

# JEM-EUSO ミッション

戎崎俊一（理化学研究所）

JEM-EUSO Collaboration

## JEM-EUSO Mission

Toshikazu Ebisuzaki (RIKEN) for JEM-EUSO Collaboration

JEM-EUSO (Extreme Universe Space Observatory on ISS/JEM) is the science mission to detect extreme energy particles with the energy above  $10^{20}$  eV. It is a super wide-field telescope (60 degree) that observes UV photons from air-showers produced by primary particles in dark side of the Earth. JEM-EUSO is planned to be attached to Japan experiment module (JEM) of International Space Station. It is promoted international collaboration of scientists among, Japan, USA, France, Germany Italy, Russia, Switzerland, Mexico, Spain and Korea.

キーワード：宇宙線、宇宙ステーション、空気シャワー

(Keywords, cosmic-rays International Space Station, air-shower)

### 1. はじめに

ビッグバン宇宙の証拠である宇宙背景放射が発見された 1965 年の翌年、宇宙線のエネルギーは  $10^{20}$ eV あたりに「上限」(GZK限界)があると理論的に予測された。1990 年代前半になって、極限エネルギー領域での宇宙線の研究は、日本のAGASAグループが地上アレイによる定常的な観測を行っていた[1]。しかしながら、有効検出面積が  $100 \text{ km}^2$ 程度に過ぎなかった。一方で、大気蛍光法を用いた観測方法で、米国でHiResグループが観測を行っている。しかし、どちらも有効検出面積が少なすぎて確定的な結論にまで至っていない。この状況を克服するため、Auger計画[2]と Telescope Array計画[3]が進行中である。Auger計画はアルゼンチンの平原に幅 50 km長さ 70 kmの面積に水タンク検出器と大気蛍光望遠鏡を置くものである。また、Telescope Array計画では、日本が米国と協力して、半径約 20kmの領域にシンチレータ検出器と大気蛍光望遠鏡を置く。これらの実験は、どちらも、従来からある地表粒子検出器アレイと大気蛍光法の両方を用いたハイブリッド検出器である。それぞれの検出結果をお互いに校正し合いながら、より正確な結果を導き出すことが期待されている。

JEM-EUSO(Extreme Universe Space Observatory onboard JEM)ミッションでは、口径約 2.5 mで約 60 度の視野を持つ超広視野望遠鏡で、高度約 400 kmの軌道上の国際宇宙ステーションから、 $10^{20}$ eVを超える極限エネルギー宇宙線を観測する。宇宙から観測することにより、飛躍的(AGASAの 700 倍)に大きな有効面積

を実現する(図1)。この飛躍的に高い統計精度は、永年の謎である極限エネルギー宇宙線の起源を解き明かす。

宇宙から到来する極限的なエネルギー粒子は、地球の大気原子核と衝突して主に電子・陽電子・ガンマ線からなる巨大な空気シャワーを形成する。JEM-EUSOはこのとき励起された窒素分子から放射される蛍光紫外線を時間分解能  $2.5 \mu \text{ sec}$ 、角度分解能  $0.1^\circ$  で撮像し、空気シャワーの発達を三次元的に再構築する。これによりその到来方向を  $0.2$ 度から数度の角度分解能で決定する。JEM-EUSOは、半径約 220kmの領域の地球大気を一度に観測できる。夜間観測に限られること、大気中の雲の状態に影響を受けることなどを考慮してもアルゼンチンの原野に建設中のAugerの30倍以上の感度を有し、5年間の観測で1000個以上の極限エネルギー宇宙線( $7 \times 10^{19}$ eV以上)を検出する。現在建設中の新規な地上観測装置でえられると予想されるイベント数は、1年あたり10個程度である。EUSOは極限エネルギー宇宙線研究に対して多大なインパクトを与える。

JEM-EUSO は日本の H2B ロケットで打ち上げられ、HTV (H2 Transfer Vehicle)で ISS へ運搬される予定である。JAXA によって 2008 年 5 月に JEM 曝露部第二期利用ミッション候補として JAXA に選定された。現在、JAXA のもとで phase-A 研究が進行中である。

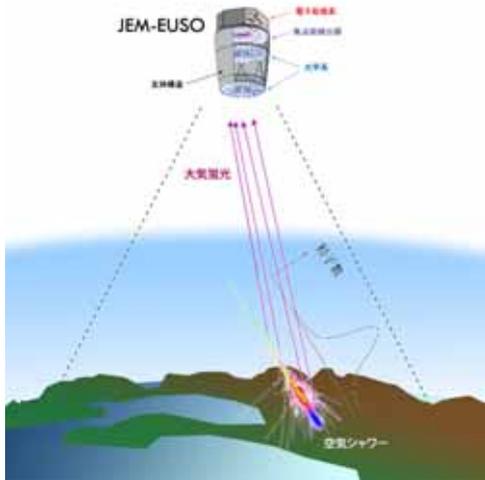


図 1 JEM-EUSO の観測方法

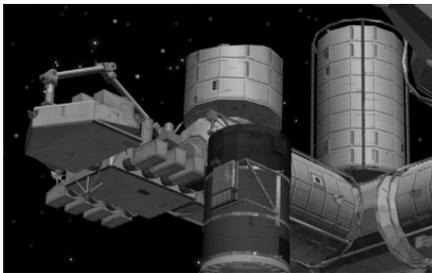


図 2. JEM/EF に設置された JEM-EUSO (鉛直観測モード)

