

without depth wise categorization of data was also shown in Table 7. Analyzing the correlation coefficients of three depth layers of 61 districts it was revealed that for wells less than 50m depth (D1) 46% districts show correlation coefficient greater than 0.4 (Fig 5). The percentage decreases to 28% if the threshold value considered as 0.5 (Fig 5).

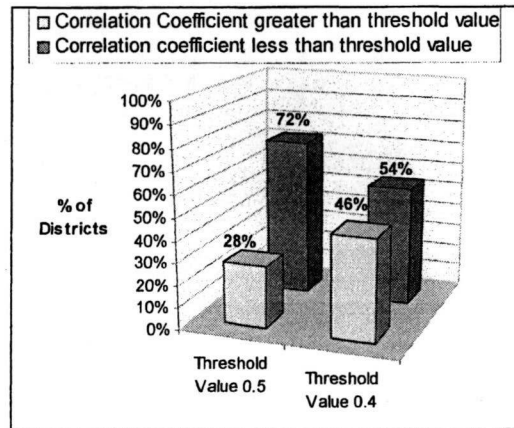


Figure 5: Percentage of districts showing correlation coefficient greater than 0.5 and 0.4 for wells less than 50m deep (D1).

For wells having depth between 50m and 150m (D2) correlation coefficient exceeds 0.4 for 34% districts (Fig6). The percentage decreases to 31% if the threshold value is taken as 0.5 (Fig6).

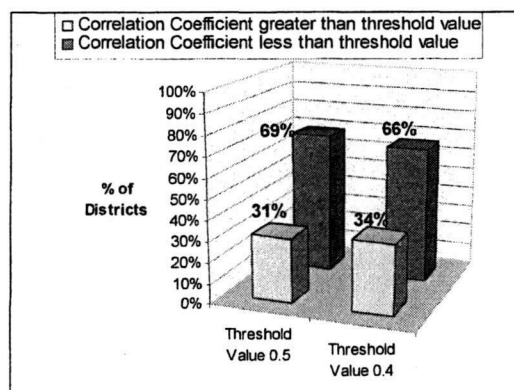


Figure 6: Percentage of districts showing correlation coefficient greater than 0.5 and 0.4 for wells between 50m & 150m deep (D2).

For wells having depth greater than 150m (D3) 16% of districts show correlation coefficient greater than 0.4 (Fig 7). The percentage again decreases to 10% if the threshold value is considered as 0.5 (Fig 7).

Arsenic contamination is very acute in upper layer of wells (Table 2 and Table 3). If the Table 7 and Fig 5 to Fig 7 are analyzed then it is clear that Correlation between arsenic and iron concentration is also found acute in upper layers of wells.

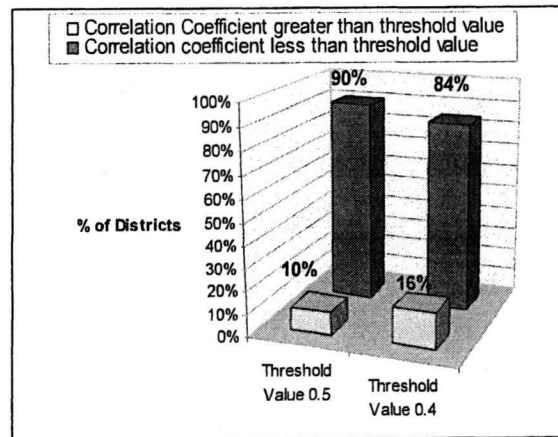


Figure 7: Percentage of districts showing correlation coefficient greater than 0.5 and 0.4 for wells between 50m & 150m deep (D3).

From Table 7 it was observed that for 50.82% districts (31 districts) correlation coefficient reduces for D2 than D1. Among those 31 districts which have lower correlation coefficient for D2, 25 districts are such that correlation coefficient of them reduces for D3 as well. On the other hand 75.41% districts (46 districts) have lower range of correlation coefficient for wells of D3 in comparison with the wells of D1. Which means for 41% districts correlation coefficient pattern is like $D1 > D2 > D3$. So it indicates that there is a tendency of reduction of correlation between arsenic and iron concentration of ground water with the increased well depth.

Munshiganj, Chandpur, Noakhali, Meherpur, Gopalganj, Lakshmipur, Faridpur, Bagerhat, Satkhira, Comilla, Narail and Chuadanga are the 12 most arsenic contaminated districts. 5 of these 12 districts show correlation coefficient greater than 0.4 for D1 and D2. Only 3 of these districts show correlation coefficient greater than 0.4 for D3. Among these 12 most *As* contaminated districts, without any depth wise separation of data maximum correlation coefficient was found in Meherpur as 0.69. When wells of depth less than 50m were separated correlation coefficient was found to be 0.79 for the same district. For the other 2 depth range of the district correlation coefficient was found as 1 and 0. These two results were found because of lack of data of those two depth layers of that specific district. Correlation coefficient of Noakhali was very insignificant of 0.05. It remained insignificant when data were

separated as per depth layers, 0.15, 0 and 0.08 for D1, D2 and D3 respectively. Correlation coefficient of D1 reduces than correlation coefficient found without grouping as per depth for 7 out of these 12 most arsenic contaminated districts.

This depth wise correlation analysis of arsenic and iron reveals that correlation of arsenic and iron in ground water is not constant throughout the depth of wells. Sediment character is different in different portion of Bangladesh which leads the variation in correlation coefficient not only in geographical locations but also variation as per depth of wells. Sediments are typical of alluvial and deltaic sediments with normal amounts of arsenic, mainly in the 1–10mg kg⁻¹ range for total arsenic (BGS, DPHE, 2001). This normal amount of arsenic is sufficient to give excessive arsenic in the groundwater if dissolved or desorbed in sufficient quantity. Arsenic-rich ground waters tended to be found in areas with sediments containing relatively high concentrations of oxalate-extractable iron and arsenic (BGS, DPHE, 2001). Results of this correlation analysis also reveal the fact that zonal difference in sediment characteristic instigates the difference of correlation between arsenic and iron concentration of ground water for different depth layers.

GIS map (Fig 8) represents the zonal correlation status of Bangladesh for well depth less than 50m. Data of 61 districts were separated as per their geographical locations and depth variation. The total range of coefficient was divided into ten groups for mapping. Five of them are negative range while rest five is positive range. Each of these groups is plotted with different colors. One thing is prominent in the map for D1 (Fig 8) that districts of similar range of correlation coefficient reside in a close belt. A belt of districts showing less correlation can be found in Sunamganj, Sylhet, Maulvibazar, Habiganj, Brahmanbaria, Comilla, Munshiganj, Chandpur, Lakshmipur, Noakhali, Feni, Chittagong and Cox's bazaar.

