

II-300 現地観測に基づく積雪のマイクロ波誘電特性

長岡技術科学大学大学院 学生員 長谷川 泉
 長岡技術科学大学建設系 正 員 小池 俊雄
 建設省土木研究所 正 員 深見 和彦

1. はじめに

積雪は、地球規模の熱収支に大きな影響を与え、また水資源としても重要な要素である。積雪量の観測には、マイクロ波リモートセンシングが有効であり、その積雪量算定アルゴリズムの確立が必要となる。マイクロ波を用いた積雪の観測では、マイクロ波と積雪の相互作用が誘電率などの積雪物理量に大きく依存するため、積雪量算定アルゴリズムの確立には、このような物理量の理解が不可欠である。そこで、本研究では ERS-1 システム検証の一環として1992年 2月富山県城端町で実施された地上積雪観測、及び長岡技術科学大学構内で実施された多波長マイクロ波散乱計による積雪観測の結果をもとに、マイクロ波誘電率と積雪密度・含水率との関係を検討した。

2. 観測手法

多波長マイクロ波散乱計 (X, C, L BAND) による積雪観測では、積雪物理量として含水率、雪密度、粒径、雪深、積雪深、積雪状態及び誘電率が測定され、ERS-1 システム検証にともなう地上観測では、さらに表面の凹凸が付加された。ここで含水率は秋田谷式の方法を用いて、また雪密度は100cm³のスノーサンブラーによって測定された。さらに誘電率については、Applied Microwave社 Portable Dielectric Probeのうち Lバンド (1.25GHz) 用と Cバンド (5.3GHz) 用の 2つの誘電率測定器を用いて測定した。Portable Dielectric Probe はサンプルに接触するオープン端同軸ケーブルプローブ (図1-A)、プローブからの反射と位相を測定するマイクロ波反射計 (図1-B)、そして反射計のデータを誘電率の実部と虚部に変形させるデータ処理コンピュータ (図1-C) から構成されている。積雪の誘電率の実部と虚部の計測は、プローブの先端を雪面に接触させ、1回のサンプリングにつき約 5秒間を要する。

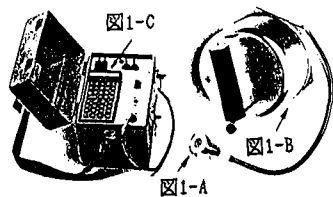


図1 Portable Dielectric Probe

3. 観測結果と考察

ERS-1 と同期して行われた富山での地上積雪観測、及び多波長マイクロ波散乱計による積雪観測にともなう積雪断面観測の結果を以下の図2~6に示す。この各結果においてはデータのばらつきを考慮して、含水率は5%毎、また密度は、0.1g/cm³毎に区分し、各区分に 2つ以上のデータが含まれているものを抽出し、それぞれの平均値をデータとして採用した。積雪の誘電特性については、雪密度・含水率との関係や水滴の付着形状の違いによる誘電率の変化などに関する理論的・実験的検討がなされている。ここでは、Tiuri et.al. (1984)の式をもとに観測データを整理した。図2は各含水率毎の誘電率実部と密度の関係を示している。この結果より、誘電率の実部と密度の関係において、LバンドとCバンドでは周波数の依存はないといえる。そこで式(1)を用いて乾雪の誘電率実部を求めた。図3はそれぞれCバンド、Lバンドにおける雪の乾燥密度に対する乾雪の誘電率実部の計算値と雪の誘電率実部の実測値である。ここで、乾雪の誘電率と実際の雪の誘電率との差は、雪の含水状態の違いから説明されると考えられる。そこで、計測された含水率に対して、式(2)から求めた各波長における雪の誘電率実部と乾雪の誘電率実部の差の計算値と実測値の関係を図4に示す。この誘電率の差は、含水率にともなって増加し、計算値と実測値は一致している。図5は、雪の誘電率実部の計算値と実測値の関係を示したものであり、Cバンド及び、Lバンドの計算値と実測値は一致している。図6は誘電率虚部と含水率との依存性を示したものである。ここで、Lバンドでは含水率のレンジに

$$\varepsilon'_d = 1 + 1.7\rho_d + 0.7\rho_d^2 \quad (1)$$

$$\Delta \varepsilon'_s = \varepsilon'_s - \varepsilon'_d = (0.10W + 0.80W^2) \varepsilon'_w \quad (2)$$

$$\varepsilon''_s = (0.10W + 0.80W^2) \varepsilon''_w \quad (3)$$

ここで

- ε'_d : 乾雪の誘電率の実部
- ε'_s : 雪の誘電率の実部
- ε''_s : 雪の誘電率の虚部
- ρ_d : 水の密度に相対する雪の乾燥密度
- ρ_s : 水の密度に相対する湿雪の密度
- W : 体積率

