



Power of Computation to Empower Pioneers.

〒113-8658 東京都文京区弥生 2-11-16
 2-11-16 Yayoi, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8658, Japan
 Phone:03-5841-2710 / Fax:03-5841-2708 (G3)
<https://www.itc.u-tokyo.ac.jp/> (日本語)
<https://www.itc.u-tokyo.ac.jp/en/> (English)

信頼できる情報社会

A Trustworthy Information Society

センサーによって得られたデータを解析して工場、医療現場などの安全性・生産性を向上する、観測データをシミュレーションと連携させて農漁業の収穫をあげるなど、データ活用型社会への期待が高まっています。一方で、個人情報を含むデータがごく少数の営利企業に独占され、暗黙の偏見や差別につながりかねない利用のされかたをすること、また権力機関によって不当な検閲に利用されることへの懸念・疑念なども広がっています。そのような時代において、大学に職を持つ我々がその公共的使命を強く自覚しつつ、データ処理やシミュレーションのための透明な情報基盤を自ら構築し、信頼に足るデータ活用型社会の実現に中心的な役割を果たす高い技術や倫理感を身につけた人材を育成し続けることは、これまでになく重要になっていると考えます。

情報基盤センターはその根幹を担う機関であり、4つの研究部門「情報メディア教育研究部門」「学術情報研究部門」「ネットワーク研究部門」「スーパーコンピューティング研究部門」が連携して研究をしています。そして、全学の研究・教育に欠かせない情報基盤を設計・導入し、安定運用することを重要な使命としています。また、全国8大学のセンターを連携させたネットワーク型拠点「学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点(JHPCN)」の中核拠点として機能しています。

国内有数の先進性と規模を持つコンピューターシステムを構築し、本学および全国の研究者に最先端の情報基盤を提供する。さらに、最先端の基盤であるがゆえに得られる知見や技術的課題を次世代の情報基盤の創出へと活かしていく。こうして継続的に、相乗的な効果を上げていく取り組み自体も、本センターにとっての重要な研究テーマとなります。

最先端の基盤を安定運用し続けることは大きなチャレンジです。そして、このチャレンジを続けることこそが、技術や人を育てるのだと確信しています。

Expectations for data utilization in society are rising, with applications such as improving security and productivity in factories and hospitals using data from sensors, increasing harvests in agriculture and fishery using simulations that assimilate data, and more. However, concerns and suspicions also abound. Among them is the fear that important data, including those which are private, are increasingly monopolized by a handful of for-profit corporations and used in a way that might lead to implicit biases and discrimination; there is also the fear that data may be used by authorities for unjust censorship. It has never been more important for us academics to recognize our public roles and transparently manage our own IT infrastructures for data processing and simulations. In doing so, we thereby take on the role of educational experts who are central roles to developing a trustworthy data-utilizing society with our strong technical backgrounds and high ethical standards.

The Information Technology Center at the University of Tokyo is an institution that acts as the foundation for this work. It has four cooperating divisions actively engaged in fundamental and practical research: the Campus-wide Computing Research Division, Academic Information Science Research Division, Network Research Division, and Supercomputing Research Division. The Information Technology Center's mission is to design, procure, and stably operate the university- and nation-wide infrastructures critical for research and education. In addition, it acts as the core institute of the Joint Usage/Research Center for Interdisciplinary Large-scale Information Infrastructure (JHPCN), a network of eight academic centers that contribute massive computing resources extensively to Japan and the world.

We have been building cutting-edge computer systems that are among the largest in the world and making them available to researchers both inside and outside the university. We have been taking the problems we face and insights we draw along the way and carrying them on to the next development cycle. Such activities are possible only because we make an effort to stay on the cutting-edge of technology. Continuing this synergy between development and feedback from service operations is our important theme.

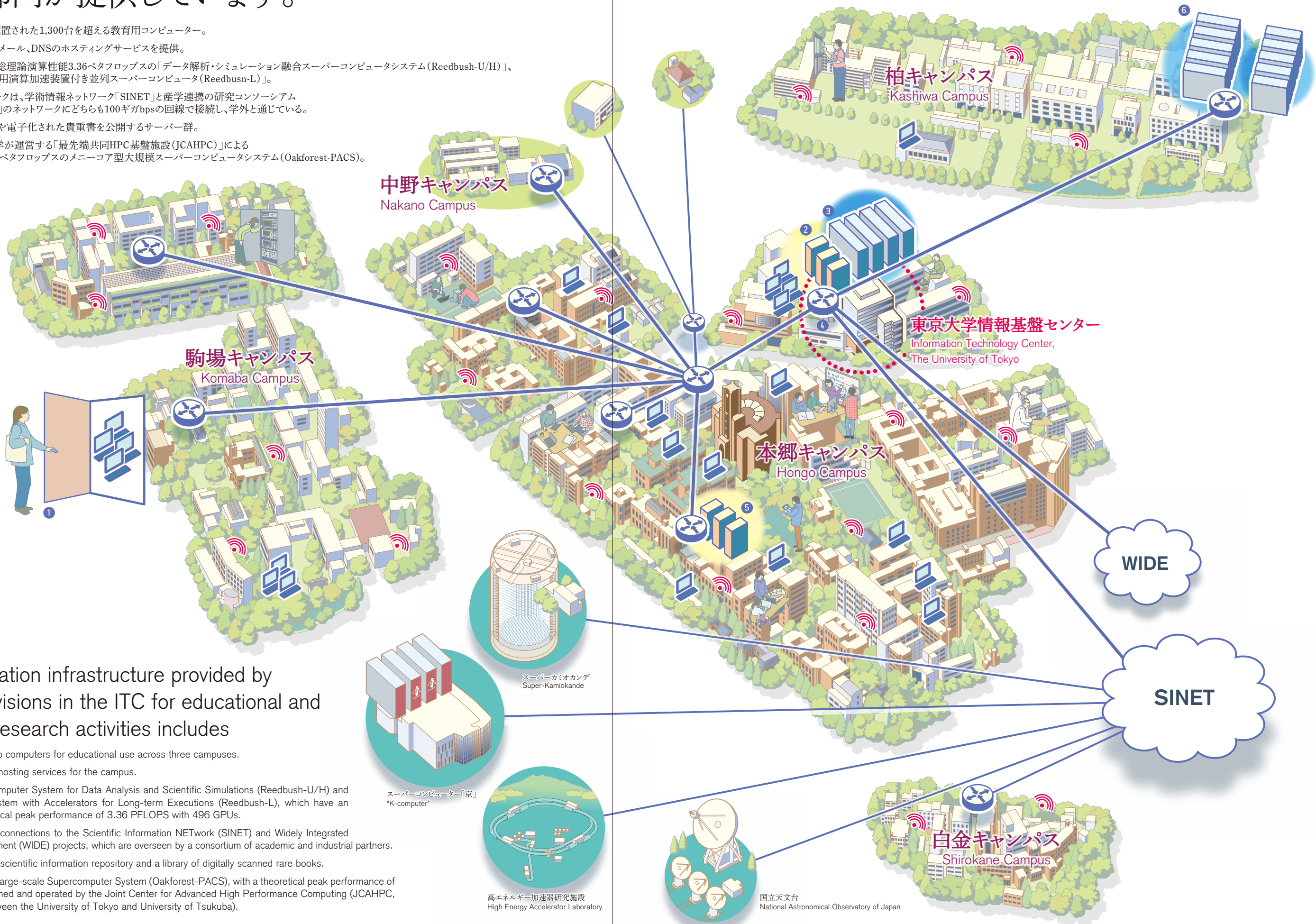
Operating large-scale, cutting-edge infrastructure is always a challenge, and we firmly believe it is our continued commitment to this challenge that allows us to develop future technologies and experts.

東京大学 情報基盤センター長 田浦健次郎

Professor Kenjiro Taura
Director of Information Technology Center
The University of Tokyo

教育と学内外の研究活動を支える情報基盤を 4つの部門が提供しています。

- ① キャンパスに分散配置された1,300台を超える教育用コンピューター。
- ② 学内向けのウェブ、メール、DNSのホスティングサービスを提供。
- ③ GPU 496基を含む総理論演算性能3.36ペタフロップスの「データ解析・シミュレーション融合スーパーコンピュータシステム (Reedbush-U/H)」、「長時間ジョブ実行用演算加速装置付き並列スーパーコンピュータ (Reedbusn-L)」。
- ④ キャンパスネットワークは、学術情報ネットワーク「SINET」と産学連携の研究コンソーシアム「WIDEプロジェクト」のネットワークにどちらも100ギガbpsの回線で接続し、学外と通じている。
- ⑤ 学術情報リポジトリや電子化された貴重書を公開するサーバー群。
- ⑥ 筑波大学・東京大学が運営する「最先端共同HPC基盤施設 (JCAHPC)」による総理論演算性能25ペタフロップスのメニーコア型大規模スーパーコンピュータシステム (Oakforest-PACS)。



The information infrastructure provided by the four divisions in the ITC for educational and academic research activities includes

- ① Over 1,300 desktop computers for educational use across three campuses.
- ② Web, e-mail, DNS hosting services for the campus.
- ③ Integrated Supercomputer System for Data Analysis and Scientific Simulations (Reedbush-U/H) and Supercomputer System with Accelerators for Long-term Executions (Reedbush-L), which have an aggregated theoretical peak performance of 3.36 PFLOPS with 496 GPUs.
- ④ 100 Gbps network connections to the Scientific Information NETwork (SINET) and Widely Integrated Distributed Environment (WIDE) projects, which are overseen by a consortium of academic and industrial partners.
- ⑤ Servers that host a scientific information repository and a library of digitally scanned rare books.
- ⑥ Many-core-based Large-scale Supercomputer System (Oakforest-PACS), with a theoretical peak performance of 25 PFLOPS, designed and operated by the Joint Center for Advanced High Performance Computing (JCAHPC, a collaboration between the University of Tokyo and University of Tsukuba).

