

第4章

地下水砒素汚染の現状

要約

第4章 地下水砒素汚染の現状

4.1 300 既存井戸の現状

既存井戸の砒素汚染と物理的な状態をみるために、調査地域での 300 箇所の既存井戸における井戸構造と井戸水の砒素濃度が調査された。また 300 井戸の中から 30 の既存井戸を選定して、砒素濃度以外の水質分析が行われた。

4.1.1 300 既存井戸の選定

1) 目標井戸の選定と配分

ポルシャバでの生産井と DPHE の管井戸がこの調査の対象となる。その理由としては、それらが個人の管井戸よりも多くの使用者をもっているからである。そのため多くのポルシャバ生産井（全部で 40 箇所、内訳はジェソール 17、ジェナイダ 17、チュアダンガ 6）が調査の対象として選定された。残りの既存井戸は全部で 260 だが、村落と都市地域の中で飲み水供給のための DPHE 管井戸から選定された。対象となる井戸の数は、以下のような段階に応じて各ユニオンに割り当てられた。

- 1) 県の管轄地域の規模を基準にそれぞれの県に対象井戸の数を振り分ける。
- 2) 少なくともそれぞれのユニオンに一つの対象井戸を振り分ける。
- 3) 残りの対象井戸はユニオンの中のモザ数に応じて振り分ける。

上記のような段階をへて、118 箇所の対象井戸（260 箇所のうち 45.34%）がジェソールに、89 箇所がジェナイダに、そして 53 箇所がチュアダンガに振り分けられた（表 4.1.1）。

対象の井戸の位置を明確にするため、最初にモザはモザのユニオンでの位置と DPHE 井戸の数を考慮しながら選定した。そしてひとつの DPHE 井戸は、以下の条件を基準として DPHE 職員の援助のもとに、選定されたモザを調査員が訪ねて場所を選定した。

- 1) ハンドポンプは No.6 形式
- 2) 井戸は浅井戸
- 3) 井戸はモザの中で最も多くの利用者をもつ

表 4.1.1 3 県での対象井戸の配分

	3 県合計	ジェソール	ジェナイダ	チュアダンガ
管轄面積 (km ²)	5,686	2,578 (45.34%)	1,950 (34.29%)	1,158 (20.37%)
対象井戸数	260	118	89	53
ユニオンの合計数	197	92	72	33
2 対象井戸をもつユニ オンの数	63	26	17	20
1 対象井戸をもつユニ オンの数	134	66	55	13

2) 一般水質分析を行う 30 既存井戸の選定

300 箇所の既存井戸のうち、30 井戸が一般水質分析を行うために選定された。調査地域の中には、生産井をもつポルシャバが 7 つあり、そのため 7 つのポルシャバのそれぞれから最も多量の水を揚水する生産井が選定された。残りの 23 箇所は以下のような段階でタナから配分した。

- (1) それぞれのタナに一つの対象井戸を振り分ける (合計 18 対象井戸)
- (2) タナの管轄地域に応じて 5 タナにもう一つの対象井戸を振り分ける。

さらに一つのタナに対して一つあるいは二つのモザが次のように 260 モザの中から選定された。

- (1) モザは主要道路に沿って位置すること。
- (2) モザはタナの中央に位置すること (二つのモザが選定されたときは、モザはタナの半分の面積の中心に位置すること)。

図 4.1.1 には、300 箇所の既存井戸位置を示す(40 生産井と 260 の DPHE 管井戸)。これらは井戸構造調査と砒素濃度の分析を行う。この図には 30 箇所の一般水質分析を行う位置も示してある。260 箇所の DPHE 管井戸の位置は、社会経済調査を実施した村のおおよその位置を示している (3 章)。

4.1.2 井戸構造

1) DPHE 浅井戸の井戸深度

地下水中の砒素は浅い帯水層に現れていると言われているため、DPHE の既存井戸の実際の深さを知ることは大変重要である。フィールドでの地下水位と井戸深度は地下水のサプリングの後に測定した。

図 4.1.2 は県ごとに 260 の DPHE 既存井戸の深度分布を示した。調査地域では、深

度 40～45m の井戸が最も顕著である。続いて 35～40 m、45～50 m と続く。井戸深度は南ほど深くなる傾向にある。それは水文地質的な条件、例えば帯水層の深さや層厚、層相そして不透水層の出現などに影響される。

2) 生産井の特徴

ジェソール・ポルシャバ、ジェナイダ県、チュアダング・ポルシャバでの現地調査の結果を示した生産井のリストを表 4.1.1、4.1.2、4.1.3 に別々に示した。

ジェソール・ポルシャバでの井戸の深度は 85.32～132.54m である。大部分の井戸は単スクリーン構造であるが、1つの井戸は2箇所のスクリーン、もう1つの井戸は3箇所のスクリーンをもつ。スクリーン長は、13.4～47.54 m である。

ジェナイダ県では、5つのポルシャバが市営の水供給のための生産井をもつ。ジェナイダ・ポルシャバでは7つの生産井があるほか、カリガンジ、サイルクバ、コッチャンドプール・ポルシャバでは3つの生産井、モヘシュプール・ポルシャバでは2つの生産井がある。生産井の深度は、92.2～132.08m である。スクリーン長は 4.35～30.07m である。

チュアダング・ポルシャバでは、6つの生産井がある。うち4つの井戸の深度は 102.1～133.0m である。すべての井戸が単スクリーンである。スクリーン長は、24～30m である。

3) 比湧出量

比湧出量 (Sc) は、井戸の能力や帯水層の特徴を示す水理地質パラメーターの一つである。図 4.1.3 は、県とすべての地域での生産井から得た Sc 値の分布を示した。

調査地域でのすべての生産井の Sc 値の対数平均は、1086.0 m^2/day である。チュアダングおよびジェナイダ県での平均値はそれぞれ 1225.3 m^2/day および 1224.4 m^2/day である。これらの値はジェソール県での平均値 (= 876.5 m^2/day) よりも大きい。

既存生産井の資料から、ポルシャバ地域では深度 60～130m の帯水層の産出能力は一般に高いといえることができる。しかしながら、ジェソール・ポルシャバは、帯水層の湧出能力が他の場所より低い。

4.1.3 地下水位

DPHE の浅井戸の地下水位は、ハンドポンプを取り除いて計測した。生産井は、大部分の井戸が観測パイプをつけており、地下水位はそのパイプに地下水位計を挿入して計測した。

1) 雨季での地下水位

図 4.1.4 には、2000 年 6～7 月での地表面から地下水位までの水深の分布を示した。この時期は雨季の始めである。調査地域では地下水位までの深度は 1.12～9.78 m の範囲をとる。地表面から 5 m 以上の地下水位深度は、ジェソール県の北の一部、ジェナイダ県の中央と西側の箇所およびチュアダンガ県の西の部分で見られる。一方、ジェソール県の南側での深井戸は、3 m 以浅の水位を示す。

2) 乾季での地下水位

図 4.1.5 には 2000 年の 12 月から 2001 年の 1 月までの地下水位深度分布を示した。この期間は乾季の始めである。調査地域での水位深度は 0.65～12.99 m までの範囲をとる。地表面から 5 m 以上の地下水位深度は、ジェナイダ県の北東と南西の部分、チュアダンガ県の西部、およびジェソール県の中央から西部の部分に散在する。一方、水位 3 m 以浅の地下水位深度は、チュアダンガの中央からジェナイダ県の中央およびジェソール県の南部にかけて分布する。ジェソール県、ケシャプール・タナの南部から西部にかけての地下水位深度は 2 m よりも浅い。

3) 雨季と乾季の地下水位の変化

図 4.1.6 には、調査地域での雨季（2000 年の 6 月から 7 月）と乾季（2000 年 12 月から 2001 年 1 月）の間の地下水位の変化を示した。チュアダンガ県の中央からジェソール県の北にかけては、乾季の地下水位は雨季よりも 1～3 m 高い。一方、ジェナイダ県北東部、およびジェソール県南西部から南東部にかけては、1～2 m 低下する。

表 4.1.2 ジェンソーラポリシヤバの生産井の井戸構造

No.	Well No. and Location	Existing Data										New Data Measured in June 2000											
		Well and Facilities										Production Test					Field Measurement by the Study						
		Construction Date	Well Depth (m)	Screen Depth (m)	Screen Length (m)	Well Diameter (mm)	Well Log	OHT	IRP	Collection Date	Discharge (m ³ /h)	S.W.L. (GL-m)	D.W.L. (GL-m)	③-②① Drawdown (m)	① S.W.L. (GL-m)	② D.W.L. (GL-m)	③-②① Drawdown (m)	Discharge (m ³ /h)	Specific Capacity (m ³ /day)				
1	W-2 GHOSHAPARA	20-9-89	115.41	96.96~112.36	13.4	150	◎						07-10-89	71.99	3.93	5.42	1.49	1159.57	6.600	26.710	20.110	66.00	78.77
2	W-1 PALBARI	19-11-89	125.15	108.7~122.1	13.4	150	◎	◎					29-12-89	71.99	4.86	6.27	1.41	1225.36	6.665	19.350	12.685	174.00	329.21
3	OW-2 AIRPORT ROAD	1965-66	132.54	85.32~129.90	44.58	200	◎						1965-66	90.90	3.123	4.799	1.676	1301.67	6.190	6.960	0.770	26.00	810.39
4	OW-1 SMITH ROAD	1962-63	98.85	60.94~91.41	30.47	100	◎						1962-63	45.45	3.123	6.779	3.656	298.36	6.485	16.150	9.665	110.00	273.15
5	W-3 NEAR at STADIUM ROAD	03-4-89	117.53	95.93~98.6	13.42	150	◎	◎					19-10-89	71.99	2.67	4.2	1.53	1125.25	6.190	14.810	8.620	58.00	161.48
6	OW-7 M.M.ALI ROAD	1981-82	125.84	95.42~122.79	24.37	150	×						1981-82	68.18	5.078	7.617	2.539	644.43	9.800	23.900	14.100	—	—
7	W-17 West BARANDI PARA	26-11-99	114.77	79.16~111.13	31.97	150	◎						15-12-99	116.10	4.74	6.57	1.83	1522.62	6.710	8.590	1.880	144.00	1838.30
8	OW-3 Khaj dhara Road near.PHE-staff Quarter	1965-66	131.94	81.96~129.50	47.54	200	◎						1965-66	90.90	2.742	4.25	1.508	1446.68	N.M.	N.M.	—	—	—
9	W-6 NEAR at CITY COLLEGE	08-3-89	118.46	102.01~115.41	13.4	150	◎	◎					21-8-89	73.08	3.76	5.02	1.26	1392.00	5.930	9.630	3.700	91.00	590.27
10	W-7 HOLLAH PARA	06-9-89	124.1	111.06~124.46	13.4	150	◎						20-8-89	71.99	4.45	5.83	1.38	1252.00	6.520	8.400	1.880	100.00	1276.60
11	OW-8 PEARY MOHON ROAD	1982-83	89.31	61.88~86.26	24.38	150	×						1982-83	68.175	4.113	6.779	2.666	613.73	5.680	9.680	4.000	128.00	768.00
12	W-5 Bejpara, South Side of Answat Camp	02-5-89	120.16	103.36~116.76	13.4	150	◎	◎					19-6-89	71.99	4.08	5.49	1.41	1225.36	5.170	20.320	15.150	107.00	169.50
13	OW-4 ASRAM ROAD (Ram Krishna Mission road)	1972-73	91.41	65.21~89.58	24.37	150	×						1972-73	68.18	2.59	10.207	7.617	214.81	N.M.	N.M.	—	—	—
14	WO-6 CHANGHARA	1978-79	103.6	70.08~100.55	30.47	150			◎				1978-79	68.18	2.361	7.286	4.875	335.63	5.295	10.410	5.115	98.00	459.82
15	W-4 Benapole Road	08-3-89	118.46	102.01~115.41	13.4	150	◎	◎					09-8-89	71.99	2.61	3.83	1.22	1416.20	N.M.	N.M.	—	92.00	—
16	W-8 GHOPH	06-9-89	124.1	100.65~108.76 115.67~120.96	13.4	150	◎						16-9-89	71.99	5.03	5.84	0.81	2133.04	6.780	N.M.	—	—	—
17	OW-5 JAIL ROAD	1973-74	85.32	59.11~83.49	24.38	100	◎	◎					1973-74	45.45	3.352	5.941	2.589	421.32	6.580	9.970	3.390	120.00	849.56

S.W.L.=Static Water Level, D.W.L.=Dynamic Water Level, G.W.L.=Groundwater level, OHT=Over Head Tank, IRP: Iron Removal Plant, ◎=exist, ×=not exist, N.M.=not measured

