NGO が取り組むバングラデシュの地下水ヒ素汚染問題

末永和幸*・応用地質研究会ヒ素汚染研究グループ**

Research Activities of NGO to Tackle Arsenic Problem in Bangladesh

Kazuyuki SUENAGA* and Research Group for Applied Geology (RGAG)**

Abstract

The groundwater contamination by Arsenic (As) becomes a serious problem for human health in Bangladesh; having more than 0.05mg/L in As concentration in widespread areas. The Research Group for Applied Geology (RGAG) carried out hydrogeological investigations at Samta village in western Bangladesh together with the Asia Arsenic Network (AAN), Bangladeshi scientists and the villagers.

The As concentration is higher in the first aquifer where most domestic wells tap, and the As content is higher in the upper muddy layer underlain by the first aquifer in Samta. The groundwater level steeply drops down in dry season when groundwater is extensively used for irrigation. It is possible that the As contamination is accelerated by the heavy groundwater pumpage.

It is necessary to make detailed investigations in the As affected areas for establishment of groundwater management system in Bangladesh. Interdisciplinary approaches with international collaboration are also needed to combat arsenic problems to be occurred in different places in the world.

Key Words: arsenic, groundwater contamination, Ganges delta, NGO, international cooperation, Bangladesh

* 末永環境地質調査事務所

** 事務局連絡先:

要 旨

バングラデシュでは国土の大半の地域で、地下水中ヒ素濃度が0.05 mg/Lを越えるという深刻な事態が発生している。応用地質研究会は、AANや地元研究者・住民らと協力して、水文地質学的調査を実施してきた。

調査の結果、地下水中ヒ素濃度は飲料水利用の多い帯水層で高く、地層中ヒ素含有量は主帯水層上位の泥質層で高いことが確認された。また、年間地下水位変動は農業用地下水利用時期に急激に低下しており、農業用地下水の過剰揚水がヒ素汚染の進行を促進している可能性がある。さらなる詳細な調査の実施とともに、地下水利用の管理体制を国家的規模で確立する必要がある。今後、世界各地で普遍的に起こりうる広域的地下水汚染問題に対し、専門分野の枠を越えた議論が展開されることが期待される。

キーワード：ヒ素、地下水汚染、ガンジスデルタ、非政府組織、国際協力、バングラデシュ

1. はじめに

現在、アジア地域を中心として地下水ヒ素汚染問題が顕在化し、多くの住民に健康被害が発生しつつある。ヒ素は元来地殻中に存在する鉱物であることから、地下水中にヒ素が検出される事例はしばしば知られており、日本国内においても表流水・地下水ともに基準値を超過することが最も多い項目となっている(環境庁、1999)。

地下水ヒ素汚染の原因は、鉱工業の廃棄物にともなう人工的なものと、鉱工業や農業の影響ともなわない自然的なものに区分できる(柴崎・吉村、2000)。前者には日本の宮崎県土呂久・松尾鉱山、新潟県中条町、タイ南部のロンピブン鉱山などがあり、後者には南米、ハンガリー、中国、ガンジスデルタ地域などがある(堀田、1997)。このうち、インド西ベンガル州とバングラデシュのほぼ全域に相当するガンジスデルタ地域は、世界で最も地下水ヒ素汚染の激しい地域であると言われている(Mandal *et al.*, 1996)。

インド西ベンガル州での地下水ヒ素汚染の発見が1980年代であったのに対し、バングラデシュでの公式の確認は1993年(Khan *et al.*, 1997)と約10年の差がある。この間インド西ベンガル州ではヒ素中毒患者の確認や緊急対策用の代替水源確保が進みつつあったが、バングラデシュでは未だに地

下水ヒ素汚染の全貌が把握できていない。政府や研究者、NGO組織などの水質調査や医療調査が行われるたびに、高濃度のヒ素汚染地域やヒ素中毒患者が新たに確認されるといった状況にあるが、世界最貧国のひとつであるバングラデシュでは調査・対策の進みも遅い。インド西ベンガル州のヒ素中毒患者は約20万人と見積もられているが(Mandal *et al.*, 1996)、バングラデシュでの患者数は政府機関も正確には把握していない。一方、ヒ素に汚染された井戸の分布範囲から想定して、約5,000万人がヒ素汚染の危機に曝されているとの指摘もあり(Dhar *et al.*, 1997)、汚染実態の把握と緊急対策用水源の確保が求められている。

