

## バングラデシュにおける 災害問題の実態と自然・社会特性との関連分析

萩原 良巳・萩原 清子<sup>1</sup>・Bilqis Amin Hoque<sup>2</sup>

山村 尊房<sup>3</sup>・畑山 満則・坂本 麻衣子<sup>4</sup>・宮城島 一彦<sup>5</sup>

<sup>1</sup> 東京都立大学都市科学研究科, <sup>2</sup> Environment and Population Research Center,

<sup>3</sup> アジア太平洋地球変動研究ネットワークセンター,

<sup>4</sup> 京都大学大学院工学研究科, <sup>5</sup> 京都大学交通土木学科

### 要 旨

バングラデシュの災害は自然災害と環境災害に分けて認識することができる。バングラデシュにおける自然災害は洪水, 渇水, ヒ素汚染, 塩害がある。環境災害は, 環境破壊災害, 環境汚染災害, 環境文化災害に分類することができる。環境文化災害としては人口増加, 識字率の低さ, インドとの間に発生するガンジス河をとりまく水資源コンフリクトをあげる。これらの視点からバングラデシュの水資源問題を明確にし, 最も総合的な問題であると考えられる飲料水のヒ素汚染に着目する。そして, ヒ素の分布と自然特性, 社会特性の関連を分析し, ヒ素汚染とガンジス河利用の問題解決の指針を考察する。

キーワード: バングラデシュ, 水資源問題, 飲料水ヒ素汚染, コンフリクト

### 1. バングラデシュにおける災害問題の概要

バングラデシュ(ベンガル人の国)は1945年にインドの一部として独立し, 1947年パキスタンの一部としてインドから分離独立し, パキスタン政府の東パキスタン軽視の国政に反発し, 第3次インド・パキスタン戦争の結果, 1971年独立を達成した。独立後30年を経たが, 国情が安定してから10年ほどしか経っていない。バングラデシュの地図を Fig. 1 に示す。

ガンジス河とこれに合流するブラマプトラ川・メグナ川から構成されるデルタ地帯の黄金のベンガルといわれた, かつては豊かな穀倉地帯の中心に位置していた。しかしながら, 宗教上の理由ならびに自然災害の厳しさから産児制限が許されず, 開発途上国共通の人口爆発を起こし, 世界の最貧国となっている。

1999年の推定人口は1.28億人で, 国土は約14.8万km<sup>2</sup>, 人口密度は860人/km<sup>2</sup>, 都市人口は20%で, そのうち首都のダッカ(約1,356万人)が53%を占めている。メガシティのダッカ以外で都市と呼べるのは, チッタゴン, クールナ, ラジシャヒぐらいである。また, 洪水氾濫域は国土の80%におよび, 河川などの水面面積6.7%, 耕作面積59%, 森林面積16%という, 典型的な農業国である。

つぎに, 一人当たりのGNPは350USドルで, 国内総生産では世界で140番目である。一日の栄養摂取量で見た極貧の人(Extreme Poor, 1800キロカロリー/日)が35.6%, 本当に貧乏な人(All Poor, 2100-2200キロカロリー/日)が53.1%である。そして, 識字率は50%未満(農村部では20%以下の地域も多い)である。さらに, 自然災害は火山災害を除けば, わが国の災害全てを有している。



Fig. 1 a Map of Bangladesh

災害は大きく自然災害と環境災害に分けて認識することができる。そして、環境災害は、

1)環境破壊災害, 2)環境汚染災害, 3)環境文化災害と分類することができる。自然災害は、外力として自然の力(豪雨・少雨, 台風, 地震, 火山噴火など)を人間社会に及ぼし、結果として人命や財産を奪う災害である。環境破壊災害は人間社会そのものが自然の力に対して脆弱な社会システムを構築することである。環境汚染災害は人間社会が物質を変換・貯留・輸送することにより有害化し、社会システムを脆弱化し災害を生じることである。環境文化災害は人間社会そのものが有する宗教や伝統などというある種の価値の体系による生活様式が、自然の外力や環境汚染に対して脆弱な社会システムに留まることである。そして、ほとんどの災害は、上記の4つの災害の組合せで生じているといえる。

このような視点で、バングラデシュの大災害を眺めてみれば、1987年洪水(国土の4分の1冠水, 死者700人以上, 被災者1,800万人以上), 1988年洪水(国土の4分の3冠水, 死者約2000人, 被災者3,500万人), 1998年洪水(国土の4分の3強冠水, 死者1000人, 被災者3,000万人)を自然災害とだけ見なしてよいのかということに疑問の余地がある。確かにヒマラヤの氷河から異常に出水したとか、サイクロンによる異常多雨が原因であるということではある。しかしながら、これらの原因による被害を増幅させたのは、ネパールやインドの耕作地のための森林伐採による環境破壊、出水期におけるバングラデシュ国境近くのインド側のファラッカ堰による膨大な人工的(man-made)放流なども無縁ではない。また、乾季におけるこの堰の影響で、下流のバングラデシュではガンジス河を徒歩で渡れるし、河川水量の減少が海水の地下水への浸入を許し、広大な耕作地の塩害が生じている。

さらに、この国を悩ませているのは全国的な飲料水のヒ素汚染である。ヒ素は本来どこにでも存在するもので、たとえば台湾では「黒足病」という風土病がある。バングラデシュの場合、何万年以上という年月でガンジス河やブラマプトラ川がベンガル湾に面したデルタ地帯に輸送・蓄積した。溜池の水などで飲料水を確保していたときには、住民は伝染病で悩まされ、このため浅井戸を掘削して飲料水を確保したとき、ヒ素中毒で悩むことになった。ヒ素汚染された飲料水を飲み続けていると、途中では様々なヒ素中毒症状が生じるが、30年飲み続けると、結局肝臓ガンになることがWHOから警告されている。問題はこの環境汚染災害が、自然災害の性質と環境文化災害の性質を共に有していることである。前述した、識字率の極端な低さと貧しさ、一神教(ユダヤ教, キリスト教, イスラム教)における原理的な意味での(事実は女性のみが家事を行っているのにもかかわらず)女性差別など、きわめて環境文化災害の要素も有していることに着目しなければならない。

上述したように、バングラデシュは災害のデパートである。本研究では、ガンジス河を中心とするバングラデシュの水資源問題を整理する。これはシステムズ・アナリシスの枠組みにおける問題の明確化にあたる。

発展途上国においては特に社会特性データの入手が困難である。しかし、災害問題は上述のように自然的要因と社会的要因によって構成され、効果的かつ効率的な対策を講じるためには社会特性についても考慮することが望ましい。本研究では、水資源問題を整理した上で、自然災害と環境文化災害により構成される環境汚染災害である飲料水のヒ素汚染の実態に特に着目し、限られたデータの中でどのように問題を明確化し、対策方法を論じるかについて分析する。

## 2. バングラデシュの水資源に関する問題

### 2.1 自然災害要因

バングラデシュの自然災害に起因する水資源問題として主に次の4つが挙げられる。

1. 洪水
2. 渇水
3. 井戸水のヒ素汚染
4. 気候変動による海岸の浸食および地下水の海水化

#### (1) 洪水(KUBOTA GLOBAL INDEX より)

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るが、同時に洪水は上流からの肥沃な土壌を運び豊かな実りをもたらす。バングラデシュが「黄金のベンガル」と呼ばれる由縁である。しかしながら、時折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す。最近では1987年、1988年、1998年に大水害に見舞われた。Fig. 2に示す洪水の原因別に地域分類した図によると、洪水は大規模なサイクロンによる降水や潮流、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していることが分かる。Fig. 3に示す一般的な洪水に対する脆弱性についての地域分類図からは、ガンジス河、ブラマプトラ川、ティスタ川といった大河川沿いが洪水被害にさらされやすいことが分かる。

