

令和 4 年 6 月 30 日現在

機関番号：32682

研究種目：挑戦的研究(開拓)

研究期間：2017～2021

課題番号：17H06251・20K20300

研究課題名(和文)微小重力から過重力条件における多孔質体中の水分移動に対する統一理論の構築

研究課題名(英文)A unified theory for water movement in porous media under microgravity to hypergravity conditions

研究代表者

登尾 浩助(Noborio, Kosuke)

明治大学・農学部・専任教授

研究者番号：60311544

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 19,800,000円

研究成果の概要(和文)：微小重力から過重力までダルシー式の適用が可能であることを実験的に明らかにした。多孔質体が密に充填されている場合、不飽和多孔質体中の水分フラックス密度は重力に依存しないことを明らかにした。微小重力下において多孔質体中の間隙のように小さな空間では水は間隙全体を濡らすので、「間隙中の空気の補足」は発生しなかった。さらに、単一粒子上の間隙拡張部と粒子層境界に形成される間隙拡張部の2種類の「間隙拡張部における浸潤」は、重力の有無に関わらず、一時的に浸潤を阻害した。即ち、透水係数を構成する固有透過率には重力依存性がないことを明らかにした。また、水の物理的性質も重力に依存しないことを実験的に確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

1990年代から続いている微小重力下における多孔質体中の水分移動速度が低下するか否かの論争に終止符を打った画期的な研究である。ダルシー・バッキンガム式の重力依存項に対して重力の影響がないことを1つずつ丁寧に実験的に明らかにした。従来報告されている微小重力下で水分移動速度が低下した原因は、微小重力下では粒子が移動することによって粒子間結合が疎になって水分移動が抑制されたためであることを明らかにした。宇宙農業を実施する際の理論的裏付けとして意義ある研究成果が得られた。

研究成果の概要(英文)：The applicability of Darcy's equation from microgravity to hypergravity was experimentally demonstrated. In the case of densely packed porous media, the water flux density in unsaturated porous media is independent of gravity. Under microgravity, in a space as small as the pore space in the porous media, "air supplementation in the pore" did not occur because the water wetted the entire pore space. Furthermore, two types of "infiltration in pore extensions," on a single particle and pore extensions formed at the boundary of particle layers, temporarily inhibited infiltration regardless of the presence or absence of gravity. The intrinsic permeability, which constitutes the hydraulic conductivity, was found to be independent of gravity. It was also experimentally confirmed that the physical properties of water are also independent of gravity.

研究分野：農業農村工学・土壌物理学

キーワード：微小重力 過重力 多孔質体 放物線飛行実験 落下塔実験 水分浸潤 毛管上昇 水分拡散係数

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

火星表層の水がどのように表層の塵の下に昇華せず氷として残ったのか、どのようにして液状水として地上に流出するのかが明らかでないことを報じた論文 (Malin and Edget, 2000) に接して、研究代表者の登尾と研究分担者の溝口はこれこそ土壌物理学者が解決しなければならない問題だと直感した。2000年に宇宙科学研究所(当時)の研究費(代表:溝口、分担:登尾)を、2004年には日本宇宙フォーラム(当時)の研究費(代表:登尾、分担:溝口)を獲得して、主に低圧条件下での多孔質体中の水分移動を研究対象にした。その後、2012年と2013年にJAXAの学生無重力実験コンテストに登尾の研究室の学部学生による提案が採択され、初めて微小重力(μG)下における多孔質体中の水分移動実験を行った(渡邊, 2013; 名倉, 2013)。この研究成果をもとに2014年に科研費挑戦的萌芽研究(代表:登尾、分担:溝口)を獲得して、更に航空機と落下塔を使った μG 実験を実施した。毛管上昇実験では、ジュレンの式 $h=2\sigma_L \cos\alpha / (gr\rho_L)$ で予測できるように $g \rightarrow 0$ になると水は毛管上端まで上昇 ($h \rightarrow \infty$) し、毛管上端から溢れ出ることはなかった(丸尾, 2015)。また、細管の上に太管を繋いだ管では、水は細管から太管へは侵入しなかった。即ち、名倉(2013)が発見したように管の上端や管の継ぎ目の凸部が水が乗り越えられなかった。砂への水平水分浸潤実験では、 μG 下ではほとんど浸潤しなかった(佐藤, 2016)。これは、ダルシーの法則では、水平浸潤は1Gでも μG でも同様に水が浸潤すると予測される結果とは全く異なっていた。更に、土壌は毛管の集合体と考える従来の仮定が正しいとすると、毛管上昇実験(丸尾, 2015)からも分かるように μG 下の浸潤は1G下よりも大きくなるはずであるが、正反対の結果となった。航空機と落下塔を使った一連の実験結果と従来の理論から予測される結果との矛盾を考えると、毛管中の水の接触角 α が重力依存することで濡れ性が変化して、理論とは矛盾する実験結果になったのではないかと考えた。さらに、このことが正しいければ、 μG からHGに至る多孔質体中の水分移動に関する統一理論が構築できると考えた。

