

乾いた凍土中での浸潤水の凍結が浸潤や地温分布に与える影響 Moisture and Temperature Distribution in Frozen Dry Sand during Infiltration

○佐藤 郁弥・渡辺 晋生
Fumiya Sato and Kunio Watanabe

はじめに 比較的乾いた凍土には、降水や融雪水が浸潤する。この時、浸潤前線は間隙中での再凍結、水みちや氷板の形成をとめないながら降下する。こうした現象の理解は、寒冷地の土中の物質動態や微生物活性、融雪水による地下水涵養を考える時に重要である。しかし、浸潤水がどのタイミングでどのように凍結し、地温にどんな影響を与えるのか、凍結が浸潤の経路や速度にどのような影響を与えるのかはよくわかっていない。そこで本研究では、まず、未凍土と凍土への浸潤の違いを確認し、そして、浸潤水の凍結が浸潤の形態や速度、温度分布の形成に与える影響を明らかにすることを目的とした。

試料と方法 内径 7.75 cm、高さ 40 cm のアクリル鉛直カラムに、風乾した鳥取砂丘砂を乾燥密度 1.5 g/cm³で充填した。カラムに 1 cm 間隔で熱電対を、5 cm 間隔で EC-5 土壌水分センサと四極センサを側面より挿入した。カラムを 3°Cあるいは-10°Cの恒温庫に 12 h 以上静置することで、試料に初期温度分布を与えた。カラム側面を断熱後、定流量ポンプと降水装置を用いて 5°Cの水を $p = 20, 23, 25, 30, 150, 300, 600$ cm/day で試料に滴下した (Fig. 1)。この際、試料中の温度と液状水量を 10 秒間隔でモニタした。また、任意の時間にカラムを解体し、試料内の水みち(浸潤経路)の様子を確認するとともに、各深さの全水量を求めた。そして、全水量と液状水量の差から含水率を求めた。

結果と考察 乾いた凍土に一定の速度で水を滴下すると、滴下速度 $p > 30$ cm/day においてはすべての水が浸潤し、 $p < 30$ cm/day においては地表面に氷板が形成された。氷板は滴下速度が遅いほど大きくなった。Fig. 2 に滴下速度 $p = 150$ cm/day のときの、試料中の水分と温度の分布を示す。滴下を開始すると、試料上端から含水率が増加し浸潤前線が次第に降下した。含水率は浸潤前線より上方では約 0.2 と一定だった。含水率も深さによらず、約 0.1 と一定だった (Fig. 2 の灰色部分)。滴下速度 p が速くなると含水率は飽和に近づいたが、含水率の違いは見られなかった (Fig. 3)。浸潤時には、滴下速度によらず、土中に一定量の氷が形成されると考えられる。ここで、試料を解体して断面を観察すると、水が流下した領域(水みち)としなかった乾いた領域に分けられた。また、水みちはいずれも一本で分岐はほとんど見られず、水みち内は概ね飽和していた。Fig.3 の含水率の違いから、滴下速度が速くなるに従い水みちが太くなるとみなせる。

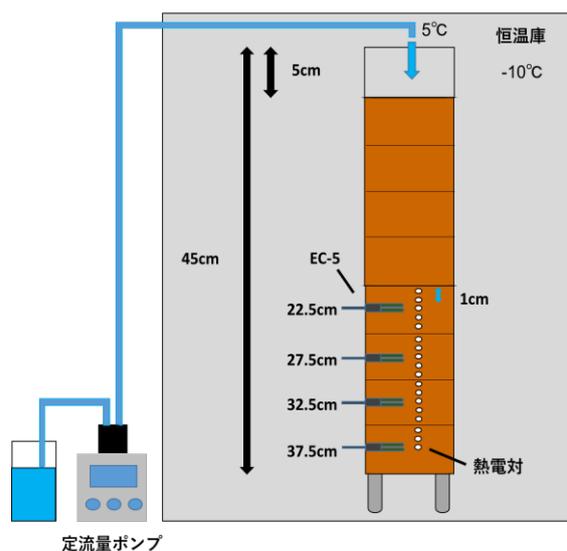


Fig.1 Experimental apparatus

三重大学大学院生物資源学研究所 Graduate School of Bioresources, Mie University

キーワード：凍土，土中氷，浸潤，水みち

試料の温度は浸潤前線が到達すると急激に上昇した (Fig. 2). また, 5°Cの水を滴下したにもかかわらず 0°Cの領域がしばらく保持された. 水分の前線部 (例えば Fig. 2 の線①と②の間) は温度の前線部 (例えば線③と④の間) の2倍程度長かった. また, 0°C以下にも関わらず下方への水の浸潤が継続した. 浸潤水の凍結は浸潤前線先端部で生じており, この際, 氷は通水にあまり寄与しない小さな間隙や水みちの周囲に形成されたと考えられる.

