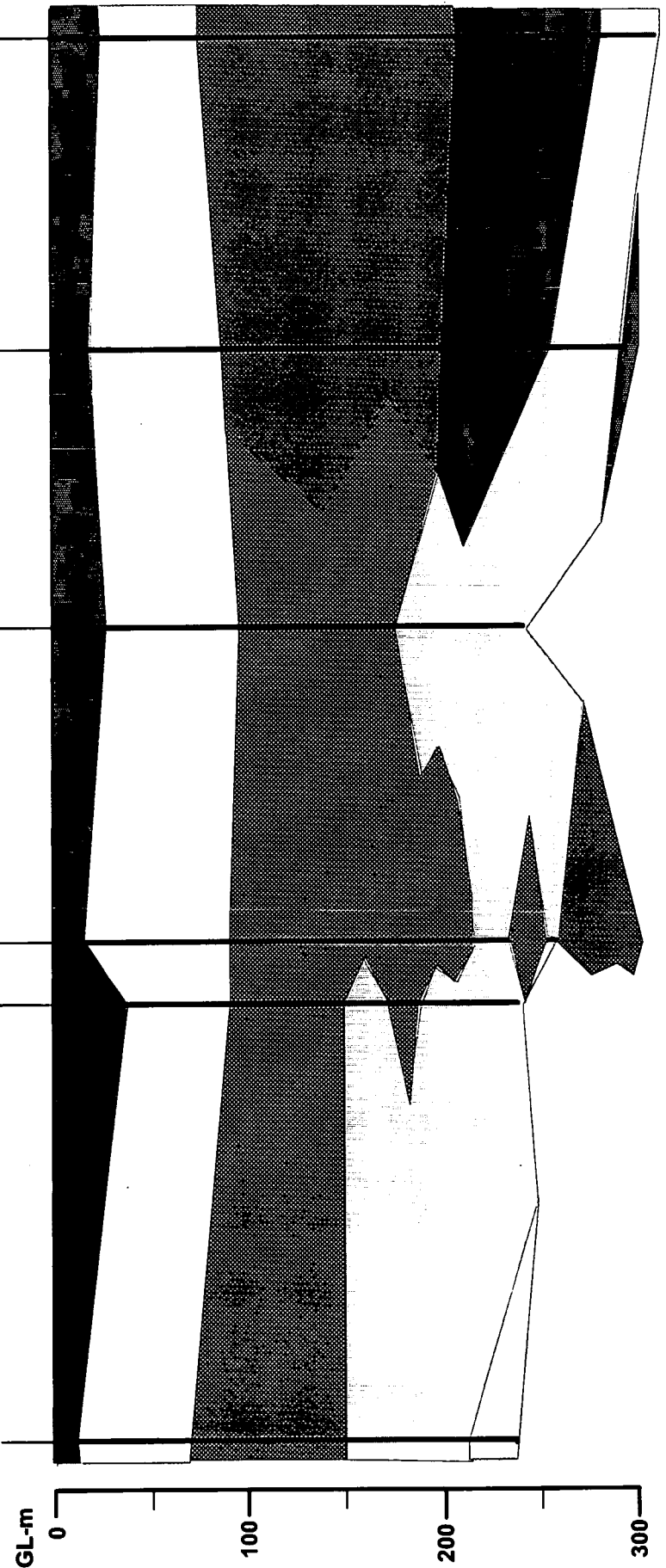
Ks56

Ks34

Dm1

GL-m
0
100
200
300

South →
E



11.2.9 地質断面図 (D-E)

THE STUDY ON THE GROUNDWATER DEVELOPMENT OF DEEP AQUIFERS FOR SAFE DRINKING WATER SUPPLY TO ARSENIC AFFECTED AREAS IN WESTERN BANGLADESH

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)

11.3 社会調査結果

11.3.1 モザの特徴

(1) モザの面積、人口等

16 モザの面積は 29.0 km²、人口は 34,684 人である。所帯数は 7,590。主な宗教は、モスリム（72.3%）とヒンドゥー（27.2%）である。識字率はモザにより異なる。ケシャプール・モザでは 80%であるがサブディア・モザでは男性が 50%以上女性が 20% 以上である。

(2) 共同体の活動

それぞれの共同体における出来事や行事に関する住民の会議が定期的に行われており、保健プログラムや相互扶助などのコミュニティ活動も広く行われている。砒素問題に関しても複数のモザで対策が試みられているが、啓蒙活動等、住民が主体となる具体的かつ積極的な取り組みは行われていない。

(3) 産業

農業がモザの主要産業であり、村人が「ビジネス」と呼ぶ一種の仲介業や、リキシャを用いた運送業、養魚業がこれに続く。主要農作物は米である。それ以外ではジュート、各種野菜、豆類、小麦が栽培されている。公共事業は 14 のモザで地域住民を雇用する形で行われている。

(4) インフラ

多くの家庭にはトイレがあるが、セプティック・タンク等の処理設備は備えられていない。ゴミは、各家庭の庭に捨てられている。医療施設へのアクセスは距離にして 2.30 km、移動時間 20 分、移動にかかる料金（リキシャ代、片道）5 タカが平均的である。学校施設については、小学校（6～11 才）が 14 のモザに、高等学校（12～17 才）が 5 つのモザにある。

11.3.2 住民生活・世帯状況

(1) 人口、収入等

世帯の大きさは平均 5.53 名で、成人男性 2 名、成人女性 2 名に男子または女子児童から構成されるのが一般的である。

(2) 所帯経済

一般的な世帯の年収は 36,350 タカで、小売または仲介業、運送業からの収入が全

体の約 70 %を占めている。一方、貯蓄を含めた各世帯の支出額は年間 34,157 タカであり、その約 50 %が食費に費やされている。

(3) 水利用

97.3 %の世帯は井戸水を飲料用に用いている。料理用には、池の水が乾季に 70.5 %の世帯で、雨季に 66.1 %の世帯で用いられている。一般的な世帯では、一日当たり 45 リットルの水が飲料および料理用として消費されている。ほとんど全ての世帯で水汲みは女性の仕事であり、一回の水汲みにつきおよそ 20 分の時間が費やされている。住民の多くは毎日飲む水の水質（味、臭い、透明度）に満足している。

(4) 砒素問題

91.1 %の世帯は砒素中毒について耳にした経験を有している。しかし、中毒症状について知識を有しているのは、その 51.0 %に過ぎない。安全な水に対する一般的な世帯の支払意思額は月額 30 タカであり、そのための水汲みには追加的に 10 分間かけてもよいと考えている。

