

マイクロ波センサーによる推定土壌水分量の精度に関する考察

清水建設

正会員 三枝 修平

東京大学 生産技術研究所

正会員 仲江川 敏之* 虫明 功臣

1. はじめに

表層土壌水分量は大気と陸面の相互過程を考える際最も重要な因子であり、面的な水分量情報が取得できれば相互過程解明にとって非常に有用である。マイクロ波後方散乱係数は表層土壌水分量に依存し、マイクロ波レーダ搭載人工衛星から得られる散乱データを用いれば、広域土壌水分量を計測する手段としての利用が期待される。本稿では地上でのマイクロ波散乱実験のデータから推定される土壌水分量の精度に関して検討を行なう。

2. 仮想の地表面粗度を用いた $[M_v-\sigma^0]$ 関係の導出

マイクロ波表面散乱を支配する要因としては、波長、偏波面、入射角などマイクロ波の計測システムの特性と、土壌の種類、地表面粗度(数 cm オーダーの凹凸)、表層土壌の体積含水率などの対象物の特性がある。後者の中では体積含水率と同様に、後方散乱係数に対する地表面粗度の効果は極めて大きく、定量的な土壌水分を抽出するには粗度を考慮しなければならないので、広域土壌水分量の情報を得るには地表面粗度の面的な情報が不可欠である[輪笠ほか, 1995]。表面散乱に影響する地表面の変位は面的に考慮しなければならないものであるが、Ulaby らの散乱理論モデルでは、散乱に影響する地表面の粗度(凹凸)を、高さの標準偏差と相関距離の2つのパラメータで示すべく大幅な近似化がなされており、散乱を支配する地表面の変位情報は、2つのパラメータで示すことができる。そこで、複数の後方散乱情報から、非線形多次元連立方程式を解く要領で、土壌水分量と地表面粗度パラメータを数学的には抽出できるが[三枝ほか, 1996]、地上での散乱実験データを用いて抽出を試みたところ、後方散乱情報からそれらパラメータを同定するのは観測誤差のため非常に困難であることを明らかにした。こうした検討から、土壌水分量が推定できる時にただ1回の散乱情報が得られるだけで、その後方散乱係数観測値を与える仮想的な粗度を用いることによって、[体積含水率 M_v -後方散乱係数 σ^0] の関係が得られることが示された[仲江川ほか, 1997]。つまり、対象土壌面には複数の未知情報があるものの、マイクロ波リモートセンシングによる土壌水分量の計測に必要な $[M_v-\sigma^0]$ の関係はただ1度の観測から得られるといえるのである。

本稿では、その初期値として $[M_v-\sigma^0]$ 関係の計算に与える各パラメータ(土壌水分量、乾燥密度)の推定値に誤差があった場合や、地形傾斜による影響を考慮し、それらが $[M_v-\sigma^0]$ の関係にどの程度の変動を及ぼすのか、均一とみなせる実験サイトでの計測データの統計値を用いて検討を行なう。

3. 土壌水分量・乾燥密度の見積り誤差および地形傾斜による $M_v-\sigma^0$ 関係の変動

ここで用いるデータは東京大学生産技術研究所千葉実験所内で1996年7、8月に行なったマイクロ波散乱実験のもので、測定項目はマイクロ波後方散乱係数、土壌水分量、地表面変位の3つである。フィールドの土壌面は成田砂であり、偏波面 HH (水平送信、水平受信)、周波数 5.2(GHz) の後方散乱データを取得した。体積含水率は、50cc(深さ 2.5cm) のサンプラーを用い、炉乾法にて計測を行なった。地表面変位はレーザー式のものを用い、0.01mm 単位、間隔およそ 3mm、長さおよそ 110cm でレンジ方向に1次元で測定した。

図1は体積含水率の誤差に対する関係曲線の変動に関して示したものである。例えば、体積含水率測定値の平均値 $\overline{M_v}$ 、標準偏差 σ に対して $\overline{M_v}-2\sigma$ 、 $\overline{M_v}$ 、 $\overline{M_v}+2\sigma$ にそれぞれ対応する曲線から求められる体積含水率は、-7dB(低含水率)では2.0~5.3%であるが、-1dB(高含水率)では21.9~32.0%であり、変動分は低含水率時±2%、高含水率時±5%と、高含水率になるにつれ変動幅は大きくなっている。しかし体積含水率に対する変動係数で表すと各々0.45、0.20 と小さくなっている。また、図2は乾燥密度の誤差に対する関係曲線の変動に関して示したものである。関係曲線の形が変化していて、 $\overline{\rho_b}-2\sigma$ 、 $\overline{\rho_b}$ 、 $\overline{\rho_b}+2\sigma$ に対応する曲線から求められる体積含水率は、-7dBでは2.8~4.3%、-1dBでは25.7~26.9%であり、変動幅はそれぞれ±0.8%、±0.6%で、変動係数では0.21、0.02 となり高含水率になるに連れて変動は小さくなる。