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」、

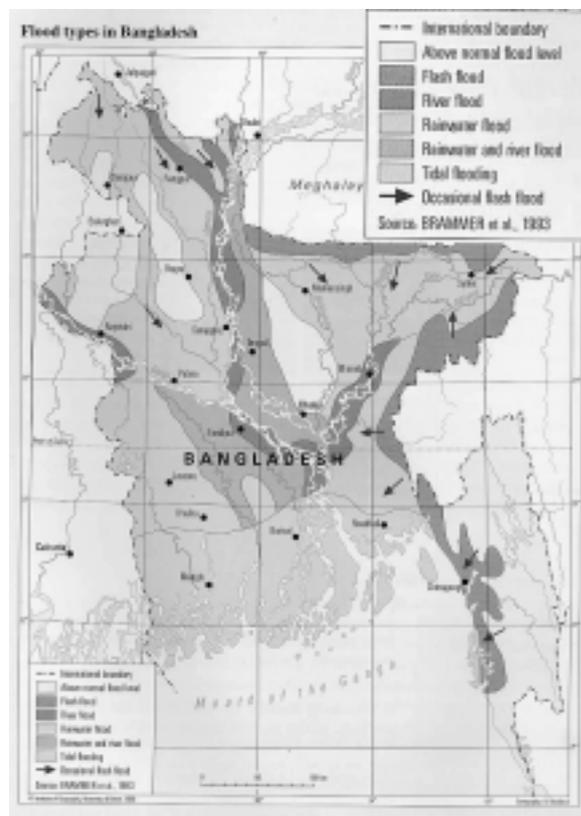


Fig. 2 Flood types in Bangladesh (Hossain, 1996)

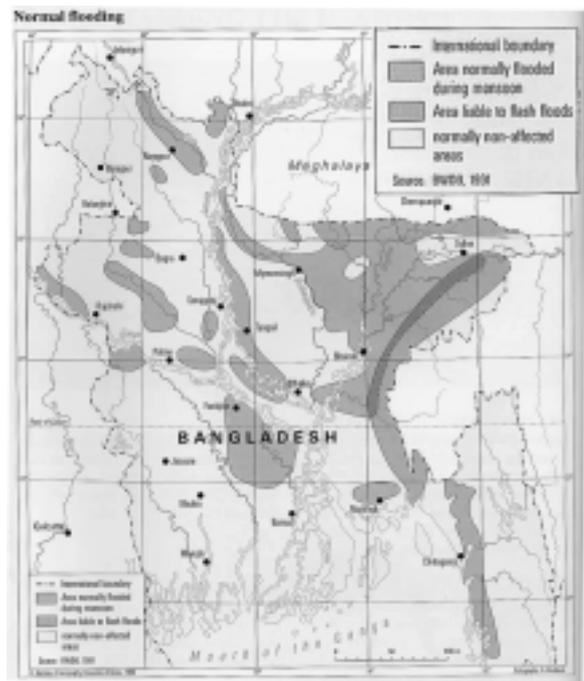


Fig. 3 Normal Flooding (Hossain, 1996)

「史上最悪の大水害」と呼ばれる。洪水による被害状況をFig. 4に示す。Fig. 4と比べれば、いかにバングラデシュ国内の広範囲に渡って被害を受けたかが分かる。

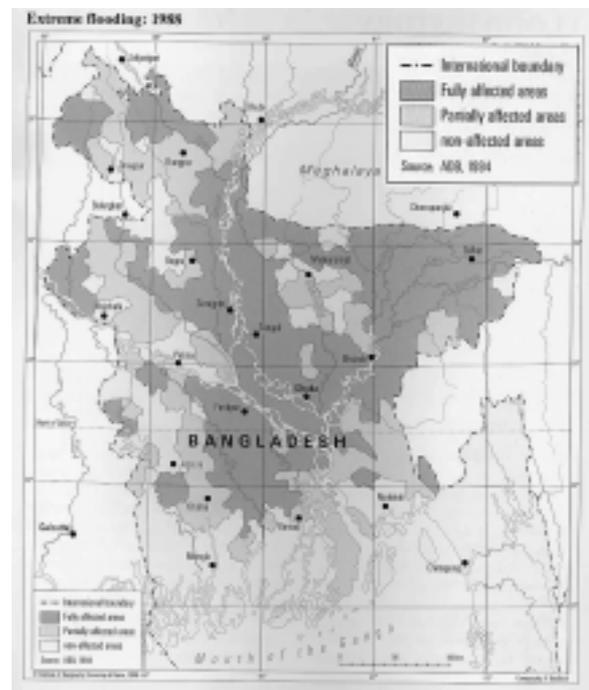


Fig. 4 1988 Flood (Hossain, 1996)

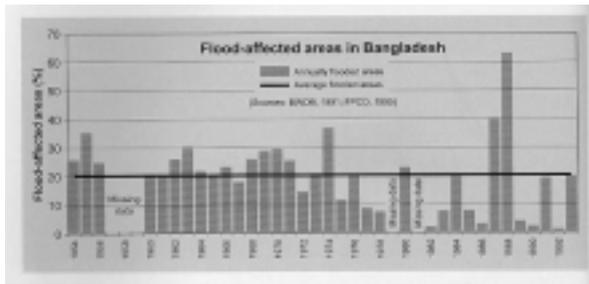


Fig. 5 Flood Affected Areas  
(United Nations University Press, 1988)

Fig. 5 に 1954～1992 年の間の洪水によって被害を受けた地域の面積の国土面積に対する割合を示す。1987, 1988 年当時, 初めて訪れるような規模の洪水に対して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 Photo 1 に示すような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。



Photo 1 Embankment Surrounding Dhaka

そうして, 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。国土の 4 分の 3 強が浸水し, 死者は 1,000 人, 一時非難者は 1,000 万人以上, 総被災者数は 3,000 万人にのぼった。

都市部を守る堤防が作られはしたが, 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村落が形成されており, 堤防を越えるほどの水はこれら住民を容赦なく襲った。

それでも, 1987 年, 1988 年の経験から進められた洪水対策が功を奏し, 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, 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。

## (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。Fig. 6 に渇水被害の状況を示す。図よりバングラデシュ北西部において渇水被害が大きいことが分かる。この地域は Barendra Multiple Development Authority (不毛地多目的開発機関) と呼ばれ, 最近ではバングラデシュ政府による渇水対策のプロジェクトが成功を収めている。

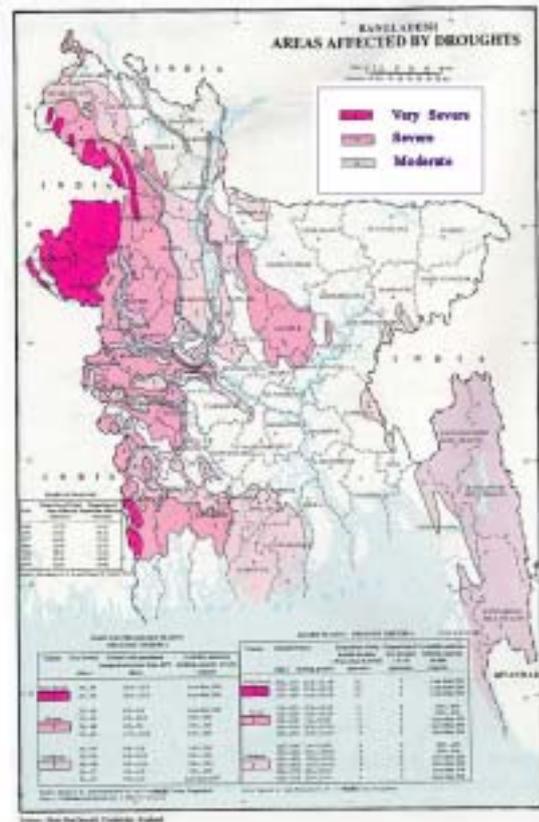


Fig. 6 Areas Affected by Droughts (Hossain, 1996)

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面流のみに頼る米作は不確実性が大きかった。そこで, 地下水による灌漑プロジェクトが立ち上げられ, 新しい地下水取水技術が開発されたことに伴い, 灌漑対策は成功を収めている。収穫量は以前の 3 倍となるまでに至っている。

この地域は 1950 年代にはイギリスの管理下であり, 織物産業が発達していたため, とても豊かであった。しかし, 綿栽培が土地の地力を低下させ, 1960 年代には水も枯れ, 飲み水すら満足に供給できない土地へと変化した。政府は 1987 年にプロジェクトを立ち上げ, 6,000～7,000 の deep well を掘削した。不確実性の大きい表流水に依る飲料水・灌漑対策を避け, 地下水を主とした整備を行っていった。

こうして 1987 年には砂漠で人も住んでいなかっ

たこの地に、現在は緑や黄色のマスタードの畑が広がり、他の地域からの移民が進み、当時とはまったく異なった景色となっている。

バングラデシュ政府は Barendra 地域の開発に多大な資金を投入し、現在プロジェクトは非常に上手く機能しているように見える。しかしながら、このプロジェクトにも問題はある。それは、政府がどれだけの長期的視野でもってこのプロジェクトを遂行しているのかが疑問符であるという点である。この地域の 10 年後の地下水位にプロジェクトが及ぼす影響を政府は考慮できていないようである。地下水量は表流量と関連があり、地下水を用いた対策はいつでも、やはりガンジス河の流量に依拠しているところが多く、不確実性に対する不安は未だにまだまだ存在していると考えられる。