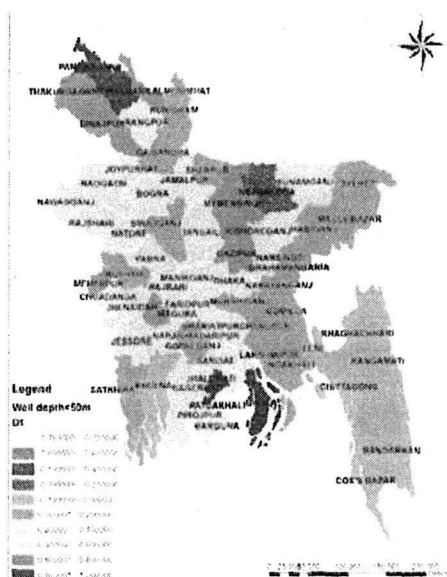


Figure 8: Distribution of correlation coefficient for wells of depth less than 50m (D1).

On the other hand Fig 9 shows the districts which have correlation coefficient between 0.4 and 0.1. Jessore, Narail, Magura, Faridpur, Sariatpur, Rajbari, Manikganj, Dhaka, Narshingdi, Gazipur, Mymensingh, Kishoreganj form a belt which shows similar correlation between *As* and *Fe*. For experimental analysis correlation coefficient between the ranges of 0.4 to 1 is statistically considered moderate to high. If this ranges of data are separated from the GIS map Fig 9 can be produced to show the districts of moderate to higher correlation coefficients between arsenic and iron concentration of ground water.

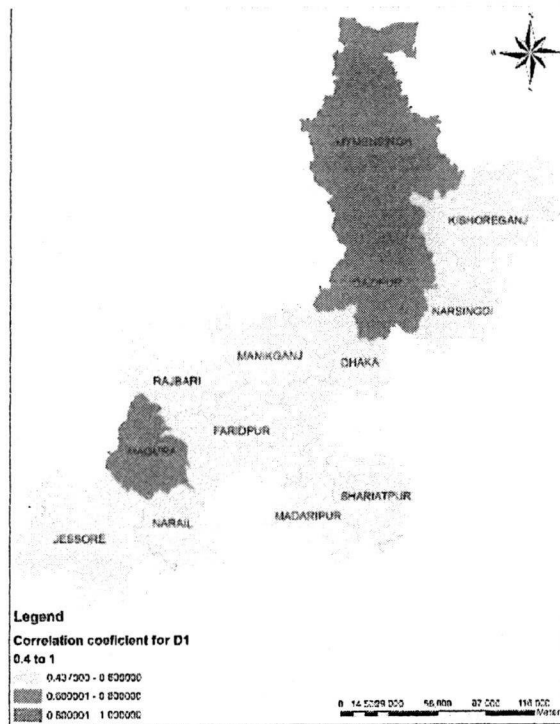


Figure 9: Districts of correlation coefficient between 0.4 and 1 for wells of depth less than 50m (D1).

It is evident from the Fig 9 that a belt of similar correlation (moderate to high) exists in the middle and southern part of Bangladesh. Another similar type of belt is found around Thakurgaon, Dinajpur, Rangpur, Nilphamari and Lalmonirhat districts (Fig 10).

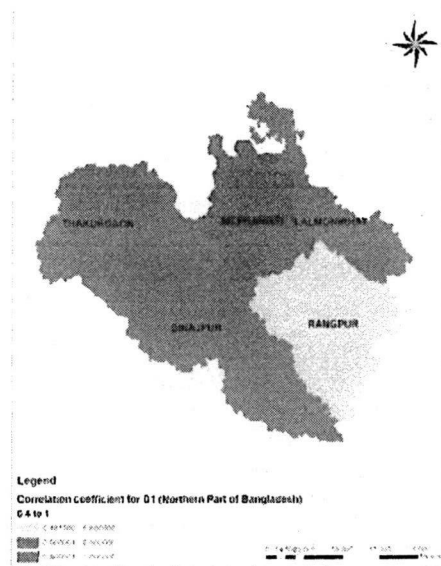


Figure 10: Northern districts of Bangladesh ranging correlation coefficient between 0.4 and 1 for D1.

In Fig 11 GIS map represents the zonal correlation status of Bangladesh for well depth between 50m and 150m (D2). It is visible from the map that for this depth zone most of the districts show lower range of correlation coefficient (light green and sky blue color). Earlier discussion about the tendency of reduction of correlation coefficient in lower depth of wells becomes more evident from the analysis of GIS maps. But one thing is prominent that similar range of correlation coefficient resides in a close belt.

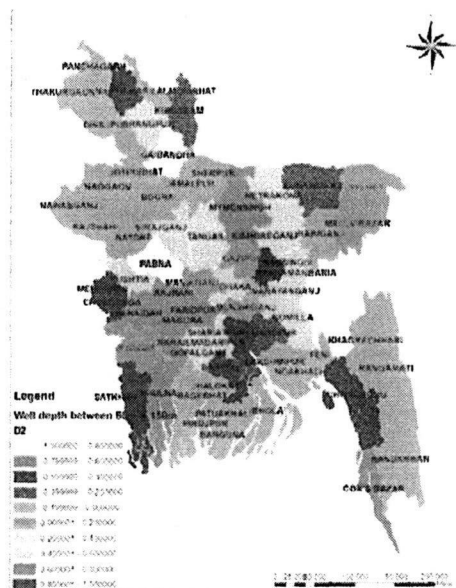


Figure 11: Distribution of correlation coefficient for D2.

Fig 12 shows the districts which show correlation coefficient range form 0.4 to 1 for wells of depth range 50m to 150m. Meherpur, Jhenaidah, Kustia, Rajbari, Faridpur, Magura, Narail, Khulna, Stakhira, Gopalganj, Madaripur, Barisal, Sariatpur reside in this close belt of similar correlation (Fig 12).

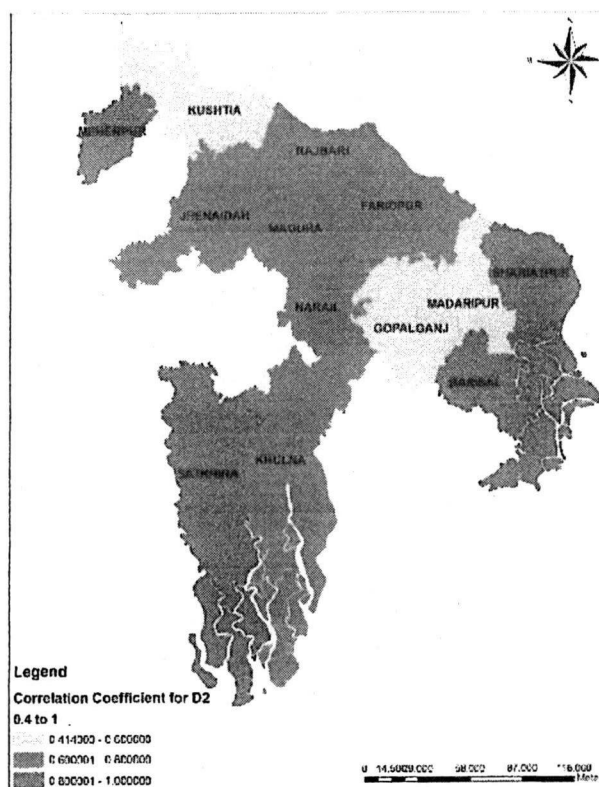


Figure 12: Districts of correlation coefficient between 0.4 and 1 for wells of depth between 50m and 150m (D2).

