

## 第6章

# モデル村落の調査

要約

## 第6章 モデル村落の調査

### 6.1 モデル村落の選定

#### 6.1.1 調査の目的

対象地域の水理地質，砒素汚染状況，社会経済状況の情報を得るためにモデル村落が選定された。得られた情報は対象地域の砒素問題解決のためのマスタープラン作成に利用された。

モデル村落では次の8項目について調査が実施された。この章では社会経済，水利用，砒素中毒患者と砒素対策の実施に関して述べている。他の項目はそれぞれ関連する章で述べる。

- (1) 社会経済調査
- (2) 水質分析
- (3) 改良型深井戸の掘削
- (4) 脱砒素装置のテスト
- (5) コアボーリング
- (6) 砒素中毒患者の診察
- (7) 共同体組織活動の推進
- (8) 砒素問題解決へ向けての啓発

#### 6.1.2 モデル村落の選定

対象地域のモデル村落の選定は次のクライテリアによって選定した。

- モデル村落はポルシャバ（都市部）エリアに含まれないこと
- 砒素患者がいること
- 効果的な砒素対策が実施されていないこと
- 井戸掘削機が進入可能なこと
- コミュニティグループ又はリーダーが砒素問題解決への熱意があること
- 村の位置がその地域の地質学上の特性を有していること

得られた情報及び野外調査の結果をもとに、次の3つの村がモデル村落として選定された。

- (1) ボロドゥウパティラ（チュアダンガ県）
- (2) ラジュナガル・バンカバルシ（ジェソール県）
- (3) クリシュナチャンドラプール（ジェナイダ県）

選定された村の概況は表 6.1.1 に、村リーダーへのインタビューによる社会経済状況は表 6.1.2 に示す。村の位置は図 6.1.1 に示した。

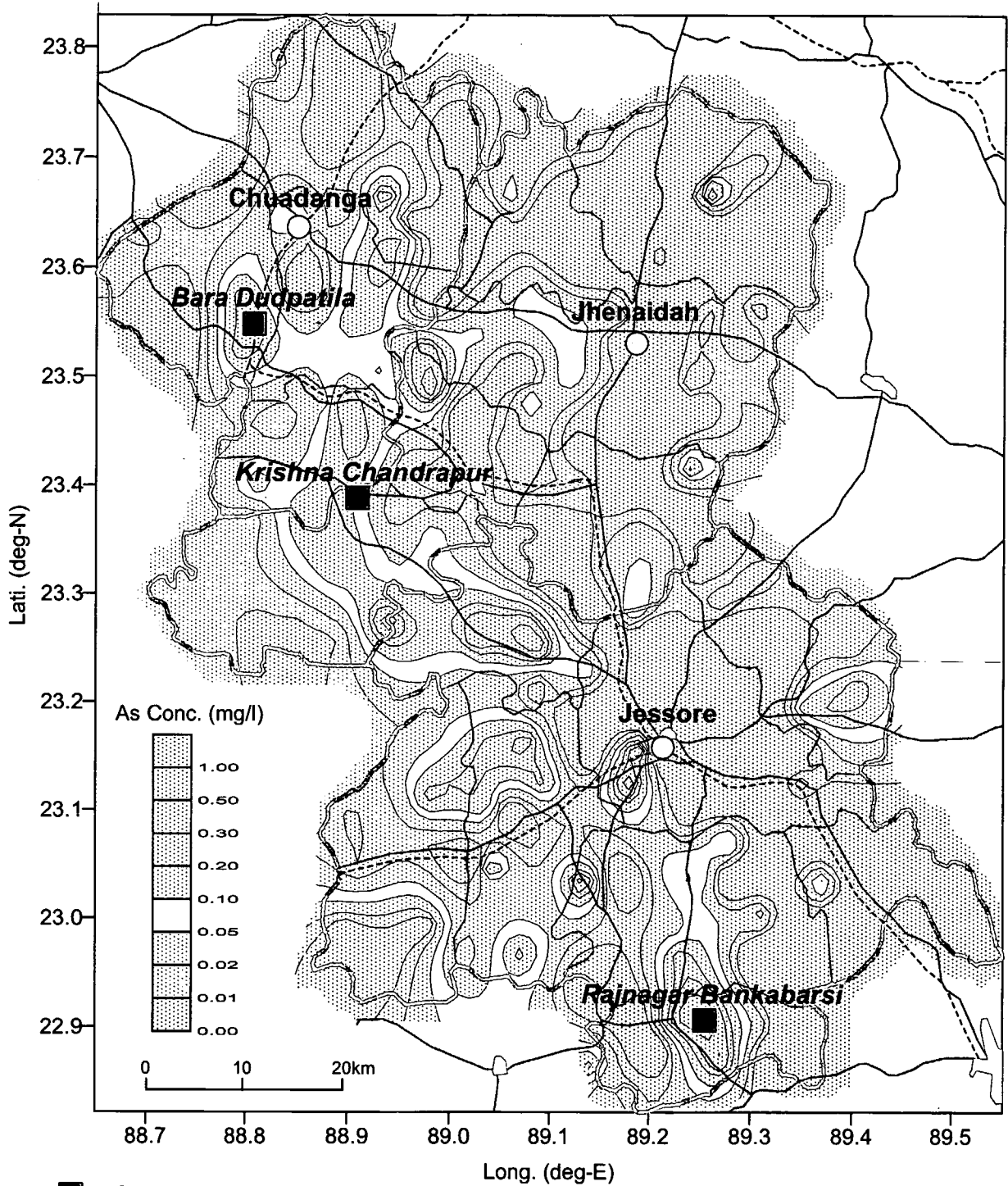
表 6.1.1 モデル村落の特徴

District	Chuadanga	Jessore	Jhenaidah
Thana	Damurhuda	Keshabpur	Maheshpur
Union	Howli	Panjia	Fatehpur
Mauza	Dudpatila	Rajnagar Bankabarsi	Chandpur
Number. of Villages in the Mauza (Other Villages)	2 (Chhota Dudpatila)	1	3 (Chandpur, Rakhal Bhoga)
Village	Bara Dudpatila	Rajnagar Bankabarsi	Krishna Chandrapur
Population	2,300	1,800	1,000
Population. Density	High	High in the South, Medium in the North, Low in the Center	High in the North, Low in the South
Number of Households	515	380	220
No. of Paras	350	7	8
Land Use	Paddy field (periphery), farm land (in the village)	Paddy field and farm land in the North, ponds in the South	Paddy field (periphery), farm land (in the village)
No. of Patients	73	23	45
No. of Wells	175	74	115
Arsenic Level	n.d.-1.05mg/l	0.01-1.16mg/l	n.d.-1.21mg/l
Distribution of Arsenic Affected Wells	Concentrated in the center of the village (300m x 300m)	All over the village	Concentrated in the Center (300m x 200m) and the South (200m x 100m)
No. of Ponds	Medium 5, Small 5	Large 50+	Large 3, Medium 3
Electricity	Available	Available	Not available
Access Road Condition	Unpaved for 2km from a paved road	Unpaved for 1km from a paved road	Unpaved for 2km from a paved road
Assisting NGO	ATMABISWAS	KMMS (Kapatakha Memorial Mohila Shangsta)	AID (Action In Development)
Note	One of the patients is Union Parishad Member and willing to share costs of mitigation measures.	One of the patients is school teacher.	DPHE installed one DTW, but arsenic concentration of the TW water was 0.2mg/l as of August 11, 2000.

注： 人口と世帯数は調査中に行われたインタビューの結果に基づいている。砒素中毒患者の数はドクターファルキー氏 (Dr. Faruquee) の診断に基づいている。井戸数およびその砒素濃度は調査中に行った水質調査の結果に基づいている。

表 6.1.2 モデル村落の社会経済状況

		Chudanga	Jessore	Jhenaidah
		Bara Dudpatila	Rajnagar Bankabarsi	Krishna Chandrapur
Religion		Islam	Islam	Islam (major) Hinduism
Roof materials	Straw	50%+	30%+	80%+
	Tile	None	50%+	None
	Tin	30%+	30%-	30%-
	Concrete	30%-	None	30%-
Daily diet (Other than rice, green leafy vegetables, and other vegetables)		Fish, Fruits	Fish, eggs, fruits	Beans
Community organization	Religious facility (years of experience)	Dudpatila Jame Mosque Committee (15)	Rajnagar Bankabarsi Paschmpara (45)	Sher Ali Secretary (6)
	School activity	School managing Committee (2)	None	Ahadul Rahman Secretary (5)
NGO activity	Knowledge dissemination	BRAC, WAVE	None	None
	Assistance to the poor/handicapped	BRAC, WAVE	ASA, BRAC	None
Major communication tool in the village		Community meeting	Loudspeaker	Person to person speech
Diffusion of mass media	Radio	80%+	50%+	50%+
	TV	30%-	30%-	30%-
	Newspapers	30%-	None	None
Water consumption (Liter/day)		50	50	60
Water source	Drinking	Shallow wells	Shallow wells	Shallow wells
	Cooking	Shallow wells	Shallow wells	Shallow wells
	Other	Shallow wells	Ponds	Shallow wells
# of wells for domestic use	Communal	50	6	46
	Private	250	100	174
Communal well (domestic use) management by caretakers		Repair of facility (not paid)	Repair of facility (some are paid, some are not paid)	Repair of facility (paid)
# of wells for agricultural use	Communal	0	0	100
	Private	30	120	0
	Operation hours	18	12	12
Communal well (agricultural use) management by caretakers		n.a.	n.a.	Monitoring water withdrawal, fee collection, repair of facility (paid)
Arsenic patients	# of Patients	100	n.a.	300
	Treated ratio	30%-	n.a.	50%+
Community attitude	Unfair treatment of patients	None	n.a.	Eating and drinking
Access to medical facility	Travel time	Less than 1 hour	Less than 1 hour	Less than 1 hour
	Travel costs	5Tk by rickshaw	20Tk by rickshaw	n.a.
Action taken by community		None	None	None
Action taken by households		More than 80% of the households use arsenic safe wells	None	None



[As concentrations in groundwater of 300 existing wells were measured by the JICA Study Team using AAN Field Kit.]

図 6.1.1

モデル村落位置と  
ボーリング掘削を行ったポルシャバの位置図

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)

## 6.2 社会経済状況の概況

### 6.2.1 モデル村落の一般的特性

人口、識字率、食習慣、収入、砒素問題に対する認識度など、一般的な特性は表 6.2.1 に示す。

表 6.2.1 モデルルーラル村落の一般的特徴と砒素問題との関係

	特徴	砒素問題との関係
世帯の大きさ	- 一世帯 3~5 人が全世帯の 60~70%の割合を占める一方で、一世帯 8 人以上のケースも見られる。	- 家族単位の砒素除去装置では一世帯 5 人に水供給できる容量をもつ必要がある。
宗教	- 主にイスラム教で、ヒンドゥー教が続く。 - イスラム教徒とヒンドゥー教徒のような他の宗教グループはひとつの村に共存する。	- ヒンズー教の purdah システムは女性を社会に出すことを妨げ、また医者診断を受けたり、砒素中毒の治療を行うことにも妨げになっているようである。 - 宗教グループと砒素問題について取り組んでいく場合には特別の注意が必要である。
識字率	- 約 15 - 35%の世帯で全く読み書きのできる者がいない。	- 砒素問題を伝えるには、口頭でのコミュニケーションや視覚的なプレゼンテーションが主な手法になる。
食習慣	- 主食は米と野菜である。 - 普段野菜は長い時間調理される。 - 肉の消費量は少ない。	- 村人が漁や養鶏を始めることができるよう助けることが望ましい。 - 食べ物、栄養、効果的な調理方法等の一般知識に関する教育プログラムが必要である。
土地所有	- 土地を所有している割合は高い (86-96%)。 - モデル村落には共有地は存在しない。	- 学校が砒素汚染地域に位置している場合は、村人が使用する深井戸を学校のグラウンドに作ることはそれほど問題にはならない。
収入と支出	- 平均年間現金収入はボ・ド・ウ・パティラで 25,000Tk、クリシヤントラールで 31,000Tk、ラジュガルパソガルで 33,000Tk と見積もられる。	- 裕福な家族では蓄えにより砒素除去装置への初期投資ができるが、その他の家族は土地を売るか、ローンを組む必要がある。

## 6.2.2 水汲みと消費

村の水汲み状況と消費量は表 6.2.2 に示す。

表 6.2.2 水汲みと消費量及び砒素問題との関係

	特徴	砒素問題との関係
水源	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 飲料及び調理用の主な水源は浅井戸である。</li> <li>- 水浴びや洗濯には浅井戸、池水及び川の水が用いられる。</li> <li>- ひとつの浅井戸で約2から5世帯をまかなっている。</li> <li>- 村人に池水を飲むように勧めるのは非常に困難である。</li> <li>- 雨水は十分に利用されていない。その理由は井戸を使うほうが簡単であり、雨水を飲むことはあまりよろしくないという観念がある。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 飲料や調理用の水として浅井戸にだけ頼っている村人は砒素中毒に対してより弱いと考えられる。</li> <li>- 新たに掘られた深井戸が唯一砒素に安全な水源となるならば、水汲みがより大変になる。</li> <li>- もし池水が唯一砒素に安全な水源であるならば、PSFを導入する必要がある。</li> <li>- 雨水利用に関する適切な指導を行い、雨水利用のイメージをよりよくしていく必要がある。</li> </ul>
水汲み	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 水汲みに要する平均時間はホドドゥガティラで11分、ラジュガルバンガルで62分、クシヤ・チャンドラで17分である。</li> <li>- ラジュガルバンガルでは全世帯の70%が遠く離れたDPHEの深井戸に頼っている。</li> <li>- 水汲みは主に妻の仕事である。</li> <li>- 水汲みは女性の場合容器を腕に抱えて運ぶが、男性の場合は力車バンや車が使用される。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 水汲みの労力を減らすために、運搬用の道具を用いることが望まれる。</li> </ul>
水消費	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 雨季の飲料及び調理用(食事として消費されるもの)の水の消費量は、一家族5人として一日約45リットルと見積もられる。乾季では15%程度上昇する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 家族単位の砒素除去装置は、一日40から50リットル供給できる容量のものが適当である。</li> </ul>
砒素汚染のない水への支払い意思額	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 砒素汚染のない水への一ヶ月の平均支払い意思額は、ホドドゥガティラで約30Tk、ラジュガルバンガルで約50Tk、クシヤ・チャンドラで約75Tkである。これらの金額の住民の一ヶ月の収入に占める割合はそれぞれの村で約1.4、1.3、3.5%である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 年間の平均現金収入30,000Tkの世帯で、安全な水を得るために一ヶ月約50Tk支払うことができる。</li> </ul>

## 6.3 水質

### 6.3.1 地下水水質

#### 1) 調査方法

2000年10月に全ての既存井戸の水質を測定した。ボロドゥウパティラで172本、クリシュナチャンドラプールで115本、バンカバルシには74本の井戸があった。地下水は採水後ジェナイダ分析室に運ばれAASで分析された。地下水採水時には砒素を含む下記の項目について現地で測定した。

- 砒素 (AAN Field Kit)
- 溶解鉄  $Fe^{2+}$  ( $Fe^{2+}$  pack test kit)
- pH (potable pH meter)
- 酸化還元電位, ORP (potable ORP meter)
- 電気伝導度, EC (potable EC meter)

さらに各村から5サンプルが他の一般水質項目を測定するために採水された。

#### 2) 砒素

AASによる砒素の測定結果によると砒素濃度は村毎にことなっている(図6.3.1)。ボロドゥウパティラでは2/3の井戸が砒素に汚染されている。クリシュナチャンドラプールでは3/4の井戸が砒素に汚染されている。バンカバルシでは殆ど全ての井戸が砒素に汚染されていた。

ボロドゥウパティラでは35.5%の井戸がバングラディッシュ国基準の0.05 mg/lを満足していた。一方で1.16%の井戸が1.0 mg/l以上で、12.79%の井戸は0.5~1.0 mg/lであった。0.1~0.5 mg/lの砒素濃度が多くこの範囲の井戸が全体の36.63%を占めている。

クリシュナチャンドラプールでは25.27%の井戸がバングラデシュ基準を満足している。しかし、1.0 mg/lを越える井戸が26.96%あり、0.5~1.0の井戸が38.26%を数えた。0.1~0.5mg/lの井戸が村の井戸の多数を占めている。

バンカバルシ村では0.05mg/lを満足する井戸は僅か1本しかない。この井戸はDPHEが掘削した深井戸である。他の浅井戸は砒素に汚染されている。しかし、1.0mg/lを越える井戸はない。53.4%の井戸は0.5~1.0 mg/lである。0.1~0.5mg/lの井戸が全体の42.7%を占めている。

#### a. ボロドゥウパティラ村

図6.3.2は2000年2月の調査結果である。0.5mg/l以上の高汚染地域は中央部から北部地域に分布している。一方0.05mg/l以下の低汚染地域は村の西部、南部、東



部地域に分布している。西部地域は 0.01mg/l 以下であり，殆ど砒素に関しては安全と言える。

#### b. クリシュナチャンドラプール村

図 6.3.3 は 2000 年 10 月の村の汚染マップである。0.5mg/l 以上の高汚染地域は村の北部と東部地域に分布している。0.05mg/l 以下の低濃度地域は西部地域に分布している。南部地域は 0.1 ~ 0.2mg/l となっている。

#### c. バンカバルシ村

図 6.3.4 は 2000 年 10 月の調査結果を示している。高汚染地域は 0.5mg/l を示し、村中央部から南部西部と広く分布している。東部地域では 0.1 ~ 0.2mg/l を示している。

#### 3) EC, Fe<sup>2+</sup> 及び pH

村	EC	Fe <sup>2+</sup>	pH
Bara Dudpatila	50 ~ 140 mS/m	中心部で 1 - 10 mg/l	7.2 - 7.3
Krishna Chandrapur	大部分が 100 mS/m 以下	いくつかの例外を除いてほとんどが 1 - 10 mg/l	7.1 - 7.2
Rajnagar Bankabarsi	大部分が 200 mS/m 以上	5 - 10 mg/l	7.1 - 7.2

#### 4) 一般水質項目

図 6.3.5 は浅井戸のトリリニアダイアグラムを示している。ダイアグラムはボロドゥパティラとクリシュナチャンドラプールでよく似た化学組成を持っている。しかし、バンカバルシは他と異なり、Cl と Na が高い割合で存在している。

### 6.3.2 池の水質

試料水はボロドゥパティラの 2 つ池、クリシュナチャンドラプールの 5 つの池、バンカバルシの 20 の池から採水された。砒素を含む全ての水質は現地で井戸調査と同様の方法で行われた。

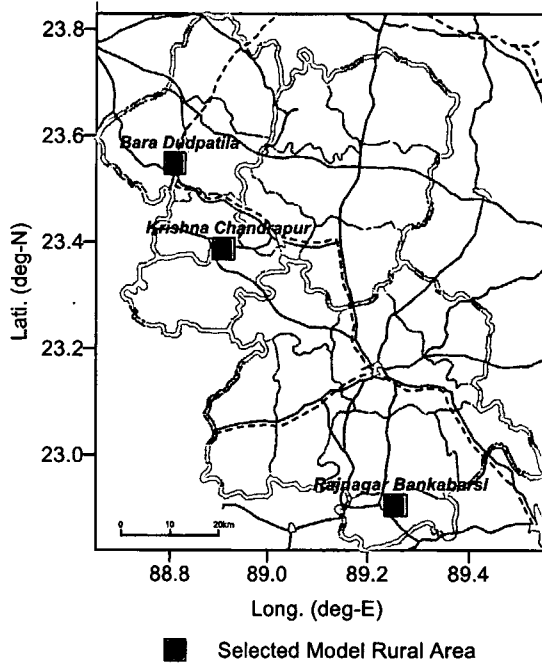
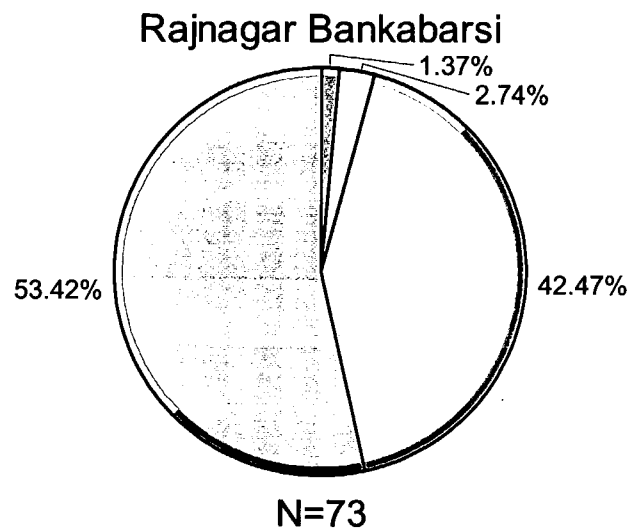
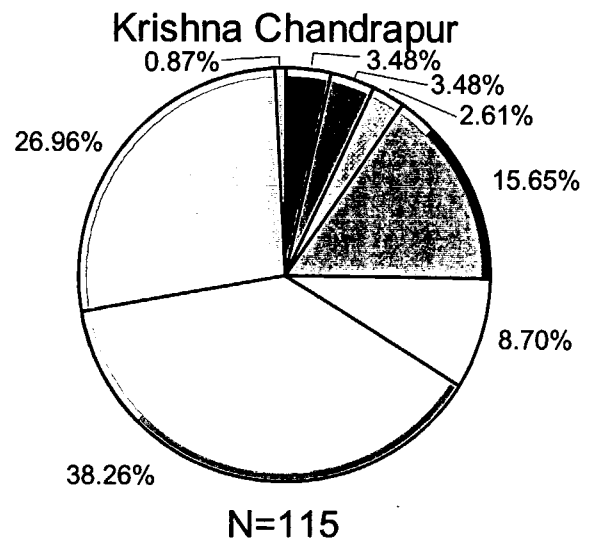
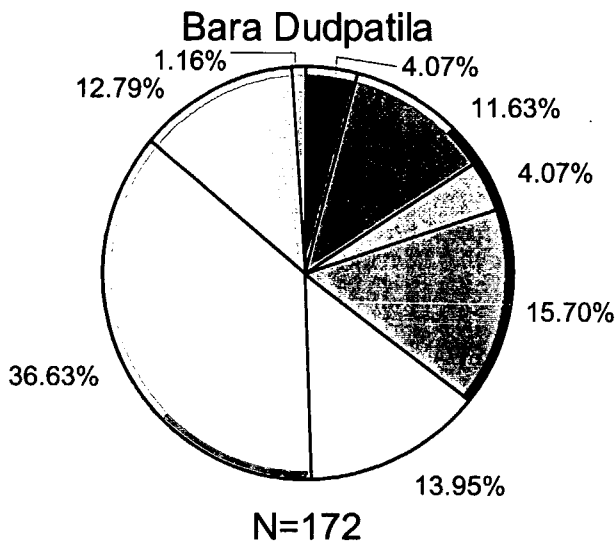
#### 1) 砒素, EC, Fe<sup>2+</sup>, pH

村	砒素	EC	Fe <sup>2+</sup>	pH
Bara Dudpatila	0.01mg/l 以下	10.7-20.8 mS/m	バックテストでは検出不能	7.8-8.0
Krishna Chandrapur	3 つの池で 0.01mg/l 以上	13.2-42.8 mS/m	バックテストでは検出不能	7.6-8.6
Rajnagar Bankabarsi	9 つの池で 0.01mg/l 以上	29.2-99.4 mS/m	ひとつの池で 0.2mg/l	7.1-8.6

