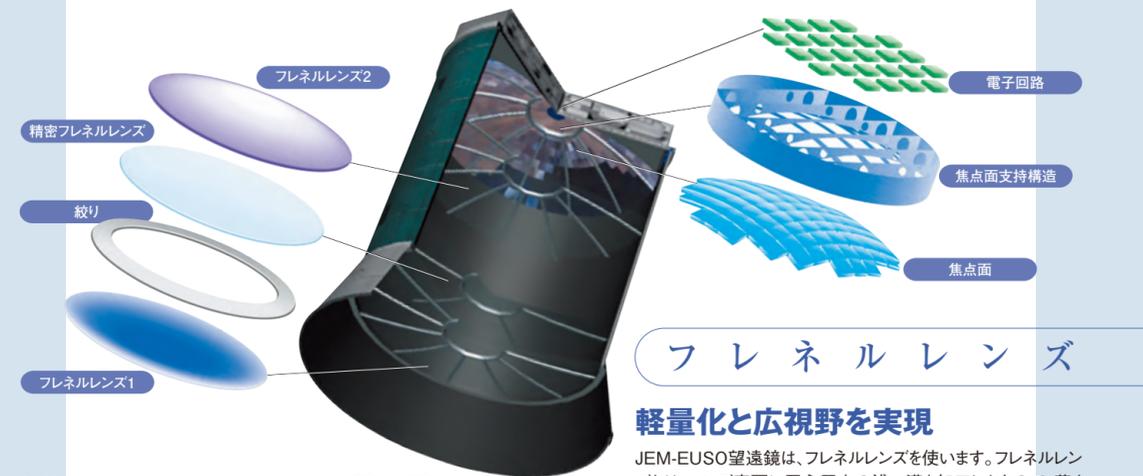


JEM-EUSOは日本の高い技術力によって支えられています。



フレネルレンズ

軽量化と広視野を実現

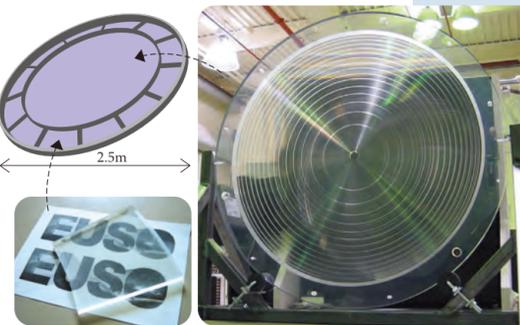
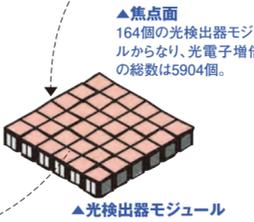
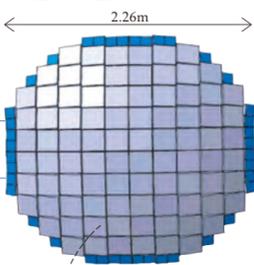
JEM-EUSO望遠鏡は、フレネルレンズを使います。フレネルレンズとは、レンズ表面に同心円上の浅い溝を加工したもので、薄く軽いレンズを作ることができます。JEM-EUSOでは、両面に溝を加工した紫外線透過プラスチック製の曲面フレネルレンズを2枚と、平面の精密フレネルレンズを1枚使用します。これらのレンズと焦点面によって、広視野の観測が可能となります。レンズの口径は2.5mで、直径1.5mの中心部分と周辺の扇型の部分(ベタル)に分けて製作する計画です。レンズの作成には、理化学研究所大森素形材工学研究室が開発したELID研削など超精密加工技術が活かされています。

JEM-EUSOの構造

焦点面

光電子増倍管6000個で光をとらえる

焦点面は直径2.26mの曲面で、そこに1インチ角の光電子増倍管を6000個並べて、光を検出します。通常の光電子増倍管は上面の45%の領域しか感度がありませんでした。しかし、性能を最大限に上げるため、85%の領域で感度がある光電子増倍管を浜松ホトニクス(株)と共同で開発しました。



▲中央のレンズの周囲に扇形のレンズ(ベタル)を並べ、口径2.5mとする。

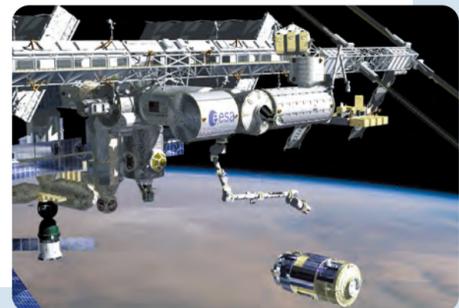


▲光電子増倍管 表面の85%に感度がある。26.2mm角、6×6ピセル。

打ち上げ

日本の宇宙ステーション補給機で宇宙へ

JEM-EUSOは、日本の宇宙ステーション補給機HTVに搭載され、国際宇宙ステーション(ISS)に運ばれます。HTVは、日本のH-IIロケットによって打ち上げられ、自動でISSに接近、ロボットアームによってISSにドッキングします。JEM-EUSOは、日本実験棟「きぼう」に取り付けられます。



