

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 30 年 6 月 25 日現在

機関番号：32201

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K16314

研究課題名(和文) アジア落雷観測網による気象災害をもたらす積乱雲の直前予測

研究課題名(英文) Short-term forecast of thunderstorm associated with weather hazard by using Asia lightning observation network

研究代表者

山下 幸三 (Yamashita, Kozo)

足利工業大学・工学部・講師

研究者番号：20609911

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：積乱雲活動の監視、気象災害の直前予測を目的とし、関東圏及び東南アジア域に多点展開した雷観測システムの改良に取り組んだ。雷観測の準リアルタイム化に必要なハードウェア・ソフトウェアを開発した。試験観測により、新しい観測システムの動作検証をすると共に、データ収集を実施した。取得データの解析により、積乱雲活動との対応関係を十分とることができる精度・感度で、落雷の位置推定と検出が実現できたことを確認した。取得雷データと地上静電界データ、気象データを比較し、本研究課題で開発した簡易で安価な観測システムによる発雷予測の可能性を見出す結果を得た。

研究成果の概要(英文)：In order to monitor thunderstorm activity and nowcast severe weather, we modified lightning observation system distributed in the Kanto region, Japan and in Southeast Asia. We developed new hardware and software which are necessary to carry out lightning observation in quasi-real-time. We validate new system during test observation and collect data. Based on the analysis of obtained lightning data, we confirmed that accuracy of geolocation and sensitivity of detection are enough to identify the relationship between lightning and thunderstorm. We compared obtained lightning data with ground-based electrostatic data and meteorological data. The results indicated the possibility of short-term forecast for the occurrence of cloud-to-ground lightning discharge based on simple and low-cost system developed in this study.

研究分野：大気電気学

キーワード：雷 積乱雲 ELF VLF 極端気象 リモートセンシング 静電界

## 1. 研究開始当初の背景

近年、世界各国において豪雨がもたらす洪水や土砂崩れ、落雷による停電や火災といった甚大な人的・経済的被害が多数報告されている。豪雨・落雷等の気象災害を伴う積乱雲活動に対し、高い耐性を持った社会基盤の整備は急務である。

積乱雲活動の監視体制の構築、直前予測法の確立は、気象災害の被害低減において本質的アプローチと考えられる。気象学・大気電気学・電力工学など、様々な観点から研究が進められている。しかし、局所的に発生 (< 10km) し、短時間で成長 (30 分程度) する積乱雲がいつ・どこで起きるか監視・予測することは未だ容易ではない状況にある。

積乱雲は、強い鉛直対流により地表付近の大量の水蒸気が持ち上げられることで形成される。雲内では上下方向の対流により粒子同士がぶつかり合い、電荷分離が生じ、雲内電荷の形成、雷放電の発生に至る。気象災害を伴う積乱雲の発生・発達過程の詳細監視および直前予測において、積乱雲領域の上昇気流 (以下、積乱雲対流) を高い時空間分解能で観測できる手法は必要不可欠である。

先行研究では、落雷頻度データを積乱雲対流の「存在」の指標とし、降雨の原因となる積乱雲活動の監視・直前予測の可能性を示している [Mansell et al., 2008]。しかし、積乱雲活動監視には、積乱雲対流の「存在」だけでなく、その「強さ」に対する監視・予測が必要不可欠である。積乱雲対流の「強さ」の定量評価は世界的に見ても未確立の技術であり、雷雨研究における喫緊の課題である。

## 2. 研究の目的

本研究は、雷観測に基づいた気象災害をもたらす積乱雲の直前予測を目的とするものである。種々の雷観測法がある中で、雷放電より放射される VLF 帯電界計測に着目する。

本研究課題では、関東圏及び東南アジア多島域に展開した広域落雷観測を可能とするアジア VLF 観測ネットワーク (Asia VLF observation Network: AVON) を用い、VLF 帯電界の多点計測に基づいた個々の落雷の位置および放電規模の準リアルタイム監視体制の確立に必要なハードウェア・ソフトウェア開発に取り組む。上記の積乱雲対流の「存在」および「強さ」の定量評価に必要な雷の位置及び放電規模の推定を可能とする観測法を確立する。

## 3. 研究の方法

### (1) 観測システム開発

研究開始当初、AVON ではデスクトップ PC を用いたデータ記録計より、1-40 kHz 帯の電界をサンプリング周波数 100 kHz で連続波形記録していた。1 観測点の記録データ容量が 200 [GB/day] に達する、PC を用いたデータ記録部の高頻度で故障するなど、高い運用コストが観測システムの安定運用の妨げとなっ

