

偏波レーダー情報を用いた雷雲内電場の時空間変動に関する研究

神戸大学 フェロー会員 ○大石 哲
 神戸大学 非会員 千原 拓馬
 神戸大学 正会員 小池 雄大
 神戸大学 正会員 小川まり子

1. 目的

落雷は、工場、オフィス、住宅、電力会社などあらゆる業種全般に被害を及ぼすことがあり、2次災害を含めた国内の年間雷被害額は1000億～2000億円であると推定されている。そのため、落雷を予測し、未然に落雷事故を防ぐことが重要であるが、落雷予測技術は発展途上である。

本研究では、Xバンド偏波レーダーから得られる実測値情報に基づいた、落雷危険度のリアルタイム予測を行う小池ら(2016)の落雷予測手法を改良して、雷雲内の電荷分布を左右する中和過程を導入した。その際、諸田ら(2016)が数値計算上で考慮した中和過程をレーダーのリアルタイム解析上で定式化し組み込んだ。

2. 雷雲内電場推定および中和電場推定手法

Takahashi(1978)は、雷雲の帯電機構として着氷電荷分離機構を発表し、諸田ら(2016)は、メソ気象数値シミュレーションにその機構を取り入れて、雷のシミュレーションを行っている。一方、小池ら(2016)はXバンドマルチパラメータレーダー(X-MP)を用いて、観測ボリューム内の粒子判別を行った後に粒径分布推定をして、着氷電荷分離機構に基づいて電荷密度、電位、電場の推定を行い、推定された電場ベクトルの大きさや方向と、BOLTで探知された雷放電経路を比較した。X-MPには古野電気製小型気象レーダーWR-2100を用いて電場などの推定を1分ごとに行った。

本研究では、放電によって放電経路内に電荷を分配する中和過程を上述した小池ら(2016)の手法に導入して中和によって1分よりも短い時間で変化する電場の推定を行った。そのアルゴリズムは以下の通りである。

①：小池ら(2016)の手法を用いて、「電荷 Q 、電場ベクトル E 」を推定する。②：「 Q 、 E 、霰の表面積 S 」のデータを用いて、ベクトル E の方向に中和計算を行い、格子内に存在する霰の表面積比に応じて図1のように電荷量を分配する。このとき、偏波パラメーターから霰の表面積量を推定する以下の式を導出した。

$$S = 2\pi^3 \sqrt{\frac{K_{DP}^4}{Z_{HH}} \cdot \frac{720}{\left\{\frac{3.75\pi k(1-r)}{2}\right\}^4}}$$

ここで、 k ：レーダー電波の波数、 r ：軸比(レーダー反射因子差ZDRから算出)である。また、放電する格子は電場 $|E| \geq 3.4 \times 10^4 \text{ V/m}$ を満たす格子、中和される格子は放電する格子の中心座標から延びる電場ベクトルに接する格子と定義した。③：推定された中和後の電荷分布のデータから、中和後の電位 V 、中和後の電場ベクトル E を推定する。④：①～③の計算を繰り返し行い、解析範囲全体の電場の最大値が $3.4 \times 10^4 \text{ V/m}$ を下回ったら計算終了とする。中和前の電場をAVSを用いて三次元で可視化した結果が図2、中和後の同じものが図3である。BOLTによる雷放電の観測を行った2015年8月の同じものがそれぞれ図4,5である。

3. 結果と考察

図2～図5の解析結果より、雷雲内の放電による電荷の中和現象が電場分布形成に与える変化量の最大値は 10^5 V/m の桁であることがわかった。ワークマンとレイノルズが示した雷雲内での電気発達条件「レーダーエコー出現から10分以内で雷放電場 $3.4 \times 10^5 \text{ V/m}$ 」と比較すると、雷雲内の放電による電荷の中和が雷放電の発生数を左右する重要な因子であることが示された。放電による電荷の中和過程を定式化し組み込むことで

キーワード Xバンド偏波レーダー、電荷密度、電場、雷放電、中和

連絡先 〒657-8501 神戸大灘区六甲台町1-1 神戸大学都市安全研究センター

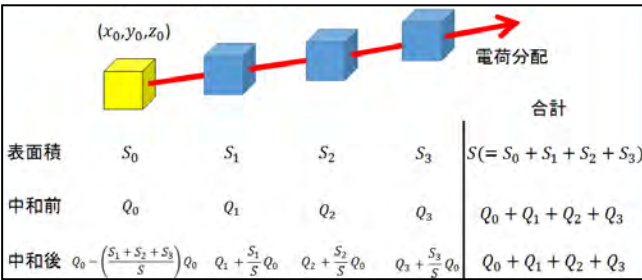


図 1 霰の表面積比に応じた電荷量の分配例(黄色の格子は放電, 青色の格子は中和される格子を示す)

