

## 平成20年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：チベット高原での高エネルギー宇宙線の研究

英文：Experimental Study of High-energy Cosmic Rays in the Tibet AS  $\gamma$  Experiment

研究代表者 東京大学宇宙線研究所・准教授・瀧田正人

### 参加研究者

弘前大・教授・南条宏肇、・教授・雨森道紘、宇都宮大・教授・堀田直己、・准教授・永井明、放送大学・教授・太田周、埼玉大・名誉教授・水谷興平、神奈川大学・教授・湯田利典、・教授・白井達也、教授・立山暢人、・准教授・日比野欣也、・研究員・大内達美、・研究員・塩見昌司、横浜国大・教授・柴田慎雄、・助教・片寄祐作、・院生・木村圭太、・院生・大川原幹雄、・院生・中村俊彦、・院生・平野真也、湘南工大・教授・杉本久彦、国立情報学研・准教授・西澤正己、都立産業技術高専・教授・齋藤敏治、甲南大学・名誉教授・山本嘉昭、・名誉教授・坂田通徳、・教授・梶野文義、東大宇宙線研・助教・大西宗博、・技術職員・小林孝英、・研究員・川田和正、・院生・佐古崇志、・院生・長井雄一郎、・研究員・黄晶、・協力研究員・陳鼎、・院生・井上大輔、信州大学・教授・宗像一起、・准教授・安江新一、・准教授・加藤千尋、・院生・伏下哲、・院生・松本矩尚、・院生・鳴海拓也、・院生・山本洋和、・院生・吉村資巧、・院生・宮原裕之、理化学研究所・研究員・土屋晴文、早稲田大学・教授・鳥居祥二、・客員教授・笠原克昌、・助手・Wang Xiao

### 研究成果概要

1. Knee領域 ( $10^{14}$  eV –  $10^{17}$  eV) 宇宙線全粒子エネルギースペクトルの測定  
[M. Amenomori et al., ApJ, 678, 1165–1179, (2008)]

チベット空気シャワー観測装置 (Tibet-III) を用いて、Knee領域 ( $10^{14}$  eV –  $10^{17}$  eV) 宇宙線全粒子エネルギースペクトルの測定を行った (図1)。2000年11月から2004年10月までに取得された合計  $5.5 \times 10^7$  事例を用いた。電子サイズスペクトルでも4PeVに折れ曲がり観測された。CORS IKAを用いてシミュレーションを行い、ハドロン相互作用としてQGSJET01cとSYBILL2.1、一次宇宙線化学組成モデルとしてHD (heavy dominant)とPD (proton dominant)を用いた系統誤差を評価した。また、全陽子と全鉄の極端なケースもスタディしてみた。チベット高度 (4,300m a. s. l.) では空気シャワーがほぼ最大シャワー発達に達すること及び空気シャワー中の電磁成分を測定していることから予想される通り、測定されたエネルギースペクトルは一次宇宙線化学組成や相互作用モデルによる依存性が少ない結果となった。本測定はKnee領域において、単独で3桁のエネルギー範囲をカバーする唯一の実験であり、統計精度及び系統誤差コントロール面においても世界最高水準である。

図1 Knee領域宇宙線全粒子エネルギースペクトルの微分値

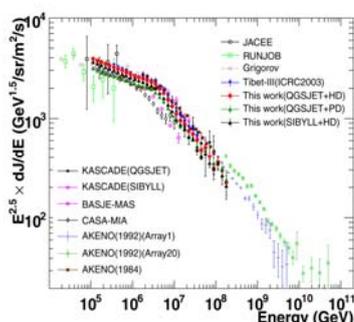
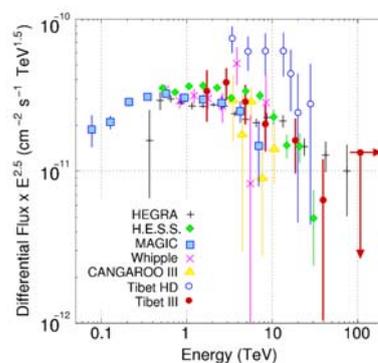


図2 かに星雲からのガンマ線エネルギースペクトル



2. Multi-TeV Gamma-Ray Observation from the Crab Nebula Using the Tibet-III Air Shower Array Finely Tuned by the Cosmic-Ray Moon's Shadow  
[ApJ, 692, 61–72, 2009]

