

Bangladeshでの地下水ヒ素汚染への取り組み

—現地調査に参加して—

水環境担当 見島 伊織

1 はじめに

現在、地下水のヒ素汚染は東南アジアを中心に大きな問題となっており、Bangladeshでは特に深刻です。Bangladeshは、ガンジス川などの大河川や中小規模のため池など表層水に恵まれており、飲用としても使用されてきました。しかしながら、細菌による汚染が著しく、飲料水源を地下水に切り替えたため地下水のヒ素汚染が顕在化しました。ほとんどの地域で WHO（世界保健機関）が定めている飲料水のヒ素の基準値 $10 \mu\text{g/L}$ を上回る汚染が確認され、3000 万人以上の住民がヒ素中毒の危険性があるとされています。ヒ素には、嘔吐、下痢などの急性毒性と、粘膜炎症、皮膚への黒色色素沈着などの慢性毒性があり、慢性毒性がさらに進行すると染色体異常や皮膚癌を引き起こすといわれています。ヒ素汚染は人為的ではなく自然由来だといわれており、ヒ素を含有する鉱物から地下水へとヒ素が溶出し、その地下水を人間が井戸から汲み上げて使用することで、ヒ素中毒患者が発生していると考えられています。特に農村部ではヒ素汚染への対策がとられていない場合が多く、各家庭においてヒ素を除去できる安価かつ簡易な装置の開発が望まれています。

埼玉県環境科学国際センター（CESS）では、研究員を立命館大学へ客員研究員として派遣し、立命館大学と共同でBangladeshでの普及を目指した家庭用のヒ素除去装置の開発を行っています。Bangladeshでは、現地のクルナ工科大学土木工学科の教員や技師、また NGO の職員と連携しながら調査や実験を進めています。

2 装置の開発にあたり

2.1 装置開発のコンセプト

Bangladeshの農村部では、写真1に示すように、管井戸から水を汲み上げ、飲用や料理用として使います。また、日本式の風呂はなく、近くの池で水を浴びて体を洗います。2006年の1人当たりのGDPは500ドル未満であり、非常に貧しい国です。しばしば停電が起こり、数時間復旧しないこともよくあるた



写真1 Bangladesh農村部の様子（左）と使用している管井戸（右）

め、ヒ素除去に電力を使用することもできません。したがって、効率的なヒ素除去を行うことのできる装置であっても、高価なものは現地の住民に受け入れられません。特殊な薬品や難しい技術を必要とする装置も同様です。これらのことから、作製および維持管理が安価かつ容易なヒ素除去装置を開発する必要があります。

2. 2 鉄によるヒ素除去

周期表においてヒ素はリンの下に位置し、リンとは同族元素であり、環境中の挙動もリンと類似している部分があります。下水処理ではリンを除去するためによく鉄を含む薬品が用いられており、鉄とリンを結合させることで除去しています。ヒ素も同様に鉄を用いて除去できます。バングラデシュの地下水には 10mg/L を超えるような濃度の鉄が含まれている場合があり、その鉄で、ある程度のヒ素除去が可能です。しかし、飲料水に適するレベルにまでヒ素を除去するには、さらに鉄を加える必要があります。そもそも金属の鉄には、水中で酸素と電子の授受を行い、水に溶解する性質があるため、ヒ素除去装置を作製するにあたり、金属鉄を用いてヒ素除去効率を向上させることにしました。

一方、鉄を含む水は飲料水には適しません。水処理における鉄の除去には、鉄バクテリアが溶解性の鉄を酸化除去する特性を利用する方法があります。そこで、ヒ素除去後の鉄の流出を防ぐために、鉄バクテリアを用いて鉄の除去を行うことにしました。

3 ヒ素除去の効率化のために

3. 1 水利用実態調査

現在、写真2（左）に示したヒ素除去装置が NGO から住民の一部へ配布されており、使用されているものがあります。このヒ素除去装置の使用状況を調査したところ、ヒ素除去装置に関しては、高いヒ素除去性能がありましたが、維持管理が困難で一旦故障すると使用を中止してしまうケースが多いことなどがわかりました。また、価格が高いこと、流量が少ないことも問題点として挙げられました。一方、写真2（右）に示した細菌の除去を目的としたセラミック式のろ過装置に関しては、ろ過部分の品質が一律ではなく、ろ過速度が一定ではないこと、また、鉄除去性能は高いがヒ素除去性能は不十分であることなどがわかりました。住民の水利用状況も合わせて調査し、1日当たりの飲用や調理用などの水使用量も把握しました。