浸潤前線の進行速度は浸潤初期から最後まで概ね一定だった. また, 前線の形も水分, 温度ともに浸潤中一定に保たれた. そこで, 前線先端部の深さと時間の関係から平均の浸潤速度 i を求めた (Fig. 4). 凍土, 未凍土いずれも滴下速度 p が速くなるほど浸潤速度 i は速くなった. また, $p > 30$ cm/d においては凍土の浸潤速度は, 未凍土への 5°Cの水の浸潤速度の約 0.8 倍であった. これは 0°Cと 5°Cの水の粘性の差に起因する透水性の違いによると考えられる. ここで, 浸潤速度 i を平均体積含水率と滴下速度の積 $\bar{\theta}p$ と比較した (Fig. 5). 滴下速度 $p > 30$ cm/day においては, $i/\bar{\theta}p$ は約 1.2 で一定となった. 一方, $p < 30$ cm/day においては, $i/\bar{\theta}p$ が 1 より小さくなった. すなわち, 乾いた凍土に水が速く供給された場合, 浸潤水の一部が凍結しその潜熱で地温を 0°Cにするものの, こうした凍結は浸潤速度にはあまり影響を与えず, 水は水みちの中を飽和しながら流下すると考えられる. 一方, 水の供給速度が遅くなると浸潤は水の凍結により遅延する. こうした遅延には氷板形成による浸潤水量の低下が大きく関わるものの, 間隙氷の影響については今回はよくわからなかった. 氷板を形成する臨界の滴下速度や形成する深さは, 試料や流入水, 環境の温度条件や試料の透水性や成層構造にも依存する. このため, 今後のさらなる検討が必要である.

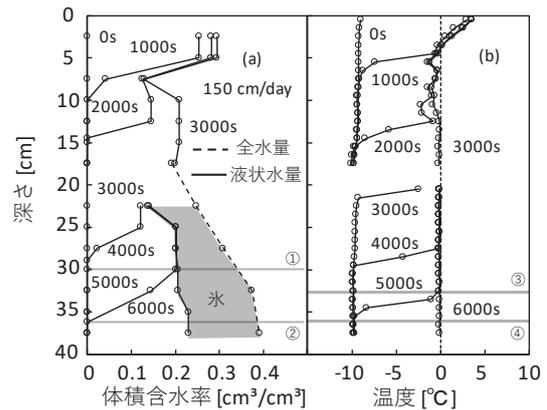


Fig.2 Profiles of (a)water content,(b)temperature

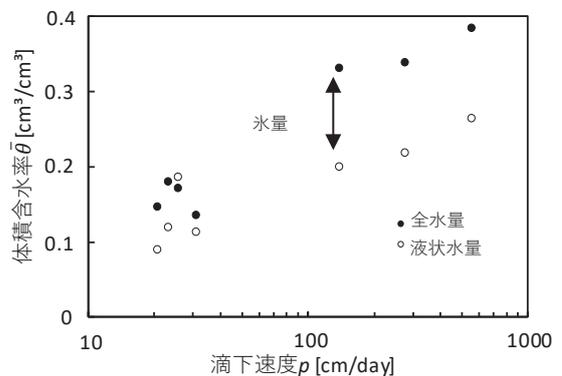


Fig.3 Drip rate p vs Water content $\bar{\theta}$

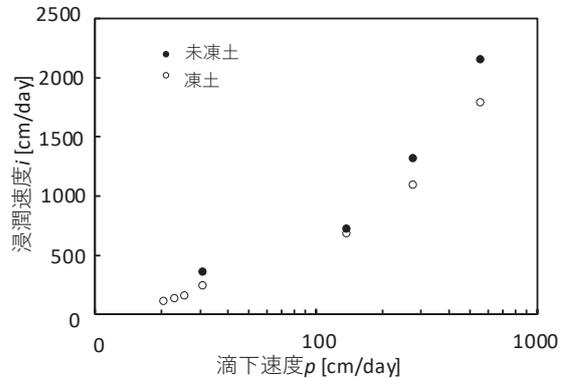


Fig.4 Drip rate p vs Infiltration rate i

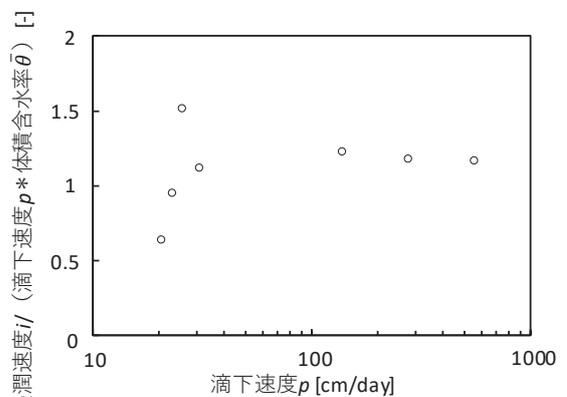


Fig.5 p vs $i/\bar{\theta}p$