



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)  
<http://www.itc.u-tokyo.ac.jp/> (日本語)  
<http://www.itc.u-tokyo.ac.jp/en/> (English)



# “最先端”であり続けることの意味。

Pursuing challenges at the cutting edge of  
Information Technology

私たちが一生で取り扱うデジタルデータの量は、日常生活から産業活動、学術研究まで、あらゆる場面で飛躍的に増大し続けています。しかし、コンピューターを利用して誰もがその膨大なデータを使いこなし、価値を十分に享受できているかと問われれば、そこにはまだ多くの課題が残されていると言わざるを得ません。

私たちの生きる「物理世界」と、そこで得られる大量のデータにより構成される「情報世界」。社会活動をより豊かなものにしていくために、これら2つの世界を“橋渡し”する高度な情報基盤技術を創出すること、そうした専門性を持つ利用者や開発者を育成することが、いま大きな社会的要請となっています。

情報基盤センターでは、大規模コンピューターシステムの構築や応用、利活用における「研究・教育」と「サービス提供」をミッションとして、「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」という4つの研究部門が活動しています。また、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。

常に最先端であり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。

In all aspects of today's society, from daily life to industrial activities to academic research, we are creating and manipulating more digital data than ever before. However, many challenges remain in how to harness the value contained in this data to benefit society.

To fully utilize this data, we need advanced information infrastructure technologies that bridge the gap between the physical world and the information world. Therefore, there is an urgent need for developers and users with expertise to create and use advanced information technologies.

To this end, the four divisions that comprise the Information Technology Center at the University of Tokyo – Campuswide Computing Research Division, Academic Information Science Research Division, Network Research Division, and Supercomputing Research Division – conduct research on the development and application of large-scale computer systems, and provide user education and scientific computing services based on these computer systems. The Information Technology Center works as the core institute of JHPCN – Joint Usage/Research Center for Interdisciplinary Large-scale Information Infrastructures – and leads its activity.

The Information Technology Center has two key goals which interact and enhance each other. The first goal is to develop the most advanced large scale computing environment for academic pursuits, and the other is to actually provide the environment to students and faculty in the university and researchers across the nation, for them to consume and provide feedback on how the environment can be further improved in the next generation.

Remaining at the cutting edge of information technology will always be a challenge; however, we believe that our pursuit of this challenge will lead to the development of new technologies and better human resources that will greatly benefit society.

