

バングラデシュにおける飲料水ヒ素汚染の代替技術整備に関する研究

萩原良巳・萩原清子*・酒井 彰**・高橋邦夫***・柴田 翔****

* 佛教大学社会学部

** 流通科学大学情報学部

*** 日本下水文化研究会

**** 株式会社ニュージェック

要 旨

現在バングラデシュ農村部で飲料水のヒ素汚染災害が深刻な問題となっている。問題発覚以降は多くのNGOや世界銀行、ユニセフなどの外部機関が問題解決に取り組んできたが、今もなお多くの人々がヒ素に汚染された水を利用しているのが現状である。バングラデシュにおける飲料水ヒ素汚染災害は現地の社会環境や飲料水利用状況が密接に絡み合った問題として取り組むべきであり、本研究は、今もなお飲料水ヒ素汚染災害に苦しんでいる人々がいるという事実を重視し、「現地からの視座」による「現地に根ざした計画論」を示すことで、今後の問題解決をどのように導いていくかを論ずるものである。

キーワード: バングラデシュ, ヒ素汚染問題, 社会調査, 水運びストレス, 多基準分析

1. はじめに

現在、バングラデシュで飲料水のヒ素汚染災害が深刻な問題となっている（National Policy for Arsenic Mitigation 2004 and Implementation Plan for Arsenic Mitigation in Bangladesh, 2004）。バングラデシュでは人口の80%を占める農村部において浅井戸（shallow tube-well：パイプを数10mまで通して手押しポンプによって水を供給する）を飲料水として利用してきたが、1993年に地下水のヒ素汚染が発見される。ヒ素に汚染された水を飲み続けると皮膚の色素沈着と角質化が現れ、果てにはガンによって死に至ることが分かっている。バングラデシュは行政機関の未発達、貧困、そして多様な大災害によって飲料水ヒ素汚染災害に対して非常に脆弱であり、自ら対策をとることが困難な地域と考えられる。

問題の発覚以降は政府、世界銀行、WHO、ユニセフ、各国の援助や、NGOの活動によって安全な飲料水を供給するための代替技術導入が行われてきた。しかし、現地ではメンテナンスの困難さなどによって廃棄されていたり、適切に利用されていって見ると不備はないように見えても、住民間の不和、水

運びの負担、貧困によって、ヒ素に汚染された浅井戸を利用する住民が存在するような代替技術が数多く見られるのが現状である（谷，2005）。

萩原ら（2004）はバングラデシュにおける飲料水ヒ素汚染災害を現地の社会環境や飲料水利用状況が密接に絡み合った環境文化災害であることを指摘した。安全な飲料水は誰にとっても生きていく上で必要不可欠であり、その利用は日々の生活の一部である。このため問題の解決は、ただ単に代替技術を導入するだけでなく、現地の文化的な側面なども考慮し、全ての住民が安全な飲料水を利用できる環境を整えるための整備が必要と考えられる。

本研究では、今もなお飲料水ヒ素汚染災害に苦しんでいる人々がいるという事実を重視し、「現地からの視座」による「現地に根ざした計画論」を考える。すなわち、バングラデシュ政府や現地NGOによる現在の活動では未だにヒ素に汚染された飲料水を利用している人々が存在する現状に対し、現地住民の視点から代替案の設計を示すことで、今後の問題解決をどのように導いていくかを論ずるものである。

こうして、本研究の目的は以下の2つに分けられる。

① 村を社会システムとして捉え、現地の社会環境

と飲料水利用状況を把握し住民にとって受容性のある代替技術整備の方針を見出す。

- ② テクノロジーアセスメントによって選定された現地住民にとって受容性のある代替技術によって①の方針の下で代替技術整備の計画プロセスを示す。

「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適応的計画プロセスにおいて、①は「問題の明確化」「調査」「分析1」に当たり、社会調査によって現地の情報を収集し、分析1によって代替案作成のための情報を集約する（萩原ら、2006）。②は「分析2」「計画代替案の設計」「評価」に当たり、①によって得られた代替案の方針について分析2で代替案の境界を設定し、計画代替案の設計と評価によって現地住民にとって受容性のある代替案の計画プロセスを示す。

先行研究では社会調査により現地住民にとって水運びが負担となっていることを明らかにし、安全な飲料水の欲求度に着目した代替技術整備のプロセスを示した（福島ら、2004；萩原ら、2006；福島、2006；坂本ら、2007）。しかし、洪水被害とヒ素汚染の状況から現地NGOとの相談の結果、調査の続行は困難としてやむなく調査地域を変更することになり、社会調査を実施した地域と整備を示した地域が異なっている。

また、代替技術をヒ素に汚染されていない深層帯水層から水を汲み上げる深井戸に限定していたことから、本研究では代替技術整備を行う地域において社会調査を新たに実施し、住民にとって受容性のある代替技術を選定して整備のプロセスを示す。

本研究の構成として、まず、飲料水ヒ素汚染災害に関する社会調査を実施し、現地の社会環境と飲料水利用状況を明らかにする。ついで、因子分析と共分散構造分析によって社会調査から得られた情報を集約し、現地住民にとって受容性のある代替技術整備の方針を見出す。現地で問題となっている日々の飲料水の水運びの肉体的と精神的な負担をストレスとしてモデル化し評価する。多基準分析によるテクノロジーアセスメントを実施し、現地住民にとって受容性のある代替技術を選定する。そして現地の水利用の時間変化を明らかにし、水運びストレス軽減の方針の下に選定された代替技術による整備の計画プロセスを示す。

2. 社会調査

2.1 ヒ素汚染災害における社会調査

現在、バングラデシュの農村部では様々なNGOや

行政機関によって試行錯誤的に代替技術整備が行われている。しかし、前述の通り、実際には導入された代替技術が本来期待された性能を発揮していないのが現状である。近年では代替技術導入前に参加型開発手法のPRA (Participatory Rural Appraisal)やワークショップを実施し、住民の意見を取り入れた整備が行われている。しかし、この手順を経て導入された代替技術であっても、廃棄されたり一部の住民しか利用していないという例は多々見られる。

バングラデシュの農村部では議員、経済的に裕福な事業主、イスラム教の要職などの社会的地位が高い村の有力者が非常に大きな影響力を持つ。NGOや行政機関による活動でも、まず初めにこうした有力者に意見を求めるため、彼らの意向が整備に反映されることが多い。勿論、住民の意見を整備に反映することの重要性を否定するつもりはないが、こうした活動において得られる意見は村全体からすればあくまで一面的な意見と認識すべきと考えられる。このため、現地住民に受け入れられる整備には村全体を1つのシステムとして捉え、そこでどのような人々が暮らしているかを知ることが重要である。

ここで、村を1つの社会システムとして捉えた場合、NGOや行政機関のような「外」からの視座と村に住む人々の「内」からの視座が考えられる。従来の代替技術の整備では大規模調査による統計データのように村全体を平均に捉えたり、上述のような村の一部の人々から情報を得る一面的な形の「外」からの視座によって村を眺めている。

しかし、内からの視座によって村を見てみると、経済状況、識字、職業、住居、教育は世帯によって大きく異なり、実に様々な人々が暮らしていることが分かる。ヒ素汚染に対する取り組みや知識は現地の社会環境が大きく影響する。裕福な世帯では問題の知識も深く、自ら代替技術を求める世帯も見られる。一方で、貧しい世帯では知識も浅く、ヒ素を問題として捉えていても、日々の生活の貧しさから問題に取り組む余裕がない。

酒井ら（2007）は人々の基本的な福祉は人間生存のための基礎条件となる、安全、食料、栄養、水、衣類、家、健康などのベーシックヒューマンニーズを満足する必要があることを述べている。貧しい世帯では日々の生活に困窮し、こうしたベーシックヒューマンニーズを満たすことすら困難な状況がしばしば伺われる。村の中であっても、このように日々の生活を送るのに精一杯な世帯と、使用人を雇って暮らす世帯を同様に扱うのは困難であることは明らかであろう。こうした中では村の人々を平均的に見るだけでは、本当に困窮している人々を見逃してしまう可能性が高い。

また、飲料水を取り巻く環境は、単純な水利用のみでは語れない。住民間の仲違い、ジェンダー問題、経済状況という社会環境も飲料水利用状況に強く影響している。現地では、代替技術を利用しない理由として、給水口に通じる道の所有者が仲の悪い世帯にその道を使わせないなど住民間のコミュニティ問題も観察された。

内なる視点から飲料水ヒ素汚染災害を捉えようと、水利用の差別や住民間の不和など、世帯だけを見るだけでは現象を捉えることは困難である。このため問題の解決には世帯間のような村の社会システムを考慮する必要があると言えよう。

飲料水ヒ素汚染災害の問題解決は全ての人々が安全な飲料水を得られる環境を整えることである。それには従来のように外部の視点で村を見るだけではなく、そこに生きている人々の姿を踏まえた整備が必要と言えよう。

こうした内なる視点はバングラデシュの飲料水ヒ素汚染災害のみならず、発展途上国における諸問題の解決においても同様に必要であると考えられる。本研究では村全体を1つの社会システムと捉え、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の社会調査を実施する。

2.2 調査の実施

調査票は先行研究で実施したK J法とI S M法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(萩原, 2008)。

調査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ンシガンジ地方のスリナガルに位置するバシャイルボグ村とする。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。こうして123世帯中117世帯から回答が得られた。スリナガルの位置とバングラデシュのヒ素汚染状況をFig. 1に示す。

