

図－１ 総合援助手法のイメージ<sup>1)</sup>

- ・ It is able to deliver an appropriate level of benefits over a prolonged period of time. (それが長期間にわたって一定の便益をもたらし得ること)
  - ・ Its management is organized. (その管理が組織化されていること)
  - ・ Its operation, maintenance, administrative and replacement costs are being covered at local level. (その運転・維持・運営・更新のコストが地域で負担されていること)
  - ・ It can be operated and maintained at local level without negatively affecting the environment. (それが環境に悪影響を与えることなく、地域で運転・維持され得ること)
- 以上、持続性を維持する上で重要なポイントが、簡潔に要領良くまとめられている。

そこで、これらを参考にして、総合援助手法の観点のもとに、開発途上国における水供給プロジェクトの自立性及び持続性確保のための条件について検討した。その結果、一般に次のようなことが重要であると考えられた。

- (1) 住民の意識啓発・組織化とプロジェクトへの主体的参画
- (2) 適正技術の採用と住民及びその他関係者の能力開発
- (3) 財政的な自立性の確保
- (4) 行政などによる外部からの運営面及び技術面での支援体制の確立
- (5) 他セクターとの連携・協働

個々の水供給プロジェクトにおいてはそれぞれ事情が異なるので、一概に論じることはできないが、上記の各条件は一般にどのような水供給プロジェクトにもあてはまると考えられる。これらの各条件がより高いレベルで確実に満たされることによって、水供給プロジェクトの自立性及び持続性がより高まることが期待される。

## 2. 自立性及び持続性を確保するための条件

ここでは、開発途上国における水供給プロジェクトの自立性と持続性を確保するための上記5つの条件について、それぞれ具体的に記述する。

なお、水供給プロジェクトの自立性及び持続性について考える上において、小規模の村落給水の場合と、規模の大きい都市水道の場合とでは明らかに事情が異なり、両者を同列に議論することはできない。また、水供給プロジェクトにおいて自立性と持続性の確保が重大な問題となるのは、裨益者である地域住民が自ら運営する小規模の村落給水の場合であることが多い。そのため、以下では、これらの両者を明確に区別しつつ、特に地域住民が自ら運営する小規模の村落給水の場合に重点を置いて記述する。

### (1) 住民の意識啓発・組織化とプロジェクトへの主体的参画

地域住民が自ら運営する小規模の村落給水の場合には、事前の計画から施設完成後の運営までのいずれの段階においても、住民の意識啓発・組織化やプロジェクトへの主体的参画が、水供給プロジェクトの自立性と持続性を確保する上で不可欠である。特に村落給水の場合においては、地域の自然的・社会的・経済的・文化的条件に十分配慮した取り組みが求められるため、計画段階から地域住民の参画を促して、その要望や意見をプロジェクトに反映させることは極めて重要である。住民の主体的な参画を通してオーナーシップが醸成されることも、自立性と持続性を確保する上で有利な要因となる。

このような計画段階から地域住民を巻き込んでその意思を尊重するいわゆる地域主導型開発 (community-driven development) は、住民による施設建設費用の一部負担や、施設完成後の事業運営における料金負担を前提に考えればむしろ当然であり、世界銀行では、村落給水プロジェクトにおいて今後もこのような進め方を踏襲することを確認している<sup>3)</sup>。

これに対して、一般に都市水道の場合には、住民の意識啓発・組織化とプロジェクトへの主体的参画が、村落給水の場合ほど自立性及び持続性確保のための重要な要因とはなりにくい。しかし、都市水道の場合であってもその規模が比較的小さい場合や、時間給水、公共水栓による給水などを計画又は実施している場合など、地域住民の生活が水供給のあり方によって大きく左右されるような場合には、村落給水の場合と同様に、住民の意識啓発・組織化やプロジェクトへの主体的参画の重要性が高いと考えるべきである。

### (2) 適正技術の採用と住民及びその他関係者の能力開発

開発途上国の水供給プロジェクトの実施に際しては、事業規模の大小などにかかわらずすべての場合において、適正技術の採用について十分に配慮することがもとより重要である。このことは、裨益住民の費用負担に直接関係しているだけでなく、技術的な面や財政的な面における自立性と持続性の確保とも密接に関係している。

村落給水の場合には、適正技術の採用と併せて、事業運営の主体となる住民及びその他関係者の能力開発も必須である。その他関係者として、事業運営を支援すべき立場にある中央政府の地方出先機関及び地方行政機関の担当者も、支援内容に応じた技能訓練などの

能力開発の対象に加えるべきである。国際協力機構（JICA）の資金により、アジア砒素ネットワーク（AAN）が 2005 年 12 月～2008 年 12 月にバングラデシュで実施した持続的砒素汚染対策プロジェクトでは、住民を対象とした水供給施設の運転及び維持管理についての訓練のほか、中央政府公衆衛生工学局（DPHE）の地方出先機関職員を対象とした施設補修についての訓練や、地方行政機関の職員を対象とした簡易測定キットによる素濃度測定についての訓練なども行われた。これらの関係者に対する訓練は、その後引き続いて 2009 年 1 月～2011 年 3 月に実施されたフォローアップ・成果普及活動でも行われ、非常に重要な役割を果たした<sup>4), 5)</sup>。

都市水道の場合においても、事業運営に直接携わる技術者や水質検査に携わる保健担当部署の職員などの能力開発はもとより重要であるが、住民の能力開発の必要性は事業規模などに応じて判断すべきであり、村落給水の場合に比べてその必要性は一般にそれほど高くないと考えられる。

### （3）財政的な自立性の確保

事業規模の大小などにかかわらずすべての場合において、財政的な自立性の確保は、事業そのものの自立性と持続性を確保する上で重要である。特に、地域住民が自ら運営する小規模の村落給水の場合にはなおさらである。また、財政的な自立性を確保するためには、利用者からたとえ少額であっても料金を徴収することが重要であるが、その金額は住民の支払能力に応じたものとすべきである。

財政的な自立性の確保は、すでに述べたように適正技術の採用とも密接に関係している。開発途上国の水供給プロジェクトにおいて採用する技術は、単に技術的な観点からだけでなく、財政的な観点からも適正なものでなければならない。また、当面は財政的に支障がないとしても、中長期的な観点からは、施設の更新・拡張や大規模な修理のための財源が十分に確保されていないことが、重大な問題となることが多い。日常的な事業運営においてだけでなく、このような際にも、財政的に耐えられるような高い自立性を確保することが望ましい。この点に関して、世界銀行－オランダ水パートナーシップによる報告書<sup>6)</sup>では、施設の再生と拡張の 2 つの課題に地域として取り組むことができるような、新たな政策モデルが求められているとしている。

### （4）行政などによる外部からの運営面及び技術面での支援体制の確立

開発途上国の水供給プロジェクトにおいては、外国の機関や国際機関などからの資金援助が重要であるが、それに加えて、事業の運営面や技術面での行政などによる外部からの支援の必要性が高い。特に、地域住民が自ら運営する小規模の村落給水の場合には、中央政府の地方出先機関及び地方行政機関や NGO などによる継続的な支援が不可欠である。たとえそれが非常に限られたものであっても、外部からの支援が得られるような体制が確立されているか否かは、水供給プロジェクトの自立性と持続性を大きく左右する要因となる。また、このような外部からの継続的な支援があれば、多くの場合、自立性と持続性ははる

かに向上することが期待される。先に AAN がバングラデシュで実施した持続的砒素汚染対策プロジェクトと、その後のフォローアップ・成果普及活動<sup>4),5)</sup>は、関係機関による外部支援を計画的に組み込んだ事例として大いに参考になる。

都市水道の場合においては、村落給水の場合に比べて外部からの支援の必要性は一般にそれほど高くないが、それでも外部からの支援が多かれ少なかれ重要な意味を持つということに関しては、村落給水の場合と基本的に同じである。