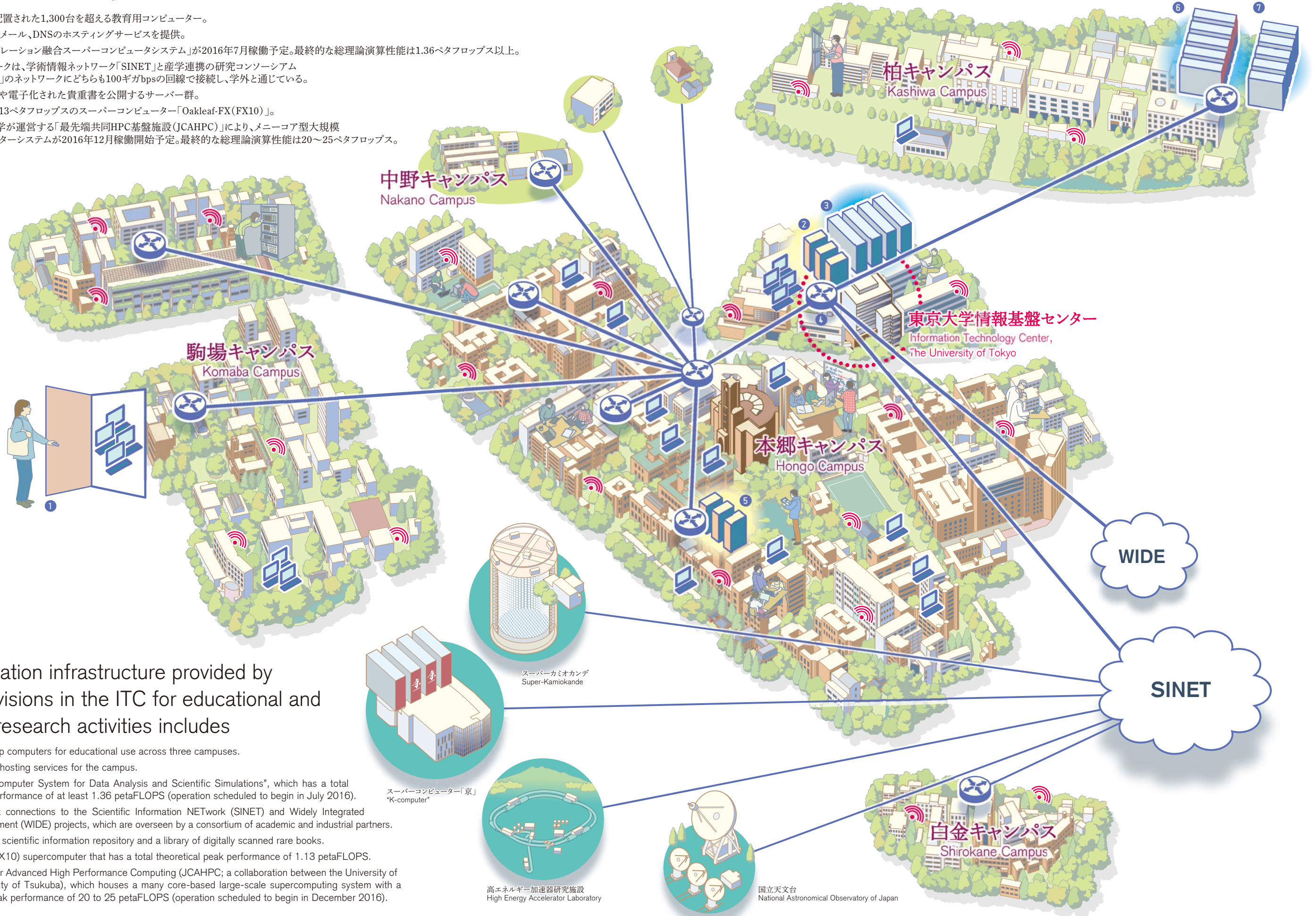


東京大学 情報基盤センター長 中村宏

Professor Hiroshi Nakamura  
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 「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」が2016年7月稼働予定。最終的な総理論演算性能は1.36ペタフロップス以上。
- 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 総理論演算性能1.13ペタフロップスのスーパーコンピューター「Oakleaf-FX (FX10)」。
- ⑦ 筑波大学・東京大学が運営する「最先端共同HPC基盤施設 (JCAHPC)」により、メニーコア型大規模スーパーコンピューターシステムが2016年12月稼働開始予定。最終的な総理論演算性能は20～25ペタフロップス。



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", which has a total theoretical peak performance of at least 1.36 petaFLOPS (operation scheduled to begin in July 2016).
- 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 The Oakleaf-FX (FX10) supercomputer that has a total theoretical peak performance of 1.13 petaFLOPS.
- ⑦ The Joint Center for Advanced High Performance Computing (JCAHPC; a collaboration between the University of Tokyo and University of Tsukuba), which houses a many core-based large-scale supercomputing system with a total theoretical peak performance of 20 to 25 petaFLOPS (operation scheduled to begin in December 2016).

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早期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くことは、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を介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。

Information Infrastructures that Empower Users

Since the early days of the university's establishment, the University of Tokyo has focused on utilizing the power of computers to maximize everyone's capability. The University of Tokyo has provided rich computer education, large-scale information-processing infrastructure on campus, to make this concept a reality. 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 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 apply machine-learning methodologies to automatically extract the abstracts of what the students can expect to learn in a specific division or major, from the list of individual course syllabuses provided for each division.

# 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。

## 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とまとめる「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、自動分類する研究をしています。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さずことなく、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護りつつ、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。

[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。

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.

