

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 14 日現在

機関番号：82110

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2016

課題番号：26550035

研究課題名(和文) 大気中の放射能は雷放電を誘発するか？

研究課題名(英文) Does the atmospheric radioactivity induce lightning discharge?

研究代表者

鳥居 建男 (Torii, Tatsuo)

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構・福島研究開発部門 廃炉国際共同研究センター・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) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：大気中の放射線が雷放電に与える大気電氣的影響について調査するため、雷活動時に地上で観測される長時間バーストと短時間バーストの構造を調査し、その特徴を明らかにした。また、JAXAの実験用航空機「飛翔」を用いて雷活動時に上空からの放射線の変動状況の観測を行ったが、有意な変動は認められなかった。その一方、2種類のGM管を搭載した気象ゾンデにより雷雲中の観測を行った結果、高度5から8km付近で放射線の計数率が上昇していることが分かった。また、同ゾンデの気象データから推定した電荷をモデル化した電界分布で放射線の挙動をモンテカルロ解析した結果、上方正電荷層で電子密度が急激に増加していることと符合した。

研究成果の概要(英文)：In order to investigate the atmospheric electric effect that radiation provides to the lightning discharge, we investigated the structure of the long burst and the short burst observed on the ground at the time of lightning activity and characterized the features. We also observed the fluctuation of radiation from the sky at the time of lightning activity using JAXA's aircraft "Hisho"; but no significant variation was observed. Meanwhile, we observed the fluctuation of radiation inside and around the thunderclouds by a meteorological sonde equipped with two kinds of GM tubes, and as a result, it was found that the count rate of radiation rises near the altitude of 5 to 8 km above the thundercloud. In addition, as a result of Monte Carlo calculation on the behavior of radiation with the electric field distribution modeling the charge structure estimated from the weather data of this sonde, we confirmed that the electron density rapidly increases in the upper positive charged layer.

研究分野：環境放射線

キーワード：雷放電 制動放射線 逃走電子 雷雲 航空機観測

## 1. 研究開始当初の背景

雷放電時の雷雲内電界(約 200 kV/m)は実験室での放電開始電界(3,000 kV/m)より 1桁低い。なぜ低い電界で雷放電が発生するのは長い間、未解明問題とされてきた。この説明のために、Gurevich ら(Phys. Lett. A, 1992)は、大気中にある高エネルギー荷電粒子が雷雲の電界によって加速され、高エネルギーの放射線(電子・光子)のシャワーを発生させ、低い電界強度でも雷放電を誘発する可能性(逃走絶縁破壊説)を提唱した。そこで、逃走絶縁破壊説が正しいのであれば雷放電に至らなくてもシャワーは存在すると考え、それは線として観測しうるものと考えた。そこで日本海沿岸での冬季雷雲や富士山山頂での夏季雷雲での観測を行ったところ、雷雲起源の高エネルギー線が雷放電に至らない状態で検知した(日経サイエンス 2013年 2月号)。逃走絶縁破壊のためには大気中にシャワーの“種”となるエネルギーの高い荷電粒子を考えなければならない。その候補は、宇宙線やラドン壊変生成物の線がありうる。

研究代表者は、ラドンの移流拡散計算のみならず、ラドン壊変生成物が放出する線が雷雲の電界により大気中の電離量を急激に増加させることを初歩的なモンテカルロ計算で明らかにし、大気中の放射性物質が“種”である可能性を予備研究ではあるが示している。そこで本研究は、大気中の放射性物質に着目し、放射性物質が雷活動に与える影響を調べる。すなわち大気中で放出される線が雷雲の電界により放射線のシャワーを発生し、大気中の電離度を高めることによって落雷を誘発する可能性について、雷雲上空から航空機を用いて大気中の有力な放射性物質であるラドン(壊変生成物)濃度と雷雲内から発生する高エネルギー放射線(~数 10MeV)を観測し、雷雲下部と同様に放出されているかを観測する。雷雲の電氣的構造から、雷雲下部で高エネルギー放射線が発生するならば、雷雲上部でも発生する。しかも、雷雲上部は大気密度が低いことから、雷雲下部より放射線の透過性が高いため、観測される可能性が高い。

## 2. 研究の目的

雷放電発生中の雷雲内電界強度は実験室内での火花放電時の絶縁破壊強度と比べると一桁強度が低く、何が雷放電を促すのかは

分っていない。研究代表者は、雷雲内電界による大気中の高エネルギー電子の加速と放射線シャワーの発生により、大気中の電離密度を増加させ放射線誘発する可能性を見いだした。本研究では、大気中の放射性物質が雷活動に与える影響について、季節風によりアジア大陸から多量に輸送されるラドンと高エネルギー放射線発生挙動との関係から、福島第一原発事故のように多量の放射性物質が大気中に放出されたときに雷放電に与える大気電氣的影響について、雷雲上空からの航空機測定と解析によりこれらの相関を調べることを目的とする。

