

Tibet 空気シャワー観測装置の次期計画について

日大生産工 ○塩見 昌司

1 はじめに

宇宙線は、宇宙から降り注ぐ高エネルギー粒子であり、主に陽子、ヘリウム等の原子核からなる。1912 年、オーストリアの Hess によって発見されたが、その起源及び加速機構は未だ謎のままである。これら宇宙線の全粒子エネルギースペクトルは E^γ と冪指数で表現され、 γ は $10^{14} \sim 10^{15}$ eV (knee 領域) で変化している。knee 領域以下の宇宙線は銀河系内の超新星残骸の衝撃波によって加速されており、スペクトル変化は各原子核の加速限界の違いによると思われる。

宇宙線の起源、加速機構の謎を解く重要な鍵の一つは、星間磁場によって曲げられず、方向の情報を失わない中性粒子の観測にある。加速現場近傍で周辺物質との相互作用により生成した π^0 起源のガンマ線を観測出来れば加速現場の同定に繋がる。しかしガンマ線は高速電子からも生成され、これまで観測されたガンマ線は原子核起源であると決定できてはいない。 π^0 起源のガンマ線の冪はバックグラウンド (BG) 宇宙線の冪-2.7より硬く、-2.2近くが期待され、スペクトルが伸びていけば数 100 TeV 領域が最も良い観測領域となりうるが、低頻度な故これまで未知の観測領域となっている。

チベット空気シャワー観測装置

(Tibet-III) は、シンチレーション検出器型の装置としては唯一 TeV (10^{12} eV) ガンマ線を検出している装置であり (図1)、100TeV 宇宙線のエネルギー分解能70-150TeV、角度分解能0.2度の性能を有する装置である (表1)。この装置に総有効面積 10,000 m^2 の巨大水チェレンコフ光観測型ミューオン検出器群の設置することで現行の観測感度を1桁以上上げることが可能となる。本報告では、チベット実験の紹介と次期計画について報告する。

2 チベット実験

チベット実験は1990年以来行われている日中共同実験であり、主装置であるチベット空気シャワー観測装置 (Tibet-III) (図1) は、標高 4,300mの羊八井高原に約 800 台のシンチレーション検出器 (図2) を 7.5m間隔の基盤目状に配置した有効面積約 40,000 m^2 の空気シャワー観測装置である。

有効面積	37,000 m^2
トリガ頻度	1,700 Hz
エネルギー閾値	3 TeV
角度分解能	1° @ 3 TeV: 0.2° @ 100 TeV
エネルギー分解能	100% @ 3TeV: 30% @ 100 TeV

表1 Tibet-III 性能

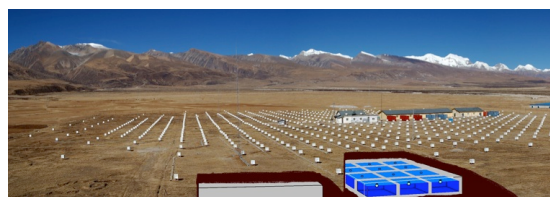


図1 装置全景 (Tibet-IIIとMD)

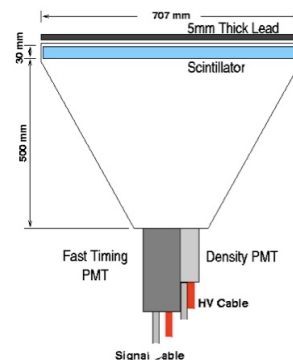


図2 シンチレーション検出器。下部の光電子増倍管からの信号より粒子数・入射時間を計測

Tibet Air Shower Experiments and Future Plan

Atsushi SHIOMI

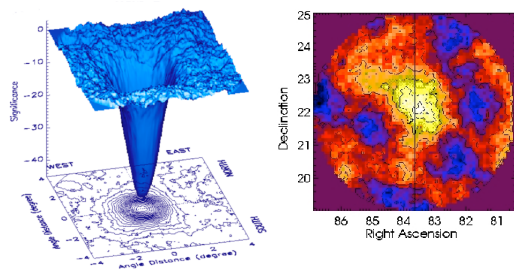


図3 3 TeV 宇宙線の作る月の影（左）とかに星雲方向からの3 TeVガンマ線（右）

実験の目的は、

- 1) 高エネルギー（数～数十 TeV 領域）宇宙ガンマ線点源の探索、
- 2) 超高エネルギー一次宇宙線の組成とエネルギースペクトルの計測、
- 3) 高エネルギー宇宙線による太陽惑星間磁場構造の研究、

