

飛翔体を活用した雷活動に関連する高エネルギー放射線の研究

高橋周作, 新田英智, 東郷翔帆, 鴨川仁 (学芸大)

1. はじめに

雷活動及び雷雲に伴う高エネルギー放射線(ガンマ線エネルギー領域の制動X線)が発生していることが近年わかってきた(1)。落雷時に発生する数ミリ秒オーダーのショートバーストは、雷放電路の強電場での制動放射が原因とされている(2)(図1)。一方、雷放電を伴わない雷雲の通過時においても高エネルギー放射線が観測されている。冬季雷雲(3)(4)、夏季雷雲(5)いずれもが地上ないしは山岳で高エネルギー放射線が観測されている。高エネルギー放射線の継続時間は10秒程~数分で雷雲の通過とは同期しているが、雷放電とは同期していないためショートバーストと異なるロングバーストという(図1)。いずれのバーストの発生メカニズムは Relativistic runaway electron avalanche (RREA)説が提案されている(6)。RREAは二次宇宙線等によって発生した電子が、雷雲内の強電場内で加速され、空気分子との衝突で雪崩的にさらなる電子を発生させ、制動X線を起こすというメカニズムである。

冬季雷時のロングバーストの発生位置は Torii らによって同定されている(4)。地上で検知された放射線量を RREA の理論で説明するには、Torii らのモンテカルロ計算によれば、冬季雷雲下部に約400 kV/mの電場が必要であり(7)、雷雲の放電閾値 180 kV/m(8)を大きく超え、地上電場値は概算で200 kV/mとなる大きなものである。

本講演ではこれまでに当グループで行われてきた観測と今後飛翔体を用いた観測での取り組みについて述べる。

2. これまでの観測結果

2-1 石川県における冬季雷の観測

日本海側は世界的にもまれに冬季に雷が発生する地域である。一般的に雷雲から発生した高エネルギーの放射線は空气中で減衰するため、雲底高度が数 km 程度ある夏季の積乱雲から到来する放射線を地上で検知することは困難である。一方、冬季雷は数百 m ~ 1 km 程度と低いため、地上での検知が出来る。図2はその観測例の一つである。観測には電界計(フィールドミルと) NaI シンチレータ搭載の放射線機器を用いている。大気中の電界強度が約 -20 kV/m となった時に 3 MeV を超える放射線強度が急激に上昇していることが分かる。これらのデータと他の気象データを組み合わせて、雷雲内部の電界を見積もったところ、鳥居らが見積もった電場の値と比べ、一桁低い値となった。地上から上空の電場強度は見積もるだけでは、モデルの整合性を確かめることが出来ないため、直接雷雲内部の電場を計測する必要がある。

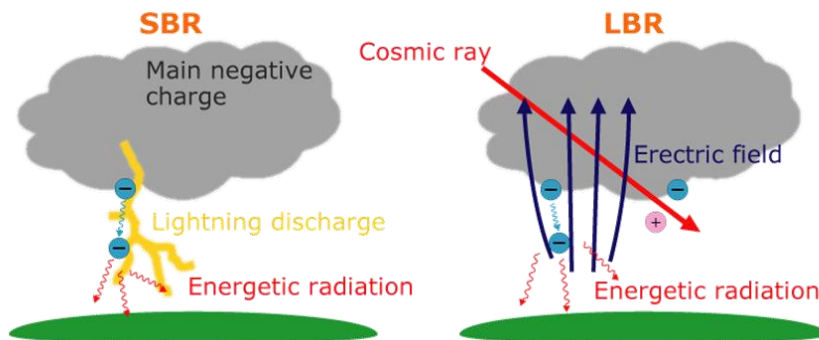


図1 ショートバースト、ロングバーストの発生メカニズム

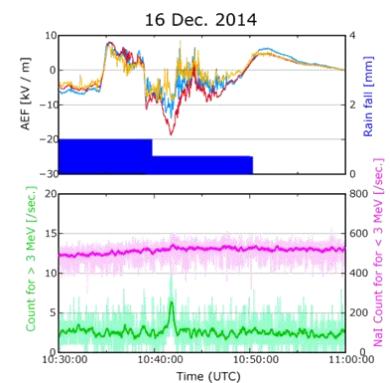


図2 冬季観測の結果

2-2 富士山山頂における山岳雷の越冬観測 Fuji-sat プロジェクト

地上観測の結果をうけ、飛翔体を用いた科学観測の技術を学生が身に着けるための訓練として富士山山頂の環境を生かした Fuji-sat プロジェクトを進めている。富士山山頂には旧気象庁富士山測候所がある。測候所内は、冬季には電力が確保できず、立ち入ることができないうえ、気温は-20°C近くになる。Fuji-sat では、学生たちがこのような過酷な環境を利用し、彼らの作成した機器で、価値のある科学データの取得を目指している。

Fuji-sat 教育プログラム導入の目的は、1)現在短期的な観測や運用に偏っている宇宙教育プログラムに、長期運用のための訓練を導入することと、2)学生たちの工学的な学習活動に、質の高い理学ミッションを付け加えることである。このようなモチベーションで、我々はこのプロジェクトを達成するため、2013年度より取り組んでいる。2013年8月か

