

第14回名古屋大学博物館企画展記録 計算機シミュレーションで解き明かされる世界—計算科学の最前線—

Record of 14th NUM Special Display “A computer-simulated view of science,
based on Nagoya University’s frontier researches”

平野 靖 (HIRANO Yasushi)¹⁾・橋 完太 (TACHIBANA Kanta)²⁾・
西川輝昭 (NISHIKAWA Teruaki)³⁾

- 1) 名古屋大学情報連携基盤センター
Information Technology Center, Nagoya University, Chikusa-ku, Nagoya 464-8601, Japan
- 2) 名古屋大学 21 世紀 COE プログラム「計算科学フロンティア」
Frontiers of Computational Science, Nagoya University, Chikusa-ku, Nagoya 464-8603, Japan
- 3) 名古屋大学博物館
The Nagoya University Museum, Chikusa-ku, Nagoya 464-8601, Japan

場所：名古屋大学博物館（古川記念館）

会期：2008 年 8 月 19 日から 9 月 27 日

主催：名古屋大学博物館・21 世紀 COE プログラム「計算科学フロンティア」・情報連携基盤センター

本記録は、第 14 回名古屋大学博物館企画展の展示内容を再構成したものである。会場では、21 世紀 COE プログラム「計算科学フロンティア」に加わる若手研究者を中心にした展示説明者が常駐し、来館者への対応にあたった。本企画展の入場者数は 2,842 名であった。展示風景を図 1 に示す。

計算機シミュレーションの世界へようこそ！

ものをつくったり、将来を予測したり、計画を立てたりするときに、「試しにやってみる」ことが不可能な場合がたくさんあります。たとえば、人や環境に対する影響が大きすぎたり、時間やコストがかかりすぎる場合です。このような不可能を可能にするのが、コンピュータを使ったシミュレーションです。

名古屋大学博物館は、社会に開かれた名古屋大学の窓口として、大学における研究成果を発信するための活動を繰り返しています。皆様を計算機シミュレーションの世界にお誘いするこの企画展は、21 世紀 COE 「計算科学フロンティア」と名古屋大学情報連携基盤センターで現在進行中の最先端の研究成果を、博物館の展示としてわかりやすくご紹介することをめざしています。計算機シミュレーションの、可能性に満ちた世界を知っていただければ幸いです。

最後に、本企画展のためにお力添えをいただいた、三矢保永名古屋大学名誉教授と全学技術センター（工学部電気電子・情報工学科情報工学コース）の天下弘技術職員にお礼申しあげます。

2008 年 8 月

名古屋大学 博物館

21 世紀 COE プログラム「計算科学フロンティア」
情報連携基盤センター

21 世紀 COE とは

COE は、**C**enter of **E**xcellence（卓越した研究教育拠点）のことです。21 世紀 COE は、我が国の大学に、学問分野ごとに世界最高水準の研究教育拠点を形成することによって、研究水準の向上と世界をリードする創造的な人材を育成し、国際競争力をもった個性輝く大学づくりを推進するための事業です。文部科学省が 2002（平成 14）年度から行って、21 世紀 COE に選ばれると、5 年間、研究拠点形成費補助金が重点的に配分されます。「計算科学フロンティア」は 2004（平成 16）年度に、全国 320 件のなかから選ばれた 28 件のうちの一つです。

名古屋大学では「計算科学フロンティア」の他に、昨年度新たに始まったグローバル COE プログラムで 6 件（19 年度 3 件、20 年度 3 件）が採択されています。

計算機シミュレーションとは何か（パネル（図 2～3）の要約）

シミュレーションとは、実際に行動を起こす前に、あらかじめ結果や物事の振る舞いを予測することを言う。たとえば、イメージトレーニングをしたり、地図を使って机上で防災訓練をしたり、あるいは模型を使って車の表面の空気の流れを調べたりすることもシミュレーションである。

計算機シミュレーションという場合には、多くの場合、実際に模型や道具などを使わずに、計算機内に構築した仮想的な環境でシミュレーションを行うことを指す。計算機シミュレーションを行うには非常に多くの計算をしたり、膨大な量のメインメモリを必要としたりする場合があります、スーパーコンピュータと呼ばれる大規模な計算機が使われるのが一般的である。

計算機シミュレーションは、（1）物事が起こる前に結果を予測することができる、（2）条件を変えて何回でも試してみるができる、（3）実際に物を作るより、安く・早く結果を予測できることが多い、（4）実際には目に見えない現象を目で見たり正確に解析することができる、（5）人間が行なうより早くて正確である、という特徴をもつ。

