

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

主任研究員 戎崎 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
3. エクサフロップスコンピューティングを実施する

キーワード：

超高エネルギー宇宙線、宇宙デブリ、高速科学技術計算、ブラックホール、惑星形成、生命の起源

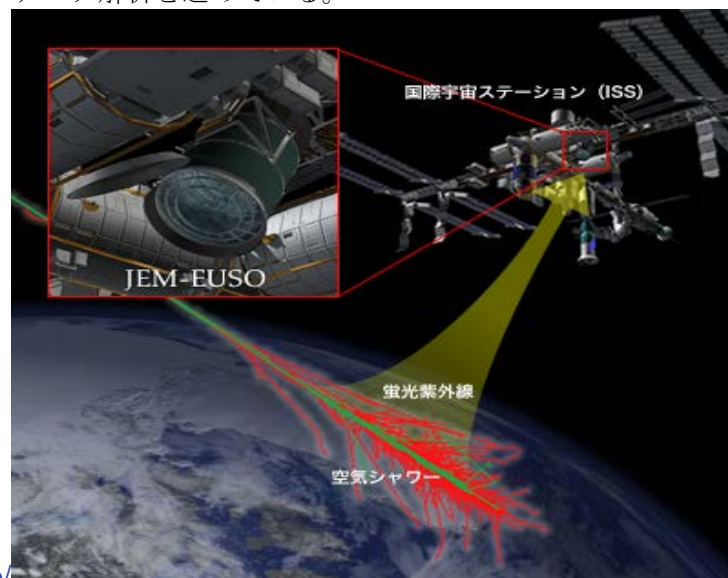
研究概要

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 (戎崎, 滝澤)

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。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。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、三次元的に再構築する。当研究室は、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)、84 研究施設の研究者 (2015 年 11 月現在) と協力して、EUSO の製作準備を進めている。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し、その性能を 7 倍に高めた K-EUSO を JAXA/ISAS の小規模ミッションに提案している。本年度は、米国チームと NASA が主導した EUSO-SPB (超高圧成層圏気球 Super Pressure Balloon) による $10^{18} \sim 10^{19}$ eV の超高エネルギー宇宙線を観測する実験が行われた。本実験では、光学系設計とレンズ製作を担当した。EUSO-SPB は、日本時間 2017 年 4 月 25 日早朝にニュージーランドからの放球し、5 月 7 日に観測を終了した。データ解析を進めている。