In Fig 13 GIS map represents the zonal correlation status of Bangladesh for well depth greater than 150m (D3). It is visible from the map that for this depth zone most of the districts show lower range of correlation coefficient (light green and sky blue color). Whole North Bengal (Rajshahi Division) and parts of Dhaka and Sylhet division show correlation coefficient near to zero for this depth layer than the upper two layers. But one thing is also prominent in this map that similar range of correlation coefficient resides in a close belt. Fig 14 shows the districts which show correlation coefficient range form 0.2 to 0.8. Few of the districts are showing correlation coefficient as 0. This is due to the absence of data of well depth greater than 150m category of that specific district.

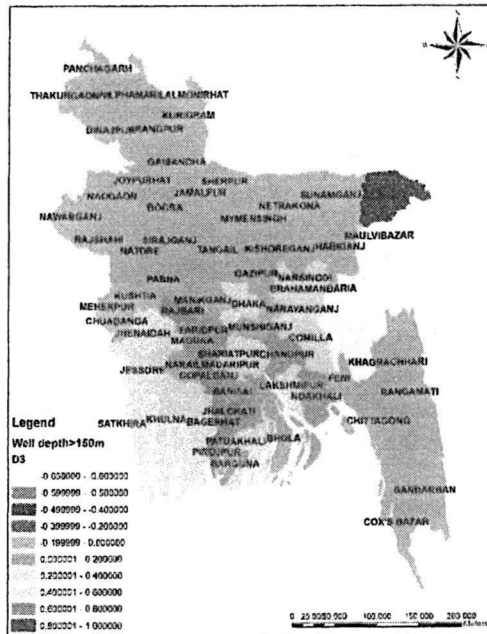


Figure 13: Ddistribution of correlation coefficient for wells of depth greater than 150m (D3).

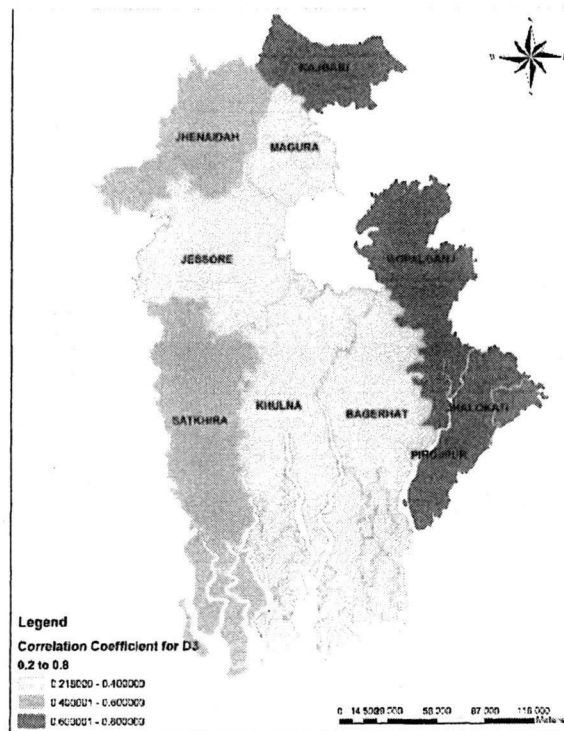


Figure 14: Districts of correlation coefficient between 0.2 and 0.8 for well depths greater than 150m (D3).

Table 8 describes that for wells less than 50m (D1), 45.9% districts show correlation coefficient more than 0.4. The percentage reduces to 34% districts for wells between 50m and 150m depth (D2) and 16.39% for wells greater than 150m depth (D3). It reveals that higher percentage of districts show correlation coefficient greater than 0.4 for D1 than the other two depth layers D2, D3. Analysis of GIS maps (Fig 8, 11, 13) also act as a useful tool for showing the tendency of reduction of correlation coefficient in the lower depth layers. Few of the districts represent correlation coefficient as 1 or 0. This represents the lack of data in that depth group of that particular district.

Table 8: Comparison of correlation coefficient in three depth layers.

	% of districts in each depth layer		
	D1	D2	D3
Correlation Coefficient>0.4	45.90%	34.43%	16.39%
Correlation Coefficient>0.5	27.90%	31.15%	9.84%

Regression analysis of data

It is evident from the analysis that correlation between arsenic and iron concentration is not a national phenomenon rather it is a zonal phenomenon. Not only that this correlation also varies with the depth of wells. Therefore an attempt has been made to correlate arsenic and iron for the zones and well depths where correlation coefficient between arsenic and iron concentration is higher. When regression analysis was performed using the data separating them as per their geographical locations and well depth variation, results were found as shown in Table 9. In this analysis arsenic is taken as the dependent variable.

Equation (1) is formed through regression analysis. A and B are the constants derived from the regression model. In this model iron concentration is taken as milligram/Liter and arsenic concentration as microgram/Liter. In the Table 9 R-square values for each model is provided. “R-square” is the square of correlation coefficient “r” and it represents the proportion of variance in one variable is accounted for (or explained) by the other variable. In Table 9 results of regression analysis for 3 depth layers of 61 districts are provided.

$$\text{Arsenic } (\mu\text{g/L}) = A + (B) (\text{Iron in mg/L}) \tag{1}$$

A, B = Constants from regression model

Table 9: Regression model for three depth layers of 61 districts of Bangladesh.

