カンボジアメコン河流域の地表水ヒ素汚染の実態調査

東北大学大学院環境科学研究科　学生会員　○佐藤　郁
東北大学大学院環境科学研究科　正会員　小森　大輔
東北大学大学院工学研究科　学生会員　天野　文子
東北大学大学院工学研究科　正会員　風間　聡

1. はじめに

ヒ素を含有している地下水を飲料としたヒ素汚染は世界的に広がっており[1]，このヒ素問題はアジア各地でも確認されている．とりわけインド・バングラディッシュのガンジス川流域やカンボジア・ベトナムのメコン河流域のような大河川で地下水のヒ素汚染は発生しており，アジア地域の地下水中ヒ素に関する研究は数多く行われている[2]．一方で，地表水に関しての研究事例は少なく，未解明な点が多い現状にある．例えば，カンボジアは下水道普及率はわずか11%であり，ヒ素を含有した地下水が汲み上げられることでヒ素が下水処理されず地表に蓄積することや，排水に伴って河川に流出する可能性が推察される．また，雨期に毎年発生するメコン河氾濫によってヒ素が移流する可能性がある．以上のことから，カンボジアの地下水ヒ素汚染地域における地表水中ヒ素に関する知見を得ることは重要であると考えられる．

そこで，本研究ではカンボジアの地表水の実態把握のために雨季の10月と乾季の1月に現地調査を行った．10月の調査ではカンボジア広域における地表水のヒ素濃度を測定し，1月の調査では地下水中ヒ素濃度が高いことが確認されている狭域で，地表水中のヒ素濃度を測定した．

2. 方法

2. 1 研究対象地

本研究ではカンボジア国首都プノンペンおよびその周辺地域を対象とした．対象地域の気候は熱帯モンスーン気候で，5月-11月が雨季，12月-4月が乾季，年平均降量は約1400mmである．

2015年10月の雨期調査は既往文献から地下水中ヒ素が低濃度から高濃度の地域[3]を含む，PhmomPenh特別州，Kandal州，PreyVeng州で行った．2016年1月の乾季調査は，地下水ヒ素汚染が最も深刻な地域であるKandal州で，メコン河から氾濫原を結ぶ水路1，2（以下，KC1，KC2）を選定し行った（図-1）．この水路はコルマタージュと呼ばれる農業用の導水路であり，洪水氾濫を発生させ肥沃な土砂を後背湿地に氾濫させる．KC1，KC2共に水路沿いには民家が立ち並んでおり，井戸も設置されていた．

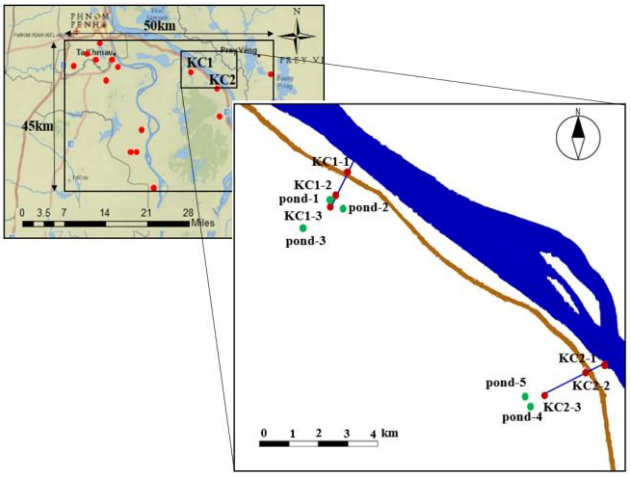

図-1　調査対象地

KC1ではメコン河を背に氾濫原方向に水路水を3か所採水した（以下，KC1-1，KC1-2，KC1-3）．また，現地では乾季の水不足対策に雨期の氾濫水を溜めたため池があり，ため池水も3か所採水した（以下，pond-1，pond-2，pond-3）．pond-1はKC1終点先のため池，pond-2は魚生息用に雨水を溜めたため池，pond-3はKC1から約1.2km離れた氾濫原の中のため池である．

KC2ではKC2入口の河川水（以下，mekongriver），氾濫原方向に水路水（以下KC2-1，KC2-2，KC2-3），さらに，ため池水（以下，pond-4，pond-5）を採水した．pond-4，pond-5はそれぞれKC2から500m，600m離れている．

2. 2 採水と分析

水サンプルはヒ素固定のため，あらかじめ硝酸で洗浄したボトルに採水地点ごと1サンプル100mlずつ，3サンプルを採水した．

雨期は水路水，氾濫水，ため池水，生活排水が流入するラグーン中の水等の地表水計13サンプルを採水し，乾季は水路水，河川水，氾濫水，ため池水等の地表水計16サンプルを採水した．

測定の前処理は有機分解と測定値の精度を上げるため濃縮をした．有機分解はサンプル50mlに対し10%の硝酸を滴下し，ホットプレートで150℃に加熱し分解した．濃縮はホットプレートで120℃に加熱し行った．測定はICP発光分光測定器を用いた．

キーワード　ヒ素，地表水，カンボジア，メコン河
連絡先　〒980-8579　宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-06　TEL022-795-7459

