

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 27 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23404013

研究課題名(和文) ガンジスデルタの堆積構造に基づく広域的地下水ヒ素汚染機構の解明

研究課題名(英文) Arsenic contamination mechanism in wide area based on the sedimentation structure of Ganges delta

研究代表者

真野 明 (mano, akira)

東北大学・災害科学国際研究所・教授

研究者番号：50111258

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,800,000円、(間接経費) 4,440,000円

研究成果の概要(和文)：ガンジスデルタは、ガンジス川、ブラマプトラ川、メグナ川の3大河川が形成した約10万平方キロの面積を持つバングラデシュとインドに跨る世界最大の河口デルタである。ここで一億人以上が居住、地表水が病原菌で汚染されているため飲み水を地下水に依存した暮らしをしている。数千万本といわれる手掘り井戸の約30%の井戸水がWHOの安全基準0.01mg/Lの5倍以上のヒ素に汚染されており、住民は慢性ヒ素中毒の危険にある。安全で十分な水資源の確保が社会的要請の高い緊急の課題である。ガンジスデルタの広域的な堆積構造、ヒ素鉱物の蓄積、溶出・吸着特性を明らかにし、深層地下水が安全な水資源であることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：We find broad sedimentation structure of the Ganges delta, storage of arsenic minerals in each layer, the dissolution and absorption characteristics. As a result of arsenic transport analysis in the layers, the deep ground water was found to be arsenic free water resource.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：水工学

キーワード：ヒ素汚染 分配係数 吸着・脱着反応 持続可能性

1. 研究開始当初の背景

ガンジス川、ブラマプトラ川、メグナ川の3大河川が形成したガンジスデルタは、約10万平方キロの面積を持ち、バングラデシュとインドにまたがる、世界最大の河口デルタである。ここでは、一億人以上が居住しており、地表水が病原菌で汚染されているため、飲み水を地下水に依存した暮らしを行っている。しかし、数千万本といわれる手掘り井戸の約30%の井戸水が、WHOの安全基準0.01mg/Lの5倍以上のヒ素に汚染されており、住民は慢性ヒ素中毒の危険に曝されている。安全で十分な量の水資源の確保が、社会的要請の高い緊急の課題となっている。

このため、多くの科学者や技術者の関心を集め、活発な研究が行われている。これらは大きく2つに分類できる。1つめは、水処理により安全な水を得ようとするもので、膜技術(J.Hoinkisら,2010; A.Figoliら,2010)や酸化鉄などのヒ素吸着剤を用いるもの(N.Dimitrovaら,2009; K.Oheら,2010)など多くの技術が提案されている。しかし、ヒ素汚染が広範囲に広がっていること、バングラシュが最貧国の1つであることを考えると、処理コストが高くなる技術は普及できない。

2つめは、ヒ素の溶出機構に関するものである。硫化鉱物の酸化説(R.T.Nicksonら,2000; M.L.Polizzottoら,2008)と水和酸化鉄の還元説(C.Dowlingら2002; F.Islamら,2004)があるが、帯水層の堆積環境との関係がほとんど議論されていないので、総括的な知見は未だ得られていない。

2. 研究の目的

世界最大規模のガンジスデルタでは、一億人以上が飲料水を地下水に依存して暮らしている。数千万本といわれる井戸の約30%が、WHOの安全基準0.01mg/Lの5倍以上のヒ素に汚染されており、住民は慢性ヒ素中毒の危険に曝されている。本研究は、このガンジスデルタにおいて、安全・豊富で持続可能な水資源を見出すことを大きな目的とし、これを実現するために次の2つの要素研究を行う。(1)高ヒ素帯水層が形成された第四期完新世の堆積構造を明らかにする。(2)高ヒ素帯水層におけるヒ素溶出機構を明らかにする。これらの知見を統合することにより、ガンジスデルタにおける、高ヒ素帯水層、低ヒ素帯水層の3次元的な分布を明らかにし、安全な水資源探索の指針を示す。

因子で還元的溶出に寄与することがわかった(Rahmanら,2010)。これから次のような仮説が立てられる。「ヒ素

を高濃度に吸着したシルト・粘土成分からなる浮遊砂が上流より運ばれてガンジスデルタに堆積し、植物が繁茂し易い環境であったときに、有機物を豊富に含んだ堆積層を形成し、ヒ素の溶出を加速させた。これが検証できれば、ガンジスデルタ全域における、高ヒ素堆積層や低ヒ素帯水層の形成や、ヒ素溶出に関する総括的知見が得られ、安全で豊富な水資源の探索に寄与できると考えられる。

3. 研究の方法

最初の2年間に、ガンジスデルタの南北軸および東西軸に沿って、井戸を掘り土砂および地下水の試料を収集する。これらの試料は、粒度分析、各種含有量の分析を行なう。別途土砂試料を使って、溶出・吸着実験を行い、分配係数を求める。これにより、溶出平衡状態における、影響因子を明らかにする。また、有機物が溶出を増幅することが予測されており、その詳細な機構を分析する。一方、年代測定結果より、同一時期に形成された堆積層の空間分布を明らかにする。その堆積層内の粒径分布、有機物量分布、ヒ素濃度を解析し、高ヒ素帯水層の形成機構とその分布を明らかにする。

