

## (49) グアバの葉を用いたバングラデシュにおける 地下水中のヒ素除去モニタリング手法に関する研究

王博<sup>1\*</sup>・北脇 秀敏<sup>2</sup>・Md. mafizur RAHMAN<sup>3</sup>

<sup>1</sup>東洋大学大学院国際地域学研究科 (〒374-0193 群馬県邑楽郡板倉町泉野 1-1-1)

<sup>2</sup>東洋大学国際地域学部 (〒374-0193 群馬県邑楽郡板倉町泉野 1-1-1)

<sup>3</sup>バングラデシュ工科大学土木工学部 (Dhaka-1000, Bangladesh)

\*E-mail:wangbotoyo@yahoo.co.jp

グアバの葉と透視度計を用いて鉄濃度をモニタリングし、鉄と同時に除去される地下水中のヒ素の除去を間接的にモニタリングできる手法(グアバ法)の開発を行った。またバングラデシュの村落部で健康被害をもたらしているヒ素汚染地域に調査対象村を設定し、地下水の分析を行い管井戸の深さとヒ素濃度との関係などに関するヒ素汚染の現状を調査した。調査対象村では、ヒ素汚染に対する住民意識やヒ素除去装置に対する支払い意志額などの状況に関する社会調査を実施した。さらに住民の視覚に訴えるグアバ法を用いてデモンストレーションを行うことにより、住民の支払い意志額が向上することを明らかにした。

**Key Words:** Bangladesh, arsenic mitigation, iron removal, monitoring, guava leaves

### 1. 研究の背景

1983年にインドの西ベンガル州で、飲料水に含まれるヒ素の影響で皮膚病になるヒ素中毒患者が初めて確認された。1987年には、ヒ素中毒患者数人が隣国のバングラデシュから来ていたことが明らかになった。1993年にバングラデシュのNawabganj地区で初めて管井戸(tubewell)の水からヒ素が検出されたことが発端となり(Smith A. H.ら、2000)<sup>1)</sup>、バングラデシュの地下水のヒ素問題が顕在化し、「世界最大規模の汚染」<sup>2)</sup>として国際的に広く知られるようになった。

このような事から、近年では、バングラデシュのヒ素問題を解決するためには、ヒ素除去及び他の代替水源などの装置を導入することが必要であることが政府と外部援助機関の共通の認識となっている。しかし、NGOの主導的な援助活動を通じた装置の設置率は、①装置が高価であること、②使用上・維持

管理上の問題があること、③地域住民のヒ素問題に対する意識が低いこと、④ヒ素汚染地域が広範囲にわたることなどにより、低いのが実状である。ヒ素問題を解決するためには、様々なヒ素除去装置を使用し、継続的に原水、処理水の水質検査のモニタリングを行う必要があると考えられる。しかし、通常のヒ素分析用具は輸入品であるため高価であり、ヒ素除去状況の日常的なモニタリングに用いることが困難であると考えられている。

以上の背景から、バングラデシュにおけるヒ素汚染問題を解決するためには、以下の2点を考慮する必要があると考えられる。すなわち、①安価なヒ素除去措置を普及させるために個人が強く動機付けられ、住民の支払い意志額が上がるような活動②設置するヒ素除去装置に対して、貧困層に簡易にヒ素除去モニタリングを行えるような手法の開発、などである。

## 2. 研究の目的

本研究では、現地で入手可能な材料であるグアバ葉を使用してヒ素除去のモニタリングを行う手法（以下グアバ法とする）を開発し、以下の点を考察することを目的とした。

①グアバ葉抽出液を用いて鉄濃度を推定し、鉄と共沈するヒ素の除去率を間接的に推定する手法を開発する。

②バングラデシュ村落部の調査対象村において、ヒ素汚染の実態を把握する。

③地下水が黒く着色するグアバ法を用いたデモンストレーションを行うことにより住民の支払い意欲額やヒ素汚染問題に対する住民意識がどう変化するかを明らかにする。

## 3. グアバ法の原理とグアバ法の開発

### (1) グアバ法の原理

グアバ法の原理は、グアバ葉の中に含まれるタンニンが鉄と反応して黒くなる現象を利用したものである。タンニンとは植物に含まれる水溶性成分のうち、蛋白質・アルカロイド・金属イオンと強く結合し、難溶性の塩を作る性質を持つ化学物質の総称である。タンニンが余剰に存在するとき、水溶液中の鉄濃度により呈色が支配されるため、透視度を測定することにより、鉄濃度を推定することができる。

一方、現地でよく利用されている AIRP (Arsenic and Iron Removal Plant) では酸化槽内で形成された水酸化鉄フロックにヒ素が取り込まれ、砂ろ過槽で捕捉されることで水中からヒ素除去が行われる。AIRP は簡単に良好な処理水を得ることができること、運転・メンテナンスが容易であること、によりコミュニティ単位で使われている。また PF (Picher Filter) はさらに簡易なヒ素除去手段で、素焼きの壺の底に小さな穴を空け、砂などを詰めてろ過をする装置であり原理は AIRP と同様である。

これらのヒ素除去装置では鉄とヒ素とが同時に除去されるため、原水中の鉄の存在と、処理水で鉄が除去されていることの両方を確認すれば原水中に存在しているヒ素の除去の確認ができることになる。さらにグアバ法ではタンニンによる呈色反応後の透視度を測定すれば鉄濃度が推定できることから、原水と処理水双方の透視度を測定すればヒ素が除去されたことを推定できると考えられる。

