

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 9 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2010～2013

課題番号：22340138

研究課題名(和文)積乱雲内電荷構造の変動観測とモデル化

研究課題名(英文)Observation of thunderstorm electrical structure and modeling

研究代表者

牛尾 知雄(Ushio, Tomoo)

大阪大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：50332961

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,000,000円、(間接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、雷放電に伴うLF帯広帯域電磁波を多地点のセンサーによって観測し、到達時間差法を用いて3次元標定を行うシステムおよびレーダネットワークシステムを構築し、観測を実施、そして雷放電に寄与する電荷構造の推定と知見を得ることを目的としている。その結果、観測システムの構築を行い、観測およびデータの取得に成功した。得られたデータの解析の結果、積乱雲の3重極構造を推定することに成功し、レーダ反射因子との対応関係を得ることができた。

研究成果の概要(英文)：In this research project, two observation system was developed, and successfully operated for thunderstorm electrification process studies. One observation system is an electric field observation system which measures electric field changes at LF band at multipoint, and another system is broad band radar observation network. In the lightning observation system, the time of arrival technique is applied to locate the sources of pulses emitted from lightning process. The height histogram of the initial breakdown process shows the tripole electrical structure of the thunderstorm on the assumption that the negative leader toward the positively charged region and the positive leader toward the negatively charged region produce the impulses at LF band. The relationship with the radar reflectivity factor measured by the broad band radar and phased array radar network was also discussed.

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・気象・海洋物理・陸水学

キーワード：雷放電 レーダ

1. 研究開始当初の背景

積乱雲は、竜巻・豪雨・降電等を伴う最も激しい気象擾乱の一つであり、多くの場合、雷放電を伴う。この積乱雲における電荷構造は、長年の研究の歴史があるにも関わらず、現在においても定説はなく、現在、最も有力な説は 1930 年代にシンプソン等による気球観測から得られた、高度の低い位置から上部に向かって、正、負、正の電荷が分布する三重極構造である。このような 1930 年代に提唱された電荷の三重極構造は、近年のゾンデ観測によって、積乱雲のタイプや季節によって異なる等の修正が加えられてきている。例えば、図 2 に示されるようにゾンデによる直接観測から積乱雲内の電荷構造はその場所によって異なることが示唆されている。しかし、ゾンデ観測は点観測であること、また一回の計測に数時間を要し、その間に雷雲の構造が変化するなどの問題点があり、雷雲全体の構造変化を実時間で捉えきれない問題点を有している。即ち、積乱雲が、その発達期、成熟期、減衰期において、どのような電荷構造を有し、それが降雨構造と共にどのように時間変化するのかが、基本的な性質であるにも拘らず、計測上の問題から未解明の課題として残っている。

2. 研究の目的

本研究では、雷放電の進展様相を可視化する広帯域干渉計および超高分解能な小型レーダネットワークを用いることによって、積乱雲の電荷構造と降雨構造を実時間に近い形で、間接的に、詳細に観測し、積乱雲のレーダ反射因子構造および雷放電の電波放射源構造から、電荷構造を議論する。

3. 研究の方法

本研究では、1) 小型高分解能レーダ(広帯域レーダ)、2) VHF 帯広帯域干渉計・VLF/LF 帯雷位置標定装置による観測網を構築、積乱雲を時間的および空間的に高分解能で、観測する。そして、VHF 帯広帯域干渉計によって得られた 3 次元雷放電観測データが、負極性の絶縁破壊過程であることに着目し、1) 放電開始点付近に負電荷、2) 放電終了地点付近に正電荷という仮定を置くことによって、放電に寄与している電荷領域を積乱雲内で特定する。また、レーダデータからは地表面付近からの積乱雲の降雨構造を 1 分以内・100m 以内の時間・空間分解能で得て、電荷構造モデルを観測的に構築する。

