

戒崎計算宇宙物理研究室
Computational Astrophysics Laboratory

主任研究員 戒崎 俊一 (理博)
EBISUZAKI, Toshikazu (Ph.D)



キーセンテンス：

1. 超高エネルギー宇宙線の起源の謎に迫る
2. 宇宙史と地球史・生命史の関連を調べる

キーワード：

宇宙線、極限エネルギー、国際宇宙ステーション、ブラックホール、ダークマター、雲核、地球環境、量子シミュレーション、中性子散乱、J-PARC、地球深部物質、

研究概要

当研究室では、極限エネルギー宇宙線 (10^{20} 電子ボルト) を検出し、その起源天体を同定するための JEM-EUSO (Extreme Universe Space Observatory onboard Japanese Experiment Module) を開発している。JEM-EUSOは地球大気を検出器として利用し、宇宙起因の地球大気圏内での瞬間発光現象を観測する口径約2.5m、約60度の視野を持つ超広視野望遠鏡である。高度約400kmの軌道を周回している国際宇宙ステーション (ISS) の日本実験棟「きぼう」 (JEM) の船外実験プラットフォームに装着され、直径約400kmの領域の地球大気を一度に観測する。日米欧の三軸のほぼ対等な協力のもとで建設される予定で、2017年頃の打上げを予定している。

その他に、銀河史が地球史に与える影響、とくに銀河のスターバーストが地球を全球凍結に導いた可能性を研究している。

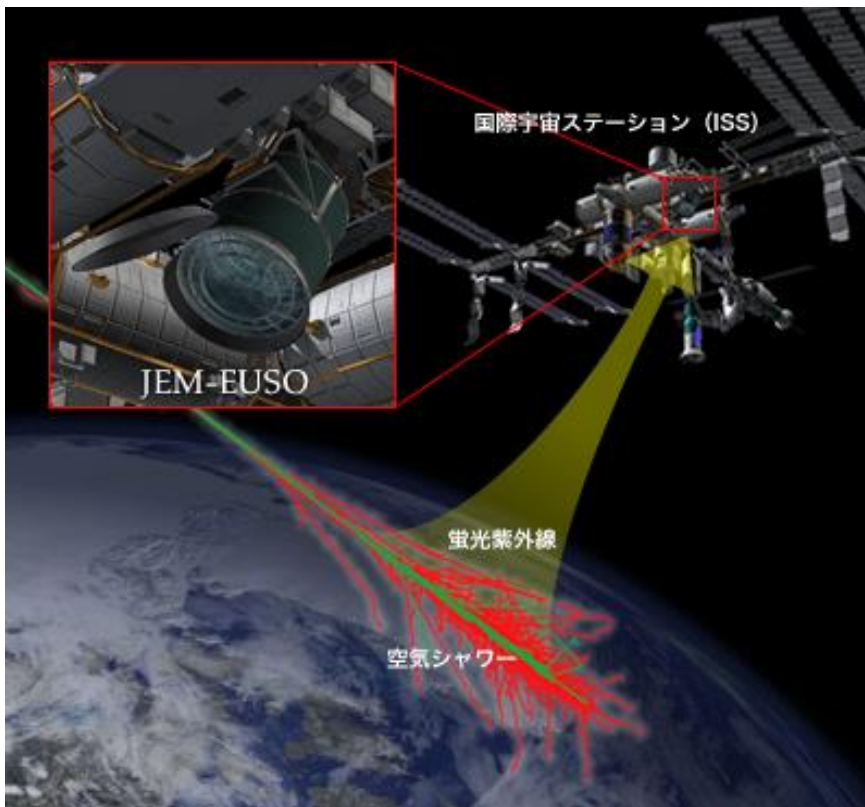
1. 超高エネルギー宇宙線研究 (戒崎, 滝澤, 川崎, 津野)

JEM-EUSO は、宇宙から地球を観て宇宙を知るという新しい概念の観測装置“地文台”である。高度約400 km の軌道上を約90分で周回している国際宇宙ステーション (ISS) の日本実験棟「きぼう」 (JEM) の船外実験プラットフォームに装着され、超広視野望遠鏡で地球大気を観測し、 10^{20} 電子ボルト (eV) を超える極限エネルギー宇宙線が作る微弱な光を捉える。

