

修士論文概要書

Master's Thesis Summary

Date of submission: 01/06/2022

専攻名 (専門分野) Department	物理学及 応用物理学専攻	氏名 Name	栗山 映里	指導 教員 Advisor	片岡 淳 印 Seal
研究指導名 Research guidance	放射線応用物理学 研究	学籍番号 Student ID number	5320A026-1 CD		
研究題目 Title	冬季日本海側における雷ガンマ線観測システムの構築と成果				

【研究背景】

雷放電や雷雲を起源とするガンマ線バーストの存在は、1925年に提唱され、1980年代以降は衛星や地上での観測が盛んに行われた。しかし発生機構は未だ謎に包まれており、現在も世界各地で観測が行われている。観測されているガンマ線バーストは、継続時間によってロングバーストとショートバーストに分けられる。ロングバーストは雷雲そのものを起源としておりと考えられており、数十秒程度の長い継続時間をもつ。一方で、ショートバーストは雷放電を起源とすると考えられており、主に1秒未満の非常に短い継続時間をもつ。この継続時間の短さのため、ショートバーストはロングバーストと比べて観測例が少なく、未解明な部分が多い。

雷からのガンマ線バーストの観測は、日本国内でも盛んに行われている。特に日本海側では高度の低い冬季雷が頻繁に発生することが知られており、世界屈指の雷発生地域といえる。実際に観測成功例も多く、近年ではロングバーストの複数箇所観測や、雷放電に伴う光核反応の存在を示唆する報告もされている。

本研究では、雷由来のガンマ線バースト、特にショートバーストについて詳細な時間変動とエネルギー情報を得ることを目的に、観測システムを構築した。また、構築システムを用いて実際に冬季日本海側におけるガンマ線バーストの観測に挑戦した。さらには雷雲からのガンマ線バーストのイメージングに挑戦した。

【観測システムの構築】

冬季日本海側での観測を目標に、遠隔操作可能な即時観測システムを構築し、改良を重ねた。システムの概要を図1に示す。主な検出器としてシンチレーション検出器を採用した。シンチレータにはBGOシンチレータ、CsI(Tl)シンチレータ、GAGGシンチレータ、LYSOシンチレータを用いた。信号処理には非常に優れた時間分解能(10 ns)をもつADCを採用することで、ショートバーストのような短時間現象についても取得可能なシステムとした。観測環境については、温度や湿度の計測を行うデータロガーと、周辺電場の変化を捉える電場計を設置し、遠隔PC上でモニタリング可能とした。また、各装置の電源は無停電電源装置を介して電力を供給しており、雷サージやノイズをカットできるようにしている。

さらに我々は雷雲からのガンマ線バーストのイメージングに向けて、本研究室で開発されたイメージング装置(コンプトンカメラ)をシステムに組み込み、他装置と同様に遠隔操作で観測できるように試験を重ねた。また、雷雲の発生報告の多い石川県金沢市内において可視光カメラとの同時測定を行うため、イメージング装置の改良を行った。これにより、ガンマ線バーストの到来方向の特定が可能な遠隔操作システムの構築を実現した。

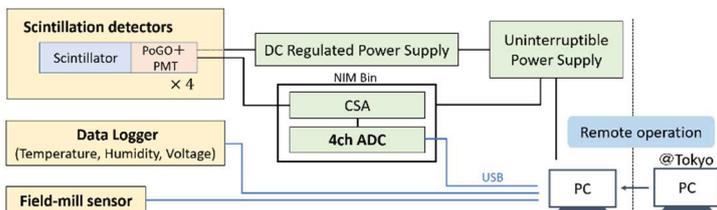


図1 観測システムの概要

【冬季日本海側における観測】

まず、2019年11月に日本海から約23 km離れた山間部(新潟県十日町市、海拔約350 m)にて観測を開始した。そして、期間中に3種類のガンマ線バーストの観測に成功した。

1つ目は近くの雲放電と同期して観測されたガンマ線バーストである(図2)。このバーストは放電前のロングバーストの途絶と放電と同期したショートバーストで構成されている。特にショートバーストについては、初期の短時間に非常に高レートなイベントが到達した後、時間とともにイベント数とエネルギーが減衰していくことを確認した。

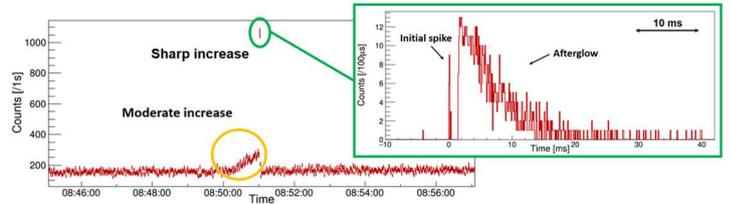


図2 ショートバーストのライトカーブ(左: /s, 右: /100 μs)

2つ目は数十msの継続時間をもつガンマ線バーストである(図3点線)。期間中に10回以上観測されており、その多くが遠方の雷放電と同期して観測された。検出器のパイルアップにより一部の信号は正しく取得されなかったが、それらを除いたイベントの多くは低エネルギー光子であった。検出されたガンマ線イベントから実際に到来したと考えられるライトカーブを復元した(図3実線)。この結果は、実際には4 Mcps以上の非常に高いレートでイベントが到来していた可能性を示唆している。

3つ目は数十秒の継続時間をもつガンマ線バーストである(図4)。全チャンネルで増加が確認されており、MeV領域までの広範囲で増加が見られた。対象時間前後には周辺電場の緩やかな変動と降雨が確認されており、雷雲の通過に伴うロングバーストを捉えることに成功したといえる。

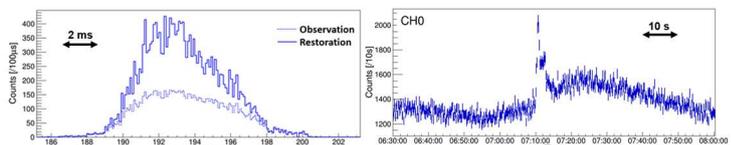


図3 ライトカーブ(100 μs)

図4 ライトカーブ(10 s)

【まとめと今後の展望】

冬季日本海側における雷ガンマ線の観測に向けてシステムを構築し、観測することに成功した。今後は雷ガンマ線の発生メカニズムの追求と、雷雲からのガンマ線バーストのイメージングに向けて、装置の最適化と観測を継続していく。

【研究業績】

- (1)国際学会(Oral) E. Kuriyama et al., "Observations of three gamma-ray bursts during thunderstorms with high-time resolution", IEEE NSS/MIC2020, Online
- (2)国内学会(講演) 栗山映里 他、「新潟県山間部における雷ガンマ線観測システムの開発と初期成果」、日本物理学会2020秋季大会、オンライン