## 2) 一般水質項目

図 6.3.6 はモデル村落の池水のトリリニアダイアグラムである。ポロドゥウパティラ村、クリシュナチャンドラプールの分析結果はダイヤモンド型図の左側に示している。陽イオンとして  $\text{Ca}+\text{Mg}$  が多く、陰イオンとしては  $\text{HCO}_3$  が多い。パンカバルシ村の図はダイヤモンド型図の中央部に示している。この村の池水は他に比べて陽イオンとして  $\text{Na}$  が、陰イオンとして  $\text{Cl}$  が多いのが特徴である。

他のイオンの濃度は浅井戸水に比べて非常に少ない。しかし、微生物による汚染も考えられるので飲料水源として利用する場合は水質、水量のモニターが必要である。



Arsenic Concentration (mg/l)

- <math>< 0.0005</math>
- <math>0.0005 - 0.005</math>
- <math>0.005 - 0.01</math>
- <math>0.01 - 0.05</math>
- <math>0.05 - 0.1</math>
- <math>0.1 - 0.5</math>
- <math>0.5 - 1.0</math>
- <math>1.0 = <<</math>

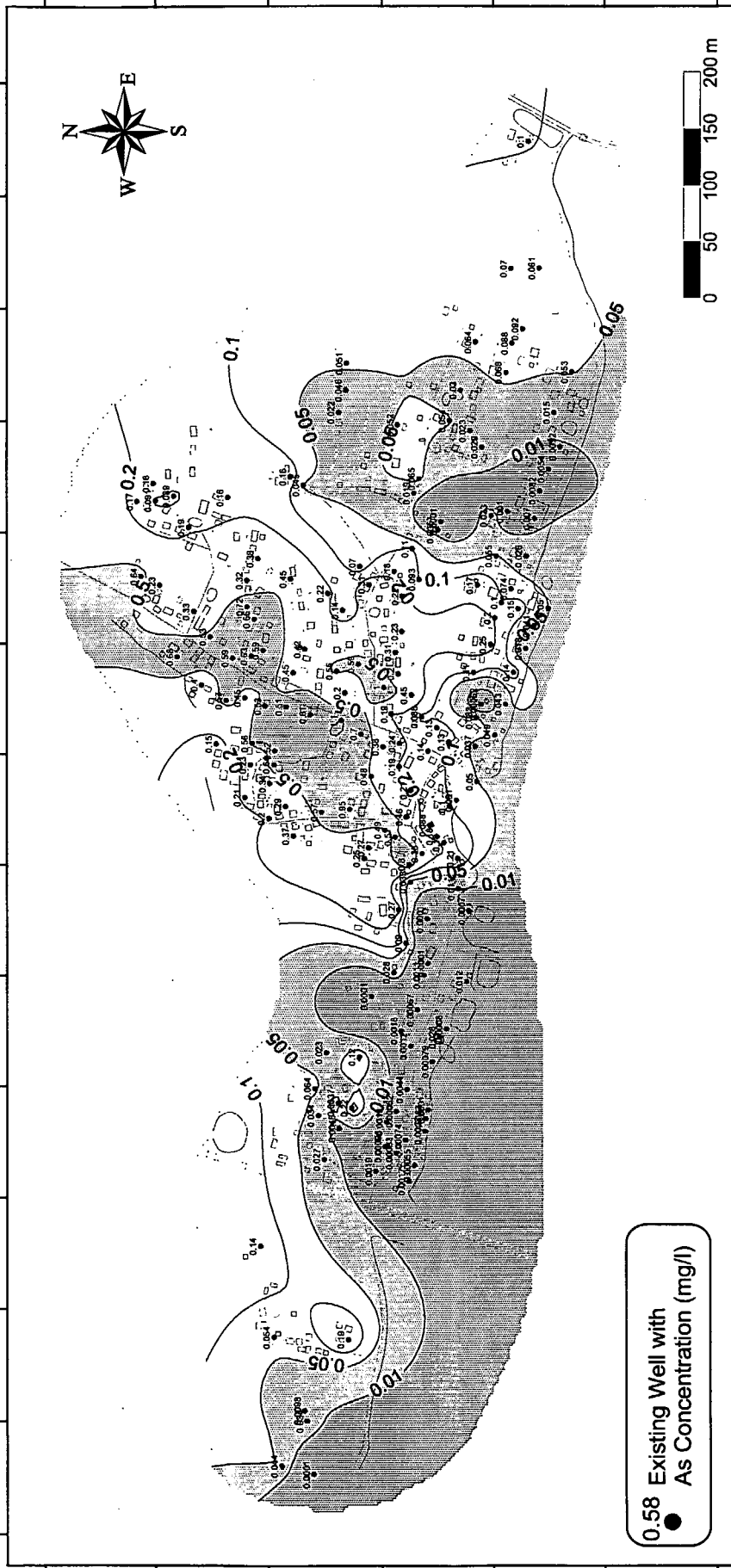
[Arsenic concentrations in groundwater of 300 existing wells were analyzed by the JICA Study Team using AAS. The samples were collected in October 2000.]

図 6.3.1

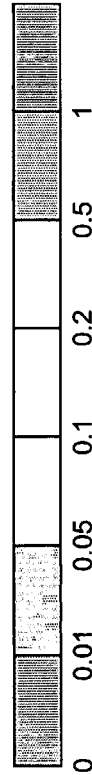
モデル村落の既存井戸中の砒素濃度 (AASにより分析)

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)



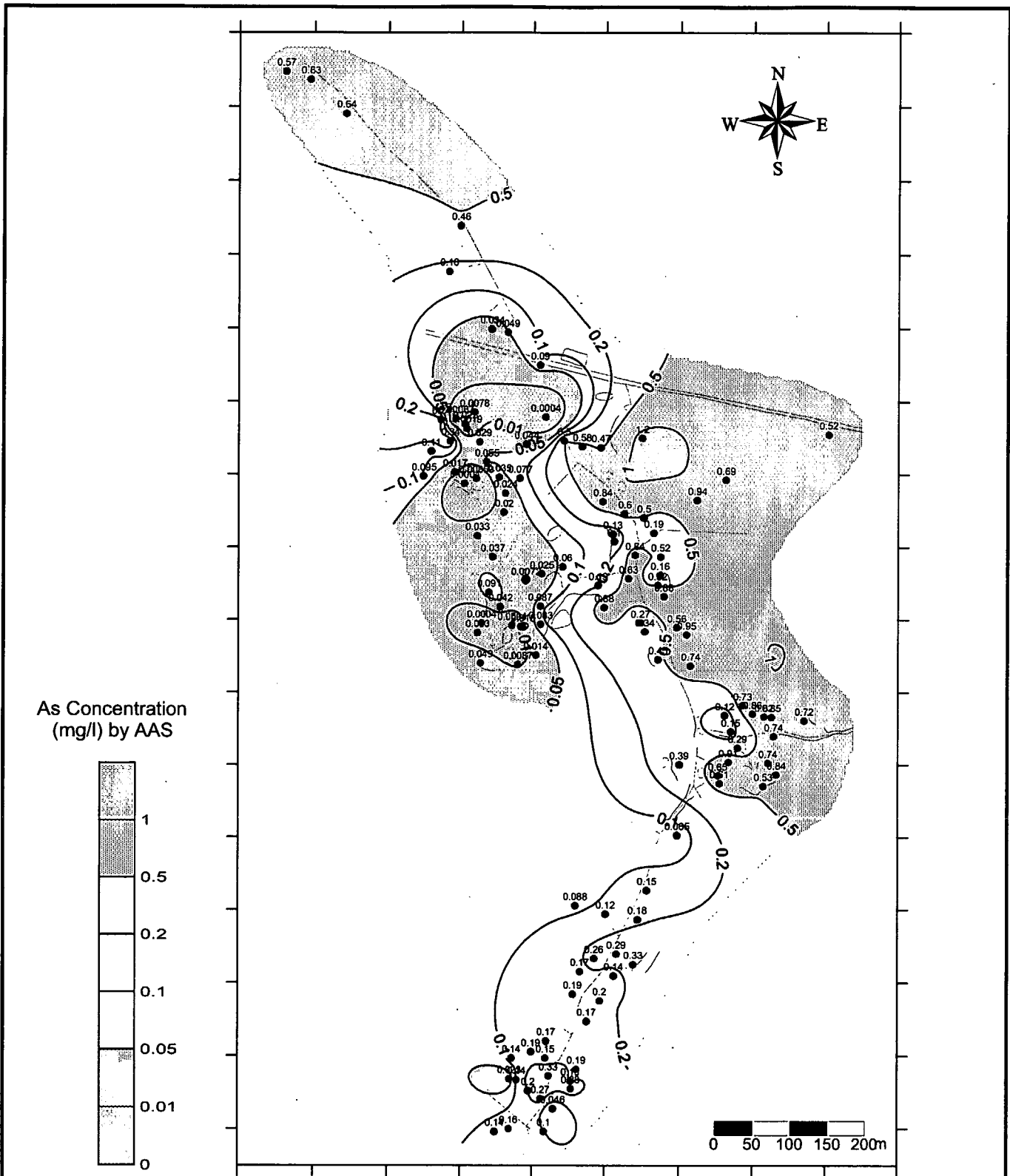
As Concentration (mg/l) by AAS



[The groundwater samples were collected from 172 existing wells in October 2000. The arsenic concentrations were analyzed by AAS in Jhenaidah Laboratory.]

図 6.3.2 ボロドゥカトパティライ村の砒素濃度分布図 (2000年10月)

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 groundwater samples were collected from 115 existing wells in October 2000. The arsenic concentrations were analyzed by AAS in Jhenaidah Laboratory.]

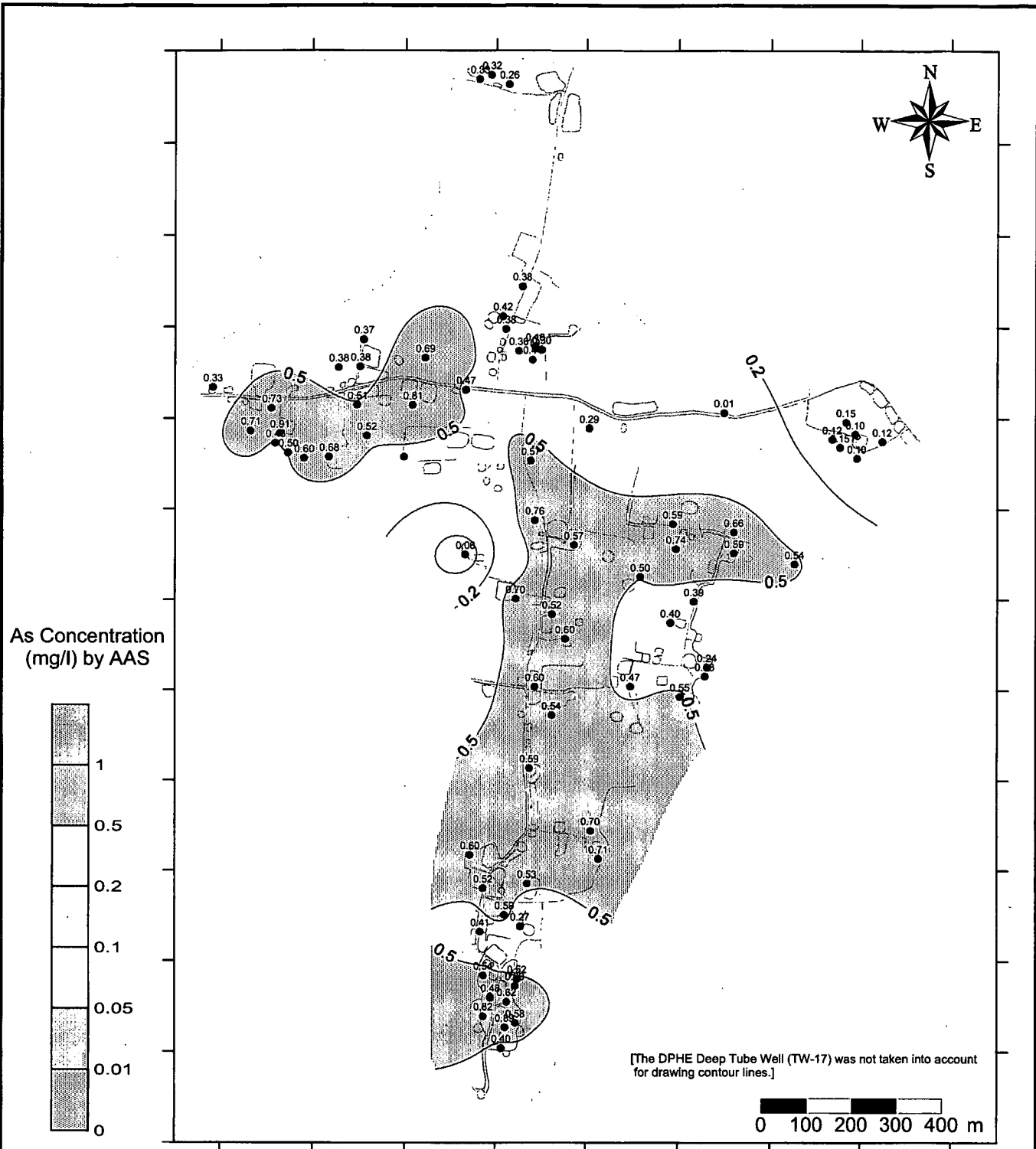
図 6.3.3

クリシュナチャンドラプール村の砒素濃度分布図 (2000年10月)

0.05 Existing Well with As Concentration (mg/l)

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

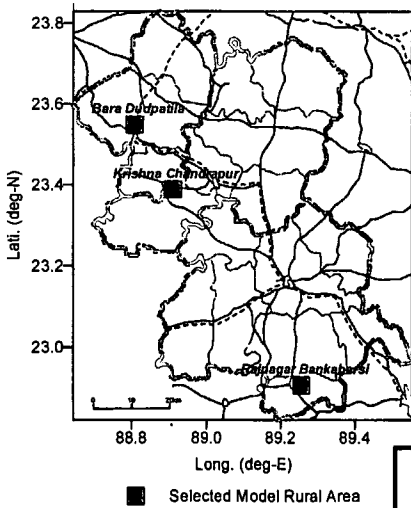
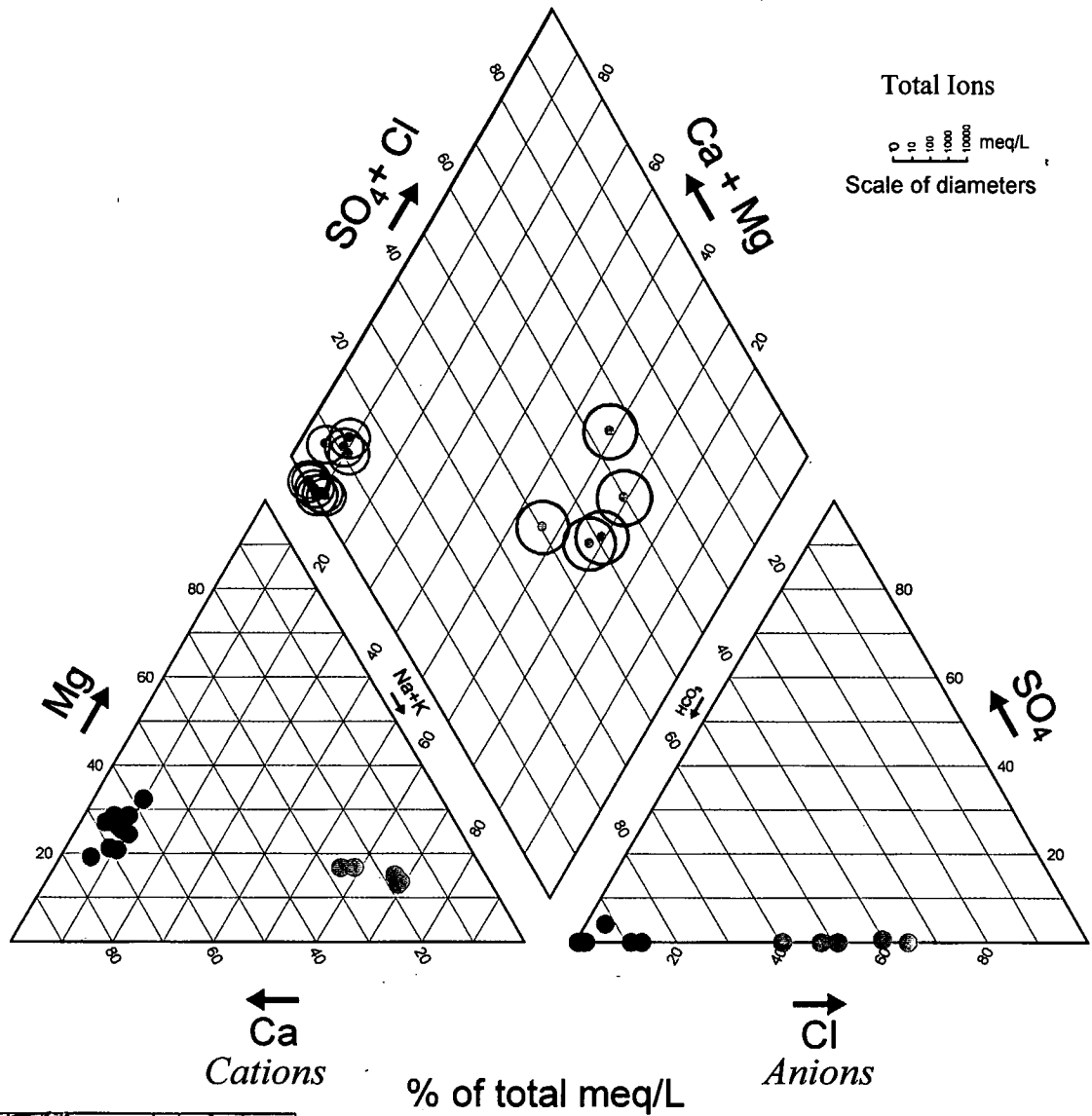
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)



[The groundwater samples were collected from 74 existing wells in October 2000. The arsenic concentrations were analyzed by AAS in Jhenaidah Laboratory.]

	<b>6.3.4</b>	<b>ラジュナガルバンカバルシ村の砒素濃度分布図 (2000年10月)</b>
<b>THE STUDY ON THE GROUNDWATER DEVELOPMENT OF DEEP AQUIFERS FOR SAFE DRINKING WATER SUPPLY TO ARSENIC AFFECTED AREAS IN WESTERN BANGLADESH</b>		
<b>JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)</b>		

0.58 Existing Well with As Concentration (mg/l)



Shallow Tubewell Groundwater Samples

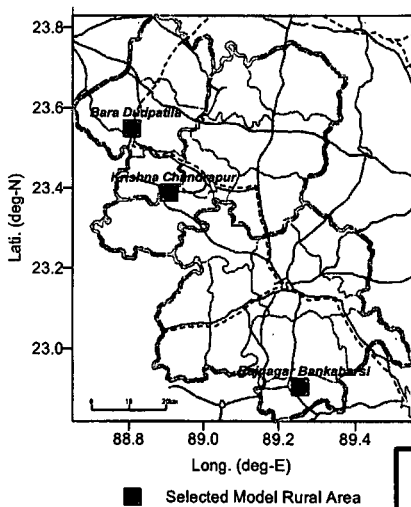
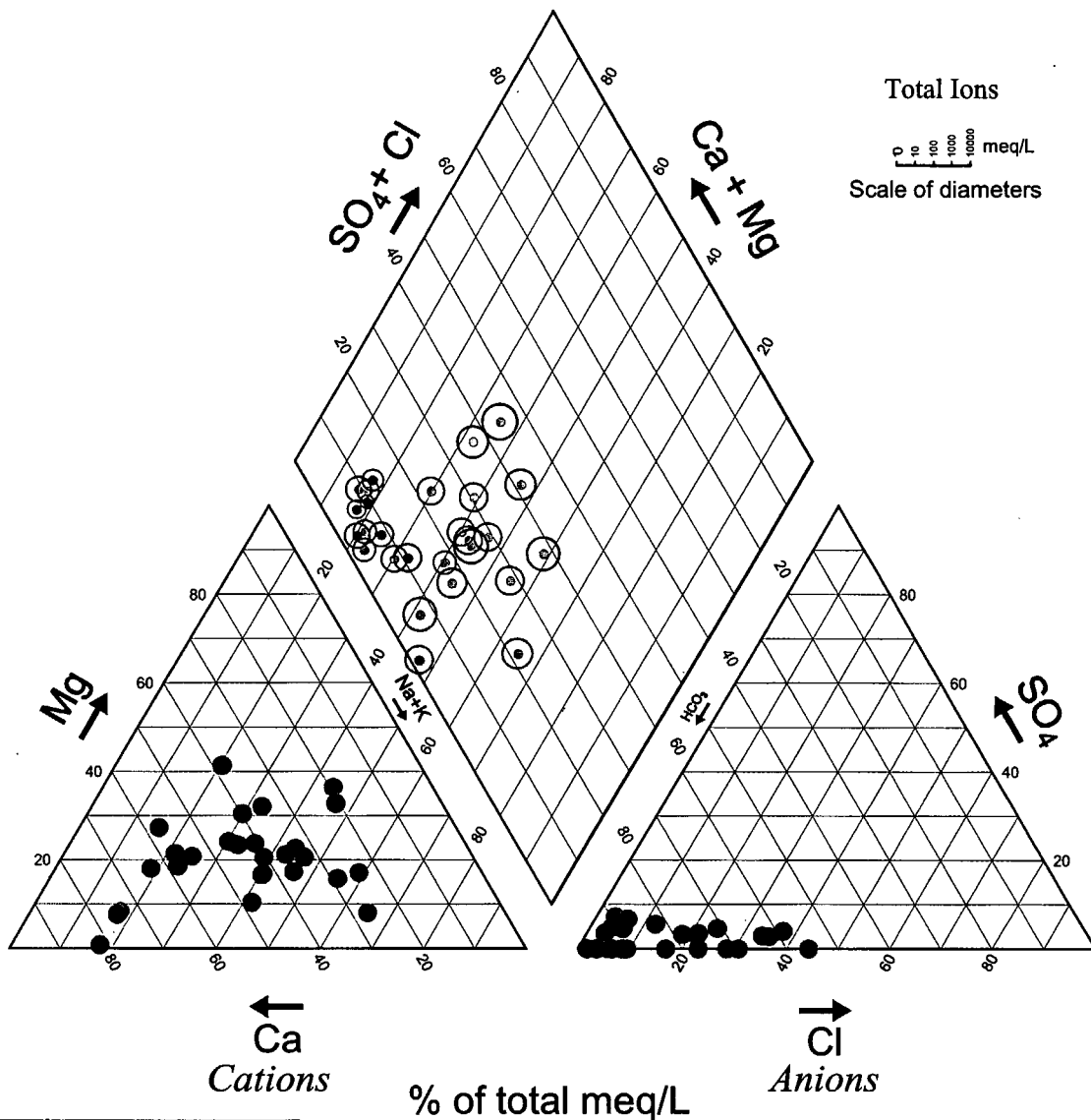
- Bara Dudpatila
- Krishna Chandrapur
- ⊕ Rajnagar Bankabarsi

図 6.3.5

モデル村落浅層地下水の水質を示したトリリニアダイアグラム

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)



Pond Water Samples

- Bara Dudpatila
- Krishna Chandrapur
- Rajnagar Bankabarsi

図 6.3.6

モデル村落池水の水質を示したトリリニアダイアグラム

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)



