

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

東京大学大学院 学生員○深見和彦

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。しかし、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。

不飽和帯水分の既存の現地測定法としては、テンシオメーター法や、中性子散乱法などがあるが、いずれの方法でも最も水分変動の著しい地表付近の水分を非破壊で測定することが困難である。一方、表層土壌の水分計測にはマイクロ波によるリモートセンシングが有力視されている。特に、アメリカでは実用化へ向けて種々のレベルでの研究の積み重ねがなされているが、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的としている。ここでは、散乱計システムの原理と構成、絶対較正、および実験計画について述べる。

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り、一般に表1に示すように細分類されることが多い。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、送信アンテナからの送信電力 P_t と受信アンテナからの受信電力 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 、表面の粗さ(roughness)、土壌特性、被覆

図1. マイクロ波散乱計概念図

状態（特に植生）によっても変化する。その理論的關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が最適とされているが、①X bandの機器の入手が容易②植被条件を無視すれば、X bandの方が roughnessの影響が小さい③散乱測定システムを小さくできる、等の理由により、X band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。

3. 散乱計システムの絶対較正

P_r/P_t を知り、 σ^0 を知るためには、本散乱計システムの特性値、すなわち、①アンテナの電力利得($GtGr$)②半値幅 α （受信電力密度が最大方向の1/2以上である範囲の角度幅）③ケーブル損失(L)④方向性結合器の結合係数(K)の諸量を正確に測定しなければならない。ここでは、 σ^0 が既知である頂角90°のコーナーリフレクタを用いて、文部省宇宙科学研究所の電波暗室を借用して絶対較正を行った。その結果を表2に、また、アンテナのE-plane方向とH-plane方向のそれぞれの指向性を図3、図4に示す。

4. 実験計画

前述の、周波数帯 X band、偏波面 HH の散乱計システムを用いて、関東ローンを対象に次の実験を行う。

4. 1 室内実験

後述の現地観測サイトの表層関東ローンを風乾しふるいをかけたものを対象試料とし、表3に示すようにパラメータを変化させて σ^0 を測定する。本実験の目的は、 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、および、後述の現地観測データと比較することにより土壌構造の破壊の影響、を明らかにすることである。

4. 2 現地における継続的観測

生研千葉実験所の現地の関東ローン裸地面を対象として、1日1回、20日間程度 σ^0 の測定を継続して行う。ここでは、表3においてh)、c))は現地条件のままにしておき、i)、d))を変化させて測定する。本実験の目的は、現地におけるマイクロ波土壌水分観測の有効性を確認するとともに、ボーエン比熱収支法による実蒸発散量、従来からのテンシオメータ情報と比較し、土壌面蒸発量の評価を試みることである。

5. おわりに

現在、上記の実験を続行中であり、その結果は講演時に発表する予定である。最後に、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 re-search, IEEE Trans. on Geosci. and Remote Sens., GE-24(1),pp.23-36,など。

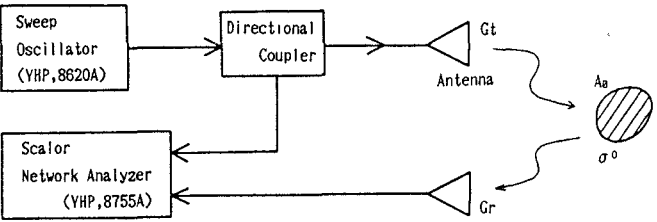


図2. 散乱計システム概要

表1. 主な周波数帯の名称

名称	周波数範囲	波長域
L band	1-2 GHz	15-30cm
S band	2-4 GHz	7.5-15cm
C band	4-8 GHz	3.75-7.5cm
X band	8-12.5 GHz	2.4-3.75cm

表2. マイクロ波(Xband, HH)散乱計システム校正結果

	8.4GHz	9.9GHz	11.4GHz
GtGr	39.34dB	39.17dB	38.22dB
α	$\begin{matrix} 10.9^\circ \\ 11.3^\circ \end{matrix}$	$\begin{matrix} 13.7^\circ \\ 9.5^\circ \end{matrix}$	$\begin{matrix} 16.1^\circ = E\text{-plane} \\ 9.5^\circ = H\text{-plane} \end{matrix}$
L	5.00dB	5.53dB	6.20dB
K	19.80dB	20.04dB	20.11dB

表3. コントロールするパラメータ

パラメータ	ケース
i)周波数	8.4GHz, 9.9GHz, 11.4GHz
d)入射角	0°, 5°, 10°, 15°, 20°
h)体積含水率	風乾状態—飽和状態程度
c)roughness	滑—粗 3ケース

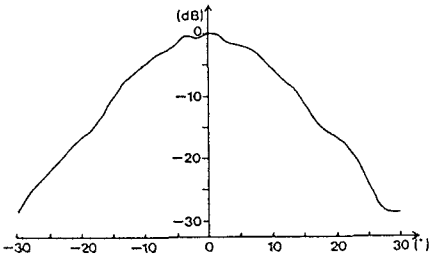


図3. アンテナ指向性(E-plane)

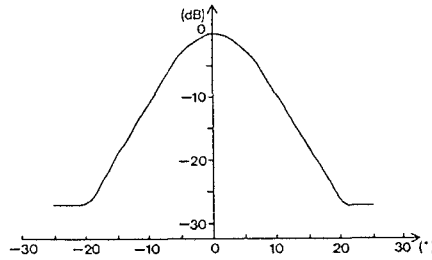


図4. アンテナ指向性(H-plane)