

バングラデシュ国及びカンボジア国の地下水砒素汚染地域における 安全な水供給技術の普及手法に関する研究

東洋大学大学院
国際地域学研究科
○眞子岳*

東洋大学国際共生社会
研究センター客員研究員
五十嵐堅治

東洋大学
国際地域学部
北脇秀敏

キーワード：地下水砒素汚染、砒素除去装置、BOP、健康障害改善

1. 研究の背景と目的

近年カンボジア王国(以下、「カ」国)において、バングラデシュ人民共和国(以下、「バ」国)と同様な地下水のヒ素汚染が確認され、地下水を多飲する村落部で慢性ヒ素中毒(Arsenicosis)の症例が報告されている。汚染対策として適正技術による数種の砒素除去装置が両国で建設されてきた。我々の研究や類似の先行研究では、これら除去装置による砒素除去の技術的な有効性を確認している。

今回実施した本研究では、これら装置の技術的な有効性の評価をさらに進め、両国の村落への導入及び、健康障害を低減する可能性を検討することを目的とした。

具体的には、各装置（ハード面）の普及手法（ソフト面）に着目し、両国における、地下水汚染の度合い、導入装置の技術的類型、ヒ素に関する住民意識、水使用形態、地下水利用期間、装置普及のためサプライチェーン、水に対する支払意思額、支払可能額(ATP: Affordable to pay)、ボトル水や浄化剤の市場価格等のフィールド調査を行い、村落部において持続可能な安全な水供給を行う際の経済的妥当性を考慮した適正な水供給装置の普及方法や、装置の普及による健康障害の改善に資する内発的発展の可能性を考察した。

2. 研究手法

研究グループは、2010年8月及び12月に「バ」国、同年8月及び2010年2月に「カ」国において現地調査を以下の通り実施した。

(1) 研究体制及び現地調査

- ① 「バ」国：BUET(Bangladesh University of Engineering and Technology)をカウンターパートとし、調査対象地は、マニガンジ県、ギオール郡、バイカンプール村
- ② 「カ」国：ITC(Institute of Technology of Cambodia)をカウンターパートとし、対象村落はカンダール州、キンスバイ村、バンフェイデック村、クソン村及びカンダールレウ村

(2) 質問表によるヒアリング調査及び浄化剤等の市場価格調査

- ① 村落住民ヒアリング調査：両国の調査村落住民（「バ」国 12 サンプル、「カ」国 41 サンプル）、を対象とし、両国ほぼ同じ調査項目（住民意識、水使用形態の把握、水に対する支払額、塩素剤や水浄化剤の使用率、地下水等の水源別等）を整備した質問表によるインタビュー形式調査。

* [連絡先] 〒112-0001 東京都文京区白山 2-36-5 東洋大学白山第二キャンパス
Tel Fax : 03-5844-2240, Email: dr1000016@toyo.jp

②村落部の商店における、塩素剤、水浄化剤やボトル水の現地市場価格等の聴き取り調査。

(3) 地下水質調査

①分析項目：ヒ素(As)及び鉄(Fe) (ヒ素と鉄は 1:40 の割合で共沈する点に着目) *

②分析方法：各分析項目の濃度レベル計測するフィールドキット(ヒ素(As) : HACH As Test Kit, 0-500ppb、鉄(Fe) : メルコクアントシリーズ 鉄テスト, 3-500mg/L)

3. 現地調査結果

(1) 地下水ヒ素濃度と水使用形態

各調査対象村落では、両国の地下水ヒ素濃度基準値(50ppb)以上を超えるヒ素が検出された。特に「カ」国では、調査した井戸の約 60%が同基準値を超え、その内の 30%の井戸は基準値の 10 倍に当たる 500ppb が検出された(表-1)。一方、鉄濃度*に関し、「バ」国は、約 83%が 5mg/L 以下であったが、「カ」国では、5mg/L 以上が全体の約 55%を占める(表-2)など、両国の砒素汚染*の状況は同じでない。

濃度	Bangladesh		Cambodia	
ヒ素(ppb)	井戸数	井戸数	井戸数	井戸数
0	3	5	0	1
5	2	5	1	3
10	4	0	2	0
15	0	1	3	5
25	1	3	5	1
50	1	3	9	0
75	1	3	10	1
100	0	2	15	0
175	0	2	20	0
250	0	4	25	1
450	0	1	30	0
500	0	6	50	0
計	12	35	計	12

濃度	Bangladesh		Cambodia	
鉄(mg/L)	井戸数	井戸数	井戸数	井戸数
0	1	4	0	1
1	3	5	1	3
2	0	3	2	0
3	5	0	3	5
4	1	4	5	1
5	0	1	9	0
10	1	11	10	1
15	0	1	15	0
20	0	1	20	0
25	1	3	25	1
30	0	1	30	0
50	0	1	50	0
計	12	35	計	12

