

地球大気内の雷や雷雲による粒子加速

Particle acceleration in terrestrial thunderstorm activity

土屋 晴文^{1*}, 榎戸 輝揚², 鳥居 建男³, 加藤博¹, 岡野 眞治¹, 牧島一夫¹

Harufumi Tsuchiya^{1*}, Teruaki Enoto², Tatsuo Torii³, Hiroshi Kato¹, Masaharu Okano¹, Kazuo Makishima¹

¹理研宇宙放射線, ²東大理, ³日本原子力機構

¹Cosmic Radiation Laboratory, RIKEN, ²Dep. of Phys., Univ. of Tokyo, ³Japan Atomic Energy Agency

近年、地球内の雷や雷雲から非熱的なX線やガンマ線が、衛星や地上の装置で捉えられている。この驚くべき現象は、身近な雷や雷雲が電場で粒子を加速できる、いわば粒子加速器であることを指し示す。しかし、電場があるとはいえ高密度な地球の大気の中で、いかにして電子は加速されるのかというトリガーの問題や、雷や雷雲のなかで電子はいったいどれほどのエネルギーにまで加速されるのかという加速限界の問題など、まだ雷や雷雲の粒子加速器としての性能はなぞが多いままである。

現在、雷や雷雲からの非熱的な光子の生成には、大気内で発生した逃走電子のなだれが関与しているという説がある。たとえば宇宙線が雷雲のなかを通過するさいに作った電子のうち、偶然にも電離損失を超えるエネルギーを電場から獲得したものが相対論的なエネルギーにまで加速され、電子なだれを引き起こしつつ、制動放射でガンマ線をはなつというものである。そうならば、雷や雷雲から発生するガンマ線の測定を通じて、粒子加速器としての雷や雷雲の仕組みを知ることができる。また、こうした観測は、遠方天体での電場による粒子加速（たとえば太陽フレアやパルサー磁気圏）を検証するひな形にもなり得るであろう。さらに興味深いことに、電子なだれによって大量に作られた電子が、地球の大気ではもちろん、他の惑星の大気においても雷を引き起こしていると考えられており、雷活動に関わるガンマ線を測ることが、雷の発生メカニズムの解明にも役立つことがわかってきた。そこで、雷や雷雲の粒子加速器としての性能を明かすために、2006年12月より、われわれは雷活動が盛んになる時期にあわせて、冬季には日本海側で夏季には北アルプスの乗鞍岳において、雷や雷雲からのガンマ線の観測を続けている。

2009年度までの観測で、雷放電に同期して1秒以下の継続時間をもつガンマ線を5例、雷放電には同期せず数十秒から数分にわたり雷雲から直接に飛来するガンマ線を6例、捉えた。しかも、こうした放射のほとんどで、10 MeVあるいはそれを超えるようなエネルギーのガンマ線を捉えることができた。これは、雷や雷雲のなかで、電子は少なくとも10 MeVを超えて加速されることを強く示唆している。しかしながら、時間スケールも空間スケールも大きく異なる雷放電と雷雲の中での電子の加速で、その加速限界が同じであるのかどうかは、定かではない。

本講演では、これまでにわれわれが得た特徴的なイベントを紹介しつつ、われわれの観測から徐々に明らかになってきた雷雲の中での連続的な電子の加速に焦点を当てたい。とくに、雷雲の中での電子の加速限界がはたしてどれほどになるのかを検討し、RHESSIというガンマ線衛星によって捉えられている雷放電からのガンマ線の観測と比較する。実際には、われわれの地上での測定では20 MeVを超えるようなガンマ線の兆候も見えている。加えて、雷雲からのガンマ線は宇宙線を種としているのかどうかを議論する。その上で、雷雲の中での電子の加速と、雷放電にともなう瞬間的な電子の加速の違いや類似点を観測の立場から議論する。

キーワード:ガンマ線,粒子加速,雷雲,雷放電

Keywords: gamma rays, particle acceleration, thunderclouds, lightning discharges