

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 22 日現在

機関番号：82110

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24360399

研究課題名(和文)環境放射線を変動させる雷雲からの放射線の発生源の解明

研究課題名(英文)Study in a source of radiation from the thundercloud which makes environment radiation fluctuate

研究代表者

鳥居 建男(Torii, Tatsuo)

独立行政法人日本原子力研究開発機構・福島研究開発部門 福島環境安全センター・特任参与

研究者番号：20421795

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,500,000円

研究成果の概要(和文)：雷活動により高エネルギー放射線が様々なフィールドで観測されているが、中でも分オーダー続く高エネルギー放射線の発生源を捉えるために、北陸沿岸(敦賀半島先端部)で放射線変動の測定を行った。また、モンテカルロ計算により、宇宙線やラドン子孫核種が放出する放射線が雷雲中の強電場領域に存在するときの挙動を解析した。

測定と解析の結果を比較することにより、雷雲の強電場領域の下部(地上高300m)で制動放射線が発生し、放射線束が増加し、一部が地上に達することを確認した。また、負電荷領域の最大電場強度が-400kV/mに達するとき、実測値とよく似たエネルギースペクトルを示すことが分かった。

研究成果の概要(英文)：Intensive and transient energetic radiations associated with winter thunderstorm activities were detected around the coast of Sea of Japan. We identified the source location of the transient energetic radiation, lasting for several minutes, through the observations of radiation, atmospheric electric field, and radar echoes. Our identification indicated that the energetic radiation was emitted from a downward hemispherical surface with regardless of lightning discharge, the bottom of which was about 300 m above sea level. This may occur due to the generation of bremsstrahlung photons caused by electric fields inside the thunderstorm, because the energy of the observed radiation exceeds that of the radiation emitted from natural nuclides. The photon flux largely increases just under the thundercloud if we assume that the electric field around the downward hemispherical surface is -400 kV/m, and the photon energy spectrum shows a large increase in the energy region of several MeV.

研究分野：放射線計測

キーワード：雷雲 逃走絶縁破壊 制動放射線 宇宙線 ラドン子孫核種

1. 研究開始当初の背景

雷活動時に観測される高エネルギー放射線は、米国、ロシア等によって山岳や気球、人工衛星による高々度放射線測定で発見された。これらの観測から、発生放射線の継続時間は1秒～数分程度の長時間バーストと、数ミリ秒以下の短時間バーストの2種類あることが分った。当時短時間バーストは雷放電に起因すると予想されていたものの長時間バーストは何が起因かわからなかった。

日本海沿岸に設置されている環境放射線モニタや線量計(TLD)が、冬季雷雷雲の到来時に放射線の入射によるとみられる線量(率)の上昇を示すことがたびたびあった。

2. 研究の目的

日本海沿岸の原子力発電所周辺に設置されている環境放射線モニタでは、冬季雷発生時に放射線量(率)が数十秒から数分程度上昇することがある。これらの放射線のエネルギーは、申請者のこれまでの研究から、3～20MeVと高い。その起因として2次宇宙線起源の高エネルギー電子が雷雲の強電界によって加速され、制動放射線を発生したためと考えられる。それゆえ、本研究ではこの仮説を観測および数値計算にて検証する。次に、原子力発電所周辺での放射線量の変動は、作業従事者のみならず地域住民・行政においても関心が高いため、原子力発電所起因のような他の放射線と弁別する必要がある。それゆえ、本研究では、これらの弁別方法および発生予測についても発展させる。

3. 研究の方法

雷活動に起因した高エネルギー放射線の発生位置を明らかにするため、雷雲との距離が近く地上観測が可能な冬季雷(敦賀市)および同様に雷雲との距離が近い山岳観測(富士山山頂)での夏季雷に着目し、多点観測を実施する。多点放射線測定の結果から、放射線発生源の位置を決め、大気電界観測、VHF電波干渉計、レーダーエコー等の複数のデータから雲内電界の算出を行う。観測から得られた線源領域と雲内電界の値および電子・光子挙動モンテカルロ計算コードによる数値計算結果に一貫性があるかで「2次宇宙線起源の高エネルギー電子が雷雲の強電界によって加速され、制動放射線を発生した」という仮説を検証する。

4. 研究成果

4.1 冬季雷の研究

雷活動に伴って高エネルギー放射線が観測されることが報告されている。しかし、その発生源やその挙動を特定するには到っていない。我々は、日本海沿岸で発生する冬季雷に着目し、放射線の発生源を特定するとともに、それが移動していることを確認した。観測の結果、高度1,000mを中心とする半径約700mの下向き球面から7MeV程度までの高エネルギー光子を主成分とする放射線が8分程度継続して放出され、約7m/sで移動していることを確認した。これは、地上での電界強度の観測結果の変動とも符合しており、雷雲の強電界領域より低い高度で発生した放射線が地上に到達し、雷雲中の強電界領域の移動とともに放射線の発生位置も移動していることを示している。

