

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 Measurement of upward infiltration rate in porous media under low-gravity

○佐藤直人*, 丸尾裕一**, 野川健人**, 長沼菜摘**, 登尾浩助*

○Naoto Sato*, Yuichi Maruo**, Kento Nogawa**, Natsumi Naganuma**, and Kosuke Noborio*

1. 背景

月・火星の有人探査に必要な生命維持システムの一つとして「宇宙農業」が検討されている。特に低重力下における土耕栽培を実現するためには、低重力下における多孔質体中の水分挙動を理解することが必要である。先行研究では粒径 1.5 mm のガラスビーズを用いた多孔質体において微小重力(μG)下で測定された浸潤速度が理論値に比べて小さかったことが報告されており^[1], 従来の水分移動理論が低重力下において適用可能であるか疑問視されている^[2]。Yendler et al.^[1]は μG 下で観察された浸潤速度の低下について, 少ない実験の結果だけでは統計的な正当性が無いと述べ, より多くの低重力実験の必要性について言及している。そこで本研究では, パラボリックフライトを用いて作出した低重力下において浸潤実験を行い, 多孔質体中の水分移動の重力依存性について検討を行った。

2. 実験方法

2.1 低重力環境の作出

航空機を放物線飛行させることにより低重力環境を作出するパラボリックフライトを用いて, μG , 1/6G, 1/3G を作出した。1 回の放物線飛行(PF)における各低重力継続時間は, μG について 18 秒, 1/6G について 21 秒, 1/3G について 28 秒であった。 μG 環境を 3 回, 1/6G 環境を 3 回, 1/3G 環境を 5 回作出し, 以下の鉛直上方浸潤実験を実施した。

2.2 鉛直上方浸潤実験

多孔質体試料として, 粒径 0.2 mm, 0.4 mm, 0.6 mm のガラスビーズを用いた。透明アクリル製の円筒カラム(内径 24 mm, 長さ 135 mm)に多孔質体試料を 1.58 g/cm³ の乾燥密度で充填し, 鉛直に設置した。水源は内径 30 mm の透明アクリルパイプを用いて作製し, 多孔質体の下端と接続した。水源の上部は電磁弁により閉じておき, 低重力下でのみ開放することにより, 低重力下でのみ多孔質体中の浸潤が進行するように制御した。浸潤により水源から吸水された浸潤溶液を各 PF の間に補給し, 水源の水位を一定に保つため, 水源をマリオット管と p 接続した。使用した浸潤実験装置の概要図を図 1 に示す。

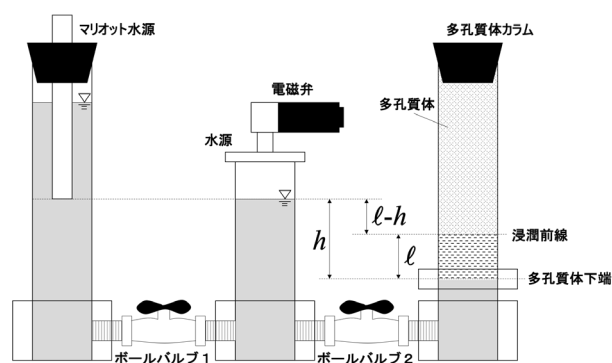


図 1 浸潤実験装置概要図

Fig. 1 Infiltration experiment apparatus

* 明治大学農学部, School of Agriculture, Meiji University

** 明治大学大学院農学研究科, Graduate School of Agriculture, Meiji University

キーワード: 水分移動, 浸潤, 重力

2.3 理論

1次元の鉛直上方浸潤における浸潤速度(dl/dt)は次のように表される[3].

$$\frac{dl}{dt} = (C + Ggh) * \frac{1}{l} - Gg \quad [1]$$

ここで C , G は $1G$ 下における水平浸潤実験および鉛直上方浸潤実験によって得られる実験定数, g は重力加速度, h は多孔質体下端にかかる水頭圧, l は浸潤距離である. 各低重力下における浸潤速度の理論値は重力加速度に $0, 1.63, 3.27 \text{ m/s}^2$ を入力することによって計算した.