## 6.4 砒素中毒患者の特定

### 6.4.1 砒素中毒患者の診察

#### 1) モデルルーラル村における診察

診察は2000年11月と2001年3月にAANの医師の協力の下に行った。

#### 2) 性別年齢別砒素患者

2000年11月の最初の診断で、ボロドゥドゥパティラで73人、ラジュナガルバンカバルシで23人、クリシュナチャンドラプールで45人の患者が特定された。2001年3月の調査では、ボロドゥドゥパティラで11人が、バンカバルシでさらに2人が特定された。60%以上の患者が男性であった(表6.4.1)。

砒素中毒患者の年齢層は広い。最も若い人は13歳、最も年を取った人は80歳である。図6.4.1はモデル村落の砒素中毒患者の年齢層を示す。若年層の割合はボロドゥドゥパティラ、クリシュナチャンドラプールで高くラジュナガルバンカバルシでは各年齢層に分布している。

表 6.4.1 モデル村落の男女別砒素中毒患者数

モデル村落	患者数		
	計	男性	女性
Bara Dudpatila (Chuadanga)	84	53 (63.1%)	31 (36.9%)
Rajnagar Bankabarsi (Jessore)	25	21 (84.0%)	4 (16.0%)
Krishna Chandrapur (Jhenaidah)	45	30 (66.7%)	15 (33.3%)
Total	154	104 (67.5%)	50 (32.5%)

### 6.4.2 チューブウェル使用と砒素中毒患者

井戸の砒素濃度と砒素中毒患者には相関があるように思われる。井戸使用の割合が高いほど砒素患者が多くみられる。図6.4.2はモデル村落の360の井戸で同じ砒素濃度の井戸中砒素中毒患者が使用した井戸の割合を示している。

### 6.4.3 砒素中毒患者発症の特性

3つの村で砒素中毒患者発生の割合は異なっている。表6.4.2は村のリスク人口と実際の患者の村人口への割合を示している。リスク人口は砒素濃度0.05mg/l以上の井戸の数の割合を全人口に乗じて求めた。

井戸の砒素濃度は2回測定している。2回とも0.05mg/l以上の井戸をリスクのある井戸とした。

表 6.4.2 砒素中毒のリスク人口

	Bara Dudpatila	Rajnagar Bankabarsi	Krishna Chandrapur
# of TW	172	73	115
# of TW (0.05mg/l As)	116 (67.4%)	71 (98.6%)	93 (80.9%)
Average As concentration	0.20mg/l	0.48mg/l	0.30mg/l
Median As concentration	0.10mg/l	0.51mg/l	0.17mg/l
Estimated population	2,300	1,800	1,000
Population at risk	1,550	1,775	809
# of Arsenicosis patients	84	25	45
Ratio of patients to population at risk	0.054	0.014	0.056

ラジュナガルバンカバルシの砒素濃度は 3 村中一番高いが、リスク人口に対する割合は低い。この 3 村の相違には他の種々のファクターがあるのかも知れない。

#### 6.4.4 砒素中毒患者の治療

##### 1) ビタミン剤の配布

2000 年 11 月の診察時には、患者は砒素フリーの水を飲むようにかつ栄養の高いものを食べるように告げられた。さらに中程度或いは重症の melanosis、keratosis 患者にはビタミン A、E、C の錠剤が与えられた。2001 年 3 月の診察の際にもビタミンは配布された。

##### 2) 砒素フリーの水使用の啓発

フィールドテスト結果をもとに、0.5mg/l を越える井戸には村人が高汚染井戸と解るように赤ペンキを塗った。さらに正確な AAS による分析結果は村人に知らされ、砒素汚染濃度レベルに応じてペインティングされた。

さらに脱砒素装置、深井戸がモデル村落に設置された。ボロドゥウパティラでは改良型深井戸が掘削され、パッシブセディメンテーション、活性アルミナ濾過装置も設置された。

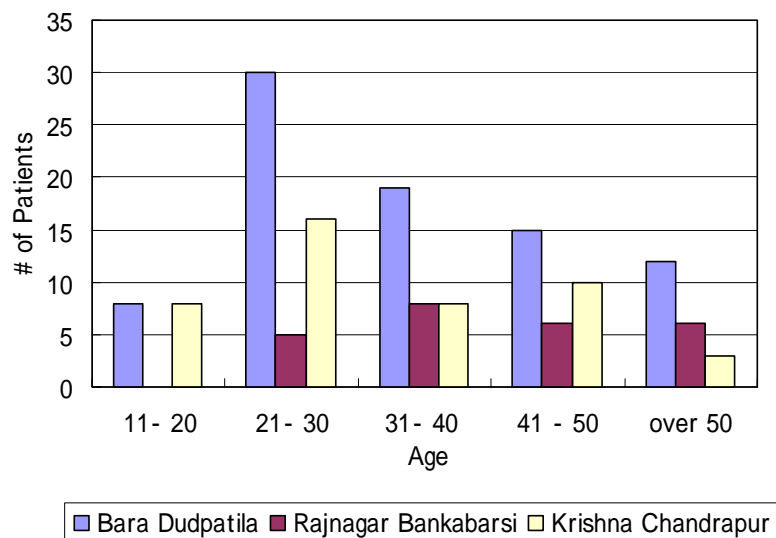
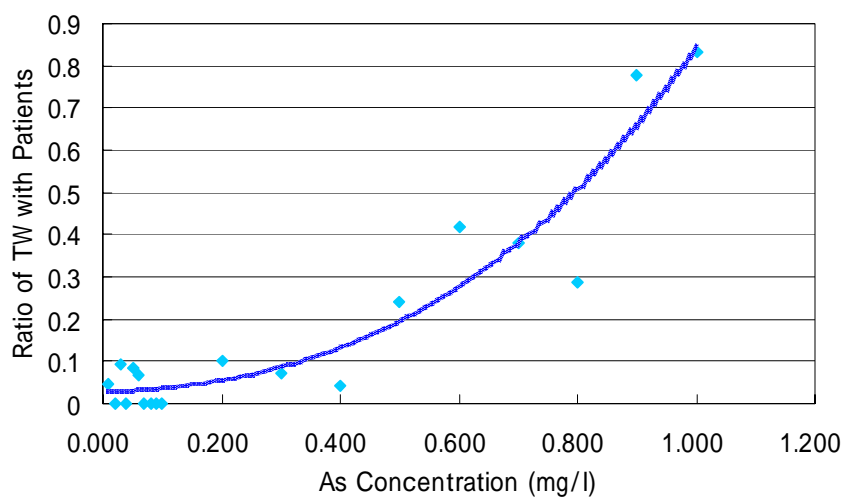


図 6.4.1 モデル村落の砒素中毒患者の年齢層



Notes: Tube wells are categorized into 20 ranges by arsenic concentration of the water (0.01mg/l interval up to 0.1mg/l and 0.1mg/l interval up to 1.0mg/l).

図 6.4.2 砒素濃度と砒素中毒患者が使用した井戸の割合

## 6.5 モデル村落での啓蒙活動

### 6.5.1 コミュニティ組織

#### 1) コミュニティ組織の形成

調査団は DPHE の E.E,ユニオンパリシャドメンバー、社会的識者を通じてモデル村落に 20 人（半数は女性）からなるコミュニティ組織の形成を依頼した。組織が形成される前に AAN の医師がバングラディッシュの砒素問題についてレクチャーを行った。調査団は組織形成及び維持に関して NGO に協力を依頼した。

協力した 3 つの NGO は ATMABISWAS、KMMS、AID である。

#### 2) コミュニティ組織による活動

コミュニティ組織は幾つかの活動を行った。主なものは次のとおりである。

- 村のチューブウェルの砒素濃度についての報告
- 村の社会経済状況の調査
- 脱砒素装置とその設置
- 村人の啓蒙
- 砒素の摂取源と健康影響、砒素に対して安全な水の取り方等の説明

ボロドゥウパティラ、ラジュナガルバンカバルシの組織は活発に活動した。活動は深井戸の設置位置、脱砒素装置の設置場所の決定、砒素問題についての村人への啓蒙などである。

### 6.5.2 砒素問題の啓蒙活動

#### 1) 対象地域の砒素問題啓蒙

砒素問題の正しい理解は問題を解決する基礎であり、行動へ駆り立てる源となる。2000 年に DPHE、UNICEF はマスメディアを通じてキャンペーンを実施した。300 村の調査によると半分以上の村リーダーは砒素中毒の症状を知っていた。僅か 11 村で砒素問題解決への行動を起こしている。モデル村落では砒素中毒患者がみられていたけれどもコミュニティの行動は起こされなかった。

#### 2) モデル村落啓蒙活動訓練

調査団は村人の代表者達、協力者である NGO 啓蒙活動への訓練を行った。その結果彼等は村人へ砒素問題教育が出来るようになり、砒素問題解決への行動を促すようになった。訓練は 2000 年 11 月 5 日行われた ( Banshte Shikha, Jessore )。おもな項目は以下のとおりである。

- A 地下水の汚染状況
- B 砒素の基礎知識
- C 水及び環境の砒素汚染源
- D 砒素の影響
- E 砒素中毒の防止
- F 住民参加によるコミュニティ活動

### 3) コミュニケーション手段

対象地域の識字率は 30%以下であるので砒素問題を伝えるには口頭、映像による方法が最も効果的と考えられる。教材は映像で砒素中毒の症状や防止法をドラマ仕立てとした。

### 4) モデル村落での啓蒙活動

啓蒙活動は各戸訪問、小さな集会で行われた。その効果を確認するインタビューを行った。しかし、時間の経過と共に意識は薄れ、行動にあらわれないことが明らかとなった。継続した啓蒙が必要であることが分かった。

### 5) モデル村落での砒素フリーの水を得る方法の啓蒙

啓蒙活動の一部として、調査団はチューブウェルの AAS 測定による砒素濃度と井戸位置を知らせた。分析結果に基づいて 0.1mg/l 以上の井戸は赤、0.05 ~ 0.1mg/l の井戸は黄色に、0.05mg/l 以下の井戸には緑色を塗った。

さらに調査団はこの地方で得られる Sari、Colshi フィルターを利用して雨水を集める方法をデモンストレートした。その結果、雨水を集める村人が増大した。

## 6.5.3 砒素問題啓蒙と飲料水源の変更

調査団の改良型深井戸の建設と脱砒素装置の完成後飲料水源は変更された。

### 1) ラジュナガルバンカバルシにおける水源変更 (Oct. '00 ~ Mar. '01)

ラジュナガルバンカバルシでは改良型深井戸完成直後から飲料水源は変更された。2001年3月現在村人の57%が改良型深井戸を利用している。

### 2) ラジュナガルバンカバルシにおける啓蒙活動と水源変更の関係

調査団の改良型深井戸の設置以後、浅井戸を水源としていた村人の大半が水汲みに時間のかかる改良型深井戸及びDPHEの深井戸に転換された。砒素中毒の原因、対策にかかる啓蒙が水汲み行動の変化に現れたのかも知れない。

### 3) 水汲み行動に影響する要素

モデル村落でのインタビュー、議論を通じて得られた水汲み行動に及ぼす要素は距離・道路状態等の物理的条件、砒素問題の認識度、他の人の水汲み行動などである。ラジュナガルバンカバルシで見られるように砒素問題の認識が深まった結果、DPHE 深井戸へ平均で 40 分以上かけて水汲みをしている。

ボロドゥウパティラ、クリシュナチャンドラプールでは調査団が装置を設置するまでは旧来の浅井戸に頼るしかなかった。また砒素問題の認識度はバンカバルシより低かった。調査団の深井戸からの水汲みは過半を占めるには至らなかった。またこの深井戸は時には砒素濃度は 0.05mg/l を越えた。従ってこの井戸は黄色にペイントされた。このことが時間をかけて汲みにくくすることを阻害した。しかし彼等の砒素問題の認識度は 1 年前に比べると増大した。そして雨水収集を実施する村人も増大した。

#### 6.5.4 啓蒙プログラム

この調査で得られた経験、他の組織の調査結果から将来優先プロジェクトで考えるべき啓蒙プログラムとして次の 3 段階が考えられる。

- 第 1 段階： 砒素問題の一般情報の提供と住民組織の結成
- 第 2 段階： 住民組織メンバーの住民教育のための訓練
- 第 3 段階： 住民への啓発活動と継続的フォローアップ

コミュニティ組織には男性、女性、成人、労働者など社会のあらゆる階層から選ばれ、10~20 名くらいが適当である。組織の議長、記録者（セクレタリー）、啓発担当、患者サポート（汚名の除去、経済的サポート、心理ケア）、水質測定、安全水の開発（既存水源の開発、改良）、砒素中毒防止などの業務は組織メンバーが分担する。外部の第三者の人がこれらの活動を監視して正常な活動を継続する。

## 第7章

# 砒素汚染対策手法の検討

要約

## 第7章 砒素汚染対策手法の検討

### 7.1 都市給水施設の改善

#### 7.1.1 給水施設の問題点

ポルシャバ給水施設(PWSS)には次のような問題点がある。

##### 1) 水量管理

生産井の水量と配水量は稼働時間にポンプの定格流量を乗じて求めているようである。経営や技術管理のための正確な記録は残されていない。

##### 2) 水質管理

水質の定期検査は行われていない。主な水質の問題は砒素以外では鉄と大腸菌である。鉄濃度と色の関係は良く知られているので、色が記録されていれば鉄濃度が推定できる。

また、残留塩素が測定され記録されれば水の安全性が保証されるが、実施されていない。

##### 3) 給水時間

調査地域7ヶ所のPWSSの給水時間は2時間から10時間である。このため休止時間中にパイプに汚染水が浸透する危険性がある。

##### 4) 水処理

ジェソールのPWSSには曝気槽、沈殿槽、急速濾過装置から構成される除鉄装置が設置されている。しかしこの施設は運転コストが高く24時間運転が必要なため使用されていない。

水源は深井戸であるのでバクテリア汚染はないと考えられるが二次的な汚染を防止する必要があり、連続的な塩素注入が不可欠である。

##### 5) 高架水槽

サイルクパ、カリガンジ、コチャンドプール及びモヘシュプールには高架水槽がない。地下水は生産井のポンプから配水管に直結して給水されている。高架水槽がないと水利用量の変化に対応できない。

##### 6) マスターメーターと水道メーター

流量計はいくつかの生産井に設置しているがほとんどの生産井には取付いていな



い。高架水槽からの出口にもない。

### 7.1.2 ポルシャバ給水施設の砒素対策

ポルシャバ生産井地下水の砒素分析によるとチュアダング、ジェナイダ及びモヘシュプールでは軽微な砒素汚染が検出された（第4章参照）。この3ヶ所の施設には砒素除去装置の設置が必要である。調査地域に近いシャトキラ及びマニクガンジは同様な状況にあり曝気装置と急速濾過により鉄と砒素を除去している。鉄と同様に砒素も基準値以下に処理できている。運営維持管理は比較的容易でありこれらのポルシャバでは良く管理されている。源水中の砒素濃度が 0.1 mg/l またはそれ以下であればこの施設を標準施設として推奨できる。

7 ポルシャバは砒素汚染地域にあるが大部分の生産井はまだ砒素に汚染されていないし現在の運転時間を延長すれば十分な水量を確保できる。一方、砒素汚染地域では多量の汚染地下水が浅いハンドポンプ井戸で汲み上げられている。PWSS はまたポルシャバ内の未給水地域にも給水範囲を拡張する必要がある。

パイプ以外にも人力、リキシャ、トラックなどいろいろな水輸送手段が考えられる。地域の実情に応じた砒素汚染地域への水輸送システムを検討すべきであろう。

### 7.1.3 改善計画

PWSS は以下の基本概念にもとづき改善する必要がある。

- a) 既存施設の最大利用
- b) 適切な技術の使用
- c) 費用と効果
- d) メーター設置及び水料金徴収
- e) 安全な飲料水

#### 1) 砒素汚染地域への給水

先に述べたように大多数のポルシャバ生産井は砒素に汚染されていないので、チュアダング、モヘシュプール、ジェナイダを除き十分な水量が確保できる。ポルシャバ内の未給水地域や砒素汚染地域へ給水範囲を拡張する。

#### 2) 漏水対策

どの水道も漏水が激しい。漏水率は国家政策の目標でもある 30%以下に減少させなければならない。これはマスターメーターと各戸メーターの設置や老朽化した配水管の更新により達成できる。

### 3) 24 時間連続給水

高架水槽を建設しパイプ内の圧力を一定に保つことが必要である。さもないと汚水がパイプに侵入して衛生的かつ安全な水を確保することができない。給水時間は2時間から10時間であるがジェソール PWSS が最も長い。カリガンジは僅か2時間である。ポンプ稼働時間を24時間に延長すればジェソールとチュアダंगाは将来も給水可能である。

表 7.1.1 現在の給水時間 (Hour/day)

	Jessore	Jhenaidah	Sailkupa	Kaligonji	Kotchandpur	Moheshupur	Chuadanga
Service Time(hour)	10	5	4.5	1.9	5.5	4	6

### 4) 塩素消毒

消毒はパイプ給水では不可欠の条件である。塩素注入により配水管内の水の残留塩素を一定に保つことができる。この目的はたとえ汚染水が侵入しても消毒効果を保つことである。水道の第一の目的は人々を水系伝染病から守ることである。この目的が達成された後は水処理の技術レベルを上げて微量有害物質の除去を行うことになる。

### 5) 収入管理

7ポルシャバのPWSSにはメーターがなく水道料金は各戸給水パイプの口径に従い低い値段が設定されている。利用者は定額料金を支払うだけである。さらに公共水栓には水料金がかからない。多量の水が浪費されされているばかりか漏水も大きい。現在のポルシャバPWSSの財務状況を表7.1.2に示す。水料金の改定だけが問題を解決するわけではないが少なくとも商品価格システムが導入されるべきであろう。水料金は維持管理費をカバーできるよう改訂されるべきである。

表 7.1.2 毎月平均の 運営維持管理費 (タカ)

	Jessore	Jhenaidah	Sailkupa	Kaligonji	Kotchandpur	Moheshupur	Chuadanga
Income	449,700	148,000	16,700	17,000	20,100	18,000	136,000
Expenditure	564,700	140,000	21,300	40,800	17,600	36,000	157,000
Balance	-115,000	8,000	-4,600	-23,800	2,500	-18,000	-20,900

Source: JICA Study Team

### 7.1.4 組織及び管理

DPHE は PWSS の計画及び建設段階に関わる組織である。給水施設は完成後ポルシャバに移管される。PWSS の責任者は将来の経営計画や施設の将来計画に展望を持つことができない。各戸給水管や 100 mm 以下の配水管の敷設、収入管理はポルシャバの責任ではあるが、管理者はただ運転されている施設の前にいるだけである (LGED 1994)。

PWSS は良質の水を豊富に安定的に経済的に供給しなければならない。また同時に提供したサービスに見合う適切な料金を利用者から取らなければならない。この点から見ると PWSS には権限も経営能力も与えられていない。1998 年の国家水政策は中央政府から地方レベルへの権限の移転について言及しているが、今後、法律及び規則の整備が課題である。

運営維持管理業務には水道料金徴収、会計セクション、施設運転管理セクション、修繕維持管理セクション、水質及び衛生管理セクションなどがある。それぞれに熟練した技術者、労働者が必要である。これらの技術者を給水施設の計画段階、建設段階、終了段階を通じて実際に訓練することが必要である。

## 7.2 砒素除去装置

### 7.2.1 目的

砒素除去装置実験の目的は深層地下水開発以外の対策手段の一つとしてマスタープランを策定するための情報を得ることである。このため砒素除去効果、維持管理、コストなどを調査した。

### 7.2.2 砒素除去技術

砒素除去技術は次の 4 グループに分類できる。すなわち、共沈、吸着、膜分離、太陽熱蒸留である。

表 7.2.1 砒素除去技術の 4 グループ

原理	個別技術	長所	短所・問題点
共沈	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Alum</li> <li>✓ Iron</li> <li>✓ Lime Softening</li> <li>✓ 据置</li> </ul>	装置、消耗品が比較的安価。	As(III)の除去困難。 酸化剤が必要。 薬品が必要。 運転保守が複雑。 スラッジの発生。
吸着	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 活性アルミナ</li> <li>✓ 酸化鉄</li> <li>✓ 活性炭</li> </ul>	装置、消耗品が比較的安価。 共沈法に比べて廃棄物が少ない。 運転が簡単。	As(III)の除去困難。 酸化剤が必要。 吸着剤の入換えが必要。 廃棄物発生。 モニタリングが必要。 他溶存成分の影響有。

	✓ イオン交換樹脂	As(III)の除去可能。 運転が簡単。	消耗品（樹脂）が高価。 吸着剤の入換えが必要。 廃棄物。 モニタリングが必要。 他溶存成分の影響有。
膜分離	✓ 逆浸透 ✓ 電気透析	処理量大きい。	As(III)の除去困難。 動力源（加圧ポンプ）が必要。 消耗品が高価。
太陽熱蒸留	✓ ベースン型	As(III)の除去可能。 運転、保守が簡単。 薬品、消耗品がない。 溶存成分の影響無し。	処理量小さい。
	✓ 真空型、多段効用型		十分な効果が得られていない

### 7.2.3 砒素除去装置の設計

#### 1) 実験基本計画

実験基本計画は次表に示す。

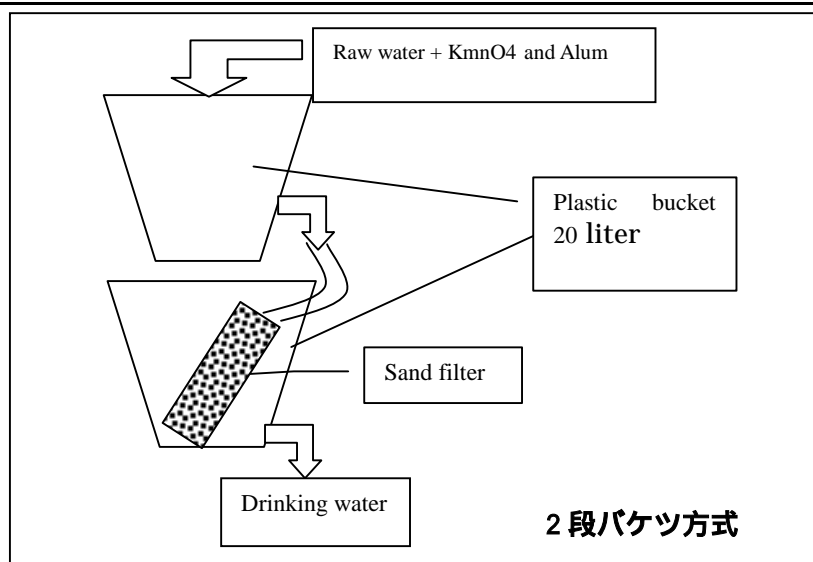
表 7.2.2 砒素除去装置実験計画

方式	カテゴリー	規模	応用
2段バケツ	共沈	所帯向け	緊急対策
曝気・濾過	共沈	共同体向け	緊急対策
活性アルミナによる吸着	吸着	共同体向け	長期対策
太陽熱蒸留（ベースン）	蒸留	所帯向け	長期対策
太陽熱蒸留（真空）	蒸留	所帯向け （または共同体向け）	長期対策