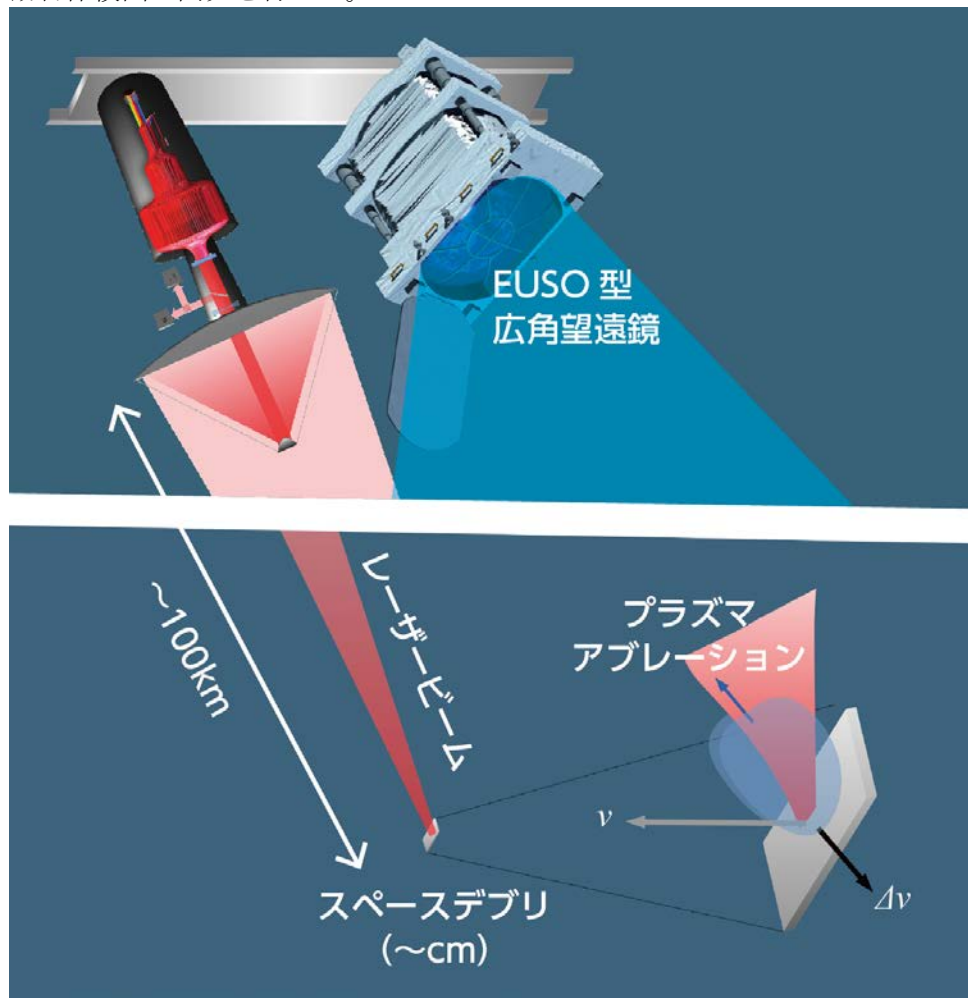


<http://jemeuso.riken.jp/>

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)

2. 超広角望遠鏡を用いた宇宙デブリ除去法の研究（戒崎、滝澤）

宇宙開発の家庭で放出された不必要な物体は軌道上にひどい増えてきた。中でも特に危険な物が10cm以下の物体で、数は100万個に達し、ひどい宇宙開発の障害になりつつある。EUSOプロジェクトで開発した超広角望遠鏡で「その場」で検出追跡し、その方向に、高強度レーザーを射出してデブリ上にプラズマアブレーションを起こせばその反力で宇宙デブリを脱軌道することを提案し、必要な技術開発に取り組んでいる。本年度は、宇宙デブリ脱軌道の検出・追跡・レーザー照射のブレッドボードモデルを開発した。また、Deep learningのConvolutional neural network (CNN)を用いた高背景ノイズ下での移動物体検出の開発を行った。



検出用のEUSO型超広角望遠鏡とレーザー射出用光学系

3. 生命惑星の形成と進化の研究（戒崎、加藤、飯高）

2014年度から科研費新学術領域「冥王代生命学の創成」が開始されてから3年経過し、8月からA05生命惑星班を主導する当研究室に加藤協力研究員が加わった。これまでの原始惑星降着円盤の輻射熱平衡かつ定常な数値モデルを三次元に拡張し、地球型惑星が成長する静穏領域の内側の境界の安定性を検証した。その結果、レーリーテイラー不安定性によって、内側の境界層の厚みが定常モデルの予想を上回り、スケールハイトの数倍程度に広がること、そして1300-1500Kの高温成分が境界層に混じり合うことがわかってきた。これは平衡凝縮計算から予測される岩石惑星形成領域でのバルク・シリケートアースの比率が多過ぎるといった問題を解決し、水星、金星、地球の鉱物組成の違いを説明する可能性がある。どの程度混じり合うのか理論的に予測するため、原始惑星系降着円盤の線形解析と高精度の三次元数値実験を進めている。

4. 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)

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相対論的流速をもったジェットを形成する。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増幅された磁場のエネルギーが、磁気再結合によって開放されることによってアウトフローが駆動されるというモデルの一般相対論的磁気流体シミュレーションを行なっている。このモデルでは間欠的に強いアルフヴェン波が放出される。この大振幅のアルフヴェン波がモード変換によって電磁波となると、ポンデラモーティブ力によって 10^{20} eV にも及ぶ最高エネルギー宇宙線加速への応用を行なっている。この加速メカニズムはブレーザーと呼ばれる活動銀河核ジェットの一つであるブレーザーからの高エネルギーガンマ線放射にも応用が可能である。

