

CS-171 マイクロ波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

西日本旅客鉄道(株) 正員 片岡 武 京都大学防災研究所 正員 立川康人
京都大学防災研究所 正員 椎葉充晴 京都大学工学部 正員 高樺琢馬

1. はじめに JERS-1 と ERS-1 の SAR データとマイクロ波表面散乱理論式とを用いて、土壌水分の影響を考慮したうえで後方散乱係数から地表面の凹凸に関する指標(粗度パラメータ)を抽出することを試みる。粗度パラメータの空間分布状況を取得することができれば、それをもとに空気力学的粗度の空間分布が得られる可能性がある。研究対象領域は琵琶湖北東部の木之本町周辺で、領域内の裸地面(グランド、田圃)を対象とした。

2. マイクロ波表面散乱理論に基づく地表面粗度パラメータの抽出 マイクロ波が土壌面に入射すると表面散乱と体積散乱が起こるが、湿った土壌では表面散乱の効果が支配的であり、Ulaby ら¹⁾は、表面散乱に関して3種類の散乱機構の理論モデル、Physical Optics Model (P. O. Model)、Small Perturbation Model (S. P. Model)、Geometrical Optics Model (G. O. Model)を提案している。これらのモデルを用いると、後方散乱係数 σ^0 は、マイクロ波の入射角 θ 、波長 λ 、偏波、体積含水率 m_v 、地表面粗度パラメータ(地表面高さの標準偏差 σ 、相関長さ l)の関数として次式のように表され、地表面粗度パラメータの値によって適用できる理論モデルが決まる。

$$\sigma^0 = f(\theta, \lambda, m_v, \sigma, l) \quad (1)$$

入射角 θ 、波長 λ 、偏波は衛星の観測システムによって定まるため、(1)式の中で地表面状態によって異なるのは m_v 、 σ 、 l の3つのパラメータである。同一の地表面を同時に複数のセンサで観測し、異なる観測条件下での後方散乱係数 σ^0 を得ることができれば、(1)式を連立させて解くことによって m_v 、 σ 、 l を同時に抽出できる可能性がある。

現在SARを搭載した人工衛星 ERS-1、JERS-1 が地表面を観測しており、カナダの RADARSAT もこれに加わることになっているが、現状では RADARSAT の SAR データは入手できる状況ではないため、ここでは JERS-1 と ERS-1 の SAR データ、および土壌水分情報を入力として、非線形二元連立方程式を解くこ

表-1 地表面粗度パラメータを抽出できる可能性のある理論モデルの組合せ

組合せ	JERS-1	ERS-1
case 1	P.O.Model	P.O.Model
case 2	S.P.Model	S.P.Model
case 3	G.O.Model	G.O.Model
case 4	P.O.Model	G.O.Model
case 5	S.P.Model	P.O.Model
case 6	G.O.Model	P.O.Model

とによって σ 、 l を抽出することを試みる。

具体的な抽出手法として、ある対象領域に対して上記の理論モデルを適用し、その対象領域に対応する JERS-1 と ERS-1 の後方散乱係数と適当な体積含水率を与えることで、 σ 、 l に関する非線形連立方程式(2)をつくり、これを減速ニュートン法によって解くことで地表面粗度パラメータを抽出する。

$$\begin{cases} \sigma_j^0 = f_1(\sigma, l) \\ \sigma_e^0 = f_2(\sigma, l) \end{cases} \quad (2)$$

ここで σ_j^0 、 σ_e^0 はそれぞれ JERS-1、ERS-1 によって観測された同一地域、同一地点の後方散乱係数、 f_1 、 f_2 は Ulaby らによって示された3種の理論モデルのいずれかである。

ある領域での地表面粗度パラメータを後方散乱係数から逆推定する場合、これから推定しようとする粗度パラメータによって適用可能な理論モデルが決定されるため、事前にどの理論モデルが適用可能かはわからない。そこで、考えられる全ての理論モデルの組み合わせに対してそれぞれ地表面粗度パラメータを推定し、得られた地表面粗度パラメータがそれらのモデルの満たすべき粗度条件の範囲内にあれば抽出できたと考える。JERS-1 と ERS-1 の観測条件を設定した2つの理論モデルを組み合わせた場合、それらの理論モデルの粗度条件をともに満たす地表面粗度パラメータが存在する理論モデルの組合せは、表-1に示す6通りであった。

3. 抽出結果と現地観測結果との比較 地表面粗度パラメータを抽出する際、SAR 画像上でグランド、田圃に対応する地点を特定することが困難なため、グランド、田圃に対応する領域の CCT 値の平均値を中

