

雷雲の中に潜り込める世界最先端の雷研究の地、富士山

鴨川仁¹, 大気電気・雷研究グループ

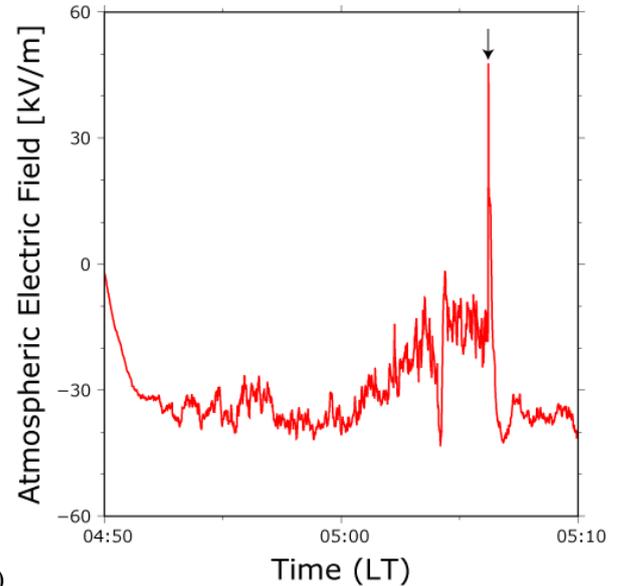
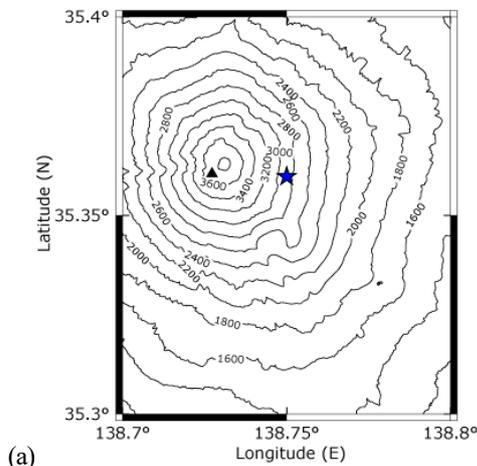
1. 静岡県立大学

1. はじめに

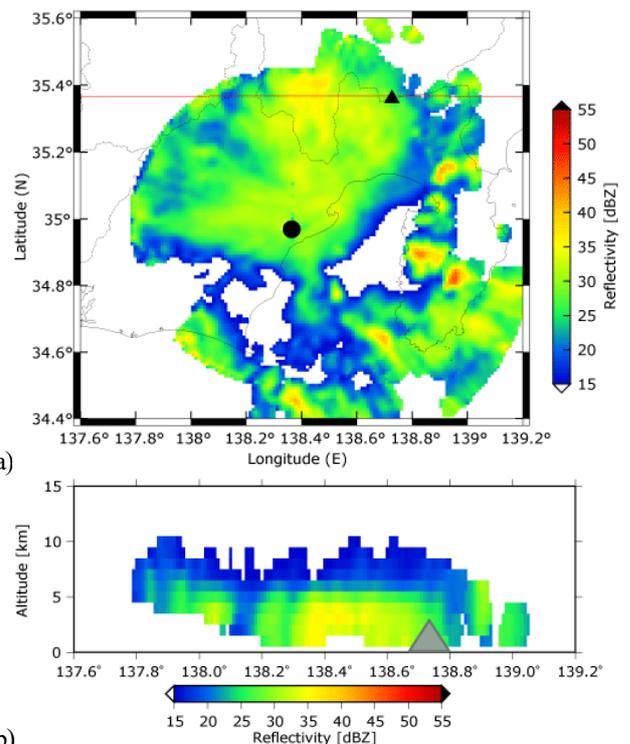
2008年からスタートした富士山山頂での大気電気観測は、宇宙線・放射線観測の補助的な役割として始まったものである。しかし数年の測定の結果、取得されたデータから大気電気研究を進展させる成果も得られた。それゆえ、2012年から大気電気研究は独立したグループとして2019年も観測を行った。コロナ禍ゆえ夏季観測が中止になった2020年も太郎坊・御殿場などを活用し研究活動を続けた。現在では、富士山山頂という高所を活用し雷に関連する諸現象の研究を行っている。近年では以下の4つのテーマを中心に観測研究を行っている。1) 被雷対策具体化のために接地系と部材間の接続状況の調査および富士山山体を測定器とした上向き雷放電の研究、2) 雷活動において発生する高エネルギー放射線、3) スプライトをはじめとする高高度大気中における放電現象および雷活動、4) 新型広帯域大気電場測定機器の試験、である。本稿では、以上4つのテーマを成果を紹介するにあたって、過去の成果で成果報告会の報告にて詳しく述べられていないものを中心に紹介をする。

