

令和 6 年 5 月 14 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H01424

研究課題名（和文）気液界面存在下における地盤内のコロイド粒子挙動の解明

研究課題名（英文）Transport of Colloidal Particles in Unsaturated Soils

研究代表者

濱本 昌一郎（Hamamoto, Shoichiro）

北海道大学・農学研究院・教授

研究者番号：30581946

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は気液界面存在下における多孔質体中のコロイド粒子挙動の解明を目的とした。コロイド粒子懸濁液を用いたカラム通水実験から、間隙水の化学組成に応じて封入空気存在がコロイド粒子挙動を促進することが示唆された。また、X線CT画像解析から封入空気存在形態（径・分布）が透水性に影響を与えることを明らかにした。また本実験条件下では、カラム実験およびマイクロ流路実験ともに、陽イオン交換反応下でのコロイド粒子脱着現象は確認できなかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究から封入空気存在が、多孔質体中の通水性ならびにコロイド粒子挙動に影響を与えることを明らかにした。自然土壌環境において、地下水下の飽和帯では封入空気は存在することが考えられ、土壌内のコロイド挙動のより精緻な予測に向けた重要な基礎的知見が得られた。さらに、X線CT画像解析から、吸水下では排水下に比べて連結した空気ネットワークが形成されることを明らかにし、土壌水分ヒステリシスが土壌内物質挙動に与える影響について重要な知見が得られた。イオン交換反応下でのコロイド脱離挙動についても、カラム実験、原子間力顕微鏡、マイクロ流路などの異なるスケールで実験からコロイド挙動を解析した点は学術的意義が高い。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study was to elucidate the behavior of colloidal particles in porous media in the presence of an air-liquid interface. Column experiments using colloidal particle suspensions suggested that the presence of enclosed air promotes colloidal particle behavior, depending on the chemical composition of the porewater. X-ray CT image analysis also revealed that the presence of enclosed air (diameter and distribution) affects the water permeability. Under the conditions of this experiment, no colloidal particle desorption phenomenon under the cation exchange reaction was observed in both the column and microfluidic experiments.

研究分野：土壌物理学

キーワード：コロイド 多孔質体 気液界面 カラム実験 原子間力顕微鏡 マイクロ流路 X線CT

## 様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

国内外の各地で顕在化している「土壌・地下水汚染」問題の解決には、土壌内における汚染物質（重金属類、揮発性有機化合物、放射性物質など）の移動性に関する正確な理解が必要不可欠である。土壌内部には、粘土鉱物や有機物由来の nm ~  $\mu\text{m}$  スケールのコロイド態微粒子が存在する。これらコロイド粒子は、移動性が高く一般的に電荷を帯び比表面積が大きいことから、汚染物質を吸着した形態で土壌内を移動するキャリアー（担体）として働き、土壌・地下水汚染をより広範囲に拡大することが報告されている。

土壌内の汚染物質挙動の評価や土壌浄化にコロイド粒子を利用する際は、コロイド粒子の土壌内移動とその運命予測が鍵を握る。土壌は固相（土粒子・有機物）、液相（間隙水）、気相（空気）からなる三相系である。土壌内のコロイド粒子は、固相・気相や汚染物質への分配を伴いながら、液相内を移動する。多孔質媒体内でのコロイド粒子移動を再現するためには、コロイド粒子の凝集・分散特性、各相間における物質分配（分配係数）、液相における物質移動を規定するパラメータを正しく評価する必要がある。特に、土壌空気は、コロイド粒子の移動場となる液相ネットワークを変化させるだけでなく、気液界面による多種多様な形態でのコロイド粒子の沈着・捕捉に寄与する。しかし、土壌特性（土壌タイプや飽和度）と液相の連結性・屈曲性との関係や、液相の化学的条件（pH やイオン組成）が固液・気液界面での荷電特性およびコロイド粒子との相互作用力に与える影響については、学術的に十分理解されていない点が多く、さらなるデータの蓄積が必要とされている。

