

凍結層を持つ土への浸潤に浸潤水の溶質濃度が及ぼす影響 Infiltration of KNO_3 solution into frozen soils

紀藤哲矢・〇渡辺晋生・取出伸夫

Tetsuya KITO, Kunio WATANABE, Nobuo TORIDE

はじめに 寒冷地では、冬期に地表から凍土層が発達し、春先に融雪水が凍土層へ浸潤する。こうした融雪水の浸潤過程は、融雪水が地表で再凍結することで浸潤が停滞する期間、凍土により浸潤速度が抑制される期間、未凍土とほぼ同様の速度で凍土層下を浸潤が進行する期間に分けられる。また、凍結期の土中水分量が多いほど浸潤停滞期間と抑制期間が長くなり、抑制期間の浸潤速度が遅くなることが既往の研究によって示されている。一方、融雪水には秋播の堆肥や硫化アンモニウムなどの化学肥料が溶解することも多く、こうした溶質の浸潤過程への影響は未だよく分かっていない。そこで本研究では、凍土の融解・浸潤速度と浸潤水の溶質濃度の関係を明らかにすることを目的にカラム実験を行った。

試料と方法 試料には北海道芽室の畑土を用いた。試料を内径 7.8 cm、高さ 35 cm のアクリル鉛直カラムに、採土時の乾燥密度 (0.95 g cm^{-3})、任意の体積含水率 ($0.46 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) で充填した。カラムには側面より熱電対を 1 cm 間隔で、TDR とテンシオメータを 5 cm 間隔で挿入した。カラム側面を断熱し、 3°C の低温室に 48 h 静置した後、試料上下端の温度を -6°C と 2°C に制御することで、試料を上端から下方に凍結した。試料の凍結中、カラムへの給排水はなしとした。凍結 48 h 後、上下端の温度制御を停止し、下端を 3°C の大気に開放するとともに、上端より KNO_3 溶液 (0, 0.05 M) を 15 cm の湛水条件で給水した。実験中、温度、土中水圧、液状水量 (凍土内については不凍水量)、積算浸潤量を 5 分間隔で測定した。なお、不凍水量は異なる全水量毎に求めた検量式を用いて TDR の読み値から決定した。また、浸潤前線の形状を概ね矩形と見なし、前線の位置を TDR の読み値が急激に変化した地点とした。実験は 2 連で行い、凍結終了時に片方のカラムを 2.5 cm 間隔で切断し、炉乾により全水量分布を求めた。融解過程の凍土の全水量については、浸潤前線到達前は凍結終了時の全水量と、浸潤前線通過後は試料が完全に融解した後の全水量とそれぞれ等しいと仮定した。そして、全水量と不凍水量との差から凍土内の水量を算出した。

結果と考察 Fig. 1(a)に、凍結終了時の温度と水分分布を示す。水分分布の破線は不凍水量であり、実線の全水量との差は水量を示す。試料を上端から凍結すると、未凍土からの水分移動により凍土の全水量が増加した。また、凍結面は 48 h で約 12.5 cm 深まで進行した。ここで、試料の凍結を止め、 KNO_3 溶液を上端より浸潤させた。Fig. 2 に積算浸潤量を示す。 KNO_3 溶液の濃度によらず、浸潤停滞、抑制、未凍土と同様の浸潤速度の三つの期間が確認出来た。また、 KNO_3 溶液の濃度が高くなると、浸潤停滞時間が短くなり、浸潤抑制期間の浸潤速度が速くなった。Fig. 3 に、この際の浸潤前線と融解前線の位置の時間変化を示す。図中のプロットは浸潤前線 (色塗が 0 M, 白塗が 0.05 M)、破線と実線は温度が 0°C に到達した時間と再び 0°C から上昇し始める時間 (灰色が 0 M, 黒色が 0.05 M) を示す。破線と実線の間は 0°C で温度が停滞する期間であり、氷の融解が活発に起きていると考えられる。浸潤前線は 0°C 以下の凍土内から 0°C の温度停滞領域を経て、凍土下まで進行

した。凍土中の不凍水を水みちとして水が浸潤していること、氷による透水係数の低下が浸潤速度を抑制していることが推測できる。浸潤水の溶質濃度が高いと、7.5 cm 深までは浸潤前線が早く到達した。Fig. 1(b)にこの時（融解開始後 24 h）の温度と水分分布を示す。溶質による融点降下により水量が減り、透水に寄与する不凍水量が増加しているといえる。浸潤前線が凍結層下に達すると浸潤前線の進行に違いが見られなくなった (Fig. 3)。Fig. 1(c)に、この時の（融解開始後 42 h）の温度と水分分布を示す。氷の融解とともに土中水の溶質濃度が小さくなり KNO_3 による融点降下が小さくなったと考えられる。

おわりに 畑土のカラム凍結・融解実験を行い、 KNO_3 溶液の浸潤過程を観察した。その結果、浸潤水の溶質濃度が高くなると、融点降下により抑制期間の浸潤速度が速くなった。しかし、浸潤が進行するにつれ土中水の溶質濃度が低くなるため、こうした違いは見られなくなった。今後は、同様の実験をさまざまな溶質濃度で行うとともに土中の溶質濃度を測定することで、浸潤速度の溶質濃度依存性や融解期の溶質移動を検証する予定である。