## 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  
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る無線ネットワーク。その基礎技術から応用までを研究しています。そのひとつは、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こと。また、走行中の車に最適なルート情報を与えて渋滞を回避し、走行時間を短縮させるプロジェクトも進んでいます。

・広域分散環境の高度な基盤技術  
気象センサーや振動センサーなどの小型ノードから得た情報を日常生活での安心情報として活かせるように、ネットワーク基盤技術を研究しています。

・マイクロコンピューターによるクラウドの活用  
低消費電力で機動性の高いマイクロコンピューターを使い、クラウドへの情報発信や、クラウドに蓄積された情報を効果的に収集・提示する方法を研究しています。

・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。

・広域分散クラウドの要素技術開発と実証実験  
障害に強く、効率のよいリソース配分が可能な、インタークラウドの要素技術を研究。実際に大学間を結ぶ広域分散クラウドを形成し、実証実験を行っています。

・サイバーセキュリティ → p.20  
DNS(名前とIPアドレスを相互に変換する仕組み)情報、トラフィック動向、外部データベースから提供される情報などを総合的に分析して攻撃の予兆をつかみ、次の一手を講じる方法を研究しています。

## 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。

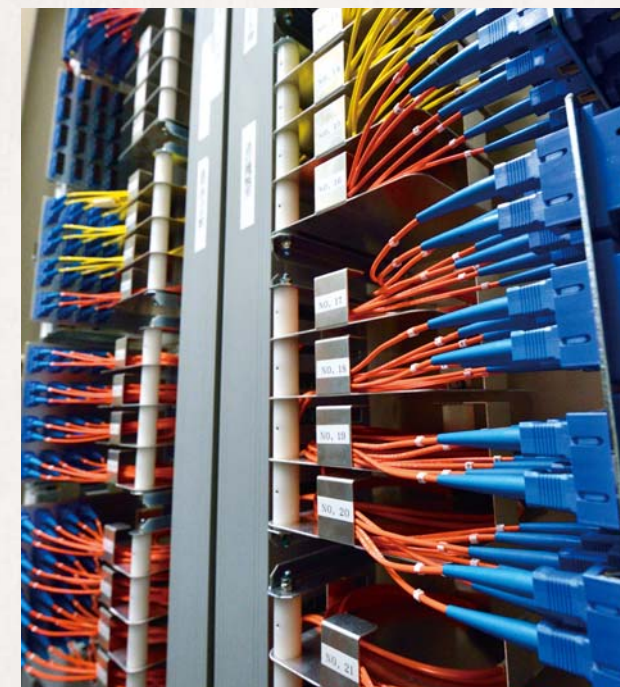
## The critical Link of Information between the University and Society Network Research Division

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 researching advanced networking technologies and actually deploying them in the field. We are currently working to improve transmission efficiency and quality when there are increased numbers of users on a network or when there are radio relays. The division is also engaged in a project to provide optimal travel routes directly to cars in transit, which would allow users to avoid traffic jams and reduce their travel time.

・New Network Technologies for a Widely Distributed Environment  
We have been developing new network technologies using small, mobile devices such as weather sensors and accelerometers to gather information about our surroundings. In the future, these kinds of micro sensor networks may be used to make our lives more secure by collecting data to predict natural disasters.

・Cloud Computing With Microcomputers  
Using low-energy, highly mobile microcomputers, the Network Research Division is researching methods for transmitting information to the "cloud" and for retrieving and presenting information from the cloud.

・User interfaces using augmented reality technology  
The Network Research Division is researching methods to improve users' experience with augmented reality by using simple cross-modality-based equipment on which perceptual illusions can be produced.

・Development and Deployment of Fundamental Technologies for Wide-area Distributed Clouds  
This area of research focuses on fundamental intercloud technologies to allow for highly resilient and efficient distribution of resources. The Network Research Division has created wide-area distributed clouds that connect universities and field trials are currently ongoing.

・Cyber Security Analysis → p.20  
We are researching methods to predict and prepare for cyber attacks by comprehensively analyzing DNS information (a system to convert host names to IP addresses and IP addresses to host names), network traffic behaviors, and information provided from external databases.

[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る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、ピーク性能20FLOPS級のメモリーコアベースのポストT2Kシステムの導入を進めています。現有の計算機資源の20倍以上の処理能力を有し、導入時(2016年12月)には日本最大級のシステムとなることが期待されています。また、ゲノム科学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ーシステムの導入も進めています。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。

### 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 Post T2K system, which has a peak performance of more than 20 Peta FLOPS, will be introduced by the Joint Center for Advanced High Performance Computing (JCAHPC; a collaboration between the University of Tokyo and the University of Tsukuba). The Post T2K system is 20 times larger than our current supercomputer system. When operation begins in December 2016, the supercomputer system is expected to be the largest in Japan at that time. We also plan to introduce “Integrated Supercomputer System for Data Analysis and Scientific Simulations”, which will use graphics processor unit-accelerated computing. This system will be used by individuals that need large-scale data analysis, such as those in the field of genomics. Data-centric science for big data is emerging as the fourth pillar of science, where computational science is the third. Our target is to develop a new interdisciplinary area of research through collaborations with the users of our supercomputers.

