

バングラデシュにおける飲料水ヒ素汚染に関する計画論的研究*

Planning Process for Arsenic Contaminated Water in Bangladesh*

柴田翔**・萩原清子***・萩原良巳****・酒井彰*****

By Sho SHIBATA**・Kiyoko HAGIHARA***・Yoshimi HAGIHARA****・Akira SAKAI*****

1. はじめに

現在バングラデシュにおいて飲料水のヒ素汚染が問題となっている。ヒ素に汚染された水を飲み続けると皮膚病やガンになり、最悪の場合、死に至ることが明らかになっている。バングラデシュは洪水、渇水、塩害と多様な大災害を抱えており、また、経済的な貧しさから自ら代替技術導入などの対策を行うことが難しくヒ素汚染に対して最も脆弱な地域の1つと考えられる。

この対策として政府、世界銀行、海外NGOは安全な飲料水供給のための代替技術を導入してきた。しかし、導入された代替技術は適切な維持管理の欠如、ヒ素汚染患者を見たことがない、水源が遠いなど、様々な理由で有効に利用されず放置されていることが多い。このような状況からバングラデシュにおける飲料水ヒ素汚染被害の軽減には現地の社会環境に根ざし、住民にとって受容性のある代替技術の導入が必要とされている。

本研究ではバングラデシュにおける飲料水ヒ素汚染問題について、現地住民に受容性のある代替案作成の適応的計画プロセス¹⁾を示すことを目的とする。適応的計画プロセスは「問題の明確化」「調査」「分析1」「分析2」「計画代替案の設計」「評価」そしてコンフリクトマネジメントによって構成される。本稿では「問題の明確化」「調査」「分析1」を示す。

社会調査により現地の社会環境と水利用の状況を明らかにし、水運びストレスをモデル化して水運びの負担を定量的に評価する。そして、関連分析によって質問項目の代表項目を選出し、数量化理論Ⅱ類によって安全な飲料水とヒ素に汚染された飲料水の選択にはどのような要因が寄与しているかを明らかにする。ついで飲料水を取

*キーワード：計画手法論、調査論、意識調査分析、環境計画

**学生員、京都大学大学院工学研究科（京都府京都市左京区吉田本町、TEL0774-38-4317, MAIL shibata@wrcs.dpri.kyoto-u.ac.jp）

***正員、工博、佛教大学社会学部（京都府京都市北区紫野北花ノ坊町9-6 TEL075-211-5028, MAIL hagihara@bukkyo-u.ac.jp）

***正員、工博、京都大学防災研究所（京都府宇治市五ヶ庄 TEL0774-38-4307 MAIL hagihara@wrcs.dpri.kyoto-u.ac.jp）

***正員、工博、流通科学大学（神戸市西区学園西町3丁目1番 TEL078-796-4952 MAIL akira_sakai@red.umds.ac.jp）

り巻く状況を因子分析で明らかにし、共分散構造分析で構造化する。

2. 社会調査

(1) 調査の実施

現地の社会環境と飲料水の利用状況を明らかにするために社会調査を実施する。調査票は事前研究^{2) 3)}で実施したK J法とI S M法⁴⁾を用いて体系的に作成された調査票を下に、「Personal data(個人情報)」「Drinking water(飲料水)」「Sanitation(衛生)」「Life(生活)」の4つの大項目を設定した。

調査対象地域はヒ素汚染の状況と調査活動を考慮し、首都ダッカ近郊のムシガンジ地方のスリナガルに位置するバシヤイルボグ村とする。調査は2007年8月と9月に日本下水文化研究会と現地NGOのSPACE(Society for Peoples' Actions in Change and Equity)の協力を得てインタビュー形式による全戸調査を実施した。インタビューは現地NGOのメンバーと日本人調査者が組になって実施した。こうして123世帯中118世帯から回答が得られた。

