

## 論文の内容の要旨

論文題目 Ultra High Energy Cosmic Rays observed by Akeno Giant Air Shower Array  
(明野広域空気シャワーアレイで観測した最高エネルギー宇宙線の研究)

氏名 榊 直人

現在世界最大の最高エネルギー宇宙線観測装置、明野広域空気シャワーアレイ (AGASA) のデータを用いて、最高エネルギー宇宙線が起こす空気シャワー現象の解析とそれを解釈するためにモンテカルロシミュレーションを行った。AGASA のシンチレーション検出器で観測されたデータはシミュレーションによりよく再現された。このシミュレーションを用いて新たにエネルギー推定式を導出し、この新たな関係式を用いて AGASA で観測された宇宙線のエネルギーを評価しエネルギースペクトルを用いた。以下において、AGASA データを用いた空気シャワー特性とそのシミュレーションデータとの比較、得られたエネルギースペクトルについて簡単にまとめる。

空気シャワーシミュレーションプログラムとして AIRES と CORSIKA を用い、さらに GEANT3 を用いて AGASA 検出器の詳細な応答を評価して実際の観測データに近いシミュレーションデータを生成した。空気シャワー中の荷電粒子成分の横方向発達分布の形は、このようなシミュレーションによってシャワー軸からの距離、数百メートルから 4 キロメートルまで、また天頂角 60 度のシャワーまで実験結果をよく再現することができた。この結果は使用したハドロン相互作用モデル (QGSJET または SIBYLL) や 1 次粒子の種類 (陽子か鉄か) にはほとんどよらない。AGASA では 1 次粒子のエネルギーを推定するためにシャワー軸から 600m での荷電粒子密度を用いているが、AGASA の場合には S(600) がシャワー中の全電子数よりも揺らぎが少なく安定なエネルギー推定ができることが示された。また、傾いた角度のシャワーの場合には多くの物質量を通過するため S(600) が減衰するが、この減衰曲線において天頂角 60 度まで実験データとシミュレーションデータの非常によい一致を得た。(図 1)

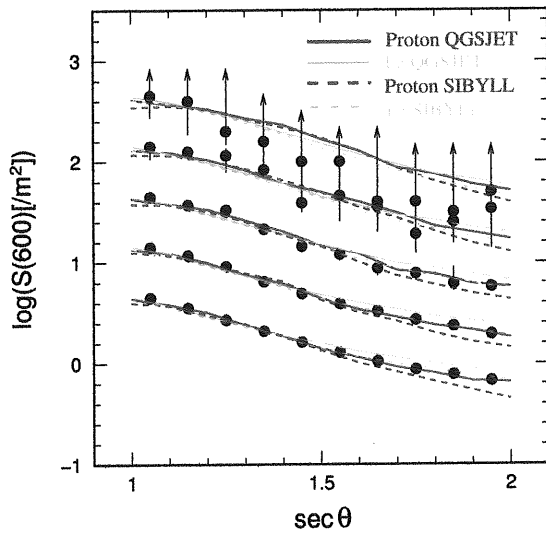


図 1: シャワー軸から 600m での荷電粒子密度の天頂角 ( $\theta$ ) による減衰を表す。横軸は  $\sec \theta$  で通過する大気物質に相当する。線で表されているのはシミュレーションによる結果で、それぞれの線の違いはモデルの違い、一時粒子の違いを示すが、これらはほとんど違いはなく、実験データ (黒丸) を天頂角 60 度 ( $\sec \theta = 2$ ) までよく再現している。

これらの結果により AGASA において天頂角 60 度までのデータを用いることができるようになった。

このようにして得られた  $S(600)$  からエネルギーの換算式は次式で表される。

$$E[\text{eV}] = 2.23 \times 10^{17} S_0(600)[/m^2]$$

モデルや一次粒子の種類によるこの式の不定性は 5 ~ 20% であり、今まで AGASA で用いていた換算式は最低のエネルギーを与えていることがわかった。

これらの結果をもとに実験データの解析を行い、 $10^{18.5}\text{eV}$  以上のエネルギースペクトルを求めた。 $10^{19}\text{eV}$  付近でのスペクトルのべきが変化しており、このエネルギー領域での到来方向分布は一様であった。この結果は  $10^{19}\text{eV}$  以上の宇宙線が銀河系外起源あることを示唆している。また、 $10^{19.6}\text{eV}$  以上の宇宙線が陽子や鉄の場合、宇宙背景放射の光子と衝突してエネルギーを失うため、 $10^{19.6}\text{eV}$  付近にカットオフができると予想されていた。しかし、AGASA の観測結果は、このエネルギーを超えてスペクトルが伸びていることを示しており、 $10^{20}\text{eV}$  以上のイベントを 15 例観測した。これらのイベントの起源は 2,30Mpc 以内にあると考えられるが、AGN や電波銀河のような活動的な対応天体は見つかっていない。 $10^{19}\text{eV}$  以上

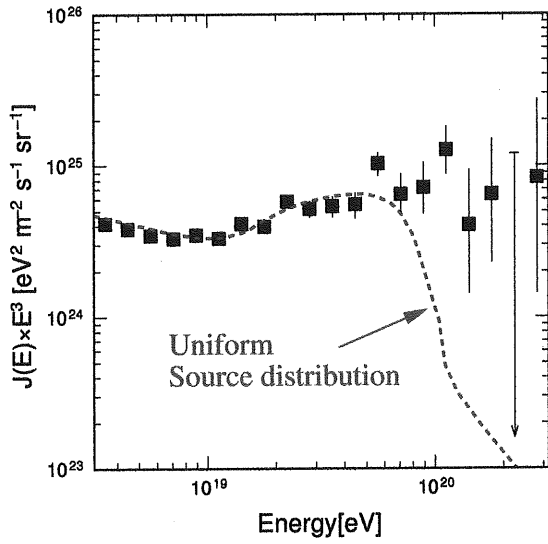


図 2: AGASA で観測された宇宙線のエネルギースペクトルを示している。破線は宇宙に一様に宇宙線の源が分布しているときに期待されるスペクトルで宇宙背景放射の光子との衝突により  $10^{19.6}$ eV 付近にカットオフがみられる。観測されたスペクトルはこのエネルギーを超えてさらに高いエネルギーまでのびている。

の宇宙線の到来方向は、大きくは一様分布をしているがその分布に自己相関が見られた。相関角度のスケールは角度決定精度にほぼ等しく、点源の存在を示唆している。