

雷や雷雲からの放射線の観測と解析

電気電子情報工学専攻
宇宙情報工学研究

MA11025 岩田 憲一^{いわた けんいち}
指導教員 久保田 あや

(担当教員 玉川 徹 (理化学研究所))

(担当教員 土屋 晴文 (日本原子力研究開発機構))

1 はじめに

近年、自然雷からの X 線・ γ 線検出が報告されていた。これは雷雲等の電場によって相対論的領域まで加速された電子からの制動放射 X 線を検出していると考えられていた。具体的な例として、古くは放射線検出器を搭載した航空機による観測 [1] や、乗鞍岳宇宙線観測所のような高地における観測から検出が報告されていた。また特に日本の厳冬期において、福井県敦賀市にある高速増殖炉もんじゅや新潟県にある柏崎刈羽原子力発電所に設置されている環境モニタリングポストから雷雲活動に同期した放射線量の増大が検出された [2]。ところがその詳細は不明であった。そこで、この現象をその粒子種、到来方向、エネルギースペクトルを詳細に見るために理化学研究所を中心とした研究チームが結成され、雷からの放射線の観測と同時に、光、音、電場の測定も同時に出来るシステムを構築した。芝浦工業大学でも 2009 年度の総合研究として菅野が γ 線、荷電粒子の絶対強度補正のための環境モニターを製作し (文献 [3])、2010 年度の総合研究として筆者が新たに増設した観測システムのために光検出器を製作した (文献 [4])。本研究の目的は雷や雷雲からどのようにして長時間の放射線のバーストが起こっているかを明らかにすることである。

2 実験概要

本実験は GROWTH (Gamma-Ray Observation of Winter THnderclouds) 実験という名称で 2006 年 12 月より観測を開始した。GROWTH 実験では雷雲や雷という突発現象を捉える必要があるため、屋外で長期に安定して動作する自立型の観測環境が必要となる。また雷雲は移動しながらガンマ線を放つ事がわかってきており、放射線が大気中を伝搬することのできる距離は短いため、多くの検出器を、お互いに距離を離して置く事が望ましい。そこで本実験では普段から放射線を監視するためにモニタリングポストという装置を稼働させている柏崎刈羽原子力発電所内の



図 1: 柏崎刈羽原子力発電所の航空写真 (Google map より)

建物の屋上へ図 1 のようにして検出器を置くことで、冬の間に連続して稼働させて観測を行った。これにより、我々の検出器のデータとモニタリングポストのデータを合わせて解析に使用する事で多地点観測を実現した。加えて、観測と同時に周囲の環境をモニタリングする事で実際に雷が起こっているかなどが分かるようにした。これらにより雷の光や地表での電界強度から雷雲の存在をとらえる事ができる。

3 2種類のバースト

過去の研究から雷や雷雲からの放射線は継続時間によって 2 種類に分けられる事がわかってきている。2 種類のうち継続時間が 1 秒以下のものを短時間バースト、数十秒から数分、場合によっては数十分にも及ぶものを長時間バーストと呼称することにした。このうち長時間バーストは夏季の雷や雷雲の地上観測では検出されず、夏季の高山での雷観測と冬季の雷雲からのみ見られる。冬季の雷雲活動はアメリカの五大湖周辺、ノルウェー東海岸、日本海沿岸の 3 カ所でのみ見られる非常に稀な現象である [5]。そのため長時間バーストは観測例が少なく、未だ十分な研究がなされていない。GROWTH 実験において我々は長時間バーストを中心に観測を行った。

4 観測結果

実験開始から現在までに短時間バーストを 7 例、長時間バーストを 11 例観測する事に成功した。その全ての長時間バーストにおける 3-10MeV の γ 線強度の時間変化を図 2 に示す。これらのうちで 2010 年 12 月 30 日のイベントのみが際立ってカウント数が高くなっている事がわかった。これは非常に強力な放射線のバースト現象が起きたか、またはバースト源が検出器の近傍にきていたことを示している。カウントの増大に加えて、雷との関連においても他に類を見ない結果であったため、このイベントを中心として解析を行った。

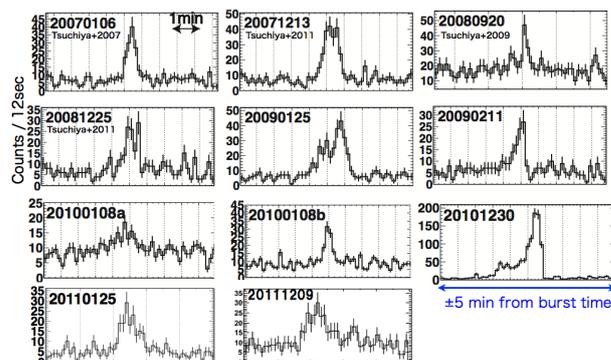


図 2: 全ての長時間バースト。図中のデータ点には誤差 1σ を表示。

5 解析

図3に過去の観測で得られたデータのうち典型的な長時間バーストを示す。まずプラスチックシンチレータに増大が見られないことから、検出器に入ってきたのは荷電粒子ではなく γ 線であることがわかる。また γ 線の増大開始と雷の間には70秒の差があることから関連性は見られない。