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、微生物、植物プランクトン (ケイ藻、クリプト藻等) への応用を進めた。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、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、キメラ性を回避したカンキツ変異体群等を見出し、DNA多型解析および倍数性分析を進めた。一方で、果樹・野菜・花き等の農産物を中心に生理・生態情報の収集を開始し、有用DNAマーカーの開発 (DNAマーキング)、新規遺伝資源・遺伝子資源探索等の進化・環境研究等に対し、農産業・フィールド科学を視野に入れた研究・開発への展開を図った。

6. ヘテロジニアス・メニーコア計算機による大規模計算科学 (戎崎)

多数の計算コア以外に、汎用CPUをチップに内蔵したヘテロジニアス・メニーコアプロセッサは、今後の科学技術計算の重要なトレンドである。この新規なアーキテクチャを持つプロセッサに対する、新しいプログラミングモデルを確立し、多様なアプリケーションやアルゴリズムに対しての有用性を実証する。本年度においては、PEZY-SC2プロセッサに重力多体および、分子動力学シミュレーション、大規模神経回路シミュレーション、およびゲノム解析のアプリケーションソフトウェアに関して、30プロセッサ並列 (約6万計算コア) を実現した。SPH法およびDEM法による流体および弾性体シミュレーションに関しても準備を進めた。

Key Sentence :

1. Explore the origin of the extreme energy cosmic-rays
2. Clarify the formation and evolution of a life planet
3. Exaflops Computing

Key Word :

Ultra High Energy cosmic-rays, Space Debris, Supercomputing, Blackhole, Planetary formation, Origin of Life

Outline

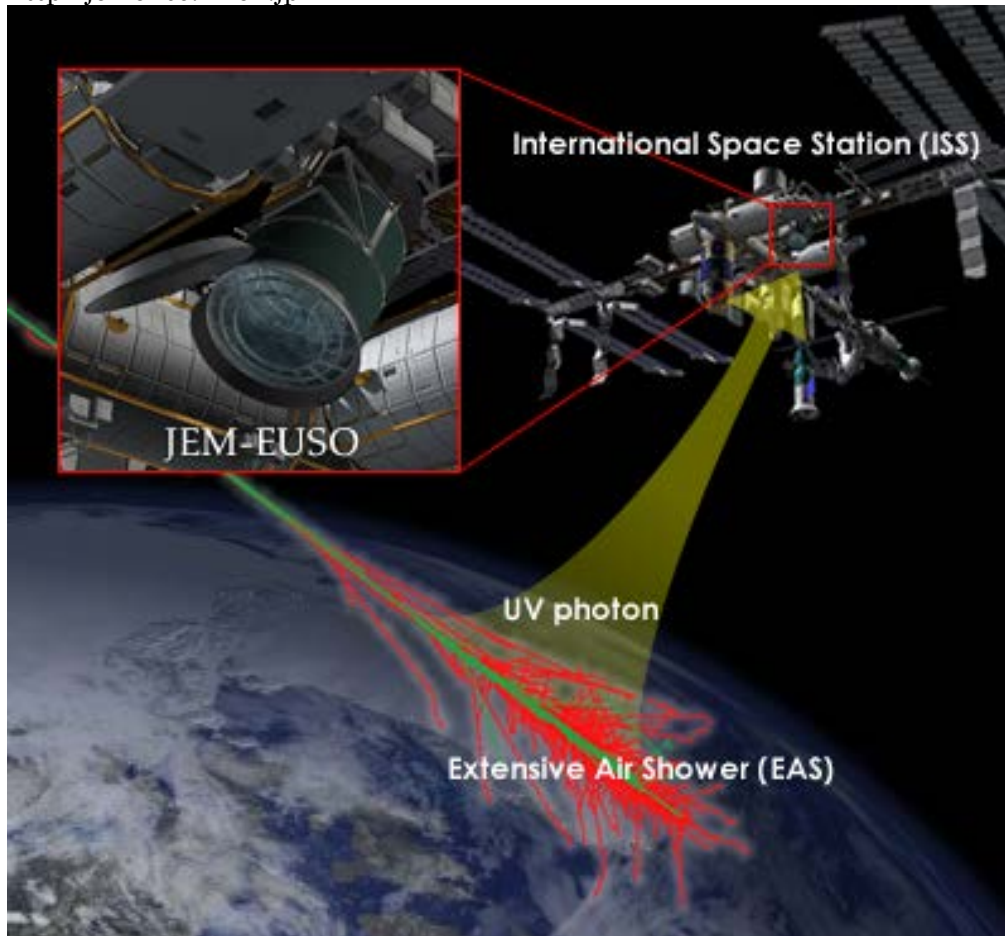
We promote the studies of extreme energy cosmic rays, space debris remediation formation and evolution of a life planet, and wakefield acceleration in the accretion disk jets, and large scale computing with heterogeneous many core processors.