正確なシミュレーションをおこなうには、対象となる事物のふるまいをうまく模倣する計算式（＝モデル）を作る必要がある。さらに、その計算式を計算機が分かる言葉（＝プログラム）に翻訳しなければならない。したがって、計算機シミュレーションを行うには、対象となる事物についての専門的な知識、効率よく・精度よく計算するための計算方法、およびその計算方法をプログラムにするためのプログラミング技術などが必要となる。

年少者向けの小型パネルを通常的大型パネルの下に設置した。本章関連の小型パネルは、「ためしにやってみることがシミュレーション ものすごく早くそれができるのがコンピュータです コンピュータでやるシミュレーションは、おかげがかりすぎたりして じっさいにためしてみることが

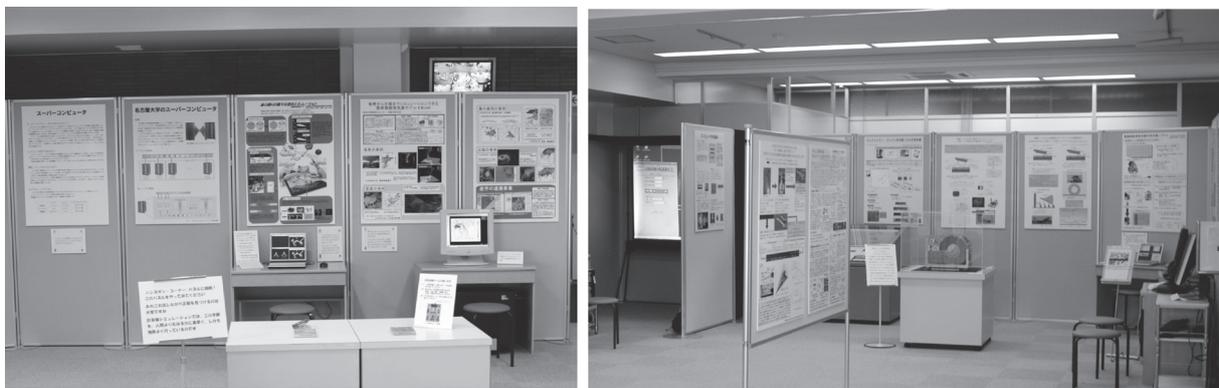


図 1 展示風景

計算機シミュレーションとは

計算機シミュレーションって何？

計算機(コンピュータ)を使って、実際に何か行動に移す前に試しにやってみたり、これから起こるはずのことを予測したり、実際には目にすることができない現象を目に見えるようにしたりすることを計算機シミュレーションといいます。大学や研究所などの研究機関や、製造業・金融業などの企業で幅広く行われています。

一般的に、計算機シミュレーションでは大規模な計算が必要となるため、パソコンとは比べ物にならないくらい大規模な計算機(スーパーコンピュータ)が使われます。



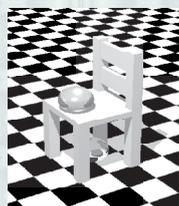
名古屋大学に設置されたスーパーコンピュータ
富士通社製PRIMEPOWER HPC2500

なんで計算機シミュレーションが必要な？

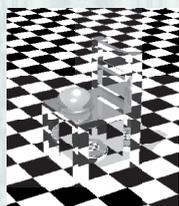
計算機シミュレーションのおもな特徴は次の5つです。

- ・物事が起こる前に結果を予測することができる。
- ・条件を変えて何回でも試してみることができる。
- ・実際に物を作るより、早く・安く結果を予測できることが多い。
- ・実際には目に見えない現象を目で見ることや、正確に解析することができる。
- ・人間が行なうより早くて正確である。

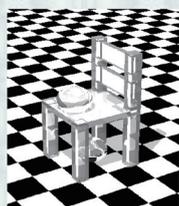
下の図は、プラスチック、鏡張り、ガラスという異なる材料で作った椅子を作るシミュレーションをしたものです。材料が違くと椅子の見え方がかなり違うことが分かります。材料の性質がよく分かっているならば、実際に椅子を作らなくても、どのくらい明るく見えるのか、どのように周りの模様を反射するのか、あるいはどの程度透けて見えるのかを予測でき、現実に近いイメージを得ることができます。このように、計算機シミュレーションによって現実世界のイメージや物体の状態を得ることを「再現する」と言います。再現性の高いシミュレーションを行うためには、それぞれの対象によって、様々な工夫が必要となります。



