

バングラデシュのヒ素汚染問題におけるシステム論的アプローチに関する基礎的考察

Basic Study toward the Approach with Systems Analysis on the Arsenic Problem in Bangladesh

山村 尊房¹・萩原 良巳²・坂本 麻衣子³・畑山 満則²・酒井 彰⁴・萩原清子⁵

Sombo T Yamamura・Yoshimi Hagihara・Maiko Sakamoto・Michinori Hatayama・Akira Sakai・Kiyoko Hagihara

ABSTRACT: Factors of disaster in Bangladesh can be classified into natural ones and socio-environmental ones. Natural disaster in Bangladesh include flood, water shortage, arsenic pollution and salt intrusion, whereas socio-environmental one can be classified more minutely into socio-environmental destruction factors, socio-environmental pollution factors, and socio-environmental culture factors. Although each one is important problem individually, there exist mutual relations. In many cases of the technical cooperation in the past, attention was paid only to individual problem and interrelations were overlooked due to the constraint of the data. In this study, we consider society and environment as a system and try to clarify problem and discuss measure method as the system. For this purpose, we pay attention to the arsenic problem of drinking water in Bangladesh, and discuss future approach toward the systems analysis.

KEYWORDS: natural disaster, socio-environmental disaster, interrelations, arsenic in drinking water, systems analysis

1 はじめに

バングラデシュにおける災害は自然災害と社会環境災害があり、自然災害には洪水、渇水、ヒ素汚染、塩害があり、環境災害には、環境破壊災害、環境汚染災害、環境文化災害の側面がある。これらはそれぞれが個別に重要な問題である一方、相互の関連を持って存在している。従来の発展途上国における技術援助においてはデータの制約条件からとかく個々の問題のみが着目され、相互関係は見過ごされがちであった。本稿では、社会と環境をシステムとしてとらえ、問題を明確化して対策方法を論じるための方法について考察する。そのため、バングラデシュの飲料水のヒ素汚染に着目し、システム論的アプローチによる取り組みと今後の研究課題について述べる。

2 バングラデシュの自然的社会的環境条件と災害

2. 1 自然災害

(1) 洪水¹⁾

バングラデシュでは国土の7%が河川によって占められ、頻繁に洪水に見舞われ、例年のように訪れる大規模洪水はバングラデシュに壊滅的な影響を及ぼしている。最近では1987年、1988年、1998年の大水害の被害がよく知られている。洪水は上流域の大雨、大規模なサイクロンによる降水、潮流、またヒマラヤ山脈の雪解け水の流入によるフラッシュに起因する。

¹ アジア太平洋地球変動研究ネットワークセンター Asia Pacific Network for GLOBAL Change Research

² 京都大学 防災研究所 Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

³ 京都大学大学院 工学研究科 Graduate School, Kyoto University

⁴ 流通科学大学 University of Marketing and Distribution Sciences

⁵ 東京都立大学 都市研究所 Center for Urban Studies, Tokyo Metropolitan University

1987 年、バングラデシュ北西部を襲った大洪水は、その被害の大きさから「60 年ぶり」といわれた。国土の 4 分の 1 以上が洪水の被害を受け、700 人以上が死亡し、被災者は 1,800 万人に達した。1988 年には前年を上回る大規模洪水がバングラデシュを襲った。国土の 4 分の 3 が冠水し、死者は約 2,000 人、被災者は 3,500 万人を記録した。約 72 万戸の家屋と約 1,300 の橋が流失し、10 万頭の家畜が溺死した。首都ダッカも冠水し、空港も閉鎖され、事実上、バングラデシュの経済活動はマヒ状態となった。この年の洪水は「100 年に一度の大洪水」「史上最悪の大水害」と呼ばれる。

(2) 渇水

ガンジス河の全長は 2,476km で、うちバングラデシュにおける河長は 305km である。渇水は 3, 4, 5 月に発生し、渇水の度合が米栽培に大きな影響を及ぼす。渇水被害は、バングラデシュ北西部において報告されている。この Barendra 地域は、ガンジス河による渇水の影響を大きく受け、河道や流量が安定していないガンジス河の表流水のみに頼る米作は不確実性が大きかった。そこで、政府は 1987 年にプロジェクトを立ち上げ、砂漠でも住んでいなかった土地に深井戸を掘削し、地下水を主とした整備を行っていった。政府による灌漑プロジェクトは功を奏し、最近ではかつてに比べ渇水被害は軽減し、マスタード畑が広がっている。