▲国際宇宙ステーションに接近する宇宙ステーション補給機HTV ©JAXA

超高エネルギー宇宙線を観測する諸実験の比較

	アガサ AGASA	ハイレズ HiRes	オージェ Auger	望遠鏡 アレイ Telescope Array	ジェム ユーゾ JEM-EUSO
組織	東京大学宇宙線研究所	ユタ大学	国際協力	東京大学宇宙線研究所 ユタ大学	国際協力
設置場所	山梨県北杜市	米国ユタ州	アルゼンチン	米国ユタ州	国際宇宙ステーション
検出器の形態	地上アレイ	地上蛍光望遠鏡	地上アレイ + 地上蛍光望遠鏡	地上アレイ + 地上蛍光望遠鏡	宇宙蛍光望遠鏡
観測期間	1990~2004年	1997~2006年	2005年~	2008年~	2015年 打ち上げ予定
有効観測能 (km ² ・sr)	150	500	~7,000	760	125,000
超高エネルギー事象 (個/年)	1	未確定	50	10	350~1,700

JEM-EUSOの仕様

高度	約400km	焦点面総画素数	約20万画素
観測緯度・経度	北緯51°~南緯51°・全経度	地表面での解像度	約0.8km
視野	60°	観測効率	12~25%
視野地表面積	約20万km ²	稼働年数	3年(+2年)
口径	2.5m	総重量	約1.9トン
光学系	両面フレネルレンズ+精密フレネルレンズ	総消費電力	1kW未満

国際協力体制 (2010年4月現在)

	日本	理化学研究所 甲南大学 福井工業大学 青山学院大学 埼玉大学 放射線医学総合研究所 東京大学 東北大学 東京大学宇宙線研究所 高エネルギー加速器研究機構 千葉大学 国立天文台 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部 金沢大学 名古屋大学 名古屋大学太陽地球環境研究所 京都大学基礎物理学研究所 京都大学 神戸大学 近畿大学 広島大学 北海道大学 東京工業大学
	米国	NASA/MSFC UAH LBL,UCB UCLA Vanderbilt Univ. Univ. Arizona.
	フランス	APC-Paris 7 LAL, IN2P3-CNRS
	ドイツ	MPI Munich Univ. Tuebingen MPI Bonn Wuerzburg Univ. Erlangen LMU&MPQ Univ. Hamburg
	イタリア	Univ. Florence Univ. Naples Univ. Palermo Univ. Rome "Tor Vergata" Univ. Turin INO/CNR IASF-PA/INAF IFSI-TO/INAF INFN
	メキシコ	UNAM BUAP UMSNH
	韓国	Ehwa W. Univ. Yonsei Univ.
	ロシア	SINP MSU Dubna JINR
	スイス	Neuchatel, CSEM ETH
	スペイン	Univ. Alcala
	ポーランド	IPJ Podlasie Univ. Kielce Univ. Jagiellonian Univ. CBK
	スロバキア	Inst. Experimental Physics, KOSICE

JEM-EUSO Collaboration

独立行政法人 理化学研究所 茨崎計算宇宙物理研究室
〒351-0198 埼玉県和光市広沢2-1
TEL:048-462-1111(代表) FAX:048-467-4078
E-mail:jem-euso-staff@riken.jp URL:http://jemeuso.riken.jp/



地球を観て宇宙を知る“地文台”

Extreme Universe Space Observatory onboard Japanese Experiment Module

JEM-EUSO

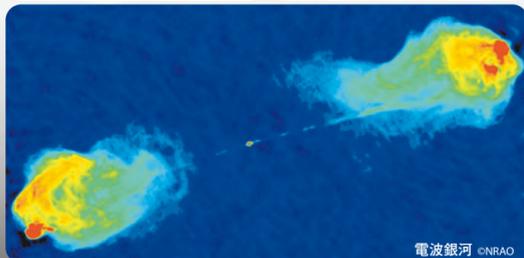
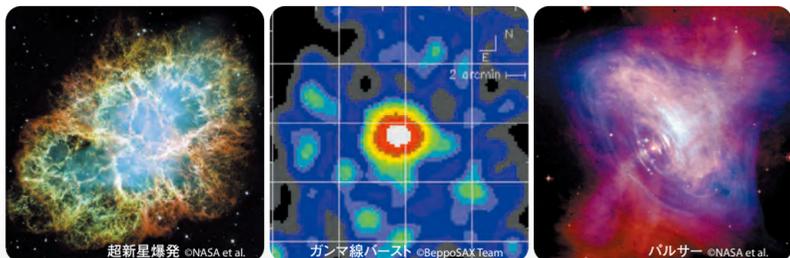
発端