Fig. 7 に耕作地として適している地域を示す。Fig. 6 と Fig. 7 を比較すれば、河川沿いで土壌が肥沃であり、渇水被害が深刻でない地域が耕作地として適しているといえる。



Fig. 7 Agricultural Suitable Region (Hossain, 1996)

### (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。Fig. 8 にヒ素汚染被害の分布図を示す。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。

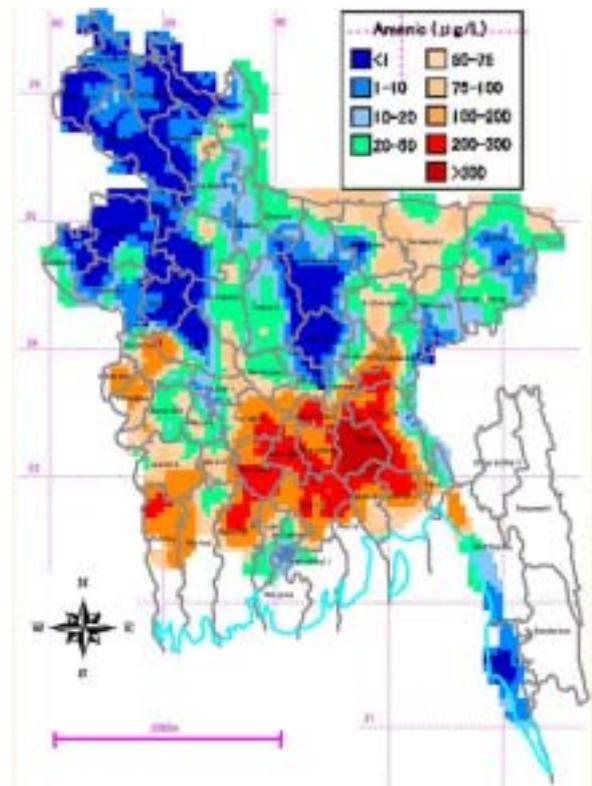


Fig. 8 Areas Affected by Arsenic

ヒ素の地下水への流出プロセスはまだ解明されておらず、対策が難しい。また、ヒ素汚染の被害者に対する有効な薬といったものもなく、特別なヒ素治療というものは存在しない。ヒ素に汚染された水を 30 年に及んで摂取し続け、ヒ素汚染被害が進めば、ほぼ肝臓ガンとして発病する。この場合に治療を施すならばガン患者用の治療となる。ヒ素汚染被害が初期～中期の患者にとっての有効な治療は、症状の現れている体の部位を切断し、安全な水を飲むように心がける以外ない。

河川の表流水や地中深くまで掘った井戸の水ならば、ヒ素汚染の可能性はかなり軽減する。しかし、渇水時のガンジス河の水量は乏しく、また深い井戸を掘るには費用がかかる。このため、貧しい人々の多くは飲料水をヒ素に汚染された（浅）井戸水に頼ることとなる。

バングラデシュ政府によるこれまでの調査を通して、バングラデシュ南部と東部において最も激しい汚染が観測されている。費用制約のある中、ヒ素汚染の軽減事業を行っていく上で、施策対象地域の優先順位を決める必要がある。そのためには、Fig. 8 に示す自然特性データに加え、人口分布や農産物分布といった社会特性データを重ね合わせ、ヒ素汚染の自然・社会特性の関連から被害ポテンシャルを明らかにすることが重要である。

本研究では GIS を用いて、このようなヒ素汚染被害ポテンシャルを明らかにする。

#### (4) 海岸の浸食および地下水の海水化

南部の海岸では Fig. 9 に示すように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。

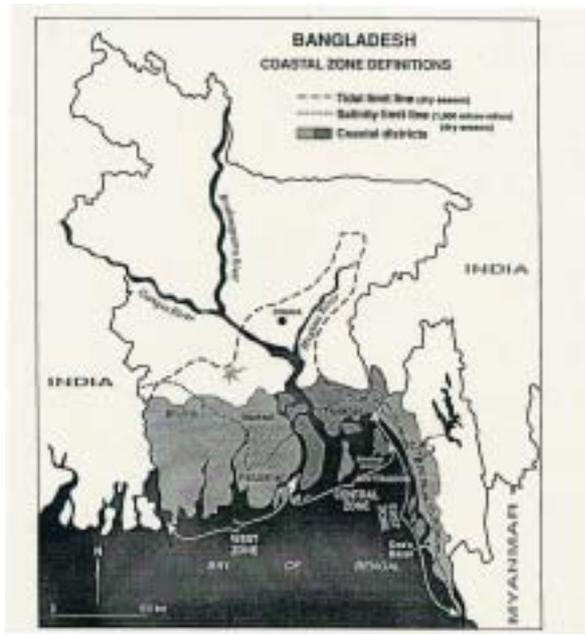


Fig. 9 Salinity

## 2.2 社会災害要因

バングラデシュの人口変動を Table 1 に、人口分布図を Fig. 10 に示す。

Table 1 Population Change (Rashid, 1977)

Year	Population
1872	2,200,000
1881	2,400,000
1891	2,610,000
1901	2,890,000
1911	3,160,000
1921	3,330,000
1931	3,560,000
1941	4,200,000
1951	4,210,000
1961	5,520,000
1974	7,720,000
1981	8,990,000
1991	10,990,000
1996	12,210,000

ここ 30 年間の人口増加はそれ以前に比べて爆発的なものであることが分かる。このような人口変動は自然増加によるものに併せ、ヒンズー教からイスラム教の改宗に伴うインドからバングラデシュへの

移民も大きな原因となっている。人口増加が衰えを見せる気配は今のところなく、水資源の不足は

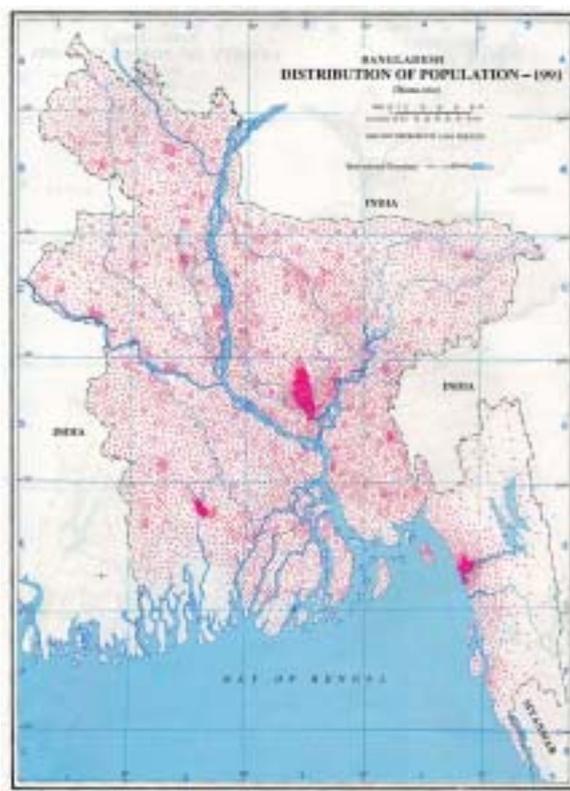


Fig. 10 Distribution of Population (Hossain, 1996)

今後ますます逼迫した問題となることが予想される。

人口密度は 1996 年に全国平均で 831 人/km<sup>2</sup> 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/km<sup>2</sup> にも及ぶ。都市部での乾季における水不足は大変逼迫した状況となると考えられるが、幸いガンジス河・ブラマプトラ川・メグナ川に挟まれるダッカは Fig. 7 から分かるように深刻な渇水被害には悩まされていない。渇水被害はバングラデシュ北西部において甚大であり、この原因は自然災害によるものもさることながら、インド・バングラデシュの国境付近にインドが建設したファラッカ堰に起因するところも大きいと考えられる。このような原因による渇水の発生はまさに社会災害といえる。ファラッカ堰に関しては次節で詳細に検討する。

社会災害のひとつとして、識字率の低さも挙げられる。Fig. 11 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%、都市部は 49.2% 高めであり、最も低い地区では 27.7% という数字が出ている。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込む人材の不足を招く。そしてすばらしい知恵や知識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。知恵の蓄積が困難