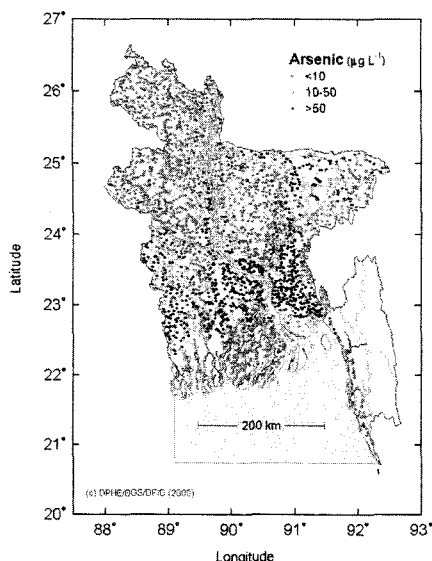


図-1 ヒ素汚染被害の分布図

(出典 DPHE/BGS/DFC 2000)

いる。これらの水源の利用によってヒ素汚染の可能性はかなり軽減できるものの、渇水時のガンジス河の水量は乏しいこと、また水道システムの導入には費用がかかることといった問題がある。深井戸の掘削による代替水源の確保は、現在、政府によって進められているが、数百万本にのぼる汚染井戸の代替になるには程遠いし、深水層への汚染の拡大も懸念されている。このため、多くの国民は依然として飲料水をヒ素に汚染された家庭用井戸(tubewell)に頼り続けている。

(4) 海岸の浸食および地下水の塩水化

(3) 地下水のヒ素汚染

バングラデシュでは全国規模での自然発生的な地下水ヒ素汚染が重大な問題となっている。図-1 にヒ素汚染被害の分布図を示す。政府の飲料水基準である 50ppb を超える水を飲んでいる人口は 2800 万から 3500 万人にのぼり、WHO のガイドライン値である 10ppb を超える水を飲んでいる人口はこれをさらに上回る³⁾。地下水のヒ素汚染は全国的な現象ではあるが、特にバングラデシュ南東部で被害が深刻である。

対策が困難な理由のひとつに、地下水の利用が 1 千万本を超える家庭用の井戸(tubewell)に依存しており、集中した水道システムが普及していないことが挙げられる。安全な水を飲む以外、ヒ素汚染の被害の予防対策はなく、患者に対する抜本的な治療方法は存在しない。現在の被害者の症状は皮膚の角質化などが主なものであるが、このままヒ素に汚染された水の利用が続けられた場合、近い将来に 20 万から 27 万人のがん患者の発生が懸念されている⁴⁾。一方、河川表流水や地中深く(100m 以上)まで掘った井戸の水のヒ素濃度は政府基準値以下であることが知られて

南部の海岸では年々海水位が上昇し、灌漑や飲料水の確保に影響を及ぼすようになってきている。これは最近 10 年ほどで見られるようになった現象で、気候の変動との関連が調査されている。

2. 2 環境災害

(1) 環境破壊災害

1987、1988 年当時は、洪水に対する対策が手薄であったため、全国的に甚大な被害を受けた。この経験をもとにバングラデシュ政府は洪水対策を講じ、特に首都ダッカを堤防で囲むことによって、さながら一大輪中地帯を形成し被害軽減を図った。1998 年には今世紀最大といわれる規模の洪水がバングラデシュを襲ったが、1987 年、1988 年の経験から進められた洪水対策施設整備が功を奏し、洪水による直接的な被害は大幅に軽減した。しかし、今度は堤防で囲まれていたため都市部での水の引きが悪くなり、およそ 1 ヶ月ほども市内に水が滞っていた。このような点から、都市部では 1987 年、1988 年と 1998 年の洪水は質の異なる被害をもたらしたといえる。

一方で都市部を守る堤防が作られはしたが、それ以外の地域では洪水対策はまだまだ十分ではなく、ガンジス河沿いには河岸の侵食を守るための護岸と堤防の間に現在でも村落が形成されており、1998 年の堤防を越えるほどの洪水ではこれら地域の住民に被害が大きかった。

(2) 環境汚染災害

衛生的な排水設備は郊外ではもちろん、都市部でも普及率は低い。都市部のスラムでは下水が側溝に処理されることなく放流され、汚水が滞留しているため、住民はこうした河川や汚染のある浅い井戸から生活用水を取水する。バングラデシュにおける環境汚染災害として下水による飲料水源汚染は、ヒ素汚染問題とともに依然として重要な項目にあげられる。

都市部のスラムには政府管理下におかれている地域と管理外の地域がある。一部のスラムでは、地下にし尿タンクを作りメタンガスを発生させて数個の家庭に火力源として供給することにより、地下水汚染を軽減しているところもある。管理外のスラムでは下水に関する設備は整えられておらず、垂れ流しとなっている。管理外のスラムは洪水によって家屋を失った人々が都市部へ集まり、形成されたものである。この点で、環境汚染災害の要因も他の災害と根深く繋がっているといえる。

