

## 95GHz 雲レーダ FALCON-I で観測された雲パラメータと大気電場との比較

# 中森 広太 [1]; 鈴木 康樹 [2]; 大矢 浩代 [3]; 鷹野 敏明 [4]; 河村 洋平 [5]; 中田 裕之 [6]; 山下 幸三 [7]

[1] 千葉大・工・人工システム・電電; [2] 千葉大・工・人工システム・電子電子; [3] 千葉大・工・電気; [4] 千葉大・工; [5] 千葉大・工; [6] 千葉大・工・電気; [7] 足工大・工学部

## Comparison between atmospheric electric fields and cloud parameters using a 95-GHz radar FALCON-I

# Kota Nakamori[1]; Yasuki Suzuki[2]; Hiroyo Ohya[3]; Toshiaki Takano[4]; Yohei Kawamura[5]; Hiroyuki Nakata[6]; Kozo Yamashita[7]

[1] Electrical and Electronic, Chiba Univ.; [2] Electrical and Electronics Engineering, Chiba Univ.; [3] Engineering, Chiba Univ.; [4] Chiba Univ.; [5] Engineering, Chiba Univ.; [6] Grad. School of Eng., Chiba Univ.; [7] Engineering, Ashikaga Institute of Technology

It is known that lightning and precipitations of rain droplets generated from thunderclouds are the generator of global atmospheric electric circuit. In the fair weather, the atmospheric electric fields are downward (positive), while they are upward (negative) during lightning and precipitations. However, the correlations between the electric fields, and the cloud parameters such as cloud cover, weather phenomenon, have not been yet revealed quantitatively. In this study, we compare between the electric fields and the cloud parameters, weather phenomenon using a field mill, the 95 GHz-FALCON (FMCW Radar for Cloud Observations)-I and all-sky camera observations.

In this study, we installed a Boltek field mill on the roof of Engineering Research Building-2 in Chiba University, Japan, (Geographic coordinate: 35.63 degree N, 140.10 degree E, the sea level: 55 m) on 1 June, 2016 to observe the electric fields. The sampling time and voltage range of the electric fields are 0.5 s and +/- 20 kV/m, respectively. On the other hand, the FALCON-I has been originally developed by our group, and has observed the cloud parameters throughout 24 hours every day. The reflectivity and the Doppler velocity of cloud particles can be derived by the FALCON-I with high spatial resolutions (48.8 m). In addition, the images of the clouds and precipitations are recorded with 30-s sampling by an all-sky camera using a CCD camera on the same roof during 05:00-22:00 LT every day. The distance between the field mill and the all-sky camera is 3.75 m, while the distance between the field mill and the FALCON-I is 76 m.

We developed the automatic procedure to estimate the cloud cover from cloud optical images using the RGB color values. We investigated the dependence of the distance between the field mill and the clouds on the atmospheric electric fields by dividing the zenith. We estimated the correlations between the electric fields and the cloud cover at each zenith for 19 days during 05:00-22:00 LT, June, 2016 and April, 2017. The correlation coefficient for the zenith of 90 degrees was largest in all the cases. When the zenith extended from 5.5 degrees to 57.5 degrees, the mean electric field and the standard deviation decreased by 0.18 kV/m and 0.16 kV/m for the cloud cover of 90-100%, respectively. The mean electric field decreased as the cloud cover increased.

During lightning occurrence at 08:30-10:30 UT, on 4 July, 2016, we found two kinds of variations in the electric fields. One was slow variation due to the movement of thunderclouds, and the other was rapid pulse-like variation associated with lightning discharges. As for the movement of thunderclouds, the electric fields increased when the anvil was located over the field mill, which was opposite direction of the previous studies. This change might be due to the positive charges in the anvil at more than 14 km altitudes. As for the rapid pulse-like variations of the electric fields, 12 peaks of the electric fields coincided with the occurrence of the lightning located within 37 km from the field mill using the JLDN lightning data.

On 23-24 November, 2016, we found the variations of the electric fields due to snowfall. In wavelet spectra, the period of the oscillation was about 66.7 min from about 19:00 UT on 23 November to 03:00 UT on 24 November. In the wavelet spectra of the cloud reflectivity derived from the FALCON-I, at about 2 km altitude, the periods of the cloud reflectivity were seen to be about 66.7 min from about 17:00 UT to 20:00 UT on 23 November, 33.3 min from 21:00 UT to 23:00 UT on 23 November, and 50.0 min from 23:00 UT on 23 November to 01:30 UT on 24 November. This was consistent with the period of the electric fields until around 20:00 UT on 23 November, although the periods of the cloud reflectivity were shorter than those of the electric fields thereafter.