2. 研究の目的

火星表層の水は氷として地下に存在すると考えられる(Karlsson et al., 2015)が、どのように液状水として地上に流出するのかが明らかでない(Malin and Edget, 2000)。さらに、2030年代には火星に向けた有人宇宙ミッション計画が示されており(ISECG, 2013)、地球外における作物生産技術の確立が急がれている。これらの課題を解決するためには、地球上重力(1G)と異なる重力環境(10^{-3}G 程度の微小重力から1.5G以上の過重力)下における多孔質体中の水分移動を把握する必要がある(Jones et al., 2009)。不飽和多孔質体中のマトリックポテンシャル(毛管張力)は毛管上昇理論で、また水分移動はダルシーの法則で表され、水平方向への水分は重力には依存せずマトリックポテンシャル勾配のみで移動することが示唆されている(宮崎ら, 2005)。しかし、我々の研究グループは、微小重力(μG)下ではこれら理論・法則とは相反して砂中への水平水分浸潤が著しく阻害されることを明らかにした(佐藤, 2016)。過重力(HG)下での水分移動に関する知見は更に乏しい状況にある。本申請研究では、微小重力から過重力に至る変動重力下における多孔質体中の水分移動に対する統一理論を構築することを目的とする。

3. 研究の方法

a. 地上実験

三軸ランダム回転式の擬似可変重力発生装置($10^{-3}\sim 5\text{G}$)を使って、水平浸潤実験を行う。擬似 μG 発生時の回転速度 $9^\circ/\text{s}$ は、直径2cm土壌カラムの中心位置の移動速度が1.5mm/sであるので、装置の移動速度より十分に小さい間隙流速である壤質砂土(飽和透水係数 $K_s=0.04\text{mm/s}$)より透水係数が小さい土壌中の水分移動に対しては擬似 μG を長期間維持できる。長期間使用前と使用後の多孔質体を森に送って、間隙構造を解析する。多孔質体に浸潤させる液体として水の他に表面張力が異なる数種類の濃度のエタノール水溶液を使って、浸潤速度への影響を把握する。また、 μG ばかりでなくHG下での浸潤実験も同様な液体を使って実施する。

b. 航空機・落下塔実験

航空機を使った放物線飛行、落下塔、及び遠心機によって μG 及び月重力(1/6G)、火星重力(1/3G)そしてHG(1.8G)を発生させて浸潤実験を行う。浸潤液体には水の他に低濃度のエタノール水溶液も使用する。

c. モデル開発

不飽和多孔質体中の間隙内に偏在する液状水の重力に依存する動態を詳細に把握するために、格子ボルツマン法を使った水分移動モデルを開発する。格子ボルツマン法は、多孔質体中のような複雑な流れ場に対しても適用可能である(谷ら, 2006)。流れ場を格子状に区切り、各格子点上に流体と仮定した密度分布を持った粒子を配し、格子上を移動する粒子同士が衝突を繰り返しつつ密度分布を再配分することで流体の移動をシミュレートする。

