

カンボジアにおける病原微生物と重金属による水源汚染と健康リスク

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

現在 65 億人を超えた世界人口は今後も増加を続けると考えられており、人口増加に伴う水需要の増加、ならびに水源水質の悪化が大きな問題となっている。WHO の報告によると不衛生な水の利用を主な原因とする下痢症のために、途上国を中心に毎年 180 万人もの人が死亡している。こうした人的資源の損失は持続可能な発展を妨げる主要な因子の一つとなっており、下痢症に代表される水系感染症のリスクを適切に評価・管理することが求められている。

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 の援助によって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

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）。同村はバサック河の中州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。さら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大腸菌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。

2.2. 病原微生物による下痢症のリスク評価

調査結果より得られた大腸菌群数から、経験式¹⁾を用いて

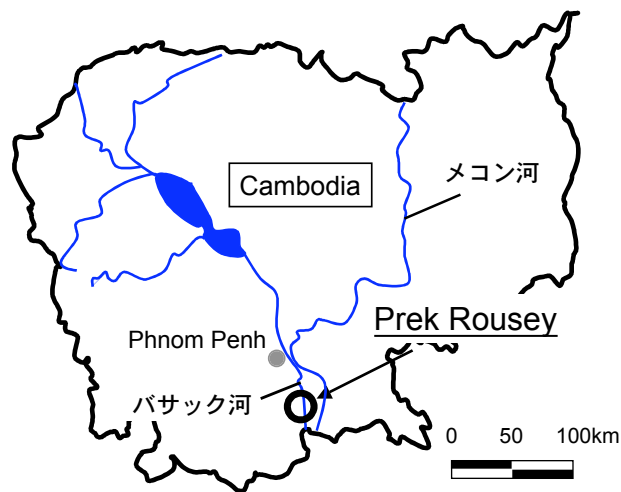


図 1 調査対象地域

大腸菌の濃度を推定した。その濃度から、以下の用量・反応モデルを利用して感染確率を計算した。

$$P_i(D) = 1 - \left(1 + \frac{D}{1780000} \right)^{-0.178}$$

ここで、 $P_i(D)$ ：感染確率、 D ：飲用水を介して摂取する *E. coli* の個数 [MPN] である。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、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。

2.3. ヒ素による発ガンリスク評価

USEPA の手法に倣うと、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、一生（70 年間）にガンを発症するリスクは以下の式で計算できる。

$$P_c(CW) = SF \times \frac{CW \times IR}{BW}$$

ここで $P_c(CW)$ ：発ガン確率、 CW ：飲用水を介して摂取するヒ素濃度（mg/L）、 IR ：飲用水の摂取量（=3L/day）、 BW ：体重（=70kg）である。

3. 水源の汚染状況

3.1. 指標微生物による水源汚染

表 1 に対象地域で飲用されている雨水、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指標微生物が検出されており糞便汚染を受けていた。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かった。しかし、幾つかの井戸は、給水口への泥が付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。河川水には最も甚だしい糞便汚染が見られた。

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
河川水	3	>200	47.0
井戸水	19	40.8	4.9

3.2. 重金属による水源汚染

表 2 に雨水、河川水、井戸水にそれぞれ含まれる重金属濃度の平均値を示す。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。井戸掘削当時に Prek Rousey 村を含む Kandal 県で行われた水質調査²⁾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。

なお、確認のために、この村の住民 100 人から毛髪を採取し、そのヒ素含有量を分析したところ、年齢にかかわらず高濃度でヒ素が検出された。その濃度は、臨床的にヒ素中毒の症状(角化症、色素沈着)が見られた患者のデータと同程度であった。

4. 水源汚染による健康リスク

4.1. 微生物汚染による感染リスク

図 2(a)に微生物汚染による感染リスクを示す。糞便汚染が深刻であった河川水を飲用する場合には、感染リスクは 5.8×10^1 以上と極めて高く、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

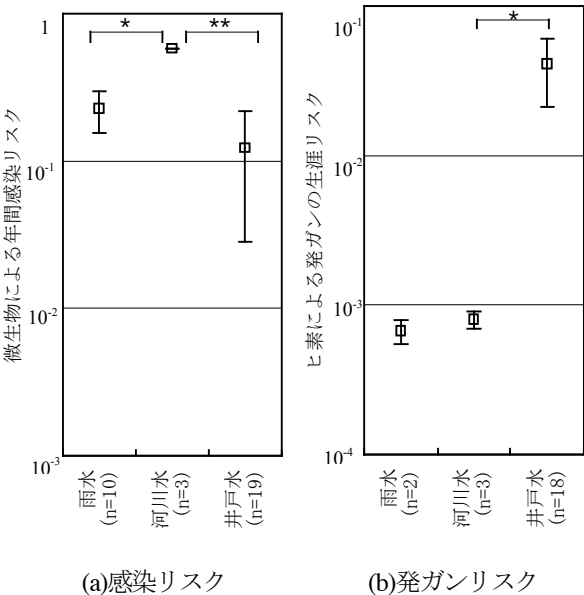


図2 飲用水起因の感染リスクと発ガンリスク
エラーバーは標準誤差を示す。
*有意差有り(5%) **有意差有り(1%)

べて有意に低かった ($\alpha=0.01$)。井戸の掘削により、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 に低下したことが推測される。

4.2. ヒ素による発ガンのリスク

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。

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) 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

表2 飲料水中の重金属濃度[mg/L]													
	Mg	Al	K	V	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Pb
ガイドライン (WHO)	—	—	—	—	0.05	0.4	—	0.07	2	—	0.01	0.003	0.01
実測値													
雨水	0.226	0.050	1.489	0.086	0.017	0.018	0.132	0.010	0.073	0.363	0.010	0.006	0.031
河川水	3.885	5.028	3.810	0.064	0.017	0.183	4.509	0.017	0.016	0.085	0.012	0.005	0.050
井戸水	23.587	0.104	11.440	0.085	0.017	0.700	5.293	0.010	0.044	0.069	0.639	0.005	0.038