

# 乾いた凍土への浸潤に伴う水分・熱移動について

514128 佐藤郁弥 (土壌圏循環学教育研究分野)

**はじめに** 寒冷地における農地の水分・施肥管理や凍土遮水壁の利用を考える時、凍土への水分と熱の浸透を理解することが重要である。凍土への浸潤には、浸潤水の凍結融解に伴う水みちりの変化や潜熱の発生・吸収、温度変化に伴う浸潤水の粘性の変化、空気の封入などが影響するが、その詳細はよくわかっていない。そこで本研究では、湿った凍土に比べ研究例が乏しい乾いた凍土について、水分と熱の浸透機構を明らかにすることを目的とした。

**試料と方法** アクリル鉛直カラム (内径 7.75 cm、高さ 40 cm) に風乾した鳥取砂丘砂を乾燥密度  $1.5 \text{ g/cm}^3$  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  $-10^\circ\text{C}$  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、定流量ポンプを用いて  $5^\circ\text{C}$  の水を一定速度 (30, 150, 300, 600 cm/day) で滴下した。この際、試料中の温度及び液状水量の分布の変化をモニターした。また、任意の時間にカラムを解体し、カラム内の様子を確認するとともに、各深さにおける全水量を炉乾法で求めた。そして、全水量と液状水量の差を含水率とした。

**結果と考察** 図 1 に  $5^\circ\text{C}$  の水を 150 cm/day で滴下したときの、試料の水分・温度分布を示す。滴下を開始すると、カラム上方から含水率が増加し浸潤前線が次第に降下した。図 2 に前線の降下速度と滴下速度の関係を示す。前線の降下速度 (浸潤速度) は、滴下速度が遅いほど遅かった。また未凍土への  $5^\circ\text{C}$  の水の浸潤と比べ、滴下速度が十分に速い時は約 0.8 倍だったが、滴下速度が遅くなると 1 倍に近づいた。前線部 (例えば図 1 の線①と②の間) の長さは、約 5 cm で、時間や滴下速度に依らず一定だった。試料の温度も、水分同様にカラム上方から上昇した。前線通過後の温度は、上端付近では  $5^\circ\text{C}$  に向かって上昇したが、10 cm 以深では  $0^\circ\text{C}$  を保持した。温度の前線の降下速度は、水分と同様に滴下速度が遅いほど遅かった。温度の前線部の長さ (例えば図 1 の線③と④の間) は、水分の前線部の半分程度だった。浸潤後の全水量は、滴下速度が速いほど高かったが、含水量は滴下速度に依らず約  $0.1 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$  だった。

乾いた凍土に速い滴下速度で水が浸潤すると、前線先端部の水の凍結潜熱により前線部の温度が速やかに  $0^\circ\text{C}$  に上昇する。この際、氷は通水にはあまり寄与しない小さな間隙や間隙間の凹みなどに生じ、 $0^\circ\text{C}$  においてはそれ以上成長しない。このため、 $0^\circ\text{C}$  の水の浸潤が下方に継続したのだろう。また、凍土と未凍土の降下速度の差は、 $0^\circ\text{C}$  と  $5^\circ\text{C}$  の水の粘性の差による透水性の違いによると考えられる。滴下速度が遅くなると全水量が低下し粗間隙が脱水する。すると、比較的小さな間隙の通水が浸潤速度を決定するようになる。間隙氷はこの通水断面積を減少させるため、凍土の浸潤速度が未凍土の場合と同程度に増加したと考えられる。

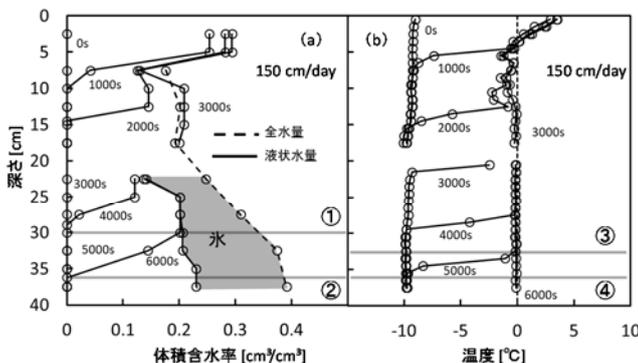


図1  $5^\circ\text{C}$  の水を 150 cm/day で滴下した時の砂中の (a) 水分分布 (b) 温度分布

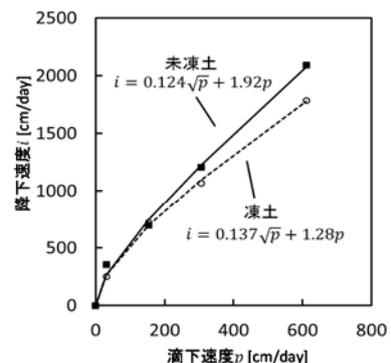


図2 滴下速度  $p$  と降下速度  $i$  の関係