次に両国の水使用形態をみると、「カ」国の村落部では管井戸(TW: Tube well)から未処理の地下水を飲用している世帯が約 24%(乾期)、約 7%(雨期)と「バ」国に比して低い(表-3)。即ち、「カ」国の調査対象村落では地下水のヒ素濃度は高いが、通年では地下水を飲用(ヒ素に暴露されていない)していない。さらに、「カ」国における地下水以外の代替飲用水源は、雨水利用や購買水(水源は河川水)を使用する世帯が 50%

Purpose and water source	Cambodia						Bangladesh					
	TW	Dug well	Pond	River	Rain	Water vendor	TW	Dug well	Pond	River	Rain	Water vendor
Drinking	24.8	0.0	12.5	26.9	37.5	26.9	91.7	0.0	0.0	8.3	0.0	0.0
Cooking	26.7	0.0	12.5	26.9	35.6	26.9	83.3	0.0	0.0	33.3	50.0	0.0
Cook rice	26.7	0.0	12.5	26.9	33.7	26.9	91.7	0.0	0.0	33.3	41.7	0.0
Washing plates	79.3	0.0	15.6	3.1	0.0	1.9	83.3	0.0	0.0	8.3	8.3	0.0
Washing clothes	79.3	0.0	15.6	3.1	0.0	1.9	58.3	0.0	0.0	25.0	8.3	0.0
Washing hands	82.5	0.0	12.5	3.1	0.0	1.9	91.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
In the toilet	82.5	0.0	12.5	3.1	0.0	1.9	83.3	0.0	0.0	16.7	0.0	0.0
Cleaning house	82.5	0.0	12.5	3.1	0.0	1.9	75.0	0.0	0.0	16.7	0.0	0.0
Domestic animals' drinking water	84.4	0.0	12.5	3.1	0.0	0.0	50.0	0.0	0.0	8.3	0.0	0.0
Bathing (Women)	84.4	0.0	12.5	5.0	0.0	1.9	50.0	0.0	0.0	41.7	8.3	0.0
(Men)	69.0	0.0	12.5	3.1	0.0	0.0	50.0	0.0	0.0	50.0	0.0	0.0
Drinking	7.7	0.0	6.3	6.3	91.1	7.7	91.7	0.0	0.0	8.3	8.3	0.0
Cooking	11.5	0.0	6.3	6.3	91.1	7.7	91.7	0.0	0.0	33.3	50.0	0.0
Cook rice	11.5	0.0	6.3	6.3	91.1	7.7	91.7	0.0	0.0	33.3	50.0	0.0
Washing plates	77.4	3.1	9.4	3.1	8.2	1.9	83.3	0.0	0.0	8.3	8.3	0.0
Washing clothes	77.4	3.1	9.4	3.1	8.2	1.9	58.3	0.0	0.0	33.3	8.3	0.0
Washing hands	77.4	3.1	9.4	3.1	8.2	1.9	91.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
In the toilet	75.5	3.1	9.4	3.1	8.2	1.9	75.0	0.0	0.0	16.7	0.0	0.0
Cleaning house	75.5	3.1	9.4	3.1	8.2	1.9	66.7	0.0	0.0	16.7	0.0	0.0
Domestic animals' drinking water	77.4	3.1	9.4	3.1	8.2	1.9	41.7	0.0	0.0	16.7	0.0	0.0
Bathing (Women)	79.3	3.1	9.4	5.0	8.2	0.0	41.7	0.0	0.0	41.7	0.0	0.0
(Men)	71.6	3.1	9.4	3.1	8.2	0.0	50.0	0.0	0.0	50.0	0.0	0.0

であること、池や雨水を溜める水瓶から直接飲用する(水系性疾患が懸念される)習慣も見受けられた。一方で、「カ」国では水を煮沸し、お茶を飲む習慣もあることを文献やヒアリング調査で確認した。

「バ」国の調査村落では、水購入をする世帯は皆無で、90%以上の世帯が通年を通し TW の水を飲用している(表-3)。なお、「バ」国の水使用形態として、生活用水(調理、炊事や洗濯等)は TW の水の使用が多く続いて、河川水を利用している(表-3)。

以上、両国の水使用習慣の違いから住民の水支払意識は、「カ」国のほうが「バ」国より高いと考察される。但し、本考察は対象村落が限定されているため、対象地を拡大し一般化する必要がある。

(2) 水に対する支払可能額

両国の調査村落の「支出額」における購買水への ATP の割合を検討した結果、「バ」国の村落部では 0%、「カ」国の村落部では約 6%(表-4)であることが明らかになった。この結果は、上記(1)の両国の水使用形態からの考察を裏付けるものと考えられる。なお、日本では上下水道料金への家計支出額の割合が 1.6%とされており、また、世

ATP(\$/月)	世帯数
0	21
1.5	2
5	4
10	4
15	1
30	2
計	34

銀は可処分所得の約3%が水に支出可能している。このことから、「カ」国のATP(6%)は高いと評価できる。

(3) 代替水源等の市場価格

「バ」国で利用可能なヒ素除去装置、雨水タンクや、深井戸などの水供給装置のコストは300TK(1TK=1.3円)から45,000TKと多彩な価格の水供給装置が現地に存在している(表-4)。

