

令和 3 年 6 月 26 日現在

機関番号：32201

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2020

課題番号：18K13970

研究課題名(和文) 地上静電界の多点計測に基づいた発雷予測

研究課題名(英文) Multipoint electrostatic measurement for lightning prediction

研究代表者

山下 幸三 (Yamashita, Kozo)

足利大学・工学部・准教授

研究者番号：20609911

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題は、落雷前に雷雲内に生成される電荷(以下、雲内電荷)の定量把握による発雷予測法を開発するものである。回転型静電界計測器を独自開発し、栃木県域に計12機を展開した。同域における空間的に孤立した雷雲(以下、孤立雲)に伴う地上静電界の水平分布を多点計測した。孤立雲内に単純な電荷構造を仮定し、静電界の水平分布より雲内電荷の時間変化を1秒分解能で定量推定することに世界に先駆けて成功した。雲内電荷の盛衰監視に基づいた発雷予測技術の開発基盤を確立し、発雷直前予測に有効と考えられる発雷直前における雲内電荷の特徴的变化を検出した。ただし、孤立雲の取得事例が少数であり、観測事例の積み増しは必須である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の最終目的は、着雷点に甚大な経済的、人的被害をもたらす落雷の発生予測である。本申請課題では、雷放電に電荷を供給する雲内電荷の定量評価を目的とし、地上静電界の多点計測網を構築した。初期結果として孤立雲内の電荷量の定量推定に成功し、発雷予測法の開発基盤を確立した。発雷予測は、雷害対策の新領域を切り開く点において社会的意義がある。また、地上静電界計測のみに基づいた雲内電荷の定量推定事例は国内外でも先行報告が見当たらず、新規性の面より学術的意義も高いと考えられる。

研究成果の概要(英文)：In this study, we had developed a methodology for lightning prediction based on quantitative estimation of a macroscopic charge inside a thundercloud (cloud charge). We had newly designed electric field mills and deployed 12 sensors in Tochigi prefecture to measure horizontal electrostatic distribution by a small thundercloud which was isolated spatially (isolated thundercloud). By assuming a simple charge model inside the isolated thundercloud, we obtained the first result to estimate a temporal variation of a cloud charge with 1 second resolution. Development platform for short-term prediction of lightning occurrence had been developed by monitoring the growth or decline of a cloud charge. Initial results indicate the distinctive change of a cloud charge before lightning discharge, which would be effective for a short-term prediction of lightning discharges. Presently, the number of observed isolated thunderclouds is a few and further observation is necessary.

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 センサーネットワーク

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

近年、高度情報化が進む中で、高性能化・小型化が進む電気・電子機器の雷サージ(雷に伴う突発的な侵入電流)への耐性低下、雷害リスク増加が懸念されている。雷サージの主要因は雷雲-地面間に生じる放電(以下、落雷)である。落雷発生予測は雷サージ対策における本質的課題と考えられる。

落雷の発生予測には、雷電流への電荷供給源である雷雲内の帯電(以下、雲内電荷)と、落雷の発生前に雲内に生じる放電(以下、雲放電)の監視が不可欠である。現在、電磁界計測に基づいた雲放電観測は既に多くの先行研究がある。雲内電荷の定量評価法は未確立であり、国内外で電磁界計測と静電界計測を組合せた先行事例が数例あるのみである。

### 2. 研究の目的

雷雲に伴う地上静電界の水平分布のみから、雲内電荷の電荷量・電荷高度を定量推定する手法論を開発する。雷雲内部に単純化した電荷構造モデルを仮定し、地上静電界の多点計測データから、雷雲内の電荷量・電荷高度を1秒分解能で推定する。雲内電荷の時間変化と雷放電データを比較できるデータセットを世界に先駆けて創出し、発雷予測法の開発基盤を確立する。

### 3. 研究の方法

申請者は雷雲近傍の地上静電界の水平分布計測のため、多点計測用の回転型静電界計測器(以下、フィールドミル)を独自開発した。同システムはGPSにより100ms以下の時刻精度での時刻同期機能を有する。センサー外観を図.1に示す。

観測では、単純化した電荷構造モデル(点電荷モデル、ダイポール電荷モデル)を仮定するため、空間的に孤立した雷雲(以下、孤立雲)を観測対象とした。観測域として、毎年2-3回孤立雲が確認される栃木県・群馬県の県境域を設定した。申請当初は計8機のフィールドミル展開を予定し、2020年夏季には栃木県足利市周辺域へ計12機を展開した(図.2参照)。



