

令和 5 年 6 月 19 日現在

機関番号：23304

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2021～2022

課題番号：21K18795

研究課題名（和文）雷雲の充放電監視に基づいた落雷直前予測の挑戦

研究課題名（英文）Challenge for short-term prediction of lightning discharge by monitoring charge and discharge of an isolated thundercloud

研究代表者

山下 幸三（Yamashita, Kozo）

公立小松大学・生産システム科学部・准教授

研究者番号：20609911

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究課題では落雷発生の直前予測を目的とし、落雷発生前に雲内で生成される静電気（以下、雷雲電荷）の定量推定技術を開発した。独自設計・製造した静電界センサーを用い、雷雲下の静電界分布の多点計測より雷雲電荷を定量推定した。解析対象は雲内に単純電荷構造を仮定しやすい空間的に孤立した雷雲（以下、孤立雲）とした。孤立雲内に2極・3極電荷構造を適用し、雷雲電荷の高度・電荷量の1秒分解能での算出に成功した。孤立雲の観測事例積み増しは必要だが、発雷前における雷雲電荷の特徴的変化の検出による落雷直前予測の可能性を示唆する結果を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

独自開発した多点計測用静電界センサー2種を用い、特定の条件を満たした雷雲に対して「充電」と「放電」の1秒分解能での定量評価に成功した。これらの成果は、落雷に至る雷雲の帯電評価による落雷警報システムの設計・開発に役立つ。また、地上静電界の多点計測に基づいた雷雲電荷の特徴的変化の抽出より、落雷直前予測の可能性を示唆する結果を得た。同手法の簡易化・一般化は、雷害をもたらす落雷の直前発生予測法確立に繋がるものと考えられる。

研究成果の概要（英文）：In this study, we have developed a methodology for a quantitative estimation of an electrostatic charge inside a thunderstorm before a lightning discharge to realize the short-term lightning prediction. We had succeeded to calculate point charges assumed inside a thundercloud quantitatively based on the multipoint measurement of electrostatic field on the ground with two types of electrostatic sensors which had been originally designed. We had analyzed only an isolated thundercloud in which a simple charge structure could be assumed. By applying dipole or tripole charge models inside thunderclouds, temporal variation for heights and amounts of cloud-charges inside an isolated cloud had been estimated with 1 second resolution. Initial results indicated the possibility for the short-term prediction of lightning discharges by detecting a characteristic temporal change of cloud-charges before lightning occurrences.

研究分野：大気電気学

キーワード：雷雲 雷 静電界 フィールドミル スローアンテナ IoT

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

本申請課題は落雷発生の直前予測を目的とし、雷雲の充放電の定評推定法の開発・確立に取り組むものである。本申請では雷雲下の地上静電界の多点計測より、雲内で生成される電荷(以下、雷雲電荷)の定量評価技術を開発した。雷雲電荷に伴う地上静電界の時間変化と雷放電による静電界変動を多点計測し、発雷前後における雷雲電荷の電荷量・電荷高度の時間変化の1秒分解能算出に成功した。

従来研究においても、地上静電界の多点計測自体は取り組まれてきた。観測網近傍に発生した雷雲内の電荷盛衰に対する定性的な観測(「充電」の定性評価)に関する報告は既に多数ある。また、落雷・雲放電に伴い消失する電荷量の算出(「放電」の定量評価)も既に検討されている。一方で、雷雲の「充電」と「放電」の定量評価を統合的に扱った事例は少数に留まる。雷雲内における雷雲電荷の成長・衰退プロセスと落雷の発生条件の関係性には未だ不明点が多い。既存雷観測網は落雷・雲放電の発生位置推定を、最新雷観測網は雷放電路の3次元マッピングより雷雲内の電荷分布推定を可能としたが、雷雲電荷を定量評価できる設計にはなっていない。気象レーダー網は雨雲領域を高空間分解能で観測可能だが、同域における帯電量の定量評価や電荷領域の特定はできない。

発雷前後における雷雲電荷の定量評価は、発雷予測技術の開発において不可欠の技術要素と考えられるが、現在は未着手課題となっている。本申請にて開発する地上静電界の多点計測技術は、他手法では導出できない雷雲電荷の位置・電荷量の定量化を条件付きであるが実現する点において新規性を持つ。