d. 土壌センサ開発

微小重力実験に使用する遠隔データ回収機能を持った土壌乾燥密度センサを開発する。開発したセンサは、航空機実験で使う土壌カラムに搭載する。

e. 間隙構造解析

地上実験及び航空機実験に使用する土壌の実験前と実験後の間隙構造を軟X線装置を使っ

て解析する。解析した間隙構造は格子ボルツマンモデルの間隙分布に反映させる。

4. 研究成果

微小重力から過重力条件下における多孔質体中の水分移動に対する統一理論を構築することを目的として研究を実施した。初年度は、微小重力条件下における水を含む液体の毛管中における動態を主に研究対象とした。研究計画に沿って、まず、クリノスタットを使った擬似微小重力条件下における多孔質体中の水分移動実験を行った。その結果、透水係数が小さい多孔質体中の水分移動に対しては重力による方向の依存性はほぼ消去することができたが、透水係数の大きい砂中の水分移動では水分移動速度が重力の方向の影響を受けることがわかった。即ち、透水係数が小さい多孔質体を使った場合は、クリノスタットを使った水分浸潤実験結果は水平方向に設置した土壌カラム内の水分浸潤と同じであることがわかった。しかし、落下塔実験で明らかになった接触角の重力依存性を消すことができないことが判明した。落下塔実験によって水およびエタノールの接触角は微小重力条件下では大きくなることが判明したので、申請書に記載した仮定が証明された。また、種々の毛管間隙構造中の液体移動は微小重力による接触角の変化に影響を受けることがわかった。毛管内の水分移動と多孔質体中の水分移動は、Lucas-Washburn式で表すことができ、微小重力の影響は液体の接触角、粘性係数、及び表面張力に及ぶことを予測した。その中で、接触角の重力依存性に関しては落下塔実験で明らかにした。

過重力下において多孔質体中に CaSO_4 と CaSeO_4 水溶液を鉛直方向に浸潤させた実験は既に行われているが、過重力下での水平浸潤実験、過重力下での水分移動の様子を可視化した研究は未だに行われていない。そこで本研究では水平浸潤の経過を可視化し、連続で実験を行うことのできる過重力実験装置を製作し、その適用性の検討を行なった。高速遠心器を改良して過重力下での水分浸潤実験を可能にする実験装置を完成させた。水分浸潤実験を実施してデータを回収することに成功した。過重力による多孔質体中の水分浸潤への影響は従来の理論がそのまま適用できることが明らかになった。更に、クリノスタット実験で多孔質体の浸潤を観察することで、重力による浸潤溶液の性質の変化の影響を受けず、間隙構造が与える影響のみを評価できると考えられる。本実験では3D-クリノスタットを用いた擬似 μG 下において間隙構造が多孔質体中の浸潤速度と与える影響を評価した。クリノスタット実験のほうが水平浸潤実験より浸潤速度の低下が顕著であった。その要因として、間隙形状の変化が多孔質体の飽和度を低下させ透水係数が低下したと考えられる。50m 落下塔を使って、試作した差圧式粘度計による水粘度の重力依存性を測定した。前年の放物線飛行実験を使った可変重力下で音叉型振動式粘度計による水の重力依存性が確認されていたので、別の原理で作動する圧損式粘度計を作成して微小重力下の粘度を測定した。その結果、重力依存性は確認できなかった。これは、気液界面が大きく存在する音叉型振動式とほとんど存在しない圧損式粘度計の測定法の違いが大きいと考えた。音叉型振動式粘度計は検出部が振り子運動をしているので、固有振動数が重力に依存して変化したと考えられる。

