

断面 2 次元流れにおけるヒ素の動態に関する実験

九州大学 工学部 学生会員 越智啓太
九州大学大学院 工学府 学生会員 安藤利博

九州大学大学院 工学府 学生会員 川上馨詞
九州大学大学院工学研究院 正会員 広城吉成

1. はじめに

現在、自然由来の地下水のヒ素汚染が世界各地で問題となっている。汚染地下水を日常的に飲用しているバングラディッシュでは、3000 万人以上の慢性ヒ素中毒患者が存在しており、地下水中のヒ素の除去が課題である。ヒ素は地表近くで主に、3 価および 5 価の無機態として存在しており、特に還元的環境で存在する 3 価のヒ素は、毒性が強く流動性が高いためヒ素汚染の原因と考えられている。しかしながら、ヒ素汚染の過程は不明な点が多く、そのメカニズムを解明することが必要である。

既往の研究¹⁾において、バングラディッシュ Munshiganj 県 Sirajdikhan 地区（図-1）の地下水を対象としたヒ素の調査が行われている。図-1 の A-B 断面の帯水層断面図を図-2 に示す。表層は砂混じりのシルト層であり、深くなるにつれて細砂層、粘土層、粗砂層となっている。また、調査結果から深度 10m 前後の浅い砂層の地下水でヒ素の濃度が高いという傾向が示されていた。一般的に、地質別におけるヒ素の存在度は、砂礫層では低く、粘土やシルト層では比較的高いことが多い²⁾。

本研究において、バングラディッシュの事例を参考にし、図-2 のように粘土層が砂層に挟まれるという実験装置を考案した。粘土層として水田土壌を使用し、水槽内に水田土壌層が砂層に挟まれるように敷きつめた。水田土壌層にヒ素を添加し水槽内の水を流動させることにより断面 2 次元流れにおけるヒ素の動態を明らかにする実験を行った。

2. 実験概要

2-1 実験装置

実験装置の概略を図-3 に示す。A は流入水、B は流出水である。土壌試料には、水田土壌（九州大学伊都キャンパス内の休耕田より採取）、砂を使用した。C は砂層、D は水田土壌層であり、木製の土壌槽（高さ 60cm、幅 150cm、奥行 20cm）内にそれぞれ 20cm 厚に敷きつめた。流入口、流出口は土壌槽高さ 30cm の位置にあり、土壌粒子が詰まらないようにろ紙を敷いた。水位は砂層上端から深さ 10cm の位置になるよう調節した。図-3 の No.1 から No.6 は ORP 計設置位置、採水点を示