表 4.1.3 ジェナイダポルシヤバの生産井の井戸構造

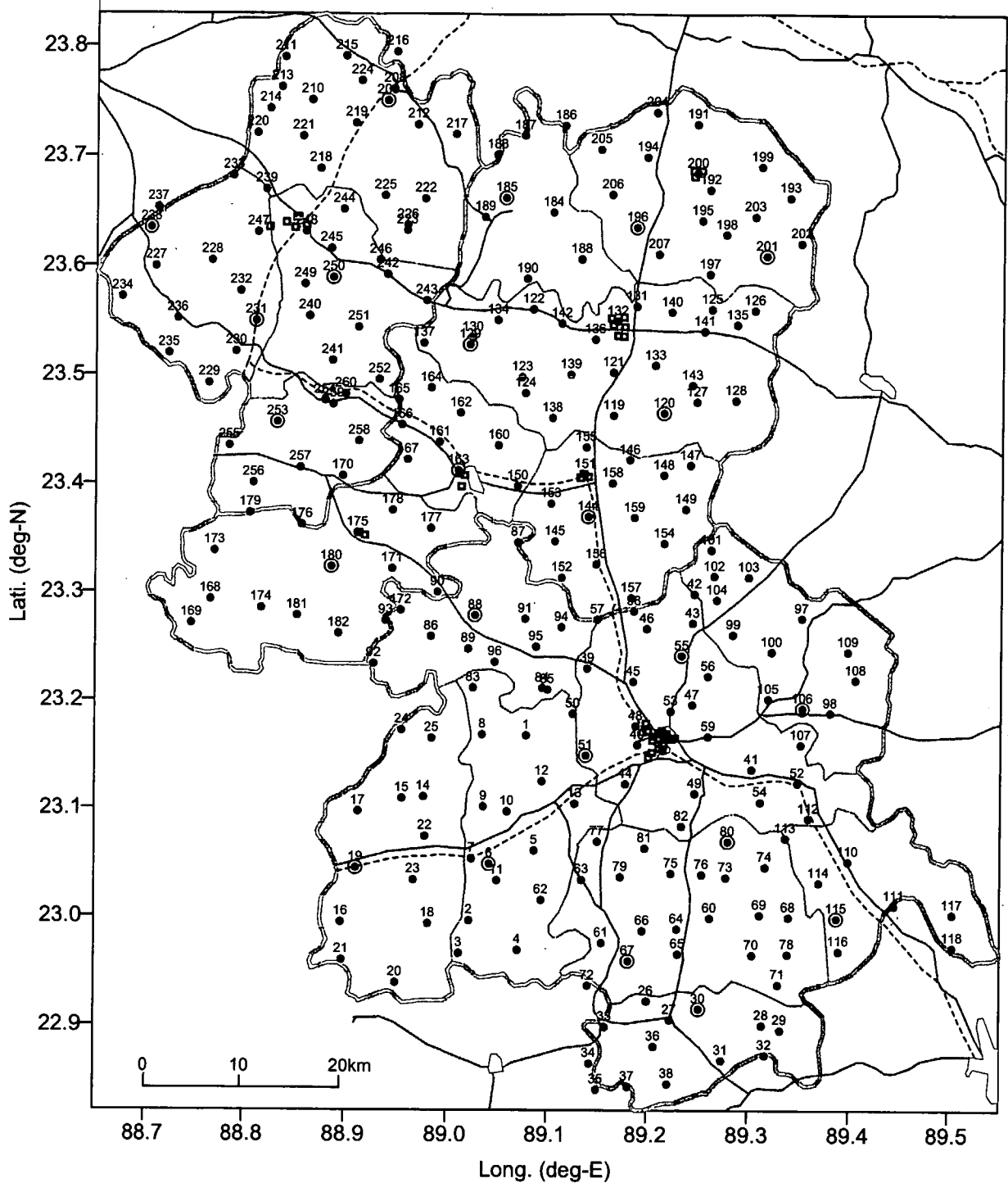
No.	Pourahava Name, Well No. and Location	Existing Data										New Data Measured in June 2000					
		Well and Facilities					Production Test					Field Measurement by the Study			Specific Capacity		
Construction Date	Well Depth (m)	Screen Depth (m)	Screen Length (m)	Well Diameter (mm)	Well Log	OHT	IRP	Collection Date	Discharge (m ³ /h)	① S.W.L. (GL-m)	② D.W.L. (GL-m)	③-②-① Drawdown (m)	④ D.W.L. (GL-m)	⑤-④-③ Drawdown (m)	⑥ Discharge (Q) (m ³ /h)	⑦ Specific Capacity (m ³ /day)	⑧ Specific Capacity (m ³ /day)
04-Jun-00	132.08	99.01~129.08	30.07	150	◎	◎		17-Jun-00	154.26	5.640	11.120	5.480	5.980	N.M.	-	-	-
	no data	~		150	no data	◎							5.910	N.M.	-	-	-
04-Jun-00	no data	~		200	no data								3.975	7.295	3.320	68.18	492.87
	no data	~		150	no data	◎							5.700	10.630	4.930	68.18	331.91
10-Jun-95	92.2	71.85~96.20	24.35	150	◎			10-Jun-95	145.98	6.730	9.060	2.320	6.800	9.160	2.360	68.18	693.36
03-Jun-95	123.34	91.12~120.34	29.22	150	◎			10-Jun-96	173.62	5.290	7.920	2.630	6.830	N.M.	-	-	-
14-Jul-96	95.32	68.0~92.35	24.35	150	◎			14-Jul-96	168.17	2.620	6.250	3.630	6.720	14.110	7.390	68.18	221.42
18-Aug-95	123.65	96.30~120.65	24.3	150	◎			22-Sep-95	167	2.790	6.320	3.53	5.500	N.M.	-	-	-
14-Oct-95	129.25	96.31~120.6	24.29	150	◎			25-Oct-95	168	3.290	6.735	3.445	3.545	6.640	2.095	90.90	1041.34
28-Aug-96	128.07	100.72~125.07	24.35	150	◎			12-Sep-96	163.17	3.060	6.016	2.955	3.865	8.135	4.280	113.62	637.12
09-Jun-95	96.54	69.19~73.54	4.35	150	◎			16-Jun-95	175.89	5.630	8.455	2.825	5.220	N.M.	-	-	-
12-Jun-95	93.49	66.14~90.47	24.33	150	◎			18-Jun-95	175.89	6.640	9.265	2.625	6.090	N.M.	-	-	-
11-Jun-96	97.76	55.56~70.17 85.07~94.81	24.35	150	◎								5.520	N.M.	-	-	-
11-Jun-96	116.79	89.44~113.79	24.35	150	◎			01-Jun-95	168.48	4.890	9.230	4.640	3.170	4.440	1.270	102.26	1932.47
23-Jun-95	111.16	78.94~108.16	29.22	150	◎			01-Jun-96	175.00	5.270	9.180	3.910	4.040	7.170	3.130	102.26	784.10
22-Nov-96	118.93	91.62~115.97	24.35	150	◎								6.680	7.710	2.030	68.18	806.07
17-Jun-95	99.6	72.25~96.60	24.35	150	◎			01-Jun-95	172.73	5.450	8.260	2.810	5.900	N.M.	-	-	-
16-Jul-96	113.47	88.79~110.14	21.35	150	◎			09-Sep-96	164.53	4.280	7.265	2.985	6.570	N.M.	-	-	-

S.W.L.=Static Water Level, D.W.L.=Dynamic Water Level, G.W.L.=Groundwater level, OHT=Over Head Tank, IRP: Iron Removal Plant, ◎=exist, ×=not exist, N.M.=not measured

表 4.1.4 チュアダンガンボルシャバの生産井の井戸構造

No.	Poursava Name, Well No. and Location	Existing Data										New Data Measured in June 2000							
		Well and Facilities					Production Test					Field Measurement by the Study							
		Construction Date	Well Depth (m)	Screen Depth (m)	Screen Length (m)	Well Diameter (mm)	Well Log	OHT	IRP	Collection Date	Discharge (m ³ /h)	① S.W.L. (GL-m)	② D.W.L. (GL-m)	③-②-① Drawdown (m)	① S.W.L. (GL-m)	② D.W.L. (GL-m)	③-②-① Drawdown (m)	Discharge (Q) (m ³ /h)	Specific Capacity (m ³ /day)
1	Chudanga TW-1 Kedargonj	28-10-1988	106.50	80.6~105.0	24.4	150		④		23-10-1988	145.00	5.75	10.25	4.50	6.590	10.450	3.860	-	-
2	Chudanga TW-2A Mohalla Sheak Pars (Poursava Compound)	10-11-1991	102.10	69.10~99.10	30	150				10-11-1991	290.49	3.45	9.30	5.85	5.360	11.625	6.265	-	-
3	Chudanga TW-2B Majer para (Football Ground)	07-11-1991	133.00	100~124	24	200		④		07-11-1991	288.37	3.30	8.60	5.30	5.280	9.380	4.100	-	-
4	Chudanga TW-3 PHE Office Compound (near Hospital)	10-11-1991	133.00	86.0~110	24	200		④		10-11-1991	271.54	5.00	8.48	3.48	5.820	7.350	1.530	-	-
5	Chudanga TW-4 Zila Parishad Compound Area														6.650	9.530	2.880	-	-
6	Chudanga TW-5 Bus Terminal														5.690	8.720	3.040	-	-

S.W.L.=Static Water Level, D.W.L.=Dynamic Water Level, G.W.L.=Groundwater level, OHT=Over Head Tank, IRP=Iron Removal Plant, ④=exist, X=not exist, N.M.=not measured



- Existing Shallow Tubewell with Serial No.
- ⊠ Pourashava Production Wells
- ⊙ Sample Taken for General Water Quality Analysis

図 4.1.1	300本の既存井戸位置
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)	