### 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)のシステムを視野にいれ、アクセラレータを活用するアーキテクチャやプログラミング手法の研究、メモリーコアプロセッサ向けのシステムソフトウェアの試験実装もその例です。

### 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 the research of underlying technologies to investigate features, performance, and feasibility of future generations of supercomputers. We are targeting exascale performance (100 times the performance of the K-computer) and conducting studies on the architecture and programming methods for utilizing accelerator and experimental deployments of system software optimized for many-core architecture processors.

[写真:FX10(Oakleaf-FX)]

2011年にスーパーコンピューター世界ランキング(TOP500)で1位を占めた「京」の後継プロセッサを使用し、プロセッサコア16個のコンピューターノード4,800台で構成されている。総理論演算性能は1.13ペタフロップス、総主記憶容量は150テラバイト。

Photo: FX10 (Oakleaf-FX)

The Oakleaf-FX supercomputer comprises 4,800 computer nodes, each with 16 processor cores. The central processing unit is based on an improved design succeeded from the K-computer, which was ranked number one in the 2011 Supercomputing TOP500 ranking. The theoretical peak performance of Oakleaf-FX is 1.13 petaFLOPS and it has a total memory capacity of 150 terabytes.



# 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

Serves a forum where multi-disciplinary researchers can collaborate with a network of specialists in the field of supercomputers into 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。

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

Projects adopted by the JHPCN benefit primarily from the use of various architecture designs in super-computing environments that are provided from eight universities, and secondary from working side by side with research scientists of the Information Technology Center, sharing the knowledge and the technology to efficiently process with massive scale computing resources. The goal of JHPCN is to create a community of scientists from various backgrounds of research, and provide an environment for them to collaborate.

In 2012, the High Performance Computing Infrastructure (HPCI) was established, in which Japan's flagship supercomputer, the K-computer, plus 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 JHPCN to make many important discoveries to advance to the next level with additional processing capabilities of the HPCI.

「学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点」

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

「情報基盤センターのHPCIサービス」

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

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

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

HPCI

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

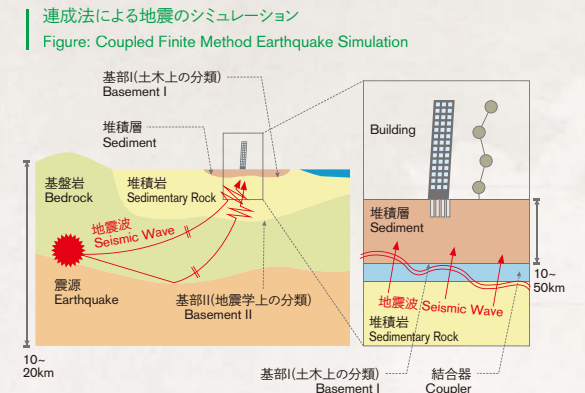


## スーパーコンピューターを使ったこんな研究 Examples of Supercomputing in Research

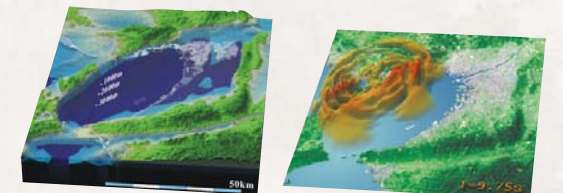
### 地震による建物の揺れをシミュレーションする Simulating Building Shaking due to Large Earthquakes

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 simulation is of combining different physical models is a promising tool to simulate a certain physical phenomenon very efficiently. We are seeing full use of supercomputer power to simulate complex physical phenomenon by the multi-physics simulation. For example, the coupled simulation analysis can be used; firstly to simulate seismic waves traveling from the hypocenter of an earthquake and amplifying as they travel through complex underground structures, and secondly to simulate building shake structures that are built on soft ground surface. The propagation of the seismic waves is modeled by using the finite-difference method simulation of equation of motion whereas the movements of building due to the earthquake ground motions are modeled by a finite element method simulation. The complete simulation is achieved by coupling of 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 massive parallel computing.



