

湿潤土壌を対象とした ALOS-2 衛星フルポラメトリ SAR による土壌水分量推定 Estimation of water content for wet soils by full polarimetric SAR on ALOS-2 satellite

○川口麻衣子*, 小林大樹**, 佐藤直人***, 青木伸輔****, 登尾浩助***

KAWAGUCHI Maiko, KOBAYASHI Daiki, SATO Naoto, AOKI Shinsuke, NOBORIO Kosuke

1. 背景

広範囲における土壌水分量測定には、L バンド（1-2 GHz）を使った合成開口レーダー（SAR）搭載衛星を使った研究が行われている。SAR は雲や雨を透過するため全天候で観測可能である。SAR の偏波、入射角などと土壌水分量の関係が研究されている（Holah et al. 2005）。また、経験式により SAR で計測した後方散乱係数 σ から土壌比誘電率 ϵ を推定した例もある（Oh et al. 1992）。しかし、SAR と同様のマイクロ波衛星による土壌水分計測は、体積含水率 $\theta > 0.35 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ の湿潤領域では土壌中に電磁波が浸透しにくいいため、計測が困難である（Bruckler et al. 1988）と報告されている。一方で、ALOS-2（JAXA）は従来の SAR 衛星より低い観測周波数（1.2 GHz）を用いるため、土壌への電磁波の透過性が高く、湿潤領域の土壌でも土壌水分量を計測できる可能性がある。電界が地面に対して水平方向に振動する電磁波を H 波、垂直方向に振動する電磁波を V 波と呼び、SAR では送信時と受信時に波の向きを組み合わせることができる。偏波の組み合わせは 4 種類（HH, HV, VH, VV）存在し、HH と VV 偏波をライク偏波、HV と VH 偏波をクロス偏波と呼ぶ。偏波の種類により、異なる観測対象の特性を詳細に解析することが可能である。本研究では、湿潤土壌において ALOS-2 のフルポラメトリ SAR 画像と土壌比誘電率 ϵ の関係を評価した。

2. 方法

本実験は茨城県つくば市（36.12786°N, 140.09118°E）の平坦な裸地において 2022 年 4 月 5 日から 2023 年 7 月 12 日まで実施した。土壌比誘電率 ϵ の測定には、TDR (time domain reflectometer) センサーを用いた。2022 年 4 月 5 日から 2023 年 3 月 31 日の期間は 21 m×21 m の範囲に 64 個の TDR センサーを 3 m 間隔で設置し、2023 年 4 月 10 日から 2023 年 7 月 13 日の期間は 20 m×30 m の範囲に 12 個の TDR センサーを 10 m 間隔で設置した。地表面から 5 cm 深さの平均 ϵ を測定するために、TDR センサーを地表面に対して 30°の角度で斜めに挿入した。TDR センサーにより 30 分間隔で計測した ϵ は、SAR 画像が撮影された日時に最も近いデータを採用し、全地点測定値の算術平均により平均 ϵ を計算した。SAR データには、ALOS 2/PALSAR-2 で撮影されたレベル 1.1 のフルポラリメトリ画像（HH, HV, VH, VV 偏波）を用いた。

3. 結果と考察

Fig. 1 に後方散乱係数 $\sigma(\text{dB})$ と平均土壌誘電率 ϵ の関係を示す。クロス偏波の VH 偏波は相関係数 $r=0.68$ と高い正の相関を示した。一方でライク偏波の HH 偏波は $r=0.42$ と弱い

*香川大学大学院農学研究科, Graduate School of Agriculture, Kagawa University

**NTT アクセスサービスシステム研究所, NTT Access Network Service Systems Laboratories

***明治大学農学部, School of Agriculture, Meiji University

****香川大学農学部, Faculty of Agriculture, Kagawa University

キーワード：土壌水分計測, SAR, 偏波

正の相関を示し、VV 偏波は $r=0.21$ と相関が低かった。

5.3 GHz の観測周波数で乾燥領域 ($\theta = 0.05 - 0.35 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$) を計測した研究例 (Holah et al. 2005) では、クロス偏波よりもライク偏波のほうが高い r を示した。したがって、1.2 GHz 程度の低い周波数の電磁波が湿潤領域の土壌において浸透・散乱する現象は、5.3 GHz 程度の高い周波数で発生している現象と異なると考えられる。本研究では、土壌中へ深く電磁波が浸透し、土壌中で複雑な散乱をするためクロス偏波において高い r が示されたと考えられる。本研究が示す通り湿潤土壌においてライク偏波の相関が低いために、既往の SAR の σ から ε を求めるライク偏波とクロス偏波を組み合わせたモデル (Oh et al. 1992) の適用は難しい。