人の活動にどのように情報基盤を活かすか？

情報メディア教育研究部門

3万人が利用する大規模な教育用システムを企画・構築するとともに、情報基盤をとりまく多彩なテーマを研究しています。

Providing Information Infrastructure for the Students and Faculty

Campuswide Computing Research Division

The Campuswide Computing Research Division designs and builds the educational computing infrastructure throughout the university campus. The division also conducts research on important information infrastructure topics.



【写真：駒場キャンパスの演習室】

本郷・駒場・柏キャンパスには、教育用計算機システムとして約1,300台のiMacを配置。プログラミングなどの講義に使われているほか、日常的な道具としてワードプロセッサや表計算などにも使われている。また講義に合わせて、数式処理や統計処理、設計用のCADなどの専門的なソフトウェアパッケージが用意されている。

Photo: Educational Campuswide Computing System at Komaba campus

Over 1,300 iMac's are deployed across the Hongo, Komaba, and Kashiwa campuses. These computers are used for programming classes and for word processing and spreadsheet applications. In addition, mathematical and statistical analysis, computer-aided design, and other specialized software packages are also available.

人が力を発揮できる情報基盤をつくる

コンピューターの力を最大限に引き出して自らの活動に活かす——東京大学はこのための教育に力をいれ、教育に使用する情報基盤を1970年代前半から構築してきました。本郷・駒場・柏キャンパスには現在、1,300台を超えるPCからなる教育用計算機システム(ECCS: Educational Campuswide Computing System)が分散して配置され、登録されているユーザーはどこでも利用することができます。教養教育や専門教育で実施されるプログラミングの講義や演習に、数値計算やCADなどの専門的で多彩なアプリケーションを使った実習に、そして学生の自習の場として、ECCSは使われています。加えて、学内の情報発信や情報交換の基盤として、ウェブ、メール、DNSのホスティングサービスを提供しています。

広範にわたる研究分野と多彩な国籍の3万人の学生と教職員、そして地理的に離れている複数のキャンパス。その多様な利用者に、変化の激しいIT社会のなかでどのようなシステムをつくり、いかに効率よく安定して運用していくか。それを検討し、蓄えた知恵をオープンにしていこうことは、私たちの活動テーマのひとつです。

その一方で、人に寄り添い、コンピューターの性能を引き出せるように、情報基盤をめぐる多彩な研究を進めています。

研究テーマ

・プログラミング言語処理系

ソフトウェアの信頼性、安全性、性能を高めるプログラミング言語処理系の技術を研究しています。プログラムの間違いを自動的に検出する手法は、その後、通信プロトコルの実装の正当性を検証する方法にも発展しました。

・ゲームプログラミング

ルールがはっきりしていて評価しやすいゲームは、情報処理の題材としてよく取り上げられ、アルゴリズム、探索、機械学習など、多方面の技術を発展させてきました。2013年、共同研究してきたGPS将棋がトッププロ棋士に挑戦し、好成績を収めました。

・システムソフトウェア

BitVisor——コンピューターのハードウェアとオペレーティングシステムの間に介在するハイパーバイザー（仮想マシンを制御するソフトウェア）を研究・開発しています。システムのセキュリティを高めるセキュアVM（仮想マシン）のほか、クラウド構築の要素技術の研究も始動しました。➡ p.18

・教育支援システム

学習管理システムをはじめ、授業を支援するシステムを研究・開発しています。変わったところでは、学科のシラバスから機械学習の手法で教育の内容を抽出し、学科の教育の特徴を可視化する研究もしています。

・エッジコンピューティングにおけるネットワーク技術の研究

端末により近い場所でサービスを提供する仕組みとしてエッジコンピューティング技術が注目されています。本部門では、エッジの計算機資源に効率よくトラフィックを誘導する仕組みなどを研究しています。

Information Infrastructures that Empower Users

To enable everyone to utilize the power of computers to the maximum of their abilities, the University of Tokyo provides rich computer education and a large-scale information processing infrastructure on campus since the early 1970s. Currently, the Educational Campuswide Computing System (ECCS) comprises more than 1,300 personal computers distributed across the Hongo, Komaba, and Kashiwa campuses, which are also accessible to registered users from anywhere. The computers comprising the ECCS are used not only during programming and computer science classes, but also for computer-aided design and numerical processing applications, and by students studying on their own. The ECCS also provides web, e-mail, and DNS hosting services for publishing and exchanging academic information via the campus intranet.

With the ECCS providing computing power for a wide range of academic projects and a student body and faculty of over 30,000 individuals covering five campuses, maintaining an efficient, solid platform in a dynamically changing information technology environment provides various unique challenges. Therefore, one of the ongoing missions of the division is to review and assess solutions to these challenges and then share our findings with the general public. We also conduct research into various aspects of information infrastructure with the goal of providing enhanced computing performance with a more user-friendly interface.

Research Subjects

・Programming Languages

This division conducts research on how to design and implement software programming languages and on programming environments to improve the reliability, security and availability of programmed software. Developing testing and verification methods to confirm the completeness and correctness of secure networking communication protocols, is also another important area of our research.

・Game Programming

Games that have a concrete set of rules, such as chess and shogi (Japanese chess), are ideal study topics for data processing. By trying to solve these games, we have contributed to improvements in algorithm design, search logic, and machine learning. In 2013, through a joint research project into computer shogi software, we produced GPS Shogi, which subsequently beat a human master-level shogi player in a tournament setting.

・Systems Software

BitVisor is a hypervisor (computer software that creates and controls virtual machines between a computer's operating system and its hardware) that has been developed under the system software research group. In addition to Secure VM, a virtual machine that provides system security, additional research on fundamental VM technologies in building a cloud platform environment has recently been initiated. ➡ p.18

・Education Support Systems

The division is currently developing learning management systems and various other education support systems. Our unique developments include systems that use machine learning methodologies to automatically extract the abstracts of what students can expect to learn in a specific division or major from the list of individual course syllabuses provided for that division.

・Network Technologies for Edge Computing

This division conducts research on networking technologies for Edge Computing. Edge Computing aims to provide multiple services on the edge of mobile networks to improve user experiences.

情報の山を「宝の山」に変える 学術情報研究部門

巨大な情報のなかからほしい情報を探し、人が気付かなかった知見を見つけ出す方法を、統計的機械学習を使うアプローチで研究しています。

データに潜在している価値を取り出す

人の思考や編み出した知恵は、長い間「文書」という形でまとめられ、図書館はその蓄積と提供の場となってきました。東京大学でも、研究活動の成果や、教育・研究に欠かせない大量の文献や資料が図書館に収集され、学内外に提供されるとともに、それらの情報の電子化が進められています。一方、ウェブ上には人や機械が投じる膨大な情報が日々追加され、新たな情報の蓄積場が形成されています。こうして拡大していくデータへの統合的なナビゲーションや活用を可能とするために、2009年から学術情報研究部門の活動が始まりました。

急激に集積が進んでいる巨大な情報のなかから、いかにして必要な情報を簡単に探せるようにするか。また、不定形の情報の集まりに潜在している知見をいかにして見つけだすか。学術情報研究部門は統計学に基づいた機械学習の手法を用い、人のニーズに寄り添う深い情報検索や、情報をより活用していくためのデータマイニングを研究しています。

機械学習を用いたデータの分析は、大量のデータが出現したことで価値が高くなりました。そのため、応用に合った統計モデルをどのようにつくるかという理論面の研究と並行して、大量のデータを処理するための、並列計算の技術を使いこなしたり巨大データベースを構築する技術を蓄積することも、欠かせません。

[写真：本郷キャンパスの総合図書館]

東京大学の研究活動の成果や、教育・研究に欠かせない文献や資料は、図書館に収集され、学内外に提供されるとともに、電子化が進められている。

研究テーマ

- 人の思考に寄り添う検索
「図書館情報ナビゲーター」は、図書館の従来からの分類体系に、Wikipediaのカテゴリを統合。ウェブ上の情報を活用して利用者に気づきのきっかけとなるキーワードを提示し、図書館の蔵書文献へとナビゲートします。学内だけでなく他大学の図書館や国会図書館にも導入されました。
- 人のニーズに合った「深い」分析
検索エンジンのかゆいところに手の届かない点を、ウェブ上のデータをより深く分析することで補うことができます。同姓同名の人物のデータを同一人物ごとにまとめる「Nayose(名寄せ)」、文章中の専門用語を重要度の高い順に表示する「厳選Web」を開発しました。

- データ駆動インテリジェンス ➡ p.19
統計的機械学習の手法によって大量のデータからトピックを抽出し、自動分類の研究をしています。人手がかからないだけでなく、人が気付かなかった新しい分類方法を見つけられるのがポイントです。

- 人のプライバシーに配慮したデータマイニング
他社に自社の顧客情報を明かすことなく、複数企業の顧客情報を統合してデータマイニングを行う技術を研究しています。研究が進めば、個人のプライバシーを守りつつ、病院の診療情報を連携させて伝染病の感染経路を追跡することも可能になります。

- デジタルアーカイブの構築と活用
学術研究資源に関するデジタルアーカイブの構築を推進するとともに、それらデータの作成、保存、提供に関する方法論の研究を行っています。また、人文学研究へのデジタルアーカイブや情報技術の活用により、新しい知識の創造に貢献することを目指しています。

Photo: The General Library, The University of Tokyo, on Hongo Campus

University of Tokyo research papers and educational and reference materials are collected in the university's general library and are made available to members of the university and the general public.

