

【助成 41-26】

高エネルギー落雷の発生検知・予測を目的とした雷エネルギー観測網の構築

研究者 公立小松大学生産システム科学部 准教授 山下 幸三

〔研究の概要〕

個々の雷放電で中和される電荷量(雷電荷量 $\Delta Q[C]$ 、各放電のエネルギーに相当)の遠隔推定手法は未だ研究段階にある。本申請課題は雷雲下における地上静電界の多点計測技術を確立し、着雷地点に甚大被害をもたらす高エネルギー落雷の発生検知、予測の方法論確立を目指すものである。静電界センサ(申請者が独自開発)を改良し、2023 年に 12 地点、2024 年に 16 地点への多点展開に成功した(2022 年は 6 地点展開)。観測網の運用安定化に必要なデータ通信用無線モジュールを独自設計、センサへ追加搭載できた。観測網拡充によりデータ解析へ適用する電荷構造モデルの改良、雷電荷量 $\Delta Q[C]$ の遠隔算出が可能な放電種別の拡張に成功した。

〔研究経過および成果〕

1. 研究背景

雷電荷量 $\Delta Q[C]$ (雷放電で中和される電荷量) は雷のエネルギーに相当する量だが、その遠隔推定は未だ実用段階にない。社会インフラに甚大被害をもたらす高エネルギー落雷($\Delta Q > \text{数 } 100 \text{ C}$)の発生検知・予測法の確立は急務である。本研究の目的は静電界の多点計測による雷電荷量 $\Delta Q[C]$ の遠隔算出法の確立である。本申請では静電界計測網の運用安定化および拡充に必要なセンサ IoT 化を図った。高エネルギー落雷が多数確認されている冬季北陸域にてセンサ展開、実証観測を実施、課題抽出に取り組んだ。

2. 研究経過および成果

➤ 装置開発

申請者が独自開発した静電界センサの高密度設置と安定運用に必要なデータ通信用無線モジュール(以下、通信装置)を設計・開発した。独自センサは高精度な静電界の多点計測を実現したがノイズ耐性が低い。現在は太陽光パネル・小型バッテリーを用いた

独立電源よりセンサ稼働し、ノイズ低減を実現した。

本申請課題では電磁ノイズ源となり得る既製品の通信モジュールを用いず、汎用マイコンと通信モジュールを組合せ、制御プログラムを独自製作した。複数の通信モジュールに対しノイズ評価を実施した。センサ内の信号回路を改良しノイズ対策を施した。電源システム改良にも取り組んだ(構成パーツ変更等)。2024 年冬季に通信装置を静電界センサに追加搭載した。

課題として通信装置による観測システム全体の消費電力増大が挙げられる。電源システムへの太陽光パネル増設で対応したが、観測網拡張の阻害要因となる観測システム設置のコスト増大に至った。今後、通信装置の消費電力低減に取り組む必要がある。

➤ 観測

2023 年冬季に 12 地点、2024 年冬季に 16 地点への静電界センサー多点展開(約 5km 間隔)に成功した(2022 年冬季は 10km 間隔で 6 地点展開)。センサ改良により、雷電荷量 $\Delta Q[C]$ の遠隔算出に必要な観測網拡充、高密度設置に成功した。

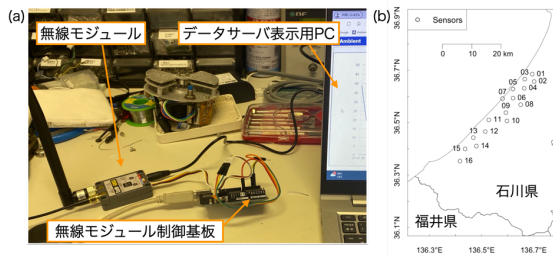


図 1 (a)データ通信用無線モジュールの通信実験, (b) 2024 年冬季における静電界センサ 16 機の配置図

➤ 観測・解析結果

雲放電(雷雲内での放電)に伴う静電界変動を 10 地点で捉えた結果を図 2 に、雷電荷量 $\Delta Q[C]$ の遠隔算出結果を図 3 に示す。雲放電で消失する正・負電荷 ($\Delta Q_+[C]$, $\Delta Q_-[C]$) の算出は未知数が多く、8 地点以上での静電界計測が必要である。同事例は、本申請の観測網拡充により解析可能となった成果である。