#### (5) 他セクターとの連携・協働

水供給プロジェクトは、単に住民生活の利便性だけでなく、それを通して地域の環境衛生水準の向上を図ることが、その本来の目的である。そのため、環境衛生水準向上のニーズは、水供給プロジェクトを推進する上での大きな原動力となる。したがって、保健・医療・衛生・福祉などのセクターと連携・協働して水供給プロジェクトを実施することは、多くの場合においてその実施効果を高める上で非常に有意義である。特に、地下水が砒素で広く汚染されていて飲み水の安全性確保が大きな課題となっており、地域住民が自ら運営する小規模の村落給水の場合には、他セクターとの連携・協働がプロジェクトそのものの成否や、プロジェクト実施後における事業運営の自立性と持続性を大きく左右することがある。先の AAN によるバングラデシュでの飲料水砒素汚染の解決に向けた移動砒素センサープロジェクト、並びに、持続的砒素汚染対策プロジェクトとそのフォローアップ・成果普及活動<sup>4),5)</sup>では、これらの一連の活動が保健セクターを巻き込んで実施され、その中で、医師・ヘルスアシスタントを対象とした砒素中毒患者の診断やケアについての訓練なども行われた。このプロジェクトでは、砒素汚染のない安全な水を供給することによって、地域住民の健康状態の改善を図ることが最終的な目標であったため、保健セクターなどとの連携・協働はむしろ当然の成り行きであったかも知れないが、このような面での一つの有用な参考事例である。

都市水道の場合には、このような他セクターとの連携・協働の必要性や重要性は一般にそれほど高くない。しかし、都市域の中でも、とりわけスラムや都市周辺地域における保健・衛生水準の向上は、開発途上国の都市水道施設整備の主要な目的の一つであり、このような場合においては、保健・衛生を始めとする他セクターとの連携・協働が不可欠である。

以上、水供給プロジェクトの自立性と持続性を確保するために重要と考えられる 5 つの条件について考察した。これらの条件を満たすためには、多くの時間と人的資源の投入が必要である。しかし、ひとたびこれらの条件が満たされて高い自立性と持続性が確保されるようになれば、バングラデシュの事例に見られるように今度はそれに倣って他地域でも、しかも援助ではなく自前の予算によって、砒素汚染対策のための新たな水供給プロジェクトが実施されるようになるなど、大きな波及効果をもたらされることを期待することができる<sup>5)</sup>。

#### D. 結論

本年度を含めてこれまで3年間にわたって実施した「水分野の国際協力における総合援助手法に関する研究」の総まとめとして、特に地域住民が自ら運営する小規模の村落給水の場合に重点を置いて、総合援助手法の観点から見た水供給プロジェクトにおける自立性及び持続性確保のための条件について検討し、重要と考えられる5つの条件を明らかにしてそれぞれについて考察した。個々の水供給プロジェクトにおいてはそれぞれ事情が異なるので、一概に論じることはできないが、上で示した各条件は一般にどのような水供給プロジェクトにもあてはまると考えられる。これらの各条件がより高いレベルで確実に満たされることによって、水供給プロジェクトの自立性及び持続性がより高まることが期待される。

開発途上国に対する国際援助としての村落給水プロジェクトは、過去の豊富な実績や経験を踏まえて着実に進化してきており、最近では、施設の再生や拡張までも見込んだ政策モデルの開発を期待する声が上がっている。今後は、このようなことも視野に入れながら、自立性及び持続性の高い水供給プロジェクトを、より効率的に実施する方法についてさらに検討を進める必要がある。

#### E. 研究発表

なし

#### F. 知的財産権の出願・登録状況（予定を含む。）

なし

#### 参考文献

- 1) 厚生労働省、社団法人国際厚生事業団（JICWELS）（2006）国際協力事業評価検討会（水道分野）報告書、平成18年3月
- 2) Francois Brikke(2006) 第4回世界水フォーラム OMN セッション資料、  
<http://www.niph.go.jp/soshiki/suido/omn/index.html>
- 3) World Bank (2010) Sustaining Water for All in a Changing Climate: World bank Group Implementation Progress Report of the Water resources Sector Strategy.  
<http://siteresources.worldbank.org/NEWS/Resources/sustainingwater.pdf>
- 4) 国包章一、戸敷浩介(2010) 水供給分野の援助実績に基づく総合援助手法に関する検討ーバングラデシュ地下水砒素汚染対策の事例を通してー、厚生労働科学研究費補助金（地球規模保健課題推進研究事業）「水供給分野の国際協力における総合援助手法に関する研究」平成21年度総括・分担研究報告書、平成22年3月、pp.85-93.
- 5) 国包章一、戸敷浩介(2011) 水供給分野の援助実績に基づく総合援助手法に関する検討ーバングラデシュ地下水砒素汚染対策の事例を通してー、厚生労働科学研究費補助金（地球規模保健課題推進研究事業）「水供給分野の国際協力における総合援助手法に関する研究」平成22年度総括・分担研究報告書、平成23年3月、pp.65-71.

6) World Bank-Netherlands Water Partnership (2009) Post-Construction Support and Sustainability in Community-Managed Rural Water Supply: Case Studies in Peru, Bolivia, and Ghana, Water Sector Board Discussion Paper Series: Paper No.14, June 2009.

<http://documents.worldbank.org/curated/en/2009/06/10626231/post-construction-support-sustainability-community-managed-rural-water-supply-case-studies-peru-bolivia-ghana>

研究成果の刊行に関する一覧表

## 研究成果の刊行に関する一覧表

### 1. 論文発表

- 1) 眞子岳、北脇秀敏、モハメド・マフィズル・ラーマン、バングラデシュ農村部における経済的に妥当な代替水の選択に関する研究、農村計画学会誌、2011; 30, 213-218.
- 2) Fahim Nawroz Tonmoy, Md. Mafizur Rahman, Hidetoshi Kitawaki, GIS Mapping of Correlation between Arsenic and Iron Concentration of Ground Water of Bangladesh, Asian Journal of Water, Environment and Pollution, 2011; 8(2), 61-70.
- 3) Milojevic A, Armstrong B, Hashizume M\*, McAllister K, Faruque ASG, Yunus M, Streatfield PK, Moji K, Wilkinson P. Health effects of flooding in rural Bangladesh. Epidemiology, 2012; 23, 107-115.
- 4) Masahiro Hashizume, Ashraf M. Dewan, Toshihiko Sunahara, M. Ziaur Rahman and Taro Yamamoto. Hydroclimatological variability and dengue transmission in Dhaka, Bangladesh: a time-series study. BMC Infectious Diseases (submitted)

### 2. 学会発表

- 1) 眞子岳、五十嵐堅治、北脇秀敏、バングラデシュ国及びカンボジア国の地下水砒素汚染地域における安全な水供給技術の普及手法に関する研究、国際開発学会第12回春期大会報告論文集、2011年6月.
- 2) 五十嵐堅治、眞子岳、北脇秀敏、カンボジア国村落部における地下水砒素汚染の影響予測と外的支援策に関する研究ーバングラデシュ国の教訓を活かしてー、第22回国際開発全国大会報告論文集、2011年11月.



研究成果の刊行物・別刷

# バングラデシュ農村部における経済的に妥当な 代替水の選択に関する研究

Study on Selection Methodology for Economically Feasible Alternative Water Supply in Rural Area in Bangladesh

眞子岳\* 北脇秀敏\*\* モハメド・マフィズル・ラーマン\*\*\*

Gaku MANAGO\* Hidetoshi KITAWAKI\*\* Md. Mafizur Rahman

(\*東洋大学大学院 国際地域学専攻 博士後期課程 \*\*東洋大学 国際地域学部 \*\*\*バングラデシュ工科大学)

(\* Regional development studies, TOYO university \*\*Regional development studies, TOYO university

\*\*\*Bangladesh university of engineering and technology)

