

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 28 日現在

機関番号：82109

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2016

課題番号：26750138

研究課題名(和文)アダプティブセンサネットワークを用いた新たな雷放電標定手法の開発と顕著気象予測

研究課題名(英文) New lightning imaging method using adaptive sensing and its application for local severe phenomena

研究代表者

吉田 智 (Yoshida, Satoru)

気象庁気象研究所・気象衛星・観測システム研究部・主任研究官

研究者番号：00571564

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)：研究初年度では無線通信の分野で用いられている最先端のアダプティブセンシングを用いた雷放電の標定手法を、シミュレーションおよび実観測データを用いて検証を行った。従来手法と比較し、雷放電に伴う放射電力分布を詳細に推定できることを確認した。研究2年目以降では得られた雷放電データの解析を進め、雷活動と局所的積乱雲の解析を行った。その結果、強い上昇気流の発生に伴い、雲放電の発生数が増大する事例を観測した。強い上昇気流は局地的大雨を引き起こす可能性もあることから、このような事例を重ねることにより、雷放電観測による局地的大雨の予測手法開発を進めることができる。

研究成果の概要(英文)：We proposed a new method for lightning imaging using the latest adaptive sensing technique. We confirmed that the new method estimates lightning current distribution more effectively than the conventional method based on simulation and data analysis of lightning discharges. Furthermore, we performed observation data analysis for understanding relationship between lightning activity and thunderstorm kinetics. In the analysis, we showed an increase of lightning activity when updraft in the thunderstorm became strong. Since strong updraft sometimes causes local severe rains, these results contribute to development of forecasting of local severe rains.

研究分野：リモートセンシング、気象

キーワード：雷放電 電磁波リモートセンシング 適応信号処理

### 1. 研究開始当初の背景

近年夏期にニュースなどで、突発的、局所的に発達する積乱雲に伴う局地的大雨・竜巻（以降、顕著気象）による被害がよく報道される。2013年8月25日に大阪梅田で発生した局地的大雨による浸水被害、2013年9月2日には関東地方の広い範囲で竜巻被害が発生したことは記憶に新しい。都市化に伴い社会が顕著気象に対し脆弱であること、および顕著気象の発生が地球温暖化に伴い増加するという予測もあり、今後一層の対策が求められている。顕著気象による被害を減じるために効果的手法の一つが電波観測による三次元雷活動モニタリングである。雷放電モニタリングは単に積乱雲位置を推定するだけでなく、電気的活動度を監視するという、降雨レーダー観測ではできない役割を担っており、積乱雲に伴う災害の減災を考える上でその応用範囲は広い。

現在用いられている広域を対象とした三次元雷放電モニタリング手法は、雷放電から放射される広帯域電磁波パルスを複数地点のセンサで受信し、放電点の位置標定を行うことにより、雷放電路を可視化する。電磁波源の標定方法は大きく分けて、干渉法と到達時間差法が存在する。干渉法、到達時間差法どちらにしても放電点を一つの点波源として仮定しており、その点波源を求める。両手法は同時に複数地点からの電磁波がひとつのセンサに到達した場合はその電波源の推定をすることができない。しかしながら、申請者の研究により雷放電はその進展中に複雑な枝分かれを有するため、複数の波源からの電磁波パルスが同時にセンサに到着することが多いことが分かってきた。そして電磁波パルスが同時に到達するために電磁波源位置推定精度が著しく低下することが指摘されている。雷放電モニタリングを局地的大雨・竜巻予測として用いる場合にこの点の克服が大きな課題となっており、新たな雷放電標定手法が望まれている。

### 2. 研究の目的

主に無線通信で用いられている適応信号処理の考え方を取り入れた、これまでとは異なる全く新しい雷放電標定手法（アダプティブセンサネットワーク）を提案する。従来の電波源推定手法（干渉法、到達時間差法；以下、従来手法）は前述の通りセンサで受信された電磁波源は1点のみと仮定をにおいて、その1点の位置を推定する。一方、提案手法ではまず、全ての空間、つまり全天で放電があったと仮定し各微小領域に対してその放射電力を求める。この考え方が大きく異なる。即ち提案手法では4以上のセンサで雷放電から放射される電磁波を受信し、デジタルビームフォーミングを用いて、空間の全微小領域からの入射電力を求める。電磁放射源からの電力があるしきい値を超えた場合にその領域に雷放電に伴う放射源があると推定する。入