中国チベットに設置されたTibet-III空気シャワー観測装置の533台のプラスチックシンチレータ検出器から成る部分は1999年から稼働している。この部分で1999年11月から2005年11月まで

に取得されたデータを解析して、かに星雲から飛来するmulti-TeV領域ガンマ線のエネルギースペクトルを観測した(図2)。1.7TeVから40TeVのエネルギー範囲で、そのエネルギースペクトルは $(2.09+0.32) \times 10^{-12} (E/3\text{TeV})^{-(2.96+0.14)} / \text{cm}^2/\text{s}/\text{TeV}$ となった。この結果は解像型大気チェレンコフ望遠鏡を用いた様々なガンマ線観測結果と良く合っている。我々は、宇宙線中の月の影の観測値とシミュレーションによる予想値と詳細に比較することにより、Tibet-III空気シャワー観測装置の性能をチェック及び調整した。真の月の影に対して見かけの月の影は地球磁場の影響で西偏し、その曲がり具合は入射一次宇宙線のエネルギーを反映する。この関係を用いて、空気シャワーサイズから計算する一次宇宙線エネルギーに関する系統誤差を見積もることが可能となる。チベット実験では、この系統誤差は+12%以下であると見積もられる。このようなエネルギースケールの校正手法の導入は地上の宇宙線観測において初めての試みである。また、チベットにおいては月の影に南北方向のずれがないことを利用して、チベット空気シャワー観測装置のポインティングのずれは0°.011より小さいことを見積もった。月の影の位置及びその影による宇宙線欠損量の変化は、1年あたり+6%(統計誤差)以内と大変安定している。これらの事実より、Tibet-III空気シャワー観測装置による点源天体観測の長期安定性が保証されることになる。このようにして月の影を用いて見積もられた系統誤差が今回のかに星雲からのガンマ線解析に反映されており、信頼度の高い観測結果となっている。

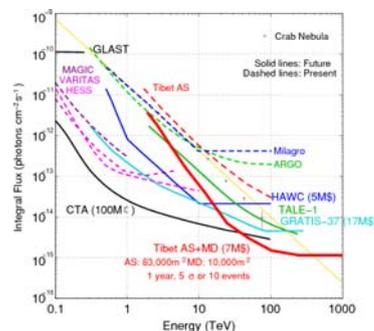
### 3. 次期計画

科研費特定領域が2005年3月で終了し、次期計画(Knee領域重粒子成分のエネルギースペクトル観測を目指すTibet-YAC: Tibet air shower core detector array 及び100TeV領域(10-1000TeV)ガンマ線天文学の開拓を目指すTibet-AS+MD Project: Tibet Air shower array + Muon Detector array Project)に関する議論及び外部資金申請が活発に行われている。2007年秋には、水チェレンコフ型地下ミュオン検出器のプロトタイプ(図3)をTibet-III地下に建設し、Tibet-IIIとの連動実験を開始した。データ取得も順調で、現在まで正常に動作していることが確認された。また、プロトタイプ地下ミュオン測定器観測データとシミュレーションの比較を行ったところ、シミュレーションがデータを良く再現していることがわかった。これにより、チベットにおける地下ミュオン測定器建設等のfeasibility 及びガンマ線観測等に関する予想感度(図4)の正しさが立証されたことになる。

図3 100m<sup>2</sup>プロトタイプミュオン検出器



図4 Tibet AS+MD ガンマ点源予想感度



### 4. 国際会議発表: 5つの国際会議で6 presentations

#### 5. 査読付論文: 4本

- "Tibet Air Shower Array: Results and Future Plan", M. Amenomori et al., Journal of Physics: Conference Series 120, 062024 1-4 (2008).
- "The All-Particle Spectrum of Primary Cosmic Rays in the Wide Energy Range from  $10^{14}$  to  $10^{17}$  eV Observed with the Tibet-III Air-Shower Array", M. Amenomori et al., M. Amenomori et al., ApJ, 678, 1165-1178, (2008).
- "The energy spectrum of all-particle cosmic rays around the knee region observed with the Tibet-III air-shower array", M. Amenomori et al., Advances in Space Research, 42, 467-772, (2008).
- "Multi-TeV Gamma-Ray Observation from the Crab Nebula Using the Tibet-III Airshower Array Finely Tuned by the Cosmic-Ray Moon's Shadow", M. Amenomori et al., M. Amenomori et al., ApJ, 692, 61-72, (2009).

整理番号