

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年5月20日現在

機関番号：32663

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2008～2012

課題番号：20404011

研究課題名（和文） バングラデシュ村落部における地下水中ヒ素除去装置の開発と普及に関する実証的研究

研究課題名（英文） A Practical Study on the Development and Expansion of Arsenic Removal Equipment in Rural Areas of Bangladesh

研究代表者

北脇 秀敏（KITAWAKI HIDETOSHI）

東洋大学・国際地域学部・教授

研究者番号：60251344

研究成果の概要（和文）：バングラデシュ人民共和国では地下水の多くが自然由来のヒ素に深刻に汚染されている。しかし村落部では、飲料や調理等に地下水が使用されているため2008年には24,000から38,000人のヒ素中毒患者が存在するとされている。この問題を解決するため、現地で入手可能な材料を使用してヒ素・鉄を除去する装置を研究費で施工・設置した。この装置は砂を用いて鉄フロックに取り込まれたヒ素をろ過/除去するものであり、現地で入手可能なコンクリートリングで建設したものである。この装置のパフォーマンスのモニタリングを行い、普及に関する実証的研究を行った。ヒ素除去装置施工・設置に伴う経済効果、支払意思額の分析等を行い、AIRPの経済的妥当性や商業化の可能性を明らかにした。

研究成果の概要（英文）：In Bangladesh, significant part of groundwater contains nature-derived arsenic. However, rural people are using ground water for drinking and cooking, which accounts for large number of arsenicosis patients of 24,000 to 38,000 in 2008. To mitigate this situation, an Arsenic and Iron Removal Plant (AIRP) was constructed in this research project using locally available materials. The plant uses a sand filter that can remove the arsenic. The AIRP is made with locally available concrete ring and removes Fe-As flock by filtration using sand filter. The performance of the AIRP was monitored and demonstrative feasibility study was carried to evaluate possibility of its diffusion. Economical feasibility and impact of AIRP diffusion, analysis of willingness to pay of users were studied. Possibility of commercialization of AIRP was also studied.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	3,000,000	900,000	3,900,000
2009年度	2,600,000	780,000	3,380,000
2010年度	2,500,000	750,000	3,250,000
2011年度	2,500,000	750,000	3,250,000
2012年度	2,200,000	660,000	2,860,000
総計	12,800,000	3,840,000	16,640,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・土木環境システム

キーワード：バングラデシュ・地下水・ヒ素対策・適正技術・商業化

## 1. 研究開始当初の背景

バングラデシュ村落部では水系感染症である下痢症による乳幼児の死亡を減少させるため、1970年代から管井戸(tube well)の建設とコンクリート製の筒(リング)を用いた素掘り便所(ring latrines)の建設が進められてきた。しかし地下水は国土の広範囲にわたって自然由来のヒ素に汚染されているため慢性ヒ素中毒患者が多発している。この問題の解決に向け、世界各国の援助機関や研究者がヒ素汚染の実態把握のための調査やヒ素除去プラントの建設等を行ってきた。しかし先進国の技術をそのまま持ち込んで維持管理費が出せないケースや援助が多く、住民に行き渡らないなどさまざまな問題を抱えている。

本研究チームは、バングラデシュ工科大学をカウンターパートとして現地NGOとも連携を取ってナノろ過膜による人力でのヒ素除去試験や、現地に自生するグアバの葉を用いて鉄・ヒ素除去のモニタリングが可能な適正技術の開発など先端技術や適正技術など多方面からの検討を行ってきた。また飲料水という日常生活に密着した要素に鑑み、技術面に加えて住民の水使用に対する行動変容や支払い意志額の調査といった社会学的観点からの調査も合わせて行ってきた。

