

II-12 マイクロ波による表層不飽和帯水分リモートセンシングに関する基礎実験

建設省 土木研究所 正 員 深見和彦
 東京大学生産技術研究所 正 員 虫明功臣
 東京大学生産技術研究所 正 員 小池雅洋

1. はじめに

不飽和帯における水分挙動の評価は、水循環の主要な過程と関連して重要であるが、その水分計測の困難さが、実証的解明を遅らせる一因となっている。近年、土壌水分計測手法としてマイクロ波によるリモートセンシングが注目されている。これは、最も変動の激しい表層(数cm)水分を非破壊で測定することを可能にするとともに、将来、衛星搭載レーダの解像度が高まることにより流域規模の面的評価が可能となる。日本では広沢らによる基礎的研究¹⁾はあるものの、水文学的立場からの現地への応用研究は皆無と言ってよい。

本研究では、広沢らの基礎的研究を踏まえて、能動型マイクロ波リモートセンシングの現地土壌水分観測への適用性を検討することを目ざしているが、今回はX band散乱計を用いて行った室内における基礎実験について報告する。

2. 能動型マイクロ波センサー(マイクロ波散乱計)の原理と概要(図1)

マイクロ波とは波長1mm~1m程度の電磁波の総称である。物体に電磁波が入射すると、そこにMaxwell方程式を満たすような電流が流れ、電磁波の再放射(散乱)が行われる。このとき、送信電力 P_t と受信電力 P_r の比を測定することにより、次のレーダー方程式から、物体の散乱強度を定量的に表す量である散乱係数 σ^0 を知ることができる。このシステムが散乱計である。

$$\sigma^0 = \{(4\pi)^3 \cdot R^4 / (\lambda^2 \cdot GtGr \cdot A_0)\} \cdot P_r / P_t$$

λ : 波長、 R : 物体までの距離、 $GtGr$: アンテナの電力利得、 A_0 : 照射面積
 一方、 σ^0 は、土壌水分の多寡による誘電率 k の広範囲の変化に対応し、変化する。これがマイクロ波散乱計を水分センサーとして用いる原理である。

しかし、土壌面の σ^0 は、水分量(すなわち k)のみの関数ではなく、

周波数、偏波面(ex.: HV=水平偏波(H)送信、垂直偏波(V)受信, etc.)、入射角 θ 、地表面粗度(roughness)、土壌特性、被覆

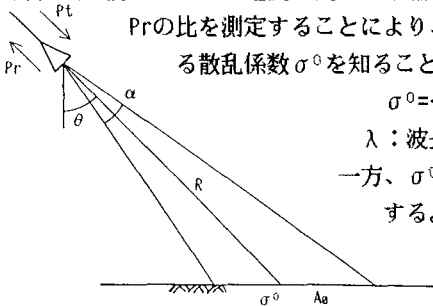


図1 マイクロ波散乱計の概念図

状態(植生など)によっても変化する。その理論的関係は仮想的な条件下では明らかになっている例もあるが、現実的問題に適用できるまでには至っておらず、基礎的実験がその手がかりを与えるものと考えられる。

本研究では、まず関東ローム裸地面を対象とする。周波数については、欧米の研究²⁾によるとC band(4-8 GHz)が最適とされているが、本実験では入手の容易性等の理由により、X band(8-12.5GHz)を選択した。そのシステムを図2に示す。偏波面パターンは、HHである。本室内実験の目的は、 σ^0 の種々のパラメータに対する依存性を明らかにすることである。

3. 実験方法

表層関東ロームを風乾しふるいをかけたものを回転台上に作った発泡スチロール製の枠(1.6m×1.6m)内に深さ20cmまで詰めて対象試料とした。その水分特性曲線を図3に示す。受信散乱電力 P_t は一般に確率変数となるので、ビームを照射しながら回転試料台を360°回転させて P_t を測定し、その平均値から σ^0 を計算した。各実験ケースにおいて表1に示すように各パラメータを変化させた。水分量は飽和状態から次第に乾燥させて調整し、体積含水率は50ccサンプラーにより表層2.5cm平均で測定した。

4. 実験結果

σ^0 の入射角 θ 依存性と地表面粗度との関係の例を図4に示す。入射角が増大するとともに σ^0 は減少するが、その度合は地表面粗度が大きくなるとともに小さくなる一般的傾向が見られる。周波数の影響はその変化幅が小さいこともありほとんどなかった。その結果、既往の研究と同様に、 $\theta = 10^\circ \sim 20^\circ$ において地表面

