5. バングラデシュにおける地下水砒素汚染の機構解明 と汚染対策の実践

MECHANISM OF ARSENIC POLLUTION OF GROUNDWATER AND COUNTERMEASURES FOR THE POLLUTION IN BANGLADESH

横田 漠*・田辺 公子**・瀬崎 満弘*・工藤 周一***・末永 和幸***・フェローセ アーメット****・ハミドール ラマン*****

バングラデシュ国立予防社会医学研究所／応用地質研究会／アジア砒素ネットワーク

H. YOKOTA, K. TANABE, M. SEZAKI, S. KUDO, K. SUENAGA, F. AHMED, H. RAHMAN,
NIPSOM, RGAG, AAN

ABSTRACT; 90% of the tube wells in Samta village, where we have been investigating the causes of the arsenic contamination in groundwater and developing arsenic-free water supply systems since March 1997, had arsenic concentrations above the Bangladesh standard of 0.05mg/l. Tube wells with arsenic concentrations of over 0.50mg/l were distributed in the southern part with a belt-like shape from east to west and the arsenic concentration was decreasing toward northern part of the village. In order to examine the characteristics of arsenic distribution in Samta, the arsenic pollution of groundwater in extensive area including Samta village was investigated and the distribution of arsenic pollution for the area was obtained in the paper. From some discussion about the examination and review of the geological survey results & change of arsenic concentration with time in Samta which have been obtained in these years, we propose a model for explaining the characteristics of arsenic pollution in Samta in the paper. And the movements of countermeasures for arsenic pollution problems by us are introduced here, too.

KEYWORDS; arsenic, groundwater, mechanism of pollution, countermeasures, NGO movements

1. はじめに

バングラデシュでは飲料水のほとんどを地下水に依存しており、その地下水が砒素に汚染されているため、約 4,000 万人の人々が砒素中毒の危険にさらされている¹⁾といわれている。しかし、地下水砒素汚染の機構は明らかにされておらず、また有効な対策もまだ確立されていない。我々は安全な水供給や治療を含めて総合的な対策を確立するために、モデル村（シャムタ村）を設定して 1997 年 3 月から調査・研究を行っている。その結果、Fig.1²⁾ に示すように、シャムタ村には環境基準（バングラデシュ基準：0.05mg/l）をクリアできるものは 10%程度しか存在せず、最高濃度も 1.4mg/l を示すなど、同村はガンジスデルタ最大の汚染地帯であった。また、汚染濃度は北部から南部にかけて高くなり、その分布は東西方向にベルト状となっていた。また、シャムタ村の地下水中の砒素濃度は経年的に増加している³⁾。

我々は、シャムタ村のこの砒素分布を外挿的に考察するために 1999 年 5 月、11 月にシャムタ村周辺における地下水砒素調査を行った。この砒素濃度分布や、これまでの地質・水質調査から得られた結果、およびシャムタ村の稲作システムの聞き取り調査結果などを総合して、本論文ではシャムタ村における地下水砒素汚染に関する 1 つのモデルを提案している。

また、シャムタ村で試験施工した PSF⁴⁾ (Pond Sand Filter) のその後の稼働状況およびシャムタ村の PSF

*宮崎大学土木環境工学科, Civil & Environmental Eng., Miyazaki University, **宮崎大学機器分析センター, Material Research Center, Miyazaki University, ***応用地質研究会, RGAG, ****バングラデシュ工科大学, BUET, *****ラジャシahi 大学, University of Rajshahi

委員会による第2号基建設の状況等についても報告している。さらに、シャムタ村での3年間にわたる調査や対策の実績を他の汚染地に反映させるために、我々は「移動砒素センター」スタイルで新たな運動を2000年4月から展開している。それらについても本研究で言及している。

Fig.1 バングラデシュ・シャムタ村の地下水砒素汚染分布(1997.3)

2.調査結果

2.1 地下水中の砒素濃度

Fig.1 はシャムタ村で初めて得られた地下水の砒素汚染分布 (1997.3) であるが、我々はそれ以降、同村の砒素濃度の経年的な変化を追っている。その定点砒素観測結果を Fig.2³⁾ に示す。1999 年 11 月まで測定がなされているが、その間、砒素濃度は増大しているといえる。また、Fig.3 はシャムタ村を含む広範囲な地域 (シャルシャ郡南部) を対象にして、1999 年 5 月、11 月に行われた地下水の砒素濃度調査結果である。同図より、汚染の中心はシャムタ村近郊にあり、シャムタで高濃度汚染がみられる南部地域 (Fig.1 参照) から南西の方向に汚染が分布しているように見える。また、シャムタ村の北部は低濃度地域であるが、そこに隣接する北部地域も低濃度となっている。

