

令和元年6月28日現在

機関番号：82109

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15H03728

研究課題名(和文) 偏波・フェーズドアレイレーダー統合システムを利用した積乱雲電荷構造の超高速解析

研究課題名(英文) Ultra-fast analysis of thunderstorm charge structures using polarization- and phased array radar integration system

研究代表者

楠 研一 (Kusunoki, Kenichi)

気象庁気象研究所・気象衛星・観測システム研究部・室長

研究者番号：40354485

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,680,000円

研究成果の概要(和文)：対流セル内の雷活動度と電荷構造が数分以内に劇的に変化することから、従来のレーダー観測の時間分解能(通常5分)ではこれらの解明には不十分である。高時間分解能の気象レーダー観測はこれらの関係の包括的な解明に必要である。本研究では、関東地方において、Xバンドフェーズドアレイレーダー、Cバンド偏波レーダー、3次元雷表示装置(BOLT)を用いて雷および積乱雲を観測している。得られたデータの解析により、降水および電荷構造を詳細に理解することが可能となる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究が進むことにより、電荷構造と密接に関連している発雷機構や雷放電進展プロセスの解明につながり、将来的な雷防災に貢献する。さらには雷放電や雷放電とかかわりの深い顕著現象(竜巻、降雹)の発生予測精度の向上につながる。

研究成果の概要(英文)：Considering the fact that the flash rate and charge structure in convective cells, change drastically within a few minutes, the temporal resolutions of previous radar observations (typically 5 min) were insufficient for establishing relationship between the updraft and lightning activity. Weather radar observations with high temporal resolution are required for a more comprehensive description of the relationship between thunderstorm electrification and storm kinetics. In the present study, we observe thunderstorms by using a X-band phased array weather radar, C-band polarimetric radar, and a 3 D lightning mapper, called the Broadband Observation network for Lightning and Thunderstorm (BOLT), in Kanto region, Japan. The multiple radar analysis enables us to understand, in detail, the precipitation and charge structures.

研究分野：レーダー気象学

キーワード：フェーズドアレイレーダー 雷観測装置 電荷構造

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

#### ・積乱雲の電荷構造

雷放電は積乱雲内の正負電荷を中和する現象である。電気現象である雷放電の特性は、電気の担い手である電荷の分布(電荷構造)に大きく依存している。即ち、正負電荷間の高電界領域で雷放電が進展を開始し、その後電荷密度の高い領域に進展する[26]。このため、未だ明らかとなっていない発雷特性や雷放電進展過程を理解するためには電荷構造の把握が必須である。これまで積乱雲内電荷構造は、積乱雲の上部から正・負・正に分布する3重極構造と考えられていた。

この古典的3重極電荷構造モデルの検証は観測的・理論的研究が多角的かつ精力的に行われ、いくつかの修正が加えられている。2002年にはミシシッピ大のグループが電界計を搭載したゾンデ観測により、少なくとも6重極分布を有している積乱雲のフェーズがあることを示した(図1)。2008年にはオクラホマ大の研究グループが、5分以下という非常に短い時間でも電荷構造が大きく変化することを示している。申請者らの観測でも短期間で電荷構造が変化していると考えられる事例が観測されている[8,31]。これらの観測により、積乱雲内電荷構造は単純な3重極構造ではなく、現実にはもっと複雑で、短時間で大きく変化することが分かってきた。

電荷構造は発雷機構や進展プロセスを決定づける[26]、最も基本的な性質の一つである。しかしながら、積乱雲の発達盛衰に伴い電荷構造が時間的にどのように変化していくのか、を説明できる電荷構造の時間発展モデルは存在しない。電荷構造の時間発展モデルを構築する上で、電荷分離がどこで発生し、どの降水粒子が電荷を担っているか、また帯電降水粒子がどのように拡散していくか、ということを観測により明らかにすることが不可欠である。

#### ・現在の観測とその問題点

積乱雲内電荷構造の時間発展モデルを構築するためには、電荷領域推定、降水粒子判別の両者を高時空間分解能で観測することが必要である。しかしながら、積乱雲内の電荷構造が非常に短い時間で変化するのに対し、偏波レーダーのボリュームスキャンの速度が現象の変化に対し時間的に追いついていない。つまり、計測上の問題で電荷構造の時間発展の様相が捉えられていない。