2. 上向き雷放電

富士山のような尖鋭孤立峰では、上向きリーダーの雷放電が発生しやすいと予想される。2015年8月13日午前5時6分の旧富士山測候所の近隣で雷放電が発生した。本研究では、フィールド・ミル(FM)による大気電場測定、ログスキーコイルによる雷サージ電流測定、高精度カメラによる雷映像、NTTドコモ社の雷データなど、多種電磁氣的測定を用いて、雷放電現象について多角的に解析した。その結果から、本事例の雷は夏季の対地雷のほとんどを占める下向きリーダーの負極性落雷ではなく、上向きリーダーの負極性雷放電の可能性があると示唆した。



(b) 図1 (a) 2015/8/13 05:06の雷放電のNTTドコモ提供の放電位置(星). 三角は測候所の位置. (b) 2015/8/13に観測された大気電場. 矢印が雷放電の時刻を示す.



(b) 図2 2015/8/13 午前05:05における富士山周辺の雷雲の反射強度. (a) 高度2 km水平断面, 黒丸はXバンドレーダ基地局, 三角は富士山測候所を示す. (b) レーダーエコーの鉛直断面図. (a)の赤線部分が対象.

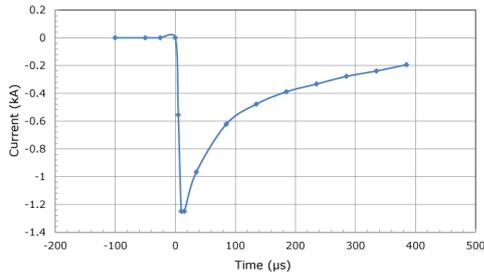


図3 2015/8/13 05:06 雷放電時の接地線測定電流。

落雷は、2015年8月13日午前5時6分に富士山東2kmの地点に負極性対地雷が発生した(図1)。単発の雷放電でいわゆる一発雷とみられる。5時5分の時の、富士山周辺の雷雲の反射強度の水平断面と鉛直断面を図2a, 2bに示す。図2より、この時間における富士山周辺の雷雲はそれほど発達していなかったと考えられる。

図3は落雷時の接地線電流波形である。高压ケーブル内蔵接地線に流れたピーク電流最大値は、約1.25kAであった。富士山測候所の山麓と繋がる接地線は、高压ケーブル内蔵接地線以外にもう一つ並列にあり、これに流れる電流も同じと仮定すれば、約2.5kA流れたと推測される。2014年までの富士山における継続的な観測の結果から、この波形データは、測候所の半径3km圏内の落雷にみられる。

図1bは富士山測候所に設置したFMによって測定した雷放電時刻周辺の大気電場である。図3が観測された時刻と同時刻に大気電場にパルス状の変化が見られた。この大気電場変動は負極性落雷のものにみられる。図1b, 3で考察した落雷地点の富士山からの距離、極性に関しては、図1aに示したNTTドコモの雷データとも整合的な結果を得た。

図4は、富士山測候所に設置した天頂カメラの映像である。本事例の雷放電の放電方向が上向きであったとすると、映像からこの放電は富士山測候所の東約2kmの地点から放電開始し、測候所や北西寄りの雷雲内に放電していったと考えられる。以上の結果から推定される本事例の雷放電のモデル図を図5に示した。