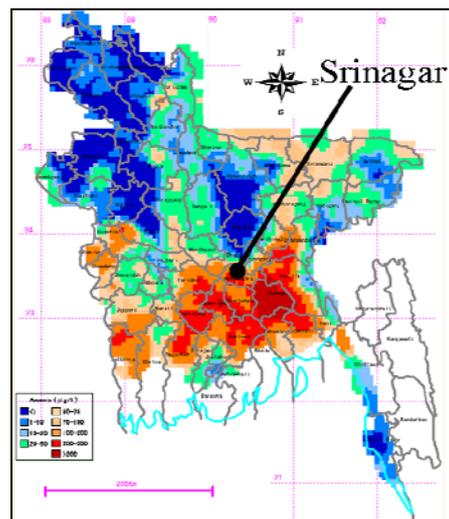


Fig. 1 Research Area

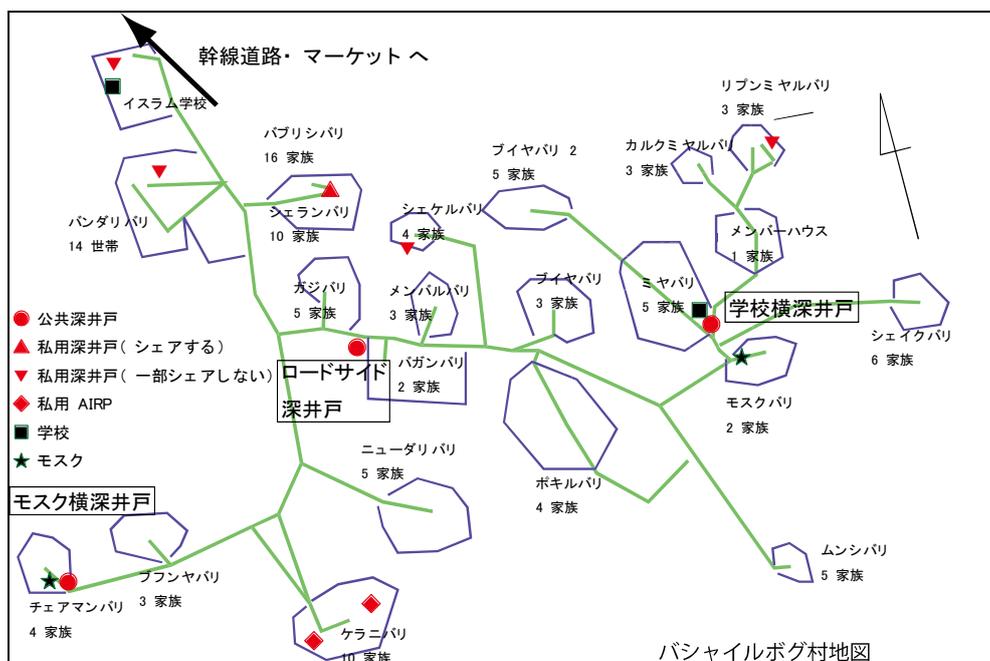


Fig. 2 Basailbogh map

Table 1 Bari's features and water use

バリ名	世帯数	利用水源	特徴
ケラニバリ	10	私用AIRP	中東や日本へ出稼ぎに出ている世帯があり、バリ全体で裕福である。2007年3月に2基のAIRPを導入し飲料水として利用していたが、2008年には廃棄され新たに深井戸が導入されている。
チェアマンバリ	4	モスク横深井戸	元ユニオン議会の議長が住んでいることから、チェアマンバリと呼ばれている。
ブフヤバリ	3	モスク横深井戸	裕福なバリで家屋もトタンではなくコンクリートで建てられていて家の中にトイレがある。商売を営んでおり教育レベルも高い。
ニューダリバリ	5	浅井戸	家屋は5世帯以上あるが、ダッカに出稼ぎに行っているため実質は5世帯だった。3階建てでバシヤイルボグでは一番立派な家があるが、世帯主はダッカに住んでいるので現在は空き家である。深井戸は遠いので浅井戸を利用している。
ハンダリバリ	14	私用深井戸 浅井戸	道路沿いに位置し、バリは北側の裕福な世帯と、南側の貧しい世帯に分けられる。貧しい世帯は他の地域から移住してきた世帯が多く、空いている土地に家を建てて暮らしている。ある裕福な世帯が自費で深井戸を導入したが、親戚と仲の良い世帯に利用を制限している。
パブリシバリ	16	私用深井戸	隣接するシェランバリの深井戸を利用している。竹橋やボートの利用を巡ってシェランバリの住民といざこざがあって一時期は険悪な状況だった。バリ内で経済状況はばらつきがある。
シェランバリ	10	私有深井戸	バリ内に私有深井戸がある。ヒアリングではバリの所有物と回答しているが、実際はアメリカのNGOによって導入されたようで、基本的に利用は制限していない。
ガジバリ	5	ロードサイド深井戸	主要道路と南西のバリに行くT字路の近くに位置し、雨季は水に囲まれる。近くの商店をやっている世帯が多い。主要道路につながっている道はある世帯が封鎖しており他の世帯は竹橋を利用する。
ベガンバリ	2	ロードサイド深井戸	ロードサイド深井戸のすぐ近くに位置する。人通りの多い主要道路沿いにあるが、周りはブロック塀に囲まれている。女性が数人集まって談笑している様子がしばしば観察された。
メンバルバリ	3	ロードサイド深井戸	雨季は水に囲まれ、竹橋を利用している。2007年のサイクロンで物置小屋が吹き飛ばされて困っている。貧しいバリである。
ブイヤバリ	3	ロードサイド深井戸	元ユニオン議員の女性が住んでいる。そのせいか、安全な飲料水や衛生への意欲が高い。自分のバリ内にも深井戸が欲しいと回答している。2007年の雨季は例年より水位が高く、道路へはボートで移動していた。
ボキルバリ	4	ロードサイド深井戸	雨季は水に囲まれ、竹橋を利用している。かなり貧しい世帯が多く、成人女性が多い。ヒ素問題の知識はあやふやであるが、ロードサイド深井戸を利用している。
ムンシバリ	5	浅井戸	南東の外れに位置していて、貧しいバリである。一番近い学校横深井戸は遠いので、ヒ素に汚染されているのは知りつつも浅井戸を利用している。子供(特に女の子)が多い。
モスクバリ	2	学校横深井戸	モスクがあり、男性が談笑していることが多い。
ミヤバリ	5	学校横深井戸	学校横深井戸を利用している。他のバリに比べて土地が広く、家の間取りも広々としている。親戚同士の数世帯で建設業を営んでいて比較的裕福である。
メンバーハウス	1	浅井戸	雨季は完全に水に囲まれ、移動はボートを利用する。世帯主の男性は元議員で農家を営む。学校横深井戸はすぐ近くにあるが浅井戸利用している。
リップミヤルバリ	7	私用深井戸 浅井戸	雨季は完全に水に囲まれる。水位が低い年は竹橋を利用するが、基本的にはボートで移動する。ある裕福な世帯が深井戸を導入したが、利用は親戚に限定している。
カルクミヤルバリ	3	浅井戸	雨季は完全に水に囲まれ、移動はボートを利用する。学校横深井戸は遠いし水も不味いので使いたくないと言っている。
シェケルバリ	6	学校横深井戸 浅井戸	雨季は完全に水に囲まれ、他のバリとも離れている。移動はボートを利用する。飲料水について2世帯は学校横深井戸を利用する。これらの世帯は家長の老人がヒ素問題への関心が高く、子供は面倒がついているが、水運びに行ってもらっている。
ブイヤバリ2	5	浅井戸	雨季は完全に水に囲まれ、移動はボートを利用する。学校横深井戸はそれほど遠くないが浅井戸を利用している。世帯間の仲があまり良くない。社会調査ではボートの利用やアヒルの管理などの不満が挙げられた。
シェイクバリ	4	私用深井戸 ロードサイド深井戸	ある世帯は自費で導入した深井戸を利用し、それ以外の世帯はロードサイド深井戸を利用している。これらの世帯は親戚同士であったが、昔土地の問題でもめて現在の交流はない。

2.3 現地の社会環境と水利用の状況

バシヤイルボグ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。バシヤイルボグには21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。

ヒ素汚染対策技術としては150mより深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。各バリの利用水源と特徴をTable 1に、村の地図と水源の位置をFig. 2に示す。

2.4 単純集計結果の考察

各大項目の単純集計結果の考察をまとめたものを

Table 2に示す。集計結果から、調査地ではヒ素汚染問題と衛生問題についての基本的な知識を持っていることが明らかになった。ヒ素汚染問題と衛生問題は新聞やテレビ、ラジオで取り上げられており、浅井戸がヒ素に汚染されていることや、排せつ物が表流水を汚染して感染症の原因となっているといった基本的な知識は常識となっている。一方で、ヒ素汚染にどのような代替技術があるか、排せつ物をどうやって取り扱うか、生ごみのリサイクルなどの実践的な知識については世帯によって差があることも明らかになった。

バシヤイルボグはダッカからの幹線道路沿いがあり、人や情報の出入りが激しく、ヒ素汚染問題の認識も高い。自ら代替技術を導入する世帯もあって安全な飲料水に対する欲求も高く、整備が非常に進んだ地域である。

しかし、それでもなお全体の25%の人々がヒ素に汚染された水を利用しているという事実は決して見逃せるものではないと考える。

Table 2 Results of simple aggregation data

大項目	集計結果の考察
個人情報	<ul style="list-style-type: none"> ・ダッカからの交通の便も良く、商店や病院があり物流も整う。 ・世帯人数4人以下の小家族が多く、人の出入りが激しい。 ・雨季は地表が水に浸かり通年を通して農作物を育てることが困難。 ・日本へ出稼ぎに出る世帯も多く、トイレなどの設備が整った裕福な世帯も数多く他の地域に比べて裕福。
飲料水	<ul style="list-style-type: none"> ・ほとんどの世帯がヒ素汚染問題を心配している。 ・現状の水環境に満足しておらず、安全な飲料水への欲求も高い。 ・ヒ素汚染代替技術に費用、または労働でコストを負担しても良いと考えている。
衛生	<ul style="list-style-type: none"> ・飲料水と異なり世帯によって回答は大きく異なる。 ・飲料水は公共の問題で、衛生の、特にトイレについては個人の問題であるという意見が多く見られた。 ・新しいトイレへの負担ではヒ素汚染代替技術より高額支払っても良いと回答する世帯が見られた。 ・掃除の頻度などトイレの衛生状況は世帯によって異なり、現地住民の衛生の考え方は異なる。
生活	<ul style="list-style-type: none"> ・生活の満足度には様々な要因があると考えられる。 ・日々の心配事として、仕事と収入、ヒ素問題が挙げられた。