さらに、低ヒ素帯水層から継続的に地下水を汲み上げた場合のヒ素輸送解析を行い、高ヒ素帯水層からの移流による、ヒ素汚染のリスクについて検討する。

4. 研究成果

ガンジスデルタにおけるヒ素汚染の3次元的な構造を調べるため、南北軸(Meherpur, Jessore, Bagerhat)と東西軸(Bagerhat, Narail, Madaripur)をとり、上記5箇所井戸を掘削し土砂および地下水のサンプリングを行った。

ガンジスデルタは、3つの大河川が運んだ土砂が、第四紀完新世(現在から約一万年まで)に堆積して形成した。これらの川は、ガンジス川と北側から合流するブラマプトラ川で、さらにその下流で北側からメグナ川が合流し、最後にパドマ川と名前を変えてベンガル湾に注ぐ。

堆積構造はほぼ、この大河川の流向によって決まり、南に向かって傾斜していることがわかった。デルタの北側では堆積層は薄く、南にいくにしたがって厚くなり、河口付近でその厚さは100mを超える。南部での下層は、粒径が大きく砂である。表層付近では、粒径は小さく、シルトあるいは粘土が分布している。これらの構造には海面変動が関係している。今から一万年前には、海水準は約120m低かった。したがって、河口付近の昔の河床勾配は急で、粒径の大きな砂が堆積した。その後、海面がじょじょに上

昇するにしたがって、河口に近づくほど堆積厚が増し、河床勾配は緩くなって粒径の小さな土砂が堆積するようになったと分析することができる。

地下水の高ヒ素帯水層は、表層付近に見られ、特に南部で高くなっている。

表層帯水槽の土砂を分析し、ヒ素の含有量と Fe、Mn、Al の含有量との相関が高いことがわかった。これらの成分は、粘土鉱物に含まれることから、ヒ素と錯体を形成し、細粒土砂に取り込まれたと考えることができる。ヒ素の吸着は、酸化状態で起こることから、大河川の中で流送中に多くの酸素を含んだ状態で粘土鉱物と反応し吸着したと推測できる。

一方、表層帯水層の地下水を分析したところ、ヒ素の含有量と Fe、Al、DOC、 HCO_3^- との相関が高かった。この事から帯水層の中では、還元状態であり、ヒ素、Fe、Al が共に溶出したものである。還元状態をもたらしたのは、炭酸であり、有機炭素濃度が高いことから、生物起源であることがわかる。表層の勾配は非常に小さいことから、滞留した水に藻類が繁殖して有機炭素が地中に多く取り込まれた可能性が高い。

さらに河口付近の深層では、海水の影響と考えられる Na イオン濃度が高く、ヒ素濃度は低い。Na イオンはヒ素を溶出させる能力が高いが、土砂中のヒ素濃度が低いために、水中のヒ素濃度が低くなったものと考えられる。したがって、深層地下水は、ヒ素濃度が低く安全な水資源の重要な候補であるといえる。

最後に、深層地下水を取水した場合の地中のヒ素輸送について解析を行った。下層の地下水を汲み上げた場合、上層の高濃度ヒ素汚染した地下水が、下層に移動し、汚染を拡大する恐れがあるからである。地中の各層の溶出吸着特性を同定し、ヒ素の輸送解析を行った。その結果、上層の地下水が下層に達するまでに、含まれているヒ素は大部分途中の土砂に吸着され、下層までは汚染が広がらないことが確かめられた。

以上から、深層地下水は、ガンジスデルタにとって安全な水資源であることがわかった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 12 件)