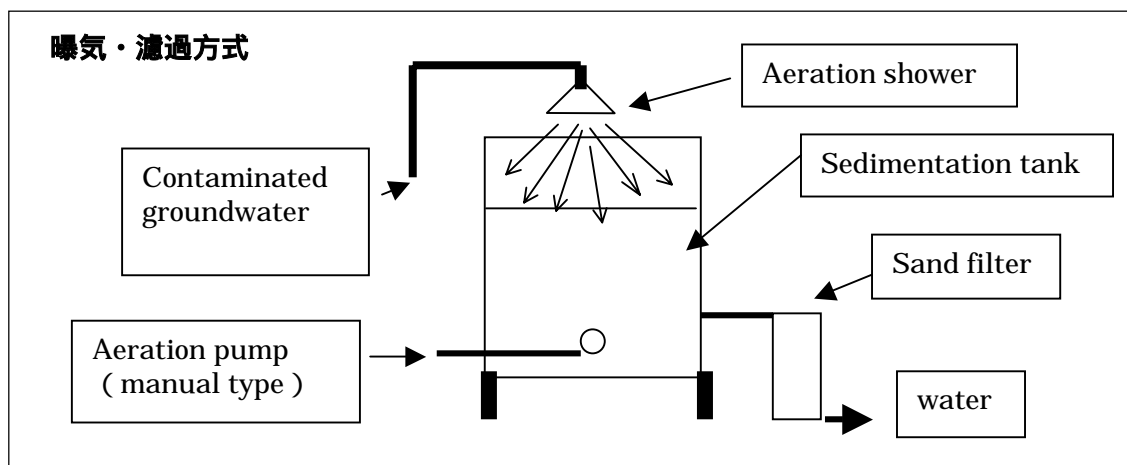
水質変化に対応するため複数台の除去装置を設置した。また運転維持管理状況を見るため2段バケツは多数のセットを用意した。

#### 2) 2段バケツ方式

この方式は DPHE/DANIDA プロジェクトで開発された。砒素は 明礬を加え共沈させた後砂濾過により除去する。第1段バケツは赤く塗ってあり酸化剤（ $\text{KMnO}_4$ ）と明礬を加え汚染水に混ぜ合わせる。共沈後、処理水は緑色に塗った第2段バケツに注ぎ砂濾過した後飲料用に供する。1日当たりの水生産量は約20リットルである。



### 3) 曝気・濾過方式

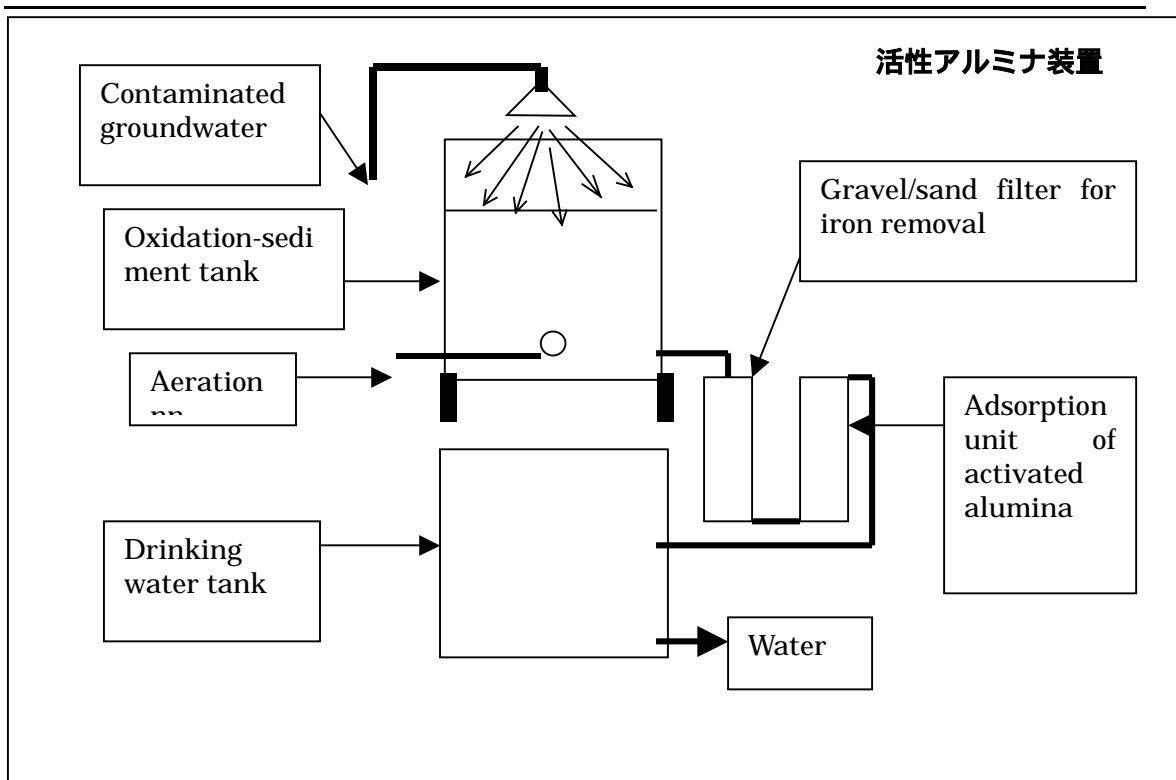


水中の鉄は空気に触れると酸化して沈殿する。水酸化物は砒素と共沈する事が知られており、表面に砒素を吸着する。さらに砒素それ自身は毒性の高いAs(III)から毒性の低いAs(V)に変わる。装置は曝気、酸化ユニット及び酸化鉄の粒子を砂濾過により除去する。この装置は1日約200リットルを生産できるので数所帯への給水を想定している。

### 4) 活性アルミナ装置

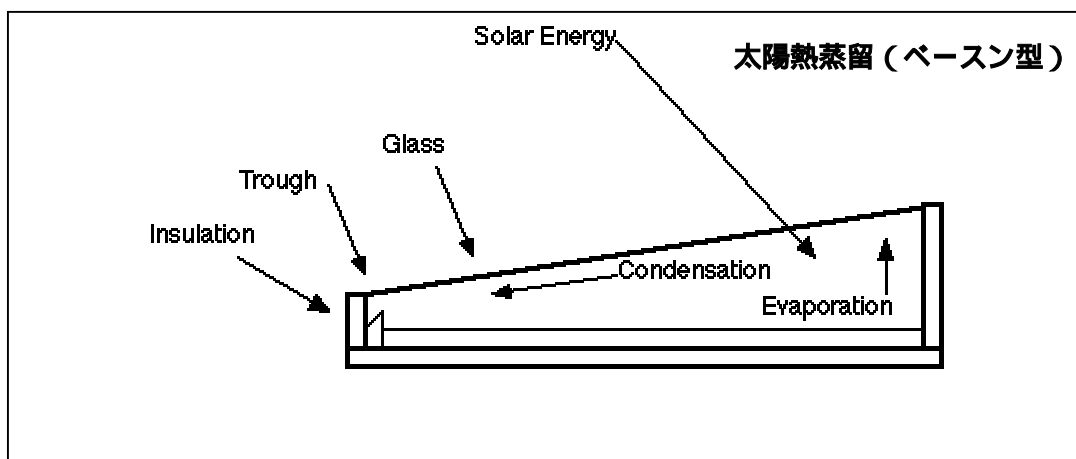
活性アルミナは砒素やその他の物質を吸着する。As(V)には非常に効果的だがAs(III)への効果は低い。従って、装置は曝気・酸化による前処理、鉄除去フィルター、吸着ユニットから構成した。この装置は1000 l/dayの生産能力がありコミュニティへの飲料水供給が期待できる。

下図に装置概要を示す。



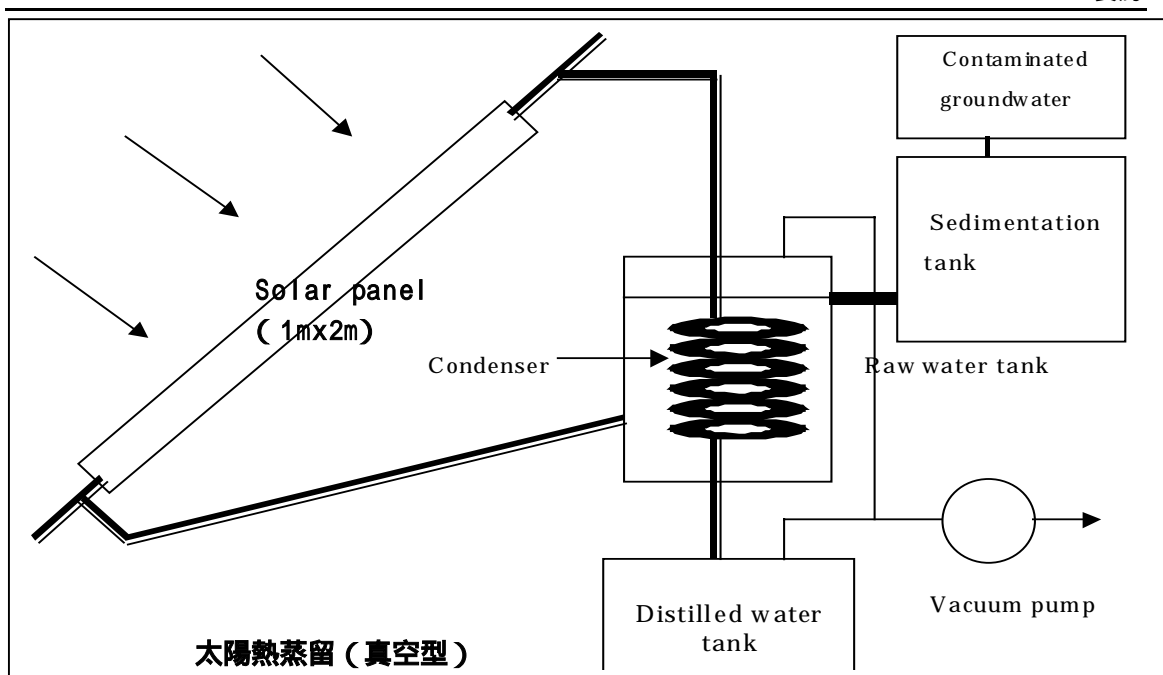
### 5) 太陽熱蒸留（ベースン型）

ベースン型の太陽熱蒸留装置は太陽熱で水を熱して蒸留水を作るものである。太陽熱蒸留は薬品も何も使わず完全に砒素を除去できる。さらに廃棄物もない。唯一の欠点は生産できる水量が少ないことである。従ってこの装置ではバングラデシュの気候条件でどの程度の水生産が可能かを重点的に検討した。装置は長期対策用である。



### 6) 太陽熱蒸留（真空型）

真空型太陽熱蒸留装置は、真空装置により沸点を下げるためベースン型よりもより効果的に水を生産できる。この装置も長期対策用を考慮している。



## 7.2.4 野外実験

### 1) 方法

砒素除去装置はモデル村落に設置し実験した。装置の設置後、井戸水（原水）の処理前と処理後の水質を測定し採水を行った。

野外での測定項目は次のとおりである。

EC、ORP、pH、水温、砒素（AAN フィールドキット）及び  $\text{Fe}^{2+}$ （パックテスト）2種類のサンプルを採水した。一つは水質27項目の測定のため、またもう一つはAASによる砒素分析のために使用した。

下表はモデル3村落の水質をまとめたものである。このデータは実験期間中の原水の測定結果を統計的にまとめたものである。

表 7.2.3 3村落の原水水質

村		砒素 mg/l	EC mS/m	pH	ORP mV	$\text{Fe}^{2+}$ mg/l
Bara Dudpatila	Average	0.26	68	7.3	190	3.1
	min.	0.045	39	7.1	81	0.5
	Max	0.47	100	7.5	340	10
	Standard deviation	0.14	21	0.11	77	2.4
Krishna Chandrapur	Average	0.22	83	7.2	130	4.1
	min.	0.041	40	7	-20	0.2
	Max	0.43	130	7.5	270	10
	Standard deviation	0.13	21	0.15	71	2.7
Rajnagar Bankabarsi	Average	0.49	260	7.2	110	3.3
	min.	0.29	230	7.1	89	1
	Max	1.4	280	7.3	140	5
	Standard deviation	0.28	12	0.072	16	1.7

## 2) 2段バケツ方式

この方式は DPHE/DANIDA プロジェクトで使用されており良い効果があると報告されている。従って実験では操作性に注目した。とくに各家庭での化学薬品の扱い方が鍵になる。そのため 粉末と錠剤の2種類を用意した。

実験の結果得られた結論は以下のとおりである。

- 1) 砒素除去効果は均一ではなく原水の水質により変化する。
- 2) 原水水質は村ごとで異なるばかりでなく、同一村内でも変化する。
- 3) 除去効果を妨げる指標は EC (電気伝導度) である。
- 4) 薬品投入量を増やすと高い EC 値を示すラジュナガル・バンカバルシ村の砒素除去効果は上がったがクリシュナ・チャンドラプール村では効果が上がらなかった。
- 5) 錠剤は溶解させにくい。
- 6) 砂濾過からの漏水の可能性はある。
- 7) 砒素は溶存種または  $0.45 \mu\text{m}$  以下の粒子で存在する。
- 8) バケツはひびが入りやすい。



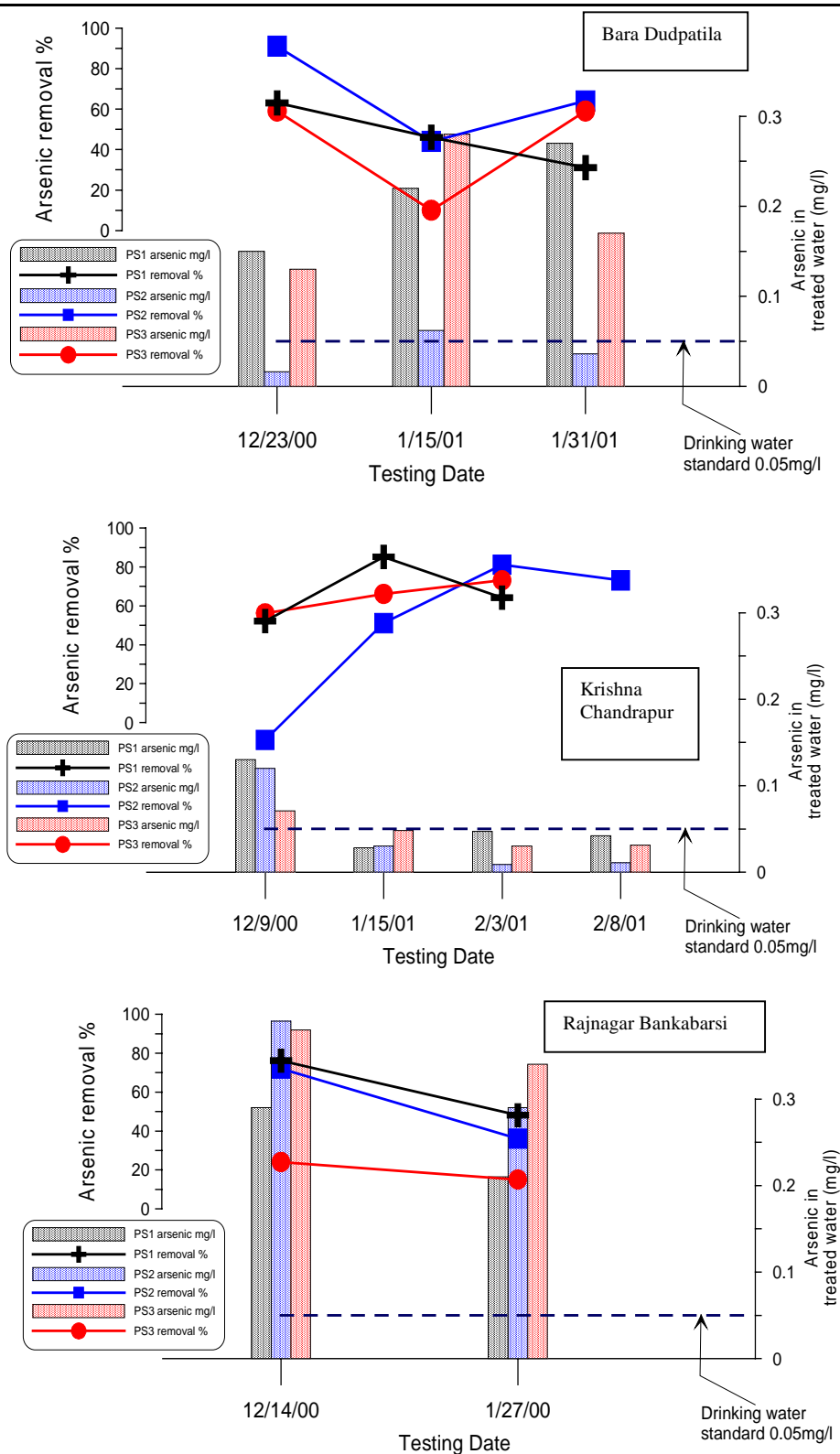


図 7.2.1 曝気・濾過方式による砒素除去結果

### 3) 曝気・濾過方式

この方式は砒素除去装置としては経済的な装置である。この方法は効果的であるとの報告があるが適用に当たった効果、限界、前提条件などが明らかでない。

そこで実験では与えた条件での効果と限界を明らかにすることを目的とした。

表 7.2.4 酸化用薬品による曝気・濾過テストデータ

Village	Unit	Water	Date	As (field) mg/l	As (AAS) mg/l	pH	ORP (mV)	EC (mS/m)	Fe2+ mg/l	As removal	
Bara Dudpatila	KMnO4 1mg/l added										
	PS1	Raw	2/10/01	0.9	0.47	7.2	270	99.4	2		
		Treated	2/10/01	0.2	0.28	7.48	320	97	0	40%	
		Filtered	2/10/01	NA	0.27	NA	NA	NA	NA	43%	
	PS3	Raw	2/10/01	0.7	0.43	7.19	121	72.9	10		
		Treated	2/10/01	0.02	0.078	7.49	322	74.9	0	82%	
	Filtered	2/10/01	NA	0.075	NA	NA	NA	NA	83%		
Rajnagar Bankabarsi	KMnO4 1mg/l added										
	PS1	Raw	2/4/01	0.6	0.41	7.2	121	255	5		
		Treated	2/4/01	0	0.26	7.53	331	261	0	37%	
	PS2	Raw	2/4/01	0.4	0.49	7.15	101	276	2		
		Treated	2/4/01	0.01	0.013	7.64	328	270	0	97%	
	PS3	Raw	2/4/01	0.5	0.43	7.24	102	272	5		
		Treated	2/4/01	0.01	0.26	7.6	332	265	0	40%	
	KMnO4 1.5mg/l added										
	PS1	Raw	2/4/01	0.5	0.35	7.12	125	262	2		
		Treated	2/4/01	0.02	0.21	7.52	328	256	0	40%	
	PS2	Raw	2/4/01	0.2	0.41	7.19	94	272	2		
		Treated	2/4/01	0.06	0.25	7.62	332	275	0	39%	
PS3	Raw	2/4/01	0.6	0.44	7.31	99	271	1			
	Treated	2/4/01	0.05	0.24	7.51	336	267	0	45%		

砒素除去効果は村毎や同一村内でも、また同一の装置でも採水日時によりかなり大きく変化した。一つの大きな理由はケアテーカーやプロジェクトスタッフ毎に操作条件が異なることによる。

結果にもとづきラジュナガル・バンカバルシ村の全ての装置とポロドゥッパティラ村の2台の装置は実験を中止しケアテーカーには飲料水として使わないよう指導した。

表 7.2.5 曝気・濾過方式モニタリング結果

		処理水の砒素濃度と除去率%				
		Jan.2001	Feb. 2001	March 2001	April 2001	June 2001
Krishna Chandrapur	PS1	0.064(66%)	0.042(68%)	0.052(81%)	0.061(70%)	0.043(83%)
	PS2	0.030(51%)	0.0087(81%)	0.0057(98%)	0.01(93%)	0.04(70%)
	PS3	0.048(66%)	0.030(73%)	0.025(84%)	0.030(47%)	0.18(-)
Bara Dudpatila	PS2	0.036(64%)	-	0.029(74%)	0.067(-)	0.13(61%)

調査結果は以下のようにまとめられる。

- 1) 装置の操作条件により砒素除去効果が大きく変化する。
- 2) 水質が適し操作が適切であれば75%の除去が期待できる。従ってバングラデシュ砒素基準値以下に下げするためには0.2 mg/lが原水砒素濃度の限界である。
- 3) 高いFe<sup>2+</sup>/As比と低いCl<sup>-</sup>イオン濃度が適水質の指標である。
- 4) 化学薬品による酸化(過マンガン酸カリ)は高いFe<sup>2+</sup>濃度の水にのみ効果があった。

#### 4) 活性アルミナ装置

活性アルミナ吸着は広く用いられている方法であり文献も多い。従って実験では除去効果だけでなく破か量、すなわち吸着剤の交換期間がどれくらいか、またコミュニティでの運転操作に焦点をあてて実験を行った。

最初は各20 kg(約22リットル)の活性アルミナを使用した。As(V)に対する破か量は10,000と云われている。22リットルの吸着剤に対する破か量を10,000と仮定すると装置は220,000リットルの水を処理できる。これは1日1,000リットルの水を220間使用することと同じである。同様に破か量が倍増すれば理論的には440日間吸着剤の交換なしに水を処理できる。

表 7.2.6 活性アルミナのテストデータ

Village	Unit	Water	Date	As (field) mg/l	As (AAS) mg/l	pH	ORP (mV)	EC (mS/m)	Fe <sup>2+</sup> mg/l	As removal
Bara Dudpatila	AA	Raw	1/31/01	0.01	0.045	7.28	241	67	2	
		Treated	1/31/01	0	0.0015	7.05	235	58	0	97%
Krishna Chandrapur	AA	Raw	2/3/01	0.3	0.38	6.98	NA	127	5	
		Treated	2/3/01	0	0.083	7.39	283	117	0	78%
		Raw	2/8/01	NA	0.43	6.99	112	65(?)	10	
		Treated	2/8/01	0	0.051	7.27	152	127	0	88%
		Treated	2/17/01	0	0.035	6.72	326	126	0	92%
Rajnagar Bankabarsi	AA	Raw	1/27/01	0.9	0.42	7.19	132	262	2	
		Treated	1/27/01	0	0.088	7.45	293	128	0	79%
		Raw	2/5/01	0.7	0.36	7.32	125	226	5	
		Treated	2/5/01	0.02	0.11	7.64	330	233	0	69%
		Raw	2/6/01	0.6	0.42	7.32	100	255	1	
		Treated	2/6/01	0.01	0.18	7.57	329	255	0	57%

実験結果のまとめは以下のとおりである。

- 1) 活性アルミナは正常な水(塩分が低くECが低い水)は期待通り砒素を除去できる。
- 2) 塩分を含みECが高い水では除去効率が落ちる。
- 3) 破か量は原水の水質に依存する。さらなるモニタリングが必要である。

4) 電力供給の問題で運転が停止した。

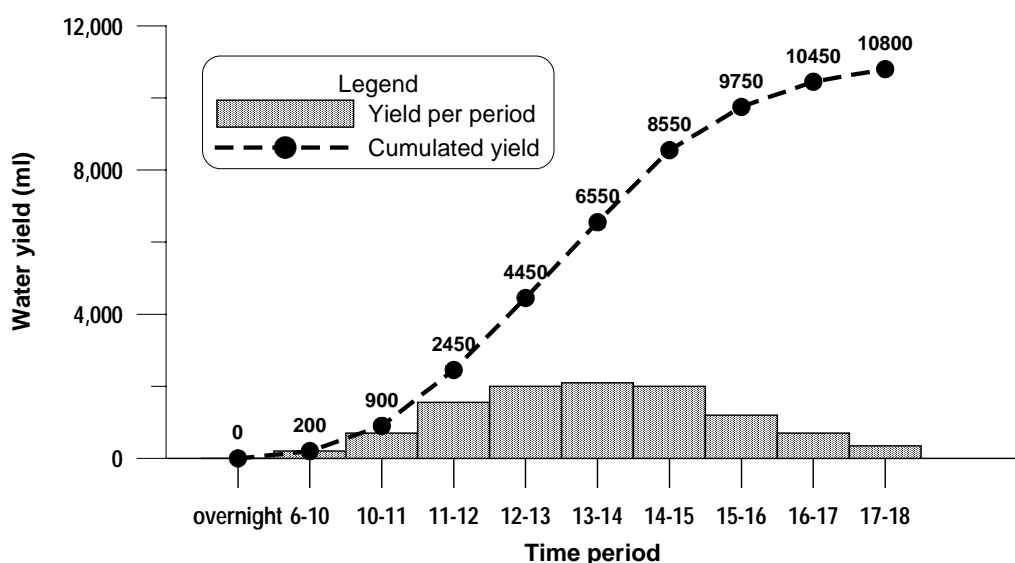
### 5) 太陽熱蒸留 (ベースン型)