(3) 環境文化災害

① 人口増加

バングラデシュの独立後の人口増加はそれ以前に比べて爆発的なものである。1960 年（東パキスタン）の 5158 万人から、2000 年の 1 億 2919 万人まで過去 40 年間で人口は 2.5 倍に増えた。このような人口変動は自然増加によるものに併せ、高い死亡率に打ち勝つために高い出生率を維持しなければならないという長い間の慣習、人々の価値観なども大きな原因となっている²⁾。人口密度は 1996 年に全国平均で 831 人/km² となっているが、都市部への人口集中が激しく、ダッカでは 1,214 人/km² に及ぶ。人口増加が衰えを見せる気配は今のところなく、今後都市化のいっそうの進展とともに乾季における水資源の不足は今後ますます逼迫した問題となることが予想される。

② 識字率の低さ

社会災害のひとつとして、識字率の低さがあげられる。図-2 にバングラデシュにおける識字率の分布図を示す。1996 年の調査によると全国平均で 44.8%、都心部は 49.2% と高めであり、最も低い地区では 27.7% である。識字率の低さはバングラデシュにおける種々の災害問題に取り組む人材の不足を招く。そしてすばらしい知恵や知識があっても文字を解せない人々には伝達されにくく、こういった財産の蓄積を阻むことに

なる。

ヒ素汚染の対策においても識字率の低さが災害対策を滞らせる可能性がある。バングラデシュのヒ素汚染対策は地中深く井戸を掘ったり、水道施設を建設したりといった抜本的なものが長期的には必要となるとしても、数が極めて多い家庭用の井戸(tubewell)の問題に対処するためには、まず簡易な浄水装置を用いる必要がある。しかし、こうした家庭レベルでの対処方策を伝達するためには識字率の低さが大きな問題となる。使用方法を教える者も長期間同じ地域に滞在できるわけではない。文字として情報を伝達できないことはヒ素汚染対策にとって大きな阻害要因になっているといえる。

3 バングラデシュのヒ素汚染問題におけるシステム論的アプローチと今後の研究課題

以上で述べたように、バングラデシュは多くの困難な自然的、社会的条件を抱えている。バングラデシュにおける安全な飲料水の確保に関して阻害要因となるものは、自然発生的な渇水や塩害化、ヒ素汚染、社会的災害、などと多岐にわたる。バ

ングラデシュのヒ素問題は、1993年にその存在が明らかとなったが、問題の大きさや範囲が明らかになるまでに5年近くを要した。その後、世界から多くの援助が向けられるようになってきているが、本格的な取り組みが行われるようになってから、まだ5年ほどしか経っていない。また、これまでとられてきている対策の多くは応急的なものであったり、対策技術の適用可能性を試験するためのものであったりと、まだ抜本的な対策の確立までには至っていない。さらにこうした対策が地域の人々に受け入れられ、定着していくようにするための中長期的な観点からの施策は確立されていない。とりわけ、病原生物汚染の解決方策として推進された家庭用井戸(tubewell)の掘削利用がヒ素問題という別の新たな問題を起こした事実そのものが、バングラデシュの安全な飲料水確保対策の難しさを如実に示している。

著者らは、対策の選択および実施にあたって、①対策の内容が別の問題を引き起こすものでないこと、②住民の受容可能性を重視したものであることが特に重要であることに着目し、問題解決におけるシステム論的アプローチに関する研究に着手している。ここでは、検討途上にあるいくつかの事項について述べることにする。

① 水に関係した災害と環境保健に関連したリスクの関係分析

その一環として、まず、KJ法を用いてバングラデシュにおける水に関係した災害と環境保健に関連したリスクに関わる要素について整理を行い、これらの関係を図-3で示した⁵⁾。この図では、バングラデシュにおける水に関係した災害として洪水、渇水、環境汚染災害に焦点をおき、これらの問題間の関係を示すとともに、適切な取り組みを阻害する周辺要因として、(i)爆発する都市人口の増大、(ii)不十分なインフラストラクチャー整備その他の条件、(iii)リスクコミュニケーションの難しさ、(iv)都市の劣悪な環境衛生が存在することを示している。これらの関係によって、洪水その他の自然災害が発生した時に被害が拡大され、ひとつの災害が新たな災害の誘因ともなり得る。飲料水のヒ素問題への取り組みにあたって、水に関係した