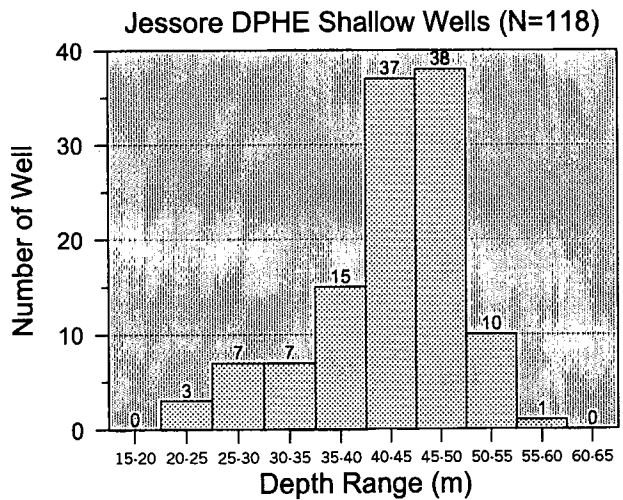
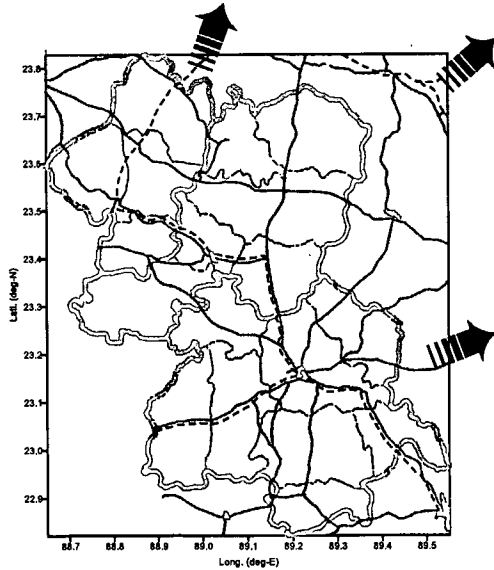
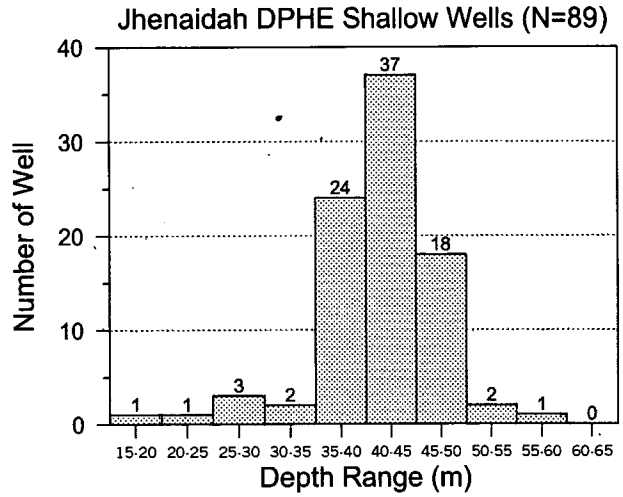
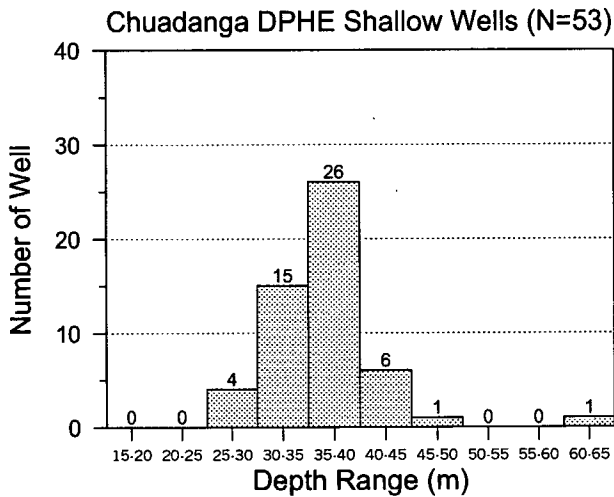
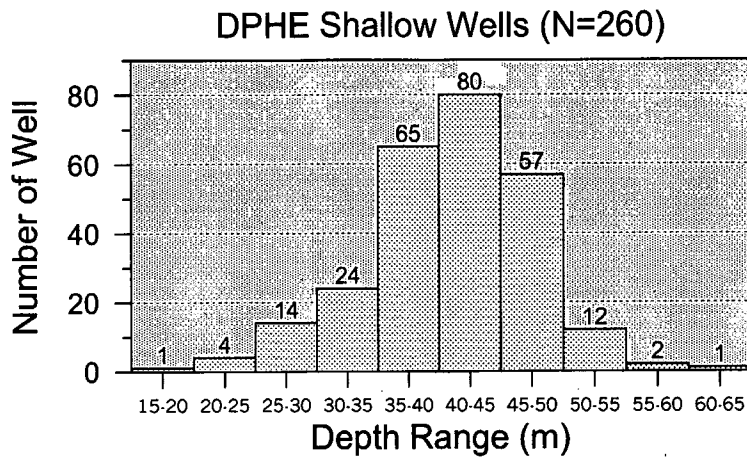
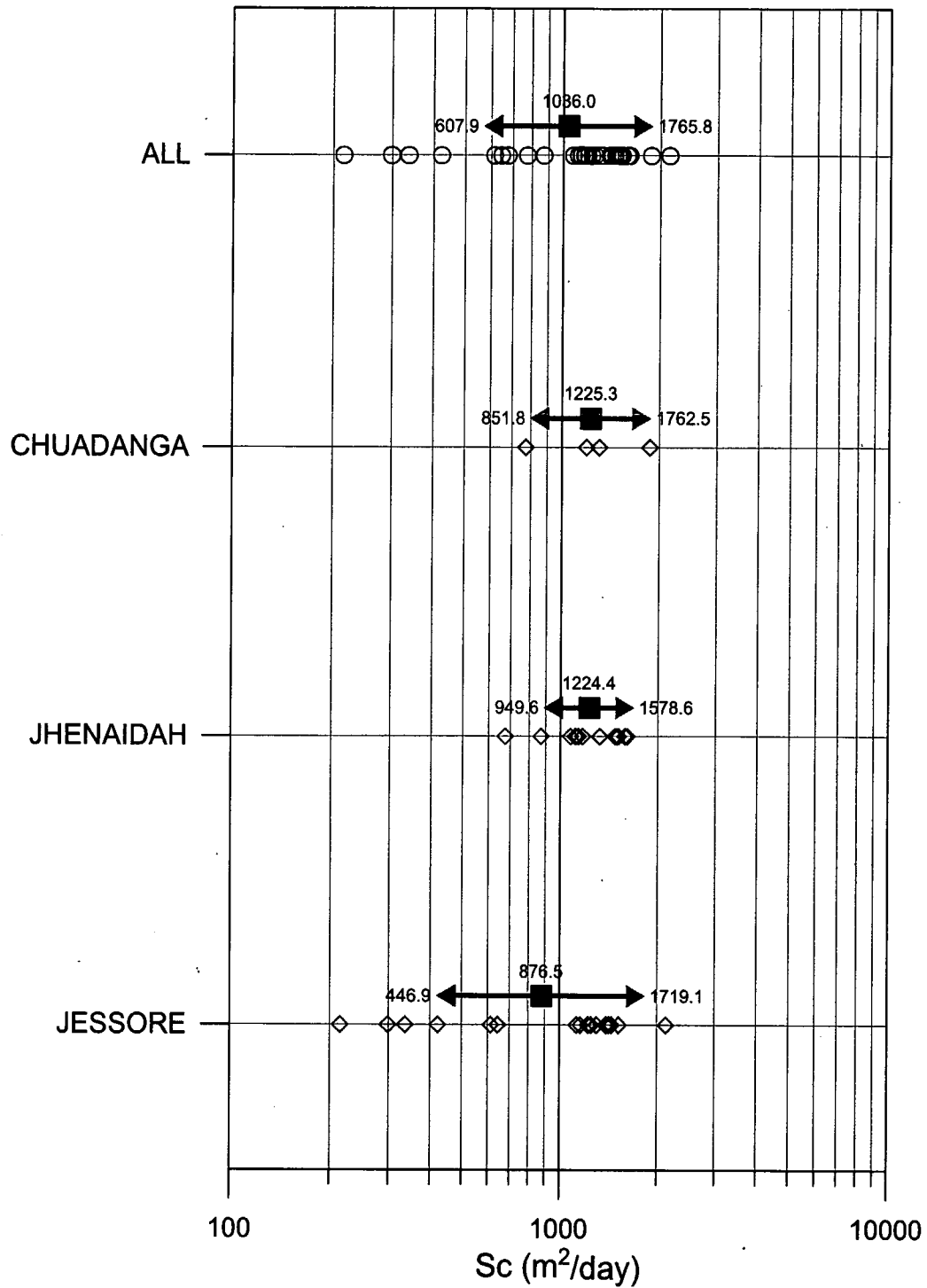


図 4.1.2

県ごとのDPHE既存浅井戸260本の深度

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)



AVG-STD AVG+STD



対数平均 (AVG)

STD: 対数標準偏差

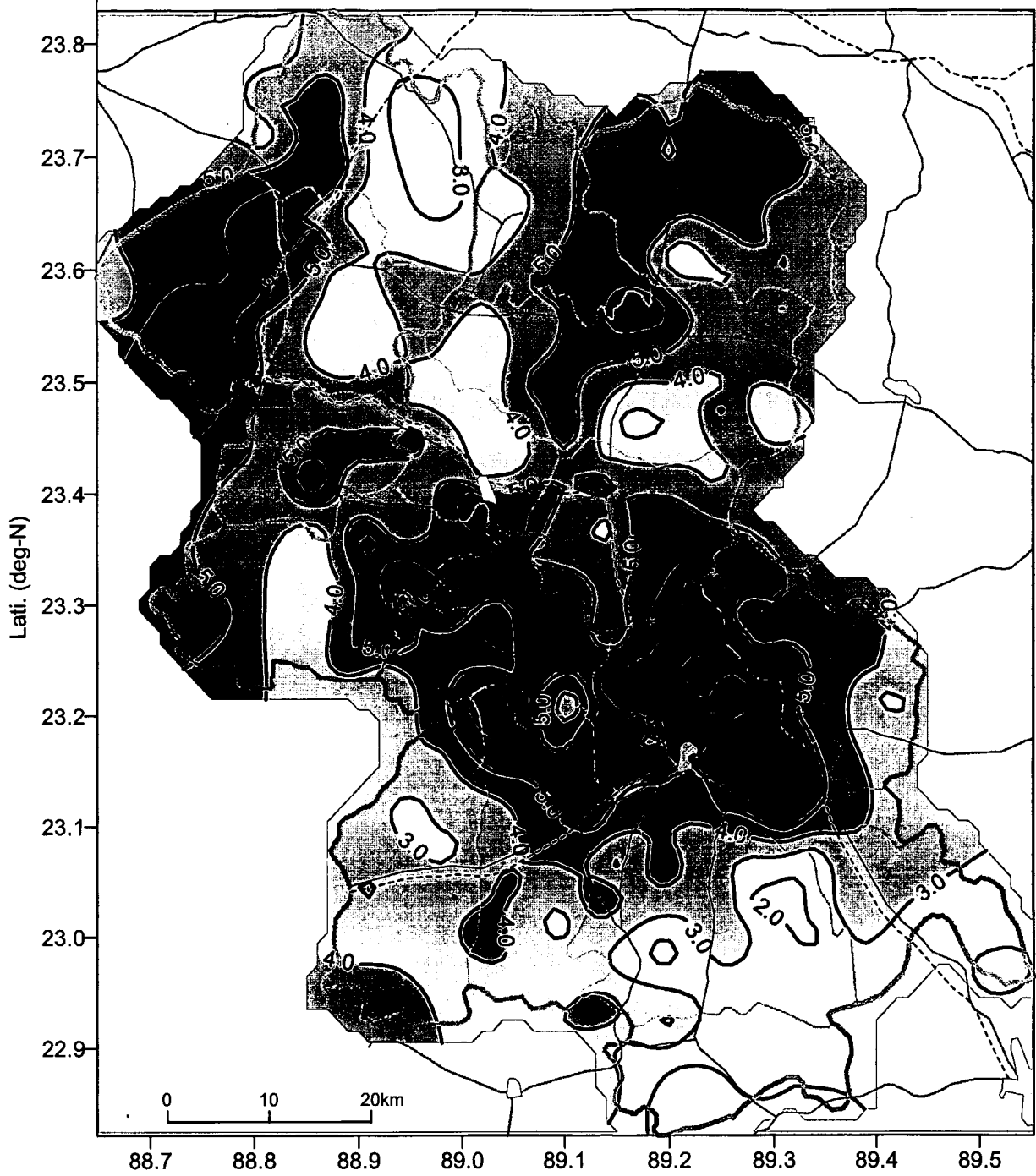
[Data source: DPHE District Offices and DPHE Ground Water Division]

図 4.1.3

既存生産井から得られた比湧出量

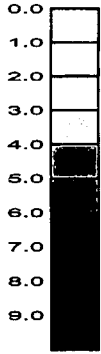
THE STUDY ON THE GROUNDWATER DEVELOPMENT OF DEEP AQUIFERS FOR SAFE DRINKING WATER SUPPLY TO ARSENIC AFFECTED AREAS IN WESTERN BANGLADESH

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)



Depth to Groundwater Level (DTW)
from the Ground Surface (m)

Long. (deg-E)



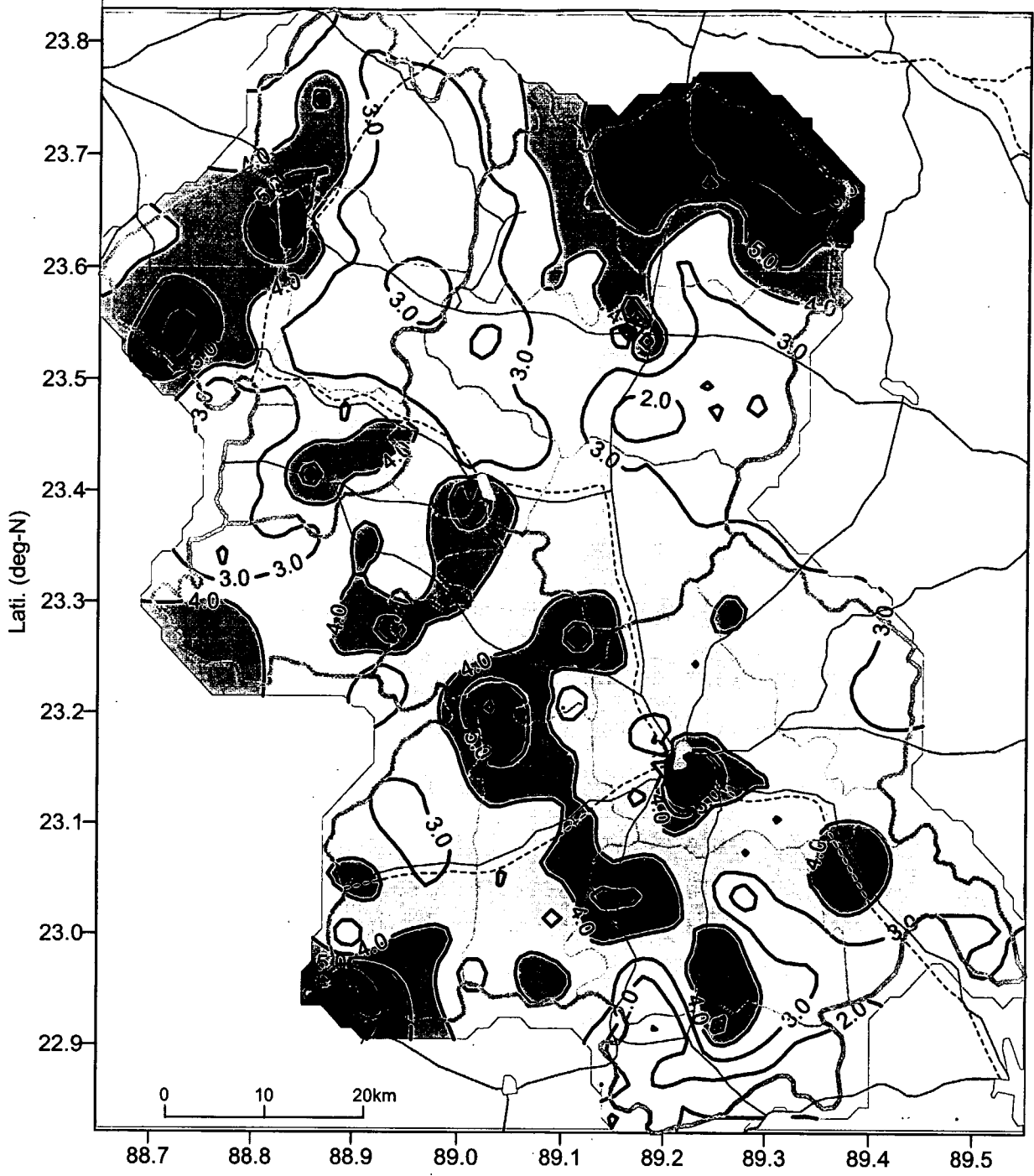
[DTW (Depth to Groundwater Level from the ground surface) values at 300 existing wells were measured by the JICA Study Team in June to July 2000 using potable water level meter.]