本研究では、こうした過去の蓄積や研究成果を総合し、「バリ」と称される村落部の伝統的小規模コミュニティ向けのヒ素除去施設を開発し、CBO(コミュニティ組織)や地元技能工が制作できる程度の技術を商業化することにより村落部全般に普及させる方策が最も効果的ではないかとの着想・仮説を得るに至った。本研究で開発・モニタリングするのは現地で入手可能で、従来便所の建設に用いられてきたコンクリートリングを応用した簡易砂ろ過方式のヒ素・鉄同時除去装置で、地下水をばっ気し、鉄と共沈・砂ろ過してヒ素を除去する仕組みのものである。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、地下水中のヒ素による健康被害が深刻なバングラデシュ村落部においてヒ素除去対策装置を普及させるための方策を技術的側面のみならず社会学的な調査も含む国際開発学的視点から検討し、国土の大部分を占める村落部ヒ素汚染地域における健康改善方策を示すことにある。研究対象地域は首都ダッカ近郊のManikganj県を選定し、研究グループが開発した現地で生産そのヒ素可能な低コストのヒ素・鉄同時除去装置(Arsenic and Iron Removal Plant: AIRP)のパイロットプラントを設置し、除去性能と維持管理の過程を5年間の研究期間でモニタリングを行い、課題と改善点を抽出した。その間に製造に携わるコンクリートリング

製造者による普及活動のモデル化を行い、製造者によるヒ素対策装置の商業化の過程を定点観測する。さらに調査対象地域のヒ素汚染状況と健康被害の様子も5年間にわたって継続調査することにより実用的な研究にまとめた。

## 3. 研究の方法

### (1) 研究ネットワーク

1993年以来、年に1~2回バングラデシュを訪問し、水供給や衛生設備の整備、衛生教育などの分野において環境衛生分野の研究活動を展開してきた。その過程でバングラデシュ工科大学、現地UNICEF事務所、NGOフォーラム等の現地NGO、日本の研究者グループ等との協力関係を構築してきた。地下水中のヒ素対策に関する研究において、多くのカウンターパート、研究協力機関、情報提供者のネットワークを構築している。東洋大学内でも、申請者が所属する国際協力・地域開発分野を専門とする国際地域学部に加えて微生物や水質の精密分析などを得意とし、実験室を有する生命科学部とも共同で研究を進めてきた。本申請においても過去に構築したこのネットワークによる情報網を最大限に活用して研究を進めた。

### (2) 文献調査及び現地調査

本研究の課題は大きく分けて「簡易なヒ素除去装置の開発」と「普及に関する実証」とである。前者についての基礎的な情報は本申請書研究業績に示す福士らの研究などに示されているが現地における簡易な装置に関する情報や設置された装置によるヒ素除去効率や水質などのデータは最新のものを収集する必要があった。そのため現地および日本国内の研究協力者や研究機関等を通じてできる限りの関連情報収集を行った。また普及に関する実証については、バングラデシュ国内におけるヒ素除去装置が未だ普及していないことから、過去にバングラデシュで普及の過程をたどった管井戸やリング式トイレの普及の状況をUNICEFやバングラデシュ公衆衛生技術局のデータ等を基に収集し分析した。

## 4. 研究成果

### (1) AIRP の設計・施工・設置

文献調査ならびに既往の現地調査等からコンクリートリングを用いたAIRPの設計を行った(図1)。コンクリートリングを用いたヒ素・鉄除去装置は手押しポンプで地下水を汲み上げ、エアレーションをし、砂ろ過するシステムである。地下水に含まれる鉄・ヒ素ともに約8割除去(ヒ素およびリンの濃度によって除去率が異なるとされている)することができ、未処理の地下水より安全な水への

アクセスが容易になる。水質等の分析調査を行うため外側にはいくつかのチェックポイントを設け長期的に分析を行い、その結果からAIRPを改良することができるかと考察される。またAIRPのデモンストレーションプラントを設置した小学校の学生にはオーナーシップを持たせるために衛生教育およびAIRPの使用目的等の説明を行った。装置を設置後、複数の小学校や住民から建設要望があり、AIRPに対する意識が高いことが明らかになった。

