

溶質を含む凍土の不凍水量曲線測定と水分保持曲線との比較

Measuring Freezing Curve of Saline Soil by TDR and Comparison to the Water Retention Curve

塩谷彰悟¹, 長田友里恵², ○渡辺晋生²
Shogo Sioya, Yurie Osada and Kunio Watanabe

1. はじめに

凍土の強度や遮水性は、凍土中の不凍水量に依存する。この不凍水量は凍土の温度や溶質濃度の変化にともない増減する。凍土中の溶質濃度やその分布は、凍結前の土中の溶質濃度の違いだけでなく、凍結時の氷からの溶質の吐出や土粒子の吸脱着、凍結面近傍での溶質の拡散の影響を受ける。そのため、凍土の不凍水量を溶質濃度と同時に原位置で測定できれば有用である。未凍土については、水分量と溶質濃度の同時測定が TDR 法の普及と関連モデルの発展により比較的簡便に行えるようになった (たとえば, Rhoades et al., 1976; Hilhorst, 2000)。しかしながら、凍土については、水量や溶質の濃縮、温度の影響など、TDR 法適用の検討は未だ十分に進んでいない。

ところで、凍土の不凍水量曲線 (不凍水量と温度の関係) は、凍結過程にある土中と乾燥過程にある土中の水分保持形状の相同性を仮定し、しばしば未凍土の水分保持曲線 (水分量と土中水ポテンシャルの関係) から推定される。いずれの曲線も凍結過程の土中の水分移動を考える上で本質的に重要な曲線ではあるが、その相同性の仮定には議論が尽きない。特に、凍結速度に依存する不凍水量曲線の非平衡や溶質のヒステリシスへの影響は、低水ポテンシャル領域の水分保持曲線を精度良く測定することができないため、これまで十分に検討されていない。

そこでここでは、TDR 法による凍土の溶質濃度と不凍水量曲線の測定を検討し、得られた不凍水量曲線と水分吸脱着測定装置や蒸発法によって求めた低水ポテンシャル領域の水分保持曲線との比較を試みた。

2. 試料と方法

試料には鳥取砂丘砂、北海道黒ボク土、岩手黒ボク土、藤の森シルトを用いた。試料を異なる濃度 C_0 の KNO_3 溶液で様々な含水比に調整した。10 cm 長の真鍮円筒に任意の乾燥密度で試料を詰め、7.6 cm 長の TDR プローブと熱電対を挿入し、密封した。円筒を -20°C の恒温水槽に沈め試料を凍結した後、温度を徐々に上げながら試料の温度 T と見かけの比誘電率 ϵ と電気伝導度 EC_a をそれぞれ測定した。

次に、試料を温度制御装置付きアクリル円筒に同様の乾燥密度で充填し、TDR プローブと水ポテンシャルセンサーを試料に挿入した。試料を水分飽和後、地表面から水分を蒸発し、乾燥過程の土中の水ポテンシャルと水分量の変化を測定した。また、試料の温度を -20°C から 0°C で上下し、凍結・融解過程の土中の水ポテンシャルと水分量の変化を測定した。試料の低水ポテンシャル領域の水分保持曲線については、水分吸脱着測定装置でも、乾燥と給水主曲線を確認した。

3. 結果と考察

TDR 法で測定した試料の見かけの比誘電率 ϵ を温度と電磁波強度、水量に基づき補正した。そして、補正した ϵ から凍土中の

不凍水量 θ_u を混相モデルを応用して推定した。 0°C 以下になると、 θ_u は温度とともに減少した。また、 θ_u は砂 < 黒ボク土 < シルトの順に大きくなった。凍土の見かけの電気伝導度 EC_a も、 0°C 以下になると急激に小さくなった。シルトの EC_a は他の土より大きかった。これは、固相の電気伝導度 EC_s と不凍水量の差によるのだろう。ところで、常温では土中水の電気伝導度 EC_w を (1) 式で表せ、 EC_w から C を推定できる。

$$EC_w = (EC_a - EC_s) / \theta T_c \quad (1)$$

しかし、式 (1) では凍土をうまく表現できなかった。そこで、凍結の影響を考慮し、式 (1) を以下のように修正した。

$$EC_w = [EC_a - (\theta_{tot} - \theta_u) EC_i - EC_s] / \theta T_c \quad (2)$$

そして測定した EC_a から不凍水の EC_w を求め、 C を推定した。ここで、 T_c は土固有の伝達係数であり、未凍土の測定値から求めた。 EC_i は氷の電気伝導度、 θ_{tot} は全水量である。砂や黒ボク土が凍結すると、 C は水量が多いほど高くなった。これは氷からの吐出にともなう不凍水中への溶質の濃縮によると考えられる。そこで、凍結による溶質の濃縮率 C/C_0 を求めた (図 1)。凍結時に溶質が全て吐出されるとすると、濃縮率は全水量に対する不凍水の割合の逆数になる (図中実線)。 $C_0 = 0.1 \text{ mol/L}$ の場合、濃縮率に土質の違いはあまり見られず、 C/C_0 は θ_{tot}/θ_u と一致した。しかし、 C_0 が小さくなると濃縮率は高くなった。これは土粒子に吸着されていた溶質が凍結により叩き出されたためと考えられる。また、黒ボク土の濃縮率が高くなったのも同様の理由であろう。

参考文献

- 1) Rhoades, J. D., P. A. C. Raats and R. J. Prather, 1976: Effects of liquid-phase electrical conductivity, water content, and surface conductivity on bulk soil electrical conductivity. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **40**, 651-655.
- 2) Hillhorts, M. A., 2000: A pore water conductivity sensor. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **64**, 1922-1925.

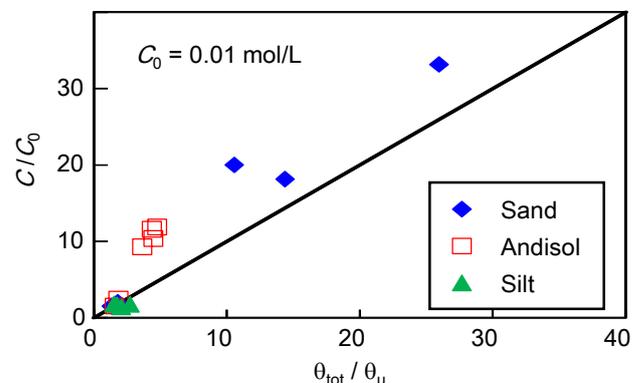


図 1 土中水の凍結割合 θ_u/θ_{tot} の逆数と溶質の濃縮割合 C/C_0

1 三重大学生物資源学部
2 三重大学大学院生物資源学研究所

Faculty of Bioresources, Mie University
Graduate School of Bioresources, Mie University