

# 土の凍結融解にマクロポアや土質が及ぼす影響

## Effects of soil type and macropore on soil freezing and thawing processes

○釘崎佑樹・渡辺晋生

三重大学大学院生物資源学研究科

### 要旨 (Abstract)

マクロポアが土の凍結・融解浸潤に及ぼす影響を評価するため、黒ボクとシルトを用いてカラム実験を行った。凍結過程では黒ボクはシルトより凍結の進行が遅く、未凍土から凍土への水分移動量が多かった。氷の生成による潜熱の発生量や未凍土の透水係数の違いによると考えられる。融解過程では土質によらず同様のマクロポアの影響がみられた。シルトは黒ボクより浸潤水の流れ始めの地温が低かった。これは同じ地温でも保持できる不凍水量が異なるためと考えられる。

テーマ：土壤物理研究の最前線 Trend in Soil Physics

キーワード：凍土, マクロポア流れ, 融雪浸透, 不凍水

**Key words:** frozen soil, macropore flow, snowmelt infiltration, unfrozen water

### 1. はじめに

寒冷圏の土壤は冬期に凍結や積雪に晒される。春先には農地の水・施肥管理に融雪浸透の評価が欠かせない。一方、土中には植物根跡やミミズなど小動物の活動によるマクロポアがしばしば存在する。こうした鉛直に連続したマクロポアは熱伝導や水移動に影響する。これまでカラム凍結・融解浸潤実験により、マクロポアが凍結速度を遅くすること、比較的早い時期にマクロポア中を水が浸透することを示した。こうした凍結の進行や融解時の水の浸透には、土の透水性や熱的性質が影響すると考えられる。そこで今回は、黒ボクとシルトを用い、マクロポアを含む土の凍結・融解浸潤に土質が及ぼす影響を調べた。

### 2. 試料と方法

試料には岩手黒ボクと藤森シルトの2mm篩通過分を用いた。Fig. 1 に各試料の水分特性曲線と不飽和透水係数を示す。試料を含水率  $0.40 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  に調整し、内径 7.8 cm、高さ 35 cm のアクリル鉛直カラムにそれぞれ乾燥密度  $1.06, 1.18 \text{ g cm}^{-3}$  で充填した。カラムに熱電対を 1 cm 間隔、TDR とテンシオメータを 5 cm 間隔で埋設した。TDR は凍土中の不凍水量を

測定できるように検量した。直径 5.0 mm の丸棒を試料上端から下端まで挿し抜き、鉛直のマクロポアを設けた。カラム側面を断熱し、 $2^\circ\text{C}$  の低温室に静置することで試料に初期温度・重力水分分布を与えた。試料上下端をそれぞれ  $-6.6, 2^\circ\text{C}$  に制御し、給排水なしで上端より凍結した。48 h 凍結後、上下の温度制御を止め、下端を大気に開放した。そして上端から約  $0^\circ\text{C}$  の純水を 15 cm 湛水条件で浸潤した。凍結・融解過程の土中の温度、水分量、土中水圧、浸潤水量を 2.5 分間隔で測定した。

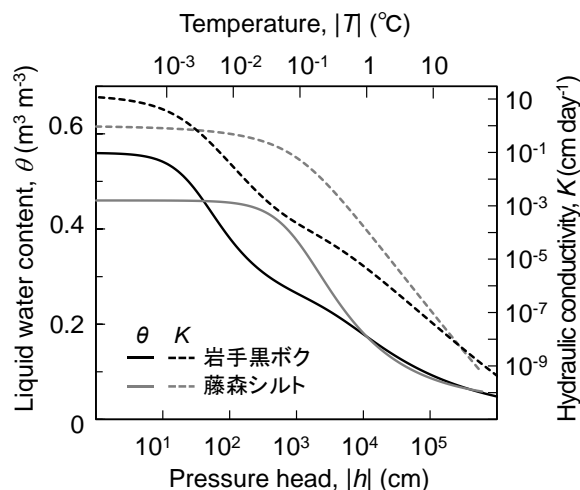


Fig. 1 各試料の水分特性曲線と不飽和透水係数

### 3. 結果と考察

温度制御を開始すると、上端より土が凍結した。Fig. 2 は凍結開始時および 48 h 凍結後の水分分布、Fig. 3 (a) は 48 h 凍結後の地温分布である。黒ボクではシルトに比べ凍結が進行しなかった (Fig. 3 (a))。いずれの土もマクロポアを含む場合には凍結の進行が遅れた。また、凍結の進行にともない未凍土から凍土へ水分が移動した (Fig. 2)。水分移動量は黒ボクの場合に多かった (Fig. 2 斜線部)。これは凍結速度と未凍土側の透水係数の違い (Fig. 1) によるものと考えられる。また、水分移動量の多い黒ボクでは氷の生成にともなう潜熱の発生量も多く、これが凍結を抑制したと考えられる。