3. 2 基礎的なヒ素除去の検討

効率的なヒ素除去を行う方法を、金属鉄や鉄バクテリアを使用した基礎的な室内実験から検討してきました。その結果、金属鉄と鉄バクテリアの機能を組み合わせることにより、高効率なヒ素除去が進行することを明らかにしました。金属鉄はネット状ものを用いることにしましたが、バングラデシュでも容易に入手可能です。鉄バクテリアは水環境中に一般的に存在する細菌であり、バングラデシュでも採取ならびに培養可能です。



写真2 既存のヒ素除去装置（左）とセラミック式ろ過装置（右）

3. 3 ヒ素除去装置ろ過部の作製

セラミック式のろ過装置を参考に、ヒ素除去装置を作製することにしました。まず、ろ過部の透水性の向上のための最適な条件を検討しました。バングラデシュはデルタ地帯であり、土壌の多くは粘土からなっています。この粘土と米ぬかを混合した後に焼成してヒ素除去装置のろ過部を作製することにしました。粘土のみを焼成した場合は水の通りがよくありませんが、米ぬかを混合させることで、米ぬかが焼成過程で燃焼し、内部に無数の細かい孔ができ、水を通すことができると考えたからです。実際に実験してみると、図1に示すように、米ぬかの混合比を上げると明瞭に透水性は上がりました。しかしながら、混合比率を上げすぎると、ろ過部自体の強度が損なわれます。透水試験や強度試験の結果から、水使用量や水圧を考慮し重量比で20%の米ぬかを粘土に混合し、ヒ素除去装置のろ過部を作製することにしました。また、形状はろ過面積を確保するために、写真3（左）に示すよう円柱状にしました。

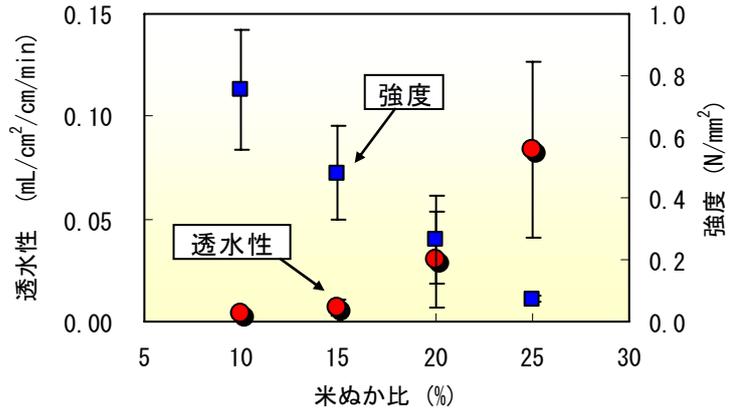


図1 透水性と強度試験の結果

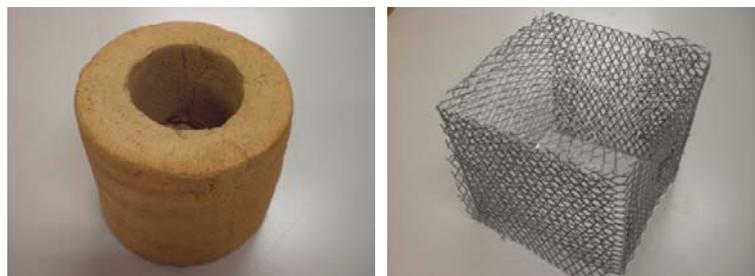


写真3 ヒ素除去装置に使用したろ過部（左）と金属鉄ネット（右）

3. 4 ヒ素除去性能試験

これまでの結果を踏まえ、写真4に示した容量14Lのヒ素除去装置を作製し、ヒ素除去性能を試験しました。バングラデシュでも高濃度に相当するヒ素(500 μ g/L)と鉄(5mg/L)を含む模擬地下水を作り、装置に通水しました。ろ過部の周りには、写真3（右）に示すような金属鉄でできているネッ