プラスチックの椅子



鏡張りの椅子



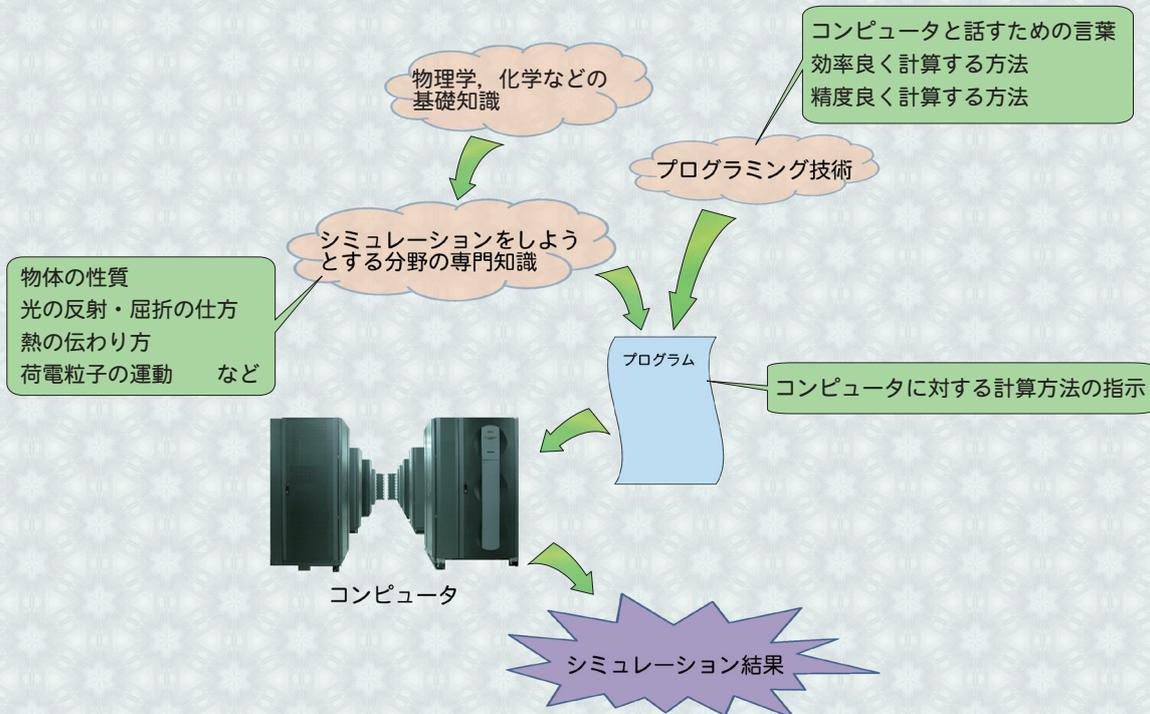
ガラスの椅子

プラスチック、鏡張り、およびガラスという異なる性質の材料で作った椅子を再現してみました。レイ・トレーシングによる計算機シミュレーションで、材料の違いを表現するためには、光がどのように反射・屈折するかをシミュレーションします。これらの画像であれば、ほんの1分ぐらいでシミュレーションすることができます。

図2 計算機シミュレーションとは

計算機シミュレーションに必要なものは？

プログラムは知識の塊



工夫も必要

モデルの構築：精度良くシミュレーションをするには、シミュレーション対象の振る舞いをうまく模倣する計算式(=モデル)が必要です。モデルは複数の計算式で構成されることもあり、自然界の現象を模倣するためのモデルは複雑になる傾向があります。このような複雑なモデルを使ってシミュレーションすると、非常に精度の良いシミュレーション結果を得ることができ、たとえば気象シミュレーションであればどこでどのぐらいの強さの風が吹くか正確に予測できるかもしれません。しかし、いかに精度の良いシミュレーションができたとしても、明日の天気予測をするために1週間も計算しているのでは役に立ちません。そこで、シミュレーション結果が必要とされる時間までに計算が終わるように、対象としている現象に強い影響を与える要素のみを使ってモデルを構築することも重要です。

計算方法：ある計算を行うときに、具体的な計算方法は何通りもことがあります。選択した計算方法によっては、精度が著しく低下したり、膨大な計算時間がかかったりすることもあります。現実的な時間で必要とする精度が得られるような計算方法の開発も計算機シミュレーションでは重要なテーマです。