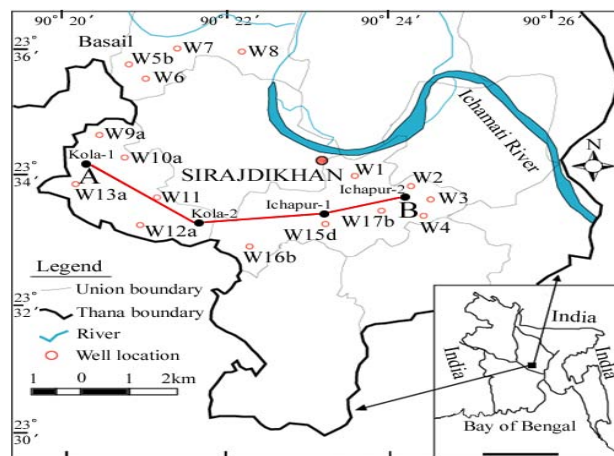


図-1 調査地点の概略

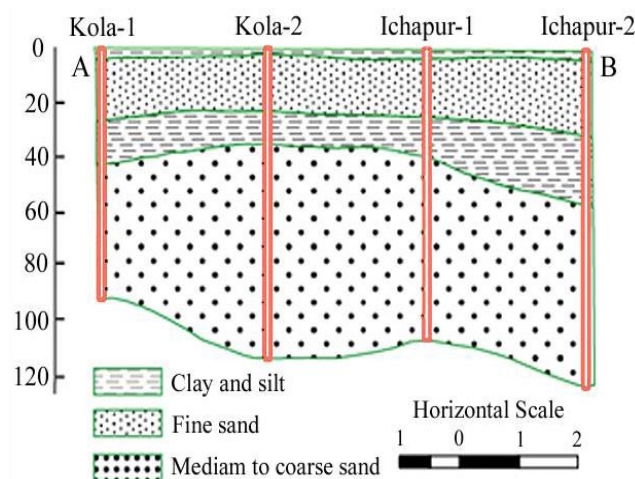
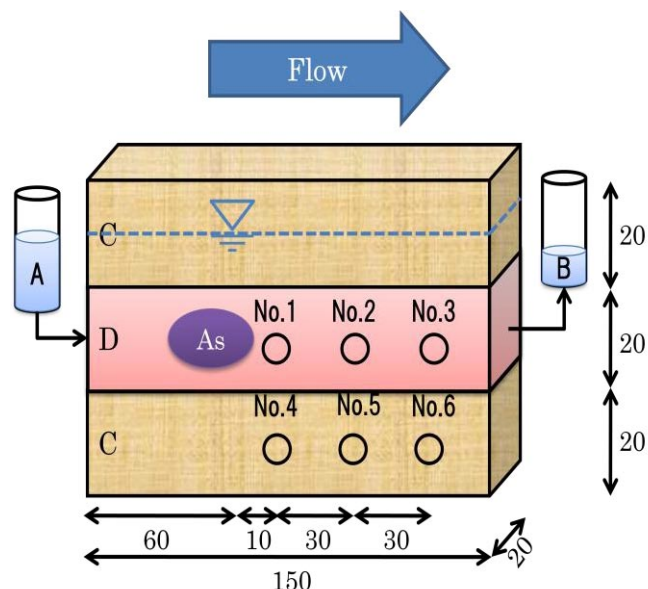


図-2 調査地域の断面図（図-1 の A-B 断面）

しており、図のように配置した。ヒ素は、塊状で純度 98% のものを砕いて粉状にし、7mg 計量したものを水田土壌層 D の流入口から 60cm の位置に添加した。

2-2 実験手順

有機質土壌内では、微生物による酸化還元反応が生じる。酸化還元反応を促進させるために、土壌槽内が飽和状態になるよう水道水を徐々に流入させ、水位の上昇に合わせて土壌試料を入れた。土壌槽を湛水後 15 日間静置させ還元的な状態となったことを確認後、図-3 における A、B に水頭差をつけ土壌内に水道水を流動させ、この時点をもって実験開始とした。流量は約 1.0cm³/min になるよう調節した。なお、採水は土壌槽の採水点（図-3 の No.1 から No.6）で行った。また、実験期間中の室温は約 20℃ で一定に保った。



土壌槽：幅 150cm，奥行 20cm，高さ 60cm，
土壌高さ：砂層 C 20cm，水田土壌層 D 20cm

図-3 実験装置概略

2-3 測定

採水点 (No.1~No.6) を対象に，土壌が還元状態になるまで 15 日間土壌槽を静置させている間は，採水点における標準 ORP (酸化還元電位)，水温を測定し，実験開始後 7 日間，標準 ORP，水温，pH，流量を測定した．測定は 24 時間毎に行った．実験開始後からは，測定と同時に採水を行う予定である．採水した水は，T-As，T-Fe，T-Mn 濃度を ICP-MS で測定，同時に TOC も測定する予定である．