心にある範囲内で異なる CCT 値を設定して、その値の違いが抽出結果にどのように影響するかを調査した。また、体積含水率の観測値も同じ土地利用の狭い領域内でかなりばらつことが報告されているため、観測され得る範囲内で異なる体積含水率を設定して抽出結果の体積含水率に対する感度を調査した。

図-1 から図-4 はグラウンド、田圃で地表面粗度パラメータを抽出した結果を示したものであり、横軸に体積含水率、縦軸に図-1、図-3 では地表面高さの標準偏差 σ 、図-2、図-4 では相関長さ l をとっている。実線部分はグラウンド、田圃に対応する領域の JERS-1 と ERS-1 の CCT 値の平均値を与えて地表面粗度パラメータを抽出した結果で、それ以外は CCT 値に異なる値を設定して抽出した結果である。例えば、図-1 中の + で示した抽出結果は JERS-1 の CCT 値として対応する領域の平均値から標準偏差の半分の値を減じた値を、ERS-1 の CCT 値として対応する領域の平均値から標準偏差分だけ減じた値を与えて地表面粗度パラメータを抽出した結果である。

グラウンドではある体積含水率のもとで地表面粗度パラメータが2組求まっており、 σ の大きい方が l の大きい方に、 σ の小さい方が l の小さい方に対応している。地表面粗度パラメータが2組求まったのは、それぞれの理論モデルに与えた CCT 値によって求まる解が2つ存在したためである。

グラウンドでは、体積含水率の変化にともなう l の変化率は小さいが、 σ の変化率はかなり大きい場合がある。特に体積含水率が小さい場合に体積含水率の違いが粗度パラメータの抽出結果に与える影響は大きい。また、CCT 値の違いが抽出結果に与える影響は、JERS-1 の影響が大きいことがわかる。

表-2 は地表面粗度パラメータの現地観測結果と抽出結果とをまとめた表である。抽出結果は体積含水率、CCT 値に異なる値を設定して得られた値の範囲を示している。グラウンドでの観測結果と抽出結果とを比較すると、 σ 、 l とともにオーダーは同じものの観測値とは異なる結果となった。グラウンドでの粗度パラメータの観測値によれば、ここでの後方散乱に適合するモデルは JERS-1、ERS-1 とともに small perturbation model であり、表-1 の組み合わせで言えば case 2 の組み合わせによって推定されるべきものである。ところが、後方散乱係数から逆推定した場合、case 2 では解

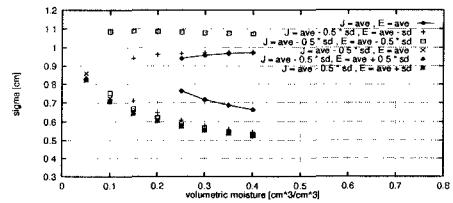


図-1 グラウンドの σ の抽出結果

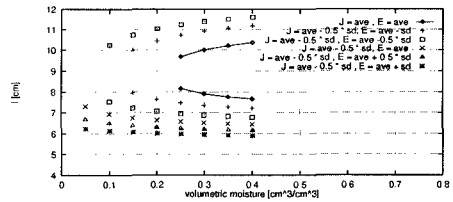


図-2 グラウンドの l の抽出結果

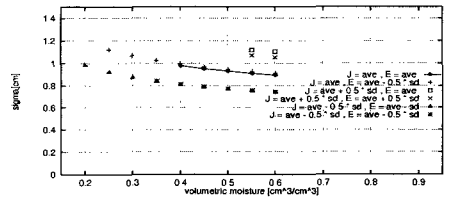


図-3 田圃の σ の抽出結果

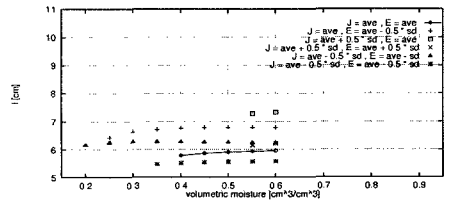


図-4 田圃の l の抽出結果

表-2 地表面粗度パラメータの現地観測結果と抽出結果

	グラウンド		田圃	
	σ [cm]	l [cm]	σ [cm]	l [cm]
観測結果	0.14	2.1	0.38-0.95	4.2-8.2
抽出結果	0.43-1.1	5.5-12	0.74-1.1	5.5-7.3

を得ることができず、解が得られたのは観測値の粗度とは適合しない case 5 の組み合わせであった。これが、推定した値と観測値とで異なる結果となった原因である。一方、田圃では、 σ 、 l とともにほぼ一致した値が得られた。この場合、粗度パラメータは case 5 によって得られており、粗度パラメータの観測結果に適合するモデルの組み合わせも case 5 であった。

参考文献

- 1) Ulaby, F. T., R. K. Moore, A. K. Fung : Microwave Remote Sensing active and passive, volume I,II,III, Addison-Wesley Publishing Company, 1982.