「カ」国では、主に3種類のボトル水が販売され、価格の差が倍近くある。一方「バ」国におけるボトル水は10倍の価格差(表-5)があることを確認した。

次に、現地入手可能な凝集沈殿剤(ミョウバン(Alum))や次亜塩素酸カルシウム(Bleaching powder)は、両国の村落部内の商店での取り扱いは無く、行政単位が上位にある県等の商店で販売されていることが現地調査から明らかになった。

4. 除去装置及び水浄化剤の経済的妥当性と考察

現地で入手可能な代替水は、各世帯収入額における水への支払可能額以内でなければ購入や所有が困難である。即ち、代替水の選択は式①となる。

表-4 バングラデシュにおける水供給形態のコスト

水供給形態	水源	処理方法	建設コスト (TK)	維持管理 (TK/人/年)	ユニット当たりの世帯数 (家族サイズ=5)
ピッチャーフィルター(PF)*	地下水	砂ろ過	300	1	1
雨水利用(RWH)	雨水		6200	20	1
ヒ素除去装置(AIRP)	地下水	砂ろ過	15,000	5	3
ググウェル(DW)	地下水		35,000	1	25
ポンド・サンド・フィルター(PSF)	池	砂ろ過	35,000	10	50
深井戸(DTW)	深層地下水		45,000	1	50

*「バングラデシュ人民共和国/バングラデシュヒ素汚染対策プログラム評価報告書」国際協力機構、p36より参照
*業者らのヒアリング調査値参照

表-5 現地で入手可能なボトル水と水浄化剤

Country	Market	Product	Price	Dosage	Cost Effectiveness
Cambodia	Ko-Ki market	Mineral Water (Rabir)	500 R / 0.5 L	-	1000 R / L
			3000 R / 6 L	-	500 R / L
		Mineral Water (HI-TECH)	1000 R / 0.5 L	-	2000 R / L
			2 \$ / 0.5 L / 12 piece	-	1333 R / L
		Mineral Water (Lyyon)	1000 R / 0.5 L	-	2000 R / L
			2 \$ / 0.5 L / 12 piece	-	1333 R / L
			2000 R / 1.5 L	-	1333 R / L
			10000 R / 1.5 L / 6 piece	-	1111 R / L
		Blue-Bottled water (20L)	55 / 20 L	-	1000 R / L
		-Water	15 / L	-	4000 R / L
-An Empty Bottle	4 \$	-	-		
	Alum	500 R / 150g	1g / L	3 R / L	
		3000 R / kg		3 R / L	
	Bleaching Powder	-	-	-	
Bangladesh	Manikganj i market	Mineral Water	12 TK / 0.5L	-	24 TK/L
			20 TK / 1.5L	-	13.3 TK/L
			60 TK / 5L	-	12 TK/L
		Filter water	2.5 TK / L	-	2.5 TK/L
			50 TK / 20L	-	2.5 TK/L
		Alum	18 TK / 300g	10g / L	0.6 TK/L
			60 TK / kg		
		Bleaching powder (High quality)	100 TK / kg	5g / L	0.5 TK/L
		Bleaching powder (Low quality)	60 TK / kg	10g / L	0.6 TK/L
			16 TK / 250g	10g / L	0.64 TK/L

R: 4000R=1\$, TK: 1TK=1.3円

$$I \cdot r > \alpha \dots \textcircled{1}$$

ここで、I:月世帯収入額、r:水に対する可処分所得の支出割合、α:代替水の価格

水浄化剤を含む代替水源の市場価格調査結果から式①を用いて1世帯当たりの代替水源に対する月支出額を算出した。最初に、ヒ素除去装置や井戸掘削より安価で、表流水等を浄水する目的で、途上国で通常用いられている次亜塩素酸カルシウムやミョウバンの価格の妥当性についての評価を行う。

「バ」国では、次亜塩素酸カルシウムやミョウバンによる浄水の1L当たりの費用は、前者が0.5TK/L、後者が0.6TK/Lであり、家族構成が4~6人/世帯(出所:文献7)で一人当たりの飲料量は約3L/日以下とされていることから、前者は約225TK/月・世帯、後者は約270/月・世帯)支出が必要と算出される(家族数は平均値を使用)。これを式①より、月収入額が7500から9000TKの世帯が購入可能であることが判る(世銀の値を参照しr=0.03とする)。バングラデシュ統計書(出所:文献7)によれば、7,500TK以上の収入がある世帯は全農村世帯数の約10%とされ、90%の世帯はそれ以下の収入であることから、これら浄水剤のBOP層への普及は難しいと考えられる。

