

Title	Observation of lightning narrow bipolar event with LF lightning location systems and phased array radar
Author(s)	Wu, Ting
Citation	大阪大学, 2013, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/27592
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

【151】

氏名	ウ ティン Wu Ting
博士の専攻分野の名称	博士 (工学)
学位記番号	第 26217 号
学位授与年月日	平成 25 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当 工学研究科電気電子情報工学専攻
学位論文名	Observation of lightning narrow bipolar event with LF lightning location systems and phased array radar (LF 帯雷放電標定装置とフェーズドアレイレーダを用いた NBP の観測)
論文審査委員	(主査) 教授 舟木 剛 (副査) 教授 河崎 善一郎 准教授 牛尾 知雄 教授 伊瀬 敏史 教授 高井 重昌 教授 谷野 哲三 教授 白神 宏之

論文内容の要旨

Lightning narrow bipolar event (NBE) is one of the most mysterious types of lightning discharge. Since its discovery in the 1980s, both ground-based and satellite-based observations have been carried out in many regions of the world. There have been numerous studies on its characteristics of waveform, radiation, physical mechanism and meteorological context. However, there are still many special characteristics of NBE that are difficult to understand, and many fundamental problems such as its production mechanism and relationship with thunderstorm are waiting to be answered. In this thesis, I will analyze characteristics of NBE from multiple respects based on observations with both LF lightning location system and phased array radar.

This thesis consists of seven chapters, organized as follows:

In Chapter 1, I introduce basic types and characteristics of lightning discharges and the general relationship between NBE and normal lightning. Then I review some important studies on NBE and summarize its general characteristics. At last, I present the objective and main contents of this thesis.

Chapter 2 introduces experiments, instrumentations and data for this study. There are four experiments in four different regions. LF lightning location system was built for each experiment.

in Osaka region, a phased array radar was utilized. General properties of the LF lightning location system and the phased array radar are presented.

Chapter 3 deals with waveform characteristics of NBE. First, large electric field changes produced by NBEs are analyzed. Peak magnitude of electric field changes produced by return strokes, positive and negative NBEs are compared with each other. It is found that NBEs generally produce larger electric field changes than return strokes do, and negative NBEs are more powerful than positive NBEs. Then the characteristic of temporal isolation of NBE is statistically analyzed. NBEs are usually found isolated with other discharge processes. However, some portion of NBEs can be the initiation processes of regular discharge processes, and in this case, positive NBEs have much higher possibility than negative NBEs. At last, characteristics of ionospheric reflection pairs of NBEs are analyzed. Ionospheric reflection pairs are formed when the LF radiation of NBE is reflected at the ionosphere and the ground. The arrival time and magnitude of these pulses are analyzed with a simple model.

Chapter 4 focuses on the discharge height of NBE. Discharge height is essential for understanding NBE because it determines position of NBE in a thunderstorm. I develop a method to locate NBE using its ionospheric reflection pairs. This method is much more accurate than traditional TOA or interferometry techniques. With this method, discharge heights of thousands of both polarities of NBEs are computed, and it is found that positive NBEs mainly occur at the height of 7-15km, corresponding to the region between the main negative charge layer and the upper positive charge layer, while negative NBEs mainly occur at the height of 15-18km, corresponding to the region between the upper positive charge layer and the screening negative charge layer at the cloud top. Further, variation of NBE discharge height in two thunderstorms are analyzed, and it is found that for a given short time period in a single thunderstorm, negative NBEs are always observed to occur at a higher altitude than positive NBEs, indicating a dividing charge layer between positive NBEs and negative NBEs.

Chapter 5 focuses on the relationship between NBE and thunderstorm. First, a statistical study on the relationship is presented, confirming the general result that NBE rate increases with increasing convective strength. It is also found that the percentage of negative NBE seems to increase with increasing convective strength. In another word, as the thunderstorm grows more vigorous, it is more inclined to produce negative NBE. Based on the observation of phased array radar with unprecedented high temporal and spatial resolution, the spatial relationship between NBE and thunderstorm is analyzed. It is found that negative NBEs are usually located very close to the cloud top of thunderstorm; they can be either at the inner or the outer boundary of the cloud top. Positive NBEs, on the other hand, are always located well inside thundercloud. It seems that negative NBEs can only be produced in thunderstorms with cloud top higher than about 14 km. Numerous thunderstorms with lower height did not produce any negative NBE.

Chapter 6 discusses some major problems on NBE. First, I analyze the possibility of NBE production in winter thunderstorm based on our observation in Hokuriku region of Japan. Second, I put forward a hypothesis that NBEs can only be produced above certain height, that is, there is a height threshold for NBE production. Finally, I suggest a way to monitor severe thunderstorm with NBE.

Chapter 7 summarizes all the conclusions of this thesis.

論文審査の結果の要旨

本論文は、学位申請者 Wu Ting 君が大阪大学大学院工学研究科電気電子情報工学専攻在学中に行ったに雷放電に伴う Narrow bipolar event (NBE) についてまとめたものである。

1 章では、NBE の基本的性質と本論文のモチベーションが述べられている。

2 章では本論文の主な観測装置である LF 帯広帯域干渉計、フェーズドアレイレーダについての詳細が述べられている。両装置とも大阪大学で設計および開発を行った装置であり、前者は雷放電から放射される LF 帯電磁波を受信し

電波源の位置標定する装置で、後者は仰角方向に電子スキャンを適応した高速スキャン気象レーダである。また本論文で行った観測（中国、大阪、石川）について詳細が述べられている。

3章では観測されたNBEの電磁波形について詳細に議論している。NBEに伴う電界変化の大きさや他の雷放電との関係について解析している。その結果、NBEによる電界変化は帰還雷撃に伴う電界変化よりも通常大きく、さらに負極性のNBEが正極性のものと比較し、より電界変化が大きいことを示した。また、NBEは雷放電課程とは時間的に離れて発生するとされるが、いくつかのNBEは雷放電の初期段階に発生することを示した。

4章では、NBEの発生高度について述べている。NBEの発生高度はNBEの発生メカニズムと大きく関係があるため重要なパラメータであることが知られている。本論文ではNBEの直達波と電離層で反射するsky waveの観測結果から到達時間差法を用いてNBEの発生高度を推定している。その結果正極性NBEは積乱雲の負電荷領域と上部正電荷領域の間に相当する高度7km-15kmで発生していることを示した。一方、負極性NBEは上部正電荷領域の上端に相当する15km-18kmで発生することを明らかにした。さらに単一積乱雲の解析を行い、負極性NBEの発生硬度が正極性NBEよりも常に高い高度で発生することを示した。

5章ではフェーズドアレイレーダを用いてNBEと積乱雲の内部構造の比較を行い両者の関係について議論した。統計的解析から、積乱雲の成長に伴いNBEが増加することを示した。また負極性NBEは積乱雲が非常に発達した場合に限り発生することを示した。事例解析により負極性NBEはエコー頂が14kmを超える積乱雲の最上部のみで発生し、14kmよりエコー頂高度が低い積乱雲においては負極性NBEが発生しないことを示した。

6章ではこれまでの解析結果を受けてNBEの発生メカニズムおよび発生条件などを検討している。さらに負極性NBEが非常に発達した積乱雲からのみ発生することを用いた、積乱雲アラームを提案している。

本論文では研究者の間で注目されているNBEについて様々な角度から独自の考察を行い、NBEのメカニズムを議論している。これらは雷放電メカニズムを理解する上で重要な結果を示しており、今後、雷害対策や雷放電発生予測に関する情報を提供する上で重要な役割を果たすと考えられ、電気電子システム工学の発展に寄与するところが大い。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。