射電力推定においては適応信号処理の手法の一つであるビームフォーミング法を用いる。

### 3. 研究の方法

雷放電の放射源位置推定方法の従来手法である干渉法や到達時間差法とは全く異なるアダプティブセンサネットワークによる標定手法を提案し、シミュレーションによる手法の検討を行う。さらに同手法をこれまでの科学研究費補助金で構築した Broadband Observation network for Lightning and Thunderstorm (BOLT)で観測された雷放電データに適用しその検証を行う。得られた雷放電路三次元標定結果とレーダー観測結果の比較により、雷放電路と局地的大雨・竜巻等の因果関係について詳細に検討を行い、雷放電モニタリングによる積乱雲の同定および局地的大雨・竜巻発生予測の糸口を得る。

### 4. 研究成果

研究初年度では無線通信の分野で用いられている最先端のアダプティブセンシングを用いた雷放電の標定手法を、シミュレーションおよび実観測データを用いて検証を行う。ここでは大阪大学が運用している雷観測装置(BOLT)を用いている。従来手法と比較して、雷放電の標定が問題なく出来ていることに加え、従来手法ではできない、雷放電に伴う放射電力分布を詳細に推定できることを確認した。図1に実観測データに対してビームフォーミング法を適応した結果である。同図は Narrow Bipolar Event (NBE)に伴う放射電力分布を示している。ここでNBEとは、雷活動が非常に激しい時間帯に発生する雷放電形態の一つである。従来手法では1点でしか標定されないのに対し、今回の提案手法では対象とする放射源の放射電力分布を求めているため、NBEに伴う放電電力分布全体を把握することができる。これは従来の手法ではできないことであり、NBEの放電の大きさなどを把握することができる。図1の事例では鉛

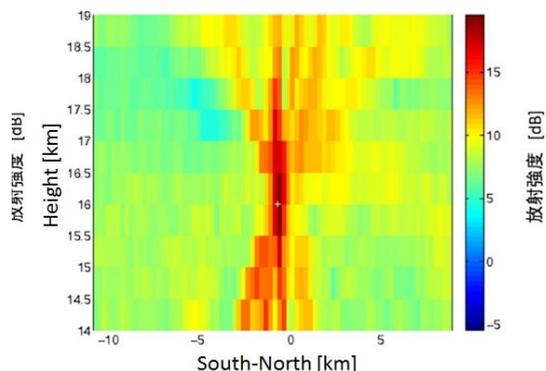


図1:NBE に対して提案手法を適応した結果。NBE に伴う放射電力分布が把握できる。

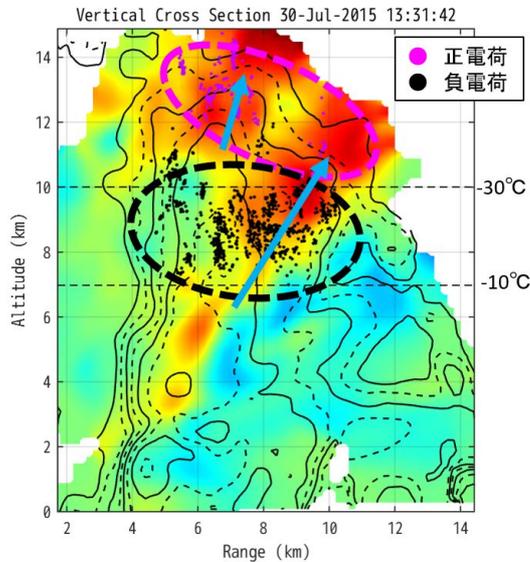


図 2: 雲放電最盛期の積乱雲の鉛直断面図。BOLT で得られた電荷分布を PAWR で得られたドップラー速度 (カラー)、反射強度 (黒コンター) に重ね書きして示す。矢印で鉛直方向の気流を示す。

直方向に数キロにわたる高放射電力領域が存在していることがわかる。ここからこの事例では NBE の放電が数キロにわたったことがわかる。

研究 2 年目以降では、提案手法や従来手法を適宜使用して、大阪平野や関東平野で得られた観測データより雷放電路の標定を行った。高速でスキャン可能なフェーズドアレイレーダー (PAWR) データも同時に用い、雷活動と局所的積乱雲の解析を行った。

2015 年 7 月 30 日の事例では PAWR 近傍で活発な雷活動を伴う積乱雲が発生した事例であった。同事例の flash rate (1 分あたりの雷放電数) は雲放電、落雷それぞれ 12, 5 のピークに達し、雲放電 flash rate が落雷 flash rate よりも 7 分先行した。雲放電 flash rate が非常に高い雲放電最盛期 (約 5 分間) と、その後の落雷 flash rate がピークに達し雲放電 flash rate が急減少する落雷最盛期 (5 分間) の 2 つに分類しそれぞれ解析を行った。