4. まとめ

SAR による土壌水分計測領域の拡大に向けて $\theta > 0.35 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ の湿潤土壌に対して、 σ と ε の関係性を評価した。その結果、湿潤土壌ではクロス偏波 HV が ε の推定に適しており、乾燥土壌の既往研究とは異なる結果を示した。したがって、湿潤土壌における電磁波の散乱を考慮した新たな ε の推定モデルの提案が必要である。

参考文献

- Bruckler, L., Witono, H., & Stengel, P. (1988). Near surface soil moisture estimation from microwave measurements. *Remote Sensing of Environment*, 26, 101-121.
- Holah, N., Baghdadi, N., Zribi, M., Bruand, A., & King, C. (2005). Potential of ASAR/ENVISAT for the characterization of soil surface parameters over bare agricultural fields. *Remote Sensing of Environment*, 96, 78-86.
- Oh, Y., Sarabandi, K., & Ulaby, F. T. (1992). An Empirical Model and an Inversion Technique for Radar Scattering from Bare Soil Surfaces. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 30(2), 370-381.

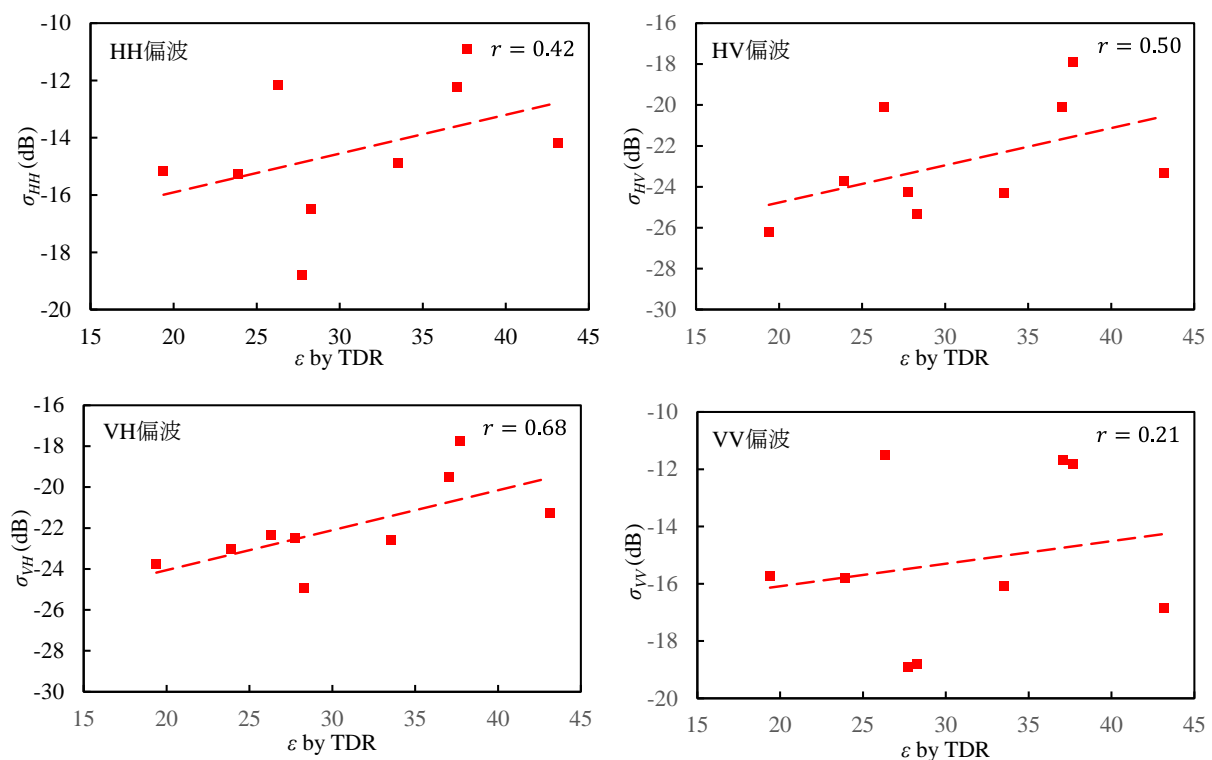


Fig 1. 各偏波ごとの σ と ε の関係、 r は相関係数