### (2) グアバの葉に含まれるタンニンの含有量測定

グアバの葉に含まれるタンニンは、春に約 2 倍の含有量であることや、葉重とは関係なく季節によってポリフェノール成分が量的にも質的にも変化したというデータもあることから、レーベンタール法 (Lowenthal-Proctor-Method)<sup>3)</sup> によるタンニン含有量の測定を行った。その結果図-1 からグアバの葉 2.5g 中に含まれるタンニンの量は季節によりある程度変動していることが見られるが、年間を通してほぼ同量であることが明らかとなった<sup>4)</sup>。

### (3) ヒ素除去と鉄除去の関係

バングラデシュの地下水中にはヒ素と同時に鉄の濃度も高い。バングラデシュの 65% の地域における管井戸からくみ上げられた地下水の鉄の含有量は 2mg/L 以上である。最も鉄の含有量が多い地域においては、15mg/L 以上を超えている。

バングラデシュにおいて鉄濃度の 1mg/L の管井戸からの地下水サンプルの多くではヒ素の飲料水質基準 (0.05mg/L) を満たしている。同様に、1~5mg/L の鉄を含有しているサンプルの 50% はヒ素の飲料水質基準を満たしている。しかし、5mg/L 以上の鉄濃度を含有する場合には、75% のサンプルでは高濃度のヒ素を含んでいる<sup>5)</sup>。これは、地下水中に存在している溶存鉄の  $[\text{Fe}(\text{OH})_2]$  の酸化により形成された鉄の沈殿物である  $[\text{Fe}(\text{OH})_3]$  が、ヒ素の吸着に親和性があるため、鉄とヒ素が結びつき共沈する関係があるためである。従って、PF や AIRP はこの特性を利用して開発されたものである。Meng ら<sup>6)</sup> はバングラデシュの管井戸水のヒ素濃度を 0.05mg/L 以下にするには、水中に共存する重炭酸イオン、珪酸イオン、リン酸イオン、硫酸イオンによる干渉作用を考慮すると完全に鉄とヒ素が酸化される条件下で鉄/ヒ素重量比が 40 以上必要であるとしている。

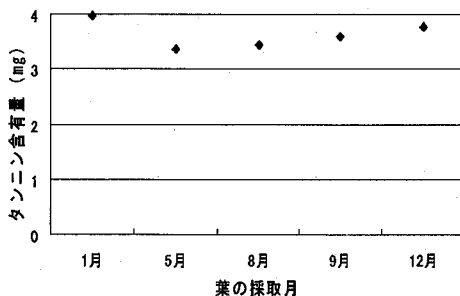


図-1 グアバ葉 2.5g 中のタンニン含有量<sup>4)</sup>

また、杉村らは AIRP の処理水を対象とした現地調査の結果をもとに、処理水のヒ素濃度と管井戸原水の鉄/ヒ素重量比の関係を研究した。その結果と Meng らの報告は一致している<sup>7)</sup>。管井戸水のヒ素濃度が 0.4mg/L 以上の場合、鉄とヒ素重量比は 40 を下回る。その要因は原水中の鉄が不足することで、溶存態ヒ素の鉄への吸着が不完全となる可能性があることを指摘している<sup>7)</sup>。

さらに、Ahmed ら<sup>5)</sup>は AIRP における鉄除去率とヒ素除去率の解析によりヒ素と鉄の除去率の相関式を得た。

$$Y(\%) = 0.8718X(\%) + 0.4547 \quad (A)$$

ここに Y はヒ素除去率、X は鉄除去率である。次に Asr をヒ素除去率、Fei を井戸原水の鉄濃度、Feo を処理水の鉄濃度とすると (A) 式より、

$$Asr(\%) = 87.18(Fei - Feo) / Fei + 0.4547 \quad (B)$$

が得られ、(B) 式より原水と処理水双方の鉄濃度を測定すればヒ素除去率が推定できることがわかる。グアバ法では、鉄濃度を透視度で推定できることから、透視度の測定によりヒ素除去率が推定できることになる。

#### (4) グアバ抽出液の作成

グアバ抽出液の作成は以下の通りに行った。

①グアバの葉を 100℃で 30 分ほど乾燥させた後、葉柄、葉脈などを取り除き、乳鉢で細かくして粉末状にする。

②粉末状のグアバの葉 2.5g を 40ml の水で 30 分煮沸した後、全量を 50ml として葉をろ過し、溶液とする。葉を一度粉末状にしてから煮沸する理由は葉の重量測定を容易にすること、溶液中に含まれるタンニン量を一定にし、測定条件を一致させるためである。

#### (5) グアバ抽出液と鉄との呈色反応

本研究では、イオン交換水と  $FeCl_3 \cdot 6H_2O$  を用いて模擬地下水の中にグアバ葉抽出液を入れ (250ml 地下水に対して、5ml の抽出液を入れる)、呈色反応を透視度計で定量的に測定した。その結果は図-2 に示している。

