

日本の火山灰土に対する誘電率モデルの比較と検証 Comparison and validation of dielectric models for volcanic soils in Japan

辻本久美子*・太田哲**・岸本爽汰***・○橋村心****

Kumiko Tsujimoto*, Tetsu Ohta**, Sota Kishimoto***, ○Makoto Hashimura****

1. はじめに 土中水分量 θ を土の誘電率 ϵ から推定する技術は、TDR 等を用いた現場計測において広く利用されてきた。 θ - ϵ 関係は Topp の式¹⁾によってよく表現できることが示されている一方、一部の土壌に対しては Topp の式の適合度が低いこともこれまで指摘されてきている^{例えば 2), 3)}。一方で、地球観測衛星による土壌水分マイクロ波リモートセンシングの技術が進化する中で、この分野でも θ - ϵ 関係のモデル化が進められており、表-1 に示す Dobson 式、Mironov 式、Wang-Schmugge 式(表-1 では WS 式と表記)など複数のモデルがこれまでに利用されてきているほか、著者らも新しいモデルを提案している(Tsujimoto 式)。これらの式は θ - ϵ 関係の説明変数として砂や粘土の含有率(%sand,%clay)、間隙率 ϕ 、周波数 f を加えている点が Topp 式との大きな違いである。本研究では Topp 式の適合度が低いと指摘されてきた³⁾日本の火山灰土について各モデルの θ - ϵ 関係を比較検証した。

2. 方法 表-2 に示す 9 種類の土壌試料を対象に、表-1 の各誘電率モデルによる θ - ϵ 関係を計算して比較するとともに、ベクトルネットワークアナライザ ShockLine™ MS46122B (Anritsu 社製)を用いて様々な水分量の試料に対して複素誘電率を計測した。

表-1 誘電率モデル

Table 1. Dielectric models

モデル	文献	θ - ϵ 関係の説明変数
Topp式	1)	無
Dobson式	4)	%sand, %clay, ϕ , f
Mironov式	5)	%clay, f
WS式	6)	%sand, %clay, f
Tsujimoto式	7)	%sand, %clay, ϕ , f

表-2 試料一覧 / Table 2. List of soil samples

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)
試料	豊浦砂	ベントナイト	アカホヤ	幸屋火砕流堆積土	クロボク	シラス	ボラ(白)	ボラ(黄)	関東ローム
試料別名			アカボク、喜界カルデラ噴火物				大隅降下軽石層		
採取地			種子島(鹿児島) (上層)	(下層)	串良 (鹿児島)	東俣 (鹿児島)	鹿屋市吾平 (上層)	(下層)	つくば (茨城)
採取地の土地利用			サトウキビ				丘陵地の雑木林		畑地
石(75mm~)			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
礫(2~75mm)			0.4	0.8	0.6	12.2	0.6	1.0	0.0
砂(0.075~2mm)	100		44.9	83.3	47.3	64.4	77.2	84.9	86.3
シルト(0.005~0.075mm)			36.4	10.4	34.9	13.9	7.8	7.2	8.3
粘土(~0.005mm)		100	18.3	5.5	17.2	9.5	14.4	6.9	5.4
土粒子の密度 ρ_s [g cm ⁻³]	2.65	2.70*	2.473	2.524	2.344	2.540	2.569	2.529	2.596
乾燥密度 ρ_b [g cm ⁻³ **]	1.600	1.078	0.806	0.610	0.637	0.980	0.753	0.707	0.620
強熱減量 [%]	—	—	14.19	10.11	25.45	3.60	2.66	3.77	17.25

* 文献値よりベントナイトの一般的な値を採用, ** 現場での密度ではなく、室内実験用の試料充填密度

*岡山大学学術研究院環境生命自然科学学域 Graduate School of Environmental, Life, Natural Science and Technology, Okayama University ; **研究技術開発支援機構 U-PRIMO ; *** (前)岡山大学環境理工学部 ; ****岡山大学工学部 キーワード：土壌の物理化学的性質

3. 結果 各誘電率モデルによる θ - ϵ 関係の計算結果を図-1 に示す。

Topp 式により示される関係を黒太線で示しており、これは土壤種類に依らず(a)~(i)の各図に対して同一である。その他の4モデルでは粒度組成や乾燥密度(間隙率 ϕ)による影響を表現しており、細粒分が多い(b), (c), (e)で ϵ が低下する傾向が表現できているが、乾燥密度が小さい(d)や(i)で ϵ が低下する傾向は、 ϕ を説明変数に導入している Dobson 式でも十分に表現できていない。著者らの提案式

