

分担研究報告書 4

Bangladesh 村落部における安全な水供給に関する研究

研究分担者 北脇秀敏

研究協力者 眞子岳

厚生労働科学研究費補助金（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
分担研究報告書

バングラデシュ村落部における安全な水供給に関する研究

研究分担者：東洋大学国際地域学部教授 北脇秀敏
研究協力者：東洋大学国際地域学専攻博士後期課程 眞子岳

研究要旨

バングラデシュ人民共和国(以下、「バ」国)では、自然由来による地下水ヒ素汚染や表流水における病原性微生物汚染の問題が顕在化しており、それらを飲料とする村落部住民から健康被害が報告されている。その対策として国際機関や行政機関、非営利組織(NGO: Non-Governmental Organization)などの援助や助成金によって建設されてきた、砂ろ過手法を用いた鉄とヒ素を同時に除去する AIRP(Arsenic and Iron Removal Plant)、安全な深い帯水層から地下水を汲み上げる DTW(Deep Tube Well)や手掘りの井戸である DW(Dug Well)などがある。また他の代替水源も利用できるため雨水を貯め使用する RWH(Rain Water Harvesting)や池の水をろ過する PSF(Pond Sand Filter)が現地で使用されている。また PF を称される素焼きの壺に砂と煉瓦を入れた除去装置も従来から使用されている。しかしこれらの水供給製品において、貧困層に属する使用者は持続的に運転維持管理費を支払えない事や、故障時による技術教育やサプライチェーンの欠如により現在運転していないものも多々ある。これらを持続的・内発的に使用及び普及させる為に、使用者の月収入額等に適切な代替水を明らかにする必要がある。

それゆえ本研究では、経済的に最適な代替水を算出する式の構築を行い、現地調査を用いて収集した、各代替水の現地市場価格、運転維持管理費、使用者の収入額及び水への支払い意思額の値を代入し、各収入額に適切な代替水を選択し普及手法を提案した。

A. 研究目的

本研究は、「バ」国村落部における水使用形態の現状や水への家計支出額の割合、水に対する支払い可能額を把握すると同時に、現地で入手可能な水供給装置・製品の初期投資額や維持管理費、水処理薬品の市場価格、減価償却費を明らかにし、現地住民に経済的に最適な装置や代替水の普及手法を提案することを目的としている。

B. 調査研究方法

(1) 経済的に最適な代替水を算出する式の構築

上記の研究目標を達成するために、各世帯における月収入額に最適な代替水を求める計算式を本研究で構築した。その式における定数と変数を決定するために、「バ」国村落部の水使用形態の現状、水に対する家計支出額の割合、水に対する支払い可能額を把握すると同時に、現地で入手可能な水供給装置・製品の初期投資額や維持管理費、減価償却費等を現地調査により明らかにした。

現地で入手可能な水供給製品は、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、経済的妥当な代替水の選択は不等式(1a)で算出される。

$$I \cdot r > W \cdot V \cdot e \quad (1a)$$

ここで

I : 月収入額(TK/月・世帯)、
 r : 水に対する家計支出額の割合
 W : 一人当たりの水使用量(L/人・月)
 V : 各製品の1L当たりの単価(TK/L)
 e : 家族構成数(人/世帯)

次に初期投資額の算出を行う。ヒ素除去装置等は、個人資産や国際機関等のドナーによる補助金や援助を用いて建設が行われている。また、NGOや銀行等による借入金による物品の購入等を行っている地域もある。よって除去装置等における使用者の初期投資額の算出は、装置価格から補助金及び借入金の差額で表すことができる。従って、使用者の初期投資額は、式(1b)により算出される。

$$U_I = (C_T - C_S) - C_L \quad (1b)$$

ここで

U_I : 使用者の初期投資額(TK)、
 C_T : 装置価格(TK)
 C_S : 補助金(TK)
 C_L : 借入額(TK)

また助成金には限度があることから借入金のみで購入する世帯もあると考えられる。さらに水供給の装置の維持を目的として運転維持管理や減価償却費を算出する必要がある。また、水供給装置等の購入は一世帯とは限らず、複数世帯(h 世帯)で共同購入・使用することも考えられるため、月々の適切な装置の支払い額は式(1c)により与えられる。

$$C_L \left(1 + \frac{q}{100}\right) / m + (C_O + C_D) < I \cdot r \cdot h \quad (1c)$$

ここで

q : アドオン率(%),
 m : 返済月数(月)
 C_O : 運転維持管理費(TK/月),
 C_D : 減価償却費(TK/月)
 h : 各装置における共用世帯数(世帯/基)。また、1以上で各装置の最大共用世帯数(h_{\max})内の整数とする。

(2) 調査対象村

本研究における調査対象村は、「バ」国村落部の代表的な飲料水供給形態とされる管井戸が普及している地域であること、聞き取り調査におけるバイアスが生じないようにヒ素対策の外部援助がなされていないこと等を条件として策定した。その結果、首都ダッカ西方80kmにある、人口約1,000人(2011年ヒアリング結果)のマニガンジ県ギオール郡バイカンタプール村を選定した。バイカンタプール村の経済状況としては、'05年の全国の村落部の収入額分布と調査対象村の'06-'07年¹⁾の収入分布をから解る。調査対象村の'05年の値は図1に

示したものよりやや低いと考えられるが、低所得者層の分布は全国平均と似た形状を示している。また中所得者層はサンプル数の関係で回答が一部の収入範囲に偏ってはいるものの、概ね全国平均に近い割合を占めている。

