

1. はじめに

下層大気圏の事象は、気象学や通信の分野で重要であり、いずれも、降雨と降雪により大きく影響される。例えば、農業、航空交通、洪水防止などでは、正確な降水予測が切望されている。一方、電波は降水により減衰するので、通信の信頼性を保つために、その減衰機構を理解することが必要である。

降雨と降雪の予測には、通信と共通の機器、すなわちレーダがよく用いられる。レーダから送信された信号は、降雨や降雪の粒子により後方散乱し、最終的には受信機にとらえられる。このような媒体に反射する特性はレーダ反射因子(Z)と呼ばれ、これより降雨量や降雪量(R)を計算することができる。

降雨の Z - R 関係を求める研究は多数行われ、その関係はほぼ確立している。しかし降雪に関しては、 Z - R 関係は十分に調べられているとはいえない。これは、降雪の Z - R 関係のばらつきが雨に比べてかなり大きくなることに原因がある。すなわち、降雪現象は粒子の成長に関連する物理的要因の変動度が大きく、降雪粒子の粒径、落下速度、誘電率などのレーダ反射に関係する因子が降雪のタイプによって様々に異なるからである。

本節では、小型ドップラーレーダと電子天秤を用いて、 Z - R 関係を測定し、画像処理法により求めた粒子の粒径分布等がこの関係に与える影響について述べる。

2. 降雪定量観測システム

降雪定量観測システムの概要を図1に示す^{(1),(2)}。降雪粒子観測装置を用いて降雪粒子の粒径と落下速度、空間数密度を測定する。また、電子天秤法により降雪強度(R)、小型ドップラーレーダによりXバンドの反射因子(Z)を同時に測定する。更に、降雪強度と画像データを用いて、降雪粒子の平均密度を求める^{(3),(4)}。各測定装置の内部時計を一致させて同期測定を行い、測定時間間隔は1分間隔とした。

観測は、豪雪地帯の新潟県南魚沼郡六日町と金沢大学

椎名 徹 正員 富山工業高等専門学校電気工学科

E-mail cina@toyama-nct.ac.jp

村本健一郎 正員 金沢大学工学部情報システム工学科

E-mail muramoto@t.kanazawa-u.ac.jp

Measurement of Snowfall by Radar. By Toru SHIINA, Member (Toyama National College of Technology, Toyama-shi, 939-8630 Japan), and Ken-ichiro MURAMOTO, Member (Faculty of Engineering, Kanazawa University, Kanazawa-shi, 920-8667 Japan).

電子情報通信学会誌 Vol.84 No.10 pp.709-710 2001年10月

工学部にて1997年から2000年の冬季期間に集中観測を実施した。以下に主な装置の概要について述べる。

(1) 降雪粒子観測装置及び降雪強度測定器

画像処理手法を用いた降雪粒子観測装置の観測方法、装置内部等については前節と同様である。

電子天秤(エーアンドデー製: FA-6000, 最大秤量6,000g, 最小測定単位0.1g)は、受皿に降り積もった降雪粒子の重量を直接測定し、降雪強度に換算する。

(2) 小型ドップラーレーダ

本観測に用いた小型ドップラーレーダ(Precipitation Occurrence Sensor System, Andrew社製)は周波数10.525GHzのTE波を用いた降水検知システムであり、送信アンテナ部と受信アンテナ部が約31cm離れ、また水平より70度傾いて設置されている。二つのアンテナはアルミ製の三角錐型アンテナであり、3dBビーム幅は、H、E面ともに25度である。ビームの交差する図中の実線で囲まれた空間内が検知空間である。粒子からの反射信号の周波数は、粒子の落下速度に比例し、ドップラー周波数71Hzは、落下速度1m/sに相当する。

(3) 光学的測定機(レーザーレーダ)

上空の雲からどのように降ってきたかを理解するため、レーザーレーダ(CT25K, Vaisala社製, 905nm, 8.9mW)により、高度7,000mまでの大気プロファイルの測定を行った。

