

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. 宇宙と地球環境の関連を調べる
3. 量子論で地球を理解する。
4. 超高速カメラで生体分子の動を捉える。
5. 超高速専用計算機用シミュレーションライブラリ
6. 新しい科学可視化手法を開発する

キーワード：

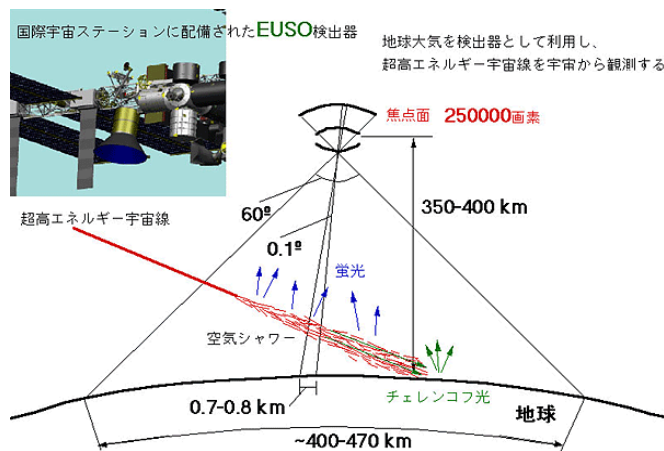
宇宙線、極限エネルギー - 、国際宇宙ステーション、宇宙線、雲核、地球環境、量子シミュレーション、中性子散乱、J-PARC、地球深部物質、生体分子高速撮像、Geiger mode Avalanche Photo Diode (G-APD)、G-APD カメラ、超高速専用計算機開発、分子シミュレーション、科学可視化、学校教育

研究目的

当研究室は超高エネルギー宇宙線 (10^{20} 電子ボルト) を検出するためのJEM-EUSO(Extreme Universe Space Observatory on the Japan Experiment module of the International Space Station)の推進を活動の柱とする。JEM-EUSOは口径約2.5メートルで約60度の視野を持つ超広視野望遠鏡で、国際宇宙ステーションの日本実験棟「きぼう」(JEM)の曝露部(EF)に装着される。半径約400kmの領域の地球大気を一度に観測する。JEM-EUSOは日米を中心として、欧、アジアの協力のもと建設される。2013年-2015年の打上げを予定している。JEM-EUSOは、JEMの第二期利用ミッション候補としてJAXAに採用され、JAXAのもとでphase-A研究が進行中である。その他に、超高速専用計算機の開発とそれによる生体高分子、巨大ブラックホールの形成過程とその極超新星ガンマ線バーストの関係を調べるシミュレーション、計算物質科学、計算機の教育利用、などの研究が行なわれている。

1. 超高エネルギー宇宙線研究 (戒崎, 滝澤, 川崎, 篠崎, 真瀬)

JEM-EUSOは、国際宇宙ステーションの日本実験棟「きぼう」(JEM)の曝露部(EF)の第2期利用の候補ミッションとして2007年5月にJAXA採用された。これに基づき、JAXAとの間で共同研究契約が結ばれて、概念設計 (phase-A研究) を実施している。当研究室は、JEM-EUSOを推進する中核的存在として、日、米、仏、独、伊、墨、韓、露、瑞、西、波、スロバキア、62機関、170名と協力しながら、JEM-EUSOの各システム (光学系、焦点面検出器、電子回路、大気モニタ、JEM-EUSOシステム、観測性能評価シミュレーション) の製作準備を進めている。主な協力機関は、アラバマ大ハンツビル校、甲南大学、埼玉大学、青山学院大学、ISAS(宇宙科学研究本部)、北海道大学、JAXAなどである。この研究は、極限宇宙研究推進グループへの移行を進めている。



2. 宇宙地球環境シミュレーション(戒崎, 片岡)
宇宙からは、宇宙線や太陽紫外線などさまざまなものが降り注いでおり、その影響を地球環境は受

EUSO (Extreme Universe Space Observatory) is a science mission that observes ultra-high energy cosmic-ray ($\sim 10^{20}$ eV)

けている。特に銀河宇宙線は、対流圏においてイオンを形成し、それが硫酸エアロゾル形成の核になって雲核を作る可能性が示唆されている。この結果地球のアルベドが上昇し、地球は寒冷化する。さらに地球の対流圏は、その上の成層圏、中層圏、熱圏、電離圏と相互作用しているようすが、衛星による全球観測から明らかにになりつつある。天の川銀河の周りを公転する大小マゼラン銀河、いて座矮小銀河の動きを、観測