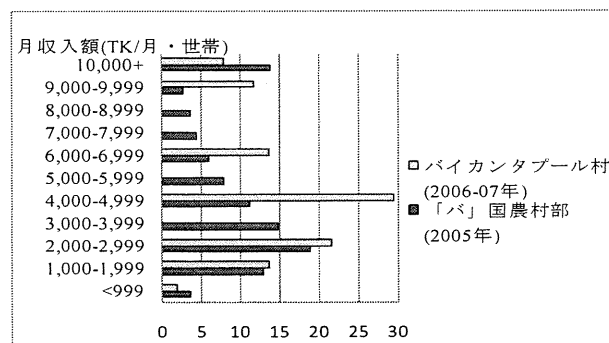


図1 「バ」国村落部とバイカンタプール村における世帯収入額の割合²⁾

(3) 調査対象者とカウンターパート

この調査対象村において、地下水水質分析キットやヒアリング調査('08年(11世帯にヒアリングを行った)³⁾、'09年(12世帯)⁴⁾、'10年(12世帯)、'11年(112世帯))を用いて、地下水ヒ素濃度や水使用形態、家計調査や水に対する支払い額、マーケットにおける水供給製品、代替装置の価格等の項目を明らかにした。また、現地における聞き取り調査はバングラデシュ工科大学(BUET: Bangladesh of University of Engineering and Technology)の学生と共に行い、国内でデータを取り纏めた。またサンプリング数の向上を図るため、BUETのDr. Mafizur Rahman氏の協力によりフォローアップ調査を実施した。

C. 研究結果と考察

(1) 水使用形態と代替水の価格

調査対象村における地下水ヒ素濃度は、'09年に12本(1世帯1本の井戸を所有)の井戸を調査した結果、7本の井戸で世界保健機関(WHO)のヒ素濃度基準値である0.01mg/L以上であった。(「バ」国の同基準は0.05mg/Lある)

水使用形態調査では、水購入をする世帯は皆無で、90%以上の世帯が通年を通し管井戸の水を飲用していることを確認した。これらの結果から、慢性ヒ素中毒の患者の存在が懸念される。また、地下水以外の水源として、表流水(雨水や河川水)を使用し、主に炊事及び洗濯に利用されている(表1)。これは地下水に含まれる鉄による繊維への着色等を忌避するために表流水を利用していることがヒアリング調査から明らかになっている。即ち、地下水に含まれる鉄の除去にニーズがあることが確認された。

次に現地で入手可能な代替水の供給装置の価格を現地調査及び文献調査から明らかにした。深井戸やダグウェル、雨水利用やポンド・サンド・フィルター、ピッチャーフィルター、ヒ素・鉄除去装置の価格、設備投資費用、維持管理費用、最大共用世帯数、減価償却費を同調査より確認した。さらに減価償却期間はBUETにヒアリング調査を行い明らかにした。また今年度(平成23年度)の調査では、本研究費で実際に深井戸の掘削を行い、住民のリアクションや深井戸の技術的問題点を明らかにした。

表1 バイカンタプール村における水使用形態

用途別水源	バイカンタプール村							
	乾期				雨期			
	管井水	雨水	河川水	購買水	管井水	雨水	河川水	購買水
飲料用	11	0	1	0	11	1	1	0
調理用	10	6	3	0	11	6	4	0
炊飯用	11	5	4	0	11	6	4	0
食器洗い	10	1	1	0	10	1	1	0
衣類洗濯	7	1	3	0	7	1	4	0
手洗い	11	0	0	0	10	0	0	0
トイレ使用	10	0	2	0	9	0	2	0
屋内清掃	9	0	2	0	8	0	2	0
家畜等の飲料	6	0	1	0	5	0	2	0
水浴び(女性)	6	1	5	0	5	0	5	0
水浴び(男性)	6	0	6	0	6	0	6	0

(注1) 回答者には複数選択可としている。 単位:世帯
 (注2) 2009年現地調査結果

<深井戸の問題点>

- 現地のローカル掘削業者が牛糞を土壌に混ぜ掘削を行ったため、住民にネガティブなインパクトを与えた。
- 400ft と深い帯水層を用いているため子どもなどが手押しで汲み上げる事が困難である。

表2 バングラデシュ国における水供給装置・製品の市場価格と供給形態

水供給形態	水源	処理方法	販売価格(TK)	製品の投入量	1L当たりの価格(TK)	耐用月数(月)
ミョウバン ^(注1)	表流水	凝集沈殿	18/300g 60kg	10g/L	0.6	-
次亜塩素酸カルシウム(良質) ^(注1)		消毒	100/kg	5g/L	0.5	-
次亜塩素酸カルシウム ^(注1)		消毒	60/kg 16/250g	10g/L	0.6 0.64	-
ミネラルウォーター ^(注1)	地下水	-	120/L	-	24	-
ウォーター ^(注1)		-	20/L	-	13	-
ウォーター ^(注1)		-	60/L	-	12	-
ウォーター ^(注1)		-	2.5/L	-	2.5	-
ウォーター ^(注1)		-	50/20L	-	2.5	-
深井戸(DTW) ^(注2)	地下水	-	設備投資費用 45,000	維持管理費 (TK/月・世帯) 0.42	最大共用世帯数 (家族サイズ=5) 50	240
ビッチャーフィルター(PP) ^(注1)	池	砂ろ過	300	0.42	1	12
活性炭装置(ARP) ^(注1)		砂ろ過	15,000	2.08	3	48
ダクウェル(DW) ^(注2)		-	35,000	0.42	25	120
雨水利用(RWI) ^(注2)	雨水	砂ろ過	6,200	8.33	1	48
ボンド・サンド・フィルター(DSF) ^(注2)	池	砂ろ過	35,000	4.17	50	72

(注1) 2010年ヒアリング調査結果
 (注2) 国際協力機構「バングラデシュ人民共和国に対する対策プログラム評価報告書」、p36、2008年

(2) 家計収入額と支払い意思額

住民の収入額及び支出額をヒアリングし、水に対する支払い可能額や現地における形態別水供給コストも把握した。これらのデータを取り纏め、式(1a)で構築した経済的評価が可能な式に代入を行い、普及手法の検討を行った。

調査対象村において数年にわたり世帯当たりの平均収入額の調査を行った結果を図2に示す。図2より調査対象村において収入は右肩上がりの伸びを示していることがわかる。なお月に9,000TK(1TK=1.3円)以上の高所得者層は全国平均を上回っているが、これは調査対象村が首都ダッカに近いため就業機会が比較的多いためではないかと考えられる。