4.2 夏季雷の研究

2013年の夏季に、標高3,776mの富士山山頂に位置する富士山測候所(FJS)と10合目の施設(FJT; FJSから西南西に350m)ではガンマ線の測定を行った(図1)。ガンマ線測定器として、測候所内と10合目の施設の2か所に4および3インチNaIシンチレーターを設置した。測候所では、フィールドミルによる大気電場観測を行った。電場測定値の校正については、設置個所及び測定器の形状による電場補正を行うため、測定地点から北200mの火口縁において準平面校正を行った。このことにより、補正値は富士山の火口縁での大気電場値を示す。富士山周辺の雲の様子はXバンドレーダ(国土交通省)のデータで解析を行った。また、観測された放射線が落雷によるものであるかどうかを確かめるためにDocomoとFranklin Japanの落雷データを使用した。

図2に示されているように、2013年7月26日のFJSでの大気電場強度とガンマ線の計数の時系列において、大気電場は17:00頃から徐々に変動し、18:30から18:40頃には負の大気電場の最大値を示している。またこの時、全エネルギー領域のガンマ線と天然放射性核種により放出されるエネルギーを含まない3MeV以上のガンマ線はともに急増している。図1のXバンドレーダ図の反射強度からは、二重丸で示した観測地点を雲が通過していることがわかる。これらのことから、測定地点に雷雲が近づき、山頂が雷雲内に入っているときに、雷雲要因のよってガンマ線

量が増加したと考えられる。18:00 から 19:30 の FJS における全エネルギー領域のガンマ線をみると (図 2)、18:30 頃の急増している部分を除き、緩やかに増加、のちに緩やかに減少している。3 MeV 以上のガンマ線にはこのような傾向が見られないことから、これは自然放射性核種のラドンが雨滴中に溶け出し、一時的に放射線量が増加したことによると考えられる。

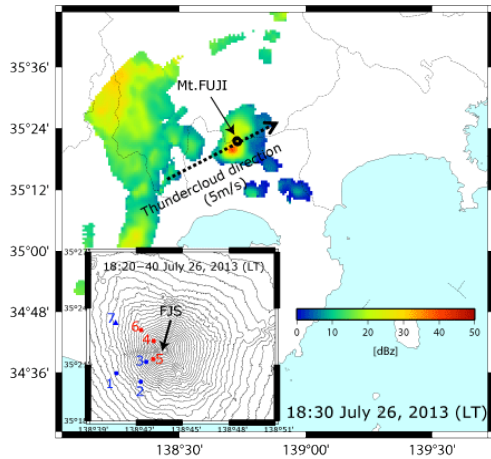


図 1 2013 年 7 月 26 日 18:30 (LT) の X バンドレーダーの反射強度。右下は 18:20-18:40 (LT) の雷放電マップで赤は電流値が正、青が負の場合を示している。データの提供元は●が Franklin Japan、▲が Docomo で、数字は図 2 の上のグラフと対応している。

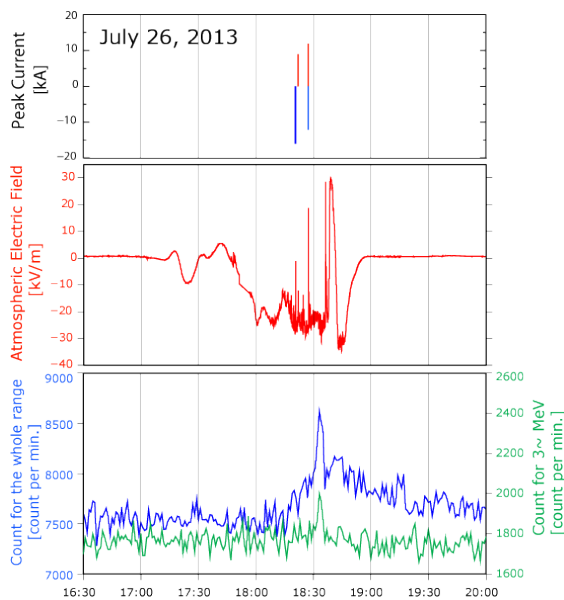


図 2 下のグラフは 2013 年 7 月 26 日 16:30-20:00 の大気電場 (赤) と全エネルギー (緑)・3 MeV 以上のエネルギー (青) の放射線カウント数を示している。一番上のグラフは同時系列の雷放電の電流値を示している。