図-2 の結果から鉄濃度が増加するに従い、透視度が低下するという関係が明らかになった。

上記 (B) 式と図-2 の透視度測定実験結果から、原水と処理水中のグアバ抽出液による呈色後の透視度を測ることにより鉄濃度を測定すると、間接的にヒ

素除去率が推測可能である。

#### (6) グアバ法による分析手順

以上の原理を利用して発色と透視度測定の過程を基準化したグアバ法の手順を示すと、以下のとおりである。

##### a) グアバ葉抽出液の作成

3. (4) の記述の通りである。抽出液はペットボトルに保存し、常温で 1~数週間経過しても呈色反応の効果に影響は見られない。

##### b) 検水量

発色に用いる検水量は、高さ 30cm の透視度計を用いることを考慮して 250ml とした。

##### c) 発色

サンプル水それぞれ 250ml に対し 5ml のグアバ抽出液を加え、軽く攪拌する。管井戸からの地下水は後述のように時間経過と共に鉄が酸化・沈殿するため直ちに呈色反応を行う。

##### d) 透視度測定

呈色後直射日光を避けた場所で直ちに透視度計により透視度を測定する。

##### e) 鉄濃度及びヒ素除去率の推定

上記 d) で分析した透視度と図-2 とから鉄濃度が推定できる。さらに原水と処理水双方の透視度を (B) 式に適用することで原水中のヒ素がどの程度除去されたかの概略が推定できる。

#### (7) グアバ法の特徴

上記のようにグアバ法は現地で容易に入手可能で住民にとって身近な存在であるグアバ葉を用いて鉄分を含む地下水を黒色に発色させる方法である。そのためグアバ法のデモンストレーションを見た住民は飲料水として用いている鉄とヒ素を含む地下水の危険性を視覚から感じ、除去装置に対する支払い意志額が向上するという効果が期待できる。

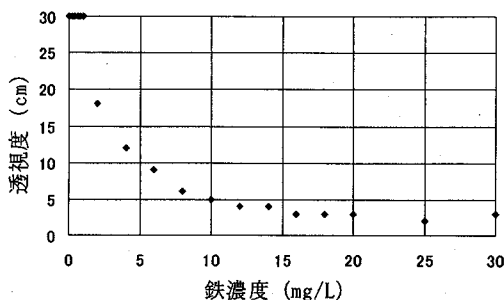


図-2 鉄濃度と透視度の関係<sup>8)</sup>

またグアバ法は既存のヒ素分析キットより、①全ての部品が現地で調達できるため、コストが低い。②年間を通して利用可能である。③高度な専門知識を要らず、現地住民でも測定が可能であるというメリットがあると考えられる。従って、グアバ法は村の貧困層においても、日常的かつ継続的なPFのヒ素除去効果をモニタリングすることが可能である。なお透視度計が使用できない現地村落部の状況では、透視度計に見立てたガラスコップの下に置いた新聞の文字を読み取ることで、透視度計の代替とすることができると考えられる。

#### 4. ヒ素に関する現地調査及びグアバ法の実証実験

##### (1) 現地調査の概要

バングラデシュの農村部にて地下水のヒ素汚染実態を把握することとグアバ法を用いた住民へのデモンストレーションの効果などを定量的に把握するために、2005年9月及び12月、2006年8月、2007年1月の計4回の現地調査を実施した。現地調査はManikganj県のGhior郡のBaikunthapur村において行った。

図-3はGhior郡のバングラデシュでの地図上の位置である。表-1は当村の地理情報である。村の全人口はおよそ800人である。村人の64%が農業に従業している。非識字率は47%を占め、初等教育を受けた比率は33%である。井戸の個数は103個、トイレの個数は78個である。また親戚同士が同一の地区に住むバリと称する小集落の数は96ヵ所である。

現地調査の際に、パックテスト（共立理化学研究所）を用いて、村において全ての井戸の $PO_4\text{-P}$ 、Mn、pHを調査した。携帯用ヒ素、鉄分析キット（HACH社）を用いて井戸のヒ素、鉄濃度を測定した。また、GPSを用いて、井戸分布図を作成した。

##### (2) ヒ素汚染実態

対象地域における井戸の深さごとの地下水中のヒ素濃度を図-4および図-5に示す。その結果から、井戸の深さ70～80ft.で、バングラデシュのヒ素濃度基準 $0.05\text{mg/L}$ を超える井戸の比率が高いことが明らかになった。一方、100ft.以上の深い井戸の場合で、WHOや日本のヒ素濃度基準 $0.01\text{mg/L}$ を満たす井戸の比率が高いことが明らかになった。

逆に浅井戸の場合（50ft.未満）はバングラデシュのヒ素濃度基準を満たす井戸の比率が多く、特に

表-1 研究対象地の地理情報

|            |              |
|------------|--------------|
| Division   | Dhaka        |
| District   | Manikganj    |
| Thana      | Ghior        |
| Union      | Shinjuri     |
| Village    | Baikunthapur |
| Latitude : | N 23°54.877' |
| Longitude: | E 89°56.521' |