### 2. 研究の目的

#### ・偏波・フェーズドアレイレーダー統合システムの構築

現状の計測上の問題を解決するために、「偏波・フェーズドアレイレーダー統合システム(偏波PAR)」を構築する(図2)。偏波PARとは、C帯偏波レーダー(C-PR)とX帯フェーズドアレイレーダー(X-PAR)を統合した新しい気象レーダーシステムである。なおX-PARは、近年発展著しいエレクトロニクスの最先端技術を駆使したレーダーで、仰角方向に電子走査、方位角方向に機械走査を採用し、最短10秒で3次元観測が可能な高速スキャンレーダーである[3-6,15]。本研究で構築する偏波PARはC-PRとX-PARの両者の長所を協調観測により統合した全く新しいレーダーシステムである。即ち、C-PRにより降水粒子の種別判別を行う一方、X-PARの高速スキャン観測により、数分で変化する積乱雲内部構造の変化を捉える。X-PARのデータを用いた内挿により、レーダー反射強度のみならず、偏波パラメーターを高時間分解能で得ることとなり、実質的に偏波機能を有したフェーズドアレイレーダーとしての運用が可能となる。なお、C-PRは気象研(茨城県つくば市)に既に配備されている。X-PARは平成26年度中に気象研敷地内に設置予定である。

#### ・偏波PAR・雷放電3次元可視化装置を用いた夏季積乱雲観測

前述の偏波PARの観測範囲をカバーするように雷標定装置を配備し、夏季積乱雲の観測を行う。雷放電の3次元標定データと偏波PAR観測データを併用して積乱雲内の電荷構造とその時間的な変動をとらえる。同時に偏波PARにより、電荷領域と降水粒子の関連を明らかにし、帯電粒子がどのように積乱雲内に拡散していくか、その挙動をとらえる。観測結果を用いて、電荷構造変化とそれに伴う降水粒子の変化を高時空間分解能で得ることが可能となる。観測データの蓄積を経て、電荷構造の時間変化に関して標準的なモデルを確立する。

### 3. 研究の方法

本研究では、C帯偏波レーダーとX帯フェーズドアレイレーダーを統合した、「偏波・フェーズドアレイレーダー統合システム(偏波PAR)」を構築し、偏波PARと雷放電3次元標定装置(BOLT)を用いて茨城県南部で、降水粒子分布および雷放電の観測を行う。研究初年度では偏波PARを実現するための要素技術の開発、および偏波PARとBOLTの総合観測体制の構築に注力する。研究2年目以降は、本格的な観測体制に入り、データ解析も進めていく。BOLTおよび偏波PARのデータ解析から電荷構造、降水粒子の変化を捉え、電荷構造の時間変化についてモデル化を試みる。数値シミュレーションを用いた理論的アプローチも併用しながら電荷構造の時間変化モデルの確立を目指す。

### 4. 研究成果

本研究では、C帯偏波レーダーとX帯フェーズドアレイレーダーを統合した、「偏波・フェーズドアレイレーダー統合システム(偏波PAR)」を構築し、偏波PARと雷放電3次元標定装置(BOLT)を用いて茨城県南部で、降水粒子分布および雷放電の観測を行なった。まず研究初年度

は気象研究所で運用しているC帯二重偏波レーダーとフェーズドアレイレーダー(平成27年度運用開始予定)を組み合わせる偏波PARを実現するための必要な解析技術の開発を行なった。特に、偏波レーダーで観測できる偏波パラメータを高速スキャンニングのフェーズドアレイレーダーを用いて内挿する手法を提案した。これにより従来の単独の偏波レーダー観測で得られる偏波パラメータの時間分解能を飛躍的に向上させることが期待されることとなった。さらに作成した可搬型雷三次元装置を気象研を中心に設置し、雷観測の体制を整え、偏波PARとBOLTによる試験観測を行なった。偏波PARの観測範囲(茨城県南部、千葉県北部、埼玉県東部、東京都東部)をカバーできるようにBOLTの観測網を構築した。研究2年目以降は夏季観測を見据えて新規に製作した雷センサを5機によりエリアを増設し本格的に観測を行った。まず解析の第一段階として、BOLTの雷観測結果を用いた電荷構造の推定および、偏波PARによる降水粒子推定を行ない、その後、最終年度までに電荷構造推定結果、降水粒子推定結果を用いて積乱雲の電荷構造のモデル化について、一定の成果を得ることができた。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計4件)

Onomura, S., K. Kusunoki, K. Arai, H.Y. Inoue, N. Ishitsu, and C. Fujiwara, 2017: Rapid intensification of a winter mesocyclone under an isolated convective cloud after landfall. SOLA, 13, 74-78.

Yoshida, S., T. Adachi, K. Kusunoki, S. Hayashi, T. Wu, T. Ushio, and E. Yoshikawa, 2017: Relationship between thunderstorm electrification and storm kinetics revealed by phased array weather radar. Journal of Geophysical Research Atmosphere, 122, 3821-3836.

楠 研一, 2017: レーダーを用いた突風研究最前線. 日本気象学会関西支部例会講演要旨集, 142, 日本気象学会関西支部, 28-34pp, ISBN: 日本.