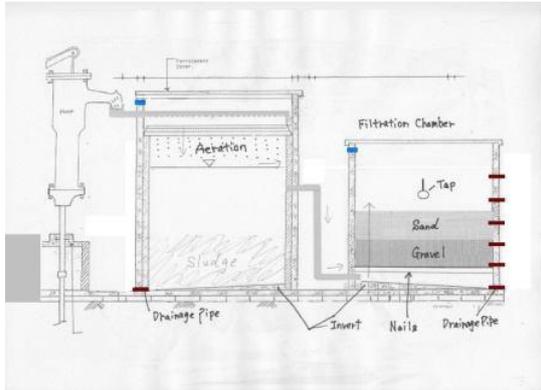


図1：AIRPの簡易設計図



図2：施工したAIRP

### (2) AIRP 製造における経済分析

本研究におけるAIRPのデモンストレーションプラントの建設費用は12,545Tk(タカ：2009年5月時点で1Tk=1.3円)であった。一方で普及モデルとして経済評価の検討に用いた家庭用AIRPは約10,000Tkで製造が可能であり15~20世帯使用できるものである。村落部ではバリと称する血縁関係の世帯同士がともに暮らしており、当研究対象地域では約900人の住民がいる。そのうちの約50%(1世帯5人と仮定)にAIRPを普及させると仮定した結果、製造業者の収入は約10倍近く(建設費の2割を利益として計算)高くなることが予想される。これらは製造業者にとって大きなインセンティブであることが明らかになった。

### (3) 用途別水源とWTP調査

住民の水使用形態は既往研究である「 Bangladesh 村落部におけるヒ素対策装置普及に向けた住民の水使用形態に関する調査, 国際開発学会、国際開発学会2008」より、飲料用と調理用では水源が異なることが明らかになっている。飲料用においては、未処理の地下水を利用する者が多くヒ素中毒が懸念される。調理用は、雨水や川などの代替水源を利用しており、住民は鉄を含まない水源を好んでいることが明らかになっている。水汲みの所要時間対象地位の住民が川へ水汲みにかかる所要時間が3-20分であることがヒアリング調査から明らかになったことから、1日に最低6-40分(朝と晩に川へ行くと仮定)水汲みに消費している。これをAIRPへと転換すれば、大幅に所要時間を削減でき、NGOなどが行っている収入向上プログラムへの参加や識字教育が受けられると考えられ、住民にとって大きなインセンティブになる。ヒ素除去装置に対する1世帯当たりのWTPは、月々約200Tkであり、1バリ(3世帯と仮定)からは600Tkになる。これは対象地域住民における月平均収入の約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バリが約2年以内に対策装置を購入できる額である。

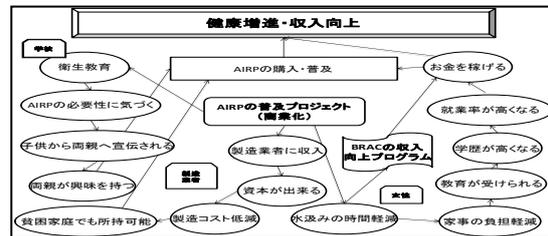


図3：AIRPの普及効果予測フロー

### (4) AIRP 商業化の可能性

現地におけるコンクリートリング業者にヒ素・鉄除装置の施工が可能であることが明らかになった。また製造業者はAIRP事業において収益を上げることができるといったインセンティブがある。使用者である住民は、川まで水を汲みに行く時間が軽減され、余暇で教育や収入向上プログラムに参加することができる。支払意思額調査結果から約2年間(家計支出の約3%)で償還できるヒ素・鉄除去装置は、トイレ事業と同じコスト回収システムができるため、住民は習慣的に受け入れやすく持続可能な運転維持管理ができると考察される。このことから地場産業を活用したAIRPの商業化は経済的妥当性が高く、製造者・使用者ともにwin-winの関係になることから、ヒ素・鉄除去装置は普及する可能性は高いと考察される。

(5) 今後の課題

調査を通して明らかになったことは、維持管理体制が整っていない場合は建設したヒ素除去装置の不適正使用、つまりバンダリズム(部品の盗難)が見られたことである。今後の課題としては、技術移転先に水委員会を設置し、その効果を確認することである。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計9件)

