

分担研究報告書 3

カンボジア国村落部における地下水砒素汚染に関する調査研究
－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 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）
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調査研究
－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 北脇 秀敏 東洋大学大学院国際地域学研究科教授
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

研究要旨：地下水による安全な水供給、地下水砒素汚染、健康障害及び、それに対するドナー等の介入はバングラデシュ国（以下；「バ」国）のケースが先行している。カンボジア国（以下、「カ」国）においても「バ」国と同様にドナー等の介入結果として地下水砒素汚染と健康障害(Arsenicosis 症例)の増加があると仮説した。この仮説に基づき「カ」国における介入の経緯、水系性疾患症例の減少及び Arsenicosis 症例数の増加の簡易予測を検討するために必要な指標等基礎情報の収集を文献レビューや関連機関訪問により実施した。また、現地訪問時には「カ」国工科大学との共同研究合意や、WHO、Unicef 等との協力合意を取付け、安全な水供給や砒素問題に対する適正技術やドナー等介入の経緯や関連活動等について協議、情報交換する等の研究体制を構築した。

以上のレビュー、情報収集や協議により①「カ」国ではデータの整備が十分でない点、②経済開発やマラリヤ・デング等の直接・緊急の開発課題が優先される点、③負の社会的インパクトに配慮している点から、低濃度砒素の長期間暴露による将来的に不明瞭な健康被害(Arsenicosis)に対しては積極的でないことが判明した。このため本研究では、適正技術による砒素除去技術とその普及による介入の検討に加え、砒素汚染による将来の健康被害増加予測と、介入による健康被害低減予測を行うことで必要な協力を検討する仮説検証型介入方法を今後考案する必要があるとの結論に至った。

A. 研究目的

「バ」国における国際機関等による管井戸（チューブウェル）建設による安全な水供給の介入、地下水砒素汚染の拡大及び健康への影響（水系性疾患数の減少と Arsenicosis 症例の増加）及び、その後の地下水砒素問題へ国際機関等による介入経緯と「カ」国の砒素問題発生経緯の類似点に注目し「カ」国においても「バ」国における Unicef 等による介入方法による Arsenicosis 症例の増加傾向が同様に発生していると仮説した。この仮説に基づき「カ」国における Unicef 等によるチューブウェル介入の経緯をレビューすることで、水系性疾患症例の減少及び Arsenicosis 症例数の増加予測を行う。さらに、「カ」国における地下水砒素問題に対し我が国やドナー機関等が今後取るべき効果的なハード（適正技術等）及びソフト（衛生教育等）両面における介入手法を検討整理し Arsenicosis 症例数の低減予測を行う。以って、地下水砒素汚染問題の我が国による国際協力の総合的援助手法について保健衛生及び水供給の分野横断的な視点に基づいた提言を行うことを最終目的とする。

本年度は、「カ」国を訪問し関連研究機関との共同研究体制および政府機関や国際機関等との協力体制の構築及び、必要な基礎情報の収集・分析を行うことを目的とした。

B. 研究方法

1. 既存文献のレビュー

「バ」国及び「カ」国の砒素問題に関する既存文献や報告書等のレビューを行い、Unicef 等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、Arsenicosis 症例、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の把握し砒素汚染問題の時系列による分析を実施した。

2. 基礎データ収集及び研究体制構築のための現地調査の実施

現地調査を実施し「カ」国における砒素汚染問題の先駆的研究を行っている研究機関との共同研究締結と、「カ」国関連省、国際機関および NGO との協議ならびに研究へ協力関係を構築し、こうした組織から研究に必要なデータや情報等を入手し分析を行い今後の研究の方向性を検討した。

(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いるため倫理的な問題は発生しない。

C. 研究結果

1. ドナー介入と地下水砒素問題に関する変遷のレビュー

「バ」国及び「カ」国の地下水砒素汚染問題の確認からドナー介入等の変遷について、入手した関連文献や情報やデータ等のレビューにより以下のことが明らかになった。

1.1 バングラデシュ国の変遷

「バ」国は 1970 年代 Unicef による安全な水供給のための管井戸の建設が開始され 1980 年代には民間業者が同建設に参入し始めた。この間、下痢症等水系性疾患(WBDs: Water Bore Diseases)症例数の低減が見られたが、1983 年にカルカッタで慢性砒素中毒による皮膚疾患症例(Arsenic-induced skin lesion)が報告され、1987 年までに西ベンガル州で「バ」国からの患者数名を含め最初の慢性砒素患者(Arsenicosis)が確認された(WHO)。さらに 1993 年「バ」国 Nawabganj 県(District)¹の管井戸から始めて砒素が検出され、1997 年には砒素汚染の影響があるとされた 18 郡で行われた調査では 1,630 人の 57.5% が、また砒素汚染が確認された 200 村落で実施された調査では 469,424 人の内 1,802 が砒素中毒による皮膚病変(Skin Lesions)を示していることが確認された(WHO)。その後類似の調査から地下水砒素汚染及び Arsenicosis 症例の確認数は増加傾向を示しこれら問題に対する国際機関等ドナーによる調査等介入が行われている。2009 年現在 270(全国 469)郡(Upazila)¹が砒素汚染地域とされ約 3,000 万人がその影響を受けている (JICA)。この状況に対し「バ」国政府は 2004 年「国家砒素緩和政策」及び「実行計画」を採択し、2005 年策定の PRSP においても砒素対策を含む安全な水の供給を重要な課題の一

¹ 「バ」国の地方行政区分は、県 (District) > 郡 (Upazila) > ユニオン (Union) > ワード (Ward)

つとして位置づけている。我が国は砒素汚染対策を対「バ」国援助重点分野に位置づけ「砒素汚染対策プログラム」として JICA による包括的な協力(専門家派遣、技プロ事業等)を 2004 年以降展開している(JICA)。