## I はじめに

バングラデシュ人民共和国(以下、「バ」国)農村部では、下痢疾患の死亡率の削減を目的として、1980年代からUNICEF等のドナーによる安全な水供給事業が行われ、地下水を汲み上げる管井戸が建設された。その結果、生物汚染による健康障害は軽減されたが、地下水に含まれる自然由来の高濃度のヒ素によって、新たな健康障害をもたらした。ヒ素による慢性ヒ素中毒患者は、地下水を管井戸から直接多飲する農村部において約38,000人確認されている<sup>1)</sup>。これは、安全な水供給に国際機関や研究機関等が20年以上携わっているにも関わらず、「バ」国農村部における貧困層に、持続可能で普遍的な水供給が行われていない現状であると言える。この背景には貧困層におけるヒ素除去装置等の普及において、経済面や文化面等の制約要因が強く存在していると考えられる。こうした制約要因を配慮せずに建設された水供給装置は、住民の装置利用に必要な行動変容や持続的な支払いの欠如等により、運転維持管理が持続されない場合が多く見られる。建設された装置の持続性を確保するためには、現地で資機材や部品が入手可能で、水供給装置が製造販売されるサプライチェーンがあること、住民にとって安価であることが重要となる。また、安全な水供給を行うための技術は多様であり、表流水や雨水利用が可能であることから、農村部の貧困層(BOP: Bottom of the pyramid)住民にとって文化的及び経済的に妥当である安全な水供給手法を提案する必要がある。

類似の先行研究として、杉村<sup>2)</sup>はヒ素除去装置における構造や砂を用いたろ過による、ヒ素除去のシステムについて検討している。また、萩原<sup>3)</sup>は水運びに対する

住民ストレスの算出や代替技術の性能と特徴について検討している。これらの先行研究では、除去装置の技術面や住民の水使用形態を取り上げられているが、地下水ヒ素汚染地域住民に対して経済的に妥当で内発的發展を促す除去装置等の普及手法については考察されていない。一方、眞子ら<sup>4)</sup>は、地場産業によるヒ素除去装置の施工手法、農村部住民の水使用形態及びアフォーダビリティ等を明らかにしている。

## II 研究目的・手法

### 1 研究目的

地下水中のヒ素による健康被害を回避するためには、ヒ素除去装置の使用、または手汲みによる表流水利用が必要である。前者は初期投資や運転維持管理等に対して支払可能な価格でなければ持続できない。後者は、設備投資を必要としないが、生物汚染が懸念されるため、煮沸や塩素剤等が必要となる。よって本研究は、「バ」国農村部における住民の収入額、水に対する支出額、現地で入手可能な除去装置等の初期投資・維持管理費や水処理薬品の市場価格等の経済面、水使用形態、用途別水源や習慣等の文化面を明らかにし、現地住民に経済的に妥当な装置や代替水を定量的に選定できる手法を考案することを目的としている。

### 2 研究手法

本研究では、2005年以降、年2回「バ」国で調査を行っている。その内の2006年、'07年、'09年、'10年の地下水とヒ素汚染の代替水の普及に関する調査結果を用いて、現地住民に経済的に妥当であり、入手可能な代替水を選

定できる式を構築した。式における定数及び変数を決定するために、同国農村部の調査対象村において、地図の作成、地下水中心素濃度の水質ヒ素分析、並びに農村部住民における水使用形態及び収入額等に関する社会調査、並びに現地マーケット等におけるボトル水や水処理薬品などの市場価格に関する聞き取り調査を行った。また首都ダッカでは、バングラデシュ工科大学、「バ」国公衆衛生技術局、JICA 現地事務所、「バ」国統計局において現地統計データや水処理薬品の使用習慣に関する情報収集を行った。

### III 調査対象地概要

本研究における調査対象村は、「バ」国農村部の代表的飲料水供給方式である管井戸が普及している地域であること、聞き取り調査におけるバイアスが生じないようにヒ素対策の外部援助がなされていないこと等を条件として選定した。その結果、首都ダッカ西方 80km にある、人口約 900 人 (2006 年ヒアリング) のマニガンジ県ギオール郡バイカンプール村 (以下、調査対象村) を選定した。

### IV 調査結果

#### 1 収入額と支払意思額

調査対象村において数年にわたり世帯当たりの平均収入額の調査を行った結果<sup>6)7)8)</sup>( '06-'07:n=51, '09:n=12, '10:n=13)を図3に示す。図3より調査対象村において収入は年約15%程度の伸びを示していることがわかる。また図4には'05年の全国の農村部の収入額分布と調査対象村の'06-'07年の収入分布を合わせて示す。調査対象村の'05年の値は図4に示したのよりやや低いと考えられるが、低所得者層の分布は全国平均と似た形状を示している。また中所得者層はサンプル数の関係で回答が一部の収入範囲に偏ってはいるものの、概ね全国平均に近い割合を占めている。なお月に9,000TK(1TK=1.3円)以上の高所得者層は全国平均を上回っているが、これは調査対象村が首都ダッカに近いため就業機会が比較的多いためではないかと考えられる。調査対象村において安全な飲料水に対する支払い意思額を'09年に調査したところ、平均225TK/世帯・月であり<sup>9)</sup>、図3に示す同年の平均収入額に対して2.3%と計算される。なおこの値は世界銀行が途上国における水への支出額を計算する際の仮定値として用いている可処分所得の約3%<sup>10)</sup>と、先進国である我が国における上下水道料金の家計支出額に対する割合1.6%<sup>11)</sup>の中間的な数値となっている。

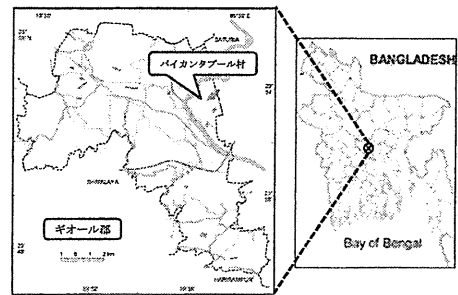


図1 調査対象地域地図<sup>5)</sup>  
Fig.1 Field Map

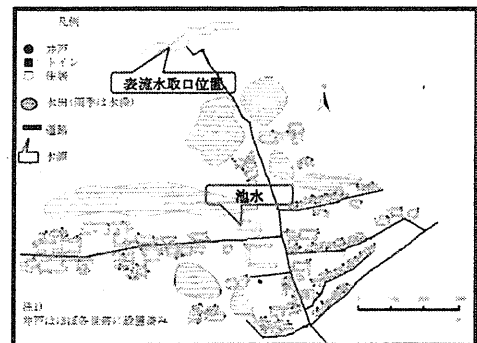


図2 調査対象村地図<sup>6)</sup>  
Fig.2 Baikunthapur Village

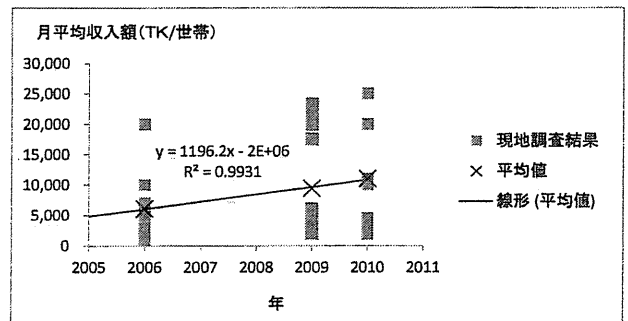


図3 バイカンプール村における月収入額  
Fig.3 Monthly income in Baikunthapur

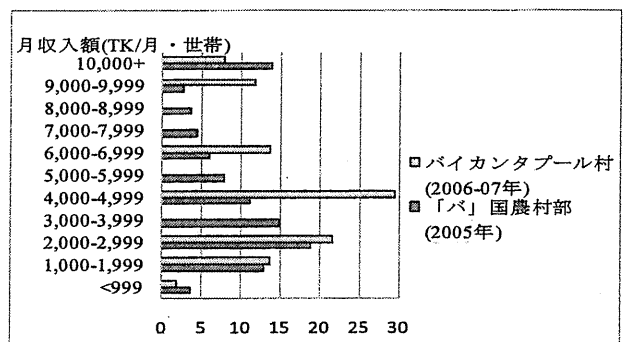


図4 「バ」国農村部<sup>12)</sup>とバイカンプール村における世帯収入額の割合<sup>12)</sup>

Fig.4 Monthly Income of Household in Rural Bangladesh and Baikunthapur village

## 2 現地住民の水使用形態

調査対象村において、12本(1世帯1本の井戸を所有)の井戸の水質(ヒ素濃度)調査を行った結果、7本の井戸で世界保健機関(WHO)のヒ素濃度基準値である0.01mg/L以上を検出した。なお、「バ」国の同基準は0.05mg/L(WHOの基準値より5倍許容している)であるため、2本の井戸が同国の基準値を上回っている。

