

京都大学工学部 正員 高樟琢馬 京都大学工学部 正員 立川康人
西日本旅客鉄道(株) 正員 ○ 片岡武

1. はじめに 地表面での熱収支・水収支をモデル化するためには、モデルパラメータとして空気力学的粗度が必要となる。空気力学的粗度が地表面の凹凸と関連があることに着目し、JERS-1とERS-1のSARデータとマイクロ波表面散乱理論式を用いて、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情報を抽出することを試みる。地表面の凹凸に関する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を得ることができよう。研究対象領域は琵琶湖北東部の木之本町、高月町付近で、領域内の裸地面(グラウンド、田圃)を対象とする。

2. 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、湿った土壌では体積散乱は表面散乱と比べて無視できる。F.T.Ulabyらによって、Physical Optics Model (P.O.Model)、Small Perturbation Model (S.P.Model)、Geometrical Optics Model (G.O.Model)といった表面散乱に関する3種類のモデルが提示されている^[1]。これらのモデルでは、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 (σ, l) の関数として式(1)のように表されており、地表面の形状、つまり地表面粗度パラメータ (σ, l) によって適用できる理論モデルは異なる。

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

ここで、地表面粗度パラメータ (σ, l) は地表面高さの標準偏差 σ と相関長さ l で、相関長さ l は地表面高さの自己相関関数が $1/e$ になるときの距離である。

マイクロ波の入射角 θ 、波長 λ 、偏波は衛星の観測システムによって定まり、式(1)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、あるいは同一のセンサで観測条件を変えて観測し、異なる観測条件下での後方散乱係数 σ^0 の観測値を得

ることができれば、式(1)を連立させて非線形連立方程式を解くことによって体積含水率 m_v と地表面粗度パラメータ (σ, l) を抽出できる可能性がある。

現在ヨーロッパのERS-1、日本のJERS-1、カナダのRADARSATといったSARを搭載した人工衛星が打ち上がっており観測を行っているが、現状ではまだRADARSATのSARデータは入手できる状況ではないため、本研究ではJERS-1とERS-1のSARデータ、および土壌水分の情報をもとに、2元非線形連立方程式を解くことによって地表面粗度パラメータ (σ, l) を抽出することを試みる。

具体的な抽出手法としては、対象領域内のグラウンド、田圃に対して上記の理論モデルを適応させ、グラウンド、田圃に対応するJERS-1とERS-1のCCT値を与え、適当な体積含水率を仮定して与えることで、 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。このようにして抽出された地表面粗度パラメータはそれぞれの理論モデルの粗度条件を満たさなければならない。2つの理論モデルを組み合わせた場合、それら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の6通りであった。

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

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 画像のグラウンド、田圃に対応する地点を特定することが困難なため、グラウンド、田圃に対応する領域のCCT値の平均値を中心にある範囲でCCT値を変動させて抽出を行った。また、体積含水率の観測値は同じ土地利用の狭い範囲でも変動するため、体積含水率を変動させて抽出結果の体積含水率に対する感度を調査した。

表1の6通りの組合せで地表面粗度パラメータの抽出を行った結果、case5の理論モデルの組合せのみ地表面粗度パラメータを抽出することができた。

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

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

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値を変動させ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。

体積含水率の変化にともなう抽出結果の変化率は図2から図4の全てで小さいが、図1ではかなり大きくなっている場合がある。特に体積含水率が少い時の変化が抽出結果に与える影響は大きい。しかし日本の気候風土からすると体積含水率が10%以下になることは珍しく、体積含水率が変動する範囲も限られてくることを考えれば、体積含水率がわからない状態でもある程度の精度をもって地表面粗度パラメータの抽出ができると考えられる。

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をまとめた表である。抽出結果は体積含水率、CCT値を変動させて抽出した全ての抽出結果の範囲を表している。表2から、グラウンドの抽出結果は現地観測値とオーダーは同じだが、一致した値は得られなかった。しかし、田圃での抽出結果は現地観測結果に非常に近い値が得られ、本章で示した抽出手法で田圃での地表面粗度パラメータが精度良く抽出できることが示せた。

参考文献

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

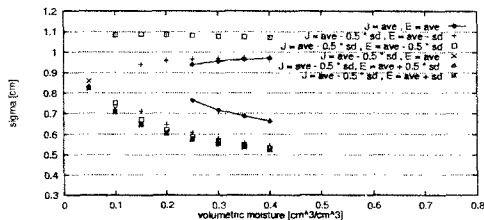


図1 グラウンドの σ の抽出結果

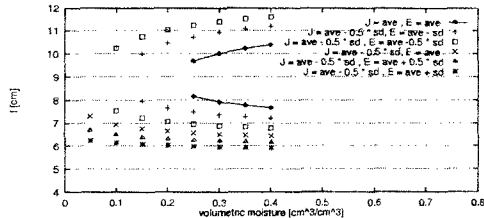


図2 グラウンドの l の抽出結果

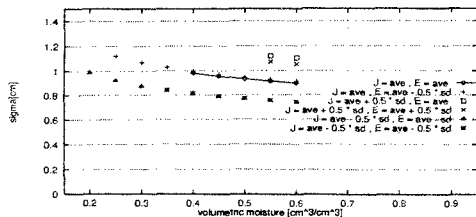


図3 田圃の σ の抽出結果

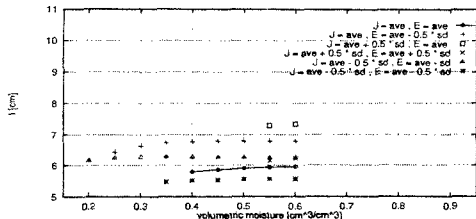


図4 田圃の l の抽出結果