- ①Fahim Nawroz Tonmoy, Md. Mafizur Rahman and Hidetoshi Kitawaki, GIS Mapping of Correlation between Arsenic and Iron Concentration of Ground Water of Bangladesh, Asian Journal of Water, Environment and Pollution, 査読有、Vol. 8, No. 2, 2011, pp. 61-70
- ②Hidetoshi Kitawaki, Lesson Learned from Three Decades of Japan's ODA Experiences in Municipal Solid Waste Management, World Congress of International Solid Waster Association, 査読無、2011, pp. 11-18
- ③五十嵐堅治、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、国際開発学会、査読無、2011, pp. 1-4
- ④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適切な代替水の選択に関する研究、農村計画学会誌、査読有、30巻、2011, pp. 213-218
- ⑤北脇秀敏、途上国における経済ピラミッドとサンニーションの普及、月刊下水道、査読無、Vol. 34, No. 2, 2011, pp. 62-64
- ⑥北脇秀敏、開発途上国の適正技術、学際研究、査読無、Vol. 23, No. 1, 通巻 66号、2011, pp. 4-10
- ⑦眞子岳、北脇秀敏、バングラデシュ村落部におけるヒ素・鉄除去装置の商業化に伴う経済効果に関する研究、東洋大学大学院紀要国際地域学研究科、査読有、第47集、2010, pp. 21-36
- ⑧Fahim Nawroz Tonmoy, Md. Mafizur Rahman and Hidetoshi Kitawaki, Impact of Ground Water Depth on Arsenic and Iron Correlation in Bangladesh: GIS Approach, International Journal of Applied Environmental Sciences, ISSN 0973-6077, Vol. 4, No. 4, pp. 437-458, 2009, 査読有
- ⑨Hassan, K. M., Fukushi, K., Nakajima, F.,

Yamamoto, K., Leaching of arsenic in response to organic matter contamination in groundwater treatment practice, Journal of Water and Environment Technology, 2009, 査読有、Vol. 7, No. 1, pp. 29-41

[学会発表] (計8件)

- ①杉田映理、衛生分野の国際協力の動向、トイレラボ研究会、2012年12月17日、日本トイレ研究所
- ②杉田映理、ウガンダ農村部における住民の水利用行動と水源選択の要因について、日本アフリカ学会、2012年5月27日、国立民族学博物館
- ③杉田映理、ウガンダ農村部における住民の水利用行動と水源選択の要因について、「地域社会と開発」研究会、2011年10月1日、東洋大学
- ④眞子岳、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、2010年12月5日、早稲田大学
- ⑤眞子岳、北脇秀敏、Md. Mafizur Rahman、Kamrul Islam Rizvi、バングラデシュ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、第20回国際開発学会全国大会、2009年11月21~22日、立命館アジア太平洋大学キャンパス
- ⑥五十嵐堅治、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、第20回国際開発学会全国大会、2009年11月21~22日、立命館アジア太平洋大学キャンパス
- ⑦眞子岳、北脇秀敏、Md. Mafizur Rahman、バングラデシュ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、国際開発学会第10回春季大会、2009年6月6日、日本大学湘南キャンパス
- ⑧Hassan, K. M., Fukushi, K., Nakajima, F., Yamamoto, K., Organic hindrance in groundwater arsenic removal practice, Proceedings of the Second International Symposium on Food and Water Sustainability in Asia, 2008年10月7~9日、マカオ市中国

[図書] (計5件)

- ①杉田映理、アジア・アフリカ言語文化研究所、「国際保健医療協力のモノサシ、現地モノサシ」「巻頭特集 生老病死は測れるか？」増田研(編)「フィールド+」、2013, pp. 8-8
- ②北脇秀敏他編、朝倉書店、国際開発と環境アジアの内発的発展のために、2012, 153

- ③勝間靖編著、杉田映理、ミネルヴァ書房、テキスト国際開発論：貧困をなくすミレニアム開発目標へのアプローチ、2012、pp. 150-170
- ④国際開発学会編、北脇秀敏、株式会社同友館、貧困のない世界を目指して－国際開発学会 20 年の歩み－、2010、pp. 148-150
- ⑤北脇秀敏他編、朝倉書店、国際共生社会学、2008、p171

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

○取得状況（計 0 件）

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.rds.toyo.ac.jp/~kitawaki/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

北脇 秀敏 (KITAWAKI HIDETOSHI)  
東洋大学・国際地域学部・教授  
研究者番号：60251344

### (2) 研究分担者

福士 謙介 (FUKUSHI KENSUKE)  
東京大学・サステイナビリティ学連携研究機構・准教授  
研究者番号：30282114

杉田 映理 (SUGITA ELLI)  
東洋大学・国際地域学部・准教授  
研究者番号：20511322

### (3) 連携研究者

Md. Mafizur Rahman  
バン格拉デッシュ工科大学・土木工学科・教授