筆者ら応用地質研究会(応地研)は、日本のNGOグループであるアジア砒素ネットワーク(AAN)とともに、バングラデシュや中国内モンゴルなどの現地調査を共同で継続してきた。本編ではとくにバングラデシュでの活動について、この間の経緯と現地調査で得られた結果を紹介するとともに、日本の水文地質学の経験が国際協力に果たすべき役割について議論したい。なお、中国内モンゴルでの活動の一部は、高・応用地質研究会内モンゴル地下水調査班(1999)によって報告されている。

2. バングラデシュの地下水ヒ素汚染の実態と地下水利用の歴史

2.1 地下水ヒ素汚染の実態

バングラデシュはヒマラヤ山脈を源流とする大河川(ガンジス川やブラマプトラ川など)の河口部に位置し、国土の大半が標高20m以下の平坦な地形を形作っている(図1)。年間降水量のほとんどが6~9月の雨季に集中しており、海岸部や河川沿いを中心に毎年のように水害が発生する。河川の氾濫とともに大量の土砂が供給され、バングラデシュの地下には洪水氾濫性堆積物やデルタ堆積物が厚く堆積している。これらの堆積物は砂層や砂礫層を主体としており(Umitsu, 1987)、きわめて良好な帯水層を構成している。

ところが、この帯水層中の地下水に高濃度のヒ素が含まれていることが、ここ数年の調査で明らかになってきた(Khan *et al.*, 1997; DCH, 1998; DfID, 1999)。地下水中のヒ素濃度は、高濃度のもので1 mg/Lを超えることがしばしば報告されており(Dhar *et al.*, 1997; DfID, 1999)、WHOの

旧ガイドラインの0.05 mg/Lを越える地域は国土の2/3以上に及んでいる(図2)。しかし、現時点では汚染機構解明にせまる科学的調査が始まったばかりであり、地下水ヒ素汚染問題の解決には多くの課題が残されている。

2.2 地下水利用の歴史と現状

バングラデシュでは、井戸が普及する以前は川や池の水を飲用に利用していたことから、伝染病による死者があとを絶たなかった。そのためユニセフなどの機関が中心となり、約20年まえから飲料用水の地下水への転換を奨励してきた。現在では、都市部の水源井の設置や農村部の手押しポンプ井戸の普及によって、国民の95%が飲料水を地下水に依存するまでになっている。雑菌を含まない安全な水源が得られたことと、川や池からの水汲みの重労働から解放されたことは、住民の生活習慣を大きく変化した。バングラデシュ国内に確実に定着してきた地下水利用は、住民の生活から切り離すことのできないものになっている。

また、1980年代後半に農業用井戸の利用が急速

図1 地形区分図(Islam, 1996をもとに作成)

Fig.1 Topographical map of Bangladesh. (Modified after Islam, 1996)

図2 ヒ素汚染分布図(DCH and SOES, 1997をもとに作成)

Fig.2 Arsenic contamination in groundwater of Bangladesh. (Modified after DCH and SOES, 1997)

に普及し、現在でも農業用水の需要は増大している(藤田、1993; Asia Arsenic Network *et al.*, 1999)。バングラデシュでは乾季と雨季の降水量の差がはっきりしており、乾季の水田耕作には、かんがい用水としての地下水が必要不可欠のものとなっている(写真1)。

3. 研究活動の経緯

3.1 応用地質研究会と AAN の活動

応地研ではバングラデシュの地下水ヒ素汚染機構解明のために、AANと協力し1996年より現地調査を継続してきた(応用地質研究会ヒ素汚染研究グループ; 1997)。1996年12月には応地研・AANの合同予備調査によって汚染地域の視察を行い、バングラデシュ西部のシャムタ(Samta)村を重点調査地域にすることを決めた(坂東・応用地質研究会、1997)。1997年3月には、AANと宮崎大学の研究者らが中心となり、シャムタ村に分布する全井戸(282井戸)を対象とした地下水水質調査を実施し、地下水ヒ素汚染の実態を明らかにした(横田ほか; 1997)。1997年10月からは、応地研・AAN・宮崎大学の合同調査チームを結成し、シャムタ村および隣接するデウリ(Deuli)村で地下水水質分析、地下水位測定、測量、調査ボーリングなどの総合的調査を実施している(工藤・寺崎、1998)。

写真1 乾季の農業用井戸

Photo 1 Irrigation well in dry season.