(5) コミュニティー活動

相互扶助や保健プログラムといったコミュニティ活動への各世帯の参加は盛んであるが、共同施設・社会資本の建設・補修、地域の清掃活動への参加には消極的である。

11.3.3 新たな給水施設のサステナビリティに関する考察

新たな給水施設に対し、各世帯は月額 90.9 タカの支払能力を有しているが（月収 3,029 タカの 3%）、その金額を支払う意思は現在のところない。先に述べたように、一般的な世帯の支払意思額は月額 30 タカである。

各世帯の所得はその支払意思額と深い関係がある。また住民の砒素中毒に関する知識は支払意思額と無関係ではない。さらに共同体意識（結びつき）が強ければ強いほど、新たな給水施設に対して高い支払意思額を住民が示す傾向がある。

砒素中毒に関する知識を有している世帯は、そうでない世帯に比べ、高い支払意思額を示す傾向が明らかになった。また同様に、共同体意識が強い世帯も相対的に高い意思額を示す傾向がみられた。これらの調査結果は、砒素中毒に関する知識または共同体意識を高めることにより支払意思額が向上する可能性を示唆している。

それゆえ、住民の砒素中毒に関する知識と共同体意識を高めることが、新たに導入される給水施設の維持管理に係る財政的な条件を満たすために必要であると結論づけるのが妥当のように思われる。こうした取り組みの結果、財政面からみた給水施設のサステナビリティを確保することが可能と思われる。

11.4 給水施設計画

11.4.1 砒素対策

バングラデシュ国の砒素汚染は確認されて以来およそ 10 年、各種の調査が行われているが依然解決の目処は立っていない。この解決には次の段階を踏んで進められるべきものと考えられる。

(1) 解決への手順

第一段階

- 井戸全数のスクリーニング

安全な井戸を特定し付近住民の共同使用の促進。

- 点水源の開発（飲用及び料理用）

安全な井戸が無い場合新たに砒素に対して安全な水源の開発が必要である。これには次のようなものがある。

- 雨水の利用
- 池水の利用（ポンドサンドフィルター）
- 旧来の井戸水の浄化（鉄除去装置、活性アルミナ濾過等）
- 簡易砒素除去装置（家庭用）
- 深層地下水の開発

第二段階

点水源ではアクセス距離が遠くなる。既存の井戸の近くに砒素に対して安全な水の公共水栓があれば、住民は従来の生活リズムを変えることなく、水の使用目的に合わせて水を選択できることになる。これを実現するには次のような施設の建設が必要である。

- 高架タンク
- 揚水ポンプ（発電機を含む）
- 配水管（PVC）
- 公共水栓

この場合、誰がこれを運転するのか、維持管理費は誰がどのように負担するのか

が重要な問題となる。この問題の解決なしにはこの段階には進めない。

第三段階

適切な表流水源の無いところ、砒素に対して安全な深層地下水の開発が見こめない地域に対しても安全な水を供給するには広域的に面的整備を計画しなければならない。これには次のような方策が考えられる。

水源は既存の都市水道或いは新たに建設する都市水道とする。

既存都市水道は昼間数時間の運転であり、しかも砒素に対して安全な水が漏水等で無駄に垂れ流されている。漏水を防止し、運転時間を延長すれば農村部で必要とする飲料水は十分に生産できる。これを農村部に給水するには次のような施設の建設が必要である。

- 既存都市水道のリハビリテーション
- 農村部への送水ポンプ場
- 農村部への送水、配水管ネットの建設
- 各受水地点での受水タンクの建設
- 受水タンク以降の水道施設

この実現の為には第二段階同様、運転・維持管理体制をどうするか解決がなければ実現できない。

砒素問題の解決にはこの三段階を順次踏む必要は無い。10年くらいで解決するならば最初から第三段階に取り組む方がベターとはいえる。いずれにせよ、いくらかの維持管理費が必要であり、地域住民に支払い意思、能力があるか、運転・維持管理組織を結成できるかどうか成否の鍵を握っている。

11.4.2 給水方式の選定

給水施設の選定は一般的には居住区域の形態による。人口密度が高く、家が隣接して街区を形成している地域では各戸毎に水源を求めるより、共同して大きな水源を開発してパイプで各戸給水するほうが、技術的に合理的であり、一人あたりの建設費、維持管理費も安くなる。反対に人口密度が疎なルーラル地域においては個々の小集落毎に小さな水源を求めたほうが、建設費、維持管理費ともに安くなる。この判断基準で見ると、対象地域のアーバンエリアにはレベル3のパイプによる各戸給水、ルーラルエリアにはレベル1のハンドポンプシステムが至当と判断される。

しかしながら本プロジェクトは砒素に汚染された地域における深層地下水開発であり、直接飲料に供される水だけでも早急に提供しようというプロジェクトであ

り、かかる観点から検討する必要がある。

(1) アーバンエリアの給水方式

このエリアにはまだ設計段階には至っていないが、将来の各戸給水の水道計画があるので本来ならば本プロジェクトから除外されて良いはずである。しかしこの計画の完成までにはまだ4～5年かかりそうである。この砒素汚染地域において砒素フリーな水源が皆無のまま、4～5年放置するのは酷である。かといって飲料水だけでも砒素フリーな水をハンドポンプシステムで供給しようとする、人口密度の高い地域に多くの井戸を掘削しなければならない。そのような用地を市街地に求めるのは不可能である。また例えそれが可能であるとしてもパイプで給水するレベル2システムを構築しても将来のポルシャバ水道計画と整合性を持たせるのは困難である。

人口密度が高いので1本の井戸に頼る人口は多くなる。その人口に見合う井戸は必然的に口径が大きくなる。それにハンドポンプをつけると、ハンドポンプによる揚水可能量は限りがあるので需要とつりあわなくなる。需要に合わせるには水中モーターポンプが必要になる。この場合、井戸サイトに貯水タンクが必要になる。貯水タンクに必要なだけの蛇口を設置すれば需要に対応出来ることになる。従って、この地域には将来ポルシャバ水道の水源に転換利用できる井戸を掘削する。井戸サイトには高架タンク（高さ3m程度）を設置して需要に見合う蛇口を設置するものとする。即ち変形レベル1の形式とする。将来のポルシャバ水道はすべて各戸給水とは考えられず、公共水栓が必要である。設置する高架タンクは将来も公共水栓として利用される。

(2) ルーラルエリアの給水方式

どの地域であれ、維持管理にかかる費用を負担できれば、利便性、快適性を享受できる、圧力を持った配管で各家庭に飲用の水を供給し、その水で家事用水全般を賄う方式の水道建設は可能である（レベル3）。バングラデシュにおいても一部ルーラル地域でこうした利便性、快適性をもとめた水道建設の試みがなされている。しかしながら、既存井戸すべてが砒素に汚染されている地域において、このような水道を計画することは結局弱者きりすての結果を招き、水道の第一の目的である公衆衛生の向上は望めない。砒素汚染問題の解決への第一歩は許容できるアクセス距離で砒素に対して安全な水源を確保することである（飲用、料理用）。