Digital Curators—Finding “Treasure Troves” of Data Academic Information Science Research Division

By using a statistical machine-learning approach, we mine the sea of data for interesting information that has been overlooked.

Mining for Value Concealed within Data

Libraries have long been places to archive and read collections of ideas and knowledge. Each day at the General Library at the University of Tokyo, research papers and reference materials valuable to academic research and education are archived into the library's database. Rare prints of precious historical documents collected by the library are converted into digital formats daily, so that these references are available for everyone to access and consume.

In addition to the library's curated source of information, there is an exponentially increasing amount of machine-generated data appearing daily on websites around the world, collectively creating a new repository of information.

With this increasing amount of data being produced every day, the value of machine-learning methods for data analysis has increased. This method have also proven to be useful in finding correlations between information embedded in various data formats, from different internet sources. Research into technologies to efficiently process large amounts of data and to allow the creation of peta-scale databases have become as vital as the theoretical research into statistical models for data-mining applications.

In 2009, the Academic Information Science Research Division began activities to identify useful information contained within the daily stream of incremental data deposited in the library and on the internet. By using statistical machine-learning techniques in combination with data-mining methods, we have developed tools and an integrated navigation interface that provides greater experience for the university's growing need for information access.

Research Subjects

- Search Features that Compliment the Human Thought Process
Our Library Information Navigator now uses a combination of traditional library classification categories together with Wikipedia classification categories to present keywords that help users navigate to other potentially useful sources of information in the library. This system has been deployed not only at the University of Tokyo but also at the Japanese National Diet Library and at libraries in other universities around the world.
- Deep Data Analysis which match Real World Priorities
Search engines do not always provide results with the order of priority that people expect, which means that useful information is often overlooked. To overcome this limitation in search engine technology, we aim to supplement the “almost there” aspect of today's search engine results by performing a deeper analysis of web-based information. Our Nayose (meaning “aggregation by names”) system is able to group results belonging to similarly named authors according to context, and our Gensen Web (meaning “carefully selected”) system displays terms used in journal articles in order of importance in the specific area of research.

- Data-driven Intelligence ➡ p.19
We are currently researching ways to apply statistical machine-learning methods to automatically read articles and data from a massive pool of information, and tag them into specific areas of interest based on their content. The value here lies not only in the automation but also in the finding of new correlations in the data that may have been previously overlooked.

- Data Mining with Consideration for Privacy
We are currently examining methods to perform integrated multi-institute customer database data-mining that prevents disclosing sensitive information stored by one institute to the other institutes involved. A potential application of these methods would be in linking hospital records to trace how infections have spread during an epidemic while at the same time protecting the right to personal medical information privacy.

- Development and Utilization of Digital Archives
We are promoting the development of digital archives of academic research resources and conducting research on methodologies related to the creation, preservation, and provision of the data in those archives. We also aim to contribute to the creation of new knowledge by utilizing digital archives and information technology for humanities research.

ネットワーク基盤の次のステージをつくる

日本のインターネットは、1986年、東京大学の情報基盤センター（当時大型計算機センター）、慶應義塾大学、東京工業大学の間を実験ネットワークでつなぐことから始まりました。その後、インターネットは膨大な数の人とモノ（機器）がつながる巨大なコミュニケーション基盤に成長し、いまやインターネットのない社会を考えることはできません。私たちは、その次のステージのネットワーク基盤に向けて、基礎から応用までの研究を進めています。

また、学内ネットワークシステムUTNETをプランニング・構築することも、私たちの役割です。本郷、駒場、柏を始めとする5つのキャンパスと国内各地に散らばる複数の研究施設、時間とともに変容していく組織。ネットワークに求められるものも、部門によって多様です。研究者や部門のさまざまな要求に対して、柔軟に対処できる仕組みがポイントです。

研究テーマ

・無線ネットワークの通信品質向上と応用

無線ネットワークは、設置環境のさまざまな要因が通信品質に影響を投げかけます。同時利用者数や無線中継回数が多い場合の伝送効率や品質向上を図るなど、その基礎技術から応用に関する研究を行っています。

・インターネットトラスト技術の研究

インターネットにおける相互信頼の保証を目標として、運用ソフトウェアとプロトコルに数学的正当性検証の手法を適用した認証技術と異常検知技術、それらを基にしたセキュリティ監査とセキュリティ評価、さらに応用として社会インフラとして必要とされるトラストフレームワークの構築を研究しています。これらの研究の一部は、国内、国際的な研究の場で応用されています。

・拡張現実感技術を用いたユーザーインターフェイス

人の五感のひとつを他の感覚で補完もしくは置換する感覚間相互作用（クロスモダリティ）を応用して、シンプルな装置でリアルな体験を実現する方法を研究しています。

・深層学習を利用したサイバーセキュリティ脅威の検知と予測

深層学習（AI）を用いて多種多量のデータセットを分析することで、サイバー攻撃の検知と攻撃者の行動発見、ならびにインシデントレスポンスのアシスタントを行う手法を研究しています。

・ネットワーク仮想化技術

クラウドなどの仮想環境におけるネットワーク技術を研究しています。特に、ソフトウェアによるネットワーク制御や、オペレーティングシステムにおけるネットワークスタックの高速化に注力しています。

・ASANOシステム ➡ p.20

ソフトウェアを用いたオーバーレイネットワーク技術（SD-WAN）を用いて、学内の必要な場所に必要となるセキュリティ機能を持ったネットワークを即時に提供することのできるシステムを研究開発しています。

社会の様相と密にリンクしている情報大動脈 ネットワーク研究部門

情報ネットワークの基礎技術から応用までを研究するとともに、5つのキャンパスと複数の研究施設を結ぶ学内ネットワークシステムを構築しています。

The critical Link of Information between the University and Society

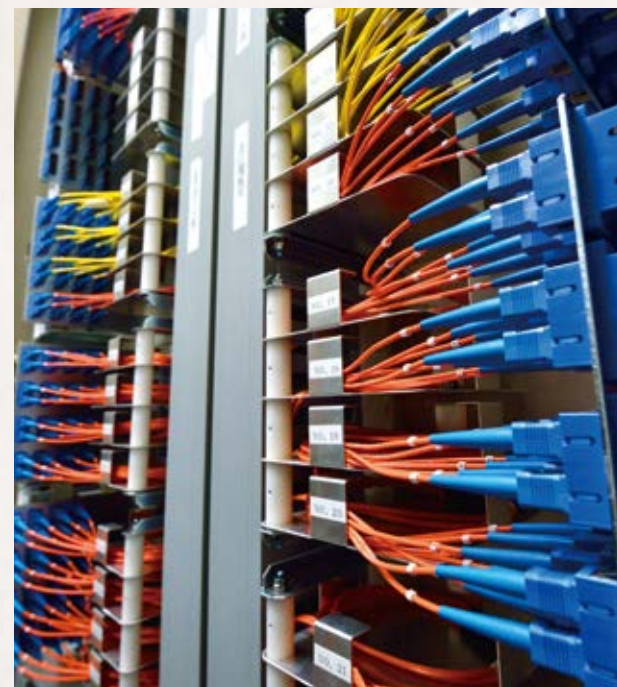
Network Research Division

The Network Research Division conducts research into the fundamental aspects and advanced applications of network technologies. The division also manages the university's network infrastructure that connects several research facilities and five campuses.

Designing a Next-generation Networking Infrastructure

The Internet was introduced to Japan in 1986 as an experimental network connecting three universities-the University of Tokyo Information Technology Center (previously known as the University of Tokyo Computer Center), Keio University, and Tokyo Institute of Technology. Since then, the Internet has grown into a huge network of people and devices, which today we cannot imagine life without.

The Network Research Division conducts research into next-generation network infrastructure by examining both fundamental and advanced research topics. The division is also responsible for designing and implementing the university's intra-university network system, UUNET. This network connects the Hongo, Komaba, Kashiwa, Nakano and Shirogane campuses to the multiple research facilities spread all over Japan. There are frequent and random change requests to the network infrastructure. In addition to that, each campus, each research facility has their own special requirements, so the Network Research Division has to solve the complex issue of being both flexible and agile while keeping the infrastructure consistent and secure.



