

# 超高エネルギー宇宙線・JEM-EUSO実験(Phase-A研究):

## 望遠鏡性能のシミュレーション評価

プロジェクト代表者: 井上直也 (理工学研究科・教授)

Naoya INOUE(The Graduate School of Science and Technology, Prof.)

### 【研究状況】

$10^{19}$ eVを超えるエネルギー領域での超高エネルギー宇宙線が引き起こす大気空気シャワーの生成シミュレーションコード作成とその実行を通して、JEM-EUSO実験計画と連動した解析により、JEM-EUSO実験における望遠鏡性能評価、および存在の期待される宇宙ガンマ線・ニュートリノの検出可能性に関わる研究を行っている。超高エネルギー宇宙線の起源とその加速メカニズム、宇宙線化学組成については未だ解明にいたっておらず、多様な理論予測の提案がなされており、その実験的研究が求められている。現在、理研を中心とした国際共同研究としてR&Dが進んでいる、「衛星軌道からの宇宙線観測: JEM-EUSO」は国際宇宙ステーションの実験モジュール「きぼう」の船外パレットに設置される紫外線望遠鏡により、大気中の宇宙線空気シャワーを観測するものである。宇宙からの同観測は従来の地上での観測に比して格段に大きな観測面積を確保でき、より多くの事例測定のもと超高エネルギー粒子天文学研究の実現に大きな優位性を持つ。その中で埼玉大学グループは、従来からシミュレーション研究で貢献を果たしてきている。2007年度の研究では宇宙線空気シャワー生成コードの改善と実行を、【エネルギー領域:  $10^{19}$ eV~ $10^{21}$ eV、化学組成: 陽子から鉄核、ガンマ線、ニュートリノ、到来方向: 天頂角 0-180 度、全方位角】の仮定のもとで行い、そのシャワーを構成する荷電粒子成分の縦方向・横方向発達構造を与える構造関数を個々の事例について決定し、宇宙線シャワーデータベースの作成を行った。

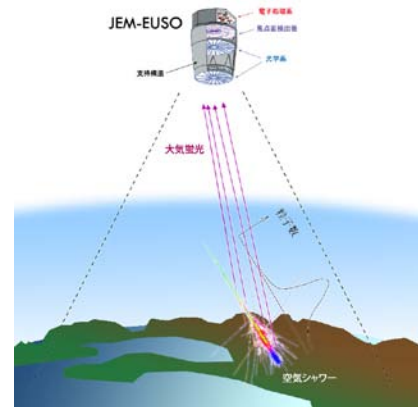


図1 JEM-EUSO 観測装置

加速メカニズム解明のキーになる超高エネルギーガンマ線起源シャワーの検出可能性については、通常陽子起源シャワーと比べて  $10^{19}$ eVにおいてはシャワー最大発達深さ ( $X_{max}$ ) に  $100\text{g}/\text{cm}^2$ 程度の差が現れるとともに、シャワー横方向分布 (その傾きを表す、べき値  $\eta$ ) はよりsteepになる傾向があることから、従来の  $X_{max}$ ,  $\eta$  による陽子/ガンマ線成分の識別を更に発展させ、ニューラルネット解析法を用いて、多変量解析により判別を行った。陽子シャワーがガンマ線候補シャワーとして誤判定される割合は天頂角 45 度、エネルギー  $10^{19.5}$ eV以上で 5%以下であり、ガンマ線含有量が全体の 10%を仮定した場合、 $10^{19.5}$ eVでガンマ線検出信頼度は  $8\sigma$  レベルに達することを明らかにした。また、本年度研究ではガンマ線と並んでその存在について理論予測があるものの検出されていない、超高エネルギーニュートリノの観測可能性について評価した。ニュートリノは物質との相互作用断面積がきわめて小さく、それによるニュートリノシャワーの検出には大きな標的物質が必要であり、大きな視野を持つJEM-EUSO実験はその検出可能性を有する唯一の観測装置である。シミュレーションでは望遠鏡がカバーする大気領域とニュートリノ到来頻度の仮定のもと、 $10^{19}$ eV以上のニュートリノのシャワー生成確率と観測感度を求めた。