3. 実験結果・考察

土壌を静置させた 15 日間の各採水点 (No.1~No.6) における標準 ORP 値の経時変化を図-4 (No.1~No.3)，図-5 (No.4~No.6) に示す．図-4 は水田土壌層，図-5 は砂層の標準 ORP 値である．図-4 より，水田土壌層の標準 ORP 値は低下しており，十分還元的環境になったと考えられる．一方，図-5 においては，水田土壌層に比べると標準 ORP 値があまり低下しなかった．これは，砂層中の有機物量が水田土壌層に比べ少ないため微生物による酸化還元反応が水田土壌層ほど起こらなかったためであると考えられる．

pH に関しては，水田土壌層 (No.1~No.3) と砂層 (No.4~No.6) との間で違いは見られず，静置開始直後は 7.2~7.5 であり，15 日間静置後は 6.2~6.8 となった．pH が低下しているのは，土壌中の微生物活動の結果生じた H_2CO_3 が式(1)で示される反応によって H^+ を放出するためであり³⁾，還元が進んでいると推察さ

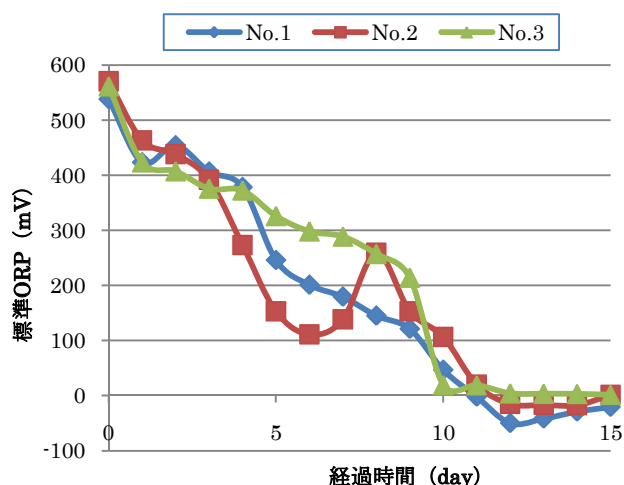


図-4 水田土壌層の標準 ORP の経時変化
(No. 1~No. 3)

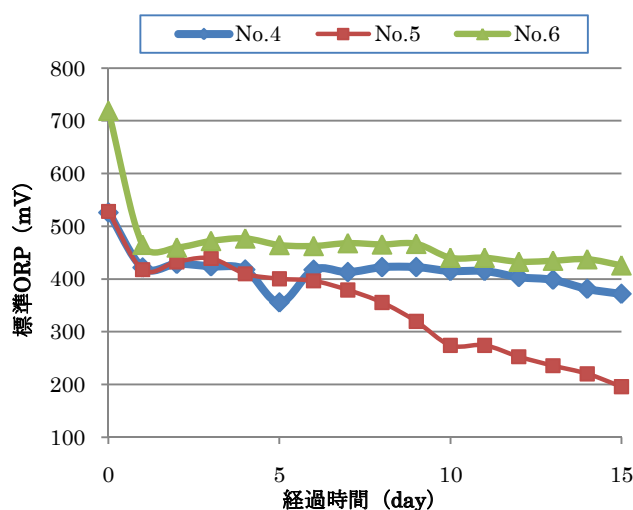
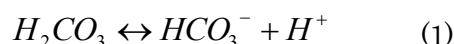


図-5 砂層の標準 ORP の経時変化
(No. 4~No. 6)

れた．



4. 結論

今回の実験で，標準 ORP の値から，水槽内の水田土壌層が還元的環境となっていることが確認できた．また，pH が低下したことから，還元が進んだと推察された．今後は，採水した水の T-As，T-Fe，T-Mn 濃度を ICP-MS で測定し，TOC も測定することで，発表時には断面 2 次元流れにおけるヒ素の動態を明らかにする予定である．

【参考文献】

- 1) 小田圭太(2009)：バングラディッシュの地下水におけるヒ素の溶出特性と関連化学種との統計解析，水工学論文集，第 53 巻
- 2) 島田允堯(2003)：ヒ素に汚染された地下水の起源と問題点，資源地質，53(2)，p161-172
- 3) 日本微生物生体学会(1994)：微生物の生態 19，p99