### 2. 研究の目的

本研究では、気液界面存在下における多孔質体中のコロイド粒子挙動の実態把握に基づき、不飽和土壌内でのコロイド粒子の土壌内分配・移動特性を解明する。特に、X 線 CT 装置を用いた気液界面存在下での土壌内間隙構造の可視化・定量化に加え、原子間力顕微鏡を用いたコロイド粒子と固体表面間との相互作用力測定、ならびにマイクロ間隙流路を用いた固液・気液界面近傍でのコロイド挙動を把握する。加えて、コロイド懸濁液を用いたカラム通水実験を行う。これらの実験を通して、cm スケールの土壌充填カラムで得られるコロイド粒子の流出挙動に、nm ~  $\mu\text{m}$  スケール（間隙スケール）での界面近傍のコロイド粒子挙動および  $\mu\text{m}$  ~ mm スケールの土壌間隙構造の実態を加味することで、異なる水分飽和度における複雑な土壌系でのコロイド粒子移動特性とその影響要因について統一的な理解を目指す。

### 3. 研究の方法

#### (1) 封入空気および連続空気存在下における間隙構造のキャラクタリゼーション

豊浦砂、三河硅砂 7 号（以下三河小）、三河硅砂 56 号に三河硅砂 7 号を 8:2 の割合で混合した砂（以下三河大）を試料として用いた。物質移動係数測定用（直径 5.0 cm、高さ 5.1 cm）および X 線 CT 撮影用（直径 0.9 cm、高さ 5.2 cm）の円筒カラムに試料を充填した。完全飽和試料は水中充填で作成した。封入不飽和試料を、過酸化水素水溶液を用いた水中充填（以下  $\text{H}_2\text{O}_2$  封入不飽和試料）と、完全飽和試料を排水した後再飽和させる方法（以下再飽和試料）の二種類の方法で作成した。連続空気を含んだ不飽和試料は、完全飽和試料を段階的に排水または吸水することで作成した。飽和透水係数と封入不飽和係数を変水頭法で、不飽和透水係数を圧力制御法で測定した。ガス拡散係数は酸素ガスをトレーサーとしチャンバー法で、通気係数は土壌試料に通風し、土壌試料両端における圧力差と流量から算出した。X 線 CT 装置 (Carl Zeiss METROTOM 1500、空間分解能 10  $\mu\text{m}$ ) を用いて各試料の X 線 CT 画像の撮影を行った。撮影した CT 画像（図 1）から三次元画像を再構築し、画像解析 (EXFact Analysis, NVS) により、気相または液相の屈曲度、経路数、配位数、間隙径分布を算出した。

#### (2) 封入空気存在下における多孔質体中コロイド挙動

X 線 CT 撮影用（ ）とカラム通水実験用（ ）に 2 種類の異なる円筒カラム（内径 0.9 cm 高さ 10 cm、内径 5 cm 高さ 10 cm）を用いた。試料には豊浦砂を用いた。各カラムに乾燥豊浦砂を所定の乾燥密度で充填し、真空状態で給水することで完全飽和試料を作成した。次に、カラムに 70 cm のサクシオンを与えて一日排水させた後、カラム下端から再飽和させることで封入不飽和試料を作成した。封入不飽和環境に調整したカラムの CT 画像を X 線 CT 撮影装置 (Metrotom 1500、Carl Zeiss) を用いて撮影した（空間解像度：11.3  $\mu\text{m}$ ）。得られた CT 画像の輝度値から空気、水、砂粒子に三値化し、それぞれのボクセル数から飽和度を算出した。また、等価球を仮定し封入空気を気泡径の大きさで分類し、封入空気量に対する存在割合を算出した。最後に、全間隙（液相 + 気相）と間隙水（液相のみ）のネットワーク経路（中心軸）を三値化した三次元画像から抽出し、経路長を計算することで屈曲度を算出した。

コロイド粒子としてシリカ粒子（粒径 100 nm）を用いた。コロイド濃度は 200 mg/L とした。NaBr を用いてイオン強度 1 mM に、HCl を用いて pH 5 に調製した。完全飽和または封入不飽和状態のカラムに対して次の通水手順で実験を実施した。カラム下端から上端へ pH 3 の NaCl 水

溶液(1 mM)を 15 PV (PV: 流出流量/液相体積) 通水する。pH 5 の NaCl 水溶液(1 mM)を 15 PV 通水する。コロイド懸濁液を約 10PV 通水する。通水フラックスは約  $1.3 \times 10^{-2}$  cm/s とした。コロイド懸濁液の通水開始後から約 0.3 PV 毎に流出液を採水し、pH、電気伝導度、Br イオン濃度、濁度を測定した。