2.5 質問項目の関連分析

クラメールの関連係数による質問項目の関連分析を実施する (Cramer, H., 1945)。クラメールの関連係数はカテゴリ化された2変数の関連を示す値である。クラメールの関連係数について、付録に示す。項目同士に関連があるということ自体は非常に重要な情報であるが、多変量解析に用いる場合、分析によっては関連がある項目ばかりを選ぶと、共線性を生じ分析の精度を落とすことがある。ここでは分析の冗長性をなくすために類似傾向のある項目をグループ化し代表項目を選出する。

$$\text{クラメールの関連係数 } \phi = \left[\chi^2 / \{N(k-1)\} \right]^{1/2} \quad (1)$$

χ^2 はカイ2乗値、 N はサンプル数、 k は2項目のカテゴリ数 (選択肢の数) の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。質問項目について、類似傾向のある項目をグループ化し、3章の多変量解析に用いる代表項目を選出した。

3. 代替技術整備方針の考案

2章で選出した社会調査の代表項目を用いて因子分析と共分散構造分析を実施し住民にとって受容性のある代替技術整備とは何かを考える (豊田, 1998; 柳井, 1990)。まず、因子分析によって現地の社会環境と飲料水利用状況を示した代表項目から共通因子を抽出する。こうして得られた共通因子は現地の状況を示す項目の情報を集約しており、これらが住民にとって受容性のある代替技術整備の方針となりうるかを考察する。ついで共分散構造分析によって、本研究における計画プロセスの進め方について考察

する。

3.1 因子分析

2章で選出した代表項目のうち現地の社会環境と飲料水利用状況を示すと考えられる9項目に対して因子分析を実施する。欠損のあるサンプルは分析から除外し、因子抽出法は最尤推定法、因子の解釈を容易にするため規準バリマックス法を用いて因子軸に直交回転を施す (竹村, 1991)。因子数はモデルの寄与率を考慮した上でスクリープロット法によって判断する。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、適合度、共通因子を構成する項目とその関連項目をまとめたものをTable 3に示す。

Table 3より、共通因子として「水運びストレス」「(代替技術の) 知識」「ヒ素問題の関心」「経済的困窮度」が得られた。バシヤイルボグの現状と照らし合わせると、単純に深井戸が遠く、水運びストレスが大きい世帯は水運びが辛くて近くにあるヒ素に汚染された浅井戸を利用していると考えられる。代替技術への知識がなければそもそも深井戸を利用しない。比較的深井戸から近い世帯であっても、ヒ素問題に関心がなければ浅井戸を利用し、経済的に苦しい世帯は日々の生活そのものが苦しく、安全な飲料水に目を向ける余裕がないと考えられる。整備の方針としては水運びストレス軽減のための代替技術整備、代替技術に関する知識向上、ヒ素問題への関心向上、経済状況の考慮が考えられる。代替技術整備の方針についての考察をTable 4に示す。

ここで「(代替技術の) 知識」「ヒ素問題の関心」について、実際のNGOの活動では代替技術に関する知識向上とヒ素問題への関心向上は同時に取り上げられることが多く、ここでは「(代替技術の知識向上を含めた) ヒ素問題の関心」を代替技術整備の方針と考える。「ヒ素問題の関心」を方針としたのは、「ヒ素問題の関心」が安全な飲料水を利用しているかと関連がある項目で構成されており、現在浅井戸を利用している人々への働きかけという点でより重要と考えたからである。

3.2 共分散構造分析

本節では前節で得られた「水運びストレス」「ヒ素問題の関心」「経済的困窮度」という代替技術整備の方針を共分散構造分析によって構造化し、住民にとって最も受容性のある整備とは何かを考える。潜在変数として水運びの負担を表す【水運びストレス】、代替技術の知識やヒ素汚染の不安を表す【ヒ素問題の関心】、経済状況の苦しさを表す【経済困窮度】を設定する(以下の記述では潜在変数を【】で表す)。

Table 3 Results of factor analysis

場所(サンプル)	因子と解釈(寄与率)	構成項目(因子負荷量)	関連項目
バシヤイルボグ(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%)	水運びの時間(0.991) 水運びの肉体的ストレス(0.594)	農業, 飲料水, 収入, 家族 飲料水, 水満足度, 生活満足度, ヒ素心配, 病気
	因子2:知識(12.3%)	代替技術の知識(0.999)	識字, サービス業, 井戸の色, 負担
	因子3:ヒ素問題の関心(8.9%)	健康への関心(0.607) 飲料水の安全性(0.522)	その他, 飲料水, 負担 生活環境, 飲料水, 収入, 家族
	因子4:経済的困窮度(7.8%)	社会問題の関心(0.712)	性別, 負担, 負担方法, ヒ素心配, 病気, 洪水, 家族

Table 4 Application to plan mitigation of arsenic problem

共通因子	代替技術整備の方針について
水運びストレス	<ul style="list-style-type: none"> •日々の水運びの負担は様々な地域で共通して得られた意見であった。 •ストレスには単純に水を運ぶ肉体的な負担と、不特定多数の男性の視線に晒されることを嫌うイスラム教の女性の精神的な負担がある。現地では、商店の並ぶ大通りやモスク周辺など男性が多い場所に行くことを嫌う女性は非常に多く、安全な飲料水を利用するかを選択に大きく影響していると考えられる。 •代替技術による水運びの負担軽減が現地住民にとって受容性のある整備と考えられる。
(代替技術の)知識	<ul style="list-style-type: none"> •代替技術の知識が豊富であっても、代替技術を利用していない例がしばしば観察され、知識は知識としてあっても、代替技術の利用とは別と見なしていると考えられる。 •一方で、代替技術を利用して知識が豊富な世帯はメンテナンスなどを含め適切に利用していることも観察され、代替技術の知識は安全な飲料水の選択ではなく、継続的に代替技術を利用する上で重要ではないかと考えられる。 •整備の方針としては現地住民の代替技術に関する知識向上が挙げられる。
ヒ素汚染の関心	<ul style="list-style-type: none"> •ヒ素問題への関心を高めることが、ヒ素に対する知識を身につけることになり、安全な飲料水を選択することで不安が解消されることが考えられる。 •現地NGOのAAN(Asia Arsenic Network)では、ヒ素問題への関心を高めることが、不安解消や安全な飲料水を得ることにつながるとして、紙芝居や踊りを取り入れたヒ素汚染災害の教育プログラムを実施している。 •ヒ素問題への関心が高まれば安全な飲料水を得ようとする欲求も高まり行動につながると考えられ、関心向上は代替技術整備の方針になりうると考えられる。 •代替技術の導入がハード面での整備とすると、こうした知識や関心の向上はソフト面での活動となる。
経済的困窮度	<ul style="list-style-type: none"> •家が貧しく日々の生活に困る世帯では、安全な飲料水を得るための負担は難しく、貧しいがゆえに飲料水ヒ素汚染災害に晒されている人々は多い。裕福な世帯は私有の水源地を導入して安全な飲料水を得ているが、貧しい世帯にはそんな余裕はなくともなおヒ素に汚染された浅井戸を利用している。 •代替技術整備の方針としてはこうした経済的な貧しさを直接改善するのは困難であるが、経済的な貧しさで困窮している人々に対しても安全な飲料水を得られるように整備を進める必要がある。

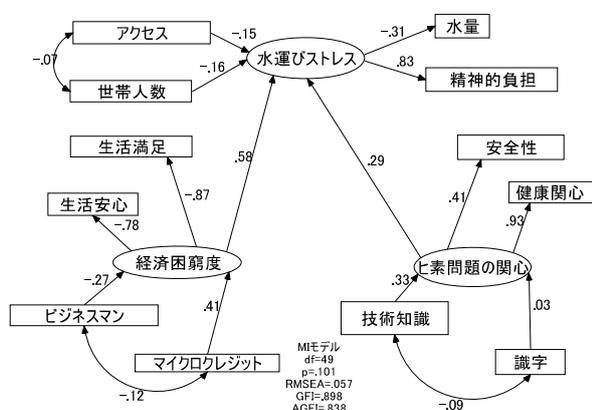


Fig. 3 Result of structural equation method

分析にはこれらの潜在変数を示していると考えられる代表項目を用いる。本研究ではまず観測変数に外生変数と内生変数の2群が存在するMIMIC(multiple indicator multiple cause)モデルを用いて潜在変数を構造化する。次いで、MIMICモデルによって得られた潜在変数を多重指標 (multiple indicator)モデルでつなげ潜在変数間の関係をモデル化する。

共分散構造分析のモデルの検定にはp値, RMSEA,

GFI, AGFIを採用する。こうして得られた多重指標モデルをFig. 3に示す。得られたモデルの適合度は良好と考えられる。

潜在変数間の係数を見ると、【ヒ素問題の関心】は0.29、【経済的困窮度】は0.58と【水運びストレス】に正の影響を及ぼす。ヒ素問題の関心の向上は浅井戸を利用している世帯に飲料水ヒ素汚染災害の正しい知識を身につけてもらい、結果として水運びの負担を受け入れ安全な飲料水を利用するようになると考えられる。

【経済的困窮度】について、貧しい世帯は日中も”むしろ”を結うなどの内職に追われ、1日中忙しいと考えられる。こうした状況の中ではただでさえ負担である水運びをますます負担に感じると考えられる。代替技術整備において経済的な貧しさを直接改善するのは困難であるが、整備では村の社会システムの中でこうして苦しんでいる人々にも着目し経済状況を考慮することが必要だと考えられる。

