

TDR 法を用いた凍土の不凍水量と溶質濃度の推定

509127 塩谷 彰悟 (土壌圏循環学教育研究分野)

はじめに 日本の土地の7割は冬になると地表が凍結にさらされる。効率的な農業を年間を通して持続するには、凍結にも対応した水分と施肥の管理が必要である。近年、電磁波の応答速度と強度から媒体の比誘電率 ϵ と電気伝導度 EC_a を測定する TDR 法が普及した。関連モデルも発達し、常温なら、 ϵ と EC_a から土の水分量 θ と土中水の溶質濃度 C を比較的簡単、迅速に推定できるようになった。しかし、土が凍結すると土中には氷と 0°C 以下でも凍らない不凍水が生じ、氷から不凍水への溶質の濃縮が生じる。現在、こうした凍土の溶質濃度を推定できるモデルはなく、TDR 法による ϵ の測定精度にも課題が残されている。そこで本研究では、TDR 法を用いた凍土の不凍水量 θ_u と C の推定精度の向上を目的とする。

試料と方法 試料には鳥取砂丘砂、北海道黒ボク土、藤森シルトを用いた。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 プロブと熱電対を挿入し、密封した。円筒を -20°C の恒温槽に入れ試料を凍結した後、温度を徐々に上げながら試料の温度 T と ϵ と EC_a を測定した。

結果と考察 TDR 法で測定した ϵ を温度と電磁波強度、氷量に基づき補正した。そして、補正した ϵ から θ_u を混相モデルを応用して推定した(図 1)。 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。 EC_a も、 0°C 以下になると急激に小さくなった。藤森シルトの 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、

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

EC_w から C を推定できる。しかし、式(1)では凍土をうまく表現できなかつた。そこで、凍結の影響を考慮し、

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

を導いた。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 は氷量が多いほど高くなった。これは氷からの吐出し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 2)。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。

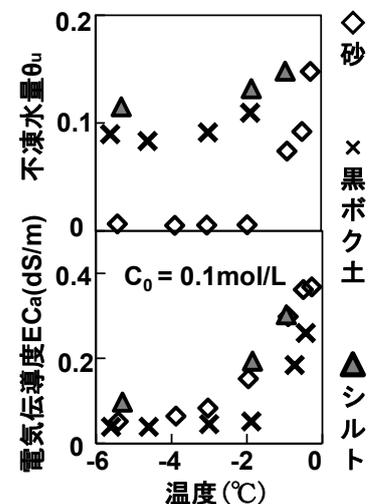


図1. 温度と不凍水量と電気伝導度

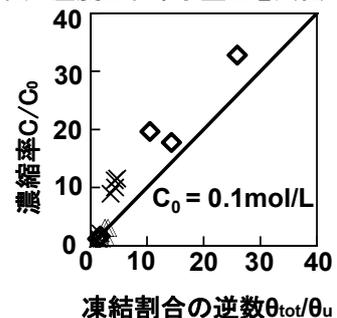


図2. 凍結割合と濃縮倍率