図 4.1.4

雨季における300本既存井戸のDTW

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)



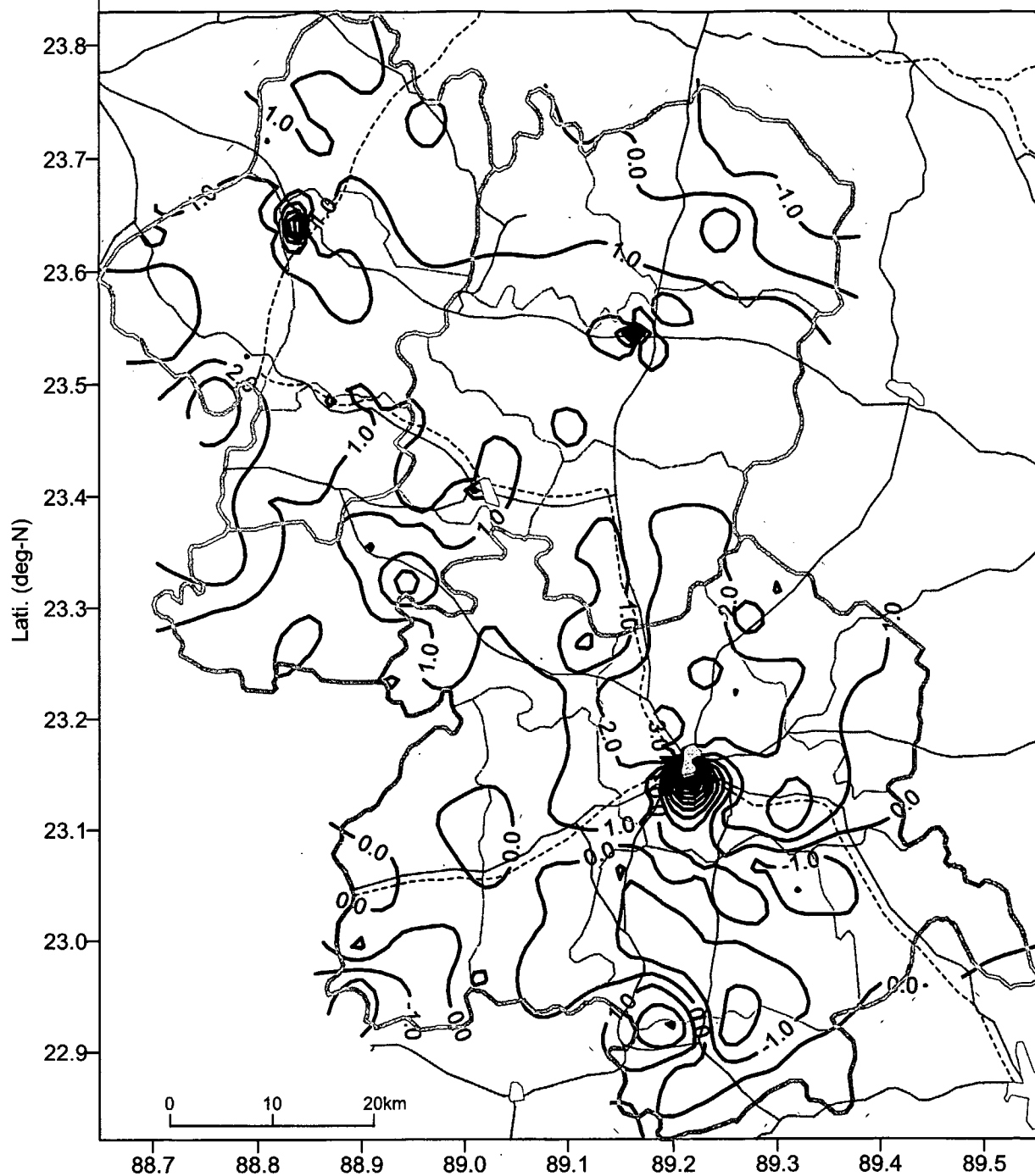
Depth to Groundwater Level (DTW)
from the Ground Surface (m)

Long. (deg-E)



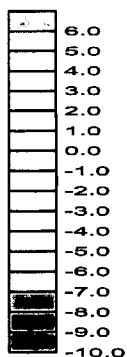
[DTW (Depth to Groundwater Level from the ground surface) values at 300 existing wells were measured by the JICA Study Team in December 2000 to January 2001 using potable water level meter.]

 4.1.5	乾季における300本既存井戸のDTW
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)	



Changes in GWL (m) between
Rainy Season and Dry Season

Long. (deg-E)



[GWL (Groundwater Level) values in Rainy Season were measured in June to July 2000.
GWL values in Dry Season were measured in December 2000 to January 2001.]

図 4.1.6

300本既存井戸の雨季と乾季における
水位変化

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)

4.2 300 既存井戸の砒素濃度

300 箇所の既存井戸からの地下水試料は砒素分析のために、雨季(2000年6~7月)と乾季(2000年12月~2001年1月)に採取した。その試料は調査チームが設立したジェナイダ分析室に持ち込まれ、原子吸光分析装置(AAS)によって分析された。地下水のサンプリング時には、砒素の項目を含む地下水水質がフィールドで測定された。フィールドでの測定項目とそれらの方法は以下に示す。

- 砒素 (AAN フィールドキット)
- 溶存鉄 Fe^{2+} (Fe^{2+} パックテスト)
- pH (携帯 pH メーター)
- 酸化還元電位 ORP (携帯 ORP メーター)
- 電気伝導度 EC (携帯 EC メーター)

4.2.1 AAS による砒素分析

1) 県での砒素濃度

図 4.2.1 には、雨季の砒素濃度のバーチャートを示した。調査地域では、99 箇所の井戸(全体の 33.3%)が 0.01mg/l 以下の砒素濃度を示す。また 94 箇所の井戸(全体の 31.7%)が、0.01mg/l から 0.05mg/l の間の砒素濃度である。それゆえ、調査地域での 65%の井戸が飲料のバングラデシュ許容基準(0.05mg/l)以下の砒素濃度である。基準を超えるのは、49 箇所の井戸(全体の 16.5%)が 0.05mg/l から 0.1mg/l の間の砒素濃度、また 51 箇所の井戸(全体の 17.2%)が 0.1mg/l から 0.5mg/l の間の砒素濃度を示す。1.0mg/l 以上の砒素濃度を示した井戸の数は 2 箇所(全体の 0.7%)であった。雨季と乾季での砒素濃度の著しい変化はみられない。

また調査地域内のポルシャバ給水施設の水質測定の結果、ジェナイダ・サダール、モヘシュプール・タナ、チュアダンガ・サダールにおいて砒素濃度がバングラデシュ基準値を超過した。

2) 砒素濃度分布図

図 4.2.2 には、AAS で測定した雨季での砒素濃度分布図を示した。この図では、砒素濃度が 0.05mg/l 以上の汚染地域は調査地域の主として西側に位置することが明瞭である。一方、砒素濃度が 0.01mg/l 以下の低い地域は、調査地域の東部に認められ、両者は汚染地域から北北西-南南東の線によって境されている。

詳細に砒素濃度の変化を知るために、雨季から乾季にかけての砒素濃度の変化率が計算された。図 4.2.3 は、砒素濃度の変化率の分布を示した。砒素濃度は、乾季には西部ジェソール県からジェナイダ県の中央部にかけて明瞭に低下する。

4.2.2 地下水水質

1) 溶存鉄 (Fe^{2+})

図 4.2.4 では雨季に鉄パックテストで計測した地下水中の Fe^{2+} の分布を示した。 Fe^{2+} の測定精度には限界があるが、 Fe^{2+} 濃度の分布パターンは砒素濃度のそれと似ている。乾季では調査地域の西半分では Fe^{2+} 濃度が増加する傾向にあるように見える。一方、東の部分では減少する傾向を示す。

2) pH

pH と ORP 値は地下水中の鉄水酸化物と砒素の存在を規制することが知られている。図 4.2.5 は、雨季での既存井戸で計測した pH 値の分布を示している。調査地域では弱酸性の地下水はジェナイダ県の中央部とジェソール県に分布する。特にジェソール県の北西部では弱酸性の地下水が比較的広い地域に分布する。一方、チュアダンガ県では酸性ではない地下水が存在する。アルカリ性の地下水は、南部チュアダンガから東部ジェソール県にかけて調査地域を横切り北西 南東方向に沿うように認められる。しかしながら pH と砒素分布の対比は鮮明ではない。pH 値は乾季にはチュアダンガ県の西部とジェソール県の南西部で減少する。pH 値の上昇は調査地域の東部で見られる。

3) 酸化還元電位 (Eh)

図 4.2.6 では、雨季の調査地域での Eh 値の分布を示す。200 mV 以下の低 Eh 値は広く調査地域の西部に分布する。特に 100 mV 以下の Eh 値は砒素濃度の高いジェソール県の中央から南部、ジェナイダ県の西部、チュアダンガ県の南部で認められる。一方、200 mV 以上の高い Eh 値は、調査地域の東部から認められる。200 mV によって分けられた高い Eh と低い Eh の地域間の境界は、北北西 南南東の方向を有し調査地域を横切る。低 Eh 値の分布パターンは砒素濃度のそれと似ている。図 4.2.7 は、雨季と乾季の間の Eh での変化を示している。ジェソール県での大部分の Eh 値は 50 ~ 150 mV まで増加しているのが明確にわかる。一方チュアダンガ県の中央部、ジェナイダ県の北から中央部と西部、およびジェソール県の南東部での Eh 値は雨季から 100 ~ 200 mV 減少した。

4) 電気伝導度(EC)

図 4.2.8 では、雨季での EC 値の分布を示した。100 mS/m 以上の高 EC 値はジェソール県の南東部から見ついている。この地域はクルナ地域からの塩水による影響が知られている。また高い EC 値の地域は低標高の地域と対比される。EC 値と

砒素の分布は対応しない。

EC 値は、乾季にはジェソール県の南部からジェソールサダ - ルタナにかけての高 EC ゾーンの中で増加している。増加した EC 値はまたジェナイダ県の北部とチュアダンガ県の西部で見られる。

5) Eh-pH-Fe²⁺ 関係

図 4.2.9 は既存井戸での Eh、pH および Fe²⁺ 濃度の関係を示した。Fe²⁺濃度はフィールドでパックテストを行ったが、Fe²⁺濃度が 1.0 mg/l 以上の値をもつものは pH 値は 6.6 から 7.4 までの範囲をとり、また Eh 値は 50 から 150 mV の範囲を示す。Fe²⁺濃度の範囲と砒素の高い濃度のゾーンはほとんど同じ範囲に位置する。しかし、高 Fe²⁺ゾーンの面積はグラフの中での高砒素ゾーンの範囲よりも大きい。

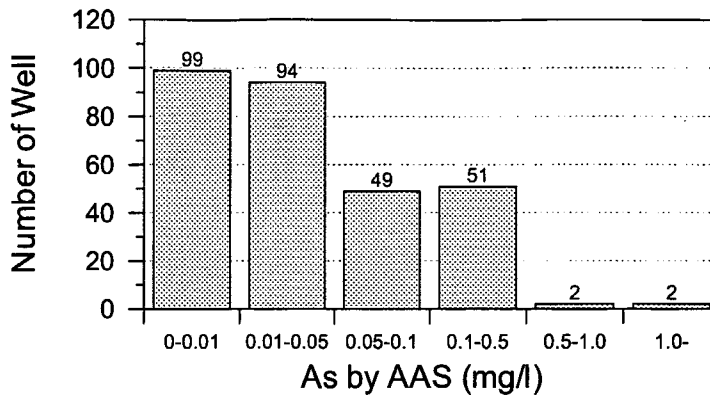
Eh-pH-As と Eh-pH-Fe²⁺の関係は、地下水中の砒素の発生と鉄の発生が強く対応することを示している。そして砒素と鉄が十分にある地下水は、還元環境であることを示している。これは地下水の砒素除去対策設計の他に、地下水の砒素汚染メカニズムの解明の基本的な情報となる。雨季と比較すると、乾季の高 Fe²⁺ゾーンは、pH の範囲よりも狭く、Eh の範囲よりも広い範囲をとる。

4.2.3 FK と AAS の結果の比較

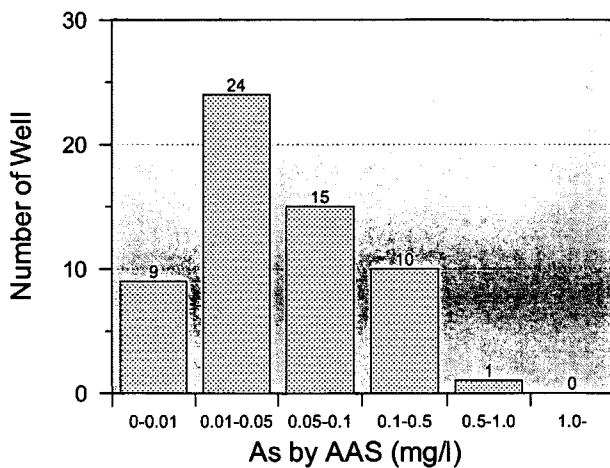
この調査では、砒素濃度はフィールドでの AAN フィールドキットとジェナイダ分析室での AAS により測定された。フィールドキットの結果と AAS の結果の対比を知ることは、測定結果の評価を行うと共に、将来のスクリーニングやモニタリングを計画するためにも、たいへん有益である。