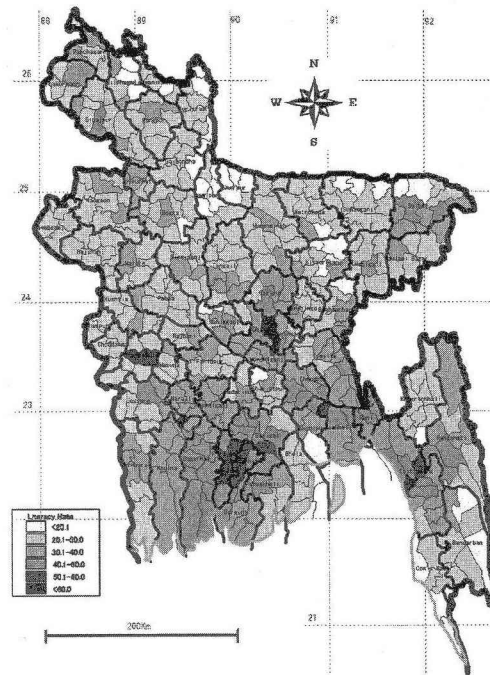


図-2 識字率

他の問題との関係に留意しつつ対策を選択していくことが必要である。その場合、災害の発生は、自然的な要因によるハザードの存在とこれに対する脆弱性(vulnerability)の存在が伴うことによって生じ、脆弱性の程度が災害の規模決定の重要な要素となることに注目し、脆弱性の分析と関係要素の定量化を行うことが必要と考える。ヒ素対策の実施に関しても、図-4に示したヒ素汚染問題と健康リスクの関係に留意しつつ、ハザード（汚染された地下水）、バリエラビリティの存在（バングラデシュにおける安全な飲料水供給の困難さ、住民の対応の可能性、対策実施上の障害など）の関係を明らかにしていくことが必要である。

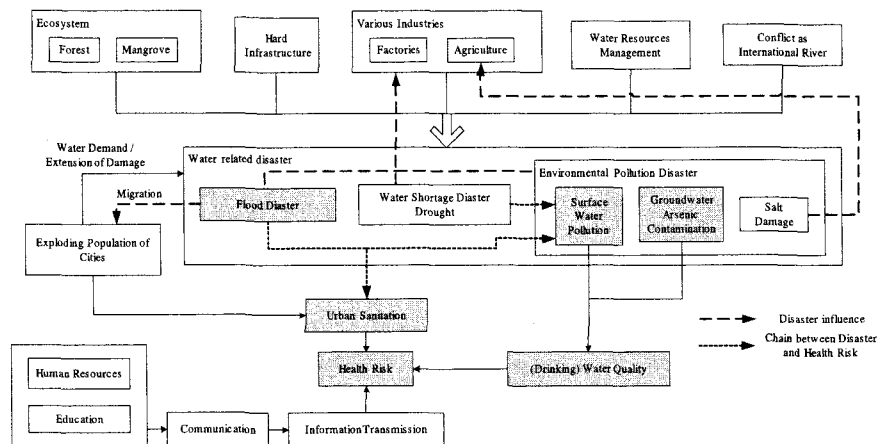


図-3 バングラデシュにおける水に関係した災害と環境保健に関連したリスクの関係

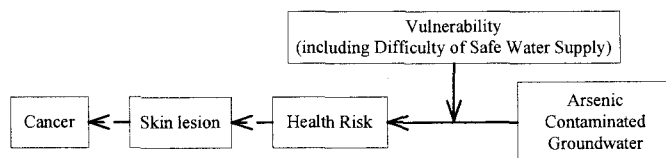


図 4 ヒ素汚染問題と健康リスク

② バングラデシュのヒ素汚染対策における社会的経済的環境条件の考慮

日本などの先進国における対策とバングラデシュのヒ素汚染対策が基本的に異なった条件の下にあることについての認識も重要である。すなわち、ヒ素汚染のような問題が先進国において発生した場合の対策は、ほとんどが集中供給システムである「水道」における対応であり、ある程度の費用負担を前提とすれば、システムの利用者と供給者間で技術的な改善策を合意することによって問題は解決できる。これに対して、集中供給システムのないバングラデシュにおいては、問題の存在、対策の必要性などに関する住民の教育からはじめなければならない。その場合問題となるのは、すでに述べた識字率の低さによる問題である。このような社会的経済的環境条件の考慮がバングラデシュにおける問題の取り組みにあたっては重要であり、この点では、先進国における問題よりもむしろ難しいものであるとの認識が必要である。

