

長岡技術科学大学大学院 学生会員 ○ 田殿 武雄
長岡技術科学大学 正会員 小池 俊雄
長岡技術科学大学 原田 昌信

1. はじめに

積雪は地域的には水資源や災害要因となり得る可能性があり、地球規模では水・熱循環に伴う地球環境変動等に与える影響も大きい。地上の積雪分布を面的・量的に把握することは大変重要である。合成開口レーダ(SAR)は昼夜や天候に関係なく高い空間分解能で地表面を観測し、水文量を直接計測できるセンサである。SARから得られる後方散乱係数(σ^0)は対象物のマイクロ波応答特性に寄与しているもので、積雪の場合は表面・層境界面・積雪-土壌境界面で生じる表面散乱と層内で生じる体積散乱・減衰・放射によって表される。しかし、これまでに行ったフィールド観測および研究結果から、湿雪のマイクロ波応答特性は、多様に変化する積雪の諸物理量(積雪粒径、含水率、誘電率等)によって大きく左右されるため、後方散乱特性も複雑なものになっており、SARを用いて定量的に積雪量を求めるためには、積雪物理特性を考慮したマイクロ波伝搬モデルを開発する必要があることが分かった¹⁾。

本研究では、電磁波の放射伝達理論を基にマイクロ波が積雪層内の雪粒子による1回の散乱と消散(減衰)および積雪-土壌境界面での表面散乱を考慮した一次近似の積雪量推定モデルを構築した。そして、1層の積雪に対して諸物理量をパラメータとしてシミュレーションを行い、積雪面でのマイクロ波後方散乱特性について考察し、本モデルの妥当性について検討した。

2. 一次近似積雪量推定モデルの構築

(1) 1回散乱モデル

一般に物体中を伝搬する電磁波は、物体により吸収・散乱されて消散すると共に物体による散乱あるいは熱放射によって増大し、通常これらの過程は同時に生ずる。これらの過程を表わした放射伝達式の形式解を式(1)に示す^{2),4)}。

$$B(r) = B(0) \exp[-\tau(0, r)] + \int_0^r \kappa_e(r') J(r') \exp[-\tau(r', r)] dr' \quad (1)$$

ここで、 τ : 光学的厚さ、 κ_e : 消散係数、 J : 全source function

今、能動型センサで1回散乱のみを考えるので、式(1)の放射による射出項(右辺2項)を省略し、散乱射出についてはマイクロ波が積雪層内のある深さまでの積雪粒子により1回散乱し後方散乱成分が消散しながら戻るというプロセスを仮定すると、式(1)は次式のように変形でき、これが一次近似の1回散乱モデルとなる。

$$B(r) = \frac{B(0) \kappa_s}{2 \kappa_e} (1 - \exp[-2 \kappa_e r]) \quad (2)$$

ここで、 B : エネルギー、 κ_s : 散乱係数

(2) 積雪-土壌境界面での表面散乱モデル

表面散乱は、UlabyらによりLambert表面(粗面)の場合について示されたモデル^{3),4)}、

$$\sigma^0(\theta, \theta_s) = \sigma^0(0) \cos \theta \cos \theta_s \quad (3)$$

ここで、 $\sigma^0(0)$: 入射角 0° の σ^0 、 θ : 入射角、 θ_s : 散乱角

を用いた。式(3)の $\sigma^0(0)$ は、土壌表面でマイクロ波はFresnel反射すると仮定した電力反射係数を用いた。しかし、実際には土壌表面でマイクロ波はFresnel反射しているとは考えられない。そこで、式(3)から求めた σ^0 を10dB減にして、土壌表面に到達するマイクロ波強度を掛けて表面散乱による後方散乱強度を求めた。この値と式(2)から求めた1回散乱による後方散乱強度を足し合わせ、大気-積雪境界面を鏡面¹⁾として σ^0 を計算した。

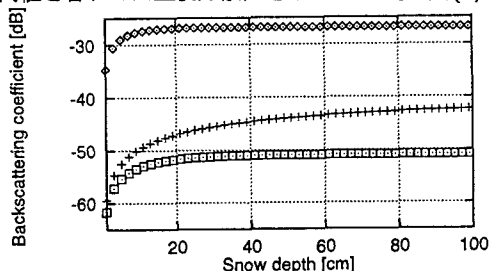
3. モデルによるシミュレーション

次に、積雪面でのマイクロ波後方散乱特性を調べるために、積雪の粒径、含水率、粒子の個数密度、

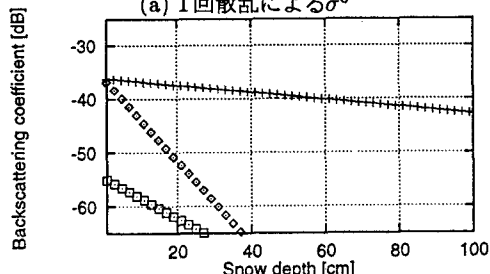
入射角, 周波数 (L, C, X band) をパラメータとして積雪深 100cm まで 2cm 毎に σ^0 を求めた。