以上より、「水運びストレスの軽減」「ヒ素問題への関心の向上」「経済状況の考慮」では住民にとって受容性のある代替技術整備は「水運びストレスの軽減」だと考えられる。代替技術の導入がハード面での整備とすると、関心の向上はソフト面での活動と

なる。ここでは、日々の水運びの負担を軽減する代替技術整備が住民にとってより受け入れやすい整備と考える。

4. 水運びストレスのモデル化と評価

3章で示した住民にとって受容性のある代替技術整備となる水運びストレスの軽減について、2005年9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。現地で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の2種類のストレスが観察された。先行研究では雨季の水運びストレスをモデル化したがる、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する。

4.1 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、調査地域を特性に応じて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運びに掛かる仕事量、精神的ストレスを水運び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以下のようにモデル化し計量した(萩原ら, 2008)。

肉体的ストレス $P = \text{仕事量}$

$$= n \times m \times \sum_{i=0}^7 \alpha_i d_i$$

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

(2)

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)

4.2 水運びストレスの計量結果

水運びストレスの計量より、全てのバリが利用可能な水源のうち肉体的、精神的ストレス共に最小となる水源を利用していることが明らかになった。ここでは利用可能な水源のうちストレス最小となる水源に関する水運びストレスの計量結果について考察する。なお、現在ヒ素に汚染された浅井戸を利用している世帯についても利用可能な水源の中でストレス最小となる水源について計量する。各バリの水運びストレスの計量結果を村の地図に記したものを Fig. 4に示す。

4.3 水運びストレスの評価

Fig. 4より、バシヤイルボグにおける公共深井戸について、ロードサイドの深井戸や学校横の深井戸は周囲の住民にとっても比較的アクセスしやすい場所に導入されていると考えられる。

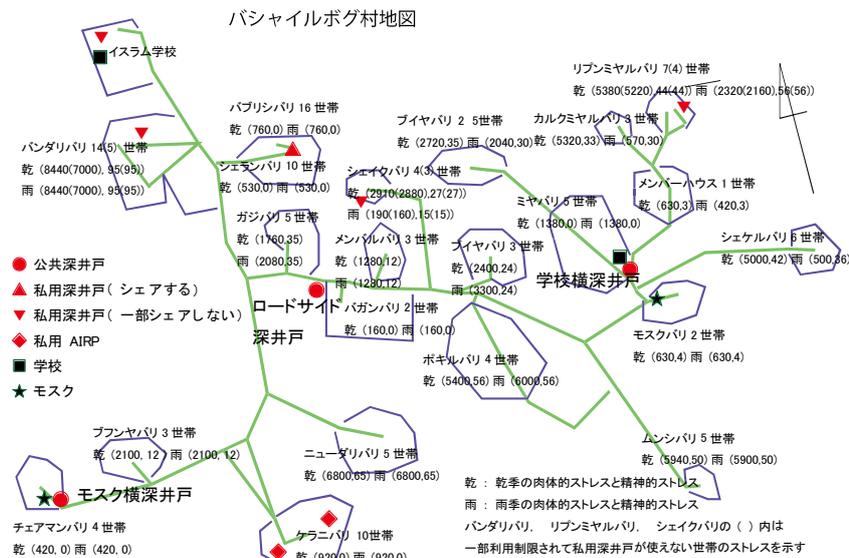


Fig. 4 Result of stress measurement in Basailbogh

Table 5 Results of Hayashi's quantification methods

項目名	カテゴリー	n	スコア	レンジ	順位
1.5 3)ビジネスマン	はい	24	-0.4626	0.6031	3位
	いいえ	79	0.1405		
1.7 世帯人数	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 マイクロクレジットの利用	はい	49	-0.1190	0.2270	5位
	いいえ	54	0.1080		
2.11 水運びに掛かる時間	掛かる	52	-0.4584	1.0683	2位
	どちらでもない	8	-0.2987		
	掛からない	43	0.6099		
肉体的ストレス	負担ではない	23	1.3041	2.0155	1位
	どちらでもない	43	-0.0854		
	負担である	37	-0.7114		
判別中点・判別の中率・相関比			0.2629	85.4%	0.4721

代替技術整備には、まず、このような複数バリからなるコミュニティへの代替技術導入による村全体のストレスを平均的に軽減する整備が考えられる。

実際にNGOや政府機関による代替技術整備はコミュニティを対象としていることがほとんどである。しかし、現地では一見して問題がなさそうなコミュニティを対象とした代替技術でも、実際にはすべての世帯が利用しているわけではなく、依然としてヒ素に汚染された飲料水を利用する住民が存在している例がしばしば観察された。

バシヤイルボグにおいても、今もなおヒ素に汚染された飲料水を利用する世帯が存在し、コミュニティだけではなくバリと世帯にも着目する必要があると考えられる。本研究ではコミュニティ、バリ、世帯を対象とした代替技術整備の計画プロセスを示す。これらの対象別のプロセスを示すことで、現地の状況に即した代替技術整備の可能性について考察する。

現地観察と社会調査結果、そして水運びの実地体験より、バシヤイルボグでは雨季よりも乾季の方が水運びストレスは大きいと感じられた。本研究では年間を通してより困難な状況において代替技術整備の計画プロセスを示すことが重要と考え、乾季においてストレス軽減の整備を示すことにする。以下では特にことわりがない場合ストレスは乾季の水運びストレスを示す。

4.4 安全な飲料水選択の要因分析

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。「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。説明要因について肉体的ストレスと精神的ストレスは相関係数が0.8を超えていて、分析に用いるには共線性を考慮する必要がある。ここでは世帯人数をウェイトとして各世帯の水運びの負担をより良く表現していると考えられる肉体的ストレスを用いる。分析結果をTable 5に示す。

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」、「水運びに掛かる時間」「ビジネスマンか」、「世帯人数」「マイクロクレジットの利用」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」のカテゴリー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。

5. 代替技術整備の計画プロセス

現地調査では飲料水ヒ素汚染の対策として導入された代替技術が現地適性と導入後のサポートの欠如などによって廃棄されている例がしばしば見られた。代替技術整備にはどのように代替技術を整備するかのみならず、代替技術そのものも現地住民にとって受容性があるものでなければならない。

本章では、まず、給水能力の規模に応じて多基準分析による代替技術のテクノロジーアセスメントを実施し、現地住民にとって受容性のある代替技術を選定する (Philippe Vincke, 1989)。そして、3章で得られた水運びストレス軽減という方針の下で、代替技術整備の計画プロセスを示す。

ここに、3章では経済的困窮度が高い人々は水運びストレスを強く感じており、代替技術整備にはこうした苦しんでいる人々を考慮する必要があることについても述べた。住民の公平性をもたらす最も簡単な方法は一番不幸な人々の救済であり、ここでは水運びストレスが大きく苦しんでいる人々の負担を最小化する代替技術整備の計画プロセスを示す。具体的には4章で示したストレスが最大級の対象に、順次代替技術を導入していく段階的な計画プロセスを示す。

また、実際の代替技術整備には費用の調達から現地NGOとの連携や施行業者の選定まで様々な条件を考慮する必要がある。しかし、最初からそうした前提条件を設定すると、採りうる整備は非常に限定されたものになる。本研究ではこうした前提条件を考えず、現地住民にとってもっとも受容性のある代替技術整備を示すことが、今後の実践的な整備における目的の明確化になると考えている。

5.1 代替技術の性能と特徴

文献、現地NGOへのヒアリング、現地調査から得られた知見を下にバングラデシュ国内で実際に導入が進んでいる代替技術の性能と特徴をTable 6に示す。

代替技術の適用可能性について、バシヤイルボグではため池の確保が困難なことからPSFの導入は不可能であると考えられる。本分析では深井戸、雨水利用装置 (世帯)、雨水利用装置 (複数世帯)、ダグウェル、AIRP (世帯)、AIRP (複数世帯) について

Table 6 Safe water options

代替技術	費用(Tk: 1Tk = 1.3円)	規模(世帯)	性能
深井戸 (DTW: Deep Tube-Well)	33000~50000 (掘削の深さによる)	~100	<ul style="list-style-type: none"> ・150mより深いヒ素に汚染されていない地層から手押しポンプで水を汲み上げる。 ・メンテナンスがいらす水量が豊富で浅井戸と同様の操作で扱えることから住民に受け入れられた技術である。 ・水は塩や鉄の味が強く、飲みにくい。
ダグウェル (DW: Dug Well)	10000~35000 (容量による)	5~70	<ul style="list-style-type: none"> ・深さ10m以下程度の自由地下水を水源とした井戸。 ・原水には感染症のリスクがあり砂ろ過フィルター付の装置も開発されている。 ・表流水を水源としていることから周辺の衛生管理が必要。 ・地域によって乾季に水量が乏しくなって干上がる例が観察された。
ヒ素除去フィルター (AIRP: Arsenic Iron Removal Plant)	4500~12000 (容量による)	1~10	<ul style="list-style-type: none"> ・従来の浅井戸に取り付けられる装置で鉄によってヒ素を除去し安全な水を供給。ヒ素の90~95%程度を除去できる。 ・メンテナンスは3ヶ月に1度、鉄の交換と砂の洗浄。 ・鉄と砂の費用として年間でおよそ560Tk必要。
ポンドサンドフィルター (PSF: Pond Sand Filter)	25000~35000 (ため池の規模による)	30~120	<ul style="list-style-type: none"> ・池を水源とし砂ろ過、砂利ろ過などを用いて飲料水を供給する。 ・PSFを設置する場合、選択、漁業、沐浴で使用できない。 ・メンテナンスは3ヶ月に一度砂と砂利の洗浄、または交換が必要。
個人用フィルター	3000~ (フィルターによって異なる)	1~5	<ul style="list-style-type: none"> ・大学の研究機関、NGO、民間企業によって開発された世帯用の代替技術。 ・試験的に導入されているものが多い。