【写真：基幹ネットワークの集線装置】

キャンパス内各所に延びる光ケーブルが収容された集線装置。東京大学のネットワークシステムは、日本の大学や研究施設が接続している学術情報ネットワークSINET5（100ギガbpsで接続）、WIDEプロジェクトが運用するネットワーク（100ギガbpsで接続）などを通じて学外につながっている。

Photo: Backbone Network Concentration Unit

Units such as the one shown above conceal the numerous fiber optic cables running between the various campus buildings. The University of Tokyo network system connects to the SINET5 (Science Information NETWORK, operated by the National Institute of Informatics, 100Gbps) and WIDE (operated by a consortium of academic and industrial partners, 100Gbps) networks.

Research Subjects

・Improving Wireless Communication Networks and Applications

Many factors in a facility's environment can affect the quality of its wireless networks. The Network Research Division is currently working to improve transmission efficiency and quality for when there is an increased number of users on a network or when there are radio relays. We are researching advanced networking technologies and deploying them in the field.

・Internet Trust Technology

To ensure mutual trust on the Internet, we research authentication and security evaluation technologies, which are based on the verification of the mathematical validity of operation software and protocol. Using these technologies, we also research technology for anomaly detection and audits to create a trust framework that can serve as a part of social infrastructure. We are applying some of our research in domestic and international fields.

・User Interfaces with Augmented Reality Technology

The Network Research Division is researching methods for improving users' experience with augmented reality by using simple cross-modality-based equipment on which perceptual illusions can be produced.

・Detecting and Predicting Cyber Security Threats With Deep Learning

We aim to establish methods for detecting cyber threats and attackers' behavior and for assisting incident responses by analyzing various types of data sets using deep learning (AI).

・Network Virtualization

We are researching and developing network technologies in virtual environments such as cloud computing. We currently focus on software-defined networking and on improving the network performance of host operating systems.

・The ASANO System ➡ p.20

We are researching and developing a system that can immediately provide desired networks with security functions at any place in the university using overlay network technology (SD-WAN).

【写真：イチョウ並木の下のインフラたち】

大学の構内を縦横に走る各種のインフラ。キャンパスの情報大動脈も、地下に敷設された光ケーブルで離れている建物をつないで構成されている。

Photo: Network Infrastructure Under Running the Ginkgo Trees

The components of the university's network infrastructure run throughout the campus. The main information route comprises numerous underground fiber optic cables that connect the various campus buildings.

計算で「できない」を「できる」に変える

スーパーコンピューティング研究部門

次世代のスーパーコンピューターの姿、科学技術計算の手法を研究し、日本の計算基盤の中核として大学・研究機関にスーパーコンピューターを提供しています。

Supercomputing—Making the Impossible Possible

Supercomputing Research Division

The Supercomputing Research Division is conducting research on hardware, software, algorithms and applications on next-generation supercomputers. The division also provides supercomputing services as the core computing platform for universities and research facilities throughout Japan.

グランドチャレンジの基盤をつくる

身の回りのPCの数百倍から数十万倍の計算性能を持つスーパーコンピューターは、建築物などの耐性設計や航空機の空気抵抗シミュレーションなどのようなエンジニアリング、分子レベルでのタンパク質と薬の相互作用の推測というように、大量の数値計算を必要とする多彩な問題の解決に使われています。また、数千億の星からなる銀河系が衝突したときに何が起ころかシミュレーションし、実際の観測結果と照らし合わせれば、宇宙のなりたちの仮説理論を検証できます。スーパーコンピューターは、いまや現実の世界では不可能な実験場となり、シミュレーション計算は「理論」「実験」に次ぐ第三の科学といわれています。

私たちは、このようなコンピューターの次世代をどのように構築していくか、要素技術の検証を重ねながらプランニングするとともに、数値計算プログラムの開発手法やスーパーコンピューターセンターの運用に役立つ技術を研究しています。

情報基盤センターは、日本の学術研究の計算基盤の中核拠点としての役割を担っており、設置されているスーパーコンピューターは、大学・研究機関・企業の約2,000人のユーザーに利用されています（➡ p.14）。現在のスーパーコンピューターは数百から数千ものコンピューターをつないで構成され、そこから性能を引き出すために専門的なプログラミング方法を用います。その手法の普及活動もたいせつにしています。

現在は筑波大学と共同で最先端共同HPC基盤施設を形成し、2016年12月から、ピーク性能25PFLOPSのメニーコアベースのOakforest-PACSシステムを共同で運用しています。導入時にはTOP500で世界6位、日本1位にランクされ、実運用システムとしては我が国最大です。大気・海洋連成などこれまでのシステムでは不可能だった大規模なシミュレーションの実現が可能となり、新しい科学の発展に貢献しています。また、ゲノム科学、医療画像処理などの大規模データ解析分野のユーザーの要望に応じて、GPUなどの演算加速

器を搭載した「データ解析・シミュレーション融合スーパーコンピュータシステム(Reedbush-U/H)」「長時間ジョブ実行用演算加速装置付き並列スーパーコンピュータ(Reedbusn-L)」（総ピーク性能3.36PFLOPS）も運用しています。大規模データを扱うデータ科学は計算科学に続く「第4のパラダイム」として注目されています。同システムのユーザーとも協力して、新しい学際的融合科学分野の確立を目指していきます。

研究テーマ

・アプリケーション開発環境ppOpen-HPC ➡ p.21
大規模化していくスーパーコンピューターの能力を誰でも簡単に引き出せるように、数値計算ライブラリや自動チューニング機構を備えた、オープンソースのアプリケーション開発環境を研究・開発しています。

・次世代・次々世代スーパーコンピューターの検討
次世代、次々世代のスーパーコンピューターの要素技術を検証し、機能や性能要件、実現の可能性を研究します。エクサスケール（「京」の100倍の性能）、ポストムーア時代のシステムを視野にいれ、システムの特徴を活かしたアルゴリズム、プログラミングモデル、システムソフトウェアの研究を実施しています。

[写真:Oakforest-PACS]
プロセッサコア68個を有するIntel Xeon Phi (Knights Landing) 8,208台で構成されている。総理論演算性能は25ペタフロップス、総主記憶容量は919テラバイト。

Photo: Oakforest-PACS
The Oakforest-PACS supercomputer is composed of 8,208 Intel Xeon Phi (Knights Landing) computing nodes with 68 processor cores. Its theoretical peak performance is 25 PFLOPS, and it has a total memory capacity of 919 terabytes.

The Foundation for “Grand Challenge” projects

Supercomputers, with $O(10^3)$ - $O(10^4)$ processors, are being used to solve a variety of problems that require a large volume of numerical computations, such as structural analysis, fluid dynamics, and protein and drug interactions at the molecular level. We can even examine the theories of the origin of our universe by mapping observable results to simulations of galaxies containing several hundred billion stars colliding into each other. Supercomputers have become virtual arenas where we can perform experiments impossible in the real world. Computational simulation is now considered the third pillar of scientific inquiry behind theory and experimentation.

Through our research, we are taking supercomputers to the next level with designs based on repeated verifications of fundamental technology, enhanced numerical processing program development techniques, and the technology to maintain and operate complex supercomputer architectures.

Information Technology Center, the University of Tokyo (ITC/UTokyo) is at the core of Japan's academic research computing infrastructure, and its supercomputers are used by almost 2,000 individuals from academia and industry (➡ p.14). Current supercomputers are configured from hundreds or thousands of computers (CPU cores or CPU's) connected together, which requires specialized programming methods to harness their full potential, which we foster by taking part in projects that make such skills available to every researcher.

The Many-core-based Large-scale Supercomputer (Oakforest-PACS, or OFP) system, which has a peak performance of 25 PFLOPS, was installed by the Joint Center for Advanced High Performance Computing (JCAHPC, a collaboration between the University of Tokyo and the University of Tsukuba). When the OFP system began operating in

December 2016, it was ranked sixth in the TOP500 list, and it is the largest Japanese supercomputer system in practical operation. Large-scale simulations, such as ocean-atmosphere coupling, are now possible on the OFP, which makes great contributions to developing new frontiers of science. We are also operating the Integrated Supercomputer System for Data Analysis and Scientific Simulations (Reedbush-U/H) and the Supercomputer System with Accelerators for Long-term Executions (Reedbush-L) (aggregated peak performance of 3.36 PFLOPS), which use graphics processor units (GPUs) as accelerators. These systems are used by individuals that need to conduct large-scale data analysis, such as those in the fields of genomics and medical image recognition. Data-centric science that analyzes big data is emerging as a fourth pillar of science, with computational science as the third. Our goal is to develop a new interdisciplinary area of research through collaborating with the users of our supercomputers.

Research Subjects

・Application Development Environment, ppOpen-HPC ➡ p.21
ppOpen-HPC is an open-source application-development environment with numerical processing libraries and auto-tuning feature sets, which allows programmers to easily benefit from the power of large-scale supercomputers.

・Next-generation Supercomputers
We are involved in researching the element technologies used in supercomputer systems to investigate their features, performance, and feasibility for future generations of supercomputers. We are aiming for exascale performance (100 times the performance of the K-computer) and conducting studies on architecture and programming methods for utilizing accelerators and experimental deployments of system software optimized for many-core architecture processors.