な国において、長期的な発展はあまり望めるものではない。

具体的にはヒ素汚染に対する処方策の問題がある。バングラデシュのヒ素汚染対策は何も地中深く井戸を掘ったり、大規模な浄化施設を建造したりといった大掛かりなものではか対処できないわけではない。比較的簡単な浄化装置を用いれば除去できる程度の汚染も多い。しかし、この装置の使用方法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。そして自らの身を振り返ってみれば思い当たることだが、ヒトは忘れる動物なのである。文字として情報を保管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。

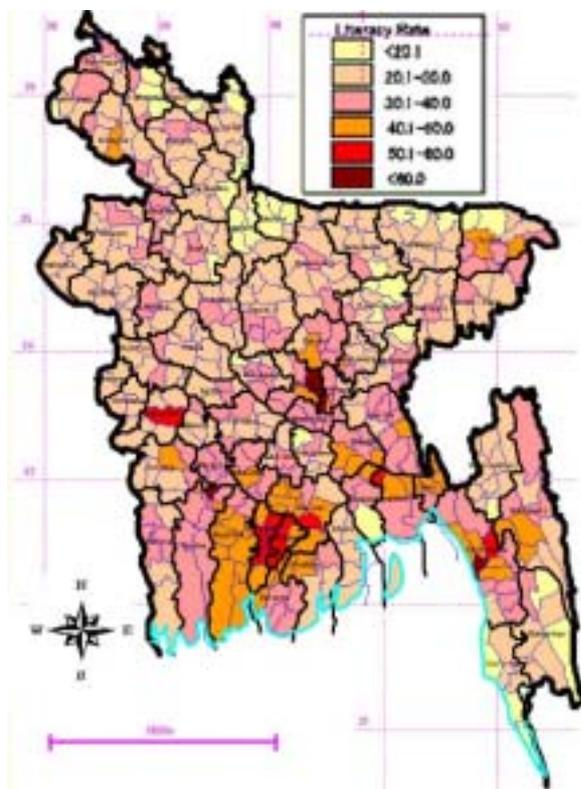


Fig. 11 Literacy Rate

## 2.3 国際コンフリクト災害要因

地下水のヒ素汚染はバングラデシュだけの問題ではない。バングラデシュのヒ素汚染問題は世界的に有名であるが、インドにおいても深刻な問題である。

井戸のヒ素汚染の特徴として、井戸ごとにヒ素汚染に関連があるわけではないということがある。ある井戸が安全だからといって、すぐそばにある井戸が汚染されていないとは限らないのだ。このような特徴のため、実態を明らかにする上で実際は各井戸を調査することが望ましいが、現段階でインド・バ

ングラデシュ国において調査が十分であるとは言い難い。河川の表流水や地中深くまで掘った井戸の水ならば、ヒ素汚染の可能性はかなり軽減する。しかし、深い井戸を掘るには費用がかかるため全国的には実現されていない。このような状況にあっては、住民はできるだけ河川の表流水を飲料水として利用したいところであろう。

インドとバングラデシュにおいては、このように渇水時はもちろんそれ以外の時期であっても、豊富で安全な水資源の確保が重要な課題となっている。インドとバングラデシュは Fig. 12 に示すようにガンジス河の上下流の関係にあり、両国間の抜き差しならない水資源に関する背景は、ガンジス河の利用に関して、インドとバングラデシュの間に水資源コンフリクト（紛争）を発生させている。Fig. 7 に示す渇水の図はガンジス河沿いに多く見られることが、この紛争の存在を明示している。このような側面でのバングラデシュにおける渇水と安全な飲料水不足は man-made な災害であるといえる。以下にガンジス河をとりまく 2 国間の水資源コンフリクトに関する経緯を示す。



Fig. 12 Farakka Barrage(Islam, 1987)

インドは 1975 年にガンジス河の国境付近に一方的にファラッカ堰を建設した。建設当初はインド・バングラデシュの間で暫定的な合意が成立した。その内容は「水量が最も少ない 4/21 にはインドはファラッカ堰で 310~350 m<sup>3</sup>/s を取水し、下流に 1,245~1,400 m<sup>3</sup>/s を放水する」というものであった。しかし、数ヶ月後に合意が切れるとインドは一方的に取水を開始した。後の 1977 年に再び協定締結に至るまでガンジス河の取水に関して両国間になら取り決めは存在しなかった。

1977 年に締結されたガンジス河水利権配分のための協定内容を Table 2 に示す。この協定は流量の少

なくなる乾季の水利権配分に関して結ばれたものである。なお、「乾季」の定義であるが、バングラデシュが11月～5月と主張していたのに対して、インドは3月～5月とするよう主張していた。結果は両者の妥協で1～5月となったという背景がある。1975年暫定合意よりもインドが多く取水できるようになり、バングラデシュが大幅に譲歩したものとなっている。インドに関しては「協定によって決められたバングラデシュの流量が80%を下回らないように対処する」というルールも定められた。この協定は1984年まで執行された。

Table 2 1977 Treaty (m<sup>3</sup>/s)

Month	Day	Flow 1948-73	Withdrawal by India	Release to Bangladesh
Jan	1-10	2,790	1,133	1,657
	11-20	2,542	1,090	1,451
	21-31	2,336	991	1,345
Feb	1-10	2,244	935	1,310
	11-20	2,096	892	1,204
	21-28	1,982	871	1,112
Mar	1-10	1,848	758	1,090
	11-20	1,798	722	1,076
	21-31	1,728	708	1,020
Apr	1-10	1,671	680	991
	11-20	1,572	588	984
	21-30	1,558	581	977
May	1-10	1,600	609	991
	11-20	1,678	680	998
	21-31	1,855	758	1,097

1996年に再びガンジス河水利権配分のための協定が締結された (Table 3)。原則的な配分ルールは Table 4 に示すように定められている。この協定は現在も執行中である。

1996年の協定ではバングラデシュが享受する水量が800m<sup>3</sup>/sを割り込む時期があり、1977～84年の協定と比べてもさらに譲歩したものとなっている。表4に示す原則的な配分ルールよりも明らかなように、インドには明らかに自国に確保しておきたい流量があり、それが満たされればあとはすべてバングラデシュに放流している。1,982 m<sup>3</sup>/sよりも流量が少ない期間の両国のトータル流量は、インドが6,562 m<sup>3</sup>/s、バングラデシュが6,504m<sup>3</sup>/sであり、ほぼ50%配分は守られているようである。

ファラッカ堰周辺は過剰なまでの警備体制が敷かれており、インドにおけるファラッカ堰の重要性を物語っている。いかに強引であったとはいえ、強国であるがゆえに可能となった一方的なファラッカ堰の建設と協定の締結は、インドにとっても死活問題であったのであろう。水資源の確保における弱肉

Table 3 1996 Treaty (m<sup>3</sup>/s)

Month	Day	Flow 1949-88	Withdrawal by India	Release to Bangladesh
Jan	1-10	3,045	1,133	1,912
	11-20	2,766	1,133	1,633
	21-31	2,553	1,133	1,420
Feb	1-10	2,445	1,133	1,312
	11-20	2,347	1,133	1,214
	21-28	2,240	1,133	1,107
Mar	1-10	2,108	1,116	991
	11-20	1,952	961	991
	21-31	1,832	991	841
Apr	1-10	1,789	798	991
	11-20	1,774	991	783
	21-30	1,727	736	991
May	1-10	1,907	991	916
	11-20	2,084	1,093	991
	21-31	2,318	1,133	1,185

Table 4 Rules of Allocation on 1996 Treaty (m<sup>3</sup>/s)

Availability at Farakka	India	Bangladesh
1,982 less	50%	50%
1,982 ~2,124	Balance of Flow	991
2,124 more	1,133	Balance of Flow

強食の世界が南アジアでくり広げられていたわけである。

1996年に結ばれたガンジス河水利権配分のための30年間協定は紛争に一応の解決をもたらしたが、現在でもコンフリクトが完全に解決したとはいえない。協定は上流国であるインドに有利な内容になっており、バングラデシュ国内では不満も多い。ガンジス河沿岸部の住民にとって、河川の表流水は安全な飲料水源として期待されるものであり、ガンジス河の流量は渇水時だけではなく年間を通じてまさに生命線であるといえる。バングラデシュにおけるガンジス河の流量はインドのファラッカ堰における取水量に顕著に影響を受けるわけであり、バングラデシュのガンジス河の利用に関してインド・バングラデシュ間の友好的な関係の構築が望まれる。