また調査対象村において安全な飲料水に対する支払い意思額は、'09年に調査したところ、平均225TK/世帯・月であり⁵⁾、図2に示す同年の平均収入額に対して2.3%と計算された。なおこの値は世界銀行が途上国における水への支出額を計算する際の仮定値として用いている可処分所得の約3%⁶⁾と、先進国である我が国における上下水道料金の家計支出額に対

する割合 1.6%⁷⁾の中間的な数値となっている。

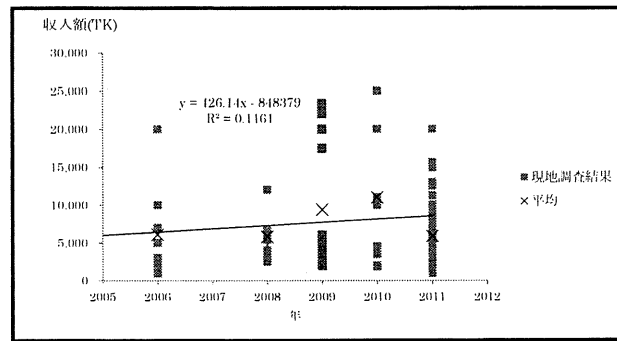


図2 パイカンプール村における月収入額

(3) 代替装置の経済的妥当性

市場価格調査結果(表 2)から式(1b、1c)を用いて 1 世帯当たりの代替水の購入に対する月支出額と必要世帯数を算出した。式(1b)より、初期投資の支払い方法を補助金(C_s)またはローン(C_l)の 2 つの手法に分けて分析を行った。分析を行うための式(1b、1c)の定数である、維持管理費(C_o)、耐用月数及び使用期間(k)は、表 2 の調査結果を代入し、ユニット当たりの共用世帯数(h)及び収入額(I)は変数として使用した。また、村落部で行われているマイクロクレジットの数値に基づき⁸⁾、月返済期間を 1 年($m=12$)、アドオン率を 20%⁹⁾ ($q=20$)、水に対する家計支出額の割合を 2.3% ($r=0.023$)と仮定して算出した。

初期投資を補助金で支払う場合、使用者は運転維持管理費及び減価償却費を支払うことになる。不等式(1c)より、6,500TK の月世帯収入額があれば、PF、RWH は 1 世帯、AIRP、DW、PSF、DTW は複数世帯で共同使用することにより購入可能であることが算出された(表 3)。これより不等式(1c)に代入した数値と同年の 09 年における調査対象地域の月平均世帯収入額世帯では、共同で使用するものも含め、すべての装置を使用することができる。

表 3 月収入額に応じた必要共同世帯数
(初期投資を補助金で支出した場合)

収入額 TK (月/世帯)	PF	RWH	AIRP	DW	PSF	DTW
10500	1	1	2	2	3	1
9500	1	1	2	2	3	1
8500	1	1	2	2	3	1
7500	1	1	2	2	3	2
6500	1	1	3	2	4	2
5500	1	2	3	3	4	2
4500	1	2	4	3	5	2
3500	1	2	4	4	7	3
2500	1	3	6	6	9	4
1500	1	4	10	9	15	6
500	3	12	28	26	43	17
最大共用 世帯数 (h max)	(h ≤ 1)	(h ≤ 1)	(h ≤ 3)	(h ≤ 25)	(h ≤ 50)	(h ≤ 50)

注:1) 塗り潰し箇所は供給不可能

単位: 世帯

次に借入のみで運用した場合($C_T=C_L$)について記す。初期投資額の支払いにローン手法を用いた装置の妥当性について評価する。補助金を用いた場合と比較すると、6,500TK の世帯において、RWH、AIRP や DW は、最大共用世帯数を超過してしまうため、使用することが困

難であると算出された。しかしながら、実際の水利用を考慮すると、 h_{\max} を超えていても共同する世帯が出てくると考えられる。ローンを用いた場合、調査対象村では RWH や AIRP の使用が困難であることが示された。

表 4 月收入額に応じた必要共同世帯数
(初期投資をローンで支出した場合)

収入額 TK (月/世帯)	PF	RWH	AIRP	DW	PSF	DTW
10500	1	4	8	16	17	20
9500	1	4	9	18	19	22
8500	1	5	10	20	21	25
7500	1	5	11	23	24	28
6500	1	6	13	26	28	32
5500	1	7	15	31	33	38
4500	1	8	19	38	40	46
3500	1	10	24	48	51	59
2500	2	14	33	67	72	83
1500	2	23	55	112	119	137
500	6	69	164	335	356	411
最大共用 世帯数 (h_{\max})	($h \leq 1$)	($h \leq 1$)	($h \leq 3$)	($h \leq 25$)	($h \leq 50$)	($h \leq 50$)

注:1) 塗り潰し箇所は供給不可能
単位:世帯

次に初期投資額を補助金及び借入金で支出した場合($C_T=C_S+C_L$)について述べる。同額の補助金及び借入金で支払う($C_S=C_L$)場合は、表 3、表 4 で示した値の中間値を取ることで求められる。借入金が少ないことから、使用者の負担少ないと考察する。また補助金より借入金が大きい($C_S < C_L$)場合は、借入金(ローン)が大きくなるため、表 4 に近似することが考えられる。一方、補助金より借入金が小さい($C_S > C_L$)場合は、表 3 に近似すると考察され、使用者の負担は減少すると考えられる。

これらより水供給製品が住民にとって経済的に妥当となるのは、月収 I と共同利用する世帯数 h とが先に示した不等式(1c)を成立させることができる範囲にある場合である。すなわち I は不等式(1c)の不等号を等号に置き換えた場合の境界線の上側に位置しなければならない。一方 h は共同利用できる世帯数の物理的上限とされる h_{\max} 以下でなければならない。この 2 つの条件を満たす範囲が、住民が経済的・物理的に使用可能な範囲となる。図 3 に