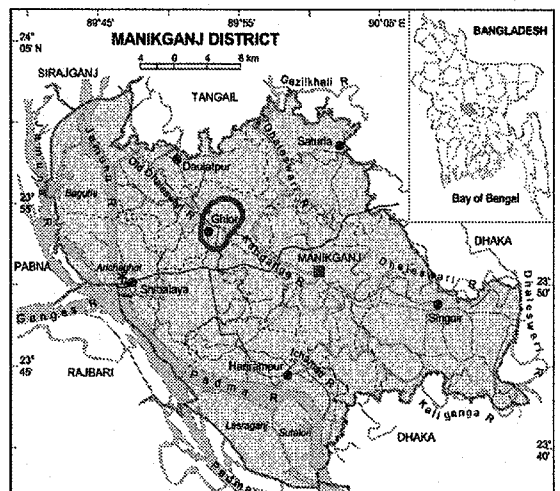


図-3 研究対象地の位置図

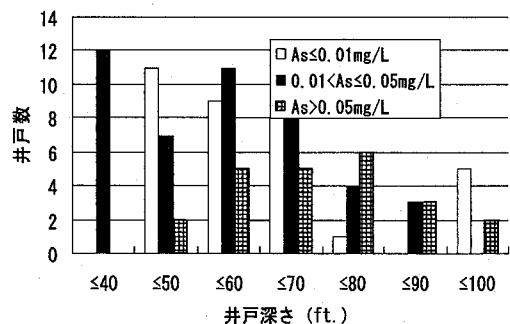


図-4 井戸深さごとのヒ素濃度の分布<sup>9)</sup>

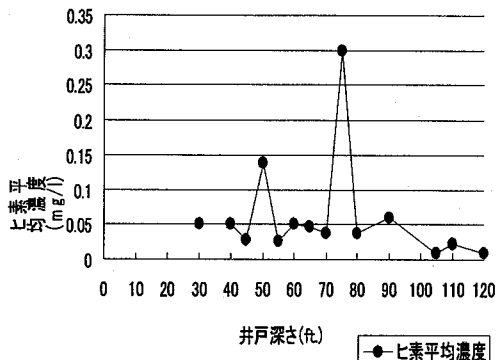


図-5 ヒ素平均濃度と井戸深さの関係<sup>9)</sup>

40ft.以下の井戸は基準値を超える井戸がなかった。基準値を超える井戸はほとんど 60ft.~90ft.の間に集中していた。

ヒ素平均濃度と井戸の深さとの関係を見ると、両者は相関が見られない。なおヒ素濃度は 2006 年 8 月に現地の雨季の頃に測定したものである。

### (3) 研究対象村における水利用の状況

村の付近に kaliganga 川が流れている。しかし、最も近いバリとの距離は 2km 以上であるため、河川水は洗濯と水浴びの目的のみに利用されている。村の中には、大きな池が 2 つあり、主として水浴びに利用されている。素堀井戸は 1 つあるが、使用されていない。村人の飲料水の水源は管井戸に依存している。

### (4) 井戸分布とヒ素濃度

続いて、調査対象村におけるヒ素濃度ごとの井戸の位置を図-6 に示す。ヒ素濃度は 2006/8 に現地の雨季の頃に測定したものである。図では 103 個の井戸のヒ素実測により以下の 4 つのレベルに分けた。すなわち① $As \leq 0.01mg/L$ 、② $0.01mg/L < As \leq 0.05mg/L$ 、③ $0.05mg/L < As \leq 0.1mg/L$ 、④ $0.1mg/L < As \leq 0.3mg/L$ である。

各ヒ素濃度レベルに占める井戸の比率（各レベルに占める井戸の数/井戸全数 103 個）から見ると、①は 34%(36/103)、②は 34%(36/103)、③は 25%(26/103)、

④は 7%(4/103)である。バングラデシュの基準値を満たす①および②の井戸の比率は 68%と高い比率であった。一方、基準値を超える井戸は 32%を占めている。

また、ヒ素濃度は井戸の分布に従って、明確な地域分布の特徴があることが明らかになった。

井戸の分布を図-6 中に示す用意 A、B、C、D、E の 5 つの地区に分類すると、地区ごとのヒ素濃度は以下の特徴を示している。

地区 A では、バングラデシュのヒ素濃度基準値以下の井戸が最も多く、この基準値を超えた濃度が  $0.05mg/L < As \leq 0.1mg/L$  の間を占める井戸数は 3 個しか見当たらない。

河川に最も近いところに位置する地区 B で、基準値を満たす井戸の数は基準値を超える井戸の数のほぼ 2 倍である。

地区 C では、ヒ素汚染の状況は最も深刻である。基準値を超える井戸の数は基準値を満たす井戸の数の 2 倍である。

さらに、調査対象村において、ヒ素が  $0.1mg/L < As \leq 0.3mg/L$  と高濃度の井戸の多くは、同地区に分布している。地区 D と地区 E の状況は調査対象村においては平均的な汚染程度である。

基準値を超える井戸と基準値を満たす井戸はほぼ同数である。ヒ素濃度が地下水位や地質の状況により、地域によって異なることはよく見られる。さらに、季節や年によっても地下水のヒ素濃度は異なるとの報告もある<sup>10)</sup>。