## 3. 研究の方法

(1) 雷雲電界中における放射線挙動解析  
研究代表者は、電子・光子挙動モンテカルロ計算コード EGS5 に外部電界解析ルーチンを組み込んだ。同コードでの解析により、高エネルギー電子の雷雲電界への入射により室内実験で得られる放電開始電界より 1桁低い電界強度で電子が連続的に加速されて逃走電子となり電子・光子のシャワーが発生することが分かった。そこで、原子力災害により大気中に放出された放射性物質やラドン壊変生成物が放出する線の動的発生ルーチンを作成し、上記コードに組み込む。次に、宇宙線起源、大気中放射性物質起源のそれぞれ放射線源について雷雲電界中での放射線挙動を解析し、大気中の吸収エネルギー、電離量を求める。それぞれの雷放電電界値を算出し、どちらが有意な“種”であるかを数値的に比較する。

### (2) 雷雲上空からの放射線観測

冬季雷の雲頂高度は 5-6 km 程度であり、夏季雷よりはるかに低いことから、ラドンの影響を受けやすい。また、冬季は季節風により多量の大陸起源のラドンが運ばれるため、雷雲に多量の放射線源が持ち込まれる可能性が高い。申請者らは冬季雷の雷雲下部での観測で下方放出源を明らかにしたが、雷雲上部の観測により高エネルギー放射線発生源の全体構造を明らかにする。そこで、雷雲上部については、航空機を用いて大気中のラドン壊変生成物が放出する線と雷雲中の高電界で発生する高エネルギー放射線の相関を測定する。

## 4. 研究成果

(1) 冬季雷活動時の地上観測と雷雲電界中

## での放射線挙動解析

日本海沿岸の原子力発電所周辺に設置されているモニタリングポストでは、冬季雷活動時に放射線量率が上昇することがある。これまで発生時間が数 10 秒の長い長時間バーストとスパイク状の短時間バーストの2種類の放射線が観測されており、長時間バーストは雷雲とともに移動することが分かってきた。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。2014 年冬季には有意データが観測され、バースト発生の構造を明らかにした。

また、大気中の放射性物質やラドン壊変生成物が放出する線動的発生ルーチンを作成し、EGS5 コードに組み込み、宇宙線起源や大気中放射性物質起源の放射線源について雷雲電界中での放射線挙動を解析し、大気中の吸収エネルギー、電離量を求めた。

## (2) 雷雲上空からの放射線観測

2014 年の夏季と冬季に、宇宙航空研究開発機構 (JAXA) の実験用航空機「飛翔」を用いて上空からの放射線の変動状況の観測を行った (図 1、2)。

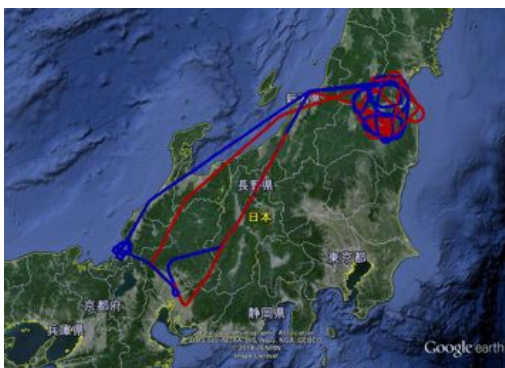


図 1 2014 年 8 月 7、8 日の飛行ルート。雷雲の発生が見られた福島上空を飛行。

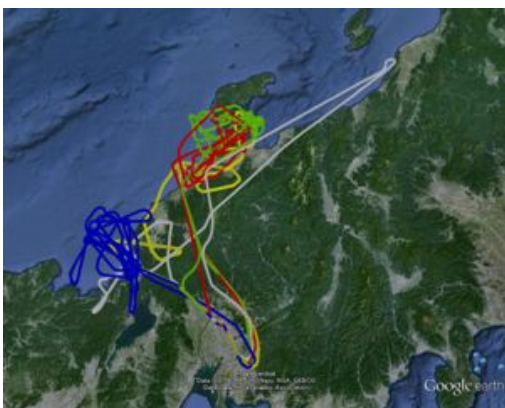


図 2 2014 年 12 月 6-9、22 日の飛行ルート。

ガンマ線測定器として 5 および 3 インチ NaI シンチレーション検出器を機内に設置し、ガンマ線スペクトルと計数率の変動を観測した。雷活動の有無は地上での気象観測データをもとに飛行ルートを決め、観測終了後に Franklin Japan の落雷データを使用した (図 3)。

