

健康リスクに基づくカンボジアにおける井戸掘削事業の評価

東北大学 学生員 ○佐々木司 三浦尚之

東北大学 正会員 渡部 徹 風間 聡 大村達夫

国立国際医療センター 中村 哲

1. はじめに

水系感染症の被害が大きい国の一つであるカンボジアでは、安全な水の供給を実現するために、1983 年頃から UNICEF や現地政府により多くの地域で井戸の掘削が行われた。しかし、近年になって、これらの井戸を利用する幾つかの地域で、ヒ素中毒と見られる疾病の流行が報告されるようになった。途上国における適切な水利用を考える上で、下痢症のリスクとともに、重金属の中毒のリスクは重大な問題である。本研究では、井戸水のヒ素汚染による健康被害が報告されている一村落を対象として、病原微生物および重金属（ヒ素）による健康リスクのトレードオフから、井戸掘削事業の効果を評価することを目的とする。

2. 方法

2.1. 現地調査と分析方法

2006 年 9 月、カンボジア Kandal 県内に存在する人口 1000 人ほどの Prek Rousey 村で現地調査を行った（図 1）。同村は首都プノンペンの南部 50km に位置し上下水道設備が存在しない地域である。村人の家庭を訪問し、現地の水利用状況について面談形式で聞き取り調査を行なった。同時に、各家庭で利用している水源の微生物汚染ならびに重金属汚染を調査した。水源の微生物汚染の指標として、大腸菌群とブドウ球菌をそれぞれテストペーパーによる培養法で検出した。また、一部のサンプルについては *E. coli* も液体選択培地を用いた最確法によって定量検出した。さらに、各水源における重金属類（Mg, Al, K, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Cd, Pb）の濃度を ICP-MS（Hewlett-Packard, HP-4500）により測定した。一方、住民の健康被害の指標として、血液中のコレラトキシン抗体ならびに毛髪中のヒ素濃度に着目した。少量の血液を採血用紙に染み込ませ乾燥させた後、コレラトキシンを抗原とした ELISA 法を用いて血液中の抗体を測定した。毛髪サンプルについては 0.3%ポリオキシエチレンラウリルエーテル溶液中で超音波洗浄し、80℃12h 乾燥させた後、ヒ素濃度を ICP-MS（Hewlett-Packard, HP-4500）で測定した。

2.2. リスク評価

調査結果より得られた大腸菌群数から、著者ら¹⁾による経験式を用いて *E. coli* の濃度を推定した。その濃度から、用量・反応モデル²⁾を利用して感染確率を計算した。感染確率から、毎日同じ *E. coli* 濃度の飲料水を 365 日間摂取し続けることとして年間感染リスクを算出した。飲用水の摂取量は聞き取り調査の結果より 1 日 3L とした。ヒ素による発ガンリスクについては USEPA の手法³⁾に倣い、体重 70kg の成人がヒ素で汚染された水を摂取し続けた場合の一生（70 年間）にガンを発症するリスクを計算した。この計算式では、体重あたりのヒ素摂取量にヒ素の健康影響を表すスロープファクターを乗じてリスクを算出する。

3. 水源の汚染状況

3.1. 指標微生物による水源汚染

表 1 に対象地域で採取した雨水、河川水、井戸水からの大腸菌群、ブドウ球菌、*E. coli* の検出結果をそれぞれ平均濃度で示す。飲用水として最も用いられる頻度が高かった井戸水からも糞便汚染の指標微生物が検出された。ここで利用されている井戸はハンドポンプ付き管井戸で、通常は汚染を受けにくく、本調査でも 19 の井戸のうち 6 の井戸では指標微生物が検出されな

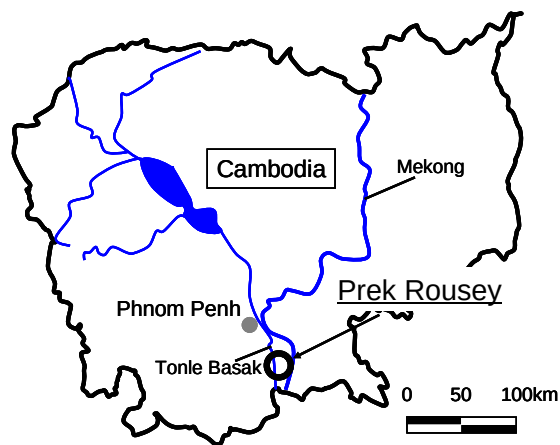


図1 調査対象地域

表1 飲用水源の指標微生物濃度				
	n	大腸菌群数 [CFU/mL]	ブドウ球菌 [CFU/mL]	<i>E. coli</i> [MPN/100mL]
雨水	10	85.2	43.9	93
河川水	3	>200	47.0	>2400
井戸水	19	40.8	4.9	409

キーワード waterborne diseases, infectious risk, water supply, Cambodia, arsenic

連絡先 〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06 東北大学大学院工学研究科土木工学専攻

った。しかし、幾つかの井戸は、給水口に泥が附着しているなど不衛生な状態で使用されていた。雨水の汚染状況は井戸水と同程度であったが、ブドウ球菌の濃度が高いことから、使用中に人の手を介して雨水が汚染された可能性が高い。河川水は汚染が最も深刻であった。