2m 高さの落下塔施設を使って可変重力発生装置の開発を行い、月重力 (1/6G)、火星重力 (1/3G)、微小重力 (μG) に対してそれぞれ 0.57s、0.67s、0.51s の創出に成功した。内径 0.8mm と 2.3mm の毛管中の水分の移動速度は、どちらの内径においても重力が大きくなるにしたがって低下した。2m 落下塔では微小重力時間が 0.51s しか連続しないので、微小重力期間だけバルブを解放する実験装置を作成し、繰り返し落下によって長時間の水分浸潤実験の可能性を評価した。粒径 0.4mm ガラスビーズを均一に充填したカラムを 2m 落下塔から自由落下させて水分浸潤実験を行った。繰り返し落下の衝撃によってカラム内ビーズの配列が変化したり、衝撃による浸潤が発生したが、合計 2 秒程度の短時間であれば、パラボリックフライトによる同様の実験結果と良く一致した。過重力(30.7G)を高速遠心器を使って創出し、0.05mm ガラスビーズを充填した内径 6mm カラムを遠心半径沿いに 197mm 設置した。カラムの 1 端から水を浸潤させて浸潤距離をビデオカメラを使って決定した。同じ実験装置を使って 1G 条件下での水分浸潤距離を測定した。過重力条件下では 6mm の遠心半径の違いから外側の方が水分浸潤距離が大きくなったが、平均浸潤距離を 1G 条件下での実験結果と比較すると、ほぼ同じ浸潤速度と浸潤距離が得られた。このことから、過重力条件下での水分浸潤には、1G で使っている理論をそのまま適用可能であることがわかった。微小重力条件下において 0.8mm 径ガラスビーズに浸潤する水分移動をミリメートルスケールで解析した。ガラスビーズによって作られた間隙中を移動する水の位置を 960fps 動画の 1 フレームごとに抽出し、浸潤速度と滞在時間を決定した。拡大部から狭小部へ向かう途中と狭小部から拡大部へ向かう時に水の滞在時間が長くなることがわかった。

北海道赤平市にある落下塔実験施設 (コスモトール) を使って 2021 年 10 月に 2 週間微小重力実験を実施した。乾燥高密度の異なるガラスビーズ多孔質体中への水分浸潤、液体粘度の重力依存性、および 5kPa 正圧勾配条件下のブルース・クルート法を使って水分拡散係数を調査した。乾燥高密度が小さい多孔質体では、微小重力になるとガラスビーズが移動することが観察されたので、間隙が大きくなることで水分移動に影響を与えたと考えられる。密に充填した場合、微小重力によるガラスビーズの移動は見られなかった。間隙中の水分移動を高速カメラで撮影して解析したところ、微小重力下と 1G 重力下での水分浸潤速度に有意な差は見られなかった。どちらの重力下でも、間隙の水が最大 25 間隙隣の水を利用して間隙中の空洞を水で満たして浸潤することがわかった。水とほぼ同じ粘度を有する無極性のシクロヘキサンと極性を有する水の粘度を振動式粘度計と圧損式粘度計で測定した。振動式粘度計では両方の液体とも微小重力になると粘度が増加したが、圧損式粘度計では両方の液体とも重力による粘度の変化は観測

されなかった。したがって、振動式粘度計の測定原理に重力依存項が存在することが見かけの粘度に重力依存性があるように見せたと考えられる。正圧勾配下における水分拡散係数は、体積含水率の全範囲において微小重力下の方が1G下よりも大きくなった。どのような機構によって生じたかは今後検討する必要がある。正圧勾配を使ったブルース・クルート法による水分拡散係数測定法は、微小重力下における水分拡散係数測定法として本研究で新規に開発した。この測定法は、微小重力下での測定を可能とするばかりでなく、1G条件下では従来よりも短時間で同程度の測定が可能となった。

微小重力から過重力までダルシー式の適用が可能であることが明らかになった。多孔質体が密に充填されている場合、不飽和多孔質体中の水分フラックス密度は重力に依存しないことを明らかにした。また、「間隙中の空気の補足」は観察されなかった。「間隙中の空気の補足」は微小重力下において、ボトルのような巨大な空間が不飽和である場合に発生すると報告されているが、多孔質体中の間隙のように小さな空間では水は間隙全体を濡らすので「間隙中の空気の補足」は発生しなかった。さらに、単一粒子上の間隙拡張部と粒子層境界に形成される間隙拡張部の2種類の「間隙拡張部における浸潤」は、重力の有無に関わらず、一時的に浸潤を阻害した。即ち、透水係数を構成する固有透過率には重力依存性がないことを明らかにした。しかし、この結果は、微小重力下において不飽和多孔質体中では水分フラックス密度が1G下よりも小さくなった先行研究の結果と矛盾するが、多孔質体粒子が移動できるほど間隙率が大きい場合に、先行研究では間隙径が動的に変化することによって多孔質体粒子に不連続な接触が生じることによって固有透過率の重力依存性が発現すると考えた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 佐藤直人, 丸尾裕一, 登尾浩助	4. 巻 69
2. 論文標題 多孔質体中の水分浸潤に対するクリノスタットが作る微小重力条件の評価	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 明治大学農学部研究報告	6. 最初と最後の頁 33-39
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス 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 -