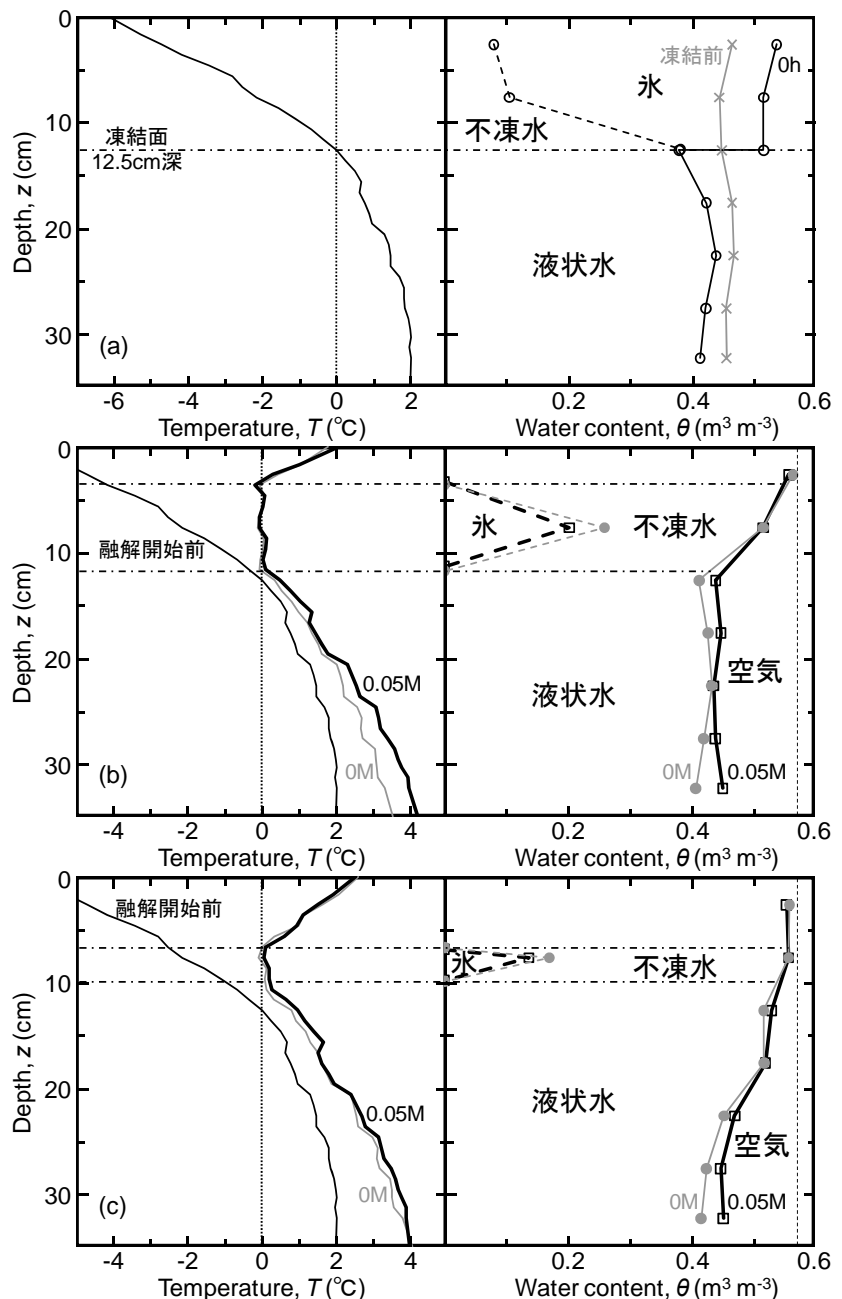


Fig. 1 融解開始後0, 24, 42hの温度・水分分布
Soil temperature and water profiles at (a)0h, (b)24h and (c)42h after thawing with infiltration.

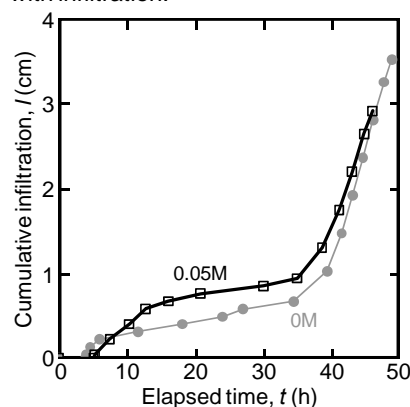


Fig. 2 積算浸潤量
Cumulative infiltration into a frozen soil.

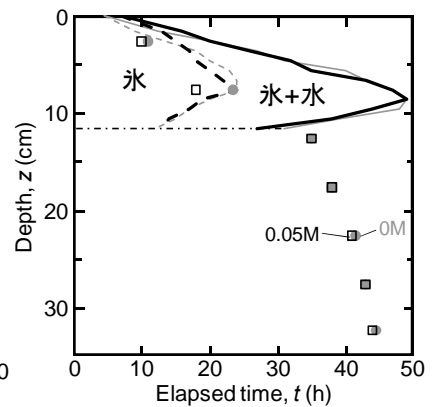


Fig. 3 浸潤前線と融解前線
Infiltration and thawing fronts.