次に、「カ」国では、ミョウバンの1L当たりの費用は3R/L(約4,000R=1US\$)であることが確認されたが、次亜塩素酸カルシウムは確認できなかった。これよりミョウバンを使用した水への出費額は「カ」国の家族構成が4.7人/世帯であることから、約1,270R/月・世帯であることが判る。これを式①を用いると、必要月収入額が約42,000R/世帯と算出される。つまり約11\$以上の収入がある世帯がミョウ

パンを購入することが可能であり、調査対象村の月平均世帯収入額は約 240\$であることから、水浄化剤等は安価であることが判る。

以上から、両国の村落住民の収入額における水浄化剤への支払額を比較すると、「バ」国では非常に高く、「カ」国では安価であることが明らかになった。

次に、ボトル水や除去装置価格は水浄化剤より高価であるため、式①の I と r は大きく変化しないと仮定した場合、 α の低減が求められる。このためには、スケールメリットによる α 価格を低くさせることが考えられるが、 I と r に限界のある村落部で市場の活性化には長期的視野に立つ手法が必要となる。即ち、 I と r の範囲で支払いが可能となるリース、マイクロクレジットやリボルビングファンド等によるファイナンスの仕組みが求められる。この仕組みの導入には、今回の現地調査の結果から、次の3点が考察される。

a. 安全な飲用水の必要性（安全な水供給により健康障害が低減するという長期のメリット）を貨幣価値等に置き換えて示し、住民側の理解を得ること。

この場合、従来、事業が「ある場合(with)」と「ない場合(without)」による比較による評価が行われ、計画倒れやパイロット事業を実施するのみで、持続性が担保されない事例は数多くある。

b. 今後は、有効な技術を普及させ、健康改善さらには経済改善に繋がる手法として、地元の企業等からの出資とサプライチェーンの構築によるビジネスとしての視点を持つこと。

以上二つの必要条件を満たすことが、途上国村落部住民の内発的発展に繋がると考えられる。但し、行政による補助金による手法は BHN(Basic Human Needs)の観点からは求められる。

c. しかし、補助金依存とさせないためには、ファイナンスやビジネスの工夫を行うことで、住民の内発的発展による健康改善と経済発展にフィードバックすることも必要な条件となると考えられる。

5. 結論

今回の両国における調査から、有効な技術を村落部に普及するためには、考察した3つの必要条件が揃っていないこと、一般の浄水剤等よりはるかに高価でありサプライシステムが未完成であることが明らかになった。今後はこれら必要性を明確にする調査研究を継続したい。

6. 謝辞

「バ」国の調査は文部科学省科学研究費、「カ」国の調査は厚生労働省科学研究費及び国際厚生事業団の資金により実施できたものであり、この場を借りて御礼申し上げます。現地調査では、BUET、ITC、JICA「バ」国・「カ」国両事務所及びDPHE末永氏にお世話になり、感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 「バングラデシュ国とカンボジア国における地下水ヒ素汚染の現状と対策における比較研究」、○眞子岳、北脇秀敏、五十嵐堅治、国際開発学会、第21回全国大会、357—360頁 2010年12月
- 2) “Willingness of household to Pay for Improved Service and Affordability” The World Bank. p4-5.
- 3) “A study on the Community Awareness on Arsenic Contamination and their Water Use Practice in Arsenic Affected Area in Rural Cambodia” Ros Sophak, 2009, Master’s thesis, Toyo University, Japan
- 4) 「カンボジア国村落部における地下水砒素汚染に関する研究」五十嵐、Ros Sophak 北脇 2009 国際開発学会研究発表会論文集
- 5) “Family and Households, Analysis of the census results report 11” UNDP, JICA, Government of Japan, and Government of the Federal Republic of Germany, p29, Table 1.4.
- 6) 「カンボジア王国村落部地下水砒素汚染対策調査」—官民連携も視野に入れて 2009年3月 国際厚生事業団
- 7) Statistical Yearbook of Bangladesh 2004年版及び2009年版

カンボジア国村落部における地下水砒素汚染の影響予測と外的支援策に関する研究

—バングラデシュ国の教訓を活かして—

東洋大学国際共生社会
研究センター客員研究員
○五十嵐堅治*

東洋大学大学院
国際地域学研究科
眞子 岳

東洋大学
国際地域学部
北脇秀敏

キーワード：カンボジア、地下水砒素汚染、健康影響、ドナー介入、内発的發展

1. 背景及び研究目的

本研究は、近年、地下水中の砒素による健康被害が注目されているカンボジア国(以下、「カ」国)を研究対象とし、砒素対策の先行事例であるバングラデシュ国(以下、「バ」国)における外部援助の経験活用の可能性を探ることを目的とした。即ち、「バ」国と同様に「カ」国では Unicef 等の援助機関の介入により病原性微生物の観点からは管井戸による安全な地下水供給が実施された結果、「バ」国と同様なパターンで健康障害が時間差を置いて発生するものと考えた。この仮説に基づき「バ」国における介入経緯及び健康影響をレビューし、砒素汚染問題対応の黎明期にある「カ」国における効果的な砒素問題介入方法の検討を行なった。