学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点

スーパーコンピューティングの専門家ネットワークと異分野の研究者が協力して未踏領域の問題にせまる、共同研究の「場」を築いています。

Joint Usage/Research Center for Interdisciplinary Large-scale Information Infrastructures

A forum where multi-disciplinary researchers can collaborate with a network of specialists in the field of supercomputers to examine unexplored areas.

情報基盤センターは、スーパーコンピューターが設置されている国内8大学のセンター群と研究者のコミュニティを結ぶ「JHPCN(学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点)」の中核として機能し、情報技術を活かした分野横断的な学術研究を目的として、国内の大学や研究機関の研究者に活用されてきました。

JHPCNに採択されたプロジェクトは、8大学センター群が有するさまざまなアーキテクチャの情報資源を利用できるだけでなく、情報基盤センターの研究者と共同研究を行うことを通して、大規模な情報資源を有効に利用する技術などを共有し、より大きな研究成果を目指すことができます。異なる分野の研究者がコミュニティを形成し、共同で研究できる環境を整えること。それがJHPCNの目指しているところです。

2012年からはさらに、日本のフラグシップ・スーパーコンピューターの「京」と、国内9大学の情報資源、大規模なストレージをネットワークで結んだ「HPCI(革新的ハイパフォーマンス・コンピューティング・インフラ)」が構築され、ここに情報基盤センターの情報資源も提供されています。これにより、数多くのJHPCNでの研究成果がHPCIでさらに発展してきています。

「学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点」

<https://jhpcn-kyoten.itc.u-tokyo.ac.jp/ja/>

「情報基盤センターのHPCIサービス」

<https://www.cc.u-tokyo.ac.jp/other/hpci/>

Joint Usage/Research Center for Interdisciplinary Large-scale Information Infrastructure

<https://jhpcn-kyoten.itc.u-tokyo.ac.jp/en/>

HPCI

<https://www.hpci-office.jp/folders/english>



The Information Technology Center acts as the core of the JHPCN (Joint Usage/Research Center for Interdisciplinary Large-scale Information Infrastructures, aka Japan High Performance Computing and Networking plus Large-scale Data Analyzing and Information Systems), which connects computing centers from eight Japanese universities equipped with supercomputers. This platform's objective is to provide scientists throughout Japan with the information technology necessary for them to conduct complex interdisciplinary academic research projects.

Researchers whose projects are adopted by the JHPCN benefit primarily from the availability of various architectural designs in the eight universities' super-computing environments and secondarily from working side-by-side with research scientists of the Information Technology Center, sharing knowledge and technology to efficiently work with massive-scale computing resources. The JHPCN's goal is to create a community of scientists from various research backgrounds and provide an environment for them to collaborate.

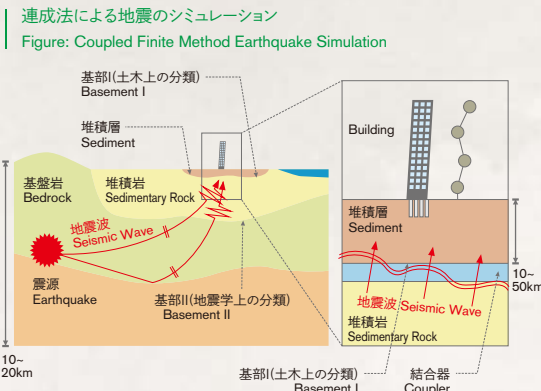
In 2012, the High Performance Computing Infrastructure (HPCI) was established. In it, Japan's flagship supercomputer, the K-computer, and two large-scale data storage systems were connected to a network of supercomputing resources established by nine Japanese universities. The centers in the JHPCN continue to provide their computing resources to the HPCI platform, which in turn has allowed the JHPCN to make many important discoveries for advancing to the next level of research results with the additional processing capabilities of the HPCI.

スーパーコンピューターを使ったこんな研究 Examples of Supercomputing in Research

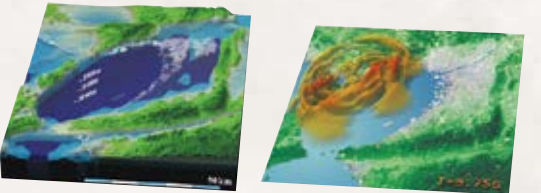
地震による建物の揺れをシミュレーションする Simulating Building Shaking due to Large Earthquakes

スーパーコンピューターを使った物理現象のシミュレーションに、異なる物理現象を組み合わせたマルチフィジックス・シミュレーションという手法が盛んに用いられるようになってきました。たとえば次の例では、震源から地震波が複雑な地下構造を伝播して増幅され、地表の軟弱地盤にある建物を揺らす様子を2つのシミュレーションの連成により評価しています。地震波の伝播にはFDM(有限差分法)を、地面の揺れから生じる建物の動きにはFEM(有限要素法)を使用し、両者の間でカプラーを通して計算経過を受け渡ししながらシミュレーションが進んでいきます。なお、このシミュレーションプログラムはppOpen-HPC(→ p.21)を利用して開発されています。

Multi-physics simulations, which combine various physical models, are a promising tool for simulating certain physical phenomena very efficiently. We see supercomputers used to their fullest to simulate complex physical phenomena in multi-physics simulations. For example, the coupled simulation analysis can be used to simulate seismic waves traveling from the hypocenter of an earthquake and amplifying as they move through complex underground structures and then to simulate the shaking of buildings that are built on soft-ground surfaces. The propulsion of the seismic waves is modeled by using the finite-difference method simulation of equations of motion, whereas the movements of buildings caused by the earthquake-induced ground motions are modeled by a finite-element method simulation. The complete simulation is achieved by coupling the two models across the points where the calculation results are shared. This simulation program was developed with the aid of the ppOpen-HPC (→ p. 21) libraries for massively parallel computing.



地形のみを対象とした地震の伝播シミュレーション
Figure: Simulated Aerial View of Seismic Wave Propagation

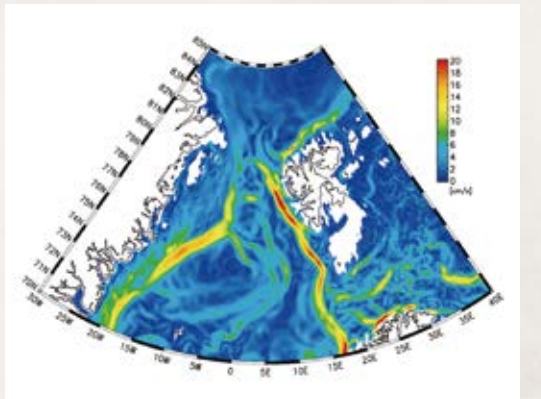


(Image courtesy of Takashi Furumura, Earthquake Research Institute, The University of Tokyo)

海洋循環のプロセスを解き明かす Elucidating the Ocean's Circulation

北太平洋や南極海で冷却や塩分濃度の増加によって沈み込んだ深層水は、海洋深層を地球規模で循環しながら表層へ徐々に上昇していき、極地沿岸の特定のポイントで再び深層に沈降していきます。このように、海洋現象には局所的な流れと地球規模の大きな循環の作用が働いています。そこで、微小スケールモデルと大規模循環モデルという観察対象の細かさも計算手法も異なる2つのモデルを組み合わせて両者の相互作用をシミュレーションする、これまでにない海洋モデルが編みだされました。カギは、これからのスーパーコンピューターに合う並列効率の高い数値モデルを開発したこと。最適化の検討には、ppOpen-HPCの自動チューニング(→ p.21)が活用されています。

Water deep in the North Pacific and Antarctic Oceans gradually ascends as it moves away from the polar regions and descends at distinct points as it moves toward them. These movements, the result of changes in temperature and salinity, produce the large-scale circulation of seawater that is known as the global conveyor belt. An unprecedented model has been constructed that simulates interactions between the global conveyor belt and localized currents by combining a large-scale circulation model and a small-scale localized model that have different observation targets and calculation methods. The key breakthrough in constructing the ocean model was the development of a numerical model with a high parallel efficiency that was suitable for use with a supercomputer. ppOpen-HPC automatic tuning (→ p.21) was essential for optimizing the numerical model.



グリーンランド海の海面流速。左端の白色部分はグリーンランド。メキシコ湾流からつながる速い海流(右側)がスヴァールバル諸島に沿って北上、一部は北極海に流入し、残りはグリーンランド沖を南下している。

Surface current velocity in the Greenland Sea. The fast current to the left of the Svalbard islands (the land on the right) is a branch of the Gulf Stream flowing north. The majority of the current slows down and flows into the Arctic Ocean, while the rest flows south past Greenland.

(Image courtesy of Hiroyasu Hasumi, Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo)



研究紹介 Research at ITC



写真: ディスクストレージ装置

スーパーコンピュータの利用シーンでは、大量のデータを出力することが多いので、高速・大容量のデータストレージは不可欠である。このディスクストレージは、当センターだけでなく、全国の研究機関にあるスーパーコンピュータから共用ストレージとして使われている。ハードディスクドライブ1台の容量は10テラバイト、ディスクストレージには5,000台以上のハードディスクが収容され、40ペタバイト以上のデータを保存可能だ。点滅しているLEDのひとつひとつは、ハードディスクが間断なく動作していることを表している。

Photo: The Disk Storage

High-speed and large-capacity data storage is essential to supercomputers, which process massive amounts of data. This disk storage serves as shared storage for supercomputers not only in our center but also in research institutes nation-wide. A single hard disk drive can hold 10 terabytes of data, and the total capacity of the storage, which accommodating over 5,000 drives, exceeds 40 petabytes of data. Each blinking LED indicates a hard disk performing operation continually.

