

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 23 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(A) (海外学術調査)

研究期間：2012～2015

課題番号：24253002

研究課題名(和文) アジア雷放電観測網による集中豪雨災害の予測

研究課題名(英文) Prediction of torrential rainfall using lightning observation network in Asia

研究代表者

高橋 幸弘 (Takahashi, Yukihiro)

北海道大学・理学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：50236329

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 32,900,000円

研究成果の概要(和文)：積乱雲が原因となる集中豪雨を短時間予測する手法を確立するために、アジア、全球および国内の雷放電観測網を構築、維持、拡張、改良してデータを収集すると共に、雷放電データと気象観測情報の比較解析を行った。その結果、アジア地域随一の雷放電電波観測網を完成させ、また数kmの稠密観測による消失電荷の新しい観測方法を確立した。落雷規模の高速推定手法を確立し、鉛直風と雷放電の関係を調べる手法を確立した。また豪雨領域と雷放電分布の時空間変動の関係を明らかにし、短期予測の手法に目処をつけた。積乱雲の発達過程及びダウンバーストと雷放電の特性の関係を明らかにした。台風と雷放電特性の関係について新たな知見を得た。

研究成果の概要(英文)：In order to establish the methodology to make a now cast of thunderstorm, we constructed the ground-based lightning observation networks and investigated the relationship between lightning activity and other meteorological parameters. We completed the construction of the most reliable VLF radio wave network in Southeast Asia and the domestic dense observation network with sensors at every 4 km. We established the methodology of automatic tracking of precipitating and lightning regions, respectively. We found a good correlation between the precipitation area/intensity and lightning frequency. Also we indentified the significant decrease of lightning frequency 10-130 min before down burst. About typhoon activity, we discover the large variation of lightning discharge in charge moment distribution and polarity of the current.

研究分野：大気科学

キーワード：雷放電 集中豪雨 予測 台風 観測網

1. 研究開始当初の背景

積乱雲は集中豪雨をもたらす、洪水や土砂災害など甚大な被害を引き起こす。国内では「ゲリラ豪雨」という言葉の急速な普及に表れているように、今や都市災害の代表格として認識されている。東南アジアでは事態はさらに深刻であり、鉄砲水 (Flash Flood) や洪水、土砂災害などが毎年のように繰り返されている。こうした被害を軽減するためには多角的な対応が必要だが、中でも積乱雲活動の直前予測は人命や都市機能の維持のためには欠かすことができない。しかしながら、積乱雲中の対流セルの水平スケールは 5-10km と比較的小規模なため、アメダスのような 20km 間隔の世界最高密度の地上観測をもってしても、内部の様子の把握は困難であり、多くの気象レーダーでも、上昇気流の強度を指標化するために必要な解像度は得られない。また数値モデルによる再現や予測も極めて困難とされ、最新鋭の計算コードでも、積乱雲ひとつを作り出すのがやっとである。これらが、今もってゲリラ豪雨の予測がまったくできない理由の一端である。最近、国内では水平解像度 250 m の世界有数の X-band レーダー網が整備されつつあり、積乱雲のメカニズム解明と災害予測に大きな期待がかかっているが、現状では条件に恵まれた少数の事例解析に留まっており、災害予測への応用の早期実現は必ずしも容易ではない。

雷放電は長年にわたって研究が進められてきたが、その目的は主として雲中の電荷分離機構や絶縁破壊プロセスなど電磁気学的な側面や、電氣的な被害の軽減などに集中していた。しかし近年、雷放電研究の価値が見直されている。きっかけのひとつは、1995 年頃から系統的な人工衛星による全地球的な放電発光観測が行われ、その世界分布が明らかになってきたことである。また、放電時に発する電磁波を用いた位置評定の地上観測網も、米国の NLDN (National Lightning Detection Network) など地域精密観測を目的としたものや、WWLLN (World Wide Lightning Location Network: <http://webflash.ess.washington.edu/>) など全地球を網羅するものなどが充実し、信頼性の高いデータが揃うようになったことも、雷放電が注目されるようになった要因であろう。こうした観測は、これまでの落雷被害の同定目的だけでなく、大気鉛直対流の指標としての有効性を示唆しており、気象学分野で急速に関心が高まっている。特に、雷放電活動は積乱雲中の上昇気流を反映する指標として気象モデルへのデータ同化 (assimilation) が試みられており、米国では極端気象予測の精度が大幅に向上したとの報告があ