さらに、村内に観測用井戸を設置し、シャムタ村住民の協力によって地下水位が継続して測定されている。また、AANは独自の医療調査、村落調査を、シャムタ村を中心に実施している。

これらの現地調査と平行しながら、日本国内では試料分析やデータ解析を行い、その都度成果の到達点を確認している。1996年に始まった「アジア地下水ヒ素汚染フォーラム」は毎年実施され、2000年の今年は5回目を計画している。1998年のフォーラムでは、バングラデシュから5人の研究者や関係者を招待し、国際協力のあり方についても議論してきた(写真2)。

3.2 土呂久から始まったヒ素汚染問題への取り組み

AANがアジアのヒ素汚染問題に取り組み始めたのは1992年にさかのぼるが、さらに20年以上も前からヒ素中毒患者救済のための活動が続けられていた(川原、1988)。AANの母体となった組織は、宮崎県土呂久鉱山の鉱害問題に苦しむ住民を支援する会の人たちであった。土呂久鉱山では硫酸鉄鉱を焼くことで亜硫酸を大気中に放出し、住民に多くの健康被害を与えていた(川原、1980)。しかし、その実態が地元の教師によって世に知らされたのは、鉱山操業停止(1962年)から10年近く経過した1971年のことであった。その後15年間の

写真2 バングラデシュからの招待講演者ら(1998年11月)、右から三番目は在日バングラデシュ大使

Photo 2 Invited guest from Bangladesh (Nov. 1998). The third person from right side was Ambassador of Bangladesh.

裁判闘争を経て、1990年には鉈山主との和解が成立するに至った。そして現在、ヒ素中毒患者を支援してきた経験を、今度はアジアの各地でヒ素汚染に苦しむ住民のために活かそうと AAN が結成されたわけである(川原、1997)。

AAN は医療調査、社会調査、表流水調査などを中心に活動を実施しており、その取り組みは多方面から高く評価され、2000年3月に朝日新聞社主催の第1回朝日「明日への環境賞」を受賞した(朝日新聞、2000年3月5日記事)。現在、AAN はバングラデシュの首都ダッカ市に現地事務所を開設し、現地に根付いた本格的な活動を展開している。

3.3 学際的・国際的研究を目指した活動

AAN が医療・社会調査などを中心に活動を進める一方、応地研は多くの関係者と協力しながら、団体研究方式による水文地質学的調査を継続している。応地研会員は民間企業や自治体の技術者が中心となり構成されていることから、国内外のさまざまな現場での経験を活かすことはできたが、試料分析などの研究条件には決して恵まれてはいなかった。そこで以前から AAN と協力関係にあった宮崎大学研究グループとの合同調査隊を結成することで、より総合的な研究活動を実現することが可能となった。また、活動を続けていく過程で、地球化学や鉈物理学の研究者も調査に加わり、地下水ヒ素汚染機構の解明にむけた活動を展開しつつある(山崎ほか、2000；新潟大学地下水ヒ素汚染研究グループ、2000)。

こうした学際的な取り組みに加えて、海外での活動において現地研究者や住民の協力が、大きな力となっている。バングラデシュ国内での既存資料の入手や種々の手続きなどには、現地の大学教官や国立研究所職員などが手助けしてくれている。また、シャムタ村住民は、われわれの現地調査の際に調査員として行動をとるに、日常的には地下水位の継続的な観測などで研究活動の一躍を担っている。

4. シャムタ村の地下水ヒ素汚染と水文地質的背景

応地研・AAN を中心としたシャムタ村とデウ

リ村での調査・研究活動は現在も継続中であるが、その中間段階の成果は、すでに Asia Arsenic Network *et al.* (1999) や応用地質研究会ヒ素汚染研究グループ・宮崎大学地下水ヒ素汚染研究グループ(2000)、山崎ほか(2000)、新潟大学地下水ヒ素汚染研究グループ(2000)に詳しく報告されているので、ここではその概要を紹介する。

