

## 平成20年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：雷や雷雲からのX線・ $\gamma$ 線を利用した電場による粒子加速の検証  
英文：Study of particle acceleration in electric field using x and gamma rays from lighting and thunderclouds.

研究代表者 土屋晴文（理化学研究所・牧島宇宙放射線研究室・基礎科学特別研究員）

参加研究者

鳥居建男（[日本原子力研究開発機構](#)・研究主席）

榎戸輝揚（東京大学理学系研究科・博士課程2年）

岡野真治（理化学研究所・客員研究員）

加藤博（理化学研究所・特別嘱託職員）

瀧田正人（東京大学宇宙線研究所・准教授）

### 研究成果概要

2008年9月4日から10月2日までの間、NaIシンチレータとプラスチックシンチレータで構成された放射線検出器と光および電場を測定する機器を乗鞍観測所の屋外で連続稼働させた。NaIは直径7.62 cmの球形で10 keV–12 MeVをカバーし、プラスチックシンチレータは $45 \times 40 \times 5 \text{ cm}^3$ で、 $>500 \text{ keV}$ のしきい値で稼働させ、NaIのアンチシールドとして利用した。またバーストの同時観測を狙って、屋内にも $5 \times 5 \times 15 \text{ cm}^3$ の立方体のBGOシンチレータを設置し、100 keV–5 MeVの観測を行った。連続観測の結果、雷放電に同期せず90秒続くバーストを1例と、雷放電に同期して発生するバーストを3例捕らえた。前者は9月20日の真夜中に得られ、後者の3例は9月21日に得られた。これらの日は、日本に台風が接近し、強い低気圧が発達しているときだった。

9月20日に得られたバーストでは、屋外の装置で光子( $>10 \text{ keV}$ )と電子( $>500 \text{ keV}$ )がそれぞれ $8.3\sigma$ と $6.1\sigma$ の統計的有意性で同時に観測され、屋内のBGOでも $>2.6 \text{ MeV}$ でおよそ $4\sigma$ の信号が得られた。さらに光子スペクトラムは10 MeVに達した。このように継続時間の長いバーストで光子と電子の同時観測は世界初のことであった。一方で、雷放電に同期した3例のイベントでは、非熱的な光子は観測されておらず、 $>500 \text{ keV}$ の電子のみが3例すべてのイベントで $7\sigma$ 以上の統計的有意性をもって屋外の装置で観測された。従来の放電モデルによれば、雷放電にともない瞬間的（1ms以下）に発生する強電場で電子が加速され制動放射でX線や $\gamma$ 線を放つはずであり、なぜ電子のみが観測されたのか、解析中である。

継続時間の長いバーストで得られた光子スペクトラムを利用して、発生源までの距

離を次のように推定した。ある距離だけ離れた発生源での光子スペクトラムをべき型  $\alpha E^{-\beta}$  と仮定し、光子の大気伝播を CORSIKA でシミュレーションして大気での減衰を考慮し、検出器の応答関数をたたみ込み得られるモデルスペクトラムと観測された光子スペクトラムを、 $\alpha$  と  $\beta$  をフリーにしてフィットした。こうしたフィットを距離をさまざまに変えて調べた結果、放射源までの距離が 90 m のときに  $\chi^2$  が最小となり、 $\alpha = (2.4 \pm 0.3) \times 10^8 \text{ MeV}^{-1} \text{ sr}^{-1}$ 、 $\beta = 1.15 \pm 0.06$  ( $\chi^2/\text{dof} = 16.8/16$ ) となった。また距離と  $\chi^2$  の関係から、90%信頼域で源までの距離は 60—130 m と制限された。

今回の観測は、雷雲の中で 20 MeV に加速された電子が制動放射で  $\gamma$  線を生成し、その電子が加速領域から抜け出したと考えることができる。というのも、20 MeV 電子の乗鞍高度での飛程は 110 m であり、光子観測から求めた距離の制限とよく一致する。また実際にはさまざまなエネルギーの電子が寄与しているはずだが、得られた光子指数 ( $-1.15 \pm 0.06$ ) が単色の電子からの制動放射のスペクトラム指数  $-1$  に統計的には矛盾しないので、ここでは 20 MeV 電子のみが  $\gamma$  線の生成に寄与したと仮定した。このモデルに従うと、源での 20 MeV 電子の数はおよそ  $3.1 \times 10^8$  個と見積もられる。そして観測された制動放射  $\gamma$  線の数  $5 \times 10^8$  個を説明するには、加速領域の中で 20 MeV 電子が 200 m ほど走らなければならないとわかった。逃走電子が発生するしきい値電場は乗鞍高度では  $200 \text{ kV m}^{-1}$  なので、加速領域の静電ポテンシャルは少なくとも  $200 \text{ kV m}^{-1} \times 200 \text{ m} = 40 \text{ MV}$  となる。これは高エネルギー電子 (>数百 keV) が加速されて相対論的なエネルギーを得るには十分な大きさである。以上の長いバーストの結果をまとめて、査読論文に投稿し、査読中である。

・ **今成果を含む学会発表など**

・ 土屋晴文, 他 “高山における雷雲からの高エネルギー放射線の観測”, 日本物理学会第 64 回年次大会(立教大学), 2009 年 3 月 30 日

・ 土屋晴文 “雷や雷雲からの X 線やガンマ線の観測”, 電気学会東海支部研究フォーラム, 名古屋(東校会館), 2009 年 3 月 7 日

・ H. Tsuchiya “Energetic radiation bursts associated with terrestrial thunder activity”, International Workshop on Variabilities of Solar-Cosmic and Terrestrial Environment (JAMSTEC), 2008 年 12 月 5 日

整理番号