

第II部門 SARデータを用いた地表面粗度パラメータ及び土壌水分量の同時推定に関する検討

東京電力株式会社 正員 村木謙吾
京都大学防災研究所 正員 椎葉充晴

京都大学防災研究所 正員 ○ 立川康人
京都大学大学院工学研究科 正員 高埴琢馬

1. 本研究の目的 マイクロ波の後方散乱係数は対象物の凹凸や土壌水分量などの影響を受ける。この性質を利用して立川らは土壌の体積含水率を既知として、地表面の凹凸情報を抽出し、その抽出値が現地観測値に近い値であることを示している¹⁾。立川らの方法で地表面の凹凸状況を抽出するためには土壌の体積含水率の観測値を必要とするが、それらが同時に抽出できれば非常に都合が良い。そこで、本研究では観測日時がほぼ同じで観測条件の異なる3つのSARデータから、地表面の凹凸パラメータ及び土壌の体積含水率を同時に推定することを試みる。

2. 地表面粗度パラメータ及び土壌水分量の抽出 F.T.Ulabyらはマイクロ波の後方散乱係数を3つの散乱理論モデルで表現している²⁾。本研究ではそのうちPhysical Optics Model及びSmall Perturbation Modelを用いて解析を行なった。それぞれのモデルの適用条件はマイクロ波の波長及び対象物の地表面の凹凸パラメータ σ 及び l の関係により決まる。ここで σ は地表面高さの標準偏差であり、 l は地表面高さの自己相関関数が $1/e$ になる距離のことである。

1. Physical Optics Model for Relatively Smooth Surface

$$\sigma_{pp}^0(\theta) = 2k^2 \cos^2 \theta \Gamma_p(\theta) \exp[-(2k\sigma \cos \theta)^2] \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(4k^2 \sigma^2 \cos^2 \theta)^n}{n!} \cdot \int_0^{\infty} \rho^n(\xi) J_0(2k\xi \sin \theta) \xi d\xi$$

ここで

$$\Gamma_h(\theta) = |R_{HH}|^2 = \left| \frac{\mu_r \cos \theta - (\mu_r \epsilon_r - \sin^2 \theta)^{\frac{1}{2}}}{\mu_r \cos \theta + (\mu_r \epsilon_r - \sin^2 \theta)^{\frac{1}{2}}} \right|^2$$

$$\Gamma_v(\theta) = |R_{VV}|^2 = \left| \frac{\epsilon_r \cos \theta - (\mu_r \epsilon_r - \sin^2 \theta)^{\frac{1}{2}}}{\epsilon_r \cos \theta + (\mu_r \epsilon_r - \sin^2 \theta)^{\frac{1}{2}}} \right|^2$$

適用条件 $kl > 6$ $l^2 > 2.76\sigma\lambda$ $m < 0.25$

2. Small Perturbation Model for Slightly Rough Surface

$$\sigma_{pp}^0(\theta) = 4k^4 \sigma^2 \cos^4 \theta |\alpha_{pp}(\theta)|^2 l^2 \exp[-(kl \sin \theta)^2]$$

ここで

$$|\alpha_{hh}(\theta)|^2 = \Gamma_h(\theta)$$

$$\alpha_{vv}(\theta) = (\epsilon_r - 1) \frac{\sin^2 \theta - \epsilon_r(1 + \sin^2 \theta)}{[\epsilon_r \cos \theta + (\epsilon_r - \sin^2 \theta)^{\frac{1}{2}}]^2}$$

適用条件 $kl < 6$ $k\sigma < 0.3$ $m < 0.3$

ここで、 σ_{pp}^0 :後方散乱係数、 θ :入射角、 k :波数($\equiv \frac{2\pi}{\lambda}$)、 μ_r :比透磁率、 ϵ_r :比誘電率(体積含水率 m_v の関数)、 $\rho(\xi)$:地表面高さの自己相関関数($= \exp(-\xi^2/l^2)$)、 $J_0(x)$:Bessel関数($\sum_{k=0}^{\infty} (-1)^k \frac{(x/2)^{2k}}{k!^2}$)、 m :rms surface slope($\equiv \sqrt{2}\sigma/l$)である。また比誘電率はDobsonらによる関係式により体積含水率から求めることができる。よって以上のモデルは λ 、 θ 、 σ 、 l 及び m_v のパラメータで表すことができる。そのうち地表面の状態量に左右されるのは σ 、 l 及び m_v の3つのパラメータであり、 λ 及び θ はSARのシステムに依存するパラメータであるので事前に知ることができる。よって、対象地点において異なる観測条件で取得されたマイクロ波の後方散乱係数3つをそれぞれ散乱理論モデルで表現するとそれら3つの関係は(1)式のように表すことができる。(1)式で示される3元非線形連立方程式を解くことができれば、対象地点の σ 、 l 及び m_v が抽出できることになる。

$$\sigma_i^0 = f_i(\sigma, l, m_v) \quad i = 1, 2, 3 \quad (1)$$

3元非線形連立方程式を解くにあたり、以下に示す手順で計算を行なった。まず、マイクロ波散乱理論モデルで示される後方散乱係数を m_v の式で表すことは非常に困難であるので、 m_v を与えて(1)式で示される2つの式を σ 及び l で表すことにより、2元非線形連立方程式を得る。その方程式の解を減速ニュートン法を用いて解くことにより、与えた m_v に対する σ 及び l が求まる。次に m_v を微量変化させて同様に σ 及び l を求める。この作業を繰り返すことにより、近似的に(1)式のうちの2式で示される2つの曲面との交線が求まることになる。最後にこの交線と残りの式で示される曲面との交点を求める。以上示した手順で σ 、 l 及び m_v を得ることを試みる。

