

研究成果報告書

研 究 題 目		地温・地中水分の鉛直プロファイルがマイクロ波放射伝達深さに与える影響のモデル化	実 施 年 度
			2024（令和6）年度
代 表 研 究 者	所 属	岡山大学 学術研究院環境生命自然科学学域 （工学部 環境・社会基盤系）	
	氏 名	辻本 久美子	印

1. 研究の目的・背景

近年、気候変動への対応策として、地中水分の広域かつ継続的なモニタリングの重要性がますます高まっている。これに伴い、米国航空宇宙局（NASA）の SMAP、欧州宇宙機関（ESA）の SMOS、日本の宇宙航空研究開発機構（JAXA）の GCOM-W など、マイクロ波センサー搭載の地球観測衛星によるリモートセンシング技術の高度化が国際的に進められている。マイクロ波は雲や水蒸気の影響を受けにくく、全天候型で観測できるため、地中水分の常時モニタリングに有効である。

この技術は、地中水分が土壌の誘電率に影響を与える性質を利用し、地表から放射される輝度温度（放射率×物理温度）を観測し、それを放射伝達モデルで解析することで水分量を推定する。しかし、土の放射伝達過程には未解明な点が多く、特に輝度温度が地中のどの深さの情報を反映しているかに関する定量的な理解が不足しており、モデル検証の精度を制限する要因となっている。

地中のマイクロ波は、水分・温度・導電率の鉛直分布に応じて吸収・散乱されながら地表に到達するため、観測される輝度温度が反映する深さ（以下「影響深さ」）は、周波数や誘電率に応じて変化する。影響深さは一般に数 cm～10cm 程度であり、低周波ほど深部に到達しやすく、湿潤な土壌では浅くなる傾向がある。

本研究では、地温・水分・導電率の鉛直プロファイルが影響深さに及ぼす効果を野外および室内実験を通じて明らかにすることを目的とする。申請者はこれまで、粒径や密度の異なる土壌試料に対し、ネットワークアナライザーを用いた複素誘電率の測定を行い、既存の誘電率モデルの妥当性を検証してきた。これに基づき、水ポテンシャルに着目した新たな誘電率モデルを提案し、特に湿潤土壌において高い有効性を確認している。本研究ではさらに、土壌水分－誘電率－輝度温度－影響深さの関係を定量的に明らかにすることで、放射伝達モデルの精緻化と地中水分リモートセンシングの高精度化を目指す。これにより得られる知見は、地中水分推定の精度向上のみならず、気候変動下における水資源の管理や農業・電力分野への応用にも資する基盤的成果となる。



写真-1：圃場実験の様子。3台のマイクロ波放射計で観測し、地中にはセンサーを埋設して計測。

2. 研究成果及び考察（申請時の計画に対する達成度合を織込む）

野外実験は、岡山大学津島キャンパス（岡山市北区）において実施した。実験に先立ち、約 1.8 m 四方の区画を 50 cm 深さまで掘削し、区画底面に透水性防草シートを敷設した。区画側面にはベニヤによる止水板を設置し、水平方向の水移動を制御した実験環境を構築した。その後、区画内に真砂土を搬入し、充填密度が均一となるよう留意して全体を軽く転圧した。

この区画には、地表下 1 cm から 10 cm まで 1 cm 間隔で 10 本の土壌水分・地温センサー（TDR 方式、ACC-TDR-315N, Acclima 社製）を設置し、各深度層における体積含水率、地温、バルク土 EC に関する瞬時値を 10 分毎に記録した。センサーはデータロガー（CR800, Campbell Scientific 社製）を介してパソコンに接続し、データ収集を行った。同時に、マイクロ波放射計によって区画土面の輝度温度（6.925GHz, 7.3GHz, 18GHz, 36GHz）を V 偏波および H 偏波で観測した。実験区の外観は写真－1 に示す。以上の実験区画において取得されたデータに基づき、地中水分および温度の鉛直プロファイルがマイクロ波の放射伝達深さに与える影響を評価した。

一方、数値計算においては、地中水分と複素誘電率の関係を記述する誘電率モデルと、地表面粗度を表現する粗度モデルを組み合わせ、水分および温度条件に対応する輝度温度を算出した。誘電率モデルとしては、Dobson、Mironov、Wang and Schmugge、ならびに研究代表者による新規モデルの計 4 種を用い、粗度モデルには Advanced Integral Equation Model (AIEM) を適用した。計算には、野外実験により取得した地表下 1 cm から 10 cm まで 1 cm 刻みの水分・温度の観測値を入力値とし、各深度に対する輝度温度を算出した。得られた計算結果は、マイクロ波放射計による観測輝度温度と比較した。図-1 には観測された水分・温度の鉛直プロファイルの一例を、図-2 にはこの

