

長岡技術科学大学大学院 ○ 藤井 秀幸
 長岡技術科学大学 小池 俊雄
 長岡技術科学大学 原田 昌信

1. はじめに

レーダによる気象観測は、リアルタイムで現象を見ることができ、しかも、3次元で観測可能であるなどの利点がある。しかしながら、降水の定量観測の精度はいまだ十分であるとは言えない。特に降雪においては、粒子の形状や密度などのレーダ反射の支配因子の変動が大きいと、1波長固定偏波レーダのレーダ反射因子のみを利用した降雪量推定法には限界がある。近年、マルチパラメータレーダと呼ばれる反射波のさまざまな性質を利用したレーダが使われているが、現在のところ、これらのレーダを利用するために重要である降雪粒子の散乱特性はまだ不明な点が多くある。

本研究では、この降雪粒子の散乱特性を、粒子の形状および粒径を考慮した数値シミュレーションによって調べた。

2. 解析方法

レーダは、大小さまざまな粒径や形状の雪粒子が分布した空間を見ている。そこで、解析の手順としては、まず、単一降雪粒子の後方散乱断面積をもとめ、次に、地上観測から得た粒径および軸比をもとに単位体積当たりの後方散乱断面積を計算した。

(1) 単一降雪粒子の後方断面積

東京都立科学大学の小口によって開発された非球のMie散乱を考慮したプログラムによって、単一雪粒子の後方散乱断面積を計算した。

なお、このシミュレーションの入力値は、波長と粒子の直径・軸比及び密度である。また、水平偏波及び垂直偏波の後方散乱断面積計算にあたっては降雪粒子を楕円体と仮定し、長軸を水平方向、短軸を垂直方向とした。

図1には、「あられ」の場合の水平偏波と垂直偏波の後方散乱の計算結果を示す。

(2) 粒径分布および軸比分布

1994年3月2日、長岡技術科学大学の屋上にて観測した降雪のビデオ映像もとに、画像解析によって

求めた粒径および軸比を適用した。画像解析は、15秒毎に3フレームづつおこない、1分ごとに粒径分布と軸比分布をもとめた。

(3) 降雪粒子の密度

降雪粒子の密度は、平賀ら(1991)による実測に基づく回帰式を利用した。

$$\text{あられ: } \rho_G = 0.531 \quad [g/cm^3]$$

$$\text{雪片: } \rho_S = 0.431 D^{-1.25} \quad [g/cm^3]$$

ここで、 D は降雪粒子の等価直径[mm]。

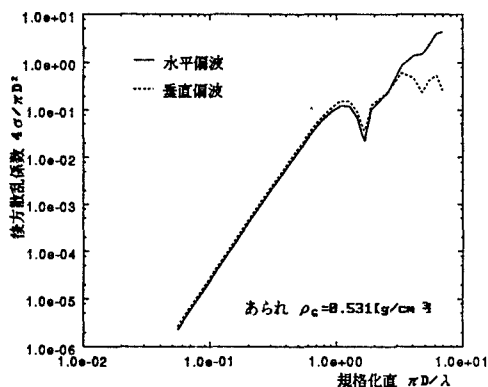


図1 単一散乱体による散乱(あられ)

3. 解析結果及び考察

解析は、「雪片」が降っているときと「あられ」が降っているときを抽出し、9.32, 34.8GHzの2つの周波数について行なった。

(1) 降雪強度と後方散乱断面積

図2には、シミュレーションによって求めた単位体積あたりの後方散乱断面積(水平偏波)とその時の電子天秤によって測定した降雪強度を示す。

まず、降雪タイプによる違いについて考える。

一般に、「雪片」より「あられ」は粒径が小さいが密度は大きく、その密度の違いを反映して「あられ」の方が大きな値となった。また、降雪強度の増加とともに後方散乱が増加する傾向も「あられ」の方が大きくなった。逆に、「雪片」では粒径は大きい

度が小さいために後方散乱は小さくなった。

次に、周波数による違いについて考える。

降雪粒子は比較的粒径が大きいので、9.32GHz(波長3.2cm)では大半の粒子はRayleigh散乱であるが、34.8GHz(波長0.86cm)では波長が短いので、Mie散乱の影響が大きくなる。図2で後方散乱断面積の増加が34.8GHzが小さいのはこのためであると推定できる。