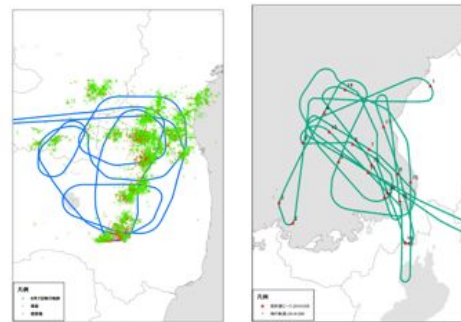


図 3 夏季と冬季の飛行ルートと落雷発生位置

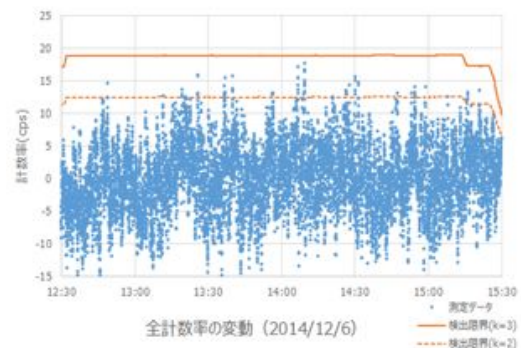


図 4 2014 年 12 月 6 日の飛行における 5 インチ NaI 検出器の全計数率の変動。飛行高度による変動は見られるものの、検出限界 + 3 を超える変動は認められなかった。

また、渡辺明(福島大)が 2014 年 6 月 18 日に雷活動中に放球した 2 種類の GM 管を搭載した気象ゾンデのデータを解析した (図 5)。

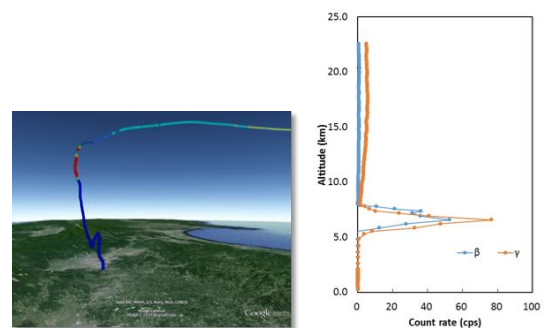


図 5 ゾンデの飛跡(左)と計数率変動(右)

その結果、高度 5~8km 付近で 3 回上昇していることが分かった。特に、ベータ線用の GM 管ではガンマ線用に比べて高いところ

(7.5km 付近)で計数率が上昇していることが分かった(図5)。

これは、同ゾンデの気象データから推定した電荷をモデル化した電界分布で放射線の挙動をモンテカルロ解析した結果、上方正電荷層で電子密度が急激に増加していることと符合する結果であった(図6)。

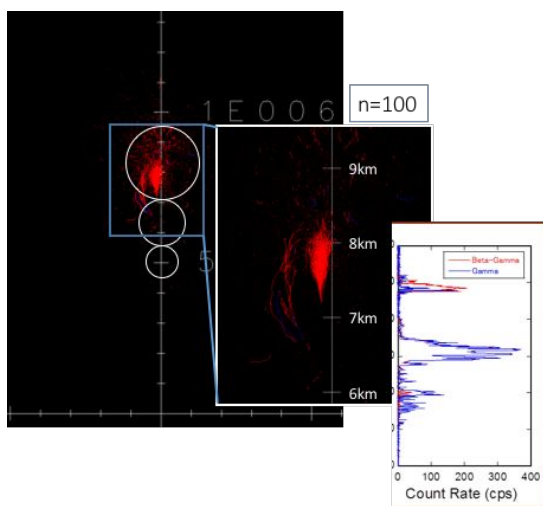


図6 モンテカルロ解析により得られた電子の飛跡

## 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)

鳥居建男, 雷雲中における放射線の発生, 電気学会誌, 査読無, Vol.136, No.12, 816-820 (2016)

T.Torii, T. Sugita, and M. Kamogawa, Monte Carlo Simulation for the Source of Transient Energetic Radiation Generated by Thunderstorm Activity, J. Atmos. Electricity, 査読有, <http://doi.org/10.1541/jae.34.1.34>, 1-7 (2014)

[学会発表](計11件)

T.Torii, Y.Sanada, Y.Nishizawa, T.Yamada, T.Orita, K.Muraoka, A.Watanabe, K.Kume, T.Hasegawa, T.Sugita, Measurement of radiation caused by thunderstorm activities by a sounding balloon, an airplane, and the ground, AGU (American Geophysical Union) 2015 Fall Meeting, 2015年12月14日~2015年12月18日, San Francisco(USA)

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, (2015年6月9日) [招待講演], Yerevan Physics Institute, Yerevan(Armenia)

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

鳥居 建男 (TORII, Tatsuo)

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構・福島研究開発部門 廃炉国際共同研究センター・特任参与  
研究者番号: 20421795

### (2)研究分担者

眞田 幸尚 (SANADA, Yukihiisa)

国立研究開発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・技術副主幹  
研究者番号: 40446448

村岡 浩治 (MURAOKA, Koji)

国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構 飛行技術研究センター・その他部局等・研究開発員  
研究者番号: 80358655