水使用形態調査では、水購入をする世帯は皆無で、90%以上の世帯が通年を通し管井戸の水を飲用していることを確認した。これらの結果から、慢性ヒ素中毒の患者の存在が懸念される。また、地下水以外の水源として、表流水(雨水や河川水)を使用し、主に炊事及び洗濯に利用されている(表1)。これは地下水に含まれる鉄による繊維着色等を忌避するために表流水を利用していることがヒアリング調査から明らかになった。即ち、地下水に含まれる鉄の除去にもニーズがあることが確認された。

表1 バイカンプール村における水使用形態

Table.1 Water Use Practice in Baikunthapur Village

用途別水源	バイカンプール村							
	乾期				雨期			
	管井戸	雨水	河川水	購買水	管井戸	雨水	河川水	購買水
飲料用	11	0	1	0	11	1	1	0
調理用	10	6	3	0	11	6	4	0
炊飯用	11	5	4	0	11	6	4	0
食器洗い	10	1	1	0	10	1	1	0
衣類洗濯	7	1	3	0	7	1	4	0
手洗い	11	0	0	0	10	0	0	0
トイレ使用	10	0	2	0	9	0	2	0
屋内清掃	9	0	2	0	8	0	2	0
家畜等の飲料	6	0	1	0	5	0	2	0
水浴び(女性)	6	1	5	0	5	0	5	0
水浴び(男性)	6	0	6	0	6	0	6	0

(注:1 回答者には複数選択可としている。)

単位:世帯

(注:2 2009年現地調査結果)

## 3 設備投資を必要としない水供給製品の市場価格

調査対象村では表流水を1世帯の住民が飲用していることを確認した(表1)。また、表流水を安全に飲料できる塩素剤、凝集剤は、「バ」国の農村部内において入手困難であり、県レベルの市場であれば入手可能なことが現地調査から明らかとなった。市場では、主に凝集剤として使用されるミョウバンや次亜塩素酸カルシウム(さらし粉)が販売されており、雨期の洪水時にニーズが高くなることを聴取り調査から明らかになっている(表2)。

## 4 設備投資を必要とする水供給装置の市場価格

現地では、汚染された地下水を除去できる砂ろ過手法を用いたPF(Pitcher Filter)や鉄とヒ素を同時に除去するAIRP(Arsenic and Iron Removal Plant)が存在する。また安全な深い帯水層から地下水を汲み上げるDTW(Deep

Tube Well)や手掘りの井戸であるDW(Dug Well)がある。他の水源として雨水を利用するためのRWH(Rain Water Harvesting)や池の水をろ過するPSF(Pond Sand Filter)が現地で使用されている。これらの装置により処理された水は、ヒ素や鉄を含まないため、現地住民の川までの水汲みに消費する時間軽減や住民の健康増進につながる事からインセンティブがあると考察する。

表2 バングラデシュ国における水供給装置・製品の市場価格と供給形態

Table.2 Water Supply System and Price of Water Supply Goods in Bangladesh

水供給形態	水源	必要な処理方法	販売価格(TK)	製品の投入量	1L当たりの価格(TK)	耐用月数(注1)	
ミョウバン(注1)	表流水	凝集沈殿	18/300g	10g/L	0.6	-	
			60/kg		0.6	-	
		消毒	100/kg	5g/L	0.5	-	
			60/kg		0.6	-	
次亜塩素酸カルシウム(注1)	消毒	16/250g	10g/L	0.64	-		
		-		-	-	-	
ミネラルウォーター(注1)	地下水	-	12/0.5L	-	24	-	
		-	20/1.5L	-	13	-	
		-	60/5L	-	12	-	
		-	2.5/L	-	2.5	-	
フィルターウォーター(注1)	地下水	-	50/20L	-	2.5	-	
		-	-	-	-	-	
深井戸(13)	地下水	設備投資費用	45,000	維持管理費(TK/月・世帯)	0.42	最大共用世帯数(家族サイズ=5)	240
		-	-	-	50	-	
ピッチャーフィルター(注1)	雨水	砂ろ過	300	0.42	1	12	
ヒ素除去装置(注1)	雨水	砂ろ過	15,000	2.08	3	48	
ダグウェル(13)	雨水	砂ろ過	35,000	0.42	25	120	
雨水利用(13)	雨水	砂ろ過	6,200	8.33	1	48	
ポンド・サンド・フィルター(13)	池	砂ろ過	35,000	4.17	50	72	

(注:1 2010年ヒアリング調査結果)

## V 経済的に妥当な代替水及び装置の算出

### 1 水処理薬品及びボトル水の経済的妥当性の算出

処理薬品及びボトル水等が使用者に経済的に妥当かを判断するために式の構成を行う。現地で入手可能な代替水は、各世帯収入額における水への支払可能額以内でなければ購入や所有が困難である。即ち、経済的妥当な代替水の選択は不等式(1a)で算出される。

$$I \cdot r > W \cdot V \cdot e \quad (1a)$$

ここで

$I$  : 月収入額(TK/月・世帯),

$r$  : 水に対する家計支出額の割合

$W$  : 一人当たりの水使用量(L/人・月)

$V$  : 各製品の1L当たりの単価(TK/L)

$e$  : 家族構成数(人/世帯)

### 2 設備投資を必要とする装置の費用算出

#### (1) 初期投資額の算出

ヒ素除去装置等は、個人資産や国際機関等のドナーによる補助金や援助を用いて建設が行われている。また、NGOや銀行等による借入金による物品の購入等を行っている地域もある。よって除去装置等における使用者の

初期投資額の算出は、装置価格から補助金及び借入金の差額で表すことができる。従って、使用者の初期投資額は、式(1b)により算出される。

$$U_I = (C_T - C_S) - C_L \quad (1b)$$

ここで

$U_I$  : 使用者の初期投資額(TK),  $C_T$  : 装置価格(TK)  
 $C_S$  : 補助金(TK),  $C_L$  : 借入額(TK)

## (2) 装置に対する月支出額の算出

「バ」国農村部では、グラミン銀行によるマイクロクレジットを用いた貸し付けが行われている。農村部におけるマイクロクレジットの返済方法は、借入金額(元本)に金利(アドオン率)と期間を掛けて利息額を算出し、この利息を元本に加えた金額を均等に分割して各月または週に返済する手法を用いるのが一般的である<sup>14)</sup>。これは、返済計画を立てやすいアドオン返済方式を用いていると考えられる。農村部での成功事例があるマイクロクレジットのアドオン返済方式は、装置に対する支払手法として用いることが「バ」国農村部において適正であると考察する。また装置購入を行う際、減価償却を考慮する必要がある。減価償却も定額法を用いることにより、使用者に返済計画を立てやすいと考えている。アドオン返済方式を用いた装置使用者の毎月の支払い額は、借入額、アドオン率、返済月数、運転維持管理費、減価償却費を用いて式(1c)より算出できる。

$$U_M = C_L(1 + \frac{q}{100})/m + \sum_{i=1}^k (C_O + C_D)/k \quad (1c)$$

ここで

$U_M$  : 使用者の毎月の支払い額(TK/月)  
 $q$  : アドオン率(%),  $m$  : 返済月数(月)  
 $C_O$  : 運転維持管理費(TK/月),  $C_D$  : 減価償却費(TK/月)  
 $k$  : 使用期間及び減価償却期間(月)

## (3) 使用者の総支出額の算出

初期投資額と運転維持管理費により、使用者の総支払い額を求めることができる。また運転維持管理費及び減価償却費は、耐用月数(使用期間)中支払わなければならないため、総和として求める必要がある。つまり、使用者の総支払額は、装置価格、補助金、借入額、アドオン率、耐用月数(使用期間)、運転維持管理費、減価償却費を用いて式(1d)により算出できる。

$$U_T = (C_T - C_S) - C_L + C_L(1 + \frac{q}{100}) + \sum_{i=1}^k C_O + \sum_{i=1}^k C_D \quad (1d)$$

ここで

$U_T$  : 使用者の総支払額(TK)

