

イオン強度が多孔質体中のナノバブル挙動に与える影響 Effects of ionic strength on nano-bubble transport in porous media

○濱本 昌一郎* 江尻 哲英* 二瓶 直登* 竹村 貴人** 西村 拓*

Shoichiro Hamamoto*, Akihide Ejiri*, Naoto Nihei*, Takato Takemura**, Taku Nishimura*

1. はじめに

ナノスケールの微細気泡（以後、ナノバブル、NB）は、比表面積が大きく、液体中の滞留時間も長いため、気液界面で高い吸着効果を有する。近年、NB 水を用いた土壤汚染浄化が注目されている。例えば、NB 水を注入することで、NB への汚染物質の吸着作用や NB による汚染物質成分の剥離効果、さらに土壤環境を好気的な環境に促すことで微生物分解促進効果を利用した土壤中の汚染物質・浄化が検討されている。また、農業生産場においても、土壤殺菌や作物生育促進などの効果を期待して NB 水の利活用が検討されている。

NB 水を土壤環境に適用する上で、土壤（多孔質体）内の NB 挙動の理解は必要不可欠である。これまで、NB の多孔質体内での移動特性は、NB 水の注入速度や NB のガス種、また NB 水の pH によって影響を受けることが知られている（Hamamoto et al., 2017, 2018）。これらに加えて、NB 水の電解質濃度や共存イオン種は、NB および多孔質体の表面電位、NB の多孔質体内の移動特性に影響を与えることが予想される。本研究では、ガラスビーズ充填カラムへの NB 水注入実験から、NB 水のイオン強度が NB の流出特性に与える影響を明らかにすることを目的とした。

2. 試料および実験方法

本研究では、加圧溶解法により作成した空気 NB 水（FZ1N-10, IDEC 社）を用いたカラム

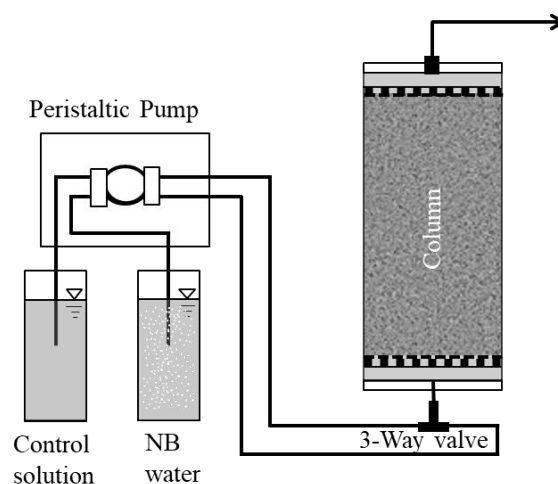


図 1 実験装置概念図

実験を実施した。NB 水生成後、NaCl を用いて異なるイオン強度条件（10, 50, 100 mM）に調整した（NaHCO₃ 添加により pH は 8 で一定）。また、CaCl₂ を用いてイオン強度 10 mM に調整した NB 水も同様に作成した（pH は 6 程度）。共振式質量分析計（アルキメデス、Malvern 社）を用いて得られた NB 水の平均気泡径は約 200 nm であった。NB 水の気泡数密度は $1 \sim 2 \times 10^5$ (個/ml) であった。カラムへの充填試料には、平均粒径 0.1 mm のガラスビーズを用いた。直径 5 cm、高さ 10. cm のアクリル製カラムに所定の乾燥密度（間隙率 34%）で試料を充填した（図 1）。ガラスビーズを充填したカラムに NB 水と同じ pH およびイオン強度に調整した水溶液（Control 水）を通水し、その後 NB 水、Control 水の順で通水した。また、カラム実験終了後に純水による捕捉された NB の洗い流し実験も行った。実験は一定フラック

*東京大学大学院農学生命科学研究科／Graduate School of Agric. and Life Sciences, The Univ. of Tokyo

**日本大学文理学部／College of Humanities and Sciences, Nihon University

キーワード ナノバブル, 多孔質体, 物質移動, イオン強度

ス条件 (5.9×10^{-3} cm/s) で実施し、通水中の流出液を一定時間ごとに採水した。採水後すぐに、採水液の pH、電気伝導度、溶存酸素濃度 (DO)、濁度を測定した。さらに流出気泡の気泡径分布および気泡数濃度を測定した。なお、予備試験結果から、濁度と気泡濃度には明瞭な線形関係が得られたことから、本研究では濁度を気泡濃度の間接的な指標として用いた。

