

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. 生命惑星の形成と進化を明らかにする

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、惑星形成、生命の起源

研究概要

当研究室は、極限エネルギー宇宙線研究、生命惑星の形成と進化の研究、ブラックホール降着円盤ジェットにおける航跡場加速の研究などを行っている。

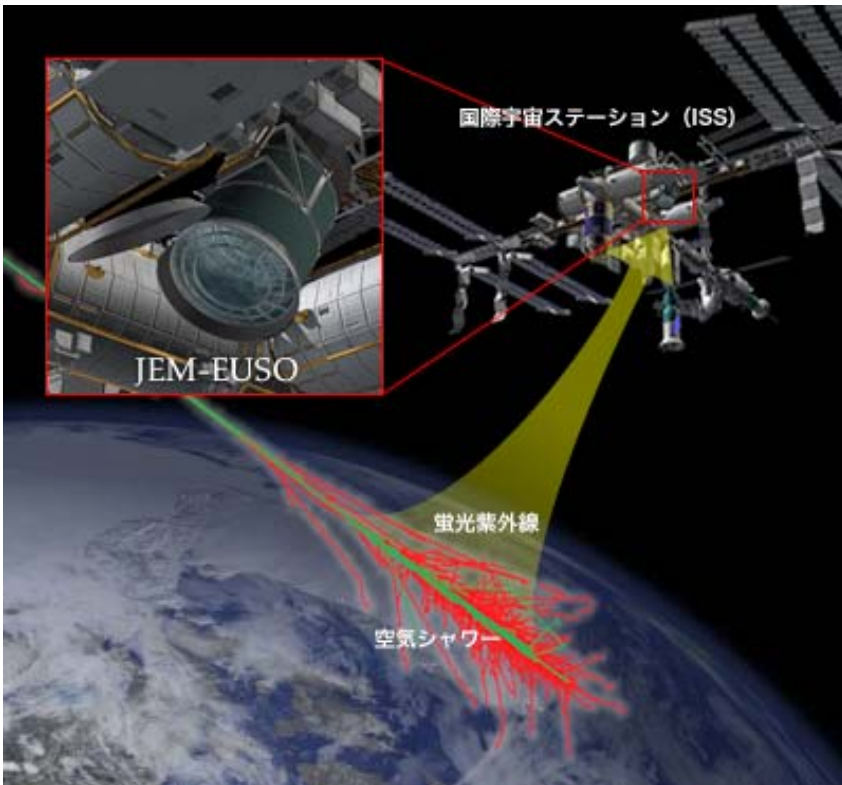
1. 超高エネルギー宇宙線研究 (戒崎, 滝澤, 川崎, 津野)

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、16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、スイス、アルジェリア、ルーマニア)、87 研究施設の研究者 (2014 年 9 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。また、EUSO 望遠鏡を用いた宇宙デブリ観測と高強度パルスレーザーによる除去の研究を進めている。

<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. 生命惑星の形成と進化の研究（戎崎、今枝、飯高）

2015年度から科研費新学術領域「冥王代生命学の創成」が開始された。当研究室では、A05生命惑星班を主導することになった。大陸（固体）、海洋（液体）、大気（気体）の三要素の間を物質が循環する「Habitable Trinity」が成立する惑星形成条件を明らかにすることである。そのために、1）軌道半径が適切で、軌道離心率が大きすぎず、液体の水が存在する温度範囲に常にあること、2）大気の温室効果が中心星からの距離に応じた適切なレベルにあること、3）水が多すぎず、海洋の深さが数キロメートルに調整されていること、などの条件が要求される。これらの条件を満たす惑星がどのように原始惑星降着円盤の中で作られるかを明らかにする。

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（戎崎、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を形成する。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。ブラックホールに落ち込むガスが形成する降着円盤内部では磁場が磁気回転不安定性という機構によって増幅され、ガスと共にブラックホール表面近傍に落ち込んでいく。ブラックホール表面近傍で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。一般相対論的磁気流体シミュレーションを行っており、降着円盤内部で磁場の増幅、ジェット状の高速回転するブラックホール近傍からの磁気優勢アウトフロー形成を再現した。

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。このよう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^{20}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（戎崎）

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）高压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。

LANFOSは共同研究先の株式会社ジーテックにより製品版試作機が製作されており、福島県での現地試験も行った。

5. 粒子線利用による植物・プランクトンの変異体誘発と解析およびその応用研究（松山）

粒子線や宇宙線の降り注ぐ地球上で、生物は進化を遂げて来た。その変異のプロセスはゲノム DNA に残されている。植物では、モデル植物のシロイヌナズナ・イネではほぼ全てのゲノム遺伝情報が明らかになり、変異体解析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。また、水産生物資源として重要度の増してきたプランクトン（シオミズツボウムシ等）の変異誘発実験を開始した。これらの解析を進めることで、有用 DNA マーカーの開発や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. Clarify the formation and evolution of a life planet