3.2. 重金属による水源汚染

雨水、河川水、井戸水のそれぞれに含まれる重金属のうち、WHOのガイドラインよりも高濃度で検出されたのはヒ素、カドミウム、鉛であった。特に井戸水に含まれるヒ素は基準値の70倍近くの濃度で汚染されていることが確認された。井戸掘削当時(1996年)にPrek Rousey村を含むKandal県で行われた水質調査⁴⁾では、井戸水からはヒ素はほとんど検出されなかった(<0.002mg/l)。このことから、この地域の井戸水は、井戸の使用年数の経過にともなってヒ素等に汚染されるようになったことが分かる。

4. 健康リスク評価

4.1. 微生物汚染による感染リスク

図2(a)に飲用水の微生物汚染による年間感染リスクを示す。年間感染リスクはそれぞれの採水地点における大腸菌群濃度をもとに算出し、水源の種類ごとに平均値で示した。河川水の大腸菌群濃度が200CFU/mL以上である場合は200CFU/mLとして算出したため、ここで評価された河川水のリスクは実際のリスクよりも低い。河川水を飲用する場合は、感染リスクは 5.8×10^{-1} と極めて高く、井戸掘削以前、河川水を煮沸せずに飲用していた時代には、感染症の流行が日常的に発生していたことが推測される。一方、井戸水を飲用したときの感染リスクは 1.2×10^{-1} であり、河川水を飲用した場合に比べて有意に低かった($\alpha=0.01$)。井戸掘削により、住民が井戸水を飲用するようになったことで感染症のリスクが約1/5に低下した。しかしながら、水系病原微生物の産生するコレラトキシンに対する住民の抗体保有率は99.2%と高く、井戸ができた後で生まれた住民も抗体を保有していた。コレラトキシンに対する抗体はE. coliの出す易熱性エンテロトキシンと交差反応を示すことが知られており、一般的な下痢症は井戸掘削の後でも発生していることが予想される。今後、別の腸内細菌、ウイルスについても抗体検出を試みる予定である。

4.2. ヒ素による発ガンリスク

ヒ素による発ガンリスクは、井戸水を飲用した場合には 4.1×10^{-2} と、他の水源を利用した場合の50倍以上も高かった。ガンの死亡率は感染症の死亡率を大きく上回る。よって、この村で安全な水供給のために実施された井戸水の掘削は、感染症のリスクを低下させた一方で、ヒ素による発ガンという極めて深刻な健康被害をもたらす結果となった。図3に毛髪中に含まれるヒ素濃度を示す。およそ9割の住民の毛髪から、臨床的にヒ素中毒(角化症、色素沈着)と診断された患者と同程度の濃度でヒ素が検出された。その濃度は年齢にかかわらず高く、住民のほとんどが深刻なヒ素の暴露に晒されていることが明らかとなった。

今後は、DALY等の健康指標を用いて、両者のリスクを比較する予定である。

謝辞: 本研究は、文部科学省人・自然・地球共生プロジェクトおよび科学研究費補助金により行なわれた。

参考文献

- 1) 渡部ら (2006). メコン流域における水供給システムに着目した水系感染症のリスク評価, 環境工学研究論文集43
- 2) Charles N. Haas, Joan B. Rose, Charles P. Gerba (1999). Quantitative Microbial Risk Assessment, Published by John Wiley & Sons, Inc.
- 3) Inorganic Arsenic Cancer Slope Factor, EPA, 2005
- 4) JICA, カンボディア国地方開発省, カンボディア国南部地下水開発計画調査ファイナルレポート要約, 2002

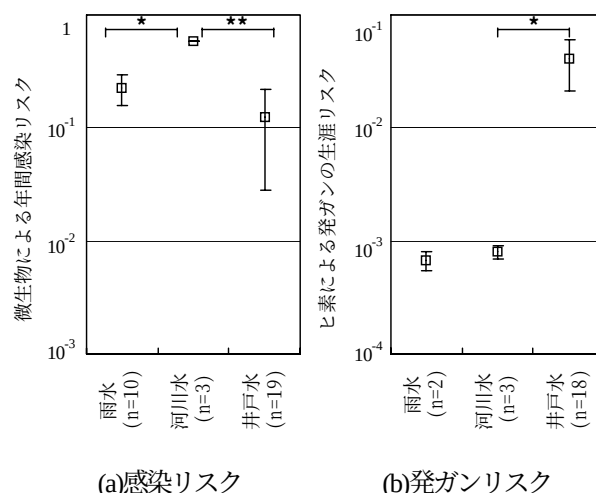


図2 飲用水起因の感染リスクと発ガンリスク

エラーバーは標準誤差を示す。

*有意差有り(5%) **有意差有り(1%)

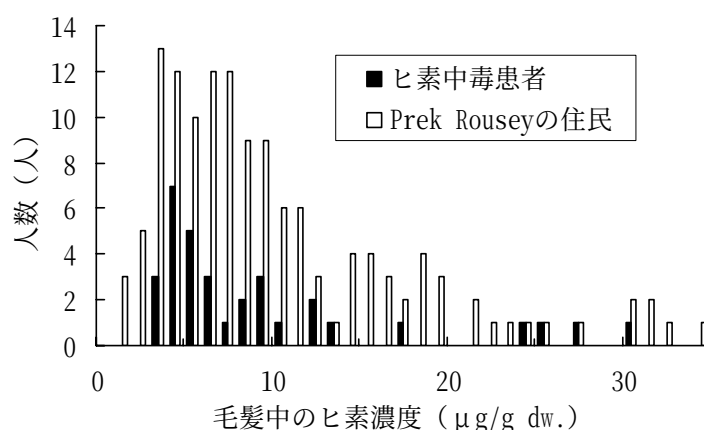


図3 住民の毛髪中に含まれるヒ素濃度