

CS-126

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

京都大学防災研究所 正員 立川康人 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筆者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た¹⁾。筆者らの方法で地表面の凹凸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、地表面凹凸と土壌水分量を同時に抽出することが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、刈り取り後の水田を対象として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 Ulaby ら²⁾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。これまでの筆者らの地表面凹凸の観測結果によれば、刈り取り後の水田において JERS-1 の観測条件に適合する理論モデルは Physical Optics Model、ERS-1 の観測条件に適合する理論モデルは Small Perturbation Model であることがわかっているため、ここでもこれらのモデルを適合する。具体的なモデル式は以下のようである。

(1) Physical Optics Model

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

ここで

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

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

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

(2) Small Perturbation Model

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

ここで

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

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

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

上式中、 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 $1/e$ になる距離である。また、 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。したがって、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、 m_v を与えて(1)式で示される第1式、第2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。それら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

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(1995年10月25日)	Small Perturbation Model
JERS-1 SAR(1995年10月26日)	Small Perturbation Model
ERS-1 SAR(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	-

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第3式で示される曲面との交点を求める。

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 SAR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。ただし、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の中の数箇所で見測を行なった結果、それらの値は非常にばらついていた。

田圃1では σ 、 l 及び m_v を特定することができたが、他の2つの対象領域（田圃2及び田圃3）では解が求まらなかった。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 を解として得た。図1及び図2の曲線は、(1)式の2つの式から求められた m_v 、 σ 、 l の値を第3式に代入して得られるCCT値の理論値を、横軸に m_v を取って示したものであり、水平線は観測されたCCT値を示す。これらの曲

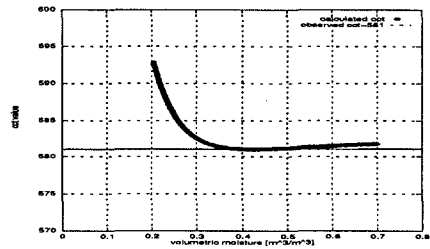


図1 田圃1における理論値と観測値

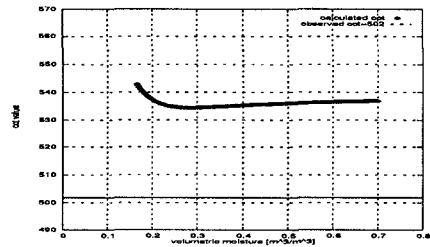


図2 田圃2における理論値と観測値

線と直線の交点が衛星観測値と理論モデルから得られる解を表す。図1は田圃1での結果であり、図2は田圃2での結果である。図1では散乱理論モデルで計算される値を示す曲線と観測値を示す直線が交わり解が得られたが、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。田圃3でも同様に解が得られなかった。

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常に抽出することはできなかった。現在、その原因を追求し手法の改良を考えている。

参考文献

- 1) 立川, 片岡, 椎葉, 高棹: 衛星SARデータとマイクロ波表面散乱機構の理論モデルを用いた地表面粗度パラメータの抽出, 水工学論文集, 第41巻, pp. 933-938, 1997.
- 2) Ulaby, F. T., Moore, R. K., and Fung, A. K.: Microwave Remote Sensing Active and Passive, volume III, Addison-Wesley Publishing Company, 1982.