(2) 現地の社会環境と水利用の状況

バシヤイルボグ村は首都ダッカから車でおよそ1時間の道路沿いに位置し、雨季には大部分が水に浸かり、村はいくつかの島に分かれる。1つの島は主に親戚同士の数世帯で集落を形成し、これをバリと呼ぶ。バシヤイルボグ村には20のバリが点在する。雨季では移動にボートや竹橋を用いる。この付近は中東や日本への出稼ぎが多く、比較的裕福と言われている。

バシヤイルボグ村では飲料水は地下水をとっている。ヒ素に汚染されている井戸を浅井戸という。ヒ素汚染対策技術としては150mより深くヒ素に汚染されていない深層地下水を水源とする深井戸と、ヒ素除去フィルターのAIRP(arsenic iron removal plant)が利用されている。2007年9月時点で、公共の深井戸が3基、私用の深井戸が4基、私用のAIRPが2基の合計9つの水源が飲料水として利用されていた。公共の水源は誰でも利用できるが、私用の水源は所有者が利用を制限していることもあり、全体の25%に当たる30世帯が現在もヒ素に汚染された浅

井戸を飲料水としている。

3. 水運びストレスのモデル化

(1) 水運びストレスについて

先行研究²⁾では水運びが地元住民にとって非常に大きな負担になっていることを明らかにした。ここでは2005年12月と2007年12月に行われた現地調査のデータを下に水運びストレスをモデル化し、水運びの負担を定量的に評価する。

飲料水の水運びは、コルシと呼ばれる壺で一度に約10~20リットルの水を運ぶ。バングラデシュでは飲料水の水運びは主に女性の仕事である。ストレスには肉体的なストレスと、宗教上の理由で不特定多数の男性の目にさらされることを嫌う精神的ストレスがある。現地は季節で状況が大きく変化することから、乾季と雨季の両方のストレスをモデル化した。

(2) ストレスのモデル化

バシヤイルボグでは雨季の足場の不安定な竹橋、通行量の多い道路のように、村の中でも場所によって肉体的ストレスと精神的ストレスの感じ方は変化すると考えられる。そこで、調査地を特性に応じて8つに分割し、それぞれの区間における移動距離を $d_i (i = 0, \dots, 7)$ とする。

肉体的ストレスを水汲みに掛かる仕事量、精神的ストレスを水汲みによって不特定多数の男性の目にさらされる時間としてこれら二つのストレスを先行研究を参考にして以下のようにモデル化し計量した。

$$\begin{aligned} \text{肉体的ストレス } P &= \text{仕事量} \\ &= n \times m \times \sum_{i=0}^7 \alpha_i d_i \end{aligned}$$

n : 世帯の人数

m : 1人当りの1日の飲料水の重量

α_i : 区間 i の肉体的ストレス係数

精神的ストレス $M = \text{時間}$

$$= \sum_{i=0}^7 \beta_i d_i / v_i + T \beta_w + \sum_{i=0}^7 \beta_i d_i / \gamma_i v_i$$

β_i : 区間 i の精神的ストレス係数,

v_i : 区間 i の歩行速度, T : 汲み上げに掛かる時間

β_w : 水源の位置する区間 w の精神的ストレス係数

γ_i : 区間 i の水汲み後の歩行速度の変化率

(3) 結果の考察

計量結果について、一部のバリを除き深井戸を利用しているバリは精神的ストレスが最小となる深井戸を使用し、ストレスの値が大きいバリが浅井戸を使用している。精神的ストレスが最小となる深井戸を使用していないバリは、最小となる深井戸が私有深井戸で共有されておらず、公共の深井戸を利用している。

乾季と雨季の比較では、雨季は道路沿いの竹橋を使用しているバリのストレスが大きくなる。乾季では雨季に水に浸かっていた場所が陸地になり、ボートを使用しているバリのストレスが大きくなることが示された。