なお、ログスキーコイルを用いた結果は、本成果報告書の安本勝富士山環境研究センター主任研究員の報告をご覧ください。



図4 2015/8/13 05:06 の雷放電時の測候所に設置した天頂カメラの映像。画像上方向が北西。

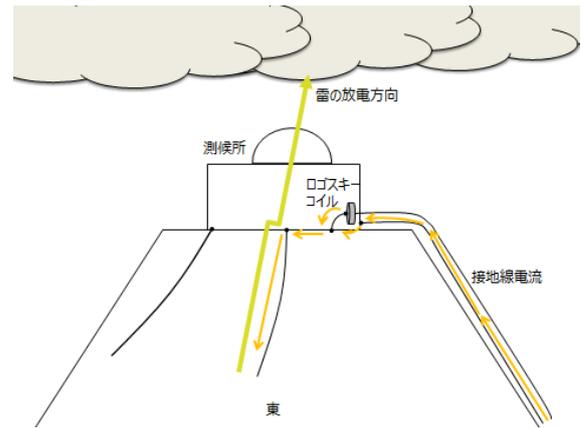


図5 2015/8/13 05:06 の雷放電のモデル図。

3. 雷活動で発生する高エネルギー放射線

雷活動に起因すると考えられる放射線が、冬季雷をはじめ、さらには Terrestrial gamma-ray flash (TGF)と呼ばれる雷雲上空で観測される変動まで様々な時と場所で観測されている。これらの放射線には、雷雲中の高電場に起因すると考えられる10秒以上持続する長時間の放射線変動と、雷放電に起因すると考えられる1ミリ秒程度の短時間の放射線バーストの2つのタイプが観測されている。特に、前者は冬季雷を代表として、放射線発生源と考えられる雷雲と観測地点の距離が短い場所で頻りに観測されている。

冬季雷活動時に地上で観測される事象は、落雷とほぼ同時に観測される短時間バーストの他に、落雷の数10秒程度前から上昇し、落雷発生とともに再び元の値に戻るような、放射線計数率の緩やかな変動が観測されている。しかも、そのエネルギーは数MeVから10MeV超と高エネルギーである。このような事象は、雷雲の高度が高い夏季雷時では地上で観測された報告がない。そのため、雷雲高度の低い冬季雷の場合、放射線の発生源と考えられる雷雲の高電場領域も低い高度で形成され、この領域で加速された高エネルギー電子は空気分子との雪崩的な衝突によって制動放射線(光子)を生成し、その一部が地上まで達したものと考えられる。

そこで、雷雲中では夏季雷でも冬季雷と同様の事象が発生しているかどうかを調べるために、日本で最も高く、また雷活動が盛んな独立峰である富士山の山頂において雷活動時の放射線変動を2008年より観測している。

本放射線観測は、放射線を観測している3つのグループが雷観測チームに参画し、各種大気電気観測と平行して行っている。初期は、鳥居建男福島大学特任教授(当時日本原子力研究開発機構)が参画、以後 David Smith 教授(カリフォルニア大学サンタクルーズ校)、榎戸榎戸輝揚理研チームリーダー(当時、京都大学)の2グループが参画している。

雷雲接近時に計測された放射線についての報告は過去の成果報告会で多数報告されているゆえ、そちらの報告書を参照したい。

4. 高高度放電発光現象と雷放電

本成果報告書において鈴木智幸博士による過去の成果の概要が示されているので、詳細はそちらを参照されたい。本稿では概要では紹介されていない画像を紹介したい。2013年8月1日から2日にかけてにTV局(テレビ朝日「奇跡の地球物語」とタイアップし、スプライトの撮影を試みた。Canon 社 EOS を用いて屋外に待機し雷放電が発生しているところに深夜カメラを向け、動画撮影を連続で行った。その結果4回、スプライトのカラー撮影に成功した。カラー画像からは鮮やかな赤色であることもはっきりと認識できた(図 6)。このスプライトは富士山から約 500~600 km離れた太平洋上で発達した雷雲の活発な雷放電活動によって発生したものであった(図 7)。2021 年にも同種の人力による機動的観測も計画したい。