ていた。AVON による積乱雲観測のリアルタイム監視・気象災害予測への応用を推進する上で、ハードウェア・ソフトウェアの刷新は必要不可欠な項目であった。

ソフトウェア開発では、観測局現地で雷の位置および放電規模の推定に必要なパラメータの準リアルタイム抽出を可能とする信号処理アルゴリズムの開発に取り組む。必要パラメータのみの抽出、記録データ量の大幅削減により、インターネットを介した多点観測網データの即時共有化、準リアルタイムでの雷の位置、放電規模の推定を図る。

ハードウェア開発では、従来の PC を用いたデータ記録部に故障が相次いだことから、安価で交換が容易なデータ記録システムの開発に取り組む。単価 5000 円程度の安価な汎用小型 Linux PC を用いたデータ記録システムを構築し、試験観測にて課題を抽出する。

### (2) 開発システムの試験運用に基づいた課題抽出、データ収集

国内の雷観測ネットワークを用い、上記のソフトウェア・ハードウェアを用いた試験観測を実施する。国内にて正常動作が確認された新ソフトウェアは、東南アジア各国に設置された観測システムにインターネット経由で導入する。国内および東南アジアにて信号処理ソフトウェアを稼働、課題抽出に取り組む。

### (3) 各種データとの比較、課題抽出

前項の試験観測にて取得した VLF データの検証を目的とし、取得データと各種雷・気象データを比較する。既設雷観測網による雷データとの比較により、雷位置の推定誤差を評価する。また、静電界計測システムを新規構築し、VLF 帯電界データとの比較から、雷の放電規模の推定の妥当性を検証する。

加えて、取得雷データと気象データとの比較を実施する。空間スケール 10km 程度の降雨領域と、本研究課題で判定した落雷活動領域の対応が十分判別できるか否かを確認する。

## 4. 研究成果

### (1) パラメータ抽出アルゴリズムの確立

雷放電の位置、放電規模の推定に必要なパラメータのみを抽出するリアルタイム信号処理アルゴリズムを開発した。国内観測においては、本研究課題の従来観測システムによる連続波形記録データ、他の雷観測網による雷分布データとの比較より、抽出パラメータから導出された雷データの妥当性を確認した。

開発アルゴリズムは、多点計測データの即時共有に不可欠な記録データの大幅低減に大きく貢献することを確認した。リアルタイムでの雷放電の位置・放電規模の推定法を確立した。

## (2)観測システムのハードウェア面の改善

観測システムのハードウェア面における改善として、小型 Linux PC に対して A/D 変換モジュールと GPS による時刻同期システムを組み合わせたデータ記録システムを製作した。デスクトップ PC を用いた従来観測システムと、小型 Linux PC を用いた新システムの同時稼働を実施し、正常動作を確認した。

新規開発システムの消費電力は 2W 以下となることを確認した。従来システムの消費電力(>100W)と比較し、大幅低減に成功した。停電の多い東南アジア域での安定稼働に必要な太陽光パネルの適用も可能な観測システム確立に見通しを立てた。

## (3) VLF 帯電界計測データを用いた空間スケール 100km での位置評定アルゴリズムの確立

日本国内では関東圏に約 100km 間隔で配備した VLF 帯電界計測網による位置標定アルゴリズムを開発、動作検証に取り組んだ。本研究では、空間スケール 1000km 程度の長距離伝搬が可能である VLF 帯電界のうち、200km 以下の伝搬イベントで見られる地上波のみを解析対象とした位置評定アルゴリズムを新規開発した。

他の雷観測網による雷データとの比較により、誤差 3.4km で位置推定ができることを確認した。空間スケール 10km 程度の積乱雲の監視へ応用できることを実験的見地から示した。

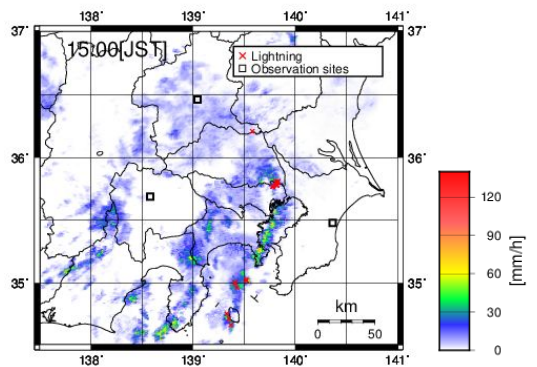


図 1 2015 年 8 月 17 日 15:00 における気象レーダデータと落雷位置推定データ(赤×印)の比較

## (4)放電規模の導出法の検証

VLF 帯電界データを用い、個々の雷放電の放電規模として中和電荷モーメント  $Qz$  [C-km] ( $Q$  [C]: 放電により中和された電荷量、 $z$  [km]: 放電路長)の導出を検討した。VLF 帯電界計測網の運用と並行して、観測点から半径 10km 程度の比較的狭域における雷活動の中和電荷モーメントの直接推定が可能である静電界変動を計測し、参照データとして使用した。