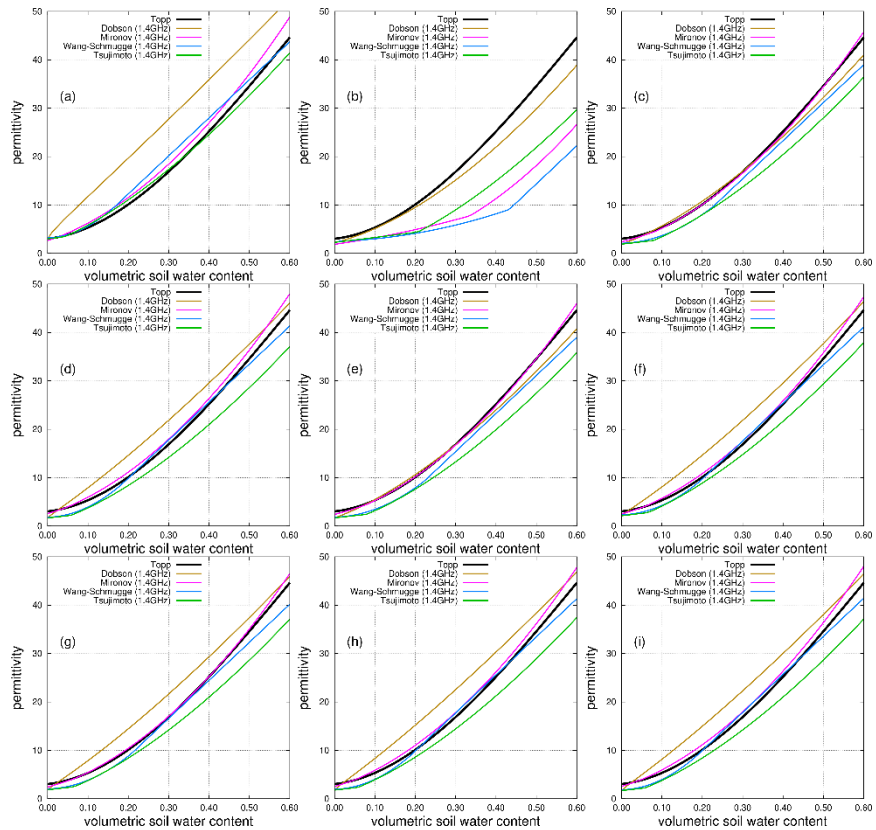


図-1 誘電率モデルによる水分 θ (横軸) - 誘電率 ϵ (縦軸) 関係の比較. 図中の(a)-(i)は表-2 に示す各試料名と対応している. Fig. 1. Soil moisture (θ) - dielectric const. (ϵ) relations by 5 dielectric models.

では、(b)~(i)の様々な土壤に対して ϵ の低下を表現できている。

4. おわりに リモートセンシングによる地球観測は、途上国や紛争地などの現場計測が困難な地域での気候変動モニタリングに有用である。ただし、現場計測とは異なり、計測値でキャリブレーションすることを前提とせず、可能な限り世界各地の多様な土壤に対して汎用的に利用可能で精度保証されるモデルの確立が必要である。こうした観点から、現場計測分野のこれまでの知見を活かしつつ、多様な土壤に汎用的に利用可能なモデルの構築を目指していきたい。

引用文献 1) Topp, G.C. *et al.* (1980): Electromagnetic determination of soil water content: Measurements in coaxial transmission lines. *Water Resour. Res.* **16**: 574-582; 2) 冀北平・三野徹・赤江剛夫・長堀金造 (1996): FDR 法による現地土壤水分の測定. *農土論集* **182**: 207-214; 3) Miyamoto, T., Chikushi, J. (2006): Time domain reflectometry calibration for typical upland soils in Kyushu, Japan, *JARQ* **40**: 225-231; 4) Dobson, M.C. *et al.* (1985): Microwave dielectric behavior of wet soil-Part II: Dielectric mixing models. *IEEE T Geosci Remote* **1**: 35-46; 5) Mironov, V.L. *et al.* Generalized refractive mixing dielectric model for moist soils, *IEEE T Geosci Remote*, **42**(4):773-785, 2004; 6) Wang, J.R. and Schmugge, T.J.: An empirical model for the complex dielectric permittivity of soils as a function of water content, *IEEE T Geosci Remote*, **GE-18**(4):288-295, 1980.; 7) 辻本久美子・太田哲・藤井秀幸・小松満 (2022) : 1~36GHz 帯のマイクロ波に対する湿潤土壤の誘電特性: モデルとその検証, *土壤の物理性* **151**: 3-24.

謝辞 九州地方の土壤試料は鹿児島大学の肥山浩樹先生と平瑞樹先生にご提供いただき、その折には鹿児島大学の伊藤祐二先生と秋田県立大学の増本隆夫先生にご尽力いただきました。つくばでの土壤採取には農研機構農村工学研究部門の久保田富次郎氏、岩田幸良氏、亀山幸司氏に多大なご支援をいただきました。土壤試料の粒度試験および強熱減量試験は協同組合岡山県土質試験センターに委託して実施していただきました。本研究の一部は、岸本爽汰氏(第3著者)の岡山大学環境理工学部環境管理工学科卒業論文として実施したものです。本研究の実施に際し、JSPS 科研費 JP 19K04619, JP 23H01515 と JAXA 地球観測研究 ER3AMF113 と公益財団法人中国電力技術研究財団の試験研究(A)助成、岡山大学の若手研究者育成支援パッケージおよびダイバーシティ推進本部男女共同参画室研究支援員事業の支援を受けました。ここに記し謝意を表します。