

土の不凍水量曲線の凍結速度依存性

Unfrozen Water Content in Soils under Different Freezing and Thawing Rates

○渡辺晋生^{*1}・紀藤哲矢^{*1}・江崎由佳^{*1}

Kunio Watanabe, Tetsuya Kito, Yuka Esaki

1. はじめに

土中の水は、土粒子の表面力や細孔の影響により、0°Cにおいてもその全ては凍結しない。こうした不凍水量は温度とともに減少する。また、土中の不凍水量と温度の関係を不凍水量曲線と呼ぶ。土質や乾燥密度が等しく、溶質を含まない土については、温度平衡時の不凍水量は常に同一曲線に乗る (Lowら, 1968)。しかし、凍結・融解過程にある土は温度平衡状態にはなく、平衡時とは異なる不凍水量曲線を持ちうる。近年、こうした不凍水量曲線の平衡時からの差異やヒステリシスを評価することが、凍結をともなう土中の水・熱移動の数値予測に重要であることが示唆されている (渡辺ら, 2010)。

図1は、高さ35 cmの鉛直土柱 (初期温度4°C) を上端より凍結・融解させた際に、上端から2.7, 7.7 cm深で観察された不凍水量と温度の一連の変化である。凍結面が速く進行する土柱上部ほど、同じ温度でも不凍水量が平衡時より多くなる。また融解時には平衡時より不凍水量は減少するが、深さの違いはあまり見られない。こうした不凍水量の違いは、温度変化速度に対する土中氷の成長速度の遅れに起因すると考えられるが、その詳細や凍結・融解速度に対する依存性は未だよく分かっていない。そこで、本研究では異なる速度で凍結・融解させた土中の不凍水量を測定し、不凍水量曲線の温度変化速度依存性を調べることを目的とする。

2. 試料と方法

試料には藤の森シルト、鳥取砂丘砂、撥水性に富む多孔質炭素膜を用いた。FDR測定用の環状電極 (直径1 cm) を焼き付けたガラス樹脂の温度をペルチェ素子により-40~40°Cで制御できる装置 (TDA) を作成し、FDR出力と不凍水量の検量線を求めた。水分調整した試料を内径20 mm、厚さ6 mmのアルミリング内に詰め、試料下端がFDR電極に接する様に置いた。そして、様々な凍結・融解速度において不凍水量と温度を測定した。

3. 結果と考察

図2にTDAで測定した藤の森シルトの不凍水量曲線を示す。図中、黒線と灰線は凍結および融解過程をそれぞれ示す。温度の変化速度は、太線、細線、破線の順に0.5, 0.1, 0.01°C min⁻¹と遅くなる。プロットはNMRで求めた温度平衡時の不凍水量曲線であり、TDAにより不凍水量が測定できていることがわかる。0~-3°Cにおいては凍結速度を制御することが難しく、不凍水量曲線の温度依存性を現状では評価できていない。-3°C以下においては、凍結速度が速くなるにつれ不凍水量が平衡時より多くなった。融解過程においては、不凍水量は平衡時より少なくなったが、融解速度の違いによる差はほとんど見られなかった。これらの傾向や平衡時と差は図1のカラム実験 (凍結速度は0.01~0.1°C程度) とほぼ同様となった。砂丘砂については、不凍水量の絶対量が少なく、不凍水量曲線の温度依存性は-3°C以下では確認出来なかった。撥水性多孔質膜については、不凍水量曲線のヒステリシスが大きいだけでなく、凍結開始時の過冷却度も凍結速度によって大きく異なった。今後は、凍結をともなう水・熱移動にとって最も重要な0°C近傍の不凍水量曲線を、移流や過冷却の効果と共に評価し、温度変化速度との関係を定量化することが必要である。

参考文献

- 1) Low, P.F., Anderson, D.M., Hoekstra, P. (1968): Some thermodynamic relationships for soils at or below freezing point 1. Freezing point depression and heat capacity. *Water Resour. Res.*, **4**, 379-394
- 2) 渡辺晋生, 紀藤哲矢, 坂井勝, 取出伸夫 (2010): 凍結面近傍の不凍水量変化に基づく凍土の水分特性曲線と不飽和透水係数の検討, *土壌の物理性*, **116**, 9-18.

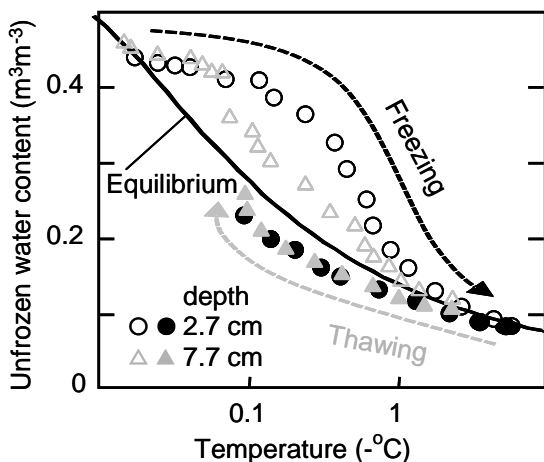


図1 カラム実験で観測された不凍水量曲線

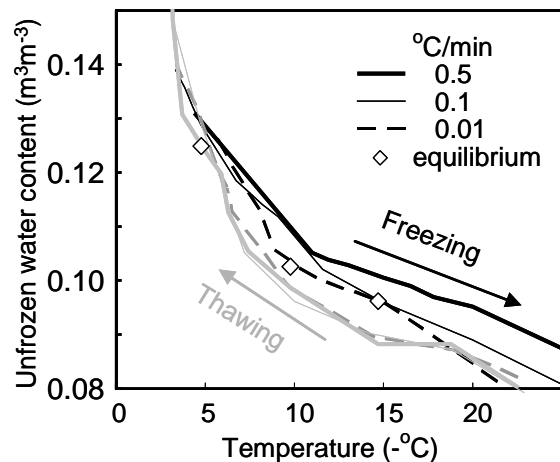


図2 TDAで測定した不凍水量曲線

*1 三重大学大学院 生物資源学研究所

Graduate School of Bioresources, Mie University