4.1 地下水ヒ素汚染状況と地下水利用形態

シャムタ村の地下水ヒ素汚染状況は、横田ほか(1997)の現地でのヒ素簡易測定結果によると、WHO の飲料水基準値である 0.01 mg/L 以上の井戸が 96.5 %、バングラデシュの基準値である 0.05 mg/L 以上の井戸が 91.8 % にも及び、0.5 mg/L 以上の井戸でさえも 15.6 % という深刻な事態が確認された。さらにヒ素濃度の平面分布を見ると、村の南部に 0.5 mg/L を超える高濃度ヒ素を含む井戸が分布しており、北東部ほどヒ素濃度が低いという明瞭な特徴が見られた(図3)。これらは民家所有の井戸を主体としており、深度は20~40m である。

そのほかバングラデシュ政府のヒ素汚染対策用井戸(深度200~220m)が数本設置されているが、低濃度であってもヒ素は検出され、高いものでは 0.05 mg/L 以上を示すこともある。また、集落周辺の水田地帯には農業用井戸が設置されており、深度は30m 前後と90m 前後に分かれ、平均的なヒ素濃度は民家井戸ほど高くないが、高いものでは 0.3 mg/L に及ぶものもある。

4.2 地質と帯水層

シャムタ村とその周辺地域はきわめて平坦な地形を構成しているが、わずかの高度差から自然堤防、後背湿地、氾濫原などに区分される。既存資料と現地でのボーリング調査・検土杖調査などから、下位より下部砂質層、下部泥質層、上部砂質層、上部泥質層、最上部砂質層、および最上部泥質層の分布が確認された(図4)。上部泥質層の層厚は、シャムタ村北部で約10m、中央部から南側で約6m、北東部で約1~2m である。

これら各層は、下位より第二被圧帯水層、第二難透水層、第一被圧帯水層、第一難透水層、および不圧帯水層に相当する。シャムタ村で最も地下

図3 シャムタ村ヒ素汚染分布図(1997年3月)(Asia Arsenic Network *et al*, 1999)

Fig. 3 Arsenic contamination of groundwater in Samta (March, 1997). (Asia Arsenic Network *et al*, 1999 に一部加筆)

Layer	Lithological facies	Aquifer unit	Distribution depth(m)	Thickness(m)
Embankment(b)	silt and clay		0~1.5	0~1.5
Uppermost muddy layer (umm)	silt and clay		0~4	0~3
Uppermost sandy layer (ums)	very fine sand	Unconfined aquifer	1~6	0~3
Upper muddy layer (um)	silt and clay with organic materials	First aquitard	1~15	0.8~12
Upper sandy layer (us)	fine to medium sand	First confined aquifer	10~110	80~120
Lower muddy layer (lm)	sandy silt to very fine sand	Second aquitard	90~170	0~60
Lower sandy layer (ls)	fine to coarse sand with silt and granule layer	Second confined aquifer	90+	130+

図4 シャムタ村の地質層序と帯水層区分(応用地質研究会ヒ素汚染研究グループ・宮崎大学地下水ヒ素汚染研究グループ、2000)

Fig. 4 Stratigraphy and aquifer unit classification. (Research Group for Applied Geology, Sub-group for Arsenic Contamination and Miyazaki University Research Group for Arsenic Contamination in Groundwater, 2000)

水利用の多い、上部砂質層(第一被圧帯水層)の層相は、泥質層が一部挟在し細粒砂からなる上部と、中～粗粒砂を主体とする下部にさらに区分される。前述の地下水利用状況を対応させると、第一被圧帯水層上部は民家井戸と農業用井戸、第一被圧帯水層は農業用井戸、第二被圧帯水層は政府のヒ素汚染対策用井戸が取水対象としている。第一被圧帯水層から第二被圧帯水層にかけては、浅層から深層に向かって地下水中ヒ素濃度が高くなる傾向が顕著に現れている(図5)。

4.3 地層中のヒ素含有量

シャムタ村中央部の深度64mのボーリング試料とシャムタ村およびデウリ村での深度約15mのボーリング試料についてヒ素含有量の分析を行ったところ、すべての地点において上部泥質層のヒ素含有量が高く、上部砂質層は比較的低い値を示した(図6、図7)。さらに上部泥質層の中でも、とくに有機質堆積物中のヒ素含有量が高いという特徴が認められた。また、ヒ素と鉄の含有量には、上部泥質層、上部砂質層ともに、良い相関が認められる。

前述の地下水中ヒ素濃度が浅層の帯水層ほど高いという特徴を考えると、上部泥質層中に含有されるヒ素が地下水中に溶出することで、地下水ヒ素汚染が発生していると想定される。一方、上部