結果、電界計測と静電界変動計測という異なる観測アプローチで中和電荷モーメントを求め、両者に相関関係を確認した。VLF 帯

電界計測網を用いた 100km スケールの雷観測において、放電規模の推定を可能とする基礎技術を確立した。

## (5) VLF 帯電界波形の特徴量抽出による雲放電・落雷の判別

他の雷観測網による雷データとの比較により、VLF 帯電界計測を用いた放射強度が比較的弱い雲放電の検知に成功したことを示す結果を得た。波形の特徴量抽出により、落雷と雲放電を簡易的に判別できる手法を考案した。

## (6)気象データとの比較

気象データや突風データとの比較から、積乱雲の発生初期、降雨や突風の前に生じる雲放電検知に成功したことを示す結果を得た。本課題で確立した観測システムは、先行研究における同様の観測システムに比べ、構造がシンプルでサンプリングレートも低い。雷観測による気象災害の直前予測の観測コスト低減の可能性を示唆する結果と考えられる。ただし、これらの結果は観測イベント数も限られており、更なる検証が必要である。

## (7) 地上静電界データとの比較

取得雷データと、地上静電界データの比較を行い、雷雲内の帯電と放電の関係性を考察した。地上静電界データは、上空の雲内電荷形成の検知に用いた。本研究課題の雷観測システムにより、落雷と雲放電を検知した。落雷発生の約 20 分前に雲内電荷形成および雲放電発生の検知に成功したことを示す結果を得た。発雷予測法の確立に対する見通しができた。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 1 件)

1. 山下幸三, 久保埜雄貴, 濱田純一, 高橋幸弘, 松本淳, 渡辺聡, 積乱雲監視を目的とした ELF-VLF 帯電磁界計測に基づいた雷観測システムの簡易化の検討, システム制御情報学会論文誌(システム制御情報学会), Vol. 30, No.11, pp.420-426, 2017 (査読有)

[学会発表](計 24 件)

1. 山下幸三: 雷放電観測を目的とした容量性アンテナの開発と初期結果, 第 8 回電気学会東京支部栃木・群馬支所合同研究発表会, ETG-18-52, 2018/03
2. Takahashi Y., M. Sato, H. Kubota, E. C. Castro, T. Ishida, K. Yamashita, J. Hamada, J. Matsumoto, J. J. Marciano, G. J. Perez: SATREPS project, ULAT, for development of extreme weather monitoring and alert system in the Philippines, New Dimensions