シャムタ村の砒素濃度分布は、以上のようにある程度外挿的に説明できるが、やはり特異的であることは否めない。

Fig.2 バングラデシュ・シャムタ村の地下水砒素濃度経時変化

Fig.3 バングラデシュ・シャルシャ郡南部の地下水砒素汚染分布(1999.11)

2.2 地質調査

1998年5月に行われたオールコアのボーリング試験（深さ64m）により得られた柱状図、砒素溶出量および砒素含有量を Fig.4⁵⁾ 示す。深さ6m前後の粘土層（上部泥質層）に砒素が含まれていることが分かる。また、1999年5月にはこの上部泥質層（深さは大体15m）に関して18カ所でボーリング調査が行われ、同層中の砒素濃度分布が詳細に測定された。Fig.5⁶⁾ はこの一部を示すもので、特にピート層で高く(260ppm)表れている。

Fig.4 柱状図、砒素溶出量および砒素含有量(1998.5)

Fig.5 砒素含有量(1999.5)

Fig.6⁷⁾は18ヶ所のボーリング位置と上部泥質層の層厚の値を示している。同図を Fig.1 の地下水中の砒素濃度分布と比較すれば、シャムタ村の北東部においては砒素濃度は低く、上部泥質層の層厚も小さいものとなっており、両者の関係は調和的であるといえる。

Fig.6 ボーリング位置と上部泥質層の層厚

2.3 聞き取り調査

AANの上野は乾季におけるシャムタ村の灌漑システムについて、本年の3月に聞き取り調査を行った。その結果、次のことが得られている。

- ①灌漑用に揚水された地下水は川へは流れずに、そのまま地下水へ還元されている。
- ②水田の水はもし補給されなければ、シャムタの北方の水田地域 (Fig.1 中の[A]領域) ではわずか3時間で、また南方の[B]領域では1～2日で地下浸透してしまう。
- ③[A]領域では上部泥質層が存在しない。

3. 砒素の循環モデルと5月調査

2.3の聞き取りおよび2.1、2.2の調査結果から、灌漑による砒素の循環モデルがFig.7に示すように考えられる(上野・横田モデル)。灌漑揚水による地下水流動と水田水の地下浸透による砒素の鉛直方向の循環である。図中、「B」部分は水田の水が1～2日で地下に浸透してゆく Fig.1 中の[B]地域に相当している。砒素を含む上部泥質層を水田水が浸透してゆくとき、物理・化学的な反応により同層中の砒素が溶出され、砒素濃度を増して地下水へと戻る。その水がまた揚水され、さらに砒素濃度をましてゆく、という砒素の循環を表している。この循環が1～4月の間、毎年繰り返されている。これが地下水中の砒素の経年的な増加 (Fig.2 参照) の背景だと考えられる。

また、Fig.7中の「A」部分は上部泥質層がない、といわれている Fig.1 中の[A]地域に相当するもので、ここでは循環による砒素濃度の増加はない。前述のように、上部泥質層の層厚が小さいシャムタ北東地域では砒素濃度が小さいものとなっており、本モデルはこのことを表現している。

本年5月現地で揚水試験を行い、また上部泥質層の詳細な層厚分布と水田の減水深分布を求めることとなっている。これらの結果を用いて「上野・横田モデル」をさらに検証することとなっている。

Fig.7 灌漑用水汲み上げと水田水地下浸透の繰り返しによる砒素汚染増大モデル

4. 対策と実践

4.1 砒素を含まない代替水の確保

ため池水を砂利と砂で濾過して飲料に供する浄水装置、Pond Sand Filter (PSF : 8.0m×2.7m×1.8m) が現地で今、2基稼働している。1号基は1999年1月完成、4月上旬まで利用された⁴⁾。その後、乾季の間に池の底を再掘削して雨季の降雨を貯水のうえ、同年11月稼働を再開し、現在良好な水を供給している。2号基はシャムタ村の隣村デウリ村で1999年の11月から建設が始まった。建設指導を行ったのはシャムタ村PSF委員会の青年グループである。彼らは、デウリ村における砒素対策委員会およびPSF委員会の発足をはじめ、PSF建設のマネジメント等を行い、自前の運動を展開しつつある。