図.1 独自開発フィールドミル外観

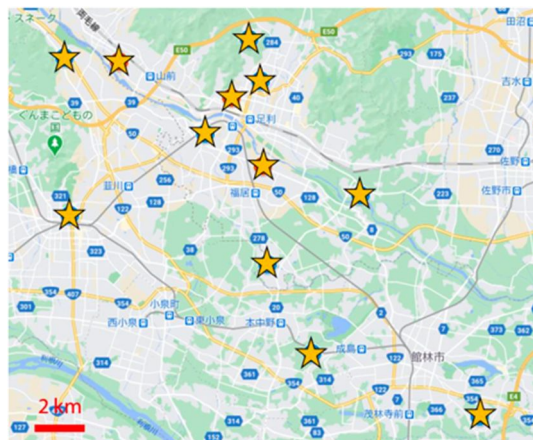


図.2 足利市周辺に展開した静電界計測網

### 4. 研究成果

観測事例の一つとして、2020年8月27日未明に埼玉県熊谷市上空で発生し、群馬県太田市へ移動した孤立雲事例を示す。1:40[LT]におけるCバンド気象レーダによるエコー分布図を図3に、孤立雲に伴う地上静電界波形を計7点で取得した結果を図4に示す。全観測点で、上空の負電荷に伴うマイナス極性の静電界を確認した。各点での取得波形形状も一致性が高く、孤立雲内にマイナスの点電荷を仮定し、電荷量・電荷高度を定量推定することとした。

孤立雲内に点電荷を仮定し、電荷量・電荷高度を導出した。8月27日1:40:00[LT]における解析結果を図.5に、1:40[LT]頃における点電荷の電荷量、電荷高度の時間変化を図.6示す。図.5左図は地上静電界の多点計測データより算出した雲内電荷の緯度・経度、右図は各観測点で得られた地上静電界の水平分布(丸点)と、理論計算による水平静電界分布(実線)である。図.5左図は図.3のレーダーエコー図と大まかな一致を確認できた。解析の妥当性を示す結果と考えられる。

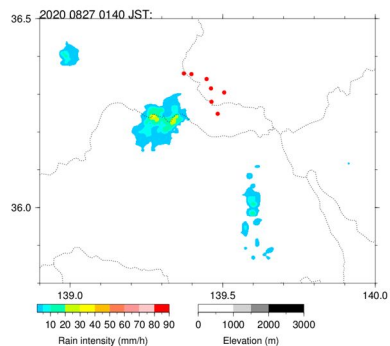


図3 2020/8/27 1:40 [LT] のCバンドレーダによるエコー分布図(赤点：観測点位置)

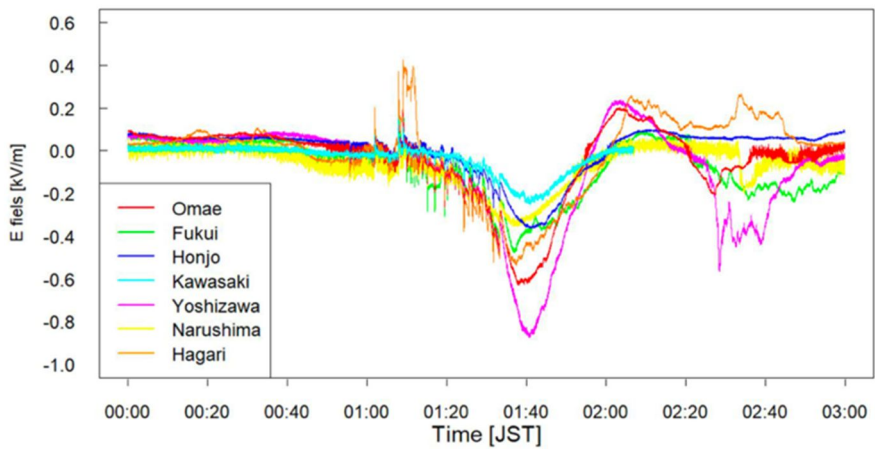


図 4 2020年8月27日0:00-3:00[LT]に観測網付近で発生した孤立雲に伴う地上静電界を計7点で多点計測した事例

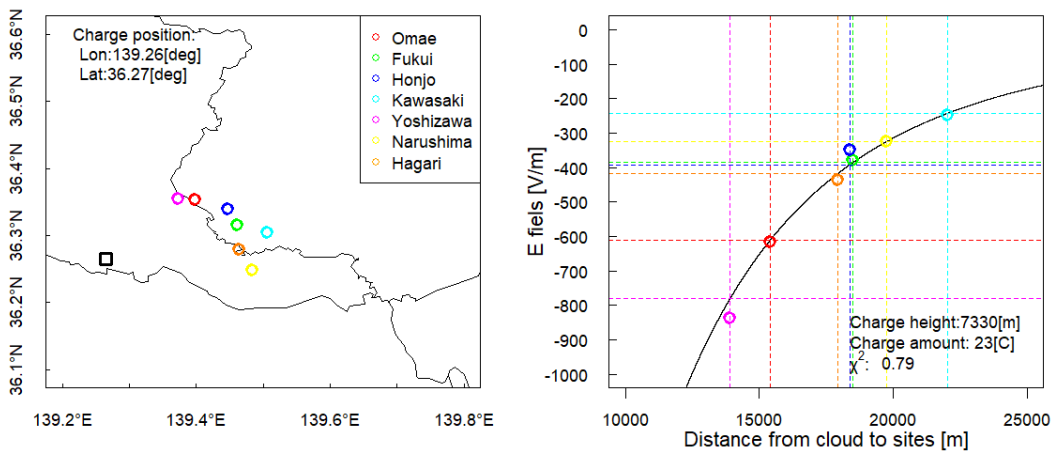


図 5 左図:2020年8月27日1:40:00[LT]における地上静電界波形から導出した雲内電荷位置、右図: 観測点7点で取得した静電界強度(丸点)と理論計算した地上静電界の水平分布の比較