ら 2014 年 6 月の観測では、長期データ取得の技術を目指した。研究協力者の稲崎氏の力を借りながら、富士山測候所での越冬観測を試みた。この試みを通して、我々は、太陽パネルによる充電システムによって、富士山測候所の越冬観測が十分に行えることを確かめた(9)。2016 年度の観測では、太陽パネルを主電源として、ガイガーカウンター管を用いた放射線の越冬観測を行っている(図 3)。通信部分は SMS 通信によるデータダウンリンクに機能を絞り実践しており、8 月末の設置以来、2016 年 10 月 26 日現在でも安定的にデータが取得できている(図 4)。



図 3 Fuji-sat3 設置写真 於 富士山測候所

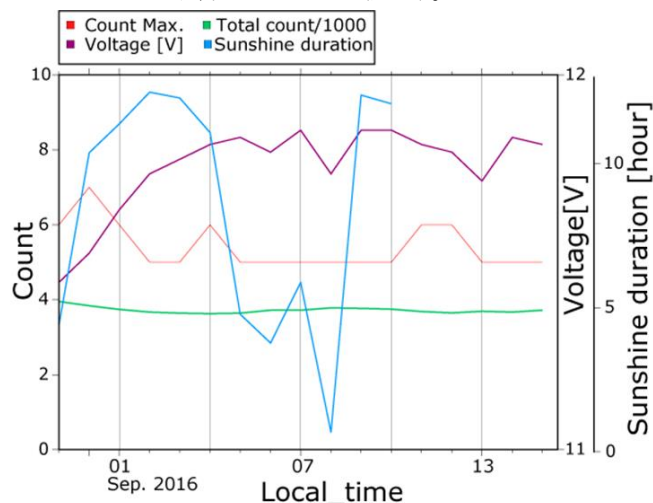


図 4 fuji-sat3 の観測結果

3. バルーンによる観測計画

Fuji-sat で過酷な環境での観測・運用が出来れば、スーパープレッシャーバルーンでの放射線観測ができると考える。バルーン観測をする上での主な利点は2つある。まず初めに、バルーンから観測することで、雷雲内部及び雷雲よりも高い高度での観測ができる。これまでの研究で、地上観測では雷雲活動に伴うショート・ロングバーストの両方が検知されている。一方、人口衛星の CGRO や RHESSI によって、地球から雷と同期した瞬間的な放射線量の増加現象が検知されてきたが(1)、ロングバーストは報告されていない。これは、宇宙空間に伝搬されていくにつれて減衰されるため、バックグラウンドに埋もれてしまっているのではと推測される。バルーンを用いることで、上方に伝搬するショートバーストのみならずロングバーストをとらえることが期待される。

バルーン内部には、NaI シンチレータを搭載した放射線測定器、ゴンドラの底に、大気電場測定器(フィールドミル)、を取り付ける。これによって放射線量が増加したときのバルーン周辺の電場の変動を同時測定することが出来る。

装置の回収ができることが好ましいが、万が一バルーンが行方不明になった場合を考え、SMS 通信によるデータの送信を試みる。現在 SMS による通信は文字数と一日当たりの送信件数が限られている。例えば au 端末では 2016 年 10 月現在、一通当たり半角 160 文字、一日当たりの送信制限数は 200 通(さらにひと月当たりの送信件数は 3000 通)である(10)。このため、限られたデータ量の中でどの情報を送るのが今後の課題である。

4.まとめ

雷雲から発生する放射線は、未だそのメカニズムが未解明な部分が多く、飛翔体を用いた観測研究が必要である。我々のグループの地上・山岳観測の報告と飛翔体を用いた観測研究の課題をまとめた。

参考文献

- (1) J. R. Dwyer et al., High-Energy Atmospheric Physics: Terrestrial Gamma-Ray Flashes and Related Phenomena, Space Sci. Rev., 173, 133-196, 2012.
- (2) Leonid P. Babich et al., Analysis of the experiment on registration of X-rays from the stepped leader of a cloud-to-ground lightning discharge, J. Geophys. Res., 118, 2573-2582, 2013.
- (3) T. Torii et al., Observation of gamma-ray dose increase associated with winter thunderstorm and lightning activity, J. Geophys. Res.107, 4324-4332, 2002.
- (4) T. Torii et al., Migrating source of energetic radiation generated by thunderstorm activity, Geophys. Res. Lett., 38, L24801, 2011.
- (5) T. Torii et al., Gradual increase of energetic radiation associated with thunderstorm activity at the top of Mt. Fuji, Geophys. Res. Lett., 36, L13804, 2009.
- (6) A. V. Gurevich et al., Runaway electron mechanism of air breakdown and preconditioning during a thunderstorm, Phys. Lett. A, 165, 463-468, 1992.
- (7) T. Torii et al., Monte Carlo Simulation for the Source of Transient Energetic Radiation Generated by Thunderstorm Activity, J. Atmos. Electricity, 34, 1-7, 2014.
- (8) T. C. Marshall et al., Electric field magnitudes and lightning initiation in thunderstorms. J. Geophys. Res., 100(D3), 7079-7103, 1995.
- (9) H. Nitta et al, Long-term demonstration at the summit of Mt. Fuji using a handmade handy data logger for school education Bull Inst. Oceanic Res. & Develop., Tokai Univ. (2016) ,37, 15 - 20
- (10) <http://www.au.kddi.com/mobile/service/mail/sms/>