District	D1 (<50m)			D2 (between 50&150m)			D3 (D>150m)		
	A	B	R-square	A	B	R-square	A	B	R-square
Bagerhat	84.96	12.87	0.16	-	-	-	1.11	0.95	0.1
Barguna	3.26	1.22	0.05	-	-	-	1.14	0.15	0
Barisal	104.52	24.64	0.14	-12.43	233.33	1	3.75	0.88	0.002
Bhola	148.65	11.77	1	-	-	-	2.02	-0.31	0.003
Bogra	4.14	4.53	0.19	-	-	-	-	-	-
Brahamanbaria	82.39	4.95	0.02	10.8	18.82	0.09	-0.11	3.89	0.14
Chandpur	405.1	0.9	0	332.3	-43.16	0.13	10.39	0.004	0
Chittagong	51.76	-1.01	0.01	16.63	-0.92	0.27	7.56	-0.02	0
Chuadanga	0.51	31.71	0.27	62.51	-8.59	0.31	-	-	-
Comilla	143.75	9.92	0.03	11.5	2.2	0.08	1.64	2.71	0.13
Cox's Bazar	5.79	-0.11	0.003	-0.36	0.2	0.59	5.44	-0.3	0.01
Dhaka	17.03	3.03	0.19	31.36	4.62	0.11	1.36	9.74	0.27
Dinajpur	-0.22	2.23	0.52	-	-	-	-	-	-
Faridpur	55.7	22.45	0.22	22.46	29.22	0.36	4.08	0.004	-
Feni	74.7	-2.4	0.03	7.06	-0.11	0.003	3.85	-0.45	0.03
Gaibandha	14.43	1.36	0.01	24.07	-0.23	0.91	-	-	-
Gazipur	-8.89	51.08	0.58	0.89	0.24	0.02	-	-	-
Gopalganj	187	6.63	0.03	78.85	24.89	0.17	-0.27	3.11	0.6
Habiganj	16.54	0.47	0.01	28.59	-0.46	0.002	14.44	-3.48	0.03
Jamalpur	1.49	3.02	0.2	-	-	-	-	-	-
Jessore	17.47	18.02	0.24	59.42	3.86	0.02	9.14	1.22	0.05
Jhalokati	-54.13	55.96	0.8	-	-	-	-1.18	17.56	0.37
Jhenaidah	28.53	8.06	0.05	-2.14	14.23	0.47	0.89	7.25	0.17
Joypurhat	1.18	0.16	0.04	-	-	-	-	-	-
Khulna	72.51	-0.81	0.001	0.72	22.07	0.57	1.43	0.6	0.07
Kishoreganj	42.19	14.78	0.26	6.69	14.01	0.26	7.92	-0.31	0
Kurigram	13.26	1.24	0.04	31.79	-2.1	0.12	-	-	-
Kushtia	111.37	2.84	0	5.42	4.59	0.25	-	-	-
Lakshmipur	196.55	7.89	0.01	-	-	-	5.25	0.21	0.24
Lalmonirhat	0.37	0.44	0.45	-	-	-	-	-	-
Madaripur	150.99	29.62	0.3	37.63	23.72	0.34	0.33	8.23	0.12
Magura	2.89	15.06	0.37	7.84	14.77	0.4	10.43	3.6	0.08
Manikganj	10.22	2.89	0.25	22.58	0.89	0.04	-	-	-
Maulvibazar	13.84	0.15	0.001	24.96	0.64	0.01	10.86	-1.18	0.43
Meherpur	-60.49	59.42	0.63	11.38	259.42	1	-	-	-
Munshiganj	212.44	2.3	0.01	144.77	6.19	0.03	-	-	-
Mymensingh	8.6	8.75	0.63	4.13	7.77	0.48	-	-	-
Naogaon	3.11	2.4	0.04	-	-	-	-	-	-
Narail	103.74	8.59	0.24	12.7	17.35	0.58	-	-	-
Narayanganj	52.77	5.96	0.13	4.25	-0.46	0.03	4.46	-0.22	0

Narsingdi	22.82	10.65	0.26	-1.91	25.97	1	11.98	19.33	0.13
Natore	1	1.43	0.22	-	-	-	-	-	-
Nawabganj	5.84	2.18	0.06	-	-	-	-	-	-
Netrakona	68.9	-2.01	0.05	21.72	7.88	0.2	-	-	-
Nilphamari	-0.04	0.8	0.67	0.21	1.41	0.84	-	-	-
Noakhali	163.68	17.43	0.02	-	-	-	5.94	0.16	0.01
Pabna	17.72	6.73	0.1	0.85	-2.78	1	-	-	-
Panchagarh	0.49	0.83	0.87	-	-	-	-	-	-
Patuakhali	17.15	-1.69	0.58	-	-	-	1.05	10.4	0.27
Pirojpur	-3.13	14.84	0.3	-	-	-	0.74	9.57	0.45
Rajbari	22.05	9.42	0.24	1.25	6.48	0.5	-1.53	7.35	0.38
Rajshahi	3.02	6.24	0.29	-	-	-	-	-	-
Rangpur	-2.76	2.72	0.23	1.5	0.44	0.31	-	-	-
Satkhira	101.5	7.83	0.03	-39.42	62.38	0.87	-4.14	10.9	0.21
Shariatpur	87.56	22.67	0.23	-47.74	54	1	2.2	2.95	0.19
Sherpur	18.84	0.74	0.03	-	-	-	-	-	-
Sirajganj	21.99	1.17	0.04	19.8	1.45	0.12	-	-	-
Sunamganj	6.22	0.28	0.08	64.64	-5.02	0.07	19.01	-1.93	0.03
Sylhet	11.88	0.43	0.03	26.11	0.15	0.002	24.38	-4.53	0.2
Tangail	12.03	1.81	0.07	3.21	4.67	0.36	-	-	-
Thakurgaon	0.46	0.47	0.38	-	-	-	-	-	-

Using this regression model for 61 districts of Bangladesh provided in Table 9 arsenic concentration of any well of those districts can be tentatively measured, if iron concentration of that well is known.

For example, the iron concentration of a well of 21m deep of Nilphamari district, Thana domar, union Gomnati and mouza Dakshi (Lat 26.22 Long 88.82) is found to be 0.67 mg/L. From Table 9 the value of regression coefficient found from regression model for Bagerhat district for wells less than 50m depth is found to be -0.04 and 0.8. The equation for this district becomes like the following one.

$$\begin{aligned} \text{Arsenic } (\mu\text{g/L}) &= A + (B) (\text{Iron in mg/L}) \\ \text{Arsenic } (\mu\text{g/L}) &= -0.04 + 0.8(0.67) \\ &= 0.496 \end{aligned}$$

Correlation coefficient “r” found for the wells of depth less than 50m of this district is 0.82. R-square is the square of this value which represents the proportion of variance in one variable accounted for (or explained) by the other variable. R-square for this value is 0.67.

Similarly if depth of any well of Nilphamari district is 95m then arsenic of that well can be tentatively assessed by using the regression model of that specific depth zone (D2) of Nilphamari district. This depth wise regression model gives more flexibility as arsenic concentration of any well can be assessed by using the regression model of that specific depth zone of a specific district.

Scope and features of the produced GIS map

These GIS maps and analysis results can be used for determining arsenic concentration of different wells of different locations. As an example if arsenic concentration of a well of 270m depth of Madaripur district needs to be assessed, GIS maps can be helpful for that. For a district, regression model (Table 9) can be utilized for approximation of arsenic concentration from the know iron concentration of a well. Through this equation the arsenic concentration can be tentatively verified. Reliability of this result should be assessed by R-square value. This method can prove to be very economical if it is used in large scale.

Conclusion

Total 4367 number of data is used for analysis in this research. Data of 61 administrative districts of Bangladesh were available for analysis. Considering the difference in sedimentation characteristics data of 4367 wells were categorized in three depth layers, Well depth less than 50m, Well depth between 50m and 150m, well depth greater than 150m. Analysis was performed in four different patterns. While correlation analysis was performed using all available 4367 data without categorizing as per geographical locations and depth variation (Pattern-01), correlation coefficient was found to be 0.192 (Table 4) which is very insignificant. Pattern-02 represents the correlation analysis with depth wise categorized data. In this pattern correlation coefficient was also found very insignificant (0.15, 0.189 and 0.18 for depth<50m, Depth between 50m &150m and Depth>150m respectively). But when all the data were reorganized as per their geographic location (Pattern-03), correlation coefficient improved in most of the district drastically.

In pattern-04 data were categorized as per both geographical location (61 districts) and depth variation of wells. Three depth layers were considered in this study, well depth less than 50m, between 50m and 150m, greater than 50 were termed as D1, D2 and D3 respectively. Analyzing the correlation coefficients of three depth layers of 61 districts it was observed that for D1 46% districts show correlation coefficient greater than 0.4 (Fig 5). The percentage decreases to 28% if the threshold value considered as 0.5 (Fig 5). For wells of D2 correlation coefficient exceeds 0.4 for 34% districts. The percentage decreases to 31% if the threshold value is taken as 0.5. For wells of D3 16% of districts show correlation coefficient greater than 0.4 (Fig 7). The percentage again decreases to 10% if the threshold value is considered as 0.5 (Fig 7).

