ミリ波雲レーダ FALCON による雲雨の内部構造ドップラー解析

鷹野敏明, 鈴木康樹, 小池康太, 森川康平, 笛田亮, 五十嵐涼,
森田日向, 水田篤秀, 河村洋平, 中田裕之, 大矢浩代, 高村民雄*
千葉大学 大学院工学研究科/*環境リモートセンシング研究センター,
e-mail: takano@faculty.chiba-u.jp

研究背景

ミリ波のレーダは、雲の内部構造と運動状態を観測することに有用である。これは、雲を構成している水氷粒子の直径が数 μm であり、気象観測で通常使用されているセンチ波のレーダに較べて、レーリー散乱としたときの散乱断面積が大きいことが理由である(Fig.1)。

Rayleigh scattering coefficient

$$k_s = \frac{2\pi^5}{3} n \left(\frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right)^2 \frac{d^5}{\lambda^4}$$

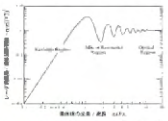


Fig.1. Dependence of λ in scattering coefficient.

FALCON-I および FALCON-A

我々は、W バンド 94 GHz の雲観測用 FMCW (Frequency Modulated Continuous Wave: 周波数変調連続波) ドップラーレーダ FALCON (FMCW Radar for Cloud Observations) を開発・運用してきた(Fig.2 にブロックダイア)。

FALCON-I：千葉大学に設置。トラックに搭載して国内での移動観測や、船に搭載して洋上観測が可能(Fig.2)。

Fig.2. FALCON-I at Chiba (left), on a truck and with container for vessel (middle), and the block diagram of the facility (right).

FALCON-A：国立極地研究所と共同研究で、ニーオルスン(北緯79°; Fig.3.) に設置。

Fig.3. FALCON-A (left) and container (middle) at Ny-Alesund (N79°, E11°) in Svalbard (right).

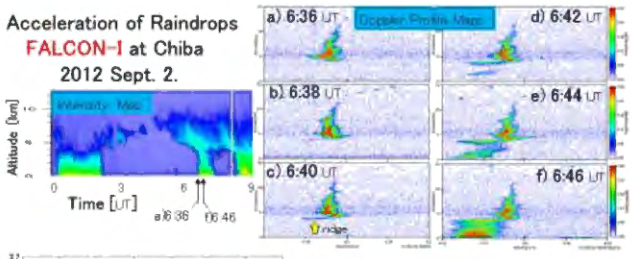
FALCON-I と FALCON-A (Figs,2-3) は、それぞれ、直径 1m のアンテナ 2基で構成されており、天頂方向を定常観測しているが、天頂から ±5°の走査観測ができる。FALCON は 高い空間分解能 0.18° が特徴で、これは高度 5 km で 15m に相当し、また距離方向の分解能は 48m で、これは通常のパルス方式のレーダに較べて数倍高い。レーダの出力は 約 1W であり、これはパルス方式の典型値より 3桁小さい。両レーダは、365日 24時間 常時観測を行っており、通常の観測モードでは、データは 10秒ごとに取得されている。装置の諸元を 表 1. にまとめた。

Table 1. Parameters and Performances of FALCON-I and FALCON-A are similar. Performance of FALCON-A are listed.

Antenna Diameter	1 m × 2 antennas
Frequency	94.84 GHz
Output Power	1W (+30 dBm)
Beam Width	0.18 deg.(FWHM) = 15m at h=5km
Range Resolution	48 m (Typ.)
Direction of Antennas	Zenith +/- 5 deg.
Polarization	1 Linear
Doppler Velocity Range	±3.2 m/sec (Typ.)
Time Resolution	10 sec (Typ.)

雲底からの降雨粒子の加速

Fig.4. は、FALCON-I による降雨の始まりの観測例である。ドップラーマップを見ると、6:38 UT に高度 4km の雲底から, ドップラー速度が 0～−3 m/s に高度厚みが 100m 程度のリッジ状の構造が見えて、時間とともにその強度が強くなり下降している。これは、雲底から降雨が落ちてきている様子を捉えている。



Ridge structure at cloud bottom about 4km (yellow arrow in above panel c))
➡ Raindrops falling from cloud

Velocity-Height Change and Velocity-Intensity Change of the ridge (left panels) show that :
① Terminal velocity of raindrops is -5.0 m/s, corresponding diameters D around 1 mm.
② Raindrops reach terminal velocity in few hundred meters falling from cloud bottom.
③ Raindrops of D～1mm are generated in falling way because the intensity increases.

Fig.4. Acceleration of Raindrops observed with FALCON-I at Kimitsu, Chiba.

雲内部の詳細運動

Fig.5. は FALCON-A で観測された北極層雲の例で、高度厚みが 1km の多層の雲が見えている。上段のドップラーマップを見ると、各層の境界付近で、上昇・下降する 100m スケールの構造があることがわかる。最上層の下端である高度 5.3 km では、下降速度を示す -1.3 m/sec の厚み 100m の構造が、またその直下の層の上端 5.1 km では +0.8 m/sec の上昇する構造が見えている。これらの結果を見ると、 FALCON の高い空間分解能とドップラー観測が、雲や雨の詳細な内部構造と運動を解明する有効な手段であることがわかる。

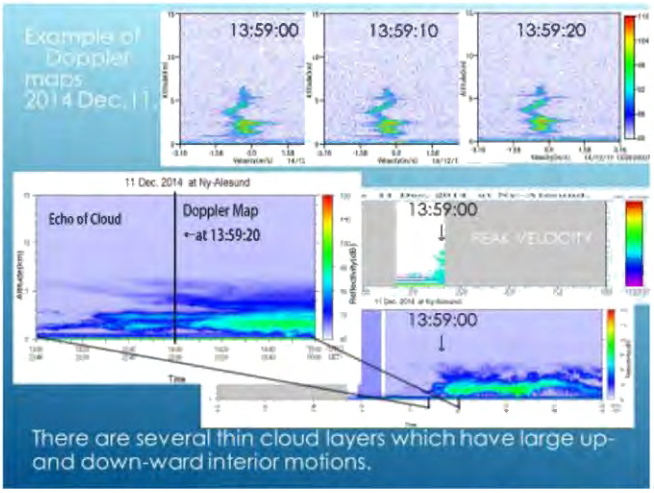


Fig.5. There were several layers of clouds (middle left panel).Successive 3 10-sec Doppler profile maps (upper 3 panels), left end of which corresponds to -3.16 m/sec downward motion and right end corresponds to +3.16 m/sec upward motion.