3. 結果と考察

乾季 1 月の Kandal 州の水路における地表水のヒ素濃度を図-2 に示す．KC1 の地表水 KC1-1，KC1-2，KC1-3 のヒ素濃度は，4.85-5.67μg/l, mekongriver は2.23μg/l, KC2 の地表水KC2-1, KC2-2, KC2-3 のヒ素濃度は0.55-11.6μg/l であった．KC1 の 3 地点の地表水の平均は 5.28±0.41μg/l で，3 地点に有意な差は見られなかった．一方, KC2 は水路終点の KC2-3 ではヒ素濃度が減少したが，流入口の mekongriver から氾濫原に向かって，ヒ素濃度は上昇した．KC1 に見られず KC2 のみ見られたこの結果は，地下水のヒ素濃度やヒ素の沈降速度などに関係があるか，今後検討する必要が，理由の一つに KC2-2 付近は民家が密集していることが関係していると考えられる．KC1，KC2 で水の利用方法に関して聞き取り調査を行った結果，この地域では聞き取りを行った半数以上の民家が雨季・乾季ともに井戸で汲み上げる地下水を生活用水に利用しており，生活排水は水路に流すか，地表土に排水していた．このことから KC2-2 付近では人間生活が活発であり，ヒ素を含んだ地下水が汲み上げられ，使用後水路に排水されるため，ヒ素濃度が高かったと考えられる．

KC1，KC2 の内陸側の氾濫原におけるため池水中のヒ素濃度は4.1-7.38μg/l であり，平均 4.92±1.51μg/l であった（図-3）．ため池は雨期の氾濫に伴ってヒ素が流入し，乾季の蒸発によってヒ素が残留しヒ素のホットスポットとなる場所となり得ると考えられる．土壌から最もヒ素が溶出するのは還元的環境下であり，pond-1-5 の ORP 値はそれぞれ，-80，-127，-36，111，67 であった．この結果から，ORP 値に関係なくため池水中のヒ素濃度は 4μg/l 前後であったため，還元的環境下での土壌からの溶出は示されなかった．

既往文献から地下水中ヒ素濃度は広域では1-1610μg/l で変化し[4]，3km 圏内の局所的領域では約 40 倍変化することが示されたことから[5]，地下水中ヒ素濃度は広域・狭域で値が大きく異なることがわかっている．一方で，本研究で採水した雨季・乾季合わせた全 29 地点の広域の地表水中ヒ素濃度は 3.54-14.8μg/であり，10km 圏内の狭域のヒ素濃度は2.2-11.6μg/l で変化し，広域・狭域ともに地下水のような大きな変化はなく，その濃度はWHO が定める飲用水中ヒ素濃度の基準値，10μg/l 前後であった．

4. まとめ

10 月雨期と 1 月乾季の調査結果から，地表水中ヒ素濃度は地下水中ヒ素濃度に比べて濃度の変化は少なく，ヒ素濃度も低いことがわかった．しかし，人間活動の活発な場では地下水由来のヒ素が地表水中に流入していると考えられ，ヒ素濃度が高くなる可能性が示唆された．

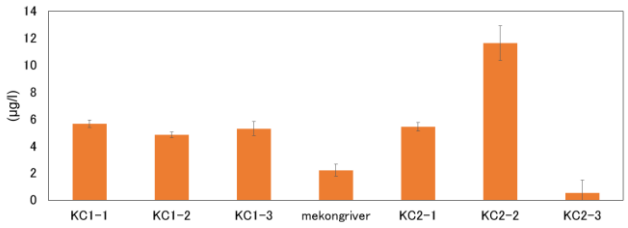

図-2 KC1，KC2 の乾季地表水中ヒ素濃度

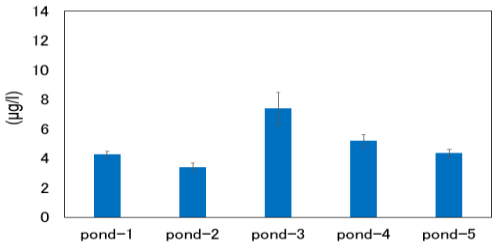

図-3 乾季ため池水のヒ素濃度

今後は，得られた結果からメコン河の流入から人間生活のある水路沿いを通過し氾濫原に広がるまでの地表水中ヒ素濃度の時空間的変化を再現するモデルを調査結果を用いて構築する．

謝辞：東北大学大学院技術部，千葉信男氏，丸尾千佳子氏，会田俊介氏にはヒ素分析に関して多大なるご指導と補助をしていただいた．心より感謝申し上げます．本研究は，科学研究費補助金（代表：風間聡：15H05218），の支援により実施された．ここに深甚なる謝意を表します．

参考文献

1) Smedley PL and Kin niburgh DG, Source and behavior of arsenic in natural waters, United Synthsis Report on Arseic in Drinking Wate, 1-16, 2002

2) Acharyya, S. K, Lahiri S, Raymahashay B C and Bhowmik A, Arsenic toxicity of groundwater in parts of the Bengal basin in India and Bangladesh, Environ Geol, 39, 127-1137, 2000

3) Fredericks. D: Situation analysis : arsenic contamination of groundwater in Cambodia. Report, January 2004. Phnom Penh, Cambodia, UNICEF, 2004

4) Michael Berg et al. , : Magnitude of arsenic pollution in the Mekong and Red River Deltas - Cambodia and Vietnam, 2006

5) S. Sthiannopkao et al. , : Arsenic and manganese in tube well waters of PreyVeng and Kandal Provinves, Cambodia,2008