テクノロジーアセスメントを実施する。

5.2 代替技術のテクノロジーアセスメント

代替技術はメンテナンス、水量など様々な側面から評価する必要がありテクノロジーアセスメントには多基準分析を用いる。

現地で利用されている代替技術の性能は一長一短であり、テクノロジーアセスメントには長所と短所両方を考慮できる手法が望ましい。そこで、本分析では各一対の代替案に対して別々にコンコーダンス尺度とディスコーダンス尺度を構築し、それに基づいて代替計画に関する相対的選好を行うコンコーダンス分析を用いる。また、Table 6の代替技術はコミュニティ(10~60世帯)、バリ(2~9世帯)、世帯という給水能力によって分類される。整備には規模に応じて分類される代替技術を組み合わせる必要があると考え、給水能力の規模毎にコンコーダンス分析を実施する。

(1) 評価基準の設定

テクノロジーアセスメントは「導入費用」「メンテナンスの困難さ」「メンテナンス費用(年間)」「水量安定性」「衛生保全」「水の味」の6つの評価基準で実施する。また、評価を考えるにあたり、世帯、バリ、コミュニティのいずれが評価者なのかを明確にしておく必要がある。本分析では代替技術の規模に関わらず、1世帯にとってそれぞれの評価基準のスコアを設定する。つまり、各世帯にとってそれぞれの代替技術にはどのようなメリットがありデメリットがあるかを意識してもらうことが重要と考える。

分析は給水能力の規模に応じて実施するので、イ

ンパクト行列は規模毎に作成する。インパクト行列は現地NGOのヒアリングから、実際に導入可能な代替技術のスコアで作成した。世帯用の代替技術は1世帯、対象をバリとするときはバシヤイルボグに3~5世帯のバリが多いことから4世帯、対象をコミュニティとするときは10~20世帯が対象となることから15世帯とする。

分析にはそれぞれの評価基準にウェイトを付ける必要がある。多くの多基準分析と同様に、コンコーダンス分析の実施においても、評価基準のウェイト付けは恣意性をはらんでおり、ウェイトの値の決定は簡単ではない。本分析では設定した評価基準はどれも同様に重要であると捉え、全て一律のウェイトとする。

(2) 結果の考察

コミュニティ、バリ、世帯のコンコーダンス分析の結果をそれぞれTable 7, Table 8, Table 9に示す。以上のコンコーダンス分析によって現地住民にとって受容性がある代替技術としてコミュニティ用とバリ用に深井戸、世帯用に雨水利用装置(世帯)が選定された。

深井戸はこの代替技術の中では最も高価であるものの、メンテナンスがいらぬこと、年間を通じて水量が安定していることが評価に影響している。他の代替技術について、雨水利用装置は年間を通じた水量安定性、ダグウェルは衛生管理、AIRPはメンテナンスというはっきりとした欠点があり、これが強く評価に影響している。雨水利用装置(世帯)は水量安定性という欠点があるものの、AIRP(世帯)と比べると味やメンテナンスにおいて優位性があると

Table 7 Community

代替技術	優越指標	順位	優劣指標	順位	総合順位
深井戸	0.714	1	-1.000	1	1
雨水利用装置(世帯)	-0.571	3	0.143	2	2
ダグウェル	0.571	2	0.500	4	3
AIRP(世帯)	-0.714	4	0.357	3	4

Table 8 Bari

代替技術	優越指標	順位	優劣指標	順位	総合順位
深井戸	0.286	1	-0.576	1	1
雨水利用装置(世帯)	0.143	2	0.008	4	3
雨水利用装置(コミュニティ)	-0.143	5	0.171	5	5
ダグウェル	0.000	4	1.394	6	5
AIRP(世帯)	-0.429	6	-0.497	3	4
AIRP(コミュニティ)	0.143	2	-0.500	2	2

Table 9 Family

代替技術	優越指標	順位	優劣指標	順位	総合順位
雨水利用装置(世帯)	0	1	1	1	1
AIRP(世帯)	0	2	1	1	2

考えられる。

5.3 代替技術整備における水利用の仮定

本節では整備を進めるにあたり、現地住民の水利用に関する行動の仮定を設定する。現地住民の水利用の行動は個人によって様々であるが、現地観察から現地の状況を踏まえた上で仮定を設定する。設定した5つの仮定を以下に示す。

- ① 導入する代替技術は全て公共の水源とする。ただし、世帯用の水源の利用は対象の世帯のみとする
- ② 簡単のため代替技術はバリの中心に設置する
- ③ バリ内に水源がある場合はストレスを0とする
- ④ 各世帯は利用可能な水源のうち肉体的ストレスが最小となるものを利用する
- ⑤ バリ内に代替技術が導入された場合、バリの住民は必ず代替技術を利用する

代替技術整備は住民全員がこの仮定に従うとし、以降はこの仮定に基づいてストレスを計量する。また、仮定④について、精神的ストレスはバリ毎の距離によってストレスを計量して世帯毎の負担の違いは考慮されないが、肉体的ストレスは世帯人数をウェイトとしており人数の多さによる水運びの負担を表現している。

現地観察よりバシヤイルボグは都市部に近く、人の出入りが激しいこともあって、宗教上の性差別は他の地域に比べて少ないように感じられた。単純集計でも精神的な負担よりも肉体的な負担の方が大きいと回答する世帯が多く、現地の水運びの苦しさをより良く表現していると考え、バシヤイルボグでは肉体的ストレスの負担に着目する。仮に、性差別が激しい地域において整備の計画プロセスを示す場合

は、精神的ストレスに着目する必要があることを断っておく。

5.4 バシヤイルボグの水利用の変化

本節では2005年8月のバシヤイルボグにおける水利用を再現し、2007年12月との比較から現地の水利用の時間変化について考察する。福島らによる2005年のバシヤイルボグの調査では合計6つの深井戸が飲料水として利用されていた。2007年の調査では新たにバンダリバリとリプンミヤルバリに2基の私用深井戸、ケラニバリに2基の私用AIRP（世帯）が費用全額負担の自助で導入され、所有者とバリの住民の一部が利用している。これにより、2005年は45世帯だった浅井戸利用者数は2007年には30世帯に減少している。

バシヤイルボグは2005年の時点でそれまでに導入された公共深井戸と私有深井戸の利用圏によって4つのコミュニティに分けられている。このため、コミュニティのストレス減少に着目しても、結果として水源から離れているバリを対象とすることになる。4章では整備の対象としてコミュニティ、バリ、世帯について述べたが、バシヤイルボグではコミュニティを対象とした整備はほとんどなされていたと考えられる。以降ではバリ、世帯という対象について考える。

2005年と2007年におけるバリのストレスの順位をTable 10とTable 11に示す。なお、バリ内に水源があるバリの記述は省略している。以降ではバンダリバリ、リプンミヤルバリ、シェイクバリについては私有深井戸の利用を差別されている世帯を①、所有者を含め利用可能な世帯を②と区別する。

2005年のバシヤイルボグでは肉体的ストレス、精神的ストレス共にバンダリバリ、ケラニバリ、リプンミヤルバリが他のバリと比べて非常に大きな値となっている。これらのバリは利用可能な公共深井戸が遠く世帯数も多い。この3つのバリの水運びストレスは村全体のストレスの約50%に相当し、2007年にはこれらのバリが代替技術を導入したことでストレスは大きく軽減されたことが分かる。先行研究は2005年の雨季のバシヤイルボグにおいて、安全な飲料水の欲求度に着目した代替技術整備のプロセスを示し、これら上位3つのバリに代替技術を整備することが有効であることを明らかにしている。

一方で、各世帯のストレスの値はほとんど変わらないムンシバリ、ニューダリバリ、そして利用を差別されているバンダリバリ①とリプンミヤルバリ①は依然としてヒ素に汚染された浅井戸を利用している。これらのバリは比較的貧しい世帯が多く、飲料水ヒ素汚染災害の解決には現地の状況が短期的に変

Table 10 Bari's Stress ranking in 2005

肉体的ストレス	世帯数	値	精神的ストレス	世帯数	値
バンダリバリ	14	20440	バンダリバリ	14	256
ケラニバリ	10	12420	ケラニバリ	10	96
リブンミヤルバリ	7	10150	リブンミヤルバリ	7	75
ニューダリバリ	5	6800	ニューダリバリ	5	65
ムンシバリ	5	5940	ボキルバリ	4	52
ボキルバリ	4	5400	ムンシバリ	5	50
カルクミヤルバリ	3	5320	シェケルバリ	6	42
シェケルバリ	6	5000	ガジバリ	5	35
シェイクバリ①	3	2880	カルクミヤルバリ	3	33
フイヤバリ2	5	2720	フイヤバリ2	5	30
フイヤバリ	3	2400	シェイクバリ	4	27
ブフンヤバリ	3	2100	フイヤバリ	3	24
ガジバリ	5	1760	ブフンヤバリ	3	12
メンバルバリ	3	1280	メンバルバリ	3	12
モスクバリ	2	630	モスクバリ	2	4
メンバーハウス	1	630	メンバーハウス	1	3

