第六八回定例研究会

バングラデシュ農村域における飲料水の問題
～ヒ素汚染と気候変動～

東京大学大学院　新領域創成科学研究科准教授　坂本麻衣子

自己紹介～水利用コンフリクト研究からバングラデシュへ

坂本です。よろしくお願いします。

京都大学の工学部地球工学科を卒業し、そのまま修士、博士と進みました。このときの研究室の指導教員がもともと日水コン（日本水道コンサルタント）にいらっしゃった方でした。それがご縁で、日水コンご出身の酒井先生や高橋さんと知り合う機会がありまして、それがここに至る最初のきっかけです。それから東北大学、長崎大学を経て、今は東京大学大学院新領域創成科学研究科国際協力学専攻で准教授をしております。

バングラデシュのヒ素問題を研究するまでの経緯をご紹介します。京都大学の研究室に在籍していたときは国際協力やフィールドワークをするようなタイプの研究は全然していなくて、ＢＵＥＴ（バングラデシュ工科大学）の教授が客員教授として迎え入れられたときに、奥様が高名なＮＧＯの女性活動家だったのですが、その方も客員研究員として迎えられて、テーマにされていたヒ素汚染問題を、その研究室の卒論、修論でテーマにする学生さんがいて、私がそのお手伝いをしたことが始まりでした。

ただ当時は、水利用の競合の話をしていてフィールドワークとは無縁でした。科研費が受けられたり、酒井先生や高橋さんにバングラデシュに連れて行っていただいて、エコサントイレのフィールドを見たり、長崎大学に異動したときには熱帯医学研究所という疫学研究で有名な研究所の先生方と知り合うきっかけがありまして、縁が重なって、バングラデシュやインドの水と衛生、飲料水と衛生の話を一つの研究テーマにするに至りました。

最初にバングラデシュに行ったのは二〇〇二年ですが、水利用のコンフリクトに関してガンジス川のファラッカ堰に様子を見に行っただけで、そのときはヒ素汚染の話をしようとはそんなに思っていなかったのです。学生さんのお手伝いをすることがなければ、おそらく私は国際協力学専攻に籍を置くこともなかったと思います。

そういう経緯で研究テーマとすることになったバングラデシュの飲料水のヒ素汚染の問題ですが、特にバングラデシュとインドの比較を長らく研究してきています。バングラデシュのことも

お話しする一方で、インドのウエスト・ベンガル地域における飲料水のヒ素汚染の状況も併せてご紹介したいと思います。

今日お話するのは、最初に、ウエスト・ベンガルの農村地域における自然由来のヒ素汚染についての問題です。水道などの整備が十分でない農村部では、表流水は感染症のリスクが高いので、地下水を飲むようにという指導がなされたのですが、後に、その中に自然由来のヒ素が含まれていたということがわかり問題となっています。次に、近年気候変動で、バングラデシュは沿岸部の土地が低いので、海面上昇の影響を強く受けて、地下水の塩化が深刻な問題になると予想されていることから、その現状を調査した話、そして近年の研究動向について簡単にご紹介したいと思います。

農村地域におけるヒ素汚染の研究

安全な水を選ばない人々

まず、ヒ素汚染の話です。そもそも伝染病のリスクに対して管井戸の導入が進められ、池や川の

亡率は減りましたが、一方で管井戸からヒ素汚染が発見されたという経緯です。

バングラデシュでの二〇〇〇年の調査では、三〇％の管井戸は、深刻なヒ素に汚染されていると報告されました。なぜこのようにわりと最近かというと、今申し上げたように、もともとは管井戸からの水を飲むという習慣は一般的ではなく、最近になってからのことで、調査が全国的に行われて報告がなされたという経緯になっています。

その当時、バングラデシュ政府は、三五〇〇万人がヒ素汚染にさらされており、そのうち約一万四〇〇〇人はヒ素汚染患者と診断されていると公表しました。分布は図1のようになっていますが、線で囲んだところは特にヒ素に汚染されている場所として報告されています。

これに対して、修士学生の福島さんの研究というのが「バングラデシュ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」で、私のこれまでの研究経歴の中ではとても重要な研究です。ヒ素汚染の問題に対してより深く研究を始めるきっかけになった、いろいろな視点が含まれていますので、紹介させていただきます。

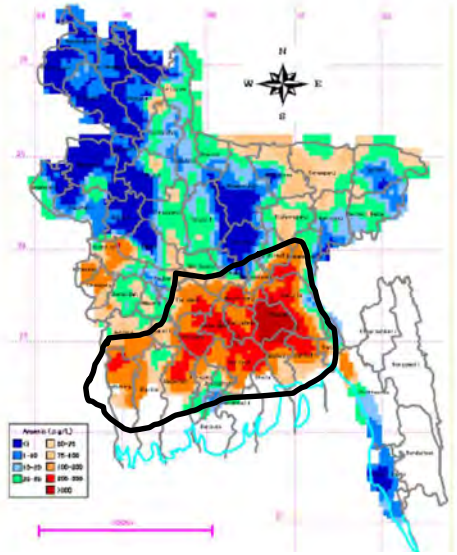

図１　バングラデシュにおけるヒ素汚染

水ではなくて井戸の水を飲みなさいと広く指示されて、井戸の導入が広まっていきました。もともとは灌漑用の井戸はあったのですが、それをさらに飲料用とするように指導があって、管井戸の導入が進んでいきました。この結果、乳幼児の死

福島さんの着目点は、現地では女性が水汲みをするので、その水運びの負担が水源を選択するうえで重要ではないかというものでした。バングラデシュでは、二〇〇〇年に報告があってから全国的に井戸が調査されて、ある一定以上の濃度のヒ素が入っている、入っていないで井戸が赤と緑に塗られています。さらに、ヒ素は危ないものという意識啓発活動が広く行われました。ですから村に行って人々に、ヒ素について不安ですか、深い井戸と浅い井戸と大きく分けると浅い井戸にはヒ素が入っていて、それが健康に悪い影響を与えることや、赤と緑のペンキで塗られた井戸で赤い井戸の水を飲み続けると皮膚が黒くなったり、内臓疾患が出たりするということを知っていますかと聞くと、「はい」と答える人が多いのです。

にもかかわらず、実際の水源はどこを選択されているかを調べてみると、ヒ素に汚染された井戸を使っている人がかなりいるという現状があります。それに対して、なぜそうなのかと。また、どうやったら安全な井戸をもっと使ってもらえるのだろうかというのが、福島さんのそもそもの研究のきっかけでした。

基本的には親族単位で集まって住んでいて（バリと呼ばれる）、もし自分のバリに安全な井戸がない場合は、例えば、雨季ですと村が水で浸されてバリが島みたいになるので、竹の橋を渡って水を汲みに行かないといけないという、肉体的な苦痛が水運びにはあります。ボートを使って水を運んだりもします。

水運びをするのは女性で、現地の女性にとって、親族以外の男性の目にさらされることは基本的に好ましいことではありません。本人が嫌だと思うこともあるでしょうし、旦那さんが嫌だと思うということもあります。男性が特に多く集まるモスクの周辺や人通りが多いところに井戸があると、できるだけこういうところを通るのは避けたいとか、通ると精神的なストレスを感じるという状況にあります。

これに対して、なぜ安全な井戸を使わないのですかと聞くと、物理的に遠いからということをまず一番に挙げます。あるいは、精神的な負担、人通りの多いところは通りたくないからあそこには行かないとはっきり言う女性もいます。

福島さんがこの村で調査をした際は、ヒ素のことを知らない人はいなかったが、汚染された赤井戸の水を飲んでいる人も意外に多かったということですが、実際に距離を見ると、これで本当に遠いのか、と少し疑問に思うほどの距離のこともあり、どこまでが物理的に遠いのか、なぜだろうというところが当初の動機だったのではないかと思います。

【高橋】 運ぶポットは、サイズはいろいろありますが、通常どのぐらい入るのですか。

【坂本】 量ですか。七リットルぐらいは入ると思います。コルシ（＝ポット）ですね。

【高橋】 僕はいろいろ試しに持たせてもらったことがあって、一五リッターから二〇リッター入るんです。大変な重さでよろけるぐらいのね。

【坂本】 二〇キロを持ち歩くのは大変ですね。

Capabilityとストレスのバランスが選択肢に影響

Capabilityとはアマルティア・センが提唱した概念ですが、この概念を使って、水源の選択行動をモデル化しようとしました。Capabilityというのは、どのくらいのことができるかということの集合だと思ってもらったらいいと思います。例えば、裕福だったり、精神的に余裕があったり、健康だったりすると、お金をもらうとできることは増えますけれども、身体的に障害がある場合は同じお金をもらっても行動に制約があるので、できることの選択肢はそれよりは少ないですね。そういうふうに、同じ外的条件に対してできることの選択肢の多さだと思ってもらえればいいです。

それを定量的に考えるために、生活の安定感、ヒ素不安感、水運びのストレスによってCapabilityは構成されると考え、Capabilityに対するこれら要素の影響を統計的に推計しました。この結果、生活の安定感が高いほど、Capabilityは大きくなります。ヒ素が不安だと思うほど、もっといろいろな選択肢を試そうとする動機が生まれるので、よりCapabilityが高まります。これに対して水運びに苦痛を感じていると、やりたくないと思う、対応をあまりしたくないと思うので、Capabilityに負の影響を与えると。そういう形で、何か行動を起こそうとするときのキャパシティー、その概念的なものをアンケート結果から推計し、Capabilityを表現するということを研究の中でやっています。

その Capability に対して、ある水源まで行くのは、水運びのストレスがそれよりも低いのだろうと。それよりも水運びのストレスが大きいと、もう無理となって、その水源は選択されないという考え方で水源の選択行動をモデル化しました（図2）。Capability と安全な井戸まで行くときの水運びのストレスとの兼ね合いで、安全な水源を実際に選択して使うのか使わないのかが決まっているのではないかという仮定を置いて、実際に距離を測って、歩いていって、竹の橋を移動するともっと時間がかかるとか、水の重量、重いと仕事量は増えるということで物理的に肉体的ストレスを評価しています。精神的ストレスは、時間で定義し、どのぐらいそこの道を歩かないといけなくて、人目が多いところほどウエイトをつけて、より長い時間としてカウントするという形で、

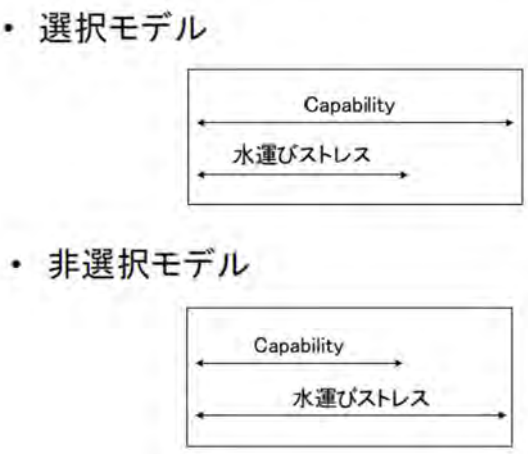

図２　水資源選択モデル

この研究の中では精神的ストレスを評価しています。

それぞれのバリから安全な井戸に行くのにどのぐらいのストレスがかかるのかを定量的に計算した例が図3です。上が肉体的、下が精神的という形で、モスクの前、道沿い、学校横の深井戸に行くのに、どのぐらいの肉体的ストレス、あるいは精神的ストレスがかかるかをこのようなやり方で定量的に評価。