落雷予測精度が向上できるという仮説を裏付けることができた。

本研究の成果は、雷雲内の放電による電荷の中和過程を考慮したことで、より実現象に近い形で雷雲内電荷・電場の強度分布を推定し、落雷危険度や雷放電回数をリアルタイムで予測できたことである。これにより、既往研究よりも精緻な落雷予測技術の開発の可能性を開いた。

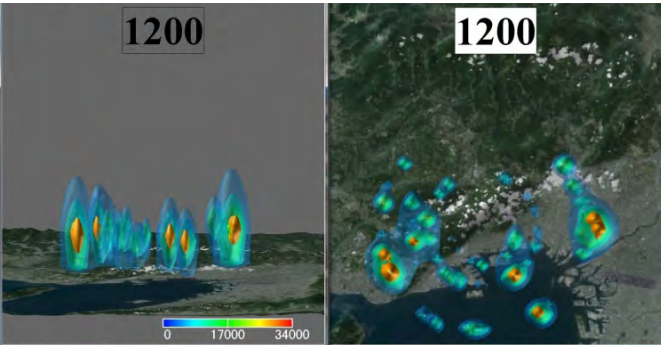


図 2 2015 年 4 月 14 日 12:00(中和計算なし)
電場[V/m]の三次元解析結果(左:鳥瞰図, 右:平面図)

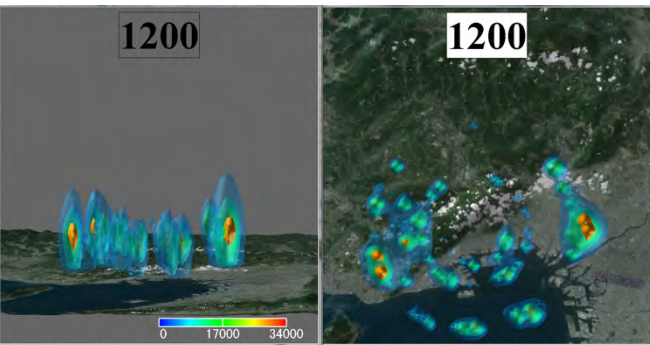


図 3 2015 年 4 月 14 日 12:00(中和計算あり)
中和後の電場[V/m]の三次元解析結果

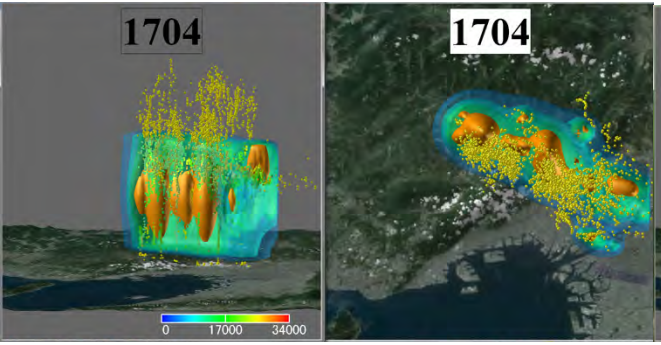


図 4 2015 年 8 月 8 日 17:04(中和計算なし)
電場[V/m]と BOLT を用いた三次元解析結果
(左:鳥瞰図, 右:平面図)

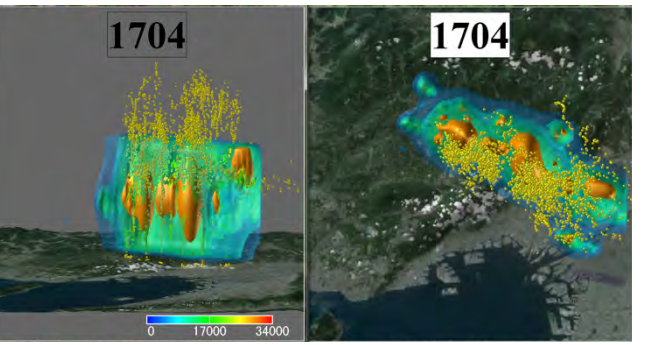


図 5 2015 年 8 月 8 日 17:04(中和計算あり)
中和後の電場[V/m]と BOLT を用いた三次元解析結果
(左:鳥瞰図, 右:平面図)

参考文献

Takahashi T, Riming Electrification as a Charge Generation Mechanism in Thunderstorms, Journal of the atmospheric science, 35, pp.1536-1548, 1978

小池雄大・大石哲・小川まり子：雷雲中の降水粒子分布測定に基づく電荷量と電場の推定手法に関する研究, 土木学会論文集 B1 (水工学) Vol172 No4, I_247-I_252, 2016.

諸田雪江・加藤雅也・道本光一郎・横田匡彦・牛尾知雄・Wu Ting・坪木和久：電荷中和過程スキームに対する雷シミュレーションの敏感度～3次元標定との比較～ 日本気象学会 2016 年春季大会講演集, 2016.