1. 著者名 丸尾裕一, 佐藤直人, 登尾浩助	4. 巻 36
2. 論文標題 形状の異なるガラス細管中の微小重力下における毛管上昇	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Microgravity Science and Application	6. 最初と最後の頁 360206 1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.15011//jasma.36.360206	査読の有無 有
オープンアクセス 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 -

1. 著者名 長沼菜摘, 野川健人, 丸尾裕一, 佐藤直人, 登尾浩助	4. 巻 69
2. 論文標題 蒸留水の接触角と表面張力の重力依存性評価	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 明治大学農学部研究報告	6. 最初と最後の頁 73-79
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス 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 -

1. 著者名 1. Maruo, Y., N. Sato, K. Nogawa, S. Aoki, and K. Noborio	4. 巻 14
2. 論文標題 Pore-scale wetting process of capillary-driven flow in unsaturated porous media under micro-and Earth-gravities	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Water	6. 最初と最後の頁 1995
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/w14131995	査読の有無 有
オープンアクセス 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 -

1. 著者名 Kojima, Y., T. Kawashima, K. Noborio, K. Kamiya, and R. Horton	4. 巻 188
2. 論文標題 A dual-probe heat pulse-based sensor that simultaneously determines soil thermal properties and matric potential	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Computers and Electronics in Agriculture	6. 最初と最後の頁 106331
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.compag.2021.106331	査読の有無 有
オープンアクセス 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 -

〔学会発表〕 計41件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 8件)

