

光学式降雨検知システムを用いたパラメトリックな雪粒子粒径分布推定手法

神戸大学大学院工学研究科 学生会員 ○小川 まり子
 神戸大学都市安全研究センター 正会員 大石 哲 教授

1. 目的

レーダーを用いた降雨量予測の精度向上において雨が生成される前の状態の、上空の氷粒子について知ることが重要である。降雨量は粒径分布を用いて表されることから、本論文ではそれらの基礎的研究として地上に降った雪の観測結果から、想定されるレーダー情報を用いてパラメトリックな雪粒子粒径分布推定手法を開発し、本手法の妥当性について評価を行った。

2. 観測方法

光学式降雨検知システム PARSIVEL を用いた観測は、2009年12月から2010年3月に群馬県の水上高原ホテル 200(36.855, 139.076)の屋上で行われた。全部で48日分のデータが得られた。観測された雪粒子は落下速度と粒径のそれぞれ32クラスに分類される。各データは1分毎に出力され、本研究では1日あたりに集計したものを粒径分布として扱う。粒径分布とは単位体積あたりに含まれる粒子個数であり確率密度関数である。観測結果から得られた粒径分布の例を図1に示す。

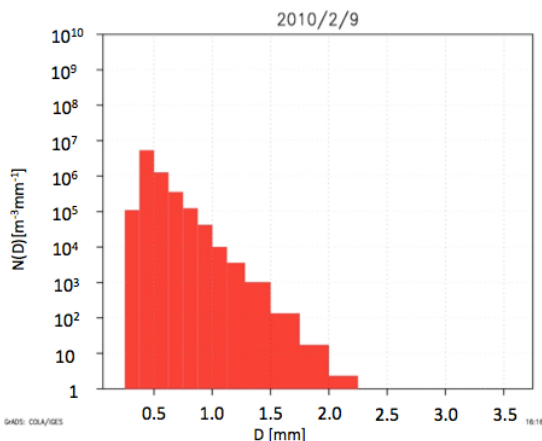


図1 2010年2月9日の粒径分布

3. 粒径分布パラメータ決定の方法

粒径分布のモデルとして一般的な降水粒子の粒径分布である修正ガンマ分布を用いる (Ulbrich, 1983)

$$N(D) = N_0 D^\mu \exp(-\Lambda D). \quad (1)$$

3つのパラメータのうち、 N_0 は切片、 μ は形状、 Λ は傾きを表す。本研究では近似を用いた粒径分布の積分の計算を基本としてパラメータ算出を行う。それは、粒径分布 $N(D)$ の n 次モーメント、

$$m_n = \int_0^\infty D^n N(D) dD = N_0 \frac{\Gamma(n + \mu + 1)}{\Lambda^{n + \mu + 1}}, \quad (2)$$

を用いる (Doviak et al, 1984)。 $D_{\min} = 0$ および $D_{\max} = \infty$ とした近似は事実上無視されることが分かっている (Sekhon et al, 1971)。形状パラメータ μ と傾きパラメータ Λ の算出においては平均粒径と最大粒径の情報を用いる。レーダー情報は粒径の6乗に比例することから、粒径の大きいものが強く効いてくると考えられる。そこで本研究では、最大粒径、平均粒径を個数ではなく質量(粒径の3乗)に関連付けて定義する。つまり、全体の質量の50%、99%を占めるときの粒径を平均粒径、最大粒径とする。これらは第3次モーメントで表され、

$$\frac{\Lambda^{\mu+4}}{\Gamma(\mu+4)} \int_0^{D_{50}} D^3 N(D) dD = 0.50, \quad (3)$$

$$\frac{\Lambda^{\mu+4}}{\Gamma(\mu+4)} \int_0^{D_{99}} D^3 N(D) dD = 0.99, \quad (4)$$

式(3)と(4)を用いて形状パラメータ μ 、傾きパラメータ Λ を算出する。平均粒径 D_{50} は観測結果から算出されたものを用いる。最大粒径 D_{99} においては観測結果より得られた平均粒径との線形関係式 ($D_{50} = 0.29D_{99} + 0.15$) から推定する。この線形関係に対する相関係数は0.80であった。切片パラメータ N_0 の算出は第6次モーメントのレーダー反射因子、

$$\int_{D_{\min}}^{D_{\max}} D^6 N(D) dD = N_0 \frac{\Gamma(\mu+7)}{\Lambda^{\mu+7}}, \quad (5)$$