For 41% districts correlation coefficient pattern is like D1>D2>D3. 5 out of 12 most arsenic contaminated districts show correlation coefficient greater than 0.4 for D1 and D2. Only 3 of these districts show correlation coefficient greater than 0.4 for D3. So it indicates that there is a tendency of reduction of correlation between arsenic and iron concentration of ground water with the increased well depth. Difference in sedimentation characteristics triggers this variation in depth layers.

Arsenic contamination is acute in the wells of depth less than 50m. As the depth of wells increases arsenic contamination tends to decrease in most of the districts (Table 2 and 3). Similar trend is observed for correlation coefficient between arsenic and iron concentration of groundwater in most of the districts of Bangladesh.

GIS maps were produced with the results of the analysis. Fig 8, 11 and 13 show the representation of correlation coefficient of three depth layers of 61 districts of Bangladesh. These three figures show that similar range of correlation resides in a close belt of zone for each depth layer. Fig 9 and 10 portray the districts of similar higher range of correlation coefficient for well depth less than 50m. On the other hand Fig 12 and 14 portray the districts of similar higher range of correlation coefficients for D2 and D3 respectively. This reveals that a geographical belt exists for each depth layer where correlation between arsenic and iron concentration of ground water is moderate to High.

Regression models were developed for 3 depth layers of 61 districts. This depth wise regression model gives more flexibility as arsenic concentration of any well can be assessed by using the regression model of that specific depth zone of a specific district.

References

- [1] Aggarwal, P K, A R Basu, R J Poreda, K M Kulkarni, K Froehlich, S A Tarafder, M Ali, N Ahmed, A Hossain, M. Rahman, S R Ahmed, (2000). A Report on Isotope Hydrology of Groundwater in Bangladesh: Implications for Characterization and mitigation of arsenic in Groundwater. IAEA TC Project BGD/8/016
- [2] BGS-DPHE (2001), Arsenic contamination of groundwater in Bangladesh, BGS Technical Report, WC/00/19
- [3] DPHE-APSU-JICA, (2006), Final report on development of deep aquifer data base and preliminary deep aquifer map, First phase, DPHE-APSU-JICA (Its link should be referred somewhere else, since the reference was deleted from the text)
- [4] DoE (1991), Environmental Quality Standard for Bangladesh, Department of Environment
- [5] DoE (1997), Environmental Quality Standard for Bangladesh, Department of Environment
- [6] GWTF, (2002) Report of the Ground Water Task Force. Local Government Division, Ministry of Local Government and Engineering Department
- [7] Karim Md. Masud (2000), Arsenic in Groundwater and health problems In Bangladesh. Water Research, Vol. 34, No. 1, pp. 304-310
- [8] WHO (1993) "Guidelines for drinking water quality", Volume-01: Recommendations, 2nded, Geneva, Switzerland: WHO; 39-57, 174

Bangladesh 村落部におけるヒ素対策装置普及に向けての 住民の水使用形態に関する調査

○ 眞子岳 東洋大学大学院 国際地域学研究所

北脇秀敏 東洋大学 国際地域学部

MD.MAFIZUR RAHMAN Bangladesh 工科大学 土木工学部

キーワード： Bangladesh、地下水ヒ素汚染、水使用形態、ヒ素・鉄除去装置、商業化

1. はじめに

Bangladesh では自然由来のヒ素によって地下水が汚染され、村落部中心に健康被害が起きている。地下水を汲み上げる管井戸 (tube well) の建設が 1970 年ごろに始まり、1980 年代から急速に増加した。地下水中から 1993 年に初めてヒ素が発見される中、井戸の半分以上が 1995 年以降に建設され Bangladesh 国内に慢性ヒ素中毒患者が広がったとされている¹⁾。ヒ素汚染の対策として、現地の NGO や国際機関の援助によって村落地域に管井戸に接続できるヒ素除去装置が建設されている。しかし運営維持管理ができない地域も多々あり、現在使用されていない装置があるのも事実である。これらの対策として、持続可能な運転維持管理のシステムを提案しユーザーである住民のヒ素対策に関する意識を高め、ヒ素除去装置を普及させるために住民の水使用形態を把握する必要がある。

2. 研究目的・手法

2008 年 8 月 Bangladesh 国、Manikganj 県、Ghior 郡、Baikunthapur 村において、11 世帯に対する地下水の水使用形態等を調査した。調査では住民の①収入額、②地下水に対する意識、③ヒ素除去装置に対する支払意思額をヒアリングした。そのデータをもとに家庭レベルのヒ素除去装置が経済的に妥当であるかを分析した。また調査結果から対策装置の普及方策について提案した。

3. 住民の水使用形態

住民の水使用形態の調査結果を図 1 から図 4 に示す。図 1 および図 2 より雨期・乾期とも、飲用に管井戸の未処理地下水が 60% 以上使用されているが、表流水は使用され

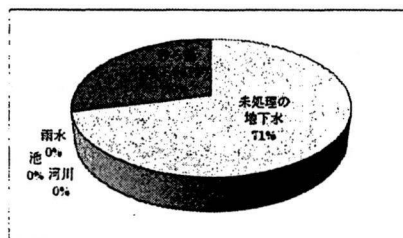


図 1 雨期の飲料水源

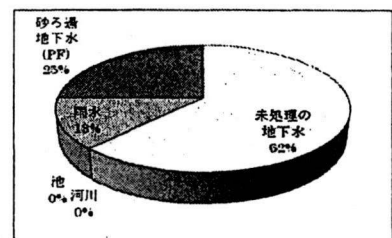


図 2 乾期の飲料水源

ていないことがわかる。図 3 および図 4 より調理用においては、Picher Filter による砂ろ過地下水や代替水源の使用率が飲料用の場合より高いことがわかる。この理由はヒアリングから住民が炊飯時に未処理の地下水を使用すると米が褐色になることを嫌うためであることが明らかになった。このこと

[連絡先] 〒112-0001 東京都文京区白山 2-36-5 東洋大学白山第二キャンパス 東洋大学国際地域学部
北脇秀敏研究室気付 Tel /Fax:03-5844-2240 E-Mail:gg0900012@toyonet.toyo.ac.jp

からヒ素除去と同時に鉄が除去できる AIRP (Arsenic and Iron Removal Plant =ヒ素・鉄除去装置)に対するニーズが高いと考えられる。