連成法による地震のシミュレーション  
Figure: Coupled Finite Method Earthquake Simulation

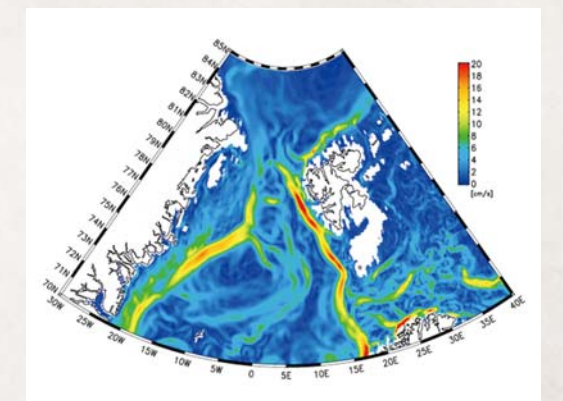


地形のみを対象とした地震の伝播シミュレーション  
Figure: Simulated Aerial View of Seismic Wave Propagation  
(Image courtesy of Takashi Furumura, Earthquake Research Institute, The University of Tokyo)

### 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 the polar regions. This movement, which is the result of changes in temperature and salinity, produces a 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 minute-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 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 immediate left of the Svalbard islands (right) is a branch of the Gulf Stream flowing northward. The majority of the current slows down and flows into the Arctic Ocean (top), while the rest flows southward past Greenland.

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





写真:テープライブラリ装置

びっしり並んでいるカートリッジテープのひとつにテープロボットがポジショニング、カートリッジテープを取り出してドライブにセットすると、高速な読み出し・書き込みが始まる。スーパーコンピューターの利用シーンでは、大量のデータを出力することが多いので、大容量のデータストレージは不可欠である。このテープライブラリは、おもにアーカイブデータの保管場所として使われている。カートリッジテープ1本の容量は4テラバイト、テープライブラリには全部で5,000本のテープカートリッジが収容され、20ペタバイトのデータを保存可能だ。

Photo: The Tape Library

The tape robot precisely positions itself to pick up a single tape from multiple arrays of tape cartridges, which will then be placed automatically into the drive unit to initiate high speed read/write operations. High density data storage media are essential to super-computers which process massive amounts of data. This tape library mainly serves as archive data storage. A single tape cartridge can hold 4 terabytes of data, and the total capacity of the library accommodating 5,000 tapes sum up to 20 petabytes of data.

## 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会うことになった。”

ハードウェアとOSの間の橋渡しをするように動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。

PCにBitVisor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、盗難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て実行中の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/](http://www.bitvisor.org/))

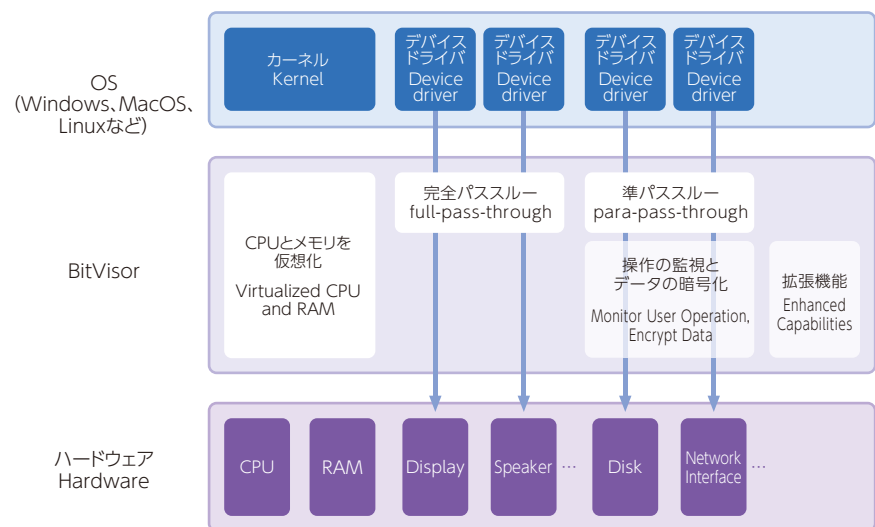
“ BitVisor was originally developed to prevent security vulnerabilities from being exploited on PC desktops. However, the compact, flexible program has resulted in further use cases.”

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の上だ。

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、人手ではラチがあきません。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.

