

## 平成 23 年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：Knee 領域一次宇宙線組成の研究

英文：Study of the composition of cosmic-rays at the Knee

研究代表者

横浜国立大学・教授・柴田 禎雄

参加研究者

横浜国立大学・特別研究教員・片寄 祐作

東京大学宇宙線研究所・日本学術振興会外国人特別研究員・陳 鼎

横浜国立大学・M2・元山 達朗

横浜国立大学・M1・宍戸 清哉

都立産業技術高専・教授・齋藤 敏治

湘南工科大学・助教授・杉本 久彦

研究成果概要

宇宙線エネルギースペクトルが鋭い折れ曲がりを示すことで知られる  $10^{15}$ - $10^{16}$ eV 領域 (Knee 領域)の化学組成を明らかにし、Knee の起源解明を目指した研究を行っている。これまでにチベット高原に設置した空気シャワーアレイの中心部にバースト検出器を増設してシャワー中心の高エネルギー成分を観測することにより、一次線核種を弁別する方法を開発してきた。2009-2010 年度には 16 台のバースト検出器を用いた小規模アレイ (YAC1) により  $10^{14}$ eV 前後の空気シャワーコア観測を行った。2011-2012 年度には 100 台から成る YAC2 のためのバースト検出器の増設を進めると共に、YAC1 のデータを解析して得られた空気シャワーコアの特徴をモンテカルロ・シミュレーション (MC) による期待値と比較した。MC の結果は使用する相互作用モデルに依存するため、QGSJET01c、QGSJET2-03、SIBYLL2.1、EPOS1.99 の 4 つのモデルとの比較を行った。図 1 は中心部の高エネルギー成分によってトリガーした空気シャワーのサイズ分布を示し、4 つの MC は概ね実験を良く再現しているが、絶対頻度に 30~50%の差異が認められ実験結果はそれらの間に位置する。

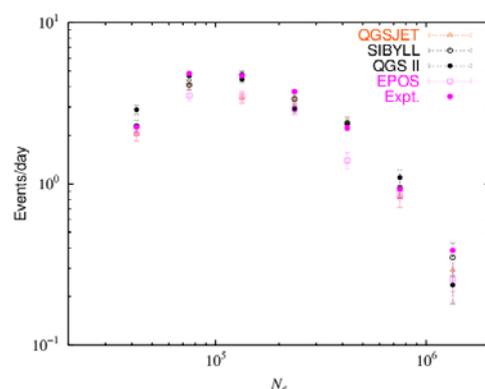


図 1 バーストトリガーによる空気シャワーサイズ分布

整理番号

観測された空気シャワーコアのその他の特徴（バーストサイズ分布、その横広がり等）は4つのモデル共良く再現している。このことは最近の LHCf による  $\sqrt{s}=7\text{TeV}$  run の結果と矛盾せず、YAC による一次線化学組成測定が精度良く行えることを裏付けている。一次粒子弁別のためにはコアの特徴を示すパラメータを Artificial Neural

Network (ANN) により処理する方法に加えて、Random Forest アルゴリズムの適用の可能性を調べた。図2はシミュレーションで仮定した化学組成が観測データから正しく再構成されるかを検証した結果である。

2012年度以後はYAC2による連続観測を行う。これにより  $10^{14}\text{-}10^{16}$  eV 領域の陽子、ヘリウム成分スペクトルが高い統計精度で求められると期待される。鉄成分の観測には更に測定器の拡充が必要であり、400台規模のYAC3を計画している。

#### 学会発表等

- 1) 日本物理学会 2011年秋季大会（弘前大学）、平成23年9月：18aSW-7  
空気シャワーコアアレイ(YAC)による1次核種判別、元山達朗

#### 最近の発表論文

- 1) M. Amenomori et al. "Air-shower core detector array to study the mass composition of cosmic rays beyond 100 TeV by Tibet hybrid experiment." Proc. 32nd ICRC, Beijing, paper id **0356** (2012)
- 2) M. Amenomori et al. "Cosmic-ray energy spectrum around the knee observed with the Tibet air-shower experiment", *Astrophys, Space Sci, Trans.*, **7**, pp 15-20, (2011)
- 3) M. Amenomori et al. "Cosmic-ray energy spectrum around the knee obtained by the Tibet experiment and future prospects", *Advances in Space Research* **47**, pp 629-639, (2011)
- 4) M. Shibata et al., "Chemical composition and the maximum energy of galactic cosmic rays", *ApJ*, **716**, pp 1076-1083, (2010)
- 5) M. Amenomori et al., "Interpretation of the cosmic-ray energy spectrum and the Knee inferred from the Tibet air-shower experiment.", 31st ICRC, Lodz, paper id **0294**, (2009)
- 6) M. Shibata, "About the cosmic-ray spectrum around the Knee", 31st ICRC, Lodz, paper id **0295**, (2009)

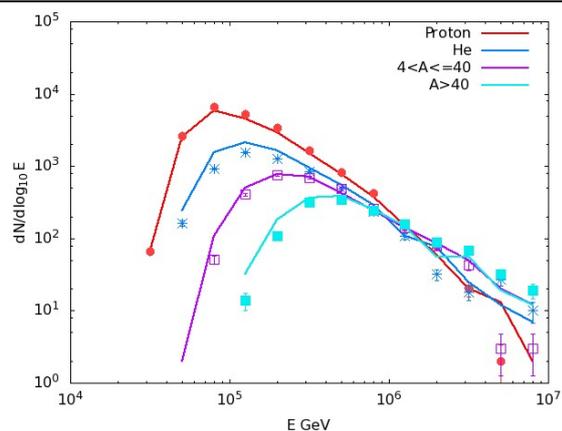


図2 MC event を用いた一次線核種弁別。実線が input の分布、プロットシンボルが Random Forest により再構成された event の分布を示す。