1. M.T. Rahman, Akira Mano, Y. H. Han, Yoshinobu Ishibashi, Keiko Udo, S. Kure Keiko Udo, Partitioning and Contamination of Arsenic in the
2. M.T. Rahman, Yoshinobu Ishibashi, Akira Mano, U. R. Siddiqi, Y. H. Han, Toxic effect of Arsenic on public health due to its long term consumption through contaminated drinking water, AOGS2013 10th Annual Meeting, 査読有、AOGS2013 10th Annual Meeting, IG25-26-A009, 2013
3. M.T. Rahman, Y-H. Han, A. Mano, K. Udo and Y. Ishibashi, Arsenic Accumulation in Sediments and its Associated Contamination in Groundwater of the Ganges Floodplain Aquifers of Bangladesh, 査読有、Proceeding of APD-IAHR 2012, pp.717-719, 2012
4. M.T. Rahman, Y-H. Han, A. Mano, K. Udo and Y. Ishibashi, Accumulation and Mobilization of Arsenic in the Holocene Sediment Deposit of the Ganges Delta Plain of Southern Bangladesh, 査読有、Proceeding of AOGS-AGU (WPGM) Joint Assembly, HS12-A011, 2012
5. M.T. Rahman, A. Mano, K. Udo and Y. Ishibashi, Development of a Numerical Model to Assess the Contaminant Transport of the Lake Kiyanja Watershed, Uganda, 査読有、Proceeding of ICETCESD-2012, pp.161-164, 2012
6. M.T. Rahman, Akira Mano, Keiko Udo, and Yoshinobu Ishibashi, A Hydrological assessment of three alternative areas for selecting a potential housing site at Barkarby, Stockholm, Sweden, 査読有、Journal of Env. Tech. & Const. Engg. Vol. 01. pp. 22-30, 2012
7. M.T. Rahman, Akira Mano, Keiko Udo, and Yoshinobu Ishibashi, Accumulation and Distribution of Arsenic in the Ganges Flood Plain Sediment Deposits, South-Western Bangladesh, 査読有、GSA Abstracts with Programs, Vol. 43, pp. 5, 2011
8. M.T. Rahman, Akira Mano, Keiko Udo, and Yoshinobu Ishibashi, Distribution and mobilization of arsenic in the ganges delta aquifer sediment, Kalaroa, Bangladesh. Proceedings of the 3rd International Symposium on Environmental Management. pp-28, 2011
9. M.T. Rahman, Akira Mano, Keiko

- Udo, and Yoshinobu Ishibashi, Characteristics of Arsenic Distribution in the Holocene Sediment Deposits of South-Western Bangladesh., 査読有、Mineralogical Magazine, pp. 1989, 2011
10. M.T. Rahman, Akira Mano, Keiko Udo, and Yoshinobu Ishibashi, Attenuation of Groundwater Arsenic by the Natural Aquifer Solids in South-Western Bangladesh, 査読有、28th SEGH (Society for Environmental Geochemistry & Health), pp. 26-27, 2011
 11. M.T. Rahman, Akira Mano, Keiko Udo, and Yoshinobu Ishibashi, Exploring sustainability of aquifers based on predictive modeling of sorption characteristics of arsenic enriched Holocene sediments in Bangladesh, 査読有、Journal of Applied Geochemistry, Vol. 26 (4), pp. 636-647, 2011
 12. M. T. Rahman et al., Possible Locations of Arsenic affected sand extracting sites of South Western Bangladesh, The brief of summary and the included in the report of Scientific Drilling, No.12, pp.50-52, 2011

〔学会発表〕(計9件)

1. M.T. Rahman, Partitioning and Contamination of Arsenic in the Sediment and Groundwater Interface of the Ganges-megha River Basin Aquifers, in Bangladesh, AOGS2013 10th Annual Meeting, 2013年6月28日、ブリスベン、オーストラリア
2. M.T. Rahman, Toxic effect of Arsenic on public health due to its long term consumption through contaminated drinking water, AOGS2013 10th Annual Meeting, 2013年6月28日、ブリスベン、オーストラリア
3. M.T. Rahman, Arsenic Accumulation in Sediments and its Associated Contamination in Groundwater of the Ganges Floodplain Aquifers of Bangladesh, APD-IAHR 2012, 2012年8月19日~23日、済州島、韓国
4. M.T. Rahman, Accumulation and Mobilization of Arsenic in the Holocene Sediment Deposit of the Ganges Delta Plain of Southern Bangladesh, AOGS-AGU (WPGM) Joint Assembly 2012, 2012年8月13日~17日、シンガポール
5. M.T. Rahman, Development of a Numerical Model to Assess the Contaminant Transport of the Lake

- Kiyanja Watershed, Uganda, ICETCESD-2012 (International Conference Environmental Technology and Construction Engineering for Sustainable Development), 2012年3月10日~12日、シレット、バングラデシュ
6. M.T. Rahman, Distribution and mobilization of arsenic in the ganges delta aquifer sediment, Kalaroa, Bangladesh, the 3rd International Symposium on Environmental Management, 2011年10月26日~28日、ザグレブ、クロアチア
 7. M.T. Rahman, Accumulation and Distribution of Arsenic in the Ganges Flood Plain Sediment Deposits, South-Western Bangladesh, GSA, 2011年10月10日、ミネアポリス、アメリカ
 8. M.T. Rahman, Attenuation of Groundwater Arsenic by the Natural Aquifer Solids in South-Western Bangladesh, 28th SEGH (Society for Environmental Geochemistry & Health) European Conference, 2011年4月13日、Ormskirk, イギリス
 9. M.T. Rahman, Characterization of Arsenic Contaminated Holocene-Deposits and Exploration of Sustainable Aquifer in South Western Bangladeshi, IDRA, 2011年4月26日、ハノイ、ベトナム

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕
出願状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等
<http://potential1.civil.tohoku.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

真野 明 (MANO AKIRA)

東北大学・災害科学国際研究所・教授

研究者番号：50111258

(2) 研究分担者

石橋 良信 (ISHIBASHI YOSHINOBU)

東北学院大学・工学部・教授

研究者番号：10111246

