

降雨中の浸潤に伴う土中空気圧変化とメタンガス噴出
Soil air pressure change and methane eruption from soil
caused by infiltration during a rainfall event

○伊豆本聡* 濱本昌一郎* 井本博美* 川本健** 西村拓*

○Satoshi Izumoto, Shoichiro Hamamoto, Hiromi Imoto, Ken Kawamoto, Taku Nishimura

背景と目的 降雨浸潤時のメタンガス移動についての理解は、嫌氣的条件下にある水田やゴミ埋立場から発生するメタンガスを適切に評価するために重要である。これらの場所では、浸潤時に土中空気が排気されにくいいため、浸潤に伴い土中空気が圧縮することが知られており (Hammecker et al., 2003), 環境条件次第では土中空気が噴出すると考えられる。

浸潤に伴う空気噴出特性については、土中の初期水分が少ないほど空気圧縮時の圧力が高くなることが知られている (Grismer et al., 1994)。また、降雨強度が大きいほど空気圧縮が始まる時間が早くなり、土中空気圧の上昇幅も大きくなること (壇上ら, 2015), 湛水が起こらない場合でも空気圧縮が起こること (Wang et al., 1998) が報告されている。このように、既往の研究では土中の初期水分や給水条件が噴出特性に与える影響に注目した研究例が多い。一方で、ガス生成速度や土の締固め度が場所によって大きく異なるにも関わらず、それらの影響を検討した例は少ない。したがって本研究では、ガス生成速度や土の締固め度が、浸潤に伴う土中ガス移動に与える影響を明らかにすることを目的とした。

実験方法 まず、バッチ実験でカラム充填土中のメタンガス挙動にメタン酸化が与える影響を評価した。試料を乾燥密度 1.60 g cm^{-3} , 1.50 g cm^{-3} , 1.40 g cm^{-3} で体積 50 cm^3 のステンレス製容器に充填した。乾燥密度 1.60 g cm^{-3} の試料については含水比を 12%, 16%, 20%, その他の試料は含水比 20% に調整した。試料を詰めた容器を密閉容器に入れ、メタン濃度が約 5% となるようにメタンガスを注入した。8 時間間隔でガスを採取し、ガスクロマトグラフを用いて、メタン濃度を測定した。測定は 48 時間行った。

次にカラム実験を行った。カラム装置図を図 1 に示す。カラムは高さ 55 cm, 内径 10 cm であり、上部に降雨装置, 下端にガス流入口を取りつけた。試料を乾燥密度 1.60 g cm^{-3} , 1.50 g cm^{-3} , 1.40 g cm^{-3} で 30.5 cm まで充填し、メタン 5%, 窒素 95% の混合ガスを下端から注入した。ガス流入速度 (≡生成速度) を 3 段階, 降雨強度を 2 段階変えて実験を行い、土中空気圧, 水分量, ガス濃度 (カラム内部, ヘッドスペース部), 温度の変化を測定した。

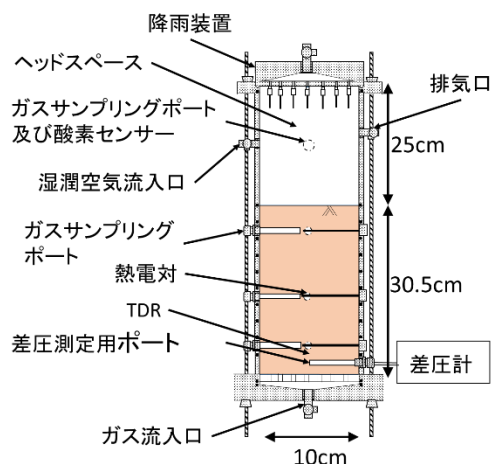


図 1. カラム装置図
Column setup

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

**埼玉大学大学院理工学研究科 Graduate School of Science and Engineering, Saitama University

キーワード: 降雨, 浸潤, 非排気条件, 空気圧縮, 空気噴出, メタン酸化, 土中空気圧

結果 バッチ実験を行った結果、メタン酸化速度は最大でも $2.8 \times 10^{-3} \text{ mL h}^{-1} \text{ cm}^{-3}$ であり、カラム実験中のメタンガス動態にメタン酸化は影響しないと考えられた。

図2に、乾燥密度 1.40 g cm^{-3} 、ガス流入速度 0.15 mm min^{-1} において異なる降雨強度条件下で、土中空気圧から湛水深分の水圧を差し引いた値の時間変化（土中空気を押し上げる圧力）の比較を示す。降雨強度が大きい場合、土中空気圧が乱高下した。これは、浸潤部分の間隙が完全に水で塞がった結果、土中空気が逃げられなくなり、圧縮と噴出を繰り返したためであると考えられる。各噴出における噴出前後の土中空気圧の差 (ΔP) の相対度数分布を求めた。図3にガス流入速度 0.15 mm min^{-1} における異なる乾燥密度条件下の ΔP の相対度数分布を示す。乾燥密度が高いほど、高 ΔP の相対度数が高くなった。これは、間隙径が小さいほどガス噴出に要する気圧が高くなったためであると考えられる。

