

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 20 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2015

課題番号：26800124

研究課題名(和文)チベット空気シャワー観測装置による宇宙線加速と高エネルギーガンマ線放射天体の研究

研究課題名(英文)Study on cosmic-ray acceleration and high-energy gamma-ray sources using the Tibet air shower array

研究代表者

佐古 崇志 (Sako, Takashi)

東京大学・宇宙線研究所・研究員

研究者番号：00705022

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)：チベット空気シャワー実験では、宇宙ガンマ線に対する感度向上を目的とした水チェレンコフ型の地下ミュオン観測装置(Muon Detector、以下MD)計画を推進中である。100平米のプロトタイプMDのデータ解析により、かに星雲からのガンマ線フラックスに対して140TeV以上で最も厳しい上限値を得た。この結果を論文として出版し、国際会議ICRC2015にて口頭発表を行った。MDによる事象選別方法の最適化や、空気シャワーアレイの性能向上の研究も進めている。チベット実験の現状および最近の研究結果について、国際会議TeVPA2015および東京大学宇宙線研究所共同利用成果発表会にて口頭発表を行った。

研究成果の概要(英文)：The Tibet ASgamma collaboration has been pushing forward the underground water Cerenkov Muon Detector (MD) project, in order to improve the sensitivity to cosmic gamma rays. The most stringent upper limit was obtained above 140 TeV on the gamma-ray flux of the Crab Nebula, by means of the data from the 100 m² prototype MD constructed to confirm the feasibility of the full MD project. The result was published (Amenomori M. et al., 2015, ApJ, 813, 98), and was presented at the conference ICRC2015 (id833, Hague, Holland, 30 July - 6 August). The optimization of the event selection method by means of MD as well as the improvement of the performance of the air-shower array has been under way. The current status and recent results of the Tibet ASgamma experiment were presented at TeV2015 (Kashiwa, Japan, 26-30 October) and the conference for cooperative research report at ICRR (18-19, December, 2015).

研究分野：宇宙線物理学

キーワード：宇宙ガンマ線 超新星残骸 宇宙線加速機構

1. 研究開始当初の背景

衛星や気球、空気シャワーアレイを用いた観測により、陽子を主成分とする宇宙線のエネルギースペクトルは10桁以上にわたって冪型をしていることが知られている。そのスペクトルは3000 TeV近辺(“knee”と呼ばれる)で折れ曲がり、冪の値は -2.7 から -3.0 に変化することが示唆されている。“knee”より低いエネルギーの宇宙線は我々の銀河系内の天体(超新星残骸(SNR))起源であり、“knee”以上のエネルギーの宇宙線は銀河系外の天体(活動銀河核やガンマ線バースト)起源であると考えられているものの、観測から実際に宇宙線の加速現場となっている天体を同定することは困難であった。なぜなら、宇宙線粒子は電荷を持っており銀河磁場により進路を曲げられるため、地球で観測してもどの天体からやってきたのか知ることができないからである。そのような状況の中、天体で宇宙線が加速されているならば、それらと星間物質との衝突による中性パイオンの生成・崩壊から100 MeV–1000 TeVのガンマ線が観測される可能性があることが指摘された[文献 1]。ガンマ線は磁場の影響を受けずに直進するため、この中性パイオンを経由して放射されるガンマ線をとらえれば宇宙線の加速現場を直接同定できる。有名なSNRであるかに星雲から初めて TeV ガンマ線放射が検出されて以来[文献 2]、HESS などのチェレンコフ望遠鏡がその角度分解能の良さを活かして143に及ぶ天体から TeV ガンマ線放射源を発見し、TeV ガンマ線は加速された高エネルギー電子がシンクロトロン光子を叩き上げる逆コンプトン散乱によって放射されていることが明らかになってきた。また近年、W44 や Tycho といった SNR からは GeV ガンマ線の観測結果は中性パイオンの崩壊によるものであり、SNR での陽子加速の証拠と結論付けられた[文献 3、4]。しかしながら、陽子や原子核が

knee(~3PeV)まで加速されていることの決定的な証拠はまだ得られていない。

[文献 1] T.Naito & F.Takahara, Journal of Physics G : Nuclear and Particle Physics, Vol.20, Issue 3, 477, (1994)

□[文献 2] T.C.Weekes et al., Astrophysical Journal, 342, 379, (1989)

[文献3] A.Giuliani et al., Astrophysical Journal Letters, 742,L30, (2011)

[文献4] F.Giordano et al., Astrophysical Journal Letters, 744,L2, (2012)

2. 研究の目的

チベット空気シャワーアレイ実験はTeV以上の宇宙線・ガンマ線の観測を目的としている。大有 効面積(37000平米)で天候・昼夜を問わず広視野(2sr)を連続観測できるという優れた特徴を持ち、標高4300m の高地にあるため空気シャワー粒子の検出効率も良く、角度分解能もチェレンコフ望遠鏡と同程度まで迫っている。宇宙線の発見以来最大の謎である「宇宙線がどこでどのように生まれるのか?」の決定的な証拠をつかむには、電波、X線から100TeVを超えるガンマ線にわたる広範囲のエネルギーバンドでの精密なスペクトル測定が不可欠である。空気シャワーアレイに大面積(10,000平米)の水チェレンコフ型ミュオン観測装置を付加して連動させることで、かつてない低ノイズで10TeV以上の宇宙ガンマ線を広視野でモニターすることを目指す。