(3) 給水方式の選定

マスタープランではバングラデシュ国ルーラル地域の井戸普及状況を考えて、現在の水汲みの労働力を変えないとすれば、沢山の井戸を掘削（レベル1）するより、1本の井戸からパイプで水を運搬して、現在の水汲み労働を変更させない程度に公共水栓を建設する（レベル2）ほうが技術的に、経済的に有利と判断して提案している。しかし、この選択はまさに利用者の維持管理にかかる費用の負担意思、能力に関わって決定されるべき事項である。

社会調査の結果によると、維持管理費の支払い意思能力は、一家庭月に 30 タカという回答が最も多い。月 300 タカを支払っても良いとする回答例もあるがこれは例外的である。また支払える金額の上限は一般的には収入の 3%までと言われている。これから推定するとこの地方での収入実態から上限は 92 タカと推定される。

支払い金額（水道料金）は低所得者層を含む大多数の人が利用できる金額に設定しなければ公衆衛生の向上は望めない。衛生キャンペーンによって支払い意思額が倍増したり、モザによってはレベル2の水道システムが実施可能になるかもしれない。しかし、砒素汚染地域においては許容できるアクセス距離内に安全な代替水源を確保することが第一段階であることから、レベル1システム即ちハンドポンプシステムを各村に設置するものとする。ただし、ケシャプール、アルタポルの繁華街には改良型レベル1システムを設置するものとする。

11.5 給水施設及び建設コスト

11.5.1 給水面積

16 モザの総面積は 27.66km である。

11.5.2 給水人口と消費水量

16 モザの人口は 35,890 人である (2001 年)。目標年次は 2010 年とし人口成長率を 1.74% に設定する。また単位消費水量は 35 lcd とする。

表 11.5.1 16 モザの消費水量

Mouza	Area (km ²)	Population		Water consumption (m ³ /day)
		2001	2010	
Ramlhandrapur	1.9588	1,359	1,587	55.55
Byasdanga	1.2272	1,118	1,306	45.70
Brahmakati	1.4967	1,448	1,691	59.19
Khatiakhali	0.7047	895	1,045	36.59
Maguradanga	1.3425	1,303	1,522	53.26
Baliadanga	1.8232	2,907	3,395	118.83
Sujapur	1.4821	1,373	1,604	56.13
Altapol	5.0479	8,702	10,164	355.72
Sarfabad	0.8016	519	606	21.22
Bajitpur	0.7332	1,142	1,334	46.68
Sabdia	1.1650	1,720	2,009	70.31
Kesabpur	0.4184	1,512	1,766	61.81
Madhyakul	3.0448	3,485	4,070	142.46
Habaspol	0.8185	1,107	1,293	45.25
Bhagati Narendrapur	3.1694	4,153	4,851	169.77
Rajnagar Bankabarsi	2.4255	1,941	2,267	79.34
Total	27.6595	34,684	40,509	1,417.83
Average		2,168	2,532	88.61

11.5.3 給水施設

アルタポル と ケシャプール・モザには都市地域と農村地域がある。都市地域は住居が密集しているので改良型レベル 1 システムを計画する。また農村地域 14 モザにはレベル 1 システムを計画した。

(1) 改良型レベル 1

改良型レベル 1 の基本仕様はレベル 2 システムと同じである。しかし給水パイプラインは建設しない。井戸から揚水した水は水槽から直接公共水栓で利用する。高架水槽の高さは 3 m である。

(2) レベル 1

ハンドポンプにより給水する。各モザの施設の数に次表に示す。

表 11.5.2 各モザの必要施設数

Mouza	Level 1	Improved Level 1	
	Hand Pump	Motor Pump	Public Faucet
Ramlhandrapur	8	0	0
Byasdanga	7	0	0
Brahmakati	9	0	0
Khatiakhali	5	0	0
Maguradanga	8	0	0
Baliadanga	18	0	0
Sujapur	8	0	0
Altapol	28	2	18
Sarfabad	3	0	0
Bajitpur	7	0	0
Sabdia	10	0	0
Kesabpur	3	1	3
Madhyakul	22	0	0
Habapol	6	0	0
Bhagati Narendrapur	26	0	0
Rajnagar Bankabarsi	12	0	0
Total	180	3	21

11.5.4 プロジェクトコスト

プロジェクトコストはバングラデシュ国の“Schedule of Rates, Public Works Department”(Ninth Edition, First Revision, November, 1997)に基づき積算した結果は次表のとおりである。

表 11.5.3 プロジェクトコスト計算結果

費目	啓蒙活動	能力開発	建設	合計
16 モザの合計	1,843,200	489,600	92,563,682	94,896,482

単位: タカ

OM コストは、農村部平均で 15.9 タカ（所帯当たり月額）また都市部平均で 104.7 タカ（所帯当たり月額）と見積もられる。

11.5.5 実施スケジュール

実施スケジュールは次表に示す。

表11.5.4 事業実施スケジュール

Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Consultant Service Agreement	●																											
Preparation Work																												
(1) Public Education																												
(2) Capacity Building																												
(3) Water Supply Facility																												

11.6 事業実施の問題点

補足調査の結果、ケシャプール・タナ 16 モザでは 3000 本にも達する既存井戸のほとんどが砒素により汚染されていることが明かとなった。さらにブラマカティ・モザ⁶ で実施した井戸の掘削結果から、深度 300 m の深層地下水は砒素に汚染されておらず量的・質的にみて深層地下水をこれら砒素汚染地域の代替水源として開発可能であることが判明した。以上により 16 モザについてレベル 1 システム（ハンドポンプ付き深井戸）による給水事業を計画した。また、ケシャプールの都市化地域については、改良型レベル 1 システム（深井戸、モーターポンプ、高架水槽及び共同水栓、配管なし）の建設を計画している。

本事業実施に当たっての問題点は下記のとおりであり、これらの諸問題が解決されたとき本事業は実施可能となるものと考えられる。

(1) 実施組織

本計画の実施主体は DPHE である。事業実施に当たってはプロジェクト運営管理組織（Project Management Unit:PMU）を設置して先任者をおく必要がある。一方、DPHE ケシャプール・タナ事務所には現在サブアシスタントエンジニアの下に 4 人のメカニックがいて 9 ユニオン 2200 本の井戸を管理している。ここに本計画が実施されると新たに 180 ヶ所のレベル 1 システム（ハンドポンプ付き深井戸）と 3 ヶ所の改良型レベル 1 システム（深井戸、モーターポンプ、高架水槽、共同水栓）が建設されることになる。DPHE タナ事務所は各モザに設立される維持管理組織を指導監督しなければならないので、PMU の設立と併せて、同事務所の組織拡充・強化を行う必要がある。