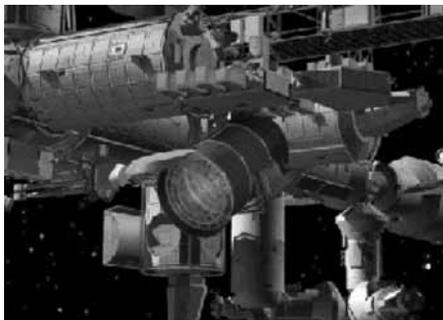


図 3. JEM-EUSO 傾斜観測モード

## 2. JEM-EUSO の科学的目標

JEM-EUSO の科学的目標は、大きくは以下の 3 つである。

**2・1 極限エネルギー宇宙線による荷電粒子天文学の創始**(極限エネルギー宇宙線の起源やその伝播の謎を解明する。)

JEM-EUSOでは全天をほぼ一様に観測でき、粒子の到来方向分布を精度よく決定できる。 $10^{20}$  eV付近のエネルギーを持つ荷電粒子は、銀河磁場でも曲がらない。したがって、粒子の到来方向を決定すればその方向にその起源天体があるはずである。実際、1000 個の荷電粒子を観測したとき、数十個の天体が極限エネルギー

宇宙線の線源として同定される可能性がある。そうなれば、線源同士のスペクトルの比較などにより、確実にその加速機構が議論できるようになる。JEM-EUSOによって、このような荷電粒子天文学が史上初めて可能となる。実際Auger実験 3 年間で得られた  $5.7 \times 10^{19}$  eV以上の事象データ 27 個の到来方向には近傍の活動的銀河核との相関が見られたと報告している[4]。活動的銀河の中心には巨大ブラックホールがあって、相対論的なジェットを噴出しており、その中で極限エネルギー宇宙線の加速を含む高エネルギー現象が進行していると考えられている。

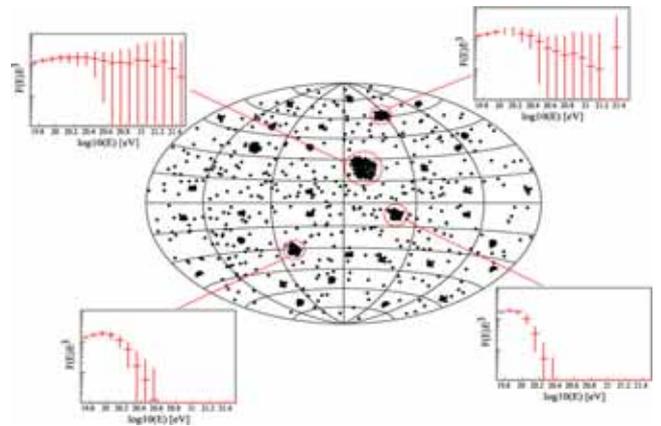


図 4. JEM-EUSO で予想される到来方向分布。点源が 3 次元空間に一様に分布すると仮定した。この線源でスペクトルを比較することにより、GZK 過程や加速過程によるスペクトル急峻化の議論ができる。

さらに、極限エネルギー粒子が宇宙初期に作られた重たい粒子の崩壊もしくは対消滅によるもの(いわゆるトップダウンシナリオ)場合、ガンマ線が多数を占めることになる。超高エネルギーガンマ線は、地球磁場と相互作用をするので、地磁気緯度によるシャワー発達の違いとしてそれを認識できる。

## 2・2 極限エネルギーニュートリノ天文学を創始

JEM-EUSO は空気シャワーの最大発達の大気深さを使って一次粒子の識別ができる。ニュートリノは大気中に深く突っ込んだシャワーや大気中を横向きに長距離にわたり発達するシャワー(JEM-EUSO によるのみ検出可能)として観測される(図 5)。また、ニュートリノ振動によって作られた型ニュートリノが作る上向きシャワーも検出できる可能性がある。