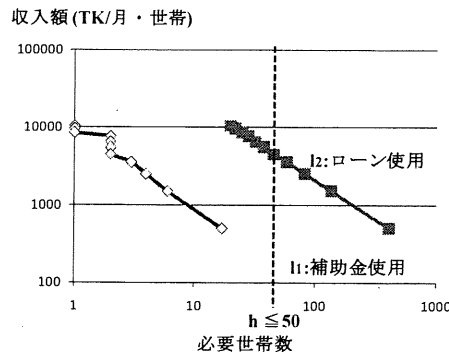


図 3 DTW の購入における収入額と必要世帯数の関係図

代替水源としての深井戸が住民にとって利用可能かどうかを、全額補助金を投入した場合

(表 3 より転記、境界線 1₁) および建設費をローンで賄った場合 (表 4 より転記、境界線 1₂) について境界線を示した。補助金を投入した場合はかなりの低所得者層まで普及できることが判る。

D. 結論

バングラデシュ村落部において地下水のヒ素汚染の健康問題解決の一助とするため、安全な水供給の普及に資するため技術的、社会的、経済的な検討を行った。その結果、以下のことが明らかになった。

- バングラデシュ全国と調査対象村における所得別人口分布と各所得別の安全な水供給設備に対する支払い可能額の推定を行った。
- 調査対象村の生活用水は、管井戸を全体の 92%の世帯が飲用水として使用していることが明らかになった。ところが炊飯、洗濯などの水源としては使用時の赤い発色が忌避されるため、地下水ではなく表流水や雨水の使用が多いことが確認された。
- 安全な水に対する支払い意思額は、1世帯当たり 225TK/月(2009年)、115TK/月(2011年)であることが確認され、これは収入の 2%から 2.3%であった。これは世界銀行が目安としている「可処分所得の 3%程度が水供給への対価」とする額より若干低めであった。

また上記の明らかにした、世帯内家族人数、水使用形態、水に対する支払い意思額、現地で入手可能な処理・給水装置の市場価格のデータを用いて、現地住民に経済的に最適な水供給手法を算出する式に値を代入し以下のことが明らかになった。

- 設備投資を必要とする水供給装置は、維持管理費が少なく、原価償却期間が長い装置が適切であることが明らかになった。
- 深井戸のように初期投資額が高価な場合であっても、使用世帯数で共同利用することにより、1世帯当りの支出額を低減させ、所有させることが容易になると考えられる。

今後本研究の成果を現地に普及させて行く上での課題としては、最適な水供給手法を現地で選択できるようにするため、経済的に妥当な水供給手法を現地で活動する NGO など、現地に根付いた団体に解説し、実施に向けた努力も行うことが必要と考えられる。また多くのヒ素除去装置製造業者は資金的零細業者であると考えられるため、ソフトローンや助成金等の経済的手段が必要であると思われる。そのため、金融関係の NGO 等と連携を組み普及に励む必要がある。また住民へヒ素に対する啓蒙活動や金融リテラシーのような教育も水供給を促すと考えられる。

E. 研究発表

本年度は学会発表を以下のとおり行った。

- 国際開発学会第12回春季大会 2011年6月4日
- 国際開発学会第21回全国大会 2011年11月26日

F. 知的財産権の出願・登録状況

該当なし

参考文献

- 1) 王博(2008): バングラデシュにおける地下水ヒ素汚染の現状と対策に関する研究、東洋大学博士論文、p66

- 2) Statistical Yearbook of Bangladesh 2009、 p548、 15 Monthly house hold income 2005
- 3) 眞子岳(2009):バングラデシュ村落部におけるヒ素鉄除去装置の商業化に関する研究、東洋大学修士論文
- 4) 眞子岳、五十嵐、北脇秀敏(2010):バングラデシュ及びカンボジアの地下水ヒ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
- 5) 眞子岳、北脇秀敏、Md. Mafizur Rahman(2009) : バングラデシュ村落部におけるヒ素除去装置普及に向けての住民の水使用形態に関する調査、国際開発学会第10回春季大会論文報告集、pp123-124
- 6) The World Bank : Willingness of household to Pay for Improved Service and Affordability• pp4-5
- 7) 総務省家計調査ホームページ : <http://www.stat.go.jp/data/kakei/index.htm>
- 8) 管正広、マイクロファイナンスのすすめ、p22、東洋経済新報社、2008年
- 9) 砒素中毒患者とマイクロクレジット : <http://www.asia-arsenic.jp/blog01/?p=1963>

分担研究報告書 5

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 —

研究分担者 北脇秀敏

研究協力者 五十嵐堅治

厚生労働科学研究費補助金（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
分担研究報告書

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方法と砒素慢性疾患（Arsenicosis）症例予測について－

研究分担者：東洋大学国際地域学部教授 北脇秀敏

研究協力者：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

研究要旨：本研究は、カンボジア国（「カ」国）において病原性微生物による汚染を防ぐ観点から管井戸による安全な地下水供給が援助機関等の介入により実施され、その結果、バングラデシュ国（「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仮説した。この仮説に基づき、これまで「カ」国における村落の地下水砒素汚染の度合い、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及び、簡易砒素装置を普及されるために必要な村落民の金融リタレシー、IEC（Information Education and Communication）や医療面等を考慮した総合的アプローチによる仮説介入モデルとそのアプローチの持続性を担保する方策を検討してきた。

本年度の研究では、総合的な援助アプローチを検討する際に基礎となる「カ」国政府機関や国際機関の最近の動向、疫学的手法を用いた類似研究のレビューの把握や、現地調査を実施し村落民の砒素汚染や適正技術等による対応策に関する意識に加え金融知識や負債の実態、砒素対策装置導入の意思の確認及び、過去に実施したよりも精度の高い水質検査を行い砒素発生メカニズムについての考察をした。

この結果、「カ」国政府は地下水砒素に関するアクションプラン第10案を承認していないこと、UnicefはIECや雨水や表流水利用による砒素暴露の低減を検討していること、類似の広範な疫学的調査結果から地下水砒素汚染と人体暴露の相関が立証された等本研究の仮説を裏付けるデータが得られていること、実施した調査対象の村落民はある程度砒素汚染の情報は広まりつつあることや金融に関し多くの村落民は負債を持つことに高いリスクを感じていること等を確認した。また、地下水質の砒素と、鉄、磷及びpH相関から地下水砒素汚染は、酸化、還元及び生物反応があり、狭い地域でも砒素汚染のメカニズムが多様であることが明らかになった。