図 3 は、ガンマ線が急増した 18:35 の X バンドレーダーの偏波間相関係数をカラーコンターで示した図で、横軸は富士山頂からの距離を雷雲の進行方向を正としてとったときの距離であり (図 1 の点線)、縦軸は高度を示している。偏波間位相差は水平偏波と垂直偏波の位相差を示し、値が 0 付近を示すとき乾霰の可能性が高い。図 3 から乾霰は 5.5~7.5 km あたりにみられる。その日の高層気象データ (Tateno; N36.06, E140.13; Distance 148.75 km) から、高度 6.6 km あたりで約 -10 が観測されている (図 3 の点線)。雲内の -10 層では負に帯電した霰や氷晶が存在することと電場計測値の符号から高度 5.8 km ~ 7.2 km あたりで負の帯電領域があると考えられる。ガンマ線検知時の富士山頂での大気電場値は -30 kV/m 程度であった。そこで、富士山頂上空の高度 5.8~7.2 km に 1 つの負の球電荷を想定し、富士山頂の高度を 4 km とし、その電場の大きさが 30 kV/m となるように、負の球電荷表面の電場の大きさを算出したところ 103 kV/m となった。一方、RREA が生じるとされる電場は空気中の分子密度に依存するので、高度 5.5 km では 145 kV/m になる。

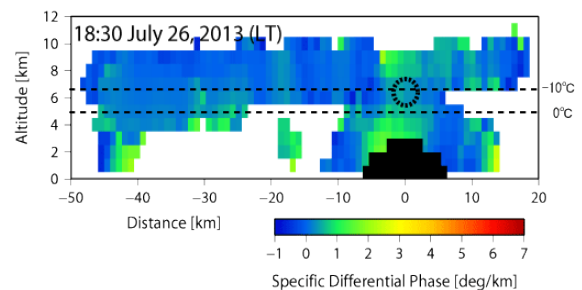


図 3 2013 年 7 月 26 日 18:30 の X バンドレーダーの偏波間位相差の垂直断面図で横軸は図 1 の点線にとり、富士山頂からの距離を数値としている。黒い影の部分は富士山。0 と -10 の高度は館野の高層気象データを用いた。

本研究では、さらに 2013 年 7 月 26 日の放射線強度をモンテカルロシミュレーションによって見積もった。X-band 解析から、高度を 6.5 km を中心とした半径 700 m の負の球電荷を推定した。シミュレーションの結果 (図 4) によれば、表面電場 -200 kV/m のとき、高度 5.5 km で RREA が明瞭に起こっていることがわかる。観測結果から、高エネルギー放射線が検知された時の増加率は 10 %なので、この増加率を示す電場値を調べると、約 -100 kV/m となった。このことは算出した球電荷

の表面の電場を支持する結果となった。

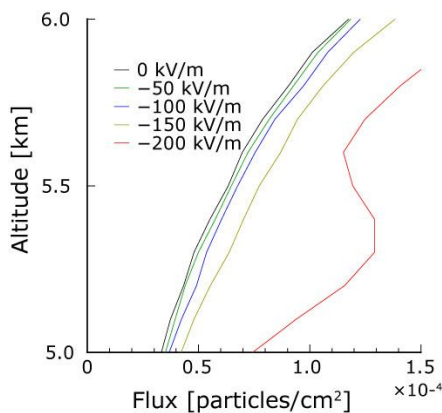


図4 モンテカルロシミュレーション

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計2件)

M. Kamogawa, Y. Suzuki, R. Sakai, H. Fujiwara, T. Torii, Y. Kakinami, Y. Watanabe, R. Sato, S. Hashimoto, H. Okochi, K. Miura, H. Yasuda, Y. Orihara and T. Suzuki, Diurnal variation of atmospheric electric field at the summit of Mt. Fuji, Japan distinctly different from the Carnegie curve in the summertime, Geophys. Res. Lett., DOI: 10.1002/2015GL063677 (2015)

Torii, T., T. Sugita, and M. Kamogawa, Monte Carlo Simulation for the Source of Transient Energetic Radiation Generated by Thunderstorm Activity, J. Atmos. Electricity, 34, 1-7 (2014)

[学会発表](計10件)

T.TORII, Source of transient energetic radiation generated by the thunderstorm Activity by a sounding balloon, an airplane, and ground observation in Japan, ISTC (International Science & Technology Center) Workshop, Yerevan Physics Institute, Armenia (2015年6月9日) [招待講演] 他

6. 研究組織

(1)研究代表者

鳥居 建男 (TORII, Tatsuo)
独立行政法人日本原子力研究開発機構
福島研究開発部門
福島環境安全センター・特任参与

研究者番号：20421795

(2)研究分担者

鴨川 仁 (KAMOGAWA, Masashi)
東京学芸大学・教育学部・准教授
研究者番号：00329111

井口 哲夫 (IGUCHI, Tetsuo)
名古屋大学・工学(系)研究科(研究院)・教授
研究者番号：60134483