泥質層は層厚変化が激しく(1~15m)、この層厚の違いが地下水中ヒ素濃度の地域性に影響している可能性も考えられ、泥質層堆積時の古環境復元が重要な鍵を握っている。

4.4 地下水位変動特性

筆者らはシャムタ村とデウリ村に27本の地下水位観測井を設置し、現在シャムタ村住民の協力によって18本の観測が継続されている。最も観測期間の長いものでは、1998年5月以降の観測値が得られている(図8)。

地下水位は地表面下約2~8mの範囲で変動しており、1年の周期的変動が顕著に現れている。変動の特性は、1~4月の水位低下期、5~7月の水位上昇期、8~12月の高水位期に大まかに区分できる。バングラデシュの気象条件は、6~9

図5 シャムタ村の帯水層とヒ素濃度分布概念図 (Asia Arsenic Network *et al.*, 1999)

Fig. 5 Schema of arsenic concentration in Samta. (Asia Arsenic Network *et al.*, 1999)

図6 ボーリング柱状図(64m)とヒ素含有量・溶出量および鉄含有量(Asia Arsenic Network *et al.*, 1999): 地点位置は図3 参照

Fig. 6 As content, elution and Fe content of boring core samples in Samta. (Asia Arsenic Network *et al.*, 1999)

図7 ボーリング柱状図(15m)とヒ素・鉄含有量(応用地質研究会ヒ素汚染研究グループ・宮崎大学地下水ヒ素汚染研究グループ、2000): 地点位置は図3 参照

Fig. 7 Contents of As and Fe in core samples. (Research Group for Applied Geology, Sub-group for Arsenic Contamination and Miyazaki University Research Group for Arsenic Contamination in Groundwater, 2000)

図8 シャムタ村中央部の観測井における地下水位変動

Fig. 8 Changes in groundwater level measured at observation well in the central Samta.

月が雨季の中心であり、シャムタ村の地下水位変動特性にも強く反映されている。しかし、1~4月の急激な地下水位の低下は、ほぼ同時期に集中する農業用地下水の揚水に起因しているものと判断される。

4.5 シャムタ調査の到達点と課題

ヒ素の地下水中での挙動には酸化還元条件の変化が重要な要素となっており(島田、1998)、バングラデシュの地下水ヒ素汚染機構についてもさまざまな方向からの議論が起こっている。Das *et al.* (1996) はインド西ベンガル州での調査経験から酸化環境下でのヒ素溶出を指摘しているが、バングラデシュでの最近の研究では還元環境下での溶出を示唆する研究が見られる(Nickson *et al.*, 1999; 山崎ほか、2000; 新潟大学地下水ヒ素汚染研究グループ、2000)。

ヒ素の溶出機構についてはまだ多くの課題が残されているが、シャムタ村の調査では以下の点が多明らになった。

- (1) シャムタ村では第一被圧帯水層(上部砂質層)と第二被圧帯水層(下部砂質層)が主帯水層になっており、とくに第一被圧帯水層上部(深度約10~50m)の地下水中ヒ素濃度が高い。
- (2) 第一被圧帯水層上部の地下水中ヒ素濃度はシャムタ村北東部から南部にかけて高濃度化し、最も高いものでは1 mg/Lを超える。
- (3) シャムタ村およびデウリ村の地層中ヒ素含有量は上部泥質層中で高く、とくに有機質堆積物中で高い。
- (4) 第一被圧帯水層の年間地下水位変動特性には雨季と乾季の周期性を確認できるが、乾季の農業用井戸稼動時期の水位低下はより顕著であり、降水量の影響に加えて人為的影響の強いことが読み取れる。

以上のことを総合的に検討すると、主として農業用地下水の過剰揚水が、漏水や絞り出し現象を伴うような垂直方向の地下水流動を生じさせ、本来の地下水循環系のバランスを崩していることが考えられる。そのことで、地下の酸化還元条件の変化が促進され、ヒ素汚染の進行を加速させている可能性がある。また、農業増産に伴う肥料使用量の増大や、人口増加に伴うし尿の無秩序な拡散

などが、地下での環境変化を引き起こし、地質的な汚染の進行を(ヒ素汚染も含めて)招いている可能性も指摘されている(山崎ほか、2000)。今後は、より詳細かつ多角的な調査によって地下水ヒ素汚染機構を解明するとともに、地下水利用の管理体制を国家的規模で確立する必要がある。