### (5) PF による井戸水質の変化

現地調査から当村において、簡易砂ろ過装置である PF (Picher Filter) を利用して井戸水のヒ素除去が行なわれていることが明らかとなった。また、設置されている PF の数は年々増加する傾向が見られた (2005/12 に 3 個、2006/8 に 5 個、2007/1 に 8 個)。PF はろ過装置とする壺の数によって一段構造 PF、二段構造 PF、三段構造 PF の 3 種類に分類できる。調査対象村において各種類の PF の数は一段 PF 5 個、二段 PF 2 個、三段 PF 1 個である。本研究ではこれらの PF から、種類別に各 1 個を選び、井戸原水と各壺を用いてろ過した後の処理水を対象として水質調査を行った (ヒ素濃度は採水直後の結果)。水質調査の項目は pH、Fe、As、Mn、 $PO_4\text{-P}$ 、グアバ法による呈色反応後の透視度、水温とした。

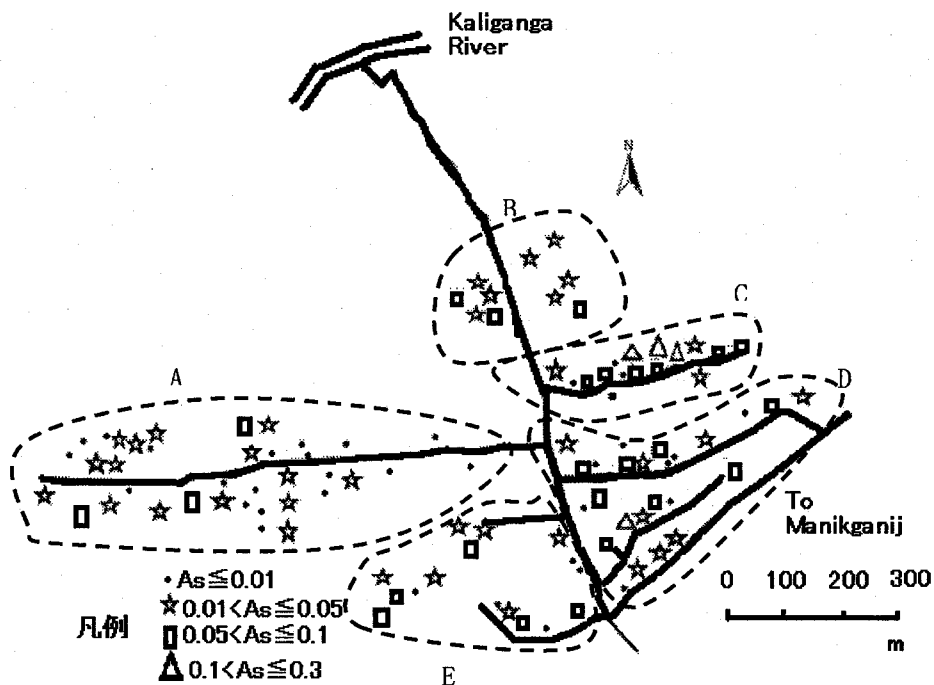


図-6 井戸分布とヒ素濃度

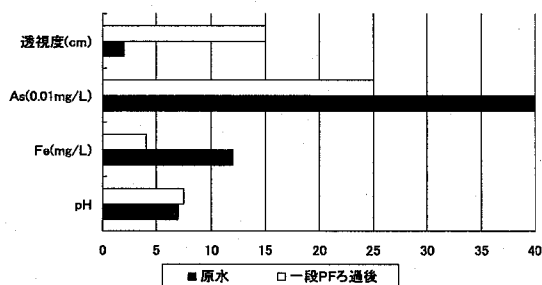


図-7 一段構造 PF の処理による井戸水質の変化

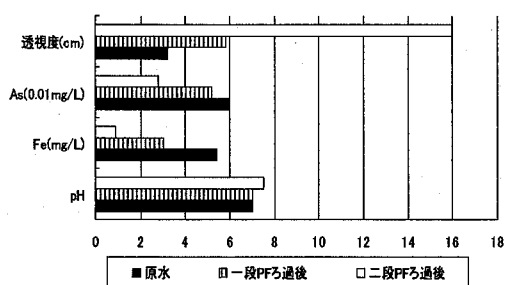


図-8 二段構造 PF の処理による井戸水質の変化

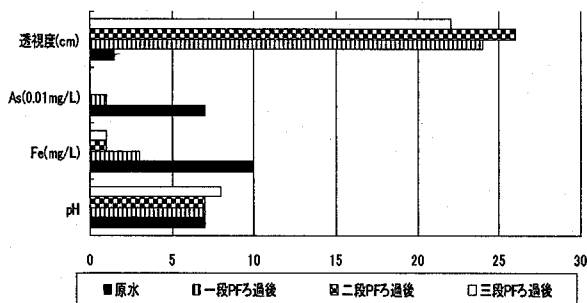


図-9 三段構造 PF の処理による井戸水質の変化

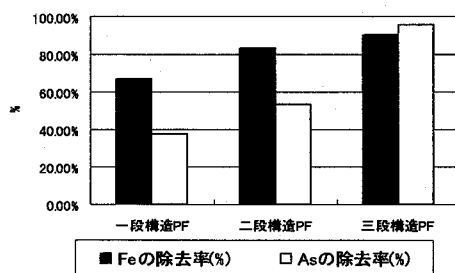


図-10 PF による Fe 及び As の除去率の比較

Mn、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 、水温はそれぞれ以下の通りである：原水：1.4mg/L、0.005mg/L、26.7℃。一段 PF ろ過後：0.5mg/L、0.005mg/L、28.8℃、二段 PF ろ過後：0mg/L、0.001mg/L、27.2℃、三段 PF ろ過後：0mg/L、0.001mg/L、27.5℃であった。