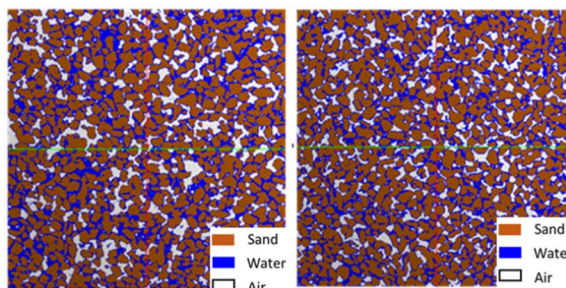


図 1 豊浦砂のX線CT画像例(気相率15%)

左: 脱水過程、右: 吸水過程

### (3) 陽イオン交換反応下における多孔質体中コロイド挙動

カラム通水実験: 平均粒径 500 nm 及び 200 nm のカルボキシラテックス粒子 (CL) を実験に用いた。2 または 0.5 mM に調整した  $\text{CaCl}_2$  水溶液に対して CL を添加し、コロイド粒子濃度が  $10.25 \text{ mg L}^{-1}$  の CL 懸濁液を作成した。pH は  $\text{NaHCO}_3$  を添加することで 7.8 に調整した。充填試料には平均粒径 200  $\mu\text{m}$  の豊浦砂を用いて、直径 5.0 cm、高さ 6.0 cm のカラムに、間隙率 0.39 となるように水中充填した。豊浦砂を充填したカラムに CL 懸濁液と同じ pH 及びイオン強度に調整したコロイドを含まない電解質水溶液 (バックグラウンド水溶液、BG 水溶液) を通水し、その後 CL 懸濁液 (Phase 1) BG 水溶液 (Phase 2) 純水 (Phase 3) の順で通水した。続けて豊浦砂表面において陽イオン交換反応を生じさせるため、NaCl 水溶液をカラムに通水した (Phase 4)。NaCl 濃度は 10 または 50 mM とし、pH は  $\text{NaHCO}_3$  の添加により 7.8 に調整した。最後に再び純水を通水し、豊浦砂粒子表面に沈着した CL の洗い流しを行った (Phase 5)。一定フラックス条件 ( $6.03 \times 10^{-3} \text{ cm s}^{-1}$ ) で通水し、CL 懸濁液の通水開始から約 0.3 PV (PV: 流出流量/間隙体積) ごとに流出液を採取した。

AFM を用いた粒子表面間力の測定: AFM を用いて、水溶液中の粒子表面間力の測定を行った。試料には、表面を親水化した Si 基板と、粒径 6  $\mu\text{m}$  のカルボキシラテックス (CL) 粒子をカンチレバーに付着させたコロイドプローブを用いた。実験条件は以下の 2 つである。10 mM の NaCl 水溶液、2 mM の  $\text{CaCl}_2$ 、 $\text{MgCl}_2$ 、 $\text{ZnCl}_2$  水溶液の 4 種の溶液中でコロイド粒子が基板に接近または離れるときの力-距離曲線を取得した (実験 1)。2 mM の  $\text{CaCl}_2$  水溶液 (溶液 A) 中で力-距離曲線を取得後、周囲の溶液を 10 mM の NaCl 水溶液または純水 (溶液 B) で交換したときの力-距離曲線を取得した (実験 2)。交換は A:B = 1:0, 3:1, 1:1, 1:3, 0:1 となるように段階的に行った。

マイクロ流路モデル実験: マイクロ流路モデルには長さ 60 mm、幅 1.4 mm、深さ 0.05 mm の流路があり、流路中央部には直径 0.2 mm のピラー (円柱) が 0.11 mm 間隔で設置した。溶液を一定の流量  $0.50 \mu\text{L min}^{-1}$  で注入し、マイクロモデルを光学顕微鏡のステージ上に置き、コロイド輸送の様子を直接観察した。2 mM の  $\text{CaCl}_2$  水溶液 ( $\text{NaHCO}_3$  添加により pH7.8 に調整または調整なし)、 $\text{ZnCl}_2$  水溶液 (pH 調整なし) 及び 10 mM の NaCl 水溶液 ( $\text{NaHCO}_3$  添加により pH7.8 に調整) に粒径 1  $\mu\text{m}$  の CL 粒子を添加し、CL 懸濁液 (濃度  $4.55 \times 10^7$  個  $\text{mL}^{-1}$ ) を作成した。組成が CL 懸濁液と等しい電解質水溶液 (BG 水溶液) を通水した後、CL 懸濁液 (Phase 1) BG 水溶液 (Phase 2) 純水 (Phase 3) の順で通水した。続けてピラー表面において陽イオン交換反応を生じさせることを想定し、10 mM NaCl 水溶液を通水した (Phase 4)。最後に沈着した CL 粒子の回収のため純水を通水した (Phase 5)。Phase 1、3、4、5 の開始後、溶液が流路内のピラー設置領域先端に到達してから 10 分ごと (0-60 分) または 30 分ごと (60-180 分) に観察視野の写真を撮影し、撮影画像中のピラー表面に沈着した粒子数の推移を観測した。