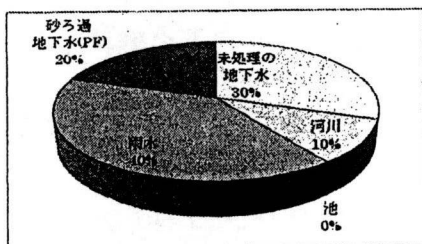


図3 雨期の調理用水源

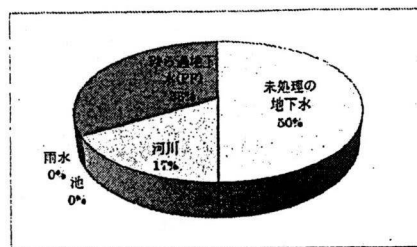


図4 乾期の調理用水源

4. ヒ素・鉄除去装置の経済的妥当性

現地で普及が望まれる AIRP は、図5のように現地で入手可能なサニタリーリング(トイレ製造に使用するコンクリート製の筒でありバングラデシュ国内に普及している)を容器として用いたものである。当装置は地下水を手押しポンプで汲み上げた後、エアレーションし、砂ろ過するシステムである。地下水中に含まれるヒ素をバングラデシュの水質基準(0.05mg/L)以下まで除去することが可能であり、家庭で安全な水へのアクセスが容易になる。

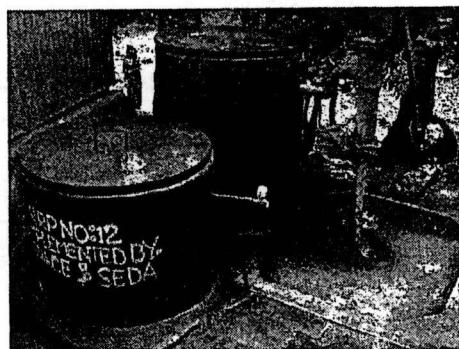


図5 AIRP

この装置の建設費は 6690Tk(タカ：2009年5月時点で 1Tk=1.3円)で建設可能なことがヒアリング調査より明らかになった。これは調査対象家庭の平均月収(雨季)5800Tk / Family に近い費用である。また装置に対する支払意思額平均値は 225Tk/月で、住民の月平均収入の約 3%に相当する。これは家計支出の 3%を飲料代金として支出できると仮定した場合¹⁾、一世帯が約 3年以内に対策装置を購入できる額である。現地では管井戸を共同利用することが多く、AIRP も同様にシェアすれば、より短期間で建設費コストを償還できる。以上のように、普及しているサニタリーリングを用いた AIRP は製造が容易であり、住民にとって経済的に妥当性が高いと考えられる。また、サニタリーリング製造業者の収入向上につながるため、こうした業者が AIRP 普及の推進者となる可能性を期待できる。ユーザーである住民は水汲み時間の軽減や健康増進に繋がるインセンティブがあるため、AIRP の普及が可能であると考えられる。

5. 結論

本論文での検討の結果、水使用形態と経済的妥当性が明らかになった。持続可能な AIRP の普及を可能にするために外部組織に依存せず、サニタリーリング製造業者はコスト回収や修理を行うと同時に対策装置の営業をし、ユーザーである住民は装置の支払いするシステムを用いた AIRP の商業化を行うことが妥当であると考えられる。

[参考文献]

¹⁾ Not just Red or Green. An Analysis of Arsenic Data from 15 Upazilas in Bangladesh, Bosenboom(2004)

²⁾ The World Bank, Information and Training for Low-Cost Water Supply and Sanitation, Institutional and Financial Aspects (1986) P20

カンボジア国村落部における地下水砒素汚染に関する研究 —援助機関による介入の変遷と砒素慢性疾患(Arsenicosis)症例について—

Study on Arsenic Pollution of Groundwater in Rural Areas in Cambodia - Interventions by Donors and Prediction of Arsenicosis Cases -

○五十嵐 堅治* Igarashi, Kenji	ロス・ソパク Ros, Sophak	北脇 秀敏 Kitawaki, Hidetoshi
東洋大学国際地域学部 北脇研究室外部共同研究者 External Co-Researcher Toyo University	東洋大学大学院 国際地域学研究科 Master Course Toyo University	東洋大学 国際地域学部 Regional Development Studies Toyo University

<要約> バングラデシュ国における安全な水供給から地下水砒素問題に至る国際機関等の介入経緯と、カンボジア国の砒素問題発生経緯の類似点に着目することで、カンボジア国でも同様の介入結果による Arsenicosis 症例の増加傾向があるとし、同国のドナーや NGOs の介入の経緯、水系性疾患症例の減少及び Arsenicosis 症例数増加の簡易予測を検討した。

<キーワード> BHN、安全な水供給、砒素汚染、健康影響、環境保健、ドナー介入

1. 研究の目的

バングラデシュ国（以下「バ」国）における Unicef 等による井戸建設等による安全な水供給の介入、地下水砒素汚染の拡大及び健康への影響（水系性疾患 (WBDs: Water Bore Diseases) 症例の減少と砒素慢性疾患症例 (Arsenicosis) の増加）及びその後の地下水砒素問題への国際機関等による介入経緯と、「カンボジア国（以下「カ」国）の同砒素汚染発生経緯の類似点を明らかにすることで「カ」国でも「バ」国の Unicef 等介入による Arsenicosis 症例の増加傾向が同様に発生していると仮説した。この仮説に基づき本研究は、①「カ」国における Unicef 等による管井戸建設等介入の経緯、WBDs 症例の減少確認及び Arsenicosis 症例数の増加予測、②「カ」国における地下水砒素問題に対し、援助機関等が今後取るべき効果的な介入手法を検討整理しこの介入による Arsenicosis 症例数の低減予測、③以って、我が国地下水砒素汚染問題の国際協力の援助手法の提言、これらを行うことを目的とする。

2. ドナー介入と地下水砒素問題に関する変遷のレビュー

2.1 バングラデシュ国の変遷

「バ」国は 1970 年代 Unicef による安全な水供給のための管井戸の建設が開始され 1980 年代には民間業者が同建設に参入するようになった。この間、下痢症等水系性疾患 (WBDs: Water Bore Diseases) 症例数の低減が見られたが、1983 年にカルカッタで慢性砒素中毒による皮膚疾患症例 (Arsenic-induced skin lesion) が報告され、1987 年までに西ベンガル州で「バ」国からの患者数を含め最初の慢性砒素患者 (Arsenicosis) が確認された (WHO)。さらに 1993 年「バ」国 Nawabganj 県 (District)¹ の管井戸から始めて砒素が検出され、1997 年には砒素汚染の影響があるとされた 18 郡で行われた調査で 1,630 人の 57.5%が、同様に砒素汚染が確認された 200 村落で実施された調査では 469,424 人の内 1,802 が砒素中毒による皮膚病変 (Skin Lesions) を示していることが確認された (WHO)。その後類似の調査から地下水砒素汚染及び Arsenicosis 症例の確認数は増加傾向を示しこれら問題に対する国際機関等ドナーによる調査等介入が行われている。2009 年現在 270 (全国 469) 郡 (Upazila)¹ が砒素汚染地域とされ約 3,000 万人がその影響を受けている (JICA)。この状況に対し「バ」国政府は 2004 年「国家砒素緩和政策」及び「実行計画」を採択し、2005

*[連絡先] 〒112-0001 東京都文京区白山2-36-5 東洋大学大学院国際地域学研究科北脇研究室内 TEL/FAX: 03(5844)2240
E-mail: ken3igarashi@fiberbit.net

¹ 「バ」国の地方行政区分は、県 (District) > 郡 (Upazila) > ユニオン (Union) > ワード (Ward)