しかしながら、バングラデシュは世界でも有数の貧国であり、またガンジス河の最下流国でもある。一方インドはこの地域の強国であり、ガンジス河の上流国である。このような政治的、地理的背景は、バングラデシュの水資源としてのガンジス河利用に影を落とす。ヒ素問題は決してバングラデシュだけの問題ではなく、インドについても共有の問題であり、ヒ素問題への対処に関して協力的に取り組んで

いくことは両国にとって益するところであろう。ヒ素汚染問題への両国の協力的なアプローチは、ガンジス河の利用に関する両国間の関係に進歩をもたらす糸口に成りうると考えられる。

## 2.4 まとめ

以上で述べたことから、バングラデシュは多くの水資源問題を抱え、またその原因も自然的なものや社会的なもの多岐にわたるといえる。特に、社会的な要因にはインド・バングラデシュ間の水資源コンフリクトという **man-made** に他ならぬ要因も含まれ、バングラデシュ政府は将来に向けて物理的な洪水対策や渇水対策、ヒ素汚染問題対策、また国内の人口問題や識字率といった社会環境の整備に加え、インドとの政治的な駆け引きという国際的な問題に至るまで課題は山積みとなっている。

バングラデシュにおける水資源問題は洪水対策も重要であるが、最も差し迫った対策が必要とされているものは飲料水の確保であるといえるだろう。なぜならば、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、社会的災害のインドとのコンフリクトと多岐にわたるからである。そしてヒ素汚染の対処には上述したように識字率を上昇させていくことも必要となってくる。飲料水の確保のために解決していく課題は非常に根が深く絡み合っており、いずれか一つの原因を解決したからといって、全国的に安全な水を豊富に確保できるとは限らないのだ。

そして、以上のような飲料水確保のための課題の中でも、特に重要となってくるのはヒ素汚染問題であると考えられる。なぜなら、バングラデシュ全国にわたって飲料水の確保を困難にしている問題だからである。ヒ素汚染は多大な資金があれば解決する問題であるが、資金にはもちろん制約がある。そこで、ヒ素汚染の被害に関して危険地域を割り出し、優先的に施策を行っていく地域を明らかにすることが必要であると考えられる。物理的なヒ素汚染の濃度は調査によってかなり細かいレベルで明らかになっている。しかし、いざヒ素汚染対策優先地域を割り出すとなると、ヒ素汚染濃度に関する情報だけでは十分でない。自然的な情報に加え、人口分布や識字率、また農業生産の分布などの社会的な情報も考量して考察していくべきである。重点的にヒ素汚染対策を行った地域が、人のあまり住んでいない不毛地帯であったとあれば、対策を施す意味がなくなってしまう。このような極端な例ではないとしても、ヒ素汚染濃度に加え社会的な情報を加味すれば、より実際的なヒ素汚染被害の実態を明らかにすることができる

考える。次節ではこのような視点からヒ素汚染の現状について述べ、社会環境との関連について考察する。

## 3. ヒ素問題の現状

### 3.1 ヒ素問題とは何か？

注) 本節は **British Geological Survey Technical Report (2001)** の報告書において、本研究に必要な部分を要約したものである。

#### (1) 地下水におけるヒ素問題

**Cittagong Hill Tracts** を除いたバングラデシュの 3,354 個の井戸水が調査された。その調査によると、対象とした井戸の 27% が 150m よりも浅い井戸で、バングラデシュ国内における飲料水の標準ヒ素含有量許容基準  $50 \mu\text{g/L}$  (以下、「**B 基準**」という。) を超えるヒ素が検出された。また、対象とした井戸の 46% からは、**WHO** のガイドラインであるヒ素含有量許容基準  $10 \mu\text{g/L}$  (以下、「**W 基準**」という。) を超えるヒ素が検出された。ところで、バングラデシュ国内には 6000 万～1 億本の井戸があると考えられており、そのほとんどが 10～50m の深さのものである。このことと上記調査結果から、**B 基準** を超える汚染状況の井戸は 1500 万～2500 万本にも及ぶと見積もられている。ヒ素汚染を被っている人数について、**B 基準** 超のヒ素に曝されているのは 3500 万人、**W 基準** 超のヒ素に曝されているのは 5700 万人に及ぶとみられている。

ヒ素汚染には明確な地域差が存在する。バングラデシュ南部・南東部はもっとも汚染が激しい地域であり、北西部・北部中央の高地が最も汚染が少ない。しかし、バングラデシュ北部にも時折ヒ素汚染のホットスポットが存在することが確認されている。ひとつの村の中でも、井戸と井戸との関係は複雑であり、新しく設ける井戸の状態を近くの井戸の状態から予測するのは難しい。

新しい扇状地やデルタの堆積土は最もヒ素汚染が激しく、逆に北西の古い堆積土、**Madhupur** や **Barid Tracts** 高地の更新世堆積土は汚染の程度が低い。バングラデシュ北部の汚染の激しいホットスポットにある井戸水は、適切な処置を施すことによって **W 基準** を満たす飲料水源となりうる。

ヒ素は天然に存在する物質であり、未だにはっきりとは解明されていないメカニズムが働き地下水に流出してくるものと考えられている。ただし、新しい堆積物や嫌気性の地下水が流出に関係しているのではとも考えられている。そして、ヒ素の流出はお

そらく何千年も前から起こっている。ヒ素は酸化鉄からの脱着や溶解によって生じ、その酸化鉄は通常の河川の運搬・堆積過程で流水中から抜け落ち蓄積していくことに由来すると考えられている。これは、酸化鉄還元仮説と呼ばれるものである。酸化鉄の堆積状態の自然発生的な変化が、激しいヒ素汚染を招く原因ではないかとも考えられている。確かなことは、バングラデシュ北部における孤立したヒ素汚染のホットスポットには酸化鉄が特に多く見られ、またその周辺には脱着したヒ素が堆積しているということである。

一方で、硫化鉱物やその酸化物が堆積土に存在しているながらも、硫化酸化物仮説はほとんど支持されていない。この仮説は、地下水が流れる地層中の硫化酸化物がヒ素を放出し、ついには地下水のヒ素汚染の原因となると主張するものである。また、灌漑用水の頻繁な汲み上げにより、地下水位が季節的に低下していることが地下水のヒ素汚染の原因であるとも主張されているが、この仮説を裏付ける明確な証拠は挙げられていない。

多くの箇所、様々な深さで2週間に渡って地下水調査が行われ、時間の経過に伴う変化が多少観測された。しかし、季節的な変化に関する説得力ある証拠はまだ得られていない。このような短期間の調査で、汚染に関する劇的な変動を見ることは出来なかったと考えられる。出来得る限り長期間、広範囲にわたっての調査が必要とされる。3ヶ所の汚染地域で詳しい調査が行われた結果、地表から10~20m下のところで急速にヒ素が増加することが確認された。

バングラデシュの地下水において、ヒ素は最も大きな問題ではあるが、健康という観点から見て、マンガン・ホウ素・ウランも見逃すことは出来ない。地下水サンプルの35%がWHOのマンガン含有量許容基準である0.5mg/Lを超える値を示した。ヒ素とマンガン汚染の分布パターンは著しく異なり、WHOのヒ素とマンガンそれぞれについての含有量許容基準をクリアするような浅い井戸はたった33%しか存在しない。

以上で述べた調査やその他の調査の結果によって得られたヒ素汚染に関する地域的分布図はかなり確固たるもので、さらなる調査によって分布図が大きく変わってくるようなことはないだろう。したがって今一番の急務は、現在最もヒ素汚染にさらされていることが明白な地域に、安全な飲料水供給源を提供するためのヒ素汚染軽減プログラムを立ち上げることである。

地下深くから取られる地下水は、長期に渡る安全な飲料水供給源となると考えられる。これらの大部

分は現在のB基準をクリアするだけでなく、国内外のあらゆるヒ素含有量許容基準を満たすものである。マンガンについても同様で、深層部の地下水はずっと含有量が少ない。このような地下水はほとんどが南部の沿岸地域から採取されるもので、他のバングラデシュの典型的な深層部の地下水とは異なる。一方、そこで取れる表層部の地下水は塩分濃度が高い。このような質を有する深層部の地下水を、豊富かつ持続的に得るための地下水源を全国的に開発し入手し続けることが必要とされる。また、灌漑用水を深層の帯水層から長期的に取水することによって生じ得る影響も考慮する必要がある。

世界的な展望として、上記ベンガル地域の帯水層と同様な特徴を持つ帯水層から得られる飲料水はヒ素汚染に曝されている可能性があり、ヒ素汚染に関する体系的な調査が行われる必要があると考えられる。