## 4. 研究成果

### (1) 封入空気および連続空気存在下における間隙構造のキャラクタリゼーション

$\text{H}_2\text{O}_2$  封入不飽和試料の封入不飽和透水係数は同気相率条件で再飽和試料より小さかった。X 線 CT 画像解析から、 $\text{H}_2\text{O}_2$  封入不飽和試料の方が再飽和試料より微細な気泡の存在割合が高いことがわかった。 $\text{H}_2\text{O}_2$  封入不飽和試料は、微細な気泡が水みちを塞ぐことで透水係数が低下したと考えられる。圧力制御法で測定した不飽和透水係数と体積含水率の関係は、脱水・吸水過程においてヒステリシスがみられなかった。同様に、X 線 CT 画像解析からも、脱水・吸水過程で液相の配位数と平均間隙径で顕著な差はみられなかった。一方、ガス拡散係数と気相率の関係は、特に、豊浦砂と三河小において脱水と吸水過程間でのヒステリシスがみられた。同様の傾向が、通気係数と気相率の関係でもみられた。X 線 CT 画像解析から、同程度の気相率条件下で、脱水過程に比べ吸水過程で配位数が大きく、連結性の高い気相の間隙が存在することがわかった (図 2)。特に、間隙径が大きい程、吸水過程の配位数は高くなる傾向が見られた。吸水過程では粗大間隙を連結する微細な間隙がガス道として機能し、粗大間隙間の連結性が高い (配位数が高い) ことが、脱水過程に比べて通気係数やガス拡散係数が高くなった理由と考えられた。

### (2) 封入空気存在下における多孔質体中コロイド挙動

X 線 CT 画像解析から得られた飽和度は、カラム質量から算出された飽和と一致した。さらに画像解析の結果、カラム下部ほど飽和度は増加し、気泡径の小さな空気存在割合が増加した。

再飽和前のカラム内部の水分分布に起因するものと考えられる。また屈曲度の解析結果から、封入空気存在下では屈曲度の大きい間隙経路が増加することが分かったものの、ピーク屈曲度は封入空気の有無による違いは見られなかった。カラム通水実験については、飽和条件と封入不飽和条件で Br イオンの流出特性はほとんど変わらなかった。この結果から、CT 画像解析により得られた封入空気存在下での屈曲性の高い間隙経路の増加は、イオン動態に影響を与えなかったことが考えられる。一方イオンの流出と比較して、コロイド粒子の流出は遅延し、また最大相対濁度は 1 を下回った。飽和条件と封入不飽和条件を比較すると、封入不飽和条件でコロイド粒子の流出が促進された。pH5 条件下では豊浦砂、シリカ粒子、気泡（気液界面）はともに正味負に帯電しているものの、豊浦砂には正の荷電を有する金属酸化物が存在し、これがシリカ粒子の吸着サイトとなると考えられる。CT 画像の解析結果から、封入空気はカラム内部で比較的均一に分布していたことから、封入空気によってシリカ粒子の吸着サイトへのアクセスが制限され、飽和条件よりもシリカ粒子の流出が早まったと考えられる。

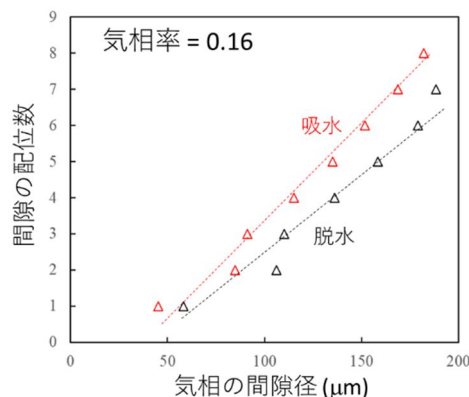


図 2 気相の間隙径と間隙の配位数

### (3) 陽イオン交換反応下における多孔質体中コロイド挙動

Control (Ctrl) 条件では Phase 1 において CL 懸濁液通水中、相対濃度 0.03-0.04 の CL の流出が見られた。Phase 3 において純水を通水すると、相対濃度 0.53 をピークとする CL の流出が確認された。Phase