図3 計算機シミュレーションに必要なものは？

できないことでも、できちゃいます」。「でも、どんな数値をいれたらよいかをしらべたり、どんな計算をするかを指令するのは、にんげんです」。「コンピュータの性能がよくなったので、こまかなシミュレーションがうまくできるようになりました」。「ことばのせつめい CPU = 計算をするそうちハードディスク (HDD) = プログラム (計算のしかた) やデータ (しらべた事実) をながい間ほぞん (記憶) するところ メインメモリ = CPU が計算しているほんのすこしの間だけ、プログラムやデータをほぞんしておくところ」とした。

コンピュータとは (パネル (図4~5) の要約)

コンピュータの起源は、4000年も前に古代バビロニアで作られた「そろばん」だと言われている。そろばんというのは人間が玉を動かすことによって計算するので、コンピュータとはまったく違うと思われるかもしれない。しかし、コンピュータは人間が計算手順 (= プログラム) を与えなければ何も計算できないのだから、超高速な「そろばん」といえるのだ。

現在、一般的に使われている電子式デジタル計算機は第2次世界大戦の前後に急速に発展した。この背景としては、敵国の暗号を解読したり、ミサイルの弾道を計算したりするために、膨大な計算を必要としたことが挙げられる。1939年から1948年にかけて、ABC (Atanasoff-Berry Computer) や ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Computer) などのいくつかの電子計算機が開発され、これらが現在の計算機に大きな影響を与えた。さらに、Intel社が1971年に世界初のシングルチップの商用マイクロプロセッサである Intel 4004 を開発し、現在のパソコンや一部のスーパーコンピュータの起源となった。

スーパーコンピュータ (パネル (図6~7) の要約)

大規模な計算機シミュレーションは、スーパーコンピュータ、すなわち、“その時代で一般的なコンピュータよりも格段に性能が高いコンピュータ”で行われる。たとえば、現時点で世界一の性能を持っている Roadrunner (米エネルギー省) というスーパーコンピュータは、パソコンに比べて88,667倍の計算能力と、52,000倍のメインメモリを持ち、消費電力は39,000倍である。名古屋大学にもスーパーコンピュータが設置され、全国共同利用システムとして全国の大学・高等専門学校の研究者や大学院生などに計算資源を提供している。

コンピュータの構成要素とその高度化 (パネル (図8~12) の要約)

コンピュータの主要要素は、CPU、メインメモリ、およびハードディスクであり、それぞれ、プログラムにしたがって計算を行う、CPUが処理するためのプログラムやデータを一時的に保存する、プログラムやデータを長期間にわたって保存する、という役割を担う。最近では複数のコンピュータが互いに連携しながら計算を行うこともあるので、コンピュータ内部で通信機能を担うネットワークインタフェースや、コンピュータ同士を接続するネットワーク機器の性能も重要になっている。

初期のコンピュータでは、真空管やリレーを使って計算を行っていた。真空管もリレーも“電流を通すか通さないか”という単純な動作しかできないが、これらがたくさん組み合わせられると複雑な計算が可能となる。1946年に開発された ENIAC では17,468本もの真空管が使われていた。真空管やリレーは ON/OFF の切り替えが遅いため、計算能力の向上には限界があったが、これを打破したのがトランジスタである。Intel社は、多数のトランジスタを1つのシリコンチップ上に集積したワンチップの CPU、Intel 4004 を世界で最初に開発した。たった3mm × 4mm のシリコンチップ上に2,300個

コンピュータの歴史

コンピュータの過去と現在

コンピュータというのは、人間が与えた手順や方法(プログラム)にしたがってデータの貯蔵、検索、加工、計算などを高速で行う機械です。現在のコンピュータ(電子式デジタルコンピュータ)では、電子回路を使ってこのような仕事をします。電子式デジタルコンピュータのルーツは約4000年も前に古代バビロニアで作られた**そろばん**だと言われています。これがどんどん進化していった、現在のコンピュータになりました。ここでは、現在の主流である電子式デジタルコンピュータに限って説明します。

1939年に最初のコンピュータができてしばらくの間は、科学技術計算や暗号解読など特定の用途のためのコンピュータが作られてきましたが、しだいにどんな用途にも使える(汎用)のコンピュータが開発され、銀行や一般の会社に広く普及するようになりました。そして今や、1人に1台の個人用(パーソナル)コンピュータ(=パソコン)の時代です。家庭用ゲーム機や、自動車の制御機構、あるいは炊飯器などにもコンピュータが使われていますから、もはやコンピュータなしには私たちの生活は成り立ちません。