その結果、村落民の地下水飲用量、砒素濃度の度合い、水使用形態や衛生教育等から地下水砒素汚染による健康影響の現状を定量化することを試みた。さらに、適正技術による簡易砒素装置の普及、教育や医療面からのアプローチ等による仮説介入モデルと、そのアプローチの持続性を確保することを考察した。

2. 研究方法

(1) 既存文献のレビュー

両国の、ドナー介入による管井戸掘削数の推移、地下水汚染の推移、砒素慢性疾患(Arsenicosis) 症例数、地下水砒素問題に対するドナー等介入の経緯を始め、政府の対応、国際機関等各ドナーの砒素汚染問題に対する動向等を把握し砒素汚染問題の時系列による分析を実施した。

(2) 現地調査による基礎データ収集

2009年、2010年及び2011年に、「カ」国の砒素汚染が高いと報告されている7州内の3州(Kandar, Prey Veng 及び Kampong Cham 各州)及び、砒素汚染が確認されていない1州(Takeo 州)で現地調査を実施した。現地調査では、地下水砒素汚染の状況を確認するための簡易実測調査(As、Fe等)、水使用形態や砒素に関する住民意識調査、および「カ」研究機関、「カ」政府関連組織、国際機関(Unicef、WHO、世銀等)およびNGO等を訪問し研究に必要なデータや情報等を入手し分析を行った。

3. カンボジア国の砒素汚染と対策の検証

(1) 研究仮説と「カ」国の砒素汚染対応現状と課題

研究目的で記した、介入(井戸掘削)と時間差による健康影響仮説を図1に示す。この仮説を検証するための基礎データの収集を試みたが、現地調査では多くの場合入手は困難であった。これは単にデータ収集やアーカイブ制度(保健省では Arsenicosis という統計処理はしてない)不足ということのみならず関連組織からの聴き取り調査¹⁾から以下の点が明らかになった。

- ・ 「カ」国村落部の地下水砒素汚染問題は、経済開発政策を推進する同国にとって対外的なネガティブキャ

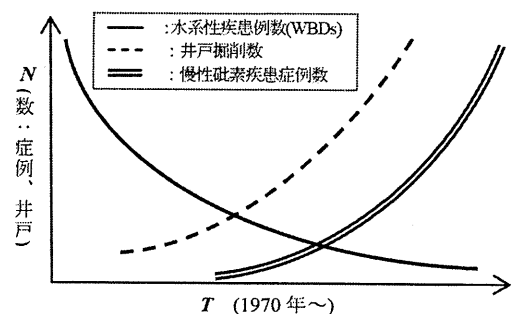


図1 井戸数(介入)と健康影響仮説

* [連絡先] 〒112-0001 東京都文京区白山 2-36-5 東洋大学大学院国際地域学研究科北脇秀敏研究室気付
Tel: 03-5844-2240, Fax: 03-5844-2240, E-mail: ken3igarashi@wh2.fiberbit.net

ンペーンとなる可能性がある。

- 特に安全な水供給が十分とは言えない村落部の社会的不安を煽る等のマイナス効果の発現を恐れている。

これらの「カ」国政府の地下水砒素汚染の対策に内在する消極的な面を裏づけるものとして、「カ」国政府は AISC を組織したものの政策や行動計画が未承認(2010 年末現在)、「カ」国版 PRSP である NPRS に地下水砒素汚染問題が含まれてない^{1),2)}(表 1)。このためドナーが地下水砒素問題への円滑な介入ができない状況にあると考えられる。

特に「カ」国の開発の優先課題は「経済発展」にあり、保健医療面に関してはマラリア、デング、HIV/AIDS 等の感染症が早急に解決すべき問題として掲げられている。即ち、「カ」国政府は経済発展や緊急を要する感染症への対応が優先され、砒素の低濃度暴露による影響が約 10 年後に慢性疾患(WHO)として顕著となる地下水砒素汚染問題へは消極的な対応であると評価される。さらに、「カ」国政府の砒素問題への対応の背景には多くの解決すべき政策的判断、開発過程、「カ」国政府や村落部の社会経済的背景など固有の課題や事情により、砒素問題より優先すべき「開発課題」があるものと推察される。

(2) フィールド調査結果

2009 年に実施した現地調査(Kandar, Prey Veng, Kampong Cham 及び Takeo の 4 州)では、砒素濃度簡易検査(サンプル数 12 井戸)、砒素問題認識、飲料水確保習慣、砒素除去に対する支払意思額(WTP: Willingness to Pay)等の住民意識を把握する目的で、ヒアリング調査(サンプル数 12 名)を実施した。本調査で判明した地下水砒素濃度、住民の習慣や意識として特筆すべき点を以下に整理する^{1),2)}。