雷雲から生成される雷や雨は、グローバルサーキットと呼ばれる地球上の大規模な回路の発電機となることが知られている。通常、フェアウェザー時には大気電場は下向き、雷・降雨時には上向きとなるが、大気電場と雲との定量的相関は明らかになっていない。本研究では、フィールドミルによる大気電場と、千葉大学で独自に開発された 95GHz 雲レーダ FALCON (FMCW Radar for Cloud Observations)-I および全天カメラによる雲との同時観測・比較をすることで、大気電場と雲量(ここでは上空画像面積に対する雲面積の割合)、気象現象との相関を明らかにすることを目的とする。本研究では、2016年6月-2017年4月のうち晴れ、曇りであった19日間、2016年7月4日の雷雨時、および2016年11月23-24日の降雪時の解析結果を示す。

大気電場観測のため Boltek 社のフィールドミルを 2016 年 6 月 1 日に、千葉大学西千葉キャンパス工学系総合研究棟 2 建物の屋上 (35.63 deg. N, 140.10 deg. E, 海拔高度 55 m) に設置した。サンプリングタイムは 0.5 s, 電圧レンジは +/- 20

kV/m である。一方,FALCON-I はフィールドミルから約 76 m 離れた地点で, 毎日 24 時間, 雲の定常観測を行っている。FALCON-I は, 高い距離分解能 (48.8 m) で雲の鉛直プロファイルや雲粒子のドップラー速度を観測できる。また CCD カメラを用いた全天カメラにより, フィールドミルと同じ建物の屋上にて毎日 05:00-22:00 LT の間,30 s ごとに上空画像を保存している。フィールドミルと全天カメラとの距離は 3.75 m である。

全天カメラにより取得される雲画像の RGB 値を解析し, 雲量を推定する雲量計測プログラムを作成した。また, 大気電場に対する雲の距離依存性を調べるため, 天頂角ごとの大気電場と雲量との相関を調べた。2016 年 6 月から 2017 年 4 月のうち晴れ, 曇りであった 19 日間 (05:00-22:00 LT) の大気電場と雲量との相関を取ったところ, 天頂角が 90 度のときに最も相関係数が大きかった。また天頂角が 5.5 度のとき, 雲量が 0-10% で大気電場は  $0.65\pm 0.41$  kV/m,90-100% で  $0.23\pm 0.47$  kV/m であり, 天頂角が 57.5 度のとき,0-10% で  $0.65\pm 0.40$  kV/m,90-100% で  $0.05\pm 0.31$  kV/m であった。天頂角が 5.5 度から 57.5 度になると, 雲量が 90-100% のときの大気電場は 0.23 kV/m から 0.05 kV/m と小さくなり, 標準偏差も 0.47 kV/m から 0.31 kV/m と小さくなった。雲量が 0-10% のときは天頂角に依存せず大気電場と標準偏差はほぼ一定であった。また, 雲量が増加するにつれて大気電場が小さくなった。

2016 年 7 月 4 日 08:30 - 10:30 UT の雷雨時に大気電場変動が確認された。この大気電場変動には, 雷雲の接近・通過に伴い正負正の緩やかな変動と, 急激なパルス状変動の 2 パターンの変動が見られた。前者については, 通常考えられている雷雲位置と大気電場変動の関係とは異なる結果が得られた。本イベントでは, アンビルが真上に来ると大気電場が正になり, 降雨時に大気電場が負に変化した。これはアンビル中の正電荷からの影響であると考えられる。後者の大気電場の急激なパルス状変動は 12 個観測された。JLDN の雷位置推定データと比較したところ, 大気電場のパルス状変動 12 個全てにおいて, フィールドミルから水平距離 37km 以内の雷の発生時刻と一致したことから, 近隣で発生した雷の影響であると考えられる。

2016 年 11 月 23 - 24 日の降雪時に, 千葉大学と柿岡観測所において大気電場が正負に大きく振動したことが確認された。2 地点の距離は 67.1 km である。2 地点の大気電場と雲の反射強度の Wavelet 変換を行ったところ, 千葉では 2016 年 11 月 23 日 19:00-24 日 03:00 UT で大気電場の周期は約 66.7 分で強度が強く, 柿岡では 23 日 21:00-24 日 04:00 UT で約 83.3 分でピークが見られた。また高度約 2 km で,23 日 17:00-20:00 UT の雲の反射強度の周期が約 66.7 分,23 日 21:00-23:00 UT では約 33.3 分,23 日 23:00-24 日 01:30 UT では約 50.0 分にあった。23 日 20:00 UT 頃までは千葉での大気電場の周期と一致しているが, それ以降は雲の反射強度の周期のほうが短いという結果となった。