また 2007 年 1 月の乾季に測定した pH、Fe、As とグアバ法による呈色反応後の透視度の 4 つの項目の変化を図-7、図-8、図-9 に示す。

水質調査の結果から、pH は段（壺）の増加に伴って高くなる傾向が見られた。一方、Fe、As 濃度は段の増加に伴って減少する傾向が見られた。一段 PF の場合はろ過後に、Fe の除去率は 66.7%、As の除去率は 37.5%であった。二段 PF の場合では、一段でのろ過後に Fe の除去率は 44.4%、As の除去率は 13.3%であった。二段でのろ過後に Fe の除去率は 70%、As の除去率は 46.2%であった。三段 PF の場合では一段でのろ過後に Fe と As の除去率はそれぞれ 70%、85.7%、二段でのろ過後に Fe と As の除去率はそれぞれ 66.7%、100%であった。さらに、各構造の PF による Fe 及び As の除去率は図-10 に示す。水質調査の結果から、As 除去率が向上する視点から、二段以上の構造の PF が有効であると考えられる。

また、Fe の濃度は As の濃度に伴って変化する傾向が見られた。Fe の濃度の減少に伴い、As の濃度も減少した。また、グアバ法で、井戸原水とろ過後の処理水の透視度の変化を測定した結果、Fe の濃度の減少に伴い、透視度が高くなる傾向があることが明らかとなった。この結果は 3 (5) の図-2 に示す結果と一致する。

#### (6) PF による鉄とヒ素の除去の関係

研究対象村にて、全ての PF を対象として、井戸原水と各壺による処理後の水に含んでいる鉄とヒ素濃度を測定し、壺ごとの鉄除去率とヒ素除去率を算出した。この作業は雨季の 2006 年 8 月および乾季の 2007 年 1 月の 2 回行った。

図-11 は PF による処理水中のヒ素濃度と井戸原水中の鉄/ヒ素濃度比との関係図である。この結果から、雨季と乾季を問わず、0.05mg/L の基準値を満たすために、井戸原水中の鉄/ヒ素重量比は 40 以上が必要となる。しかし、原水中の鉄濃度が不足すると、ヒ素と鉄との共沈が不完全となると考えられる。杉村らによると原水中の鉄/ヒ素重量比は 40 で、バン格拉デシュのヒ素基準である 0.05mg/L を満たすとされている<sup>9)</sup>が、図-11 から同じ結果が得られた。

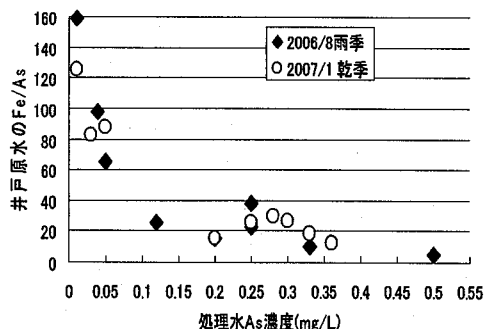


図-11 PF による処理水 As 濃度と井戸原水の Fe/As

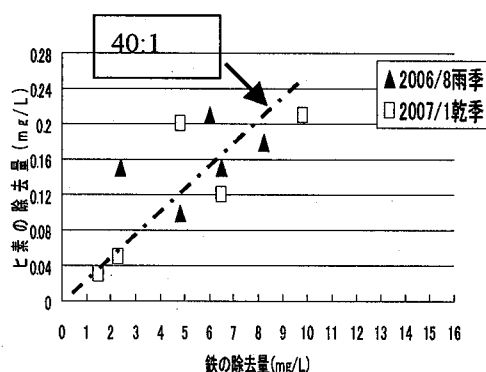


図-12 鉄の除去量とヒ素の除去量の関係

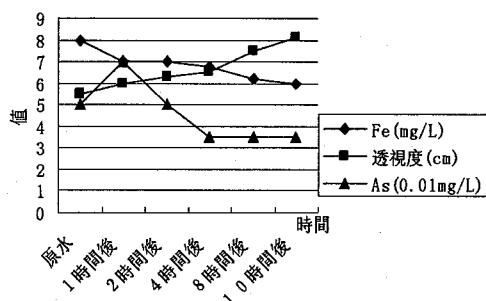


図-13 井戸原水の時間別の変化  
(2007/1、乾季)

図-12 は処理水中の鉄除去量（原水鉄濃度－処理水鉄濃度）とヒ素除去量（原水ヒ素濃度－処理水ヒ素濃度）の関係図である。図から両者の重量比は 40 : 1（点線で示す）の値に近接していることが明らかになった。

## (7) 井戸原水中の鉄とヒ素の時間経過による除去

現地調査の際に、汲み上げた井戸水の原水は、ふたなし容器の中に置いた場合、時間が経過するとグアバ抽出液との呈色反応が減少する現象が見られた。これは地下水中の二価の溶解性の鉄が時間の経過と共に酸化され、不溶性の三価の鉄に変化することにより壁面への固着または沈殿などにより除去されるためと考えられる。この現象を解明するため5個の地下水サンプルの鉄、グアバ法による呈色反応後の透視度及びヒ素、各々の時間毎の変化を測定し、その平均値を図-13に示した。その結果ヒ素濃度は1時間後に一時的に上昇したが4時間後まで減少し、その後ほぼ一定となった。1時間後にヒ素濃度が上昇する理由は不明である。この結果から、井戸原水は上部が開放された容器に汲み置きすると、時間の経過とともにヒ素が自然に除去されることが明らかになった。