Fig. 4 は融解開始からの積算浸潤量である。黒ボクの場合、マクロポアを含まない凍土では浸潤開始直後に水が流れず、20~50 h には  $0.56 \text{ cm day}^{-1}$  と凍土層内を水がゆっくり浸潤した。そして 50 h から浸潤水量が急増し、55 h には浸潤前線が凍土層下に達し未凍土並みの速度で浸潤した。マクロポアを含む凍土でも浸潤開始直後は水が流れないが、17 h 頃から浸潤水量が急増した。しかし、22 h 頃に浸透速度が低下した。これらは、マクロポア内の水の浸透と浸潤水の再凍結によるマクロポアの閉塞による。

シルトの場合も浸潤に同様のマクロポアの影響を確認できたが、浸潤水量は黒ボクに比べ少なかった (Fig. 4)。シルトは未凍土の飽和透水係数が低いため、未凍結層に流下した浸潤水がマクロポアから基質部へ浸透する速度が遅く、マクロポアが湛水したと考えられる。

Fig. 3 (b) は浸潤発生時の地温分布である。浸潤発生時の凍土の地温はシルトの方が黒ボクより低かった。 $-0.01 \text{ }^{\circ}\text{C} \sim -1 \text{ }^{\circ}\text{C}$  の範囲ではシルトの方が黒ボクより不凍水を多く保持し、それゆえ透水係数も高い (Fig. 1)。こうしたマクロポア近傍の土質の違いが浸潤の発生時期に寄与していると思われる。

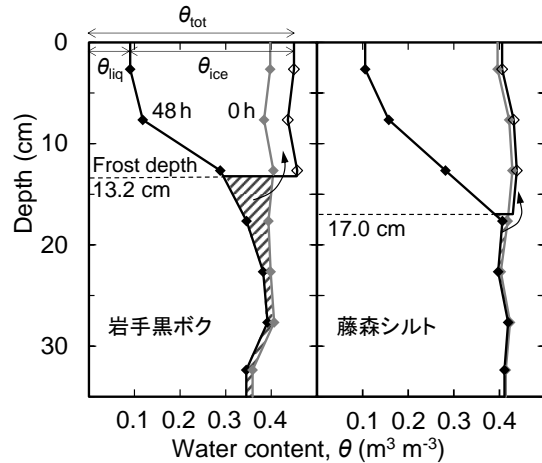


Fig. 2 凍結開始時・48 h凍結後の水分分布  
破線は凍結面、 $\theta_{\text{liq}}$ 、 $\theta_{\text{ice}}$ は凍土中の不凍水量と氷量、 $\theta_{\text{tot}}$ は全水量を表す。斜線部は48hの間に未凍土から減少した水分であり、凍土への水分移動量に等しい。

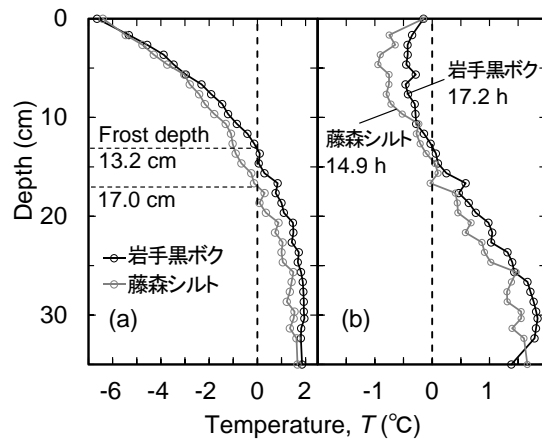


Fig. 3 (a) 48 h凍結後の地温分布  
(b) 融解過程の浸潤開始時の地温分布  
時刻は凍結終了時を0 hとした場合

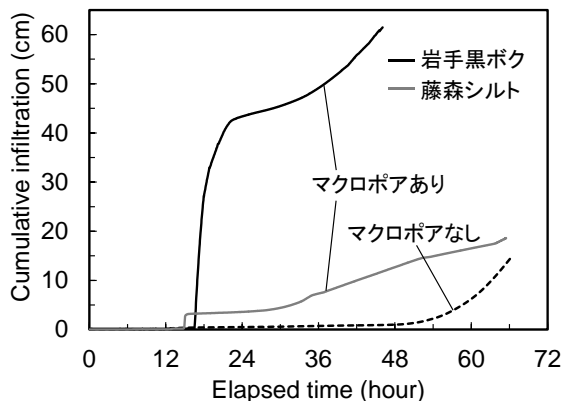


Fig. 4 融解開始からの積算浸潤量  
浸潤は、初期非浸潤期間、マクロポアがある場合はマクロポア内を流れる期間、マクロポアが閉塞し浸潤前線が凍土層内をゆっくり進行する期間、浸潤前線が凍土層下に到達した後の速い浸潤期間を経る。