3. レーダ反射因子 Z と降雪強度 R の関係

レーダ送信機からアンテナによって放射された電波は、散乱体で散乱し、一部が受信部に戻ってくる。受信された電力は、送信電力、散乱体までの距離、使用波長、アンテナの大きさ、散乱体の大きさと種類によって左右され、これらの関係を表す式は、レーダ方程式と呼ばれている。降水粒子が観測空間内で均等に分布し、その粒子の粒径 D が電波の波長に対して十分小さいと仮定すると、レイリー近似が成り立ち、レーダの受信電力が反射因子 Z に比例し、この値から降水強度 R の算出が行われる。すなわち、 Z と R の関係は

$$Z = \int N(D) \cdot D^6 \cdot dD \quad (1)$$

$$Z = B \cdot R^\beta \quad (2)$$

で表して、観測結果から、係数 B 、 β を決定することにより、降水強度を推定できる。降雪の場合には形状因子や誘電率が粒子によって異なるため、受信電力からレーダ反射因子を簡単に求めることができない。

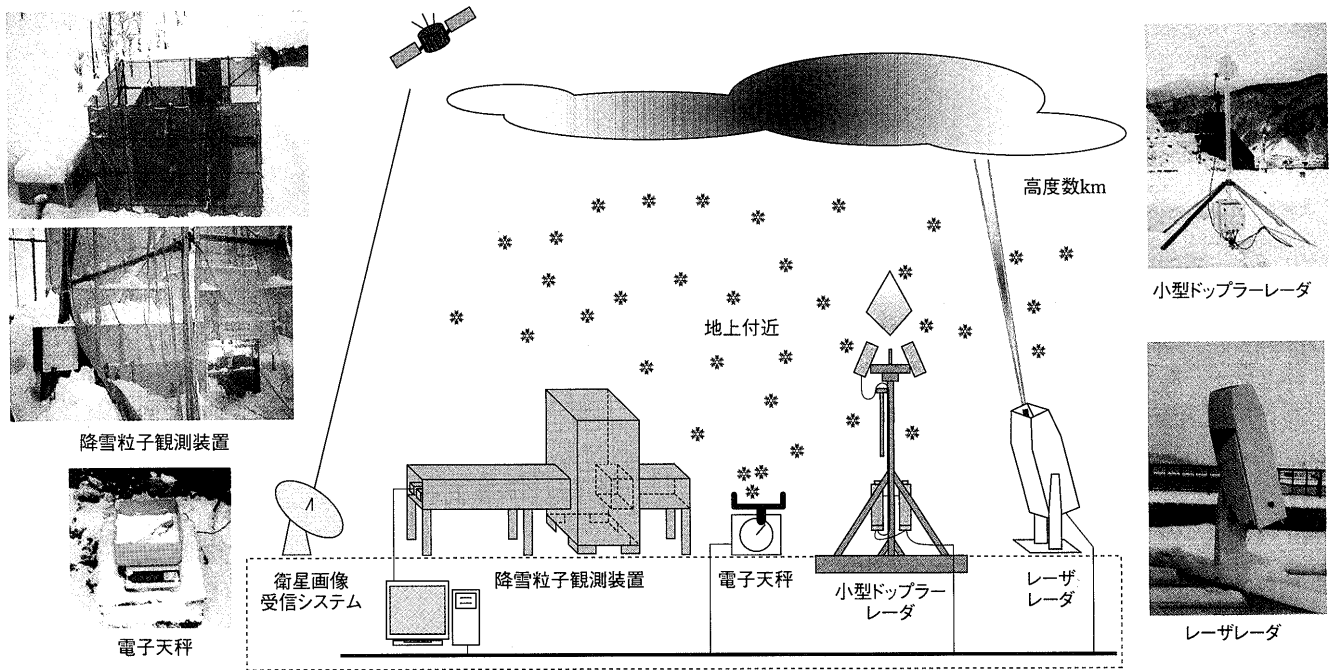


図1 降雪定量観測システムの概略 上空の雲の様子から地上付近までの降雪を連続して観る。

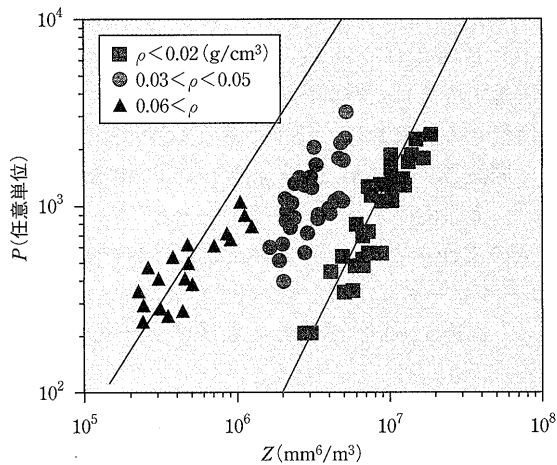


図2 受信電力 P と反射因子 Z の関係 降雪粒子の平均密度 ρ によって分布が異なる。

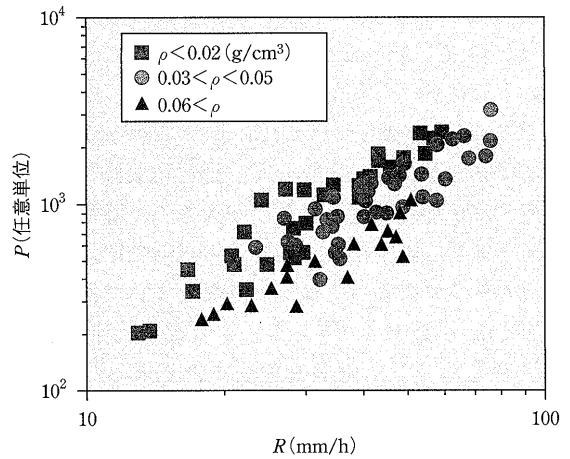


図3 受信電力 P と降雪強度 R の関係

4. 観測結果

レーダの反射因子を画像処理データから求め、小型ドップラーレーダの受信電力との関係を図2に示す。受信電力と反射因子に正の相関が見られたが、平均密度によって異なる直線群に分布した^{(5),(6)}。また、電子天秤から求めた降雪強度と受信電力の関係を図3に示す。図2及び図3より、平均密度、降雪粒子の種類によって $Z-R$ 関係に相違が見られることが分かる。

