

課題名 (タイトル) : 大気中における陽電子の散乱シミュレーションによる対消滅ガンマ線の検証

利用者氏名 : ○和田 有希 (1)、榎戸 輝揚 (1)、玉川 徹 (1)

理研における所属研究室名 :

(1) 仁科加速器科学研究センター 高エネルギー宇宙物理研究室

1. 本課題の研究の背景、目的

近年の研究により、雷や雷雲の強電場領域において電子が数十 MeV まで加速され、その制動放射が軌道上のガンマ線天文衛星、あるいは地上の放射線検出器で検出されている (e.g. Fishman et al. 1994, Smith et al. 2005, Torii et al. 2002, Tsuchiya et al. 2007)。特に雷放電に同期して放出される「地球ガンマ線フラッシュ」(Terrestrial Gamma-ray Flash: TGF) はミリ秒程度の継続時間をもつ瞬間的なガンマ線放射で、ガンマ線の最高エネルギーは 20 MeV を超える。

我々はこれまで Gamma-Ray Observation of Winter Thunderclouds (GROWTH) 実験を北陸地方の日本海沿岸部で行っており、冬季に発生する雷活動に由来する高エネルギー現象の観測に成功している (Tsuchiya et al. 2007, 2013, Umemoto et al. 2016, Enoto et al. 2017, Wada et al. 2018)。我々は 2017 年 2 月に柏崎刈羽原子力発電所で行った観測により、TGF が地上付近で発生し、10 MeV を超えるガンマ線が大気中の窒素などと光核反応 ($^{14}\text{N}+\gamma \rightarrow ^{13}\text{N}+\text{n}$) を引き起こしたことを明らかにした (Enoto et al, 2017)。しかし、TGF そのものは極めて強度が大きく、地上に設置した我々の放射線検出器は完全に飽和してしまった。そこで本研究では、大強度のガンマ線を計測できるモニタリングポストの高線量計を利用し、また大気中における加速電子とその制動放射ガンマ線の大気伝搬シミュレーションを組み合わせ、TGF によって加速された電子の数を推定した。

2. 具体的な利用内容、計算方法

本研究では欧州原子核研究機構 (CERN) の提供する粒子シミュレーションフレームワーク Geant4 を用いて計算を行った。シミュレーションは粒子の大気散乱と検出器との相互作用の 2 段階で行った。まず地表付近の大気をジオメトリとして実装し、加速電子を地上方向に向けて発生させた。発生高度は 500 m から 3000 m の 6 段階とした。加速電子による制動放射ガンマ線やその二次粒子が地表に到達した際に、そのエネルギーや到来方向を記録する。2 段階目では、1 段階目で集めた粒子を、高線量計を模擬したジ

オメトリで照射し、吸収線量を計算した。

3. 結果

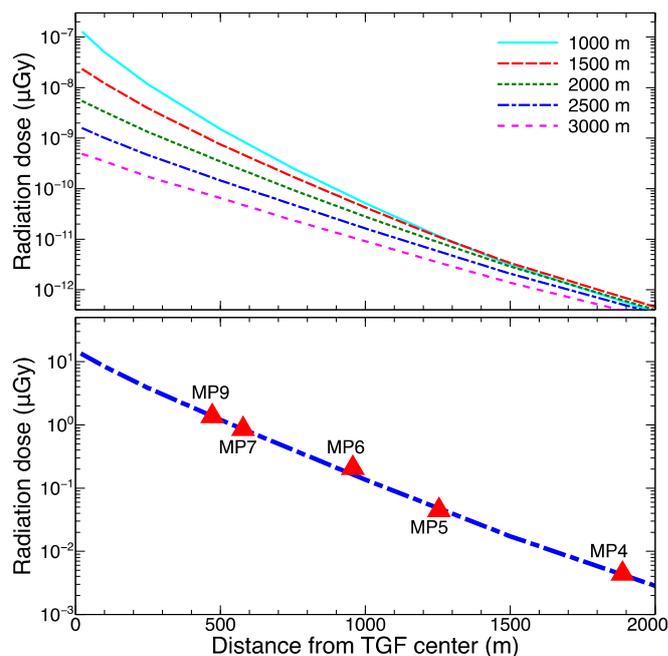


図 1: 加速電子 10^9 個を発生させた際の地上における空気吸収線量 (上段)、および高線量計で観測された TGF による線量と、シミュレーション結果を比較した際のベストフィットモデル (下段)。横軸は加速電子を発生させた位置からのオフセットを示す。

図 1 の上段に電子 10^9 個を大気中で発生させた場合の、地表における吸収線量を示しており、このデータを実際に高線量計のデータに適用させたのが下段となる。観測データは 2017 年 11 月 24 日に柏崎刈羽原発内で発生した TGF によるものである。柏崎刈羽原発には 9 台のモニタリングポストが設置されており、東京電力よりそのデータを提供いただいた。高線量計の観測データは電子が高度 2500 m で発生した場合でよく説明でき、その時の加速電子数は 8×10^{18} 個と推定できた。

TGF はもともと人工衛星によって多数が検出されており、それらの加速電子数は 10^{16} から 10^{19} 個と推定されている (Mailyan et al. 2016)。今回観測した TGF はこの推定範囲と一致することから、地上方向にガンマ線を放出する場

合と宇宙方向にガンマ線を放出する場合で、ほぼ同等の規模の電子を加速できることが明らかとなった。

4. まとめ

- Geant4 モンテカルロ・シミュレーション・フレームワークを用いて、雷によって生成される高エネルギー粒子の大気中における伝搬を計算した。
- 地上で発生した TGF の観測結果と、シミュレーションに依る計算結果を組み合わせることにより、TGF が 8×10^{18} 個の電子を加速したと推定した。
- 地上で観測された今回の TGF が、宇宙で観測される TGF と同等の規模をもつことを明らかにした。

5. 今後の計画・展望

本研究で解析した TGF イベントでは光核反応も発生しており、中性子も検出されている。光核反応および中性子の大气中での反応もシミュレーションすることで、TGF の加速電子数を推定することが可能である。今回のモニタリングポストを用いた推定結果と中性子を用いた推定結果を比較することで、TGF において電子を加速するジオメトリの検証などを行う予定である。

平成 30 年度 利用研究成果リスト

【口頭発表】

和田有希, 榎戸輝揚, 中澤知洋, 古田禄大, 湯浅孝行, 中村佳敬, 森本健志, 松元崇弘, 牧島一夫, 土屋 晴文, 「冬季の雷放電と同期したガンマ線フラッシュの定量評価」, 日本原子力学会 2019 年春の年会, 茨城大学水戸キャンパス, 2019 年 3 月