

201103002B

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21～23年度 総合研究報告書

平成24年3月

研究代表者 国包章一（静岡県立大学）

## 目 次

研究班の構成	1
I. 総合研究報告書	
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	5
	国包章一
II. 研究成果の刊行に関する一覧表	17
III. 研究成果の刊行物・別刷	21

## 研究班の構成

### 研究代表者

静岡県立大学環境科学研究所教授

国 包 章 一

### 研究分担者

国立保健医療科学院水道工学部室長

浅 見 真 理

東洋大学大学院国際地域学研究科教授

北 脇 秀 敏

長崎大学熱帯医学研究所助教

橋 爪 真 弘

静岡県立大学環境科学研究所助教

戸 敷 浩 介

### 研究協力者

東洋大学北脇研究室外部共同研究者

五十嵐 堅 治

東洋大学大学院国際地域学研究科博士後期課程

眞 子 岳

### 委託機関

社団法人国際厚生事業団

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21～23年度 総合研究報告書

平成24年3月

研究代表者 国包章一（静岡県立大学）

## 総合研究報告書

### 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

研究代表者 国包章一 静岡県立大学環境科学研究所教授

#### 研究要旨

本研究では、水供給施設の整備と村落開発における井戸の掘削や生活改善指導、保健指導等との連携を深め、財政的な面においても自立し得る、総合援助手法としての効果的な国際協力のあり方を明らかにすることを目的とした。3ヶ年にわたる研究で取り組んだ主な課題は、1) 水道分野の総合援助手法等に関する情報の収集整理、2) 開発途上国の水供給・水環境と感染症のリスク、3) バングラデシュおよびカンボジアにおける地下水中の砒素対策に関する研究、4) 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、及び 5) 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関する検討である。

水道分野の総合援助手法等に関する情報の収集整理では、近年の水分野における日本の方針とその評価、海外の援助機関に関する活動方針などについて現状を把握するとともに、総合援助手法のあり方について考察した。国際援助全般のあり方に関して、1990年以降はより一層の効果を引き出すため人間開発型アプローチへと重点が移り、社会制度構築の重要性を意識して、援助の効率的実施や途上国のオーナーシップ強化のためのアプローチを重視するようになってきていることや、日本に限らず外国の援助機関及び国際援助機関などでは、その活動方針においてより一層の分野間連携の必要性を示していることが認められた。

開発途上国の水供給・水環境と感染症のリスクについて、家庭用浄水処理の効果に関する文献レビューでは、その効果に関するエビデンスは高いとは言えず、研究方法の研究がさらに必要であることを提起した。バングラデシュを対象とした洪水と下痢症の研究では、非浸水集落に比べ浸水集落の洪水期間中の下痢発症率が有意に高かったが、洪水後の有意差は認めなかった。井戸を飲料水源とする世帯と表層水・ろ過水を飲料水源とする世帯では、下痢発症率比に有意差はなかった。さらに、バングラデシュでの洪水とデング熱に関するデータ解析では、河川の水位変化とデング熱患者の増加との間に強い関連が見られた。水道のない世帯では、家屋内で水を貯め置きすることにより水瓶で媒介蚊が繁殖し、デング熱罹患リスクが高まると考えられた。洪水など自然災害に脆弱な開発途上国における水供給においては、これらの感染症リスクも考慮すべきことが示唆された。

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では、(独)国際協力機構(JICA)がアジア砒素ネットワーク(AAN)の協力のもとに、2002～2008

年にバングラデシュで実施した2つの砒素汚染対策プロジェクトと、その後引き続き2年間にわたってJICA派遣専門家が指導・実施したフォローアップ・成果普及活動の経緯などにつき、前後3回にわたる現地調査を行って情報収集した。その結果、フォローアップ・成果普及活動が効果的に行われ、先のプロジェクトを通して開発・確立された総合的アプローチにより、独自予算で22ヶ所もの新たな飲料水代替供給施設がすでに完成又はほぼ完成しており、地域住民によって有効に活用され始めていることを明らかにした。

最後に、3年間にわたる研究の全成果を踏まえて、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として、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、及び5) 他セクターとの連携・協働の5つを取りまとめるとともに、それぞれについて考察を加えた。