図 4.2.10 には、雨季での AAN フィールドキットと AAS によって測定した砒素濃度の比較を両対数表示で示した。フィールドキットの結果は AAS による砒素濃度の測定で 0.044 mg/l より下では、AAS での結果より低い傾向にあるし、その値よりも上では AAS での結果より高い傾向を示す。例えば、フィールドキットで 0.01 mg/l を示す試料は、AAS 測定では 0.0025 mg/l から 0.13 mg/l の範囲を示す。フィールドキットで 1.0 mg/l を示すものは、AAS では 0.13 mg/l から 1.6 mg/l の範囲をとる。

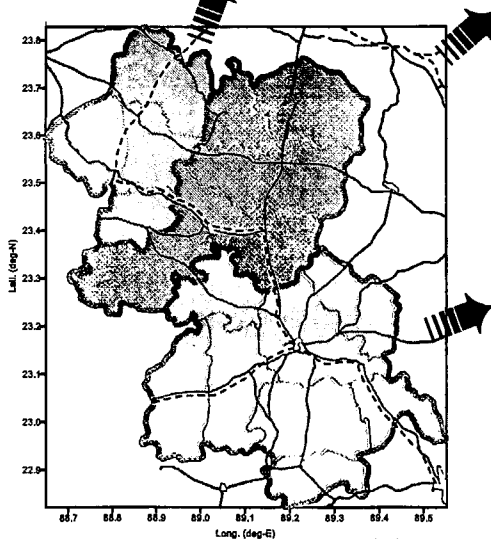
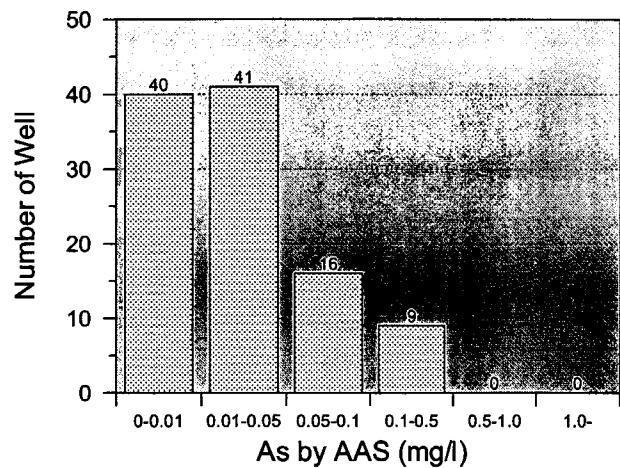
Existing Wells in 3 Districts



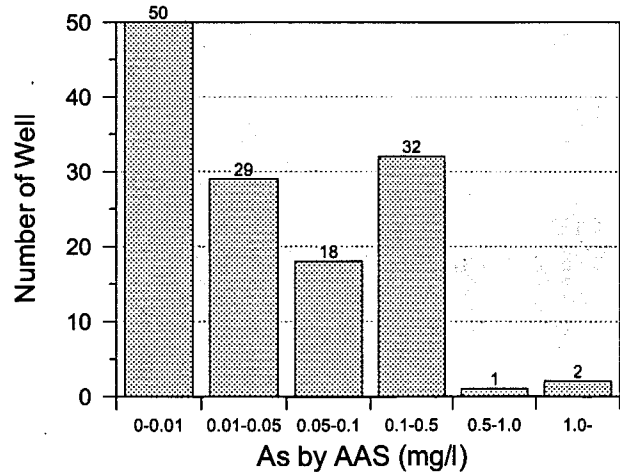
Chuadanga Existing Wells



Jhenaidah Existing Wells



Jessore Existing Wells



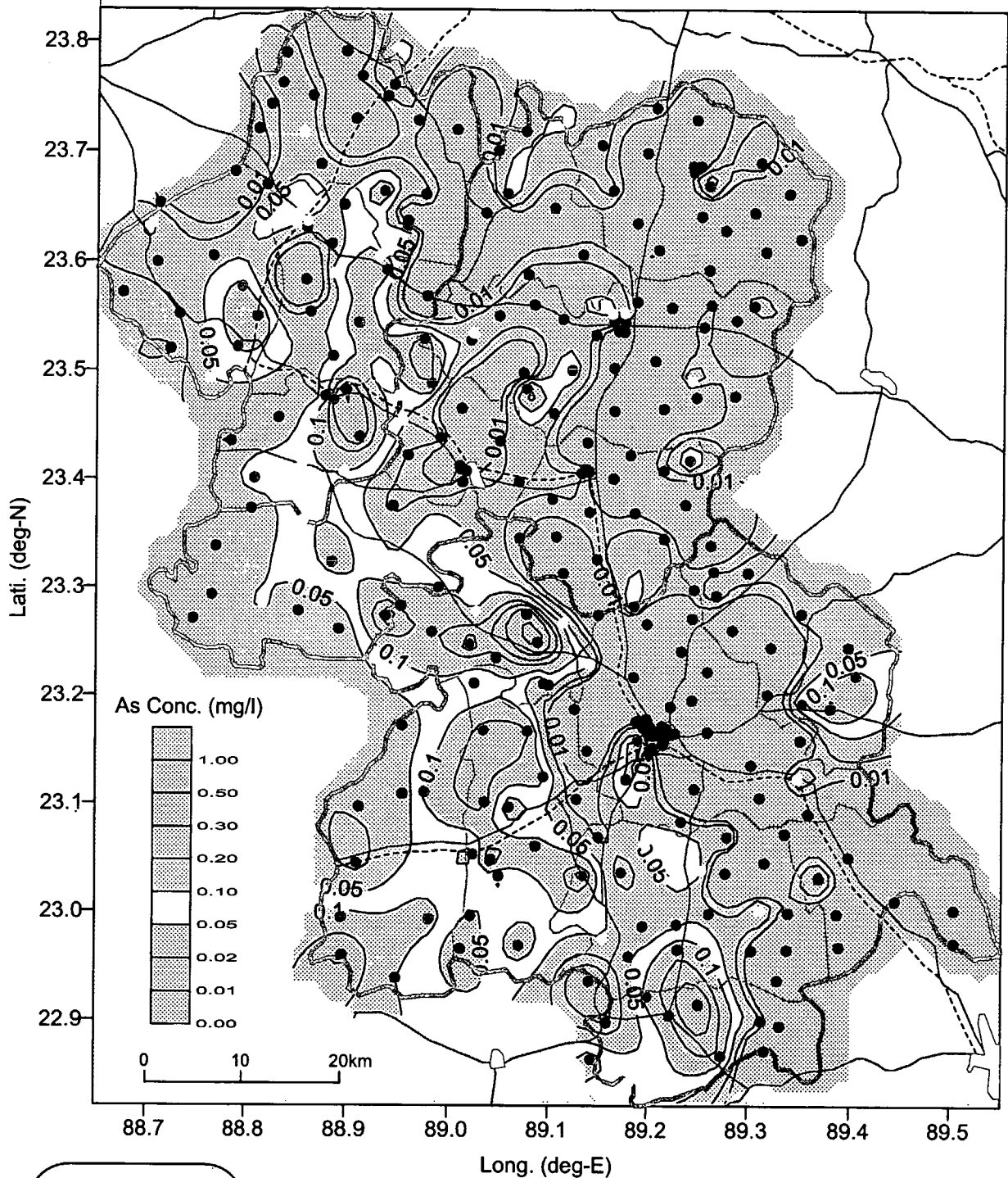
[The groundwater samples were collected in June to July 2000.
The arsenic concentrations were analyzed by the AAS in Jhenaidah Laboratory.]

図 4.2.1

雨季における各県の砒素濃度
(原子吸光により測定)

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)



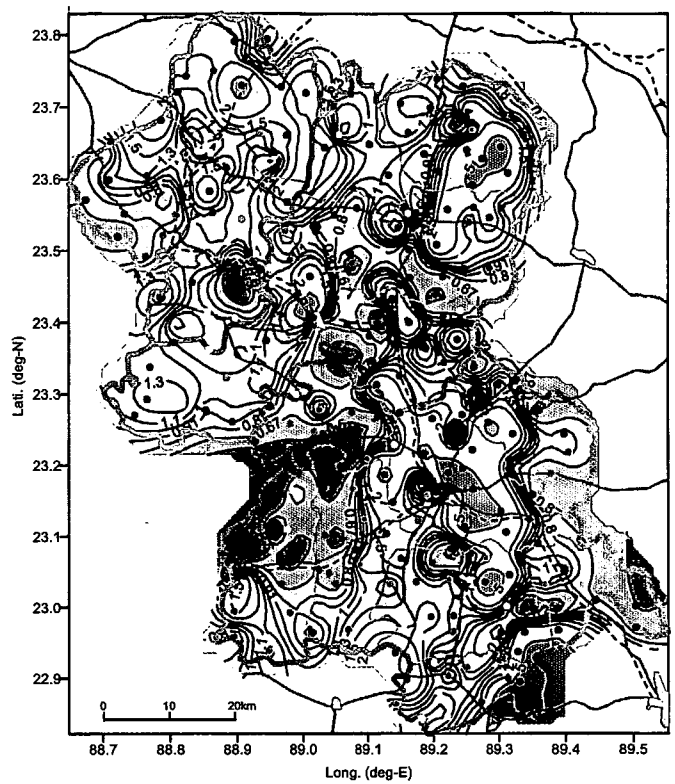
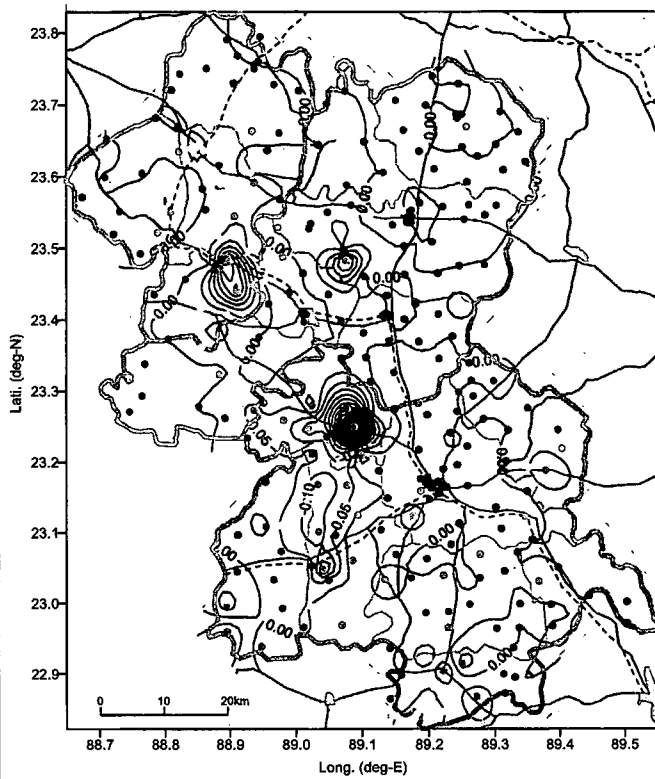
- As (mg/l)
analyzed by AAS
- 0 to 0.01
 - 0.01 to 0.05
 - 0.05 to 0.1
 - 0.1 to 0.5
 - 0.5 to 1
 - 1 to 2

[The groundwater samples of 300 existing wells were collected in June to July 2000.]
 [The arsenic concentrations were analyzed by AAS in Jhenaidah Laboratory established by the JICA Study Team.]