Table 11 Bari's Stress ranking in 2007

肉体的ストレス	世帯数	人数	値	精神的ストレス	世帯数	人数	値
バンダリバリ①	5	25	7000	バンダリバリ①	5	25	95
ニューダリバリ	5	20	6800	ニューダリバリ	5	20	65
ムンシバリ	5	22	5940	ボキルバリ	4	20	52
ボキルバリ	4	20	5400	ムンシバリ	5	22	50
カルクミヤルバリ	3	19	5320	リブンミヤルバリ①	4	18	44
リブンミヤルバリ①	4	18	5220	シェケルバリ	6	22	42
シェケルバリ	6	22	5000	ガジバリ	5	16	35
シェイクバリ①	3	16	2880	カルクミヤルバリ	3	19	33
フイヤバリ2	5	17	2720	フイヤバリ2	5	17	30
フイヤバリ	3	15	2400	シェイクバリ①	3	16	27
ブフンヤバリ	3	21	2100	フイヤバリ	3	15	24
ガジバリ	5	16	1760	ブフンヤバリ	3	21	12
メンバルバリ	3	16	1280	メンバルバリ	3	16	12
モスクバリ	2	9	630	モスクバリ	2	9	4
メンバーハウス	1	7	630	メンバーハウス	1	7	3

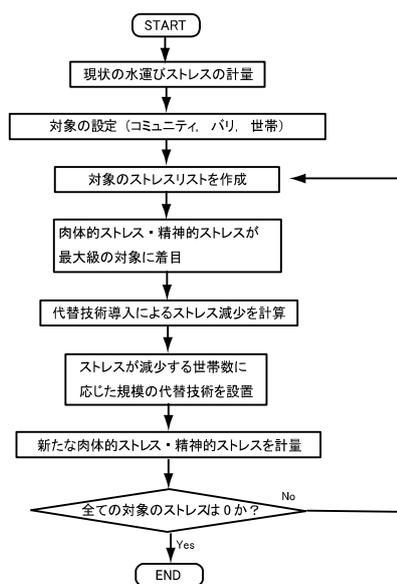


Fig. 5 Flow-chart of planning process

化していくことを考慮する必要があると同時に、上記のような未だに苦しんでいる人々へ対応することが必要である。

5.5 代替技術整備の計画プロセス

本節では選定された深井戸と雨水利用装置（世帯）によってバシヤイルボグにおける代替技術整備の計画プロセスを示す。ここに、計画プロセスは前節で再現した2005年と2007年の両方の状況において示す。

現地の水利用の時間変化は住民やNGOが実際に起こした行動であり、2005年にも計画プロセスを示すことで、実践的な整備において考慮すべき点が明らかになると考える。代替技術整備の計画プロセスのフローチャートをFig. 5に示す。

(1) 2005年の代替技術整備の計画プロセス

ここでは2005年におけるバシヤイルボグに対して代替技術整備の計画プロセスを示す。各stepにおける肉体的ストレス減少と利用世帯数の累積グラフについて、バリをFig. 6、世帯をFig. 7に示す。図中の「深」は深井戸が、「雨」は雨水利用装置（世帯）が導入されたことを示す。

Fig. 6よりstep1で全体の55%、step2で80%のストレスが軽減される。step3以降の各バリの減少量は3,000以下であり、2005年のバリを対象とするとstep2までの整備が有効であると考えられる。Fig. 7よりstep1で全体の38%、step2で68%、step3で87%のストレスが軽減される。

本研究で示した計画プロセスと実際の水利用の時間変化について考察する。バシヤイルボグでは2005年から2007年にかけてバンダリバリ、リブンミヤルバリに私有深井戸が、ケラニバリに2基の私有AIRP（世帯）が導入された。

ケラニバリでは所有者は導入時に「ヒ素除去の処理能力を越えるので1世帯以上で利用してはいけない」という説明を受けていた。だが、親戚が使いたいと言えば断ることが出来ず、10世帯で2基のAIRP（世帯）を利用しており、AIRP（世帯）をAIRP（複数世帯）として扱っていた。実際の利用状況を見ると、ヒ素除去能力は別として、利用には満足しているように観察された。Table 8のバリ用（2～9世帯）のコンコダンス分析ではAIRP（複数世帯）は深井戸に次いで2位となっており、利用においては受け入れられる代替技術ではないかと考えられる。

これらのAIRPは水質が適していなかったことと、複数世帯の利用による過負荷でヒ素を除去できなくなったことから2008年に廃棄されている。その後には現地の行政機関によって深井戸が導入され、結果としてバシヤイルボグではFig. 6の2005年のバリを対象とした計画プロセスのstep1と同じ整備がなされている。

計画プロセスでは仮定①から導入する深井戸は全て公共でバリ内の住民全員が利用できるとしているが、実際はバンダリバリとリブンミヤルバリは私有の深井戸で利用を差別している。こうして利用を差別されている世帯は、今もヒ素に汚染された浅井戸を利用している。

本研究で考案した計画プロセスと水利用の時間変

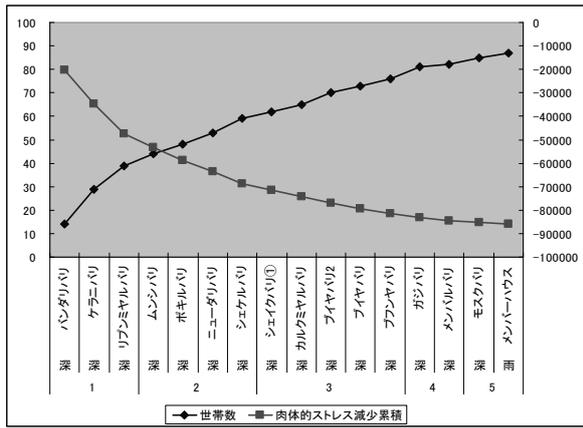


Fig. 6 Bari in 2005

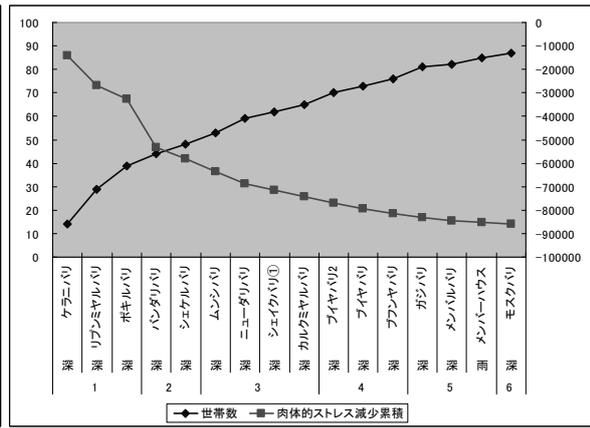


Fig. 7 Family in 2005

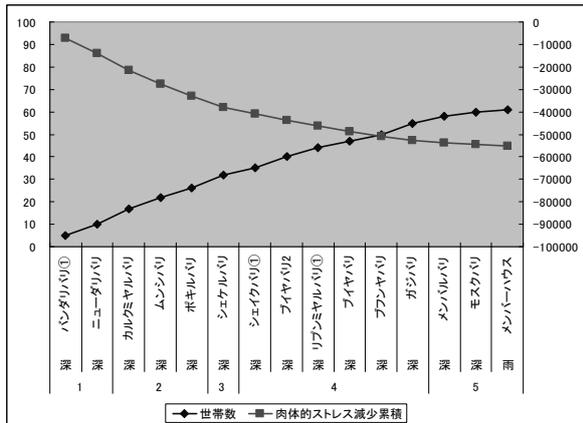


Fig. 8 Bari in 2007

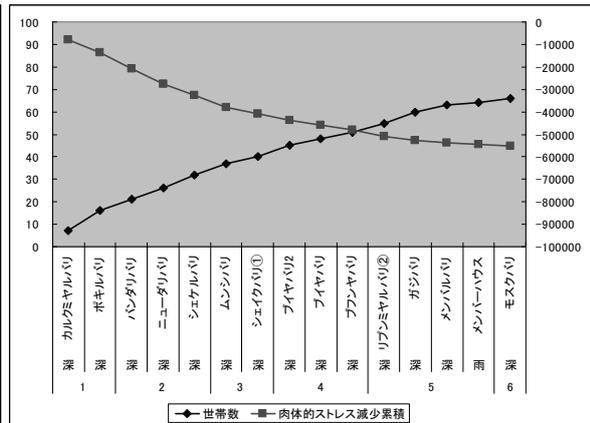


Fig. 9 Family in 2007

化の比較より、整備はただ単に代替技術を導入するだけでは不十分であり、社会システムの中で水利用において差別される人々や親戚を考慮する必要があると考えられる。

ケラニバリの例はNGOが利用する浅井戸の水質の事前調査を怠ったことが一番の問題であるものの、世帯用にも関わらず複数世帯で利用していたことも大きな問題である。NGOが現地の状況を把握していれば、世帯用の代替技術を導入したらこのような結果になることは十分予測できたと思われる。

(2) 2007年の代替技術の整備プロセス

2007年におけるバシヤイルボグに対して代替技術整備の計画プロセスを示す。各stepにおける肉体的ストレス減少と利用世帯数の累積グラフについて、バリをFig. 8、世帯をFig. 9に示す。

Fig. 8より、バリの整備ではstep1で全体の25%、step2で60%、step3で69%のストレスが軽減される。step3までは線形的に推移し、それ以降はリブンミヤルバリ①を境に減少量は鈍化しstep3までの整備が有効であると考えられる。Fig. 9より、世帯の整備ではstep1で全体の25%、step2で59%、step3で全体の74%

のストレスが軽減される。バリと世帯の結果を比較すると、世帯を対象とした整備では代替技術を導入するバリは異なるがストレスの減少量はほとんど変わらないことが分かる。

バシヤイルボグは主要道路から枝状にバリが広がっており、村から大きく外れた世帯は見られない。しかし、他の地域ではこうした少数世帯が多く見られ、世帯を対象とすることで孤立して伝わらない苦しさを考慮する必要があると考えられる。

2005年の整備の結果と比較すると、バリ、世帯共にstep1でのストレス軽減が大きく減少している。バングダリバリ、ケラニバリ、リブンミヤルバリではストレスが大幅に軽減され、2007年には最大級のバリの値は5,000~7,000となり全体の減少量も低くなっていることが分かる。2007年におけるバシヤイルボグの整備対象は少数の世帯で構成されるバリが多く、ストレスの大きいバリと世帯はほぼ一致する。このため、バリを対象とした整備であってもストレスの大きい世帯は反映されやすい。2005年から2007年に掛けて整備を必要としていたバリが自助によって代替技術を導入し、バリを対象とした整備がなされたと考えられる。

