

(特－４)マイクロ波伝搬特性に基づく積雪量算定手法の検討

長岡技術科学大学大学院

長岡技術科学大学建設系

長岡技術科学大学建設系

リモートセンシング技術センター

学生員 佐藤繁雄

正員 小池俊雄

正員 後藤 巖

正員 長谷川泉

1. はじめに

合成開口レーダを用いて積雪を観測するにあたっては、マイクロ波の積雪への応答特性を理解する必要がある。その応答特性には、積雪表面・積雪層境界・積雪・土壌境界における表面散乱特性、積雪層内におけるマイクロ波の吸収・放射特性、そして積雪層内の雪粒子による体積散乱特性がある。この内、表面散乱は境界面を挟む2層の誘電率と境界面の粗度によって決まるが、積雪表面および積雪層境界は滑面であると考えられ、表面散乱の効果を考慮する必要があるのは積雪・土壌境界のみである（小池・長谷川(1993)）。しかし地表面粗度で決まる散乱パターンの評価は難しく、よって表面散乱の評価も困難である。

自然状態の積雪は多層構造を成しているので、合成開口レーダから発射されたマイクロ波は、まず積雪表面に到達し、そこで一部反射をする。残りは積雪層内へ侵入し層内において吸収を受け減衰する。そして次の積雪層境界に達した電磁波はそこでさらに一部が反射し、残りが次の積雪層へ侵入するという過程を繰り返す。結果、地表面に達した電磁波は積雪・土壌境界において表面散乱をし、そのうちのアンテナ方向への後方散乱成分が再び積雪層による吸収および境界面における反射を受けアンテナへ返る情報となる（図1）。この特性は、積雪が多い程アンテナへ返る後方散乱成分を減少させる。しかしそれとは逆に、積雪が多い程、散乱体としての雪粒子によるマイクロ波の体積散乱は多くなり、後方散乱成分を増加させることとなる。この2つの相反する特性のため合成開口レーダが得る情報である後方散乱係数の評価は難しいものとなっている。

本研究では、合成開口レーダからマイクロ波が積雪へ入射する場合を仮定し、積雪層内の吸収・放射を考慮したモデルを用いて、多層構造を成す積雪内のマイクロ波伝搬特性を検討した。

2. 計算手法

England(1975)の2層モデルのうち体積散乱の効果を考慮しない直達放射強度算定モデルを用いる。これは、半無限媒体の上に誘電散乱体層が乗っているモデルを想定し、電磁波の吸収・放射特性を表わす直達放射強度を算定するために各境界面におけるエネルギー収支を表わす節点方程式を解くものであ

る。ここで、各境界面は準鏡面であり Snell の法則に従う反射・屈折のみが起こるものとする。

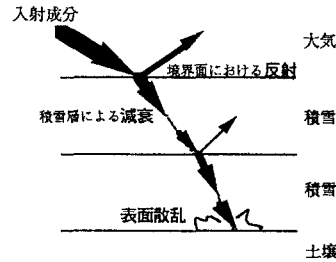


図1 積雪内を伝搬する電磁波

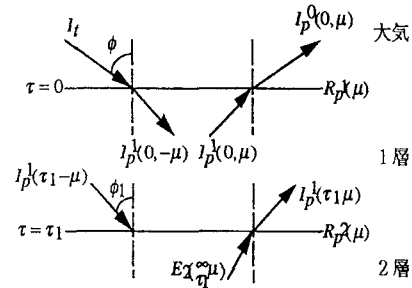


図2 2層モデルにおける直達放射場

ところで、多層構造を成す積雪に対してこのモデルを適用するために、誘電散乱体層、即ち積雪層を任意の n 層に拡張する。また、実際の積雪を考える際には積雪の表面状態がマイクロ波の反射特性に特に大きく影響することを考慮し、積雪層とは別に表層という厚さが0の層を設定し、それを0層と定義する。それにより全部で $4(n+2)$ 本の節点方程式が導かれる。