3.1 結果と考察

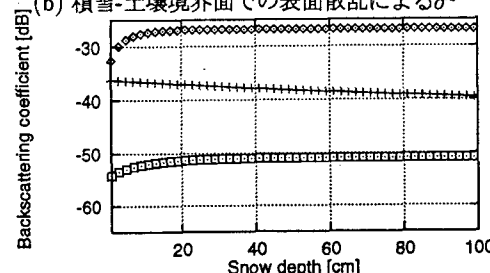
図1は, HH 偏波, 入射角 20° , 積雪粒径 2.0mm で体積含水率 1% (dry な場合) の C (波長約 5.6cm), L band (同 23.5cm) と同含水率 10% (wet) の L band でのシミュレーション結果である。それぞれ横軸は積雪深 [cm], 縦軸は σ^0 [dB] を表しており, (a), (b), (c) は 1 回散乱, 積雪-土壌境界面での表面散乱, 両値を合わせた全後方散乱を示している。図 (a)



(a) 1 回散乱による σ^0



(b) 積雪-土壌境界面での表面散乱による σ^0



(c) 両値を合わせた σ^0

図1: 積雪深- σ^0 [dry, HH- 20°]

◇, C band dry; +, L band dry; □, L band wet

から 1 回散乱による σ^0 は, ある積雪深までは積雪が多くなるにしたがい, 散乱体である積雪粒子も増加するためグラフは右上がりになるが, それ以上はマイクロ波が透過しないため水平になっている。同じ dry な場合でも, L band (+) に比べ C band (◇) では相対的に波長が短いため, 積雪が少ないうちにグラフは水平になり σ^0 の値は大きく

なっている。また, 同じ波長でも dry (+) から wet (□) になるほど誘電率が大きくなり, 吸収による消散の影響が大きく, 積雪が少ないうちにグラフは水平になり σ^0 の値が小さくなっている。次に, 図 (b) から積雪-土壌境界面での表面散乱による σ^0 の場合についても図 (a) の場合と同様の理由で, L band に比べ C band の方がグラフの負の傾きが大きく, また, dry から wet になるほどグラフの負の傾きが大きく σ^0 の値が小さくなっている。したがって, 図 (c) の両値を合わせた σ^0 は, 相対的に波長が短い C band では, 1 回散乱の効果が大きいため積雪約 20cm まではグラフが右上がりになり, その後水平になる。L band で両値を合わせた σ^0 は, dry の場合では, 積雪-土壌境界面での表面散乱の効果が大きいため右下がりのグラフになるが, wet な場合では誘電ロスが大きく積雪-土壌境界面での表面散乱の効果が小さくなり, 相対的に 1 回散乱の効果が大きくなるために C band と同様の傾向になることが分かる。

4. まとめ

以上の結果から, 本モデルは積雪物理量が σ^0 に与える影響を定性的によく表しており, 同じ積雪状態でも異なる波長で得られる結果は全く別の傾向を示す可能性があることが分かった。このことから, σ^0 を 1 回散乱と積雪-土壌境界面での表面散乱の二つの成分で表現した本モデルの妥当性が確認された。しかしながら今後, 観測結果からパラメータ推定手法の検討が必要であると考えられる。

謝 辞

本研究は ERS-1 システム検証実験計画 (主任研究者: 小池) の成果の一部である。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 田殿武雄, 小池俊雄, 深見和彦, 寺川陽: 積雪の多様性とマイクロ波の応答特性, 水文・水資源学会 1994 年研究発表会要旨集, pp108-109, 1994
- 2) F.T.Ulaby, R.K.Moore and A.K.Fung: Microwave Remote Sensing. Active and Passive, vol.I, Addison-Wesley Publishing Company, Inc., pp.186-255, 1981
- 3) F.T.Ulaby, R.K.Moore and A.K.Fung: Microwave Remote Sensing. Active and Passive, vol.II, Addison-Wesley Publishing Company, Inc., pp.816-921, 1981
- 4) 古濱洋治, 岡本謙一, 増子治信: 人口衛星によるマイクロ波リモートセンシング, (社) 電子情報通信学会編, pp.29-66, 1993