された視線速度、固有運動から数値シミュレーションで再現し、約 25 億年前と約 7 億年前における天の川銀河円盤内でのスターバーストの原因として位置づけた。この時期は地球が全球凍結するなど地球史上の大イベントが起こった時期と一致していた。さらには、この時期に真核生物の誕生や、多細胞生物が生まれるなど生物も大きく進化した。これらの生物大進化と宇宙線増加の関連を調べる。

3. 量子シミュレーションによる地球の物質科学 (飯高)

水素は宇宙最多の元素であるが、地球大気中の水素分子は宇宙へ拡散してしまい、現在の地球では水素は水(H₂O)や含水鉱物などの化合物あるいは鉱物やマグマ中の不純物として存在する。この水素は地表から地球最深部の高温高圧領域までのマグマ・鉱物の構造や物性に劇的な影響を与え、原始地球形成、地球深部や火山噴火のダイナミクスなどに関わる重要元素である。また「宇宙の塵から地球がどのように物質進化して生命を育む水の惑星となったか、そしてどうなるか。」という、宇宙生物学の根本問題にも関連する。平成 20 年度採択の新学術領域研究「高温高圧中性子実験で拓く地球の物質科学」(領域代表：八木健彦)では、J-PARC における世界トップレベルの中性子ビームと日本で開発された最先端の実験技術を用いて、地殻から下部マントル最上部相当の高温高圧下におけるマグマ、鉱物中における水素(水)の物質科学を探究する。その計画研究の一つとして我々は世界トップレベルのスーパーコンピュータと最先端の量子シミュレーションを駆使して、実験の指針を示し実験結果を包括的に理解することを目指す。

(<http://www.iitaka.org/~neutron/>)

4. G-APD 検出器による高速高感度カメラの開発と生体分子科学への応用 (滝澤、川崎)

生体分子の撮像としては、未踏の領域である sub- μ sec という高速撮像で、生命を司る生体分子の素過程を理解することを目指し、G-APD カメラによる高速撮像システムの開発をおこなっている。このカメラは、CCD や CMOS の代わる次世代検出素子 Geiger mode APD (G-APD)を用いている。G-APD 検出素子は、SiPM、MPPC としても知られ、従来の光電子増倍管に換わる新しい半導体素子である。G-APD は、CCD 等に比べて格段に微弱で高速な発光現象を捉える。潜在的には < 1 ns の時間分解能で 1 光子検出ができる。平成 20 年度採択の理事長ファンド(連携)「G-APD 検出器による高速高感度カメラの開発と生体分子科学への応用」(代表：ASI 滝澤慶之、共同研究者 ASI 丑田公規、BSI 武藤悦子、ASI 佐甲靖志)では、24 x 24 画素、読み出し時間 10 ns の G-APD 撮像カメラを試作し、細胞内分子、モーター蛋白質、膜蛋白質などの動態や反応を実時間で捉え、その性能の実証を行う。滝澤と川崎は、JEM-EUSO の検出システムの応用し、本カメラの開発を行っている。本研究で開発する超高感度・超高速撮像システムは、生体機能の発現機構を解明するために必須のイメージング装置となることを目指している。

5. GRAPE-DR 用分子シミュレーションライブラリの開発 (戎崎、松原)

GRAPE-DR チップは科学技術計算に特化して作られた超並列プロセッサであり、これを搭載した拡張ボードを汎用 PC の拡張スロットに挿すことにより様々な計算機シミュレーションを大幅に加速できる。このボードを利用して分子動力学計算と量子化学計算を加速することを目指してプログラムライブラリを作成している。これまでに、代表的なボトルネックである分子動力学計算の実空間 2 体相互作用と長距離クーロン相互作用の波数成分の計算、量子化学計算の 2 電子積分計算のライブラリを開発した。これらを GRAPE-DR 1 チップボードによるテストを行なったところ、粒子数が充分多ければ、ホスト PC 単体(Intel Core 2 quad

2.66GHz)の場合と比べて 20 倍以上に高速化できることを確認した。これらのライブラリは C 言語の関数として呼ぶことで利用可能である。また、分子動力学用のライブラリは MDGRAPE シリーズのものと互換性を考慮して作成しているので、完成時には MDGRAPE 用のプログラムはほとんど変更することなくこのライブラリが使用できるはずである。