図3は上述実験サイトの地表面傾斜の分布を示したものである。これは地表面の凸凹ではなく地表面全体の傾斜を示したものである。こうした地形傾斜を考慮に入れて $[M_v-\sigma^0]$ 関係の変動を示したのが図4である。実験フィールドは全体と

* 〒106 東京都港区六本木 7-22-1 TEL 03-3402-6231(2528) FAX 03-3402-2597

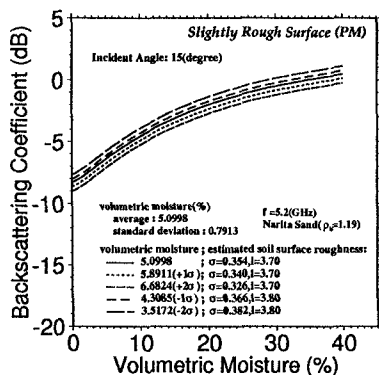


図1 体積含水率の推定誤差による体積含水率-後方散乱係数の変化。平均値 5.10%、標準偏差 0.79%。

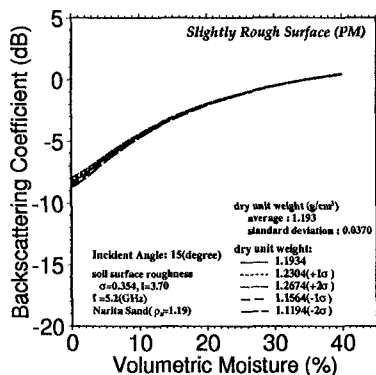


図2 乾燥密度の推定値の誤差による体積含水率-後方散乱係数の変化。平均値 1.193、標準偏差 0.037[g/cm³]。

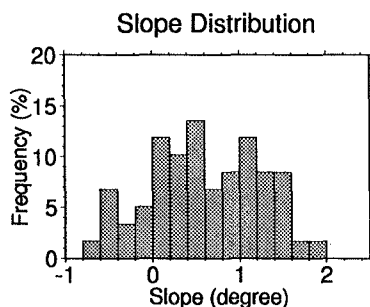


図3 地表面の傾斜の分布。粗度計で得られる地表面の変位のトレンドから算出した傾斜の分布。変位の測定は1回およそ110cmであるが、ここでは30箇所の計測を行なって得られた30個の傾斜の分布。

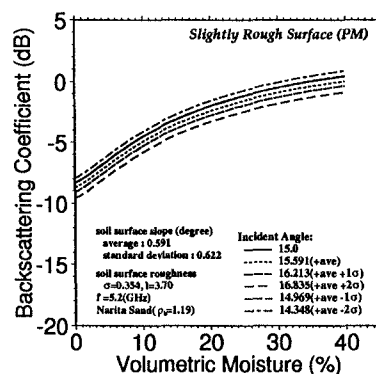


図4 地形(傾斜)を考慮に入れた体積含水率-後方散乱係数の変化。

しておよそ $0.6^\circ (= \bar{\theta})$ の傾斜があったのでそれを反映させ入射角 15.6° とした。 $\theta_I + \bar{\theta} - 2\sigma$ 、 $\theta_I + \bar{\theta}$ 、 $\theta_I + \bar{\theta} + 2\sigma$ に対応する曲線から求められる体積含水率の差は -7dB で $\pm 2.2\%$ 、-1dB で $\pm 7.5\%$ であり、低含水率で 0.25、高含水率で 0.12 の変動係数であった。

4. まとめと今後の課題

本研究では、 $[M_v - \sigma^0]$ 関係を求めるために初期に与えるパラメータの推定値に誤差があった場合、その $[M_v - \sigma^0]$ 関係にどの程度変動があるのか検討を行なった。検討には地上での均一とみなせる実験サイトでの計測データの統計値から体積含水率、乾燥密度、入射角の 2σ をそれぞれ与えた時の誤差を用いた所、最も誤差が大きかったのは入射角で、次いで土壌水分量となり、乾燥密度については殆んど影響がなかった。このことは数度の入射角の違いが大きな土壌水分推定誤差を引き起こすことを示しており、衛星データを用いて広域での土壌水分推定には、粗度に加えて地表面の傾斜も定量的に考慮する必要があると言える。

References

- 仲江川敏之, 三枝修平, 池田聡司, 虫明功臣, 小池雅洋, 沖大幹, マイクロ波散乱計による土壌水分量計測のための多入射角観測による地表面粗度の逆推定に関する検討, 水工学論文集, 第 41 巻土木学会, 1997.
- 三枝修平, 仲江川敏之, 虫明功臣, マイクロ波散乱の多入射角計測による地表面粗度推定の可能性, 第 51 回年次学術講演会概要集, 第 2 巻土木学会, 1996.
- 輪笠一浩, 沖大幹, 虫明功臣, マイクロ波散乱計による土壌水分抽出アルゴリズムの理論的検討, 水工学論文集, 第 39 巻土木学会, 1995.