太陽熱蒸留では砒素除去効果は問題ではない。理論的には全ての溶存種を除去できる(いくつかの揮発成分を除く)表 7.2.7 はボロドゥウパティラ村に於ける実験結果を示す。砒素は検出限界近くの 0.001 mg/l まで除去されている。EC の値が 71.3 mS/m から 4.38 mS/m に減少しているのも注目すべき点である。他の除去装置に共通するような他イオンの影響は問題にならない。

表 7.2.7 太陽熱蒸留 (ベースン型) のテスト結果

Unit	Water	Date	As (field) mg/l	As (AAS) mg/l	pH	ORP (mV)	EC (mS/m)	Fe2+ mg/l	As removal
SSB	Raw	2/15/01	0.6	0.099	7.32	286	71.3	2	99%
	Treated	2/15/01	0	0.0011	7	409	4.38	0	

問題は水量である。下図は各期間の産水量の棒グラフと運転期間中の水量加積曲線を示している。ボロドゥウパティラ村では約 1 日当たり 12 から 13 リットルが得られた。装置のベースン面積は 6 m<sup>2</sup> (1m x 2m basin x 3) であるので 2.0 から 2.2 l/m<sup>2</sup> の効果である。これは他の報告例とも同じ結果である。また注目すべき点は夜間にも 0.7 から 1 リットルの水が生産されていることである。カバーに溜まった水蒸気によるものである。クリシュナ・チャンドラプール村では約 11 リットルの水ができた。夜間は不明であるが二つの村の生産量はほぼ同じである。気温が上昇し太陽光が強まればさらに水量が増加すると思われる。



Basin type solar distillation unit experimental data of Feb. 17, 2001

図 7.2.2 クリシュナ・チャンドラプール村の実験結果

調査結果のまとめは次のとおりである。

- 1) 太陽熱蒸留は完全に砒素を除去するばかりでなく他の有害物質も除去できる。
- 2) ベースン型太陽熱蒸留装置は「バ」国の気候条件で約 2.0～2.2 l/m<sup>2</sup>/day を生産できる。
- 3) 装置のガラス保護と底の清掃方法を検討する必要がある。

#### 6) 真空型太陽熱蒸留装置

この装置はクリシュナ・チャンドラプール村に設置した。この装置はソーラー発電による真空装置によりパネルに入れた水の蒸留を強化する仕組みになっている。ソーラーパネル自体は太陽光の受光面積が約 1.8 m<sup>2</sup> である。これはベースン型の 30% である。

2001 年 3 月の実験結果は次のとおりである。

3 月 3 日	8.30 リットル (4.6 l/m <sup>2</sup> /day)
3 月 4 日	8.07 リットル (4.5 l/m <sup>2</sup> /day)
3 月 5 日	9.45 リットル (5.25 l/m <sup>2</sup> /day)

水量を増やすために隘路になるのは蒸留の過程ではなく凝縮の過程である。バングラデシュの気候条件では 1 段では効果がない。それでも実験結果では実質的な結果が出ている。文献によれば多段にすると 4 倍になるとのシミュレーションデータもある。もしこれが適用できれば生産水量は 20 l/m<sup>2</sup>/day が得られる。

表 7.2.8 真空型太陽熱蒸留装置のテストデータ

Water	Date	As (field) mg/l	As (AAS) mg/l	pH	ORP (mV)	EC (mS/m)	Fe <sup>2+</sup> mg/l	As removal
Raw	3/26/01	0.5	0.13	7.08	129	79.9	5.0	100%
Treated	3/26/01	0.0	<0.0005	7.82	184	0.90	0.0	
Raw	5/21/01	0.3	0.12	7.08	109	81.3	4.0	100%
Treated	5/21/01	0.0	<0.0005	7.56	397	1.25	0.0	

水質と砒素除去効果は上表に示す。表 7.2.8 から砒素除去効果は完全に 100% である。

調査結果をまとめると以下のようなものである。

- 1) 太陽熱蒸留は完全に砒素を除去するばかりでなく他の有害物質も除去できる。
- 2) 真空型は「バ」国の気候条件で 4.5～5.0 l/m<sup>2</sup>/day を生産できる。
- 3) 多段システムに改良すれば理論的には 4 倍の 18～20 l/m<sup>2</sup>/day が可能と考えられる。



### 7.2.5 評価と結論

本調査で実験した砒素除去装置について砒素除去効果、維持管理およびコストの観点から評価した結果を表 7.2.9 に示す。

砒素除去に関する限り蒸留法はほぼ完全に砒素を除去できる。活性アルミナ及び曝気・濾過法は適切な条件下では受容できる範囲の除去効果がある。維持管理についてはさらに複雑で、どの除去方法が有利であるとの結論は得られない。太陽熱蒸留は得られる水量が少量である点を除けばすべての点で有利である。一方、2段バケツ法は他の方式よりも維持管理上の問題が多い。

コストに関しては表 7.2.9 の数字に若干の説明が必要である。本調査では装置の単価は耐用年数と同様に推定値である。明らかに水 1 リットルあたりの単価は太陽熱蒸留方式が最も高い。装置の運転は利用者自身が行うと仮定しているので人件費は計上していない。活性アルミナの破過後の取り替え費用は一日あたり水量を 1000 リットルとして年間 20,000TK を計上している。また毎月の水質モニタリングの際の分析費を一試料当たり 500TK を計上している。

理想的には砒素除去装置は、使い勝手がよく、維持管理がしやすく、十分な量の水処理ができ、運転ミスや二次的な有害物質が出る危険性がなく、一貫して 0.05mg/l 以下の砒素除去ができ、モニタリングの必要性がなく、廃水に問題がなく、初期投資と運転コスト両方が経済的であり社会的に受容できるものでなくてはならない。残念ながら本調査ではバングラデシュの地方村落で使用されるという条件のもとで、これらの要件をすべて満たすことのできる砒素除去装置を特定することはできなかった。

どの技術もある観点では有利であるが他の観点では不利である。従って、現段階では、砒素除去装置は、設置するサイトの条件をよく考慮して選択しなければならない。結論として色々な条件での設置が推奨できる砒素除去方式は次の3種類である。

1. 曝気・濾過
2. 雨水集水と組み合わせた太陽熱蒸留
3. 吸着

表 7.2.9 砒素除去技術の評価

観点	No.	クワイアリア・問題点	2段バケツ	曝気・濾過	活性アルミナ	太陽熱蒸留 (バース)	太陽熱蒸留 (真空)
砒素除去効果	1.1	As(III)と As(V)の除去効果の違いは?	あり	あり	あり	なし	なし
	1.2	As(III)の除去に酸化プロセスが必要か?	あり	あり	なし	なし	なし
	1.3	連続使用による除去効果の変化は?	なし	なし	あり	なし	なし
	1.4	他の溶存イオンによる影響は?	あり	あり	あり	なし	なし
	1.6	野外試験データによる除去率	十分ではない	70-90% 適切な水質の場合	破過前では85-95%	99-100%	100%
運転維持管理	2.1	家庭又はコミュニティ? 一日当たり容量?	家庭型 20l/day	コミュニティ 400l/day	コミュニティ 1000l/day	家庭12l/day	家庭 9l/day
	2.2	毎日の運転手順・回数? 所要時間?	3 step 10-20 min.	2 step 40min.	2 step 10-20min.	1 step 20min.	4 step 30 min
	2.4	毎週、毎月の運転手順・回数	毎日バケツ及び砂の洗浄	毎週タンクと砂の洗浄	数日毎の逆洗浄	底の溜まり水を毎日流す	年一回真空ホソブ清掃
	2.5	消耗品の必要性? 何が? 何回? 潜在的な有害性?	あり KMnO4及びアルム、有害	なし	活性アルミナ 年1-2回	なし	なし
	2.6	化学薬品の必要性? 何が? 何回? 潜在的な有害性?	Yes, 毎日, KMnO4 及びアルム 有害	なし	なし	なし	なし
	2.7	廃棄物の生成? その量	少量あり gram/day	少量あり gram/day	あり 20-80kg/year	なし	なし
	2.8	モニタリングの必要性	適度に	適度に	高い	なし	なし
	2.8-1	1.3, 1.4, 1.5 が「あり」, のモニタリング必要性?	最小限毎月	最小限毎月	最小限毎月		
	2.8-2	モニタリング項目? その他のイオン?	砒素	砒素及びイオン	砒素	必要なし	必要なし
	2.9	運転上のリスク?	化学薬品の扱い、運転ミス、過剰な薬品投入などにより砒素除去できない	運転ミスにより砒素除去ができない	破過後は砒素除去できない	水量が少ない	水量が少ない
コスト	3.1	機器のコスト					
	3.1-1	一基当たりコスト	500TK	15,000TK	100,000TK	100,000TK	500,000TK
		耐用年数	3年	10年	10年	10年	20年
	3.1-2	処理水のコスト (TK/l)	0.034	0.014	0.027	2.854	1.712

3.2	運転コスト (TK/l)					
3.2-1	人件費	-	-	-	-	-
3.2-2	消耗品	0	0	0.055	0	0
3.2-3	薬品 (TK/l)	0.002	0	0	0	0
3.2-4	Power or any other utility	0	0	0.003	0	0
3.2-5	モーター油 Tk/l	0.822	0.055	0.016	0	0
3.2-6	廃棄物処分場の建設等	必要	必要	必要	必要なし	必要なし
3.3	現地材料の利用可能性					
3.3-1	機器	あり	あり	あり	あり	なし
3.3-2	消耗品	あり	-	なし	必要なし	-
3.3-3	化学薬品	あり	不明	-	-	-

### 7.3 改良型深井戸

バングラデシュの農村部で広く使われている人力井戸掘削法（ドンキー法）について掘削及びシーリング方法の改良を行った。この技術を使って地表や浅層の汚染水が深層帯水層に侵入するかどうか調査した。このため合計で3種類9本の改良型井戸をそれぞれ1セットずつモデル村落に建設した。

#### 7.3.1 改良型井戸の必要性

バングラデシュではドンキー法(深度100から200m)が井戸掘削に使われている。この方法はドンキーポンプを稼働しつつ牛糞とベントナイトから作った泥水を循環させつつロッドを回転させることで掘削する。この方法はDPHEの砒素対策としてより深い井戸の掘削にも使用されている。

井戸はスクリーンを挿入して完成する。砂、礫などをフィルターとしてスクリーン回りに充填される。砂フィルターは自然にできると考えられている。しかしケーシングと孔壁との間はシーリングされていないのでそのスペースを通して浅層地下水が深層帯水層に侵入する可能性がある(図7.3.1)。

安全な深層帯水層を利用し井戸構造による汚染を防止するにはドンキー法でシーリングを可能となるような掘削工法を確立することが必要である。



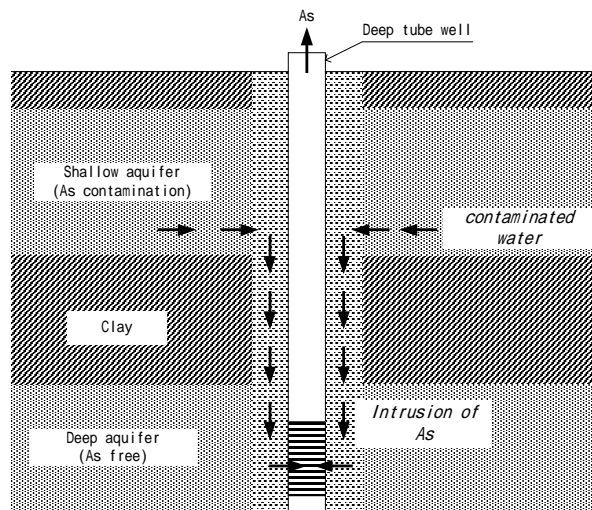


図 7.3.1 シーリングがない場合の深層の砒素汚染

### 7.3.2 改良型井戸のタイプ

次の3工法を検討した (図 7.3.2):

- a) タイプA: セメントによるシーリング.
- b) タイプB: 特別のシーリング材 (Nice seal)
- c) タイプC: メカニカルシーリング

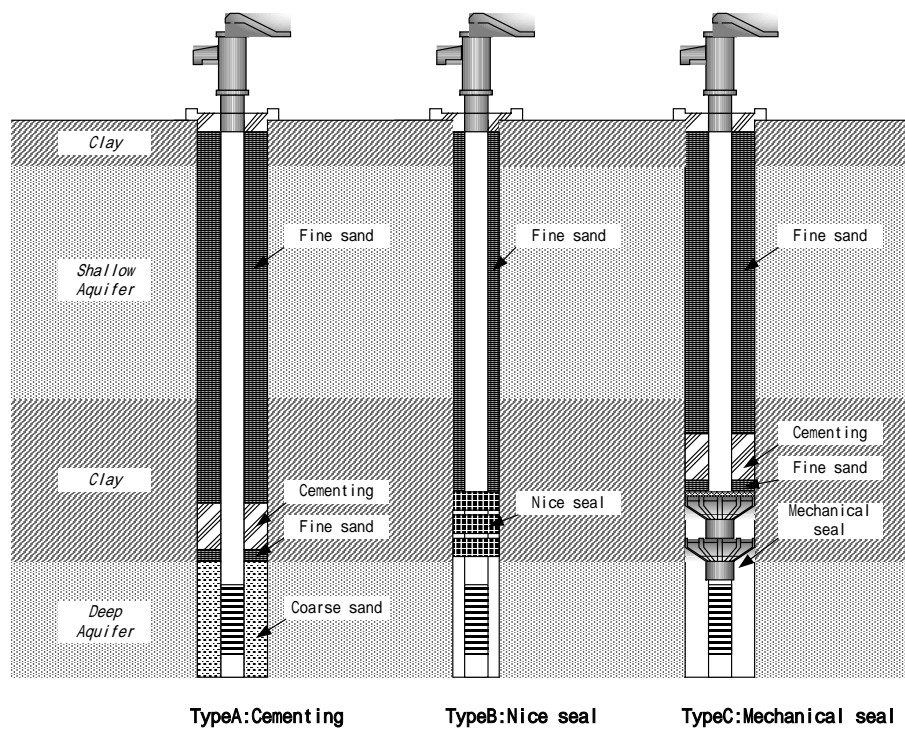


図 7.3.2 改良型井戸のシーリング方法

### 7.3.3 改良型井戸の建設工法

#### (1) 掘削器具

- |  |       |
|--|-------|
| a) ダイヤモンドチップ付きカッター (口径 90 mm 及び 150mm) | 各 1   |
| b) トレミー管 セメント用 (口径 38 mm ビニール管)        | 120 m |
| c) 比抵抗検層 (IDOPACK-10)                  | 1     |
| d) 検層ケーブル (l=200 m)                    | 1 巻き  |

#### (2) タイプ A の工法

ケーシングと孔壁との隙間は粘土層境界まで粗砂で充填する。粗砂フィルターの上部は細砂を約 0.5 m またフィルター上部から 5 m の厚さでセメントを充填する。さらに地表面まで細砂を詰める。

#### (3) タイプ B の工法

ケーシングはスクリーンの上部にナイスシールを巻く。(図 7.3.3).

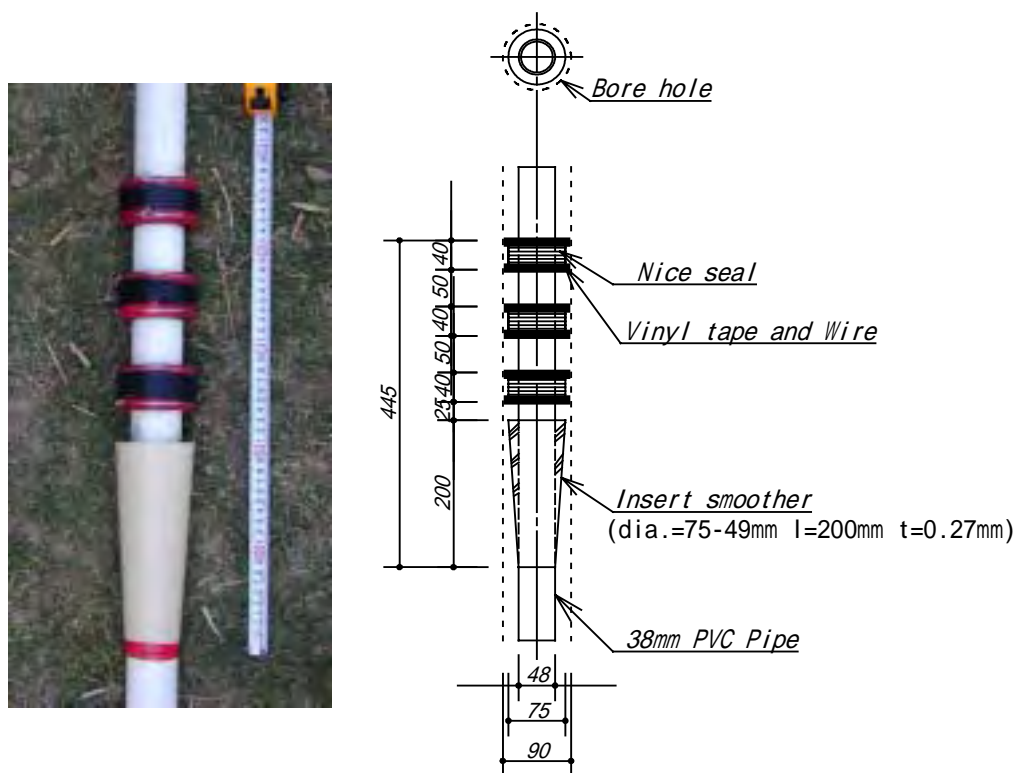


図 7.3.3 ナイスシールの巻き付け

(c) タイプCの工法

メカニカルシールを0.5m間隔でスクリーン上部に設置した。掘削孔は細砂0.5mセメント5mを充填した。

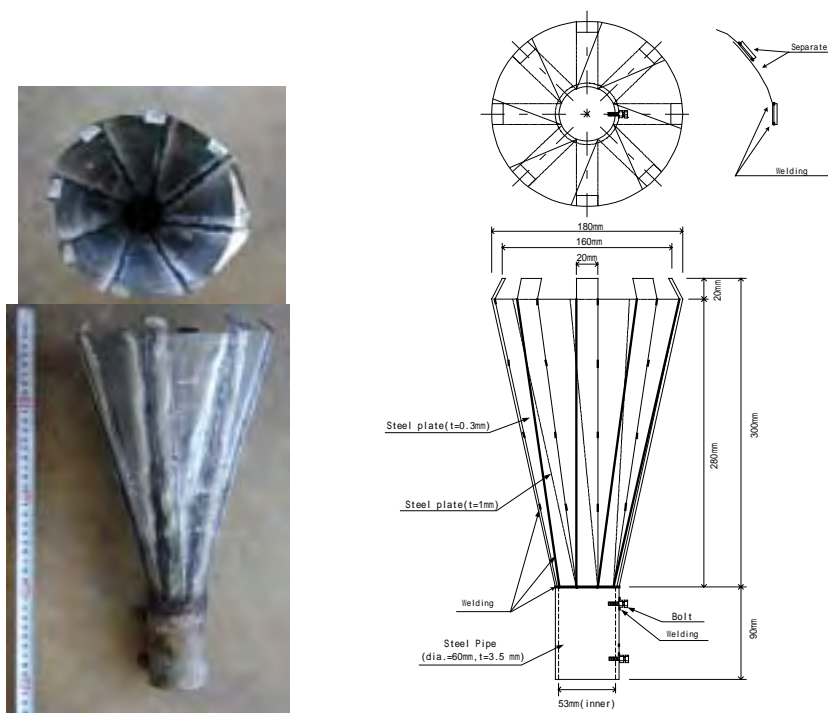


図 7.3.4 メタル - ベタル - バスケット

### 7.3.4 改良型深井戸の建設結果と評価

3種の改良型深井戸を掘削した結果工法比較を行った。結果は次表に示す。

表 7.3.1 改良型深井戸工法の比較評価

井戸タイプ	特徴			評価
<b>タイプ A</b> 	シーリング材の現調達可能性	現地調達可能		シールを注意深く行えば信頼できる工法である。
	シーリングの信頼度	セメントが地面にしっかりと付着する。自由な位置でシールできる。		
	建設の容易さ	PVC パイプには何も取り付けしていないのでパイプ挿入が容易。しかし挿入作業はゆっくりとゆすりながら行わなければいけない。		
	コスト	68,595TK	-	
	建設期間	10 - 20 日	-	
<b>タイプ B</b> 	シーリング材の現調達可能性	現地調達不可（日本から輸入）	×	×シーリング材の耐久性が未知である。建設が難しい、シーリング材を輸入する必要がある。
	シーリングの信頼度	ナイスシールの下に隙間があるため、もしナイスシールの周りの孔壁が崩れ落ちると、砒素に汚染された水の浸入が起こりうる。ナイスシールの寿命は不明。		
	建設の容易さ	ナイスシールにより、スムーズに PVC パイプを挿入できない。そのため、計画した深度にパイプを挿入できない可能性がある（調査中にも一度経験済み）		
	コスト	48,340TK	-	
	建設期間	7 - 14 日	-	
<b>タイプ C</b> 	シーリング材の現調達可能性	現地調達は可能であるが、メタル - ペタル - バスケットの作製が困難。		×タイプ C が正しくインストールされれば信頼できるが、この井戸の建設は困難が伴う。
	シーリングの信頼度	セメントが地面にしっかりと付着する。		
	建設の容易さ	PVC パイプに取り付けるメタル - ペタル - バスケットのせいで、スムーズにパイプを挿入できない。そのため、計画した深度にパイプを挿入できない可能性がある（調査中にも一度経験済み）。メタル - ペタル - バスケットと孔壁の隙間にセメントミルクが流れ込むとシーリングがうまくいかない。	×	
	コスト	70,645TK	-	
	建設期間	10 - 20 日	-	

## 7.4 代替水源

### 7.4.1 代替水源の問題点

代替水源に於ける問題点をまとめると次のようである。

#### 1) 雨水利用

調査地域の降雨量は年間 1,500~1,800 mm であるが乾期に集中する。現在雨水集水施設 (RWH) の普及が計られようとしているがその必要性についてまず住民教育から始める必要がある。

#### 2) 池

池は都市、農村地域とも多数あるが排水が流入するため大腸菌などにより汚染されている。養魚池も多く飼料や薬品が使用され水質には問題が多い。水質や利用可能性について詳しい調査を行う必要がある。

#### 3) 川、湖

川や湖は多数あるが乾期に枯れるものが多い。池ほど汚染はないと考えられているが農薬等の汚染についても考慮が必要であろう。利用のためには水質や乾期の水量について十分な調査を行う必要がある。

#### 4) 手掘り浅井戸

砒素に汚染された管井に替えて表層部の不圧地下水を取水する手掘り浅井戸の建設が NGO 等により進められている、しかし浅井戸も管井が取水している帯水層と水理的に連続していることがあり砒素に対して必ずしも安全と云えない。川や池と同様に 水質の調査が必要である。

