

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 26 日現在

機関番号：82109

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23710209

研究課題名(和文)高時空間分解能気象レーダを用いたマイクロバーストの観測的研究

研究課題名(英文)Observation of micro bursts with high range resolution radars

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・研究官

研究者番号：00571564

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円、(間接経費) 1,050,000円

研究成果の概要(和文)：雷放電から放射されるLF帯電磁波を受信し詳細な三次元標定を可能とする観測器(BOLT)の開発を行った。北陸地方を含む関西地方を中心にBOLTによる観測を行った。BOLTとフェーズドアレイレーダによる観測の結果、雷放電に関する重要な知見を得ることができた。雷放電とダウンバーストの因果関係について観測データを取得し、解析を継続している。

研究成果の概要(英文)：We have been developing a lightning observation system called Broadband Observation network for Lightning and Thunderstorm (BOLT) that produces quit clear 3D image of lightning images. We conducted lightning observation campaign in Kansai and Hokuriku areas with a use of BOLT. The lightning observation with a use of BOLT revealed several important features associated with lightning discharges. Currently, we have been analyzing BOLT and weather radar data obtained in Hokuriku to examine relationship between lightning and micro bursts.

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学・自然災害科学

キーワード：気象災害

### 1. 研究開始当初の背景

マイクロバースト(MB)とは、発達した積乱雲の衰退期に発生する局所的な強い下降気流で、その風速は最大 70m/s に達する。昭和の三大台風の一つに数えられる伊勢湾台風の最大風速が 75m/s であることを考えると、この風速は非常に強いことが分かる。航空機の離発着時に MB が発生すると最悪の場合墜落に至ることもあり、航空機安全運航に甚大な影響を及ぼす。米国では少なくとも 11 件の航空機事故の原因が MB とされ、これまで 500 人以上の死傷者を出している。日本では MB に起因した航空機墜落はないものの、2005 年の羽越線脱線事故(死傷者 33 名)など MB を原因と疑われる事故が記憶に新しい。このため近年、MB の危険性に対する社会的認識が高まり、気象庁では竜巻注意情報(竜巻および MB などによる突風の注意報)の提供を開始している。

MB 発生予測精度向上のためには、MB の発生メカニズムの把握は不可欠であるものの、現在のところ完全には解明されていない。これまでの研究によると、積乱雲中の霰や雹など積乱雲構成粒子が一斉に落下し、周囲から潜熱を奪うことにより、局所的に強い下降気流、即ち MB が発生するといわれている。しかしながら、何が原因で「構成粒子が一斉に落下」し始めるのかは今のところ未解明である。

一方、雷放電はその過程で負に帯電した霰や雹を中和するため、雷放電と MB の関連も示唆されている。国内外の野外観測結果によると、雷放電増加時に MB が発生している。しかしながら、両者の因果関係、すなわち雷放電と MB の直接的な関連を示す観測結果は示されていない。

### 2. 研究の目的

本研究は、雷放電の増加時に MB が発生すること、およびその両者の因果関係について観測により明らかにすることを目的としている。本研究では特に、雷放電により中和された負に帯電した霰・雹の領域に着目し、その領域が Ku 帯広帯域レーダー(Ku レーダー)でどのように振る舞うか、に着目する。

最終的には雷活動監視による MB 発生予測手法の開発の糸口を得る。地球温暖化に伴い、MB をもたらす積乱雲は今後増加すると予想されていることから、本研究の必要性は高い。

### 3. 研究の方法

本研究では、雷放電観測装置及び Ku レーダーを用いて、日本海沿岸で発生する落雷に焦点を当てた冬季雷嵐観測を行う。この観測では、雷放電により中和された領域を雷放電観測装置により推定し、落雷発生直前直後における下部負電荷領域の挙動、及び MB に伴う地上風の発散を観測する。研究初年度では雷放電可視化装置と Ku レーダーを用いた観測システムの構築に注力する(図 1)。研究次