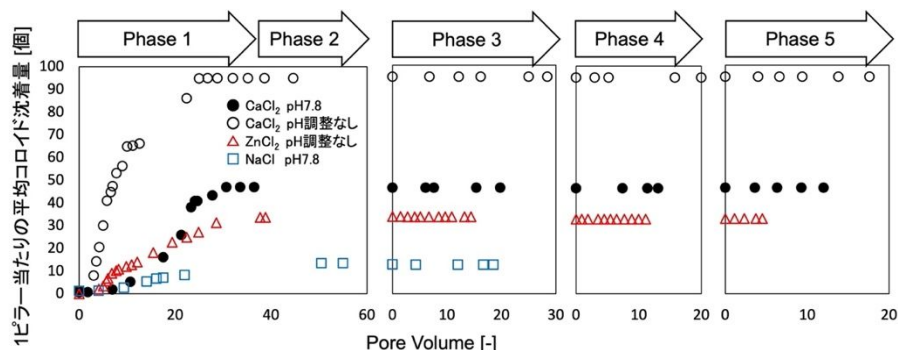


図 3: CL 粒子沈着数の推移

4 において NaCl 水溶液を通水中、すなわち豊浦砂表面において  $\text{Ca}^{2+}$  と  $\text{Na}^+$  の陽イオン交換反応が進行中、CL の流出は確認できなかった。一方、Phase 5 で再び純水を通水し間隙水のイオン強度を下げると、相対濃度 3.40 をピークとする CL の流出が確認された。各 Phase において異なる水溶液通水中のコロイド粒子と豊浦砂粒子の相互作用エネルギーを、DLVO 理論を用いて、ファンデルワールス引力と静電斥力の和として計算した。計算の結果 Phase 4 を代表する 10 mM NaCl 水溶液中において二次極小の存在が確認された。これにより陽イオン交換反応進行中も CL は豊浦砂表面に沈着し、Phase 4 において流出が確認できなかったと考えられる。AFM を用いた表面間力測定の結果、Na 溶液では見られなかった CL 粒子と石英基板間の付着力が Ca や Zn 溶液で存在した。さらに、Ca 溶液から Na 溶液への溶液交換に伴い静電斥力が増大した。図 3 にマイクロ流路モデル実験で得られたピラー当たりの平均コロイド沈着個数を表す。Phase 1 の CL 粒子沈着過程における平均コロイド沈着量の増加率は、CL 沈着の効率を表す。1 価の Na 溶液条件よりも 2 価の陽イオン溶液条件で沈着効率が上がったことや、低 pH 条件の時に沈着効率が高かったことについて、CL 粒子と石英表面間に働く表面間力の測定と整合する結果が得られた。Phase 3-5 において CL 粒子は沈着したままであった一方、同じ条件のカラム実験では、Phase 5 で沈着コロイド粒子の一部脱離がみられた。マイクロ流路内の間隙経路はカラムの間隙経路と比べて屈曲性が低いため水流に淀みが生じにくく、ピラー周囲の流体力学的な抗力が強くなる。そのためマイクロ流路内はコロイド沈着の生じにくい条件であったことが考えられる。

### <引用文献>

- 1 Hamamoto, S., Y. Ohko, Y. Ohtake, P. Moldrup, and T. Nishimura. 2022. Water- and air-filled pore networks and transport parameters under drying and wetting processes. *Vadose Zone Journal*, <https://doi.org/10.1002/vzj2.20205>
- 2 東陸太郎、濱本昌一郎、西村拓. 2022 陽イオン交換反応が飽和多孔質媒体中のコロイド輸送に与える影響, *土壤の物理性*, 150: 105-113.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 4件/うちオープンアクセス 2件）