### 7.4.2 代替水源の概要

「バ」国では主に次の3つの代替水源が建設されてきた。

1. 雨水集水 (RWH)
2. 池水濾過 (PSF)
3. 手掘り井戸

#### 1) 雨水集水 (RWH)

施設

既存プロジェクトによれば次のような施設がある。

水源: 雨水

---

貯留量:	3,200 リットル (DPHE) 515 リットル (BRAC)
建設:	コンクリート基礎、プレキャストコンクリートリング、蓋、集水 パイプ
コスト:	8,000 ~ 10,000 1 タカ (DPHE Model) 1,800 タカ (BRAC Model)

#### 施設利用

報告によれば以下の点が指摘されている。

1. 多くの住民は雨水利用を好まないし雨水利用の効果を理解しない。
2. 安全な井戸があれば雨水は利用されない。
3. 住民は雨期のみ利用する RWH に投資しない。
4. 乾期も利用するには多額の投資が必要である。

## 2) 池水濾過 (PSF)

#### 施設

砂濾過により飲料水レベルに水質を改善できる。しかし多量の大腸菌により汚染されている場合は基準値以下にするのは困難との指摘もあり煮沸が必要である。

AAN が建設した施設概要は次のようである。

水源:	池
供給水量:	1,000 リットル/時間
建設内容:	取水パイプまたはハンドポンプ、受水層、礫フィルター層、沈殿層、砂フィルター、水槽、殺菌消毒タンク、水栓

#### 問題点

レポートによれば問題点は次のようである。

1. 乾期に藻が繁殖し雨期には地表水が流入し泥水になる。
2. バクテリア類が検出される
3. PSF に適する池が少ない。住民は養魚池に関心を示す
4. 乾期に枯渇する
5. 伝統的に池水は調理用に使われている
6. 多くの住民は井戸水を好む
7. 虫やさそりが PSF にいて使用をためらう
8. 乾期には臭いがするため使用しない

### 3) 手掘り井戸

#### 施設

現在建設が進められている施設は改良され蓋とハンドポンプを設置している。

#### 問題点

1. 一般に大腸菌などに汚染されている。
2. 乾期に水位が低下し枯渇する。
3. DCH や BRAC のレポートでは砒素の汚染はないが浅層帯水層につながっているため潜在的危険性があると指摘している。

### 7.4.3 代替水源開発調査

代替水源開発案は各村落の利用可能な水源について年間を通じての利用が可能かなど実態を良く把握して実施すべきである。また、水質の改善方法について調査に基づき事前の検討を行う。施設建設後は安全性についての定期的なモニターも必要である。さらに住民に対し施設の必要性や利用方法、衛生改善について十分な啓蒙活動と話し合いによる理解が必要である

## 第8章

# 砒素汚染メカニズムと 深層帯水層の開発評価

要約



## 第8章 砒素汚染メカニズムと深層帯水層の開発評価

### 8.1 水文地質構造と汚染メカニズム

#### 8.1.1 砒素原因層

「バ」国では地層の砒素含有量は一般に 1 から 30 mg/kg (= ppm) といわれている。例えばジェソール県シャムタ村では深度 15m 以内のピート層を除く泥層や砂層は 0.7 から 0.23 mg/kg を示している。DPHE が行った 21 サンプルの分析によれば平均は 4 mg/kg であり 0.4 から 10 mg/kg を示している。同様にヴィエトナムの紅河デルタでは深度 12~40 m の堆積物中の砒素含有量は褐色ないし黒色粘土で 6 から 33 mg/kg、灰色粘土で 2 から 12 mg/kg、褐色ないし灰色砂で 0.6 から 5 mg/kg を示している。堆積物の砒素含有量が 30 mg/kg 以上の場合を砒素原因層とすると、そのような堆積物はチュアダングアの CH-2 及び CH-BD サイト、ジェソールの JS-2 及び JS-RB サイトで見られる。一方、コアボーリング結果によればジェナイダの JH-及び JH-KC サイトでは 30 mg/kg 以上の堆積物はなかった。

チュアダングアの CH-2 サイトでは砒素原因層は シルト・粘土 (207.50~207.72 m, 117.26 ppm), 細砂・中砂 (228.00~228.70 m, 51.20 ppm), 及び極細砂・シルト (244.74~245.17 m, 35.39 ppm)で認められた。この地点では砒素原因層は深度 200~250 m の深い部分にある。言い換えれば D 層及び E 層から検出された。

チュアダングア県 ボロドウドウパティラ村の CH-BD サイトでは砒素原因層は、粘土質シルト (111.65~111.85 m, 42.71 ppm), 粘土質シルト (228.50~229.00 m, 93.57 ppm), 及び 極細砂 (290.00~290.40 m, 47.09 ppm)で検出される。この地点では 110 m から 230~290 m の中間及び深層部、つまり C 層と E 層で見つかっている。

ジェソール・ポルシャバの JS-2 サイトでは ピート層 (8.40~8.60 m, 56.55 ppm; 9.15~9.30 m, 45.00 ppm), 粘土 (13.00~13.50 m, 46.86 ppm; 14.00~14.45 m, 46.87 ppm), ピート質シルト (14.45~14.78 m, 63.15 ppm), シルト質粘土 (15.35~15.80 m, 35.11 ppm), シルト質粘土 (18.00~18.50 m, 41.52 ppm) 及び ピート質シルト (19.08~19.18 m, 50.70 ppm)。この地点では砒素原因層は 8~20 m の浅い深度で検出された。この層は A 層上部に当たる。

ジェソール県ラジュナガール・バンカバルシ村の JS-RB サイトでは砒素汚染層は、ピート(8.00~8.21 m, 57.12 ppm), シルト(254.54~254.91 m, 67.61 m) 及び粘土質シルト(256.23~256.66 m, 60.22 ppm)で検出された。この地点では、砒素原因層は 8 m から 255 m の浅層及び深層、つまり A 層上部と E 層にある。

6ヶ所のコアボーリング孔掘削地点(ポルシャバ 3 地点、モデル村落 3 地点)は浅層地下水の汚染地点に選定した。しかし浅い砒素原因層は JS-2 と JS-RB の 2ヶ所だ

けである。一方、中間深度 (100 ~ 200 m) と深い深度 (200 ~ 300 m) は3ヶ所である (CH-2, CH-BD 及び JS-RB)。

バングラデシュにおける過去の調査では高い濃度の砒素含有量は 100 m 以内の浅層で検出されている。しかし、今回調査により浅層のみならず 100 ~ 300 m の深層にも砒素原因層があることが分かった。

### 8.1.2 砒素原因層と水文地質構造

調査地域で検出された砒素原因層は粘土、シルト、PEAT、極細砂、細砂など細粒堆積物からなる。水文地質的観点からはこれらの地層は“半透水層”または“難透水層”に区分される。これら“半透水層”または“難透水層”は堆積物の透水性が低い地下水を通すことができる。しかし帯水層との透水係数の差が大きく、上部帯水層と下部の帯水層を分離する役目を果たしている。

調査地域の水文地質構造から見て重要な地層は C 層粘土層である。この層は調査地域南部で深層帯水層と浅層帯水層を分離している。粘土層は半透水層として挙動する。この層の広がりや厚さ、透水係数は三次元的な地下水流動を規制する重要な要素である。ケシャプール・タナのラジュナガール・バンカバルシ 村のコア分析では半透水層の砒素濃度は 5 ~ 10 ppm, であり砒素原因層ではない。

調査地域では現在、地下水を汚染している「活動的な」原因層は浅層部にある。粘土層やとくにPEAT層は JS-2 と JS-RB サイトで 30 から 60 ppm の砒素濃度をしめしている。シャムタ村の例でも浅層の有機質泥層は 47 ~ 262 mg/kg を示した。浅層の泥層は半透水層として不圧帯水層と被圧帯水層を分離している。シャムタ村では不圧帯水層が乾季の終わりに枯渇しても雨季の水位は 0.5 m ほど被圧帯水層より高い。

水文地質的観点からは浅層の沖積粘土は際だった物理特性がある。つまり粘土層は未圧密であり透水係数は過圧密粘土に比べ透水性が高い。また軟弱粘土層中ではとくにPEATの圧縮係数と比貯留量が大きいことが知られている。これらの特徴から粘土層またはPEATは荷重がかかると多量の間隙水を排出する。言い換えれば、浅層の粘土やPEATは深層の粘土よりも絞り出し量が多いと考えられる。砒素原因層と水文地質構造の関係では、粘土層やPEAT層の広がりや厚さが重要な要素である。

### 8.1.3 汚染メカニズム

調査地域の地下水砒素汚染実態の広がりや汚染の程度は大スケール(3県)と小スケール(モデル村落)で理解される。また原因層は浅層だけでなく深層にも存在する。詳しい汚染メカニズム、とくに砒素の地下水への溶出については本調査の範囲外であり詳しい検討はできない。しかし、本調査では溶出後の砒素汚染地下水の流動につい

ては示唆することができる。

### 1) 砒素汚染原因層の分布

すでに述べたように、浅層の砒素は現在、活動的であると考えられる。これは地下水砒素汚染が浅層で高く、深層で低いことから明らかである。さらに地下水砒素汚染の水平的分布を見ると浅層の砒素原因層は均一に分布していない。汚染は主に調査地域の西側で多い。さらに、モデル村で見ると、同一村内でも地下水の砒素濃度分布は変化しており小さな範囲でも砒素原因層は均一に分布していない。このような砒素汚染地下水の不規則な分布はジェソールのシャムタ村や チュアダンガの ボロドウドゥパティラ 村、ジェナイダのクリシュナ・チャンドラプール村などで認められる。一方スクリーニング調査を行ったケシャプールの 16 モザヤラジュナガール・バンカバルシ村では ほとんど均一の地下水汚染が見られることから、砒素原因層も均一に分布することが示唆される。

従って、浅層の砒素原因層は地質及び地形に規制されているものと推定される。ガンジスデルタの 堆積環境やその歴史、デルタの発達についてさらなる研究が望まれる。

### 2) 砒素の溶出

調査地域の砒素汚染地下水は低い Eh と高い鉄濃度で特徴づけられる。このことは鉄水酸化物の解離と鉄及び砒素の地下水への溶出を示唆している。一方黄鉄鉱はコアサンプルの肉眼観察では認められない。

したがって砒素汚染メカニズムとしての黄鉄鉱酸化説は受け入れにくい。地下水の硫酸イオン濃度が低いこともこの考え方を支持している。現時点では、水酸化物の還元による砒素の溶出がもっとも可能性のありそうな仮説である。しかしながら、この考えは他のメカニズム、すなわち鉄水酸化物において燐と砒素の置換が起こるという考え方を除外するものではない。また、鉄酸化物への砒素の吸着に先立って黄鉄鉱の酸化が起きる可能性を除外するものではない。

### 3) 砒素の輸送・移動

砒素の地下水への溶出後、砒素汚染地下水は地下水流動に沿って移動する。人間活動による揚水がない自然条件では、ガンジスデルタや調査地の地形勾配から見て地下水流動速度は極めて遅いと考えられる。しかしながら、井戸により地下水が揚水されると自然の地下水流動システムは攪乱される。

1980 年代から地下水利用、とくにかんがい用の地下水利用が増大したと言われていたが、バングラデシュでは未だその量は明らかではなかった。本調査では 1983 年か

ら 2000 年までのかんがい用揚水量を種々のデータを使い推定した。その結果 1983 年の揚水量 670.4 MCM/year にたいし 2000 年にはその 4.5 倍に達する 3,016.0 MCM/year が揚水されていることが分かった。またかんがい揚水量は全体の 98.9% を占め生活用水はわずかに 1.1% にすぎない。

このような多量の地下水揚水が調査地域の環境に与えた影響は小さくないであろう。BWDB の地下水位記録によると地下水位の低下傾向が読みとれる。とくに乾季の地下水位低下は年々大きくなっている。

揚水された地下水の一部は地中に浸透し地下水体に戻ると考えられるが浅層地下水の循環が加速されることで地下環境における物理化学条件の変化が起きている。従って、かんがい用地下水揚水量の増大が地下水条件に影響を与え地下水の砒素汚染を引き起こしたことが示唆される。

## 8.2 地下水砒素汚染のシミュレーション

### 8.2.1 地下水シミュレーションの目的

本調査における地下水シミュレーションの重要な目的の一つは、砒素汚染地下水の挙動をコンピュータの上でシミュレートすることである。現時点において砒素の溶出メカニズムの詳細は明らかではないが、砒素汚染地下水の挙動は物質輸送条件をいくつか仮定して模擬できる。シミュレーションのもう一つの目的は、異なる地下水揚水条件のもとで地下水位と砒素汚染の将来予測を行うことである。とくに、将来深層地下水が広域で開発された場合、現在の地下水流動系が攪乱され、現在は安全な深層地下水も汚染される可能性があるからである。地下水シミュレーション解析により、将来の地下水位（被圧水頭）の分布や砒素汚染地下水の分布を予測することができる。

### 8.2.2 方法

本調査では水文地質条件に基づき 3 種類の地下水シミュレーションモデルを作成した。地下水流動と砒素汚染地下水の挙動をシミュレートするため、MODFLOW と MT3D プログラムを使用した。作成したシミュレーションモデルと使用したプログラムを表 8.2.1 に示す。

表 8.2.1 作成したシミュレーションモデルと使用したプログラム

モデルの名称	使用したプログラム	目的
断面二次元局所モデル	Visual MODFLOW および MT3D	村落スケールでの局所的地下水流動や砒素汚染パターンをシミュレートするため
三次元広域モデル	MODFLOW, MT3D	広域的な三次元の地下水流動や砒素汚染地下水の挙動をシミュレートするため
断面二次元広域モデル	MODFLOW, MT3D	広域的な断面二次元の地下水流動や砒素汚染地下水の挙動をシミュレートするため

### 8.2.3 断面二次元局所モデル

#### 1) 目的

本調査では、チュアダンガ県、ジェナイダ県およびジェソール県の3つのモデル村落において、AAS を使用して既存井戸すべての地下水中の砒素濃度を測定し、砒素汚染マップを作成した。その結果、チュアダンガ県ボロドゥウパティラ村やジェナイダ県クリシュナ・チャンドラプール村では、同じ村落内で砒素濃度が大きく変化することが明らかになった。これらの村落では、浅い管井戸の砒素濃度がある場所では 0.01 mg/l 以下であるのに、同じ村落の別の場所では 0.5 mg/l を超えている。既存の浅井戸はほとんど同じ深度を有し、同一の帯水層から取水しているにもかかわらず、0.01 mg/l 未満の非汚染地域と 0.5 mg/l 以上の高濃度汚染地域がわずか 50 m ほどの距離で接している場所もあった。

そこで、実際の汚染地下水の分布状況や、異なる水文地質条件での砒素汚染地下水の分布と移動を考察するために、断面二次元局所モデルを作成した。

#### 2) 水文地質モデリング

断面二次元局所モデルは、モデル村落やシャムタ村の地質条件に基づき設定した概念的なモデルである。典型的な砒素汚染地下水の挙動パターンを見るために、水文地質構造は簡略化して設定した。

モデル化した領域は、水平方向に 500m、垂直方向に 300m の範囲とした。水平方向ではモデルのセルは 5 m ずつの長さを持ち、垂直方向では各セルが 5 m の厚さをもつように設定したので、モデル領域全体は  $100 \times 60 = 6,000$  セルから構成されることになる。

モデルでは、各地層の上面と下面の標高は、仮定した水文地質条件に対応して設定した。また、すべての層について帯水層条件は、「不圧 / 被圧条件(透水量係数が一定)」とした。比貯留量は一律に  $0.0001\text{m}^{-1}$  を与えた。また、有効空隙率 (= 0.2)、総空隙率 (= 0.25)、比浸出量 (= 0.2) も一律に与えた。各層の水平方向の透水係数 ( $kh$ )

は設定した水文地質条件をもとに与え、垂直方向の透水係数 ( $k_v$ ) は  $kh$  の 1/5 と設定した。初期水頭はすべてのセルにおいて 0m を与えた。地下水かん養量はモデル計算を主に定常計算で行うので入力せず、かわりにモデルの最上部のセルに固定水頭境界を与えた。

MT3D プログラムを用いた物質輸送計算では、初期砒素濃度を一律に  $10 \mu\text{g/l}$  ( $= 0.01\text{mg/l}$ ) とした。移流計算には、ハイブリッド特性曲線法 (HMOC) を使用した。縦方向の分散能係数は 5.0m とし、水平方向と縦方向の分散能係数の比は 0.1 とした。また、垂直方向と縦方向の分散能係数の比は一律に 0.01 とした。物質輸送シミュレーションでは、分子拡散係数は 0.0 とみなした。また、化学反応やイオン交換、吸着は起こらないものと仮定した。

### 3) Case-01 シミュレーション

局所的な地域における自然状態での地下水流動を検討するために Case-01 シミュレーションを実施した。この場合、地下水流動は地形条件による地下水位の差により発生すると仮定した。固定水頭境界をモデルの最上部に与え、村落の中央部では周囲の水田地域よりも地下水位がわずかに高いと設定した。モデルの境界条件と入力したパラメータは、図 8.2.1 (a) に示すとおりである。

まず、MODFLOW プログラムにより地下水流動の定常計算を行った。計算水頭と流動ベクトルを図 8.2.1 (b) に示すが、浅層部の粘土層は他の地層よりも小さな透水係数を有するため、大部分の水頭等値線はその粘土層中に集中している。シミュレーション結果から、固定水頭境界で与えた水頭ポテンシャルの差により局所地下水流動が発生することが理解される。地下水は地下水頭の等ポテンシャル線に直交するように、村落の中央部から周囲の水田に向かって流動する。

つぎに、定常計算による計算地下水流動をもとに、50 年間の計算期間について物質輸送シミュレーションを行った。図 8.2.2 に物質輸送計算期間中の砒素汚染濃度を示す。浅層部の粘土層の直上に砒素原因層を設置したので、最初の 1 ~ 2 年は汚染された地下水はまず水平方向に移動する。5 年後には村落の中央部の汚染水は粘土層を通り抜け、粘土層の下位に分布する細粒砂層に到達する。しかし、汚染水の流動方向は細粒砂層に入ると横向きとなり、周囲の水田に向かって上昇するようになる。最初に下向き、次に横向き、そして上向きという流動パターンは、20 年後には明瞭に認められる。浅層部の汚染水は、最終的には周囲の水田に到達する。汚染水の分布パターンは 40 年後にはほぼ安定する。汚染プルームの最下部は標高 - 100m 付近に達するが、標高 - 105m 以下に分布する粗粒砂層には入り込まない。深層部では、深層の砒素原因層からの汚染水は 50 年後でも砒素原因層の近くに分布するだけである。井戸

による揚水がない自然状態では、深層部の汚染地下水の動きは極めて遅いと判断される。

#### 4) Case-02 シミュレーション

かんがい用井戸がある場合の地下水流動と汚染された地下水の挙動を検討するために Case-02 シミュレーションを実施した。2本のかんがい用井戸が水田に設置され、それぞれ 1,000 m<sup>3</sup>/day で地下水を揚水するものと設定した。この2本のかんがい用井戸は、主帯水層 (= 粗粒砂層) から揚水するものと仮定した。モデルの境界条件と入力したパラメータは、図 8.2.3 (a) に示すとおりである。

まず、MODFLOW プログラムにより地下水流動の定常計算を行った。計算水頭と流動ベクトルを図 8.2.3 (b) に示すが、井戸による揚水により標高約 - 5.7mの被圧水頭の低下部が形成され、地下水はこの水頭低下部に向かって流動する。流動ベクトルをみると、浅層部の細粒砂層や中粒砂層では地下水の流動方向はほとんど下向きであるが、粗粒砂層中では横方向の流動が卓越する。

つぎに、定常計算による計算地下水流動をもとに、50年間の計算期間について物質輸送シミュレーションを行った。図 8.2.4 には、1年目から50年目までの計算砒素汚染濃度を示す。浅層部では汚染地下水はまず垂直方向の地下水流動に沿って移動する。5年後には汚染プルームは粗粒砂層に到達する。汚染水の流動方向は粗粒砂層中に入ると横方向に曲がり、かんがい用井戸のスクリーンに向かって移動する。10年後には汚染地下水は井戸のスクリーンに到達する。しかし、揚水された井戸水の砒素濃度は、井戸内に流入する汚染水と粗粒砂層中の非汚染水が混合することにより、500 µg/l 以下であると予測される。浅層部の砒素原因層に由来する汚染地下水の分布パターンは、20年後にはほぼ定常状態になる。しかし、汚染プルームの形状は場所ごとに異なる。深層部の細粒砂層中の汚染地下水の動きは、浅層部と比較して極めて遅い。ここでも汚染プルームの形状は場所により異なり、村落中央部の汚染地下水は主に下方に移動するが、集落の周辺部では水平方向に移動し、周囲の水田地域では上向きに移動する。深層部の汚染地下水の最大移動距離は、設定したモデル条件で50年間に約70mと予測される。

シミュレーションの結果、浅層部の細粒砂層中や中粒砂層中では50年経過しても地下水中の砒素濃度に大きなばらつきがあると予測され、浅層部の砒素原因層の下位では砒素濃度が高く、そのすぐ近傍では汚染されていない地下水が存在する。このシミュレーション結果は、本調査地域の農村部、例えばシャムタ村やボロドゥウパティラ村、クリシュナ・チャンドラプール村における実際の浅層部地下水の砒素汚染状況とよく合っている。また、かんがい用井戸により揚水される地下水中の砒素濃度はあ

まり高くないという計算結果は、かんがい用井戸が砒素汚染水だけでなく浅層部からの砒素原因層を通過しないで流入する非汚染水や深層部からの砒素汚染水を一緒に揚水して混合するためであると説明できる。これとは対照的に、もし、浅い管井戸が浅層部の砒素原因層の直下のスクリーンから地下水を揚水する場合には、砒素原因層を通過した汚染地下水が非汚染水と混合することなくそのまま揚水されるので、得られる地下水は高濃度の砒素に汚染されたままの状態であると予測される。一方、深層部では、50年経過しても汚染された地下水は深層部砒素原因層の近傍にしか分布しないと予測される。また、汚染水の流動方向は、砒素原因層の位置により場所ごとに異なる。シミュレーションの結果、たとえ深層部の砒素原因層の砒素含有量や溶出条件が浅層部の原因層と同じであったとしても、Case-02で設定した条件のもとでは、深層帯水層の砒素汚染の程度や拡がりは浅層部に比べてかなり小さいと推測される。

### 5) Case-03 シミュレーション

Case-03 シミュレーションは、村落内に生活用深井戸が新たに1本設置された場合の地下水流動と汚染された地下水の挙動を検討するために実施された。生活用深井戸の揚水量は $200 \text{ m}^3/\text{day}$ と設定した。かんがい用井戸は、Case-02と同じ条件で村落の周囲の水田に設置され地下水を揚水するものとした。生活用深井戸は深層部の細粒砂層中の標高 - 260 ~ - 280mにスクリーンをもつものと仮定した。モデルの境界条件と入力したパラメータは、図 8.2.5 (a) に示すとおりである。

まず、MODFLOW プログラムにより地下水流動の定常計算を行った。計算水頭と流動ベクトルを図 8.2.5 (b) に示すが、生活用深井戸のスクリーン付近に小規模な被圧水頭の低下部が形成されるものの、地下水の大部分は既存のかんがい用井戸のスクリーンに向かって流動する。かんがい用井戸のスクリーン付近での計算被圧水頭は - 6.1m程度であり、生活用深井戸のスクリーン部での被圧水頭は約 - 6.2mと予測される。