## 3 使用者の収入額に対する装置支払い額の定式化

式(1c)における毎月の支払額は、使用者の水に対する支払い額可能額未満でなければならない。また、水供給装置等の購入は一世帯とは限らず、複数世帯( $h$ 世帯)で共同購入・使用することも考えられる。月々の支払い可能額は式(1e)により与えられる。

$$C_L(1 + \frac{q}{100})/m + \sum_{i=1}^k (C_O + C_D)/k < I \cdot r \cdot h \quad (1e)$$

ここで

$h$  : 各装置における共用世帯数(世帯/基)。また、1以上で各装置の最大共用世帯数( $h_{max}$ )内の整数とする。

## VI 水供給代替案の経済的妥当性の検討

### 1 水処理薬品の経済的妥当性

不等式(1a)を用いて1世帯当たりの代替水に対する月支出額を算出した。最初に、ボトル水より安価で、表流水等を処理する目的で、使用される次亜塩素酸カルシウムやミョウバンの価格の妥当性について評価を行う。「バ」国における、次亜塩素酸カルシウムやミョウバンの単価を用いると、飲料水の1L当たりの処理に必要な費用は、前者が0.5TK/L( $V=0.5$ )、後者が0.6TK/L( $V=0.6$ )となる。これより1世帯当たりの処理水利用における費用は、一人当たりの飲料量を約90L/月( $W=90$ )とし、5人家族( $e=5$ )とした場合(家族構成が4~6人/世帯<sup>15)</sup>)、前者が約225TK/月・世帯、後者は約270/月・世帯と算出される。これを不等式(1a)に代入し、水に対する家計支出の割合を2.3%( $r=0.023$ )と仮定すると、それぞれ月収入が9,800TK及び12,000TK以上の世帯が購入可能であることが判る。これより調査対象村の平均所得('09年9,400TK)世帯は、水処理薬品の購入が困難であることが明らかになった。また処理薬品より高価であるボトル水も、飲料として使用する事は経済的に困難である。

### 2 設備投資を必要とする装置の経済的妥当性

#### (1) 計算条件

市場価格調査結果(表2)から式(1b,1e)を用いて1世帯当たりの代替水の購入に対する月支出額と必要世帯数を算出する。式(1b)より、初期投資の支払い方法を補助金( $C_S$ )またはローン( $C_L$ )手法に分けて分析を行う。分析を行うための式(1b,1e)の定数である、維持管理費( $C_O$ )、耐用月数及び使用期間( $k$ )は、表2の調査結果を代入し、ユニット当たりの共用世帯数( $h$ )及び収入額( $I$ )は変数として使用した。また、農村部で行われているマイクロクレジットの数値に基づき<sup>16)</sup>、月返済期間を1年( $m=12$ )、アドオン率を20%( $q=20$ )とし、水に対する家計支出額の

割合を 2.3% ( $r=0.023$ )と仮定して算出する。

(2) 初期投資を補助金で支出した場合( $C_T=C_S$ )

初期投資を補助金で支払う場合、使用者は運転維持管理費及び減価償却費を支払うことになる。不等式(1e)より、6,500TKの月世帯収入額があれば、PF, RWHは1世帯、AIRP, DW, PSF, DTWは複数世帯で共同使用することにより購入可能であることが算出された(表3)。これより不等式(1e)に代入した数値と同年の09年における調査対象地域の月平均世帯収入額世帯では、共同で使用するものも含め、すべての装置を使用することができる。

表3 月収入額に応じた必要共同世帯数 (初期投資を補助金で支出した場合)

Table.3 Number of Household to be required by Income for the System with Subsidy for Initial Cost

収入額 TK (月/世帯)	PF	RWH	AIRP	DW	PSF	DTW
10500	1	1	2	2	3	1
9500	1	1	2	2	3	1
8500	1	1	2	2	3	1
7500	1	1	2	2	3	2
6500	1	1	3	2	4	2
5500	1	2	3	3	4	2
4500	1	2	4	3	5	2
3500	1	2	4	4	7	3
2500	1	3	6	6	9	4
1500	1	4	10	9	15	6
500	2	12	28	26	43	17
最大共用世帯数 (h max)	(h≤1)	(h≤1)	(h≤3)	(h≤25)	(h≤50)	(h≤50)

注:1) 塗り潰し箇所は供給不可能 単位:世帯

(3) 借入のみで運用した場合( $C_T=C_L$ )

初期投資額の支払いにローン手法を用いた装置の妥当性について評価する。補助金を用いた場合と比較すると、6,500TKの世帯において、RWH, AIRPやDWは、最大共用世帯数を超えてしまうため、使用することが困難であると算出された。しかしながら、実際の水利用を考慮すると、 $h_{max}$ を超えていても共同する世帯が出てくると考えられる。ローンを用いた場合、調査対象村ではRWHやAIRPの使用が困難であることが示された。

表4 月収入額に応じた必要共同世帯数 (初期投資をローンで支出した場合)

Table.4 Number of Household to be required by Income for the System with Loan for Initial Cost

収入額 TK (月/世帯)	PF	RWH	AIRP	DW	PSF	DTW
10500	1	4	8	16	17	20
9500	1	4	9	18	19	22
8500	1	5	10	20	21	25
7500	1	5	11	23	24	28
6500	1	6	13	26	28	32
5500	1	7	15	31	33	38
4500	1	8	19	38	40	46
3500	1	10	24	48	51	59
2500	2	14	33	67	72	83
1500	2	23	55	112	119	137
500	6	69	164	335	356	411
最大共用世帯数 (h max)	(h≤1)	(h≤1)	(h≤3)	(h≤25)	(h≤50)	(h≤50)

注:1) 塗り潰し箇所は供給不可能 単位:世帯

(4) 初期投資額を補助金及び借入金で支出した場合 ( $C_T=C_S+C_L$ )

同額の補助金及び借入金で支払う( $C_S=C_L$ )場合は、表3,表4で示した値の中間値を取ることにより求められる。借入金が少ないことから、使用者の負担少ないと考察する。また補助金より借入金が大きい( $C_S<C_L$ )場合は、借入金(ローン)が大きくなるため、表4に近似することが考えられる。一方、補助金より借入金が小さい( $C_S>C_L$ )場合は、表3に近似すると考察され、使用者の負担は減少すると考えられる。

3 代替装置等における普及手法の考察

水供給設備が住民にとって経済的に妥当となるのは、月収Iと共同利用する世帯数hとが先に示した不等式(1e)を成立させることができる範囲にある場合である。すなわちIは不等式(1e)の不等号を等号に置き換えた場合の境界線の上側に位置しなければならない。一方hは共同利用できる世帯数の物理的上限とされる $h_{max}$ 以下でなければならない。この2つの条件を満たす範囲が、住民が経済的・物理的に使用可能な範囲となる。図5には代替水源としての深井戸が住民にとって利用可能かどうかを、全額補助金を投入した場合(表3より転記、境界線 $l_1$ )および建設費をローンで賄った場合(表4より転記、境界線 $l_2$ )について境界線を示した。補助金を投入した場合はかなりの低所得者層まで普及できることがわかる。

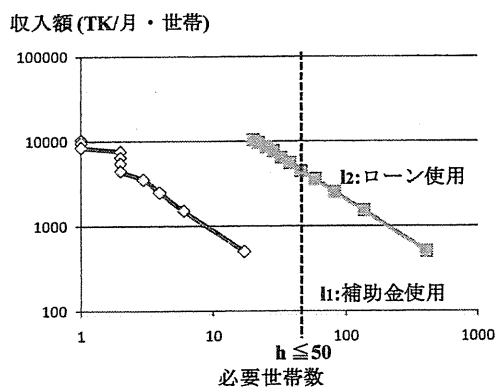


図5 DTWの購入における収入額と必要世帯数の関係図

Fug.5 Relation Figure on between the Income and Number of Household for Purchase of Deep Tube Well

VII 結論

本研究では、住民の水使用形態からニーズの把握や現地で入手可能な処理・給水装置の市場価格を明らかにし、式(1a)及び式(1e)を用いて現地住民に経済的に妥当な装置を選択した。その結果、調査対象村において次亜塩素酸カルシウム、ミョウバンやボトル水は経済的に妥当で