極限エネルギー宇宙線は地球の大気の原子核と衝突して主に電子・陽電子・ガンマ線などの二次荷電粒子からできた空気シャワーを形成する。空気シャワー中の高エネルギー荷電粒子は大気中の窒素分子を励起して紫外線を放射させる。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2.5マイクロ秒の時間間隔で撮像し、空気シャワーの発達を約0.5 km×0.5 km (角度分解能0.07度)の空間分解能で三次元的に再構築する。JEM-EUSOはその他にも、超高エネルギーニュートリノによる空気シャワーや雷、夜光、流星などの大気圏内の発光現象なども全球的・網羅的に観測する。

当研究室は、JEM-EUSOを推進する中核的存在として、13ヶ国(日本、米国、イタリア、フランス、ドイツ、スペイン、ポーランド、スロバキア、ブルガリア、ロシア、メキシコ、韓国)、76研究施設の研究者(2011年12月現在)と協力しながら、JEM-EUSOの製作準備を進めている。2014年度からは極限エネルギー宇宙線を観測するロシアの同様のミッション KLYPVEへ参加して、補正レンズ、光電子増倍管、レーザー装置等を供給する共同研究がスタートする。

<http://jemeuso.riken.jp/>



極限エネルギー宇宙線が作る空気シャワーを ISS から観測する JEM-EUSO (想像図)



完成した両面フレネル曲面レンズの試作品 (口径 1.5m)

2. 宇宙史と地球史の関係を調べる（戒崎）

原生時代に、二回起こった（22–24 億年前と 5.5–7.7 億年前）全球凍結事件の原因は、過去 10 年の努力にもかかわらずこれまでよくわからなかった。われわれは、これが天の川銀河がスターバーストを起こした結果、暗黒星雲との遭遇が長く続き、さらには頻繁に超新星残骸と衝突したことによるという仮説を立てて検証を試みている。これらの星雲との衝突遭遇では、地球に降り注ぐ宇宙固体粒子と宇宙線のフラックスが大きく増えて、地球が極端に寒い気候、つまり全球凍結に導かれることが分かった。また、全球凍結事件の中に繰り返し現れる、極端に寒い気候から極端に暑い気候への変化サイクルは、個別の星雲衝突に対応しているのかもしれない。銀河内の恒星や星団の年齢から得られた、天の川銀河のスターバースト時期は、上記の地球科学的に復元した全球凍結事件の時期と一致している。星雲衝突の直接の証拠は堆積速度が遅い深海堆積物の中に見出される可能性が高い。このような星雲衝突は、気候変動とともに、宇宙線照射によるゲノムの不安定を導いて、カンブリアの生物進化大爆発を演出した可能性がある。また、後の顕生代に起こった 5 回の生物大絶滅も同様の星雲衝突の結果である可能性を検討している。

3. 降着円盤シミュレーションによる相対論的ジェット形成と航跡場荷電粒子加速の研究（戒崎、水田）

宇宙ではブラックホールのような強い重力場の天体にガスが落ち込む時にその一部が双極形のアウトフロー形成が観測されている。アウトフローは細く絞られ、そのバルク速度はほぼ光速に達する。なぜ重力ポテンシャルを振り切りジェットが形成されるのか、どうやって相対論的速度まで加速するのかという問題は宇宙物理学でも残された重要な謎の一つである。落ち込むガスが形成する降着円盤内部で磁場が増幅され、ガスと共にブラックホール表面近傍に落ち込んだ磁場とブラックホールの作る場が相互作用することによってブラックホールの回転エネルギーを引き抜く Blandford-Znajek 機構が提唱されているが、問題を簡略化したモデルであり、大規模シミュレーションによる検証が必須である。この一般相対論的磁気流体シミュレーションを行っており、テストの段階ではあるが磁場の増幅、アウトフロー形成を見た。

更に解像度を上げていきより現実的な状況へと近づけていくためコードの改善を行なっている。非常に強いレーザー等を狭い領域に集中すると、プラズマ中に強航跡場が作られて、その中で粒子が加速される。この様な航跡場加速は新しい加速機構として注目を集めている。ブラックホール降着円盤がジェット中に作るアルフベン波が作る航跡場の中で、荷電粒子が 10^{22}eV まで加速される可能性があることを明らかにした。