## 5. グアバ法の社会的な効果

### (1) 社会調査の目的

住民が飲料水として使用している井戸水にグアバ葉抽出液を入れた際に水が黒く着色することは大きな心理的なインパクトをもたらすと推測される。すなわちヒ素と共存する鉄を可視的に示すことによりヒ素問題に対する意識が高くなり、PFやAIRPなどのヒ素除去装置に対する支払い意志額も上昇すると考えられる。広範囲にわたるバングラデシュ村落部にヒ素除去装置を普及させ、ヒ素汚染問題を緩和させるためには住民の動機付けの手段として視覚的に訴えるグアバ法の利用が有望であると考えられる。そのため本研究においては、住民にアンケート調査及び聞き取り調査などの実施により支払い意志額の変化等の社会的な効果も検討した。調査対象の住民の属性を表-2に示す。

表-2 アンケート調査対象集団

| 性別<br>年齢 | 男性 | 女性  |
|----------|----|-----|
| 20代以下    | 16 | 24  |
| 20～40代   | 33 | 42  |
| 40～60代   | 13 | 36  |
| 60代以上    | 7  | 5   |
| 合計       | 69 | 107 |

## (2) ヒ素汚染問題に対する住民意識

ヒ素汚染問題に対する意識は、住民が日常生活において最も関心がある5つの問題と共に比較して考察した。それらの問題（①収入が少ない、②支出が大きい、③子供の教育、④家族の健康、⑤食料不足、⑥ヒ素汚染問題）に対する住民の意識は一番低いレベル1から一番高いレベル7まで7段階を設定してアンケートを実施した。各質問項目の回答の平均値を算出した結果を図-14に示す。数値が高いほど、当該問題に対する意識が高いと考えられる。

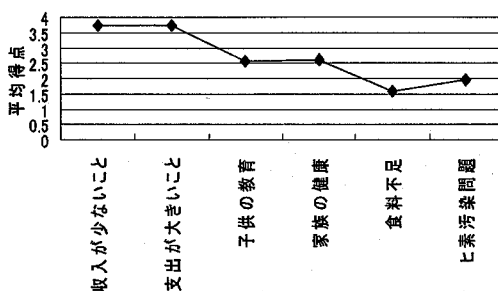


図-14 身の回りの問題に対する住民意識

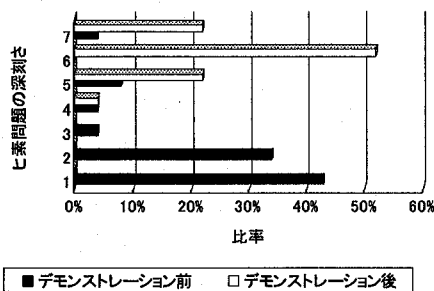


図-15 グアバ法のデモンストレーション前後の住民のヒ素問題に対する意識の変化

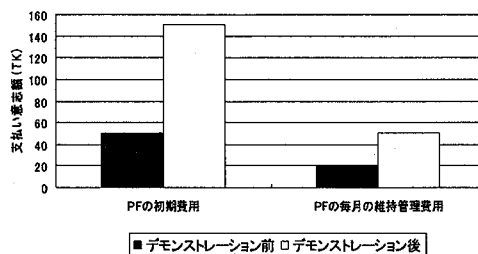


図-16 グアバ法のデモンストレーション前後の住民のPFに対する支払い意思額の変化

各項目の平均値をみると、最も得点が高いのは「収入が少ない」と「支出が大きい」の2つの問題である。つまり、経済面の問題は住民にとって、最も関心を持っていることがうかがえる。続いて、「家族の健康」と「子供の教育」は2番目と3番目の問題となっている。ヒ素に対する意識は「食料不足」よりやや高く、後方から2番目に位置している。この結果から、住民のヒ素問題に対する意識は低いと考えられる。これは、当村でのヒ素除去装置の普及率（AIRPは無く、PFは8つしかない）が低いことと関係していると考えられる。

### (3) デモンストレーションによる住民のヒ素汚染意識の変化

村人の大多数がヒ素汚染のことを知っているにもかかわらず、ヒ素汚染に対する意識は極めて低い。その要因として、ヒ素のそのものが無臭、無色の特性であるために、日常生活において、それを知覚することが難しいこと、ヒ素中毒は慢性であるため、年月を経ないとその病状が現れないことが挙げられる。これを踏まえて、グアバ法の呈色反応を利用し、ヒ素を含有する井戸原水とPFにヒ素除去した処理水の中にそれぞれグアバ抽出液を入れて住民にデモンストレーションを実施した（前者は鉄を含有するため水が黒くなり、後者はヒ素と鉄の大半が除去されるため水の色が変わらない）。デモンストレーション前後でヒ素汚染が深刻かという質問に対しての答えを1〜7段階で示した。住民意識はデモンストレーション前の低いレベル（1、2）から高いレベル（5、6、7）までに上がったことが明らかになった。この結果から、グアバ法による呈色が住民のヒ素汚染意識に変化をもたらすことが明らかになった。