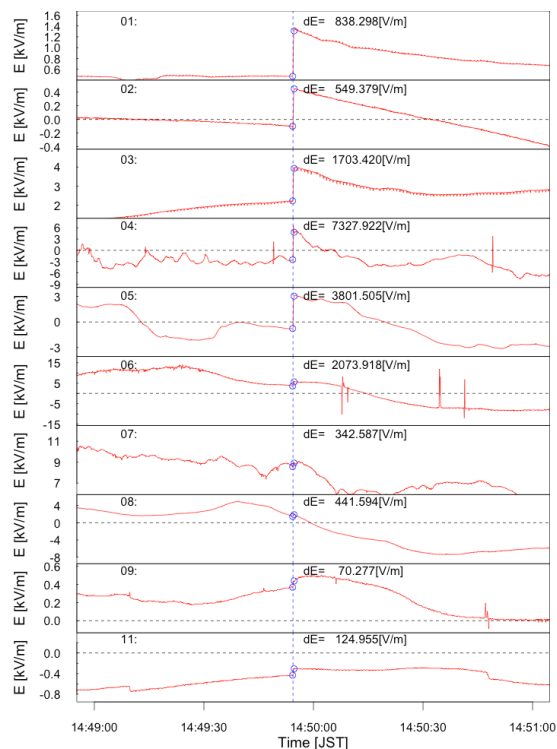


図 2 2024/1/7 14:49:54.4 JST に石川県 10 地点で記録された雲放電に伴う静電界変動の波形(青縦線:気象庁の雷観測網 LIDEN で検出された放電発生時刻)

観測地点の増加はデータ解析へ適用できる電荷構造モデル拡張を可能とした。一方、解析法の複雑化より雷電荷量 $\Delta Q_{+/-}[C]$ の計算時間が増大した。計算結果の検証に想定外の長い時間を要している。現在、計算アルゴリズム改良・高速化を試行している。

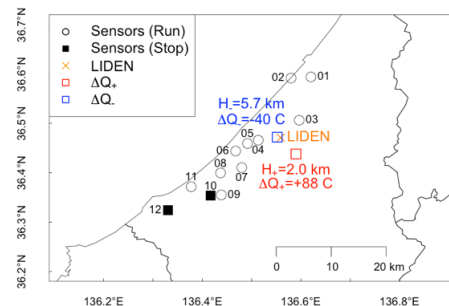


図 3 雲放電で消失した正・負電荷の位置(赤・青の四角)と電荷量を図 2 の多点計測波形から算出した結果 (×印: 気象庁観測網 LIDEN で検出された放電位置)

3. 研究成果と課題

下記に、本申請課題の成果と今後の課題をまとめる。

- 観測網の運用安定化に必要なデータ通信用無線モジュールを開発、静電界センサへ追加搭載した。今後、観測網の拡張・高密度化に取り組む。
- 解析アルゴリズム拡張に成功したが、雷電荷量 $\Delta Q[C]$ の計算時間が長い(雷一発分の計算に 1 日以上)。今後、計算の高速化に取り組む。

[発表論文]

- 山下, 藤坂, 岩崎, 2023 年冬季石川県域における多地点静電界計測に基づいた雷観測, 令和 6 年電気学会電力・エネルギー部門大会, 273 (2024)
- 山下, 藤坂, 岩崎, 王, 山本, 雷電荷量算出を目的とした冬季北陸域への静電界センサー網展開, 日本大気電気学会第 102 回研究発表会 (2024)
- Yamashita, K., Fujisaka, H., Wang, D., Iwasaki, H., Yamamoto, K., Michimoto, K., & Hayakawa, M. A new electric field mill array with each of the mill's rotor controlled precisely by a GPS module: Equipment and initial results. *Earth and Planetary Physics*, 8(2), 423–435. <https://doi.org/10.26464/epp2024009> (2024)