であり、1) においては赤緯 $0 \sim 60^\circ$ を探索し、超新星残骸「かに星雲」、活動銀河核 Mrk421 からのガンマ線スペクトルを、2) においては系統誤差の最も少ない全粒子、陽子スペクトルを、3) においては宇宙線の作る太陽の影の観測から地球-太陽間磁場の研究や宇宙線の異方性を最も良い精度で測定している¹⁾。

3 次期計画について

2003 年から南アフリカのナムビアで稼働を始めた空気チェレンコフ望遠鏡を用いた H. E. S. S. グループは TeV ガンマ線天体を数多く発見し、宇宙線の起源解決の糸口を見つけつつある。発見されたガンマ線放射天体は銀河面に集中する超新星残骸がかなりの割合を占めるが²⁾、その種類はさまざまであり、ガンマ線発生機構の多様性を示唆している。「チャンドラ」、「すざく」など X 線観測衛星との同時観測は、衝撃波での電子加速について興味ある結果を与えているが³⁾、電子による逆コンプトンガンマ線成分の卓越により、宇宙線の主成分である陽子や原子核の加速場所を明確に同定するに至っていない。昨年打ち上げられたガンマ線衛星「フェルミ」搭載の LAT は 3ヶ月の観測で活動銀河核やパルサー等 205 のガンマ線天体の観測に成功し⁴⁾、新たな展開が期待されている。米国の Milagro グループはそれらの内、銀河系内の天体から数 10 TeV 付近までスペクトルが伸び、かつ広がったガンマ天体の存在の可能性を報告している⁵⁾。

宇宙線の謎を解くためには多波長観測が重要なのだが、特に電子起源ガンマ線の寄与が小さい 100 TeV 領域ガンマ線の観測の重要性が再認識され、いくつか計画が提案されており（図 4）、高感度かつ角度分解能、エネルギー分解能のよい実験が期待されている。

チベット実験グループでは Tibet-III を拡張した上で、この装置の内側に土洩 2m、水深 1.5m の水チェレンコフ光観測型ミュオン検出器群（MD）（図 1）を建設し、両装置を連動させることにより、ガンマ線観測のノイズとなる原子核起源宇宙線を空気シャワー中ミュオン数測定情報により、99% 以上除去し、数 10 TeV 領域以上の感度を 1 桁以上向上させる計画（MD 計画）を提案中である⁶⁾。本計画が実行されれば、10 以上の既知天体からの初の数 100 TeV ガンマ線の観測と新天体の観測等、この領域の新たな観測窓を開き、100 年来の謎に迫れるものと期待している（図 4）。

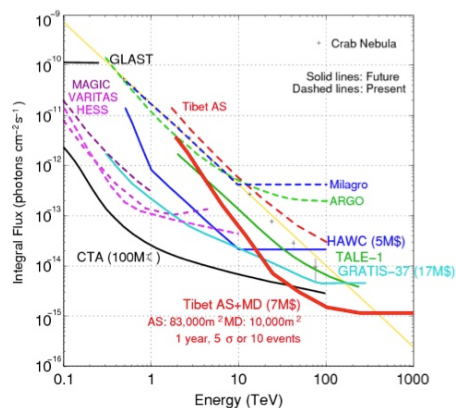


図4 ガンマ線点源に対する1年5 σ 感度図。太いラインが次期計画の予想感度

「参考文献」

- 1) M.Amenomori, et al., “Recent results on gamma-ray observation by the Tibet air shower array and related topics”, J.Phys.Soc.Jpn.Suppl.A, (2009), 78, 88-91.
- 2) Aharonian et al., “A New Population of Very High Energy Gamma-Ray Sources in the Milky Way”, Science, 307, (2005), 1938-1942.
- 3) Uchiyama et al., “Extremely fast acceleration of cosmic rays in a supernova remnant”, Nature, (2007), 449, 576-578.
- 4) A.A. Abdo et al., “Fermi/Large Area Telescope Bright Gamma-Ray Source List”, ApJS., (2009), 183, 46-66.
- 5) A.A. Abdo et al., “Milagro Observations of Multi-TeV Emission from Galactic Sources in the Fermi Bright Source List”, ApJ., (2009), 700, L127-L131.
- 6) T.K. Sako, K. Kawata, M. Ohnishi, A. Shiomi, M. Takita, H. Tsuchiya, “Exploration of a 100 TeV gamma-ray northern sky using the Tibet air-shower array combined with an underground water-Cherenkov muon-detector array”, Astropart. Phys., Accepted (2009).