(2) 給水施設の維持管理

本計画で提案した都市化地域の改良型レベル 1 システムはパイプラインがないだけで、維持管理体制はレベル 2 システムと同様なものが必要である。従って、ケシャプール及びアルタポルモザにおいてはこの管理組織が必要である。試算によれば維持管理コストは平均 105 タカに達する。都市地域住民の収入は農村地域よりも高いことが予想されるものの、本調査では農村地域を中心に聞き取り調査を行っているため都市部の支払い意志額については不明である。従って計画実施に先立ち、改良型レベル 1 システムの建設と維持管理費支払いについての住民合意の形成が不可欠である。

(3) 住民教育啓蒙活動

レベル 1 給水システムの維持管理はレベル 2 に比べれば簡単である。ただし、こ

の施設は砒素対策として建設される公共施設であり、その意味で持続的に有効利用されなければならない。従って、各ハンドポンプに水源委員会（Water Point Committee）を設立するとともにケアテーカーを任命して維持管理に当たるものとする。また、砒素対策として深層地下水が有効利用され住民のリスクを軽減するためには、正しい砒素知識、地下水利用の方法、衛生等についての啓蒙活動が必要である。これらについては第 10 章でも述べたように計画段階から住民動員による啓蒙普及活動を行い、住民の計画参加を促進する必要がある。

(4) モニタリング

給水施設は砒素対策として建設されるものであり水質モニタリングが重要である。このためには各モザでフィールドキットにより砒素、ORP、EC 等の水質を測定できる体制が必要である。一方 DPHE は各モザについて年 1 回ジェナイダ分析室で AAS による測定を行うべきである。従って、井戸水のサンプリング、フィールドキットによる測定方法等について DPHE ケシャプール事務所スタッフの技術研修が必要と考えられる。

第12章

結論と提言

要約

第12章 結論と提言

12.1 結論

12.1.1 砒素汚染の実態

(1) 既存井戸

調査地域の既存井戸（農村部 DPHE 井戸 260 本：深度 40～45 m）の地下水について砒素分析を行った結果、0.05 mg/l（バングラデシュ水質基準）以上の高い濃度の砒素汚染地域は調査地域の西側に広がっている。これに対して 0.01 mg/l（WHO ガイドライン）以下の低い濃度の砒素汚染地域は調査地域の東側に広がっている。

(2) ポルシャバ生産井

調査地域の 7 ポルシャバ水道施設の生産井 40 本（深度 100～120m）の大半は 0.01 mg/l 以下の砒素濃度を示している。しかし、チュアダンガでは 3 本、モヘシュプールで 2 本、ジェナイダでは 1 本の生産井で 0.05 mg/l 以上 0.1 mg/l 以下の砒素濃度が検出された。

(3) モデル村落

農村部モデル村落として選定したチュアダンガ県ボロドゥウパティラ村、ジェナイダ県クリシュナ・チャンドラプール村及びジェソール県ラジュナガル・バンカバルシ村の既存井戸全数のスクリーニングを行った結果、0.05 mg/l 以上の砒素濃度を示した井戸はボロドゥウパティラ村では全体の 65%、クリシュナ・チャンドラプール村では 75%、また ラジュナガル・バンカバルシ村では 98%にも達している。とくにラジュナガル・バンカバルシ村では全体の 53%の井戸が 0.5 mg/l 以上の高濃度の砒素汚染を受けていることが分かった。

12.1.2 深度毎の砒素汚染

本調査で建設した観測井における深度毎の砒素汚染状況は以下のとおりである。

(1) チュアダンガ県

チュアダンガ・ポルシャバ CH-1 の深度別観測井（63～300 m）は 0.01～0.05 mg の砒素濃度を示し、深度 63 m 観測井は 0.05 mg/l を僅かに超えている。また CH-2 の深度別観測井（56.5～298.5 m）のうち、最深部の 298.5 m 観測井は 0.01 mg/l 以下であるが、その他の観測井の砒素濃度は 0.05～0.22 mg/l の範囲にあり、56.5 m

観測井が最も高い濃度を示した。一方、ポロドウドウパティラ村の 300 m 観測井(コアボーリング孔)は 0.01 mg/l 以下であった。また砒素濃度の変動をみると、一般的に雨季に濃度が上昇する傾向がある。

(2) ジェナイダ県

ジェナイダ・ポルシャバ JH-1(60 ~ 292.5 m)及び JH-2(60 ~ 301 m)ではいずれも浅層の 60 m 観測井の砒素濃度が 0.05mg ~ 0.08mg/l を示すが、その他の深度では 0.05 mg/l 以下であり最深部の 300 m 観測井は JH-1、JH-2 とともに 0.01mg 以下の濃度を示している。しかし、クリシュナ・チャンドラプール村の 300 m 観測井(コアボーリング孔)は 0.05 ~ 0.08 mg/l を示し、季節的にみると砒素濃度は上昇傾向にある。

(3) ジェソール県

ジェソール・ポルシャバ JS-1(66 ~ 282 m)では 120 m 観測井のみが 0.01 ~ 0.05 mg/l の砒素濃度を示すが他の観測井は 0.01 mg/l 以下であった。また JS-2 (66 ~ 261.8 m) でも 114 m 観測井が 0.05 ~ 0.1 mg/l の砒素濃度を示すがその他の観測井はおおむね 0.01 mg/l 以下である。また、ラジュナガル・バンカバルシ村の 300 m 観測井(コアボーリング孔)の濃度は 0.005 mg/l 以下であった。

以上述べたように、砒素濃度は浅層 50m 付近の地下水が最も高く、深度が深くなるにつれ低くなる傾向が認められる。深度 100 ~ 150m の地下水も調査地域の北部チュアダングア県や中部のジェナイダ県では 0.01 ~ 0.05 mg/l を示しやや高い傾向があるが、南部のジェソール県では 0.01 mg 以下である。深度 300 m 付近の地下水は北部、中部では一部を除きほぼ 0.01 mg 以下であるが南部では 0.005 mg/l 以下である。

12.1.3 水文地質単元と帯水層の能力

(1) 帯水層単元と分布

調査地域の深度 300 m までの地下地質は、層相により A,B,C,D,E の 5 層に区分でき、これらは水文地質的観点からさらに 3 つの帯水層単元にまとめることができる。

第 1 帯水層(浅層帯水層: 深度 20 ~ 100 m) は A 層及び B 層の主に砂層からなる。

第 2 帯水層(中間帯水層: 深度 100 ~ 220 m) は C 層の砂層・礫層からなる。また

第3帯水層（深層帯水層：220～300 m 以深）は D 層及び E 層の砂層・シルト層からなる。第1帯水層と第2帯水層の間には顕著な粘土・シルトからなる難透水層は存在しない。しかし調査地域南部では C 層の層相は粘土・シルトに変化するため第2帯水層の層厚自体は薄くなり、第3帯水層を覆う厚い難透水層となっている。