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

EUSO is a new type of observatory that uses the earth's atmosphere as a detector. The sensor is a super wide-field telescope that detects extreme energy cosmic-rays with energy above 10^{19} eV. EUSO instrument can reconstruct the incoming direction of the extreme energy particles with accuracy better than several degrees. Its 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. EUSO will also observe atmospheric luminous phenomena such as lightning, nightglow, and meteors. We have joined KLYPVE mission to provide a corrector lens, Russian photomultipliers, a laser head to enhance its ability sevenfold. Furthermore, space debris observation with EUSO telescope and their remediation by high power pulsed lasers.

We developed three Fresnel lenses (1m square) for the Super Pressure Balloon (EUSO-APB), which was led by the USA team of JEM-EUSO and NASA, to observe ultra-high energy cosmic rays (10^{18} – 10^{19} eV) from 40 km altitude. EUSO-SPB flew on 25th April 2017 (JST) until 7th May 2017 (JST). We are analyzing observation data of the EUSO-SPB to survey cosmic ray events.

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



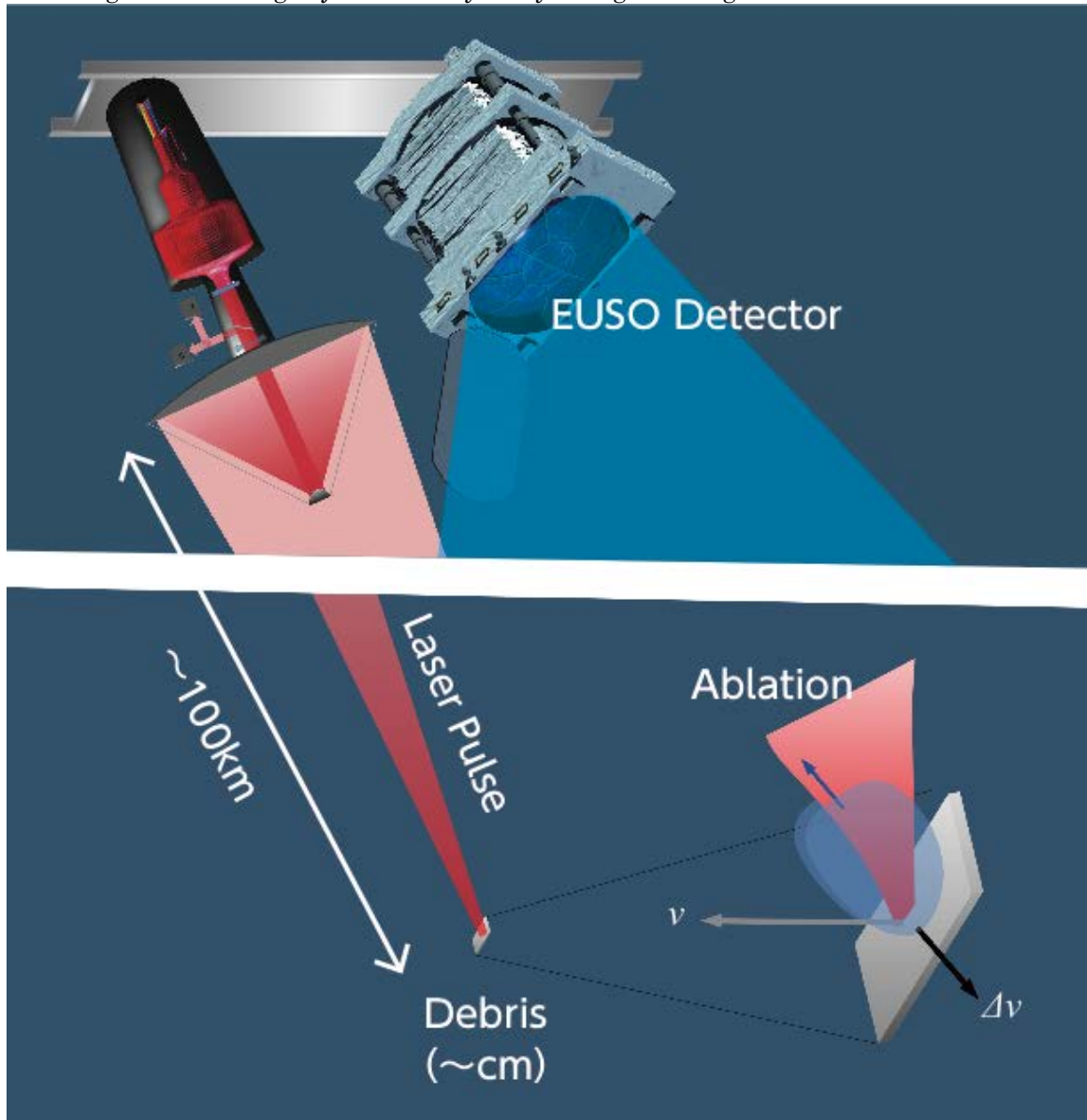
Artist's conception of the JEM-EUSO telescope observing air shower.

2. Study of Space Debris removal by high intensity lasers. (Ebisuzaki, Takizawa)

Space debris are increasing in number in the process of space development. Their threat to spacecraft become significant. In particular, the small objects less than 10cm are believed to be most dangerous. We found that super-wide field telescope, developed in EUSO project, can detect and track

space debris with the size of 0.5-10cm. We may deorbit them by shooting a high intensity laser beam. We conduct technology development for the debris removal.