2007年のバシヤイルボグにおいてバリ、世帯共に14基の深井戸と1基の雨水利用装置（世帯）によって段階的にストレスを軽減する代替技術整備の計画プロセスが示された。ここで、費用の調達などの条件を考慮すると、1つの村に14基の深井戸の導入は明らかに不可能である。

このため、実践的な整備を考えた場合、まず、本研究で示した「一番不幸な人々の救済」という方針の下で整備に取り組むことで、貧困や水利用の差別によって苦しんでいる人々といたる村の社会システムを考慮した整備が可能になると考えられる。そして、いずれかの段階で代替技術導入によるハード面での活動から、3章で示した「ヒ素問題への関心向上」のようなソフト面での活動によって以降の対象に対応していくことが必要である。

こうしたソフト面の活動として、現地ではNGOによる代替技術導入前のワークショップや、ヒ素汚染問題の教育プログラムが行われている。バシヤイルボグでも過去にNGOによるヒ素汚染災害に関するワークショップが開催されてきた。また、著者らの研究グループも2007年9月にバシヤイルボグで水と衛生に関する意見交換のためのワークショップを開催したが、参加者は村の有力者や問題意識の高い世帯が多く、貧しい世帯や識字できない世帯にとっては気後れして参加しにくかったのではないかと考えられる。また、ヒ素問題に興味のない世帯はそもそも参加することすら考えないと思われる。

現地の状況を考えると、参加を住民の自主性に任せたワークショップのような形式では、実際にヒ素問題への関心向上といったソフト面の活動が必要な人々を対象とすることは難しい。代替技術導入というハード面の整備だけでなく、ヒ素問題への関心向上というソフト面についても、こうして取り残された人々に着目する必要があると考えられる。

5.6 代替技術整備に関する考察

本章の分析結果の考察からバングラデシュの農村部における代替技術整備は大きく分けて3つの段階に分けられると考える。すなわち、村に利用可能で安全な水源が少なく、村全体のストレスを平均的に軽減するコミュニティを対象とした整備が必要な第1段階、村に利用可能な水源は整備されたが、バリを対象とした整備が必要な第2段階、そして世帯を対象とした整備が必要な第3段階である。通常の行政機関や現地NGOの整備はコミュニティを対象としており第1段階の整備に当たる。バシヤイルボグでは2005年が第2段階に当たり、裕福な世帯が代替技術を導入したことによって第3段階に移行したと考えられる。

バシヤイルボグはダッカから近く物流も整い、比

較的裕福な世帯も多く代替技術整備は非常に進んだ地域である。また、実際に自ら深井戸を導入するなど安全な飲料水への欲求は非常に高い地域だと考えられる。しかし、そのバシヤイルボグにおいても社会環境と飲料水利用状況は世帯によって大きく異なり、今もなお全体の25%にあたる人々がヒ素に汚染された飲料水を利用している。飲料水ヒ素汚染問題の解決は全ての人々が安全な飲料水を得ることであり、第3段階までの代替技術整備を行う必要がある。

6. おわりに

本研究ではバングラデシュにおける飲料水ヒ素汚染災害について、今もなお苦しんでいる人々がいる現状に対し、村を社会システムとして捉え、現地の社会環境と飲料水利用状況を把握し現地住民にとって受容性のある代替技術整備の計画プロセスを示した。

まず、バシヤイルボグにおいて社会調査によって現地の社会環境と水利用を明らかにし、多変量解析によって得られた情報を集約し水運びの負担軽減が現地住民にとって受容性のある整備であることを示した。バシヤイルボグにおいて肉体的ストレスと精神的ストレスという2種類の水運びの負担をモデル化し、定量的に評価し、整備の対象としてコミュニティ、バリ、世帯が考えられることを示した。

代替技術のテクノロジーアセスメントでは整備に用いる受容性のある代替技術として、コミュニティ用とバリ用に深井戸、世帯用に雨水利用装置（世帯）を選定した。ついで、2005年と2007年のバシヤイルボグにおいて深井戸と雨水利用装置（世帯）を段階的に導入していく計画プロセスを示し、実際の整備には村の社会システムにおいて水利用で差別されていたり、貧しさゆえに変化から取り残された人々を考慮することと、ヒ素問題への関心向上といったソフト面の活動が必要になることを述べた。そして、ヒ素汚染災害の問題解決には世帯を対象とした第3段階までの整備が必要なことを示した。

今後の課題では水運びストレス軽減の代替技術整備の他地域における適用可能性を明らかにする必要がある。また、ヒ素汚染災害はバングラデシュ国内のみならず、隣国インドのベンガル地域でも大きな問題となっており、こうした国へも視野を広げる必要があると考えられる。

謝辞

本研究を進めるにあたり、ご指導、ご協力いただいた方々にこの場を借りて感謝いたします。日本下水文化研究会の高村哲氏（ノームプランニング）、保

坂公人氏 (五十音設計株式会社), Md. Tofayel Ahmed 氏, Md. Azad Zaman 氏, 坂本麻衣子准教授 (長崎大学), Md. azahar Ali Paramanil 氏をはじめとする SPACE のスタッフの皆様, そして AAN (Asia Arsenic Network) の皆様には調査の全面的な協力と貴重なご助言を頂き感謝いたします。

参考文献

酒井彰・高橋邦夫 (2007) : バングラデシュ農村の社会環境と健康リスク—とくに水供給と衛生に関連して—, 流通科学大学論集—人間・社会・自然編, 第21巻第1号, pp57-54.

坂本麻衣子・福島陽介・萩原良巳 (2007) : バングラデシュの飲料水ヒ素汚染災害に関する社会環境システム論的研究, 水文・水資源学会誌, 第20巻, 第5号, pp432-449.

竹村彰通 (1991) : 多変量推測統計の基礎, 共立出版.

谷正和 (2005) : 村の暮らしと砒素汚染—バングラデシュの農村から—, 九州大学出版.

豊田秀樹 (1998) : 共分散構造分析—構造方程式モデリング—[入門編], 朝倉書店.

萩原良巳・萩原清子・酒井彰・山村尊房・畑山満則・神谷大介・坂本麻衣子・福島陽介 (2004) : バングラデシュにおける飲料水ヒ素汚染に関する社会環境調査, 京都大学防災研究年報, 第47号B, pp15-34.

萩原良巳・坂本麻衣子 (2006) : コンフリクトマネジメント—水資源の社会リスク, 勁草書房.

萩原良巳・坂本麻衣子・福島陽介・萩原清子・酒井彰・山村尊房・畑山満則 (2006) : バングラデシュにおける飲料水ヒ素汚染災害に関する社会環境分析, 地域学研究, 第36巻1号, pp189-200.

萩原良巳・柴田 翔・萩原清子・福島陽介・酒井彰・高橋邦夫 (2008) : バングラデシュにおける安全な飲料水の選択行動分析, 京都大学防災研究所年報, 第51号B, pp695-714.

萩原良巳 (2008) : 環境と防災の土木計画学, 京都大学学術出版.

福島陽介・萩原良巳・畑山満則・萩原清子・酒井彰・神谷大介・山村尊房 (2004) : バングラデシュにおける飲料水ヒ素汚染に関する社会調査とその分析, 環境システム研究論文集Vol.32, pp21-28.

福島陽介 (2006) : バングラデシュにおける飲料水ヒ素汚染災害軽減のための計画論的研究, 京都大学大学院工学研究科, 修士論文.

柳井晴夫・繁柘算男・前川眞一・市川雅教 (1990) : 因子分析—その理論と方法—, 朝倉書店.

Cramer, H (1945) : Mathematical Methods of Statistics, Almqvist and Wiksells.

Philippe Vincke (1989) : MULTICRITERIA

DECISION-AID, JOHN WILEY & SONS.

National Policy for Arsenic Mitigation 2004 and Implementation Plan for Arsenic Mitigation in Bangladesh (2004) : Government of The People's Republic of Bangladesh.

付 録

付録 クラメールの関連係数について

標本の n 個の個体が2つの変数 (定量的であってもなくても良い) によって, Table 12に示した型の2元表に分割されたのとする。

Table 12 contingency table

変数	1	2	...	s	合計
1	v_{11}	v_{12}	...	v_{1s}	$v_{1\cdot}$
2	v_{21}	v_{22}	...	v_{2s}	$v_{2\cdot}$
...
...
r	v_{r1}	v_{r2}	...	v_{rs}	$v_{r\cdot}$
合計	$v_{\cdot 1}$	$v_{\cdot 2}$...	$v_{\cdot s}$	n

この種の表を分割表といい, しばしば2つの変数が独立であるという仮説を検定する必要が生ずる。

無作為にとられた個体が表の i 行, j 列に属する確率を p_{ij} で表わす。

このとき, 独立性の仮説は

$$p_{ij} = p_{i\cdot} \cdot p_{\cdot j} \quad \sum_i p_{i\cdot} = \sum_j p_{\cdot j} = 1$$

となるような $r + s$ 個の定数 $p_{i\cdot}$ と $p_{\cdot j}$ が存在するという仮説と同値である。この仮説によれば, 2つの変数の結合分布は $r + s - 2$ 個の未知のパラメータを含んでいる。なぜならば最後の関係によって $r + s$ 個の定数の2つ, たとえば $p_{r\cdot}$ と $p_{\cdot s}$ は残りの $r + s - 2$ 個によって表わされるからである。

この問題に χ^2 検定を適用するためには

$$\chi^2 = \sum_{i,j} \frac{(v_{ij} - np_{i\cdot} p_{\cdot j})^2}{np_{i\cdot} p_{\cdot j}} \quad (4)$$

