

# TDRによる現地凍土中の未凍結水分量の推定

## Estimation of Unfrozen Water Content of frozen soil by TDR in Situ

王 麗萍\* 赤江 剛夫\*\*  
Liping Wang, Takeo Akae

### 1. はじめに

TDR は現地の土壌水分量を測定する簡便で適切な方法として良く用いられている。私たちは、中国内モンゴル河套灌区土壌の凍結融解時のTDR測定を行ってきた。TDRにより凍土の水分状態をするため、液状水分を自由水と吸着水に分けるMaxwell-De Loor モデルや経験的 モデルを対象に、現地土壌に最も適合するモデルを選抜した。吸着水と氷の誘電率が同じであると仮定し、現地凍土のTDR測定結果から凍土の誘電モデルを用いて未凍結水分量を計算した。

### 2. 未凍結水分量の推定法

TDR で測定した誘電率と水分量の関係を与える実験式のなかで最も研究者たちによく使われているのはTopp 式である。Topp 式は土性に拘わらず精度良く体積含水率を計算することができることとされている。別に混合誘電モデルと呼ばれるモデルがあり、これはさらに理論モデルと経験モデルと分けられる。Maxwell 方程式に基づいた理論モデルが De Loor に提出され、Dobson らは自由水と吸着水を区別した理論モデルを提案した。経験モデルは Birchak et al.(1974)によって提出された：

$$\epsilon^\alpha = (1 - \phi)\epsilon_s^\alpha + (\phi - \theta)\epsilon_a^\alpha + (\theta - \theta_{bw})\epsilon_{fw}^\alpha + \theta_{bw}\epsilon_{bw}^\alpha \quad (1)$$

ここで、 $\phi$  は土の幾何形状係数、 $\theta$  は空隙率、 $\theta_{bw}$  は体積含水率、 $\epsilon_s, \epsilon_a, \epsilon_{fw}, \epsilon_{bw}$  はそれぞれの物質の誘電率、下付きの bw, fw, a, s は、それぞれ吸着水、自由水、空気と土粒子を表す。この式は 混合モデルとも呼ばれる。Topp 式、Maxwell- De Loor モデル及び 混合モデルを現地未凍土の誘電率測定結果に適用し、現地データに適合するモデルを比較した (Fig.1)。

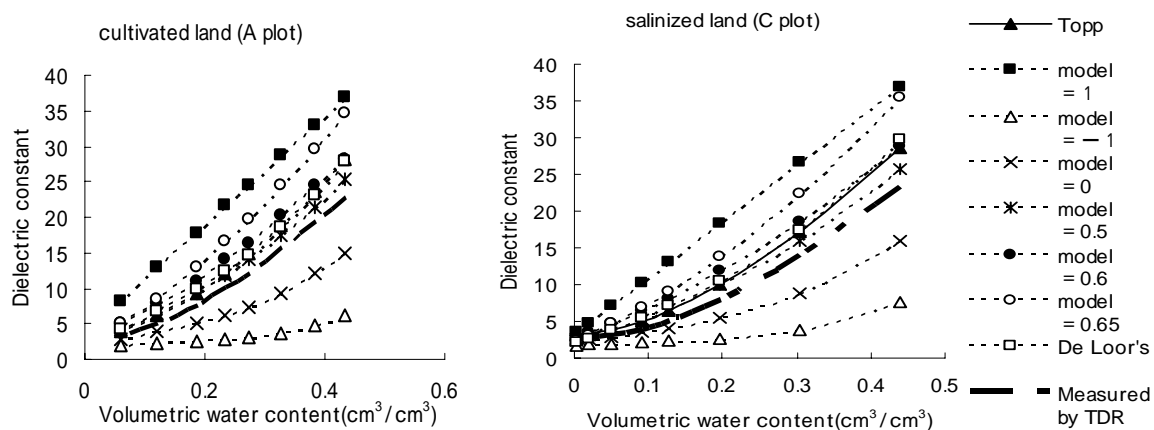


Fig.1 comparison of different models for cultivated land (A) and salinized land (C)

\* 岡山大学自然科学研究科 Okayama University Graduate School of Natural Science and Technology.

\*\* 岡山大学環境理工学部 Faculty of Environmental Science and Technology ,Okayama Univ.