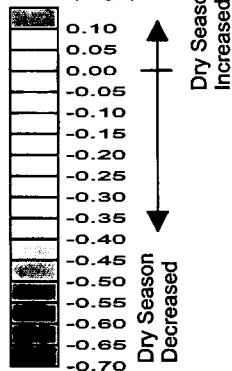
図 4.2.2 雨季における砒素濃度
 (原子吸光により測定)

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

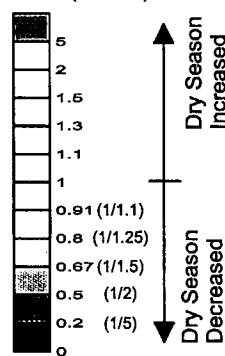
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)



Change in As Concentration (mg/l)



Change Ratio of As Concentration (times)



As (mg/l) in Dry Season 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
- 1 to 2

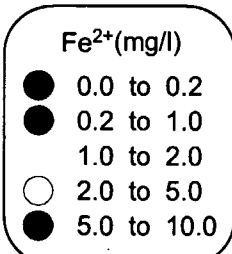
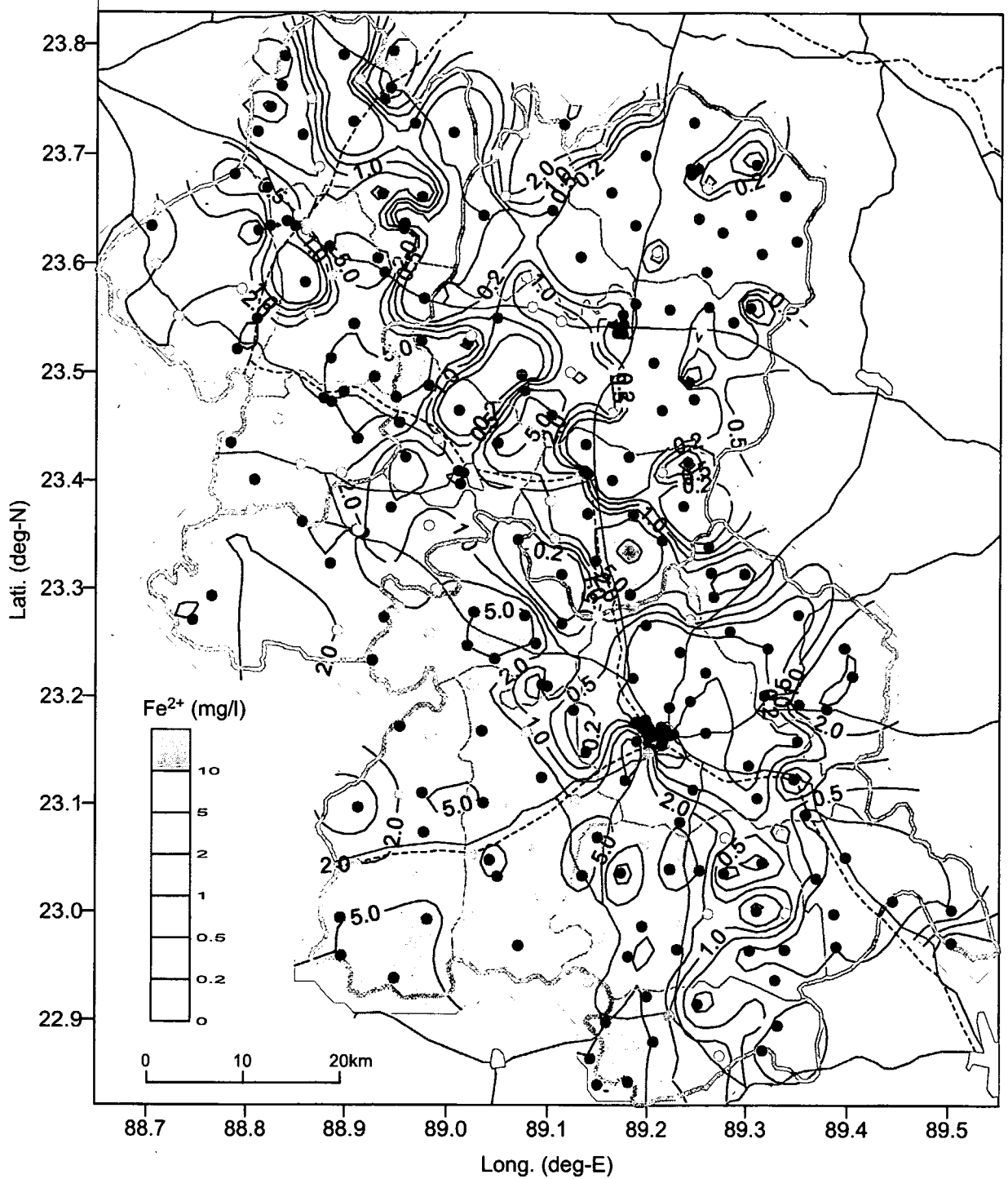
[The groundwater samples of 300 existing wells for rainy season and dry season were collected in June to July 2000 and December 2000 to January 2001, respectively. The arsenic concentrations were analyzed by AAS in Jhenaidah Laboratory established by the JICA Study Team.]

図 4.2.3

雨季と乾季での砒素濃度変化

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)



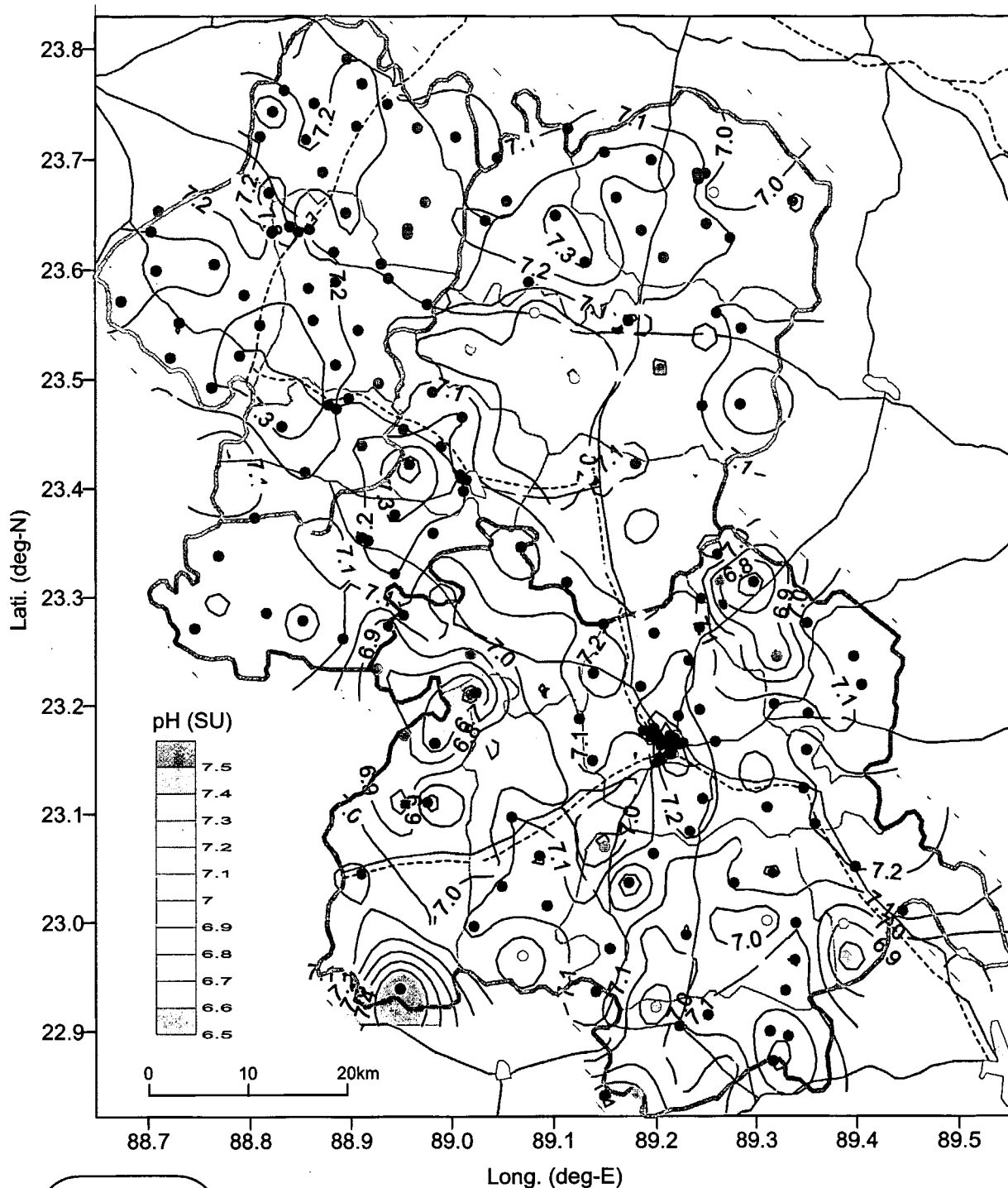
[Iron (Fe^{2+}) concentrations in groundwater of 300 existing wells were measured in June to July 2000 using Iron Pack Test Kit.]

図 4.2.4

雨季における300本既存井戸での鉄濃度 (Fe^{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)



- pH (SU)
- 6.5 to 6.7
 - 6.7 to 6.9
 - 6.9 to 7.1
 - 7.1 to 7.3
 - 7.3 to 7.5
 - 7.5 to 7.8

[SU: Standard Units]

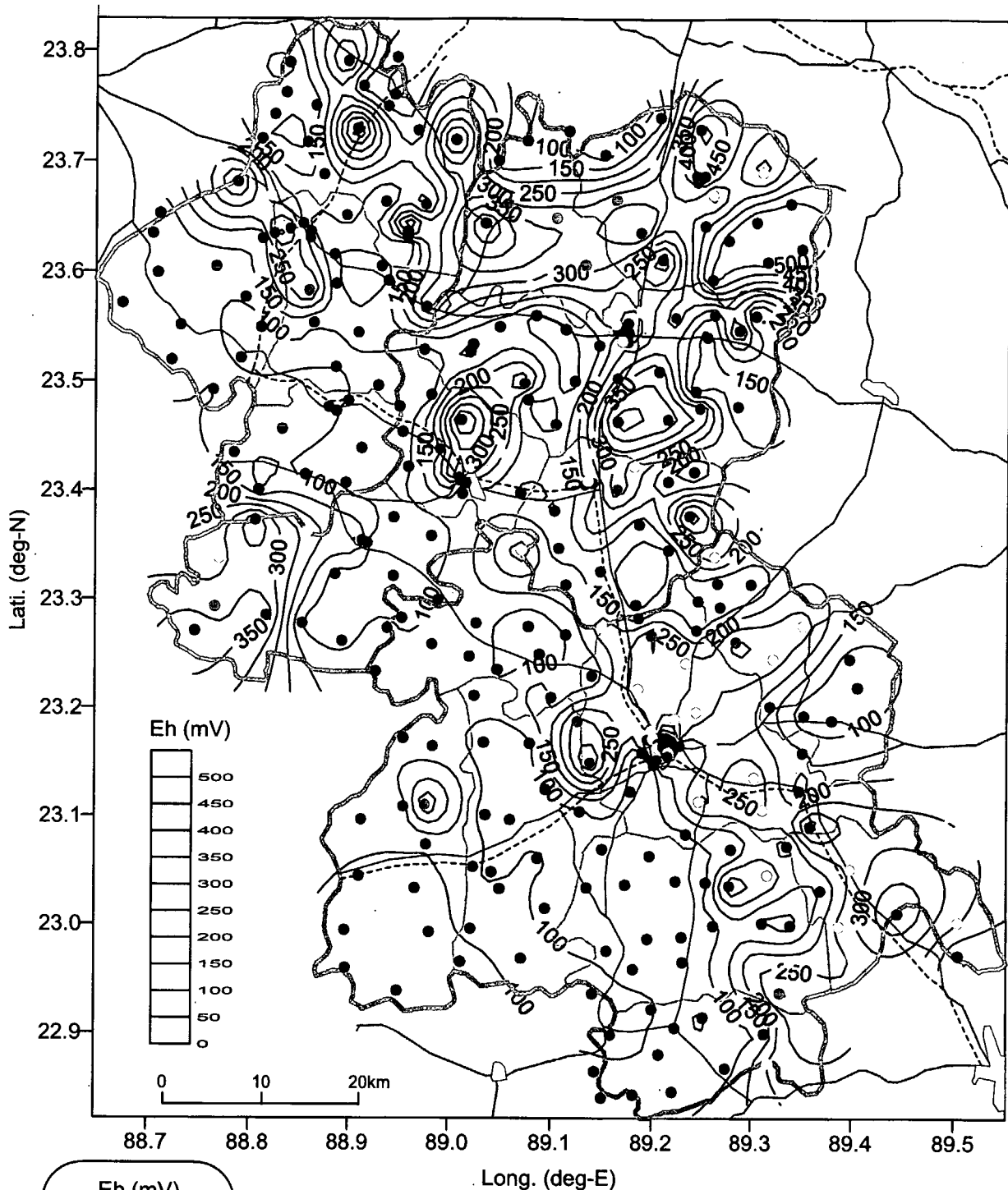
[pH values in groundwater of 300 existing wells were measured in June to July 2000 by potable pH meter.]