つぎに、定常計算による計算地下水流動をもとに、50年間の計算期間について物質輸送シミュレーションを行った。図 8.2.6 には、1年目から50年目までの計算砒素汚染濃度を示す。物質輸送シミュレーションの結果、浅層部の砒素原因層からの汚染水は、50年経過しても生活用深井戸のスクリーンに達しないことが判明した。また、生活用深井戸から揚水された井戸水中の砒素汚染濃度は、深層地下水の流速が遅く、しかも汚染水と非汚染水が混合するため、それほど高くはならないと予測される。浅層部では、汚染地下水はまず垂直方向の地下水流動に従って下方に移動する。10年後には汚染プルームはかんがい用井戸のスクリーンに到達する。浅層部の汚染地下水は、20年後から50年後にかけても主にかんがい用井戸の揚水により形成された被



圧地下水頭の低下部に向かって流動する。浅層部の汚染プルームの一部はわずかに下方に移動するが、50年経過してもそれは生活用深井戸のスクリーンに到達しない。深層部では、汚染された深層地下水はゆっくりと生活用深井戸により形成された水頭低下部に向かって移動する。10年後には、生活用深井戸のスクリーンから30~50m離れたところに位置する深層砒素原因層からの汚染水がスクリーンに到達する。しかしながら、50年経過しても深層汚染地下水の最大移動距離は140m程度である。このシミュレーションの結果、深井戸からの揚水量が限定される場合には、浅層部の砒素汚染水は深井戸に到達しないことが明らかになった。また、生活用深井戸から揚水される地下水中の砒素濃度は、深層汚染地下水の移動が遅いことと、この深井戸には浅層部からの非汚染地下水も流入して汚染地下水と混合するために、それほど高くないと予測される。

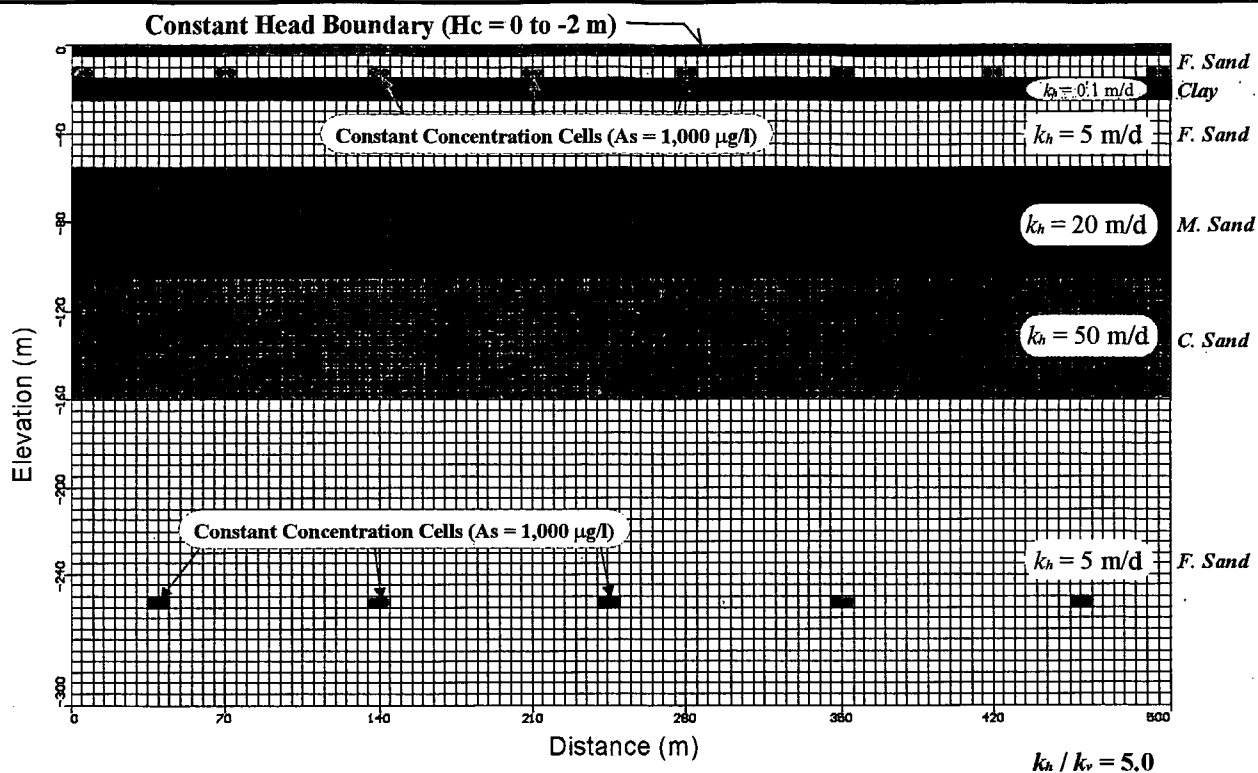
#### 6) Case-04 シミュレーション

Case-04 シミュレーションは、Case-03 で設定したモデル条件に、新たにかんがい用深井戸が1本追加された場合の地下水流動と汚染された地下水の挙動を検討するために実施された。かんがい用深井戸の揚水量は $1,000 \text{ m}^3/\text{day}$ と設定した。既存のかんがい用井戸2本と生活用深井戸1本の揚水条件は、Case-03 と同じであると設定した。モデルの境界条件と入力したパラメータは、図8.2.7(a)に示すとおりである。

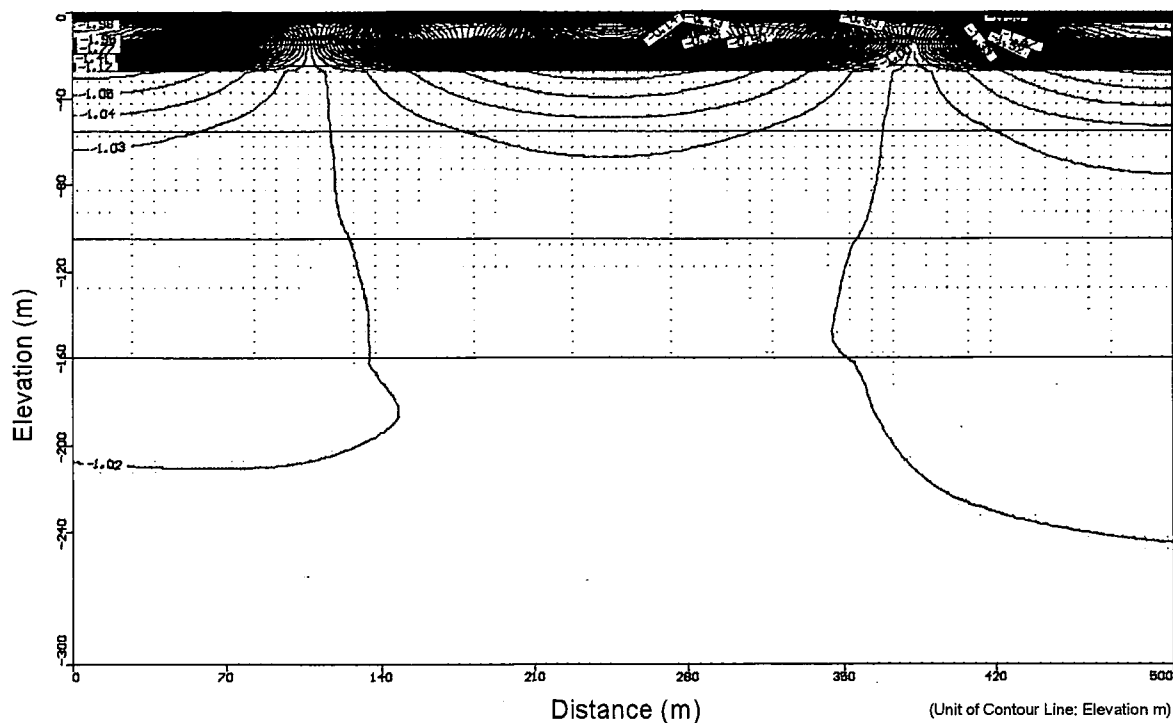
まず、MODFLOW プログラムにより地下水流動の定常計算を行った。計算水頭と流動ベクトルを図8.2.7(b)に示すが、かんがい用深井戸の揚水により、深層部に大きな被圧水頭の低下部が形成される。一方、Case-03 シミュレーションで生活用深井戸のスクリーン付近にみられた水位低下部は、かんがい用深井戸からの揚水量がはるかに大きいために消滅する。このケースでも、ある程度の地下水は既存のかんがい用井戸に向かって流動するが、それ以外の地下水はかんがい用深井戸のスクリーンに向かって流動する。既存のかんがい用井戸のスクリーン付近での被圧水頭は約 $-8.4\text{m}$ であるが、かんがい用深井戸のスクリーン付近での水頭は約 $-9.2\text{m}$ である。

つぎに、定常計算による計算地下水流動をもとに、50年間の計算期間について物質輸送シミュレーションを行った。図8.2.8には、1年目から50年目までの計算砒素汚染濃度を示す。シミュレーションの結果、20年後には浅層部からの砒素汚染水はかんがい用深井戸に流入するようになり、30年後には深層地下水の大部分が砒素により汚染されると予測される。砒素汚染地下水の分布パターンは40年後にはほぼ安定する。この結果から、かんがい用深井戸の揚水のインパクトは非常に大きく、その多量の揚水は既存の地下水流動パターンを完全に攪乱してしまう。設定したかんがい用深井戸からの揚水量は既存のかんがい用井戸と同じ揚水量( $= 1,000 \text{ m}^3/\text{day}$ )である

が、かんがい用深井戸により形成される被圧水頭低下部の計算水頭は、深層部の細粒砂層の透水係数が粗粒砂層のそれよりも小さいために、より低くなると予測される。このシミュレーション結果は、無秩序な深層地下水の開発は現在の地下水流動系を完全に破壊してしまい、深層地下水が浅層部からの汚染地下水の侵入により汚染されてしまう恐れがあることを示している。一方、Case-03 シミュレーション結果が示すように、深層地下水の揚水量が限定される場合には、深層地下水は浅層部からの汚染の影響を受けないと予測される。このように、深層地下水を開発する場合には、水文地質条件や既存の地下水揚水量を含む地下水収支のバランスを考慮して、深層地下水の許容揚水量を見積もることが極めて重要である。



(a) 断面二次元局所モデルの条件



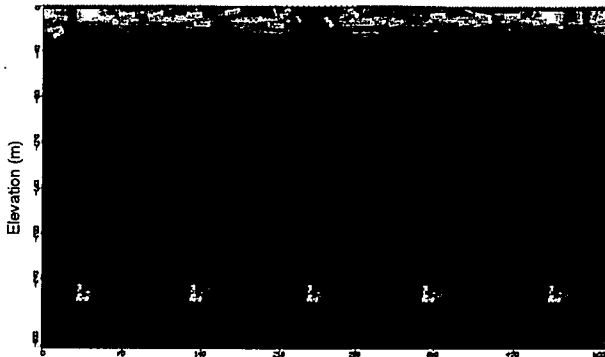
(b) 定常計算による計算被圧水頭

図8.2.1

モデル条件と計算被圧水頭  
(Case-01、井戸なし)

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

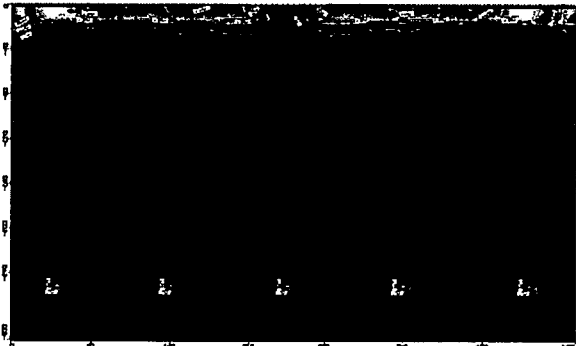
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)



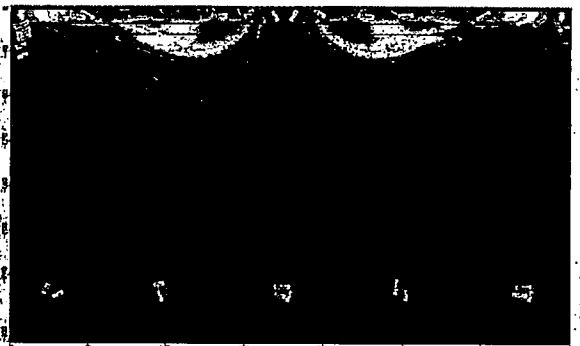
(a) Simulated Concentrations after 1 Year



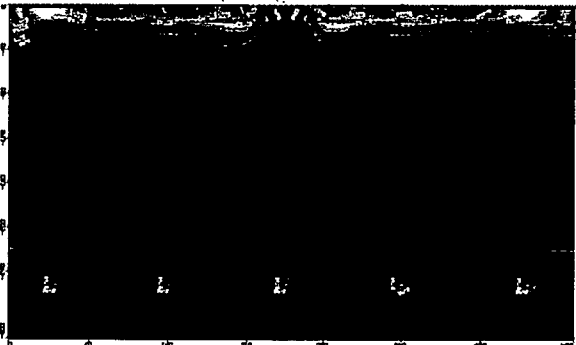
(e) Simulated Concentrations after 20 Years



(b) Simulated Concentrations after 2 Years



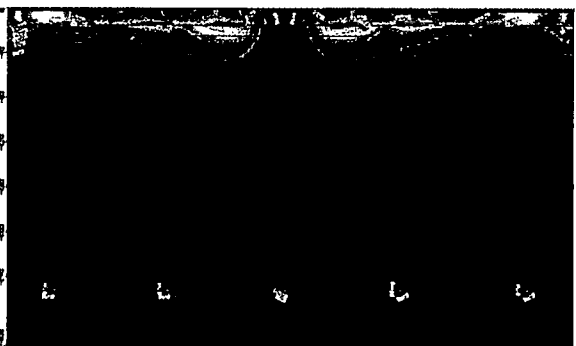
(f) Simulated Concentrations after 30 Years



(c) Simulated Concentrations after 5 Years



(g) Simulated Concentrations after 40 Years



(d) Simulated Concentrations after 10 Years



(h) Simulated Concentrations after 50 Years

Simulated As Concentration  
in Groundwater



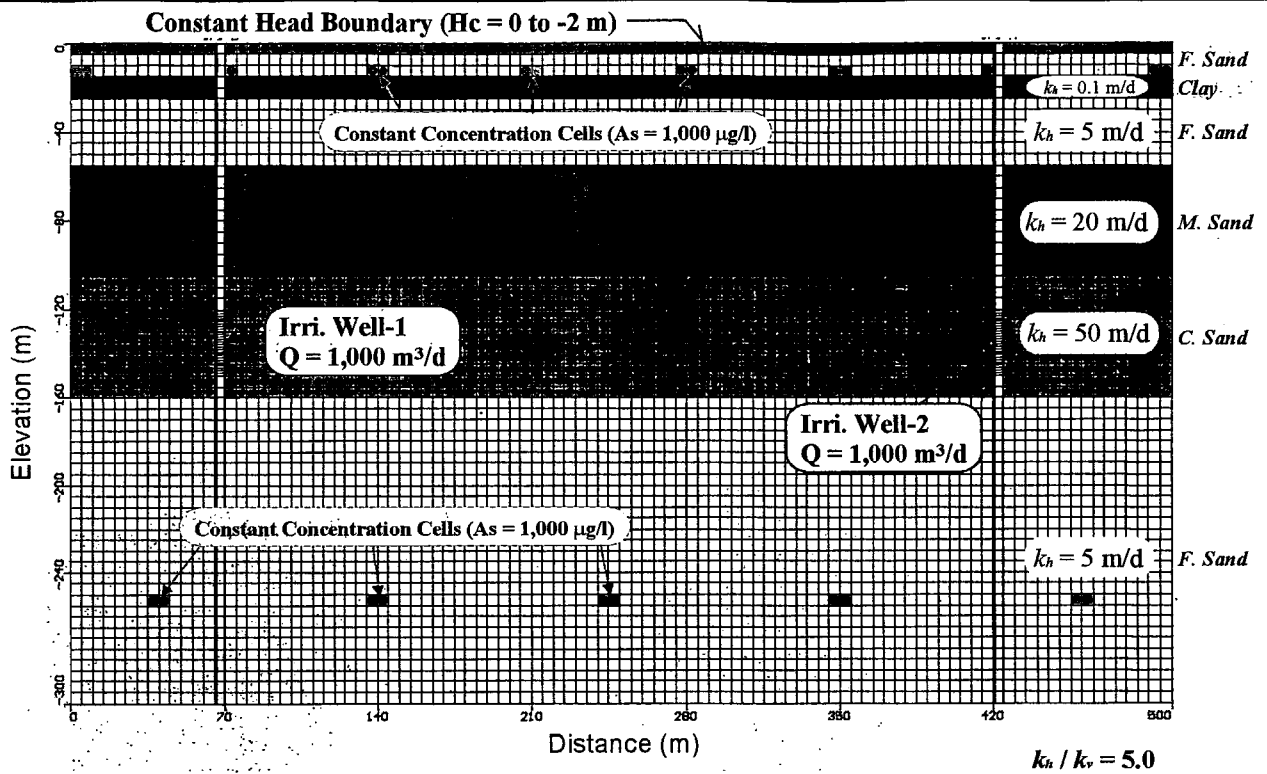
(Unit:  $\mu\text{g/l}$ )

図8.2.2

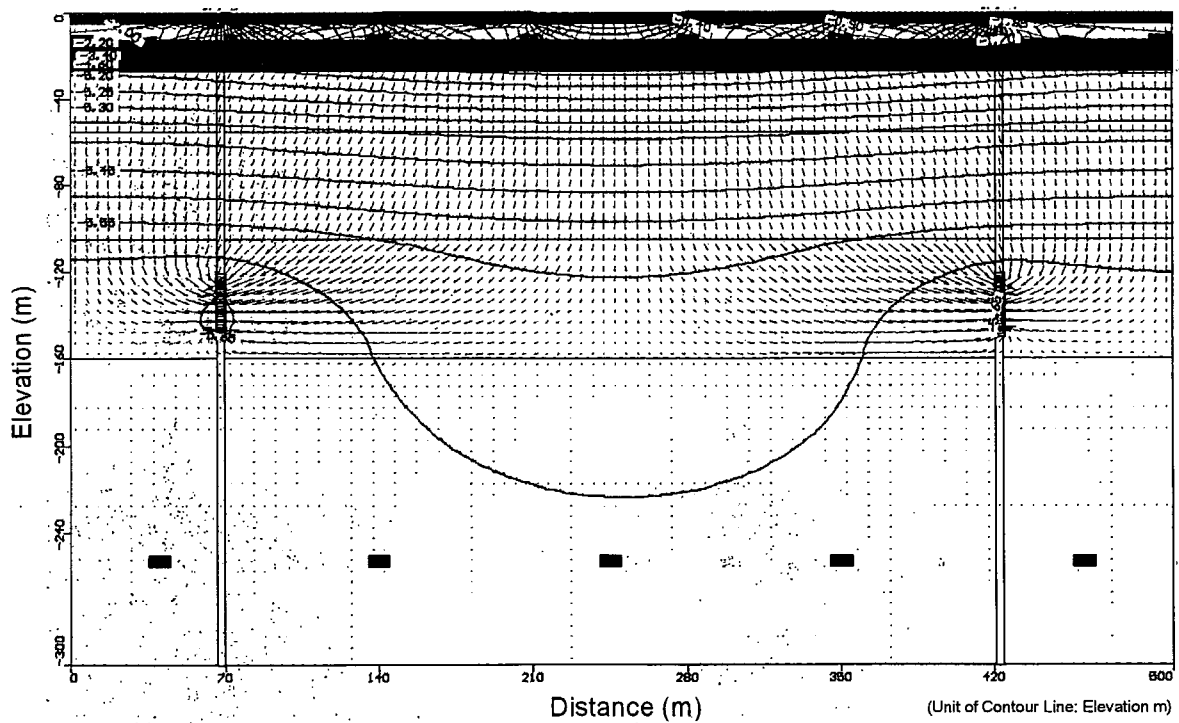
計算砒素濃度  
(Case-01、井戸なし)

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) 断面二次元局所モデルの条件



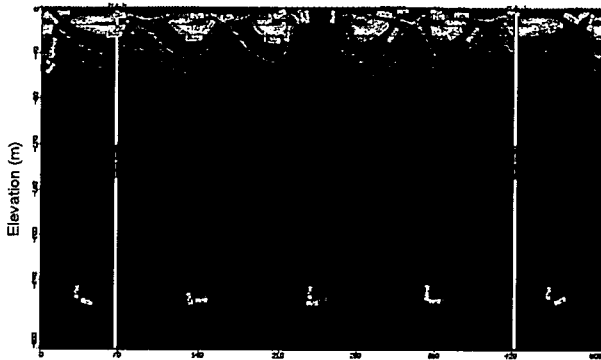
(b) 定常計算による計算被圧水頭

図8.2.3

モデル条件と計算被圧水頭  
(Case-02、かんがい用井戸)

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

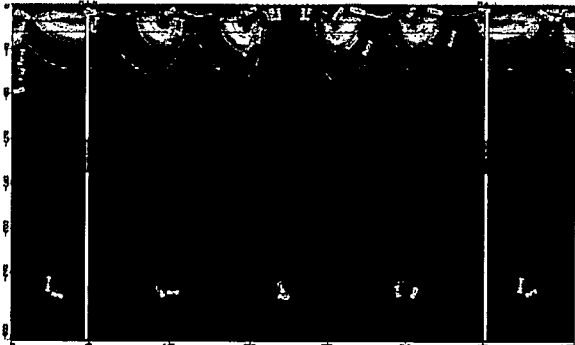
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)



(a) Simulated Concentrations after 1 Year



(e) Simulated Concentrations after 20 Years



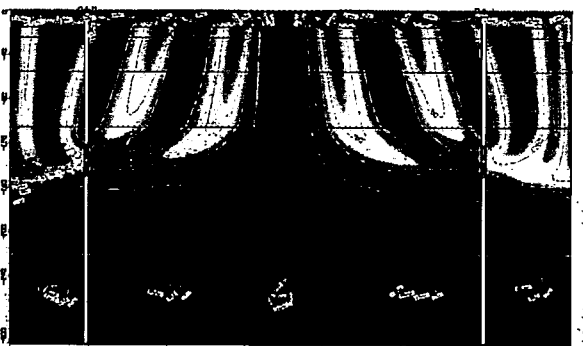
(b) Simulated Concentrations after 2 Years



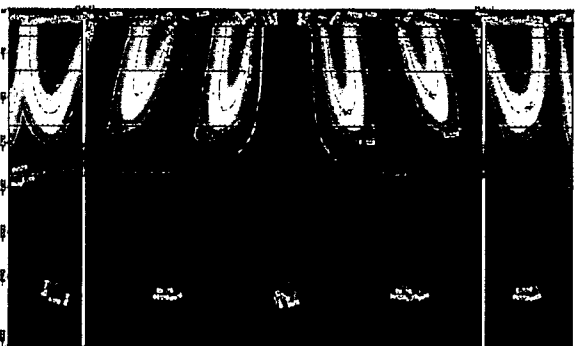
(f) Simulated Concentrations after 30 Years