1. 発表者名 Maruo, Y., N. Sato, N. Naganuma, K. Nogawa, M. Tsukano, H. Mizutani, and K. Noborio
2. 発表標題 Millimeter scale water movement on convex and concave surfaces of porous media under microgravity
3. 学会等名 EGU General Assembly 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Sato, N., Y. Maruo, K. Nogawa, N. Naganuma, and K. Nobori
2. 発表標題 Infiltration rate in unsaturated glass beads porous media under various gravity made by parabolic flight
3. 学会等名 EGU General Assembly 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Maruo, Y., N. Sato, K. Nogawa, M. Tsukano, H. Mizutani, N. Naganuma, and K. Noborio
2. 発表標題 Gravity effect on water movement in pore space of glass beads porous media under microgravity
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 長沼菜摘, 佐藤直人, 野川健人, 丸尾裕一, 登尾浩助
2. 発表標題 Challenges to measuring of the contact angle and the surface tension of water under reduced gravity
3. 学会等名 JpGU2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 丸尾裕一, 佐藤直人, 長沼菜摘, 野川健人, 登尾浩助
2. 発表標題 微小重力下における毛管中の水分移動速度の低下
3. 学会等名 JpGU2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤直人, 長沼菜摘, 野川健人, 丸尾裕一, 登尾浩助
2. 発表標題 ガラスビーズ多孔質体中の水分挙動と重力の関係
3. 学会等名 JpGU2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 野川健人, 佐藤直人, 丸尾裕一, 長沼菜摘, 登尾浩助
2. 発表標題 低重力下における粘度の変化が浸潤速度に及ぼす影響
3. 学会等名 JpGU2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤直人, 丸尾裕一, 長沼菜摘, 野川健人, 登尾浩助
2. 発表標題 ラボリックフライトによる微小重力下における多孔質体浸潤実験
3. 学会等名 2019生態工学会年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 丸尾裕一, 佐藤直人, 野川健人, 長沼菜摘, 登尾浩助
2. 発表標題 孔質体中水分移動における粘度変化の影響
3. 学会等名 2019生態工学会年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤直人, 丸尾裕一, 長沼菜摘, 野川健人, 登尾浩助
2. 発表標題 低重力下における粒径の均一な多孔質体中の浸潤速度
3. 学会等名 日本マイクログラビティ応用学会第31回学術講演会 (JASMAC-31)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 丸尾裕一, 佐藤直人, 長沼菜摘, 野川健人, 名倉理沙, 上出稜, 登尾浩助
2. 発表標題 毛管中水分移動の重力依存性
3. 学会等名 日本マイクログラビティ応用学会第31回学術講演会 (JASMAC-31)
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 Sato, N., Y. Maruo, N. Naganuma, K. Nogawa, and K. Noborio
2 . 発表標題 Liquid infiltration into glass bead porous media under low gravity conditions
3 . 学会等名 2019 ASA-CSSA-SSSA International Annual Meeting
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Maruo, Y., N. Sato, N. Naganuma, K. Nogawa, and K. Noborio
2 . 発表標題 Gravity dependence of water viscosity in capillary tube analyzed with Lucas-Washburn equation
3 . 学会等名 2019 ASA-CSSA-SSSA International Annual Meeting
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Nogawa, K., N. Sato, Y. Maruo, M. Tsukano, H. Mizutani, and K. Noborio
2 . 発表標題 Measurement of water viscosity using a capillary viscometer under microgravity
3 . 学会等名 2019 ASA-CSSA-SSSA International Annual Meeting
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 佐藤直人, 丸尾裕一, 長沼菜摘, 野川健人, 登尾浩助
2 . 発表標題 多孔質体間隙中の水分毛管移動に対する間隙形状および接触角の影響
3 . 学会等名 COMSOL Conference Tokyo 2019
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 登尾浩助, 佐藤直人, 丸尾裕一, 長沼菜摘, 野川健人, 塚野真穂, 水谷隼人, 橋本博文
2. 発表標題 低重力下における土耕栽培用地中灌漑排水技術の検討
3. 学会等名 第34回宇宙環境利用シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Maruo, Y., N. Sato, and K. Noborio
2. 発表標題 Capillary force under microgravity estimated from Hagen-Poiseuille equation
3. 学会等名 InterPore 10th Annual Meeting and Jubilee (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Noborio, K. and N. Sato
2. 発表標題 Similarity of water movement in porous media under the conditions of microgravity and hydrophobicity
3. 学会等名 InterPore 10th Annual Meeting and Jubilee (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Naganuma, N., N. Sato, Y. Maruo, K. Nogawa, and K. Noborio
2. 発表標題 Effects of shapes of pore throat on water infiltration under microgravity
3. 学会等名 InterPore 10th Annual Meeting and Jubilee (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Sato, N., Y. Maruo, N. Naganuma, K. Nogawa, and K. Noborio
2. 発表標題 Challenges to understanding water imbibition under microgravity by numerical simulation