## 攻撃者の次の挙動を、多角的に収集したデータから察知する Cyber Threats Analysis using Multi-layer Datasets and Resilient Defence

“ 新卒の攻撃手口が現れても、その特徴をいち早くとらえて次の一手を封じる。そんな「起き上がりこぼし」のように立ち直るシステムをつくる方法とは？ ”

PCやサーバーに遠隔操作が可能なプログラム(ボット)を送り込み、他のPCを攻撃したり情報を持ち出すボットネット。知人を装った標的攻撃のメール。サイバー攻撃はその手口が巧妙になり、確実に狙った情報を盗み取るためにさまざまな手段で攻撃してきます。

もはや、インターネット上で散発しているこのような攻撃を、その場限りの局所的な対応で防ぎ切るのは難しくなっています。そこでネットワーク研究部門では、2015年までの日欧共同プロジェクトNECOMAの成果を受け継ぎ、ネットワークのさまざまな階層から多角的にサイバー攻撃を分析し、その予兆をとらえることによって、いち早く防御策を講じるための基盤システムを研究しています。

たとえば、攻撃者は前段階として、情報や弱点を収集するための通信をしているはず。また、ボットに感染したPCは、指令ホストと通信をしているでしょう。そのような予兆をとらえることで、次の攻撃を予測し、効率的に防御することを目指します。

近年のサイバー攻撃は、何かしらの狙いを持った人が行うことが多く、人の行動分析までも含めた、アプリケーションレベルのデータまで解析することで、予測の精度を上げることができます。

このような多層にわたる分析を、ビッグデータ基盤によって横断的に解析し、回復力のある防御策へと連携させることをめざしています。

(NECOMAプロジェクト [www.necoma-project.jp/](http://www.necoma-project.jp/)、[www.necoma-project.eu/](http://www.necoma-project.eu/))

“ Protecting computers and systems from Cyber attacks by analyzing the attack behaviors from multi-layer points and making resilient protections. How does our research make resilient protections like an okiagari-koboshi(Traditional Japanese roly-poly toy, symbolizing recovery from misfortune.)? ”

A botnet is a computer cluster linked through the Internet composed of a collection of compromised PCs and servers. The infected PCs can be controlled remotely by a cyber criminal and used to attack other PCs and to collect confidential data. With exploits becoming more and more sophisticated and diversified, it is becoming increasingly difficult to protect these activities on a single detection point.

Building on the achievements of the Nippon-European Cyberdefense-Oriented Multilayer threat Analysis (NECOMA) project until the project ended in 2015, the Network Research Division is currently designing a system to analyze the threat of cyber attacks and predict future cyber crimes by using multiple datasets. It is also building a computer infrastructure to deter cyber criminals.

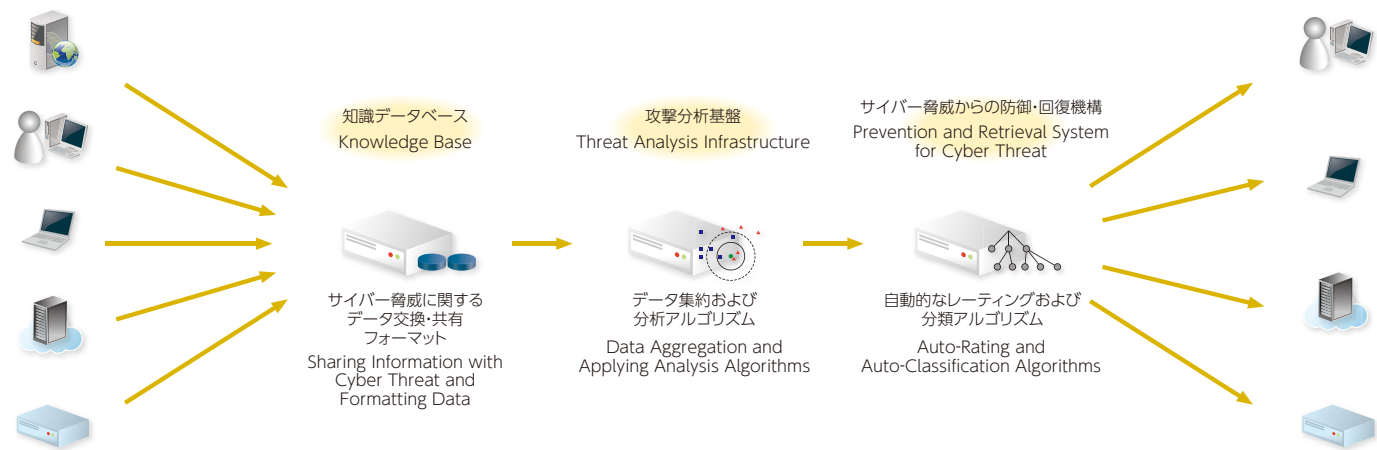
For example, attackers probe target systems on the internet to gather information on any security vulnerabilities they may exploit. During the probe phase, PCs infected with bots communicate with the attacker's host PC. If we are able to detect such behavior on the network in advance, we could filter out attackers or mitigate the traffic to prevent the next step in the hostile intrusion.