5. 住民に安全な水を供給するために

5.1 応地研の今後の活動

応地研の活動はすでに述べたとおり、AAN・宮崎大学グループと協力しながら、シャムタ村の現地調査を中心に実施してきた。さらに、毎年ヒ素汚染フォーラムを企画することで議論を深めながら調査結果の解析を進め、中間段階での成果を公表してきた(Asia Arsenic Network *et al.*, 1999; 応地研研究会ヒ素汚染研究グループ・宮崎大学地下水ヒ素汚染研究グループ、2000)。

そのような応地研の活動上の資金は、トヨタ財団、イオングループ環境財団、全労済の研究助成を得ることで確保してきた。しかし、研究助成から支出できない調査参加者の渡航費、滞在費などは、原則として個人負担によるボランティア精神で維持してきた。また、メンバーの大半が日常業務の合間をぬっての参加形態であったことから、現地調査は年末や4~5月にかけての休暇時期にしか設定することができず、おのずと活動計画にも制限を加えざるを得なかった。とくに4~5月はバングラデシュの年間で最も暑い時期に相当し、日中気温が40℃を超える過酷な条件での現地調査であった。

それでも活動を継続して来られたのは、AANや現地の研究者らのヒ素汚染問題解決に向けた情熱がわれわれにも伝わってきたからだと考えている。宮崎大学の研究者や途中から調査に加わってくれた大学関係の研究者からは、応地研メンバーだけでは対応できない各種分析・計測作業を引き受けてもらえた。

バングラデシュでの地下水ヒ素汚染問題が表面化したとき、先進国や国際援助機関は現状把握に終始し、具体的な対応が取れぬまま時間が経過していた。AANや応地研がNGOという組織形態だったからこそ、現場の問題に機敏に対応できた

ものと考えている。現在、多くの先進国や援助機関が本格的な調査に乗り出しつつあり、その背景には AAN や応地研の活動が多少なりとも刺激剤になったのではないかと自負している。先に述べたとおり、資金的・研究条件的制約から大規模な調査は応地研の活動範囲を超えてしまうこともあるが、それらについてはバングラデシュ政府や国際機関の活動に期待しつつ、応地研としても積極的な提言を行って行きたい。応地研は今後も NGO 組織だからこそできる、地に足の着いた活動を現地研究者や住民らとともに進めていきたいと思っている。

5.2 AAN の今後の活動

応地研が宮崎大学グループと共同で水文地質調査を実施する一方、AAN はヒ素中毒患者の医療診断調査、村の経済社会調査、雨水利用調査などを進めてきた。また、AAN と宮崎大学グループが協力して、PSF (池水浄化装置) を建設した。PSF は、池の水を礫の間を通してながら緩速ろ過によって浄化するシステム装置で、この PSF 建設が、地下水以外の代替水源として注目されているとともに、運営主体を住民に求めるものであり、村の自治体制確立への可能性を秘めている。

これらの活動は今後も必要に応じて実施されていくであろうが、さらに現在 AAN は新たな計画を準備中である。それは、シャムタでの経験をより広い地域に活かしていくことであり、具体的構想として「移動式砒素センター」が計画されている。移動式砒素センターは、医師、技術者などが必要な機材・薬品等を搭載した車両に乗ってヒ素汚染地を巡回し、被害実態把握、代替水・治療指導、被害予防啓発などを行うものである。この活動は、地元 NGO との連携や住民参加を原則として考えており、草の根レベルでの新たな発想に関係各機関から大きな期待が寄せられている。

この移動式砒素センターは、まさに現地に根を下ろした活動でなければ、実現することはできない。そのため AAN は、2000 年春から首都ダッカに現地事務所を開設し、日本人とバングラデシュ人の専属スタッフの常駐体制を作り上げた。このような被害住民の救済を目指した献身的な NGO の活動に対して、われわれ学会に所属する研究

者・技術者はともに問題解決を目指すとともに、それぞれの立場での可能な支援を行っていくべきだと考える。

5.3 活動の中から生まれた国際協力の絆

バングラデシュは自然条件の厳しさと歴史的めぐり合わせから最貧国の現状を抜け出すことができず、援助が無くては国家の存在そのものが危ぶまれる現状にある。そして、そのことが、この国の援助依存体質を作ってしまったとも言われている。政府高官の汚職体質は消えることなく、援助は貧富の格差を助長するだけであるとの指摘もされている (ブリギッテ・エルラー、1987)。