6. 高度情報技術を使ったヒューマンインターフェースの研究 (戎崎、金子)

シミュレーション結果についての人間の直感的な理解を助けるため、データのリアルタイム可視化技術の研究とシステム構築を行っている。科学技術館ユニバースホールが改修されて立体全天シアター「シンラドーム」が完成し、その運営とコンテンツの製作に協力した。

また、研究成果を研究者が共有しやすいアプリケーションソフトReKOSの開発を推進した。このソフトウェアを用いることにより、研究成果を広く学校教育、社会教育の教育現場で活用できるようにもなる。フリーソフトとして配布を行っている。同ソフトウェアを基礎から完全に再構築し直したVer.2.0をリリースした。これは既存バージョンとの互換性を残しながら、飛躍的な機能の向上と、より多機能で親和性の高いシステムとの連携を可能にするものである。

Key Sentence :

1. Explore the origin of the extreme energy cosmic-rays
2. Investigation of the relationship between cosmic and terrestrial environment
3. Understand the Earth quantum mechanically.
4. Imaging bio molecular dynamics by using an ultra high-speed camera.
5. Libraries for super-high speed special purpose computer-aid simulations.
6. Create a new method of scientific visualization

Key Word :

Cosmic-rays, Extreme energy, International space station, Cosmic rays, cloud nuclei, terrestrial environment, quantum simulation, neutron scattering, J-PARC, mantle, magma, Bio molecular high-speed imaging, Geiger mode Avalanche Photo Diode (G-APD), G-APD camera, super-high speed special purpose computers, molecular simulation, Scientific visualization, Formal education

Purpose of Research

Computational Astrophysics Laboratory promotes in JEM-EUSO (Extreme Universe Space Observatory on the Japan experiment module of the International space station) mission that observes giant-air showers by ultra-high-Energy cosmic ray from the orbit. JEM-EUSO is a super wide-field (60 degrees) telescope with a diameter of 2.5 meters planned to be installed in International Space Station. Other active studies are running in parallel for the development of super-high speed special purpose computers and the large scale simulations of bio-molecules and formation process of super massive black-holes and its relation to hypernova/gamma-ray burst, computational materials science, and education with computers.

1. Investigation of ultra-high energy cosmic rays (Ebisuzaki, Takizawa, Kawasaki,Shinozaki, mase)
Computational Astrophysics Laboratory promotes in JEM-EUSO (Extreme Universe Space Observatory on the Japan Experiment Module of the International Space Station) mission that observes giant-air showers by ultra-high-energy cosmic ray from the ISS orbit. Original EUSO was taken the lead by Europa Space Agency (ESA). However, the start of ESA phase-B is postponed for a long time because of financial problems in ESA and European countries. Japanese and U.S. teams re-define EUSO as a mission attached to Japanese Experiment Module/Exposure Facility (JEM/ EF) of ISS and named it as JEM-EUSO targeting the launch of 2015 in the frame work of second phase of JEM/EF utilization.

We are managing most main parts of JEM-EUSO (Optics, Focal surface detector, Electronics, Atmospheric monitor system, JEM-EUSO system, End to end simulation) in corporation with 11 countries, 62 institutes, 170 researchers. Majorcollaboration institutes are Univ. of Alabama in Huntsville, Konan univ., saitamauniv., Aoyama gakuin univ., Hokkaido univ., ISAS/JAXA and JAXA. And, JEM-EUSO is supported by European and Asian collaborators.

2. Astrophysical Simulations (Ebisuzaki, Kataoka)

Terrestrial environment is affected by space environment such as cosmic rays and solar UV rays. It has been suggested that galactic cosmic rays create atmospheric ions in the troposphere, and the

ions can be the nuclei of aerosol formation to produce the cloud condensation nuclei. Consequently, terrestrial albedo possibly increases to cool the Earth. As another important factor, global observation of satellites is revealing the interaction between the troposphere and upper atmosphere such as stratosphere, mesosphere, thermosphere, and even ionosphere, in which various kinds of space environment have direct influence. We reproduced the revolution of Large and Small Magellanic Clouds and Sagittarius Dwarf around Milky Way Galaxy by a numerical simulation based on the line-of-sight velocity and proper motion to associate their motions as the cause of star burst events in the disk of our Milky Way Galaxy about 2.5 and 0.7 billion years ago. The star burst events coincide with Snowball Earth episodes and many other important paleogeographical events such as the emergence and evolution of Eukaria and Metazoa. We are studying the relationship between the macroevolution and cosmic ray increase.