We developed a breadboard model (BBM) of the debris removal system and the detection algorithm using convolutional neural network (CNN) of the deep learning technique. BBM can detect a moving light spot, which is emulated a debris by a laser pointer, track it and irradiate a laser beam on it. CNN can recognize a moving object in a very noisy background light.



Concept of our technical demonstrator of the laser removal of debris aboard International Space Station. It consists of the EUSO telescope for acquisition and a CAN laser system for tracking and impulse delivery for cm size debris.

3. Study of Formation and Evolution of a Life Planet (Ebisuzaki, Kato, Iitaka)

The laboratory has led the A05 Life Planet Group in a KAKENHI project "Hadean Bioscience" since 2014. Dr. Kato has joined our group in last August and started investigating stability of our numerical model of protoplanetary nebulae. We have extended our steady model in radiative equilibrium into three-dimensional (magneto-)hydrodynamic model. We have found that a thickness of the inner boundary of turbulent-free region, formed between inner and outer turbulent region of the protoplanetary disk, becomes wider than a local pressure-scale height and reaches several pressure-scale heights due to Rayleigh-Taylor instability. As a result,

high-temperature component (1300 - 1500 K) penetrates into the boundary and is mixed with cold-temperature components (< 1300 K). Such multi-temperature structure in the inner boundary region may solve an issue that a ratio of bulk silicate earth contained in planetesimals is less than an estimated value from condensation models. This process might unveil a mystery of the difference between a composition of rocky planets such as Mercury, Venus, and Earth. We therefore proceed with comparison between linear stability analysis of a protoplanetary disk and high-precision three-dimensional numerical simulations in order to evaluate a mixing length.