以上「カ」国の研究で得られた知見と本研究グループが別途実施した「バ」国における類似研究結果を参考にし、「カ」国の地下水砒素汚染に対する総合的アプローチとして地下水飲料による砒素暴露を極力低減する介入方法とその定量的評価方法を考察した。

A. 本年度の研究目的

「カ」国政府機関や国際機関における地下水砒素汚染とその対応の最近の動向、村落民の砒素汚染の知識や簡易砒素除去装置導入等に対する意識や金融知識の把握、地下水砒素汚染と人体暴露に関するデータの入手、地下水水質検査による砒素汚染の実態の検証と発生メカニズムの概要を明らかにし、地下水砒素汚染に対する総合的な援助アプローチを考察することを目的とした。

B. 調査研究方法

1. 関連機関訪問による地下水砒素汚染対策動向や最新の類似研究のレビュー

カンボジア工科大学 (ITC)、及び Unicef カンボジア事務所、米国の NGO である RDI を訪問等し「カ」国政府の地下水砒素汚染対策動向の確認や、最新の類似研究のレビューから、本研究で仮説を検証するために必要な情報やデータ等を収集した。

2. 現地調査の実施

地下水砒素汚染濃度が高いカンダール州の村落における住民意識、水使用形態、砒素汚染問題意識、飲料水量等のヒアリング調査と、管井戸水の水質試験を実施した。

(1) 質問項目

本研究で過去実施した現地調査で使用した質問内容と整合性が取れるよう、内容を一部改定し、村民の金融リタラシーや日水摂取量等を明らかにする項目を追加・明確にした。質問項目を以下に示す。

項目 1:回答者属性	項目 4:井戸属性	項目 7:水摂取状況
項目 2:家計・家族状況	項目 5:健康・衛生状況	項目 8:地下水質
項目 3:水使用形態	項目 6:地下水砒素汚染意識	

(2) 調査対象村落

ITCのアドバイスを受け、地下水の砒素汚染が顕著であるカンダール州の5村落を選定し、計38世帯へのヒアリング及び地下水質のサンプリング調査を実施した(表B.2.1)。

表B.2.1 調査対象村落

州(Province)	郡(District)	地区(Commune)	村落(Village)	サンプル数
Kandal	Kean Svay	Preak Eng	Robos Angkagn	8
Kandal	S'ang	Kporb	Boeng Kporb	6
Kandal	S'ang	Kporb	Damrey Chhlong	1
Kandal	S'ang	Sitbo	Kampong Pring	10
Kandal	Kean Svay	Banteay Dek	Kandal Krom	13
計				38

注) 現地調査は2012年2月実施

(3) 地下水実測調査

調査では、これまで本研究が現地で使用してきた簡易なフィールドテストによる実測に加え、分光分析装置等を用いた分析を実施した(表B.2.2)。なお、分析室(ラボ)での水質検査では、サンプリング専用のPETボトルに地下水サンプルを採取(管井戸水を数分汲み上げた後の地下水)し、1~数日後にITCの分析室(ラボ)で計測した。

表 B.2.2 地下水実測項目及び方法

実測項目		フィールドテスト			ラボテスト (ITC 分析)	
Arsenic (As)	(ppb) (µg/l)	Field Test Kit (As 0-500ppb) HACH			Spectrophotometry method using silver diethyldithiocarbamate for colorizing the generated arsine gas (AOAC, 1990).	
Iron (Fe)	(mg/l)	Test Hierro Metodocolorimétrico contiaras de ensayo 3-500mg/l de Fe ²⁺ Merckoquant			Spectrophotometry method. KCNS was used to colorize the iron and the obtained color was calibrated against iron standard solution.	
Phosphorus (PO ₄)	(mg/l)	-			Spectrophotometry method using molebdate ammonium to colorize and the obtained color was calibrated against the phosphate standard solution (AOAC, 1990).	
pH	-	pH-indicator	paper	pH 5.5-9.0	Neutralit	pH-meter, WagTech, UK.

(倫理面への配慮)：本研究は文献調査と現地調査を行った。現地調査は既に構築した研究体制 (ITC と RDI) からの助言を受け、これら機関が調査やパイロット事業を実施している地域の数村落を調査対象とし、ITC の研究者と現地通訳の参加により村落民との接触し調査の合意を取る方法で実施したこと、フィールドでの水質試験では簡易な試験装置によるもので有害化学物質等は使用していないこと、また村落民の頭髮や爪などのサンプル収集等の疫学調査は実施していないことから倫理的な問題は発生しない。

C. 研究結果と考察

1. 政府の砒素汚染対策動向と文献レビューと考察

(1) 政府、国際機関の動向

Unicefカンボジアとの協議から「砒素5ヵ年戦略的アクションプラン」は昨年第10回の改定が行われたが政府承認されていないこと及び、UnicefはKAP (Knowledge, Attitude and Practices) 調査に基づいた雨水や表流水利用による地下水砒素暴露低減のアプローチを継続していることを確認した。

こうした動向から、本研究結果を、「カ」国政府及びUnicefが参考し、政府の早急なる対応やUnicefの活動に資する様に再整備し提案する必要がある。

(2) 砒素汚染と健康影響に係る疫学的研究のレビュー

地下水砒素汚染と健康影響に関し疫学的手法を用いた類似研究 (*Suthipong Sthiannopkao, et. al., 2010, 2011*)^{1,2,3}のレビューから、参考となる研究結果を以下に整理する。