(2) 帯水層の能力、地下水利用及び砒素濃度

第1帯水層の深度 50 m 付近までの浅層には多数の管井が掘削され飲料水、生活用水、かんがい用水（shallow irrigation well）として利用されている。さらに第1帯水層下部にはかんがい用井戸（deep irrigation well）が、深度 100 m 付近ないし第2帯水層の上部層には、ポルシャバ水道施設の生産井が建設され多量の地下水が開発利用されている。地下水の湧出能力や透水性からみると、第1帯水層、第2帯水層の能力は高く湧出量は大きい。一方、第3帯水層の能力はこれに比べるとやや能力が低く、現状では未だ開発利用が進んでいない。砒素濃度は第1帯水層のとくに浅層部で高い値を示すが、第2帯水層および第3帯水層など深い帯水層では低い値を示している。

12.1.4 砒素汚染メカニズム

(1) 砒素原因層

調査地域で行った 6ヶ所のコアボーリング及びコア分析により、30 mg/kg 以上の砒素含有量が、深度 10～20 m の浅い地層だけでなく 200～300 m の深い地層でも確認された。しかし、地下水の砒素濃度は 30～50 m の浅層部で高くそれより深層では低いので、主に浅層の砒素溶出が汚染に関与していると考えられる。

平面的な地下水砒素濃度分布は均等ではなく、同じ村の中でも砒素汚染地下水の分布は不規則に変化するので砒素原因層も均一に分布するとは考えられない。しかし調査地域南部のケシャプール地区のように平面的に均一な砒素汚染分布も見られるため、砒素原因層の分布は地層の堆積条件によるところが大きいと考えられる。

(2) 砒素の地下水への溶出

調査地域の地下水は低い酸化還元電位(Eh)と高い鉄濃度により特徴づけられる。従って砒素原因層からの地下水への砒素溶出は還元条件下での水酸化鉄の解離によると考えるのが有力である。一方、黄鉄鉱は少なくとも肉眼によるコア観察で

は認められず、黄鉄鉱酸化説はメカニズム説明としてはやや弱いと考えられる。調査地域の地下水の硫酸イオン濃度は低く、この点も上記の還元説を支持している。

(3) 砒素汚染地下水の移動

地下水中に溶出した砒素は地下水流動に伴って移動する。一般に、揚水などの人為的活動がない場合、地下水流動速度は極めて小さい。しかし一旦地下水揚水が行われると自然の地下水流動は乱されることになる。調査地域では1980年代以降、多量のかんがい用地下水揚水が行われるようになり、1983年から2000年までの揚水量は3.4百万 m^3/day からその約4.5倍の15.1百万 m^3/day に増加したと推定される。このような多量の揚水は長期的な地下水位低下やとくに乾季における地下水位低下をもたらすと同時に、砒素を含む細砂やシルト層など難透水層中の間隙水の帯水層への漏水や絞り出しを誘発したものと推察される。

12.1.5 深層地下水の安全性

第3帯水層（深層帯水層）は深度220～300m以深のD層及びE層の主に砂層からなる。また、第3帯水層を覆うC層は調査地域のジェソール県南部では厚い粘土・シルト層からなる。C層は難透水層として浅層帯水層と深層帯水層の地下水流動を遮断する役割を果たしている。従ってこの地域では難透水層の存在により、浅層帯水層から砒素汚染地下水が深層帯水層に流入する可能性は小さい。

地下水シミュレーションによれば第1帯水層下部のかんがい用井戸の大量揚水により地下水位が低下し浅層の砒素汚染地下水が引き込まれる様相が示された。地下水流は上下の帯水層から第1帯水層下部に向かって流れ込んでいる。しかし、ジェソール県南部では難透水層が存在するため、深層帯水層からの上向きの地下水流は妨げられている。一方、調査地域北部及び中部からの広域地下水流も難透水層が存在するためジェソール県南部の深層帯水層への流入が妨げられている。

ジェソール県南部の深層地下水は現在砒素に対して安全である。深層帯水層の透水性や湧出能力は浅層帯水層に比べ小さく少量の揚水によっても地下水位は大きく低下する。したがって、今後、深層帯水層を利用するかんがい用井戸が増加し、大量に地下水を汲み上げない限り、深層帯水層の砒素安全性は確保できるものと考えられる。

しかし実際に深層地下水を利用するにあたっては、飲料水としての安全性を第一に考えて砒素汚染対策を検討する必要があるが、それにはいくつかの条件付けが必要と考えられる。そうした条件としては、以下の事項が挙げられる。

- (i) 砒素汚染対策としての深層地下水開発が優先される地域は、他に適した代替水源がなく、通年利用可能な水源が地下水しかないと判断される地域であること
- (ii) 水文地質的に深層帯水層が粘土層により浅層帯水層と区分されている地域が、深層地下水開発による短期的対策実施地域として優先されること
- (iii) 深層帯水層と浅層帯水層とを区分する粘土層が発達しない地域では、浅層・深層部の水文地質状況や地下水質、地下水利用現況等を総合的に判断して、中長期的な合理的深層地下水開発計画を策定すること
- (iv) 砒素だけでなく、他の一般水質についても飲用に適していること
- (v) 砒素以外の除去可能な物質に汚染されている場合は、それを処理して利用することが技術的、経済的、維持管理的にも可能であること
- (vi) 深層地下水の利用は飲用目的に限定し、他用途の水利用を深層地下水にシフトさせないこと
- (vii) 深層地下水の利用にあたり、地下水位や地下水質のモニタリングを定期的に行うこと
- (viii) 深層部の砒素原因層からの砒素溶出の可能性について、調査・研究を進めること
- (ix) 地下水位・水質のモニタリング体制や水質分析体制、地下水資源管理体制、水道施設運営・維持管理体制を確立・拡充すること

12.1.6 砒素対策手法

砒素対策手法として、脱砒素装置、改良型深井戸、その他の代替水源について検討した結果は以下のとおりである。

(1) 脱砒素装置 (ARD)

二段バケツシステム、簡易バッキ・濾過システム、活性アルミナ吸着システム、ベースン型太陽熱蒸留装置及び真空式太陽熱蒸留装置の現地実験をモデル村落で行った結果、以下の3方式が推奨される。

- 1) 簡易バッキ・濾過システム

砒素はバッキ・濾過により鉄と共に除去される。運転中の薬品は不要であり初期投資コストは安く維持管理も容易である。しかし、砒素除去効果は原水水質に依存し、高いECやCl濃度の水には適用できない。また、Fe/As比が高くAs濃度が0.2 mg/l以上の原水は適用できないなどの欠点がある。原水水質が適合する場合も事前の試験が必要である。