図 4.2.5

雨季における300本既存井戸でのpH値

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)



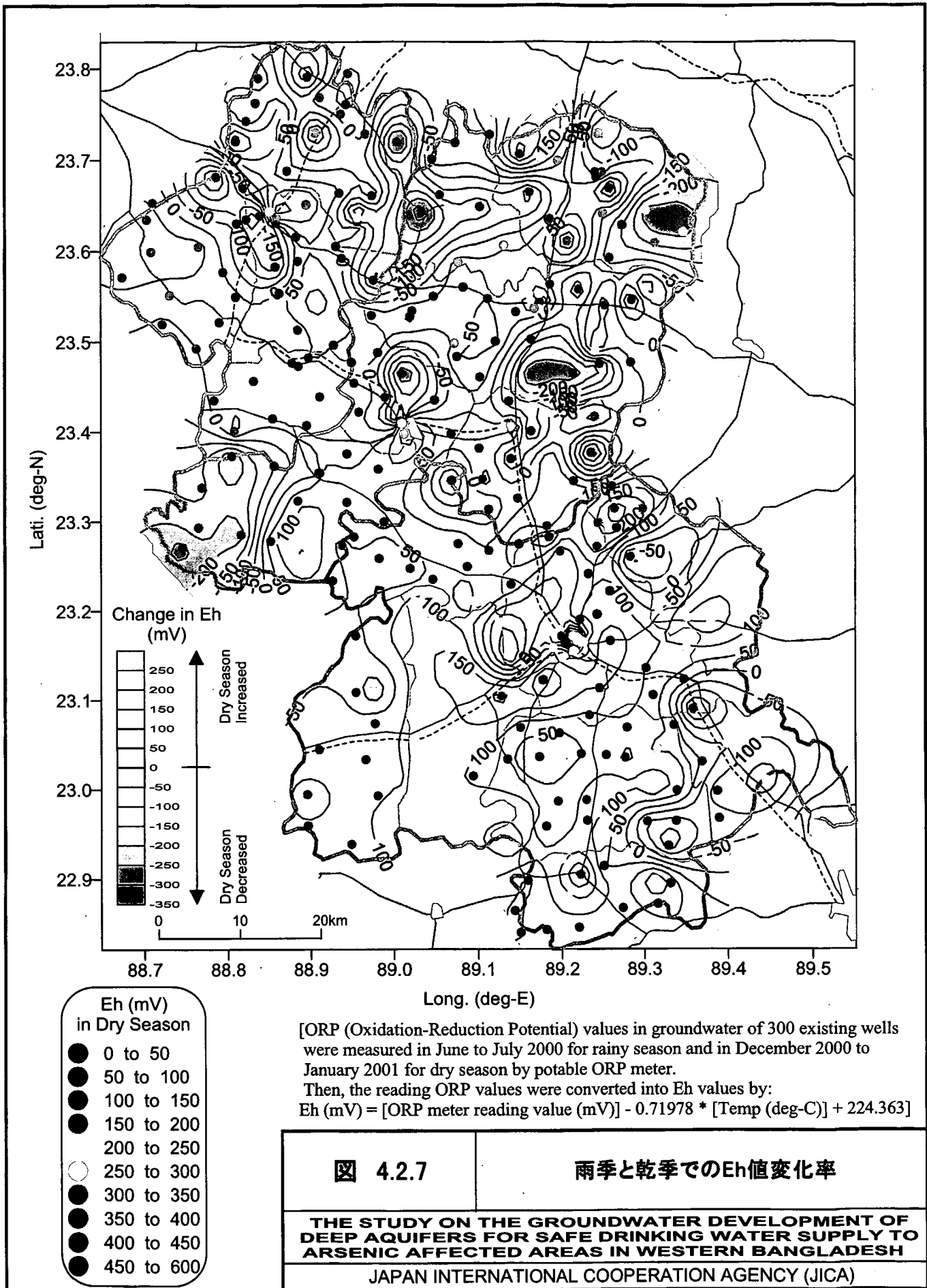
- Eh (mV)
- 0 to 50
 - 50 to 100
 - 100 to 150
 - 150 to 200
 - 200 to 250
 - 250 to 300
 - 300 to 350
 - 350 to 400
 - 400 to 450
 - 450 to 600

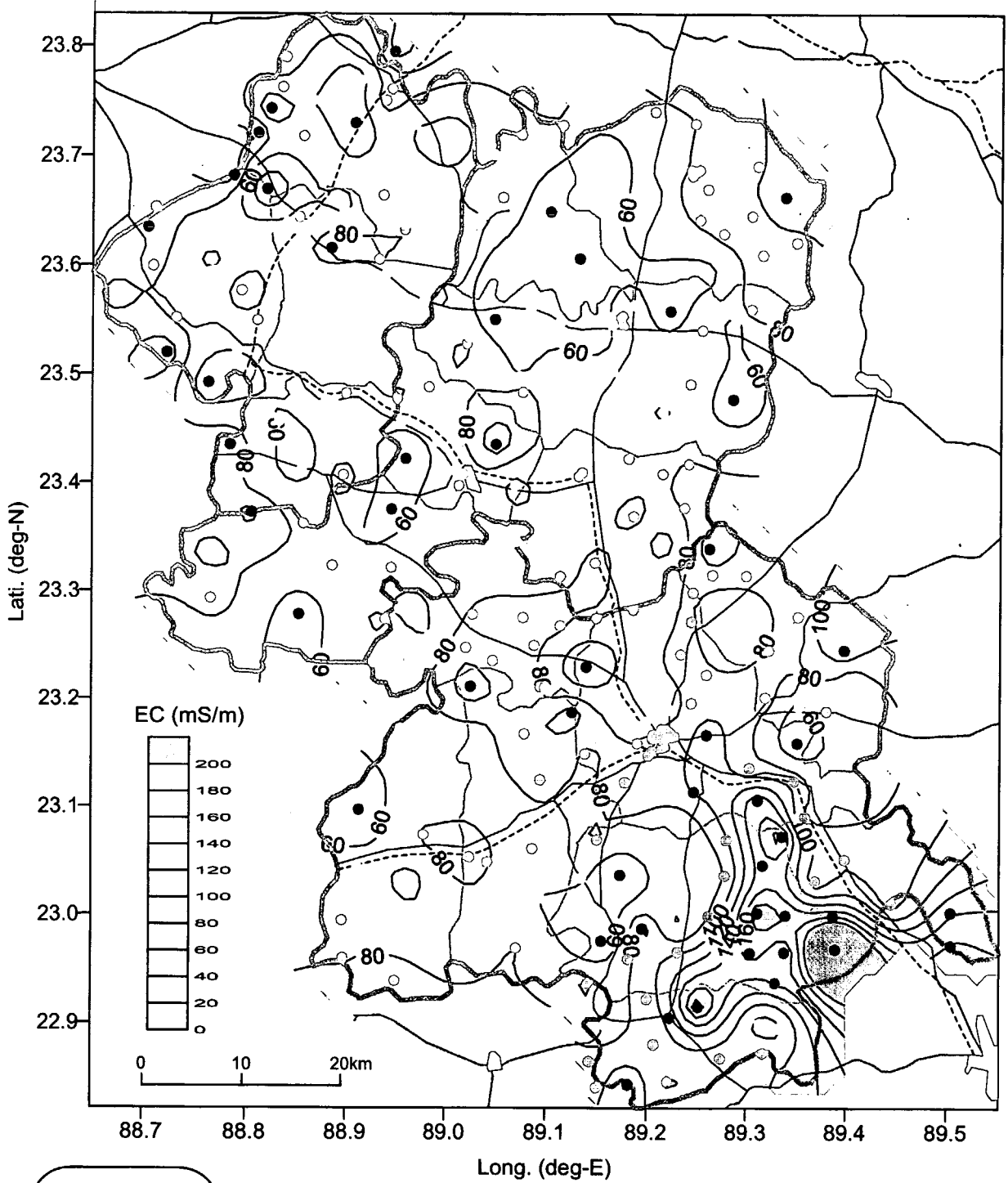
[ORP (Oxidation-Reduction Potential) values in groundwater of 300 existing wells were measured in June to July 2000 by potable ORP meter. Then, the reading ORP values were converted into Eh values by:
 $Eh (mV) = [ORP \text{ meter reading value (mV)}] - 0.71978 * [Temp (deg-C)] + 224.363]$

図 4.2.6 雨季における300本既存井戸でのEh値

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)





- EC (mS/m)
- 0 to 25
 - 25 to 50
 - 50 to 75
 - 75 to 100
 - 100 to 150
 - 150 to 200
 - 200 to 500

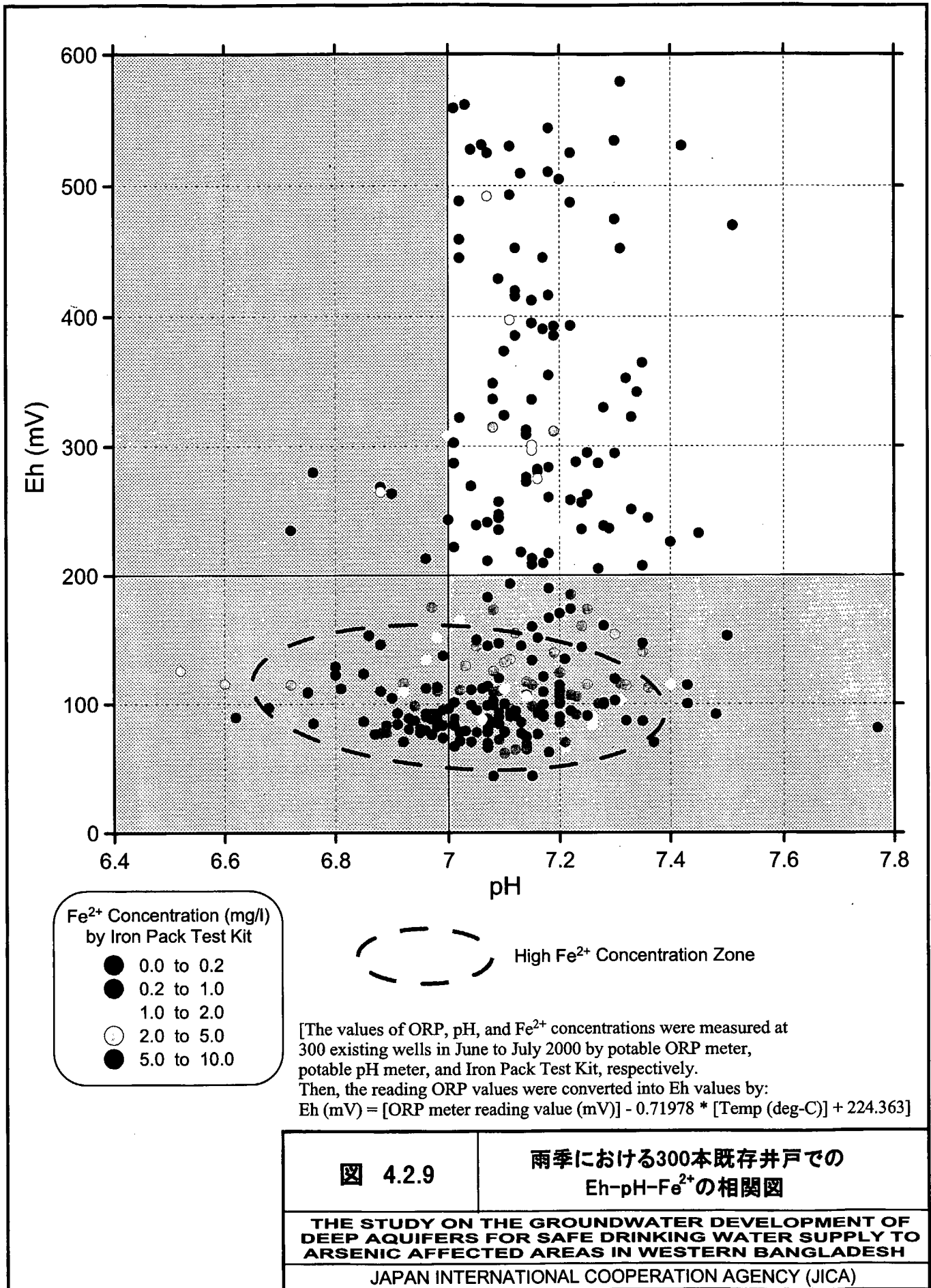
[Electric Conductivity (EC) in groundwater of 300 existing wells were measured in June to July 2000 by potable EC meter.]

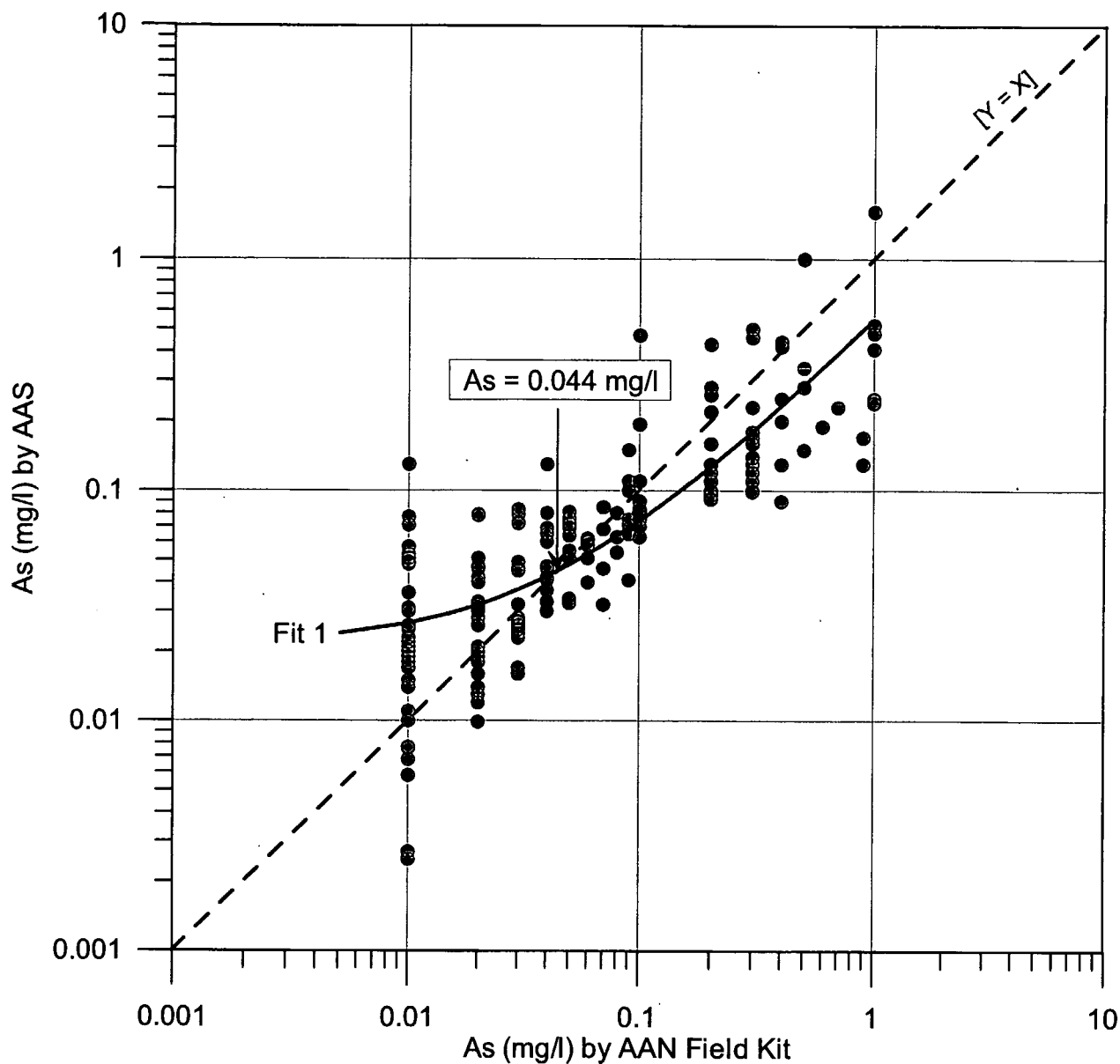
図 4.2.8

雨季における300本既存井戸でのEC値

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1: 直線

$$Y = 0.5272264224 * X + 0.0212958878$$

データ数 = 297

相関係数 = 0.499782

(The arsenic concentrations were measured at 300 existing wells in June to July 2000.)