ないことが明らかになった。また、設備投資が必要なヒ素除去装置等の場合は、初期投資に補助金を用いると、購入可能な世帯が拡大することが確認された。また、算出された表3、表4より AIRP と DTW を比べると、建設コストは前者が低いが、収入額に対する必要な共同世帯数は多いことが明らかになった。これより、維持管理費が少なく減価償却期間が短い装置が調査対象村では妥当である。また DTW のように行動変容を伴わない装置は文化的にも妥当であると考えられるが、初期投資額が高いため、低所得者である BOP 層に普及する場合は、ソフトローンや助成金等の経済的手段が必要であると考察する。また、住民へのヒ素に対する啓蒙活動や金融リテラシーのような教育も普及を促すと考えられる。今後の課題としては、対策装置等の普及に伴う売り手や NGO 等の出資機関を考察したビジネスモデルを構築する必要がある。また「バ」国だけではなく、地下水ヒ素汚染に苦しんでいるインド、カンボジア等の諸国に適正技術を用いた代替水の普及を行う必要がある。そのために、各国の文化、社会的背景や水使用習慣、ジェンダーなどの要因も定量的に分析する必要があると考える。

謝辞：本研究を進めるにあたり、国内外でご協力頂いた方々に感謝申し上げます。また本研究のもととなる現地調査は、文部科学省科学研究費「 Bangladesh 農村部における地下水ヒ素汚染除去装置の開発と普及に関する実証的研究」(基盤 B, 海外)及び厚生労働省科学研究費補助金「水供給分野の国際協力における総合援助手法に関する研究」により実施したものである。この場をお借りしてお礼申し上げます。

#### 引用文献

1) 第 15 回地下水ヒ素汚染フォーラム,シンポジウム「アジアのヒ素汚染の現状」資料

- 2) 杉村昌紘(2003): Bangladesh におけるヒ素汚染地下水の浄化装置に関する研究,東京大学大学院修士論文
- 3) 萩原良巳,萩原清子,酒井彰,高橋邦夫,柴田翔(2009): Bangladesh における飲料水ヒ素汚染代替技術整備に関する研究,京都大学防災研究所年報,第 52 号 B
- 4) 眞子岳,北脇秀敏,MD.Mafizur Rahman,MD.Kamrul Islam(2009): Bangladesh 村落部における住民の水使用形態とヒ素除去装置の商業化に関する研究,国際開発学会,第 20 回全国大会報告論文集,pp70-73
- 5) Bangladesh 地図: <http://www.bdshots.com/v/Bangladesh/atlas/zilla/Manikganj-district.gif.html>,<http://www.bdshots.com/v/Bangladesh/atlas/thana/Ghior.gif.html>
- 6) 王博(2008): Bangladesh における地下水ヒ素汚染の現状と対策に関する研究,東洋大学博士論文,p66
- 7) 眞子岳(2009): Bangladesh 村落部におけるヒ素除去装置の商業化に関する研究,東洋大学修士論文
- 8) 眞子岳,五十嵐,北脇秀敏(2010): Bangladesh 及びカンボジアの地下水ヒ素汚染地域における安全な水供給技術の普及手法に関する研究,国際開発学会,第
- 9) 眞子岳,北脇秀敏,MD.Mafizur Rahman(2009): Bangladesh 村落部におけるヒ素除去装置普及に向けての住民の水使用形態に関する調査,国際開発学会第 10 回春季大会論文報告集,pp123-124,
- 10) The World Bank: Willingness of household to Pay for Improved Service and Affordability• pp4-5
- 11) 総務省家計調査ホームページ: <http://www.stat.go.jp/data/kakei/index.htm>
- 12) Statistical Yearbook of Bangladesh 2009, p548, 15 Monthly house hold income 2005
- 13) 国際協力機構「 Bangladesh 人民共和国ヒ素対策プログラム評価報告書」, p36
- 14) 砒素中毒患者とマイクロクレジット: <http://www.asia-arsenic.jp/blog01/?p=1963>
- 15) Statistical Yearbook of Bangladesh 2009, p33
- 16) 菅正広:マイクロファイナンスのすすめ,p22

Summary : This survey's target is the selection methodology for economically feasible alternative water supply using the concept of appropriate technology. Groundwater has been polluted with arsenic in rural Bangladesh. Those who live in the rural, however, use the water for drinking and cooking purposes. Consequently cases of arsenicosis patients reached about 38,000 in 2008. Alternative drinking water sources have not fully been available in rural areas in Bangladesh. Therefore, chemical substances such as decontaminating chemical (bleaching powder) coagulant (Alum) and etc to be used for water purification as well as appropriate water supply equipment such as •Arsenic and Iron Removal Plant (AIRP) • is necessary for them. In this study, a mathematical formula has been developed to select most appropriate alternative water supply method for the villager in Bangladesh.

キーワード (Keywords) : ヒ素 (Arsenic), 代替水 (Alternative water), 経済的妥当性 (Economically Feasible), 経済ピラミッドの底辺層 (Bottom of the pyramid), Bangladesh 農村部 (Rural Bangladesh)

(2011 年 5 月 21 日 受付)

(2011 年 9 月 17 日 受理)

# GIS Mapping of Correlation between Arsenic and Iron Concentration of Ground Water of Bangladesh

Fahim Nawroz Tonmoy\*, Md. Mafizur Rahman<sup>1</sup> and Hidetoshi Kitawaki<sup>2</sup>

University of Sydney, School of Civil Engineering, Sydney NSW 2006, Australia

<sup>1</sup>Department of Civil Engineering, Bangladesh University of Engineering and Technology  
Dhaka - 1000, Bangladesh

<sup>2</sup>Faculty of Regional Development Studies, Toyo University, 1-1-1 Izumino  
Itakuramachi, Gumma 374-0193, Japan

✉ tonmoy\_bd@hotmail.com

*Received February 28, 2009; revised and accepted September 10, 2010*

**Abstract:** High iron concentration in the groundwater of Bangladesh was observed long ago. Existence of high arsenic concentration was observed in early 1990s. Determining iron concentration is cheaper and some indigenous methods are applied locally for such a purpose. Determining concentration of arsenic is more expensive and a relatively new issue even though the measurement is very important from monitoring point. The correlation between these two will ensure the possibility of simple and cheaper option for monitoring arsenic concentration from that of the iron concentration. This made the correlation analysis between arsenic and iron concentration of ground water more rational. In this study, data of 4367 wells were categorized for analysis as per geographic location in 61 administrative districts of Bangladesh. Results were compared with the results of analysis performed without categorizing data as per geographic locations. It is evident from the study that correlation between arsenic and iron concentration of ground water is not constant nationwide, rather it is a zonal phenomenon. Geographic Information System (GIS) maps were produced with the correlation analysis data which represents the correlation status of each individual district of Bangladesh. Outcome of this study reveals that a zone or belt of a region can be observed within a band of similar correlation coefficient. From the analysis and produced GIS (Geographic Information System) maps it was observed that 50.4% districts of Bangladesh showed correlation coefficient in excess of 0.4 and 37% districts show correlation coefficient in excess of 0.5. In the eastern part of Bangladesh a belt of very low correlation was observed. The produced GIS maps and the study results enable to predict tentatively or statistically the arsenic concentration of a well by only knowing the iron concentration of the same well. This will help in reducing the need and thus cost for frequent measurement of arsenic in many areas where high correlation of the two is observed and reported.

**Key words:** GIS mapping, correlation, arsenic, iron, contamination.

## Introduction

In Bangladesh, water extracted from shallow aquifers is the primary source of drinking and cooking water for most of its over 150 million population. The rural water supply is almost entirely based on groundwater through use of hand pump tube wells; an estimated ten million

domestic wells constitute the backbone of rural water supply in the country. The urban water supply is also heavily dependent on groundwater. The discovery of widespread arsenic contamination of groundwater in Bangladesh has led to a need for frequent monitoring of water quality. The national hydrogeochemical survey of groundwater conducted by the British Geological Survey

\*Corresponding Author



(BGS) and the Department of Public Health Engineering (DPHE) have shown that large numbers of wells in Bangladesh also exceed permissible limits for iron (Fe) and arsenic (As) (BGS, DPHE, 2001). Arsenic contamination in groundwater has originated in the Indian state of West Bengal and neighbouring Bangladesh, particularly on the east side of the Ganges-Bhagirati contaminating ground water of Bangladesh (Karim Md. Masud, 2000). The eastern part (most of the deltaic region) of Bangladesh is affected by arsenic contamination. The aquifer of the contaminated zone in West Bengal and that of Bangladesh are hydro geologically connected. Arsenic occurrence in groundwater in some part of Bangladesh is so severe that it has caused a national problem. The World Health Organization (WHO) has set guideline value for arsenic in drinking water as 0.01 mg/L (WHO, 1993). Department of Environment (DoE) of Bangladesh has set the standard value of arsenic for Bangladesh as 0.05 mg/L (DoE, 1991). For drinking water allowable limit for iron is 0.3 to 1 mg/L. But in Bangladesh iron content is very high in ground water.

