

II - 47

衛星搭載マイクロ波センサによる表層土
壤水分量観測の理論式に基づいた検討

東京大学生産技術研究所	正員	沖 大幹
東京大学生産技術研究所	正員	虫明 功臣
JR 東海	正員	輪笠 一浩

1. はじめに

土壌水分は、降雨流出過程や蒸発散過程を大きく支配する重要な水文状態量であるが、広い領域にわたって観測を行なうことは容易ではない。しかしながら面的な数値水文モデルの開発が積極的に行なわれるようになって現在の、広域にわたる表層の土壌水分量情報の取得が非常に必要とされている。これまでに我々は、Cバンドマイクロ波散乱計による基礎実験^[1]や衛星地上検証実験によってマイクロ波センサから得られる後方散乱係数と土壌水分を結びつけ、さらには可視・近赤外センサデータから得られる土地被覆分類結果の支援を得ながら広域の土壌水分地図を作成する手法の開発^[2]などを行ってきた。本稿では、これまでに裸地面土壌で観測されてきた車載型散乱計、E ERS-1、J ERS-1の各データを、マイクロ波散乱理論に基づいて整理・総括し、衛星データを利用した地表面物理パラメータ抽出手法についての検討結果を報告する。

2. マイクロ波表面散乱理論モデル

土壌面におけるマイクロ波の散乱には土壌表面で生じる表面散乱と土壌内部まで侵入して生じる体積散乱の2つがある。体積散乱は表層土壌の体積含水率が5%以下で支配的であるとされるため、ここではそうした極端な乾燥状態は考えず、Ulabyら^[3]のマイクロ波表面散乱理論モデル式を利用した。このモデル式では、後方散乱係数は波長や偏波面、入射角などマイクロ波の諸元と土壌の種類、地表面粗度、表層土壌の体積含水率など対象物の物理的性質に影響を受ける。特に重要なパラメータは地表面粗度に関する2つのパラメータ、表面高さの標準偏差： σ [cm]と相関距離： l [cm]である。これらの粗度パラメータは用いる波長（もしくは波数 k ）との相対的な大きさによって定まり、使用する周波数が異なれば同じ物理的粗度を持つ地表面でも異なる粗度パラメータとなる。これら $(k\sigma, kl)$ の組み合わせによって適用範囲の異なる3種の理論モデル式を用いた。式の詳細や各種観測パラメータに対する感度分析の結果は輪笠ら^[4]を参照されたい。

3. 地表面粗度の逆推定と人工衛星観測データの評価

ここでは、E ERS-1、J ERS-1の同期観測実験時に得られたC-band車載型散乱計の観測値を利用して地表面粗度を逆推定し、推定された粗度を理論曲線にあてはめて衛星データとの比較を行なった。観測サイトは千葉県中部にある明治大学菅田農場運動グラウンドと千葉県農業機械化研修所の2地点である。明大農場観測サイトは良く締め固まった滑らかな地表面、機械化研修所は機械によって常に耕されている粗い地表面であった。後方散乱係数の入射角依存性が粗度の相違によって異なってくる傾向を利用し、車載型散乱計で観測した後方散乱係数データと実測の体積含水率観測値にあてはまる最適な理論曲線を求めることによって地表面粗度を逆推定した。推定した粗度を2つの衛星センサの波長に対する相対的粗度に直して、体積含水率などのその他の観測値と共にそれぞれの理論式に代入した。誘電率の土壌水分依存性は室内実験により得られた結果^[5]を利用している。得られた理論曲線と衛星データとを比較したグラフが図1と図2である。

明大菅田農場の車載型散乱計データは高含水率でバラツキが大きいものの、入射角による後方散乱係数の絶対値の差が大きく比較的滑らかな面の特徴を示している。推定された粗度も $(\sigma, l) = (1.0, 10)$ と妥当な値であると考えられる。E ERS-1の観測データと理論値との対応も良好である。

機械化研修所の車載型散乱計データでは、同日に観測された入射角20度と30度の後方散乱係数の絶対値の差は小さく、入射角依存性が弱いという比較的粗い面の特徴を呈している。逆推定された粗度は観測日によって異なり、 $(\sigma, l) = (1.6 \sim 1.9, 9 \sim 11)$ 程度の幅があるが、室内実験での測定値と比較すると妥当な値である。また、この範囲で粗度を変化させても、理論曲線に大きな変化は見られない。逆推定された粗度の平