(c) Simulated Concentrations after 5 Years



(g) Simulated Concentrations after 40 Years



(d) Simulated Concentrations after 10 Years



(h) Simulated Concentrations after 50 Years

Simulated As Concentration  
in Groundwater



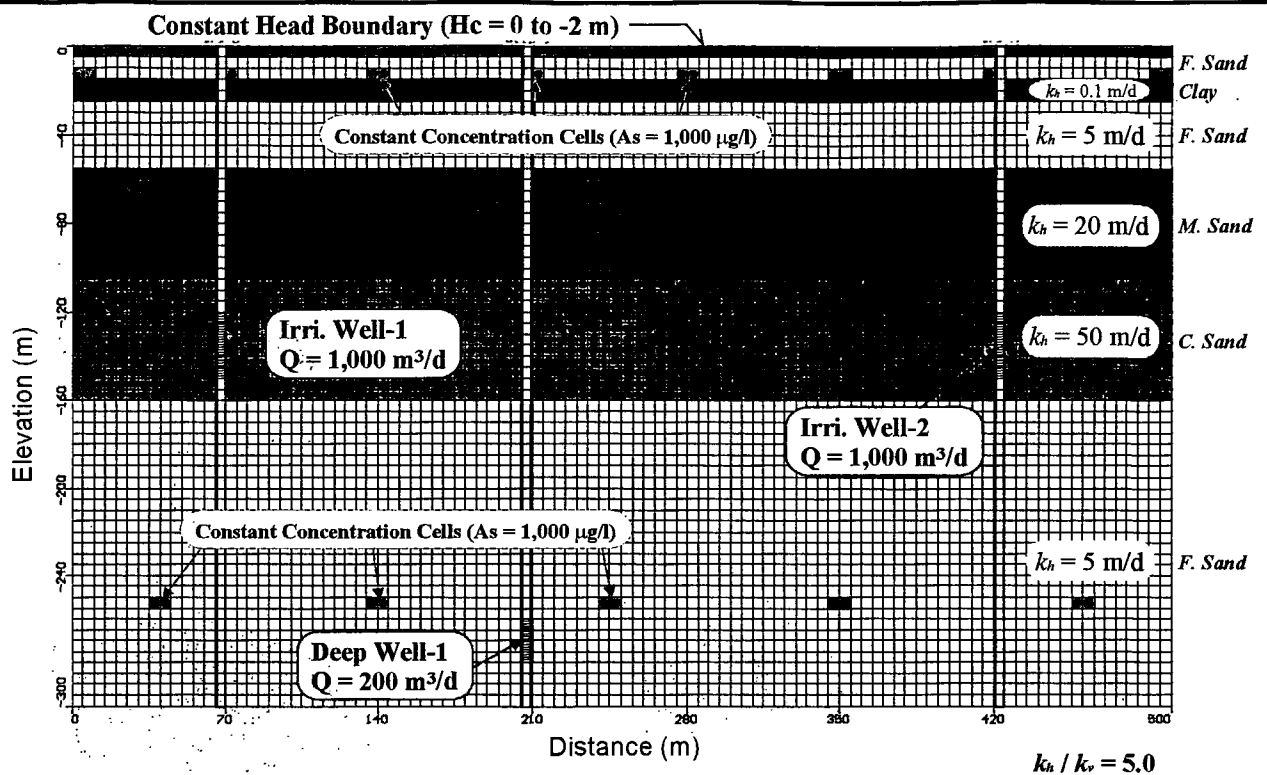
(Unit:  $\mu\text{g/l}$ )

図8.2.4

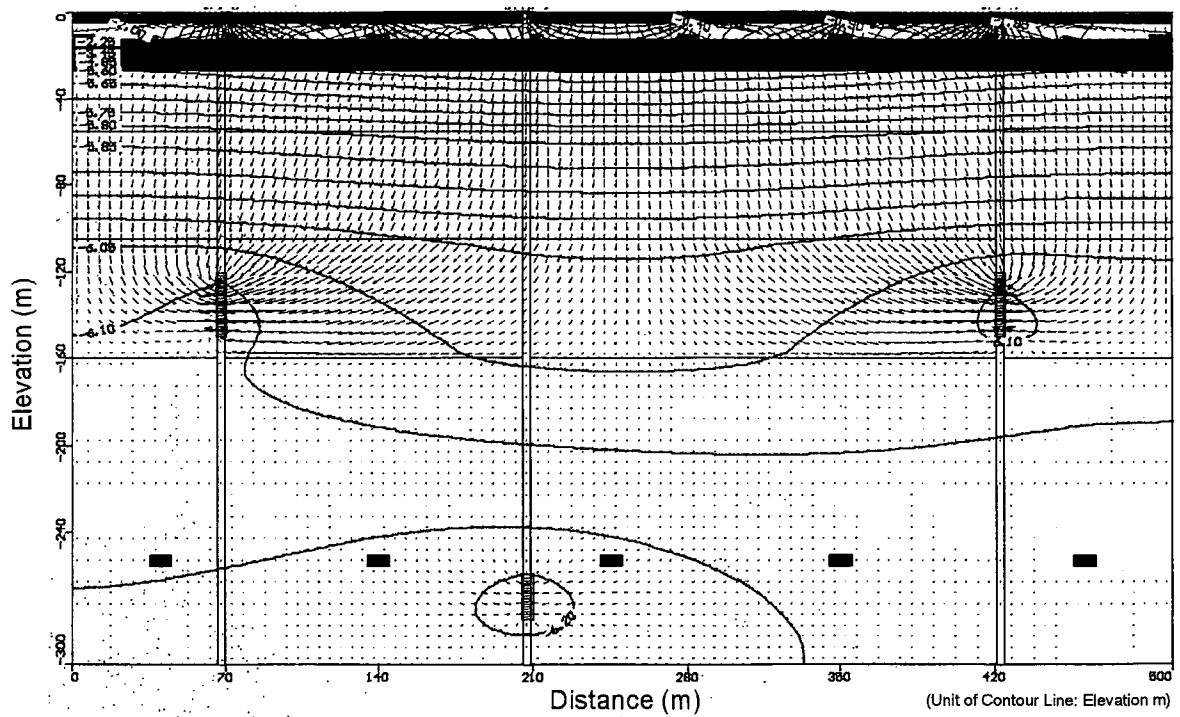
計算砒素濃度  
(Case-02、かんがい用井戸)

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) 断面二次元局所モデルの条件



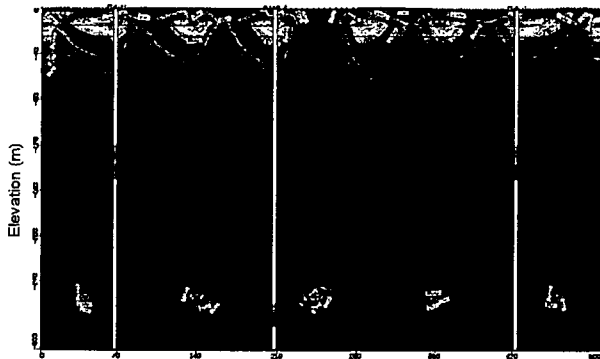
(b) 定常計算による計算被圧水頭

図8.2.5

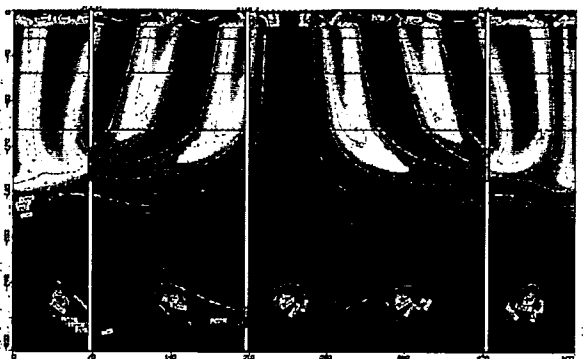
モデル条件と計算被圧水頭  
(Case-03、Case-02 + 生活用深井戸)

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

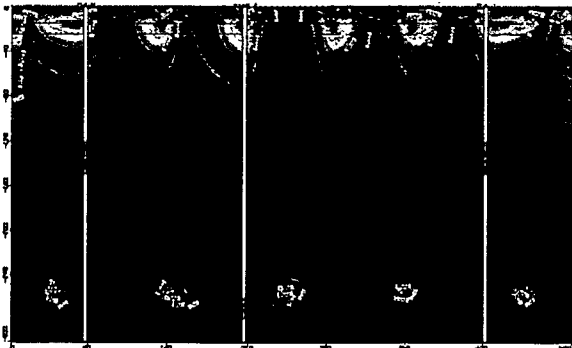
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)



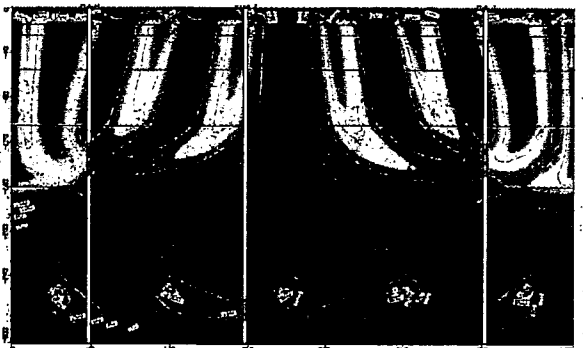
(a) Simulated Concentrations after 1 Year



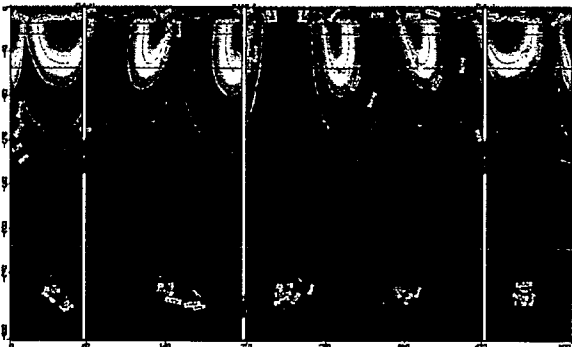
(e) Simulated Concentrations after 20 Years



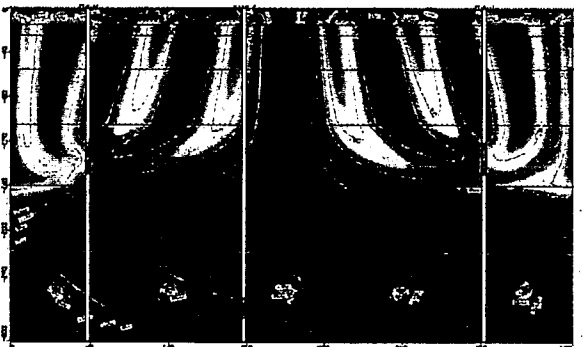
(b) Simulated Concentrations after 2 Years



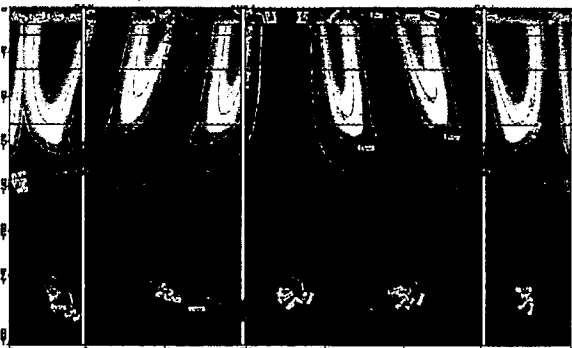
(f) Simulated Concentrations after 30 Years



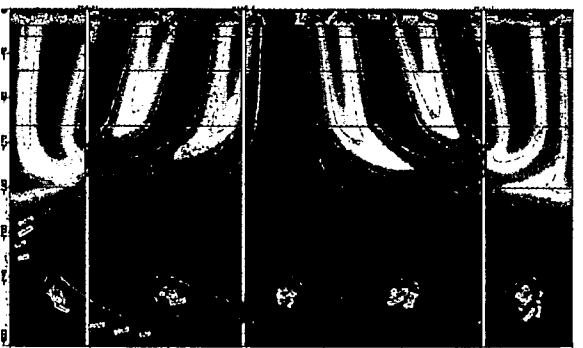
(c) Simulated Concentrations after 5 Years



(g) Simulated Concentrations after 40 Years

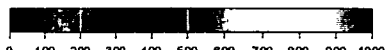


(d) Simulated Concentrations after 10 Years



(h) Simulated Concentrations after 50 Years

Simulated As Concentration  
in Groundwater



(Unit: µg/l)

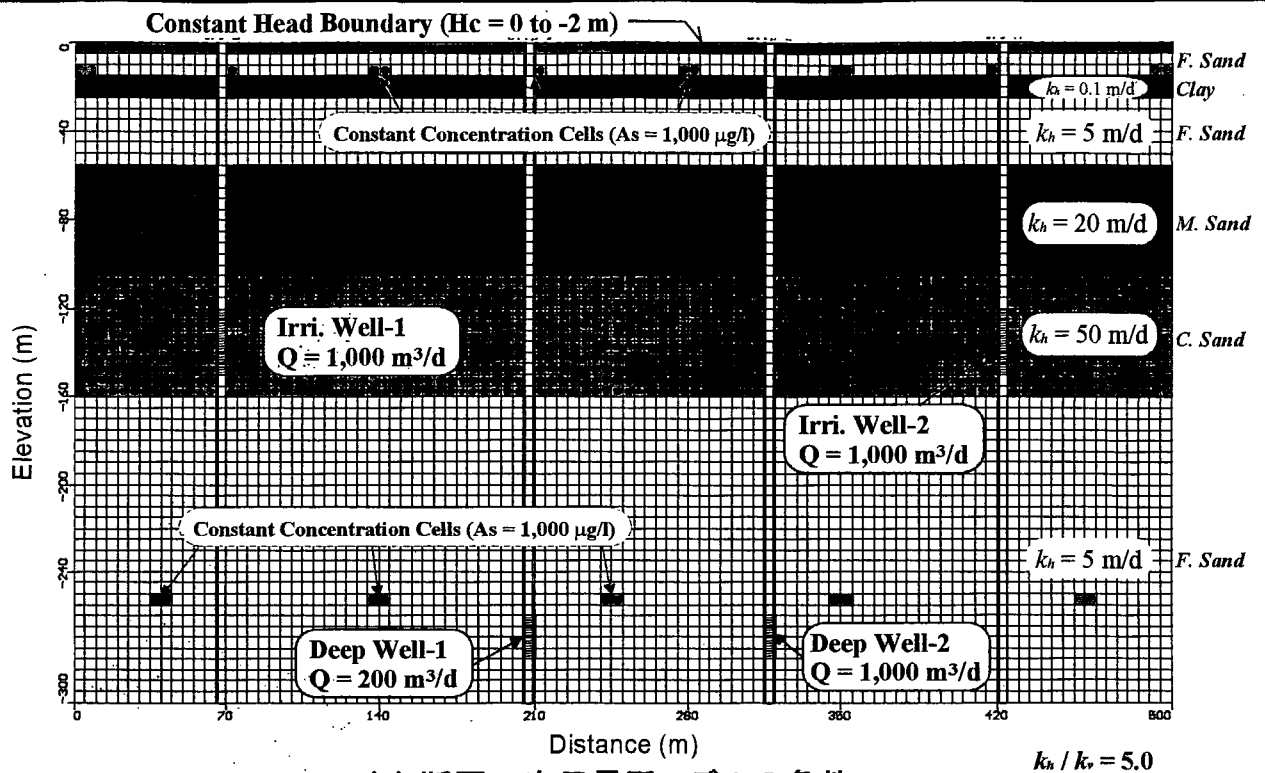
図8.2.6

計算砒素濃度  
(Case-03、Case-02 + 生活用深井戸)

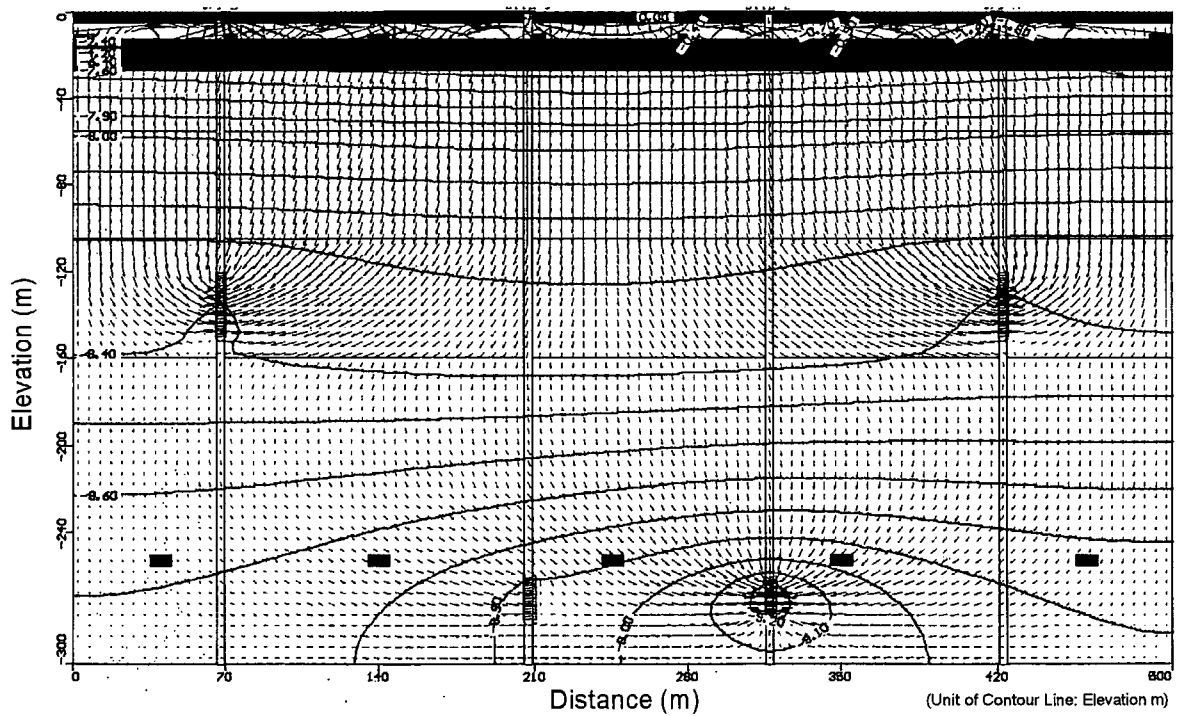
THE STUDY ON THE GROUNDWATER DEVELOPMENT OF  
DEEP AQUIFERS FOR SAFE DRINKING WATER SUPPLY TO  
ARSENIC AFFECTED AREAS IN WESTERN BANGLADESH

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)





(a) 断面二次元局所モデルの条件



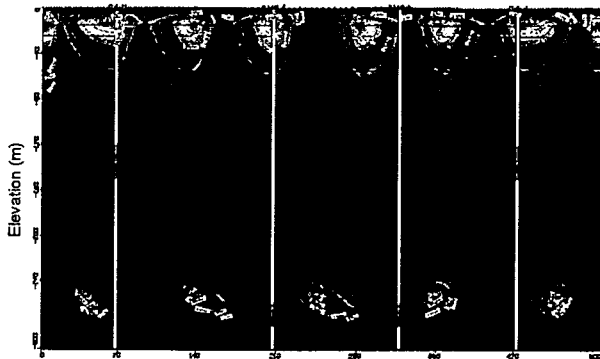
(b) 定常計算による計算被圧水頭

図8.2.7

モデル条件と計算被圧水頭  
(Case-04、Case-03+かんがい用深井戸)

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

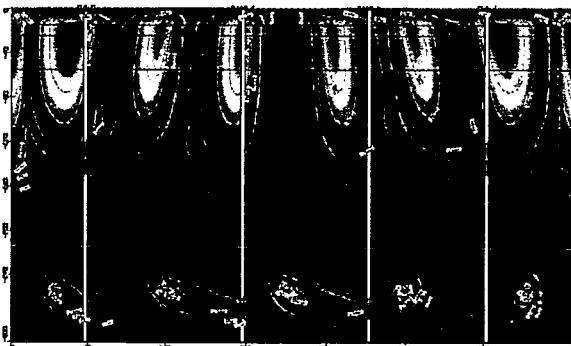
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)



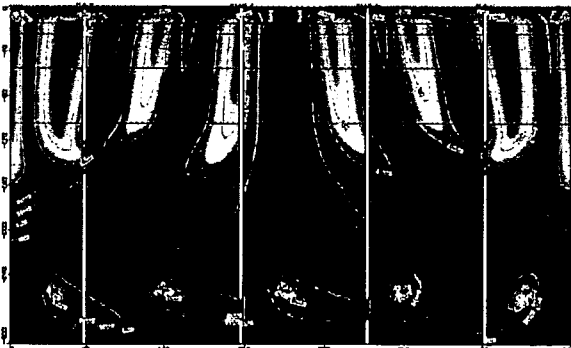
(a) Simulated Concentrations after 1 Year



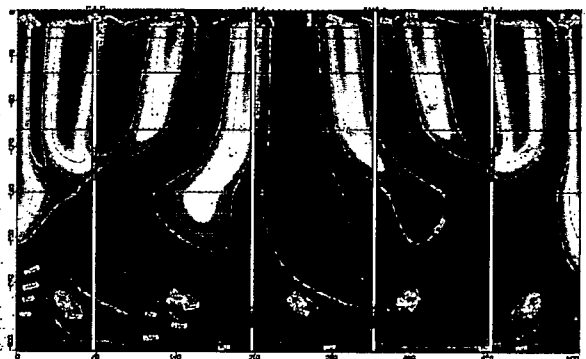
(b) Simulated Concentrations after 2 Years



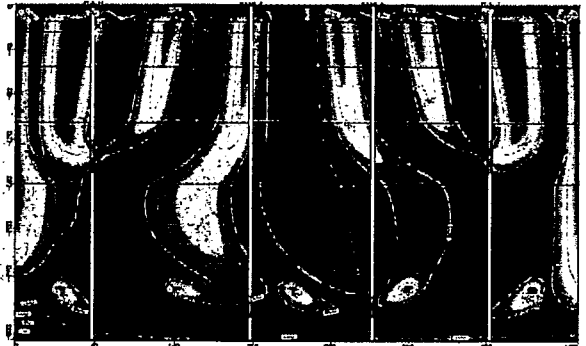
(c) Simulated Concentrations after 5 Years



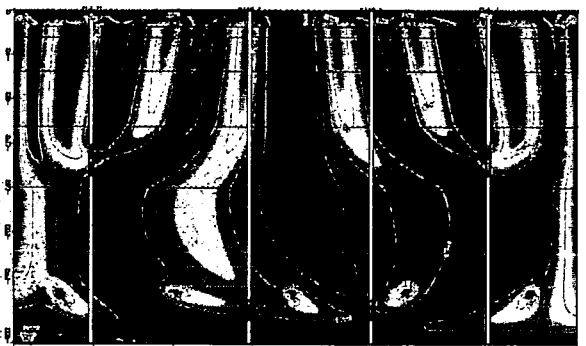
(d) Simulated Concentrations after 10 Years



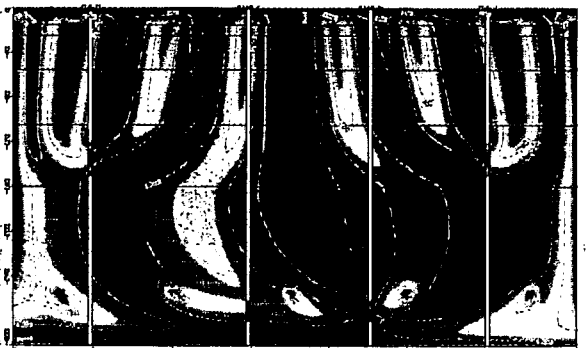
(e) Simulated Concentrations after 20 Years



(f) Simulated Concentrations after 30 Years

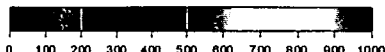


(g) Simulated Concentrations after 40 Years



(h) Simulated Concentrations after 50 Years

Simulated As Concentration  
in Groundwater



(Unit:  $\mu\text{g/l}$ )

図8.2.8

計算砒素濃度  
(Case-04、Case-03+かんがい用深井戸)

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)