

## P-24: 富士山頂からのスプライト検出時の VLF 帯電磁波について

成嶋友祐<sup>1</sup>, 鴨川仁<sup>1</sup>

1. 東京学芸大学

### 1. はじめに

落雷から VLF 帯に強度の強い電磁波が放出されることが知られている<sup>(1)</sup>。VLF 帯の電磁波は大気中の減衰は少なく、また山や建物で回折しやすいため雷現象をより深く考察するためには重要だと考えられる。そこで我々は本年度より、VLF 帯電磁波波形観測機器を開発した。また、我々は夏季に北関東で発生する高高度放電発光現象の観測を富士山頂にある富士山測候所から行っている。その両観測から富士山山頂から観測された高高度放電発光現象の位置評定及び東海大学、東京学芸大学で観測されたスプライト発生時の VLF 帯波形観測データの解析を行い、高高度放電発光現象の発生時の VLF 帯波形観測による雷位置評定及び極性判別を行う。

### 2. 観測方法

高高度放電発光現象の光学観測は、富士山山頂にある富士山測候所から超高感度小型カメラを用いて観測を行った。カメラで撮影された映像データは、GPS アンテナで取得された時刻情報とともに、ハードディスクレコーダーとパソコンで収録している。パソコンでの収録は、イベントトリガー方式を採用しており、落雷等のイベントが発生したときに前後の動画を収録するようにしている。高高度放電発光現象の方位決定には、恒星位置をもとにした方位決定を行った。

VLF 帯電磁パルス観測装置は、コイルアンテナを用いて VLF 帯の磁場 2 成分を測定しているもので、100MHz のサンプリングでデータ収録を行っている<sup>(2)</sup>。時刻に関しては GPS 情報から時刻を決定しており、時刻精度は 5ns 程度である。こちらもイベントトリガー方式を利用しており、トリガー以前のデータも記録されている。VLF 帯電磁パルスによる落雷位置の決定には、到達時間差法 (TOA 法) と磁場到来方位法 (MDF 法) と呼ばれる方法を用いた。TOA 法は、2 基地局に電磁波が到来した時刻差から、落雷位置と各基地点の距離差に対応する双曲線を描く方法である。最低 3 基地点があると複数の双曲線の交点で落雷点を決定できる。MDF 法は、基地局に電磁波が到来した際の水平磁場 2 成分のリサーチ図から、VLF 帯電磁波の到来方位を決定する方法である。この手法では 2 基地点があると落雷点を決定できる。