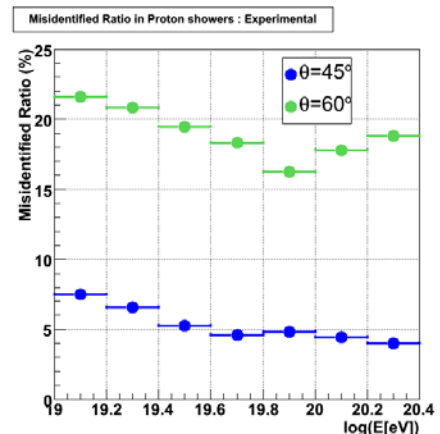


図2 陽子シャワーがガンマ線シャワーとして誤判定される割合のエネルギー依存性

またJEM-EUSO望遠鏡ハードウェア特性をコード化し、シャワー生成コードと組み合わせて、疑似シャワー測定事例を生成し、その出力値からシャワー事例再構成を行い、エネルギー、 $X_{max}$ 、到来方向決定精度を評価した。事例選別にはトラックトリガーアルゴリズムをコード化し、鉛直モード/傾斜モード観測時にて、観測下限エネルギー（50%検出率）として $10^{19.7} \text{eV} / 10^{20.3} \text{eV}$ を得た。また、期待される観測事例数の評価を行い、 $7 \times 10^{19} \text{eV}$ 以上の年間事例数としてそれぞれ360個/610個を得た。また、鉛直モード2年+傾斜モード3年の観測から $10^{20} \text{eV}$ 以上の事例が600例観測

可能であることを示し、実験要求値を満たしていることを明らかにした。また、 $10^{20} \text{eV}$ 宇宙線について一次宇宙線到来方向決定精度として、天頂角45、60度でそれぞれ1.8、1.1度を、また、 $X_{max}$ 決定精度として110、130 $\text{gcm}^{-2}$ 、エネルギー決定精度 $<25\%$ を得た。いずれも実験計画現時点での望遠鏡ハードウェアのもつパフォーマンス値として要求値内にあることを明らかにし、更に今後の性能向上への指針を与えるツールとして本研究に基づくシミュレーションコードの開発意義は大きい。

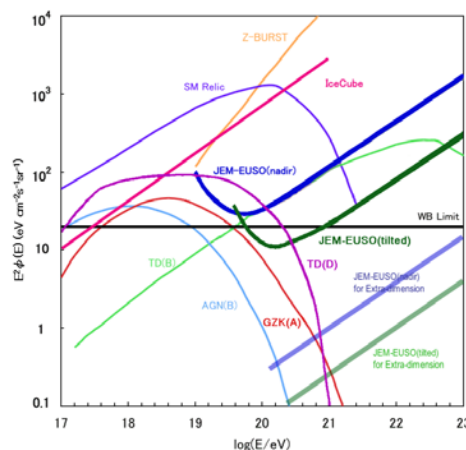


図3 予想されるニュートリノ強度とそれに対するJEM-EUSO望遠鏡感度曲線

#### [研究論文発表]

- (1) **Simulation Study on Identifiability of UHE Gamma-ray Air Showers by Neural-Network-Analysis** :*Proc. of Intern. Workshop on Cosmic-rays and High Energy Universe*, Universal Academy Press, Inc., (2008)203-206
- (2) **Cosmic-ray Nuclear Interactions and EAS-triggered Families Observed by the Chacaltaya Hybrid Experiment** :*Nuclear Physics B(Proc.Suppl.)*, 175-176(2008)174-177
- (3) **Simulation Study on Identifiability of UHE Gamma-ray Air Showers** :*Nuclear Physics B(Proc.Suppl.)*, 175-176(2008)253-256
- (4) **Identifiability of UHE Gamma-ray Air Showers by Neural-Network-Analysis** : *Proc. 30<sup>th</sup> International Cosmic Ray Conf.*, (2007) in print

#### [研究口頭発表]

- 日本物理学会 2007/09 UHE宇宙ガンマ線/陽子成分の識別可能性に関わるシミュレーション研究 (VI)
- 日本物理学会 2007/09 JEM-EUSO(60) 宇宙からの雲の自己解析: UHE空気シャワーチェレンコフ反射光の測定とカスケードシャワー遷移曲線
- 日本物理学会 2007/09 JEM-EUSO(59) JEM-EUSO傾斜モード観測時の性能評価
- 日本物理学会 2008/03 JEM-EUSO(64) MAPMT光電面の紫外線耐久試験
- 日本物理学会 2008/03 JEM-EUSO(67) UHE宇宙線に対する観測性能評価

#### [研究ポスター発表]

第30回宇宙線国際会議 2007/8 : Identifiability of UHE Gamma-ray Air Showers by Neural-Network-Analysis

#### [博士論文]

「超高エネルギー宇宙線観測のためのシミュレーション開発とJEM-EUSO望遠鏡の性能評価」 埼玉大学大学院理工学研究科 和田吉満 2008/3