

平成 21 年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：宇宙線望遠鏡実験による超高エネルギー宇宙線の組成研究

英文：Composition Study with the Telescope Array Data

研究代表者 常定 芳基（東京工業大学 大学院理工学研究科 助教）

参加研究者

東京工業大学大学院 教授・垣本史雄

大阪市立大学大学院 準教授・荻尾彰一

東大宇宙線研究所 研究員・得能久生

東京工業大学大学院 D4 多米田裕一郎

東京工業大学大学院 M2 林健太郎

東京工業大学大学院 M1 石森理愛

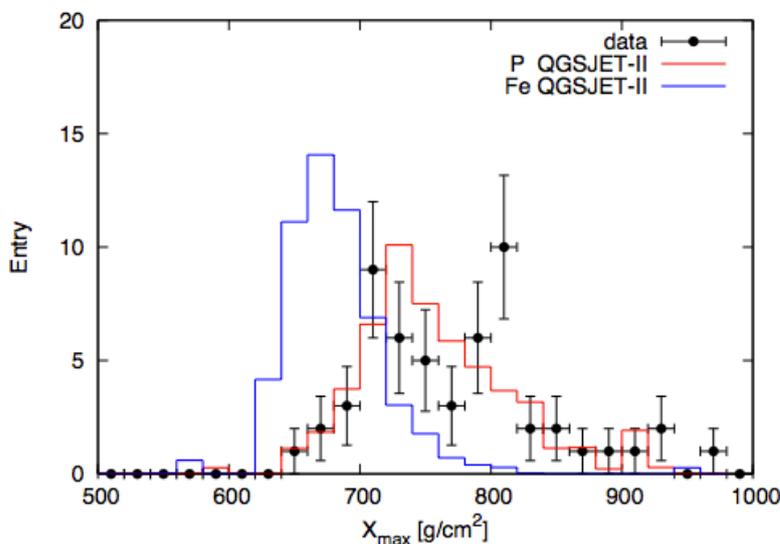
研究成果概要

宇宙線起源の解明のためには、宇宙線の原子核組成の測定が決定的に重要である。これは、（１）宇宙線組成が宇宙線の生成場所の組成を反映（２）銀河間空間、銀河内空間の伝播の様相が原子核種によって異なる（３）エネルギースペクトルの形状に影響する（４）到来方向の異方性に影響する、などの理由による。従来から「標準的」とされてきた宇宙線のモデルでは、エネルギー 10^{18}eV 以下の宇宙線は主に銀河内に起源があり、高エネルギーにまで加速されるには電荷が大きい方が加速されるために重い原子核が卓越するが、 10^{18}eV 以上のエネルギーの宇宙線ではそのような高エネルギーにまで宇宙線を加速できるような天体が銀河内にはないため、起源は銀河外にあり、また銀河外空間を長時間長距離伝播してくることにより、宇宙背景放射や赤外線との相互作用（光核破碎反応）によって陽子などの軽い原子核が多くなると考えられてきた。そして最近、米国 HiRes 実験とアルゼンチンにおける Auger 実験により、興味深い結果が出された。すなわち、HiRes では従来のシナリオと矛盾しない「陽子成分優勢」の結果が報告され、一方 Auger からは「重原子核優勢」を示唆するデータが得られた。これまで、日本での AGASA 実験と HiRes 実験において、超高エネルギー宇宙線のエネルギースペクトルの不一致は長く議論されてきたが、ここへきて、原子核組成についても実験の間での不一致が報告されたのである。この状況において、AGASA と HiRes の研究者が共同で行っている宇宙線望遠鏡実験(TA)の役割はきわめて大きくなっている。

本研究では、TA における超高エネルギー宇宙線の原子核組成測定について初めての結果を得た。TA の定常観測は 2007 年 11 月より開始され、これまでの観測時間は 2000 時間に達した。本研究では、1 つの宇宙線イベントが 2 台の観測ステーションにおいて同時に検出された「ステレオ」イベントを用いた。ステレオイベントでは、宇宙線の到来方向

が精度よく決定されるため、宇宙線の縦方向発達（大気中で発生したシャワー粒子数をはじめ増大し、極大を迎えたのち減衰するようす）を詳しく調べることができる。宇宙線の原子核種判別には、空気シャワーの最大発達点の深さ X_{max} をパラメータとして用いた。シャワーの最大発達点は、重い原子核によるシャワーの場合ほど小さく（浅く、大気の高高度では高い位置に）なる。これは、重い原子核ほど大きな相互作用断面積と小さな原子核あたりのエネルギーを持つからである。TA による宇宙線観測によって得られた X_{max} の分布と、モンテカルロシミュレーションによって得られた期待される X_{max} 分布の比較を示す。TA データの X_{max} 分布は、超高エネルギーの宇宙線が陽子であるとした場合の分布とよく一致することが示された。これは、宇宙線が銀河外起源の陽子を主成分とする従来のモデルとも矛盾しないものであり、また HiRes 実験の結果を支持するものであるが、Auger とは一致しないこととなった。

Auger グループでは、宇宙線の到来方向分布が宇宙の大規模構造による質量分布をトレースしていると主張している。ただしこの主張は、宇宙線の主成分が重原子核であるという主張とは必ずしも相容れない。重原子核の場合は銀河間磁場の影響を強く受けるため、宇宙線がその起源から伝播する過程においてその方向を大きく曲げられ、したがって宇宙線起源の分布と宇宙線到来方向の分布は一致するとは限らないからである。超高エネルギー宇宙線のエネルギースペクトル、原子核組成、到来方向異方性は互いに密接に結びついた問題であり、今後も統計量の増加とさらに詳しい解析が待たれる。



TA 実験で得られた空気シャワーの最大発達点 X_{max} の分布。黒丸は TA データ、赤と青のヒストグラムはそれぞれ陽子、鉄原子核の場合に期待される X_{max} 分布（シミュレーション）。

整理番号