4. 宇宙技術を用いた福島事故後の線量測定装置の開発（戒崎）

LANFOSは食品の中にある放射性セシウムと他の放射性同位元素からの放射線量を非破壊的に測定できる高感度、大面積、低コストの検出器である。LANFOSでは、既存もしくは計画中の宇宙線検出器の開発から派生した技術を用いる。この結果、従来の検出器に対してサイズと形の制限が大幅に緩和され、試料を包摂する新型のシンチレータ検出器が可能となる。LANFOSの特徴は、1) 食品の非破壊放射線計測、2) 野菜や魚のような有形の食品の測定が可能で大感度領域、3) ほぼ全立体角（ 4π ）を覆う高い幾何学的効率と光子収集効率、4) 利用が簡単、5) 高圧電源を必要としない、6) 大量生産時に低コスト、7) コンパクトで車載輸送が可能、などがある。

5. 粒子線による植物変異体の解析とその応用研究(松山)

動き回ることがない植物は、粒子線や宇宙線の降り注ぐ地球上で、ゲノムレベルでの変異を伴い、進化を遂げて来た。そのプロセスはゲノム DNA に残されている。シロイヌナズナ・イネではほぼ全てのゲノム遺伝情報が明らかになり、植物ゲノムの変異研究は新たなステージへと展開した。我々は、塩基配列情報をフルに活用したゲノムワイド変異解析（バーチャル RLGS）システムを開発し、陽子線やイオンビーム等の粒子線や軟 X 線などの物理変異原を利用した植物の突然変異体解析を行った。さらには動物や微生物のゲノム解析へも応用してきた。その過程で、遺伝子をコードしていないために高い変異集積のある反復配列の知見や新規のクロロフィル生合成能を付与されたシロイヌナズナ突然変異体を見出した。これらの解析を進めることで、有用 DNA マーカーの開発と新規遺伝子資源の探索研究を行い、進化・環境研究や関連産業への寄与を目的とした研究を進めている。

Key Sentence :

1. Explore the origin of the extreme energy cosmic-rays
2. Investigation of the relationship between galactic and terrestrial histories

Key Word :

cosmic-rays, extreme energy, International space station, black hole, dark matter, cloud nuclei, terrestrial environment, quantum simulation, neutron scattering, J-PARC, mantle, magma,

Outline

We promote in JEM-EUSO (Extreme Universe Space Observatory onboard Japanese Experiment Module) mission to explore the origin of extreme energy particles above 10^{20} eV. It observes giant-air showers by extreme energy cosmic-ray from the orbit. JEM-EUSO is a super wide-field (60 degrees) telescope with a diameter of 2.5 meters planed to be installed in International Space Station. The feasibility study and conceptual design has continual for past three years under the collaboration with JAXA, RIKEN, and the JEM-EUSO international collaboration of thirteen countries (Japan, USA, Italy, France, Germany, Spain, Switzerland , Poland, Slovakia, Bulgaria, Russia, Mexico, Korea) JEM-ESO is planned to be launched around 2017 by the Japanese heavy lift rocket - the H II B, and then conveyed to ISS by HTV (H-II transfer Vehicle)

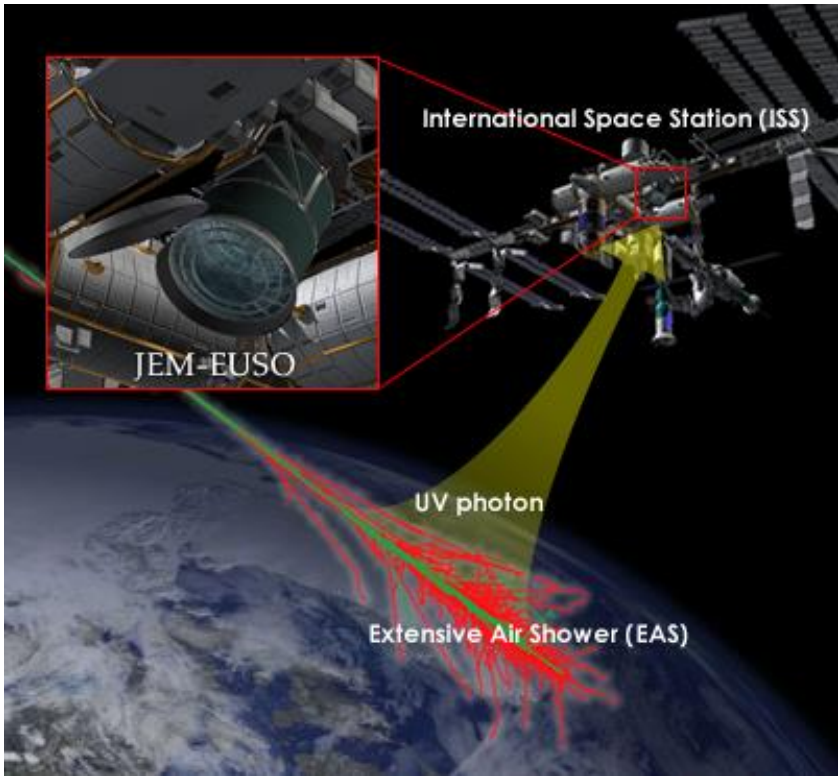
Other active studies include studies on the relation of galactic environment with the Earth's surface environment. In particular, we explore the possibility that a starburst in our Milky Way Galaxy lead the snow ball Earth events in the past.

