

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

Monitoring of arsenic removal from groundwater using guava leaves

中谷 隆文¹

北脇 秀敏²

山本 和夫³

杉村 昌紘⁴

Takafumi Nakatani

Hidetoshi Kitawaki

Kazuo Yamamoto

Masahiro Sugimura

ABSTRACT: It is widely known that tannin reacts with iron and gives black color. In rural areas of Bangladesh, use of pitcher filters is encouraged to be used as one of the appropriate technology to remove arsenic from groundwater. However, analysis of arsenic in groundwater requires equipment such as field kits that is not widely available to local people, since it is expensive by made in overseas. The pitcher filter oxidizes the iron dissolved in groundwater, that is made to co-precipitated iron and arsenic, and remove them. Therefore, the monitoring system of arsenic removal rate from groundwater using guava leaves (guava method) containing tannin was developed by measuring the iron concentration before and after processing using the degree of transparency. Guava method could make it possible for rural people to monitor arsenic removal. With health education using guava method will contribute to decrease health hazards in arsenic contaminated area.

KEYWORD: Arsenic, Groundwater, Bangladesh, Tannin, Guava leaf

1. はじめに

バングラデシュの村落部では水系伝染病対策として Tube Well から手押しポンプを使って地下水を汲み上げるにより飲料用や料理用等に利用しているが、地下水は地層中に含有されるヒ素により汚染されている場合が多く、深刻な健康被害がもたらされている。その対策として各援助機関は手押しポンプから得られる地下水中のヒ素含有量のモニタリングと安全な水供給を目的としたヒ素除去施設の建設等を行っている。しかし、その費用は莫大な額にのぼり、住民の収入のみでは建設、維持、管理できないため、援助なくしては成り立ち得ないものと考えられる。一方 NGO 等では地下水を曝気処理する際にヒ素が鉄と共沈する原理を利用して地下水の酸化によりヒ素除去を行う家庭用砂ろ過装置等、安価な簡易ヒ素除去装置の普及に努めている。現場でのヒ素分析には化学反応を利用した携帯用分析キットが使用されている。しかし、ヒ素分析用のキット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できない。また、国や地域における公衆衛生に対する認識が低いこと、電気、水道、ガス、交通等の生活関連の社会資本未整備、分析機器に必要な資材の入手の困難性あるいは分析技術等の立ち遅れのため、高性能機器分析を用いた科学的汚染の調査を実施することは大変困難な状況である¹⁾。本研究では現地で入手可能な材料を用いての持続的なヒ素除去のモニタリングを行えるようにすることを目的として、農村部で容易に入手可能であるグアバの葉中に含まれるタンニンの着色反応を利用したヒ素除去のモニタリング手法を開発した。本モニタリング手法を農村部の住民に技術移転する事により、ヒ素による健康被害を軽減することが可能となるだけでなく住民の衛生教育面においても大きな効果を期待できる。

¹ 東洋大学大学院国際地域学研究科 Graduate School of Regional Development Studies, Toyo University

² 東洋大学国際地域学部 Faculty of Regional Development Studies, Toyo University

³ 東京大学環境安全センター Environmental Science Center, University of Tokyo

⁴ 東京大学大学院工学系研究科 Department of Urban Engineering, Graduate School of University of Tokyo

2. 簡易分析法の開発

2.1 原理

タンニンが鉄と反応して黒く変色することは広く知られている。家庭用砂ろ過装置は Tube Well から汲み上げた地下水に含まれる鉄を 2 価から 3 価に酸化させる過程において鉄とヒ素を共沈させ、砂ろ過によるヒ素の除去を効果的に行っている。従ってタンニンが鉄と反応して黒く程色する現象を利用して、処理前後での鉄濃度を測定することによりヒ素除去率が推量可能であると考えられる。本原理を利用して以下に示す鉄濃度と透視度の関係と、ヒ素除去率と鉄除去率の関係を組み合わせることによりグアバ葉中のタンニンを利用したヒ素除去率推量法を開発した。

2.2 ヒ素除去と鉄除去の関係

M.Feroze ahmed と Md.Mujibur Rahman らは Fe-As removal plant 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関係式(1)を得た 2)。

$$y = 0.8718x + 0.4547 \cdots (1)$$

本研究では透視度による鉄濃度測定結果から鉄除去率とヒ素除去率との関係として (1) 式を利用する。

$$y : \text{As\% Removal} \quad x : \text{Iron\% Removal}$$

2.3 透視度を用いたヒ素除去率推量法

上述の原理を利用して開発したヒ素除去率推量法の手順を以下に示す。本研究はバングラデシュ在来種のタンニンが含まれているグアバの葉を利用して行った。

1) グアバ葉抽出液の作成

乾燥させたグアバ葉 2.5 g に 40 ml の鉄を含まない水を加え 30 分煮沸した後、葉をろ過除去し全量を 50 ml とする。

2) 発色

試水 250 ml に 5 ml のグアバ葉抽出液を加え、軽く攪拌する。

3) 透視度測定

直ちに透視度計（共立、型式 WA-PT-2、JIS K-0102 準拠により透視度を測定する。

上記の測定法から透視度計を用いて透視度を測定した結果を図 1 に示す。本結果から鉄濃度が増加するに従い透視度が低下する関係が明らかになった。特に鉄濃度が 0~20mg/l の範囲では透視度を測定することにより処理前後の鉄濃度の比較測定が可能であると考えられた。