3. 研究の方法

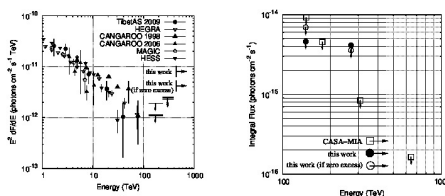
陽子と星間物質との衝突により生成される中性パイオン経由の TeV ガンマ線を検出するには、加速された電子の逆コンプトン散乱による TeV ガンマ線と区別する必要がある。高エネルギー電子はシンクロトロン放射により急激にエネルギーを失い(シンクロトロン冷却)、また逆コンプトン散乱の断面積は高エネルギーで急激に小さくなる(クライン仁科

効果)。従って、電子の逆コンプトン散乱のエネルギースペクトルは100TeV以下でカットオフを持つものに対し、中性パイオン経由のガンマ線スペクトルは数100TeV以上まで伸びていることが予想される。100TeV領域ガンマ線のスペクトルを測定し、X線や電波など他波長での観測と合わせて理論モデルによるフィッティングを行うことで、陽子や原子核の加速の有無、最大加速エネルギーなどのパラメータの決定が可能となる。ミュオン観測装置(Muon Detector, 以下MD)は計192個の検出器から成る。各検出器は面積50平米、水深1.5mの水槽であり、水槽内を空気シャワー中のミュオンが通過した時に放射されるチェレンコフ光を天井に下向きに設置した20インチPMTでとらえることでミュオンを検出する。ミュオンは地下の水槽まで貫通してくるのに対して、空気シャワーの電磁成分は2.5m厚の土壌(~20放射長)で遮蔽される。水槽の外壁は土盛りに耐えられるよう鉄筋コンクリートで建設される。水槽内壁は塗料で保護して防水する。防水塗料はコンクリートから水への浸出物の混入を防ぎ、水質を保つ役割も果たす。その上に白のタイベックシート(光の反射率90%)を貼り、チェレンコフ光を反射させて天井のPMTまで導く。ガンマ線起源の空気シャワーに付随するミュオン数は、バックグラウンドとなる原子核宇宙線のそれと比べると1/30以下であるので、劇的なバックグラウンドの除去が可能となる。詳細なシミュレーションの結果、10—100TeVのエネルギー領域で99.9%—99.99%の除去率が達成できることがわかっている。2007年度に建設された100 m²のプロトタイプミュオン検出器で取得したデータから、シミュレーションの正しさがほぼ立証されている。2013年9月に本MD計画の約1/3スケール、4,200平米のMDが完成し、本格的な稼働を開始した。このMDを用いて、かに星雲からのガンマ線データ解析を行い、MDを用いたバックグラウンド

宇宙線除去の方法およびエネルギースペクトラムの導出方法を確立する。それと並行してチベット空気シャワーアレイ視野内の様々な赤緯において空気シャワーシミュレーションデータを生成する。このシミュレーションデータを用いて、銀河面からのTeV拡散ガンマ線と既知天体の観測および未知天体の探索を行う。

4. 研究成果

MD本計画の実現性を確認するために建設した100平米のプロトタイプMDのデータ解析により、かに星雲からのガンマ線フラックスに対して140TeV以上で最も厳しい上限値を得た。



(図1:かに星雲からのガンマ線フラックスに対して与えた上限値。左:微分フラックス、右:積分フラックス。比較のため他の観測結果もプロットしている)

この結果を論文にまとめて出版し(Amenomori M. et al., 2015, ApJ, 813, 98)、国際会議にて口頭発表を行った(ICRC2015, id833, Hague, Holland, 30 July-6 August)。MDデータ解析に必要なシミュレーションデータの生成、MDによる事象選別方法の最適化や、空気シャワーアレイの性能向上の研究を進めている。チベット実験の現状および最近の研究結果について、国際会議(TeV2015, Kashiwa, Japan, 26-30 October)および東京大学宇宙線研究所共同利用成果発表会(2015年12月18-19日)にて口頭発表を行った。

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)

“ Search for gamma rays above 100 TeV from the Crab Nebula with the Tibet air shower array and the 100m² muon detector ”
Amenomori M. et al., 2015, ApJ, 813, 98
査読有

<http://iopscience.iop.org/article/10.1088/0004-637X/813/2/98/pdf>

“ Search for gamma rays above 100 TeV from the Crab Nebula using the Tibet air shower array and the 100 m² muon detector ”
Amenomori M. et al., ICRC2015 proceedings, id833, Hague, Holland, 30 July - 6 August
査読無し

http://pos.sissa.it/archive/conferences/236/833/ICRC2015_833.pdf

〔学会発表〕(計 3 件)

“ Search for gamma rays above 100 TeV from the Crab Nebula using the Tibet air shower array and the 100 m² muon detector ”
ICRC2015, id833, Hague, Holland, 30 July - 6 August

” Recent results from the Tibet AS_γ

experiment ”

TeV2015, Kashiwa, Japan, 26-30 October

” チベット高原での高エネルギー宇宙線の研究 ”

平成 27 年度共同利用成果発表会、東京大学宇宙線研究所、2015 年 12 月 18-19 日

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕なし

6 . 研究組織

(1)研究代表者

佐古 崇志 (SAKO, Takashi)

東京大学・宇宙線研究所・研究員

研究者番号 : 00705022

(2)研究分担者 なし

(3)連携研究者 なし