を導入する。地上観測から想定されるレーダー反射因子(左辺)と、パラメータを用いて表現されたレー

キーワード 雪粒子粒径分布, 修正ガンマ分布, 平均粒径, 最大粒径, レーダー反射因子
 連絡先 〒657-8501 兵庫県神戸市灘区六甲台町1-1 神戸大学都市安全研究センター TEL078-803-6338

ダー反射因子(右辺)が一致するときを、最適な N_0 とする。

4. 結果及び本手法の妥当性の評価

雲水量を用いた本手法の妥当性の評価を行った。第3次モーメントの誤差を観測値で正規化した値(雲水量誤差の割合とする)と、その日の観測粒子数の関係を観測日で比較した(図2)。y軸付近の点は観測粒子数が少ないために粒径分布を修正ガンマ分布でうまく表現できなかったものと考えられる。観測粒子数が5000個以上のとき本手法は適用可能とした。その場合、雲水量誤差の割合は小さいもので0、大きいもので0.58であった。図3に雲水量誤差の割合が0だった日を紹介する。粒径の大きいほうがより粒径分布をうまく表現できている。これは本手法の、粒径の6乗や3乗の計算により粒径の大きいものが強く影響しているためと考えられる。

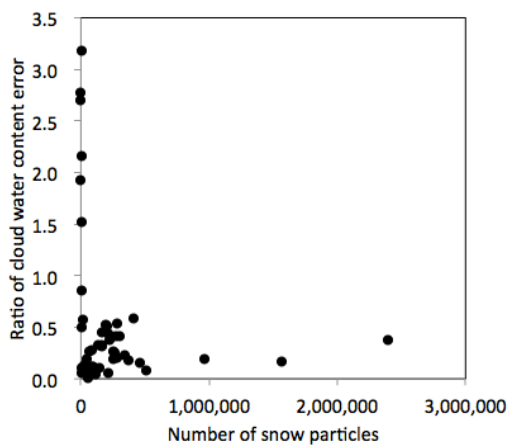


図2 雲水量誤差の割合と観測粒子数の関係

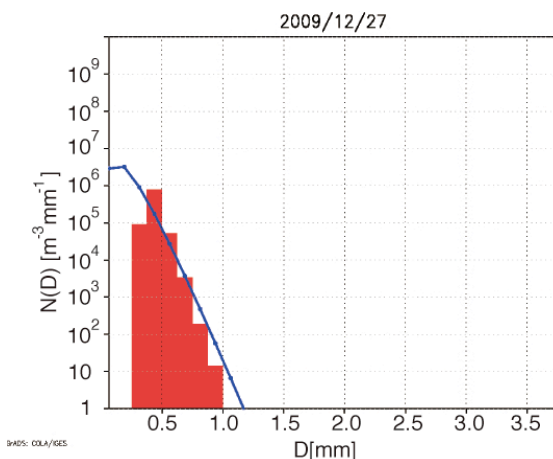


図3 雲水量誤差の割合が最も小さかった日の粒径分

布(2009年12月27日)。赤い棒グラフが観測された粒径分布、青い折れ線グラフが推定された粒径分布。

6. 結論

本論文はレーダー情報を用いたパラメトリックな雪粒子粒径分布推定手法を開発し地上の雪の観測結果に適用した。雪粒子の平均粒径と最大粒径、レーダー反射因子の3つの条件より粒径分布パラメータを算出した。また、観測結果から得られた、平均粒径と最大粒径の線形関係を用いているところも本手法の特徴である。雲水量に基づく量で本手法の比較検証を行ったところ、観測粒子数が5000個以上において雪粒子の粒径分布をある程度表現できることが分かった。本手法を実際のレーダーに適用することを考える。仮に、平均粒径と最大粒径の線形関係がすでに分かっており、平均粒径もしくは最大粒径のどちらかの値をレーダーから算出できれば、上空の雪粒子粒径分布の解明につながるだろう。それはレーダーを用いた雨量予測のみならず、降雪量の予測や、雷の発生メカニズムの解明にも役立つことが期待される。

参考文献

- 1) Doviak, R.J., Zrnicek, D.S., 1984. Doppler Radar and Weather Observations, Academic Press.
- 2) Sekhon, R.S., Srivastava, R.C., 1971. Doppler radar observations of drop size distributions in a thunderstorm. *J. Atmos. Sci.* 28, 983-994.
- 3) Ulbrich, C.W., 1983. Natural variations in the analytical form of the raindrop size distribution. *J. Climate Appl. Meteor.* 22, 1764-1775.