

機関番号：32702

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20540298

研究課題名(和文) 雷雲電場における粒子加速機構の研究

研究課題名(英文) A study of the particle acceleration mechanism in the electric field of the thunderclouds

研究代表者

日比野 欣也 (HIBINO KINYA)

神奈川大学・工学部・教授

研究者番号：80260991

研究成果の概要(和文)：雷雲中での粒子が加速されている証拠を捕らえるために、2010年2月以降、中国西藏自治区羊八井国際宇宙線観測所に2台の大気電場計を設置して、空気シャワー観測装置内の放射線観測装置との同時観測を行い、大気電場と放射線データ(ガンマ線もしくは電子の粒子数)との関係を調べた。現在までに、雷雲通過に伴う大気電場の変動と放射線発生に強い相関があるという観測結果を得た。今後、我々はその放射線発生機構を調べるために、引き続き観測を続け、詳細な検証を行っていく。

研究成果の概要(英文)：To observe the evidence that particles in the thundercloud are accelerated, we installed two atmospheric electric field meter at the Yangbajing international cosmic ray observatory (Tibet, China) since February, 2010. We have observed the strength of the atmospheric electric field and the counting rate of particles (i.e., gamma rays or electrons) by a part of scintillation counters in the Tibet air shower array. We detected many events that show strong correlation between the electric field variation and the counting rate of particles under our preliminary analysis. We continue the observation to increase the evidence of this correlation and analyze data in the future.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2009年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：宇宙線(実験)

科研費の分科・細目：物理学・素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：宇宙線、放射線、雷、雲、放電、大気電場

1. 研究開始当初の背景

雷雲中の大気電場は通常の大気電場に比べて、100~1000倍くらい強度が大きくなることが知られている(北川信一郎, “雷と雷雲の科学”, 森北出版, 2001)。そして、その雷雲電場の増大に伴って、2次宇宙線の強度が増加することが報告されている(たとえば、Brunetti, M. et al., “Gamma-Ray bursts of

atmospheric origin in the MeV energy range”, *Geophys. Res. Lett.*, 27, 1599–1602, 2000)。強度増加の原因としては、一次宇宙線と大気原子核との相互作用によって生成されるパイ中間子、電子、ガンマ線、ニュートリノ、ミュオンなど2次宇宙線の電磁成分が雷雲電場の中で加速され、電磁カスケードシャワーを引き起こしていることが考えられている。

また、鳥居らは北陸地方の冬季雷に伴いガンマ線の増加を報告している (Torii, T. et al., "Observation of gamma-ray does increase associated with winter thunderstorm and lightning activity", J. Geophys. Res., 107 (D17), 4324, 2002)。最近、土屋らは雷が発生する1分以上前より10MeVガンマ線が放射されていることを突き止め、雷雲中の電波の中で粒子加速が起こり、制動放射によりガンマ線が発生したことを示した (H. Tsuchiya et al., "Detection of High-Energy Gamma Rays from Winter Thunderclouds", PRL 99, 165002, 2007)。

このように、近年になってから、雷雲電場と放射線の関係を示すデータが徐々に報告されてきたが、雷の発生メカニズム自体にも謎が多く、本研究から得られる結果はこれら地球の自然現象の解明に貢献するだけでなく、宇宙での粒子加速機構の理解にもつながると考えている。

2. 研究の目的

宇宙における超高エネルギー現象を理解するためには、その観測手段となるX線、ガンマ線や宇宙線などの放射線の発生および粒子加速のメカニズムを解明することが必要かつ重要である。そのメカニズムを解明するには宇宙を観測するだけでなく、地上の身近な現象を注意深く観測することによっても新たな知見が得られることもある。本研究は、雷雲中の大気電場によって、どのように粒子加速が行われているかを研究する。身近な粒子加速の現場を捉え、銀河のどこかで起こっている宇宙線の加速機構の解明に結びつけることを研究目的とする。

