

令和 5 年 6 月 30 日現在

機関番号：23803

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20H02419

研究課題名（和文）富士山頂高度を活用した落雷減災のための多角的雷研究

研究課題名（英文）Multidisciplinary studies of lightning for the disaster mitigation on the summit of Mt. Fuji

研究代表者

鴨川 仁（Kamogawa, Masashi）

静岡県立大学・その他部局等・特任教授

研究者番号：00329111

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,600,000円

研究成果の概要（和文）：富士山頂という場所を活用し雷に関連する複数の研究を行い成果を得た。富士山麓に接続された接地導体に流れる電流を山頂から測定する山体規模の雷観測システムを開発した。雷雲・雷活動における高エネルギー放射線観測においてステップリーダーから発生するX線も含む地球ガンマ線フラッシュを検知した。スプライトをはじめとする高高度放電現象の観測において降雨量とスプライト発生との関係を示した。Blitzortung.orgという雷放電位置評定ネットワークを導入し、富士山での落雷検知率を上げ精度評価を行った。1台のセンサーのみでワイドレンジ計測ができるフィールドミルの動作試験を行い、動作が良好であることを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

雷放電直近観測および雷放電関連現象を含む全容観測が可能な富士山頂という日本最高峰かつ独立峰の長所を生かした観測により、多種多様な成果を得ることができた。これらの成果が得られたことにより富士山頂という観測点が雷研究の優れたテストフィールドであることを示すことができた。

研究成果の概要（英文）：At Mt. Fuji, we have conducted several studies related to lightning and obtained the following results. A mountain-scale lightning observation system was developed to measure the telluric current flowing through a grounded conductor connected to the root of Mt. Fuji. We detected terrestrial gamma-ray flashes (TGFs) with X-rays generated from stepped leaders in the energetic radiation observations of thunderclouds and lightning activity. In the observation of transient luminous events such as sprites, we showed the relationship between the amount of rainfall and the occurrence of sprites. The operation of a newly-designed field mill with wide-range measurements was tested.

研究分野：大気電気

キーワード：雷 高高度放電発光現象 自然放射線 接地 大気電場

### 1. 研究開始当初の背景

現代社会でも雷被害は増加傾向であり、人的災害や、電気施設のインフラ被雷による停電、IoT 社会に向けた低電圧機器の故障など、落雷発生予測などの減災のニーズは高い。そのような状況の最中で、科学研究の中でも非常に長い歴史を持つ雷研究分野は、多くの成果で雷放電及び様々な関連現象を発見、解明してきた。しかし、日常的身近な研究対象にもかかわらず、いまだ重要な未解明問題があり、落雷予測等を困難にさせている理由になっている。解明しにくい理由は、測定器への被雷で直近観測が極めて困難、可視観測では雲に遮られやすい、以上2つを解決すると思われる雷電波測定では目的とする分解能・検知率が得られないなどの技術的困難のためである。

### 2. 研究の目的

本研究では、これらの技術的問題・制限を解決する雷雲雲底高度に届く富士山頂にて雷放電直近観測及び下層雲より高い山頂高度から広視野で雷や積乱雲の観測を行い、落雷防災へ向けた雷・関連研究の重要な基礎的課題を解決する。

### 3. 研究の方法

本申請では、落雷予測・減災に早期につながるとみられる次の5つの課題へ焦点を当てる。観測は旧富士山測候所(現・富士山特別地域気象観測所)で行った。ただし4)については旧測候所以外の富士山周辺地域でも観測を行っている。

- 1) 富士山山体を測定器とした雷の研究
- 2) 雷雲・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
- 4) 雷放電位置標定
- 5) 新型広帯域大気電場測定機器の試験

### 4. 研究成果

富士山という場所を活用し雷に関連する研究の方法で述べた5つの研究を行い、以下の成果を得た。

#### 1) 富士山山体を測定器とした雷の研究

富士山麓に接続された接地導体に流れる電流を山頂で測定し、雷放電観測システムを開発した。この電流測定から、旧測候所に被雷した負極性落雷、上向きリーダーやステップリーダーなど、雷の種類とリーダーを特定した。その結果、本観測システムは、雷雲の接近に伴う静電場やリーダーを含む雷放電の計測システムとして有効であることがわかった。

#### 2) 雷雲・雷活動において発生する高エネルギー放射線

本プロジェクトの期間を含む過去10年以上の観測においては雷雲起源のGlowないしはロングバーストとよばれるガンマ線はしばしば検知している。しかし2022年は富士山頂観測を始めてから初めて地球ガンマ線フラッシュ(Terrestrial Gamma-ray Flashes: TGFs)を3回観測した。これらはコンパクトリターンストロークと呼ばれる、地面から2km以内に発生する雲から地面への負極製対地雷で、一般的に非常に強力なリターンストロークを有していたことがわかった。さらに図1に示されるように、ステップリーダーに伴うX線も同時に取得されており、本研究分野で知られる複数の高エネルギー放射線が一つの雷放電にて取得できた。