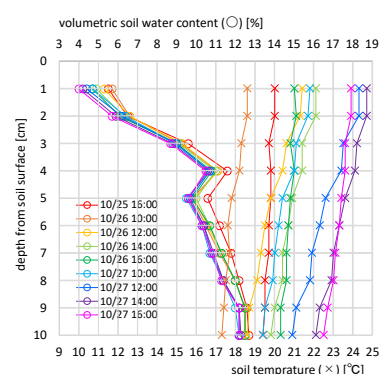


図-1 計測された鉛直プロファイル ファイル情報を反映したマイクロ波放射伝達モデルの改良の一例（水分、温度）

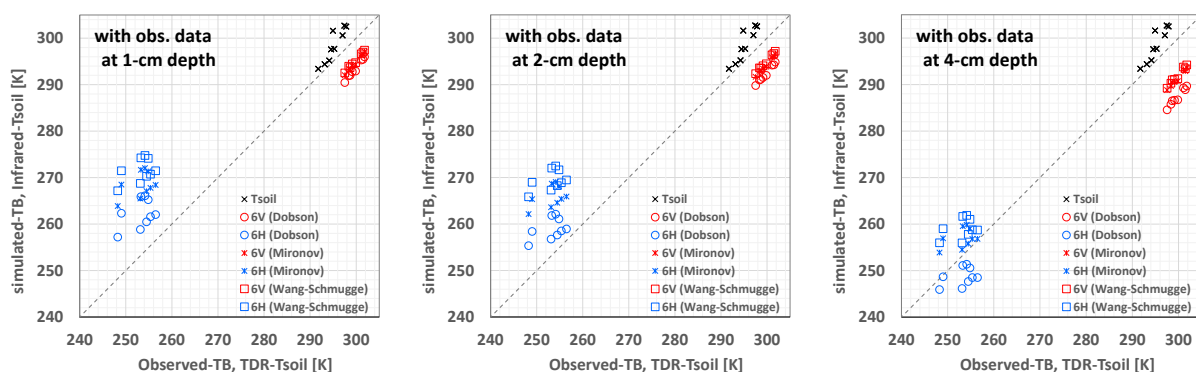


図-2 各深度（左から 1, 2, 4cm）計測地温・水分に対する輝度温度の観測値と計算値の比較。

3. 経費の使用状況（申請時の計画に対する実績を記述）

申請時の計画に沿って、土壌水分・地温センサー、計測値記録用データロガー、防水テント等の実験用消耗品を購入した。実験の進捗に伴い追加の物品が必要となったことから、消耗品費としての支出は約 159 万円に達し、申請時計上額（120 万円）を上回った。特に、圃場実験時のデータ回収用としてパソコンの必要が生じたため、財団事務局の確認を経て本予算で購入した。

共通機器および実験室の使用料として借料損料 30 万円を計上していたが、使用料不要の施設を活用した結果、実験効率は低下したものの経費を削減でき、これを消耗品費に充当した。

研究打ち合わせのための旅費は、申請時に 5 万円を予定しており、実績は約 6 万円とほぼ計画通りであった。研究補助に係る謝礼金（申請時 15 万円）、外注費（同 10 万円）、論文投稿料（同 20 万円）については自己予算にて補填したため、本経費からの支出は合計で約 5 万円にとどまった。

4. 将来展望（今後の発展性、実用化の見込み等について記述）

2025 年 6 月 29 日打ち上げ予定の人工衛星 GOSAT-GW (https://fanfun.jaxa.jp/countdown/gosat-gw_h2af50/index.html) により、気候変動に伴う地球規模の水循環モニタリングが学界全体で一層強化される見込みである。本研究で得られた知見は、同衛星による地中水分の高頻度・広域観測の精度向上に寄与し、干ばつの早期検知や農業管理への実用化が期待される。さらに、国際的なデータ連携や予測モデルへの応用を通じて、気候変動へのグローバルな適応戦略にも貢献しうる。

5. 成果の発表（学会での発表、学術誌への投稿等を記載。予定を含む）

【論文発表】

- 1) 辻本久美子・太田哲(2025) : GCOM-W/AMSR2 及び SMOS による衛星土壌水分プロダクトの多地点地上検証:2012~2020 年、*土木学会論文集 B1(水工学)*、Vol.81-16、24-16031.
- 2) 辻本久美子・太田哲：誘電率および粗度モデルを改良した AMSR2 土壌水分推定アルゴリズムの構築と全球性能評価、*土木学会論文集 B1(水工学)*に投稿中

【学会発表】

- 1) 笹本大智, 大倉悠生, 太田哲, 辻本久美子 (2024): 全球を対象とした干ばつ指標 SC-PDSI による干ばつ検知精度の評価と考察、*令和 6 年度農業農村工学会大会講演会*、2024 年 9 月.
- 2) 辻本久美子, 太田哲, 岸本爽汰, 橋村心 (2024): 日本の火山灰土に対する誘電率モデルの比較と検証、*令和 6 年度農業農村工学会大会講演会*、2024 年 9 月.
- 3) Kumiko Tsujimoto, Tetsu Ohta (2025): Global Accuracy Evaluation and Error Analysis of GCOM-W/AMSR2 and SMOS Satellite Soil Moisture Products, *Annual Meeting of Asia Oceania Geosciences Society (AOGS)*, 2025 年 7 月発表予定（要旨採択済）
- 4) Kumiko Tsujimoto, Tetsu Ohta, Ichiro Kaihotsu (2025): Evaluating the Effect of Near-Surface Soil Moisture Profiles on Microwave Brightness Temperatures Using C-band Radiometry, *International Society of Paddy and Water Environment Engineering (PAWEES)*, 2025 年 10 月発表予定（要旨提出済）
- 5) Makoto Hashimura and Kumiko Tsujimoto (2025): Quantifying Absorbed Water via Matric Potential to Improve Dielectric Models, *PAWEES*, 2025 年 10 月発表予定（要旨提出済）
- 6) Daichi Sasamoto, Kumiko Tsujimoto, Tetsu Ohta (2025): Quantifying Soil Moisture Drydown Patterns Using Satellite Observations for Drought Early Warning, *PAWEES*, 2025 年 10 月発表予定（要旨提出済）

※ 主たる成果については、2025 年 10 月の土壌物理学学会にて発表を予定