を計算しなければならない。ここで, 和は rs 個のク

ラス全部にわたってとるものとする。また、パラメータ p_i と p_j は修正最小 χ^2 法により得られる推定量でおきかえるものとする。すなわち、いまの場合には以下の方程式からパラメータを決定する。

$$\sum_i \left(\frac{v_{ij}}{p_{i\cdot}} - \frac{v_{rj}}{p_{r\cdot}} \right) = 0 \quad (i=1, \dots, r-1)$$

$$\sum_j \left(\frac{v_{ij}}{p_{\cdot j}} - \frac{v_{is}}{p_{\cdot s}} \right) = 0 \quad (j=1, \dots, s-1)$$

となる。これらの方程式の解は

$$p_{i\cdot} = \frac{v_{i\cdot}}{n}, \quad p_{\cdot j} = \frac{v_{\cdot j}}{n}$$

であり、結局推定量としては単に周辺頻度から計算した頻度比を用いればよい。これらの推定量を $p_{i\cdot}$ と $p_{\cdot j}$ に代入すれば、 χ^2 の式は次のようになる。

$$\chi^2 = n \sum_{i,j} \frac{(v_{ij} - v_{i\cdot}v_{\cdot j}/n)^2}{v_{i\cdot}v_{\cdot j}} = n \left(\sum_{i,j} \frac{v_{ij}^2}{v_{i\cdot}v_{\cdot j}} - 1 \right) \quad (5)$$

また、 χ^2 は観測度数と期待度数とのずれを定量化する測度として用いられ、

$$\chi^2 = \sum_{i,j} \frac{(v_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}} \quad (6)$$

とも表される。ただし、 E_{ij} は期待度数で、

$E_{ij} = np_{i\cdot}p_{\cdot j}$ である。すなわち、2つの変数が独立

ならば $p_{ij} = p_{i\cdot}p_{\cdot j}$ となり、観測度数と期待度数は

一致し $\chi^2 = 0$ となる。

一方、変量

$$\phi^2 = \frac{\chi^2}{n} = \sum_{i,j} \frac{(v_{ij}/n - (v_{i\cdot}/n)(v_{\cdot j}/n))^2}{(v_{i\cdot}/n)(v_{\cdot j}/n)} \quad (7)$$

は属性相関係数のひとつであるK. Pearsonによって導入された平均自乗コンティンジェンシイ (Mean

Square Contingency) ϕ^2 である。 $\phi^2 = 0$ となるのは変数が独立のとき、またそのときに限る。一方、不等式 $p_{ij} \leq p_{i\cdot}$ および $p_{ij} \leq p_{\cdot j}$ を用いて、上の式か

ら $q = \min(r, s)$ とすれば、 $\phi^2 \leq q-1$ であることがわかる。これと上式より

$$0 \leq \frac{\phi^2}{q-1} = \frac{\chi^2}{n(q-1)} \leq 1$$

となる。大きいほうの限界1は各行の ($r \geq s$ のとき)あるいは各列 ($r \leq s$ のとき) が0と異なる要素をただひとつ含んでいるとき、またそのときに限って達成される。したがって、

クラメールのコンティンジェンシイ係数 (Cramer's coefficient of contingency)

$$C_r = \frac{\chi^2}{n(q-1)} \quad (8)$$

は標本によって示された関連性の度合いの尺度とみなされる。この尺度の分布は、もちろん χ^2 分布に簡単な変数変換を行えば求まる。

クラメールのコンティンジェンシイ係数は他のコンティンジェンシイ係数やPearsonの積率相関係数とオーダーが異なる。むしろその平方根をとるほうが望ましく、その慣行が確立しつつある。そこでクラメールのコンティンジェンシイ係数の平方根

$$V = \sqrt{C_r} = \sqrt{\frac{\chi^2}{n(q-1)}} \quad (9)$$

をクラメールの関連係数と呼ぶことにする。ここで、サンプル数を n 、二つの変数をカテゴリ $r \times s$ 、 $q = \min(r, s)$ とすると V はこれらの値によって大きく変化する。有意確率 α が0.1, 0.05, 0.01における χ^2 の値における V について計算したものを

Table 13に示す。

クラメールの関連係数は特にサンプル数によって値が大きく異なり、用いるときには注意が必要である。たとえばカテゴリ数 2×2 、自由度1で有意確率 $\alpha = 0.05$ における V についてみてみよう。サンプル数 $n = 50$ のとき $V = 0.277$ だが、 $n = 1000$ のとき $V = 0.062$ 、 $n = 10000$ のとき $V = 0.020$ とサンプル数が大きくなるにつれて V の値は小さくなる。 V を用いるときはサンプル数を考慮して値を設定する必要がある。

Table13 Cramer's coefficient of contingency

カテゴリ数	2×2	3×2	3×3	4×2	4×3	4×4	5×2	5×3	5×4	5×5
g = Min(r, s)	2	2	3	2	3	4	2	3	4	5
自由度	1	2	4	3	6	9	4	8	12	16
有意確率 α	カイニ乗値									
0.1	2.706	4.605	7.779	6.251	10.64	14.68	7.779	13.36	18.55	23.54
0.05	3.841	5.991	9.488	7.815	12.59	16.92	9.488	15.51	21.03	26.3
0.01	6.635	9.21	13.28	11.34	16.81	21.67	13.28	20.09	26.22	32
サンプル数	クラメールの関連係数									
10	0.520192	0.678602	0.623659	0.790633	0.729383	0.699524	0.881986	0.817313	0.786342	0.767138
	0.619758	0.774016	0.688767	0.884025	0.79341	0.750999	0.974064	0.880625	0.837257	0.810864
	0.814555	0.959687	0.814862	1.064894	0.916788	0.849902	1.152389	1.002247	0.93488	0.894427
20	0.367831	0.479844	0.440993	0.559062	0.515752	0.494638	0.623659	0.577927	0.556028	0.542448
	0.438235	0.547312	0.487032	0.6251	0.561026	0.531037	0.688767	0.622696	0.59203	0.573367
	0.575977	0.678602	0.576194	0.752994	0.648267	0.600971	0.814862	0.708696	0.66106	0.632456
30	0.300333	0.391791	0.360069	0.456472	0.42111	0.40387	0.509215	0.471876	0.453995	0.442907
	0.357817	0.446878	0.39766	0.510392	0.458076	0.43359	0.562376	0.508429	0.483391	0.468152
	0.470284	0.554076	0.470461	0.614817	0.529308	0.490691	0.665332	0.578648	0.539753	0.516398
40	0.260096	0.339301	0.311829	0.395316	0.364692	0.349762	0.440993	0.408656	0.393171	0.383569
	0.309879	0.387008	0.344384	0.442012	0.396705	0.3755	0.487032	0.440312	0.418629	0.405432
	0.407278	0.479844	0.407431	0.532447	0.458394	0.424951	0.576194	0.501124	0.46744	0.447214
50	0.232637	0.30348	0.278909	0.353582	0.32619	0.312836	0.394436	0.365513	0.351663	0.343074
	0.277164	0.34615	0.308026	0.395348	0.354824	0.335857	0.435615	0.393827	0.374433	0.362629
	0.36428	0.429185	0.364417	0.476235	0.41	0.380088	0.515364	0.448219	0.418091	0.4
100	0.164499	0.214593	0.197218	0.25002	0.230651	0.221209	0.278909	0.258457	0.248663	0.24259
	0.195985	0.244765	0.217807	0.279553	0.250898	0.237487	0.308026	0.278478	0.264764	0.256418
	0.257585	0.30348	0.257682	0.336749	0.289914	0.268763	0.364417	0.316938	0.295635	0.282843
200	0.116319	0.15174	0.139454	0.176791	0.163095	0.156418	0.197218	0.182757	0.175831	0.171537
	0.138582	0.173075	0.154013	0.197674	0.177412	0.167929	0.217807	0.196914	0.187216	0.181315
	0.18214	0.214593	0.182209	0.238118	0.205	0.190044	0.257682	0.224109	0.209045	0.2
1000	0.052019	0.06786	0.062366	0.079063	0.072938	0.069952	0.088199	0.081731	0.078634	0.076714
	0.061976	0.077402	0.068877	0.088402	0.079341	0.0751	0.097406	0.088062	0.083726	0.081086
	0.081456	0.095969	0.081486	0.106489	0.091679	0.08499	0.115239	0.100225	0.093488	0.089443
10000	0.01645	0.021459	0.019722	0.025002	0.023065	0.022121	0.027891	0.025846	0.024866	0.024259
	0.019598	0.024477	0.021781	0.027955	0.02509	0.023749	0.030803	0.027848	0.026476	0.025642
	0.025758	0.030348	0.025768	0.033675	0.028991	0.026876	0.036442	0.031694	0.029563	0.028284

本研究では社会調査のサンプル数が120であることを考慮し、 V が0.25以上のときは関連があると設定して関連分析を行った。

A Study to Install Safe Water Options for Arsenic Contamination of Drinking Water in Bangladesh

Yoshimi HAGIHARA, Kiyoko HAGIHARA*, Akira SAKAI**,
Kunio TAKAHASHI*** and Sho SHIBATA****

* School of Sociology, Bukkyo University

** University of Marketing and Distribution Sciences

*** Japan Association of Drainage and Environment

**** NEWJEC Inc.

Synopsis

In Bangladesh, arsenic contaminated drinking water has become a major problem. Since the revelation of arsenic contamination, various safe water options have been introduced to supply drinking water. However, some of them have already been abandoned. The options are not acceptable for local residents without consideration of their social environments and support after introduction. The purpose of this study aims to plan acceptable processes to install safe water options for the disaster of arsenic contaminated drinking water considering local social environment in Bangladesh.

Keywords: Bangladesh, arsenic contaminated, social survey stress of collecting water, multi criteria analysis