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

Relativistic jets are launched from the system of accreting gas onto the black holes in the Universe. It is one of the important problems for astrophysics to understand why the accreting gas can overcome the gravitational potential of the black holes and how the outflow is accelerated to relativistic velocity. An outflow can be driven, when the energy of the magnetic field which is amplified in the accretion disk are dissipated via the reconnection. We have been working for general relativistic magnetohydrodynamic simulations to study this process. This model predicts intermittent outflows with strong Alfvén waves which become electromagnetic wave by mode conversion. Ponderomotive force acceleration up to ultra high energy cosmic ray regime ($\sim 10^{20}$ eV) is also studied as an application of our study. We can also apply it to high energy gamma-ray emissions from blazar which is sub-class of active galactic nucleus jets.

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 and Citrus mutants induced by particle radiations through the process of the above studies. Using them, we have developed 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. In addition, we are applying the above data for the field science using agricultural plants.

6. Large Scale Computing by heterogeneous many core processors (Ebisuzaki)

Computational Sciences with Heterogeneous Many-core Processors A heterogeneous many-core processor has a general purpose CPU in the chip as well as many processing cores (>1000) and is an important trend in the field of High Performance Computing. We will establish a programming model applicable to this new architecture and prove its usefulness to the many application areas of high performance computing. In the fiscal year 2017, we port the application codes of gravitational and molecular dynamics simulations, large-scale neural network, and the genome analysis and run them in the 30 processor parallelism ($\sim 60,000$ processing cores). We also started to port codes of hydrodynamic and elastic body simulations with SPH and DEM methods.

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

金子 委利子 Iriko Kaneko

加藤 成晃 Yoshiaki Kato

河津 励 Tsutomu Kawatu

Le the Anh

Students

阿由葉 翔 Sho Ayuha

野澤 拓磨 Takuma Nozawa

和田 正弘 Masahiro Wada

Koenig Ulf Hampus

Assistant and Part-timer

大畑 智子 Tomoko Ohata

佐藤 茂 Shigeru Sato

田島 典夫 Norio Tajima

金子 紗梨 Sari Kaneko

徳田 恵子 Keiko Tokuda

Visiting Members

Sara Turriziani

荒井 規允 Noriyoshi Arai

池田 隆司 Takashi Ikeda

石河 孝洋 Takahiro Ishikawa

梅本 幸一郎 Koichiro Umemoto

奥野 光 Hikaru Okuno

片岡 龍峰 Ryuho Kataoka

鎌田 誠司 Seiji Kamada

佐々木 孝教 Takanori Sasaki

塩田 大幸 Daiko Shiota

真貝 寿明 Hisaaki Shinkai

鈴木 増雄 Masuo Suzuki

高幣 俊之 Toshiyuki Takahei

立川 仁典 Masanori Tachikawa

土屋 旬 Jun Tsuchiya

John Sak Tse

中川 貴司 Takashi Nakagawa

中里 直人 Naohito Nakasato

二村 徳宏 Tokuhiko Nimura

西浦 泰介 Nishiura Daisuke

則竹 史哉 Fumiya Noritake

Hong Nguyen

Fenu Francesco

古市 幹人 Mikito Furuich

古川 浩二 Koji Furukawa

本郷 研太 Kenta Hongo

Yanming Ma

前園 涼 Ryo Maezono

眞榮平 孝裕 Takahiro Maehira

三浦 均 Hitoshi Miura

蓑島 敬 Takashi Minoshima

宮崎 剛 Tsuyoshi Miyazaki

宮原 ひろ子 Hiroko Miyahara

泰岡 顕治 Kenji Yasuoka

八柳 祐一 Yuichi Yatsuyanagi

山本 知之 Tomoyuki Yamamoto

Zhi Li

Cheng Lu

Feng Xieo