- 「カ」国の飲料水基準(CDWQS)の 50µg/L(WHO 基準は 10µg/L)を超える砒素濃度を 8 井戸(約 66%)から検出し、内 7 井戸(約 58%)からは 250~500µg/L の高濃度の砒素を確認した。
- 習慣として雨季は雨水及び表流水を、乾季は表流水のみを飲用している点。
- IEC 等の衛生教育等が実施されている
- 村落ほど砒素問題の認識や砒素除去簡易フィルタ装置導入に対する WTP(US\$7-10)が高い傾向がある点。

次に、2010 年及び 2011 年に実施した現地調査は、地下水砒素汚染が最も顕著であるカンダール州の数村落を調査対象に絞り込み、2009 年と同様の調査を実施し水使用形態等をより明確にした^{3),4)}(表 2)。

- 調査した 35 井戸の内、約 60%が CDWQS の砒素基準(50µg/L)を超え、その内 30%の井戸水は同基準の 10 倍に当たる 500µg/L が検出された。
- 管井戸(TW)の地下水を直接飲料している世帯は、24%(乾期)及び 7%(雨季)であった。
- 水源として、雨水や購買水(水源は河川水)を利用する世帯が約 50%あることが判った。
- 雨水を留める水瓶(約 1m³)から直接飲用する習慣があることをヒアリング及び現地目で視した。
- 水を煮沸し、お茶を飲む習慣があることを関連文献やヒアリング調査で確認できた。

以上から、「カ」国村落部の習慣として地下水以外に、特に雨季には雨水を水瓶に貯留し飲用しているため、この習慣がある村落では、通年での地下水砒素による暴露がないと評価できる。即ち、雨水飲用習慣は Arsenicosis 発症期間が通年の砒素汚染水飲用より遅延するものと考えられ、同症例発生予測をする際の必要なパラメータとして考慮する必要があること、また Arsenicosis 発生抑制を促す介入アプローチの一つとして検討すべきと考えられる。

表1 地下水砒素汚染問題における両政府の対応比較

カンボジア政府	バングラデシュ政府
<ul style="list-style-type: none"> 2002 年、関連 5 省からなる AISC*を組織。 2006 年「砒素 5 ヶ年戦略的アクションプラン」を作成→2010 年末現在、同プラン政府未承認。 国家貧困削減戦略(NPRS)**に砒素問題は含まれてない。 開発の優先課題：経済発展、マラリア・デング・HIV/AIDS等。 	<ul style="list-style-type: none"> 2004 年「国家砒素緩和政策」及び「実行計画」を採択。 2005 年 PRSP に砒素対策を含む安全な水の供給を重要な課題として位置付け。 我が国をはじめとするドナーの砒素問題の介入実施(JICA 技プロ等)。

* AISC, Arsenic Inter Ministerial Sub-Committee: 農村開発省(MRD)が座長

** NPRS: National Poverty Reduction Strategy (「カ」国版 PRSP)

表 2 「カ」国の水源別水使用形態(%)

Purpose and water source	TW	Dugwell	Pond	River	Rain	Water vendor
Dry season	Drinking	31.8	0.0	12.5	26.0	37.5
	Cooking	26.7	0.0	12.5	26.9	33.7
	Cook rice	26.7	0.0	12.5	26.9	33.7
	Washing plates	29.3	0.0	1.56	3.1	0.0
	Washing clothes	29.3	0.0	1.56	3.1	0.0
	Washing hand	32.5	0.0	12.5	3.1	0.0
	In the toilet	32.5	0.0	12.5	3.1	0.0
	Chasing house	32.5	0.0	12.5	3.1	0.0
	Domestic animal drinking water	34.4	0.0	12.5	3.1	0.0
	Baking (Women)	34.4	0.0	12.5	3.1	0.0
	(Men)	39.6	0.0	12.5	3.1	0.0
	Rain season	Drinking	7.7	0.0	6.3	6.3
Cooking		11.5	0.0	6.3	6.3	91.1
Cook rice		11.5	0.0	6.3	6.3	91.1
Washing plates		7.4	3.1	9.4	3.1	8.2
Washing clothes		7.4	3.1	9.4	3.1	8.2
Washing hand		7.4	3.1	9.4	3.1	8.2
In the toilet		7.5	3.1	9.4	3.1	8.2
Chasing house		7.5	3.1	9.4	3.1	8.2
Domestic animal drinking water		7.4	3.1	9.4	3.1	8.2
Baking (Women)		29.3	3.1	9.4	3.1	8.2
(Men)		71.6	3.1	9.4	3.1	8.2

TW: Tube well(管井戸)

(3) 栄養状態・収入レベルと Arsenicosis 症例との相関

WHO の文献⁵⁾レビューから Arsenicosis を発症した初期患者(癌化した末期患者を除く)にはアスコルビン酸投与等による栄養改善による治療が効果的であるとしている。一方、Arsenicosis 発症は砒素の低濃度の長期暴露(10 年程度)であるがその発症機序は栄養状態等多くのファクターがあると考えられ、一概に特定できない。この点に関し米国の NGO (RDI-C; Resource Development International, Cambodia)による文献に Arsenicosis に関する定性的な現地観測報告⁶⁾があり、以下としている。