1.2 カンボジア国の変遷

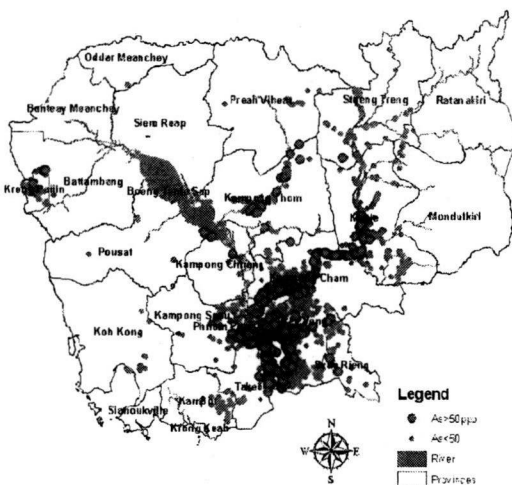
「カ」国は Unicef 支援により 1983 年から安全な水供給のため井戸(管井戸、掘削井戸等)の建設が本格的に開始され、1990 年代後半になると同国政府、国際機関、NGO や民間業者の井戸建設が活発化し始めた。その結果 1995 年現在計 12,267 の井戸が建設され (JICA, 2002)、1998 年～2003 年に農村開発省(MRD)は 40,500 の井戸を建設した。一方 2000 年 WHO の調査から地下水砒素汚染が始めて発見され、Arsenicosis 症例やその広がりも次第に調査・報告され始めるようになった(WHO、Unicef 他)。2009 年現在、主要河川であるメコンとその支流のバッサク及びトンレサップ河の流域 7 州(図-1、図-2 参照)の沖積層で国家飲料水基準(CDWQS)である 50ppb 以上の砒素濃度を示す地下水が確認された。2005 年現在これら 7 州の 1,607 村落と各村落の人口に基づきリスク地帯に居住する一般住民は 224 万人と予測されている(Frederick) (表-1)。この問題に対し「カ」政府は 2002 年、MRD を座長とした関連 5 省からなる AISC(Arsenic Inter Ministerial Sub-Committee)を組織し調査や IEC 活動等を実施、特に Unicef カンボジアは MRD に簡易砒素テストキット供与や訓練、砒素センター(Arsenic Center)を設立し全国の砒素データ収集や IEC 教材開発等の支援をしているが小規模である。また AISC は Unicef と WSP(Water and Sanitation Program)/世銀の支援を受け、2006 年砒素 5 カ年戦略的アクションプランを作成し何度かの修正が行われたが 2009 年 10 月時点で政府の承認待ちの状態です。具体的な事業等はない。即ち、「カ」国政府の対応及びドナーの介入は黎明期にあると評価できる (JICWELS, 2009)。

表-1 砒素リスク地帯に居住する一般住民予測

州	リスク人口(人)*	州人口(人)	%
Kandal	983,000	1,215,000	81
Kampong Cham	496,000	1,754,000	28
Phnom Penh	239,000	998,000	24
Kracheh	164,000	291,000	56
Prey Veng	156,000	1,076,000	14
Kampong Thom	120,000	635,000	19
Kampong Chhnang	82,000	455,000	18
	2,240,000	6,424,000	35

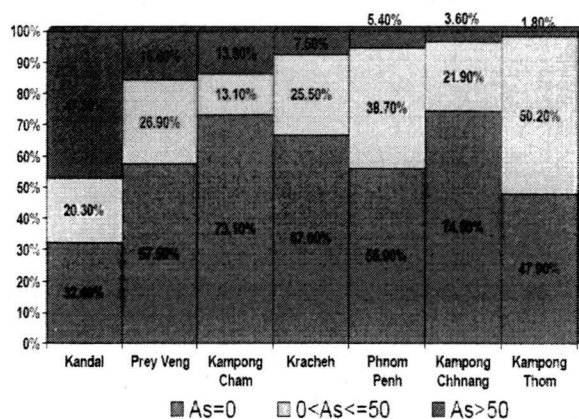
出典 Dr. David Fredericks (Situation and Response Analysis 2006)

*安全な低濃度砒素汚染水、改善されていない比較的安全でない砒素汚染水及び砒素汚染水を利用している住民を含む



出典： Sour Sethy, Department of Environmental Science, Royal University of Phnom Penh

図-1 カンボジア砒素汚染図



出典： MRD

図-2 砒素ハイリスク7州の砒素汚染状況

1.3 砒素汚染問題とドナーの介入の類似点

上記したとおり文献レビュー及び現地調査確認した両国のドナー等の介入と砒素問題の変遷に対する類似点を評価した結果時間的連続性及び並行性が明らかになった。

(1) 時間的連続性

時間的連続性とは図-1に示す①村落部の水不足(BHN)及び表流水の生物汚染 → ②管井戸等建設による安全な水供給へのドナーの介入 → ③WBDs症例数の減少(正の健康影響) → ④地下水砒素汚染の拡大と砒素慢性疾患(Arsenicosis)症例の増加(負の健康影響) → ⑤地下水砒素問題へ国際機関等ドナーによる介入、とした変遷である。

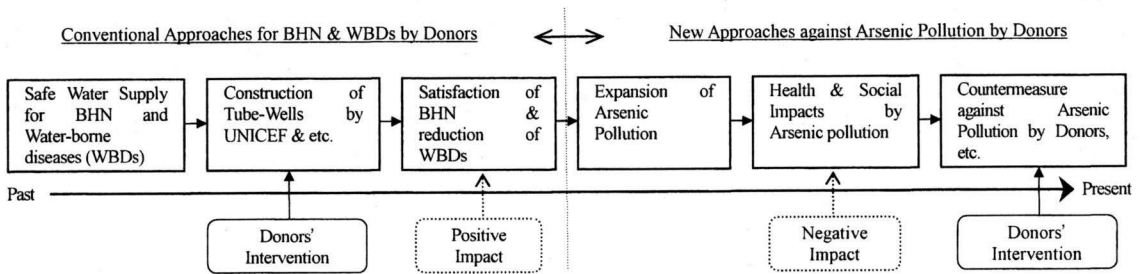


図-1 地下水砒素汚染に関する時間的連続性

(2) 時間的並行性

時間的並行性とは図-2に示す時間的連続性の中で観測される両国における各事象の発生の時間的変位（位相）である。

	1970	1980	1990	2000	2010
Bangladesh	BHN, 安全な水供給介入	Unicef 介入	Private, NGOs →	1997	
	慢性砒素疾患の確認		Calcutta 1983	W. Bengal + Bangladesh 1987	Bangladesh →
	地下水砒素発見			WHO, DPHE 他 1993	→
	砒素問題への介入			WHO, Unicef →	JICA プログラム対応 → 2004
Cambodia	BHN, 安全な水供給介入	(民主カブチ)	Unicef 介入 1983	MRD 1995	Private, NGOs →
	慢性砒素疾患の確認			???	WHO, Unicef →
	地下水砒素発見				WHO, Unicef, NGOs 2000
	砒素問題への介入				WHO, Unicef, WSP NGOs 調査 → JICWELS 2009

DPHE; Department Public Health and Engineering, MRD; Ministry of Rural Development, MOH; Ministry of Health, JICWELS; Japan International Corporation of Welfare Services, ???; 不明