10²⁰eVの超高エネルギー宇宙線を日本で観測

地球には宇宙空間から電気を帯びた粒子が1m²あたり毎秒約1000個も降り注いでいます。これを「宇宙線」といいます。宇宙線はエネルギーが高いほど数が少なく、4×10¹⁰電子ボルト(eV)以上の宇宙線は特に急に少なくなると考えられてきました。

ところが、1990年代になると、10²⁰eV^{*}を超える超高エネルギー宇宙線が観測され始めたのです。東京大学宇宙線研究所のAGASA(明野広域空気シャワー観測装置)は、13年間の観測で11個の超高エネルギー宇宙線を観測しています。これは、従来の考え方が正しくない可能性を示唆していたので、大きな議論となっています。

^{*}10²⁰eV=16ジュール。1ccの水にその粒子が1個入ると、水温を約4℃上げるエネルギー。



謎

相対論のほころび？ 未知の天体？

地球に降り注いでくる宇宙線のエネルギーに上限があるという理論は、グライセンとツェッピンとクズミンによって提唱され、3人の頭文字をとって「GZK限界」と呼ばれています。宇宙は、「宇宙背景放射」と呼ばれるビッグバンの残光で満たされています。宇宙のどこかで超高エネルギーの宇宙線が発生しても、1.5億光年(50メガパーセク)ほど飛ぶうちに、その残光と衝突してエネルギーを失い、4×10¹⁹eV以下になるといいます。4×10¹⁹eVという値は、アインシュタインの特殊相対性理論に基づくローレンツ変換から求められたものです。

GZK限界を超える超高エネルギー宇宙線が観測されたということは、何を意味しているのでしょうか？ まず、1.5億光年以内に超高エネルギー宇宙線が発生する天体があることが考えられます。それは、未知の天体かもしれません。しかし、もし1.5億光年以内にそのような天体がなければ、計算の根拠になっている特殊相対性理論が超高エネルギー領域では「ほころんでいる」という、現代物理学を根本からゆるがす大問題に発展してしまう可能性があります。一方で観測自体が間違いだという研究者もいます。超高エネルギー宇宙線は、いまだ謎に包まれているのです。

宇宙へ

国際宇宙ステーションから地球を観る

超高エネルギー宇宙線の論争に決着をつけるために計画されたのが、JEM-EUSOです。JEM-EUSOは3年間で1000個の超高エネルギー宇宙線をとらえ、エネルギーと到来方向を詳しく観測することで、その起源を明らかにすることを目指しています。

JEM-EUSOは、国際宇宙ステーション(ISS)の日本実験棟「きぼう」(JEM)に取り付けられます。口径2.5mの超広角レンズ望遠鏡を向けるのは、宇宙空間ではなく、地球です。天文台は地上から天を観て宇宙を知りますが、JEM-EUSOは宇宙から地球を観て宇宙を知るといった新しい概念の観測装置「天文台」です。

観る

空気シャワーが発する紫外線をとらえる

地球大気に飛び込んできた宇宙線は、大気中の原子核と衝突し、電子や陽子などたくさんの粒子を発生させます。これらの粒子が、また大気中の原子核と衝突し、さらに多くの粒子を発生させます。その様子から、「空気シャワー」と呼ばれています。超高エネルギー宇宙線の場合、1個の宇宙線が約1000億個の粒子になり、半径約3kmの範囲の地上に降り注ぎます。

粒子が大気中の窒素原子を励起させたときに、蛍光紫外線が発生します。JEM-EUSOは、この紫外線をとらえ、数マイクロ秒(1マイクロ秒は100万分の1秒)ごとに連続写真を撮影します。発光する円盤が高度を下げながらだんだん大きくなり、やがて消えていく様子を撮らえることができます。それを調べると、超高エネルギー宇宙線のエネルギーの大きさ、どの方向からやってきたかが分かります。

地球大気

蛍光紫外線

空気シャワー

空気シャワー

ニュートリノ

(Extreme Universe Space Observatory onboard Japanese Experiment Module 超高エネルギー宇宙線観測望遠鏡) JEM-EUSO

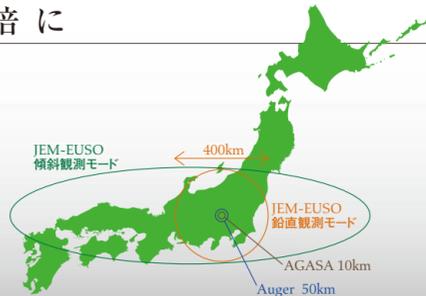
日本実験棟「きぼう」(JEM)

国際宇宙ステーション(ISS)