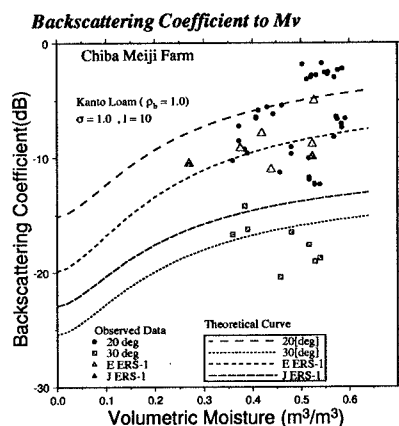


図 1 衛星同期観測：明大菅田農場

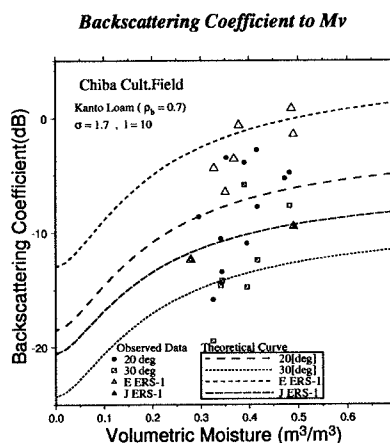


図 2 衛星同期観測：機械化研修所

均値を用いて算定した理論曲線と衛星による観測データとの対応は極めて良好である。

この様に、複数の入射角での後方散乱係数データと土壌水分量観測値とを利用して、粗度の逆推定が可能であることが示された。

4. まとめと今後の課題

マイクロ波センサデータに基づいて広域の土壌水分量を算出するには、土壌水分以外に後方散乱係数に影響を与える地表面状態量の情報が必要となってくる。それらの諸因子のうちで、地表面粗度はその情報の取得が困難であるばかりでなく、後方散乱係数観測値に及ぼす影響も極めて大きい。本研究では衛星による観測において未知量である体積含水率と地表面粗度のうち、体積含水率に観測値を適用して既知量情報とすることで地表面粗度の逆推定を行なった。自然状態にある地表面粗度は時間経過による変化が小さいと期待されるので、一旦こうした手法で粗度を定めれば、マイクロ波に対する後方散乱係数観測から土壌水分量を見積もることが可能となる。

しかしながら、対象とする領域全体にわたって地上検証実験を行なうことは非現実的であり、衛星を利用して粗度と土壌水分量とを同時に求めるアルゴリズムの開発が望まれる。このための方法として、全域にわたって非常に乾燥しているかほぼ飽和であるとみなせる際の後方散乱データに対して、別途衛星画像から得られる面的な表層土壌分類データを適用し、土壌水分量(しおれ点含水量や飽和含水量)と後方散乱データの組合せを面的に得ることが考えられる。さらに、異なる入射角・周波数についてこうしたタイミングでデータが得られれば土壌水分量と地表面粗度を同時に推定することが可能になるであろう。

現時点ではこれに足りるだけの観測データは蓄積されておらず、衛星データのみから土壌水分量を算出することはできないが、将来多入射角、多時期の観測が実現すればマイクロ波リモートセンシングを利用した広域表層土壌水分量の評価が進展するものと期待される。

参考文献

- [1] 虫明功臣, 沖大幹, 小池雅洋, 三浦一彦. マイクロ波散乱計による土壌水分計測のための室内実験と野外実験. 水文・水資源学会 1992 年研究発表会要旨集, pp. 100-103, 1992.
- [2] 洲上吾郎, 沖大幹, 虫明功臣. 複数のリモートセンサを利用した広域土壌水分情報の抽出. 生研フォーラム「宇宙からの地球環境モニタリング」第2回論文集, pp. 198-207. 東京大学生産技術研究所, 1994.
- [3] F. T. Ulaby, R. K. Moore, and A. K. Fung. *Microwave Remote Sensing*, Vol. 1, 2, 3. Addison-Wesley Publishing Co., 1982.
- [4] 輪笠一浩, 沖大幹, 虫明功臣. マイクロ波散乱計による土壌水分抽出アルゴリズムの理論的検討. 水工学論文集, Vol. 39, 1995. 875-878.
- [5] 三枝健二, 佐藤公規, 山田美由紀, 長谷部望. Semi-empirical model による関東ロームの誘電率評価. 電子情報通信学会秋季全国大会, pp. B-158, 1994.