3. 研究の方法

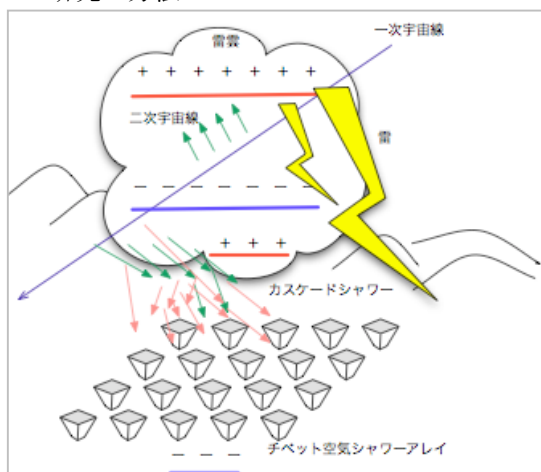


図1：雷雲中での荷電粒子の振る舞い（概念図）

本研究は、図1で示したような雷雲中の粒子の振る舞いを調べるために、中国と共同で

チベットの羊八井高原(標高 4,300m)に 2004年に設置された約 37,000m²の有効面積を持った稠密型空気シャワー観測装置(図2)をベースに、大気電場測定器、電磁波センサーなど環境モニターを新たに設置して、落雷および雲放電現象と宇宙線強度の関係を調べた。

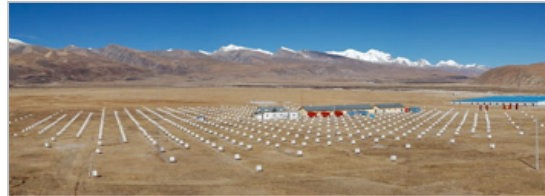


図2：中国チベット自治区羊八井(4,300m)に設置された空気シャワー観測装置全景 (Tibet-III array)

具体的には、図3で示したように大気電場計としてフィールドミル大気電界計を2台設置した。雷センサーとしては、米国 Boltek社の Storm Trackerを用い、雷雲の動きをリアルタイムでモニターする。また、気温、湿度、雨量、風量、UV、日照および環境放射線を測定する環境モニターステーションを製作し、データ収集システムを構築した。

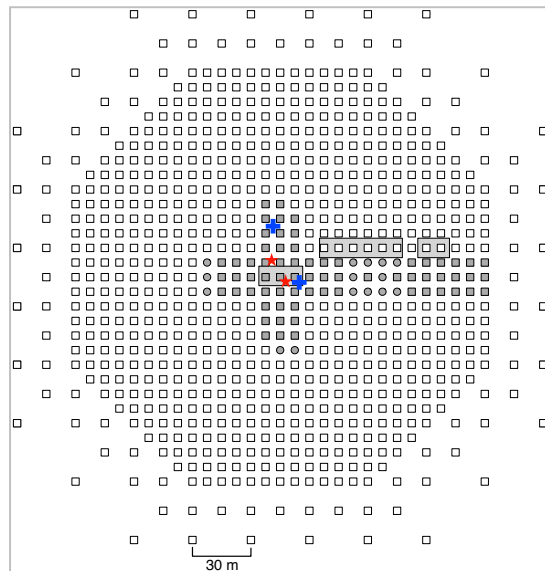


図3 チベット空気シャワー観測装置配置図。灰色記号は今回使用した粒子検出器で、そのうち丸記号は6月以降バックグラウンド測定に変更された検出器。青プラス印は大気電場計、赤星印は Storm Tracker の配置を示す。

また、前述の鳥居、土屋達の観測から期待される雷雲電場における制動放射でガンマ線が発生するメカニズムに基づいて、我々の観測装置で期待される結果について、シミュレーションによる研究も同時に進めている。

4. 研究成果

(1) 経過

① 平成 20 年度

我々は日本での実験準備を行った。具体的にはフィールドミル大気電場計や Storm Tracker を入手して、データ収集ソフトの開発および実験室内での試験運転を行い、長期無人運転における遠隔からのメンテナンスやデータのダウンロードに問題がないことを確認した。

② 平成 21 年度

年度末、チベット入域許可証が中国から発行されたので、機材を持ち込み、羊八井国際宇宙線観測所内のチベット空気シャワー観測装置施設に設置した。2 月末より観測を開始した。

③ 平成 22 年度

5 月から 8 月までが雨期となっており、雷雲発生が集中している。この間の観測データを収集することができた。以降、現在も観測を続けている。

(2) これまでの解析結果

雷雲が接近し、通過すると大気電場を大きく変動させることはよく知られている。この電場の変動と放射線の関係を調べるために、チベット空気シャワー観測装置の 82 台のシンチレーション検出器と同時観測データの解析を行った。我々のシンチレーション検出器はシンチレータ上部に 5mm 厚の鉛板でカバーして、ガンマ線を変換させるようにしてあるため、結果としてガンマ線にも電子にも感度を持つ装置となっている。

検出器は独立でトリガーを持ち、1 粒子または 2 粒子を検出すると信号を出す。82 台の出力信号は 1 台のスケーラーでまとめてカウントしている。検出器を区別することはできないが、全体として放射線の増減には強い感度を持つ。