る。また、米国オクラホマ大学や、欧州での EU FLASH プロジェクト (<http://flash-eu.tau.ac.il/index.php>) では、雷放電データのみから、豪雨領域の進路及び鉄砲水の広域予測を目的に研究が進められている。こうした目的に供するデータを取得する観測網も速いテンポで整備されてきた。NLDN など既存の地域観測網に加え、最近では気象会社世界最大手のバイサラや英国気象庁等が、本格的な全球観測網の展開を勢力的に進めているが、アジア地域の観測点は限られており、カバーする範囲や精度は甚だ不十分である。

申請者のグループは、2000 年より ELF 電波を用いた雷放電の世界観測網の構築に取り組み、現在では、大規模落雷については全球をカバーする世界唯一のネットワーク (GEON: Global ELF Observation Network) を運用し、位置評定アルゴリズムを完成させた。また、台湾、タイ、インドネシアに観測所を設置し、東南アジアで唯一の VLF 帯の放電波形を記録する観測網 AVON (Asian VLF Observation Network) を構築している。申請者のグループはこれまでこうしたネットワークを用いて、主として雷放電の上空大気及び電離圏・磁気圏の影響を調べてきた。しかしこれらは同時に大気対流の状態をモニターするのに適していることから、アジアでの雷放電と気象災害を扱ってきた自然地理学の国内の専門家、及び現地の気象学・水文学等の研究者と連携することで、災害科学分野で、世界的にユニークかつ大きな貢献できると判断した。

2. 研究の目的

積乱雲が原因となる集中豪雨は、アジア各地において洪水や土砂災害など毎年のように甚大な被害をもたらす、日本国内でも近年ゲリラ豪雨が問題となっており、精度の高い観測と予測が求められている。しかし、積乱雲の水平スケールは 5-10km と小さいため、詳細な監視観測は最新鋭のレーダー網でも容易ではなく、また世界最高クラスの数値モデルでも予測は難しい。本研究課題では、これまで活かされて来なかった、個々の雷放電規模の情報 (電荷モーメント変化) を計測できる雷放電観測網を国内 (関東)、アジア及び地球規模の 3 つのスケールで整備、展開、維持する。それらのデータに基づき、落雷及び豪雨地域について、短期予測を行う手法を確立することを目指す。雷放電は、積乱雲対流を反映する最も時間分解能の高い指標の一つであり、広域観測が安価で実現できる。世界的に、気象現象を把握する古くて新しい手法として急速に観測網の整備が進むが、本研究課題では随一のアジア・世界観測網で臨

む。

3. 研究の方法

本研究グループが運用する複数の雷観測網に関連して、以下の項目について研究を進めた。

(1) 観測網の整備・拡充と観測の実施

本研究グループが運用する国内、東南アジア (AVON)、全球 (GEON) の観測網を維持・拡張・整備し、データ取得を継続する。さらに、安価な大気静電場計測装置を開発し、それを用いた観測網を設置し、個々の落雷に伴う消失電荷量とその高度を推定する手法を開発する。