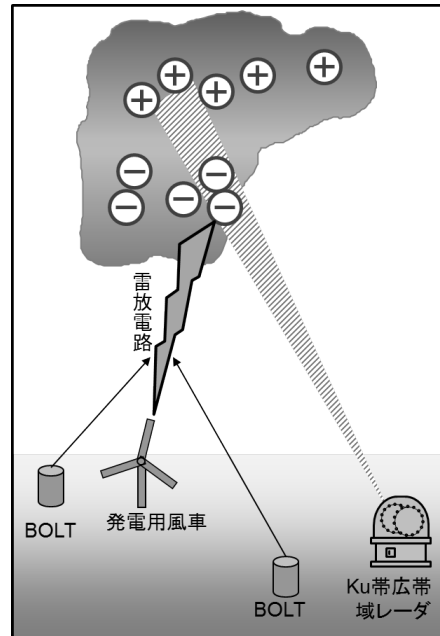


図 1: 観測イメージ図

年度以降は、研究初年度から継続して雷嵐観測を行う。また、取得されたデータを解析し、モデルに基づいた観測データ解析を行う。

### 4. 研究成果

本研究ではまず、雷放電から放射される LF 帯電磁波を受信し詳細な三次元標定を可能とする観測器の開発を行った。これにより Broadband Observation network for lightning and Thunderstorm (BOLT) と呼ぶ雷放電三次元可視化装置の開発に成功した。BOLT は現在、北陸地方を含む関西全域を観測対象とし、そのネットワークの中心付近では雷放電路を詳細に三次元可視化できることを確認している。2013 年 9 月 4 日に BOLT により標定された雲放電の一つを図 2 に示す。同図に示す通り、雷放電路が三次元的に詳細に得られていることが分かる。また、雷放電の開始点の上方(高度約 10km)および下方(高度約 6km)に標定点が集まっている。これは開始点の上方に正電荷、下方に負電荷が存在していることを示しており、BOLT を用いた電荷構造の把握が可能であることを示している。さらにカイ二乗分布及びモンテカルロシミュレーションを用いて BOLT の標定精度を行った。その結果、BOLT の観測ネットワーク内部では水平誤差が多く地点で 100m 以下、鉛直誤差が 400m 以下であり、MB との関連を調査する上で十分な標定精度を有することを確認した。

BOLT と Ku レーダーを用いて冬季雷の観測を研究二年目から継続して行っている。同期間中に観測は大きなトラブルもなく順調に遂行することができた。現在雷放電と MB の因果関係についてデータを解析中である。

その一方で BOLT の観測結果から雷放電に関する重要な知見を得ることができた。

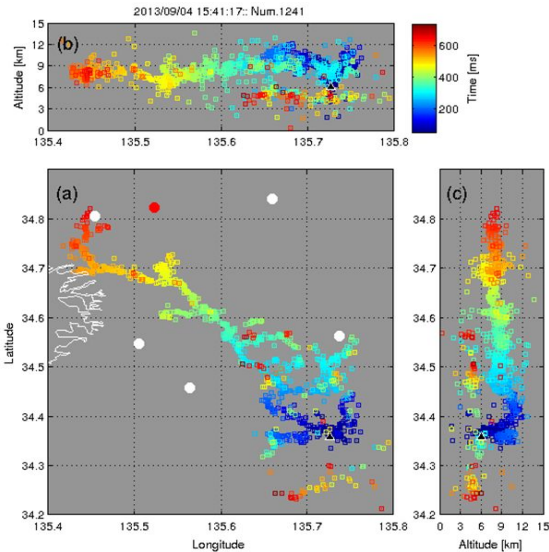


図2: 2013年9月4日15時41分17秒にBOLTにより標定された雲放電の三次元位置標定結果。(a)水平進展図、(b)及び(c)垂直断面図。はこの雲放電の最初の標定点を示す。

Narrow Bipolar Event (NBE)に関する発生高度と積乱雲の内部構造の事例解析が挙げられる。NBEは雷放電とは独立した放電現象でこれまでにその存在は知られていたが、発生条件や発生高度等、その発生メカニズムに関することは不明点が多かった。今回BOLTによりNBEの観測及び三次元標定に成功し、大阪大学キャンパス屋上に設置しているフェーズドアレイレーダーとのデータ比較により、NBEは積乱雲のエコー頂付近で発生するという事実を示した。さらに正極性のNBEは積乱雲が非常に発生した時のみ発生することを観測により示した。このことはNBEの観測を用いることにより積乱雲の成熟度を監視可能であることを示しており、局所的大雨などの予測にも利用できる可能性を示している。