Cyber threats have objectives, so if multilayer data, including application layer data, can be combined for threat analysis, the precision of the analysis could be markedly improved. The approach to analyze Cyber threats from multi-layer datasets using a BigData infrastructure leads to resilient protection.

Analyzing cyber threats from multi-layer datasets using a big-data infrastructure could lead to resilient protection.

(NECOMA project <http://www.necoma-project.eu/>)

### ●サイバー攻撃検知のアプローチ Approach to Detecting Cyber Attacks



## 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、最適な高速化の方法は、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ならないのでしょうか？

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、うまく連携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/>)

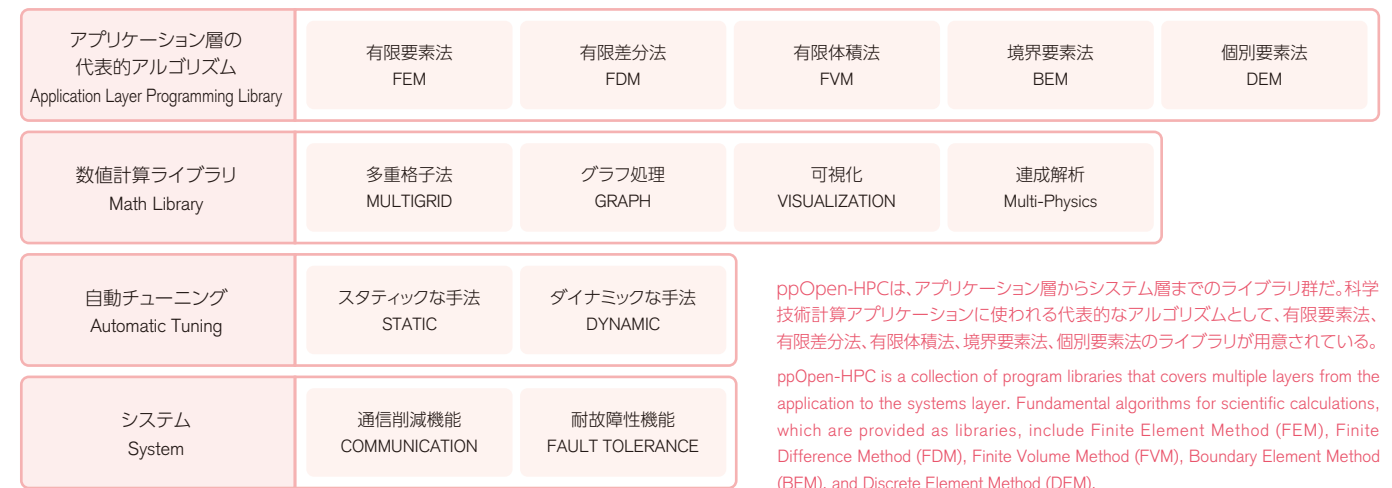
“ ppOpen-HPC is an open-source infrastructure for the development and execution of large-scale scientific application programs. It has Takumi no Waza (Craftsmanship of the Master) pre-programmed into the library for widely used scientific algorithms and can provide automatic performance optimization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



「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 Incalculable Calculable

# 行列近似の技芸

The Art of Matrix Approximation

## 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ました。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、情報量が少なくなるとかぎり、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、ここにある空気の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。