さらに、Capability との兼ね合いで水源選択行動が決まってくると仮定しているので、Capability との関係も定量的に考えていかないといけないのですが、ここがなかなか難しかったところです。そこで、ある深井戸を使ったり、使っていなかったりする世帯があったのですが、おそらく、深井戸までの精神的ストレスと Capability がだいたい釣り合う値だから使ったり使わなかったりするのだろう、と仮定しました。このように、ずっと同じ水源を使い続けず、自分の家のそばのヒ素に汚染された井戸を使ったり、

		公共井戸の場所		
バリ(集落)名	世帯数	モスク前	道沿い	学校横
ケラニ・ダリ	18	29	37	68
		62	91	183
パンダル・プッシン	15	53	27	58
		146	98	190
ブイヤ	8	64	22	28
		171	63	71
ムンシ	6	81	39	28
		222	114	64
リブンミヤル	10	43	2	12
		180	77	62

上段：肉体的
下段：精神的

着色されたバリ名は、現在赤井戸を飲料用として利用

着色した数字は、現在使用している深井戸。または過去に使用したことがある深井戸。

図 3

あるいは、少し遠いところの公共の安全な井戸を使ったり、といった行動が安定していないような集落の人たちのストレスを見て、さらに、社会的地位、経済的状況、現在の職業、生活が安定しているとか、していないとか、そういうことから定性的に四段階で Capability を評価して、それぞれの Capability に対して、大体このぐらいがそれぞれの Capability に対して耐えうるストレスの上限だろうということを見ていきました。精神的ストレスなり、肉体的ストレスというのは、ウエイトをつけて、時間の長さを変えたりはしていますが、基本的には地図があれば何らかの値は出るものです。その値に対して、Capability をどういうふうに関連させて水源の選択行動という話にしていくかといったときに、今みたいな考え方で、どのぐらいの Capability だったら、多分このぐらいのストレスまでいけるのだろうという関係性を、少し苦しいところはありますが、関係づけるということをしています。そして、大体、四段階それぞれの Capability に対してこのぐらいのストレスまではいけるのだろうということを、ひとつの指標、物差しとしてまとめたわけです。

どこかのバリに何か新しい水源を入れる場合、どこのバリの人は来られて、どこのバリの人は来られないとすると、どこにまず入れたらたくさん使ってもらえるかというのは、当然普通だったら、道の大きいところ、できるだけアクセスのいいところにつくれば、たくさん使ってもらえるという話になると思うのですが、女性が水汲みする場合の精神的ストレスを考えたときには、そういうところに入れてしまうと、来てくれないかもしれないという話が考慮されているわけです。そういう意味で、アクセス可能ということと、あと、ストレスという意味で、単に物理的な距離だけではなくて、できるだけ人通りの多いところは避けるということを含意するモデルになっています。そのもとで、各バリの世帯はどこまで行けるか、それに対して、どこに何を入れていくかということをここで考えていくわけです。

このように、Capability により、住民の水利施設へのアクセスのネットワークを考慮します。水利施設へのアクセスのネットワークというのは、今言ったように、単に物理的に行ける、行けないだけの話ではなくて、Capability との関係性で、Capability がある程度大きくないと、そのバリまでは行けないというネットワークになっています。

そして、村全体から見て、現状の水運びストレスが大きいバリから順次段階的に、利用者数に応じた代替技術を導入する場合、一番大変な人たちのところから救っていくと考えたら、どういう順番で水利施設を導入していく、代替技術を導入していくのがいいかということを考えています。もちろん全部のバリに、例えば深井戸なり何らかの住民たちが利用できる代替技術を導入できればいいのですが、当然コストには制約がありますし、建設するには時間もかかるかもしれません。例えば、ポンドサンドフィルターだと、住民がちゃんと使えるようになるまで時間がかかったり、あるいは使ってもらえなかったりもするわけです。そういう意味で、全部というよりは順番にやっていったときに、最も効率的にたくさんの人に利用してもらえるようになるために、こういうことを優先的にやっていったらいいのではないかということで考えられたステップが図４です。

まずは、この二つのバリに入れると、赤色の井戸を利用している世帯がおそらくこのぐらい減って、それに伴って、村の精神的ストレスがこのぐらい減るというようなことをプロットしていったものがこれです。ステップ２までで、非常に効果的にストレスは減少して、ここを優先的に整備することで非常に効率的に、全部に入れることを考えなくても、かなり早く、予算という意味で効率的に対応できるのではないかという話をしています。

さらに、それぞれのステップで、深井戸はたくさんの人が利用できますけれども、例えばヒ素除去装置を入れるのだったら二個ぐらい必要とか、雨水タンクだったら、コミュニティーサイズのも

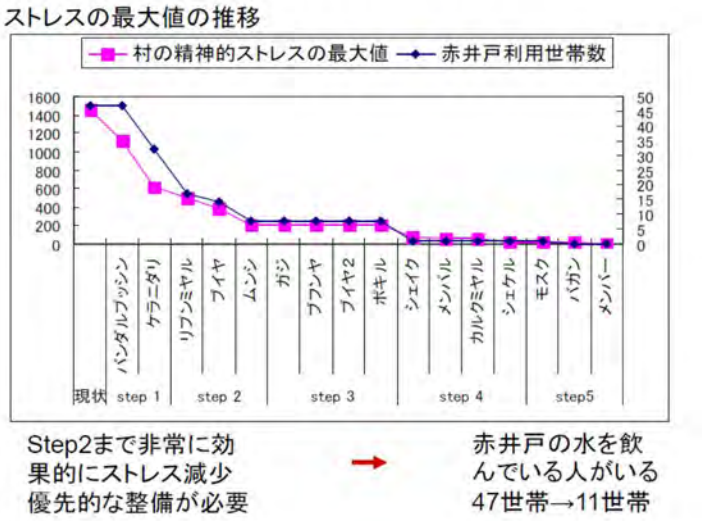

図４

のが一つ必要ということで、今ここで考えている、この減るだけの世帯をまかなえる技術は、例えばどういうものがあるかを整理しているのが図５です。

特にストレスの大きいバリは、今言ったように、何か代替技術を導入してあげて、しかもステップ２まで優先的にやることで、効率的に、効果的にかなりの人数に対応できると。

一方で、四七から一一世帯と書いてありましたが、まだ一一世帯ぐらいはやはりそこまでは行けないと。そのバリに新しい代替技術を入れるという対応もあるとは思いますが、それよりは、Capability が低めのバリが多かったので、そちらの対策をソフトでやることを、それらのバリに対してはやってあげることのほうがおそらく効果的なのではないかと。もうちょっと遠くまで水運びに行けるほうが、おそらく本質的な解決ではないかという提案をしています。Capability の構成を先ほどの分析で示しましたが、その中の生活の安定感の向上というのは経済的な話も関わっ

てきますし、職を得られるかという話にも関わってくるので、なかなか技術援助という形で対応することは難しい話ですが、ヒ素の健康リスク認知の徹底をもうちょっとやることで、Capabilityの構成要素であった不安感を上昇させる、すなわちヒ素の健康リスクの認知の徹底をもう少しやることで、ハード、ソフト両面での対応と、さらに、そういった対応をするべき優先順位としてのバリの順位を明らかにします。広く一般的に、概念的にハードとソフトで対応みたいなことではなく、ここはハードで対応したほうがおそらく効果的で、こっちはソフトで対応してあげることを優先的にやるほうが、このバリの人たちにとってはおそらくいい。そういう結論となります。

　こういう話を福島さんが修論でした中で、私も開発援助やエコサンの話も聞いていて、深井戸を入れて、緑のペンキで安全な井戸ですよと周知しても使ってもらえないとか、ヒ素を除去する装置だとか、池の水をきれいにする装置だとか、そういうものをいろいろ導入してきているわけです

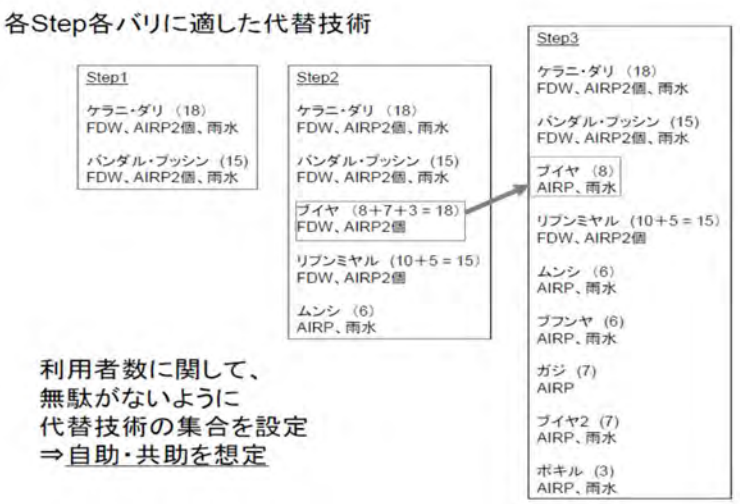

図 5

が、なかなか使ってもらえないという話をすごくよく聞きました。なぜ失敗するのだろうと。なぜ使ってもらえないということが起こるのだろうということは疑問として持っていました。

　これは『ＴＩＭＥ』という雑誌に出ていた記事（図６）で、開発援助が始められてから長らく時間がたっているわけですが、そういった援助は果たして本当に機能しているのかと。例えば、アフリカやアジアに非常に多くの援助が行われてきていますが、『ＴＩＭＥ』に書かれていたのですが、そういったことを支援した人たちが考えるには、あまり役に立っていないのではないかということでした。

　なぜ失敗するかというと、悪いプロジェクト一つ一つにやはり理由があって、そういうことを丁寧に考えていかないと、なかなか難しいだろうなと、このぐらいの時期から思い始めました。

- *– Today aid donors and recipients are increasingly asking, Does aid work? After half a century during which benefactors gave billons of dollars to Africa and Asia, they are finding the answers is often no. There are as many reasons for aid's failure as there are bad aid projects in the world. – Times September 26, 2011*

図 6

地域文化に着目した水源選択行動分析
～インドとバングラデシュの比較

それではどうすればよいのか。開発援助といってもいろいろなものがあると思いますが、ここでは水と衛生の話です。インフラがきちんと整備されれば、飲料水や衛生環境は改善されて、病気の発症は減る。それは自明のことで、誰もが賛成するところですが、一方で、技術移転したものが持続的に使われないケースも少なくない。なぜかというところと、どうしたらいいのかというのが、私がずっと持ち続けてきている研究動機です。