3. 学会等名 InterPore 10th Annual Meeting and Jubilee (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 長沼菜摘, 佐藤直人, 丸尾裕一, 野川健人, 登尾浩助
2. 発表標題 微小重力下における接触角測定のための2 m落下施設の適用性
3. 学会等名 平成30年度農業農村工学会大会講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 野川健人, 佐藤直人, 長沼菜摘, 登尾浩助
2. 発表標題 重力の変化と粘性の関係
3. 学会等名 2018年度土壌物理学学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐藤直人, 長沼菜摘, 野川健人, 丸尾裕一, 登尾浩助
2. 発表標題 単一間隙内の水分挙動に対する間隙形状および接触角の影響
3. 学会等名 2018年度土壌物理学学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 野川健人, 登尾浩助, 佐藤直人, 長沼菜摘
2. 発表標題 重力の変化が水の粘性に与える影響
3. 学会等名 日本マイクログラビティ応用学会第30回学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤直人, 長沼菜摘, 野川健人, 丸尾裕一, 登尾浩助
2. 発表標題 低重力下における不飽和多孔質体中の水分移動速度
3. 学会等名 日本マイクログラビティ応用学会第30回学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Naganuma, N., N. Sato, K. Nogawa, Y. Maruo, and K. Noborio
2. 発表標題 Measurement of surface tension under microgravity with the maximum bubble pressure method
3. 学会等名 Soil Science Society of America International Soils Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Sato, N., N. Naganuma, K. Nogawa, Y. Maruo, and K. Noborio
2. 発表標題 The behavior of liquids in porous media with different particle size under variable gravity
3. 学会等名 Soil Science Society of America International Soils Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤直人, 長沼菜摘, 野川健人, 丸尾裕一, 登尾浩助
2. 発表標題 多孔質体中の浸潤速度と重力の関係
3. 学会等名 第33回宇宙環境利用シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Sato, Naoto, Yuichi Maruo and Kosuke Noborio
2. 発表標題 Water imbibition in porous media under simulated microgravity conditions
3. 学会等名 ASA-CSSA-SSSA International Annual Meetings 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Maruo, Yuichi, Naoto Sato, and Kosuke Noborio
2. 発表標題 Water movement in T- and Y- shaped capillary tubes under microgravity
3. 学会等名 ASA-CSSA-SSSA International Annual Meetings 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 長沼菜摘, 佐藤直人, 丸尾裕一, 野川健人, 登尾浩助
2. 発表標題 接触角に対する重力の影響と液滴径の関係
3. 学会等名 日本マイクロ重力ティ応用学会第29回学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 佐藤直人, 丸尾祐一, 登尾浩助
2. 発表標題 3D-クリノスタットを用いた擬似微小重力下における浸潤実験
3. 学会等名 土壤物理学会大会2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 長沼菜摘, 佐藤直人, 丸尾裕一, 野川健人, 登尾浩助
2. 発表標題 重力の変化が接触角に与える影響
3. 学会等名 土壤物理学会大会2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 野川健人, 長沼菜摘, 丸尾裕一, 佐藤直人, 登尾浩助
2. 発表標題 微小重力下における毛管中の接触角変化
3. 学会等名 土壤物理学会大会2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Sato, Naoto, Yuichi Maruo and Kosuke Noborio
2. 発表標題 Water movement in porous media under clinostat-made-microgravity condition
3. 学会等名 Joint Graduate Seminar between Kasetsart University and Meiji University
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Maruo, Yuichi, Naoto Sato, and Kosuke Noborio
2. 発表標題 The effect of shapes of glass tube on water movement driven by capillary force under microgravity
3. 学会等名 Joint Graduate Seminar between Kasetsart University and Meiji University
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 佐藤直人, 丸尾裕一, 長沼菜摘, 野川健人, 登尾浩助
2. 発表標題 低重力下における農地の水循環
3. 学会等名 日本農業気象学会2018年全国大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 人見晋貴, 丸尾裕一, 野川健人, 佐藤直人, 登尾浩助
2. 発表標題 2m落下装置を用いた低重力環境の作出
3. 学会等名 2021年度(第70回)農業農村工学会大会講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤直人, 丸尾裕一, 野川健人, 長沼菜摘, 登尾浩助
2. 発表標題 低重力下における多孔質体中の鉛直上方浸潤速度の測定
3. 学会等名 2021年度(第70回)農業農村工学会大会講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 丸尾裕一, 佐藤直人, 野川健人, 長沼菜摘, 塚野真穂, 水谷隼人, 登尾浩助
2. 発表標題 微小重力下における不飽和多孔質粒子上の浸潤現象
3. 学会等名 2021年度(第70回)農業農村工学会大会講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 丸尾裕一, 佐藤直人, 野川健人, 登尾浩助
2. 発表標題 キャピラリーバリアにおける水分フラックスの重力依存性
3. 学会等名 第72回農業農村工学会関東支部大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	溝口 勝 (Mizoguchi Masaru) (00181917)	東京大学・大学院農学生命科学研究科(農学部)・教授 (12601)	
研究分担者	加藤 雅彦 (Kato Masahiko) (00578312)	明治大学・農学部・専任准教授 (32682)	
研究分担者	小島 悠揮 (Kojima Yuki) (70767475)	岐阜大学・工学部・准教授 (13701)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	森 也寸志 (Mori Yasushi) (80252899)	岡山大学・環境生命科学研究科・教授 (15301)	

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