- ・ 「カ」国村落部における被験者の頭髮、手足の爪などのサンプルを収集し、誘導結合プラズマ質量分析計 (ICP-MS) や黒鉛炉原子吸光分光光度計 (GF-AAS) による人体の砒素暴露量の定量分析、日平均飲料量 (ADD: Average Daily Dose) 等のパラメータを用いた統計処理から、地下水砒素濃度と人体砒素暴露量には正の相関があることを検証した。
- ・ カンボジアでは井戸の位置や地下水砒素汚染状況に関する正確な情報が無いこと、地域により雨季には雨水を飲む習慣あるものの砒素濃度が1mg/l以上ある場合は慢性砒素中毒 (Arsenicosis) を発症する時間は10年より短くなる可能性があること、Arsenicosis発症には地下水を直接飲む習慣のみならず収入や教育のレベル等の社会的背景が大きく関わること等の考察をしている。
- ・ 何ら対策なしに地下水飲料習慣や乾期には地下水を飲まざるを得ない状況が続けば10年後には慢性砒素中毒の症例数が顕著になる点を指摘している。

これらの成果は、本研究の仮説を検証する内容であり参考となる。

2. 村落部現地調査結果と考察

(1) 回答者属性

ヒアリング回答者は19歳～79歳と幅があり40代～50代で過半数を占めた。また、女性が7割、男性が3割であった。女性が多いのは平日の日中の調査であったことに加え「カ」

国は一般的に母系社会であるためと考えられる。属性に関し、「バ」国で実施した類似調査では、回答者は27歳～50歳が約80%で、男性が90%強、女性は10%弱であった（眞子、2011）⁴。これは、一部を除き「バ」国で一般的なイスラム教社会における父系社会であるためと考えられる。このことから、地下水砒素汚染に対し介入アプローチを実施する際には対象群（ターゲットグループ）の検討が必要であり、即ち、これら調査は、対象群の選定には当該地域社会のコンテクストを明確にする必要性を示している。

(2) 家計・家族状況

60%近くの回答者が農業及び農業との兼業であり、世帯月收入額は乾期・雨季とも0～650US\$と幅があり、その平均は180US\$である。なお、水に対する支出は乾期・雨季とも約1US\$で、雨季は若干低い程度である。金融に関しては、金融機関の口座を開設している回答者（世帯）は無く且つ92%が貯え持たず、さらに94%はクレジットやローンなどの金融知識を持っていないことを確認した。なお、回答者の内の9世帯は負債を持ち、農機具、作物の種や食物購入に小額の融資（借金）を知り合い等から得ていることが判明した。即ち、村民の金融利用は限定的でリスクを感じていると考えられる。

(3) 水使用形態

管井戸の水は直接飲料としている世帯は、乾期に1世帯が確認され、回答者の多くは村落に敷設された簡易水道水、表流水や購買水を使用している。但し、炊事には井戸水を使う割合が多少高くなる。なお、雨季はおよそ80%の世帯が雨水を利用している。また、調査村落には共同水栓は無いことや、世帯収入が多い世帯では20Lのボトル水を購入し飲用していることを確認した。即ち、近年の「カ」国における急激な経済発展に伴い村落における水使用形態は、PVC（Polyvinyl Chloride）パイプのみで汲み上げる簡易な管井戸の普及やボトル水の利用等多様化している。一方、この点に関し、「バ」国では、管井戸水の直接飲用と河川水飲用が98%を占め（眞子ら、2009年）^{4,5}「カ」国で見られる簡易水道や購買水の利用は皆無である。

これら調査結果は、水使用形態は地域社会の発展度合、文化や習慣により多様であり一般化できず、それぞれの地域や村落の社会的コンテクストを明確にすることが必要であると考察される。

(4) 井戸属性

管井戸の建設は自己資金、NGOや宗教団体等により建設され、深度約40-50mの浅井戸が多く、これは技術や費用面に加え、「カ」国の地層は深くなると一般的に岩盤質で調査村落は主要河川に近い沖積層に帯水層（被圧）があることによるものと考えられる。また建設年も1997年～2011年と幅があり、近年でも管井戸は掘削されていること、項目(3)に記したPVCのみの簡易な管井戸や、ディーゼルを用いて灌漑用に用いている管井戸等新たな技術や使用方法が普及し始めている。

なお、「バ」国では、深度約30m(100ft)以上を灌漑として利用し、約30～60m(100-200ft)を飲料として用いており、技術や費用の面から多く掘削はされていないが、100m以上の深井戸も確認されている（眞子、2011年）⁴。これは「バ」国の低地の地質は河川氾濫によるシルトの堆積層が多いと考えられ、数100mレベルの深度に帯水層（被圧、不圧）があるなど「カ」国とは自然条件が違うものと考えられる。

即ち、適切な地質などの自然条件、掘削技術（ケーシングによる汚染回避等）及び、初期投資などの費用や維持管理面が担保されれば、深井戸から砒素汚染の無い地下水汲み上げによる安全な水確保は有効と考えられる。この考え等に基づき本研究メンバーが別途、「バ」国で深井戸掘削による実証試験を、費用負担を考慮し2011年に開始した。

以上から「カ」国村落部における深井戸掘削アプローチは、自然条件と、研究が先行している「バ」国の事例を参考にしつつ検討すべき課題であると考察される。

(5) 健康・衛生状況

健康に関し回答者の約90%は風邪と回答しており、その他として頭痛、胃痛等が顕著である。なお、下痢などの水系性疾患はほとんど確認できなかったが、この点に関し不衛生な環境が下痢疾患を招くという事を住民が理解していない点や、下痢疾病が生活の中で一般的な事であるため本調査項目に解答が得られなかった可能性が考えられる。この現状は、砒素と健康影響に関する教育（衛生教育）する際に留意が必要である。

(6) 地下水砒素汚染意識

回答者の63%は井戸水が砒素汚染していることを認識し、86%は砒素汚染井戸水を使用するとし、一方73%は砒素の健康への影響を理解している。なお、AIRP (Arsenic Iron Removal Plant) 等の簡易な砒素除去装置の導入は皆無で、85%は除去装置導入に賛成であるが、その支払意志額 (WTP: Willingness to Pay) は0~10US\$, 平均は1US\$であった。