おそらく社会環境、ヒ素の話だと、女性が水汲みをするということなので、ジェンダーなど社会文化の慣習的な側面にもっと配慮して、何を導入するのか、どうやって導入するのかをもっと丁寧に考えないと、せっかく提供した技術も使ってもらえないか、あるいはその価値に感謝してもらえないことも起こるのかなと。

そういうことと、果たして全員、その効果を享受できるのかといったときに、必ずしもそういう効果を享受できない層もいるのではないかと。例えば、先ほどハードとソフトに対応するというふうに分けましたが、ソフトで対応しなければいけない人たちは、せっかく入れたのに行かないわけですよね。けっこう近くに入れてあげても、行かないのか、あるいは行けないのか分からないですけれども、行けないのだとしたら、なぜ行けないのかというのは、おそらく社会文化の慣習的なところにかなり関係していて、外国の人がわざわざ行って援助するというのは、そういうことをきちんと読み解いてあげないといけないのではないかと。いわゆるトリクルダウンで国が発展していけば、おそらくかなりの人の生活はよくなっていく。けれども、おそらく取り残される人はいて、その人たちがどういう人たちなのかというのを、外部の人が見てあげないと対応は遅くなるのかなと思って、必ずしもトリクルダウンが期待できない層に特に着目したいというのが私の研究のモチベーションの一つです。

どのような配慮をしたらいいのか、しかも、平

たく社会文化の慣習に対して配慮が必要ですと言うのは簡単ですが、どういう配慮なのかとか、そういう層というのは実際どういう人たちなのかというのは、村ごとであったり地域ごとであったり、失敗するプロジェクトと同じ数だけ理由があると書かれているように、多分、非常に地域文化的な話なのだろうと思って、私は研究費の金額という意味もありますが、広く調査をするのではなく小さな村を、サンプリング調査ではなくて全部調べるということを私の調査研究の基本的スタイルにしています。

この福島さんの研究から一つ、次につながって出てきたのが、この研究です（図7）。女性が水汲みをすることのストレスをもう少しうまく定量的に評価できないかなと思ってやった研究です。

二〇〇六年、このときはまだそんなにしっかりとこういった研究はしていなかったのですが、ちょうど、酒井先生・高橋さんがインドのウエスト・ベンガルのカリヤニ大学にいらっしゃる先生

地域文化を空間構造から読み解く

ベンガル地域の飲料水ヒ素汚染問題軽減のための
国際開発援助計画に関する比較研究

図 7

を訪ねて、衛生環境について視察に行くということで、連れて行っていただきました。当時、エコサンを使い続けてもらうのは困難だという話を結構聞いていたのですが、現地の人に連れていっていただいたそのインドの村では、最初にすごく意識啓発をやって、ピットラトリンとウォーターシールをされたタイプのトイレを導入していったら、住民がどんどん自発的に入れていって、村の全世帯に衛生的なトイレが導入されて、政府から、素晴らしいということでソーラーパネルの付いた街灯みたいなものが村にプレゼントされたという話を聞きました。

それを見て、なぜこんなに違うのだろうと。インド人はすごいのか、それはインドだからなのか、やり方がよかったのだろうかと、すごく興味を持って、比較をやろうと思ってやった研究です。

ジェンダーと水運びのストレスということをもう少し定量的にやろうというのと、同じベンガルという地域において、宗教、地方自治体の対応、あるいは外部の援助機関の介入とか、そういったものの違いがある二つの地域で比較をして、水源の選択行動の要因に何か違いがあるのか。違いがあるとしたら、今後、開発援助として関わっていくうえで何か気を付けておくべきことはあるのか。あるいは、同じような考え方でやってもいいのかとか。そういうことをしようと思いました。

インドやバングラデシュ、南アジアの話でいうと、女性が水汲みをするということと、パルダという社会的規範が存在して、その文化に属する女性の行動を制限していることがあると。ここをもう少し掘り下げていこうということです。

ちなみに、ヒ素が最初にいつ発見されたかというと、インドのウエスト・ベンガルが八三年、そののち、九五年にバングラデシュで調査されて、バングラデシュでもヒ素があることが報告されたという経緯になっています。

村の形状の違いや住民の属性を考慮して、水源選択行動に与えている要因を分析して、社会文化環境の違う二つの村で比較分析を行うことで、そういった要素が水源の選択行動に及ぼしている

影響をより多面的に分析しようと。そういうことを見ることで、効率的であったり、より少ない数の水源でよかったり、あるいは、より持続的に使ってもらえる代替技術の導入とはどういうものかをもう少し考察しようということが研究動機でした。

インドのウエスト・ベンガル州とバングラデシュのジョソール県にある二つの村を対象として、パルダ規範を遵守する世帯の女性は人目にできるだけつきたくないので、どうやってそれを定量化しようかと考えて、建築学の分野である Space Syntax 理論を適用しました。当時、私は土木工学系の研究科に所属していて、都市デザインをやっている学生さんもいたのですが、そこの学生さんが紹介していたこの理論が使えるのではないかと思い、これを適用することで、水運びのストレスをより定量的に評価して、統計分析することを試みました。

実際にこの Space Syntax 理論を使って建築計画も立てられたりするので、単に机上の理論ではなくて、実務的な理論です。人の流れが予測できるという理論です。

文化人類学的な研究などでも適用されたりするのですが、基本的な考え方は、空間構成が人の動きを決定づけるというもので、よく知っているところだったら違うかもしれませんが、例えば全然知らないところに行ったときに、どこを歩くとか、どの道を選ぶといったときに、どのぐらい見えるかという、その空間の視認性が人の動きを誘導していて、より見えやすいところを人は選んで歩くだろうというのが Space Syntax 理論の考え方の基本です。

その考え方を適用すると、多分人というのは、こんなふうに動くことになるというのを分析しているのが、ロンドンの美術館の解析から見えます。

詳細については話しませんが、今言ったように、人の動きというのは、空間のその場所の、どれだけ周りから見えるかという、視認性によってかなり決定づけられているという理論なので、その視

認性を解析できるところに着目して、地図上のメッシュ i（メッシュ：地図上の点線で区切られた一マス）というのはメッシュ j からは見えますが、メッシュ O はメッシュ j からは角があるので見えない、のように見えるか見えないで単純に一ずつ足していきます。各セルからそのセルが何ステップで見えるかというのが各セルに対して計算できますが、その値を全部足して、そのセルの Depth を出そうという考え方です（図８）。

村の空間を四角く切って、その一個一個の小さいセルに対して、村全体で言えばどのぐらいの深さにあるのか。どのぐらい奥に、どのぐらいのステップを踏まないと、いろいろなところから行けない場所なのか。それは、つまり見えないところであって、Space Syntax 理論から言えば、あまり人がいないところです。そういうことを定量的に評価できる理論です。Integration(HH)という指標値ですが、視界に入りやすいところ、視界に入りにくいところというのが、ソフトウェアで解析されて色で表示されます。

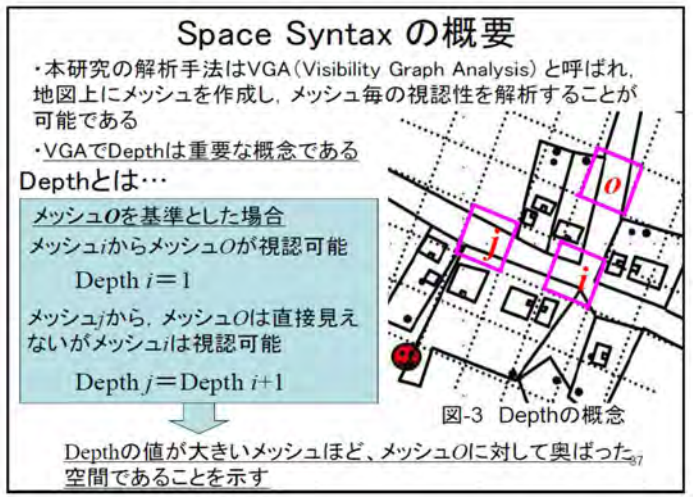

図 8

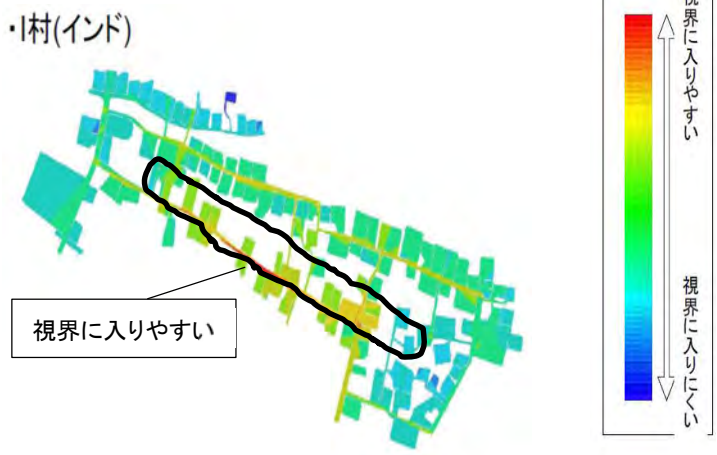

図 9

これを適用するために、長崎大学の学生さんにＧＰＳを持って歩いてもらって、こんな詳細な地図をつくってくれたのですね。これに対して、Space Syntax 理論を適用すると、こんなふうになります（図９）。ここがおそらく、この村のメインストリートで、青いところは非常に奥まったところにあって、視界には、より入りにくいところ

写真 1

ろになります。赤いところは、果物を売るおじさんが来て、みんながたむろしているみたいな（写真1）、実際にそういう風景を見ます。実際の感覚と一致する結果です。もっと拡大すると、小さいメッシュになっていて、一個一個にどのぐらいの深さなのか、どのぐらいの見えやすさなのかというのが数値として入っています。

また、ヒ素検査はWagtecのフィールドキットで実施しました。インドではヒ素の検査はされていません。住民に聞いても、ヒ素のことをそこまでよく知りません。バングラデシュとすごい差がありました。今でも差がありますので、一個一個の井戸を調べて、どこの井戸は大丈夫ですよみたいなことを地図上に落として、現地のＮＧＯの方に渡して、意識啓発してもらうようなこともやっています。

バングラデシュの村でも同じように解析しようとしましたが、大きくて一気に解析できなかったので、空間的にまとまりがあると思われる六つのゾーンに分けて解析して、一個一個のメッシュに対する視認性を解析していきました。