図-2 地下水砒素汚染に関する時間的並行性

特に興味深いのはUnicef介入による井戸掘削による安全な水供給を開始後の約10年位からArsenicosis症例と地下水の砒素汚染が確認され始めた点である。これは砒素(毒性を示す3価、5価)汚染水飲用によるArsenicosis発症に約10年の曝露とした報告(WHO)に符合する。但し、砒素が地下水中で3価、5価となり溶出するメカニズム及びそれに要する時間も考慮する必要がある。次に、両国政府および国際機関やドナー等の対応は事実確認に約10年位の時間を要している点である。「カ」国で井戸建設のUnicef介入が新政府樹立後の1983年で、この年はカルカッタで最初のArsenicosis症例の確認された年である。即ち1983年以降に隣接したベンガル地方を含め「バ」国で発見されたArsenicosis症例や地下水砒素汚染の同様の経緯等を「カ」国でも辿っている。

即ち、本研究は、文献レビュー等により、両国のドナー介入や砒素問題発生経緯の類似点や時間的な位置づけ等を明らかにした。

2. 研究体制の構築及び基礎データ収集・分析成果

2.1 研究体制の構築

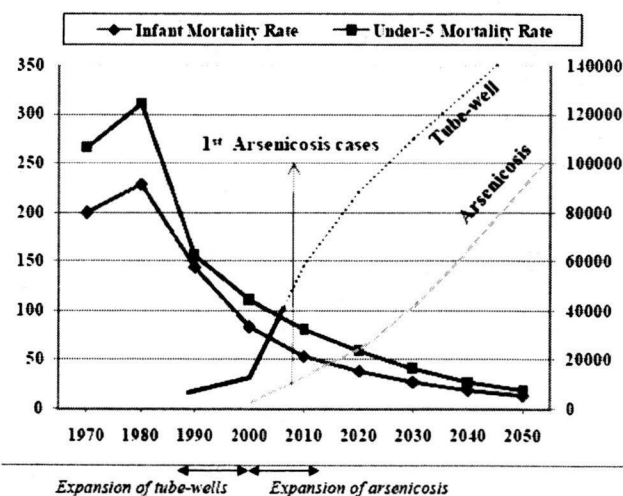
平成21年10月に実施した現地調査の成果として「カ」国で地下水砒素汚染問題の現状や適正技術等の調査研究カンボジア工科大学(ITC)との研究協力体制を構築し3年間の研究協力覚書(MOU)の署名、及び「カ」国で村落部砒素問題を担当している農村開発省(MRD)、保健省(MOH)、WHO/WPROカンボジア、Unicefカンボジア及び米国NGO (RDI)の各担当者との協議を行い過去「カ」国において関連の介入経緯、研究成果や今後の介入のスタンス等の情報や必要データ等提供の合意を取付けた。

2.2 入手基礎データ分析によるカンボジア国の砒素対策の現状と課題

(1) 研究仮説と「カ」国の砒素汚染対応現状と課題

研究目的で記した仮説を図示すると図-3となる。図は、「カ」国では正確な下痢疾患等WBDsの医療データが入手でなかったため、USAID Health Statistic Report on Cambodia Nov. 2008が発表している乳幼児死亡率(IMR)及び5歳未満児死亡率(U5MR)をWBDsの代替症例数とし、グラフにUnicef等介入により建設された井戸建設予測、Arsenicosis症例予測を重ねたものである。

この仮説を証明するための基礎データの収集を試みたが、今般の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不足ということだけではなく、関連組織からの聴き取りや協



原図出所：Health Statistic Report on Cambodia, Nov. 2008, USAID

図-3 井戸数と Arsenicosis 症例数増加仮説図

議から「カ」国村落部の地下水砒素汚染問題は、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ンペーンになるという認識及び、特に安全な水供給が十分とはいえない村落部の社会的不安を煽る等のマイナス効果を恐れていることに注意を払っているということが明らかになった。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」国が現在採っている関連の政策等の現状、及び比較のため砒素対策に積極的と評価できる「バ」国の政策等を表-2に整理した。

表-2 地下水砒素汚染問題に対する両政府による対応比較

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ヵ年戦略的アクションプラン」を作成→2009年10月現在、同プラン政府未承認 国家貧困削減戦略(NPRS; National Poverty Reduction Strategy)*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一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）

注) *「カ」国版PRSP; Poverty Reduction Strategy Paper, AISC; Arsenic Inter Ministerial Sub-Committee

表-2から「バ」国政府は積極的に地下水砒素問題に取り組んでいるが、「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のままで、「カ」国版「貧困削減政策ペーパー(PRSP)」であるNPRSに地下水砒素汚染問題が含まれてない。こうしたことから世銀等のドナーの本問題への円滑な介入ができない状況にあると評価される。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ことがわかる。

即ち、地下水砒素汚染問題に対し「バ」国政府は積極的な対応やドナーの介入を求めているが、一方で「カ」国政府は経済発展や緊急を要する感染症への対応が先立ち慢性疾患で影響が約10年後に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。この「カ」国政府の対砒素問題への対応の現状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、即ち「開発課題」があるものと推察される。

この開発課題の「開発過程」に関し、筆者らは開発途上国の開発を混沌期→変遷期→発展期とした三期を経るとする仮説（開発の段階的發展）をしたことがあり、筆者らが過去訪問調査した東ティモール国(2004年訪問時)、パレスチナ国(2004年訪問時)と「バ」国(2008年訪問時)及び「カ」国

(2009年訪問時)について、主に開発政策や安全な水供給を含む環境衛生分野事業実績等に基づく分析から、各国の開発段階を評価し、それを図示すると図-4となる。即ち訪問時の

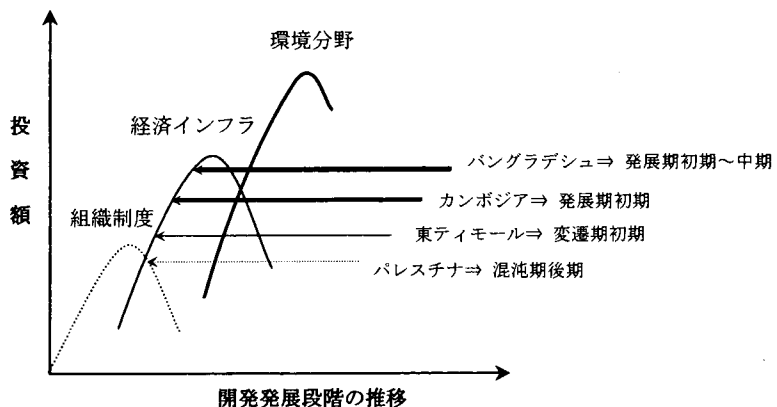


図-4 4カ国開発の発展段階の推移仮説

2009年のカンボジア国は開発期の初期に位置すると考えられる。

さらに、中央政府機関が変遷期で得た技術や権力が、省庁間の利権となり、かつ民間の利益追従型開発が地方開発の大きなマイナス要因となることが、昨年の本研究での訪問を含め過去数度、筆者らが「カ」国を訪問し調査した結果として明らかにしたこと追記する。この点は今後の開発における権益・利益の追求という視点を入れ、政治的な研究アプローチとは区別して検討していく(図-5)。