3. 結果と考察

μG , $1/6G$, $1/3G$ 下における粒径 0.2 mm , 0.4 mm , 0.6 mm ガラスビーズ中の浸潤速度を図 2 に示す. プロットは実測値を示し, 実測値に対する近似直線および 95% 予測区間が黒の点線および実線で示されている. 赤線は[1]式による理論値である. ほとんどの条件において理論値と実測値に有意な差は見られなかったが, 0.4 mm ガラスビーズの μG および $1/6G$ においては, 理論値に比べて実測値が有意に低下した. 特に μG 下において観測された浸潤速度の低下率は 14% であったが, Yendler et al.[1]が 1.5 mm ガラスビーズで観察した低下率(68%)に比べると小さいものであった.

引用文献 [1] Yendler, B. S. et al. (1996), Adv. Space Res., 18, 4/5, 233. [2] Mohamed, A.M.O. et al. (2002), Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering, 128, 10, 814. [3] Sato, N. et al. (2019), Proc. of 2019 SEE conf., 19.

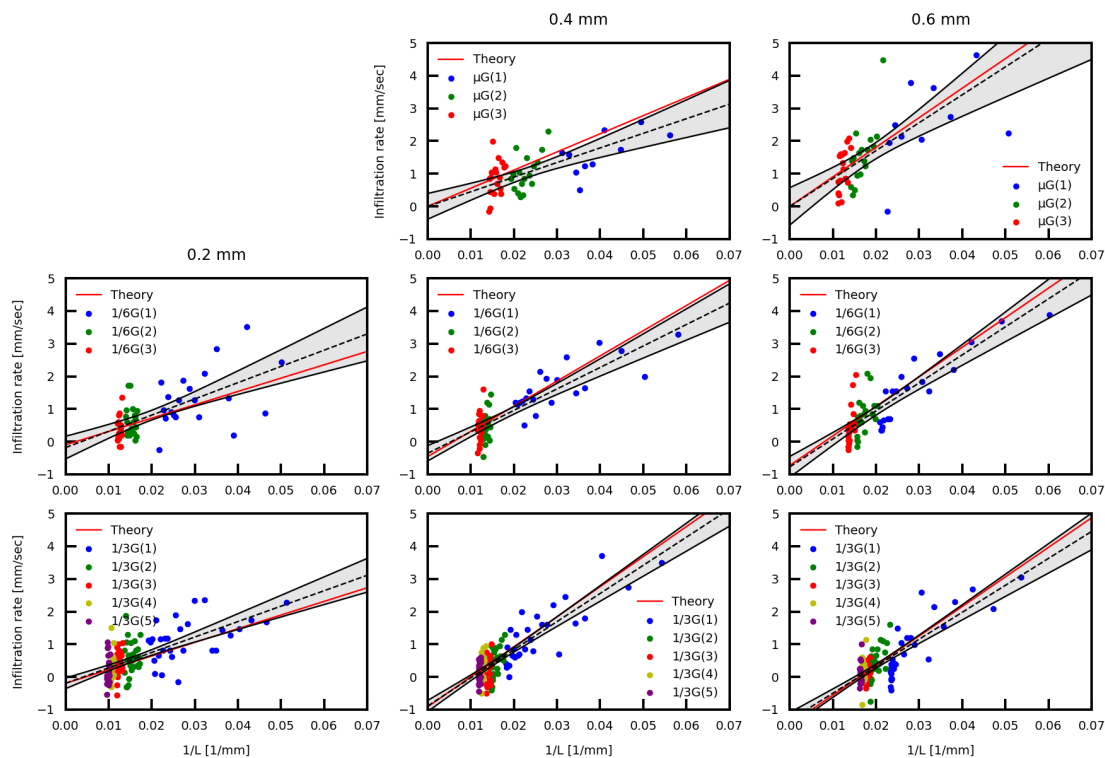


図 2 低重力(μG , $1/6G$, $1/3G$)下における様々な粒径をもつ多孔質体中の水分移動速度の理論値 (赤線) と実測値 (プロット) の比較

Fig. 2 Comparison between Predicted infiltration rate (red solid line) and measured infiltration rate (plot) in porous media with various particle sizes under μG , $1/6G$, and $1/3G$.