- | | | |
|-------|--|---|
| 1939年 | アタナソフ&ベリー・コンピュータ社が 特定の理論物理学の問題解決のためにABC(AtanasoffBerry Computer)の試作機 を製作 | } ENIACがとくに有名ですが、どれが世界初の電子式コンピュータであるかには諸説あります。
・メモリの実現方法
・プログラムの与え方
・汎用か特定用途向けかなどが論点になっています。 |
| 1943年 | IBMが電子式 乗算機 を製作 | |
| 1944年 | 英国情報機関(British Intelligence)がドイツ軍の機密電文の 暗号解読 のために Colossus を製作 | |
| 1946年 | ペンシルバニア大学で 弾道計算 のために真空管式電子計算機 ENIAC(Electronic Numerical Integrator and Computer) が完成 | |
| 1948年 | マンチェスター大学のウィリアムスとキルバーンが プログラム内蔵式 のコンピュータ The Baby を製作。プログラムを 電子的メモリ に記憶可能。 | |
| 1964年 | IBMが世界初の商用汎用デジタル計算機 System/360 を販売 | |
| 1964年 | コントロール・データ・コーポレーション(CDC)が CDC 6600 の製造開始。世界で初めて成功した スーパーコンピュータ であると言われています。このコンピュータは1964年から1969年まで世界最速でした。 | |
| 1971年 | Intel社によって Intel 4004 を開発。世界初のシングルチップの商用マイクロプロセッサです。 現在のパソコンのCPUの起源 です。 | |
| 1974年 | MIT社(Micro Instrumentation and Telemetry Systems)が Altair 8800 を開発。これが 世界初の個人向けコンピュータ(パーソナル・コンピュータ、パソコン) です。 | |
| 1975年 | クレイ・リサーチ社が Cray-1 を発表し、 スーパーコンピュータ の代名詞となりました。 | |

コンピュータの未来

CPU製造技術の発達によって、CPUの計算能力は飛躍的に高くなってきています。計算能力を高める(高速化)ためには、一度に計算できる命令数を増やしたり、パイプライン処理を行ったりすることで実現されてきました。このような高速化技術の中で、もっとも威力を発揮したのは、クロック周波数を高くすることでした。しかし、これに伴って、発熱量や消費電力が大幅に増えるという問題が発生しました。これを解決するために、クロック周波数を低くして、複数のコアを1つのCPUに搭載(**マルチコア**)したり、パイプラインの数を増やしたり、あるいは仕事をしていない時には**自動的に消費電力を少なく**したりするという方法がとられるようになりました。

図4 コンピュータの歴史

知っていると便利な言葉

よく使われる単位・補助単位

bit: ビット. bと略されることもあります. 情報の量を表す最少の単位です. 0か1か, ONかOFFかなどを表します.

Byte: バイト. Bと略されることもあります. 現在では一般的に1Byteは8bitです. 256種類の状態を表せます.

Hz: ヘルツ. 1秒間に何回処理を行えるかを表します. たとえば, クロック周波数が1MHzであれば, 1秒間に100万回の同期信号をCPUに送ることを意味します.

Flops: 1秒間に計算できる浮動小数点演算の数. 計算機の性能を表すために使われることがあります.

k, M, G, T, P: それぞれ, キロ, メガ, ギガ, テラ, ペタと読み, 10^3 , 10^6 , 10^9 , 10^{12} , 10^{15} を表す補助単位です. たとえば, 1kHzは1000Hzを意味します.

m, μ , n: それぞれ, ミリ, マイクロ, ナノと読み, 10^{-3} , 10^{-6} , 10^{-9} を表す補助単位です. たとえば, 1nmは 1×10^{-9} mを意味します.

知っておくと便利な用語

コア: CPUの中に入り計算を行う. 非常に多数のトランジスタで構成され, トランジスタの数でコアやCPUの規模を表すことがあります. 最近では, 複数のコアを持つCPUも作られています. 2つのコアを持つCPUをデュアルコアCPU, 4つのコアを持つCPUをクアッドコアCPUなどと言います.

クロック周波数: 1秒当りにCPUに送られる同期信号の数. 同じ種類のCPUであればクロック周波数が高いほど高速です.

浮動小数点数: 小数点の位置が固定ではない小数点数の表現方法. 小数点数の大きさによって, 小数点の位置が変わります. 科学計算で多く使われます.

パイプライン: 最近のCPUでは1つの命令を細かく分けて, 流れ作業で実行します. 流れ作業を行うためのベルトコンベアをパイプラインといいます.

