

マルチリモートセンシングによる降雹の観測

岩井 宏徳¹, 青木 誠¹, 石井 昌憲¹, 川村 誠治¹, 山本 真之¹

¹情報通信研究機構 (〒184-8795 東京都小金井市貫井北町 4-2-1)

Multiple remote sensing instrument observations of hail

Hironori IWAI¹, Makoto AOKI¹, Shoken ISHII¹, Seiji KAWAMURA¹, and Masayuki YAMAMOTO¹

¹National Institute of Information and Communications Technology, 4-2-1 Nukuikita, Koganei, Tokyo 184-8795

In afternoon of 18 July 2017, severe convective storms developed in the Tokyo Metropolitan Area, and these storms produced hails. This study shows the initial results of hail observations that combine the data from a Doppler lidar, a wind profiler radar, and X-band polarimetric radars. If spectral peaks associated with hail have larger fall speeds than the maximum values for large raindrops, the vertical profile of Doppler spectra from the Doppler lidar can be used to detect hail.

Key Words: Hail, Doppler lidar, wind profiler radar, X-band polarimetric radar

1. はじめに

2017年7月18日午後、首都圏において積乱雲が発達し、各地で降雹が確認された。降雹の影響でJR山手線の駒込駅の屋根が壊れる被害が発生した。14時頃、情報通信研究機構(NICT)本部(東京都小金井市)において雷雨に伴い、直径1cm程度の降雹が確認された。NICT本部では可搬型ドップラーライダー(CDWL)による鉛直観測を実施しており、大気の鉛直流と共に雨滴と雹の落下速度を観測した。本稿ではCDWL, ウィンドプロファイラ, XRAIN(XバンドMPレーダネットワーク)の初期解析結果を示す。

2. 観測機器

可搬型ドップラーライダー(CDWL)は伝導冷却型レーザダイオード励起のTm,Ho:YLFレーザリを用いている。波長は2.051250 nm, 出力は2.4 W (パルスエネルギー80 mJ, 繰返周波数30 Hz), パルス幅は150 nsである。小型コンテナ内に収納され、NICT本部敷地内の地上に設置されている。CDWLのドップラー速度のバイアスは-0.05 m/s以下であり、ランダムエラーは理論値と良い一致を示す(SNR > -10 dBで $\sigma_e < 0.25$ m/s)²⁾。

本研究では、鉛直観測の観測データから、1秒積分でレンジ分解能96 m, 最下層レンジ192 mで各レンジでのドップラースペクトルを算出した。降雨・降雹時のドップラースペクトルは図2に示すようにエアロゾルおよび雨滴・雹による散乱の2つ(または3つ)のピークを持つ。このスペクトルが下式のガウス分布に従うと仮定して、最小二乗法によりエアロゾルおよび雨滴・雹によるドップラー速度(v_a および $v_{r,h}$)を算出した³⁾。

$$S(v) = a_a \exp\left[-\frac{(v-v_a)^2}{2\sigma_a^2}\right] + a_{r,h} \exp\left[-\frac{(v-v_{r,h})^2}{2\sigma_{r,h}^2}\right] + n$$

ウィンドプロファイラは4つのルネベルグレンズアンテナを用い、CDWLから南に約500 mのNICT本部敷地内に設置されている。中心周波数は1357.5 MHz, ピーク出力は1600 Wである。天頂方向および天頂角14度の東西南北方向の5ビームを送受する。各ビーム方向でのドップラー速度を約1分ごとにレンジ分解能100 mで計測する。レンジ数は80であり、最大レンジは8 kmである。

降雹をもたらした積乱雲の解析のため、国土交通省が運用するXRAINの関東、新横浜、および船橋局のデータを用いた。

3. 観測結果

2017年7月18日の13時半ごろに東京都西部で発生した積乱雲が東進し、13時45分ごろからNICT本部において降水が観測され始めた。地上において降雹が確認されたのは14時から14時15分である。図1に降雹をもたらした積乱雲のXRAIN観測データを示す。図1aにおいて、レーダ反射強度(Z_H)が最大で60 dBZを超える強いエコー領域がNICT本部の南西側に存在している。このエコーを通る鉛直断面での偏波パラメータの分布を図1bから図1dに示す。観測域の上空には40 dBZ以上の Z_H の領域が高度11 km付近に到達している。NICT本部直上のレーダ反射因子差(Z_{DR} ; 図1b)は、高度2 kmまで5 dB以上である一方、2 km以上では1 dB程度まで減少している。偏波間位相差(K_{DP} ; 図1c)は高度4 km以下で大きな値を示している。偏波間相関係数(ρ_{HV} ;