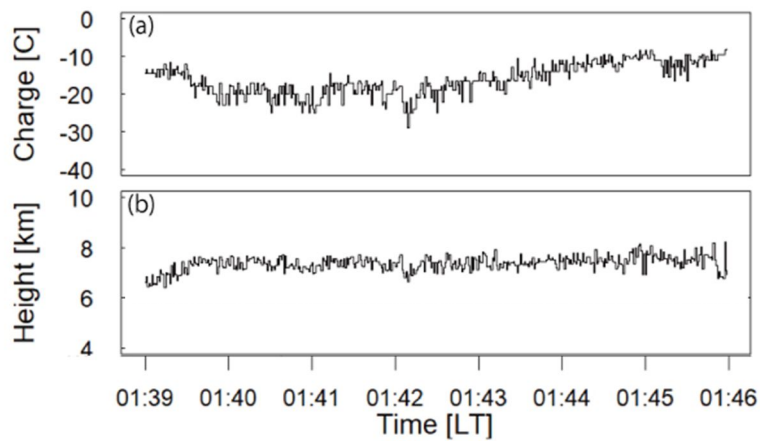


図 6 1:39-1:46[LT]における雲内電荷(点電荷を仮定)の(a)電荷量、(b)電荷高度の時間変化

申請課題期間中、数例の孤立雲観測に成功した。今後、上記以外の観測事例に対する解析結果もまとめ、論文として発表する(現在、国際会議及び学術論文に論文投稿中)。加えて、本申請課題で構築した観測網の拡張、観測例の積み増しに努める。雲内電荷の時間変化と雷放電データを比較できるデータセットを確立し、発雷予測法の開発を本格化する。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計13件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Yamashita, K., 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 多点静電界計測に基づいた雲内電荷推定の検討,
3. 学会等名 令和3年電気学会全国大会
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 静電界計測に基づいた雷雲充放電監視の初期結果
3. 学会等名 日本大気電気学会第99回研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山下幸三, 菅野 翔, 藤坂浩史
2. 発表標題 栃木県における地上静電界の多点計測に基づいた雷雲観測の初期結果
3. 学会等名 日本大気電気学会第98回研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山下幸三, 藤坂浩史, 菅野翔
2. 発表標題 地上静電界の多点計測に基づいた雷雲観測の初期結果
3. 学会等名 電気学会高電圧合同研究会 (HV-19-094)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yamashita, K., K. Kanno, M. Sato, Y. Takahashi
2. 発表標題 Study on monitoring of thunderstorm activity based on multiple electrostatic measurement
3. 学会等名 Japan Geoscience Union 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山下幸三, 菅野翔, 藤坂浩史
2. 発表標題 栃木県足利市における静電界計測に基づいた雷雲監視網の構築
3. 学会等名 電気学会 令和元年電力・エネルギー部門大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 菅野翔, 伊勢周平, 小野塚亮, 山下幸三, 藤坂浩史
2. 発表標題 栃木県における静電界計測網の構築
3. 学会等名 平成31年電気学会全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 野中知, 安藤大地, 山下幸三, 佐藤光輝, 高橋幸弘
2. 発表標題 雨滴電荷に着目した降雨観測の検討
3. 学会等名 平成31年電気学会全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山下幸三, 菅野翔, 佐藤光輝, 高橋幸弘
2. 発表標題 雲内電荷推定を目的とした静電界計測網構築の検討
3. 学会等名 日本大気電気学会第97回研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yamashita, K., M. Sato, Y. Takahashi, H. Kubota, E. Momota, J. Hamada, J. Matsumoto, S. Kojima, Y. Katahira
2. 発表標題 Development of lightning observation system for short-term forecast of extreme weather events in the Philippine under ULAT project
3. 学会等名 The 34th International Conference on Lightning Protection 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 濱田純一, 松本淳, 山下幸三, 高橋幸弘
2. 発表標題 Monitoring for lightning activities and thunder cloud developments over the Tokyo metropolitan area based on electrostatic field and electromagnetic measurements
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山下幸三, 高橋幸弘, 佐藤光輝
2. 発表標題 Development of electric field mill kit for multiple measurement of thunderstorm electrification
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018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
---------	---------