即ち、飲料水への支払額が1US\$で、収入に占める割合も低いことから、砒素除去適正技術を導入する際には、衛生教育の方法や家計への負担を減らすリボルビングファンドのような金融メカニズム導入方策の検討が必要となる。このためには、市中銀行による金融ではなく、低所得者層の開発を目指している「バ」国のグラミン銀行やNGOのBRACによるマイクロクレジット制度の先行事例を参考に、今回明らかになった「カ」国の所得が低いほど地下水を飲料する機会が多く金融の利用は限定されるとした現状に対し、低所得者層の開発を目的とした小規模金融やBOP（例えば低価格ボトル水販事業）促進の制度設計が必要になると考えられる。

(7) 水摂取状況

世帯毎の日本水摂取量は1~5Lで、単純平均すると1L/日・世帯となり、世帯を5人平均とすると飲料水摂取量は0.2~1L/人となる。なお、主食の米飯に加え果物や野菜からの水分摂取があること及び、汁物は習慣的にあまり摂取（月に0~数回程度）していないことが明らかになった。

(8) 地下水質

砒素、鉄及びpHのフィールド実測及びラボ計測を図C.2.1から図C.2.3に示す。ラボ計測結果(図C.2.1)から1mg/L以上を観測するなど砒素汚染はより深刻であることが分かる。

(9) 地下水中の砒素と鉄、リン及びpHの相関

図C.2.4から図C.2.6に各変数の相関（データはラボ試験結果を使用）を示す。各図から砒素と鉄との相関は僅かであること、本調査で得られた他の知見から、調査村落では酸化、還元及び生物反応のいずれのメカニズムにより地下中の砒素化合物がイオン化され砒素が地下水に溶出していると考えられる。

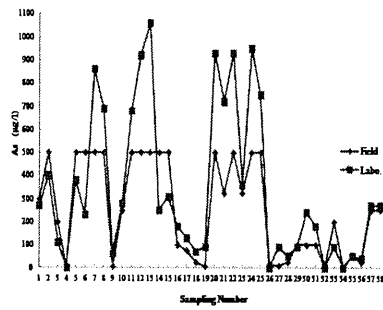


図 C.2.1 地下水砒素濃度

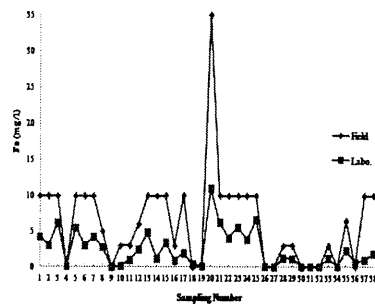


図 C.2.2 地下水鉄濃度

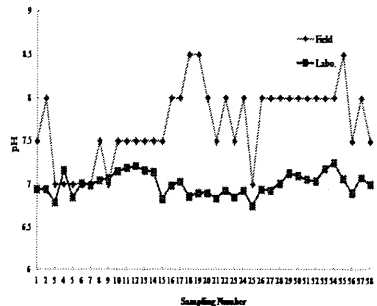


図 C.2.3 地下水 pH

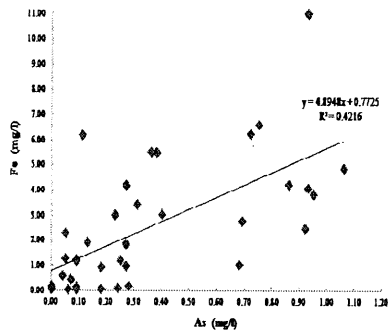


図 C.2.4 砒素-鉄の相関

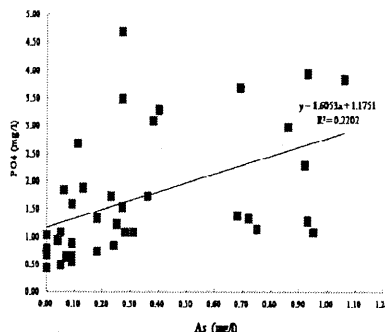


図 C.2.5 砒素-磷の相関

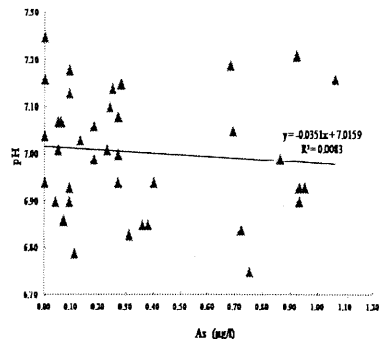


図 C.2.6 砒素-pH の相関

D. 結論

本研究で検討している仮説検証型介入アプローチとして、地下水飲料による砒素暴露を極力低減する介入、即ち、地下水飲料を避ける介入アプローチ（ソフト及びハード）を村落世帯の所得別に検討することが効果的であり、この場合、Unicefによる雨水と表流水利用アプローチと協調し、カンボジア村落には見受けられない共同水栓の導入や、ボトル水販売による BOP ビジネスモデルの構築等により安価で安全な水供給方策が有効であることを明確にした。

次に、仮説検証型介入手法を評価する方法として、これまで1井戸当たりの砒素慢性患者の発生原単位を設定し定量的な予測を検討していたが、今年度の研究により一人当たり一日に摂取する飲料水量（飲料水量/日/人）を設定することがより簡易であることが分かった。この場合、飲料水量/日/人の予測式は米国環境庁（USEPA）の考え方⁶及び予測式 LADD（Lifetime Average Daily Dose = As concentration × Intake Rate × Exposure Duration / Body Weight × Averaging Time）⁷を適応することで砒素慢性患者の発生予測を相対的に定量化し、考察した介入アプローチを検証することが可能となると認識できた。

最後に、村落部の地下水砒素汚染対策の上位政策や計画の見直しや承認ができるよう、また政府やドナー機関による関連事業を早急に形成し実施につなげるためには、本研究結果を「カ」国政府や Unicef 等ドナー機関が参考できるよう再整備することが必要であり有効であることを確認できた。