インドでは井戸は赤や緑に塗られていないのですが、深井戸と浅井戸というのは、住民はよく分かっていて、深井戸は政府が建設したもので、それは安全だと信じています。だから、それは使ったほうがいいと思っています。バングラデシュでは、安全か安全でないかのマークで、どちらを選択しているかという、選択行動を説明するための統計的な分析を行いました。説明変数としては、アンケートで聞いた世帯の属性、経済的な状況や教育とか、何が影響するか分からないのでいろいろ試したわけです。あとは、インドであれば深井戸、バングラデシュであれば安全な井戸までの物理的な距離をＧＩＳで測れるので、その距離を変数にしたり、あるいは、Integration(HH)を計算しても出るので、例えば一番近い深井戸、あるいは安全な井戸までのルートの中にある一番高い視認性の値を変数にしたり、いろいろやったのですが、最終的に使ったのは積分値で、要は自分の家から一番近い安全な井戸までの視認性を全

部足し合わせたものを変数として使うということをやって、結果的にそれが有意になりました。

インドとバングラデシュ、それぞれ別に分析をしました。インドでは、より適切な水源の選択に影響するものとして、より現在の飲み水が安全だと思っている人は、安全な水源を選択している可能性が高い、より月あたりたくさんの肉を食べている人は、安全な水源を選択している確率が高い、より見えるルートで、その水源まで行ける世帯ほど、安全な水源を選択している確率が高いという結果になりました。月あたりの肉消費量ということは、多分裕福であることだと思うのですが、より裕福であるほど、またより見通しのよいルートを通って安全な水源まで行けるほど、安全な水源が利用される、という結果になりました。

一方、逆の、負の影響を与えているものとして、浅井戸のヒ素汚染の可能性を知っているかどうか。知っていると答える人ほど、安全な水源を選択しないという逆説的な結果になりました。でも、ヒ素汚染をそもそもあまり知らない人たちだったので、どこまでヒ素汚染の可能性というものの意味を理解して回答してくれていたのかはちょっと分からないところもあります。

あとは、月あたりの米消費量が多い世帯ほど安全な水源を選択していない可能性が高い。お米をたくさん食べるということは、一人あたりの量なので、よりお米をたくさん食べることでおなかをいっぱいにしている世帯と考えれば、どちらかといえば貧しい世帯。これも月あたりの肉消費量が有意だったのと同じ意味になりますけれども、貧しい世帯ほど安全な水源を選択できない。

あと、深井戸までの距離が遠いほど、選択しない。遠いから行きたくないと。そういう結果になりました。

以上より、距離が比較的短いルートをたどることができ、なおかつ見通しのよい通りに代替水源を導入すると、インドではより使ってもらえそうだと。安全性についての認知だとか、肉消費量、米消費量といった経済的な変数も有意になっているわけですけれども、開発援助として入ってい

って何か働き掛けができるとすれば、やはり井戸をどこに入れるかとか、安全な水源をどこに配置するかというところだと思うのです。そういう部分に関して、この結果から得るものとしては、比較的短いルートというのは、要はたくさん作れということになってしまうのですが、それに加えて、見通しのよいところにできるだけ水源を入れてあげると、そういうことを考えないで作るより、多分もう少し多くの人に使ってもらえるのではないかという結論になっています。

一方、バングラデシュに関しては、特に着目したいのは、Integration(HH)値の最大値、人目につきやすいところの最大値が大きいほど、その水源は使ってもらえなくなるという、ある意味逆の結果が出ています。バングラデシュで、もし配置に関して何か言うとすると、インドとは逆に、できるだけ人目につくところを通るようなルートではないルートで行けるところに入れてあげるほうが、使ってもらえる人が増えるのではないかという結果です。

このように二つの村は水源に同じヒ素汚染という問題を抱えているわけですが、普通だったらできるだけみんなに見えるところ、アクセスのいいところ、比較的大きな通り、そういうところに水源を入れようと考えがちですが、それをやると、インドでは意に反した結果はそこまで起こらないかもしれませんが、バングラデシュだと、あまり行きたくないと思う人が結構いるかもしれないという結果になりました。

このあともジェンダーの話だとか、社会文化と水源選択だとか、リスクに対する影響だとかについて、今地図をつくって示しましたように一つの村を特に研究するというやり方で基本的に今も研究しているのですが、そういうアプローチを決定づける一つの大きなきっかけになったのが、この研究です。

ワークショップの効果を定量的に分析

その後も、関連で幾つかの論文を出していまして、これも長崎大学の学生さんの修論をもとにして書いている論文です（図10）。ワークショップの効果というのがなかなか期待どおりに出ないときもあるわけで、ワークショップ後に、ヒ素の情報をより欲しいとか、もっとワークショップをしてほしいとか、そういった態度変化につながる人とつながらない人がいます。それがなぜかということを分析しようとした論文です。こういうふうに意識に対して働き掛ける、重回帰モデルをつくって、それに対して、潜在混合モデル分析を適用すると、当然住民の中にはいろいろなタイプがあって、こちらは、そのタイプがどういうタイプかというのは、最初は分からないわけです。それがパスの係数の傾向から、自然とグループに分けられるという手法です。外生的にこのグループ、このグループということで分けて、その違いを分析するというのは、平均値を比較したり、分散分析をやることで、グループの違いは分析できるのですが、そもそもグループがどう分けられるか分からないときに、グループも内生的に分けたものが結果として得られるというのが潜在混合モデ

関連論文１

地域学研究（*Studies in Regional Science*）, Vol. 41, No. 4, 2011, 913-926.

自発的な環境改善意識の形成に関する潜在混合モデル分析

――インド・ウエストベンガル州の飲料水ヒ素汚染問題を事例に――

坂本 麻衣子*，田中 貴之**

Latent Mixture Model Analysis of Voluntary Attitudes to Improve Environments
――Arsenic Contamination of Drinking Water in West Bengal, India――

Maiko SAKAMOTO and Takayuki TANAKA

Abstract

Pollution of underground water with arsenic is a problem in rural areas of India and Bangladesh. International development aid for overcoming arsenic pollution is important because measures are not taken and accepted in some regions of these countries even though there is a pressing need to understand the actual situation of arsenic pollution and take measures to provide safe drinking water.

In this study, we focused on regionality, personality and degree of development aid interventions with technological transfer and enlightening activities. Influence of these factors on the attitudes of villagers toward the environment was analyzed with a latent mixture model analysis. An Indian village, where development aid has not intervened, was considered as a case study. Finally a plan to change the attitudes of the villagers was considered.

JEL Classification : 021, 031, 033

Keywords : Underground Water Arsenic Pollution, Bengal, Latent Mixture Model, Environmental Improvement Consideration, Information Dissemination

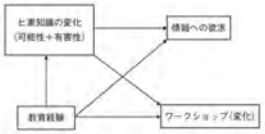

図 1. 重回帰モデル

図 10

ル分析ですが、そういうものを使って、どういう認識構造を持っている住民たちがいるのかを分析した研究です。これ（図11）はインドとバングラデシュで、インドでは先ほども申し上げましたように、ヒ素のリスクとか、ヒ素が入っている、入っていないということは知らなくて、深井戸か浅井戸かということは分かっていて、深井戸はいいのだと思っていますけれども、なぜいいのかはよく知らないで、とにかく政府が導入したものだし、深いからいいんだみたいなことで使っているわけです。そういう状況で、ヒ素のリスクだとか、あるいはこの井戸は安全ですよ、安全ではないですよということを情報提供したあとに、その事前と事後で調べて、住民の意識の構造がどういうふうに変わるのかを比較した研究です。

結論としては、インドで情報を与える事前の状態とバングラデシュの住民の認識構造は違ったのですが、情報を提供すると、バングラデシュのケースと同じようになるという結果になりました。そういう意味では、この時のワークショップ

図 11

はある程度機能したと評価もできるわけです。そういうことを統計的に、共分散構造分析といいますが、そういう方法で研究した論文です。

ソーシャル・キャピタルとＰＳＦの利用状況

これも長崎大学の学生さんの修論ですが（図12）、これはＪＡＤＥのフィールドで、ＰＳＦを二つＪＡＤＥのほうで導入して、今は状況が違うと思いますが、その当時は、一方は利用されていたんですが、一方はもう使われていないという状況でした。右側がまだ利用されているＰＳＦです。なぜそんな違いが出るのか。こんなに近いところでＰＳＦを入れたのに、なぜそんなに違いが出るのか。こんなに近いところでＰＳＦを入れたのに、なぜそんなに違いが出るのだろうということを研究動機として、長崎大学の学生さんをＪＡＤＥのフィールドに連れていっていただいて、アンケートをさせていただいたりしてやった研究です。

ここで着目したのは、ソーシャル・キャピタルといわれる社会関係資本というものです。事前に

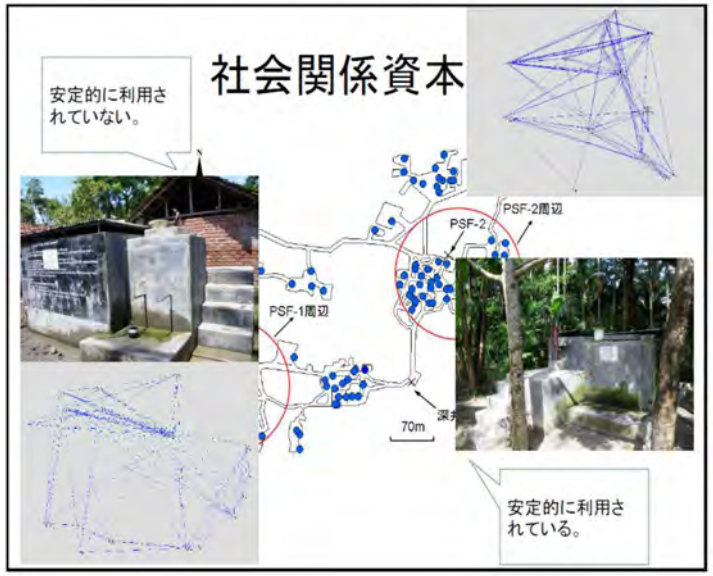

図 12

各世帯の写真を撮っておき、再度行ったときに、ここ三日間誰と話しましたか、と聞いて、この人、この人と指さしてもらって、それで社会ネットワークを描きました。

ソーシャル・キャピタルを簡単に説明しますと、すごくぎゅっとしている結束型と、橋渡し型の二つに分かれるといわれています。結束型は閉じているという言い方もできるかもしれない、そういうタイプで、橋渡し型は、もうちょっとゆるくみんながつながっているタイプのコミュニティーです。

結果的に、うまくいっていないほうは、比較的ぎゅっとしている人たちがいて、うまくいっているほうは、比較的、全体的につながっていて、そこまで偏っていないと。特に左下のソーシャル・キャピタルでは、委員会をつくって管理をするということをやってもらったわけですが、そのときに誰が委員会のメンバーになるかということを決めるときに、やりたいと手を挙げてメンバーになってもらったと聞いていますが、そのときに、ぎゅっとしている結束型の人たちがわりと入っていたんですね。結束型は、うまくいくときはうまくいくと思いますが、一般的にいわれているのは、新しいことに対しては橋渡し型のソーシャル・キャピタルを持っているコミュニティーのほうがより適応的で、新しいものを取り入れることに関しては向いているというか、問題が少ないといわれています。結束型の場合は、閉じているので、変化に対して柔軟ではない側面があるといわれています。