研究分担者 北脇秀敏 東洋大学大学院国際地域学研究科教授  
研究分担者 橋爪真弘 長崎大学熱帯医学研究所教授  
研究分担者 浅見真理 国立保健医療科学院生活環境研究部上席主任研究官  
研究分担者 戸敷浩介 静岡県立大学環境科学研究所助教  
研究協力者 五十嵐堅治 東洋大学北脇研究室外部共同研究者  
研究協力者 眞子 岳 東洋大学大学院国際地域学研究科博士後期課程

## A. 研究目的

開発途上国の水道等飲料水供給施設の整備に関する国際協力においては、単に水供給施設を整備するだけでなく、当初の計画から整備後の水供給施設の運営までを通して裨益住民の主体的な関与と協力を得ることや、保健衛生、生活改善等のための他の様々な援助と組み合わせる実施することが、その自立発展性や持続可能性を高める上で望ましいとされている（「国際協力事業評価検討会（水道分野）報告書」、厚生労働省国際課、平成18年3月）。特に小規模水道や農村部における水供給施設の整備においては、これらのことが重要な意味を持つものと考えられるが、個々のケースにおいて地域の実情に合わせて具体的にどう取り組むべきかという点に関しては、いまだ十分な知見が得られていない。

本研究では、水供給施設の整備と村落開発における井戸の掘削や生活改善指導、保健指導等との連携を深め、財政的な面においても自立し得る、総合援助手法としての効果的な国際協力のあり方を明らかにすることを目的とする。

## B. 研究方法

### 1. 水道分野の総合援助手法に関する情報の収集整理

近年の水分野における日本の方針及びその評価に関する厚生労働省関連報告書、学術的文献、海外の援助機関に関する活動方針などについて文献調査を行い、その現状を把握すると共に、総合援助手法のあり方等について考察を行った。

## 2. 開発途上国の水供給・水環境と感染症のリスク

開発途上国の水供給・水環境と感染症のリスクに関して、文献レビューとデータ解析をおこなった。平成 21 年度は、開発途上国における下痢症予防のための家庭用浄水処理 (Point-of-use household-based water treatment) の効果に関する文献レビューをおこなった。これは、これまで非盲検研究で下痢症予防に大きな効果が認められていたが、最近の盲検研究で家庭用浄水処理の有益な効果を認めなかったことから、バイアスによる影響が大きく、真の効果は考えられているよりも大幅に小さいのではないかと議論が提起されていたことを踏まえ、レビュー論文を再解析してまとめた最新論文の紹介と、今後途上国で介入研究をする際の検討課題をまとめた。平成 22・23 年度は、多くの場合自然災害に脆弱である開発途上国の水供給と感染症のリスクに関して、データを用いて統計解析を行った。平成 22 年度は、バングラデシュ・マトラブ地区に居住する約 22 万人のコホートデータを用いて、2004 年に発生した大規模洪水の下痢症患者数に対するインパクトを推定した。洪水前 3 年間 (2001-2003 年)、洪水年 (2004 年)、洪水後 3 年間 (2005-2007 年) の同地区における病院の下痢症患者データと各患者の居住地データ、浸水・非浸水集落データをリンクさせ、浸水した集落では浸水しなかった集落に比べ下痢発症率が異なるか、洪水後の時系列 (5 週間単位) で比較した。さらにその影響が飲料水源により異なるかを検討した。平成 23 年度は、バングラデシュの首都ダッカにおいて、河川水位と降雨量が Dengue 熱入院患者数にどのように影響しているかを推定した。2005 年から 2009 年までの Dengue 熱入院患者数と河川水位との関連について一般線形ポアソン回帰モデルを使い時系列解析をおこなった。

## 3. バングラデシュおよびカンボジアにおける地下水中の砒素対策に関する研究

地下水中の飲料水の天然由来の砒素による汚染は、多くのアジア諸国における健康上の大きな問題となっている。本研究では、1990 年代からこの問題に取り組んでいるバングラデシュと、ごく最近になってから社会問題として取り組み始めたカンボジアの双方において研究を行った。すなわちバングラデシュにおいてはすでに先行研究が多く、実態調査も進んでいるため、砒素対策に関する具体的な代替案の経済的妥当性を検討するため家計調査、代替水源と水供給に必要なコスト計算等を行った。また砒素対策の研究の歴史が短いカンボジアについては基礎データの収集、各援助機関における介入に関する情報、バングラデシュにおける砒素対策から得られた経験をカンボジアに活かすための基礎的検討を行った。研究は両国ともに現地調査を行い資料収集、水質調査、関係機関や住民へのヒアリング等さまざまな方法で資料を収集し、経済的理論式の構築等を行うことにより経済的妥