写真4 作製したヒ素除去装置

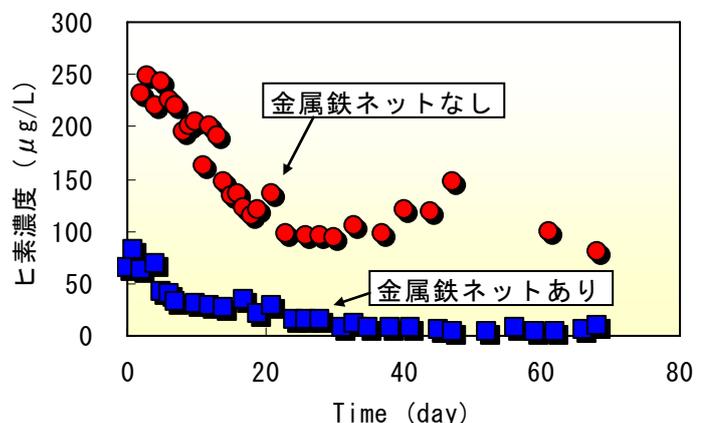


図2 ヒ素除去装置からの流出水のヒ素濃度

トを設置し、鉄の溶出とそれに伴うヒ素除去を期待しました。結果は、図2に示したとおりであり、金属鉄を入れない条件では十分なヒ素除去が進行しませんでした。金属鉄ネットを入れることでバングラデシュのヒ素の基準値 $50 \mu\text{g/L}$ だけでなく WHO の基準値 $10 \mu\text{g/L}$ を下回る高効率なヒ素除去を確認することができました。また、鉄濃度も基準値の 0.3mg/L をクリアしていました。このように、ヒ素、鉄ともに効率的に除去する技術が確立しました。

4 バングラデシュでの試験

2008年8月に、バングラデシュでヒ素除去装置を試作し、現地の地下水を処理する性能評価試験を行いました。試作したヒ素除去装置は写真5に示すように、粘土と米ぬかを混合し焼成したろ過部と植木鉢をセメントで接合したものであり、14Lの容量があります。また、性能の向上のために金属鉄ネットと鉄バクテリアを入れました。このヒ素除去装置は100タカ(日本円で130円程度)以下で作製でき、すべての資材を現地で容易に入手できることから、製品化および普及に適していると考えています。完成したヒ素除去装置を地下水のヒ素汚染が顕著であるバングラデシュのクルナ市近郊の農村部の4家庭にそれぞれ1基ずつ、計4基を設置しました。数日間、流出水を採取しヒ素濃度を分析しましたが、順調にヒ素の除去を確認できました。現在も、クルナ工科大学によってモニタリングは続けられています。

5 おわりに

バングラデシュへヒ素除去装置を普及させ、現地の住民の生活水準向上のために、技術開発や現地調査等を行ってきました。現地の住民に愛され、末永く使っていただける装置を提供することが、これからの責務であると考えています。現在は、ヒ素除去性能をさらに向上させるために、pH やリン濃度などの影響を調べているところです。また、維持管理についても、装置の洗浄の頻度などを実験やシミュレーションから検討していく予定です。また、この技術は、アレンジを加えることで、十分に日本に適応可能です。日本国内や埼玉県で、ヒ素汚染が認められる地域への展開も検討していきたいと考えています。

一方、これまでにCESSでは、金属濃度を分析するためにストリッピングボルタンメトリーという方法について研究を重ねてきました。この方法を用いると、電気化学的にヒ素濃度を現場で容易かつ迅速に分析できます。今後は、この方法を用いて現地の調査や実験の際に、ヒ素の分析をサポートすることを考えています。

このように、地下水からのヒ素除去ならびにヒ素分析を通して、CESSから国際貢献を行うと共に、今回の調査で得た知見を日本国内の地下水のヒ素汚染対策にフィードバックしていきたいと考えています。



写真5 バングラデシュに設置したヒ素除去装置