またpreliminary breakdown(PB)の観測にも成功しており、PBの極性が雷雲内の電荷構造に強く依存していることを観測から示した。ここでPBの極性とはPBパルスの最初の

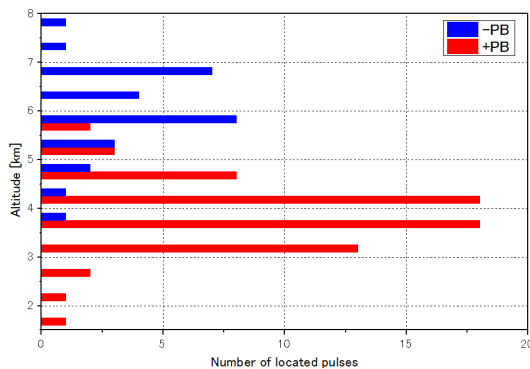


図3: +PB, -PBの高度分布。

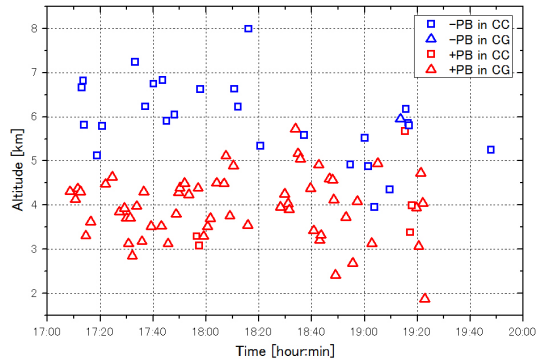


図4: 一つの積乱雲に着目した場合の、+PB, -PBの発生高度の時間変化。

電界変化の極性である。図3にBOLTで捕えられたPBにおいてその高度のヒストグラムを正極性のPB(+PB)および負極性のPB(-PB)の高度に分類し示す。図3より-PBは+PBよりも上方に標定される事実を観測により明らかにした。図4に一つの積乱雲に着目し、その積乱雲内での+PBと-PBの高度の変化を示す。同図より積乱雲の発達・成熟期では(18時20分頃まで)では+PBと-PBの高度がはっきりと分かれている。一方、それ以降の衰退期では-PBの発生高度が減少し、+PBと差がなくなることが分かる。レーダー観測結果によると衰退期では正電荷領域の高度も減少していることが分かっており、電荷構造が大きく変化したため、前述のような変化が見られたものであると考えられる。

### 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 4件)

Ting Wu, Satoru Yoshida, Tomoo Ushio, Zen Kawasaki, Yuji Takayanagi, Daohong Wang, Large bipolar lightning discharge events in winter thunderstorms in Japan, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 査読有, 119, 555-566, doi:10.1002/2013JD020369, 2014.

吉田、Wu、牛尾、高柳、多地点LF帯センサによる雷放電の三次元標定とレーダ反射因子の比較、*電気学会論文誌A*、査読有、Vol. 134, 2014, pp. 188-196.

河内、吉田、Wu、牛尾、雷放電に伴うPreliminary breakdownの発生高度と積乱雲内電荷構造、*J. Atmos. Electr.*、査読有、Vol. 34, No. 1, pp. 55-68, 2014.

T. Wu, Y. Takayanagi, T. Funaki, S. Yoshida, T. Ushio, Z. Kawasaki, T. Morimoto, and Y. Nakamura, Isolated large bipolar pulse (ILBP) produced by lightning discharge in winter thunderstorm *IEEJ. Trans. FM*, 査読有、Vol. 133, 2013, pp. 451-457.

[学会発表](計 3件)

S. Yoshida, T. Wu, T. Ushio, K. Kusunoki,  
Relationship between preliminary  
breakdown and charge structure in  
thunderstorm, the 15th International  
Conference on Atmospheric Electricity,  
Oklahoma, USA, June 2014.

S. Yoshida, T. Wu, T. Ushio, K. Kusunoki,  
Characteristics of radiation of  
lightning discharge in LF band, the  
XXXIth URSI General Assembly, Beijing,  
China, August 2014.

Satoru Yoshida, Ting Wu, Tomoo Ushio,  
Preliminary breakdown pulses located by  
Broadband Observation network for  
Lightning and Thunderstorm, AGU 2013 Fall  
Meeting, California, USA, December 2013

## 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  
研究官

研究者番号 : 00571564