1. Investigation of Extreme Energy Cosmic-Rays (Ebisuzaki, Takizawa, Kawasaki, Tsuno)

JEM-EUSO is a new type of observatory that uses the earth's atmosphere as a detector. JEM-EUSO will be on orbit on the International Space Station (ISS). It observes transient luminous phenomena taking place in the earth's atmosphere caused by particles coming from space. The sensor is a super wide-field telescope that detects extreme energy cosmic-rays with energy above 10^{19} eV. This remote-sensing instrument orbits around the earth every 90 minutes on board of the International Space Station at the altitude of approximately 400km.

JEM-EUSO instrument can reconstruct the incoming direction of the extreme energy particles with accuracy better than several degrees. It's observational aperture of the ground area is a circle with 250 km radius and its atmospheric volume above it with a 60-degree field-of-view is about 1 tera-ton or more. The extreme energy particles can be traced back to their origin by their measured arrival direction with accuracy better than a few degrees. JEM-EUSO will also observe atmospheric luminous phenomena such as lightning, nightglow, and meteors.

<http://jemeuso.riken.jp/>



Artist's conception of the JEM-EUSO telescope observing air shower.



Experimental Fresnel lens with diameter of 1.5m

2. Investigation of the relationship between galactic and terrestrial histories (Ebisuzaki)

The cause of the Snowball Earth events at 2.2-2.4 Ga and 0.55-0.77 Ga in the Proterozoic eon remains unknown in spite of the intensive studies in the last decade. We here present the star burst model of the Snowball Earth. Frequent and prolonged encounters with nebulae (dark clouds and supernova remnants) take place during a starburst of the Milky Way Galaxy. The increase in flux of cosmic dust particles and cosmic rays during these nebula encounters lead to global super-cool climate, in other words, a snowball Earth event. The individual nebula encounters may correspond to the substructures of super-cool/super-warm cycles in a Snowball Earth event. The star burst periods deduced from the ages of stars and star clusters coincide well with the Snowball Earth events reconstructed from geological records. The direct evidences of the nebula encounters, on the other hand, can be obtained from deep sea sediments deposited during the Snowball Earth events. The radiation dose due to the cosmic rays leads genomic instability, which may produce Cambrian explosive explosion of life. The mass extinction events, like "Big five," may also be caused by such nebula encounters, which took place in later Phanerozoic era.

3. General relativistic magnetohydrodynamic simulations of relativistic jet formation (Ebisuzaki, Mizuta)

Bipolar outflow formation from a part of accreting gas onto the blackholes is observed in the Universe. The outflow is well collimated

and the bulk velocity reaches almost speed of light. It is one of the important problems for astrophysics to understand why the accreting gas can overcome the gravitational potential of the blackholes and how the gas is accelerated to relativistic velocity. Blandford-Znajek process is the model which uses the rotation energy of the blackhole via magnetic field amplified in the accretion disks. The process is one of the promising models which can explain the relativistic jet formation.

But large-scale numerical simulations are necessary to investigate this model carefully, since theoretical model is based on very simplified situations. We have done several test simulations for the jet formation by general relativistic magnetohydrodynamic simulations. We confirmed the magnetic field amplification and the outflow formation. The improvement of the code to achieve much better numerical resolution is ongoing towards more realistic numerical simulations.

An intense wakefield is stimulated in the plasma, on which a high intensity laser beam is focused, accelerates charged particles. This mechanism attracts the attention of researchers as the new technology to break the limit of conventional accelerators. We studied the wakefield in the jet launched from an accreting blackholes and found that it can accelerate protons up to 10^{20} eV.