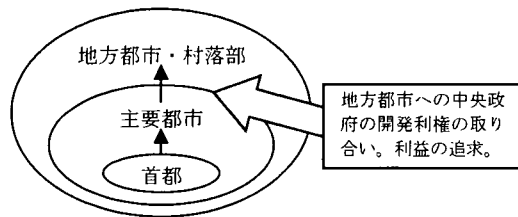


図-5 首都圏から地方への開発課題

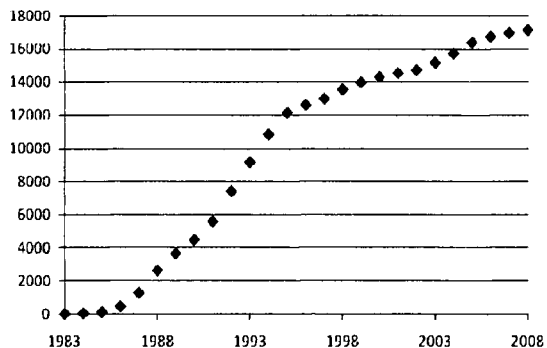
以上これらの開発課題を明らかにすることは、「カ」国砒素汚染問題への円滑な介入方法を検討するのみならず、本研究の目的でもある「水供給分野の国際協力における総合援助手法」へ貢献できるものと考察される。

一方でUnicefカンボジアから「Unicefが安全な水供給を目的に掘削した井戸数(各年は建設累計数)のデータ」を入手した(表-3)。この表をグラフにすると図-6となり、図-3の本研究の仮説で示した井戸数とほぼ一致する増加傾向が見られる。但し、仮説の精度を上げるためにはMRDやNGO等が建設した管井戸の数を加算する必要がある。

表-3 Unicefによる井戸掘削数(累積値)

年	掘削井戸	年	掘削井戸
1983	10	1996	12,598
1984	34	1997	12,969
1985	122	1998	13,523
1986	454	1999	13,953
1987	1,258	2000	14,292
1988	2,625	2001	14,534
1989	3,650	2002	14,692
1990	4,476	2003	15,142
1991	5,573	2004	15,698
1992	7,406	2005	16,366
1993	9,151	2006	16,709
1994	10,838	2007	16,930
1995	12,141	2008	17,111

出展: Progress of WATSAN 1983-2008 Unicef



出展: Progress of WATSAN 1983-2008 Unicef

図-6 Unicefによる井戸掘削累積数

なお、MOHの聴き取り調査から2009年10月現在の「カ」国村落部のArsenicosisと考えられる症例数を260としているが、年別、地域別のデータは十分に整備されていない。このためこの症例数及び収集した文献等に記されている症例数及び井戸掘削数を整理し解析をするとともに、類似文献同士のメタ分析手法等の統計的手法を用いることで、「カ」国におけるドナー介入(井戸掘削による地下水利用)とArsenicosis症例数を数学的に予測する方法を考案する必要がある。

次項にこれまでに入手できた「カ」国地下水砒素汚染と健康被害に関する文献の要約を整理することで、今後のメタ分析等に資することとする。

(2) 「カ」国の地下水砒素汚染による健康被害に関する文献レビュー

地下水砒素汚染による健康被害について現地では明確な情報が得られなかったが、筆者がこれまで入手した関連文献を分析しておりその要約をメタ分析に必要な基礎情報

源として以下の通り整理した(順不同)。

1) “Report on Baseline Survey and Clinical Examination of Arsenicosis Among Exposed Population in Kandal Province, Cambodia” 2003 Dr. Abul Hasanat Milton

- 地下水砒素汚染濃度の高いカンダール州 Kien Svay 郡の 12 村落の人口 7,817 人/1,470 世帯に対し、Arsenicosis 罹患の現状把握のための関連基礎調査/臨床検査等による分野横断的調査が WHO, Unicef の支援を受け 2003 年に実施された。
- カンボジアでこの種の調査が実施されたのは初めてと考えられる
- 井戸 494 の地下水が検査され、その内 50ppb 以上の砒素濃度の地下水が検出された井戸は 295 (検査井戸全体の 59.72%) であった。
- 砒素による皮膚損傷(skin lesion)様の皮膚の病変についてのインタビュー調査により、表-4 の結果が得られた。

表-4 砒素による皮膚損傷(skin lesion)様の皮膚の病変

Variable (No. of households)	Frequency	%
With black spots on skin	25	1.71
Without black spots on skin	1,393	95.15
Don't know	46	3.14
With rough surface on palms& soles	3	0.20
Without rough surface on palms & soles	1,394	95.09
Don't know	69	4.71

- 25 世帯(1.7%)の各世帯 1 名が黒色あるいは黒色・白色の斑点があると回答
- 3 世帯(0.2%)の各世帯 1 名が掌または足の裏に肌荒れ(rough surface)があると回答
- 以上の疑皮膚損傷は、後の検査で砒素による皮膚損傷ではないと結論された
- インタビュー調査を実施した各世帯では、医師による砒素皮膚損傷の診察が行われ、表-5 の結果が得られた。

表-5 砒素皮膚損傷

Skin lesions	Present	Population examined
Melanosis	56(suspected)(1.41%)	3,961
Leucomelanosis	14(suspected)(0.35%)	3,961
Keratosis	16(suspected)(0.41%)	3,961
Confirmed arsenicosis patients	0	3,961

- 1.41%に黒色斑点が観察され、黒色素沈着症(Melanosis)の疑いがあると診断
- 0.35%に黒色・白色斑点が観察され、レコメラノーシス(Leucomelanosis)の疑いがあると診断
- 0.41%の掌や足の裏に肌荒れが観察され、角化症(keratosis)の疑いがあると診断
- 詳細な調査によると、これらの皮膚の変化は管井戸(Tube Well)の使用を開始する以前から発現していたと報告
- これら各人の疑い皮膚損傷(skin lesion)を慎重に再評価した結果 Arsenicosis と診断されたものは無い(0)
- 即ち、臨床研究の結果 Arsenicosis 患者は臨床的には発見されなかった
- 砒素中毒リスク人口(population at risk)を「砒素濃度 50ppb 以上を含む水を飲用している人口」と定義した場合、本調査結果から調査対象地域の 1,000 人当たり 580 人