2010 年 5 月 24 日午後には発生した落雷を伴う雷雲時の粒子数と大気電場の変化を図 4 に示す。図では、大気電場計から通過に 15～30 分間ほど要する大きな雷雲が 2 度通過していることを示している。鋭い電場の変動は落雷を表していると考えられる。シンチレーション検出器群の粒子数は雷雲が近づくにつれ増加し、雷雲より早く減少傾向を示している。また、同時に 2 粒子検出している粒子数も増加している。

図 5 は、2010 年 7 月 20 日午後には発生した

事例である。電場の極性が図 4 とは反対であることが特徴である。それ以外は図 4 とよく似た傾向を示している。

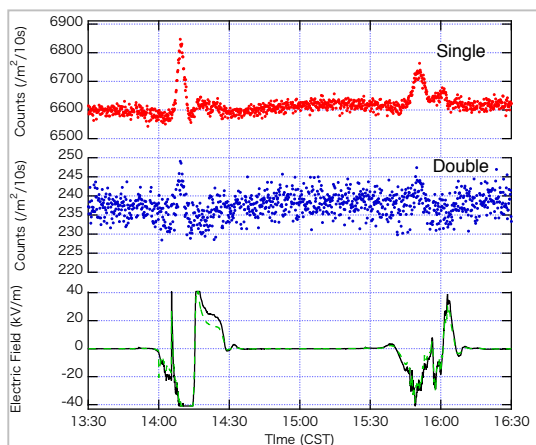


図 4：2010 年 5 月 24 日の雷雲事象。上～中図が放射線検出器で記録された粒子の増加（上：1 粒子、中：同時に 2 粒子）。下図が大気電場強度（黒実線：中央モニター、緑破線：周辺モニター）。

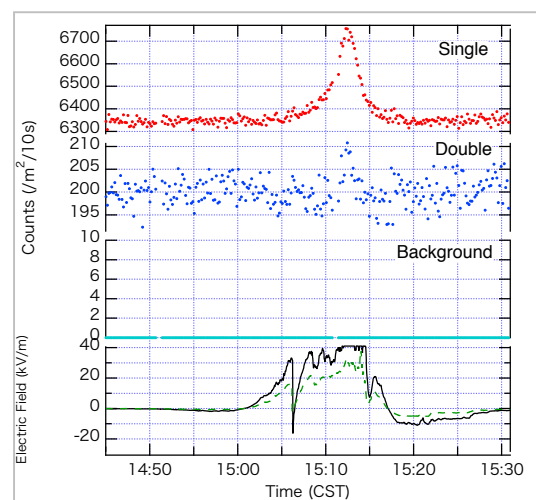


図 5：2010 年 7 月 20 日の雷雲事象。図 4 と同じであるが、バックグラウンドの信号に変化がないことも示す。

(3) 今後の展開

2010 年雨期には、図 4, 5 のような事例が多く見つかっており、現在それらデータを詳細に解析しているところである。雷雲中の放射線の発生または加速機構に関しては、観測を続け、データの統計を上げることにより、解明に近づけていきたい。解析結果がまとまり次第、学会、学術誌等で報告する予定である。

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)

[学会発表] (計2件)

- ① 日比野 欣也、チベットでの雷や雷雲に由来する放射線の観測 I、日本物理学会、2011年3月25日、新潟大学
- ② 土屋 晴文、チベットでの雷や雷雲に由来する放射線の観測 II、日本物理学会、2011年3月25日、新潟大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

日比野 欣也 (HIBINO KINYA)
神奈川大学・工学部・教授
研究者番号：80260991

(2) 研究分担者

立山 暢人 (TATEYAMA NOBUHITO)
神奈川大学・工学部・教授
研究者番号：30102239

(3) 連携研究者

堀田 直己 (HOTTA NAOKI)
宇都宮大学・教育学部・教授
研究者番号：60157039

大西 宗博 (OHNISHI MUNEHIRO)
東京大学・宇宙線研究所・助教
研究者番号：10260514

土屋 晴文 (TSUCHIYA HARUFUMI)
理化学研究所・牧島宇宙放射線研究室・基礎科学特別研究員
研究者番号：70415230

塩見 昌司 (SHIOMI ATSUSHI)
日本大学・生産工学部・助教
研究者番号：60401288

(4) 研究協力者

川田 和正 (KAWATA KAZUMASA)
東京大学・宇宙線研究所・特任研究員
研究者番号：10401291