## Matrices express the interactions between objects

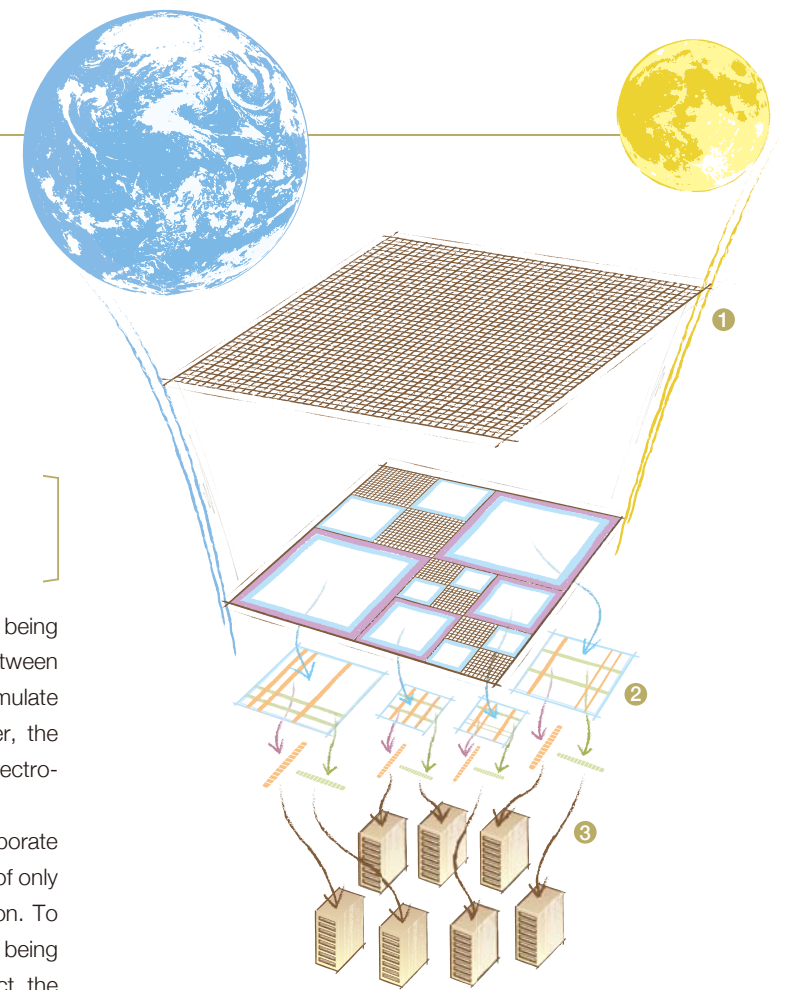
The various phenomena around us can be thought of as being the results of an integrated series of interactions between objects. By using computer-based matrices, we can simulate complex phenomena such as the ever-changing weather, the movement of galaxies, or the transmission of heat and electromagnetic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

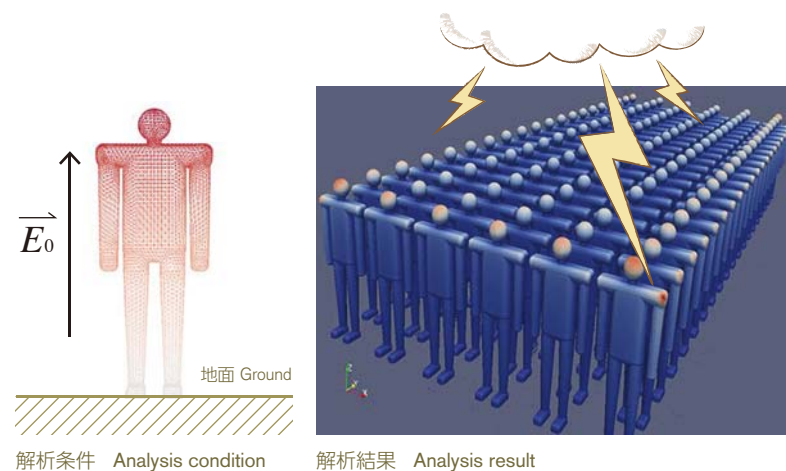


- ① 「もの」と「もの」の間の全相互作用を表す密行列
  - ② H-行列法の置換、分割に基づき近似された圧縮行列
  - ③ 効率よく計算できるように部分行列をコンピューターに分散配置
- ① Dense matrix expressing all the interactions between objects
  - ② Compressed matrix approximated by using permutation and partition based on H-matrices
  - ③ Assignment of sub-matrices to individual processors

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.



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.