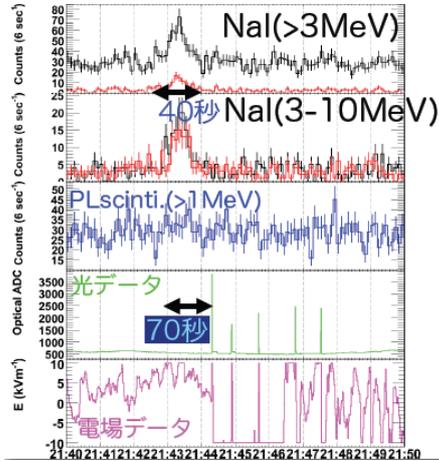


図3: 2007年1月6日のイベントのガンマ線、荷電粒子、可視光、電場の強度変動(文献[3][6])。図中の横軸は世界時間。データ点には誤差 1σ を表示。

2010年12月30日に観測された放射線の詳細な時間変動を図4に示す。図4上側が我々の設置した検出器daq0とdaq1(図1を参照)からの出力、図4下側が原発側が設置しているモニタリングポスト(MP)のうち特に指示値の増大が見られた3基からの出力である。また図4中央の縦の点線は光検出器に瞬間的に強い光が入射した瞬間、すなわち雷が発生した時刻を示している。これを見ると、雷が発生した瞬間に放射線の放射が止んでいる事がわかる。

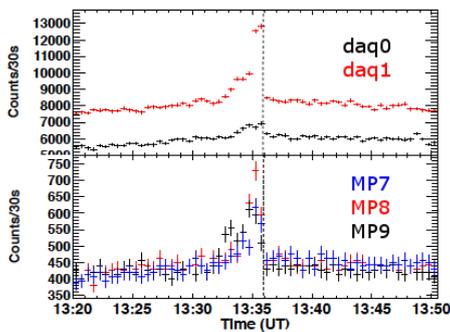


図4: 2010年12月30日に得られたイベント(上)我々の検出器(下)周囲のMPの30秒値での γ 線の強度変動。図中のデータ点には誤差 1σ を表示。

図5に13:33:00-13:35:55間のバーストの γ 線スペクトルを示す。純粋にバーストのスペクトル(図5黒)を取得するため、バースト前後である13:27-13:32, 13:37-13:42の2つの期間の平均スペクトル(図5青)バックグラウンドとしてスペクトル(図5赤)から差し引いている。この結果から今回のバーストは最大 ~ 20 MeVのエネルギーを持っていた事がわかった。

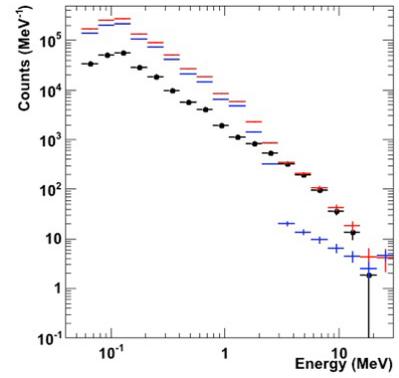


図5: 13:33:00~13:35:55間のバーストスペクトル。赤:ガンマ線ソースからの放射。青:バックグラウンド。黒:ソースからバックグラウンドを引いたもの。

6 まとめと考察

理化学研究所で行われている雷や雷雲からの放射線の観測実験に2010年より参加し、短時間バーストを2例、長時間バーストを3例観測する事に成功した。また装置に入射した γ 線は最大10~20MeVのエネルギーを持っていた。このことから、 γ 線は >20 MeVの電子による制動放射によって生成されたと考えられる。他に γ 線の生成プロセスとしてシンクロトロン放射や逆コンプトン散乱が考えられるが、どちらのプロセスも10~20MeVの γ 線を生成するには、元となる電子のエネルギーが数GeV~1TeVという非常に高いエネルギーを持たなければならない。仮に雷雲中の電場強度を典型的に観測される $300\text{kV}\cdot\text{m}$ 程度とすると、電子はその電場中を10km走る必要がある。これは現実的ではないため、 γ 線の生成は制動放射によると考えるのが自然である。

また、長時間バーストの中でも特異な特徴を持った2010年12月30日のイベントを中心として解析を行った。その結果、典型的なイベントである図3では雷の30秒前にバーストが終了しているが、このイベントは雷が発生すると同時に放射線の放射が停止するという他に類をみない特徴を持っていた。これはまさに雷雲中の電場によって粒子が加速され、加速された粒子からの制動放射によってガンマ線を放射しており、落雷によって粒子を加速していた電場領域が破壊された、あるいは極端に弱まったことを如実に示していると考えられる。

参考文献

- [1] M. McCarthy et al. Geophys. Res. Lett. 12, 393 - 396, 1985
- [2] T. Torii et al. J. Geophys. Res., 107: 2-1, 2002.
- [3] 菅野雄太 総合研究論文(芝浦工業大学) 2009
- [4] 岩田憲一 総合研究論文(芝浦工業大学) 2010
- [5] 道本光一郎, 冬季雷の科学, コロナ社, 1998
- [6] 榎戸輝明 修士論文(東京大学) 2007

研究業績

岩田憲一, 土屋晴文, 榎戸輝揚 他, "2009年および2010年における雷や雷雲からの放射線観測", 日本物理学会2012年春季年会発表

Thuchiya, Enoto, Iwata et.al."Hardening and termination of long-duration gamma rays detected prior to lightning", Physical Review Letters 投稿中