4. 研究成果

得られた研究成果の一例として、図 1 に 2012 年 10 月 28 日 18 時 59 分 57 秒におけるレーダ反射因子の 4 km における CAPPi 画像と多地点の LF 帯センサによる雷放電過程の標定結果を示す。ここに示されているように、雷放電標定点は、レーダ観測機器によって捉えられた積乱雲内もしくは周辺に標定されてお

り、開発したレーダ機器、雷観測機器が雷放電発生時に正常に動作し、データの取得に成功していることが示されている。またさらに、図中 A-B 線上の鉛直断面図を示す。このように、この事例の場合、高度 7 km 付近と 3 km 付近の領域間において雷放電が生成し、それぞれ正電荷と負電荷の領域に対応しているであろうことがわかる。

雲放電においてはその放電開始点よりも上方(AC)または下方(BC)に標定された標定点数、落雷においては放電開始点よりも上方に標定された標定点数(AG)を 0.5 km 間隔のヒストグラムで示した図を図 2 に示す。ここに示されているように、AC, BC, AG はそれぞれ 9 km, 6 km, 5.5 km 付近において最大値を有する。AC, BC, AG はそれぞれ正電荷領域、負電荷領域、負電荷領域にそれぞれ対応すると推察され、また落雷の開始点の下方に下部正電荷領域があることを考慮すると、この積乱雲の中和された電荷構造は高度 4 km より下方に下部正電荷領域、高度 5m から 7 km に負電荷領域、高度 7 km から 11 km 程度までに正電荷領域が存在したと推定できる。さらに、

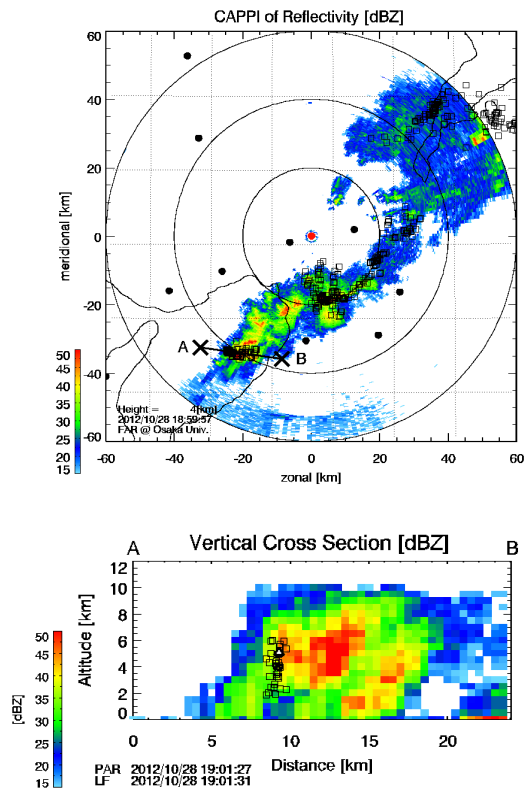


図 1 2012 年 10 月 28 日 18 時 59 分 57 秒におけるレーダ反射因子の 4 km における CAPPi 画像と鉛直断面図

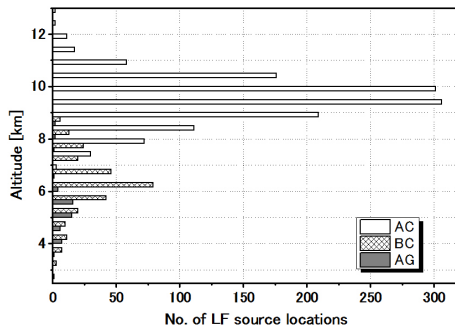


図2 放電開始における標定点の高度分布

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 10 件)

吉田智, Ting Wu, 牛尾知雄, 高柳裕次, 多地点 LF 帯センサによる雷放電リーダの三次元標定とレーダ反射因子との比較, IEEJ, Vol. 134, No. 4, pp. 188-196, 2014.4

Yoshikawa, E., V. Chandrasekar, T. Ushio, Raindrop Size Distribution (DSD) Retrieval for X-Band Dual-Polarization Radar. J. Atmos. Oceanic Technol., Vol. 31, pp. 387-403. doi:

<http://dx.doi.org/10.1175/JTECH-D-12-00248.1>, 2014.2

Kawachi, T., S. Yoshida, T. Wu, T. Ushio, and K. Kusunoki, Altitude of Occurring Preliminary Breakdown Followed by Lightning Discharges and Charge Structure in a Thunderstorm, J. Atmos. Electr., Vol. 34, No. 1, pp. 55-68, 2014.2

Wu, T., S. Yoshida, T. Ushio, Z-I. Kawasaki, Y. Takayanagi, and D. Wang, Large bipolar lightning discharge events in winter thunderstorm in Japan, J. Geophys. Res. Atmos., 119, doi:10.1002/2013JD020369, 2014.1

Wu, T., Yuji Takayanagi, Tsuyoshi Funaki, Satoru Yoshida, Tomoo Ushio, Zen-Ichiro Kawasaki, Takeshi Morimoto, Yoshitaka Nakamura, Isolated large bipolar pulse (ILBP) produced by lightning discharge in winter thunderstorm, IEEJ, Vol. 133, No. 9, pp. 451-457, 2013.9

Wu, T., Yuji Takayanagi, Tsuyoshi Funaki, Satoru Yoshida, Tomoo Ushio, Zen-Ichiro Kawasaki, Takeshi Morimoto, Masahito Shimizu, Preliminary breakdown pulses of cloud-to-ground lightning in winter thunderstorms in Japan, J. Atmos. Solar-Terr. Phys., 102, pp. 91-98, 2013.6

Wu, T., Y. Takayanagi, S. Yoshida, T.

Funaki, T. Ushio, and Z-I. Kawasaki, Spatial relationship between lightning narrow bipolar events and parent thunderstorms as revealed by phased array radar, Geophys. Res. Lett., Vol. 40, Issue 3, pp. 618-623, doi: 10.1002/grl.50112, 2013.2

Yoshikawa, E., T. Ushio, Z-I. Kawasaki, and V. Chandrasekar, Dual-Directional Radar Observation for Performance Evaluation of the Ku-band Broadband Radar Network, J. Atmos. Oceanic Technol., Vol. 29, No. 12, pp. 1757-1768, 2012.12

M. Akita, Z. Kawasaki, S. Yoshida, T. Morimoto, T. Ushio, Estimation for Charge Distributions related with Individual Lightning Discharges using VHF Broadband Digital Interferometer, J. Atmos. Electr. Vol. 32, No. 2, pp. 56-63, 2012.7

高柳裕次, 秋田学, 中村佳敬, 吉田智, 森本健志, 牛尾知雄, 河崎善一郎, 山本賢司, VLF/LF 帯広帯域干渉計の開発と初期観測結果, IEEJ. Trans., Vol. 131, No. 9, pp.716-722, 2011.9

〔学会発表〕(計 13 件)

Yoshida, S., T. Wu, and T. Ushio, Preliminary breakdown pulses located by Broadband Observation network for Lightning and Thunderstorm, AE13B-0350, AGU Fall Meeting, San Francisco USA, Dec. 8-13, 2013

Shimamura, S., E. Yoshikawa, S. Yoshida, T. Ushio and K. Imai, A Bayesian approach for precipitation attenuation correction with a Ku-band Broad Band Radar network, 144, 36th Conference and Radar Meteorology, Breckenridge CO USA, Sep. 16-20, 2013
Yoshikawa, E., N. Matayoshi, T. Ushio and V. Chandrasekar, Integrated Velocity Retrieval on Radar Network Environment, 127, 36th Conference and Radar Meteorology, Breckenridge CO USA, Sep. 16-20, 2013

Wu, T., T. Funaki, S. Yoshida, T. Morimoto, T. Ushio, and Z-I. Kawasaki, Discharge height of lightning narrow bipolar events and new observation with phased array radar, AGU fall meeting, December 2012