キーワード：TDR 未凍結水分量 経験モデル

Fig. 1 から  $\alpha = 0.5$  とした経験モデルが最も現地測定結果に適合することが分かった。

(1)式において  $\theta_{bw}$  は次式で計算される。

$$\theta_{bw} = n\delta\rho_b S \quad (2)$$

$n$  は吸着水分子層数, 一水分子層の厚さは  $\delta = 3 \times 10^{-10}$  m である。  $\rho_b$  は土壌の容積重 ( $\text{gcm}^{-3}$ ),  $S$  は土壌の比表面積 ( $\text{m}^2\text{g}^{-1}$ ) である。吸着水は 1 分子層で存在すると仮定し (C.Dirksen and S.Dasberg, et al., 1993),  $n = 1$  とした。さらに、現地凍土の観察結果から凍土の空気率は 0 とみなし、間隙率  $\phi$  を自由水、吸着水と氷が占めると考えた。吸着水の誘電率は 3.2 とみなされている (C.Dirksen and S.Dasberg, et al., 1993)。氷の誘電率も 3.2 であるため、凍土に対しては吸着水項  $\theta_{bw}$  として氷及び吸着水を合わせた体積分率を代入して同じ取り扱いが可能であると考えた。  $\alpha = 0.5$  のモデルにおいて吸着水項  $\theta_{bw}$  の中に吸着水と氷を含むものとして、(1) 式を  $\theta$  について解くと、(3) 式となる。  $\theta$  は実凍土の実測誘電率であり、 $\varepsilon_s$  は 8、 $\varepsilon_{fw}$  は 81 にした。

$$\theta = \frac{\varepsilon^\alpha - \phi\varepsilon_{bw}^\alpha - (1-\phi)\varepsilon_s^\alpha}{\varepsilon_w^\alpha - \varepsilon_{bw}^\alpha} \quad (3)$$

### 3. 結果と考察

Fig.2a は耕地における最大凍結期の全水分量(重量法)と(3)式で推定した未凍結水分量を表している。表層から 90cm までは全水分量と未凍結水量の差 (= 氷) が多量に存在し、100~110cm 以深では氷がほとんどない未凍結の状態であることが分かる。この時、地温 0℃ 深は 110cm であり、実際の凍結深と未凍結水分量は良く対応している。Fig.2b は塩害地における融解期の未凍結水分量と全水分量を表している。表層から 20cm までは未凍結水分量と全水分量が等しくほとんどの氷が融解している。30~60cm は全水分量よりも未凍結水分量が少なく、氷の割合が増大している。80~90cm 以深では再び未凍結水と全水量がほぼ等しく融解状態にあることが分かる。測定した現地の地温によると、地温が 0℃ 以下になる深さは 30~110cm であった。このように、本方法で推定した未凍結水分量は凍土の凍結状態を定量的に表す指標となる。なお、塩分が誘電率に影響することを述べた報告があるが、この点に関しては今後検討する予定である。

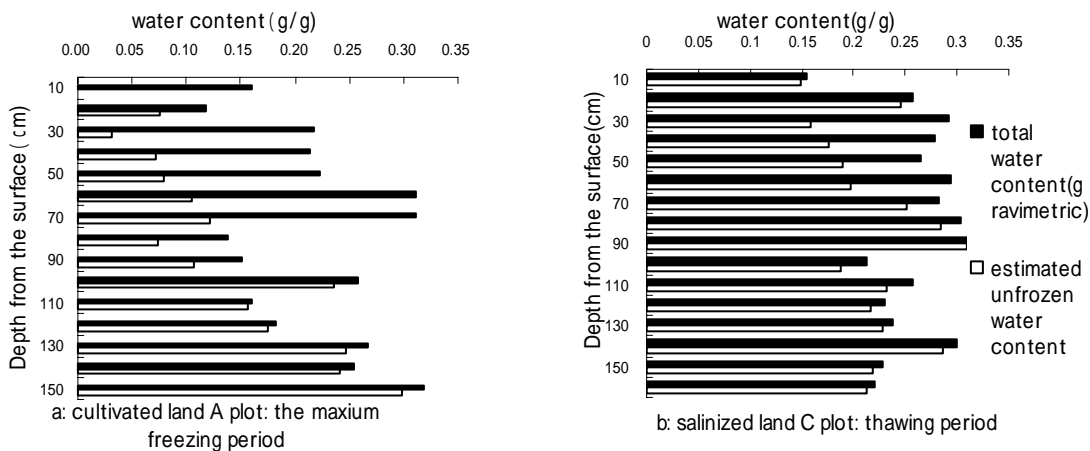


Fig.2 It shows well how much water is free for flowing and how much water is freezing in cultivated land A and salinited land C

引用文献 : Birchak, J.R., C.G. Gardner, J.E. Hipp, and J.M. Victor, Proc. IEEE 62:93-98, 1974; C. Dirksen and S. Dasberg, SSSAJ, Vol. 57, 660-667, 1993.