Measurement of arsenic concentration in water is very expensive which requires modern laboratory facility and expensive chemicals. Determination of iron concentration is relatively simpler and cheaper than that of determination of concentration of arsenic and also easily available in Bangladesh. GIS – one tool for decision making was used in the study to describe the geographical distribution of the correlation between arsenic and iron concentration in ground water. By using the regression analysis and GIS maps of correlation between the two parameters the presence of arsenic in a well can be tentatively predicted by testing the presence of iron of the same well only. This can save a lot of money if it is used in a large scale. This map will also show the population vulnerable due to high arsenic and iron content of ground water of Bangladesh.

The correlation is one of the most common and most useful statistics. A correlation is a single number that describes the degree of relationship between two variables. The measurement scales used should be at least interval scales but other correlation coefficients are available to handle other types of data. Correlation coefficients can range from  $-1.00$  to  $+1.00$ . The value of  $-1.00$  represents a perfect negative correlation while a value of  $+1.00$  represents a perfect positive correlation. A value of  $0.00$  represents no correlation.

## Data Collection

The national hydrochemical survey of groundwater conducted by the British Geological Survey (BGS) and the Department of Public Health Engineering (DPHE), Bangladesh in 2001 (BGS–DPHE, 2001) presented water quality data of 3364 wells. This data was a major source of the study. Data of another survey conducted by DPHE in 2007 for the second phase of DPHE–JICA project in the south-eastern part of Bangladesh was also used in this research. Those two data sets were compiled together to form a water quality data base of 4367 wells. Data of 61 administrative districts of Bangladesh was thus available for analysis. Data of Rangamati, Bandorban and Khagrachori are not available for analysis.

## Methodology

Data base of 4367 wells was categorized as per geographical location of Bangladesh. Bangladesh has 64 administrative districts but data of 61 districts is available for analysis. This leads to separation of 61 sets of water quality data which includes arsenic and iron concentration of ground water. Initially correlation analysis was performed taking all the data together. Later, correlation analysis was performed for each district separately.

A comprehensive correlation map of different areas of Bangladesh was developed using GIS. Results of data analysis for different districts were used to prepare this correlation map. Regression models were also developed for each district so that the arsenic concentration in a well can be tentatively verified by testing the presence of iron of the same well in the same district.

## Result and Discussion

Total 4367 number of data were used for analysis in this study. Data of 61 administrative districts of Bangladesh were available (Table 1) for analysis. Arsenic concentration in 38.2% of data exceeds the WHO guideline value of 10  $\mu\text{g/L}$ . For Bangladesh, Department of Environment (DoE, 1997) sets the arsenic standard for drinking water to be 50  $\mu\text{g/L}$ . 20.3% of data exceeds the standard value of 50  $\mu\text{g/L}$  for drinking water.

Minimum number of samples (15 data) are available for Meherpur and maximum (250 data) for Jessore. Munshiganj, Chandpur, Noakhali, Meherpur, Gopalganj, Lakshmipur, Faridpur, Bagerhat, Satkhira, Comilla, Narail and Chuadanga are the 12 most arsenic contaminated districts. On the other hand Sirajganj, Sylhet,

**Table 1: Distribution of data for 61 districts of Bangladesh**

<i>District</i>	<i>Number of wells</i>	<i>% of wells exceeding As&gt;50 µg/L</i>	<i>% of wells exceeding Fe&gt;5 mg/L</i>	<i>District</i>	<i>Number of wells</i>	<i>% of wells exceeding As&gt;50 µg/L</i>	<i>% of wells exceeding Fe&gt;5 mg/L</i>
Bagerhat	78	47.4	43.6	Magura	62	9.7	8.1
Barguna	48	0.0	0.0	Manikganj	47	14.9	38.3
Barisal	92	30.4	15.2	Maulvibazar	60	10.0	48.3
Bhola	48	4.2	2.1	Meherpur	15	60.0	6.7
Bogra	94	8.5	16.0	Munshiganj	46	82.6	30.4
Brahmanbaria	93	22.6	9.7	Mymensingh	109	12.8	6.4
Chandpur	68	77.9	30.9	Naogaon	92	2.2	6.5
Chittagong	109	6.4	22.0	Narail	24	41.7	29.2
Chuadanga	34	41.2	11.8	Narayanganj	37	18.9	10.8
Comilla	173	42.2	11.0	Narsingdi	63	23.8	11.1
Cox's Bazar	62	1.6	27.4	Natore	51	0.0	2.0
Dhaka	57	24.6	29.8	Nawabganj	45	4.4	2.2
Dinajpur	94	2.1	8.5	Netrokona	76	27.6	25.0
Faridpur	74	55.4	28.4	Nilphamari	53	0.0	17.0
Feni	60	28.3	16.7	Noakhali	49	69.4	6.1
Gaibandha	71	7.0	40.8	Pabna	78	16.7	16.7
Gazipur	44	2.3	0.0	Panchagarh	39	0.0	7.7
Gopalganj	58	56.9	34.5	Patuakhali	61	0.0	1.6
Habiganj	82	7.3	41.5	Pirojpur	54	14.8	7.4
Jaipurhat	40	0.0	7.5	Rajbari	47	17.0	17.0
Jamalpur	63	6.3	33.3	Rajshahi	78	6.4	3.8
Jessore	250	13.2	8.0	Rangpur	86	1.2	34.9
Jhalakati	33	6.1	3.0	Satkhira	88	46.6	23.9
Jhenaidah	103	13.6	7.8	Shariatpur	81	39.5	17.3
Khulna	93	18.3	10.8	Sherpur	51	11.8	27.5
Kishoreganj	169	17.2	11.2	Sirajganj	89	23.6	51.7
Kurigram	77	9.1	44.2	Sunamganj	87	32.2	19.5
Kushtia	59	22.0	16.9	Sylhet	88	15.9	50.0
Lakshmipur	34	55.9	11.8	Tangail	91	8.8	45.1
Lalmonirhat	39	0.0	15.4	Thakurgaon	46	0.0	4.3
Madaripur	75	37.3	14.7				

Moulvibazar, Tangail, Kurigram, Bagerhat, Habiganj, Gaibandha, Manikganj, Rangpur, Gopalganj, Jamalpur, Chandpur and Munshiganj are the 14 most iron contaminated districts.

All available data were used to analyse (Table 2) the correlation between arsenic and iron concentration. The correlation coefficient is 0.195. Figure 1 represents the graphical variation.

Soil profile varies as the major part of Bangladesh is on the delta formed by the three major rivers Brahmaputra, Ganges and Meghna. This leads to an idea that correlation of arsenic and iron concentration of ground water may be a zonal phenomenon rather than a national phenomenon. When district-wise categorized data were analysed, correlation coefficient varied at different locations of Bangladesh. Results of correlation

analysis as per geographical locations are provided in the Table 3.

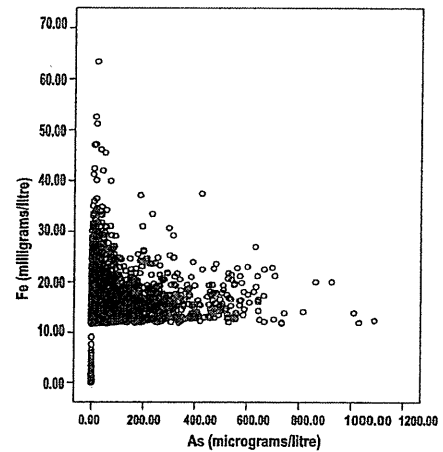
Correlation analysis (Table 2) was performed using all available (4367 number) data without district wise categorization as per geographical locations, correlation coefficient which was found to be 0.192 is very insignificant. When all the data were reorganized as per their location, correlation coefficient improved in most of the districts drastically (Table 3). In Panchagarh the value of the coefficient is 0.932 (Figure 4) which shows strong correlation. Significance level of this value is 0.0001 which shows that less than 0.01% chance that this correlation occurred by chance. Correlation coefficient of 23 districts exceeds 0.5 which is 38% of all the districts (Figure 2). On the other hand 50.4% districts show correlation coefficient in excess of 0.4 (Figure 3).