しかし、筆者らが現地での活動を続けていく中で、その活動に真摯な立場で協力してくれる研究者に出会うことができたことは、われわれにとっては幸運であった。Rajshahi 大学地質鉱山学部の教授らは、活動開始当初現地に不慣れな筆者らを案内して、汚染地域の概査や既存資料の収集などに奔走してくれた。NIPSOM (国立予防社会医学研究所) の医師らは、現地調査時に地元住民と日本人メンバーの間をつないでくれ、調査期間中のあらゆることに気配りしてくれた。

さらに特筆すべきことは、自らがヒ素汚染の被害を受けている貧しい村の住民たちが、独自にヒ素対策委員会を結成し、われわれの現地調査活動を受け入れてくれたことである (写真 3)。先に述

写真 3 住民を含めた調査内容の打合せ (工藤・寺崎、1998)

Photo 3 Discussion of field survey with villager. (Kudo and Terasaki, 1998)

べたとおり、現地調査では住民が積極的に協力してくれ、地下水位の観測はシャムタ村ヒ素対策委員会のメンバーが交代で実施してくれている。その中心が、村の将来を背負って立つ青年らであることには、混沌としたバングラデシュの社会構造の中にもわずかな希望を見出すことができる。この住民自立化の動きも、応地研が現地に入る以前から、AANが住民とのふれあいを大切にしながら活動を続けてきたことの成果である。

5.4 住民のための科学を

現在バングラデシュでは、大半の住民が貧困生活の中で自らの命をつなぎ止めようと、日々の生活にあえいでいる。バングラデシュの豊富な水資源は、すべての住民に与えられていた唯一の宝であったはずが、今はその命さえも奪おうとしている。

先進国の恵まれた条件の中で学問・研究を進めることのできる、われわれ研究者・技術者が、お互いの専門分野を超えて協力し合うことが、今まさに求められている。とくに日本の研究者・技術者は、高度経済成長から現在にかけて激しい公害・環境問題に直面してきた。地下水分野に限って言えば、地下水盆管理の概念を導入した地盤沈下問題の克服や、水文地質学の基本を徹底的に実践してきた地下水汚染問題への技術開発などは、この地下水ヒ素汚染問題への重要な経験になると思われる。

世界に普遍的に起こりうるこの広域地下水汚染問題に対して、ぜひ日本国内でも、専門分野の枠を超えた議論が、積極的に展開されることを期待する。

参考文献

応用地質研究会ヒ素汚染研究グループ(1997): 地下水ヒ素汚染問題への今後の取り組み, 地学教育と科学運動特別号、アジア地下水ヒ素汚染問題を考える、116~119。
応用地質研究会ヒ素汚染研究グループ・宮崎大学地下水ヒ素汚染研究グループ(2000): 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文地質的背景, 地球科学, 54(2)、105~126。

川原一之(1980): 『口伝亜砒焼き谷』岩波新書、(黄版) 137、242p。
川原一之(1988): 『浄土むら土呂久—文明といのちの史記』築摩書房、236p。
川原一之(1997): 土呂久からアジア砒素ネットワークへ、地学教育と科学運動特別号、アジア地下水ヒ素汚染問題を考える、2~5。
環境庁(1999): 『平成11年版環境白書総説』環境庁編、486pp。
工藤周一・寺崎紘一(1998): バングラデシュ地下水ヒ素汚染問題の解明をめざして—シャムタ村ヒ素汚染調査報告—, 地学教育と科学運動、30、25~34。
高 存栄・応用地質研究会内モンゴル地下水調査班(1999): 内モンゴル河套平野における地下水ヒ素汚染, 地球科学、53(6)、434~451。
柴崎達雄・吉村尚久(2000): アジア地下水ヒ素汚染調査—NGOの救援活動と専門家集団の役割、日本の科学者、35(3)、32~36。
島田允堯(1998): 砒素含有地下水の地質環境—福岡県南地域を例にして—, 砒素をめぐる環境問題、地質環境と地球環境シリーズ4、東海大学出版会、95~116。
新潟大学地下水ヒ素汚染研究グループ(2000): 地下水ヒ素汚染の起源物質を含むバングラデシュ、シャムタ村ボーリング試料の構成鉱物とその特徴, 地球科学、54(2)、94~104。
坂東和郎・応用地質研究会(1997): バングラデシュにおけるヒ素含有地下水予備調査, 地学教育と科学運動特別号、アジア地下水ヒ素汚染問題を考える、88~94。
藤田幸一(1993): バングラデシュ農業発展論序説—技術選択に及ぼす農業構造の影響を中心に、農業経済研究所、30-37、56-57、66-69。
ブリギッテ・エルラー [伊藤明子訳](1987): 『死を招く援助—バングラデシュ開発援助紀行』亜紀書房、237p。
堀田宣之(1997): 地下水ヒ素汚染地域の地理学的状況, 地学教育と科学運動特別号、アジア地下水ヒ素汚染問題を考える、14~27。
山崎静子・石賀裕明・道前香緒里・東 直子・F. Ahmed・三瓶良和・M.H. Rahman・M.B. Islam(2000): 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)、81~