3. 結果および考察

図-2 に、予備実験として実施した異なるイオン強度条件下での NB のゼータ電位測定結果を示す。カラム実験同様、イオン強度は NaCl または CaCl₂ で調製した。両イオン種ともに、イオン強度の増加に伴いゼータ電位の絶対値は低下した。これは、イオン強度増加に伴うイオン雰囲気圧縮によるものと考えられる。また、同イオン強度条件下でも Ca²⁺の方が Na⁺よりもゼータ電位の絶対値は低下し、イオン価数の影響が見られた。

図-3 に異なるイオン強度条件で得られた流出液の相対濁度変化を示す (図中の破線が NB 水注入開始時及び終了時を示す)。NaCl 調整 NB 水では、イオン強度 10、50 mM 条件で、NB 水注入後約 1PV で相対濁度は急激に増加した。NB 水注入時の最大相対濁度は、10 mM 条件では約 0.8 となったものの、イオン強度の増加に伴い最大相対濁度は低下し、100 mM 条件では NB の流出はほとんど見られなかった。高イオン強度条件下では、ガラスビーズと NB との反発力が低下し、NB が多孔質体に捕捉されたものと考えられる。図-3 の実験後に実施した純水による洗い流し実験では、流出液の電気伝導度 (EC) の低下とともに相対濁度は急激に増加し、その後低下する結果が得られた。

CaCl₂ を用いた NB 水 (イオン強度 10 mM) では、NB の流出が見られなかった。さらに、純水による洗い流し実験でも NB は流出しなかったことから、NaCl 調製 NB 水よりも強く多孔質体内で捕捉されたことが考えられる。

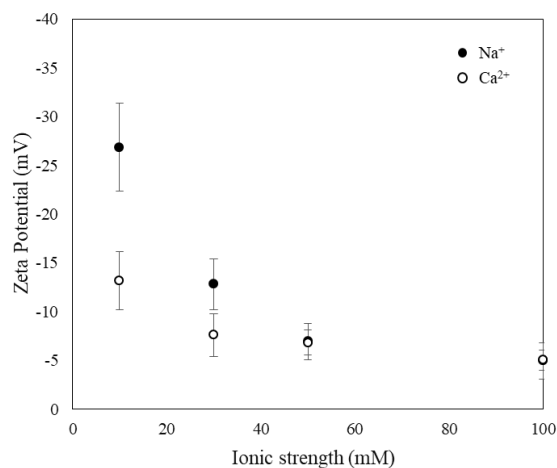


図 2 異なるイオン強度条件下での NB のゼータ電位

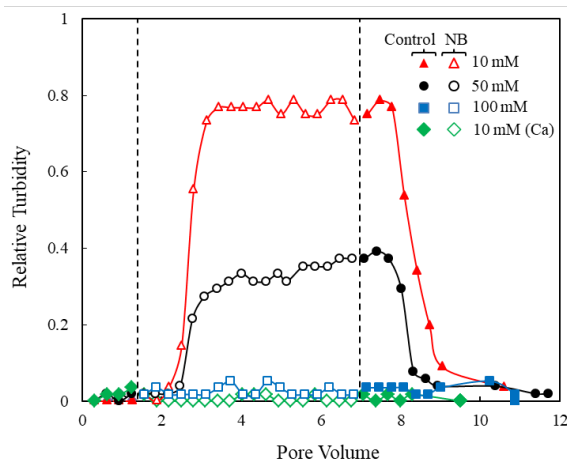


図 3 流出液の相対濁度変化

4. まとめ

微細気泡の流出特性はイオン濃度およびイオン種に大きく影響を受け、高イオン強度条件下で NB の捕捉は増加した。今後さらに実験データを蓄積し、イオン種の影響を詳細に把握していく予定である。

参考文献：Hamamoto et al., 2017. J. Environmental Engineering, 147:1-7.

Hamamoto et al., 2018. J. Contaminant Hydrology (in press).

謝辞：本研究は文科省卓越研究員事業、JSPS 科学研究費助成 (16H04411, 18H01530) の補助を受けた。ここに記してお礼申し上げます。