図 6 2013/8/2 午前 1:46:48 (JST)に富士山山頂からカラー撮影した高高度放電発光現象(ジャンプコーポレーション撮影)。

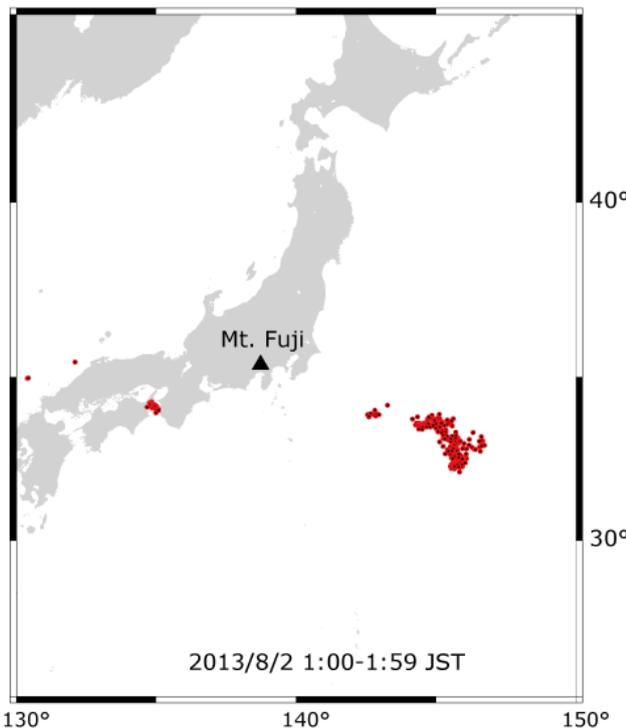


図 7 2013/8/2 午前 1 時台の落雷活動(WWLLN データより)。太平洋上の活発な雷活動が見てとれる。

5. 新型広帯域大気電場測定機器の実証実験

4)については観測機器(音羽電機社製 LATOM)の動作確認を行った(図 8)。本装置はダイナミックレンジが広く、1台の装置で幅広いレンジのデータを取得できる。2019 年の設置では安定した良好なデータが連続かつ無欠測で得られた。



図 8 大気電場測定機器。1号庁舎屋根に設置。設置も簡便に行えることが本測定器の特徴である。

6. 今後の展開

本稿にて、過去の成果を提示したが、2021 年では、次のような観測も行っていきたいと考えている。

1) GoPro などのアクションカメラを用いた機動的観測

2013 年に GoPro を用いて、山頂班委託による機動的観測を行ったところ山頂から落雷活動の高画質動画を得ることができた。定常設置のカメラとは異なり、対象物に向けて容易に撮影できるメリットが機動的観測にはある。2020 年に過去の機動的観測のデータを再検討したところ高高度放電発光現象は取られられなかったものの、様々な雷放電が撮影できたことから(図 9)、本観測手法の有用性が明瞭になった。2021 年には広視野のアクションカメラの導入し、雷放電と高高度放電発光現象が同時に撮影できるようにする。



図 9 2013 年夏季観測における山頂班による GoPro を用いた機動的観測による落雷撮影

2) コロナ放電の動画撮影

山頂勤務者ならばよく知っていることだが、雷雲接近時にはコロナ放電によるノイズを直接耳で聞くことができる。測候所の金属突起部(図 10)、接合部などから放電していると考えられるが、これらの音声のみならず、コロナ放電の映像を取得を目指したいと考える。

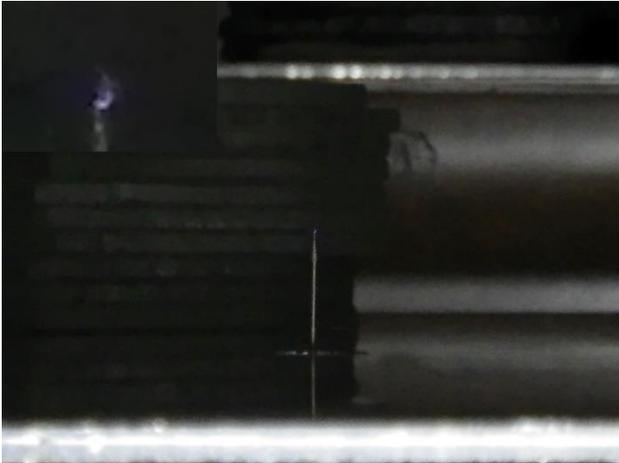


図 10 実験室内でのコロナ放電。強電場下において先端部は放電および発光する。写真は自然界での放電をイメージしやすくするために上下逆さまで表示した。左上に先端部の拡大写真を付けた。