Munshiganj, Chandpur, Noakhali, Meherpur, Gopalganj, Lakshmipur, Faridpur, Bagerhat, Satkhira, Comilla, Narail and Chuadanga are the 12 most arsenic contaminated districts (Table 1). Arsenic contamination ranges from 40% to 80% of wells of these districts. Figure 5 shows the correlation coefficient of these 12 most arsenic contaminated districts.

Barguna, Jaipurhat, Lalmonirhat, Natore, Nilphamari, Panchagarh, Patuakhali, Thakurgaon, Rangpur, Cox's

**Table 2: Correlation between arsenic and iron using all available data**

Correlation coefficient	0.195
Number of Data	4367
Significance	0.0001



**Figure 1: Variation of arsenic vs iron concentration of ground water of Bangladesh.**

**Table 3: Correlation coefficients of 61 districts of Bangladesh and the significance level of the result**

District	Correlation coefficient	Significance level	District	Correlation coefficient	Significance level
Bagerhat	0.55	0.0001	Magura	0.61	0.0001
Barguna	0.36	0.011	Manikganj	0.44	0.002
Barisal	0.60	0.0001	Maulvibazar	0.02	0.871
Bhola	0.86	0.0001	Meherpur	0.69	0.004
Bogra	0.43	0.0001	Munshiganj	0.15	0.318
Brahmanbaria	0.19	0.069	Mymensingh	0.76	0.0001
Chandpur	0.11	0.381	Naogaon	0.20	0.051
Chittagong	-0.08	0.439	Narail	0.66	0.0001
Chuadanga	0.51	0.002	Narayanganj	0.43	0.008
Comilla	0.14	0.076	Narsingdi	0.53	0.0001
Cox's Bazar	-0.05	0.701	Natore	0.47	0.0001
Dhaka	0.44	0.001	Nawabganj	0.21	0.175
Dinajpur	0.72	0.0001	Netrokona	0.31	0.007
Faridpur	0.58	0.0001	Nilphamari	0.82	0.0001
Feni	-0.07	0.587	Noakhali	0.05	0.729
Gaibandha	0.10	0.394	Pabna	0.33	0.004
Gazipur	0.27	0.073	Panchagarh	0.93	0.0001
Gopalganj	0.58	0.0001	Patuakhali	0.30	0.021
Habiganj	0.09	0.428	Pirojpur	0.60	0.0001
Jaipurhat	0.21	0.193	Rajbari	0.56	0.0001
Jamalpur	0.45	0.0001	Rajshahi	0.53	0.0001
Jessore	0.39	0.0001	Rangpur	0.46	0.0001
Jhalakati	0.88	0.0001	Satkhira	0.48	0.0001
Jhenaidah	0.36	0.0001	Shariatpur	0.68	0.0001
Khulna	0.36	0.0001	Sherpur	0.17	0.233
Kishoreganj	0.62	0.0001	Sirajganj	0.19	0.071
Kurigram	0.19	0.105	Sunamganj	-0.16	0.139
Kushtia	0.07	0.579	Sylhet	0.11	0.289
Lakshmipur	0.06	0.752	Tangail	0.33	0.002
Lalmonirhat	0.67	0.0001	Thakurgaon	0.56	0.0001
Madaripur	0.74	0.0001			

Bazar, Dinajpur and Naogaon are the least arsenic contaminated districts. Figure 6 shows the correlation coefficient of these districts.

50% of these 12 most arsenic contaminated districts show correlation coefficient greater than 0.5. Similarly 50% of the 12 least arsenic contaminated districts show correlation coefficient greater than 0.5.

This district-wise correlation analysis of arsenic and iron reveals that correlation of arsenic and iron in ground water is a zonal phenomenon. Soil character is different in different parts of Bangladesh which leads to the difference in correlation. It is due to the difference in sediment characteristics throughout the country. Sediments are typical of alluvial and deltaic sediments with normal amounts of arsenic, mainly in the 1–10mg kg<sup>-1</sup> 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 water is 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.

GIS map (Figure 7) represents the zonal correlation status of Bangladesh. Data of 61 districts were separated as per their geographical locations. Figure 8 shows the districts which have correlation coefficient between 0.4 and 0.6. Bagerhat, Gopalganj Faridpur, Rajbari, Manikganj, Dhaka, Narayanganj and Narshingdi form a belt which shows similar correlation between As and Fe. Another similar type of belt is found around Rajshahi, Natore, Bogra and Jamalpur districts.

The total range of coefficient was divided into five groups for mapping. They are 0–0.2, 0.2–0.4, 0.4–0.6, 0.6–0.8 and 0.8–1. Districts falling in each of these groups are mapped with same colours. Figure 7 represents the zonal correlation status of Bangladesh. Data of 61

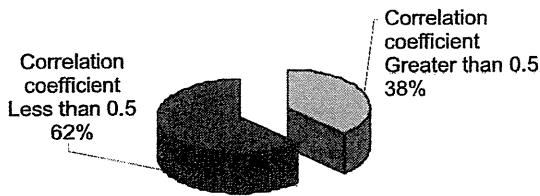


Figure 2: Percentage of districts showing correlation coefficient greater than 0.5.

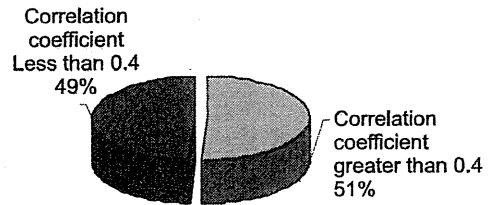


Figure 3: Percentage of districts showing correlation coefficient greater than 0.4.

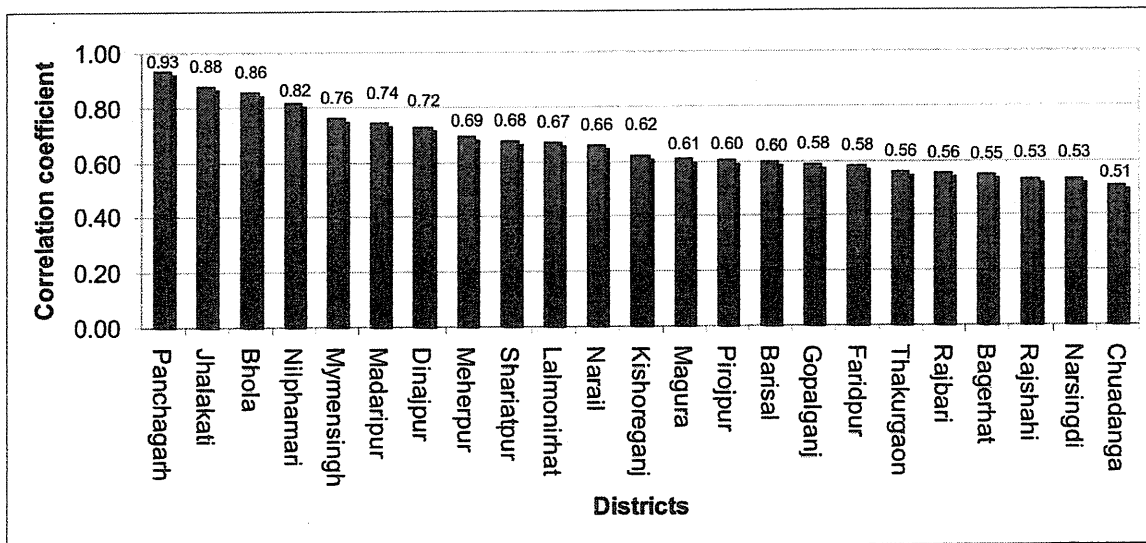


Figure 4: Districts showing correlation coefficient greater than 0.5.