|   |                             |
|---|-----------------------------|
| 1. 著者名<br>Yuan Xiaoping, Hu Qinong, Lin Xiang, Zhao Chen, Wang Qiming, Tachi Yukio, Fukatsu Yuta, Hamamoto Shoichiro, Siitari-Kauppi Marja, Li Xiaodong | 4. 巻<br>618                 |
| 2. 論文標題<br>Pore connectivity influences mass transport in natural rocks: Pore structure, gas diffusion and batch sorption studies                       | 5. 発行年<br>2023年             |
| 3. 雑誌名<br>Journal of Hydrology  | 6. 最初と最後の頁<br>129172-129172 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1016/j.jhydrol.2023.129172   | 査読の有無<br>有                  |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難  | 国際共著<br>該当する                |

|   |                           |
|---|---------------------------|
| 1. 著者名<br>Lakshani M. M. Tharindi, Deepagoda T. K. K. Chamindu, Li Yuan, Hansen H. F. E., Elberling Bo, Nissanka Sarath P., Senanayake Dassanayake M. J. B., Hamamoto Shoichiro, Babu G. L. Sivakumar, Chanakya Hoysala N., G. Parameswaran T., Arunkumar Pandit G., Sander Bjoern Ole, Clough Timothy J., Smits Kathleen | 4. 巻<br>15                |
| 2. 論文標題<br>Impact of Water Management on Methane Emission Dynamics in Sri Lankan Paddy Ecosystems   | 5. 発行年<br>2023年           |
| 3. 雑誌名<br>Water   | 6. 最初と最後の頁<br>3715 ~ 3715 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.3390/w15213715   | 査読の有無<br>有                |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難  | 国際共著<br>該当する              |

|  |                         |
|--|-------------------------|
| 1. 著者名<br>BANDAI Toshiyuki, HAMAMOTO Shoichiro, RAU Gabriel C, KOMATSU Toshiko, NISHIMURA Taku | 4. 巻<br>65              |
| 2. 論文標題<br>多孔質体の熱物性が固相と液相間の熱平衡・熱非平衡下の熱輸送に与える影響   | 5. 発行年<br>2023年         |
| 3. 雑誌名<br>Journal of Groundwater Hydrology   | 6. 最初と最後の頁<br>125 ~ 139 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.5917/jagh.65.125  | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難   | 国際共著<br>-               |

|   |                    |
|---|--------------------|
| 1. 著者名<br>Hamamoto Shoichiro, Ohko Yushi, Ohtake Yutaka, Moldrup Per, Nishimura Taku                      | 4. 巻<br>21         |
| 2. 論文標題<br>Water and air filled pore networks and transport parameters under drying and wetting processes | 5. 発行年<br>2022年    |
| 3. 雑誌名<br>Vadose Zone Journal   | 6. 最初と最後の頁<br>1-13 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1002/vzj2.20205  | 査読の有無<br>有         |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている（また、その予定である）   | 国際共著<br>該当する       |

|   |                    |
|---|--------------------|
| 1. 著者名<br>Lakshani M. M. T., Chamindu Deepagoda T. K. K., Hamamoto Shoichiro, Elberling Bo, Fu Wei, Yang Ting, Fan Jun, Ma Xiaoyi, Clough Timothy, Smits Kathleen M., Parameswaran T. G., Sivakumar Babu G. L., Chanakya H. | 4. 巻<br>22         |
| 2. 論文標題<br>A new exponential model for predicting soil gas diffusivity with varying degree of saturation  | 5. 発行年<br>2022年    |
| 3. 雑誌名<br>Vadose Zone Journal   | 6. 最初と最後の頁<br>1-15 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1002/vzj2.20236  | 査読の有無<br>有         |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている (また、その予定である)  | 国際共著<br>該当する       |

|  |                         |
|--|-------------------------|
| 1. 著者名<br>東 陸太郎、濱本 昌一郎、西村 拓                                  | 4. 巻<br>150             |
| 2. 論文標題<br>陽イオン交換反応が飽和多孔質媒体中のコロイド輸送に与える影響                    | 5. 発行年<br>2022年         |
| 3. 雑誌名<br>土壌の物理性   | 6. 最初と最後の頁<br>105 ~ 113 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.34467/jssoilphysics.150.0_105 | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難                       | 国際共著<br>-               |

|   |                       |
|---|-----------------------|
| 1. 著者名<br>谷川原 龍之介、小島 悠揮、濱本 昌一郎、神谷 浩二                        | 4. 巻<br>149           |
| 2. 論文標題<br>TDRを用いた水中ファインバブル濃度推定手法の検討                        | 5. 発行年<br>2021年       |
| 3. 雑誌名<br>土壌の物理性  | 6. 最初と最後の頁<br>47 ~ 53 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.34467/jssoilphysics.149.0_47 | 査読の有無<br>有            |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難                      | 国際共著<br>-             |