ベクトル演算: 同じ種類の計算を一度に実行する演算(計算)方法です. ⇔スカラー演算

同時実行可能な演算数: 複数のパイプラインや演算器が用意されたCPUでは, 同時に複数の異なる演算を行うことができます. 同じクロック周波数でも同時実行可能な演算数が多い方が高速なCPUであるといえます.

図5 知っていると便利な言葉

スーパーコンピュータ

スーパーコンピュータとはなんだろう？

はっきりとした定義はありませんが、その時代で「一般的なコンピュータよりも格段に性能が高いコンピュータ」のことをスーパーコンピュータ(スパコン)とよびます。この「性能」にはいろいろな意味がありますが、計算能力やメインメモリ容量、ハードディスク容量などを指すことが多いようです。特に、計算能力が最も重要視されます。例えば、現在の最速のスパコンは、パソコンの8万倍程度の計算能力を持っています。

コンピュータの製造技術は年々進歩していますので、スパコンでしか得られない計算能力も、しばらくすればパソコンが持てるようになります。1976年に発売されたCray-1は「**スパコンの代名詞**」と言われるほど、当時としては高速のコンピュータであり、136MFlops(1秒間に1億3600万回の計算が可能)という性能を持っていましたが、この性能は1994年に発売されたパソコン用CPUであるIntel Pentium(133MHz)とほぼ同じ計算能力です。

スパコンで何ができるの？

パソコンに比べて、スパコンは桁違いの計算能力やメインメモリ容量を持っています。このような特徴を活用して、パソコンでは何か月もかかるような計算を短時間で رفتたり、メインメモリ容量が足りなくてパソコンではできないような計算を行ったりすることができます。

今回の企画展で紹介している計算機シミュレーションの多くもスパコンを使わないと計算できないものです。

現在、No.1のスパコンは？

1964年から製造されたCDC 6600が世界で初めて成功したスパコンであると言われています。1964年から1969年まで世界最速でした。これ以降、多くの国(特にアメリカと日本)が競い合うように高速なスパコンを作り、科学技術計算の発展に役立ててきました。

<http://www.top500.org/> に世界で最高速のスパコンが公開されています。もちろん、コンピュータ製造技術はどんどん発展していきますから、No.1のスパコンは入れ替わっていきます。上記のWebページでは、年に2回情報を更新しています

スパコン vs パソコン

2008年6月時点での世界最速のスパコン(米エネルギー省「Roadrunner」)と一般的なパソコン(Intel Core2 Duo 2.66GHz搭載)の性能を比較してみましょう。

計算能力やメインメモリも桁違いですが、消費電力も桁違いです。

	パソコン	スパコン	スパコンはパソコンの
計算能力	15GFlops	1.33PFlops	8万8667倍
メインメモリ	2GB	104TB	5万2000倍
消費電力	約100W	3.9MW	3万9000倍

図6 スーパーコンピュータ

名古屋大学のスーパーコンピュータ

概要

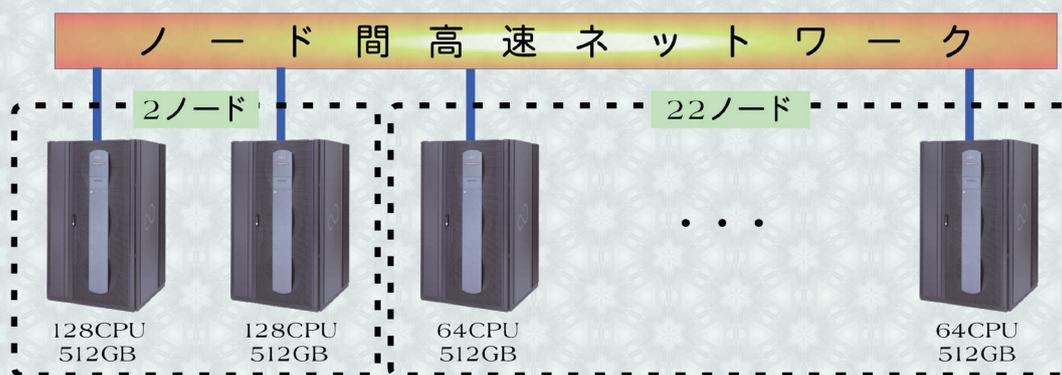
名古屋大学情報連携基盤センターに設置してあるスーパーコンピュータは、全国共同利用システムとして、全国の大学・高等専門学校の研究や大学院生などに計算資源を提供しています。