日本からの技術移転とともに、我々はバングラデシュでは根付いていない自治意識の養成を心がけている。2号基は本年(2000年)の2月には完成し、現在供用されている。シャムタ村では、3号基を本年の雨季明けに建設することが計画されている。建設に関する我々の関与の割合は1号基から2号基へと小さくなっていったが、3号基に関してはシャムタ村PSF委員会青年グループに100%、任せる予定である。4号基以降に関しては彼らの自立した仕事として展開してゆけるための1つの契機になって欲しいからである。

給水への需要がため池の貯水能力以上に大きくなって、現地では今、雨季まで保てそうにないことが問題となっており、雨水の集水方法が検討されている。

4.2 移動砒素センター活動

AANは、シャムタ村における過去3年間の諸活動の成果をバングラデシュの砒素汚染問題の解決に役立たせるために、本年度から移動砒素センター(MAC : Mobile Arsenic Center)スタイルで活動の領域をシャムタ

村以外の村々に拡大した。NPO を取得 (2000.4) し、ダッカに事務所 (スタッフ: 日本人 3 人、バングラデシュ人 3 人) を構え、現在 MAC 活動を展開中である。

1 台のワゴン車に医者、砒素分析者、運転手兼マネジャーと日本人 3 人 (以上 6 人は全員、前述の AAN ダッカ事務所のスタッフ) が 6 日間かけて 3 つの村をまわり、現地の NGO と協力しながら、フィールドキット砒素分析器による井戸水の検査と村民が同分析法を取得するためのトレーニング、および砒素中毒患者の発掘や砒素汚染問題に対する教宣などを行ってゆく。PSF の建設も行うようになっているが、これについてはシャムタ村の PSF 委員会の青年グループが担うこととなるだろう。

5. おわりに

シャムタ村を含む広大な領域における地下水の砒素汚染分布を求め、シャムタ村の砒素汚染分布の特徴を外挿的に考察してみたが、十分な解釈はできず、シャムタ村に特異的な汚染環境が存在するようにも思われた。本論文ではその汚染環境として、「灌漑用水汲み上げと水田水の地下浸透の繰り返しのよるヒ素汚染の増大」というモデルを提案した。約 4 ヶ月間の灌漑期間中におけるこの地下水の循環により、上部泥質層中の砒素が繰り返しの地下水に溶出しているのではないか、というモデルである。

このモデルの検証のため本年の 5 月、約 1 ヶ月間にわたって現地調査を行い、データを収集する。その結果についてはシンポジウム当日に発表する予定である。

謝辞

本研究は宮崎大学の広木峰也 (元大学院生で現在、(株) ダイヤコンサルタント)、矢野靖典、濱部和宏、藪内一宏君等およびシャムタ村砒素対策委員会の調査・分析協力、および文部省科研国際共同研究補助金、トヨタ財団、日産科学振興財団の研究助成金のもとで行われた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) Ahmad, Sk. A., et al., "Health effects due to arsenic toxicity in Bangladesh", The 3rd Forum on Arsenic Contamination of Groundwater in Asia. Miyazaki, Japan, 1998.11, pp. 5-6.
- 2) 横田 漠, 他, 「バングラデシュにおける地下水のヒ素汚染調査結果」, 第 2 回環境地盤工学シンポジウム, 地盤工学会, 平成 9 年 11 月, pp.59-64.
- 3) 田辺 公子, 他, 「バングラデシュの地下水砒素汚染について」, 第 9 回ヒ素シンポジウム講演要旨集, 日本ヒ素研究会, 1999.11, pp.28-29.
- 4) 横田 漠, 他, 「バングラデシュにおける地下水の砒素汚染実態とため池水の浄化による飲料水の確保」, 第 7 回地球環境シンポジウム講演論文集, 土木学会, 1999.7, pp.165-170.
- 5) Kazuo Bando, et al., "The mechanism of As contamination of groundwater in Samta", Arsenic Contamination of Groundwater in Bangladesh, AAN, RGAG, NIPSOM, April 1999, pp.20-62.
- 6) 山崎 静子, 他, 「バングラデシュ、ガンジスデルタ堆積物の元素組成—ヒ素はピートから溶出する?—」, 地球科学, 54-2, 地学団体研究会, 2000.3, pp.9-21.
- 7) 応用地質研究会ヒ素汚染研究グループ, 他, 「バングラデシュ西部シャムタ村における地下水ヒ素汚染と水門地質的背景」, 地球科学, 54-2, 地学団体研究会, 2000.3, pp.33-54.