〔学会発表〕 計8件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件)

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Rikutaro Higashi, Shoichiro Hamamoto, Naoyuki Ishida, Taku Nishimura                 |
| 2. 発表標題<br>Effects of Cation Exchange on Colloidal Particle Behavior near Solid-Water Interface |
| 3. 学会等名<br>日本地球惑星連合大会   |
| 4. 発表年<br>2023年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>東陸太郎、濱本昌一郎、石田尚之、西村拓             |
| 2. 発表標題<br>陽イオン交換反応が固液界面近傍におけるコロイド挙動に与える影響 |
| 3. 学会等名<br>農業農村工学会大会                       |
| 4. 発表年<br>2023年                            |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>HIGASHI, R., HAMAMOTO, S.   |
| 2. 発表標題<br>Effects of cation exchange on colloid transport in saturated porous media |
| 3. 学会等名<br>Tsukuba Global Science Week 2022 (国際学会)                                   |
| 4. 発表年<br>2022年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Atm SAKIUR Rahman, , Shoichiro Hamamoto, , Hiroataka Saito, , Kenichi Tatsumi, , Takemasa Miyoshi, Naoto Nihei, Yasunori Ichihashi |
| 2. 発表標題<br>Coupling of Data Assimilation and Hydrus for Modeling Soil-Water and Heat Transport of Rain-Fed Soybean Field throughout Japan     |
| 3. 学会等名<br>ASA, CSSA, and SSSA International Annual Meetings (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2022年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>山崎琢平、濱本昌一郎、西村拓               |
| 2. 発表標題<br>GeoWEPPを用いた風化花崗岩森林流域の水土砂流出計算 |
| 3. 学会等名<br>農業農村工学会大会                    |
| 4. 発表年<br>2022年                         |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>濱本昌一郎, 大古湧之, 大竹豊, 西村拓        |
| 2. 発表標題<br>土壤空気が間隙ネットワーク特性および物質移動に及ぼす影響 |
| 3. 学会等名<br>土壤物理学会                       |
| 4. 発表年<br>2021年                         |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Rikutaro Higashi, Shoichiro Hamamoto, and Taku Nishimura                 |
| 2. 発表標題<br>Effect of Cation Exchange on Colloid Transport in Saturated Porous Media |
| 3. 学会等名<br>2021 JpGU meeting  |
| 4. 発表年<br>2021年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>東陸太郎, 濱本昌一郎, 西村拓               |
| 2. 発表標題<br>陽イオン交換反応が飽和多孔質媒体中のコロイド輸送に与える影響 |
| 3. 学会等名<br>2021年度農業農村工学会大会                |
| 4. 発表年<br>2021年                           |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

|           | 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号)                        | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号)               | 備考 |
|-----------|--|-------------------------------------|----|
| 研究<br>分担者 | 竹村 貴人<br><br>(Takemura Takato)<br><br>(30359591) | 日本大学・文理学部・教授<br><br><br><br>(32665) |    |



6. 研究組織（つづき）

|       | 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号)                        | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号)                      | 備考 |
|-------|--|--|----|
| 研究分担者 | 大竹 豊<br><br>(Ohtake Yutaka)<br><br>(50425617)    | 東京大学・大学院工学系研究科(工学部)・准教授<br><br><br>(12601) |    |
| 研究分担者 | 杉本 卓也<br><br>(Sugimoto Takuya)<br><br>(70899509) | 筑波大学・生命環境系・助教<br><br><br>(12102)           |    |
| 研究分担者 | 石田 尚之<br><br>(Ishida Naoyuki)<br><br>(80344133)  | 同志社大学・理工学部・教授<br><br><br>(34310)           |    |

|       | 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号)                      | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号)                | 備考 |
|-------|--|--------------------------------------|----|
| 研究協力者 | 西村 拓<br><br>(Nishimura Taku)<br><br>(40237730) | 東京大学・農学生命科学研究科・教授<br><br><br>(12601) |    |

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

| 共同研究相手国 | 相手方研究機関 |
|---------|---------|
|         |         |