#### 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

本科研費のプロジェクトの前に取得された事例について、詳細解析を行い、学術論文を2論文出版した。その事例は、2013年7月22日、メソスケール対流系(MCS)における層状雲上空で5個、対流雲上空で1個のスプライトが富士山頂から観測されたものである。

山頂にて観測が行われた2021年、2022年いずれもスプライトの撮影には成功している(図2)。

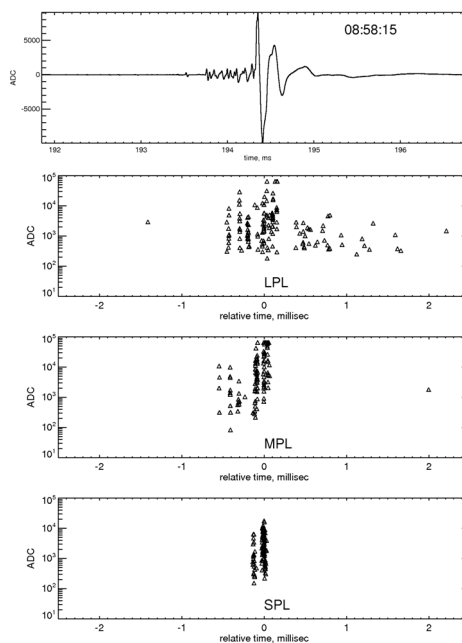


図1 2022年7月26日に富士山頂で観測されたステップリーダーX線/TGF複合イベントのVLF電波信号(岐阜大学王道供教授提供)とX線時間/エネルギー散布図(時刻は日本時間)

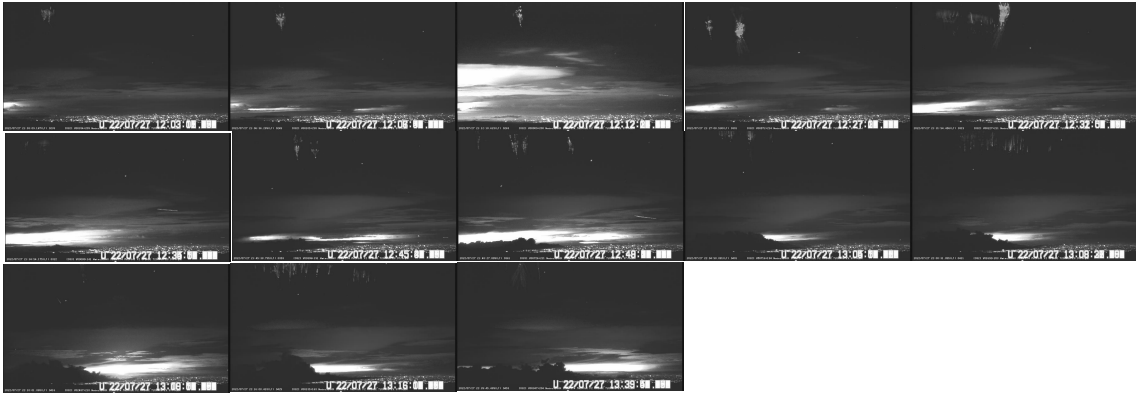


図 2 7月 27 日 1200 ~ 1400UTC に観測された 13 事例のスプライト。

4) 雷放電位置評定

Blitzortung.org という、雷放電位置評定ネットワークを導入した(図 3)。本研究では夏季に山頂、通年で御殿場、太郎坊、富士ヶ峰に設置し、富士山周辺の落雷検知率を上げるための設置を行った。この導入のおかげで、他の落雷データカタログとの比較評価の質が向上した。

5) 新型広帯域大気電場測定機器の試験

雷雲から発生する電場を測定するにはフィールドミルが使用される。晴天静穏時の地表での大気電場強度は約 100 V/m 程度と微弱であるが、富士山のような雷雲直下では 100 kV/m 以上に達するため、ワイドレンジに測定できる装置が必要である。そこで音羽電機工業株式会社は、1 台のセンサーのみでワイドレンジ計測ができるフィールドミルを数年前に開発した。本プロジェクトでは複数年にわたり本機器の連続動作確認を行った。その結果、欠測もなく動作が良好であることも確認できた。雷活動が活発であった 2022 年においても計測値の飽和はわずか 1 回のみであり、幅広い強度の測定ができることが確認できた。