そういう特徴が見られたのと、実際、管理委員会の中に、このぎゅっとしているところの人たちがそれなりに入っていたというのが、うまくいくときはうまくいくのでしょうけれども、ぎゅっとしているところの人たちが、ちょっとでも気持ちがはずれてしまうと、途端にがたがたと狂うような状況にあったのかなということをこの論文では考察しています。

近年のヒ素汚染に関する研究動向

近年の動向として（図13）、第一オーサーのChakraborti という方がそもそもインドでヒ素を最初に発見したチームの主要メンバーなのですが、コルカタのJadavpur University のほうで、ずっといろいろな地域の井戸や患者さんの調査をされています。

先ほどお見せした地図のガンジス川の中流域というのは、そんなにヒ素汚染が深刻ではないと思われていた地域ですが、住民にヒ素汚染患者っぽい人がたくさんいるので調査をしてほしいと言われて、調査をされたそうです。そうすると、基準値以上、その村のほとんどの井戸、全体の九五％、二〇六の井戸を調査したら、五六・八％以上が、インドとバングラデシュの基準値である五〇マイクログラム以上のヒ素があった、あるいは、非常に高濃度のヒ素を含んだ井戸も約二〇％ありました。

このグラフで（図13の Figure2、左から白、ブルー、黒）白がウエスト・ベンガルで一般に報

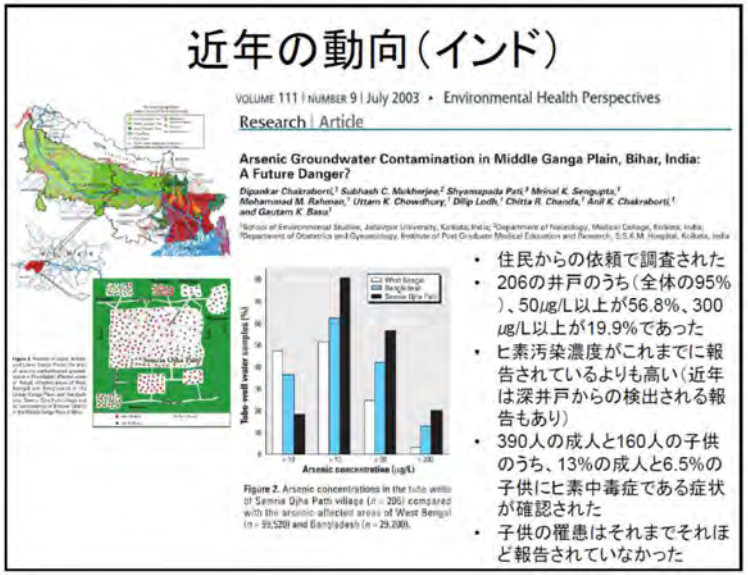

図 13

告されているヒ素濃度、ブルーがバングラデシュで一般に報告されているもの、黒がこの村で調査をした結果で、井戸の数はだいぶ違いますけれども、それと比較すると、かなり高いヒ素が入っていたことや、またそれまで子どものヒ素中毒症はあまり報告されていなかったのですが、ここでは結構見られたということが報告されています。これは二〇〇三年の報告です。

Chakraborti のチームはさらにそういった調査を続けられていて、他の中流域で調査をされた結果でも、やはり高濃度のヒ素汚染が報告されていますし、最大のヒ素濃度がとんでもない数字になっていて、さらにヒ素中毒患者のうち半分近い人たちが神経症を患っていると診断されたいうことです。子どもさんでもそういう症状があって、これは学習障害など学習能力に深刻な影響を与えるということもいわれています。子どものヒ素中毒症も、このへんの地域ではかなり問題になっているということです。

ほかにも、ウエスト・ベンガルではヒ素の濃度が上がっているという報告や、深井戸からもヒ素が出ているという報告もされています。それが単に技術的なことで、管に穴があいているとか、水が漏れているとかいうことかもしれないのですが、そこまで本格的に調べられている話ではないので、どのような地域で、なぜ濃度が上がっているかはまだよくわかりません。

ヒ素がなぜ地下水の中に含まれるのかは、三説ぐらいあって、そのメカニズムはいまだにはっきりとしていません。Chakraborti 先生は、前から、人為説というか、地下水の過剰な汲み上げがヒ素をより地下水の中に出すことになっているのではないかということを言われていて、最近、ヒ素汚染濃度が上がってきているというのは、井戸は飲料水としても飲まれますが、量にすれば農業の灌漑用水にがんがん引き揚げられている量の方が断然多いわけで、そういう農業のあり方、灌漑農業の推進は、農民が豊かになっている現実はあると思いますが、それが結果的に、Chakraborti 先生の考えでは、近年上昇しているヒ素の状況に

影響しているのではないか、やはり人為的な理由なのではないか、ということを書かれています。

バングラデシュに関して言うと、これ（表1）はＪＩＣＡの資料ですが、遅いながらも安全な水源として、深井戸であったり、ダグウェルであったり、ポンドサンドフィルターなどいろいろな種類はありますが、導入自体はかなり進んできているとあります。

この論文（図14）では、バングラデシュで人々が選択する水源として、コスト、安全性、持続可能性、社会文化的な視点が考慮されること、また、どちらかといえば深井戸を使いたいという意向を持つ人が多いことなどからバングラデシュでは深井戸が現実的な選択肢だろうということが書かれています。深井戸は浅井戸に比べれば導入コストが高いですが、パイプラインに比べれば全然安いわけで、ポンドサンドフィルターだと管理が必要で、それを果たしてみんなにうまく使ってもらえるかよく分からないというような不確実性もあると。深井戸は、みんな使うのに慣れてい

表1

Table 1
Alternative water supplies in arsenic-affected areas (excluding shallow tubewells) (DPHE/JICA, 2009).

Alternative water source	Number active	%	Population served per source	Estimated population served ('000)	%
Deep tubewells	164,652	91.2%	65	10,702	91.2%
Dug wells	9163	5.1%	40	367	3.1%
Pond sand filters	3431	1.9%	90	309	2.6%
Arsenic/iron removal plants	182	0.1%	65	12	0.1%
Rainwater harvesting systems	3045	1.7%	5	15	0.1%
Rural piped water schemes	134	0.1%	2500	335	2.9%
Total	180,607			11,740	

ますし、深いところから出てくる水なので比較的冷たくて好まれるという、そういうことから好まれる技術だと思います。

この結論に対して、近年のインドの研究を見ると、地下水の話なのでインドとバングラデシュではまた地質学的・水文学的な状況も違うかもしれませんが、なかなか深井戸でいこうと言い切るのはけっこう問題があるのかなという気がします。

インドのウエスト・ベンガル州では、

Enhancing arsenic mitigation in Bangladesh: Findings from institutional, psychological, and technical investigations

Richard Johnston [a,*], Stephan J. Hug [b], Jennifer Inauen [c], Nasreen I. Khan [d], Hans-Joachim Mosler [e], Hong Yang [f]

[a] Eawag—Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Sandec: Department of Water and Sanitation in Developing Countries, Switzerland
[b] Eawag—Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Department of Water Resources and Drinking Water, Switzerland
[c] University of Zurich, Department of Psychology, Switzerland
[d] Fenner School of Environment and Society, The Australian National University, Canberra, ACT 0200, Australia
[e] Eawag—Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Department of Environmental Social Sciences, Switzerland
[f] Eawag—Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Department of Process Analysis, Integrated Assessment and Modelling, Switzerland

図 14

ガンジス川の水を利用した上水道の整備がすごく進んでいます。私が調査した先ほどの地図のあった村でも、水道が引かれて、公共の蛇口が設置されていて、使用料無料で、一日二回、決まった時間に水が供給されます。アナウンスなしに水が供給されない日もあるのですが。

これは州政府が決めたガイドラインで、ある距離間隔で蛇口をつくるとか、この時間に水を供給する、とかいったことが決まっています。ところがホースを付けて自分の家に引いてきてしまう、一応コミュニティーのものですが私有化しているような事例も結構あります。政府提供といっても、井戸が有力者のところに掘られるみたいな話はやはり蛇口でもあって、ある村に取り付けられた蛇口が、そのあとすぐ封鎖されて、すぐ横の村に再度取り付けられたという話もあります。今言ったように、コミュニティーで導入する蛇口も、かなりたくさん導入されている村もあったりして、お金持ちであれば、蛇口を手に入れられるということがあって、公平性の面で問題があるのか

なと。

このように貧しい人は、お金持ちの人に比べて、安全な水にアクセスするのに、より長い距離を歩かないといけないという話がやはりあるわけですが、それに加えて問題なのは、コミュニティーの蛇口は、壊れても、結局水が出ているだけなので、直さないんですね。もうずっと出っぱなし。それを見て、あれはどのぐらい前から壊れているんですかと聞いたら、三カ月か四カ月前ぐらいから壊れているという話で。考えれば、放っておいても水は出ますし、無料ですし、一定の時間を過ぎれば、夜は止まるわけで、確かにそんなに村人が進んで直す動機はないのかなということもあります。

水質の問題としては、実は現時点で飲料水として利用されることは推奨されていないのですが、飲める水がそこにあるので飲んでいる人はかなりいます。ただ、塩素臭がかなりするので、飲料水としては飲まないと言っている人もそれなりにいますし、髪を洗ったら、これは都市伝説かもしれないですが、髪が薄くなったのでもう水道の水は使わないと言っている人もいました。

実際、汲んですぐの水は、こういう白い色になっています（写真2）。少し時間をおくと、透明になります。これはもう本当に、汲んですぐです。

写真 2

さらに、まだよく分からないところではありますが、蛇口があるところの池は汚いです。みんなが来て物を洗ったり、水浴びもするので、水環境に対して、汚れたものがより集中するというか、みんながそこで使うようになるので。先ほどの地図をつくった村でも、水浴びはどこでしますかと聞いたら、昔はここの池でしていたけれども、最近はもう汚いからできないと言っている人もいて、このへんは調べてみないこ

とには分からないのですが、蛇口がたくさん導入された村は結構町に近くて、蛇口がたくさんあるのですが、池がすごく汚いなという印象を受けました。

気候変動と塩分濃度

参加型モニタリングによる調査

これは最近の話ですが、簡単にご紹介します。バングラデシュは沿岸部にあるので気候変動の影響を受けやすいといわれていて、ワールドバンクのサイトの記事の中には、バングラデシュの南部は気候変動のフロントラインだと書かれています。気候変動による海面上昇で、地下水の塩分濃度の上昇などが危惧されています。（図15）