2) 真空式太陽熱蒸留装置（雨水集水装置と併用）

砒素は太陽熱蒸留により完全に除去できる。この装置は乾季に稼働率が高くなるので、雨季には雨水集水装置と併用すると効果があると考えられる。また、砒素だけでなく他の有害物質も除去でき、維持管理は容易でありランニングコストはほとんど無視できる。しかし、多量の水を得るには広い面積が必要であり、初期投資額も多大になる。

3) 吸着システム

砒素は活性アルミナなどの吸着剤を使用して除去される。安定的な除去効果があり、維持管理は比較的容易である。しかし、吸着剤の取り替え頻度は水質に依存するため効果の持続性についてモニターが必要である。また使用済み吸着剤の廃棄場所が大きな問題である。

(2) 改良型深井戸

調査地域の管井は在来工法であるドンキー法により人力で掘削されている。本工法は孔径が小さく孔壁とケーシング管との間を遮水（シーリング）できないため、浅層の砒素汚染地下水が砒素汚染のない深層の帯水層に漏洩する原因となっている。本調査では、ドンキー掘削工法に改良を施すと共に以下の3タイプの遮水工法を開発・適用し評価を行った。

1) タイプA：セメントシーリング

大口径ビットによる掘削後、セメントミルクを注入して遮水する。注入を慎重に行えば任意の深度で高い遮水効果が得られる。工期は10～20日間を要し1井当たりコストは約69,000タカである。

2) タイプB：遮水材によるシーリング

掘削後、吸水により膨張する遮水材料をスクリーン上部に設置してケーシングを挿入する。円滑な挿入はなかなか難しく熟練を要する。孔壁が崩れた場合は遮水効果がない。工期は1～2週間を要し1井当たりコストは約48,000タカである。

3) タイプC：メタルバスケット

掘削後、金属製の花弁型バスケットをスクリーン上部に設置して挿入し、地上からセメントミルクを注入してバスケットで受けて遮水する。メタルバスケットの挿入は熟練を要し孔壁が崩れた場合は遮水効果がない。工期は10～20日間を要し1井当たりコストは約70,000タカである。

各遮水方法の施工性と遮水効果を考慮するとタイプAが適している。しかしいずれの方法も遮水部分には粘土層がなければならず、工法の適用は地質条件の制約を受ける。

(3) その他の代替水源

調査地域の地下水以外の水源としては雨水、河川水、池水がある。また、過去に使用されていた手掘り浅井戸も代替水源の対象である。調査地域では雨水の利用はほとんどなく、利用するとしても雨季に限られるため大きな関心はないのが実状である。また河川水と池水は乾季に水量が著しく減少するか枯渇することが多く、年間を通じて安定的な水源とはなりにくい。池水の水質はバクテリア等による汚染がありPSF(Pond Sand Filter、池水濾過装置)を設置するとともに施設を適切に維持管理・運営することが不可欠である。また手掘り浅井戸も地表水の汚染を受けやすい。

以上のことを考慮すると、代替水源開発に当たっては、各村の利用可能な水源の実態をよく調査すると共に、住民の砒素汚染についての啓蒙教育活動を行う必要がある。代替水源の選定と建設、運営・維持管理は住民自らの意志で実施するよう指導することが必要である。

12.1.7 モデル村落の社会経済調査

(1) 社会経済指標

モデル村落の所帯人数は3～5人である。主な宗教はモスリムであるがヒンドゥーも共存している。識字率は65～85%、平均年間収入はそれぞれ25,000タカ(ポロドゥパティラ村)、31,000タカ(クリシュナ・チャンドラプール村)、33,000タカ(ラジュナガル・バンカバルシ村)であった。

(2) 水利用

水汲みは女性の役割である。井戸水は飲料水、生活用水として1人当たり日量45

リットルを使用している。砒素に対して安全な給水施設を建設した場合の支払い意志額はそれぞれ 30 タカ（ボロドゥドゥパティラ村）、50 タカ（ラジュナガル・バンカバルシ村）、75 タカ（クリシュナ・チャンドラプール村）であった。

(3) 砒素問題についての知識

識字率が低くテレビ、新聞などのマスメディアにふれる機会がないため、住民の砒素問題に関する知識レベルはかなり低い。しかし調査期間中に行った啓蒙活動により住民の砒素問題に関する知識はかなり向上した。とくにラジュナガル・バンカバルシ村では、水汲みに要する時間が増加するにもかかわらず、多くの住民が従来の浅井戸（管井）にかわり砒素のない深層地下水（改良型深井戸）を利用するようになった。

12.1.8 砒素汚染対策マスタープラン

(1) 目的

主として深層地下水の開発によりチュアダンガ、ジェナイダ、ジェソールの3県住民に砒素汚染のない安全な飲料水を供給することを目的とする。マスタープランの目標年次は2010年とし、短期（2003年）、中期（2005年）、長期（2010年）の3段階に区分した。

(2) 計画対象地域

計画対象3県の農村部は砒素汚染濃度に基づき緊急改善地域（砒素濃度 0.1mg/l 以上）、準緊急改善地域（砒素濃度 0.05 mg/l 以上 0.1 mg/l 以下）及び監視地域（砒素濃度 0.05 mg/l 以下）に区分した。また都市部（ポルシャバ）は給水地域と未給水地域に区分した。

(3) 計画内容

農村地域の緊急改善地域については深層地下水開発によるレベル1またはレベル2給水施設を建設する。また、深層地下水開発が困難な地域については、中・長期的には地下水を水源とした広域農村水道の設置を計画した。この地下水は都市部からパイプラインにより輸送する。一方、緊急改善地域の短期的対策として脱砒素装置、雨水集水、PSF等の代替水源の設置を進める。

都市部については基本的に現給水施設の改善及び拡張を軸として対策を進める。しかし生産井の砒素汚染が認められる3ポルシャバについては緊急改善を行う計

画である。その他のポルシャバ及び今後発展の見込まれるタナ・センターについては農村部への広域水道との連結を考慮しつつ中・長期的に水道整備を進める。

(4) 運営維持管理

農村部に建設する給水施設の運営維持管理については、住民自身が維持管理組織を結成し、ケアテーカー等を選出して給水施設の運営・維持管理を行うものとする。また、運営維持管理費用は住民負担とする。一方、既存都市給水施設の運営・維持管理はポルシャバが実施するが、給水サービス及び経営改善のため必要な技術的、組織・制度的見直しを行うものとする。