年策定の PRSP においても砒素対策を含む安全な水の供給を重要な課題の一つとして位置づけている。我が国は砒素汚染対策を対「バ」国援助重点分野に位置づけ「砒素汚染対策プログラム」として JICA による包括的な協力（専門家派遣、技プロ事業等）を 2004 年以降展開している（JICA）。

2.2 カンボジア国の変遷

「カ」国は Unicef 支援により 1983 年から安全な水供給のための井戸（管井戸、掘削井戸等）の建設が本格的に開始され 1990 年代後半になると同国政府、国際機関、NGO や民間業者の井戸建設が活発化し始めた。その結果 1995 年現在計 12,267 の井戸が建設され（JICA 調べ, 2002）、1998 年～2003 年に農村開発省（MRD）は 40,500 の井戸を建設した。一方 2000 年 WHO の調査から地下水砒素汚染が始めて発見され、Arsenicosis 症例やその広がりも次第に調査・報告されるようになった（WHO、Unicef 他）。2009 年現在、主要河川であるメコンとその支流のバッサク及びトンレサップ河の流域 7 州の沖積層で国家飲料水基準（CDWQS）である 50ppb 以上の砒素濃度を示す地下水が確認され、2005 年現在これら 7 州の 1,607 村落と各村落の人口に基づきリスク地帯に居住する一般住民は 224 万人と予測されている（Frederick）（表 2.1）。この問題に対し「カ」政府は 2002 年、MRD を座長とした関連 5 省からなる AISC（Arsenic Inter Ministerial Sub-Committee）を組織し調査や IEC 活動等を実施、特に Unicef カンボジアは MRD に簡易砒素テストキット供与や訓練、砒素センター（Arsenic Center）を設立し全国の砒素データ収集や IEC 教材開発等の支援をしているが小規模である。また AISC は Unicef と WSP（Water and Sanitation Program）/ 世銀の支援を受け、2006 年砒素 5 年戦略的アクションプランを作成し何度かの修正が行われたが 2009 年 3 月時点で政府の承認待ちの状態であり、具体的な事業等はない。「カ」国政府の対応及びドナーの介入は黎明期にあると評価できる（JICWELS、2009）。

表 2.1 砒素リスク地帯に居住する一般住民予測

州	リスク人口(人)*	州人口(人)	%
Kandal	983,000	1,215,000	81
Kampong Cham	496,000	1,754,000	28
Phnom Penh	239,000	998,000	24
Kracheh	164,000	291,000	56
Prey Veng	156,000	1,076,000	14
Kampong Thom	120,000	635,000	19
Kampong Chhnang	82,000	455,000	18
	2,240,000	6,424,000	35

出展 Dr. David Fredericks (Situation and Response Analysis 2006)

*安全な低濃度砒素汚染水、改善されていない比較的安全でない砒素汚染水及び砒素汚染水を利用している住民を含む

2.3 類似点

2.1 と 2.2 に記したとおり文献レビュー及び現地調査（2008、2009 年）で確認した両国のドナー等の介入と砒素問題の変遷に対する類似点は、以下の時間的連続性及び並行性である。

2.3.1 時間的連続性

時間的連続性とは、図 2.1 に示す①地方都市の水不足（BHN）及び表流水の生物汚染→②管井戸等建設による安全な水供給へのドナーの介入→③ WBDs 症例数の減少（正の健康影響）→④地下水砒素汚染の拡大と砒素慢性疾患（Arsenicosis）症例の増加（負の健康影響）→⑤地下水砒素問題へ国際機関等ドナーによる介入、とした変遷である。

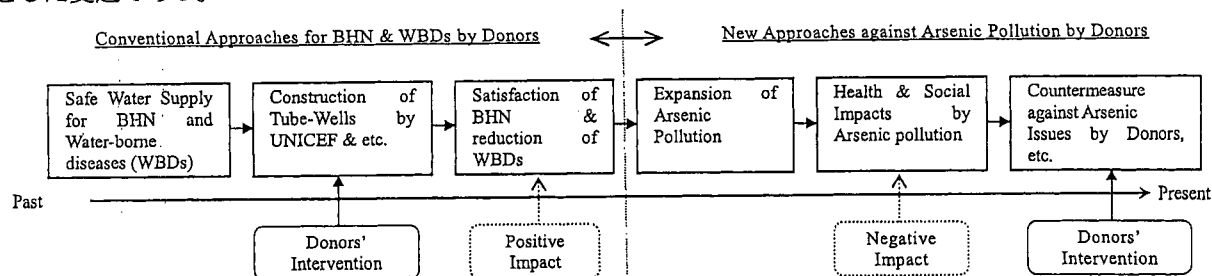


図 2.1 地下水砒素汚染に関する時間的連続性

2.3.2 時間的並行性

時間的並行性とは図 2.2 に示す時間的連続性の中で観測される両国における各事象の発生の時間的変位（位相）である。

特に興味深いのは Unicef 介入による井戸掘削による安全な水供給から約 10 年位経過すると Arsenicosis

	1970	1980	1990	2000	2010
Bangladesh	BHN,安全な水供給介入	Unicef介入	Private, NGOs→		
	慢性砒素疾患の確認		Calcutta 1983	W. Bengal + Bangla 1987	Bangla→ 1997
	地下水砒素発見			WHO, DPHE 他 1993	
	砒素問題への介入			WHO, Unicef→	JICA プログラム対応→ 2004
Cambodia	BHN,安全な水供給介入	(民主化 ¹)	Unicef介入 1983	MRD 1995	Private, NGOs→
	慢性砒素疾患の確認			WHO, Unicef→	MRD, MOH 1997
	地下水砒素発見				WHO, Unicef, NGOs→ 2000
	砒素問題への介入				WHO, Unicef, WSP, NGOs 調査→ JICAWEELS 2009

図 2.2 地下水砒素汚染に関する時間的並行性

症例と地下水の砒素汚染が確認され始めた点である。これは砒素（毒性を示す 3 価、5 価）汚染水飲用による Arsenicosis 発症に約 10 年の曝露とした報告 (WHO) と符合する。但し、砒素が地下水中で 3 価、5 価となり溶出するメカニズム及びそれに要する時間も考慮する必要がある。次に、両国政府および国際機関やドナー等の対応は事実確認に約 10 年位の時間を要している点である。「カ」国で井戸建設の Unicef 介入が新政府樹立後の 1983 年で、この年はカルカッタで最初の Arsenicosis 症例の確認された年である。即ち 1983 年以降に隣接したベンガル地方を含め「バ」国で発見された Arsenicosis 症例や地下水砒素汚染の同様の経緯等を「カ」国でも辿っていることが理解される。

3. カンボジア国砒素汚染現地調査結果概要

研究グループは「カ」国で計 2 回の現地調査 (2008 年 9 月、2009 年 3 月) を実施し AISC 各省、Unicef、WHO 等国際機関や NGO 訪問による情報収集、地下水実測や聴取り調査等を行った。