図 1 は、光学観測を行った富士山測候所及び VLF 帯観測を行った東海大学、東京学芸大学の各観測地点の位置関係を示した図である。

雷位置データは、ドコモ社提供のものを利用し、これと VLF 観測装置で求められた落雷発生地点や落雷極性の関係を調べた。

### 3. 観測結果及び考察

今季は 5 事例のスプライト観測に成功した。図 2 は 2015 年 8 月 2 日に実際に観測されたスプライトの画像である。

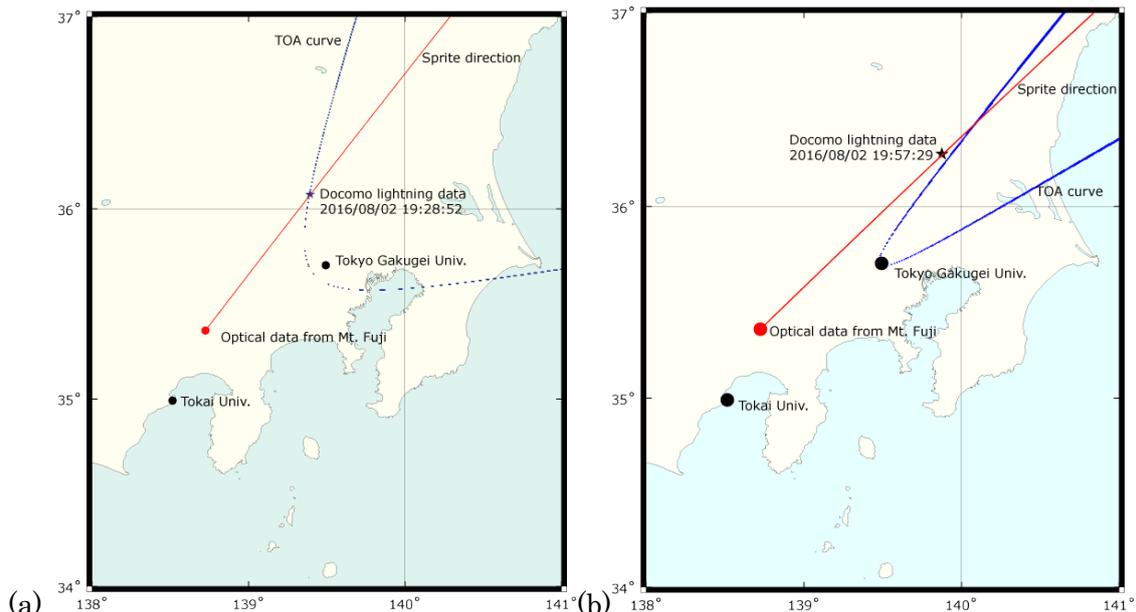


図 1 高高度放電発光現象観測点と VLF 帯電磁波の各観測点。富士山から観測されたスプライト方位と TOA 法によって決定された雷位置及びドコモ社による雷位置。(a) 2015 年 8 月 2 日 19 時 28 分 52 秒および(b)57 分 29 秒(JST)。

また、5 事例のうち 2 事例において東海大学、東京学芸大学両観測点で、VLF 帯電磁パルスを観測することが出来た。図 3 は 2015 年 8 月 2 日 19 時 28 分 52 秒および 57 分 29 秒(JST)にスプライトが発生した際に小金井で観測された VLF 帯電磁波の時系列プロットである。

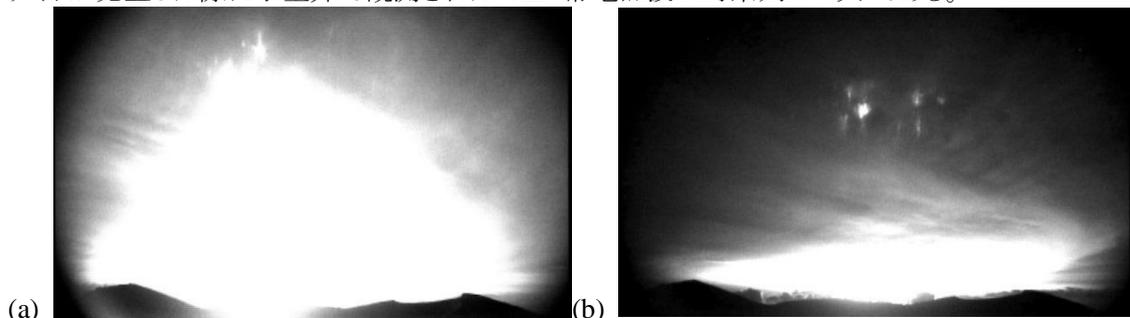
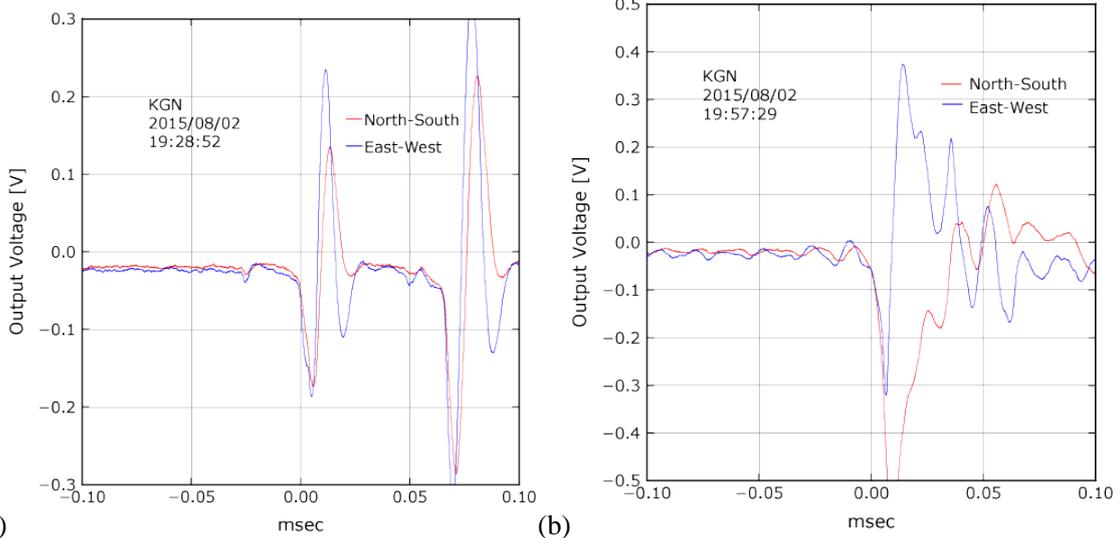