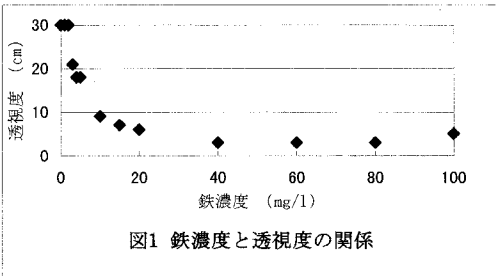


図1 鉄濃度と透視度の関係

4) ヒ素除去率の読み取り

表 1 透視度による鉄濃度推定値とヒ素除去率 (%) の関係

上記の(1)式と透視度測定実験で得られた結果から、ヒ素除去効率を推量可能となる表 1 を作成した。処理前後の水にグアバ葉抽出液を 5 ml 加えて透視度を測定し、その結果と表 1 から処理前後の鉄濃度とヒ素の除去率が推量可能となる。

原水の鉄濃度 (mg/l)		0	1	2	3	4	5	10	15	20	40	60	80	100
処理後の鉄濃度 (mg/l)	透視度 (cm)	30<	30<	30	21	18	18	9	7	6	3	3	3	5
0	30<	-	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88
1	30<	-	0	44	59	66	70	79	82	83	85	86	87	87
2	30	-	-	0	30	44	53	70	76	79	83	85	85	86
3	21	-	-	-	0	22	35	61	70	75	81	83	84	85
4	18	-	-	-	-	0	18	53	64	70	79	82	83	84
5	18	-	-	-	-	-	0	44	59	66	77	80	82	83
10	9	-	-	-	-	-	-	0	30	44	66	73	77	79
15	7	-	-	-	-	-	-	-	0	22	55	66	71	85
20	6	-	-	-	-	-	-	-	-	0	44	59	66	70
40	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	30	44	53
60	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	22	35
80	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	18
100	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0

3. バングラデシュにおけるフィールド調査結果

3. 1 各種ヒ素除去装置の性能と化学分析結果

本研究の一環として行った 2000 年 12 月の現地調査時に本試験法に関する有効性の検討を行った。現地調査段階ではグアバ葉抽出液による測定は開発段階であったため、グアバ葉抽出液による反応色の変化を比較する定性分析のみとした。同時にバックテスト（共立理化学研究所：型式 WAK-As、WAK-Fe）で測定を行うことにより、グアバ葉抽出液の反応結果との比較を行った。更に処理前後の水を採取し、IC/ICP/MS 法、ICP/MS 法による精密分析を行った。

グアバ葉抽出液による程色反応は原水では鉄が多く含まれており水の色が黒く変色したが、処理後の水は鉄が除去されているために反応がみられなかった。バックテストでの測定結果によりヒ素が除去されていることが確認された。しかし、バックテストでのヒ素濃度測定結果は ICP/MS 法による分析結果と大きく異なる事が明らかになった。これはヒ素測定用のバックテストが試水中に含まれるリン酸イオンに妨害を受けたことが原因であると考えられた。

表 2 各処理装置における処理前後の水質分析結果

地名	処理技術		Fe (mg/l)			As (mg/l)		As (III) (mg/l)	As (V) (mg/l)	Mn (mg/l)
			グアバ葉抽出液法	バックテスト	ICP/MS 法	バックテスト	ICP/MS 法	IC/ICP/MS 法		ICP/MS 法
Nilkanda	AIRP*	原水	+	10	5.6	5	0.87	0.35	0.67	2.2
		処理水	—	0.2	0.47	0.5~1	0.42	0.018	0.39	2.0
Nilkanda	Pitcher Filter**	原水	+	5~10	5.8	5	0.21	0.0044	0.22	1.1
		処理水	—	0~0.2	0.084	1	0.063	0.0031	0.086	0.1
Manikganj (A) BTU***		原水	+	10 <	12	5~10	0.15	0.0036	0.19	0.5
		処理水	—	0.2~0.5	0.27	< 0.2	0.011	0.0027	0.029	0.7
Manikganj (B) BTU		原水	+	5	20	10 <	0.095	0.003	0.16	0.6
		処理水	—	0.5	3.4	0.5~1	0.017	0.0027	0.042	1.0

* Arsenic Iron Removal Plant (AIRP) 地下水を曝気処理する際にヒ素が鉄と共沈する原理を利用して地下水の酸化と砂ろ過によりヒ素除去を行うコミュニティ向けの処理施設である。