Tomoo Ushio, Eiichi Yoshikawa, Zen Kawasaki, and Satoru Yoshida, Development and observation of the radar network with high resolution, SPIE Asia-Pacific Remote Sensing, 8523-66, Kyoto Japan, 29 Oct. - 1. Nov. 2012

Tomoo Ushio, Eiichi Yoshikawa,

Shigeharu Shimamura, Zen Kawasaki, Naoki Matayoshi, Latest Observation Results of the Ku-band Broadband Radar (BBR) Network Project, IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 3075, Munich, Germany, 22-27 July, 2012

Ushio, T., E. Yoshikawa, S. Shimamura, and Z-I. Kawasaki, Development and Observation of the Ku-band Broadband Radar (BBR) Network, European Radar Conference (ERAD) 2012, 141CR, Toulouse, France, 25-29 June, 2012

高柳, 吉田, 森本, 牛尾, 河崎, 中村, LF 帯広域干渉計によるリーダパルスの標定, 日本大気電気学会第 87 回, 大阪大学, 2012 年 9 月

Yoshikawa, E., T. Mega, S. Yoshida, T. Morimoto, T. Ushio, and Z-I. Kawasaki, Rainfall Observation of the Ku-band Broadband Radar Network in Osaka, Japan, 35th Conference on Radar Meteorology, 190, Pittsburgh PA USA, Sept. 26-30, 2011

Yoshikawa, E., T. Mega, S. Yoshida, T. Morimoto, T. Ushio, and Z-I. Kawasaki, Spatial Resolution of Meteorological Radar Network Consisting of High Range and Temporal Resolution Radars, 35th Conference on Radar Meteorology, 175, Pittsburgh PA USA, Sept. 26-30, 2011

Maki, M., R. Misumi, S. I. Suzuki, T. Maesaka, A. Kato, T. Kayahara, S. Shimizu, T. Wakatuski, Y. Syusse, K. Hirano, T. Nakatani, K. Iwanami, N. Sakurai, D. S. Kim, M. Ishihara, T. Kobayashi, A. Adachi, O. Suzuki, H. Yamauchi, H. Nakamura, A. Hattori, S. Tuchita, T. Kato, A. Yamaji, Y. Murayama, T. Yoshiwara, Y. Fujiyoshi, Y. Suzuki, T. Ushio, K. Sunada, T. Yamada, H. Nakamori, F. Kobayashi, H. Yokoyama, H. Hiraguchi, S. Kawada, M. Yoshii, A. Togari, M. Goto, K. Otsuka, M. Wada, D. I. Lee, and C. V. Chandrasekar, Monitoring and prediction of torrential rainfall for extreme weather resident cities, 35th Conference on Radar Meteorology, 148, Pittsburgh PA USA, Sept. 26-30, 2011

T. Ushio, E. Yoshikawa, N. Wakayama, S. Shimamura, S. Yoshida, T. Morimoto, Z. Kawasaki, Development of the broadband radar network with high resolution, The XXXth URSI General Assembly, Istanbul, August 13-20 2011 (Invited)

吉川, 木田, 吉田, 森本, 牛尾, 河崎, 気象用 Ku 帯広域レーダネットワークの初期観測結果, 平成 23 年電気学会全国

大会, 大阪, 2011 年 3 月

6. 研究組織

(1) 研究代表者

牛尾知雄 (Tomoo Ushio)
大阪大学大学院工学研究科・准教授
研究者番号: 503329611

(2) 研究分担者

吉田智 (Satoru Yoshida)
気象庁気象研究所・研究官
研究者番号: 00571564

森本健志 (Takeshi Morimoto)
近畿大学・准教授
研究者番号: 60403169

中村佳敬 (Yoshitaka Nakamura)
神戸高専・講師
研究者番号: 70609817

河崎善一郎 (Zen-Ichiro Kawasaki)
大阪大学・招聘教授
研究者番号: 60126852

佐藤光輝 (Mitsuteru Sato)
北海道大学・講師
研究者番号: 50312541

(3) 連携研究者

今井克之 (Katsuyuki Imai)
住友電気工業