3. Materials science of Earth explored by quantum simulation (Iitaka)

The most abundant element in the universe is hydrogen. However, most of molecular hydrogen in the Earth's atmosphere escaped into space long time ago. Today hydrogen exists as chemical compound such as water (H₂O) and hydrous minerals, or as impurities in minerals and magma. Hydrogen is believed to have dramatic impacts on the structure and physical properties of magma and minerals from the surface to the innermost region of the Earth under high pressures and high temperatures. Hydrogen is an important element related to formation of the primitive Earth, eruption of volcanoes and dynamics of the deep Earth. Hydrogen also refers to fundamental questions of Astrobiology: "How the Earth has evolved from space dusts to a water planet filled with life?" and "What is its future?". The MEXT fund for New Research Area "Materials Science of the Earth by Neutron Experiments under High Temperatures and High Pressures" (PI: Takehiko Yagi) was approved in 2008, where the materials science of hydrogen (water) in mantle and magma are explored by the one of the most advanced neutron beam at J-PARC and experimental techniques developed by Japanese high-pressure community. As a part of this project we exploit the state of art supercomputers and quantum simulations to show the direction and to obtain the comprehensive understanding of experimental studies.

(<http://www.iitaka.org/~neutron/>)

4. Development of a G-APD camera with sub-μsec sampling and its application to bio molecular science (Takizawa, Kawasaki)

Fundamental processes of bio-molecular activity compose a life. Timescale of its bio-molecular activity is almost μsec. However, imaging technology cannot resolve its activity enough in this timescale. Its main reason is that there are not good detector with both ultra high-speed response and high detection efficiency. So, we are developing a new camera system by using a Geiger mode Avalanche Photo Diode (G-APD). G-APD is the next generation detector in place of CCD or CMOS detector. G-APD is known as SiPM or MPPC and functions as silicon-base photo-multiplier tube. G-APD can detect a photon with good time resolution like < 1 ns. The Strategic Programs for R&D (President's Discretionary Fund), Collaboration Research, "Development of a G-APD camera with sub-μsec sampling and its application to bio molecular science" (PI: ASI Y. Takizawa, Co-Researcher: ASI K. Ushida, BSI E. Muto, ASI Y. Sako) was approved in 2008, where G-APD camera system, with 24×24 pixels and 10 nsec sampling, is being developed and we will attempt to take images of 3 kinds of targets in 2009. These observations are molecular motor measurement, protein dynamics measurement and 2-dimensional molecular diffusion coefficients measurement. As a part of this project, Takizawa and Kawasaki is developing an imaging system as the application of the JEM-EUSO detector system to bio molecular science.

5. Developing molecular simulation libraries for GRAPE-DR (Ebisuzaki, Matsubara)

GRAPE-DR chip is a massively parallel processor designed for scientific computation. A lot of scientific simulations would be dramatically accelerated by just inserting an extension board with GRAPE-DR chip into the extension slot of a general PC. We are making program libraries in order to accelerate the molecular dynamics (MD) and quantum chemistry simulations using GRAPE-DR. So far, the libraries include the real space pairwise interaction and the wave space part of the long range Coulomb

interaction for MD, and the two-electron integral for quantum chemistry simulation, which are well-known bottlenecks. These libraries were tested with GRAPE-DR 1 chip board, and found that if the number of particles were large enough, using GRAPE-DR could enhance these calculations more than 20 times faster than the PC only case (Intel Core2 quad 2.66GHz). These libraries are provided as C functions. Moreover, the library for MD is developed so as to be compatible with that of MDGRAPE series, and thus programs for MDGRAPE would also be able to use this library with little modification.

6. Studies of human interface with advanced information technology (Ebisuzaki, Kaneko)

We are developing a real-time visualization system to assist intuitive understanding of simulation results. For example, we contributed to develop the contents "Shinra Dome" in the Science and Technology Museum. "Shinra Dome" is the renewal version of "Universe Hall", and we are collaborating to operate the system. We developed ReKOS, a friendly application software for sharing the results among researchers. ReKOS is distributed as a free software, enabling researchers to widely distribute their results for education in various kinds of schools. This year we rebuilt ReKOS from scratch to improve the functionalities, keeping the compatibility with previous version. The software was released as the new version (ver. 2.0) of ReKOS.