Key Word :

cosmic-rays, extreme energy, International space station, Planetary formation, Origin of Life

Outline

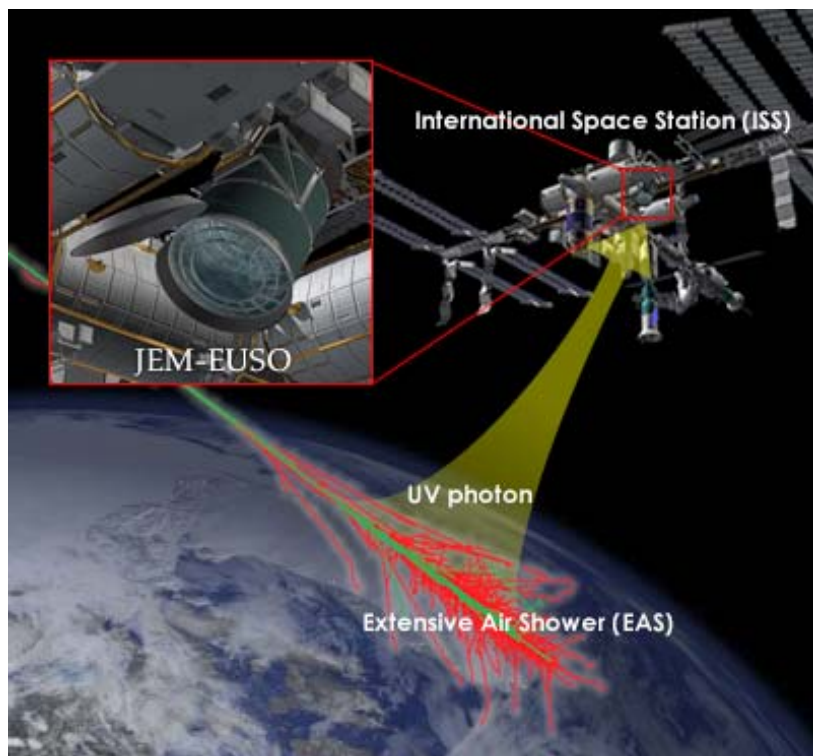
We promote the studies of extreme energy cosmic rays, formation and evolution of a life planet, and wakefield acceleration in the accretion disk jets around a blackhole.

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. We also joined KLYPVE mission to provide a corrector lens, Russian photomultipliers, a laser head. Furthermore, space debris observation with EUSO telescope and their remediation by high power pulsed lasers.

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



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



Experimental Fresnel lens with diameter of 1.5m

2. Study of Formation and Evolution of a Life Planet (Ebisuzaki, Imaeda, Iitaka)

New project of Kakenhi, "Hadean Bioscience" has started in 2015. The laboratory leads the A05 Life Planet Group. We will clarify how the Earth established "Habitable Trinity" in which the materials and energy circulate in three major components: Landmass, Ocean, and Atmosphere. The necessary conditions are 1) It has a appropriate orbital radius and a small eccentricity so that the surface temperature is always kept in the range of liquid water. 2) The level of green house effect is appropriate depending on the distance from the central star, 3) The amount of water is appropriate so that the depth of the ocean is around several km.

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 outflow is accelerated to relativistic velocity. Inside the accretion disks the magnetic field is amplified by magneto-rotational instability and finally it accretes onto blackholes with gas. Blandford-Znajek process is the model for to extract the rotation energy of the blackhole via magnetic field. 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 general relativistic magnetohydrodynamic simulations for the jet formation. We confirmed the magnetic field amplification inside the accretion disks and the magnetized outflow formation.

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 researches as the new technology to break the limit of conventional accelerators. We studied the wakefield in the jet launched from an accreting gas onto 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.

Prototype of LANFOS was manufactured by joint research company, G-Tech. and field test in Fukushima.

5. Analysis of plant and plankton 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 and plankton breeding, environmental and evolutionary earth science fields.

Principal Investigator

戒崎 俊一 Toshikazu Ebisuzaki

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

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

今枝 佑輔 Yusuke Imaeda

金子 委利子 Iriko Kaneko

川崎 賀也 Yoshiya Kawasaki

牧野 淳一郎 Junichiro Makino

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

Students

村田 一城 Kazuki Murata

Elias Iwotschikin

Zhi Li

二村 徳宏 Tokuhiko Nimura

田畑 美幸 Miyuki Tahata

Cheng Lu

Xi Zhang

Fenu Francesco

佐々木 孝教 Takanori Sasaki

Assistant and Part-timer

大畑 智子 Tomoko Oohata

佐藤 茂 Shigeru Sato

大野 陽子 Yoko Ohno

佐々木 綾乃 Ayano Sasaki

柴田 吉輝 Yoshiki Shibata

Visiting Members

塩田 大幸 Daiko Shiota

宮本 寛子 Hiroko Miyamoto

John Sak Tse

Kholmurzo 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