2. 研究の目的

(1) 雷雲下の地上静電界の多点計測技術を開発・確立する。

(2) 地上静電界の多点計測データより雷雲電荷の電荷量・電荷高度の時間変化を導出する解析アルゴリズムを開発・確立する。

(3) 発雷前後における雷雲電荷の電荷量・電荷高度の時間変化の特徴量検出による落雷直前予測技術開発の道筋をつける。

3. 研究の方法

(1) 観測

雷雲観測用センサー(フィールドミル)および雷観測用センサー(スローアンテナ)の独自設計・製造に取り組んだ。2021年夏季に独自開発・製造したセンサー2種(雷雲観測用センサー20機および雷観測用センサー6機)を栃木県足利市周辺域に展開した。2022年夏季は、同域での観測を継続した。2022年冬季は当初計画になかった北陸域での雷雲観測も実施した。

(2) 解析

2021年度は雷雲内に単極電荷構造を仮定した上で雷雲に伴う地上静電界の多点データ統合、雷雲内の電荷量・電荷高度の定量推定法を開発した。2022年度は雷雲内に2極・3極電荷構造を想定したデータ統合手法の開発に取り組んだ。1秒サンプリングでの静電界計測データに対し上記の解析アルゴリズムを開発し、雷雲電荷の時間変化を1秒分解能で導出した。

(3) 雷雲電荷の時間変化と発雷の関係性検証

上記項目で得られた雷雲電荷の時間変化と、既存の雷観測網、気象レーダー網の各種データとの比較検証に取り組んだ。雷雲内の「充電」から、落雷という「放電」に至るプロセスを調査し、静電界計測による落雷発生の直前予測を検討した。

4. 研究成果

(1) 観測

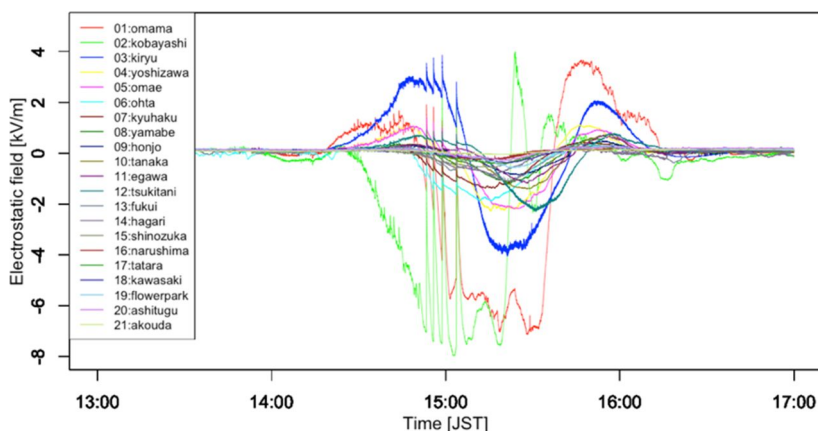


図1 2021/8/20に北関東域で発生した孤立雷雲下の地上静電界を計21点で取得した事例

静電界センサー2種を独自開発し、約3ヶ月間の雷雲観測体制を実施できる水準でセンサー製造技術を確立した。

図1に、2021/8/20に北関東域で発生した孤立雷雲下の地上静電界を計21点で取得した観測事例を示す。1~2時間スケールの長期変動は雷雲の移動・電荷盛衰に伴う地上静電界の変動である。15:00頃に見られるパルス信号

は、雷に伴う静電界変動である。上記2成分を解析し、雷雲の「充電」と「放電」の定量評価法開発に取り組んだ。

(2) 解析

雲内に単純電荷構造を仮定しやすい空間的に孤立した雷雲(以下、孤立雷雲)を解析対象とした。雷雲内に単純な電荷構造モデル(単極、2極、3極電荷構造)を仮定し、静電界の多点計測より雷雲電荷の電荷量・電荷高度の時間変化を計算し、雷雲の「充電」を定量推定した。また、個々の落雷による消失電荷量(雷電荷量)を算出し、「放電」を定量推定した。孤立雷雲に対し「充電」と「放電」の定量評価を可能とする解析アルゴリズムを開発した。