E. 学会発表等

本年度は学会発表は以下のとおり行った。

- ① 国際開発学会第12回春季大会 2011年6月4日
- ② 国際開発学会第21会全国大会 2011年11月26日

F. 知的財産権の出願・登録状況

該当なし

参考文献

1. *Kongkea Phan, Suthipong Sthiannopkao, et. al.*, Health risk assessment of inorganic arsenic intake of Cambodia residents through groundwater drinking pathway, *water research* 44 (2010) 5777 e5788
2. *Suthipong Sthiannopkao, Kyoung-Woong Kim et. al.*, Arsenic levels in human hair, Kandal Province, Cambodia: The influences of groundwater arsenic, consumption period, age and gender, *Applied Geochemistry* 25 (2010) 81-90
3. *Kongkea Phana, Suthipong Sthiannopkao, et. al.*, Surveillance on chronic arsenic exposure in the Mekong River basin of Cambodia using different biomarkers, *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 215 (2011) 51-58
4. 眞子岳「バングラデシュ村落部における安全な水供給」、東洋大学博士論文、2011年11月
5. 眞子岳、北脇秀敏、モハメド・マフィズル/ラーマン「バングラデシュ農村部における経済的に妥当な代替水の選択に関する研究」、農村計画学会、2011年11月
6. Integrated Risk Information System (IRIS): arsenic, inorganic, ASRN 7440-38-2. (1998)
7. Exposure Factors Handbook, USEPA (1997)

分担研究報告書6

水供給プロジェクトにおける 自立性及び持続性確保のための条件に関する検討

研究分担者 国包章一、北脇秀敏、橋爪真弘、浅見真理、戸敷浩介

研究協力者 五十嵐堅治、眞子岳

厚生労働科学研究（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
分担研究報告書

水供給プロジェクトにおける自立性及び持続性確保のための条件に関する検討

研究分担者 国包章一 静岡県立大学環境科学研究所教授
研究分担者 北脇秀敏 東洋大学大学院国際地域学研究科教授
研究分担者 橋爪真弘 長崎大学熱帯医学研究所教授
研究分担者 浅見真理 国立保健医療科学院生活環境研究部上席主任研究官
研究分担者 戸敷浩介 静岡県立大学環境科学研究所助教
研究協力者 五十嵐堅治 東洋大学北脇研究室外部共同研究者
研究協力者 眞子 岳 東洋大学大学院国際地域学研究科博士後期課程

研究要旨

本年度を含めてこれまで3年間にわたって実施した「水分野の国際協力における総合援助手法に関する研究」の総まとめとして、特に地域住民が自ら運営する小規模の村落給水の場合に重点を置いて、総合援助手法の観点から見た水供給プロジェクトにおける自立性及び持続性確保のための条件について検討し、重要と考えられる下記5つの条件を明らかにしてそれぞれについて考察した。

- (1) 住民の意識啓発・組織化とプロジェクトへの主体的参画
- (2) 適正技術の採用と住民及びその他関係者の能力開発
- (3) 財政的な自立性の確保
- (4) 行政などによる外部からの運営面及び技術面での支援体制の確立
- (5) 他セクターとの連携・協働

個々の水供給プロジェクトにおいてはそれぞれ事情が異なるので、一概に論じることはできないが、上で示した各条件は一般にどのような水供給プロジェクトにもあてはまると考えられる。これらの各条件がより高いレベルで確実に満たされることによって、水供給プロジェクトの自立性及び持続性がより高まることが期待される。また、これらの条件を満たすためには、多くの時間と人的資源の投入が必要である。しかし、ひとたびこれらの条件が満たされて高い自立性と持続性が確保されるようになれば、他地域などに対しても大きな波及効果をもたらされることを期待することができる。

開発途上国に対する国際援助としての村落給水プロジェクトは、過去の豊富な実績や経験を踏まえて着実に進化してきており、最近では、施設の再生や拡張までも見込んだ政策モデルの開発を期待する声が上がっている。今後は、このようなことも視野に入れながら、自立性及び持続性の高い水供給プロジェクトを、より効率的に実施する方法についてさらに検討を進める必要がある。

A. 研究目的

本研究は、本「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」全体を通してのこれまでの研究成果を踏まえ、水供給分野の総合援助手法に関する検討の一環として、水供給プロジェクトにおける自立性及び持続性確保のための条件について検討し、それらを具体的に明らかにすることを目的として行った。

開発途上国に対する国際援助としての水供給プロジェクトを成功させることは、必ずしも容易ではない。また、それ以上に困難であるが、非常に重要なことは、このような水供給プロジェクトで整備した水供給施設の運営に関して、その自立性と持続性を確保することである。本研究では、様々な過去の事例や報告書などを参考に、これらを確保するための条件について検討した。

B. 研究方法

本研究は、主として文献調査と研究分担者・研究協力者らによる情報及び意見交換により行った。文献調査では、世界銀行、アジア開発銀行の報告書などを参考にした。また、本報告書を取りまとめるに当たっては、本「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」におけるこれまでの研究成果を最大限に活用した。

(倫理面への配慮)

公開された研究論文、報告書、現地で入手したデータ等資料や協議結果を対象としており、また、個人に不利益を与えるような情報は取り扱っていないので、倫理的な問題は発生しない。

C. 研究結果及び考察

1. 検討結果の概要

水道分野の総合援助手法について、厚生労働省及び社団法人国際厚生事業団 (JICWELS) による国際協力事業評価検討会 (水道分野) 報告書¹⁾では、「施設整備の援助を実施する際に、その後の維持管理に係る事項まで十分に配慮して組み込んだものとするなど、様々なスキームを適切にしかも効率的かつ効果的に組み合わせることによって、援助をより計画的、戦略的に実施する手法」と定義している。また、総合援助手法のイメージとして図-1を示している。すなわち、上記の定義とこの図によって示されるようなアプローチを通して、自立発展が可能な水道の整備を図ることが、開発途上国に対する国際援助としての水供給プロジェクトの最終的な目標である。

ここで特に重要となるのは、どのようにすれば自立性及び持続性を高めることができるかということである。2006年にメキシコシティーで開かれた世界水フォーラムにおいて、Brikke²⁾は、水と衛生に関する地域住民へのサービスが持続性を維持するための要件として、次のようなことを挙げている。

- ・ It functions and is being used. (それが機能し、利用されていること)