### (4) デモンストレーションによる支払い意志額の変化

住民にPFを設置すれば初期投資の費用と月々の維持管理費用を幾ら支払いたい（支払い意志額）という質問のアンケートを実施した。図-16で示した通り、初期の費用に対する支払い意志額はデモンストレーション前の50TKから150TKに上がり、維持管理費用に対する支払い意志額は10TKから50TKまで上がった（1TK≒2円、普通でPFを設置する必要となるコストは150〜250TKである）。つまり、グアバ法によるデモンストレーションの実施により、ヒ素汚染問題を視覚的に認識することで、支払い意志額に変化をもたらしたと考えられる。

## 6. 結論

グアバ法の開発、現地でのヒ素汚染状況の調査、グアバ法による呈色反応を用いた住民へのインパクトの調査などを行った結果、以下のことが明らかになった。

①調査対象村においては、ヒ素濃度は井戸の深さにより異なり、60〜90ft.の範囲のヒ素汚染が深刻であった。

②調査対象村においては井戸のヒ素濃度分布は水平分布によっても違いが見られた。

③PFはヒ素を除去する上で効果がある。良質な水を採集するため、二段以上の構造のPFが有効である。

④ピッチャーフィルター等の装置では鉄とヒ素とは概ね重量比40:1で除去される。

⑤グアバ法において黒色に呈色する反応を住民にデモンストレーションすることにより、ヒ素問題に対する関心を喚起することができる。

⑥グアバ法を用いてデモンストレーションを行うことにより住民のヒ素除去装置に対する支払い意志額及びヒ素汚染に対する意識が向上した。

## 謝辞

本研究は、科研費、基盤研究B（「バングラデシュにおける地下水中のヒ素除去対策に関する実証的研究」、研究代表：北脇秀敏）及び井上円了記念研究助成金の助成を受けました。グアバ法の実験は東洋大学生命科学部の岡崎渉教授にご協力頂きました。現地調査はBUETのモシン氏、スーサン氏、ラジーオ氏、スモン氏、NGOのSPACEのアザーハラ氏など多くの方々にご協力頂きました。ここに記して謝意を表します。

## 参考文献

- 1) Smith A. H., Lingas E. O., Rahman M.: Contamination of drinking-water by arsenic in Bangladesh: a public health emergency, Bulletin of the World Health Organization, pp.78-79, 2000.
- 2) Adeel Z.: Policy Dimensions of the Arsenic Problem in Bangladesh, Bangladesh University of Engineering & Technology, pp.270-277, 2001.
- 3) 山西貞: 家政学実験シリーズ第3、産業図書, pp.215-216, 1969.
- 4) 中谷隆文、北脇秀敏: バングラデシュにおける地下水ヒ素汚染対策に関する研究、東洋大学院修士論文、

- pp.55-56、2003。
- 5) Ahmed M. F., Ahmed C. M.: Arsenic Mitigation in Bangladesh, an outcome of the International Workshop on Arsenic Mitigation in Bangladesh Dhaka, Local Government Division Ministry of LGRD & Co-operatives Government of the People's Republic of Bangladesh, pp.14-16, 2002.
  - 6) Meng X.G., Klrfiatis G., Christodoulatos C., Bang S.: Treatment of arsenic in Bangladesh well water using a household co-precipitation and filtration system, *Water Research*, Vol. 35, No. 12, pp.2805-2810, 2001.
  - 7) 杉村昌紘、福士謙介、山本和夫：バングラデシュにおけるヒ素汚染地下水の浄化装置に関する研究、土木学会第 57 回年次学会講演会、pp.27-37、2002。
  - 8) 中谷隆文、北脇秀敏、山本和夫、杉村昌紘：グアバの葉を用いた地下水中ヒ素除去モニタリング手法の開発、第 29 回環境システム研究論文発表会講演集、pp.101-104、2001。
  - 9) 王博、北脇秀敏、Rahman MD. M.：バングラデシュの農村部における水利用とヒ素汚染問題、国際開発学会第 8 回春季大会、pp.105-108、2007。
  - 10) 上野登：アジアに広がる砒素汚染、AAN、pp.37-40、2003。
- (2007. 5. 25 受付)

## A Study on Arsenic Removal Monitoring from Groundwater in Bangladesh using "Guava Method"

Bo WANG<sup>1</sup>, Hidetoshi KITAWAKI<sup>2</sup> and Md. mafizur RAHMAN<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Graduate School of Regional Development Studies, Toyo University

<sup>2</sup> Dept. of Regional Development Studies, Toyo University

<sup>3</sup> Dept. of Civil Engineering, Bangladesh University of Engineering and Technology

Arsenic removal monitoring method, "Guava Method", through the removal of iron in groundwater, was developed using guava leaves and transparency meter. Field surveys were carried out in arsenic affected rural area in Bangladesh to identify the present situation of arsenic contamination which causes health problems. Groundwater quality was analyzed to identify the relationship between arsenic concentration and depth of tube wells. Sociological survey was also carried out to identify villagers' attitudes towards arsenic contamination, willingness-to-pay for arsenic removal equipments. Demonstration of "Guava Method" to villagers to show their willingness-to-pay increased because of the visible change in the water color.