Head

戎崎 俊一 Toshikazu Ebisuzaki

Members

飯高 敏晃 Toshiaki Iitaka
 滝澤 慶之 Yoshiyuki Takizawa
 山口 嘉夫 Yoshio Yamaguchi

Special Postdoctoral Researchers

片岡 龍峰 Ryuho Kataoka

Visiting Members

縣 秀彦 Hidehiko Agata
 荒井 規允 Noriyoshi Arai
 Holger Baumgardt
 Mario Edoardo Bertaina
 千頭 一郎 Ichiro Chikami
 海老塚 昇 Noboru Ebizuka
 古川 正夫 Masao Furukawa
 畠 浩二 Koji Hata
 平井 尊士 Takashi Hirai
 平野 秀典 Yoshinori Hirano
 堀 彰 Akira Hori
 星 健夫 Takeo Hoshi
 井田 茂 Shigeru Ida
 池田 隆司 Takashi Ikeda
 今井 智仁 Tomohito Imai
 石井 晃 Akira Ishii
 石峯 康浩 Yasuhiro Ishimine
 伊藤 智義 Tomoyosi Ito
 金子 委利子 Iriko Kaneko
 勝川 行雄 Yukio Katsukawa
 川崎 賀也 Yoshiya Kawasaki
 木舟 正 Tadasi Kifune
 Eunja Kim
 金城 友之 Tomoyuki Kinjo

小久保 英一郎 Eiichiro Kokubo

郭 哲来 Jer-Lai Kuo

Yanming Ma

町田 学 Manabu Machida
 前田 啓一 Keiichi Maeda
 眞榮平 孝裕 Takahiro Maehira
 牧野 淳一郎 Junichiro Makino
 丸山 茂徳 Shigenori Maruyama
 眞瀬 洋 Hiroshi Mase
 松原 裕樹 Hiroki Matsubara
 松本 直記 Naoki Matsumoto

Gustavo Adolfo Medina Tanco

三浦 均 Hitoshi Miura
 宮崎 剛 Tsuyoshi Miyazaki
 宮崎 芳郎 Yoshiro Miyazaki
 森下 徹也 Tetsuya Morishita
 永野 元彦 Motohiko Nagano
 長嶋 雲兵 Umpei Nagashima
 内藤 泰宏 Yasuhiro Naito
 中村 振一郎 Shin-ichiro Nakamura
 中里 直人 Naohito Nakasato

Dmitry Vadimovich Naumov

西堀 英治 Eiji Nishibori
 野村 晋太郎 Shintaro Nomura
 岡崎 進 Susumu Okazaki
 奥野 光 Hikaru Okuno
 尾久土 正巳 Masami Okyudo
 面高 俊宏 Toshihiro Omodaka
 大島 修 Osamu Oshima

Fabio Pichierri

重田 育照 Yasuteru Shigeta
 下条 圭美 Masumi Shimojo
 眞貝 寿明 Hisaaki Shinkai
 篠崎 健児 Kenji Shinozaki

Michael Paul Stopa

立川 仁典 Masanori Tachikawa

田島	文子	Fumiko Tajima
高橋	徹	Toru Takahashi
高橋	幸弘	Yukihiro Takahashi
高幣	俊之	Toshiyuki Takahei
田中	宏志	Hiroshi Tanaka
富田	勝	Masaru Tomita

John Sak Tse

土屋	旬	Jun Tsuchiya
植田	毅	Tsuyoshi Ueta
渡辺	元太郎	Gentaro Watanabe
肖	鋒	Feng Xiao
矢部	孝	Takashi Yabe
八木	清	Kiyoshi Yagi
安田	耕二	Koji Yasuda
泰岡	顕治	Kenji Yasuoka
八柳	祐一	Yuichi Yatsuyanagi
横島	智	Satoshi Yokojima
吉田	滋	Shigeru Yoshida

Alessandro Zuccaro Marchi

Trainees

東出	一洋	Kazuhiro Higashide
木村	英史	Hidefumi Kimura
宮澤	克英	Katsuhide Miyazawa
園田	英貴	Hidetaka Sonoda

Assistant and Part-timer

大畑	智子	Tomoko Oohata
佐藤	茂	Shigeru Sato