(2) 落雷の位置評定及びエネルギー推定アルゴリズムの改良

AVON 及び GEON の位置評定精度の向上のためのアルゴリズム改良を行う。

(3) 豪雨地帯の進路予測アルゴリズムの開発

雷放電データから、雷放電多発地域及び豪雨地域の移動を自動的にトラッキングし、それらの短期予測をするためのアルゴリズムを開発する。

(4) 雷放電と降水量の定量的関係の解明

雷放電発生地域と積乱雲の位置関係を国内及びアジア地域のデータで確認する。また単位面積辺りの落雷発生頻度と降水量の定量的関係を調査する。また、それらとダウンバーストの関係や、積乱雲の発達と落雷の性質の関係を調査する。

(5) 台風と雷放電の関係の解明

GEON 及び他の雷放電データを台風の強度と比較し、それらの間の関係を明らかにする。

(6) 鉛直風と雷放電の関係の解明

日本国内の雷放電位置データとアメダス及び X-band レーダーとの比較において、GEON で求めた雷放電規模の情報を付加して定量的な関係解明の可能性を検討する。

4. 研究成果

(1) 観測網の整備・拡充と観測の実施

研究機関で GEON 及び AVON の継続観測を実施するとともに、AVON の観測点を 5 点から 7 点まで拡張し、アジア海洋大陸における随一の VLF 観測網を完成させた。また、国内の山間部に 6 個のセンサーを数 km 間隔で設置、観測を実施し、落雷時の鉛直電場変動から、消失電荷量と高度を推定する手法を確立した。

(2) 落雷の位置評定及びエネルギー推定アルゴリズムの改良

AVON 及び GEON の位置評定精度を、それぞれ 10km 以内、500km 以内にする目処をつけた。また、国内 VLF 観測では、3km 以内が期待できることを確認した。また、VLF 電波の観測波形から、電荷モーメントを推定する、計算機負荷の

小さなアルゴリズムを開発し、将来のリアルタイム観測システムの構築に目処をつけた。

(3) 豪雨地帯の進路予測アルゴリズムの開発

関東地方の雷放電データ及び気象降雨レーダーのデータから、落雷多発地域と豪雨地域を判別し、その重心を自動的に追跡するアルゴリズムを開発した。それらを用いた事例解析から、雷放電多発地域が降水量 50mm/h 以上の地域によく一致し、それらの重心は殆どの時間で、約 3km 以内で一致することが明らかになった。落雷地域及び豪雨地域の短期予測については、数分程度では線形予測が有効であることが示されたが、10 分以上先の精度を上げるためには、背景風速などを考慮する必要のあることが示唆された。

(4) 雷放電と降水量の定量的関係の解明

本研究で新たに開発されたアルゴリズムを用い、積乱雲の発達段階及びダウンバーストの発生と、落雷頻度及び電荷モーメント分布の関係について調べた。その結果、積乱雲の発達段階によって、電荷モーメント分布が大きく変わることを見出した。また、雷放電頻度・分布と降水のタイミングや分布関係について詳細な情報を得た。さらに、雷放電と気象レーダーのデータから、ダウンバースト発生の 10-30 分前に、雷雲規模は成長を続けながら雷放電頻度が極端に下がる現象を国内で捉えることに初めて成功した。こうした結果から、雷放電データに基づいて積乱雲の発達を把握し、降雨強度・地域、ダウンバーストの発生について短期予測する手法に目処がついた。

(5) 台風と雷放電の関係の解明

GEON 及び他の雷放電データを台風の強度と比較した結果、台風によって雷放電の電流極性の分布が大きく異なることが明らかになった。また小規模落雷と大規模なものとの頻度は、時間変動が大きく異なることも分かった。

(6) 鉛直風と雷放電の関係の解明

日本国内の雷放電位置データを、全規模の観測を行う GEON で観測された放電波形データと自動的に照合するアルゴリズムを開発し、系統的な比較研究を行う準備ができた。これにより、VLF による小規模落雷に加え、大規模落雷のエネルギー推定に見通しができた。

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. H. Ohya, F. Tsuchiya, H. Nakata, K. Shiokawa, Y. Miyoshi, K. Yamashita, and Y. Takahashi, Reflection height of daytime tweek atmospherics during the solar eclipse of 22 July 2009: Journal of Geophysical Research, 117, A11310, doi:10.1029/2012JA018151 (2012). 査読有