(2) 降雪強度とレーダ反射因子差

図3には、次式によってあたえられるレーダ反射因子差 Z_{DR} を示す。

$$Z_{DR} = 10 \log \left| \frac{\sum \sigma_H}{\sum \sigma_V} \right| \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 $\sum \sigma_H, \sum \sigma_V$ は、水平・垂直偏波の単位体積あたりの後方散乱断面積。

図3では、波長の短い34.8GHzの方が波長の長い9.32GHzよりもレーダ反射因子差 Z_{DR} が大きくなった。これは、同じ粒径でも、周波数が高くなるほど波長に対して粒子が大きくなり、水平偏波と垂直偏波の差が大きくなると考えることができる。また、「あられ」と「雪片」とを比較すると、「あられ」は $Z_{DR} = 0.6 \sim 1.4$ 程度であるのに対し、「雪片」は0.4以下と小さい。一見、雪片の方が粒子が大きく、しかも変形しているので Z_{DR} が大きくなることが予想される。しかし、密度が小さいために水平偏波と垂直偏波にさほど差がない。

図4は、降雪粒子の粒径 D や軸比 a/b が Z_{DR} に及ぼす影響を示している。ここでは、比較のために、「あられ」と「雪片」の他に「雨粒」についても計算をした。この結果、密度が $1.0g/cm^3$ である「雨粒」に比べ、「あられ」で約1/4、「雪片」ではほとんど Z_{DR} は変化しないことかわかる。つまり、雨では Z_{DR} は軸比に影響されるが、雪では、密度が小さいために粒子の形状にはあまり影響されないといえる。

4. まとめ

降雪粒子の散乱は、降雨に比べ密度が小さいために、粒子の形状に影響が小さくなり、むしろ、粒子の密度が重要となる。

[参考文献]

- 1) 平賀雅彦・小池俊雄・早川典生・後藤廣: 降雪粒子の物理特性とレーダ観測アルゴリズムの開発の開発, 土木学会第46回年次学術講演会講演概要集, 1991

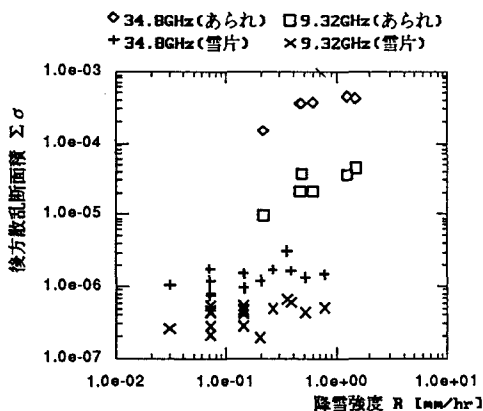


図2 降雪強度と後方散乱断面積の関係

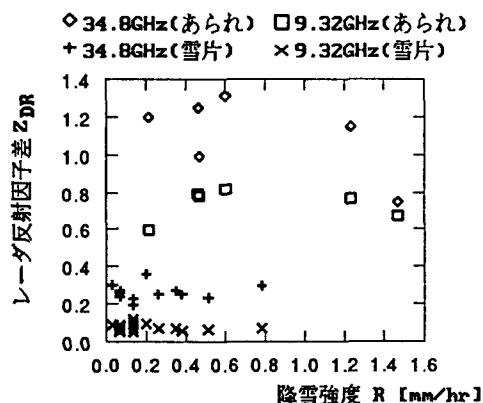


図3 降雪強度とレーダ反射因子の関係

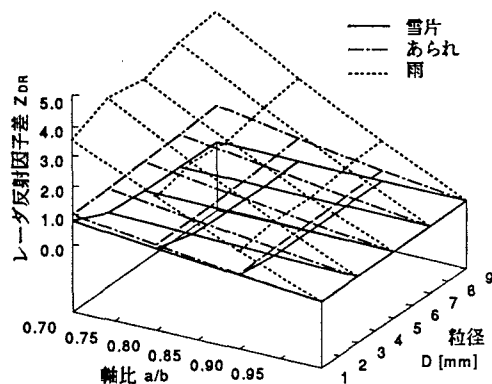


図4 単一粒子のレーダ反射因子差 Z_{DR} の比較