図 2 富士山頂から観測されたスプライトの事例。(a) 2015 年 8 月 2 日 19 時 28 分 52 秒および(b)57 分 29 秒(JST)。

この事例について高高度放電発光現象の位置評定と TOA 法による雷位置評定及び極性判別を行う。高高度放電発光現象の方位解析と、VLF 帯電磁波の TOA 法によって求められた落雷位置とドコモ社による落雷位置の関係は図 1 のようになった。丸印は各観測地点、星印はドコモ社による落雷位置、直線は富士山山頂から観測されたスプライト方位、曲線は、VLF 帯電磁波の TOA 法によって求められた落雷位置曲線となっている。

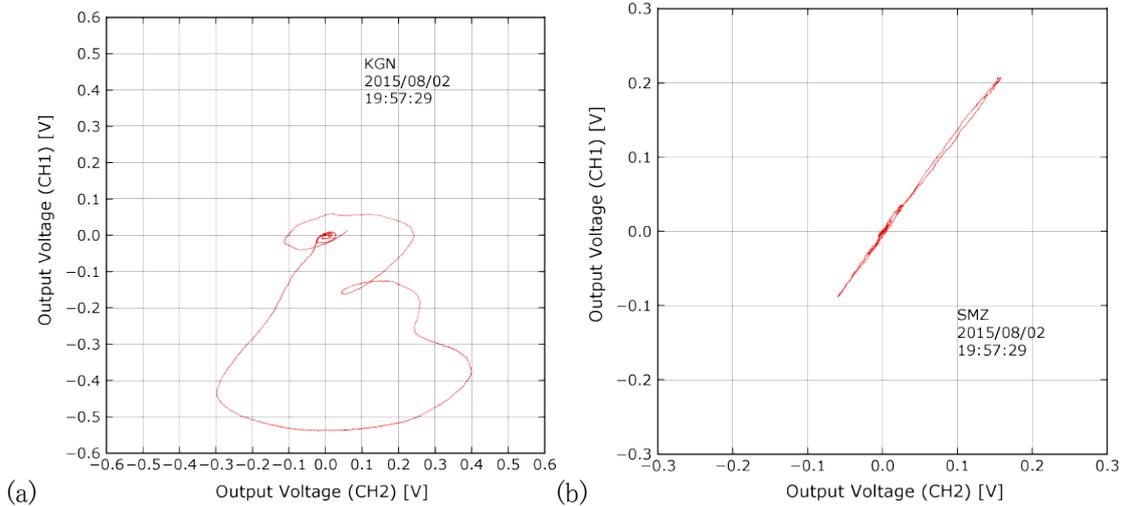
この結果より、VLF 帯電磁パルス観測装置はある程度の精度で落雷位置が特定できることを示せた。本事例では高高度放電発光現象発生位置と落雷発生位置がそれほどずれていないとも言える。

また室内実験より、磁場の向きと装置の変動の仕方が分かっている。このことを利用すると、落雷のおおよその到来方位が分かると、時系列プロットから落雷の極性について議論することが出来る。我々のデータからはこの 2 事例はどちらも正極性落雷であることが言える。ドコモ社のデータにおいては、図 3(a)は、負極性落雷としているが、相違の原因は不明である。(b)に関しては、ドコモ社のデータも正極性落雷と記述されており、極性が一致している。