3) Full HD 映像の高高度放電発光現象・雷放電

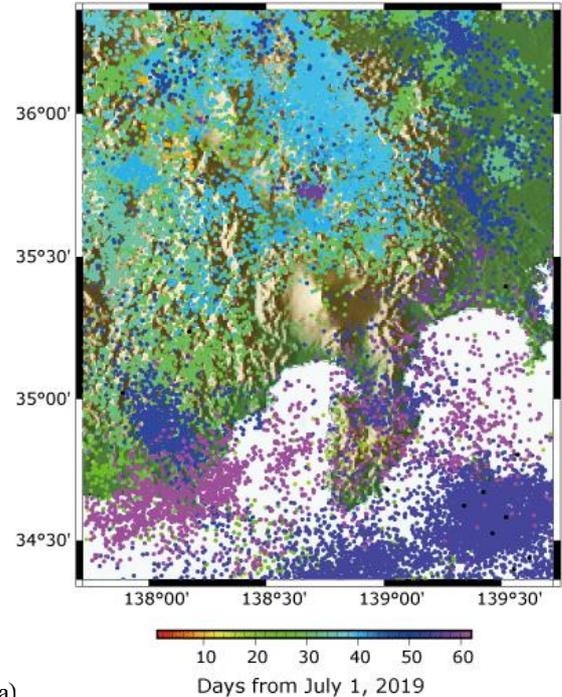
国内一眼レフで高性能として評価が高い、SONY 社の $\alpha 7$ を、2015 年放送文化基金の支援で導入をした。しかしそれ以降、本装置を用いてイベントトリガー式での映像獲得には、山頂という過酷環境のためになかなか成功に至らなかった。2019 年に初めて、装置の正常動作にも成功し雷活動を捉えることができたが(図 11)、高高度放電発光現象を自動撮影するには、装置の記憶容量に限界が生じる問題なども発生した。2021 年は、これらを解決するシステムにしたい。



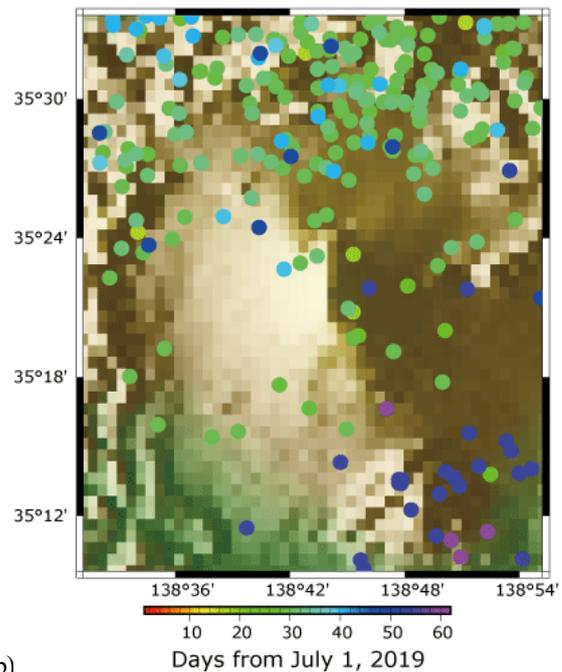
図 11 2019 年8月にイベントトリガ形式で録画された Full HD の雷放電画像。

4) Blitzortung の山頂・越冬(通年)動作

富士山周辺部の落雷位置標定(図 12)の精度を上げるため、現在、富士山周辺に設置している Blitzortung の設置数を増強する。御殿場、太郎坊では通年観測が行っているが、現在山頂では短期的にしか越冬観測が行えていない。ゆえに今後は山頂での通年観測を目指す。この目的にはインターネット回線の確保が重要であり、そのための電力確保が必要となる。



(a)



(b)

図 12 2019 年 7 月 1 日から 8 月 31 日までの富士山周辺部における雷活動。Blitzortung.org にて検知したもの。(a) 富士山周辺を含む図 (b) 富士山山体への落雷。