が現時点で 50ppb 以上の砒素汚染水を飲用していると評価されることから、調査対象地域人口の 580%が砒素関連健康障害を発生する潜在的リスクが存在する

2) “Report on Detection, Confirmation and Management of Arsenicosis in Cambodia” by Dr D.N. Guha Mazumder Short-Term Consultant, WHO, 2006

2006 年 10 月にカンダール州 Koh Thom 郡 Praek Russey 村で実施された臨床研究 (40 世帯 97 被験者の爪と毛髪及び地下水のサンプル調査) の結果、以下が確認された (地下水データは省略)。

- ・ 被験者の殆どは砒素暴露による慢性疾患の兆候が見られた者を選定
- ・ 70 症例は色素沈着(pigmentation)、角化症(keratosis)及び両症状の兆候が見られた
- ・ 70 症例は WHO 基準に基づき、臨床的及びラボ分析により Arsenicosis と診断
- ・ 全被験者の爪のサンプルから最小 1.06ppm、最大 69.48ppm の砒素を検出
- ・ 全被験者の毛髪のサンプルから最小 0.92ppm、最大 25.6ppm の砒素を検出
- ・ 1 症例は疑皮膚癌(潰瘍化した腫瘍)に罹患していることが確認された

3) “Report of Occurrence of Arsenicosis in a rural village of Cambodia” by D.N.Guha Mazumder, K. Majumdar, S.C. Santra, Hero Kol, Chan Vicheth, Chea Samnang, a Md Nasir Hassan

本報告は著者及び内容から判断して、上記 2)の WHO ミッションレポートである “Report on Detection, Confirmation and Management of Arsenicosis in Cambodia”と同じ調査によるデータや情報を用いた科学論文(Scientific Report)版と考えられ同様の調査結果が記載されている。

4) “Arsenic Contamination of Groundwater in Cambodia Situation and Response Analysis2006 (Draft)” Dr. David Fredericks

- ・ 全土で約 1,600 村落が砒素汚染の “At Risk”であるとされている。
- ・ 砒素による影響人口を 3 グループ分け(定義し)人数等を予測。
 - a 砒素リスク地帯に居住する一般住民(The General Population in the “At Risk” Area)
 - 定義: 何処から水を得ているかに係わらず対象地区に居住する全住民で、改善された水源へアクセスできない世帯、上水道を利用している世帯、汚染の無い井戸を利用している世帯を含む。この住民は現在砒素に暴露されて無くても、後に(引越しや新たな井戸掘削)等の状況の変化の可能性があり、また汚染されている井戸を持つ世帯と汚染の無い井戸を共有して使う可能性がある住民
 - 予測: 現在リスク地帯と期待された砒素ハイリスク 7 州の 1,607 村落と 2005 年のコミュニン・データベースから得られた各村落の人口に基づき、リスク地帯 (At risk) に居住する一般住民や 224 万人と見積もられる(表-1 参照)。この人口は、安全な低濃度砒素汚染水、改善されていない比較的安全でない砒素汚染水及び砒素汚染水を利用している住民を含む
 - b 直接影響住民(Directly Affected Population)
 - 定義: かつて砒素に汚染された井戸水を使用しており、安全な代替水源を探す必要がある住民

- 予測 : 直接影響住民 (AP :Affected Population) を以下の式で算出

$$AP = TW \times PC \times FW \times FS$$

AP	: 直接影響住民数(Affected Population)
TW	: リスク地帯の井戸総数(Total number of wells in the "At Risk Area")
PC	: 砒素汚染井戸の割合(Percentage of wells contaminated)
FW	: 検査時に各井戸利用世帯平均(Average number of families using (drinking) each well at the time of testing)
FS	: 世帯平均人数(Average family size)

Unicef 等による既存の調査やコミュニケーション・データベース等利用可能な数値から上記の各変数を決定し直接影響住民を、表-7 に示すとおり 32.5 万人と見積っている。

表-7 直接影響住民予測

パラメータ	数値
Percentage of contaminated wells in target area (%)	38
Families per well (数)	4.5
Estimated number of wells (数)	38,000
Estimated number of affected families (世帯)	65,000
Estimated population affected (人)	325,000

c 砒素暴露住民(Arsenic Exposed Population)

- 定義: 濃度 50ppb 以上砒素に汚染された井戸水年間を通して一定の期間でも飲用している住民 (砒素汚染に気が付いていないか、検査後の赤塗装された井戸から砒素汚染水を継続して利用している)
- 予測: 現時点における砒素暴露住民予測は以下の推定値を必要とするが、これらを推定するための調査結果等が無い。
 - 無意識に砒素汚染地下水(汚染井戸、未検査井戸等)を飲んでいる人口規模
 - 上記井戸を継続して利用している人口規模

即ち、本文献では砒素暴露住民の予測はされていない。

- ・ 砒素慢性中毒(Arsenicosis)発病率

Arsenicosis あるいは顕著な砒素暴露の実態を明確にするには、地下水の砒素高濃度にもかかわらずカンボジアではかなり困難であるとしている。なお、本レポートでは上記 1) “Report on Baseline Survey and Clinical Examination of Arsenicosis Among Exposed Population in Kandal Province, Cambodia(Milton, 2003)”から、Kein Svay 郡の 12 村落で 2003 年に実施された村落 1,470 世帯に対する分野横断的調査を引用し、地下水の砒素高濃度並びに汚染水の拡散にもかかわらず明確な Arsenicosis の臨床的証拠は発見できなかったとし、その要因を以下と考えている。

- 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

また追跡分析調査結果として村民の頭髮と爪をサンプル採取し、その砒素濃度の検査を

実施したところ中央値 5ppm (1-27ppm レンジ) の砒素濃度が各サンプルから検出された(Polya, unpublished data)ことを紹介し、バングラデシュ国立砒素政策(Bangladesh National Arsenic Policy)では、頭髪(>0.8ppm)あるいは切り取った爪(>1.3ppm)は個人レベルでは高濃度砒素の暴露がある証拠であるとしている評価を支持している。従って、以上のデータは Kein Svay 郡の住民は多様な水源を、年間を通じ利用していることは明らかであり、高濃度の砒素に暴露されていることを示している、と結論づけている。