## (2) 堆積過程

ベンガル地域は地質学的にはアジアとビルマとインドのプレートの結合部に形成された、現在も沈降中の低地に位置する。白亜紀から現在までに海洋と沖積層の土が15km以上堆積している。地質第四紀を通して、氷河期の周期がもたらす海水面の上昇と下降により、バングラデシュのガンジス河・ブラマプトラ川・メグナ川からなる河川システムは沖積層とデルタの混合した厚い層を堆積させた。

流域には、最近隆起した地域(Madhupur, Barind Tracts)と沈降した地域(Sylhet Basin)があり、ブラマプトラ川とティスタ川の流域では堆積土に多くの変化が見られる。後期更新世の堆積土のパターンは、現在よりも約150m下方にあった海水面によって特徴づけられている。このような海水面の低下は、12万年前の最後の間氷期と2万1000年前の最後の氷河期との間に生じたものであり、現在の海水面の位置に戻ったのは完新世になってからである。

沖積層の扇状地や河川の洪水によってできた平野・デルタの周辺には様々な堆積層がある。細かい堆積土は比較的海水面が高く水圧が小さい時期に堆積し、荒い堆積土は最も厳しい氷河期中の、水圧が大きい時期に堆積した。

21のサンプルを分析した結果、ヒ素含有量は0.4mg/kg~10mg/kgの幅で検出され、平均は4mg/kgであった。ヒ素汚染は細かい粒子の堆積土に多く見られ、また鉄分と大きく関係していることが分かった。そして、Lakshmipur地域の堆積土に、最も多くのヒ素・鉄・マンガン・アルミニウム・カリウムが含まれていることが分かった。酸化鉄は堆積土中

の豊富な雲母が風化する過程によっても得られ、デルタの低地部では自然発生的にかつ大量に堆積している。Lakshimpur 地域では海が近くにある影響で他の地域に比べて多くの硫黄が蓄積されているなど、変化に富んだ堆積土を観察することが出来る。特に、沖積層とデルタの境界付近の堆積土でこの傾向が激しく、付近の井戸水には様々な物質が含まれている。

シュウ酸アンモニウムは限られた地域に存在するが、該当地域ではヒ素と鉄の含有量が少ないことが分かった。ヒ素は 0.2mg/kg 以下、鉄は 500mg/kg 以下である。

調査を通して明らかになったことは、沖積層とデルタの堆積土から得られたヒ素の含有量は 1~10mg/kg であり、この値は一般的なものである。しかし、たとえ堆積土における含有量が通常の値であっても、もし溶解や脱着が十分に起これば地下水への大量な流出は発生する。ヒ素汚染の激しい地下水は堆積土が酸化鉄とヒ素を比較的多量に含む地域において観察される。この調査結果は酸化鉄が地下水のヒ素汚染に関して主な原因であるという説と合致するものである。

酸化鉄がヒ素汚染の主たる原因であるのは疑いにくいことであるが、他方でマンガン・アルミニウムの酸化物も影響を及ぼしている可能性はある。しかし、ほとんどの酸化物は密接に関連して発見され、種々の酸化物につき個別の影響を選択的に分析することは難しい。いずれにせよ、いかなる調査結果も鉄物の酸化物がヒ素流出について重要なプロセスを担っていることを示すものであった。

### (3) 毒としてのヒ素問題の原因

バングラデシュにおけるヒ素問題の原因について、研究者の間では未だに合意されたものはない。しかし、あらゆる事実がヒ素は天然に由来するものであることを示している。その一方で、地下水の汲み上げや灌漑といった近代農業における営みが地下水のヒ素汚染に対して何らかの影響を及ぼしている可能性を完全に排除することは出来ない。実際、昨今の過剰な地下水汲み上げ以前から、ヒ素は地下水に存在していたものと考えられている。

バングラデシュにおける堆積土に含まれるヒ素 (0.4~10mg/kg) と鉄物の量は、新しい沖積層とデルタ地帯における堆積土として典型的なものであり、バングラデシュ上流地域にヒ素を多く含んだ特殊な岩石層の存在を推測する必要はない。しかし、デルタ地帯の一部においてヒ素が集中している原因として、おそらくある種の堆積過程が重要な要素となっていることが考えられる。とりわけ、ヒ素を多く含

んだコロイド状の酸化鉄と板状の雲母がデルタの下流部で集中的に堆積したのではないかと考えられている。

土壌に対し急激に還元作用を働かせることは、堆積土から地下水への自然発生的なヒ素流出の端緒となりかねない。ところが、近年では作物を酸化するため用いられる融解酸素の消費が増加し、土壌の還元作用が生じている。一旦土壌が還元されればヒ素は流出し始める。ヒ素の地下水への流出メカニズムは未だはっきりと解明されていないが、酸化鉄からの脱着や溶解によって生じたヒ素が原因となっているとみられている。

このような酸化状態から還元状態への移行は、地質学的時間軸から見れば急速に進行していると考えられる。酸化鉄からなる表層部が部分的再結晶化の後に還元され、また酸化第二鉄と酸化第三鉄との混合状態の形成結果として、表層部の

化学的状态が変化。ヒ素は五価から三価へと激しく還元され、堆積土からの流出に至ったと考えられる。バングラデシュの地下水に観測されるような高濃度ヒ素は、このような変化によって生じ得ると地質学的に確認されている。

ヒ素の流出については近年、還元された淡水や海水により堆積した土、各国から河川の氾濫によりもたらされた土にも頻繁に観察されている。そして、このような流出はバングラデシュにおける様々な要因によって増幅される。

帯水層における水の流れは、ヒ素を流出させる通常の自然メカニズムを理解する上で重要である。バングラデシュの広大なデルタ平野では極端に水圧の勾配が小さく、ヒ素を押し流す力が小さい。このことがヒ素蓄積の原因の1つとなっているのではないかと考えられている。バングラデシュ北部のように、地下水の流れが速いところではヒ素の蓄積度は低い。従って、バングラデシュの地下水に見られるような高濃度ヒ素汚染は、地下水が帯水層を流れていく限りにおいて、それがたとえゆっくりであるとしても、究極的にはいつか消え去るとも考えられる。しかし、ヒ素が地下水によって自然に洗い流されるには数十万~数百万年も要することであろう。そして、地下水の流れの速さについて、現在ではまだはっきりとは解明されていない。近年、海面が下降するという現象が起きているが、このことによって深層部の地下水の流れが速くなり得るとも考えられている。

ヒ素流出が近年の堆積への反応であり、酸化物からのヒ素の脱着がヒ素汚染を説明する重要なプロセスであるという考えは、一度初期のヒ素汚染が洗い流されてしまえば、より還元が進むような状況の悪

化が生じない限り、ヒ素汚染が続くことはないという事実を示すものでもある。このことは一般に深層部の帯水層にはよく当てはまると考えられる。従って、現在ヒ素で汚染されていない地域の大部分の深層部帯水層は、状態が自然のまま変化しなければ、少なくとも現在の状態を維持すると考えられる。

以上で述べたことは、あくまで限定された証拠からの帰結であり、汲み上げによる影響や表層部帯水層と深層部帯水層の関係等々さらなる調査を行う必要がある。このためには、異なる深さ・様々な時間スケールでの水質に関する詳細な調査と、地質学に関するより深部の理解、また地域的な帯水層分布の把握などが必要不可欠であると考えられる。

#### (4) 地下水の流れ

鉛直方向への地下水の流れは、汚染された表層から汚染されていない深層へとヒ素がどの程度運搬されるのかに関わる重要な要素である。現在の河川の性質や大きさも地下水の流速と関係しており、これらの変化は短期的なヒ素の集中状態に大きな変化をもたらす。

水面から 65~75m の表層部帯水層からは、50 年程度の期間で井戸に到達する。流入半径は 50~125m である。一方、水面から 110~135m の深層部帯水層からからは、揚水式井戸の場合には 200 年程度で井戸に到達し、その流入半径はおよそ 500m である。また、自然流下式井戸の場合には 300 年ほど掛かって井戸に到達し、その流入半径はおよそ 1,000m である。

地下水の鉛直方向の流速につきモデル化を通して算出するとき、岩石学的プロファイルが大きな影響を及ぼす。従って、流速の予測をする為には岩石学的な背景について詳細に把握しておかなければならない。このことは深層部帯水層の流れについて考えるときに特に重要である。