4. Application to dosimetry after the Fukushima accident of techniques for particle detection in space. (Ebisuzaki)

LANFOS is a project approved by JST to design, construct, test and calibrate a next-generation, high-performance, high-sensitivity detector capable of measuring the amount of radiation in food and material due to Cs and other radioactive isotopes. The detector, employs the latest technology developed for space-borne particle physics research such as the antimatter spectrometer PAMELA, orbiting the Earth for more than 5 years and the JEM-EUSO experiment to study Extreme-Energy Cosmic rays. The instrumentation (detector, front-end and readout electronics...) and techniques used in these experiments are particularly suited to be successfully employed in the construction of a next generation radiation detector. The characteristics of LANFOS are be 1) non-destructive food sampling; 2) large sensitive volume, to be able to test various types of foods or material (e.g. Vegetables); 3) high geometrical efficiency, covering the whole solid angle (4) and photon collection efficiency; 4) easy to use; 5) do not require high voltages; 6) low cost once produced in large numbers; 7) compact and transportable.

5. Analysis of plant mutants induced by particle radiations. (Matsuyama)

The entire nuclear genomic DNA sequences of the model plant: Arabidopsis and rice are known and plant genome science has changed the whole aspect of situation. Using their information, we have developed an in silico genome wide scanning system (Vi-RLGS system) and have applied to not only the analysis of plant mutants induced by particle radiations (ion and proton beams) and soft X-rays, but also mouse and microorganism genome analysis. The rich knowledge of repeated sequence that is non-coding region have stored and found out the interesting Arabidopsis mutants of chlorophyll

synthesis induced by particle radiations through the process of the above studies. We are applying the development of useful DNA markers for the resolution of various problems of plant variety protection (DNA marking project) and the isolation of novel genic resources for the new phase of plant breeding, environmental and evolutionary earth science fields.

Principal Investigator

戒崎 俊一 Toshikazu Ebisuzaki

Research Staff

飯高 敏晃 Toshiaki Iitaka
滝澤 慶之 Yoshiyuki Takizawa
松山 知樹 Tomoki Matsuyama
水田 晃 Akira Mizuta
川崎 賀也 Yoshiya Kawasaki
津野 克彦 Katsuhiko Tsuno
金子 委利子 Iriko Kaneko
牧野 淳一郎 Junichiro Makino

Students

Morales Alberto Jose
Fenu Francesco
Thomas Mernik
Elias Iwotschikin
Alejandro Guzman

Assistant and Part-timer

大畑 智子 Tomoko Oohata
佐藤 茂 Shigeru Sato
大野 陽子 Yoko Ohno
齋藤 麻由美 Mayumi Saito
渡邊 桃 Momo Watanabe

Visiting Members

塩田 大幸 Daiko Shiota
宮本 寛子 Hiroko Miyamoto
John Sak Tse
Kholmirzo Tagoikulovich Kholmurodov
肖 鋒 Feng Xiao
真貝 寿明 Hisaaki Shinkai
高橋 徹 Toru Takahashi

眞榮平 孝裕 Takahiro Maehira
丸山 茂徳 Shigenori Maruyama
三浦 均 Hitoshi Miura
泰岡 顕治 Kenji Yasuoka
八柳 祐一 Yuichi Yatsuyanagi
矢部 孝 Takashi Yabe
荒井 規允 Noriyoshi Arai
尾久土 正己 Masami Okyudo
奥野 光 Hikaru Okuno
片岡 龍峰 Ryuho Kataoka

Nguyen Hai Chau

高幣 俊之 Toshiyuki Takahei
土屋 旬 Jun Tsuchiya
長嶋 雲兵 Umpei Nagashima
平井 尊士 Takashi Hirai

Yanming Ma

宮崎 剛 Tsuyoshi Miyazaki
宮原 ひろ子 Hiroko Miyahara
鷺見 治一 Haruichi Washimi
中里 直人 Naohito Nakasato
藤本 桂三 Keizo Fujimoto
古川 浩二 Koji Furukawa
山本 知之 Tomoyuki Yamamoto
鈴木 増雄 Masuo Suzuki

Zhi Li

二村 徳弘 Tokuhiko Nimura
田畑 美幸 Miyuki Tahata
今枝 佑輔 Yusuke Imaeda

Cheng Lu

Xi Zhang