(5) 啓蒙活動

砒素対策のためには住民自身が砒素問題について十分な知識と情報を持つ必要があるため、各種対策の実施と平行して住民に対し衛生教育を含めた砒素問題啓蒙活動を行う。

12.1.9 優先プロジェクト

マスタープランで計画されたプロジェクトから優先的に実施すべきプロジェクトを選定しプレフィージビリティ調査を行った。コスト積算は内貨建てで行った。

(1) ケシャプール農村給水・深層地下水開発プロジェクト

緊急改善地域のうちジェソール県南部に位置するケシャプール郡の 61 モザ（人口約 84,000 人）を対象として村の中心部に深度 300m 級の深井戸、高架水槽、配水管及び公共水栓（レベル 2）を建設して村民に砒素汚染のない地下水を給水する。本計画に要するコストは 624 百万タカが見込まれる。また OM コストは一人当たり 23.9 タカ/月である。なお本計画をハンドポンプ付き深井戸（レベル 1）にした場合のコストは 278 百万タカが見込まれ、OM コストは一人当たり 3.7 タカ/月である。

(2) 3 都市給水施設改善及び拡張プロジェクト

現在、生産井が 0.05 mg/l 以上の砒素汚染を受けているチュアダンガ、ジェナイダ、モヘシュプールの 3 ポルシャバ水道施設の改善及び拡張を行う。計画給水量は各戸給水 100 lcd、公共水栓 35 lcd とし、深井戸、高架水槽、浄水施設、配水管、公共水栓のリハビリ、新設及び増設を行う。本計画に要するコストは 388 百万タカが見込まれる。一方 OM コストに見合う水道料金は 1 戸あたり 200 タカ/月

程度になると推定される。

(3) 社会的弱者層に対する砒素除去装置設置プロジェクト

病院や学校などの病人、子供などの社会的弱者層を対象に砒素対策を行うため病院 14 ヶ所及び学校 16 ヶ所に、雨水集水施設と太陽熱蒸留装置の組み合わせによる砒素除去装置を設置する。施設建設コストは 358 百万タカが見込まれる。また年間 OM コストは 3 百万タカと見積もられる。

(4) タナ砒素対策促進センター設置プロジェクト

緊急改善地域及び準緊急改善地域で深層地下水開発によりカバーされないタナ DPHE 事務所に砒素除去装置の展示と保管のためのタナ砒素対策促進センターを建設する。同センターは全体で 2000 基の吸着型砒素除去装置を配布するとともに吸着剤の供給、廃棄吸着剤の収集と一時保管を行う。本計画に要するコストは 208 百万タカが見込まれる。

予備的な財務分析を行った結果これら 4 プロジェクトは実施可能と判断される。

12.1.10 ケシャプール地域補足調査

ケシャプール深層地下水開発プロジェクトをさらに詳しく検討するため、同地域の 16 モザを対象にモザマップ作成、スクリーニング調査、社会調査、さく井・揚水試験を行い、これらの調査結果に基づき給水計画を策定した。

(1) スクリーニング調査

16 モザの井戸本数は合計 3,037 本で、概ね 10 人に 1 本の井戸がある。井戸深度は 40 ~ 60 m が最も多い。砒素は、フィールドキットにより約 3000 本を測定しこのうち 379 本を AAS により測定した。ほとんどの井戸が砒素濃度 0.2 ~ 0.5 mg/l を示し、バングラデシュ基準を超えている井戸数は全体の 99% を占め、緊急改善地域として早急な対策が必要であることが確認できた。

(2) さく井・揚水試験

調査地域の代表地点としてブラマカティ・モザを選定し、同地において深度 300m の井戸掘削を行った。検層結果に基づきスクリーン位置を 287 m 以深に設定し、ケーシングを挿入し井戸を完成させた。揚水試験を行い、比湧出量：9.48 m²/日、透水量係数：2.45 m²/日、貯留係数：5.87 E-01 を得た。AAS による砒素濃度分析結果は 0.005 mg/l 以下を示し、深層地下水の砒素安全性が確認された。

(3) ケシャプール地域の水文地質構造と地下水開発

既存資料及び今回のさく井結果に基づけば、砒素安全性の高い深層地下水を開発するためには、井戸深度はケシャプールモザ周辺から北側は深度 300 m 前後、バツカバルシ周辺は深度 200 ~ 250 m、ケシャプールモザから南側は 300 ~ 350 m の間と推定される。

(4) 社会調査

調査地域の一般的な世帯の年収は 36,350 タカで、小売または仲介業、運送業からの収入が全体の約 70%を占めている。一方、貯蓄を含めた各世帯の支出額は年間 34,157 タカであり、その約 50%が食費に費やされている。97.3%の世帯は井戸水を飲料用に用いている。

新たな給水施設に対し、各世帯は月額 90.9 タカの支払能力を有しているが（月収 3,029 タカの 3%）、その金額を支払う意思は現在のところない。一般的な世帯の支払意思額は月額 30 タカである。

各世帯の所得はその支払意思額と深い関係がある。また住民の砒素中毒に関する知識は支払意思額と無関係ではない。さらに共同体意識が強ければ強いほど、新たな給水施設に対して高い支払意思額を住民が示す傾向がある。それゆえ、住民の砒素中毒に関する知識と共同体意識を高めることが、新たに導入される給水施設の維持管理の持続性を確保するために必要である

(5) 給水計画

16 モザ、人口 35,890 人への深層地下水給水計画を策定した。単位給水量は 35lcd である。本計画は、16 モザの内ケシャプール及びアルタポール・モザの都市化地域については改良型レベル 1 システム（深井戸、電動ポンプ、高架水槽、共同水栓、配管なし）を 3 ヶ所に建設する。また、同モザ及び他の 14 モザの農村地域にはレベル 1 システム（深井戸、ハンドポンプ）を 180 ヶ所建設する。本計画の実施に要するコストは約 95 百万タカである。また OM コストはレベル 1 システムで 1 所帯当たり月額 16 タカ、改良型レベル 1 システムで月額 105 タカである。

(6) 事業評価

ケシャプール給水・深層地下水優先プロジェクトの一部として、本計画の実施により約 36,000 人の砒素汚染リスクが解消される。農村部の給水施設は住民の支払い意思額から見て施設の OM コストを賄うことができ、事業は実施可能である。

しかし、都市地域の改良型レベル1システムについては都市域住民の支払い能力と意思につき調査を行う必要がある。

12.2 提言

12.2.1 地下水開発管理

バングラデシュ国では未だ地下水開発管理に関する法規制は確立されていない。今後の深層地下水開発に当たっては無秩序な開発は避けるべきである。政府及び関係機関は地下水資源の開発に当たってとくに飲料水の利用を優先する法規制を行う必要がある。また現在及び将来の地下水利用を規制するためのモニタリング・管理システムを確立すべきである。これらの政策、法規制や管理システムなしにはこの国の貴重な自然資源を守ることができず、すぐに大きな損害を被ることになる。深層地下水資源は一旦汚染されればその水質を改善・回復することは極めて困難である。