図 1d) は高度 2 km まで 1 に近い値を示す一方、2 km 以上では減少している。これらの Z_H , Z_{DR} , K_{DP} , ρ_{HV} の分布から、NICT 本部直上の高度 2 km まで大粒径の雨滴が存在し、高度 2 km から 4 km では雹と雨滴さらに融解中の雹が混在していたことが示唆される。

図 2 に 13 時 56 分にドップラーライダーで観測されたドップラースペクトルの鉛直プロファイルを示す。高度 2 km までのドップラースペクトルは概ねエアロゾルと雨滴による二峰性ガウス分布の形状を示している。しかし、高度 2 km 付近の雨滴によるドップラースペクトルは雨滴の終端速度 (約 -10 m/s) を超える速度まで広がっており、雹が混在していることが示唆される。高度 2 km 以上のドップラースペクトルには 3 つのピークが存在し、約 -12 m/s のピークは雹に関連すると考えられる。13 時 56 分にウィンドプロファイ

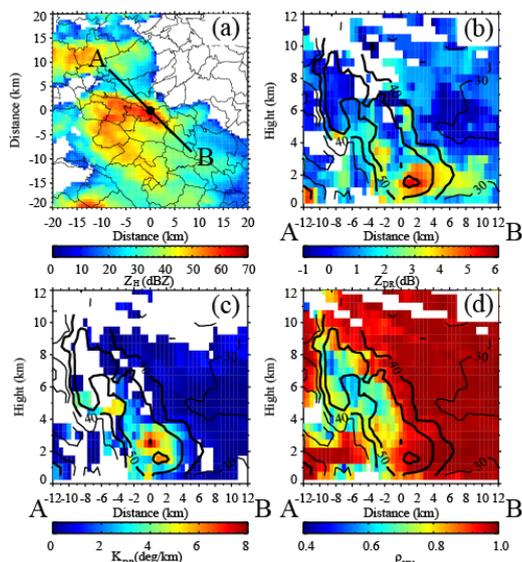


Fig. 1. (a) Horizontal distribution of Z_H obtained from XRAIN data at 2 km ASL between 1355 and 1400 JST on 18 July 2017. (b) Vertical cross-section of Z_{DR} (color scale) and Z_H (contour). (c) Vertical cross-section of K_{DP} (color scale) and Z_H (contour). (d) Vertical cross-section of ρ_{HV} (color scale) and Z_H (contour). (b-d) The horizontal axes are along the black line in Fig. 1a.

ラの鉛直ビームで観測されたドップラースペクトルの鉛直プロファイル (図略) においても、高度 2 km 以下でのドップラースペクトルのピークは -10 m/s 以下であり、高度 2 km から 3 km にかけてピークが速度が -15 m/s まで増加している。

4. まとめ

首都圏で発生した降雹事例において、ドップラーライダーの鉛直観測の解析結果から、ドップラーライダーは雹に関連するドップラースペクトルが観測可能であることを示した。また、XRAIN の偏波パラメータの鉛直分布から推定される雨滴と雹の混在状態についても、ドップラーライダーの観測結果と定性的に一致した。

謝 辞

利用した XRAIN データはデータ統合・解析システム (DIAS) から提供された。

参考文献

- 1) K. Mizutani, T. Itabe, S. Ishii, M. Aoki, K. Asai, A. Sato, H. Fukuoka, T. Ishikawa, and K. Noda: Appl. Opt. **54** (2015) 7865.
- 2) 大塚 涼平, 青木 誠, 石井 昌憲, 水谷 耕平: 第 33 回レーザセンシングシンポジウム (2015) P31.
- 3) M. Aoki, H. Iwai, K. Nakagawa, S. Ishii, and K. Mizutani: J. Atmos. Oceanic Technol. **33** (2016) 1949.

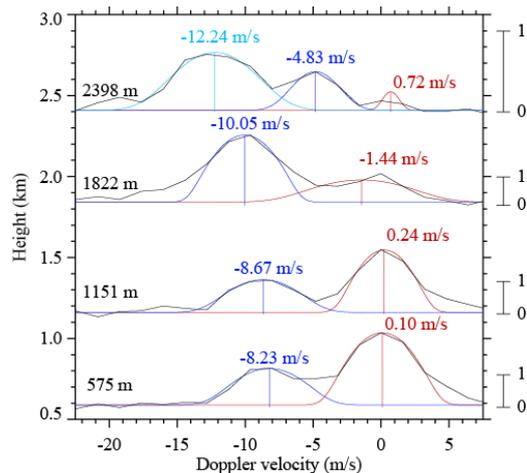


Fig. 2. Vertical profile of Doppler spectra (black lines) obtained by the CDWL at 1356 JST on 18 July 2017. Red, blue, and light blue lines show fitting curves calculated with the two- (or three-) component