当性の定量的分析を行った。

#### 4. 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

水供給分野における総合援助手法につき検討するため、(独)国際協力機構(JICA)がアジア砒素ネットワーク(Asia Arsenic Network; AAN)の協力のもとに、2002年から2008年に掛けてバングラデシュにおいて実施した下記の2つのプロジェクトと、その後引き続き2009年~2010年の2年間にわたってJICA派遣専門家が指導して実施したフォローアップ・成果普及活動の経緯などにつき、前後3回にわたる現地調査を行って情報収集した。

①飲料水砒素汚染の解決に向けた移動砒素センタープロジェクト(AMプロジェクト)

②持続的砒素汚染対策プロジェクト(SAM-ILGSプロジェクト)

上記2つのプロジェクトはいずれも、井戸水の砒素汚染対策としての飲料水代替供給施設の整備を目的としたものであった。しかし、特徴的なのは、それだけにとどまらず、地域住民の意識啓発、コミュニティ開発、砒素中毒患者の支援、その他地域住民や関係者を対象とした様々な訓練などと併せて、総合的なアプローチのもとに実施されたことである。この点が一般の水供給に関するプロジェクトとは大いに異なっており、その成果が高く評価されている所以である。そのため、総合援助手法を検討するための参考事例として、極めて有用であると考えられた。

現地調査では、JICA派遣専門家、AAN関係者、並びに、フォローアップチームメンバーなどとの面談による情報収集と、上記2つのプロジェクトにより代替水供給施設が整備されたサイトなどの踏査、並びに、地域住民からの聞き取り調査などを行った。このほか、これらの現地調査などを通して得られた関連資料に基づく文献調査も併せて行った。

#### 5. 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関する検討

本「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」全体を通してのこれまでの研究成果を踏まえ、水供給分野の総合援助手法に関する検討の一環として、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た。開発途上国に対する国際援助としての水供給プロジェクトを成功させることは、必ずしも容易ではない。また、それ以上に困難であるが、非常に重要なことは、このような水供給プロジェクトで整備した水供給施設の運営に関して、その自立性と持続性を確保することである。そのような認識のもとに、様々な過去の事例や報告書を参考に、これらを確保するための条件について検討した。

研究方法としては、主として文献調査と研究分担者・研究協力者らによる情報及び意見交換により行った。文献調査では、世界銀行、アジア開発銀行の報告書を参考にした。また、本報告書を取りまとめるに当たっては、本「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」におけるこれまでの研究成果を最大限に活用した。



(倫理面への配慮)

上記のいずれの研究においても、公開された研究論文、報告書、現地で入手したデータ等資料や協議結果を対象としており、また、個人に不利益を与えるような情報は取り扱っていないので、倫理的な問題は発生しない。

## C. 研究結果及び考察

### 1. 水道分野の総合援助手法等に関する情報の収集整理

厚生労働省では、外務省による旧 ODA 大綱の策定及び ODA 大綱の改訂の動きと連動し戦略に基づく水道分野の国際協力施策をまとめている。特に、安全な飲料水供給の課題解決に関して、①維持管理の改善、②経営の改善、③水質の確保等の技術協力手法の検討の必要性が示されている。特に、2003 年度より 3 カ年にわたり国際協力事業評価検討を行い、厚生労働省として今後実施が求められる項目、配慮事項を以下のようにまとめている。①（裨益効果の観点から）都市水道に対する援助の継続の重要性、②村落水道に対する配慮、③（投入された ODA 案件に関するフォローアップ、投入による状況の改善、投入後の水源水質変動など）モニタリング等の重要性、④（維持管理までを配慮した施設整備、他セクターとの協力など）総合的な援助の必要性、⑤（国際協力に貢献可能な）人材確保・育成の必要性である。

一方で、国際協力全般のこれまでの援助手法において、社会インフラ構築のみを中心とした介入は経済効果をもたらすことが少なく、途上国の貧富格差、地域格差を増大させ、経済状態の悪化、環境破壊をもたらすこともあったとの指摘もあり、1990 年以降は、より一層の効果を引き出すため、人間開発型アプローチへと重点が移り、物的資本だけでなく人的資本または社会資本を増大させ、社会の制度を構築することの重要性も同時に指摘された。援助の効率的実施や途上国のオーナーシップ強化のため、セクターワイド・アプローチ (Sector-wide Approaches: SWAps)、援助資金のプール化、一般財政支援、援助の予測性確保、各種手続きの調和化などで、ドナー国同士の方針や援助形態、制度的枠組みも変化しつつある。

