

平成27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 准教授・片寄 祐作
参加研究者	横浜国立大学 名誉教授・柴田 楨雄 大学院前期博士課程2年・風間光喜 大学院前期博士課程1年・松田光平 都立産業技術高専 教授・齋藤 敏治 中国科学院高能物理研究所 教授・黄晶(huang jing) 博士課程3年・翟留名(zhai liuming) 博士課程3年・刘金胜(liu jinsheng) 助理研究員・张颖(zhang ying) 博士課程2年・陈旭(chen xu) 博士課程3年 胡孝斌(hu xiaobin) 博士課程1年・林钰晖(lin yuhui) 修士課程2年 林钰晖(lin yuhui) 中国科学院国家天文台 教授・陈鼎 (chen ding) 研究員・金洪波(jin hongbo)
研究成果概要	<p>[1] 研究内容：宇宙線加速メカニズムや加速源分布は観測される原子核組成の強度スペクトルに反映され、これらの精密測定は宇宙線起源の謎を解く鍵と考えられる。本共同利用研究課題では、“Knee領域”と呼ばれるエネルギーが10^{14}eVから10^{16}eV付近までの陽子から鉄に至る原子核強度とその変化から、銀河系宇宙線を研究している。このため宇宙線から発生させられる空気シャワーを高山において測定し、更にシャワー中心の高エネルギー粒子密度横広がりから一次核種弁別を行う独自の方法により化学組成を調べている。この方法では、宇宙線間接測定においては系統誤差の主要因となる一次宇宙線組成の仮定による差異と空気シャワー相互作用モデル依存を最小限に押さえた核種弁別が可能である。</p> <p>これまで我々は中国と共同で標高約 4300m に位置するチベットの羊八井高原に設置した空気シャワー観測装置 (Tibet-III)、エマルジョンチェンバー、シンチレータ等を用いた複合型コア検出器により、PeV 領域一次陽子とヘリウムスペクトルを求めた。その結果、これらの軽原子核成分の全粒子に対する割合が 100TeV 以上で徐々に減少することが分かり、Knee 領域では重粒子成分が支配的であることが示唆された。また、全粒子スペクトルの折れ曲がり、超新星残骸でのフェルミ加速から予測される各原子核スペクトルの単純な重ね合わせでは説明できず、Knee 付近には特別なスペクトルを有する成分が寄与している可能性も示唆されており、新たな観測実験からその正体を明らかにすることを目指している。より高精度な測定のため、新しいコア検出器 (YAC; Yangbajing Air shower Core) を開発し、モンテカルロ計算からシャワー二次粒子の横広がり分布の差異を用いた核種弁別方法を開発してきた。2009 年には試験観測のため、Tibet-III アレイの中心付近に 16 台の YAC 検出器を 1.5m 間隔の格子状に配置した YAC-I アレイ (36m²) を設置し連動実験を実施した。直接観測により高精度な組成が得られているエネルギー 100 TeV 前後の事象が観測対象となり、シミュレーション計算と合わせて相互作用モデルを調べることができる。更に 100TeV 以上の陽子・ヘリウムスペクトル観測を目的として、125 台 (225m²) に拡張した YAC-II アレイ (図 1) を建設し、2014 年から Tibet-III アレイ、ミュオン粒子検出器 (MD) との連続観測を行っている。この観測から陽子とヘリウムスペクトル Knee 形状の精密な結果が明らかになると期待される。</p>

[2] 2015 年度の成果

(1) YAC-I 検出器による実験では、数十 TeV から百 TeV 領域での核ケースード相互作用モデルを検証するため、測定データとモンテカルロシミュレーションとの比較を行った。3 種類の相互作用モデル (SIBYLL2.1、QGSJETII-04、EPOS-LHC) と、宇宙線組成モデルとして “He-rich”、“He-poor” と “Gaisser-fit” モデルの計 5 つの組み合わせについて解析した結果を宇宙線国際会議で報告した (3-①)。



図 1 Tibet III アレイの中心に設置した YAC-II アレイ (125 台の検出器から成る)。

(2) YAC-II 検出器実験では検出器を増設することによって、エネルギー領域 50TeV から 10000 TeV まで調べることができ、2014 年から現在まで順調に観測を続けている。今年度は、シミュレーション計算から YAC-II、Tibet-III,MD 連動実験の性能評価を行い、期待される陽子、ヘリウムスペクトル精度等を調査した。また YAC-II を用いた核相互作用モデルの検証法についてシミュレーションから調査した。これらの結果は宇宙線国際会議で報告した (3-③)。

(3) 将来、検出器を 400 台まで増設し、鉄などの重い原子核成分の観測を行う YAC-III 実験を計画している。このための新しいデータ収集システム開発を行った。空気シャワー中心の高密度粒子群を測定するため、YAC 検出器 1 台について 1 粒子から 10^6 粒子までの測定が必要となる。従って PMT からの信号測定にもレンジの広いチャージ積分型 ADC が求められる。このデータ収集システム構築のため、これまでに、電荷強度を最適化するための回路、PMT からの電荷情報を時間情報に変換する電荷時間変換 ASIC、時間情報をデジタル変換する時間デジタル変換回路の開発を行ってきており、2014 年度までの開発経過を宇宙線国際会議で報告した (3-②)。本年度は、市販の安価な FPGA を使用した時間デジタル変換回路 (TDC) を開発した。TDC は HDL で作製した回路を FPGA に実装している。この試験回路と VME システムでの制御システムを開発し、性能評価を行った。入力パルス幅 100ns から 50 μ s までの範囲で、分解能は標準偏差で約 0.5ns であり、系統誤差 1 %以下の測定ができることを実証した。

[3] 発表資料

宇宙線国際会議

- ① J. Huang et al., “Observation of primary cosmic rays with the new Tibet hybrid experiment (YAC-II + Tibet-III + MD)”, The 34th International Cosmic Ray Conference (The Hague, The Netherland), (2015)
- ② Y. Katayose et al., “Development of a Front-End Electronics for YAC-III detectors of Tibet ASgamma experiment” The 34th International Cosmic Ray Conference (The Hague, The Netherland), (2015)
- ③ L. M. Zhai et al., “YAC sensitivity for measuring the light-component spectrum of primary cosmic rays at the “knee” energies”, The 34th International Cosmic Ray Conference (The Hague, The Netherland), (2015)