次に本文件は、上記の 2)“Report on Detection, Confirmation and Management of Arsenicosis in Cambodia”, WHO, 2006 から、カンダール州 Koh Thom 郡 Praek Russei 村(人口約 2,000 人 : Commune Database 2005)で MRD, PDRD, MOH, Unicef, WHO 及び RDI が実施したフォローアップ調査が確認した以下の同村の Arsenicosis 症例を、引用している。

- 中度から重度の Arsenicosis (皮膚色素沈着(skin pigmentation)及び過角化症(hyperkeratosis)) 260 症例が確認
- 症例の内 35 名は小児
- 71 症例は重篤な過角化症(hyperkeratosis)と分類(2006 年 10 月実施による確認)

5) “Arsenic Mitigation in Cambodia” WHO Cambodia の情報

- ・ 砒素汚染ハイリスク 7 州の 1,600 村落にある管井戸(tube well) の約 38%の井戸水は国家基準(50ppb)以上の砒素が検出されている。
- ・ 砒素汚染のリスク予測人口(Estimated general population “At Risk”)は約 224 万人。
- ・ 砒素汚染の直接影響人口(Directly affected population;例えば、地下水の砒素汚染発見にともなう代替水源を確保しなければならない人口)は約 35 万人。
- ・ プノンペン市の南約 40km に位置するカンダール州 Koh Thom 郡 Praek Russei 村で実施された MRD, PDRD, MOH, Unicef, WHO 及び RDI が実施した調査から同村の Arsenicosis 症例が以下の通り判明した。

- 中度から重度の Arsenicosis (皮膚色素沈着(skin pigmentation)及び過角化症(hyperkeratosis)) 260 症例が確認
- 症例の内 35 名は小児
- 71 症例は重篤な過角化症(hyperkeratosis)と分類

⇒ 本 WHO のプレゼンテーション情報・データは上記の 3)“Report of Occurrence of Arsenicosis in a rural village of Cambodia”の内容と同じであり、同報告書を要約したものと考えられる。

6) “Arsenic Contamination of Groundwater in Cambodia” Dr. Sour Sethy, RUPP

- ・ 約 225 万人が最も砒素濃度の高い地域 (7 州) に居住している。
- ・ 139 世帯の 1,309 人が Arsenicosis と思われる症候を示している。
- ・ 症候としては、色素沈着症や角質化等の皮膚疾患である。

⇒ 2008 年 3 月、Asian Science & Technology Seminar in Thailand 報告されたプレゼンテーション資料より抜粋。

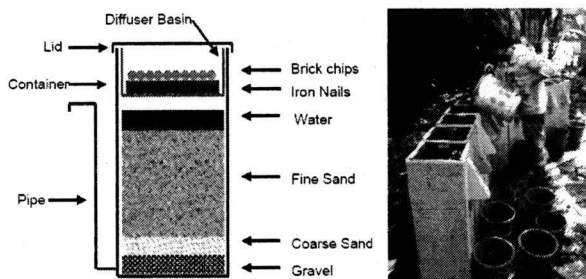
7) “WATER SUPPLY” Unicef Cambodian

- ・ 影響人口(Population affected): 220 万人
- ・ 約 500,000 人(?)/世帯(?)が管井戸(tube well)の水を飲用
- ・ 慢性砒素中毒(Arsenicosis)症例数 :約 300 症例が 2006 年に 2 州 (不明) で確認された(97 症例は WHO による)
- ・ 139 世帯の 1,309 人が Arsenicosis と思われる症候を示している。
- ・ 症候としては、色素沈着症や角質化等の皮膚疾患である。

⇒ 情報から 2006 年以降に作成されたものと考えられる。なお、上記(1)と Arsenicosis の世帯と症例数が同じであるため、データの出所は同じと考えられる。

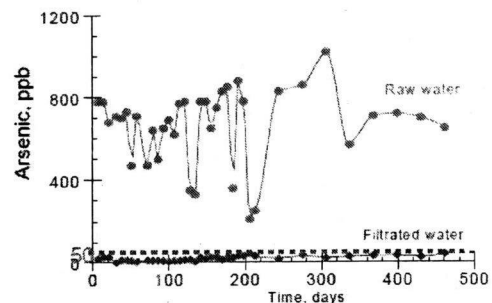
(3) 地下水砒素除去適正技術と普及のビジネスモデル

本研究の共同研究体制を構築したITCは、村落世帯向きの砒素除去装置としてカンチチャンフィルター(KAF)の実証試験を行っている。KAFはMIT(Massachusetts Institute of Technology, USA)が開発をし、ネパールで実証試験を行い砒素除去効果が確認された装置で、ITCは「カ」国で入手できる材料を採用することで村落民でも維持管理し易い「適正技術」として改良を施した。構造は図-7に示すように、装置上部に鉄釘(Iron Nails)層を置きここで砒素と鉄を共沈させ、中部から下部にかけて砂や砂利とした濾材層を用いた砂ろ過を行い砒素と微生物を除去する簡易な装置である。



出展: Arsenic Situation and Mitigation in Cambodia, Nov.2009, Dr. Davin Uy ITC

図-7 ITC による KAF 実証試験



出展: Arsenic Situation and Mitigation in Cambodia, Nov.2009, Dr. Davin Uy ITC

図-8 KAF 砒素除去能力の推移

KAFの処理能力40L/日で、初期投資はUS\$30-50/世帯としている。ITCはこの装置を地下水砒素濃度の高いカンダール州とプレイベン州の31村落(サイト)に計40装置を設置し実証実験を行った。

実証KAFは設置後8ヶ月から18ヶ月の間94~96%の高い砒素除去率を示し国家飲料水基準(CDWQS)の50ppb以下の処理水質を得ることができた。しかしながらその後は、除去率は80~95%と低下し高濃度砒素が含まれる井戸水の処理水質が国家基準値以下とならないケースがある結果を示している(図-8)。KAFは個別の適正技術としては各世帯向きであるが、実証試験結果から初期投資が比較的高価(30-50US\$)、砒素除去装置の定期的な検査(モニタリング)や洗浄(維持管理)の実施や汚泥処理等が適切にできないとした問題があること判明した。即ちKAFを有効な適正技術として各村落世帯に普及させ

るためには技術面のみならず、これらの問題に対し支払意思額(WTP)及び支払可能額(ATP)、持続性を確保するための装置のオーナーシップ意識の向上等ソフト面からの支援が必要となると考えられる。また雨季には雨水を飲用している習慣が「カ」国の村落部にあることから、各地域の社会経済や生活習慣の状況の把握に基づく住民意識改善や環境・衛生教育等の介入計画を整備する必要があることが理解される。このためUnicef、MRD及びITCが協力してKAP(Knowledge, Attitude and Practices)調査を2009年12月に実施した。同調査報告は本報告書執筆現在、データ分析・評価中である。