意外な応用に広がったセキュアな仮想化技術 — BitVisor

BitVisor—A Secure Virtualization technology that evolved beyond its Original Purpose

“PCからの情報漏えいを防ぐ目的で開発された BitVisorは、コンパクトで柔軟な仕組みから新しい応用に出合うことになった。”

ハードウェアとOSの間の橋渡しをするように働くハイパーバイザーというソフトを、データセンターでサーバーを仮想化する技術として知っている方もあるでしょう。けれども、ここで紹介するBitVisorは、PCからの情報漏えいを防ぐ目的で開発された、たいへんコンパクトで軽量のハイパーバイザーです。

PCItoBitVisorを組み入れ、OSからネットワークへの操作を組織内のサーバーにVPNを使って振り向ければ、サーバー側でウイルスなどによる情報漏洩を検知できます。また、ディスク入出力の過程でデータを暗号化すれば、盗聴や紛失による情報漏洩を防げます。この方法には、上位で動作するOSを選ばないという利点があります。

さて、セキュアな仮想化技術として出発したBitVisorですが、いろいろな使途が広がってきました。追加機能と組み合わせることで実行中のOSイメージの書き換えを防ぎ、OSの乗っ取りを防ぐこともそのひとつです。開発者向けにはデバイスドライバのテストに使用できます。意外なところでは、大規模システムのOSイメージを集中管理するための、効率の良いネットワークブートとインストールの仕組みとして活用されていることを挙げておきましょう。

(BitVisor project www.bitvisor.org/)

“BitVisor was originally developed to prevent security vulnerabilities from being exploited on PC desktops. However, the compact, flexible program has resulted in further use cases.”

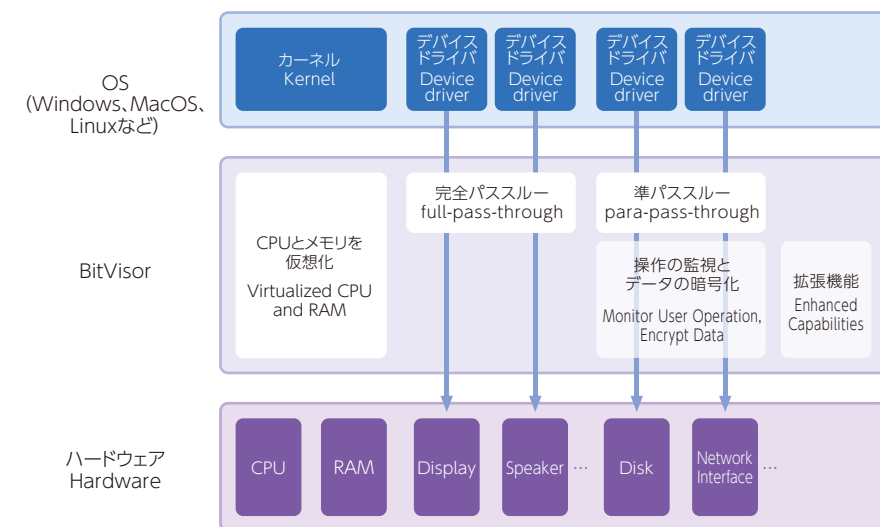
Hypervisors are pieces of software used to create virtual machine instances by running bridge function software between the hardware resource layer and the operating system (OS). BitVisor is a compact, lightweight hypervisor that prevents information from being stolen from a single personal computer (PC) OS instance.

When BitVisor is installed on a host personal computer, the network operation is redirected to a centralized departmental server over a Virtual Private Network where the server can detect data theft by viruses on the PC. The data is also encrypted at the I/O level on the storage device, which prevents unauthorized access to information stored on lost or stolen PCs.

Although BitVisor started as a desktop security application, its use has evolved beyond the original design. Additional features have been developed to allow users to protect OS images from being overwritten or tampered with, and it can now be used by developers to test device drivers. BitVisor has unexpectedly become an efficient centralized OS image installation and management solution for large network boot system environments.

(BitVisor project: <http://www.bitvisor.org/>)

●BitVisorの仕組み BitVisor Architecture



BitVisorは、必要な操作に絞ってOSとハードウェアの間の操作を橋渡しする、準パススルーという方法をとっており、動作が軽いことが身上だ。

The advantage of the BitVisor architecture is its fast response, which is achieved by using full-pass-through for devices that need no interception and para-pass-through for devices that need monitoring and encryption.

データ駆動インテリジェンス

Data-driven Intelligence

“ 純粹にデータの観察だけから人知の及ばない「気付き」を発見し、人の知的活動を支援する、それがデータ駆動インテリジェンスの目的だ。 ”

機械学習は、人が与えたルールによって動作する情報処理とは異なり、コンピューターが自ら学習して動作する情報処理技術として、人工知能の分野で研究が始まりました。それはその後、現在の検索エンジン、オンラインショッピングの「お勧め」機能、機械翻訳など、多彩な応用に結びついています。

私たちは特に、人がヒントを与えずに、データに含まれている共起性（データ出現の組み合わせや頻度）だけからデータのなかに潜在している規則性や知識をとらえることを、「データ駆動インテリジェンス」と呼んでいます。そこには、コンピューターに人の模倣をさせるのではなく、人にはできない「知性」を持たせようという気持ちがこめられています。

たとえば、蓄積されている膨大な論文を分類して研究の動向を俯瞰することは、人手ではウチがあきません。しかし、統計的手法によって機械的にトピックを抽出して分類することで、人が気づかなかった分類方法を見つけることもできます。また、インフルエンザの流行の予兆に関連用語の検索状況からつかめることが知られていますが、その関連用語は人が選ぶのではなく、公共機関が発表する統計の増大曲線と連動している検索単語の集合として抽出されました。

この方法の魅力は、なんといってもシンプルで応用範囲が広いこと。画像のような文字以外のデータも、Visual wordという方法でシンボル化してやれば、画像上での共起性を利用することができます。目下、大量の医療画像から病変の性質を学習し、読影医の診断を助けるプロジェクトも進んでいます。

“Data-driven intelligence supports intellectual and academic research by finding attributes in data that users have overlooked.”

Machine learning is the science of programming computers to autonomously learn what to process, without any intervention from humans. This field of research began as an area of artificial intelligence but has since evolved to include applications such as modern search engines, recommendations on online shopping sites, and machine translation.

In our research, “data-driven intelligence” refers to instances where instead of human input only the computer’s observation of associations in data (occurrence or collocation frequency) leads to determining certain patterns and knowledge. In this approach, the intention is not to make computers simulate what we do, but to let computers acquire a different type of “cognition” to that of human beings.

Humans are unable to comprehend general trends in research by simply cataloging a huge archive of research papers and journals. However, with the application of statistical methods to mechanically extract and tag interesting topics, computers can be used to find attributes such as common keywords that have been overlooked. For example, in a study of a recent influenza epidemic, computers were used to compare the temporal relationship between search terms related to the disease and the actual number of cases of the disease.

The beauty of machine learning lies in its simplicity and wide applicability. Correlations of graphical data can also be evaluated by mapping graphical data into symbols with a method called visual words, and humans need not tell the computers what to look for. For example, we have several projects ongoing to assist radiologists find disease-affected areas in their patients using machine-learning analysis method to make computers examine through large volumes of medical images.

●タグクラウド Tag Clouds

文字の大きさや太さなどで単語の重要度を可視化している例。分析結果をどのようにわかりやすく表現するかも研究の対象だ。

Examples of presenting the relative importance of keywords by using bolded or enlarged typefaces. This is one example of visualizing machine-learned information from the cloud into formats that humans can understand. The University of Tokyo is also conducting research on how to express correlation learned through statistical analysis in an easy format for human cognition.



学術の多様性を支えるネットワーク構築:ASANOシステム Flexible Network Management System to Support Academic Diversity: the ASANO System

“

必要な資源、必要なネットワーク環境をどこでも即時に利用できるようにする。”

キャンパスネットワークは研究と教育を支える重要なインフラであり、研究のための自由度と機密情報を守るセキュリティを両立する必要があります。そこでネットワーク研究部門では、研究者や学生が安心かつ便利に利用できるネットワークを柔軟に提供するシステムを研究しています。

たとえば、研究者が集まって会議をする場合に、その会議室にいる人だけが会議資料にアクセスできるようなネットワークを即時に提供できます。また、学外での打ち合わせでも、研究室のファイルサーバーや実験機器に安全にアクセスできるようなネットワーク環境を即時に提供できます。複数キャンパスにまたがったネットワーク構築も即時に可能です。

この柔軟なネットワーク環境は、SD-WAN (Software Defined Wide Area Network) という技術を利用して研究開発された、ASANO (Advanced Service and Network Orchestration) システムによって実現されました。

ユーザーは、クラウド上で稼働するASANOシステムコントローラーに対してWebブラウザでアクセスし、自身が利用する権限を持つネットワークを選択するだけで、即時にそのネットワークが手元で利用可能となります。無線LANとして利用することも可能です。また、必要なセキュリティ機能をネットワークに対して即時に付加することも可能です。

ASANOシステムは、学内ネットワークをより便利かつ安全に、即座に利用することを可能とする次世代キャンパスネットワークの管理モデルです。

(ASANOシステム <https://asano.nc.u-tokyo.ac.jp/>)

“

Providing necessary resources and network environments anywhere, immediately.”