以上指摘されているように、日本の援助方針においては、開発途上国政府の組織・政策・制度・情報データの整備と人材育成、地域レベルでインフラ維持管理等に関する技術力や管理能力の向上などが進められようとしているが、分野間の連携や民間部門との連携については今後一層の推進が求められている。

また、世界銀行、アジア開発銀行、国連開発計画、米国国際開発庁、ドイツ技術協力公社、オランダ外務省、スウェーデン国際開発協力庁、英国国際開発省等について方針等の情報集を行ったところ、多くは分野間連携の必要性が方針に示されていた。

開発途上国の水供給施設整備における援助手法に関連して、国際協力における衛生状態の向上事例について整理することを目的として、バングラデシュ国飲料水砒素汚染関連プ

プロジェクト、タンザニア中央高原地域飲料水供給計画、マリ国ギニア・ウォーム対策村落給水計画、インド国ホゲナカル上水道整備・フッ素症対策事業、カンボジア国プノンペン市上水道整備、ケニア国キスム市上下水道整備計画調査等のプロジェクトにおける水と衛生の連携手法等に関する情報収集を行った。また、2011年度には、大洪水に見舞われたタイ国の水と衛生の状況について、JICA 現地調査報告やタイ国の統計資料等により、下痢症患者数の解析を行った。

WHO においても貧困層、脆弱層を中心とする衛生施設の普及、衛生状態の向上を保健衛生の重要課題としており、今後も水と保健衛生分野の連携は一層重要となると考えられた。

## 2. 開発途上国の水供給・水環境と感染症のリスク

家庭用浄水処理の効果に関する文献レビューより、現時点で家庭用浄水処理の効果に関するエビデンスは高いとはいえないものの、エビデンスが低いと言う理由で家庭用浄水処理の普及を減速することは合理的と言えないことを結論付けた。また、エビデンスを高めるための研究方法に関する更なる研究（バイアスを最小限に抑える方法の開発、客観的アウトカムの使用、前提条件の明記）が必要であることを提起した。

洪水による下痢症の影響については、浸水した集落では非浸水集落に比べ洪水期間中の下痢発症率が有意に高かったが、洪水後の有意差は認めなかった。井戸を飲料水源とする世帯と表層水・ろ過水を飲料水源とする世帯では下痢発症率比に有意差はなかった。 Bangladesh では各家庭が洪水時に取水部をパイプなどで延長し、背丈を高くすることで取水部の水没を防ぐ緊急避難的措置がとられることがあり、本研究の対象家庭においても行なわれていた可能性がある。洪水による下痢発症を予防するため飲料水源の対策および水供給のあり方を考察するため、今後こうした洪水時の行動変容に関するきめ細かなデータを収集し、解析を行なう必要がある。

洪水とデング熱に関するデータ解析の結果、河川の高水位とデング熱患者の増加との間に強い関連がみられた。河川の平均水位の閾値より 0.1m ずつ上がるごとに、0-5 週間の遅れを伴って入院患者数が 6.9%(95 % CI: 3.2, 10.7)増加した。また、同じく河川の平均水位の閾値より 0.1m ずつ下がるごとに 0-19 週間の遅れを伴って入院患者数が 29.6 % (95 % CI: 19.8, 40.2)増加した。河川水位の低下と上昇が続けて起こることにより放置されたプラスチック容器などの中の水位変化が起こり、媒介蚊が増殖する結果デング熱入院患者が増加すると推測された。水道のない世帯では、洪水により家屋内で水の貯め置きをすることにより水瓶で媒介蚊が繁殖し、デング熱罹患リスクが高まると考えられた。洪水など自然災害に脆弱な開発途上国における水供給においてはこれらの感染症リスクも考慮すべきことが示唆された。