(a) (b)  
 図3 スプライト観測時の VLF 帯電磁波波形(水平 2 成分)。(a) 2015 年 8 月 2 日 19 時 28 分 52 秒および(b) 57 分 29 秒(JST)。

また、8 月 2 日 19 時 28 分 52 秒の事例で MDF 法による方位解析を試みた。まず MDF 法に必要なリサーチ図形は、図 4(a), (b)のようになった。このリサーチ図形の角度とアンテナ角度を考慮し、到来方位を決定した。(a)の KGN の例では、波形の立ち上がりである位相がそろったリサーチ図形における直線の部分を到来角度とした。以上を元に決定した到来方位と雷位置データは図 5 のようになった。この図を見ると、ある程度の誤差はあるものの MDF 法でも概ねの雷位置は特定可能だといえる。



(a) (b)  
 図4 (a) 小金井及び(b) 清水で観測された VLF 帯電磁波のリサーチ図形。

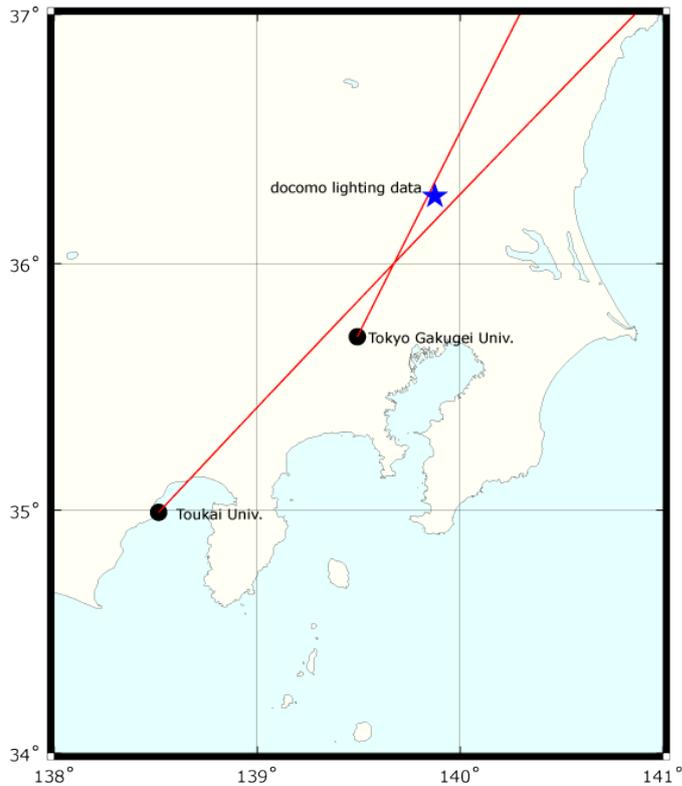


図5 MDF法による雷方位及びドコモ社雷位置データ。

#### 4. 富士山直撃雷発生時のVLF帯電磁波波形

また、本年度は8月13日5時6分15秒(JST)に富士山直撃雷と思われる落雷が発生している。図4は、富士山測候所1号庁舎外部に取り付けてある天頂カメラが捕らえた直撃雷の時間発展である。この現象に関しても東京学芸大学の観測点でVLF帯電磁波を観測することが出来た。図5は2015年8月13日5時6分15秒(JST)に富士山直撃雷が発生した際に小金井で観測されたVLF帯電磁波の時系列プロットである。