A campus network is an important infrastructure that supports research and education; it is necessary to balance freedom required for research and security required for protecting confidential information. Therefore, the Network Research Division is developing a system that can provide safe, flexible, easily accessed networks for researchers and students.

For example, when researchers gather for a meeting, this system can instantaneously provide a network wherein only people in the conference room can access meeting materials. Even in meetings outside the university, the system can instantly provide a network environment that allows secure access to file servers and equipment in the laboratory. It is possible to construct a network that connects multiple locations among different campuses.

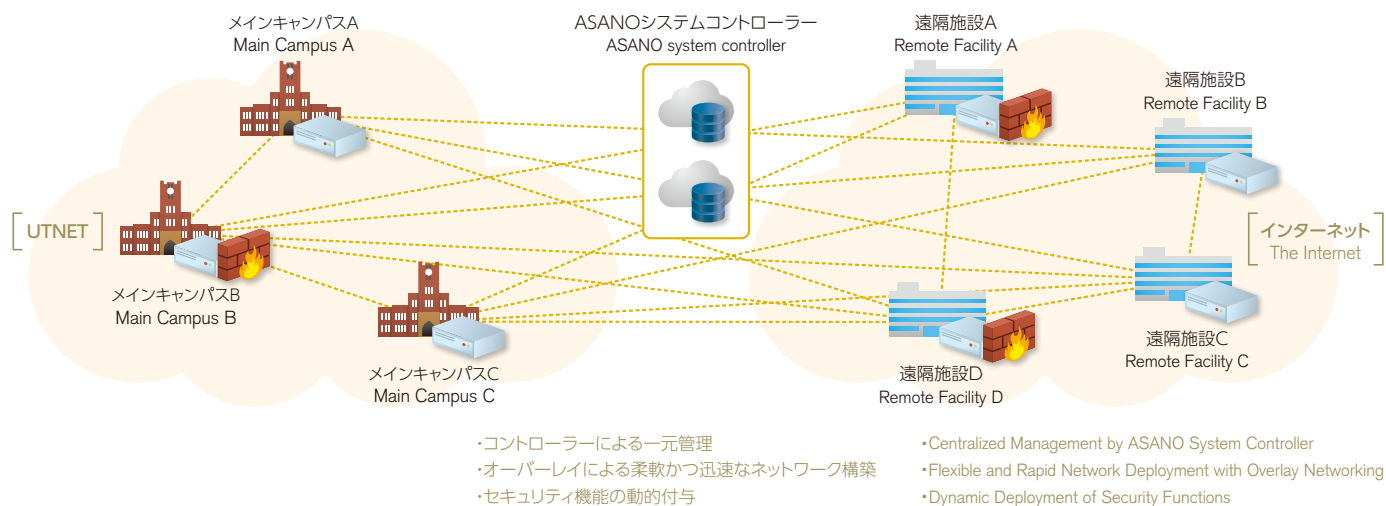
We call this flexible network system the Advanced Service and Network Orchestration (ASANO) system. It was designed and developed using software-defined wide area network (SD-WAN) technology.

When a user accesses the ASANO System Controller, which runs on the cloud, with a web browser and selects networks that the user is authorized to use, those networks can be used immediately. They are available as wired and wireless networks. In addition, security functions such as an access control list, deep packet inspection, and file inspection are available and can be attached to any network immediately.

The ASANO system is a model for next-generation campus network management, and it enables the university network to be used more conveniently, safely, and instantly.

(ASANO System: <https://asano.nc.u-tokyo.ac.jp/>)

●ASANOシステム の概念 ASANO system concept



誰でも科学技術計算プログラムをつくれるようにする ppOpen-HPC – Making it possible for every Researcher to Program Scientific Calculations

“

「匠のワザ」を埋め込み、自動チューニングの仕組みを備えた、オープンソースのアプリケーション開発・実行環境ppOpen-HPC。それはどのようなものか？”

多数のコンピューターが集積され、複雑さを増している現在のスーパーコンピューター。その性能を最大限に引き出した科学技術計算プログラムの開発は、思いのほか複雑です。そして、最適化高速化の方法は、メモリの量、計算性能を加速するアクセラレータの有無など、ハードウェア構成ごとに変わります。では技術者や科学者は、新しい問題に挑戦するたびに、あるいは使うコンピューターが変わるたびに、プログラムづくりにたくさんの時間を費やさなくてはいけないのでしょうか？

ppOpen-HPCは、このような問題を解消し、スーパーコンピューターの規模がどんどん大きくなるこれからの時代にも気軽にシミュレーションなどの数値計算ができるように、開発が進められています。

科学技術計算の多くが使う代表的なアルゴリズムは5つ。「その道の専門家」の手法でつくったアルゴリズムを部品として用意し、うまく連係動作する仕組みがあれば、プログラムの開発はぐっと容易になります。数値計算プログラム開発者の願いだったプログラムの自動チューニングには、実行状況の観察に基づくダイナミックな手法も研究が進んでいます。また、コンピューターの協調動作をネットワーク上の近いもの同士になるように調整して高速化したり、大規模化で故障率が高くなるのに備えて中間結果を退避する仕組みも、かかせません。

(ppOpen-HPC <http://ppopenhpc.cc.u-tokyo.ac.jp/>)

“

ppOpen-HPC is an open-source infrastructure for the development and execution of large-scale scientific application programs. It has Takumi no Waza (Craftsmanship of the Master) pre-programmed into the library for widely used scientific algorithms and can provide automatic performance optimization technology at runtime.”

Modern-day supercomputers are very complex and comprise numerous integrated processor nodes. It is a challenge to develop a scientific computation program that harnesses the full potential of these massive parallel systems. Optimization parameters such as memory allocation vary depending on hardware configurations or if there is a numerical process accelerator available on the processor. To free scientists and engineers from having to spend time reprogramming every time they examine a new problem or when there is a change in the computing environment, the ppOpen-HPC infrastructure has been developed so that computational simulation and other advanced numerical processing tasks can be easily performed, even with the growing complexity of today's supercomputers.

There are five major algorithms commonly adopted by researchers for scientific calculations. We have programmed the expertise of specialists in the field into reusable algorithm libraries that are capable of interacting with each other and have made the program development process far simpler to conduct. Research is ongoing into monitoring real-time instruction execution and dynamically processing automatic program tuning, which has long been a dream for numerical computation programmers. Performance optimization by coordinating the computers at the nearest network node and backing-up intermediate results to avoid data loss due to the increased potential for failure as a consequence of the larger number of nodes are two things vital to post-peta-scale supercomputing.

(ppOpen-HPC: <http://ppopenhpc.cc.u-tokyo.ac.jp/>)

●ppOpen-HPCの構成要素 Components of the ppOpen-HPC



ppOpen-HPCは、アプリケーション層からシステム層までのライブラリ群だ。科学技術計算アプリケーションに使われる代表的なアルゴリズムとして、有限要素法、有限差分法、有限体積法、境界要素法、個別要素法のライブラリが用意されている。

ppOpen-HPC is a collection of program libraries that covers multiple layers from the application to the systems layer. Fundamental algorithms for scientific calculations, which are provided as libraries, include Finite Element Method (FEM), Finite Difference Method (FDM), Finite Volume Method (FVM), Boundary Element Method (BEM), and Discrete Element Method (DEM).