## 3. バングラデシュおよびカンボジアにおける地下水中の砒素対策に関する研究

バングラデシュにおいては、砒素対策としての代替水源の経済的妥当性の検討に主眼を

置き、種々の安全な水供給システムの価格を調査し、水単価を計算した。また、経済統計より得たマクロな国民の世帯収入額の分布と、調査対象村で調べたマイクロな収入分布とを比較し、概ね整合していることを確認した。これを踏まえて、様々な所得層にとって経済的に妥当な水供給システムを提案するための検討を行った。水供給システムによってはピッチャーフィルターのように1軒だけで使用する装置もある一方で、深井戸のように50軒で共同利用でき、1軒あたりの支出額が少なくなる装置もある。計算の結果、外部援助がない場合には住民の負担が大きくなるため、AIRP (Arsenic and Iron Removal Plant) や雨水貯留タンクのように共同使用できる軒数が少ない装置の場合は、一基あたりの建設費が少なくとも多くの住民にとって経済的妥当性は低く、逆に深井戸は4500Tk/軒・月の以上の収入がある家庭で経済的妥当であることが明らかになった。この結果を基に、本研究では実際に深井戸を建設し、住民による使用状況をみたが、深井戸の建設過程に問題があったため住民の井戸使用意欲が低く、経済面だけでの検討では不十分であり、文化的な面の研究を進めなければ代替水源の導入は難しいことが明らかになった。

一方、カンボジアにおいては砒素対策を行う際の基礎データの収集から着手した。砒素による地下水汚染の激しいカンダール州を中心とする村落部の住民意識の調査、地下水中の砒素濃度調査等を行い、水質や水使用形態の基礎データを幅広く収集した。また、カンボジア政府の砒素汚染対策動向や、現地研究機関及び海外 NGO による支援状況等の確認を行った。その結果、UNICEF 等では、雨水や表流水利用等の利用による砒素曝露低減アプローチを取っていることが明らかになった。このアプローチに対しては、今後、上記のようなバングラデシュでの経済的妥当性の検討に関する研究成果を応用することにより、カンボジアでの砒素対策に寄与できると考えられる。

#### 4. 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

JICA/AAN による2つのプロジェクト、すなわち AM プロジェクト及び SAM-ILGS プロジェクトと、その後のフォローアップ・成果普及活動の詳細な実施経緯を現地調査により明らかにした。

SAM-ILGS プロジェクトが2008年末に終了したのち、UC(利用者組合 User Committee) や Union AMC (砒素汚染対策委員会 Arsenic Mitigation Committee。SAM-ILGS プロジェクトにおいて、4レベルの地方行政単位、すなわち上位から順に District、Upazila、Union 及び Ward の各々に設置された) の活動は一時急激に低下したが、フォローアップ開始後にほぼ満足なレベルにまで回復していた。2009年の終わり頃から2010年の前半にかけての異常渇水のため、SAM-ILGS プロジェクトで整備された多くの飲料水代替供給施設で水位低下による水不足が生じたが、その後一部を除いてこのような事態はほぼ解消し、全体として高い稼働率を維持していた。

また、フォローアップ活動と並行して行われた成果普及活動では、コミュニティーから

の申し出に基づき、先のプロジェクトを通して開発・確立された総合的アプローチにより、独自予算で 22 ヶ所もの新たな飲料水代替供給施設がすでに完成又はほぼ完成しており、地域住民によって有効に活用され始めていた。

以上のような事実は、SAM-ILGS プロジェクト及びフォローアップ・成果普及活動を通して整備された水供給施設が、高い自立性と持続可能性を有しており、それと同時に、AAN が開発・確立した総合的アプローチが有効であることを裏付けるものであると考えられた。

また、現地でフォローアップ・成果普及活動の指導にあたった JICA 派遣専門家の最終評価報告書では、総合的アプローチによる活動方法は改良を加えればその普及可能性が高いこと、独自予算による飲料水代替供給施設建設は、Union（バングラデシュの行政単位の一つ。郡 Upazila の直下位にあたる。）の組織力強化が図られれば全国レベルでの普及も可能であると思われること、取り組みが困難な課題として砒素中毒患者の支援が挙げられること等の見解が示されていた。

#### 5. 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関する検討

開発途上国に対する国際援助としての水供給プロジェクトにおいて、自立性及び持続性確保のための条件について検討した結果、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

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、上記の各条件について、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。

開発途上国におけ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と考えられる。

#### D. 結論

水供給分野の国際協力においては、保健衛生、医療、感染症防止、村落開発等の分野とのより一層の連携強化や、多角的な支援・協力が求められている。それらを通してより効率的で効果的な国際協力が広く行われるようになれば、開発途上国における着実な水供給の普及と衛生水準の向上を期待することができる。このような観点から、本研究では、水供給分野の国際協力について、総合援助手法に焦点を当てて検討を重ねてきた。そして、その成果を総合的に取りまとめたものとして、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 5 つの条件を明らかにした。これらの条件は、地域住民が自ら運営する小規模の村落給水の場合において特に重要である。水供給分野におけるわが国のこれまでの実績の中では、バングラデシュの地下水砒素汚染対策プロジェクトが参考事例として有用であると考えられる。