- for Natural Hazards in Asia: An AOGS-EGU Joint Conference, NH-A208, 2018/02
3. **山下幸三**, 岩崎博之, 大矢浩代, 高橋幸弘: 関東圏 VLF 帯電界計測網による雷監視の性能評価, 日本大気電気学会第 96 回研究発表会, 2018/01
  4. 中森広太, 鈴木康樹, 大矢浩代, 鷹野敏明, 河村洋平, 中田裕之, **山下幸三**, 高村民雄, 柏柳太郎, 諸富和臣: フィールドミルによる大気電場と 95 GHz 雲レーダ FALCON-I による雲・気象現象との同時観測, 日本大気電気学会第 96 回研究発表会, 2018/01
  5. Takahashi, Y., M. Sato, E. C. Castro, T. Ishida, J. J. Marciano, H. Kubota and **K. Yamashita**: Extreme weather monitoring system with combination of micro-satellites and ground-based observation networks, AGU Fall Meeting, NH21B-0170, 2017/12
  6. Sato, M., Y. Takahashi, **K. Yamashita**, H. Kubota, J. Hamada, E. Momota and J. Joseph Marciano: Development of Lightning Observation Network in the Western Pacific Region for the Intensity Prediction of Severe Weather, AGU Fall Meeting, AE13A-2229, 2017/12
  7. **Yamashita, K.**, H. Ohya, Y. Takahashi, M. Sato: Monitoring of lightning activity based on simultaneous measurement of electric field and electric field-change in the Tokyo metropolitan area, AGU Fall Meeting, AE23B-2480, 2017/12
  8. Kubota, H., Y. Takahashi, M. Sato, **K. Yamashita**, and J. Hamada: Development of extreme weather monitoring and information sharing system in Metro Manila, UNESCO-JASTIP Joint Symposium on Intra-Regional Water Security and Disaster Management, Manila, November 2017/11
  9. 中森広太, 鈴木康樹, 大矢浩代, 鷹野敏明, 河村洋平, 中田裕之, **山下幸三**: 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, 地球電磁気・地球惑星圏学会 第 142 回総会・講演会, R005-15, 2017/10
  10. **山下幸三**, 大矢浩代, 濱田純一, 岩崎博之, 若月泰孝, 高橋幸弘, 松本淳: ELF-VLF 帯電界と静電界の同時計測に基づいた積乱雲の帯電と放電の監視, 地球電磁気・地球惑星圏学会, R005-P35, 2017/10
  11. 佐藤光輝, 高橋幸弘, **山下幸三**, 久保田尚之, 濱田純一, 百田恵理子, Marciano Joel: シベア気象規模発達直前予測にむけたアジア域における雷放電観測網の構築, 地球電磁気・地球惑星圏学会 第 142 回総会・講演会, R005-16, 2017/10
  12. **山下幸三**, 高橋幸弘, ELF-VLF 帯電界計測網に基づいた関東圏における雷活動の電気的特性の評価, 第 11 回 MU レーダー・赤道大気レーダーシンポジウム プロシーディング, Vol. 11, pp.51-54, 2017
  13. 中森広太, 鈴木康樹, 大矢浩代, 鷹野敏明, 河村洋平, 中田裕之, **山下幸三**: Response of atmospheric electric fields to cloud parameters using a field mill and 95-GHz cloud radar FALCON-I, JpGU-AGU Joint Meeting 2017, MIS05-04, 2017
  14. **Yamashita, K.**, H. Kojima, Y. Komori, H. Ohya, Y. Takahashi: Monitoring of lightning activity with the combination of radio observation in ELF-VLF band and electrostatic measurement, JpGU-AGU Joint Meeting 2017, MIS05-P07, 2017
  15. Ohya, H., K. Miyama, F. Tsuchiya, K.Nozaki, H. Nakata, **K. Yamashita**, and Y. Takahashi: Variations in the D-region heights during the total solar eclipse of 9 March 2016 in Indonesia using AVON data, JpGU-AGU Joint Meeting 2017, PEM22-06, 2017
  16. **山下幸三**, 高橋幸弘, 増田拓, 岩男辰雄, 虫明一彦, ELF-VLF 帯電磁界計測に基づいた雷放電観測による積乱雲早期検知の検討, 第 10 回 MU レーダー・赤道大気レーダーシンポジウム, 2016/9
  17. **K. Yamashita**, Y. Kubono, Y. Takahashi, J. Hamada, J. Matsumoto, Study on early detection of thunderstorm based on electromagnetic measurement in ELF-VLF band, Japan Geoscience Union 2016, HDS07-P05, 2016/5
  18. 大矢浩代, 浅田圭祐, 土屋史紀, 塩川和夫, **山下幸三**, 高橋幸弘: LF 帯標準電波を用いた台風に関連する下部電離圏反射高度変動, Japan Geoscience Union 2016, PEM16-17, 2016/5
  19. **山下幸三**, 高橋幸弘, 濱田純一, 松本淳, 渡辺聡, ELF-VLF 帯電磁界計測に基づいた積乱雲早期検知の検討, 第 60 回システム制御情報学会研究発表講演会, OS04: 防災・減災のための計測信号処理, 155-2, 2016/5
  20. **Yamashita, K.**, Y. Kubono, Y. Takahashi, J. Hamada, J. Matsumoto, Monitoring of thunderstorm electrification Based on electromagnetic and electrostatic measurement in the metropolitan region, The International Science Conference on MAHASRI, 2016/3
  21. **山下幸三**, 高橋幸弘, 濱田純一, 松本淳, 大矢浩代, 土屋史紀: Evaluation of detection efficiency of lightning distribution in the Kanto region based on radio measurement in VLF range, 第 138

- 回 地球電磁気・地球惑星圏学会 総会・講演会, 2015/11
22. **山下幸三**, 高橋幸弘: VLF 帯電磁界計測に基づいた関東圏における落雷観測の初期結果, 2015 年電子情報通信学会 ソサエティ大会, 2015/9
23. **山下幸三**, 高橋幸弘, 濱田純一, 松本淳: 関東落雷観測網の構築と今後の課題, 第 9 回 MU レーダー・赤道大気レーダーシンポジウム, 2015/9
24. Ohnishi, S., Y. Takahashi, **K. Yamashita**: Variation of spheric waveforms in VLF range observed by AVON, JpGU 2015, 2015/5

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕  
出願状況 (計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況 (計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕

<http://www2.ashi-tech.ac.jp/elec/yamashita/index.html>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

山下幸三 (Yamashita Kozo)

足利大学・工学部・講師

研究者番号：20609911