〔学会発表〕(計 28 件)

1. Yukihiro Takahashi, Relationships between typhoon occurrence, thunderstorm activity and solar parameters, MAHASRI workshop, 首都大学東京, 東京都八王子市, 2016.3.3
2. Yukihiro Takahashi, Mitsuteru Sato, Thunderstorm activity monitored by super dense network with electromagnetic sensors, AOGS general assembly, SUNTEC, Singapore, 2015.8.7
3. Yukihiro Takahashi, Earth's sprites/lightning measurements from satellites, aircraft, balloons and international space stations, Summer radio astronomy school in Mongolia, National University of Mongolia, Ulaanbaatar, Mongolia, 2015.6.25 (invited)
4. Shota Onishi, Yukihiro Takahashi, Kozo Yamashita, Variations of sferic waveforms in VLF range observed by AVON, JpGU 2015, 幕張メッセ, 千葉県千葉市, 2015.5.24
5. Yukihiro Takahashi, Mitsuteru Sato, Thunderstorm monitoring with VLF network and super dense meteorological observation system, EGU General Assembly 2015, Vienna, Austria, 2015.4.16
6. Yukihiro Takahashi, New observation systems for disaster monitoring with ground lightning networks and micro-satellite constellation, International Workshop on Disaster Risk Reduction under the e-ASIA Joint Research Program and Typhoon Yolanda related J-RAPID Program, Quezon City, Philippines, 2015.4.15 (invited)
7. Yukihiro Takahashi, High frequency/precision disaster monitoring with micro-satellite consortium, UN World Conference on Disaster Risk Reduction 2015, 東北大学, 宮城県仙台市, 2015.3.15 (invited)
8. Yukihiro Takahashi, Thunderstorm monitoring by electromagnetic measurements, Asian monsoon hydroclimate (MAHASRI workshop), 首都大学東京, 東京都八王子市, 2015.3.4
9. 高橋幸弘, 雷放電及びグローバルサーキ

ットと超高層物理学, IUGONET 研究集会, 名古屋大学, 愛知県名古屋市, 2014.3.13-14

10. Yukihiro Takahashi, Yusuke Sanmiya, Mitsuteru Sato, Synchronization between lightning activity in Asia Maritime Continent and OLR in equatorial regions, American Geophysical Union Fall Meeting 2013, Moscone Center, San Francisco, USA, 2013.12.9-13

11. Yukihiro Takahashi, Yusuke Sanmiya, and Mitsuteru Sato, Global synchronization between thunderstorm activities and solar parameters, International CAWSES-II Symposium, 名古屋大学, 愛知県名古屋市, 2013.11.18-22

12. Yukihiro Takahashi, Roles and prospect of micro-satellite observation in SE-Asia, The Third International MAHASRI/HyARC Workshop on Asian Monsoon and Water Cycle 2013, Oriental Hotel, Hanoi, Vietnam, 2013.8.27-29 (invited)

13. Yukihiro Takahashi, Yusuke Sanmiya, Mitsuteru Sato, Kozo Yamashita, Synchronization between lightning activity in Asia Maritime Continent and OLR in Western Pacific Warm Pool and central-Africa, Davos Atmosphere and Cryosphere Assembly DACA-13, the Cingress Center Davos, Davos, Switzerland, 2013.7.8-12

14. Yusuke Sanmiya, Yukihiro Takahashi, Mitsuteru Sato, Kozo Yamashita, Synchronization between lightning activity in the Maritime Continent and OLR in the Western Pacific Warm Pool and the central Africa, Asia Oceania Geosciences Society Annual Meeting 2013, Brisbane Convention and Exhibition Center, Brisbane, Australia, 2013.6.24-28