## 2・3 大気内発光現象の網羅的な研究

JEM-EUSO は、地球物理学において重要な研究対象である夜間大気光、雷放電、流星などの大気発光現象をも網羅的に調べる能力を有している。

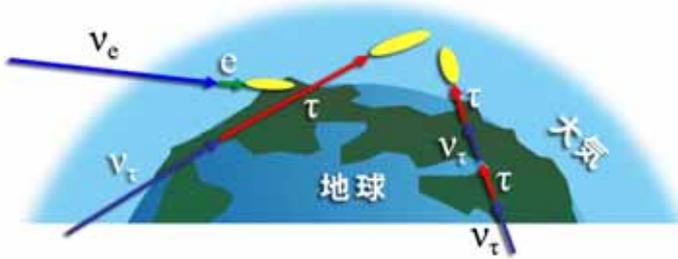


図5 ニュートリノの検出

#### 4. HTV への搭載性

Phase-A 研究の一環として、JEM-EUSO の HTV への搭載概念設計を行った。パレットの底に穴を開け地球方向の視野を確保し、鏡筒を3つのリングに分割し、このリングの移動により望遠鏡を伸展することとした。

科学成立性の観点から、望遠鏡の開口面積をできるだけ大きくとるために、円筒形にこだわらず、望遠鏡の側方をカットした縦長の形状とした(図6)。このとき、当初の提案に比べて90%の開口面積を確保でき、科学の成立性が保障できることがわかった。

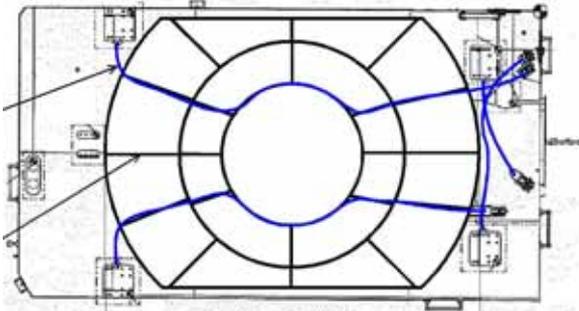


図6. 望遠鏡の開口部

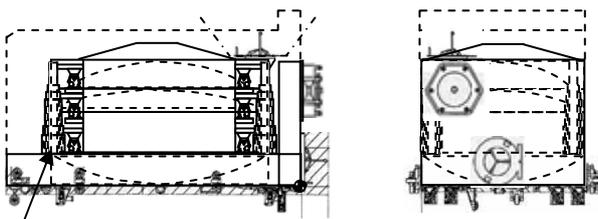


図7. 収納状態の望遠鏡

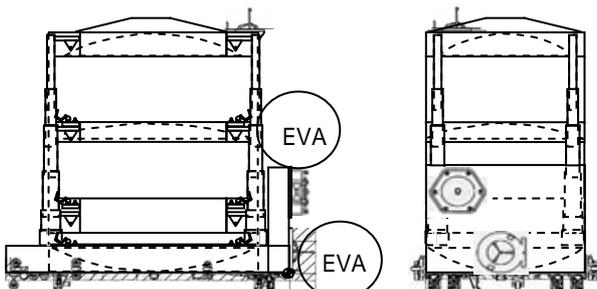


図8. 伸展状態の望遠鏡

#### 5. アドバンスト光学設計

光学系は、曲面フレネルレンズ2枚と平面精密フレネルレンズ1枚で構成されている。今回、新たに平面精密フレネルレンズの裏面にフレネル面を追加して、光学系のさらなる性能向上を行なった。ベースライン光学系とこの追加フレネル面を加えた新光学系の数値シミュレーションによるスポット図の比較を図9に示す。スポットサイズは、5mm から2.5mm へ大きく改善した。

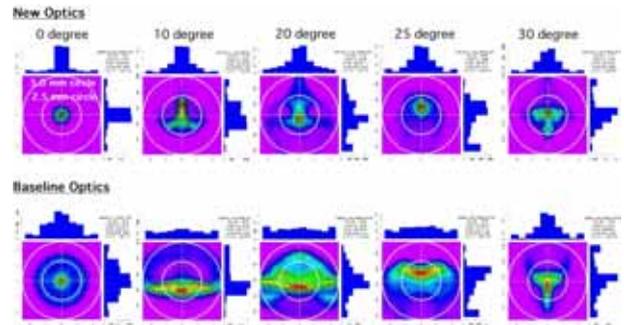


図9. 新旧光学系のスポットサイズの比較(外円:5mm、内円:2.5mm)

#### 5. 最後に

JEM-EUSO は、その巨大な検出面積により定量的な検出が可能なので、極限エネルギー宇宙線観測の標準的手法になると考えられる。また、観測期間終了後に観測装置を自由衛星化してさらに高い軌道へ投入することや、新たな展開の可能性もある。これらは宇宙ステーションの組立工場化の先鞭をつけるもので、日本の有人宇宙開発の一翼を担うものとする。

#### 文 献

- (1) <http://www.akeno.icrr.u-tokyo.ac.jp/AGASA/>
- (2) <http://www.auger.org/>
- (3) <http://taws100.icrr.u-tokyo.ac.jp/>
- (4) J. Abraham et al., *Science*, **318**, 5852, 938, 2007.