本研究では、いわゆる援助プロジェクトとしてではなく、地域住民の自己資金による安全な水供給の可能性についても、バングラデシュの地下水砒素汚染地域を対象として検討した。そして、住民が経済的に負担可能な範囲で水供給装置を選択するための手法を提示した。国際援助には当然のことながら限界があるので、安全な水供給の普及が商業ベースで成り立つかどうかを見極めることは重要である。そのような意味において、ここで示したアプローチは大いに意義があると考えている。

バングラデシュの地下水砒素汚染問題は未だその解決の糸口が見えない状況であるが、カンボジアにおいても何年か遅れてバングラデシュと同様な事態が進行している。今後の取り組みが注目される場所である。本研究で取り上げた砒素汚染とは別に、弗素による地下水汚染とその健康影響もいくつかの地域で重大な問題となっている。これらの問題については、水供給分野の国際協力の中でもっと積極的に取り組んで行くようにしなければならない。

今世紀においても、水と衛生は依然として重要な課題である。国連ミレニアム開発目標 (MDGs) の目標年度 2015 年は間近に迫っているが、問題はまだ山積している。水供給に関しては目標の達成が確実視されているが、水と衛生に関係する感染症や化学物質による健康影響が、多くの地域において住民の日常生活を脅かしている。そのいくつかは、本研究でも明らかにしたとおりである。水と衛生の問題の解決に向けて、より強力な取り組みが必要とされている。

#### E. 健康危険情報

なし

#### F. 研究発表

(別添参照)

G. 知的財産権の出願・登録状況（予定も含む）

なし

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) Fahim Nawroz Tonmoy, Md. Mafizur Rahman, Hidetoshi Kitawaki, Impact of Ground Water Depth on Arsenic and Iron Correlation in Bangladesh: GIS Approach, *International Journal of Applied Environmental Sciences*, 2009; 4(4), 437-458.
- 2) 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.
- 3) 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.
- 4) 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.
- 5) 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) 五十嵐堅治、Ros Sophak、北脇秀敏、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－、第20回国際開発学会全国大会報告論文集、2009年11月、pp.364-367.
- 2) S. Kunikane, K. Toshiki, K. Suenaga, Md. R. K. Razu and K. Kawahara. Dissemination of an Integrated Approach to Arsenic Mitigation in Bangladesh. *Water Safety Conference, Kuching, Malaysia, November 2010.*
- 3) 眞子岳、五十嵐堅治、北脇秀敏、バングラデシュ国とカンボジア国における地下水ヒ素汚染の現状と対策における比較研究、第21回国際開発学会全国大会報告論文集、2010年12月、pp.357-360.
- 4) 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.
- 5) 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－バングラデシュ国の教訓を活かして－、第22回国際開発学会全国大会報告論文集、2011年11月.



研究成果の刊行物・別刷

## Impact of Ground Water Depth on Arsenic and Iron Correlation in Bangladesh: GIS Approach

<sup>1</sup>Fahim Nawroz Tonmoy, <sup>2</sup>Md. Mafizur Rahman\* and <sup>3</sup>Hidetoshi Kitawaki

<sup>1</sup>*Geo-Environmental Engineer, Concept Engineering Consultants Ltd. Acton,  
London-W3 0RF, United Kingdom  
Email: tonmoy\_bd@hotmail.com*

<sup>2</sup>*Corresponding author: Professor, Department of Civil Engineering, Bangladesh  
University of Engineering & Technology, Dhaka-1000, Bangladesh  
Email: mafizur@gmail.com*

<sup>3</sup>*Faculty of Regional Development Studies, Toyo University  
1-1-1 Izumino, Itakuramachi, Gumma 374-0193, Japan  
E-mail: Kitawaki@itakura.toyo.ac.jp*

### Abstract

Aquifer depth is a major factor for water quality which is found to be different in the different depth of wells. In this study data of 4367 wells were categorized for analysis as per their geographic locations as well as the depth variation of wells. Correlation analysis was performed in four different patterns and results were compared within the patterns. It is evident from the study that correlation between arsenic and iron concentration of ground water is not constant for each depth level, rather it varies with the depth of well and a zone or belt of a region can be observed of similar correlation coefficient for each depth layer. From the analysis and produced GIS maps it was observed that for 41% districts correlation coefficient tends to decrease with the increase of well depth which indicates a tendency of reduction of correlation coefficient with the increase of well depth. The produced GIS maps and regression analysis results will enable to predict tentatively or statistically the arsenic concentration of a well of specific depth 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 here.

