

(特－２) 降雪粒子観測と Mie 散乱シミュレーションによる降雪定量観測可能性の検討

長岡技術科学大学大学院 学生員 勝部貴弘
長岡技術科学大学建設系 正 員 小池俊雄
東京都立科学技術大学 小口知宏

1. はじめに

近年のリモートセンシング技術の進歩は、今まで計測不可能であった気象要素や物理量の測定を可能にしてきた。レーダ技術の進歩もこの例外ではなく、従来のレーダ反射強度だけを利用するものから、ドップラーや偏波を使った多パラメータレーダ観測が可能となりつつあり、新たな物理量の推定が期待されている。しかしながら、それらの機能を使った降雨・降雪観測例は少なく、多波長観測についてはほとんど行われていない。そこで本研究では、降雪について 5.7cm、3.2cm、0.87cm の 3 つの波長に対して 非球の Mie 散乱を考慮したプログラムにより後方散乱断面積を算定し、実測した降雪粒子形状および粒径分布から単位体積当たりの後方散乱断面積と降雪強度の関係を推定し、マルチパラメータレーダの有効性を検証する。

2. 降雪粒子特性

レーダによる降雪粒子からの散乱を考えるためには、一般的な降雪粒子の粒径分布や軸比分布を知る必要がある。

一般的な粒径分布は藤田らにより決定された。藤田らは粒径分布に指数分布 $N(D) = N_0 \exp(-\Lambda D)$ を仮定し、降雪観測結果から Λ が降雪強度 R によらず一定であることを明かにした。また落下速度について、粒径依存性をもたせた場合と一定値を使用した場合で降雪強度に著しい違いはみられないことから、降雪強度算定に「あられ」・「雪片」それぞれ一定な落下速度を使用しても良いことを示した。また、密度については個々の粒子について正確な値を計測することが困難であるため、電子天秤から得られた実測降雪強度とビデオ画像の解析によって得られた落下速度・粒径分布から、密度が粒径によらず一定であると仮定して逆算により求められた。以上のことから、降雪強度 R を仮定すれば、降雪強度の式から N_0 が算定され、一般的な粒径分布が決まる。

軸比分布を知るため、「あられ」と「雪片」別に各粒径ごとの長径に対する短径の分布状態を調べた。これを図 1、2 に示す。「あられ」については、大部分の粒子が 9mm 以内にあることが分かる。粒径が比較的大きい粒子も多少確認されるが、12mm を越える粒子は「あられ」に混じっていた「雪片」であると思われる。軸比分布は 0.8 付近にピークをもつ分布である。一方「雪片」については、粒径 10mm までは軸比分布は「あられ」と大きな違いはなく 0.8 付近に分布のピークをもつ。しかし、10mm を越えるような粒子については分布に明確なピークが見られず、分布の中心が 0.6 ～ 0.7 付近にある幅の広い分布となっている。

一般的な軸比分布を知るために Beta 分布を適用した。その結果、「あられ」については Beta 分布の中心の左右を表す係数 β が粒径によらず一定であり、「雪片」については β 値の変化