(4) 2005年との比較

2005年の現地の状況でストレスを計量し、現在の状況と比較した。この結果、2005年でストレスの値が上位3つのバリでは裕福な世帯が自ら深井戸やAIRPを導入し、肉体的ストレス、精神的ストレスの値は大きく減少していることが分かった。ストレスの値が大きい、すなわち水運びを負担と感じているバリは自前で代替技術を導入しており、計量されたストレスの値が現地の状況を良く表現していると考えられる。

一方で、これらのバリと同等のストレスの値でも経済的な事情で代替技術を導入できず、ヒ素に汚染された浅井戸の水を利用し続けるバリもある。代替技術の導入には経済的な状況などの社会環境を考慮する必要があると考えられる。

4. 飲料水利用状況の構造化

これまでの調査で様々な機関によって導入された代替技術の多くは有効に利用されず放棄されていることが明らかになった。これらの状況は本質的には、現地住民の潜在的なヒ素汚染に対する意識や生活状況に起因するものではないかと考えられる。すなわち、多くの住民は経済的に困窮しているためヒ素汚染に対する対策を持たず、また、ヒ素による中毒症状は数10年後に表れるためヒ素に対する不安感を持ちにくいのではないかと考えられる。

ここでは安全な飲料水の選択に寄与する要因を明らかにし、現地住民の潜在的なヒ素汚染への意識と生活状況を考慮して飲料水利用状況を構造化する。

(1) 質問項目の関連分析

χ^2 値をもとに2つの項目間の関連を調べるクラメールの関連係数によって、回答の類似傾向を明らかにし今後の分析に用いる代表項目を選出する。

$$\text{クラメールの関連係数 } V = [\chi^2 / \{N(q-1)\}]^{1/2}$$

χ^2 はカイ2乗値、 N はサンプル数、 q は2項目のカテゴリ数（選択肢の数）が少ないほうの数である。関連係数について、5%有意を基準としてサンプル数とカテゴリ数を考慮し、0.25以上を関連があるとす。

代表項目選出の基準を以下に示す。

- ① 他の項目と関連がある
- ② 現地調査やバングラデシュの状況から重要と考えられる
- ③ 単純集計において回答が分かれている
- ④ 似たような項目を選ぶ場合には、概念的に上回るこれより関連のある項目をグループ化して類似傾向の項目を除き、今後の分析に用いる代表項目を選出した。

(2) 数量化理論Ⅱ類

数量化理論Ⅱ類によってヒ素に汚染された飲料水の選択に寄与する要因を明らかにする。「(2.3)飲料水にどの水源を利用しているか」という項目を外的基準とし、説明要因は飲料水の利用状況を示す項目を選択した。

飲料水の選択には実際の利用可能な水源までのストレスが影響していると考え、水運びストレスモデルの値は3. で計算した値を用いる。また水運びストレスモデルは肉体的ストレスと精神的ストレスを計量したが、代表項目の選出基準①より、肉体的ストレスの値を用いる。

分析結果を表1示す。

表1 飲料水の選択に関する分析結果

項目名	カテゴリー	n	スコア	レンジ	順位
3) businessman	yes	24	-0.4626	0.6031	3位
	no	79	0.1405		
1.7 constituent of the family	4人以下	15	-0.3142	0.4111	4位
	5.6人	32	-0.0222		
	7人以上	56	0.0968		
1.10 microcredit	yes	49	-0.1190	0.2270	5位
	no	54	0.1080		
1.11 time to collect	1	52	-0.4584	1.0683	2位
	2	8	-0.2987		
	3	43	0.6099		
physical stress	1	23	1.3041	2.0155	1位
	2	43	-0.0854		
	3	37	-0.7114		
判別中点・判別的中率・相関比			0.2629	85.4%	0.4721

ヒ素に汚染された飲料水を利用するかの選択には「肉体的ストレス」、「(2.11)水運びに掛かる時間」(1.6 3))ビジネスマンか」、「(1.7)世帯人数」、「(1.10)マイクロクレジットを利用」という回答の順に影響していることが示された。これらのうち「肉体的ストレス」のカテゴリスコアの値が非常に大きく、飲料水の選択には水運びストレスの減少が重要であることが明らかになった。