図 2 に雲放電最盛期における、PAWR で観測されたドップラー速度とレーダー反射強度の積乱雲進行方向の鉛直断面、および BOLT で推定された電荷領域を示す。PAWR は図中の原点に位置している。同図に示す通り、正負正の典型的な三重極分布を示しており、メイン正電荷の領域はレーダーから離れるドップラー成分が卓越した上昇気流の強いと考えられる領域に存在している。雲放電最盛期では積乱雲の上層 (高度約 11km) および中層 (高度約 8km) は上昇気流が支配的であり、この上昇気流中で大量のアラレが生成、氷晶との衝突により電荷分離が発生し、メイン正電荷および負電荷を形成し、両電荷領域間で多数の雲放電が発生している。

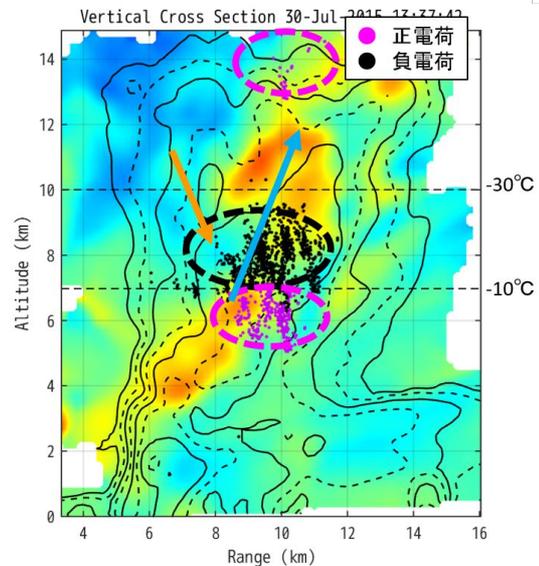


図 3: 落雷最盛期の積乱雲の鉛直断面図。

図 3 に、図 2 から 6 分後の落雷最盛期を示す。落雷最盛期では、上層で下降気流が発生し、その下降流が落雷最盛期には中層に到達する。この下降流は 40dBZ 以上の反射強度を有していることがレーダー観測により分かっており、多くのアラレを含むと考えられる。一方で、落雷最盛期中層では下層からの上昇気流が流入しており、上層からの下降気流と中層の上昇気流が高度約 7km(-10 高度) で隣り合う領域が発生する。この領域付近に BOLT によりメイン負電荷およびポケット正電荷が推定されている。以上より、落雷最盛期では積乱雲の上層からアラレが -10 高度以下に流入し、着氷電荷分離機構により、アラレが正に帯電し、ポケット正電荷を形成したことが、落雷 flash rate の上昇の一因であると考えられる。一方で、落雷最盛期の上層は下降気流が支配的であり、上昇気流が弱まったため、上層での電荷分離が不活発となり、雲放電 flash rate の低下につながったと考えられる。

この事例の解析により、雷活動と局所的大雨をもたらす可能性のある積乱雲内の局所の上昇気流は強い関連があることが示唆された。今後の研究により、雷放電モニタリングを用いた気象災害予測への応用が期待される。

## 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 5 件)

T. Ushio, T. Wu, and S. Yoshida, Review of recent progress in lightning and thunderstorm detection techniques in Asia, Atmos. Res., 154, 89-102, 2014.

T. Wu, S. Yoshida, T. Ushio, Z. Kawasaki, and D. Wang, Lightning-initiator type of narrow bipolar events and their subsequent pulse trains, J. Geophys. Res. Atmos., 119, doi:10.1002/2014JD021842, 2014.

Ting Wu, Satoru Yoshida, Yasuhiro Akiyama, Michael Stock, Tomoo Ushio, and Zen Kawasaki, Preliminary breakdown of intracloud lightning: Initiation altitude, propagation speed, pulse train characteristics, and step length estimation, J. Geophys. Res. Atmos., 120, 18, pp. 9071-9086, DOI: 10.1002/2015JD02354, 2015.

S. Yoshida, T. Adachi, K. Kusunoki, S. Hayashi, T. Wu, T. Ushio, and E. Yoshikawa, Relationship between thunderstorm electrification and storm kinetics revealed by phased array weather radar, J. Geophys. Res. Atmos., 122, 3821-3836, doi:10.1002/2016JD025947, 2017

Hiroshi Kikuchi, Ting Wu, Tomoo Ushio, Satoru Yoshida, Zen Kawasaki, Application of digital beamforming method for a network of lightning location sensors, J. Atmos. Electr., 36, 2, pp.55-67, 2017.

[学会発表](計 1 件)

S. Yoshida, K. Kusunoki, T. Adachi, T. Wu, T. Ushio, and E. Yoshikawa, Development of charge structure in a short live convective cell observed by a 3D lightning mapper and a phased array radar, 2015 AGU Fall Meeting, CA, Dec. 2015.

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

吉田 智 (YOSHIDA, Satoru)

気象研究所 気象衛星・観測システム研究部

主任研究官

研究者番号 : 00571564