これに対して、最初に言われたのは、沿岸部は妊娠中毒症を患う女性が増えているという話でした。この研究では、浅井戸の水を飲んでいる妊婦さんと、深井戸の水を飲んでいる妊婦さんで、尿中のナトリウム濃度を調べて、塩分濃度の高い水源を利用しているほど妊娠中毒症の患者数が多いというようなことが報告されています。おそらくその研究をきっかけに、地下水の塩分濃度が上昇していることが人の健康にどういう影響を与えるかという研究が結構やられ始めているんですね。

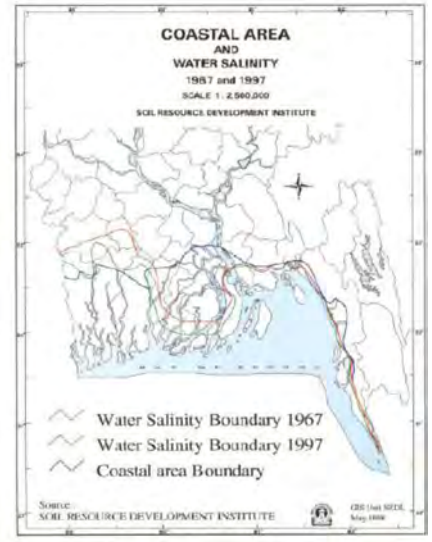

図 15　バングラデシュ沿岸域

そのほかにも、バングラデシュはＩＣＤＤＲ・Ｂ（国際下痢症研究センター）という有名な疫学研究所があって、いろいろな研究者が来る国際研

究機関で、ここの研究者がやられている研究ですが、ＩＣＤＤＲ・Ｂは広く継続的に保健調査をする地域をいくつか持っていまして、いろいろな社会環境上のデータや健康データといったデータベースをすごく持っている地域があって、その地域でやられた研究ですが、沿岸部の丘に住んでいる人と平野に住んでいる人、沿岸に住んでいる人で尿の中のナトリウム濃度を比較して、沿岸に住んでいる人ほど尿のナトリウム濃度が高いという結果が出ています。

これに対して、私が読んで疑問に思ったのは、どの水を飲んでいるのかということです。どの水でどのぐらいの塩分が含まれているかというのは、例えば、最初の論文だと地域の代表値みたいなものを使っていますが、調べたら井戸によって結構違いますし、池でも含まれている塩分は違うので、この比較の仕方は大ざっぱすぎではないのかと思ったのと、あと、次の論文の方も、住んでいるところを Hilly、Plains、Coastal と分けていますが、これも使っている井戸の塩分濃度につ

いては明確に書かれていなくて、住んでいる場所で尿中の塩分濃度を比較していて、これも大ざっぱだなと思いました。健康データに関しては、二四時間、尿を採取して、ラボで分析するという、非常にきちんとしたことをやっておられるのですが、環境データ側の扱いは、もう少し違うふうにやらないといけないのではないかと思ったのが問題意識です。

井戸の塩分濃度は個別に把握されるべきであり、というのは、深さもいろいろですし、多分状況もそれぞれで、ここの地域の井戸はこうみたいなことは多分言えない話だと思います。この地域の塩分濃度はこうだみたいなことは。やはり個別に把握されないといけない。そうすると、井戸の数は膨大ですし、乾季、雨季によって塩分濃度は違うでしょうし、調べた日の前の日にたまたま雨が降ったら塩分濃度は違うかもしれないので、そういう意味で、塩分濃度がどうなのかというのは、本当にちゃんと調べていかないと、健康のデータと環境データの関連を見いだすのはかなり難し

いのではないかと思いました。

でも、そうすると、では誰が個別の井戸の塩分濃度をずっと調べることができるのかと。手間的にもお金的にも。問題解決に必要なデータですが、それは誰がやるんだろうなと思ったわけです。最終的には住民が自分で対応していかないといけない。とすると、住民に、自分の井戸を定期的に調べることをやってもらえたらいいのになと思って、日本製の料理用の塩分濃度計を買って、精度は高くないですが、安価なので一〇個ほど購入して、現地の女性に配って、一人一〇サンプル、近所の井戸を一年間調べてくださいということをやりました（図16）。

集まってもらって、いつ調査するかということから始めて、金曜日だったらみんな休みなので回れるみたいなことから始めました。さらに、ダッカにこれを取りまとめていただいた女性の方がいるのですが、その人に毎週結果を電話で報告してもらって、この現地協力者の女性は、毎週Google シートにモニタリング結果をアップロードしてもらいました。お金もうまく支払わないと、継続的に、まじめにモニタリングしてくれないので、ちゃんと毎月報酬型でお金を渡すということをやりたかったのですが、遠くに住んでいるので、直接現金を払うのは当然無理で、最近モバイルバンキングが発達していて、このモバイルバンキングを使って、毎月報酬型でお金を払っていくということで一年間モニタリングをしてもらいました。

図 16

研究対象地域にしたのは、先ほどのＩＣＤＤＲ・Ｂが対象地域としていた Cox's Bazar の Chakaria Upazila というところです（図17）。先ほどの研究と比較したかったので、同じところでやって、一人一〇本、一〇人の方に一年間毎週データを取ってもらいました。赤いところが井戸の場所です。

これに対して、塩分濃度が高くなると思われる乾季のデータを利用して、タイムシリーズのパターンによって井戸を分類するという Time Series Clustering を使って、一〇〇個の井戸を六つの

図 17　対象地域

クラスに分類しました（図18）。下にあるのが、直近に雨が降ったときの雨量のデータです。これと比べると、多少影響を受けているような、例えば緑色の一本とかありますけれども、全体的にそんなに雨量に対しては大きな影響は受けていないのかなということは見てとれます。

これをさらに地理的に分布を見てみます（図19）。クラスはやはり地理的に似ているなと、固まっているなというのと、あと、深さと高度、標高ですが、深さは、各井戸を持っている人に答えてもらった情報なので、どこまで確かなのかはちょっと分からないところはあります。標高は、衛星画像のデータから取ったので、かなり正確だろうと思います。それで分布を見ると、井戸の深さについては、かなり地理的に偏っているなというのが見てわかります。塩分濃度と環境条件の関連を見てみると、先ほどの研究では丘なのか平野なのか沿岸部なのかということで、尿の中のナトリウムに違いが見られるということだったのですが、標高というよりは、井戸の深さとクラス、分類したときのタイムシリーズのパターンで言うと、深さのほうが統計的には関連がありそうだという結果になりました。したがって、先ほどみたいな、Hilly、Plains、Coastalで分けて健康デ

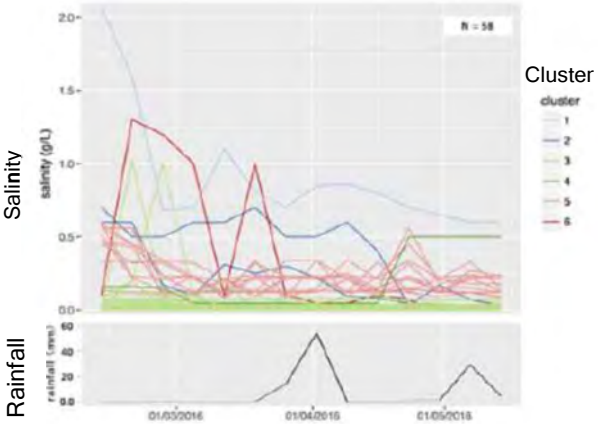

図18 Time series clustering of salinity level and rainfall within 7days

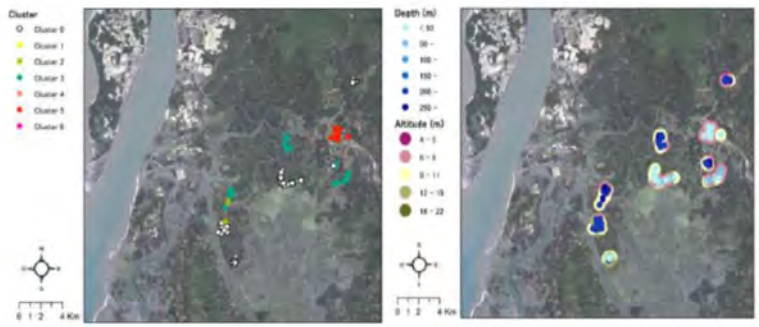

Fig 4 Spatial distribution of clusters　　Fig 5 Depth and altitude of tube-wells

図19

ータと関連を見るというのは、やはり分析の情報としては十分ではないのかなと。井戸の深さは入れたほうがいいのではないかなということになります。

飲料水に塩分が含まれていて、その濃度が上がっていることが問題なわけですが、日々の食事と見比べてどのぐらいの量なのか、それは問題になるほどの量なのかということを考えるために、食事をつくるのにどのぐらいの塩を使いましたかというのを、この調査をした井戸を持っている一〇〇世帯に、三日間連続で聞いて、その平均値を取りました（表2）。ティースプーン一杯は六～八グラム。ティースプーンは調査員みんなに同じものを持たせて、これに何杯ぐらいですかと。あと、食事しながらテーブルソルトと言って結構塩を加えるので、一ピンチ〇・六グラムということで計算して、実際に一人あたりどれぐらいの塩を使っているかを計算しました。そうすると、そんなに多くないんですね。

これはティースプーン一さじ六グラムで計算

した結果ですが、ティースプーンのサイズ、使い方によって最大で八グラムぐらいだと思いますが、それで計算したとしても決して多くない数字でした。

バングラデシュで平均的な、一人一日あたりに食事から摂られる塩分は、九～一〇グラムと文献などでは報告されています。日本のほうがちょっと多いです。世界的な平均は一〇グラムぐらいで、WHOの推奨は五グラムです。調査によって得られた数字は、少なく見積もられている可能性はありますが、

表 2　Table 2. Daily salt consumption by diet per person (g)

		Cooking salt				Table salt	Total	+ Drinking water*
		Breakfast	Lunch	Dinner	Total			
Mean		1.42	0.62	0.75	2.79	0.19	2.98	3.28
S.D.		0.79	0.60	0.68	1.62	0.39	1.78	1.90
Max		4.44	2.86	3.41	10.71	2.25	10.71	10.71

Note: * For the time when the tube-well water contain the maximum level of salinity.