「計算できない」を「計算可能」に変えるアルゴリズム

Algorithms to Make the

行列近似の技芸 The Art of Matrix

ものの相互作用を表している行列

この世界で起きる現象は、この世を構成する「もの」と「もの」の間の相互作用だと捉えることができます。刻々と移り変わる気象、星雲の動き、熱や電磁波はどう伝わっていくか。このような自然現象をコンピューターでシミュレーションするとき、「行列」という手段がよく用いられます。

現象は微分方程式や積分方程式で表されますが、コンピューターは加減乗除のような単純な計算しかできません。そこで、シミュレーションしようとする対象を細かい格子や粒子に区切って、行列に対応させ、要素のそれぞれに微積分方程式の数値を乗せて、格子間の関係を計算することにしたのです。行列は、もののある状態と別の状態を結び付けているものだといえます。現象をどのような方法で行列に表すかは、現実的な機材と時間で計算できるかどうかに直結していることから、これまで多くの研究がなされてきました。

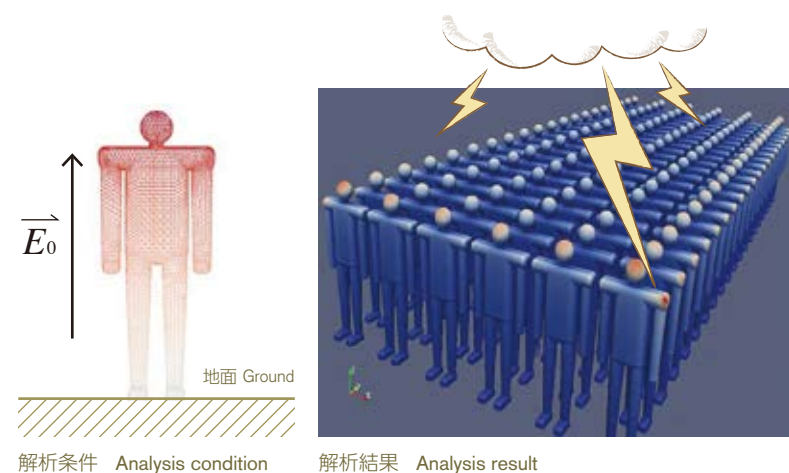
現在のスーパーコンピューターが扱う行列のサイズは数百万～数百億。より大きな現象を扱いたい、より細かい格子に区切ってシミュレーションの精度を上げたいという巨大な行列への果てしない希求がある一方で、実質的にコンピューターが計算可能な行列の大きさはメモリーに収容できるまでなので、情報量が少なくならないかぎり、計算の都合では行列はできるだけ小さくしておきたいところです。情報基盤センターで研究されている階層型行列法(H-行列法)はその方法のひとつです。

まとめられる情報はまとめてしまえ！

重力や電磁気力など、遠くまで伝わるものの距離が大きくなるにつれて影響が弱くなるような相互作用は、比較的サイズの小さな「密行列」で表現できます。密行列は、値「0」の要素がない、現象を表現するために必要な情報だけで構成された行列です。しかし実は、この行列の順番を入れ替えたり適度なところで区切ったりすると、それぞれの小さな行列(部分行列)がそのサイズに見合うだけの情報を含んでいない可能性があり、その部分はぎゅっと小さく縮められるのです。そのからくりは……。

たとえば、地球と月の動きを計算するとしましょう。本当なら、ここにある空気1原子と月にある砂粒の1原子には相互作用が働いているはずですが、その調子ですべての相互作用を行列に配置すればとてつもない要素数になってしまいます。でも実は、月と地球の運動を考えるのに原子1つ1つの相互作用の情報はいりません。両者は十分に離れているので重力の及ぼす作用は小さく、どの原子間の相互作用も力が働く方向はほとんど同じなので、地球全体と月全体の相互作用にまとめても(近似しても)実用上はかまわないのです。

このような原理のもとで、アルゴリズムを駆使して、H-行列法は現象を表す元の方程式から直接、近似行列を作り出します。現在のコンピューターは、プログラムを多数のコンピューターで並列動作させることによって高速化しているため、部分行列を効率よく分散して計算できるように考慮することがこの研究のもうひとつのポイントです。



H-行列法を用いて計算された静電場解析の例

電荷の集積度により落雷の危険を予測するために、人の体表を約235万要素に分割して計算。密行列では約42.380ギガバイト必要なメモリーが、H-行列法では約179ギガバイトに圧縮された。解析結果(右)は、集団の隅に電荷が集積し、落雷しやすい状態になっている。

Figure: Analysis of a static electric field by using H-matrices
To examine the risk of an individual within a group being hit by lightning, we divided the surface of the human body into approximately 2.35 million discrete elements. Whereas a dense matrix would require 42,380 gigabytes of memory, the H-matrix method reduced the memory requirement to 179 gigabytes. The simulation results (right) show that electrical charge accumulates at the corners of the group, indicating that individuals standing at the corners are at the greatest risk of being struck by lightning.

Incalculable Calculable

Approximation

Matrices express the interactions between objects

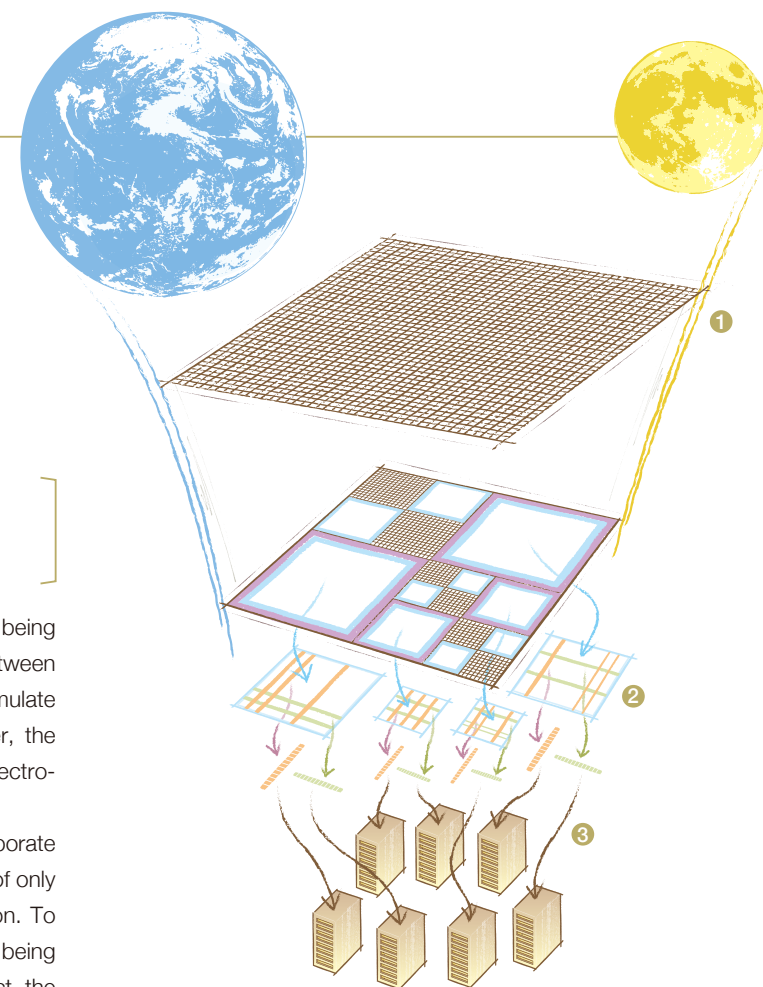
The various phenomena around us can be thought of as being the results of an integrated series of interactions between objects. By using computer-based matrices, we can simulate complex phenomena such as the ever-changing weather, the movement of galaxies, or the transmission of heat and electromagnetic waves.

Although phenomena can be described by using elaborate differential and integral equations, computers are capable of only very simple calculations such as addition and multiplication. To conduct a simulation using a matrix, we place the objects being simulated into detailed grids (or particles) and construct the matrix by digitizing dominant integrodifferential equations for the objects in the grids. Matrices can therefore be thought of as tying one state of an object to another state of the same object.

Exactly how phenomena are expressed as matrices is directly related to whether or not they can be simulated within a realistic time frame by using today's computing power, and much research has been conducted regarding this issue. Today's supercomputers are capable of handling matrices comprising several million to several tens of billions of elements. Although it is tempting to continue to create ever-larger matrices to simulate ever-more complex phenomena, or to improve the resolution of our simulations by further subdividing phenomena into smaller and smaller elements, in practical terms, the size of the matrices we can construct is limited to what can be stored in a computer's memory. Therefore, unless the amount of information can be reduced, the best course of action is to reduce the size of the matrices we use. The hierarchical matrix (H-matrix) method being researched at the Information Technology Center is one method for managing matrix size.

Consolidating information that can be consolidated

Forces that are transmitted over long distances, but whose influence decays with distance, such as gravity or electromagnetism, can be expressed by using dense matrices that are relatively small in size. Dense matrices do not have elements with a value of zero and therefore consist entirely of elements containing necessary information. However, the permutations and partitions



- ① 「もの」と「もの」の間の全相互作用を表す密行列
- ② H-行列法の置換、分割に基づき近似された圧縮行列
- ③ 効率よく計算できるように部分行列をコンピューターに分散配置

- ① Dense matrix expressing all the interactions between objects
- ② Compressed matrix approximated by using permutation and partition based on H-matrices
- ③ Assignment of sub-matrices to individual processors

in the matrices are such that submatrices produced by approximation will contain less information relative to their size and therefore take up less space. This is the principle underlying H-matrices.

For example, imagine that we are trying to calculate the interaction between the Earth and the Moon. Strictly speaking, each atom of the Earth interacts with each atom of the Moon; however, if we were to create a matrix representing each and every interaction between each atom, the number of entries in the matrix would soon become too large to calculate. In reality, however, we do not need information about all of the interactions between atoms to calculate the movements of the Moon and the Earth. The two bodies are far enough apart that the influence of gravity is minimal, and the direction of interaction between each pair of atoms is essentially the same. Thus, in practical terms, we can approximate the interactions between the individual atoms and consider the interaction between the Earth as a whole and the Moon as a whole.

Compared with using dense matrices, larger simulations can be conducted by using H-matrices created directly from dominant equations. To conduct these larger simulations, the H-matrices program developed at the ITC exploits cutting-edge parallel computer systems. One of the key characteristics of this program is how it assigns submatrices to individual processors to increase the speed of calculation.