(2) 因子分析

前節では飲料水の選択には水運びストレスが大きく寄与していることを示した。しかし、3. で示したように代替技術の導入には現地の社会環境を考慮する必要がある。ここでは探索的因子分析を用いて現地の飲料水の利用状況を示す項目から各変量に潜在的に共通に含まれている共通因子を抽出し、現地の飲料水の利用状況について考察する。また、質問項目は乾季と雨季の両方で調査している項目があるが、代表項目の選出①より、今後の分析は乾季の質問項目を代表項目として用いる。

これらの項目について、データの分布を考慮し3段階評価で分析を実施する。欠損データがあるサンプルは除外し、因子抽出法は最尤推定法、因子推定法はスクリープロット法で決定し、各因子についてはバリマックス法を用いて因子軸に直交回転を施した。モデルの検定にはp値とRMSEAを用いる。分析結果について、共通因子の解釈と適合度を表2示す。

表2 因子分析結果

場所(サンプル)	因子と解釈(寄与率)	印象構成項目(因子負荷量)
バンジャールボグ(118) p=0.981 RMSEA=0 累積寄与率=45.7%	因子1:水運びストレス(16.7%)	水運びに時間が掛かる(0.991), 水運びが肉体的苦痛である(0.594)
	因子2:(代替技術の)知識(12.3%)	代替技術の知識がある(0.999)
	因子3:(ヒ素の)不安(8.9%)	ヒ素に関する家族の健康に関心がある(0.607), 飲料水を安全と思う(0.522)
	因子4:(社会的)余裕(7.8%)	自分のこと以外を考える時間がある(0.712)

結果についてp値とRMSEAは良好であった。水運びに掛かるストレスを示す共通因子「水運びストレス」、共通因子「(代替技術の)知識」、現在利用している飲料水と将来の健康を示す共通因子「(ヒ素の)不安」、知識や余裕を示す共通因子「(社会的)余裕」の4つの共通因子が得られた。

また、他の地域の社会調査の結果を下に行った因子分析²⁾でも同様に「水運びストレス」「(ヒ素の)不安」「(社会的)余裕」が得られ、この3つの共通因子が現地の飲料水の利用状況を良く示していると考えられる。

(3) 共分散構造分析

前節の因子分析の結果を下に現地の飲料水の利用状況を構造化する。潜在変数は因子分析で抽出した共通因子のうち現地の状況を良く表現していると考えられる「水運びストレス」「(ヒ素の)不安感」「(社会的)余裕」を用いる。「(ヒ素の)不安」を構成する項目は不安や心配についての項目と関連が多く見られたことからこれを【社会不安感】(以下では潜在変数を【】で記す)とする。「(社会的)余裕」を構成する項目は経済状況に関する項目と関連が多く見られたことから【経済困難度】とする。