そんなにびっくりするような数字ではないです。どちらかというと、田舎のほうが塩をたくさん使っていると違う文献には書いてあったのですが、多くないなと思いました。

月々の収入と、食事で摂る塩の関係を調べたのが一番左（図20）です。これは、相関係数は〇・四五一四で、検定の結果としては有意ということです。つまり、収入が多いほどより多くの塩を摂っている傾向にあるという結果です。さらに、井戸の深さと塩の関係、それから、井戸の深さと収入の関係を見てみると、これも傾向を言うならば、相関係数を見ると〇・三七や〇・二八九三ぐらいで、より塩をたくさん摂るほど深井戸を使っていて、深井戸を使っている人はお金持ちが多いという傾向にあるという結果になりました。

WHOによる飲料水の塩分濃度に関するガイドラインはいまだありません。一方で、飲料可能な、つまり味的に飲めるのは一リットルあたり〇・五グラムぐらいだろうということはWHOの文章に書いてあります。調査対象地域では、調査

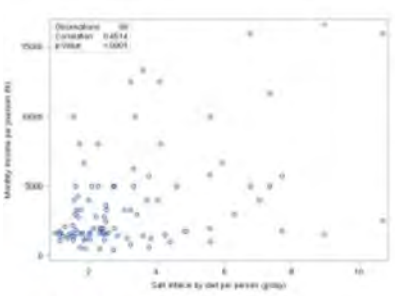

Fig 8 Salt intake by diet per person – Monthly income per person

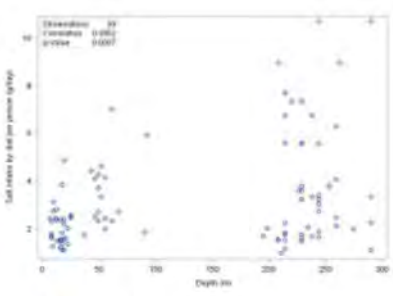

Fig 9 Depth – Salt intake by diet per person

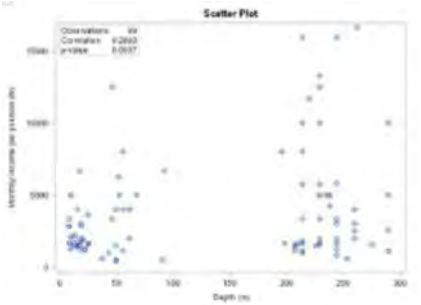

Fig 13 Depth – Monthly income per person

図 20
塩分摂取量と月収（上･左）、井戸の深さ（上･右）、井戸の深さと月収の関係（下）

期間中にこの値を超える井戸は約三分の一存在しました。ただし、その数値を示した時期があるという話で、平均的には、先ほどお見せしたように、一番突出した時期にこの値を超えているものがあるぐらいで、平均的に見ると大した量ではなくて、二リットルの水を飲むとすると一グラムですから、たかだか知れているというか、飲める、飲めないがあるので、たくさん含まれていると結局飲まなくなるのか、あるいは人は飲めるようになるのか、そこはまだよく分からないのですが。この〇・五〇八グラムを参考にすると、大した量ではなさそうだと。

また、この調査対象とした世帯に関して言うと、食事からの塩分摂取が多い世帯は裕福な世帯であることが多く、こういった世帯は深井戸を持っている傾向があるので、全体として、現時点

で気候変動により飲料水の塩分濃度が増加するということが健康上の大きな問題につながっているとは概して言えなさそうだという結論です。

ただし、身体的な特徴で、例えば妊婦さん、特に塩分に対して過敏に体が反応するという特徴を持っている方、そういう人たちは、〇・五〇八グラムを超える時期がたまにあるということで、何かこう身体的な状況や特徴が重なって、健康障害が出てしまう人がもしかするといるかもしれません。そういうことはもちろんあり得ますけれども、平均的には、量的には、対象とした地域についてはたいしたことはなさそうです。

飲める、飲めないで言うと、飲める範囲の塩分であれば、食事で十分調整可能なのではないかなという結論です。

さらに、ここで参加型モニタリングをやったわけです。その理由の一つは、広く、現地の人にお願いして、たくさんのデータを集めるのが現実的ではないかということで、こういうやり方をしたのと、やはり自分が調べることで、より問題に対して意識が上がるという効果もあると思われること。塩分は味で変化が分かるものとはいえ、慣れもあるので、継続的なモニタリングはもちろんしたほうがよいと思われること。塩分濃度が今高い時期だったら食事の塩分量を減らそうかみたいなことに対応するとしたら、各世帯でやってもらうことぐらいしかないと思います。

しかも量的にはそれでかなり問題は回避できそうな量だったので、やはり各世帯での意識の啓発が必要で、それをやっていくうえでは、現地の女性にお願いすると。モニターの女性は、こういった仕事の重要性を理解したり、続けたいと思っていると言っており、「塩分濃度を計測するのは重要な仕事だと思いますか」という質問に「はい」とほとんどの方が答えてくれています。さらに、いろいろな人から調査結果を聞かれていたらしいです。そこの塩分濃度はどのぐらい何だとか。コミュニティーの人とそういった問題を話す機会が増えたのと、女性がリーダー的になって、そういう話をたくさんする機会を持ったことも、この参加型モニタリングによるものです。

女性にお願いしたのは、水の話、家族の健康は女性のほうがより意識が高い、より責任を持って仕事をしてもらえると思ったのでお願いしたということがあります。意識啓発のきっかけとなるようなことをお願いしたら、女性がコミュニティーに対して情報提供してくれたというような効果もありました。

モニタリング期間が終わって、ノートに結果を書いていってもらっていたのですが、最後の報告で、左側の女性がとりまとめた女性ですが、すごくチェックして、みんながすごく真剣に見ています（写真３）。これはどうなんだみたいなことをやっていて、感銘を受けたというか、真剣にやってくれていたんだなと思いました。

以上で終わります。（講演終了）

写真３

【酒井】　どうもありがとうございました。坂本先生の国際協力に関する研究をスタートライン

から説明を伺って、やや懐かしくも思いました。
飲料水に関する問題点としては、砒素と地下水の塩化の二点がとりあげられたのですが、どういうところでも結構ですから、ご質問を受けたいと思います。よろしくお願いします。

【大野】　三つあって、ヒ素に汚染された水を飲んでいて、皮膚がんになったりとかいう症状の出方というのが、普段の栄養状況によって違うという話を昔聞いたことがあるのですが、そういった要素とかも一緒に、どの研究にそういうのが入れられるのかというのがよく分からないですけれども、一緒に検討されたりしたのかなということが一つです。

二つ目は、バングラデシュの文化的なことでは、女性が水を汲みに行くときに、あまり人目につかないような経路を選びがちというか、そのほうが、ストレスがないという話だったのですけれども、その経路を選ぶことで危険というか。アフリカだとよく、女の子が行く途中で襲われるとかあるのですけれども、そういう弊害はないのかなというのはちょっと疑問に思ったのと。

塩分の話で、ナトリウムは、一緒に食べると排泄しやすいもので豆類とかがいいとか聞いていたんですけど、そういう食生活というか、その地域というか、家庭での料理の特徴とかによっても高血圧とか、そういうナトリウムの害が出やすかったり、出づらかったりとか、そういうのは、一緒に検討されたりしているのかなと思いました。

その三点を疑問に思いました。

【坂本】　栄養状態、最後の質問とも関連すると思いますが、保健とか身体的なデータはやはり取りづらいし、何が影響しているかみたいなことを同定するまでは、個人差もあるので、かなり難しいと私は思っています。ですので、ヒ素の症状としてどう発症しているかということは、私は調査していません。栄養状態がどうとかいうことも、影響とかも考慮していないですね。

こういったデータは調査するとなったら、ものすごい厳密なものを要求されますし、私は保健の人間ではないし、メディカルの人間でもないので、

そういうところには、あまり行かないようにしているところがあります。というところで、栄養状態や、実際何を食べていて、体重がどうだとか、そのへんは全然調べていないです。そういう意図で調査項目に入れていないです。

ナトリウムを排泄するのとかも、個体差もあるでしょうし、何を食べているかという、例えば、私が聞いていたのは、貧しい人たちはおかずがないので、取りあえず塩とチリでご飯を食べるみたいなことを聞いたことがあるのですが、今回の結果では、食べながら加える塩分も聞きましたけれども、裕福な人たちのほうが塩を使っているという結果になったので、地域差があったりするのかなと思うんですけど。

詳しく調べて、かつ、身体的なデータもちゃんと取って、そのへんの関連を調べるというのは研究としてはもちろんあると思いますし、たぶんやる人もいると思うんですけど、私は今のところはしていないです。

あと、危険性の話は、そうですね。そういう話はないですね。南インドとかで、トイレに行くのに、外に出て、用を足すときに襲われるという話は聞きますけど、基本的には村の中のどこに井戸をつくるかという話で。

私が行ったことがある範囲では、村の領域として考えているところでは、人がたくさん住んでいるというのもありますが、基本的に集落はつながっているので、そういう印象を持つ村はないですね。いかがですか。危険性で言うと。

【酒井】　それは、ほとんど感じたことはないですよね。村の中で。

【高村】　人がなにしろたくさんいて、平らなところだから、人の目が常に行き届いている場所が多い。

【酒井】　それと、あまりよそ者がいないということもありますよね。

【高村】　あとやっぱり、モスクの周りだと、避けるとしても結局見えるところですから、あまりバングラの場合はないかもしれない。

【高橋】　僕も聞いたことないですね。新聞でよ

くレイプとかいっぱい出てきますけども、僕らが行った村、行動した村では、具体的には聞いたことないですね。

【呉】　水を運ぶんですけど、それは飲料用、あるいは食事用の水のみで、例えば普通の生活用水、体を洗ったり服を洗濯する水は別途に、近所にまたあるわけですか。それとも、全水量を運搬するんですか。

【坂本】　体を洗うのは、例えば池で洗う人もいるし、洗濯も池でやる人もいますけど、そうでない限りは、基本的には近所の浅井戸でやられています。

【呉】　炊事用と飲料用は、今アクセスを考えている、要するに水を運んでくる、そういうものとして区別しているわけですね。

【坂本】　そうですね。わざわざ安全な深井戸まで行って洗濯をするということはないですね。でも、ヒ素が入っていると鉄が入っているので、服が茶色くなるので、特別な服とか、気にされる女性は、そこまで遠くなければ深井戸を選んで歩くこともあるかもしれないですけど。

【呉】　ベンガルだから「ベンガラ染め」を好むかどうかわかりませんけどね。

【坂本】　食事も、ヒ素を気にしている人は安全な井戸を使うでしょうけれども。鉄が入っているとお米が黒くなるので、味もちょっとよくないので、それを嫌がってという理由で鉄の入っていない水を使うという人もいると思います。

【高村】　ヒ素について、大変なことだということで理解して話を聞いているんですけど、ヒ素で例えば誰が死んだとか、そういうのはあまり聞かないなということもあって。

　それと、全体の分量としての話なんだけど、もちろんヒ素は悪いんだけど、例えば大腸菌とかそういう、普通の生活の中での悪いもの、果たして生活の中で、どっちが悪いほうの親玉なんだろうというような。そうすると、もちろんヒ素を減らすのは必要だけども、先ほどの、あれもこれもじゃなくて、どれを重点的にやったらいいのかを考えないといけないのかなと思っているんですけ