表1 3つのSARデータと適用した散乱理論モデル

観測衛星	適用した散乱理論モデル
JERS-1 SAR(10月25日)	Small Perturbation Model
JERS-1 SAR(10月26日)	Small Perturbation Model
ERS-1 AMI(10月26日)	Physical Optics Model

表2 田圃1における地表面粗度パラメータ及び土壌の体積含水率の抽出結果

	抽出結果	現地観測結果
σ [cm]	0.909~0.937	0.472~2.922
l [cm]	7.775~7.814	1.998~12.324
m_v [m ³ /m ³]	0.401~0.449	-

3. 抽出結果と現地観測結果の比較 本研究では岐阜県揖斐川町の田圃1~3の3地点を対象として、1995年10月25日及び26日取得のJERS-1 SARデータ及び1995年10月26日取得のERS-1 AMIデータを用いて解析を行なった。これら3つのデータ(後方散乱係数)をそれぞれ表1に示すモデルで表すことにより3元非線形連立方程式を得た。まず、田圃1における抽出結果及び現地観測結果を表2に示す。 m_v の現地観測は行なっていないため、その抽出値の妥当性は判断できない。 σ 及び l は現地観測値の範囲内であった。対象地点である田圃1は見た目では σ 及び l は変化がないと思われたが、実際田圃1の中の数箇所を観測を行なった結果、それらの値は非常にばらばらだった。田圃1では σ 、 l 及び m_v が抽出できたが、他の2つの対象領域(田圃2及び田圃3)では解が求まなかった。この原因について以下に考察を述べる。

本研究では3つの異なる観測条件で得られたマイクロ波の後方散乱係数を散乱理論モデルで表現することにより、(1)式のように3つの式を得た。まずその3式のうち2つの式($i=1,2$)に逐次 m_v を与え、 σ 及び l を求める作業を繰り返した。その過程で得られた m_v 、 σ 及び l の組合せを3つめの式($i=3$)の右辺に代入し、観測値である左辺の値に最も近い値を与える m_v 、 σ 及び l を解として得る。田圃1及び田圃2におけるその結果を図1及び図2に示す。図1及び図2の直線は観測値であり、(1)式の $i=3$ の左辺に対応し、ほぼ曲線を示している点の集合は得られた m_v 、 σ 及び l を右辺に代入して得られた値である。縦軸には後方散乱係数を実際のSARデータであるCCT値に変換した値をとってある。図1では散乱理論モデル

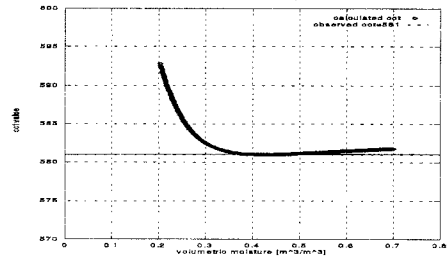


図1 田圃1における理論値と観測値

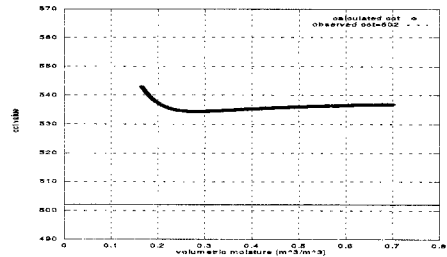


図2 田圃2における理論値と観測値

で計算される値を示す曲線と観測値を示す直線が交わっており解が得られたが、図2ではそれらの線が交わっていないため解が得られなかった。また田圃3でも同様に解が得られなかった。図2を見ると観測値と理論値の差は非常に小さく、この値はSARの観測誤差によるものであると考えられる。田圃1では解が求まったが、田圃2及び3で解が求まなかったことを考えると、田圃1では偶然解が求まったに過ぎないという判断が妥当であろう。

4. おわりに 本研究では観測条件の異なる3つのSARデータから地表面の凹凸パラメータ及び土壌の体積含水率を同時に抽出することを試みた。残念ながらそれらの諸量を抽出することはできなかった。その原因として現在の人工衛星搭載合成開口レーダ(SAR)の精度上の問題が考えられる。今後SARの観測システムが向上すれば、それらの諸量を求めることができると思われる。

参考文献

- 1) 立川,片岡,椎葉,高棹: マイクロ波表面散乱機構の理論モデルとSARデータを用いた地表面粗度パラメータの抽出, 水文・水資源学会誌発表要旨集, pp.76-77, 1996.
- 2) F.T.Ulaby, R.K.Moore, A.K.Fung: Microwave Remote Sensing active and passive volume I,II,III, Addison-Wesley Publishing Company.