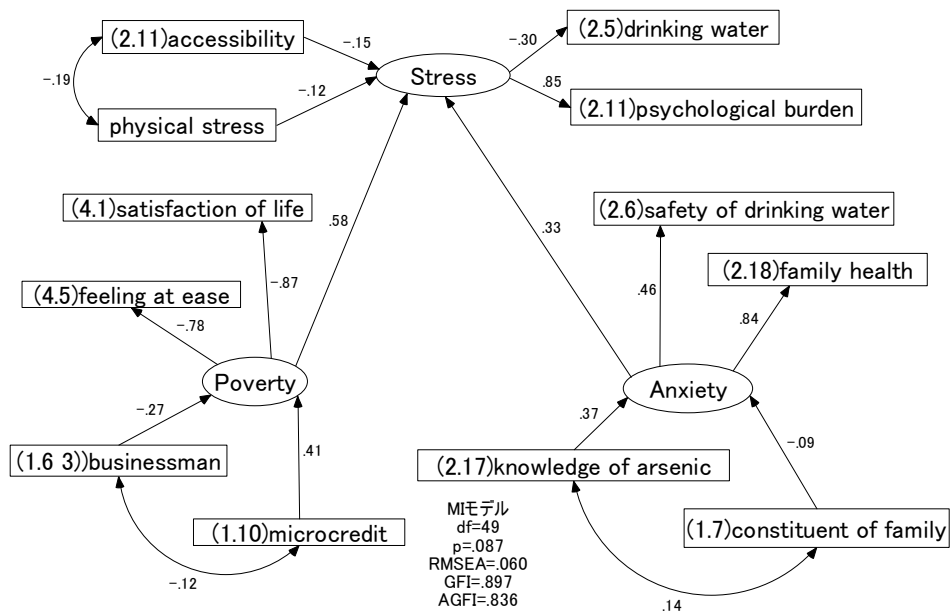


図1 飲料水利用状況の多重指標モデル

この3つの潜在変数について、入力に現地の飲料水の利用状況を示す項目を、出力に現地住民の現状をどう感じているかを示す項目を用いてMIMICモデルを作成する。

そして、【水運びストレス】を最終到達とした多重指標モデルで現地の飲料水利用状況を構造化する。これは【経済困窮度】と【社会不安感】の潜在変数の値によって【水運びストレス】を構成したモデルである。

推定法には最尤推定法を用いる。水運びストレスモデルの値は5段階にカテゴリ化する。ヒ素に汚染された井戸を利用している住民はストレスを感じておらず、ここでは調査票の回答と対応して現在使用している水源のストレスの値を用いる。こうして得られた多重指標モデルを図1に示す。サンプル数は81、自由度49で、適合度のp値、RMSEA、GFI、AGFIは良好と考えられる。

計算結果より、【経済困窮度】と【社会不安感】は【水運びストレス】に正の影響を及ぼす。すなわち経済的な苦しさが高まるほど、不安が高まるほど水運びのストレスを感じるようになることが分かる。

これは3章4節で示したように、裕福な世帯は代替技術を導入するなど自ら状況改善を図ることができる。しかし、その余裕のない貧しい世帯では現状の水運びストレスを感じたままである。また、不安を感じる、すなわち安全な飲料水を利用し、ヒ素に関心のある世帯は水運びストレスを面倒と考えていると解釈できる。

6. おわりに

社会調査より現地の社会環境と水利用を明らかにした。水運びストレスのモデル化により、水運びストレスを定

量的に評価したところ、一部を除く全てのバリがストレスの最小となる水源を利用していることが示された。また、2005年との変化からモデルが現地の状況を良く示していることが分かった。飲料水の選択には水運びストレスが大きく影響しており、代替技術導入にはストレスの削減が重要であることを明らかにした。そして飲料水利用状況の構造化より、飲料水の利用状況には経済的な事情やヒ素への不安が水運びストレスに影響していることを明らかにし、住民に受容性のある代替案作成にはこれらを考慮する必要があることを示した。

今後の課題としては水運びストレスに着目した代替技術導入の整備プロセスの考案が挙げられる。それには経済困窮度や不安感を表す評価基準によって代替技術を選択する必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 萩原良巳・坂本麻衣子：コンフリクトマネジメントー水資源の社会リスク，勁草書房，2006
- 2) 福島陽介ほか： Bangladeshにおける飲料水ヒ素汚染に関する社会調査とその分析，環境システム論文集，pp21-28，2004
- 3) 福島陽介： Bangladeshにおける飲料水ヒ素汚染軽減のための計画論的研究，京都大学工学研究科修士論文，2006
- 4) 萩原良巳：環境と防災の土木計画学，京都大学学術出版，2008
- 5) 柴田翔・萩原清子・萩原良巳・酒井彰： Bangladeshにおける飲料水ヒ素汚染の地域比較分析，地域学会アブストラクト，2008