ども。

【高橋】　ちょうど一九八〇年代に国連が井戸を入れたのです。それまで表流水を飲んでいたので。要するに、水系伝染病をなるべく抑えようと。特に下痢症ですね。そこで、井戸に変えた。で、当面飲んでいたのです。飲んだって、ドラム缶を毎日一本飲んで一〇年たたないと出てこないような症状のものですよね。

【高橋】　その濃度にもよりますけれど。ベンガルで発見されたのはようやく、一九九四年です。十何年後に発見された。それもおそらく、あるサンプルだと思うんです。ステップとしてはまず、普段ありがちな、水系伝染病を抑えようと。これでぐっと減ったわけです。幼児死亡率もぐっと減った。それは事実です。ところが、新たな問題が出てきちゃったんですね。それを次のステップとして、何とか対処しようという、僕はそれをステップだと思ったんですけど。

【高村】　今一つ気になっているのは、ヒ素が今そういうレベルであるというんだけど、遺伝が重なっていく中で、体に入って蓄積されていくと、何代かたつと、もっと被害が大きくなるのかなと。そういう意味だとすれば、そこを視野に置いてやらなければいけないとなったら。そのへんのところまで含んで、将来にわたってどういう対策をという、優先順位がどうとか、やっていかなきゃいけないのかなと考えるんですね。それについて何かサジェスチョンがあればお聞きしたいんですけど。

【坂本】　蓄積はされると思うんですけど。

【高村】　一生の中で蓄積していくんですね。

【坂本】　はい。なので、飲んでも大丈夫だと思うんですよ。たまには。

【坂本】　はい。ただ、今バングラデシュは飲料水ヒ素基準が五〇（＝50μg/L）に設定されていますけれど、ＷＨＯでは一〇で、その数字をどうやって決めたのかというのも、かなり批判もあるしというか、取りあえず決めたのがずっと続いていないかみたいなところもあって。一〇でもやっぱり多いということもいわれていて。ヒ素患者が

そこまで多くないのは、たぶんバングラデシュ、先ほども井戸水の塩分濃度の変化を見せましたけど、結局、雨水が入ったりとかして、トータルとして、やっぱりそこまでの、最初に危惧されたよりは、そこまでの量のヒ素を飲んでないのかなというのもあると思うんですよね。

ただ、やっぱり、先ほどお見せした、インドのガンジス河中流とかだとすごい量なので、そういうところでは、絶対飲んじゃ駄目ということでやっていかないといけないかと思うんですけど、バングラデシュでは、今まで見ている限りでは、確かにおっしゃるように、もうちょっと安全な水源を確保できるようになれば、浅井戸の水も使う水の中に加えてやっていっても大丈夫なのかなというのは思います。飲んでいいのは、もちろん若干ですし、それこそメディカル系の人がいたら「そういうことでは」と言われるかもしれないですけど。確かにそんなにヒ素患者で大変という村は、やっぱりバングラデシュでは見たことがないんですよね。

【高村】　確かに村で、あざが夜も痛んで寝られないんだという方はいらっしゃるんですけどね。分かりました。ありがとうございます。

【坂本】　あと、衛生環境、感染症とかのリスクとどっちがどっちみたいな話ですけど、そういう論文も読んだことがあります。リスクの程度にもよると思うんですけど、実際どのぐらいコストがかかるかということで計算している論文で、ヒ素をやっぱり対策をしたほうがいいという結論でした。

【高村】　分かりました。そのへんがね、どうなのかなと思って。ありがとうございました。

【呉】　水の使い方で、例えば宗教的な、ヒンズーとイスラムによって、だいぶ水の使われる量自体も違うんじゃないかと思うんですけどね。ヒンズーの人は、いつも水というのが切っても切れないようなものなんですけど。イスラムの人はどうなのか、ちょっとよく分からない。要するに、水で清めるとか、そういうようなあれが、あまり聞いたことがないので。ヒンズーの人はよく水で清

めるみたいなことをやっているので、だいぶ水との付き合い方が違うんじゃないかと思うんですけどね。

【坂本】　そうですね。バングラデシュの人の水を使った儀式みたいなのは、ありますか。

【高橋】　特別それは、儀式としてはあれですけども、日常的に、とにかく暑いですから、溜め池で水浴びしています。これは、水浴びと同時に洗濯ですよね。女性がするときに見たら、ちょっと悪いんで目をそらしたんですけどね。

【呉】　あとは、深井戸は、例えば、動力はたぶんないところは手で、要するに、手動で汲み上げるとしたら、自分以外だったら結構大変でしょう。労働力として。どうなんですかね。

【酒井】　いや、みんなに問われるんですけど、ポンプではなく手動でやっています。

【呉】　一度やり出すと、どんどん出てくる、そういう、どんどん出てくるのかな。大気圧で大丈夫なのかな。

【高橋】　大きい径のやつは、もちろんポンプで。これは農業用水ということで使います。

【酒井】　大量の場合、例えば給水をするためにヘッドタンクまで上げるとか、そうなると、やっぱりソーラーパネルで発電しながらポンプで上まで上げる。それはしていますけど、自分の分だけだと。

【呉】　自分の分だと、手動でやって、なおかつ運ぶといったら大変な労力ですね。

【酒井】　地下水位が下がったりして、汲む時間もより長くなったりしたら大変ですよね。

【菊池】　貴重なお話をありがとうございました。最初のほうの論文の紹介で、行動を決定する要因について、社会環境とかも、すごく面白く拝聴しました。共分散構造分析のところで、私はあまりよく分からないのですけど、モデルを構築するときに、そのベースとなる因子を抽出するときというのは、インタビュー調査でされているのか、それとも、今までの文献からつくっているのか。インタビューであれば、既存のアンケート調査、社会・人口統計学的以外のアンケート用紙を使って

いるのか、それとも、最初に質的な調査をやって、抽出していって、モデルをつくっていったのかとか。

　また、バングラデシュはカーストはあまりないと思うんですけど、縄張り的なものとかあるので、絶対縄張りが行動を決定しているというのであれば、ウエスト・ベンガルだったら、なおさら絶対通ったらいけない道とか、ものによると思うので、そこらへんは抽出されていたのかなとか、そういうのがちょっと気になりました。

【坂本】　モデルはもう、基本的には、定量的にやりたいというのがあって、数字でちゃんと見せるとか、それをやると、例えばどこに井戸をつくろうということを、計算していないですけど、最適配置みたいな話もできるので。モデルで関数をつくっておくと、この人の変数はこれで、ここにつくると、このぐらいの確率で使われるみたいなことは逐一出てくるので。そういう意味もあって、定量的にやることにしています。なので、アンケートで、五段階で、ないし七段階で、できるだけ聞くようにしているというのはありますね。

　どういうモデルをつくるかというのは、やっぱり、女性のストレスだとか、というのに対しては問題意識はある中で、ぴっぴっと出会う手法がたまたま合致して、Space Syntax とか、例えば潜在混合モデル分析とか。ああこれでやりたいことが表現できるみたいな。そういう感じですね。モデルができるときは。

【菊池】　その村とかも、行動ってすごく限られてくるかなと思ったので、そこでしか抽出されないような要因みたいなのとか。

【坂本】　あると思います。

【菊池】　それをもって、どういうふうにしたとかは。

【坂本】　それは、比較しないと、その村だけかどうかは分からないと思うので。だから、できるだけ、やっぱり、村単位でやるにしても、数はたくさんやったほうがいいと。そういう意味では。比較するという意味では、たくさんやったほうがいいと思って。

　インドでも、このほかに三村で最近、パイプラインが建設される前に調査をしていて、その分析もしたい、まだできていないんですけど。その調査をしたのは、ヒ素除去装置が入れられて、うまく使えている村、使えていない村というのもあるんですけど、一番最初に調査した村というのは、バングラデシュから独立するときに難民のようなかたちで来た人たちの村で、カーストはほとんどアンタッチャブルなんですね。カーストでの違いも見たかったんですけど、ほとんどが同じなので、そこの違いもあまり見られないというのもありますし、背景的に難民として来た人たちというのもあって、ちょっと特殊な村だったので、もうちょっといろいろあると思うので、さらに三村で調査をしました。そこでは、ヒンズーのカーストで通ってはいけない道という話も出てくるかもしれません。

【菊池】　はい。ありがとうございました。

【酒井】　あまり下水文化研究会の会合にはお見えになられていない方も来られているので、この際、ぜひ訪ねたいということはありませんか。ないようでしたら、このへんで坂本先生の講演会を終了にしたいと思います。

　坂本先生からは社会調査みたいなことではずいぶん学ばせてもらっています。あこれからわれわれのほうがどこまで続けられるかもあるんですけれども、今後もよろしくお願いしたいと思います。本日はどうもありがとうございました。

定例研究会の様子

（終了）

二〇一七年四月一七日（於：JICA 地球ひろば）

【参考文献】

1. 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，Vol.20, No.5, pp.432-449.
2. 坂本麻衣子・西川秀次郎・田栗勝悟・田中貴之（2011）ベンガル地域の飲料水ヒ素汚染問題軽減のための国際開発援助計画に関する比較研究，水文・水資源学会誌，Vol.24, No.6, pp.348-359.
3. 坂本麻衣子・田中貴之（2012）自発的な環境改善意識の形成に関する潜在混合モデル分析 - インド・ウェストベンガル州の飲料水ヒ素汚染問題を事例に - ，地域学研究，Vol. 41, No. 4, pp.913-926.
4. 坂本麻衣子（2012）意識啓発活動による主体的な環境改善意識の変容に関する定量分析 ー ベンガル地域の飲料水ヒ素汚染問題を事例に ー，国際開発研究，Vol. 21, No. 1/2, pp.103-114.
5. 堺正年・坂本麻衣子・酒井彰（2013）国際開発援助におけるコミュニティ型水供給設備の受容要因に関する研究，環境情報科学学術研究論文集，Vol.27, pp. 323-328.
6. Sakamoto, M.（2017）Saline Drinking Water and Salt in Diet: An Approximate Picture of the Situation in a Coastal area of Southeastern Bangladesh, International Journal of Disaster Risk Science, Vol.8, No.2, pp.109-120.
7. Chakraborti, D., Mukherjee, S. C., Pati, S., Sengupta, M. K., Rahman, M. M., Chowdhury, U. K., … Basu, G. K.（2003）Arsenic groundwater contamination in Middle Ganga Plain, Bihar, India: A future danger? Environmental Health Perspectives, Vol.111, No.9, pp.1194–1201.
8. DPHE/JICA.（2009）Situation analysis of arsenic mitigation. Dhaka, Bangladesh: Department of Public Health Engineering, Government of Bangladesh, and Japan International Coop- eration Agency.
9. Johnston, R., Hug, S. J., Inauen, J., Khan, N. I., Mosler, H. J., & Yang, H.（2014）Enhancing arsenic mitigation in Bangladesh: Findings from institutional, psychological, and technical investigations. Science of the Total Environment, 488–489, 477–483.