### 3.2 ヒ素汚染対策のための指針

以上で述べたように、バングラデシュは多くの水資源問題を抱え、またその原因も自然的なもの和社会的なものの多岐にわたるといえる。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、自然発生的な濁水や塩害化、ヒ素汚染、社会的災害、インドとのコンフリクトと多岐にわたる。飲料水の確保のために解決していく課題は非常に根が深く絡み合っており、いずれか一つの原因を解決したからといって、全国的に安全な水を豊富に確保できるとは限らない。

本研究では、バングラデシュの水資源問題に対す

る脆弱性を総合的にはらむと考えられるヒ素汚染問題に特に着目する。そして、その対策について、限られた自然特性データと社会特性データを用いて以下で考察する。

#### (1) 自然災害としてのヒ素汚染対策

ヒ素の流出プロセスは完全に明らかにはされていないが、(3) で述べたように鉄とヒ素の分布には関連があり、土中の酸化鉄の還元作用によりヒ素(V)が毒性のあるヒ素(III)へと還元され、流出すると広く考えられている。鉄の分布図を Fig. 13 に示す。

Fig. 8 のヒ素分布と、Fig. 13 の鉄分布を比較すると、分布が異なっていることが分かる。たとえばバングラデシュ北西部と北東部では現在ヒ素汚染はあまり観測されていないが鉄は多く観測されている地域であることが出来る。ひとたびこの地域に床の変動が起これば、潜在的なヒ素が顕在化することが考えられる。そして、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北東部と北西部は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。

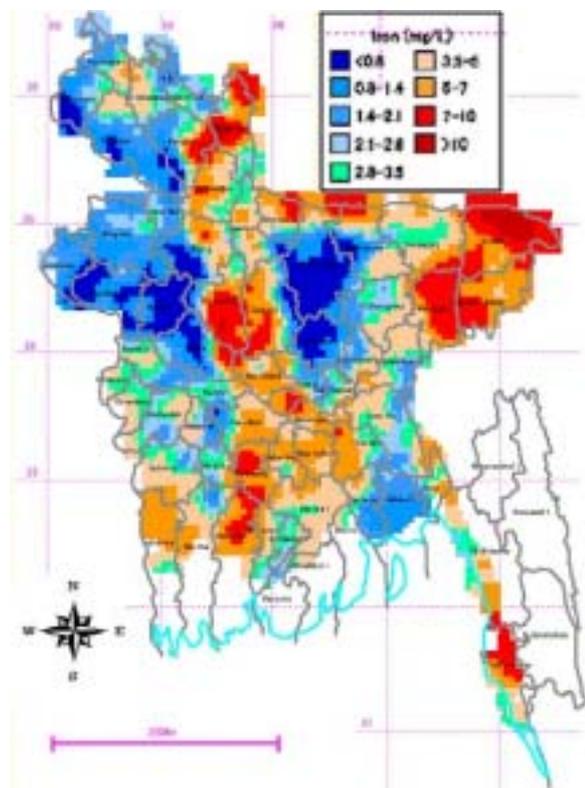


Fig. 13 Distribution of Iron

このように科学的知見を踏まえることによって、

ヒ素汚染対策を行う際の優先地域の割り出しについて、現状からだけの判断ではなく、不確実性を考慮して決定すること出来る。具体的には現在ヒ素汚染が最も激しい地域にまず優先的に施策を行い、次に目を向けるべきはヒ素汚染が中程度の地域というよりも、ヒ素はあまり観測されていないが土壌に鉄が多量に含まれている地域を対象として行う方が、より本質的なヒ素汚染対策となり得ると考えられる。

## (2) 環境災害としてのヒ素汚染対策

Fig. 14にヒ素汚染分布図と人口分布を重ねたものを示す。これより、人口の多い地域においてヒ素汚染は特に深刻な問題ではないと見ることができる。また、Fig. 15に鉄分布図と人口分布を重ねたものを示す。これより、バングラデシュ北東部と北西部は自然災害的にはヒ素汚染の潜在地域であり、かつヒ素汚染が顕在化すれば、その影響は多くの人に及ぶことが分かる。最も汚染の激しいヒ素汚染地域への対策に順じて、北東部と北西部も優先的に深井戸や浄化施設を整備していくべきであると考えられる。

Fig. 8のヒ素汚染分布図とFig. 10の人口分布を比較してみれば、人口の多い地域においてヒ素汚染は特に深刻な問題ではないと見ることができる。Fig. 11に示される識字率はバングラデシュ南部において比較的高めとなっている。ヒ素汚染の激しい南部において、このことは楽観的な要素である。なぜな

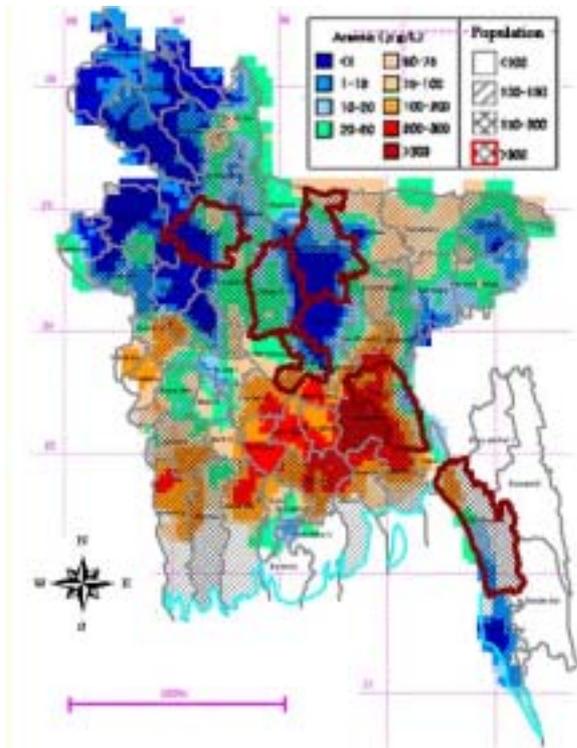


Fig. 14 Relationship of Arsenic and Population

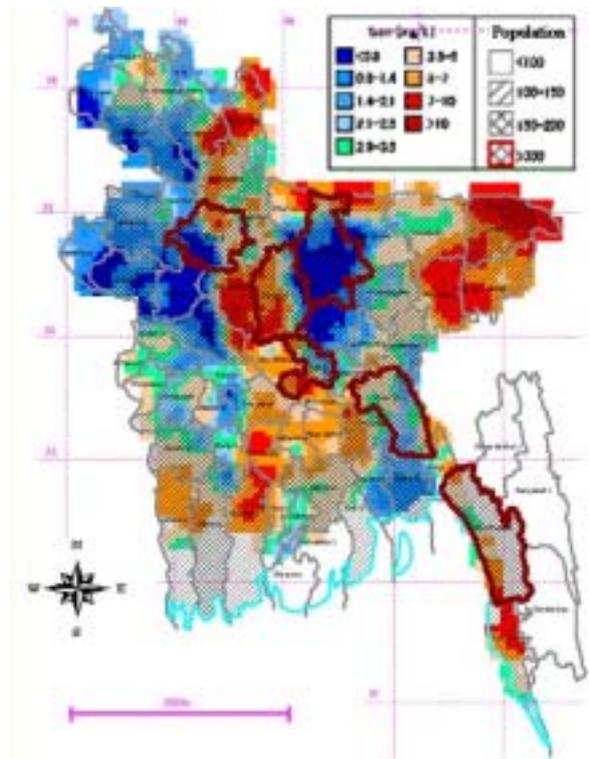


Fig. 15 Relationship of Iron and Population

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が必要である。

バングラデシュ南部よりも迅速な対策が望まれる地域は、ブラマプトラ川沿岸、そしてバングラデシュ北東部と北西部であると考えられる。その理由は、現時点でもこれらの地域ではヒ素汚染被害が見られるが、それに加え鉄の濃度が高く、さらなる潜在的なヒ素汚染ポテンシャルを有していると考えられること、また、識字率が低いことがあげられる。識字率の低さは、バングラデシュ南部における識字率の高さに起因するヒ素汚染被害の楽観的観測とまったく逆の理由より、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) 国際問題としてのヒ素汚染対策