- ・ 食物摂取習慣(野菜果物等)が良いほど、皮膚疾患等目視できる Arsenicosis 症例数が少ない
- ・ 農作物に殺虫剤を多用している農家ほど米を除き野菜等の摂取が少ない
- ・ 家屋の素材等が良い世帯ほど皮膚疾患等目視できる Arsenicosis 症例数が少ない

この定性的観測結果は、技術的アプローチのみならず医療等からのアプローチを組み合わせ、飲料水砒素汚染による慢性中毒対応策を総合的に検討する際に参考できるものであり、新たな Arsenicosis 発生予測をする際のパラメータとして、また Arsenicosis 発生抑制の栄養・医療面からの介入アプローチの一つとして検討すべき点であると考えられる。

4. 地下水砒素による影響予測に関する考察

地下水砒素汚染による健康障害に対し、「バ」国において国家政策整備やドナー等による介入の開始は、健康被害が確認されてから 10 年が経過した後であった^{1),2)}。一方、「カ」国では砒素地下水汚染や健康被害が確認されたもののその広がりや規模等は現時点で明確でなく、「バ」国での砒素対応の経験(IEC、井戸のペイント等)を活用しているが、積極的な介入(支援)事業の実施は見当たらない^{1),2)}。

「カ」国におけるこの現状は、単に開発課題の優先度のみならず、地下水砒素による健康障害に内在する特質によるところが大きい。即ち、生物汚染による下痢疾患等とは違い砒素問題は直接課題(砒素汚染、慢性砒素患者)として直ちに特定できず、原因発生(地下水汚染水の飲用開始)から健康障害の発生まで約 10 年の時間的なずれがあり、砒素汚染が発見されても健康障害の症例数が現時点では特定できない点である。この内在する特質により影響人口や経済的影響が判明するは 10 年以上の将来となる。また、仮に有効な介入があったとして、その結果として砒素中毒発生が抑えられてしまうため介入効果の定量的評価が難しい。このため地下水砒素問題に対する介入は事業として検討され難いという結果となっていると考えられる。

なお、予測に関し、D. Fredricks⁷⁾は 2006 年に、直接影響住民(Directory Affected Population)として、「砒素に汚染された井戸水を飲用しており、安全な代替水源を探す必要がある住民(AP)」と定義付け、リスク地帯(地下水砒素汚染高リスク各 7 州)の井戸総数(TW)、砒素汚染井戸の割合(PC)、各井戸利用世帯平均(FW)及び世帯平均人数(FS)を変数とし、各変数の積(TW×PC×FW×FS)を、AP(直接影響住民数)としている。この結果、AP を 32.5 万人と予測している。しかし、砒素暴露住民(Arsenic Exposed Population)に関しては、「無意識に砒素汚染地下水(汚染井戸、未検査井戸)を飲んでいる人口規模及び、これら井戸を継続して利用している人口規模、これらの推定値が必要としている。また、これらを推定する調査結果等がない」、としている。さらに、「慢性砒素中毒発生率の予測は、地下水の砒素が高濃度にも関わらず「カ」国ではかなり困難として、明確な臨床的証拠は発見できなかった。」とした。その要因を、「暴露期間が短い。年間を通じて幾つかの水源を利用している。」と指摘している。なお、これら要因は、本稿 3. の(2)で記した本研究による現地調査結果と一致している。

以上から、直接影響と介入による裨益効果を定量化するためには、「バ」国での経験で得られた結果から、井戸掘削毎(W_N)の下痢疾患等の低減効果と砒素慢性患者数(A_N)を、「カ」国の社会経済背景を考慮しつつ井戸毎の A_N 発生原単位(A_{NU})を決定することで予測する。即ち、「カ」国の現状把握で本研究が明らかにした検討すべき幾つかの以下のパラメータを定量化し差し引く必要がある。

- i. 地下水の砒素濃度 (A_{CO})
- ii. 雨水を飲む習慣による通年の地下水砒素暴露のない飲用量(D_W)
- iii. 食習慣や栄養状態 (N)
- iv. IEC 等衛生教育の成果(I)
- v. 医療からのアプローチ(M)

以上から、慢性砒素患者発生数予測 A_N は以下の式で表すことができる。

$$A_N = \alpha \cdot A_{NU} \cdot W_N - f(A_{CO}, D_W, N, I, M)$$

α : 経済社会発展段階による定数(国、地域毎)

f : 考慮すべきファクターのパラメータ関数

また、介入により将来の医療費(E_{Med})、教育費(E_{Edu})や労働力(L)など失われなくて済む開発効果をシミュレーションし地下水砒素問題に対する介入のアプローチを検討・提案する必要がある。即ち、介入(支援)による効果による慢性砒素患者低減(A_{NR})は、以下の式となる。

$$A_{NR} = A_N - f(E_{Med}, E_{Edu}, L)$$

本研究で地下水砒素汚染問題が持つ潜在的な特質からこうした将来予測をするアプローチを取ることが必要であると考察される。このアプローチを「仮説検証型介入手法」と仮称する。