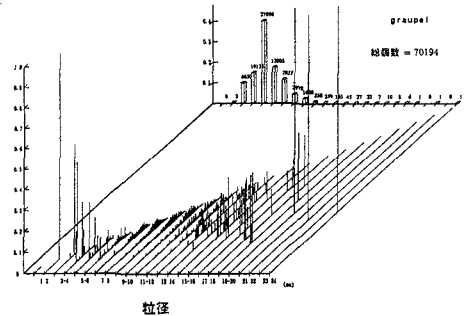


図-1 粒径分布と長径に対する短径の分布（あられ）

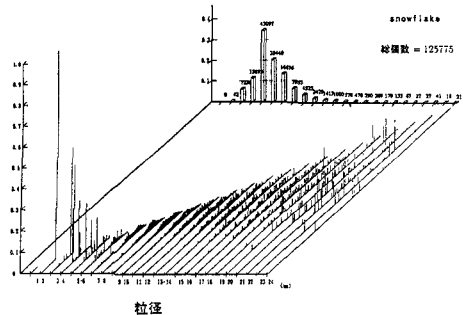


図-2 粒径分布と長径に対する短径の分布（雪片）

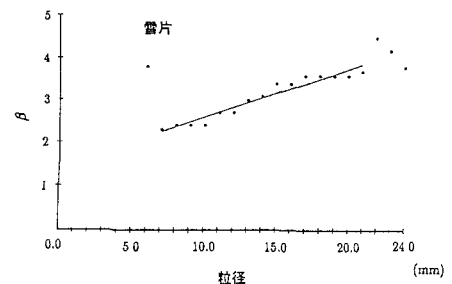


図-3 β と粒径の関係

から粒径の関数として表した。粒径に対する β の変化を図 3 に示す。また、このようにして求めた一般的な粒径分布を図 4、5 に示す。

3. 解析方法と解析結果

実観測データから決定した粒径分布と軸比分布から、Mie 散乱プログラムにより求めた 1 個の粒子の後方散乱断面積値を用いて 1m^3 からの降雪粒子の後方散乱断面積 $\sum\sigma$ を求め、降雪強度 R との関係を図に表した。図 6、7 に示す。この図から、波長 $0.87\text{ cm} \cdot 3.2\text{ cm} \cdot 5.7\text{ cm}$ は、それぞれ「あられ」と「雪片」でその後方散乱断面積と降雪強度の関係が異なることが明かになった。また波長 0.87 cm では、「あられ」の方が「雪片」に比べ、ある降雪強度における後方散乱断面積値が大きくなるのに対して、波長 3.2 cm と 5.7 cm ではその関係が逆になることが明かになった。したがって、 0.87 cm と 3.2 cm または 0.87 cm と 5.7 cm を組み合わせたレーダを使用することにより、その後方散乱断面積の差から「あられ」と「雪片」の判別が行われ、精度の高い降雪量推定が可能である。

また、この Mie 散乱シミュレーションの有効性を示すため 1993 年 2 月の観測データの中で解析を行った 5 ケースについて、画像解析によって得られた粒子形状データから直接その後方散乱断面積を求め、計算値と比較した。結果を図 8 に示す。これより、実際の後方散乱断面積とシミュレーションにより求めた後方散乱断面積が比較的良好一致しており、シミュレーションの妥当性が示された。

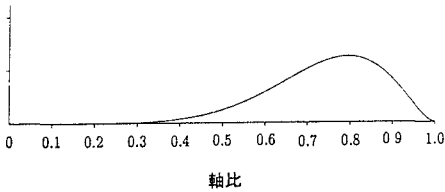


図-4 軸比分布（あられ）

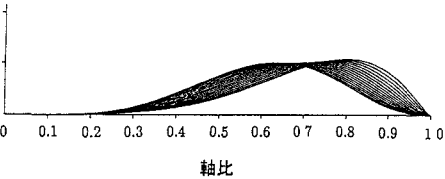


図-5 軸比分布（雪片）

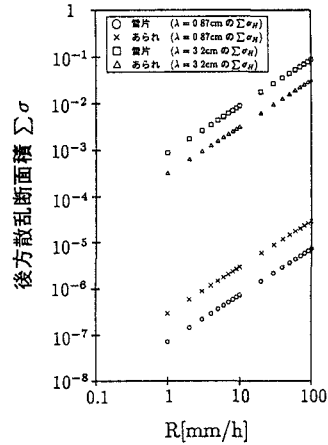


図-6 波長 0.87 cm と 3.2 cm の $\sum\sigma - R$ 関係

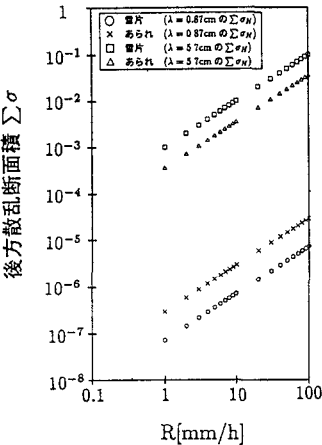


図-7 波長 0.87 cm と 5.7 cm の $\sum\sigma - R$ 関係

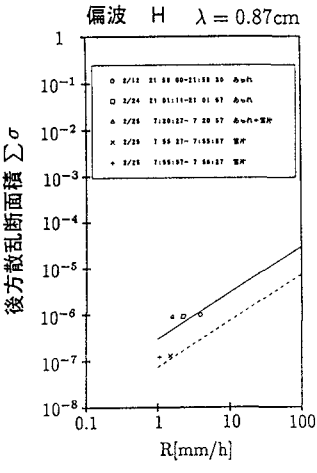


図-8 $\sum\sigma - R$ 関係

4. 結論

- 軸比分布には Beta 分布が適用可能であり、その係数 α 、 β は「あられ」では粒径によらず一定、「雪片」は α 一定で β は粒径の関数で表される。
- それぞれの波長で、「あられ」と「雪片」の $\sum\sigma - R$ 関係は明確に異なる。また波長 0.87 cm と $3.2 \cdot 5.7\text{ cm}$ では、「あられ」と「雪片」の後方散乱断面積値の大小関係が逆転する。
- 波長 0.87 cm と 3.2 cm または 0.87 cm と 5.7 cm を組み合わせたマルチパラメータレーダの有効性が示された。

<参考文献>

- 1) 藤田敏和・小池俊雄・後藤藤：多機能レーダシステムによる降雪の定量観測手法の開発，第 48 回年次学術講演会講演概要集，pp.150～151，1993