

## 平成 29 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・教授・瀧田正人

参加研究者 弘前大・名誉教授・南条宏肇、・名誉教授・雨森道紘、宇都宮大・教授・堀田直己、作新学院大学・学長・太田周、埼玉大・名誉教授・水谷興平、神奈川大学・名誉教授・白井達也、名誉教授・立山暢人、・教授・日比野欣也、・助教・有働慈治、横浜国大・名誉教授・柴田慎雄、・准教授・片寄祐作、・院生・片岡幹博、・院生・鈴木 大、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、東大宇宙線研究所・助教・大西宗博、・特任助教・川田和正、Yachay Tech・assistant professor・佐古崇志、信州大学・教授・宗像一起、・准教授・加藤千尋、・院生・中村佳明、院生・小池俊輝、院生・大島貴広、日本原子力研究開発機構・研究副主幹・土屋晴文、早稲田大学・教授・鳥居祥二、・招聘研究員・笠原克昌、・次席研究員・小澤俊介、日本大学・准教授・塩見昌司、JAXA (ISAS)・研究員・小財正義、中国科学院高能物理研究所・教授・黄晶

### 研究成果概要

#### 1. Tibet-MD計画

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)に関する研究が活発に行われている。100TeV領域ガンマ線の低雑音観測を目指し、4200m<sup>2</sup>の地下水チェレンコフミュオン検出器の建設が完了し、平成25年度にデータ取得を開始した。平成29年度は、空気シャワー観測装置と地下ミュオン観測装置の連動実験の運転が行われ、カレンダー年で合計約4年間分の観測データが蓄積された。エネルギー分解能を向上させる解析方法等、新しいデータ解析用ソフトウェアツールの開発が行われている。

#### 2. Tibet-YAC計画

Knee 領域宇宙線の各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 計画を推進している。YAC-II (124 台の空気シャワーコア観測検出器[バースト検出器]がチベット空気シャワー観測装置の中心付近に設置されている。平成25年度にエレクトロニクスやデータ取得ソフトウェアの実装作業が行われ、陽子選別に重点を絞る YAC-II がデータ取得を開始した。平成 29 年度は、空気シャワー観測装置と YAC-II 観測装置の連動実験の運転が行われ、カレンダー年で合計約 4 年間分の観測データが蓄積された。モンテカルロシミュレーション等を用いて、解析用ソフトウェアツールの開発が活発におこなわれている。

#### 3. 高エネルギー宇宙線中の太陽の影の南北方向のずれの観測と惑星間磁場の研究

今年度の研究成果の一例として、高エネルギー宇宙線中の太陽の影の南北方向のずれの観測について報告する。このずれを定量的に評価することにより、地球と太陽の間の惑星間磁場 Interplanetary Magnetic Field (IMF) の平均強度に関する知見を得ることができる。

本研究では、2000 年から 2009 年にかけて空気シャワー観測装置で観測された 3 TeV 以上の高エネルギー宇宙線データを解析した。IMF は図 1 に示すように太陽の自転に合わせて回転し、Toward セクター (磁力線が太陽に向かう磁場領域) と Away 領域 (磁力線が太陽から外方向に向かう領域) に分けられる。そして、図 2 に示すように Away 領域では宇宙線中の太陽の影は北にずれ、Toward 領域では南にずれる。

太陽の影の中心位置の南北方向のずれをシミュレーションと比較した結果、図 3 に示す

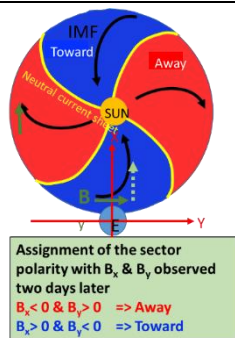


図 1: 太陽磁場の Away 成分と Toward 成分。

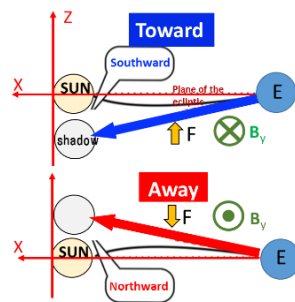


図 2: 宇宙線中の太陽の影の南北方向のずれ。Away セクターでは北に、Toward セクターでは南にずれる。

ように Away セクターでは  $1.54 \pm 0.21_{\text{stat.}} \pm 0.20_{\text{sys.}}$  倍、Toward セクターでは  $1.62 \pm 0.15_{\text{stat.}} \pm 0.22_{\text{sys.}}$  倍だけずれが予想値より大きいことがわかった。これは我々がシミュレーションで用いた太陽磁場モデルが磁場を過大評価していることを示唆する。このように我々は世界で初めて、3TeV 以上の宇宙線の太陽の影の南北方向のずれを定量的に評価することに成功した。

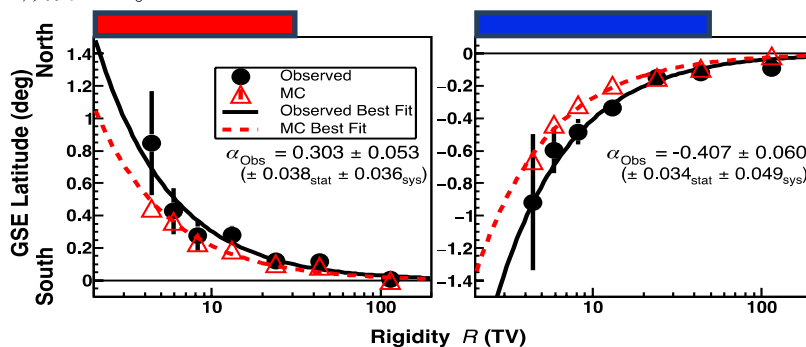


図 3: Away (左) と Toward (右) セクターの太陽の影のずれ。

赤△はシミュレーション、黒●はデータ。縦軸は角度、横軸は Rigidity(TV)。

4. 国内会議発表

H29 年秋の物理学会(宇都宮大学)3 講演、H30 年春の物理学会(東京理科大学) 1 講演

5. 国際会議発表 :

ICRC2017、AOGS2017等で 6 presentations

6. Publications

[1] “Energy determination of gamma-ray induced air showers observed by an extensive air shower array”, K. Kawata et al., Experimental Astronomy, **44** (2017)1-9.

[2] “Evaluation of the Interplanetary Magnetic Field Strength Using the Cosmic-Ray Shadow of the Sun”, M. Amenomori et al., Phys. Rev. Lett., 120, 031101-1-6, (2018).