93.

横田 漠・田辺公子・秋吉康弘・川原一之・橋口三夫・
対馬幸枝・A.W. Khan, S.A. Ahmad, S.A. Hadi(1997):
ガンジスデルタ最大の地下水ヒ素汚染—シャムタ村
における調査結果—。地学教育と科学運動特別号、
アジア地下水ヒ素汚染問題を考える、95~104。

Asia Arsenic Network, Research Group for Applied
Geology and DOE, National Institute of Preventive
& Social Medicine (1999): Arsenic Contamination of
Groundwater in Bangladesh. Interim Report of the
Research at Samta Village, 90p.

Das D., G. Samanta, B.K. Mandal, T.R. Chowdhury,
C.R. Chanda, P.P. Chowdhury, G.K. Basu and D.
Chakraborti (1996): Arsenic in groundwater in six
district of West Bengal, India. *Environ. Geochem.
Health*, **18**(1), 5~15.

DCH and SOES (Dhaka Community Hospital Trust
and School of Environmental Studies, Jadavpur Uni-
versity) (1997) Groundwater Arsenic Contamination
in Bangladesh. In Arsenic Pollution in Groundwater
of Bangladesh, Dhaka Community Hospital Trust,
14p.

DCH (Dhaka Community Hospital Trust) (1998): The
arsenic problem in Bangladesh —An introduction to
the country and its arsenic situation. In: Proceedings
of International Conference on Arsenic Pollution of
Ground Water in Bangladesh, Causes, Effects and
Remedies, 27~30.

DfID (Department for International Development,
United Kingdom) (1999): Groundwater Studies for
arsenic contamination in Bangladesh. Phase I: Rapid
Investigation Phase, Final Report prepared for

DPHE by British Geological Survey and Mott
MacDonald Ltd.

Dhar K.R., B.K. Biswas, G. Samanta, B.K. Mandal, D.
Chakraborti, S. Roy, A. Jafar, A. Islam, G. Ara, S.
Kbir, A.W. Khan, S.A. Ahmed and S.A. Hadi (1997):
Groundwater arsenic calamity in Bangladesh. *Current
Science*, **73**(1), 48~59.

Islam A.M. (1996) Graphosman World Atlas. Graphos-
man, Bangladesh, 56p.

Khan A.W., S.A. Ahmad, M.H.S.U. Sayed, S.A. Hadi,
M.H. Khan, M.A. Jalil, R. Ahmed and M.H. Faru-
quee (1997): Arsenic contamination in ground water
and its effect on human health with particular refer-
ence to Bangladesh. *Journal of Preventive & Social
Medicine*, **16**, 65~73.

Mandal B.K., T.R. Chowdhury, G. Samanta, G.K. Basu,
P.P. Chowdhury, C.R. Chanda, D. Lodth, N.K. Karan,
R.K. Dhara, D.K. Tamili, D. Das, K.C. Saha and D.
Chakraborty (1996): Arsenic in groundwater in seven
districts of West Bengal, India —The biggest arsenic
calamity in the world. *Current Science*, **70**(11), 976~
986.

Nickson R.T., J.M. McArthur, P. Ravenscroft, W.G.
Burgess, K.M. Ahmed (1999): Mechanism of arsenic
release to groundwater, Bangladesh and West Bengal.
Applied Geochemistry, **15**(4), 1~10.

Umitsu M. (1987) Late Quaternary Sedimentary Envi-
ronment and Landform Evolution in the Bengal Low-
land. *Geographical Review of Japan* (Ser B), **60**, 164
~178.

(受付: 2000年5月9日、受理: 2000年10月14日)