従って、帯水層の湧出能力や水文地質条件についてはサイト毎に詳しく調査しそのような二次的汚染を避ける方策を検討しなければならない。深層地下水だけではなく浅層地下水のモニタリングも重要である。砒素汚染の詳しいメカニズムは未だ明かではないが深層地下水の利用は地下水位と水質のモニタリングを行いつつ慎重に実施すべきである。

将来、深層地下水を継続的に利用した場合、さらに深層部の地下水が上向きに流動して汲み上げられることになる。300 m 以深の水文地質状況や水質はまだ知られていない。従って、今回対象とする深層地下水の開発に当たってはさらに深層部の水文地質状況についても調査していくことが望ましい。

12.2.2 深層地下水の調査

深層地下水の安全性に関して本調査で新しく発見された事実は砒素が深い地層にも存在することであった。これまでのモニタリングによると深層地下水の一部では軽微な汚染が認められるものの大半の地域では未だ砒素汚染は見られない。しかし将来、深層の砒素による汚染の可能性も否定できない。現在は、これらの砒素は「活動的」ではないと考えているが、深層地下水に環境の変化が生じれば砒素汚染を引き起こす可能性もある。

現在まで多くの科学者・研究者は浅層地下水の砒素汚染メカニズムに大きな関心を寄せてきた。しかしながら本調査の結果は とくに深い地層に存在する砒素による深層地下水の汚染についての調査研究の必要性を示唆している。深層部の調査は浅層部に比べると一層難しく調査に要する費用も多大なものとなる。従って、

石油・ガス等の探査で蓄積された知識や経験を深層調査に役立たせることも求められよう。複雑な砒素問題を解決するための体系的な方法を確立すると共に深層地下水の安全性を確認するため適切かつ重層的な戦略の確立と調査へのアプローチが必要であることを強く提言する。

12.2.3 農村部及び都市部の給水対策

(1) 事業の早期実施

本調査では砒素汚染の緊急対策として4つの優先プロジェクトを提案した。これらはいずれも調査地域の砒素汚染実態と深層地下水開発可能性を踏まえて短期的・緊急的に実施を提案しているものである。従って、優先プロジェクトをできるだけ早期に実施することを強く提言する。

(2) ルーラル広域水道

農村部の砒素対策は、深層地下水の開発が可能である地域をのぞいて、中・長期的には都市部で揚水した地下水を農村部にパイプラインで給水するルーラル広域水道を建設して解決することを提言する。多くのポルシャバ都市水道は昼間だけの運転であり、この運転時間を延長するだけでも農村部に必要な水の生産が可能である。この方法により一挙に砒素問題は解決することが可能と考えられる。

(3) ポルシャバ水道施設の改善

一方ポルシャバ水道にも多くの問題点がある。それらは本報告書で指摘したとおりであるが、調査地域ポルシャバの内チュアダンガ、モヘシュプール、ジェナイダの3ポルシャバを除けば、現在のところ水源の地下水は砒素濃度がバングラデシュ基準値を下回っている。従って施設のリハビリテーションや技術管理方法の改善を行い、漏水を止めることによって給水サービス時間の延長も可能である。水道料金は現在のフラットレートに替えて従量制を導入すべきである。それにより現在砒素に対して安全な水の無駄使いを減らすことができ、将来の需要増に対する拡張計画も実現可能となる。

(4) 水道技術者養成

バングラデシュ国の歴史が示すように、給水は地下水開発利用により進められてきたため水道パイプラインの建設・維持管理や浄水処理に係る技術者は少ない。これらの技術者の養成は急務と考えられる。そのためには海外での研修参加の他、国内のWASA傘下組織との連携によるOJTやWASA職員のDPHEへの派遣

も考えられるべきであろう。

12.2.4 農村部への砒素問題普及活動

従来は井戸があれば衛生的な水が得られてきたが、砒素問題はこの状況を一変させた。砒素は急性中毒ではなく慢性中毒であるため、砒素に関する正しい理解が必要である。社会調査結果によれば、砒素中毒に関する知識を持っている所帯は給水施設に対する費用負担意識が高いことが分かっている。

社会調査の際にはモデル村落や補足調査対象モザで砒素問題についての話し合いがもたれたが、その後委員会の設立や広報に結びついた活動はほとんどない。しかし、多くの村は政府機関や NGO に助言を求めている。このことは村の自主的活動に適切に助言する機関がないことを物語っている。調査地域には砒素問題に関わってきた NGO も少なからずあるので、これらの機関と連携し「水と衛生」「砒素問題」についてのキャンペーンを永続的に推進するべきであろう。

12.2.5 砒素分析ラボトリー

本調査では DPHE ジェナイダ事務所に砒素分析ラボを開設し 2000 年 11 月から分析を開始した。分析室には、水素蒸気発生器と自動サンプラーを装着した原子吸光光度計 (Atomic Absorption Spectrometry : AAS) を設置した。この分析室はさらに 蒸留装置や純水製造のためのイオン交換フィルター、空調や安定な電力供給のための諸設備を具備している。分析室の分析能力は 1 ヶ月 1000 サンプルが可能である。

DPHE 化学技師への分析室の維持管理移転は 2001 年 3 月に開始し 2002 年 3 月に終了した。分析室の運営を継続するため、調査団は「ビジネスプラン」を作成し必要なスタッフ、予算及び運営方法について提案を行っている。このビジネスプランに沿って、当分析ラボは外部からのサンプルを受け入れ、有料で分析することを強く提言する。この方式により消耗品、薬品、施設諸費用など分析ラボの運営・維持管理に必要な予算が確保できると考えられる。この分析ラボの成功が将来の DPHE 砒素分析ラボ拡大の必須条件となろう。それゆえ当分析室に対する DPHE 中央及び地方レベルからの強力な支援が望まれる。

12.2.6 GIS の活用

本調査では砒素問題解決の情報ツールとして活用するため GIS データベースを構

築した。GIS データベースは自然条件に関する情報、社会経済に関する情報及び地下水開発関連情報から構成されている。とくに、地下水情報には3県で掘削された DPHE 井戸のインベントリーや BWDB による地下水位、地質柱状図、水質などのデータが納められている。これらのデータベースはソフトウェアとともにジェソール DPHE に設置したコンピュータシステムに格納されている。実際、本調査で行った地下水シミュレーションでは、かんがい用地下水揚水量など各種のデータを、全てこの GIS データベースから作成した。

また、補足調査に当たっては対象 16 モザの 1/5,000 デジタルマップを作成し、データベースに格納した。これらのマップに種々の情報を加え、同地域の砒素汚染対策事業を GIS 上で検討することが可能となっている。今後、農村部のみならず都市部の GIS 情報も砒素汚染対策事業の検討に活用すると共に、観測井の地下水位や水質、砒素濃度についてデータを更新して行くことが強く望まれる。