** Pitcher Filter³⁾ 素焼きの容器に煉瓦、砂、鉄チップ等を加えたもので、地下水を酸化することにより鉄とヒ素を共沈させ砂ろ過によりヒ素を除去する家庭用装置である。

*** Bucket Treatment Unit (BTU)⁴⁾ 酸化剤と凝集剤を加え攪拌、静置することによりヒ素を凝集沈殿させた後、砂ろ過によりヒ素を除去する家庭用装置である。

3. 2 グアバ葉抽出液による呈色反応

写真 1 に示す通り、グアバ葉抽出液による呈色程度は鉄の存在レベルを反映しており、処理前後の呈色程度を比較することにより、鉄の除去効果を視覚的に判断可能であることが明らかになった。すなわちグアバ葉抽出液法はバックテストと同様に鉄除去効果の概略値を判断する指標として用いることが可能である。またバックテスト、IC/ICP/MS 法、ICP/MS 法による分析結果から処理後の鉄除去とヒ素除去が確認されたことにより、グアバ葉抽出液を用いたヒ素除去率の推量が可能であると考えられた。しかし、現地調査段階では 2. に示したヒ素除去推量法は開発段階であったためヒ素除去率を推量するには至らなかった。

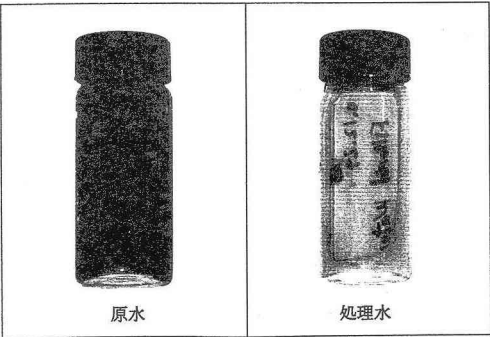


写真 1 グアバ抽出液による呈色反 (Manikganj A)

4. 今後の現地における対応策

4.1 簡便法の開発に向けて

ヒ素除去装置による処理水の安全性モニタリングの開発において、現地での透視度計を使用しての測定が困難となる可能性を考慮して次の方法による測定が考えられる。

- 1) 透視度計の代替として底に十字のラインを書いた紙を置いた透明なガラスコップを使用する。
- 2) グアバ葉抽出液を入れた後、処理前に十字が見えず処理後に十字が見えれば安全である。

Pitcher Filter は原水に含まれる鉄濃度や任意に加えられる鉄の添加がヒ素の除去に重要な役割を果たしていると考えられている。鉄の添加が不十分であるとヒ素の除去率が低下することになる。従って、原水または第一段目で鉄とグアバ葉抽出液との反応がコップによる透視度測定において底が見えない程度にし、処理水が透明になるように管理することにより鉄とヒ素共に除去されていることになると考えられる。

4.2 教育・啓蒙活動

本分析法を現場に応用することにより、住民レベルでヒ素除去の簡易モニタリングを行うことが可能となる。またタンニンによる黒い着色が鉄とヒ素の除去とともに無色になるという視覚に訴える効果もあり、現地における衛生教育面においても大きな効果を期待できる。

また、バングラデシュの住民の収入状況を考慮した結果、ヒ素濃度の分析を行うことも重要であるが、ヒ素除去装置の普及を進めることが先決である。従ってコストがかからず、容易に測定可能である本分析法は住民に受け入れられやすいと考えられる。またバングラデシュの村落部で活動する NGO や現地の大学等と連携して現地で実証試験を行い、本モニタリング手法を村落部の住民へ技術移転することによりヒ素による健康被害を軽減していくことが望ましい。

5. 結論

本研究で開発した透視度による砒素除去率推量法と現地調査によって以下のことが明らかになった。

- 1) グアバ葉抽出液による処理前後の鉄濃度を透視度から推定することにより、ヒ素除去率の推量が可能となる簡易分析法を開発した。処理前後の呈色反応の比較だけでもヒ素除去効果を確認可能である。
- 2) 2.に示したヒ素除去率推量法を用いてバングラデシュ農村部における持続可能なヒ素除去モニタリングが可能である。

謝辞

本研究の現地調査を実施するにあたり、クリタ水・環境科学振興財団からの助成をいただきました。また現地調査ではバングラデシュ側のカウンターパートであるバングラデシュ工科大学のラーマン助教授をはじめ、多くの方々にお世話になりました。謹んでお礼申し上げます。

参考文献

- 1) インド・バングラデシュにおける地下水ヒ素汚染と健康被害 安藤正典 公衆衛生研究 第49巻 第3号 平成12年9月 266-274 国立公衆衛生院
- 2) Water Supply & Sanitation, M.Feroze Ahmed, Md.Mujibur Rahman, ITN-Bangladesh, June 2000
- 3) Combating a Deadly Menace, Bangladesh Rural Advancement Committee, August 2000
- 4) DPHE-Danida Arsenic Mitigation Pilot Project, Two-Bucket Arsenic Mitigation Method <http://phys4.harvard.edu/~wilson/2bucket.html>