図 4.2.10

フィールドキットと原子吸光で測定した
砒素濃度の比較 (log-log plot)

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)

4.3 一般水質

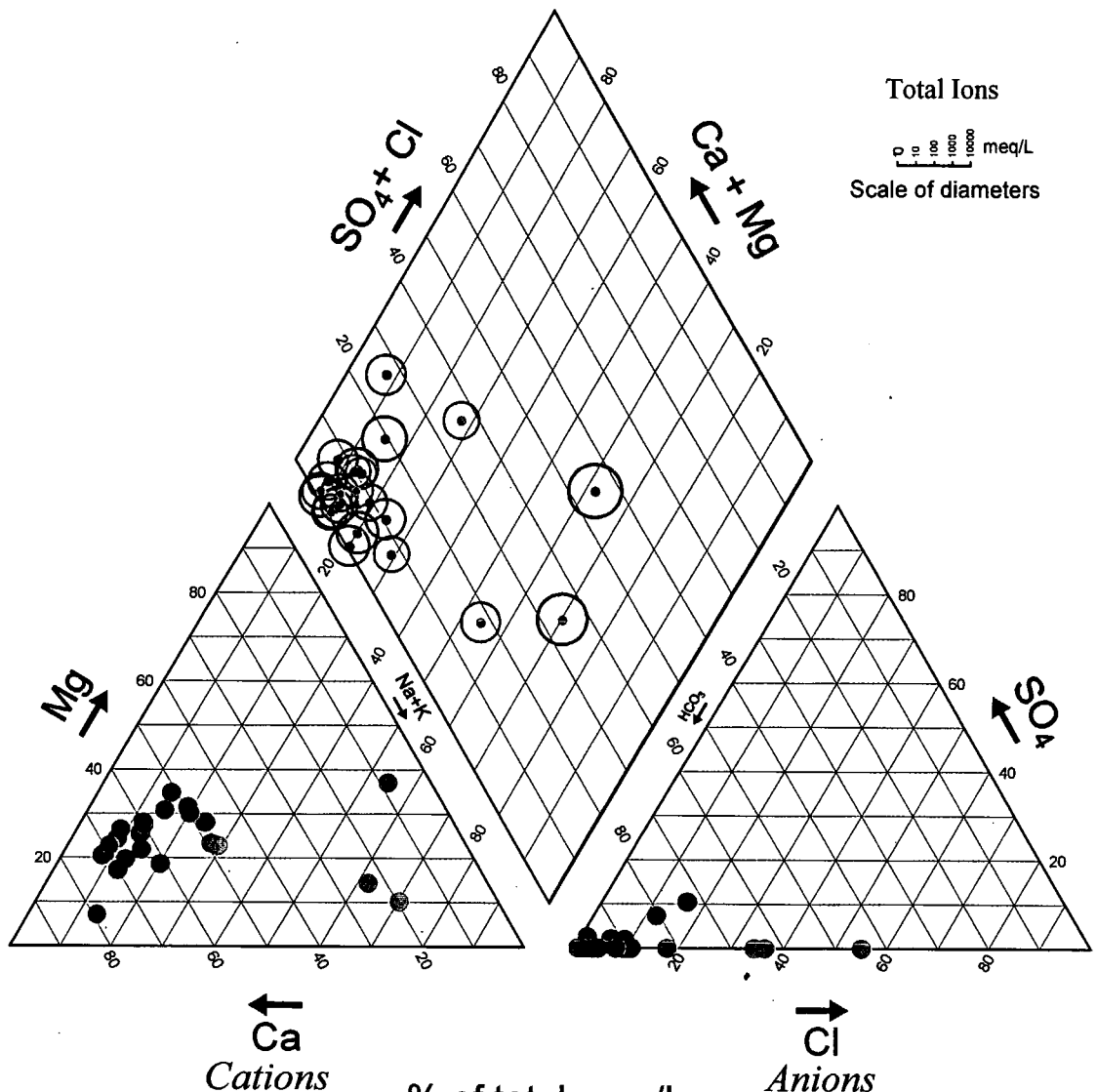
一般水質分析のための合計 30 の地下水試料は、23 箇所の既存管井戸とポルシャバでの 7 箇所の生産井から雨季と乾季に採取された。

4.3.1 浅井戸からの地下水

図 4.3.1 には雨季での 23 箇所の浅井戸から採取した浅層地下水のトリリニアダイアグラムを示した。その井戸深度は 30m から 60m である。大部分の試料は菱型ダイアグラムの左角にプロットされる。これらの試料の化学的な組成は、陽イオンはカルシウム (Ca)、陰イオンは重炭酸 (HCO_3) で特徴付けられる。すべての試料で硫酸イオン (SO_4) は少ない。しかしながら、ジェソール県の南部から採取した試料は、菱型ダイアグラムの中央部から下側にかけてプロットされる。これらの試料はナトリウムイオン + カリウムイオン ($\text{Na}+\text{K}$) と塩素イオン (Cl) の高い含有量で特徴づけられ、塩水の強い影響を受けていることを示唆している。乾季に採取した試料の化学組成は雨季のものと実質的には同じである。

4.3.2 生産井からの地下水

図 4.3.2 は雨季の終わりに生産井戸から採取した地下水のトリリニアダイアグラムを示した。それらの生産井の深度は 100m から 130m である。トリリニアダイアグラムからはチュアダンガとジェナイダの生産井はほぼ同じ化学組成からなる。陽イオンでは、カルシウム (Ca) が 50 から 70% を占め、マグネシウム (Mg) は 20 から 35% である。陰イオンは、重炭酸 (HCO_3) が優勢で、硫酸イオン (SO_4) は極めて少ない。ジェソールの生産井は、チュアダンガやジェナイダの井戸とはやや異なる位置にプロットされる。陽イオンでは、ナトリウム + カリウム ($\text{Na}+\text{K}$) イオンが約 30% を占める。陰イオンは、塩素イオン (Cl) が約 30% を占める。乾季に採取した試料の化学組成は雨季のものと実質的には同じである。

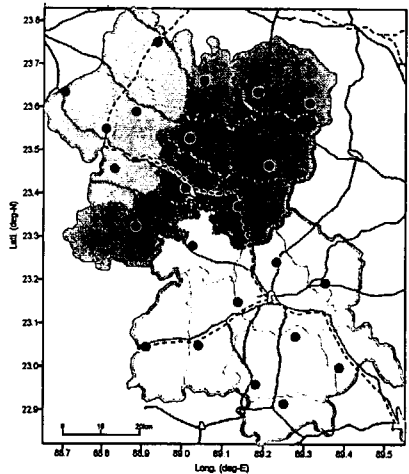


← Ca Cations % of total meq/L Cl Anions →

meq : ミリ当量

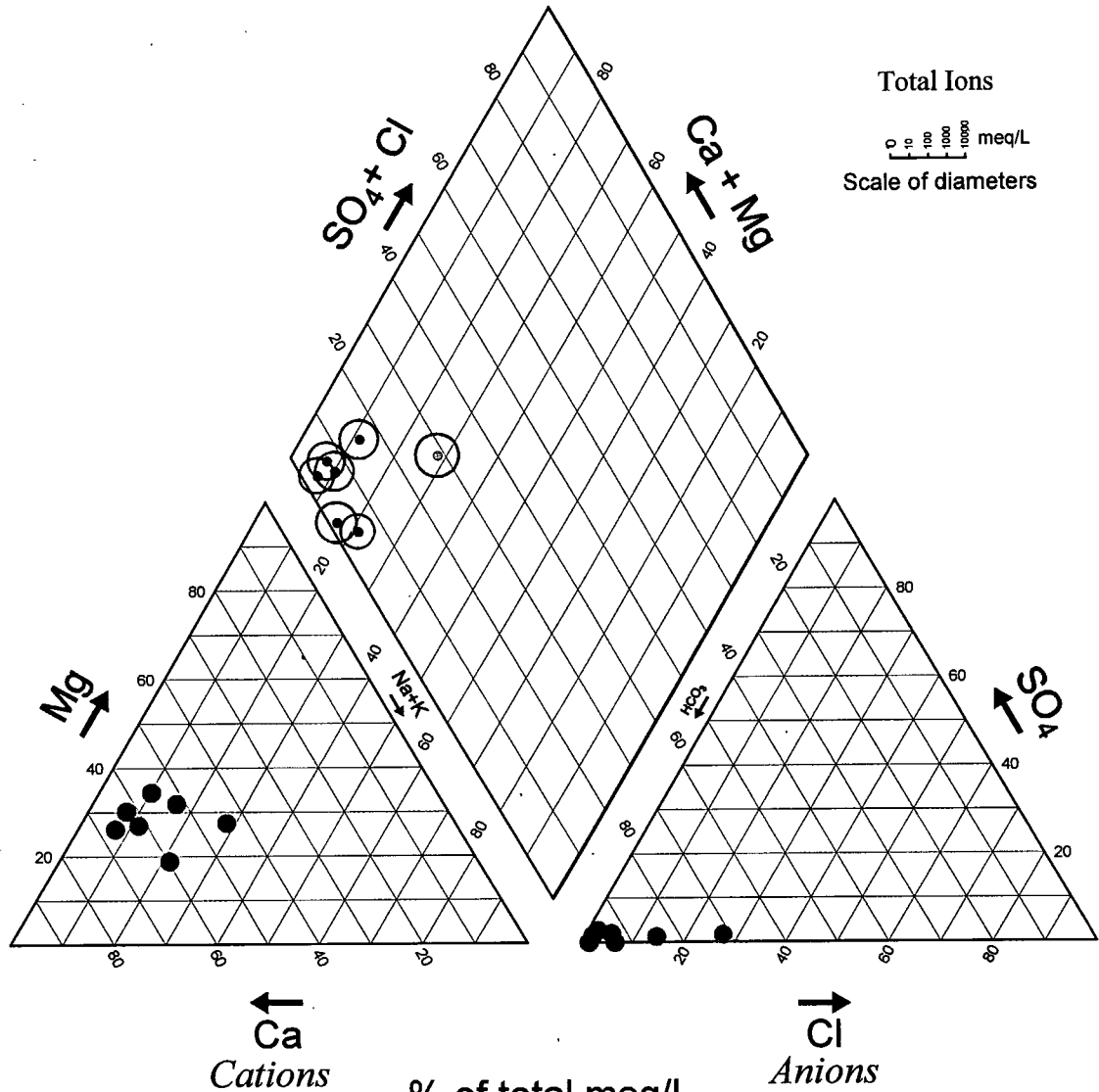
Shallow Tubewell Groundwater Samples

- Chuadanga District
- Jhenaidah District
- Jessore District



[A total of 23 groundwater samples were collected from shallow existing tubewells in June to July 2000 for the general water quality analysis.]

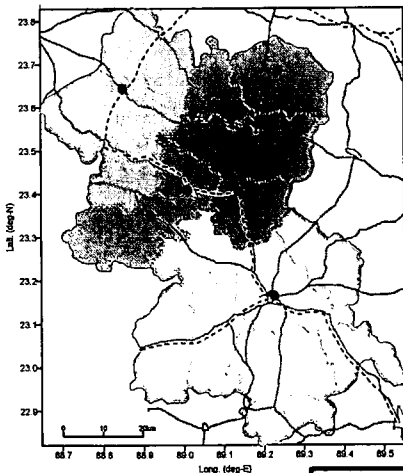
<p>図 4.3.1</p>	<p>雨季における各県の浅層地下水の化学組成 (トリリニアダイアグラム)</p>
<p>THE STUDY ON THE GROUNDWATER DEVELOPMENT OF DEEP AQUIFERS FOR SAFE DRINKING WATER SUPPLY TO ARSENIC AFFECTED AREAS IN WESTERN BANGLADESH</p>	
<p>JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)</p>	



% of total meq/L
meq: ミリ当量

Production Well Groundwater Samples

- Chuadanga District
- Jhenaidah District
- Jessore District



[A total of 7 groundwater samples were collected from production wells in October 2000 for the general water quality analysis.]

図 4.3.2

雨季における各県の生産井の化学組成
(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)