楠 研一・足立 透・諸富和臣・佐藤晋介・菊池博史・吉田 翔・清水慎吾・小池佳奈・牛尾知雄・水谷文彦・高橋暢宏, 2017: シンポジウム「フェーズドアレイレーダー」の報告 - 現在の活用状況から将来展望まで -. 天気, 64, 901-905.

〔学会発表〕(計14件)

Adachi, T., K. Kusunoki, S. Yoshida, K. Arai, S. Hayashi, and T. Ushio, High-speed volumetric observation of downburst using X-band phased-array radar, 37th Conference on Radar Meteorology, 2015年9月, アメリカ, ノーマン

Yoshida, S., 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, 2015年12月, アメリカ, サンフランシスコ

楠研一, 足立透, 新井健一郎, 石津尚喜, 猪上華子, 小野村史穂, 藤原忠誠, 庄内高密度観測網における新たなレーダーによる観測 -現象解明に期待される寄与-, 日本気象学会 2017年度秋季大会, 2017年10月, 北海道札幌市

Adachi, T., K. Kusunoki, S. Yoshida, U. Shimada, Three-dimensional structure of Typhoon Mindulle (2016) observed by phased array radar, JpGU-AGU Joint Meeting 2017, 2017年5月, 千葉県千葉市

Adachi, T., K.Kusunoki, U. Shimada, J. Ito, Three-Dimensional Structure of Typhoon Mindulle (2016) and Near-Surface Streaks Observed By Phased Array Radar, 38th Conference on Radar Meteorology, 2017年8月, アメリカ, シカゴ

Yoshida, S., E. Yoshikawa, K. Kusunoki, T. Adachi, H. Inoue, S. Hayashi, and N. Nagumo, Lightning activity associated with a convective cell involving multiple precipitation cores, 32th URSI GASS, 2017年8月, カナダ, モントリオール

Yoshida, S., E.Yoshikawa, K. Kusunoki, T. Adachi, H. Inoue, and S. Hayashi, Winter lightning observation with Broadband Observation network for Lightning and Thunderstorm, 4th International Symposium on Winter Lightning, 2017年4月, 新潟県上越市

Shiho Onomura, Kenichi Kusunoki, Hanako Inoue, Naoki Ishitsu, Ken-ichiro Arai, and Chusei Fujiwara, Statistical features of near-ground tornadic vortices in comparison with aloft radar-observed vortices, 第9回欧州シビアストーム会議, 2017年9月, クロアチア共和国, プーラ市

小野村史穂, 楠研一, 石津尚喜, 猪上華子, 新井健一郎, 足立透, 藤原忠誠, 多点型地上観測とデュアルドップラーによる渦の水平風速場の比較, 日本気象学会 2017年度秋季大会, 2017年10月, 北海道札幌市

新井健一郎, 楠研一, 猪上華子, 石津尚喜, 小野村史穂, 足立透, 藤原忠誠, 庄内沖で観測されたフック状エコーを伴う渦列の形成・発達過程, 日本気象学会 2017年度秋季大会, 2017年10月, 北海道札幌市

足立透, 気象研究所における X バンドフェーズドアレイレーダーを用いた研究 -大気現象の

新しい理解-, フェーズドアレイレーダー第2回シンポジウム, 2017年5月, 茨城県つくば市

足立透、伊藤純至、楠研一, フェーズドアレイレーダーを用いた台風に伴う境界層ストリークの3次元解析, 日本気象学会2017年度秋季大会, 2017年11月, 北海道札幌市

足立透、楠研一、吉田智、伊藤純至, フェーズドアレイレーダーで観測された台風第1609号に伴う境界層の気流構造, 日本気象学会2017年度春季大会, 2017年5月, 東京都渋谷区

足立透, フェーズドアレイレーダーが拓く顕著気象の新しい理解と予測, 「第2回 降水と噴火」研究集会, 2018年2月, 茨城県つくば市

〔図書〕(計2件)

佐藤英一, 楠研一, 2018: Kuバンド高速スキャンレーダーで見た積乱雲内の降水コアの動態. 気象研究ノート第236号「都市における極端気象の観測・予測・情報伝達」, 48-57.

足立透, 2017: 気象災害予測のための最新のレーダー技術. 安全工学, 56-6, 475-481.

〔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:

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:

国内外の別:

〔その他〕

なし

## 6. 研究組織

### (1) 研究分担者

研究分担者氏名: 足立 透

ローマ字氏名: Toru Adachi

所属研究機関名: 気象研究所

部局名: 気象衛星・観測システム研究部

職名: 主任研究官

研究者番号(8桁): 10632391

研究分担者氏名: 吉田 智

ローマ字氏名: Satoru Yoshida

所属研究機関名: 気象研究所

部局名: 気象衛星・観測システム研究部

職名: 主任研究官

研究者番号(8桁): 00571564

### (2) 研究協力者

研究協力者氏名:

ローマ字氏名:

については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。