15. Zhou FangFang, Yukihiro Takahashi, Mitsuteru Sato, Kozo Yamashita, Global Lightning Distribution with Information of Charge Moment Change, Asia Oceania Geosciences Society Annual Meeting 2013, Brisbane Convention and Exhibition Center, Brisbane, Australia, 2013.6.24-28

16. Yukihiro Takahashi, Mitsuteru Sato, Lightning observation network in SE-Asia as a tool for monitoring of atmospheric convection in Thunderstorm, Japan Geoscience Union Meeting 2013, 幕張メッセ, 千葉県千葉市, 2013.5.19-24

17. Yukihiro Takahashi, Kozo Yamashita, Hiroyo Ohya, Fuminori Tsuchiya, Construction of lightning observation network in Asia and its application to meteorology and climate Studies, Japan Geoscience Union Meeting 2013, 幕張メッセ, 千葉県千葉市, 2013.5.19-24

18. Yusuke Sanmiya, Yukihiro Takahashi, Mitsuteru Sato, Kozo Yamashita, Synchronization between lightning activity in Maritime Continent and OLR in tropics, Japan Geoscience Union Meeting 2013, 幕張メッセ, 千葉県千葉市, 2013.5.19-24

19. Takeshi Kudo, Yukihiro Takahashi, Mitsuteru Sato, Kohei Osa, Estimation of lightning magnitude using VLF sferics in Kanto region, Japan Geoscience Union Meeting 2013, 幕張メッセ, 千葉県千葉市, 2013.5.19-24

20. Yukihiro Takahashi, Yusuke Sanmiya, Mitsuteru Sato, Synchronization of thunderstorm activities and OLR in tropical regions, Japan Geoscience Union Meeting 2013, 幕張メッセ, 千葉県千葉市, 2013.5.19-24

21. Yukihiro Takahashi, Yusuke Sanmiya, Mitsuteru Sato, Synchronization between thunderstorm activities and solar parameters, Japan Geoscience Union Meeting 2013, 幕張メッセ, 千葉県千葉市, 2013.5.19-24

22. Zhou FangFang, Yukihiro Takahashi, Mitsuteru Sato, Global lightning distribution with information of charge moment change, Japan Geoscience Union Meeting 2013, 幕張メッセ, 千葉県千葉市, 2013.5.19-24

23. Yukihiro Takahashi, Measurement of electromagnetic waves in ELF and VLF bands to monitor lightning activity in the Maritime Continent, European Geoscience Union General Assembly 2013, Vienna international center, Vienna, Austria, 2013.4.8-11

24. Kozo Yamashita, Yukihiro Takahashi, Hiroyo Ohya, Mitsuteru Sato, Fuminori Tsuchiya, Jun Matsumoto, Measurement of electromagnetic waves in ELF and VLF bands to monitor lightning activity in the Maritime Continent, European Geosciences Union General Assembly 2013, Austria center Vienna, Vienna, Austria, 2013.4.7-12

25. Yusuke Sanmiya, Relationship between lightning activities and cloud cover around the Maritime Continent, 地球電磁気・地球惑星圏学会, 札幌コンベンションセンター, 北海道札幌市, 2012.10.20-23

26. 工藤剛史, 国内 VLF 帯雷放電観測網の構築, 地球電磁気 地球惑星圏学会, 札幌コンベンションセンター, 北海道札幌市, 2012.10.20-23

27. 三宮 佑介, アジア海洋大陸近傍におけ

る雷放電活動と OLR の関係, 日本気象学会, 北海道大学, 北海道札幌市, 2012.10.3-6

28. Yusuke Sanmiya, Comparing lightning activities with climatic reanalysis parameters, 2012 JpGU Meeting, 幕張メッセ, 千葉県千葉市, 2012.5.20

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計 0 件)

6. 研究組織

(1)研究代表者

高橋 幸弘 (TAKAHASHI, Yukihiro)
北海道大学・大学院理学研究院・教授
研究者番号: 50236329