**Keywords:** GIS mapping, Correlation, arsenic, iron, well depth layer, contamination

### Introduction

Water extracted from shallow aquifers is the primary source of drinking and cooking water for most of the 150 million populations in Bangladesh. 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 re-assessment of water quality. The national hydro-chemical survey of groundwater conducted by the British Geological Survey (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 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 for arsenic for Bangladesh in drinking water as 0.05 mg/L (DoE, 1991). For drinking water allowable limit for iron is 0.3 to 1mg/L. But in Bangladesh iron content is very high in ground water.

Several models for aquifer classification are provided by different researches. According to Groundwater Taskforce (GWTF, 2002) aquifer system of Bangladesh is classified according to the Fig 1.

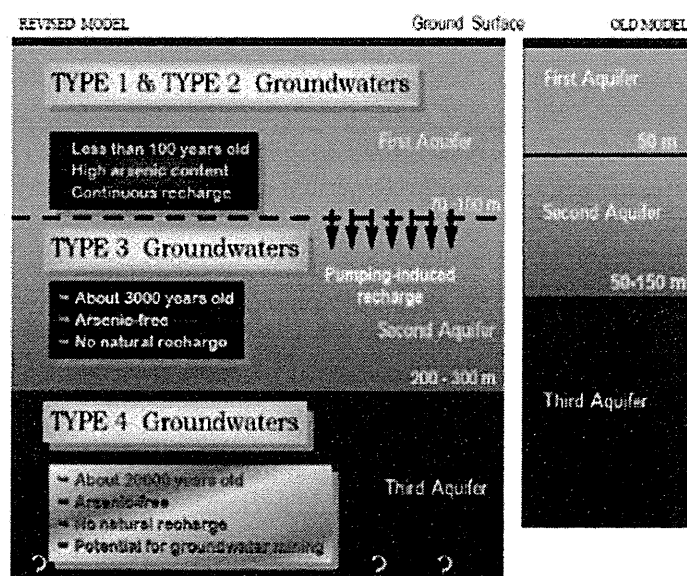
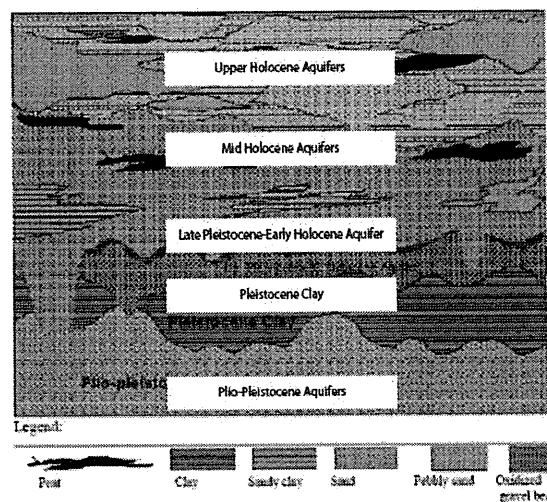


Figure 1: Proposed aquifer system for Bangladesh (Aggarwal et al., 2000).

The Ground Water Task Force (GWTF, 2002) in their report provided a classification from geological point of view. According to this classification, as shown in Figure 2, the major aquifers are: Upper Holocene Aquifer, Middle Holocene Aquifer, Late Pleistocene-Early Holocene Aquifer and Plio-Pleistocene Aquifer (DPHE-APSU-JICA, 2006).

Measurement of arsenic concentration in water is very expensive. It requires modern laboratory facility and expensive chemical. Determination of iron concentration is relatively simpler and cheaper than that of concentration of arsenic and also easily available in Bangladesh. GIS representation of this analysis result will help to describe the geographical distribution and effect of depth variation of wells for the correlation between arsenic and iron concentration in ground water. By using the regression analysis and GIS maps of depth wise 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 in ground water of Bangladesh.



**Figure 2:** Schematic geological classification of aquifers of Bangladesh (GWTF, 2002).

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 a lack of correlation.