システム全体で1664個のCPUを有し、計算能力は13.8TFlops(=1秒間に13兆8000億回の演算が可能)で、メインメモリは12TBです。パソコンに比べると計算能力もメインメモリの量も2000~3000倍程度あり、大規模なシミュレーションを行うことが可能です。

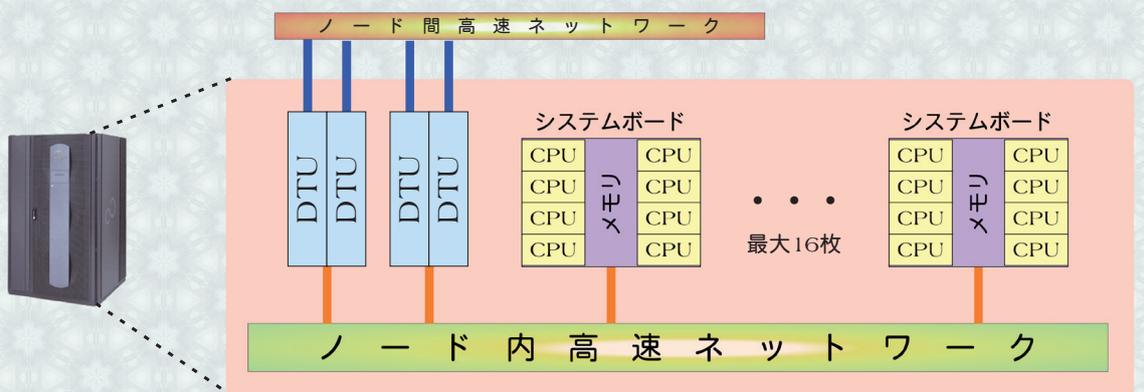


富士通製PRIMEPOWER HPC2500

システムの構成



各ノードの構成



DTU : Data Transfer Unit. データ転送装置

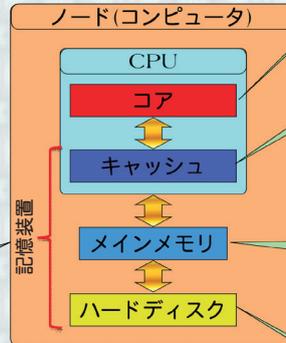
図7 名古屋大学のスーパーコンピュータ

コンピュータの仕組み

コンピュータの仕組み

現在のコンピュータのほとんどはハードディスクに格納されたプログラムとデータをメインメモリに読み込み、さらにそれらはCPUに送られ、プログラムの指示に従ってデータの処理を行います。

CPUに近いほど高速に読み書きができますが、その分高価なので小容量です。スパコンとして使われるコンピュータのキャッシュは256KB～8MB程度、メインメモリは1GB～1TB、ハードディスクは1TB～1PBです。



プログラムに従ってデータ処理(計算)を行います。

非常に高速な記憶装置で、メインメモリから読み出したデータや、メインメモリに書き込むデータを一時的に格納します。

ハードディスクから読み出したプログラムやデータを格納します。また、計算結果を格納し、プログラム終了時にハードディスクに書き出します。

プログラムやデータを格納します。電源を切っても情報は消えません(不揮発性)。

CPU

計算を行う装置がCPU(Central Processing Unit)です。MPU(Micro Processing Unit)と呼ばれることもあります。一般的にハードディスクからプログラムやデータが呼び出され、CPUに送られます。CPUではプログラムに従ってデータを処理し、結果をディスプレイに表示したり、ハードディスクに書き込んだりします。



初期のCPU : NEC D8080A (Intel 8080のセカンドソース)
写真提供 : 名古屋大学工学部電気電子・情報工学科情報工学コース

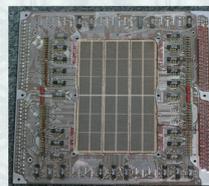


比較的最近のCPU : Intel Xeon 5040 (サンプル品)

*同じ仕様の他社製品のことをセカンドソースと言います。

記憶装置 : メインメモリ

CPUが処理するためのプログラムやデータを一時的に保存するための記憶装置です。ハードディスクから呼び出された情報はメインメモリに読み込まれます。電源を切っても情報が失われないもの(不揮発性)と失われるもの(揮発性)があります。