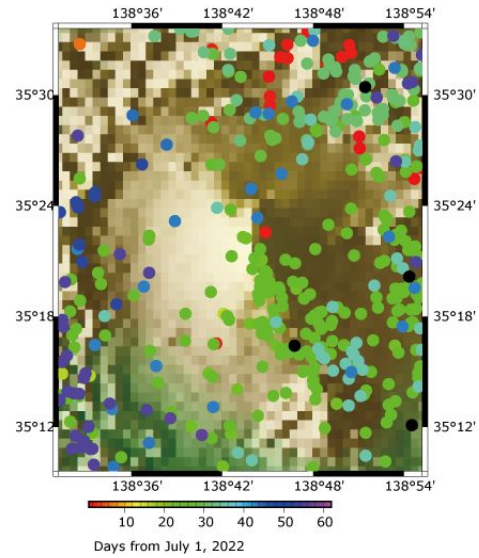


図 3 Blitzortung.org によって検知された富士山周辺の 2022 年夏期の雷放電。

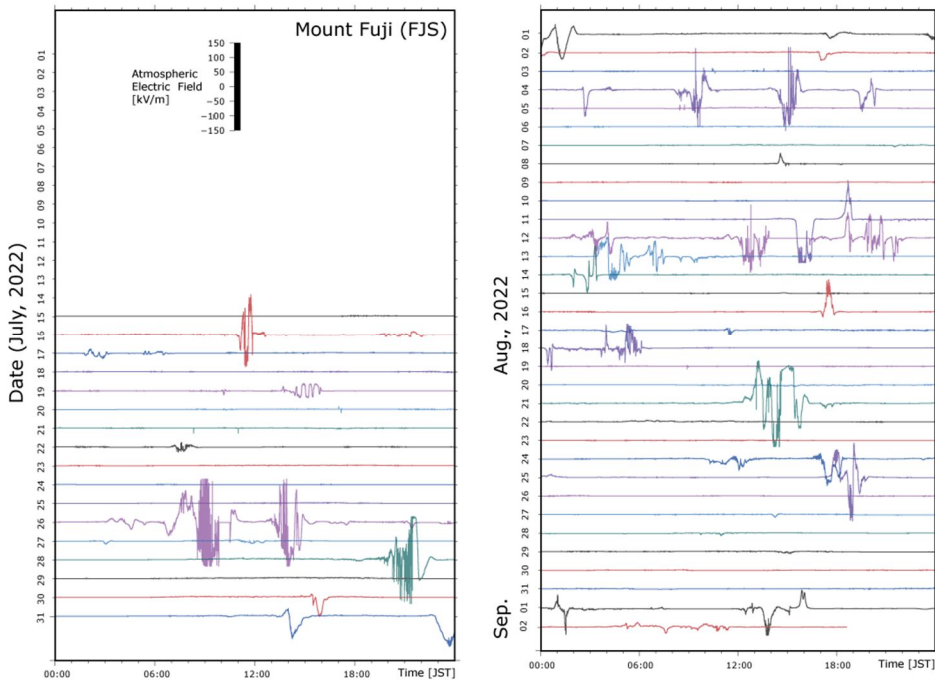


図 2 2022 年夏期観測中のフィールドミルの時系列データ

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Yasumoto Masaru, Kamogawa Masashi, Sasaki Kazuya, Dokiya Yukiko	4. 巻 142
2. 論文標題 Lightning Observation System by Measuring Current Flowing through the Grounding Conductor on Mt. Fuji	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Fundamentals and Materials	6. 最初と最後の頁 67～79
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1541/ieejfms.142.67	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Minamoto Yasuhiro, Kamogawa Masashi, Kadokura Akira, Omiya Satoshi, Hirasawa Naohiko, Sato Mitsuteru	4. 巻 263
2. 論文標題 Origin of the intense positive and moderate negative atmospheric electric field variations measured during and after Antarctic blizzards	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Atmospheric Research	6. 最初と最後の頁 105812～105812
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.atmosres.2021.105812	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Duan Maomao, Sakamoto Takanori, Enoto Teruaki, Wada Yuuki, Kamogawa Masashi, Ito Koji	4. 巻 9
2. 論文標題 Catalog of 525 sprites observed over Japan from September 2016 to March 2021	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Heliyon	6. 最初と最後の頁 e13197～e13197
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.heliyon.2023.e13197	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Suzuki Tomoyuki, Kamogawa Masashi, Fujiwara Hironobu, Hayashi Syugo	4. 巻 13
2. 論文標題 Temporal and Spatial Evolution of Precipitation under the Summer Sprite Parent Mesoscale Convective Systems in Japan	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Atmosphere	6. 最初と最後の頁 1661～1661
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/atmos13101661	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Suzuki Tomoyuki、Kamogawa Masashi、Fujiwara Hironobu、Hayashi Syugo	4. 巻 13
2. 論文標題 MCS Stratiform and Convective Regions Associated with Sprites Observed from Mt. Fuji	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Atmosphere	6. 最初と最後の頁 1460 ~ 1460
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/atmos13091460	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計1件

1. 著者名 鴨川 仁、吉田 智、森本健志	4. 発行年 2021年
2. 出版社 成山堂書店	5. 総ページ数 238
3. 書名 雷の疑問56	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------