

雷雲電界中における逃走絶縁破壊に関するモンテカルロシミュレーション

Monte Carlo simulation of runaway air breakdown in thunderstorm electric fields

鳥居 建男[1]; 西嶋 健[2]; 杉田 武志[3]; 河崎 善一郎[2]

Tatsuo Torii[1]; Takeshi Nishijima[2]; Takeshi Sugita[3]; Zen-Ichiro Kawasaki[2]

[1] サイクル機構・社内公募室; [2] 阪大・工・通信; [3] 科学システム研

[1] JNC; [2] Dept. of Comm. Eng. Osaka Univ.; [3] SSL

[要旨] 日本海側の原子力発電所周辺に設置されている放射線モニタにより冬季雷活動時に放射線量率の上昇が観測されることがある。本稿では、この原因を解明するために雷雲電界中での放射線の挙動をモンテカルロ計算により解析する。その結果、電界強度が約 $280P(z)kV/m\text{-atm}$ を超える領域で逃走電子が生成され、数 MeV 程度のエネルギーを持つ制動放射線が発生することが分かった。これは、観測結果とも一致するものである。

1. はじめに

近年、雷雲中や雷雲上部に置いて雷活動に起因する放射線が観測されている [1,2]。また、山岳地域においても同様に宇宙線強度の変動が観測されている [3]。さらに、平地でも冬季雷活動時にのみ放射線量率の上昇が観測されている [4]。一方、Gurevich らは宇宙線等の高エネルギー電子が雷雲電界により加速され、多量の逃走電子が生成し、逃走絶縁破壊が発生すると予測している [5]。本稿では、雷雲電界中での高エネルギー電子・光子の挙動をモンテカルロ計算により解析し、雷雲下部における逃走電子の生成と制動放射線の発生、及びそれによる地表付近での放射線量率上昇の可能性について調査した。

2. 計算手法とその結果

宇宙線などの高エネルギーの荷電粒子が大気中で加速されるためには、外部電界により働く力が空気分子との衝突による抵抗より大きい状態となる必要がある。そこで、電子・光子輸送モンテカルロ計算コード EGS4 [6] に外部電界を考慮したルーチンを組み込み、大気中で生成される 2 次電子も加速され逃走電子となるための条件、及び雷雲の電界分布を想定した場での電子・光子の挙動を解析した。

地上、高度 2km、5km、10km を想定した大気密度での電子の挙動計算の結果、電界強度がしきい値 $E_{th} = 280P(z)kV/m\text{-atm}$ を超える領域において電子が加速され、多量の 2 次電子・光子が発生することから、このような電界強度の領域で逃走電子が生成されることが分かった [7]。高度 2 km に相当する場での 10MeV 電子入射時の電子束密度の変動を Fig.1 に示す。

また、冬季雷雲の電荷分布を円筒型の 3 極構造とポケット正電荷のない 2 極構造にモデル化し、鉛直方向の電界強度分布を有限要素法により求めた。3 極構造の場合、雷雲下部のポケット正電荷付近で電界強度が 200 ~ 260kV/m と大幅に増加するものの、2 極構造では負電荷領域下部の電界強度は 3 極構造の場合ほど大きくはならない。これらの電界に 2 次宇宙線の電子、陽電子、及び光子を線源として高度 6 km から下方放出し、電子・光子束密度の高度分布を求めた結果、雷雲上部では両者の電子・光子束分布はほぼ同様であるものの、雷雲下部では 3 極構造の場合のみ、電子・光子束分布は大きく上昇した。これは 3 極構造の時に雷雲下部で電界強度が E_{th} を超えるためである。夏季雷では、 E_{th} を超える領域が高い位置にあるため、雷雲内で発生する制動放射線はその減弱により平地では観測されないものと考えられる。

3. 結論

雷雲電界を模擬した場での高エネルギー電子・光子の挙動をモンテカルロ計算により求めた結果、逃走絶縁破壊によると考えられる制動放射線の発生が確認された。冬季雷活動時に地上で観測される放射線量率の上昇は、この影響によるものと考えられる。

[References]

[1] G. K. Parks, B. H. Mauk et al., *Geophys. Res. Lett.*, 8, 1176, 1981

[2] K. B. Eack, W. H. Beasley et al., *J. Geophys. Res.*, 101, 29,637, 1996.

[3] M. Brunetti, S. Cecchini et al., *Geophys. Res. Lett.*, 27, 1599, 2000.

[4] T. Torii, M. Takeishi, and T. Hosono, *J. Geophys. Res.*, 107 (D17), 4324, 2002.

[5] A. V. Gurevich, G. M. Milikh, and R. Roussel-Dupre, *Phys. Lett. A*, 165, 463, 1992.

[6] W. R. Nelson, H. Hirayama, and D. W. O. Rogers, *The EGS4 code system*, SLAC-265, SLAC, 1985.

[7] T. Torii, T. Nishijima et al., *Geophys. Res. Lett.*, (to be published)