5. おわりに

本研究で用いた降雪粒子の特徴量に基づいて、 $Z-R$ 関係を解析することにより、レーダを用いた降雪定量測定に役立つことが期待される。

文 献

- (1) 村本健一郎, 椎名 徹, “画像処理による降雪粒子の大きさと落下速度の自動測定,” 信学論(D-II), vol.J72-D-II, no.9, pp.1382-1387, Sept. 1989.
- (2) 村本健一郎, 松浦弘毅, 椎名 徹, “領域および輪郭線による降雪雪片の形状特徴解析,” 信学論(D-II), vol.J76-D-II, no.5, pp.949-958, May 1993.
- (3) 椎名 徹, 村本健一郎, “降雪粒子の落下速度と落下中の粒径および融解直径の関係,” 信学論(D-II), vol.J81-D-II, no.6, pp.1108-1114, June 1998.
- (4) 村本健一郎, 松浦弘毅, 椎名 徹, “落下中の降雪粒子の密度と降雪強度の測定,” 信学論(D-II), vol.J77-D-II, no.12, pp.2353-2360, Dec. 1994.
- (5) 村本健一郎, 藤吉康志, 藤田博之, 北野孝一, “降雪の $Z-R$ 関係と降雪粒子の諸特性,” 信学論(B-II), vol.J78-B-II, no.8, pp.568-572, Aug. 1995.
- (6) T. Shiina and K. Muramoto, “Relationship between image data of snow particles and a $Z-R$ relation,” Proc. Int. Symp. Antennas & Propagation, pp.1243-1246, 2000.