3.1 井戸水実測調査

(1) 実測目的: 文献等で報告されている砒素汚染の実態の検証

(2) 分析項目: 砒素 (As) 及び鉄 (Fe)²

(3) 分析方法: 各分析項目の濃度レベルの計測のためフィールドキット (砒素 (As); HACH AsTest Kit, 0-500ppb、鉄 (Fe); HACH Iron Test Cube, 0-10 mg/l) を使用

3.1.1 カンダール州 Prek Russey 村 (2008 年調査)

Prek Russey 村はプノンペン南約 40km のカンダール州のバツサク河の東約 2km に位置し、「カ」国で最も砒素濃度の高い (MRD) カンダール州の一村である。村 (人口約 2 千) の実測した 30 井戸の水質結果を表 3.1 に示す。表から国家基準の 50ppb を超える砒素濃度を示した井戸は計 28、500ppb の井戸が最も多く 13、砒素汚染の無い井戸は 2 との測定結果を得た。即ち 97% の井戸水が基準 (50ppb) 以上の砒素濃度を示しており、カンダール州が最も

表 3.1 実測結果 1 (2008 年)

As(ppb)	井戸数	Fe(mg/l)	井戸数
0	2	1	2
100	6	2	7
250	9	4	3
500	13	6	5
計	30	8	6
村内実測 30 井戸の内、管井戸が 28、掘削井戸が 2		10	7
		計	30

砒素濃度が高いとするこれまでの結果 (MRD、WHO 等) と一致する。一方、鉄濃度は 1 ~ 10mg/l を示し、傾向として高い濃度の井戸が多数であるが、2mg/l と 10mg/l の井戸がそれぞれ 7 つと最も多い結果となった。即ち、砒素濃度と鉄濃度との相関は観測されなかった。また、同村の Arsenicosis 症例数は当初 15 で、2009 年現在 124 世帯 260 名の同症例数が確認されている。

3.1.2 カンダール州、プレイベン州、コンボンチャム州及びタケオ州各村落 (2009 年調査)

2009 年調査は砒素汚染の広がりを検証するため「カ」国内 4 州 (表 3.2) 6 村の計 12 井戸水質を実測した。結果は砒素汚染 7 州の内リスクの高いと報告されている州の順に従い表 3.2 に整理した。タケオ州は砒素

² 鉄の実測は、研究グループらが「バ」国で行った調査結果 (2007、2008 年 8 月他) 等から水中の砒素は鉄と 1:40 の比で共沈し、鉄が砒素を除去できることから両パラメータの濃度レベルを計測し砒素除去に関する適正技術等を考案する際に必要と考えているため。

表 3.2 実測結果 2(2009 年)

州	管井戸	As(ppb)	Fe(mg/l)
Kandal	村落1-1	400	10
	村落1-2	500	4
Prey Veng	村落2-1	350	2
	村落2-2	500	2
	村落3-1	250	2
Kampong Cham	村落3-2	10	6
	村落4-1	250	6
Takeo	村落4-2	500	10
	村落5-1	75	0
	村落5-2	0	10
	村落6-1	0	0
	村落6-2	0	10

汚染確認外の州である。表からカンダール州、プレイベン州、コンポンチャム州の順に砒素濃度が高くTakeoでは1井戸で確認された。この結果は既存の文献等 (MRD、WHO 他) の情報と一致する。また、砒素濃度が高いプレイベン州の村では井戸の位置により低濃度 (10ppb) を観測、地下水砒素汚染が一様ではないことを裏付ける結果である。鉄については砒素濃度が高い井戸から高い濃度を示す傾向があるが表 3.1 と同様必ずしも正の相関を取っていないことが分かった。

3.2 質問表調査及び WBDs 等医療統計

質問表によるインタビュー調査は砒素問題認識、飲料水確保習慣、砒素除去に対する支払意思額 (WTP) 等の住民意識を把握する目的で実施した。ここでは紙面の都合で結果を割愛するが、習慣として雨季は雨水及び表流水を、乾季は表流水のみを飲用している点、IEC 等の衛生教育等が実施されている村落ほど砒素問題の認識や WTP が高い傾向があることが判明した。なお、WBDs や Arsenicosis 症例等の統計は「カ」国では入手できなかった。

4. 結論

本研究は「バ」国、「カ」国の安全な水供給、ドナー介入と砒素汚染問題に関する時間的連続性と平行性を明らかにした。また現地調査は「カ」国の砒素汚染の実態について文献等の結果を検証した。「カ」国は医療統計が不十分なため USAID Country Health Statistical Report(2008) の乳児死亡率等を WBDs の代替データとし、同データと Unicef 等井戸建設介入、健康影響との関連を表 4.1 であると予測した。また「カ」国は雨水を飲用するため砒素汚染水の通年での曝露が相対的に少ないと評価でき、Arsenicosis 症例数にも影響すると推測される。即ち社会経済、住民意識、砒素濃度レベル、栄養状態等多様な背景を考慮した介入方法や医療面からの介入アプローチも今後検討したい。

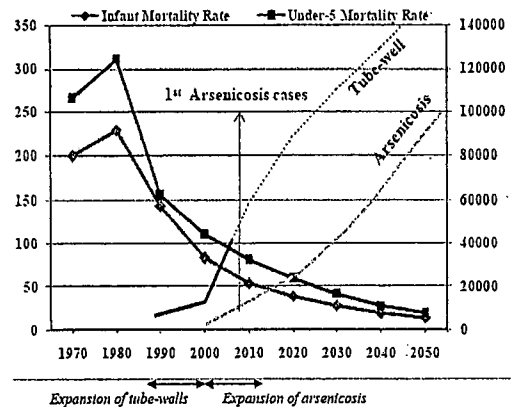


図 4.1 WBDs、井戸数 (介入) と健康影響 (仮説)

5. 謝辞

本研究は各研究メンバーが「バ」国、「カ」国で実施した現地調査等の結果を纏めたものです。特に 2009 年 3 月の「カ」国現地調査は国際厚生事業団 (JICWELS) の平成 20 年度水道プロジェクト計画作成指導事業で行われたものであり同事業団ならびに委託元である厚生労働省、また情報提供等の協力をして頂いた MRD を初め AISC 関係省、Unicef カンボジア、WHO カンボジア、WSP/ 世銀の各担当者に対してこの場を借りて御礼申し上げます。

参考文献

- 1) Contamination of drinking-water by arsenic in Bangladesh: a public health emergency Allan H. Smith, Elena O. Lingas & Mahfuzar Rahman, 2000 Bulletin of the World Health Organization, WHO
- 2) Arsenic Contamination of Groundwater in Cambodia Situation and Response Analysis 2006 (Draft), A Report prepared for the Arsenic Inter-Ministerial Sub-Committee by Dr. David Fredericks Supported by Unicef, WHO and WSP Phnom Penh, Cambodia
- 3) カンボジア王国村落部地下水砒素汚染対策調査 - 官民連携も視野に入れて - 2009 年 3 月 国際厚生事業団
- 4) A Study on the Community Awareness on Arsenic Contamination and their Water Use Practices in Arsenic Affected Area in Rural Cambodia, Master's Thesis, June 2009, Ros Sophak, Toyo University
- 5) Country Health Statistical Report Cambodia, 2008, USAID