1996年に結ばれたインドーバングラデシュ間のガンジス河水利権配分のための30年間協定は紛争に一応の解決をもたらしたが、現在でもコンフリクトが完全に解決したとはいえない。協定は上流国であるインドに有利な内容になっており、バングラデシュ国内では不満も多い。ガンジス河沿岸部の住民にとって、河川の表流水は安全な飲料水源として期待されるものであり、ガンジス河の流量は渇水時だけではなく年間を通じてまさに生命線であるといえる。ガンジス河から取水することが出来れば、危険な井戸水に飲料水を頼ることもない。バングラデシュにおけるガンジス河の流量はインドのファラッカ堰における取水量に顕著に影響を受けるわけであり、バングラデシュのガンジス河の利用に関してインド・バングラデシュ間の友好的な関係の構築が望まれる。

ここで、ヒ素汚染問題はコンフリクト解決のためのひとつの可能性を提供すると考えられる。ヒ素汚染問題は決してバングラデシュだけの問題ではなく、インドについても共有の問題なのである。ヒ素問題への取り組みは両国にとって益するところであろう。インドと社会環境の似たバングラデシュがヒ素汚染問題に対し効果的な対策プロセスを構築できれば、ひとつの外交カードとなり得る。世界でも有数の貧国であり、またガンジス河の最下流国でもあるバングラデシュが、この地域の強国でありガンジス河の上流国であるインドとの直接的なコンフリクトを介して利するところはほとんどないであろう。政治情勢によっていかようにもなり得る現協定に対し、バングラデシュにとっては有効な外交カードを保持することが望ましいだろう。インドに比べれば世界的にも注目され、研究の進められているバングラデシュのヒ素汚染問題は、災害であると同時にバングラデシュに益をもたらす可能性もあると考えられる。ひとたびファラッカ堰の取水協定が潤滑にとり結ばれば、バングラデシュの水資源問題に多くの改善をもたらすことは言うまでもない。

#### 3.4 ヒ素の分布と農業生産の関連

バングラデシュの農業生産において最も主要な農作物は米である。米は全国規模で大量に生産されている。問題となるのは、全国規模で生産されているということは、バングラデシュで生産される米には少なからずヒ素が含まれていると考えてほぼ間違いのないことである。ときおり食べるだけならば微量のヒ素は健康を脅かすものではない。しかしこれを常食とするならばどうであろう。しかもバン

グラデシュの人は実に良く米を食べる。Fig. 8のヒ素汚染分布図を考えれば、バングラデシュ南部のヒ素高濃度汚染地帯で生産される米は非常に危険であると考えられる。

また、バングラデシュの特産物としてはマンゴーがある。マンゴーはガンジス河のインド国境付近で盛んに栽培されている。Fig. 8に示したようにこの地域はBarendra地域と呼ばれる渇水災害の多いところであり、最近の政府のプロジェクトにより潤いだしてはいるが、ファラッカ堰におけるインドの取水に直接の影響を受けるため、渇水に対して脆弱な地域であることは変わらない。政府のプロジェクトが根本的な解決となっていないためである。このような地域ではあるが、マンゴーは雨季に収穫される果物であり、渇水の被害を免れ、現在でも特産物としてこの地域の顔となっている。この地域では小麦も盛んに栽培されており、水を米ほど必要としないという点で、渇水に対する不確実性を有するこの地域には適している農作物であるといえる。Fig. 8のヒ素分布とFig. 13の鉄分布を参照すると、この地域はヒ素汚染の可能性が低いということが分かる。ファラッカ堰に関してインドとバングラデシュの間が良好でありさえすれば、バングラデシュの安全かつ豊富な穀倉地帯として今後益々の発展が望める地域であるといえる。

#### 4. おわりに

2では、バングラデシュの水資源に関する諸問題を自然災害要因、社会災害要因、そしてインドとのガンジス河の利用に関するコンフリクト災害要因の視点から論じた。この結果、バングラデシュにおける飲料水ヒ素汚染問題が総合的な視座から論じなければならないことが明白となった。飲料水のヒ素汚染問題はインドの西ベンガル州でも顕在化しているが、西ベンガル州はニューデリーから見て辺境の地で、ヒ素で苦しむ住民の多くはイスラム教徒でヒンズーイズム至上主義者からは敵対する異教徒と見なされている。また、西ベンガル州に存在するファラッカ堰の運用に関して両国で鋭い対立が存在しているが、大国インドのやりたい放題と言っても過言ではない状況にある。その上、ブラマプトラ川は、チベットからインドのアッサム州を越えてバングラデシュに流入し、この大河川の利用に関してインド側が著しく優位にある。これらのインド側の優位性を保持するため、インド政府は二国間問題として国際的調停を拒み続けている。ここにも、英国の植民地政策（支配地域の民族の違いや宗教の違いを利用

した分割統治)の後遺症が、もとは同じ風土に住むベンガル人の悲劇の基であった事が確認される。

3 ではバングラデシュにおけるヒ素問題の物理、化学的な原因を要約し、バングラデシュにおけるヒ素汚染分布と社会的要因である人口分布や識字率分布の関連分析、そしてヒ素汚染分布と経済的要因である農業生産との関連分析を行った。もちろん、これらの分析だけではヒ素汚染に対する有効な政策提言ができるものではないが、この問題がどのような問題なのかの片鱗を示せたと思われる。以下においては、この問題解決の計画方法論を考察することとする。

基本的には、システムズ・アナリシスの枠組みで計画方法論を構成することが可能である。たとえて示せば、以下のようになる。

- 1) 飲料水のヒ素汚染問題の明確化(本研究でもその一部を取り上げているが、現行の対策と制度的問題や現行の国際協力とその問題点については触れていない。)
- 2) 飲料水のヒ素汚染問題の実態調査と分析(現地でのインタビューなどを踏まえ、識字率やスラムや村の(リスク・コミュニケーションを含む)社会システムの構造調査、ヒ素汚染の深刻度の評価とその地域分布の分析)
- 3) 地域特性とヒ素汚染の関連分析(本研究第3章で若干触れているが、不十分である。土地所有、生態、少数民族分布などの調査が不十分なため、適切な地域分類が行うことができなかった。)
- 4) 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(地域分類に基づくパターン化したモデル社会の作成、農村社会階層(家族、コミュニティ、地区など)における代替案の作成(ため池の復活も考える→ヒ素中毒と伝染病のトレードオ

フ問題が生じる。同様に都市社会階層における代替案を作成する。こうして、モデル社会に適した代替案の組合せの評価を行う。)

- 5) 代替案提示によるコンフリクト分析(ある意味では、Social Impact Assessment)ならびに合意形成プログラムの提示と意思決定
- 6) ガンジス河利用に関する国際的コンフリクト解析と合意形成プロセスのモデル化、そして結果としてモデル上得られる協定の社会インパクトシミュレーション分析
- 7) 国際的援助のあり方と日本の役割

以上が、本研究の提案する計画方法論である。この意味で、本研究は遠い道のりのほんの一步であると位置付けられる。

## 参考文献

- British Geological Survey Technical Report (2001).  
Hossain M. (1996) : Graphosman World Atlas, Graphosman.  
Islam M.R. (1987): Ganges Water Dispute, Dhaka University Press Limited, pp.4, 143,  
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](http://giweb.kubota.co.jp/theme/vol_2/vol2_1.html).  
Rashid, H. (1977): Geography of Bangladesh, The University Press Limited.  
United Nations University Press (1988): Floods in Bangladesh -Process and Impacts-; United Nations University Press.

## A Study on Disaster Problems in Bangladesh from natural and social aspects

Yoshimi Hagihara, Kiyoko Hagihara<sup>1</sup>, Bilqis Amin Hoque<sup>2</sup>, Sonbo Yamamura<sup>3</sup>,  
Michinori Hatayama, Maiko Sakamoto<sup>4</sup>, Kazuhiko Miyagishima<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Graduate School of Urban Science, Tokyo Metropolitan University

<sup>2</sup> Environment and Population Research Center

<sup>3</sup> Asia-Pacific Network for Global Change Research

<sup>4</sup> Graduate School of Engineering, Kyoto University

<sup>5</sup> Department of Transportation Engineering, Kyoto University

## Synopsis

Factors of disaster in Bangladesh can be classified into natural ones and socio-environmental ones.

Socio-environmental factors can be classified more minutely into socio-environmental destruction factors, socio-environmental pollution factors, and socio-environmental culture factors. Factors of disaster in Bangladesh are made much clearer from these viewpoints. Then, arsenic problem of drinking water which can be thought as the most comprehensive disaster in Bangladesh is focused on, and the relation of arsenic distribution of and natural prosperity and social prosperity of Bangladesh. Furthermore, guidelines for tackling arsenic problem of water drinking is proposed.

**Keywords :** Bangladesh, Water Resources Problem, Arsenic Contamination of Drinking Water, Conflict