5. 仮説検証型介入アプローチによる持続性の担保に対する考察(まとめとして)

仮説検証型介入アプローチの場合、予測の精度により、事業の担保性が議論となる。このため、村落部において、適正技術による砒素除去装置(「バ」国におけるAIRP¹、「カ」国におけるカンチャンフィルター²)を導入し、安全な飲料水を確保する場合、その技術的妥当性(砒素除去率等)は本研究メンバーにより検証している。次はこうした適正技術を導入することが本アプローチとして妥当と判断された場合、その装置導入、建設、運転維持管理等における費用負担と技術的支援方法を解決する必要がある。この場合、政府やドナーのこれまで採っていたリボリピングファンドやBOT(建設、運転、移転)等の民間参入によるアプローチは一定の効果はあるものの、当初の予定通りでないケースが「カ」国で散見された。

このため本アプローチを取る場合、村落民の「内発的発展」を視野に入れた、介入事業の設計が求められる。具体的には、地場の民間企業の技術や村落民の持つポテンシャルを拡大する方法として、世銀等が近年導入している官民連携に基づくOBA(Output Based Aid)スキームを取り入れ、例えば資金援助をする場合に、先に補助金や援助資金等を投入するのではなく、ある一定の成果を果たせた後に、投入資金が回収できるとした仕組みが有効であると考察される。このためには、介入事業計画の段階から住民の参加が必要であり、また初期コストや運転維持管理コストについても住民が負担できるよう、IEC等の活動が求められる。この点に関し、2010年2月に実施したヒアリング調査で、金融に関する質問に対し16世帯の内12世帯(75%)が既にローン等の借入金があり、その金額はUS\$200~US\$10,000、返済期間は10~24カ月とした多様な実態を確認でき、既に車や住居等を購入する目的で金融を利用していることが分かった。今後は、公共性の強い安全な水供給をする場合、緩やかな(据え置期間、担保、金利の設定等)金融制度等の導入を検討し、住民の金融リタレシーを高めることで、さらに内発的発展を促進し、村落部の社会基盤整備に資する新たなアプローチを検討したい。

6. 謝辞

本研究は各研究メンバーが「バ」国、「カ」国で実施した現地調査等の結果を纏めたものです。特に「カ」国における2009年3月の現地調査は国際厚生事業団の「平成20年度水道プロジェクト計画作成指導事業」で、2010年と2011年の現地調査は厚生労働省科学研究費地球規模保健課題推進研究事業「水供給分野の国際協力における総合援助手法に関する研究」の資金を用いて行われたものであり、同事業団ならびに厚生労働省、また、「カ」国MRDを初めAISC関係省、JICA、UnicefとWHOの各カンボジア事務所、及びRDIの各担当者に対してこの場を借りて御礼申し上げます。

参考文献

- 1) カンボジア王国村落部地下水砒素汚染対策調査 -官民連携も視野に入れて- 報告書 平成21年3月 国際厚生事業団 2009
- 2) 五十嵐堅治, Ros Sophak, 北脇秀敏 カンボジア国村落部における地下水砒素汚染に関する研究 -援助機関による介入の変遷と砒素慢性疾患(Arsenicosis)症例について- 国際開発学会 第20回全国大会論文集 pp.364-367, 2009
- 3) 眞子岳, 五十嵐堅治, 北脇秀敏 バングラデシュ国とカンボジア国における地下水ヒ素汚染の現状と対策における比較研究 国際開発学会 第21回全国大会論文集 pp.357-360, 2010
- 4) 眞子岳, 五十嵐堅治, 北脇秀敏, バングラデシュ国及びカンボジア国の地下水砒素汚染地域における安全な水供給技術の普及手法に関する研究 国際開発学会 第12回春季大会報告論文集 pp.41-44, 2011
- 5) Allan H. Smith, Elena O. Lingas & Mahfuzar Rahman, Contamination of drinking-water by arsenic in Bangladesh: a public health emergency Bulletin of the World Health Organization 78 (9), WHO, pp.1093-1103, 2000
- 6) Arsenicosis in Cambodia: Case Studies and policy response, M.L.Sampson *et al.*, Applied Geochemistry, pp.2977-2986, 2008
- 7) Dr. David Fredericks, "Arsenic Contamination of Groundwater in Cambodia Situation and Response Analysis (Draft)" A Report prepared for the Arsenic Inter-Ministerial Sub-Committee, Supported by Unicef, WHO and WSP Phnom Penh, Cambodia, 2006

¹ AIRP(Arsenic and Iron Removal Plant):砒素鉄除去装置(バングラデシュで実証されている簡易な装置)

² カンチャンフィルター:マサチューセッツ工科大学(MIT)で開発され、砂利や鉄釘といった簡単な濾材を用いた簡易砒素除去装置。安価で一般家庭でも利用できる適正技術(ネパール、カンボジア等で実証されている)