▲JEM-EUSOは国際宇宙ステーション(ISS)の日本実験棟「きぼう」(JEM)に取り付けられる。ISSは、高度約400kmの軌道を周回しており、約90分で地球を1周している。

飛躍

観測面積はAGASAの1000倍に



より多くの超高エネルギー宇宙線を観測するには、観測範囲を広くする必要があります。東京大学宇宙線研究所はAGASAの後継として、アメリカのユタ大学と共同で、ユタ州に760km²のTelescope Arrayを建設し、2008年から観測を開始しています。またアルゼンチンでは、空気シャワーの発見者の名前を冠した、1万km²のAuger実験が2005年から観測を開始しています。しかし、地上ではさまざまな制約があり、観測範囲を広げるのはもう限界です。そこで、宇宙空間から地球を観測するJEM-EUSO計画が持ち上がったのです。JEM-EUSOの視野は60度と広角で、観測範囲は一気にAGASAの1000倍、10万km²となります。また、ISSは北半球の上空も南半球の上空も飛行するので、全天を観測することができます。

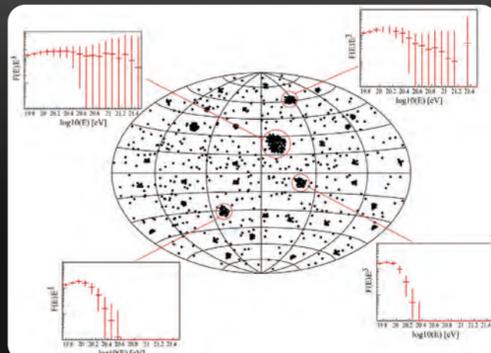
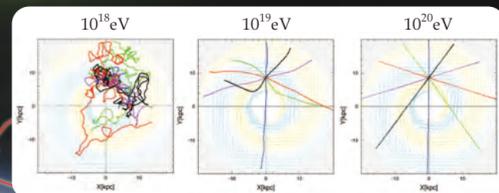
挑戦

JEM-EUSOがもたらすもの

荷電粒子天文学の実現

電荷を持った粒子は宇宙の至る所にある磁場によって曲げられてしまうため、どこから来たのか分かりません。しかし、超高エネルギー宇宙線は磁場によってほとんど曲げられずに飛んでくるため、その起源を知ることができます。これにより、可視光やX線、赤外線など電磁波と同じように、荷電粒子による天文学が実現します。

超高エネルギー宇宙線の起源としては、超新星爆発、ガンマ線バースト、活動銀河中心核、中性子星、電波銀河などが考えられています。現在の理論では、これらの天体では10²⁰eV以上の超高エネルギーを発生させることはできません。もっと効率よく粒子を加速させる機構がある、あるいは未知の天体が起源になっている可能性もあります。



◀荷電粒子は磁場によって曲げられるが、10²⁰eV以上になると磁場の影響を受けずにほぼ直進するため、到来方向が分かる。

▲超高エネルギー宇宙線の到来方向の予測(JEM-EUSOによる1000例)。複数が集まっている場合、その方向に超高エネルギー宇宙線が発生している天体があると考えられる。

超高エネルギーニュートリノの検出

超高エネルギー宇宙線と同じくらいのエネルギーを持ったニュートリノも、JEM-EUSOで観測が可能です。ニュートリノは、ほかの物質と相互作用をほとんどしないので、GZK限界がありません。超高エネルギーニュートリノはまだ発見されていません。しかし、地球大気をまるごと検出器として使うJEM-EUSOであれば、1年で少なくとも数個のニュートリノを観測できると期待されています。

最高性能の粒子加速器 LHCの物理を超える

最高性能を誇る粒子加速器ラージ・ハドロン・コライダー(LHC)が2008年に始動しました。粒子加速器とは、粒子を加速させて高エネルギー状態を作り出すことができる装置です。これまでに観測された宇宙線の最高エネルギーは、LHCで作ることができる最高エネルギーより2桁以上も上回ります。超高エネルギー宇宙線によって、いまだ人類が作り出せないほどの高エネルギー現象を研究することが可能となるのです。

全地球の大気発光現象を観測

大気中では、雷や流星、夜光など、さまざまな発光現象が起きています。JEM-EUSOは、これらの発光現象も観測します。雷は普通、地上との間で発生しますが、雲から上空に向けての発光現象(巨大ジェット、スプライト、ブルージェット、エルプスなど)もあり、それらが地球のどこで、どのくらいの頻度で起きているのかを明らかにします。流星は、小惑星や彗星のかけらなどの固体微粒子が大気に突入したものです。固体微粒子による発光を詳しく調べることで、母天体についての情報を得ることができると期待されています。



▲雷放電の一つ、キャロットスプライト。撮影者:伊東耕二(東京都杉並区)