

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 瀬戸 心太

本研究は、陸面の水循環やエネルギー収支をコントロールすることによって水循環を含む気候システムの変動に大きな影響を及ぼしている表層土壌水分について、最新の衛星搭載マイクロ波センサからの情報に基づいてグローバルに推定する手法の開発に取り組んだものである。本研究では、熱帯降雨観測衛星(TRMM)に搭載された能動型のマイクロ波センサである降雨レーダ(PR)と受動型であるマイクロ波放射計(TMI)からのデータが利用された。

PR は本来降雨粒子からの反射を測定するためのセンサであったが、減衰補正のために地表面からの反射強度も定量的に測定されている点が本研究では着目され、表層土壌水分推定手法の開発に取り組まれたことは極めてオリジナルな研究である。

まず、地表面からの散乱特性について土地被覆分類や葉面積指数(LAI)との関連について、TRMM 以外の能動型センサのデータも利用しつつその入射角依存性が丹念に検討された。観測事実を説明する物理モデルとしてセンサの視野角内に一定厚さの植生が広がっていて、土壌層で反射されたマイクロ波が植生層を通過すると考えるレイヤーモデルと、視野角内の一部が、マイクロ波を全反射する植生によって覆われていると考えるモザイクモデルとが提案され、裸地表面からの反射と植生層からの反射の線形合成という視点からは両者が数学的に同じ形式であることが示された後、地表面からの散乱信号の季節変化観測結果の考察から PR に対してはモザイクモデルで考えることが適切であると結論付けられた。Ku バンドという比較的短い周波数帯のマイクロ波が PR では用いられていることから、これは極めて妥当な結論である。

さらに、モザイクモデルに基づき、入射角が小さく直下視に近い方が植生からの反射に比べて地表面からの反射の影響が大きく、表層土壌水分量の推定には適していることが示された。

これらの成果に基づき、入射角依存性を利用して植生の影響を考慮した上で土壌面の散乱モデルを用いて表層土壌水分量を推定するアルゴリズムが構築された。推定結果はいくつかの地上観測データや他のグローバル水循環データと比較され、植生密度が高く表層土壌からの信号がほとんど得られない熱帯雨林以外の領域に関しては良好に対応していることが示された。

さらに、観測頻度の低さを補うため、異なる入射角に対する地表面散乱強度間の高い相関関係を用いて、代表的な入射角(12度)における散乱係数に換算して中緯度に対しては日単位で 0.25 度グリッドの空間解像度で表層土壌量を推定するアルゴリズムが構築され、1998 年～2002 年の 5 年分の熱帯全球(南北約

36 度まで)の表層土壌水分量データが作成された。

一方で、TMIによる土壌水分量推定に関しては、植生層が観測輝度温度に及ぼす影響について物理的に評価する目的で、土壌・植生・大気を結合した放射伝達モデルが作成され、利用された。

植生層の葉や幹や枝に関わる 6 つのパラメータに関する感度分析が行われ、同一周波数での垂直・水平偏波間輝度温度差(PDR)や同一偏波での周波数間輝度温度差(FD)への影響が評価された。その結果を踏まえた上で、8 つのアルゴリズムが構築され、月単位の土壌水分が推定され、PR による推定結果を参照してその妥当性が検討された。結果としては、PDを用いて、可視・近赤外センサから別途推定される LAI の季節変化を考え、幹面積指数、枝幹比、葉の厚さ、植生含水率、粗度の 5 つの主要パラメータの地域性を考慮することにより表層土壌水分の季節変化が良く再現されることが明らかとなった。主要パラメータの設定は、感度分析の結果から定めたルックアップテーブルのレンジに可能な限り収まるように定められた。TMI の高頻度観測により、やはり日単位のグローバルな土壌水分量分布が空間解像度 0.25 度で 3 年分作成された。

これらの成果は、衛星リモートセンシングによる表層土壌水分推定に対して、その理論的理解とアルゴリズム開発という面で大きく貢献するのみならず、特に PR を用いた手法は前人未踏の極めて独創的な成果であり、さらに、得られた日単位の熱帯全球陸面土壌水分量データは、水循環モニタリング情報として世界の水資源問題に資することが期待されると共に、気象予測、気候予測研究の陸面初期状態量、あるいは境界条件として用いられ、数値予測精度の向上を通じて長期的にはより適切な水資源マネジメントの実現に繋がる社会的にも極めて意義深い優れた研究であると評価される。

よって本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。