

論文審査の結果の要旨

氏名 榎本大悟

雷雲中の粒子加速は自然界に存在する唯一の静電場加速の実例であるが、雷放電を伴わずに数十秒間に亘り安定してガンマ線を放射し続ける加速機構の仕組みや加速器としての成立条件はいまだに解明されていない。雷雲由来のガンマ線は、雷雲中の静電場で数十 MeV 領域まで加速された電子が大気中で制動放射をする際に生ずる MeV 領域のガンマ線として観測されることになる。雷雲からのガンマ線放射に関して、近年その観測事例はいくつか報告されているが、ガンマ線照射領域の 2 次元分布やエネルギースペクトルについての詳細で系統的な研究はなされていない。

本論文は、2006 年から 10 年間に亘って行われた GROWTH (Gamma-Ray Observation of Winter THunderclouds) 実験によって観測された合計 27 事例の雷雲由来ガンマ線増加現象の中で、19 事例のロングバースト（継続時間が数十秒程度の雷雲由来ガンマ線バースト）に着目した系統的な精密測定に関する研究である。

本論文は 7 章からなり、第 1 章は導入部で、雷雲ガンマ線と GROWTH 実験の簡単な紹介、第 2 章は雷雲ガンマ線の基本的な性質とその観測状況についての解説、第 3 章は GROWTH 実験で使用されている検出器に関する説明、第 4 章は検出器の校正と GROWTH 実験による観測のまとめ、第 5 章は GROWTH 実験により観測された雷雲ガンマ線事例のデータ解析手法、ガンマ線事例のエネルギースペクトルや照射領域の 2 次元的な構造に関する議論、第 6 章は観測された雷雲ガンマ線事例に関する考察と次世代の観測への提言、第 7 章は結論について述べている。

地上で観測される雷ガンマ線は thundercloud gamma-ray enhancement と呼ばれ、その継続時間は典型的に 1 ミリ秒、数百ミリ秒、数十秒に大別される。前者の 2 つは雷放電と同期するが、最後の数十秒の継続時間を持つ雷雲ガンマ線は必ずしも雷放電と同期せず、安定して放射を持続することが知られており、「ロングバースト」と呼ばれている。

このような雷雲ガンマ線の性質を観測的に解明するために、2006 年より東大と理研により GROWTH 実験が観測を続けている。東京電力の協力のもと、(数

インチ程度の大きさの NaI, CsI, BGO) シンチレーション検出器を新潟県柏崎刈羽原子力発電所内の 2 か所 (daq01A/daq0B と daq1) に配置し、東京電力が運用するモニタリングポストのデータも併用して冬の日本海に到来する雷雲から生じた MeV 領域ガンマ線を観測する (2km x 5 km 程度のスケールの) 地上実験である。10 年間の継続的な観測により、総計 27 事例の雷雲ガンマ線事例を観測することに成功し、その中で 19 事例のロングバーストに着目して、そのエネルギースペクトルや照射領域について系統的な研究を行い、以下のような重要な知見が得られた。

19 事例のロングバーストはガウス型、ふたこぶ型、瞬間途絶型、突然開始型に分類でき、全てがガウス型と別の効果の組み合わせで説明できることを初めて指摘した。ロングバーストのガンマ線照射域のサイズは約 1km 程度で 500m より小さいサイズは検出されなかった。また、大統計のロングバースト 2 事例を用いてのガンマ線照射域の広がりをも初めて観測のみから定量化した。1 事例は東西に(675±54)m、南北に(966±29)m と異なる広がりを持ち、円形でないことを示し、もう 1 事例は東西に(751±67)m、南北に(829±12)m とほぼ等しい値を示した。これは事例ごとに照射域の形状が異なることを意味する。前者の大統計事例の降雨と雷雲ガンマ線の到来時間関係に着目することで雷雲構造と放射源を対応付け、放射源が雷雲の降雨域よりも先行しており、サイズも小さいという観測結果を初めて得た。これは雷雲ガンマ線の放射源が雷雲中の lower positive charge region と呼ばれる領域の上方に対応する可能性を示唆する。

さらに、照射域のサイズがライトカーブのピーク強度と逆相関する観測事実を発見した。そして照射域の中心に近づくほどエネルギースペクトルの冪が固くなることを観測的に初めて実証し、雷雲ガンマ線が制動放射であることを示唆する傍証となった。

以上のように、本論文は GROWTH 実験を用いて、雷雲由来のロングバーストガンマ線を世界で初めて系統的に精密測定した観測結果に関する研究であり、宇宙線物理学及び素粒子実験物理学に大きく貢献するものである。

なお、本論文の実験は GROWTH 実験という比較的小規模なグループ実験であるが、論文提出者が主体となって製作したガンマ線測定器 (daq0A 検出器) が測定器群の要の一つとなって、雷雲由来のガンマ線の 2 次元的な観測やエネルギースペクトルの精密測定を行うことが可能となった。また、ロングバーストの系統的な解析も論文提出者が主体的に行った。従って、論文提出者の GROWTH 実験及び論文に関する寄与が十分であると判断した。また、共同実験研究者から論文内容の結果を学位論文として提出することについて了承を得ているものであることを確認した。

従って、審査員一同は博士 (理学) の学位を授与できると認める。