対し誘電率の虚部の値が小さく、測定精度の問題によると考えられるばらつきが大きく、含水率依存性は不明確であるが、Cバンドでは、式(3)でほぼ含水率を説明できることが確認された。

以上より、Cバンド、Lバンドにおいて、誘電率の実部は密度と含水率に依存し、虚部は、含水率に直接関係するという結果が得られた。

本研究は、文部省科学研究費総合研究(A)「合成開口レーダを用いた水文情報抽出アルゴリズムの開発」(代表:小池俊雄)のもとにERS-1システム検証の一環として実施され、参加各機関の協力を得た。なお、(財)資源観測解析センターから本研究に必要な観測器等を貸与していただいた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

M. Tiuri, A. Sihvola, E. Nyfors, and M. Hallikainen, "The complex dielectric constant of snow at microwave frequencies," IEEE J. Oceanic Eng., vol. OE-9, no. 5, pp. 377-382, 1984.

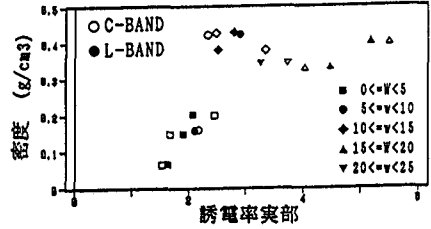


図2 各含水率毎の誘電率と密度の関係

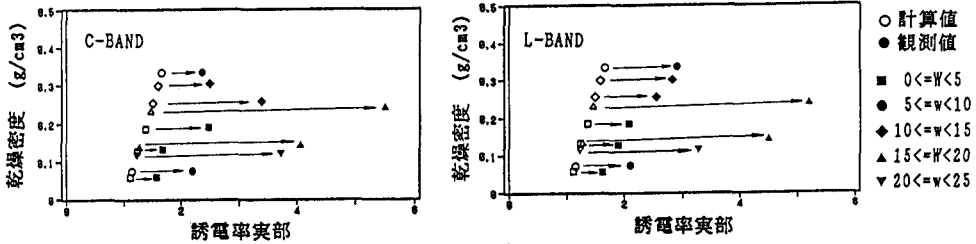


図3 ϵ'_d と雪の誘電率実部の実測値

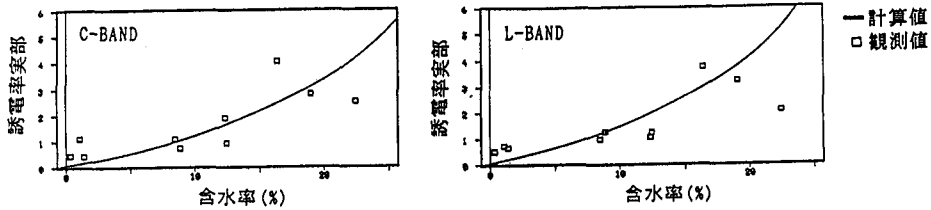


図4 ϵ'_s の計算値と実測値の関係

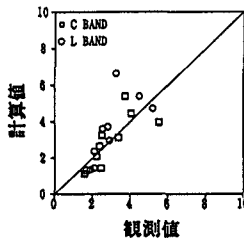


図5 雪の誘電率実部の計算値と実測値の関係

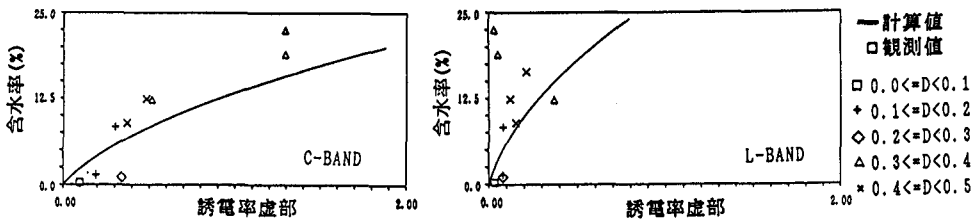


図6 誘電率虚部と含水率の関係