3. 計算に用いたデータ

1993年に札幌で行なったERS-1検証実験によるデータのうち、北海道北広島町阿部牧場付近にて得られた1/20及び3/31における積雪断面観測結果を用いた。このうち、1/20は気温・雪温ともに氷点下であり乾雪として考えられ、3/31は融雪期にあるために積雪は湿雪と考えられる。なお、計算の際、誘電率は観測で得られた密度・含水率から山本ら(1984)

の式を用いて算定した計算値を用いた。

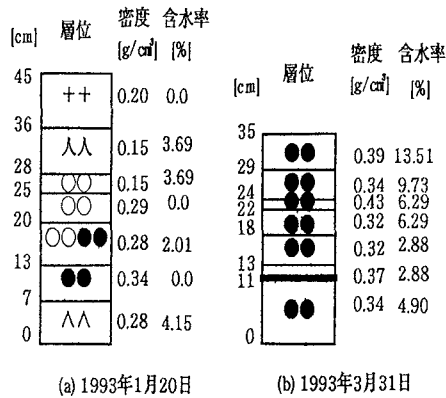


図3 北広島地点にて観測された積雪層位

4. 計算結果

図3で示されている積雪の表面に同じ20dBのマイクロ波が入射したときの直達放射強度を計算した。計算はL-band,C-bandの2波長について行ない、各々の波長についての計算条件はそれぞれ、JERS-1,EERS-1の仕様にした。なお、計算に用いた周波数はそれぞれの衛星で用いられているマイクロ波の中心周波数、入射角は画像中央における入射角を用いている。また、表2には、計算の結果得られた直達放射強度のうち、地表面に到達する成分および積雪表面から出ていく成分のみを示す。

L-bandに関しては、乾雪・湿雪にかかわらず電磁波が積雪層内において減衰を受けずに地表面（積雪・土壌境界）にまで達していることがわかる。しかし、波長が30cmと比較的長いために電磁波の積雪・土壌境界における反射成分が小さく、境界面で屈折し土壌内に侵入してしまう成分が大きいため積雪表面から出ていく成分は小さくなっている。

それに対してC-bandに関しては、電磁波が積雪層による吸収を強く受けていることがわかる。またその傾向は湿雪であるほど大きく、C-bandのマイクロ波が積雪層内の含水量に強く影響を受けることを示している。そして、これは、実際に合成開口レーダへ返る後方散乱成分が、積雪上層の情報しか含まないことも示唆している。

また、C-bandにおいては、積雪表面の含水率の増加により、表面における反射が卓越してくることがわかる。これは見かけ上積雪表面から出ていく電磁波成分を増加させるようにも見えるが、しかしこれは、合成開口レーダで積雪を観測する際には後方散

乱成分としてアンテナへ返るものではないので、これを後方散乱成分を考える際の指標とすることはできない。

計算条件

	L-band	C-band
周波数	1.275 GHz	5.3 GHz
入射角	35°	23°
偏波	HH	VV

表1 直達放射強度の計算条件

入射する成分 20 [dB]

積雪表面から出ていく成分 [dB]

	L-band	C-band
1/20 乾雪	12.93	-1.33
3/31 湿雪	12.53	7.49

地表面に到達する成分 [dB]

	L-band	C-band
1/20 乾雪	22.29	16.40
3/31 湿雪	20.74	-7.62

表2 直達放射強度の算定結果

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。また、同期実験は平成4年度文部省科研費総合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）のもとで行なわれ、北海道大学工学部防災研究室、北海道開発局開発土木研究所、北海道工業大学、苫小牧工業高等専門学校、北海道大学低温科学研究所の各位により多大の協力と示唆を頂いた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

1) 小池俊雄、長谷川泉、深見和彦、後藤巖：積雪のマイクロ波表面散乱特性に関する検討、水文水資源学会1993年研究発表会要旨集
2) A.W.England : Thermal Microwave Emission from a Scattering Layer Journal of Geophysical Research, Vol80, No.32, pp.4484-4496, 1975
3) 山本勝弘、楠信二、樋口敬二：マイクロ波領域における積雪の誘電特性、日本雪氷学会誌、46巻、1号、pp.1-9、1984