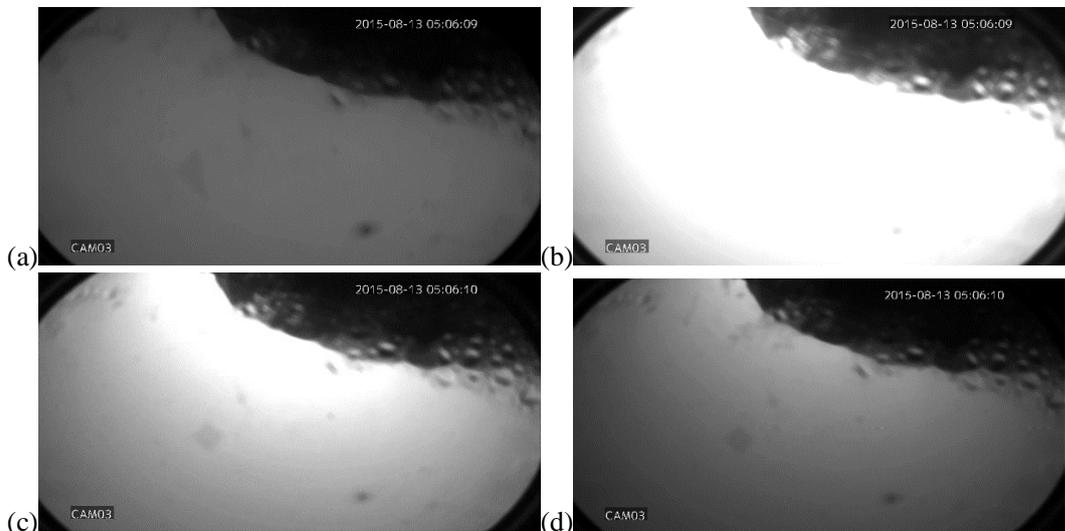


図6 天頂カメラによって撮影された落雷。(a), (b), (c), (d)の順で時間経過している。

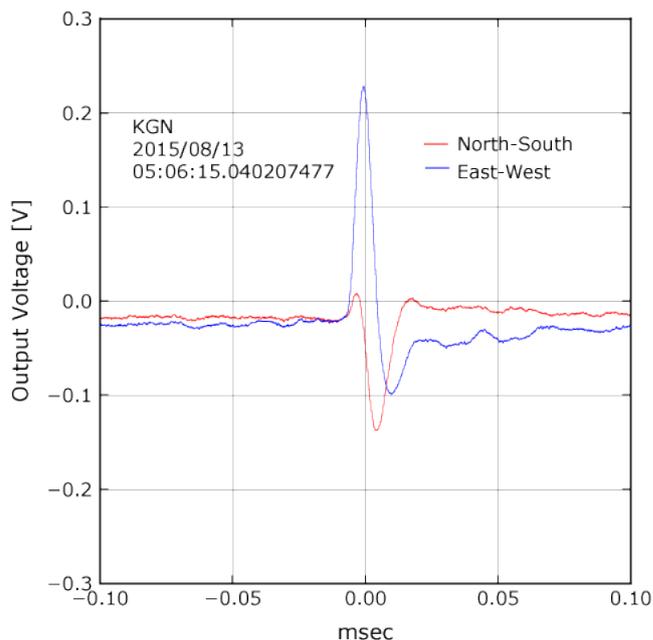


図 7 富士山直撃雷発生時の VLF 帯電磁波波形(水平 2 成分)

ドコモ社は、5 時 6 分 15 秒 40 ミリ秒に落雷が発生したとしている。ドコモ社が算出した雷発生時刻と小金井のトリガー時刻を比較することで、おおよその距離を算出しようと試みたが、ドコモ社の雷位置データはミリ秒までしか精度がなく、有効な距離差が出ないと考えられるので、距離の計算は行っていない。

図 5 の VLF 帯電磁波波形を見ると初期変動が東西方向は正、南北方向は負に変動していることがわかる。富士山山頂付近で落雷が発生し、VLF 帯電磁波波形が図 5 のように変動していると、発生した雷は負極性であるといえる。この結果はドコモ社の落雷極性と一致している。

## 5. おわりに

本研究では、富士山測候所での高高度放電発光現象及び直撃雷の観測と東海大学、東京学芸大学での VLF 帯電磁波観測の結果から落雷の位置評定や極性について考察することが出来た。今後も富士山頂及び地上からの観測を合わせて、雷活動の研究を進めていきたい所存である。

## 5. 参考文献

- (1) 佐尾和夫, 空電, 成山堂出版, p.151 (1981)
- (2) 長尾年恭, 鴨川仁, 馬場久紀, 成瀧友祐, 高村直也, 櫻田哲生, 上原宏, 東海大学海洋研究所研究報告, 37 (2016).