図-2に示した識字率を参照すれば、バングラデシュ南部において比較的高めとなっていることが分かる。ヒ素汚染の激しい南部において、このことは期待の持てる要素である。なぜなら、識字率が高いということは、すなわち裕福な人々が居住している地域であり、また教育を受けているものが多いということと結びつく。そして、このような人々の間ではヒ素汚染に対する認識と警戒が十分に行き交い、安価なヒ素除去装置の設置等の自衛策を進んで行うようになると考えられるからである。したがってバングラデシュ南部におけるヒ素

汚染被害はヒ素濃度そのものは高いが、住民が自ら対策を行っていく可能性があるため、ソフトな環境衛生教育プログラムを行うことが効率的かつ効果的であると考えられる。

一方、北東部と北西部は識字率が低い。識字率の低さは、ヒ素汚染に対する脆弱性であると考えられる。すなわち、ヒ素汚染に対する認識と警戒が情報伝達の効率の悪さにより希薄であること、また、たとえ対策しようにも資金が不足する者が多いと考えられることが識字率の低い地域の有するヒ素汚染に対する脆弱性であると考えられる

③ 対策を要する地域の拡大の可能性

ヒ素の流出プロセスは完全に明らかにされていないが、過去に河床であった場所に堆積した砒素に起因していると言われており、河床の変動によって潜在的なヒ素汚染が顕在化することが考えられる。バングラデシュはガンジス河・ブラマプトラ川・メグナ川によって形成されるデルタ地帯に位置し、河床が非常に変動しやすい場所にある。したがって、現在ヒ素汚染があまり深刻でない地域であっても潜在的にはヒ素汚染被害にさらされ得る地域であると考えられる。現在比較的汚染の少ない地域であっても河床の変動を考慮すればヒ素汚染の潜在地域であることが考えられる。いったんヒ素汚染が顕在化すれば、その影響は多くの人に及ぶ。最も汚染の激しいヒ素汚染地域への対策に続いて、これらの地域にも順次対策を拡大していくべきであると考えられる。

5. まとめ

本研究では、バングラデシュの災害の特性について自然災害と環境災害の両面から考察し、対策の阻害要因が多岐にわたることを確認した。その上で、バングラデシュのヒ素汚染問題におけるシステム論的アプローチとして、水に関係した災害と環境保健に関連したリスクの関係分析を行い、①飲料水のヒ素問題への取り組みにあたって、水に関係した他の問題との関係に留意しつつ対策を選択していくことが必要であること、②その場合、災害の発生は、自然的な要因によるハザードの存在とこれに対する脆弱性(vulnerability)の存在が伴うことによって生じ、脆弱性の程度が災害の規模決定の重要な要素となることに注目し、ヒ素対策の実施に関しても、ハザード（汚染された地下水）とパルネラビリティ（バングラデシュにおける安全な飲料水供給の困難さ、住民の対応の可能性、対策実施上の障害など）の関係を明らかにしていくことが必要であることを示した。

また、バングラデシュのヒ素汚染対策においては社会的経済的環境条件の考慮が重要であることを指摘し、地域における識字率の違いに着目して、対策に反映させるべきことを述べた。さらに、最も汚染の激しいヒ素汚染地域への対策に続いて、現在比較的汚染の少ない地域にも順次対策を拡大していく必要を指摘した。

今後は、①飲料水のヒ素汚染地域における実態調査と分析、②地域特性とヒ素汚染の関連分析、③地域特性に着目したヒ素汚染災害軽減のための代替案の設計と評価、④国際的援助のあり方と日本の役割の観点を含め、要素と全体の関係を把握するというシステムズ・アナリシスの特徴を生かした問題解決の計画方法論をさらに考察していく。

参考文献

- 1) KUBOTA GLOBAL INDEX---バングラデシュ「治水プロジェクト」;
http://giweb.kubota.co.jp/theme/vol_2/vol2_1.html
- 2) 田中治彦、南北問題と開発教育－地球市民として生きるために、亜紀書房、1994年
- 3) Heijnen, H. (2002), Arsenic in Bangladesh: State of Arsenic Exposure in Bangladesh, Presentation at National Institute of Public Health, Tokyo Japan, February 19, 2002
- 4) Smith, et al, (2000): Smith A.H., Lingas E.O., and Rahman M., 2000, Contamination of drinking-water by arsenic in Bangladesh: a public health emergency. Bulletin of the World Health Organization, v. 78, p. 1093-1103.
- 5) Sombo T. Yamamura, Akira Sakai, Bilqis Amin Hoque and Yoshimi Hagihara, Discussion on the Vulnerability Concerned with Water and Sanitation Related Risks in Bangladesh, IIASA-DPRI Symposium, July 2003