乾燥密度 1.60 g cm^{-3} の異なるガス流入速度条件下における噴出間隔 (Δt) の相対度数分布を図3に示す。ガス流入速度が 0.15 mm min^{-1} の場合と比較して、ガス流入速度が 0.50 及び 0 mm min^{-1} の場合、 Δt が小さい噴出が相対的に多く生じた。これは、噴出間隔が短い連続的な噴出が生じたためである。ガス流入速度が 0 mm min^{-1} の場合、空気圧縮時に土の一部が数 mm 盛り上がった。その結果、間隙が大きくなり、連続的な噴出が生じやすくなったと考えられる。

まとめと今後の予定 浸潤部分の間隙が完全に水で塞がるような条件では、メタンの噴出が生じると考えられる。土の締固め度が高いほど、噴出に要する圧力が高くなった。土の間隙構造が変化しない場合、メタンガス発生速度が小さくなると、噴出間隔が長くなると考えられる。今後は、得られた実験結果をもとに、空気圧縮と噴出のメカニズムを検討し、土中空気圧変化のシミュレーションを試みる。

参考文献 Hammecker et al., 2003, *Eur. J. Soil Sci.*, 54, 491-503; Grismer et al., 1994, *J. Irrig. Drain Eng.*, 120, 775-795; 壇上ら, 2015, *地盤工学ジャーナル*, 10, 81-92; Wang et al., 1998 *Water Resour. Res.*, 34, 213-222
謝辞: 本研究を遂行するにあたりご助言を頂きました埼玉県環境科学国際センター長森正尚研究員に感謝致します。

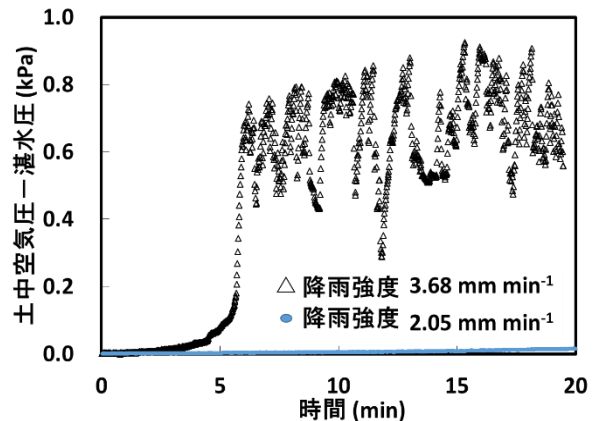


図2. 異なる降雨強度条件下の土中空気圧から湛水深変動分の水圧を引いた値の変化
Pressure change
under different rainfall intensity

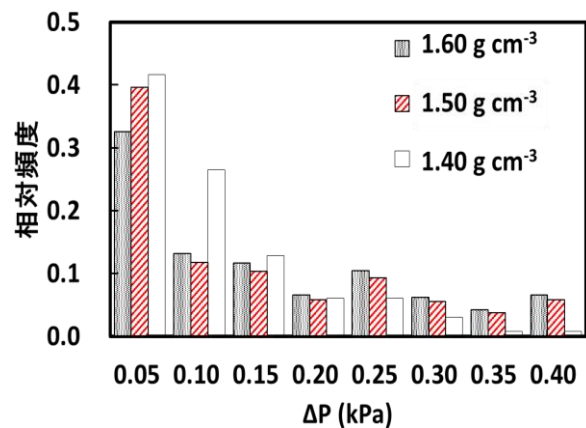


図3. 異なる乾燥密度条件下の ΔP の相対度数分布(横軸は各階級の最大値)
Relative frequency of ΔP
under different bulk density

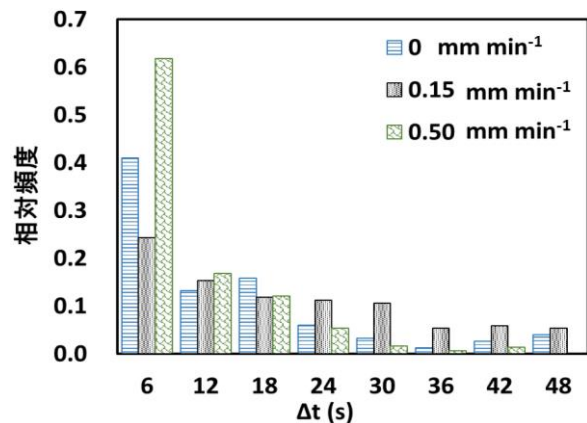


図4. 異なるガス流入速度条件下の Δt の相対度数分布(横軸は各階級の最大値)
Relative frequency of Δt
under different gas flux