粗度の影響が見かけ上最小になることが確認された。

σ^0 (dB)の水分依存性については、全水分域にわたって直線近似できるとするのが普通である。しかし、本実験では、低水分域では高い水分感度が見られたものの、どの周波数においても高水分域で水分感度の低下が見られた。その傾向は $\theta=0^\circ, 5^\circ$ では比較的小さいが $\theta=10^\circ$ において著しい（図5）。飽和水分域において σ^0 の低下あるいは頭打ちが見られた例は過去にもあるが、関東ロームにとっての $mv=40\sim50\%$ のような低い水分域までそれが見られた例はない。またその遷移域は、ごく表層に特に乾燥したクラスタが形成され始めた時期に対応しており、結合水と自由水の遷移域にも符合している。この原因としては、関東ロームの特異な土壌構造、鏡面反射の作用、表層クラスタの影響、含水率データとの対応性の問題、等が考えられるものの、現段階では結論することは難しい。

5. 今後の課題

他の周波数帯（C bandなど）、偏波面（HVなど）、土壌等を試みることも含めて、地表付近の詳細な情報を確保しつつ、さらに追試を行うことが必要と考えられる。終わりに、本研究を行うにあたって、文部省宇宙科学研究所の広沢春任教授、日本大学理工学部の長谷部望教授から多くのご指導を頂きましたことに感謝いたします。

<参考文献>1)例えば、H.Hirosawa et al.(1978), Cross-polarized radar backscatter from moist soil, Remote Sens.of Environ.7,pp.211-217,など。 2)例えば、M.C.Dobson et al.(1986), Active microwave soil moisture research, IEEE Trans. on Geosci.and Remote Sens., GE-24(1),pp.23-36,など。 3)虫明功臣ら(1988), マイクロ波による表層不飽和帯水分リモートセンシング実験計画, 第15回関東支部技術研究発表会講演概要集, pp.124-125.

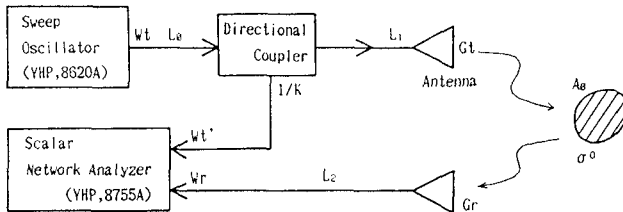


図2 X bandマイクロ波散乱計の概要

表1. コントロールするパラメータ	
パラメータ	ケース
イ)周波数	8.4GHz, 9.9GHz, 11.4GHz
ロ)入射角	0°, 5°, 10°, 15°, 20°
ハ)体積含水率	飽和(約70%)～約15%
ニ)roughness	r1(滑), r2(中), r3(粗)

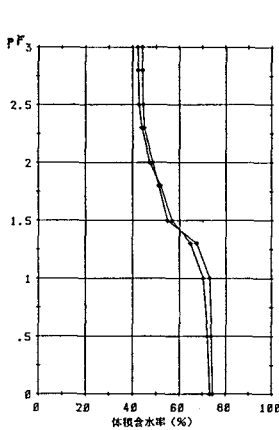


図3 室内試料の水分特性曲線

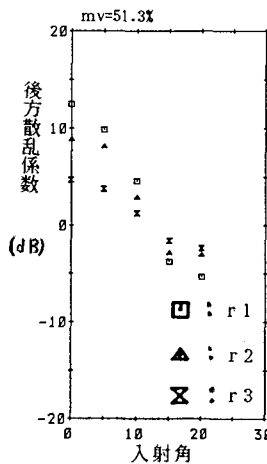


図4 後方散乱係数の入射角依存性(8.4GHz)

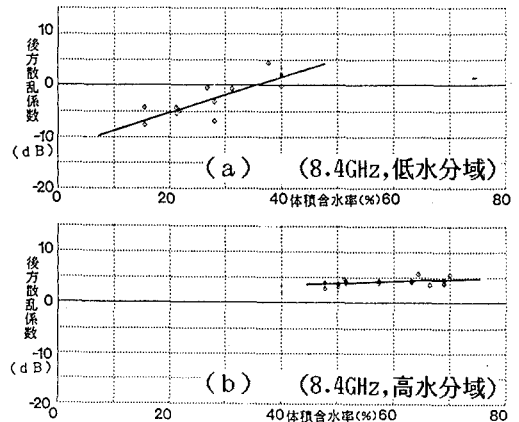


図5 後方散乱係数の水分依存性(θ=10°, roughness=r1)