一方、適正技術の普及及びオーナーシップの面に関し本研究グループが「バ」国の村落部で実施している実証試験装置(AIRP: Arsenic Iron Removal Plant)導入例が参考となる。AIRPは各世帯向きの装置ではなく研究対象村落にある小学校に設置した共同使用装置で「バ」国で広く作られているリング状のセメント枠等を利用し、KAFと同様に原水中に存在する鉄と砒素との共沈とサンドフィルターにより砒素を含んだ原水を処理する構造である。ここでは民間業者が研究メンバーらの指示によりAIRPを建設・設置し、当該村落にリースするというビジネスモデルを導入した。即ち、維持管理を含めたリース料を徴収することで利用者のオーナーシップ意識と資金管理能力を向上させ、最終的にその所有権は当該村落に移転するという方式である。

従って、砒素除去装置の適正技術を普及するためのビジネスモデルとして、砒素問題の対応が先行している「バ」国のこの経験は「カ」国のKAF普及ビジネスモデルを考案する際の参考となる。即ち、「カ」国における適正技術導入は、技術のハード面だけでなく、両国村落部の社会経済、生活習慣や自然条件等の違いや共通点を分析・評価することが今後必要な研究課題であるという理解に達し、次年度における本研究の中心テーマとしたい。

(4) 栄養状態、収入レベルとArsenicosis症例との相関

WHO等の文献レビューから 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、WHO等文献レビューから 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。即ち、同発症機序解明には多様な交絡因子を評価した疫学調査が必要となる。

上記の点に関し現地調査で訪問した米国の国際的 NGO(RDI-C; Resource Development International-Cambodia)が現地でまとめた文献“Arsenicosis in Cambodia: Case Studies and policy response, M.L.Sampson *et al.*, 2008, Applied Geochemistry”に Arsenicosis に関する定性的な観測報告があり、本研究はこの観測結果に注目している。即ち；

- 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

以上の定性的観測結果は、今後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、今後の新たな研究課題として検討したい。

D. 考察

本研究により「バ」国と「カ」国におけるドナー介入による安全な水供給、砒素問題発生経緯や時間的な連続性・並行性等が明らかとなったが、「カ」国政府の対砒素問題への対応の現状には多くの優先される「開発課題」があると確認できた。こうした開発課題の背景等を明確にすることで、「カ」国砒素汚染問題への円滑な介入方法の検討のみならず「水供給分野の国際協力における総合援助手法」へ貢献できると考察される。

また、「カ」国には WBDs (下痢症等水系性疾患)やArsenicosis症例の年別、地域別のデータは十分に整備されてない、或いは入手し難いことが明らかになった。このため入手した関連文献に記されているArsenicosis症例数や予測数と井戸掘削数を整理するとともに、類似文献同士のメタ分析手や代替指標等を用いることで、「カ」国におけるドナー介入(井戸掘削)とArsenicosis症例数を数学的に予測する必要性が理解された。

次に、「カ」国で実証試験を行っているKAF (カンチャンフィルター) を有効な適正技術として普及させためには、技術面のみならず支払意思額(WTP)及び支払可能額(ATP)、持続性を確保するための装置のオーナーシップ意識の向上等ソフト面からの支援が必要となると考察される。さらに、砒素除去装置の適正技術を普及するためのビジネスモデルとして、先行している「バ」国のAIRP装置の実証試験の経験は「カ」国のKAF普及ビジネスモデルを考案する際の参考となる。即ち、「カ」国における適正技術導入は、技術面だけでなく、両国村落部の社会経済、生活習慣や自然条件等の違いや共通点を分析・評価することが今後必要な研究課題であると考察される。

最後に、地下水砒素汚染による健康障害に対する介入は技術的アプローチのみならず医療面からのアプローチを組み合わせることが考えられ、即ちこうした総合的アプローチを新たな研究課題として取り扱うことが検討課題であると考察される。

E. 結論

従来の水分野における介入のアプローチは、直接課題(下痢症や水道普及率等)が数値として明確であり且つ、介入結果として裨益人口や経済効果等開発効果を数値として明確にできる。このためこの様な介入は事業として実施されやすいと考えられる。

一方、研究課題である地下水砒素汚染による健康障害に対し、「バ」国においてはドナー等の介入が開始されたのは健康被害が確認されてから10年以上が経過された後であり、「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、積極的な介入事業は見当たらない。

「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)直ぐに特定できず、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を起こす人口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と考えられる。また、仮に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。

従って、直接影響と介入による裨益効果を定量化する必要から、「バ」国での経験で得られた結果から井戸掘削毎の下痢疾患等の低減効果と砒素慢性患者の発生原単位を「カ」国の社会経済背景を考慮しつつ決定することで予測すること、介入により将来の医療費、教育費や労働力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ことが分かり、これらを本年度の研究結果の結論とする。このアプローチを仮説検証型介入手法と仮題する。

F. 学会発表等

1. 論文発表

- Impact of Ground Water Depth on Arsenic and Iron Correlation in Bangladesh: GIS Approach, Fahim Nawroz Tonmoy, Md. Mafizur Rahman and Hidetoshi Kitawaki, International Journal of Applied Environmental Sciences, Vol. 4, No.4, 2009, pp.437-458

2. 学会発表

- バングラデシュ村落部における住民の水使用形態とヒ素除去装置の商業化に関する研究、眞子岳、北脇秀敏、MD. Mafizur Rahman, Kamul Islam Rizvi、第20回国際開発学会全国大会報告論文集、2009年11月、pp.70-73
- 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、五十嵐堅治、ロス・ソパク、北脇秀敏、第20回国際開発学会全国大会報告論文集、2009年11月、pp.364-367

G. 知的財産権の出願・登録状況（予定を含む。）

該当なし

参考文献

- “Report on Baseline Survey and Clinical Examination of Arsenicosis Among Exposed Population in Kandal Province, Cambodia” Otc.-Dec.2003, Surveyed by Ministry of Health, Supported by WHO, Unicef Cambodia, Reported by Dr. Abul Hasanat Milton
- “Report on Detection, Confirmation and Management of Arsenicosis in Cambodia” by Dr D.N. Guha Mazumder Short-Term Consultant, WHO, 2006
- “Report of Occurrence of Arsenicosis in a rural village of Cambodia” by D.N.Guha Mazumder, K. Majumdar, S.C. Santra, Hero Kol, Chan Vicheth, Chea Samnang, a Md Nasir Hassan
- “Arsenic Contamination of Groundwater in Cambodia Situation and Response Analysis2006 (Draft)” A Report prepared for the Arsenic Inter-Ministerial Sub-Committee by Dr. David Fredericks Supported by Unicef, WHO and WSP Phnom Penh, Cambodia
- “Arsenic Mitigation in Cambodia” a presentation slide by Mohd Nasir Hassan, PhD, Environmental Engineer WHO Cambodia
- “Arsenic Contamination of Groundwater in Cambodia” a presentation slid at the Asian Science &