Cバンド気象レーダのエコー分布と比較し、単純な電荷構造モデルを適用した際の雷雲電荷の位置・電荷量の算出結果の妥当性を検証した。雷雲の活動フェーズ(発達期、衰退期、等)により、適用する電荷構造モデルを変更する必要性を示唆する結果を得た。

雲内に単極電荷構造を仮定した際の雷雲電荷の電荷量・電荷高度の定量推定法の開発結果を国際会議で発表すると共に、査読付論文として公表した。現在、雷雲内に2極・3極電荷構造を仮定した際の解析結果をまとめ、投稿準備を進めている。

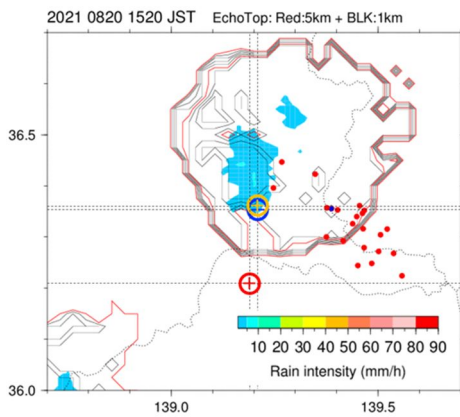


図2 2021/8/20 15:20:00における孤立雷雲内に3極電荷構造を仮定し、各電荷の電荷位置・電荷量を地上静電界の多点計測データから推定した事例

表.1 3極電荷構造を仮定した際の計算設定

計算設定	詳細
緯度・経度の分解能	0.01 [deg]
高度の分解能	1.0 [km]
雷雲電荷量の分解能	1.0 [C]

表.2 3極電荷構造を仮定した際の計算結果

項目	メイン正電荷 ⊕	メイン負電荷 ⊖	ポケット正電荷 ⊕
緯度	139.19[deg]	139.21[deg]	139.21[deg]
経度	36.21 [deg]	36.36 [deg]	36.37 [deg]
電荷量	59 [C]	153 [C]	49 [C]
高度	14 [km]	8 [km]	3 [km]
χ^2	13.5		

(3) 雷雲電荷の時間変化と発雷の関係性検証

夏季北関東での雷雲観測で得られた地上静電界の多点計測データに各種解析アルゴリズムを適用し、雷雲電荷の位置・電荷量の1秒分解能算出に成功した。既存雷観測網による落雷・雲放電データとの比較より、雷雲電荷の特徴的变化の抽出による落雷直前予測の可能性を示唆する結果を得た。現在もデータ解析を継続しており、同結果を検証している。また、解析対象と見なせる孤立雷雲の発生頻度は想定以上に少なく、解析事例数も十分でない。今後も、継続的な観測・解析事例の積み増しが必要と考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Yamashita, K.; Fujisaka, H.; Iwasaki, H.; Kanno, K.; Hayakawa, M	4. 巻 22, 1884
2. 論文標題 A New Electric Field Mill Network to Estimate Temporal Variation of Simplified Charge Model in an Isolated Thundercloud	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Sensors	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/s22051884	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 K. Yamashita, H. Fujisaka, H. Iwasaki, K. Kanno, M. Hayakawa
2. 発表標題 Construction of an Electrostatic Sensor Network to Estimate Total Charge in an Isolated Thundercloud
3. 学会等名 The 35th International Conference on Lightning Protection, 2021（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山下幸三、岩崎博之、藤坂浩史
2. 発表標題 2021 年夏季における北関東での静電界計測網展開の初期結果
3. 学会等名 日本大気電気学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山下幸三、岩崎博之、藤坂浩史
2. 発表標題 地上静電界の多点計測に基づいた雷雲電荷推定(ダイポール電荷モデルの適用)
3. 学会等名 日本大気電気学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山下幸三, 藤坂浩史, 岩崎博之, 皆巳幸也
2. 発表標題 冬季雷観測を目的とした 静電界計測網の構築
3. 学会等名 令和5年電気学会全国大会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関