

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 ROMSHOO, SHAKIL AHMAD

本論文は、「Determination of Surface Soil Moisture Using Radar Observations and Scattering Models (レーダーによる観測と散乱モデルに基づく表層土壌水分量の算定)」と題し、8章で構成されている。

第1章は、序論であり、リモートセンシングによる表層土壌水分量計測の意義と技術の現状が概観された後、本研究の目的として、1) 異なる環境条件下における裸地の表層土壌水分量の計測条件を明らかにすること、2) 植生地における土壌水分量の計測条件を明らかにすること、3) SAR 衛星による土壌水分量計測の要件を明らかにすること、等を上げている。また、論文の全体構成が要約されている。

第2章では、マイクロ波リモートセンシングによる土壌水分量の計測について、理論、研究実績および水文モデリングとの関係等について文献が広汎にレビューされている。

第3章では、土壌水分の時間的・空間的変動特性が調べられる。本研究の海外における対象サイトであるタイのスコタイ地域（顕著な雨季と乾季があり、この種の研究には好適）では、SAR 衛星 ERS-2 の12時期の観測に同期して約10haの区域内の25m x 30m グリッド毎に土壌水分サンプリングが実施されている。この土壌水分サンプリング・データとSARデータにvariogramを中心とする統計解析が適用され、土壌水分量の時空間変動に顕著な季節変化があることを見出している。すなわち、土壌サンプリング・データに対しては、乾季には分散が小さく、広い空間相関性を持ち、雨季ではその逆の傾向が顕著なこと、nugget値は雨季に大きな値を示すこと、SARデータに対しては、空間相関性については土壌データの解析結果と同様の傾向を示すが、分散は小さいこと等が指摘され、それぞれの理由について考察が加えられている。

第4章では、衛星SARデータと地上検証データの解析ならびにマイクロ波散乱モデルの適用性の検討により、衛星SARデータからの土壌水分マッピングの可能性が議論されている。まず、千葉県に設置されたいくつかの地上検証実験サイトにおけるポイント・スケールでの検討結果から、粗度の変化と植生が少ないサイトではSAR衛星ERS-2、RADARSATとも土壌水分量を定量的に計測でき、IEM散乱モデル（単波長・単偏波）とDubois散乱モデル（単波長・多偏波）とも適用できるが、粗な植生がある場合にはDuboisモデルの方が適用性が高いことが指摘されている。次いで、広領域における土壌水分量分布の抽出について調べるために、タイ・スコタイ地域（約83000ha）に対するERS-2とJESR-1の時系列データに主成分分析と変動係数法が適用される。その結果、河川沿いの湿地帯や水田灌漑域が明瞭に判別でき、流域規模で土壌水分分布を把握できる可能性が示されている。さらに、この領域の土壌水分量分布地図がERS-2とRADARSATのデータにDuboisモデルを適用した後方散乱係数-土壌水分量関係から作成される。当然ではあるが、スコタイの土壌水分検証区域では良い一致を見せている。この地図と分布型水文モ

デルによる計算値とを対照すると、グリッド毎の値は必ずしも一致していないが、定性的な分布形状にはかなり良い一致が見られる。

以上の検討の総括として、様々な地表面条件に対して衛星 SAR データから土壌水分量を精度良く算定するためには更なる地上実験と理論的な検討が必要であるとの認識の下に、第5から7章の研究が展開される。

第5章では、裸地における土壌水分の抽出が取り扱われている。生産技術研究所千葉実験所構内に設けられた実験サイトにおいて、X-バンド、C-バンドおよびL-バンドの散乱計を用いて異なる地表面粗度と水分状態の下で多数の観測が行われた。得られたデータを用いて IEM モデル（裸地に対する理論モデル）の適用性が検討され、HH 偏波に対しては適合性が良いが、VV 偏波に対しては必ずしも良くないことを明らかにしている。また、IEM モデルを用いて被観測パラメータ（地表面粗度、土壌水分）とセンサー・パラメータ（入射角、周波数、偏波）に関する感度分析がなされ、それぞれのパラメータの基本的振舞いが詳細に整理されている。

第6章では、草地における単一波長 C-バンド散乱計観測による土壌水分の抽出が議論されている。上述の実験サイトに牧草を植え、成長に合わせて、また刈り取りなどで条件を変えて観測データが取得された。こうした草地に対しては IEM や Dubois などの表面散乱モデルは不適切であり、Lang の体積散乱モデルの適用性が良いことが示されている。また、植生条件も加えて Lang モデルに基づく感度分析が実施され、それぞれのパラメータの振舞いが詳細に整理されるとともに、植生条件下での土壌水分評価に対する要件が議論されている。

第7章では、麦耕作地を対象にして X、C および L-バンドによる土壌水分の抽出が取り扱われている。観測は実験サイトに小麦を植え付けて行われた。Lang モデルの適用性が検討され、Xバンドには適用が不可能であり、C-バンドとL-バンドのHH 偏波とVV 偏波で特に適合性が良いこと、L-バンドで入射角が小さいほど土壌水分に対する感度が高いこと、C-バンドでは小さい入射角で地表面特性に、大きい入射角で植生パラメータにそれぞれ感度が高いこと、等が明示されている。

第8章には、以上の研究の結論が要約されるとともに、本研究を踏まえて土壌水分量と植生パラメータを抽出する立場から、既存あるいは計画中の衛星センサーの優劣が整理されている。また、今後の研究の方向が示唆されている。

以上要するに、本研究は、SAR 衛星とその地上検証実験および地上散乱計を用いた系統的な屋外実験から得られた広汎なデータを駆使して、マイクロ波散乱に関する理論モデルと経験モデルの適用性を検討することにより、能動型マイクロ波リモートセンシングによる土壌水分抽出の可能性と要件を明らかにしたものである。また、本研究で系統的に取得されたデータ・セットそのものが今後のこの分野の研究に極めて有用な資料を提供している。これらの点において本研究は水文・水資源工学のリモート・センシング応用分野の発展に資するところ大である。したがって、本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。