Technology Seminar in Thailand March 10-11, 2008, by Dr. Sour Sethy Department of Environmental Science, Royal University of Phnom Penh

- “WATER SUPPLY” a presentation by Unicef Cambodia
- Contamination of drinking-water by arsenic in Bangladesh: a public health emergency Allan H. Smith, Elena O. Lingas & Mahfuzar Rahman, 2000 Bulletin of the World Health Organization, WHO
- Arsenic Contamination of Groundwater in Cambodia Situation and Response Analysis 2006 (Draft), A Report prepared for the Arsenic Inter-Ministerial Sub-Committee by Dr. David Fredericks Supported by Unicef, WHO and WSP Phnom Penh, Cambodia
- A Study on the Community Awareness on Arsenic Contamination and their Water Use Practices in Arsenic Affected Area in Rural Cambodia, Master's Thesis, June 2009, Ros Sophak, Toyo University
- Country Health Statistical Report Cambodia, 2008, USAID
- Progress of WATSAN 1983-2008 Unicef
- Arsenic Situation and Mitigation in Cambodia, Nov.2009, Dr. Davin Uy ITC
- Arsenicosis in Cambodia: Case Studies and policy response, M.L.Sampson *et al.*, 2008, Applied Geochemistry
- 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

分担研究報告書 4

水分野の援助実績に基づく総合援助手法に関する検討
—バングラデシュ地下水砒素汚染対策の事例を通して—

研究分担者 国包章一

研究協力者 戸敷浩介

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）
分担研究報告書

水供給分野の援助実績に基づく総合援助手法に関する検討
ーバングラデシュ地下水砒素汚染対策の事例を通してー

研究分担者 国包章一 静岡県立大学環境科学研究所
研究協力者 戸敷浩介 静岡県立大学環境科学研究所

研究要旨

水供給分野の総合援助手法につき検討するため、バングラデシュ国で（独）国際協力機構（JICA）がアジア砒素ネットワーク（AAN）の協力のもとにすでに実施した、2つのプロジェクトを参考事例として取り上げ、それらの実施経緯を整理するとともに、その後引き続き行われているフォローアップ・成果普及活動の状況などにつき調査した。これらのプロジェクトはいずれも、井戸水の砒素汚染対策としての飲料水代替供給施設の整備のほか、地域住民の意識啓発、コミュニティー開発、砒素中毒患者の支援、その他地域住民を対象とした訓練などと併せて、総合的なアプローチのもとに実施された。その後、フォローアップの一環として現在行われている普及活動では、これらのプロジェクトを通して開発・確立された総合的アプローチを活用しつつ、別の財源による新たな飲料水代替供給施設の建設と、地域住民自身によるその運営・管理体制の構築が、フォローアップチームの支援のもとに行われるようになってきている。このような動向は、関係者を大いに勇気づけるものであり、また、今後の水供給分野における援助のあり方を考える上で重要な示唆を与えるものである。

A. 研究目的

開発途上国の小規模水供給施設整備に関する国際協力プロジェクトでは、当初の計画から整備後の水供給施設の運営までを通して、裨益住民の主体的な関与と協力を得ることが不可欠である。また、水供給施設の整備と同時に、保健衛生や生活改善のための他の様々な援助を総合的に実施することにより、その効果をさらに高めることが可能になると考えられる。しかしながら、このような水供給に関する総合的な援助のあり方については、まだ研究があまり進んでおらず、地域の実情に合わせて具体的にどう取り組むべきかという点に関しては、いまだ十分な知見が得られていない。

そこで、本研究では、水供給分野における総合援助手法につき検討するため、（独）国際協力機構（JICA）がアジア砒素ネットワーク（Asia Arsenic Network; AAN）の協力のもとに、2002年から2008年に掛けてバングラデシュ国において実施した、以下の2つのプロジェクトの実施経緯につき整理するとともに、その後のフォローアップ・成果普及活動の状況などにつき調査した。

①飲料水砒素汚染の解決に向けた移動砒素センタープロジェクト (AM プロジェクト)

②持続的砒素汚染対策プロジェクト (SAM-ILGS プロジェクト)

上記2つのプロジェクトはいずれも、井戸水の砒素汚染対策としての飲料水代替供給施設の整備を目的としたものであった。しかし、特徴的なのは、それだけにとどまらず、地域住民の意識啓発、コミュニティー開発、砒素中毒患者の支援、その他地域住民や関係者を対象とした様々な訓練などと併せて、総合的なアプローチのもとに実施されたことである。この点が一般の水供給に関するプロジェクトとは大いに異なっており、その成果が高く評価されている所以である。そのため、総合援助手法を検討するための参考事例として、極めて有用であると考えられる。

なお、以下では、上記2つのプロジェクトを併せて JICA/AAN プロジェクトと記すことにする。

B. 研究方法

JICA/AAN による上記2つのプロジェクトが行われたバングラデシュ国の Jessore District を対象に、現地調査を2009年8月8～12日及び2009年12月20～24日の2度にわたって実施した。

現地調査では、JICA 派遣専門家、AAN 関係者、並びに、フォローアップチームメンバーなどとの面談による情報収集と、先の2つのプロジェクトにより代替水供給施設が整備されたサイトなどの踏査、並びに、地域住民からの聞き取り調査などを行った。

このほか、これらの現地調査などを通して得られた関連資料に基づく文献調査も併せて行った。

(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. 研究結果と考察

1. JICA/AAN プロジェクト

1. 1 プロジェクトの概略と実施経緯

JICA/AAN が実施した2つのプロジェクトの概略は、表-1に示すとおりである。以下では、これらのプロジェクトを、それぞれ AM プロジェクト及び SAM-ILGS プロジェクトと呼ぶことにする。

これらの2つのプロジェクトでは、主として意識啓発、コミュニティー開発、飲料水代替供給施設の整備、並びに、砒素中毒患者の支援などの活動が、有機的な連携のもとに共通して行われた。AAN メンバーらからの聞き取りによるこれらの概要と実施経緯などは、下記のとおりである。

さらに、SAM-ILGS プロジェクトでは、これらに加えて、プロジェクトの成果の自立性