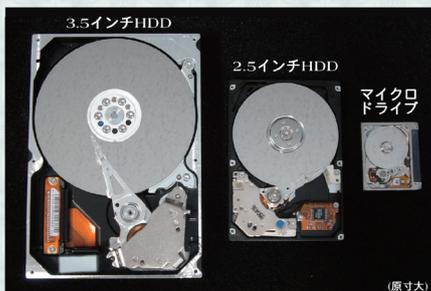
コアメモリ



半導体メモリ

記憶装置 : ハードディスク(HDD)

プログラムやデータを比較的長期にわたって保存しておくための記憶装置です。磁性体を塗った金属のディスクに情報を記憶します。情報の書き換えが可能で、コンピュータの電源を切っても情報が保持されます。



昔の外部記憶装置

記憶装置も年々進歩していています。以前は盛んに使われていた記憶装置でも、最近は全然使われないものも少なくありません。

記憶装置は、読み込み・書き込みの高速化、小型化、大容量化が精力的に行われています。



オープンリール (~170MB)



フロッピーディスク (~1.44MB)



CD-R (640MB, 700MB)

図8 コンピュータの仕組み

どんどん計算が速くなるCPU

最初のCPU

初期の電子式コンピュータでは、真空管やリレーを使って計算を行っていました。真空管というと、最近あまり見かけませんが、オーディオマニアであれば真空管アンプでおなじみかもしれませんね。

真空管もリレーも、電流を流すか流さないか(ONにするかOFFにするか)ということしかできません。このような単純な動作がたくさん組み合わせることによって複雑な計算が可能になります。ENIACでは17468本の真空管を使って計算を行っていました。



真空管

真空管から半導体へ

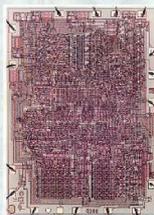
真空管やリレーには「ON/OFFの切り替えがとても遅い」という欠点があり、計算能力の向上には限界がありました。そこで、トランジスタという半導体を使う方法が登場しました。現在のすべてのコンピュータにはトランジスタが使われています。

世界初の半導体によるCPUはIntelが作った4004です。たった3mm×4mmのシリコンチップの上に2300個ものトランジスタが作られています。

現在のCPUは、クロック周波数を高くしたり、同時に実行できる命令数を増やしたりして、計算能力を向上させています。



4004の外観、および配線パターン
1971年に発売された**世界初のマイクロプロセッサ**です。クロック周波数が741kHzのもので、毎秒9万2600回の計算を実行することができます。3mm×4mmのシリコン上に2,300個のトランジスタを集積しています。



8080の外観、および配線パターン
1974年に発売されました。このCPUは**世界初のパソコンであるAltairに採用**されました。このCPUが、現在、一般に使われるパソコン用CPUの基礎となっています。



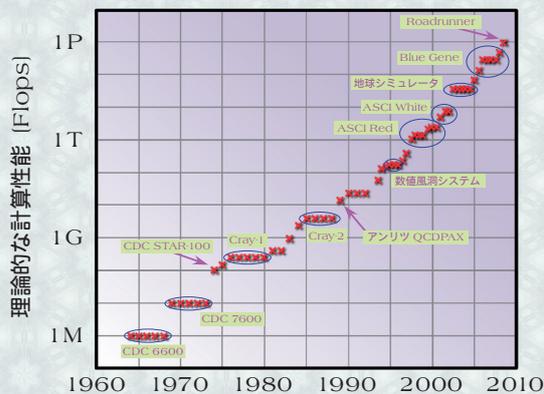
クアッドコア Xeon プロセッサ
2006年から発売が開始されました。1つのCPUに**4つのコア**が搭載されています。2007年末に登場した2.93GHz版は1つのCPUで約34GFlopsの計算能力を持っており、スパコンとしての利用も期待されます。



*4004、8080、およびクアッドコアXeonプロセッサの写真掲載は日本インテル社の許諾を得ました。

スパコン用とパソコン用

厳密にスパコン用のCPUとパソコン用のCPUを分類することはできませんが、それぞれ独自の進化をしてきました。スパコン用のCPUは同じ計算方法で数値だけが異なる演算(例えば、100組の数値の掛算)を一度に行ったり(ベクトル演算)、命令を細かく分割してクロック周波数を高くしたり(RISC)という戦略で高性能化をしてきました。一方で、パソコン用CPUの多くは、複数の演算を連続的にやり、CPUがフル回転するようにしたり(スーパースカラー)、CPU内に複数のコア(演算を実行する基本的な単位)(マルチコア)を作ったりという戦略で高速化してきました。スパコン用CPUとして開発されてきた技術がパソコン用CPUに使われることがありますし、その逆もあります。



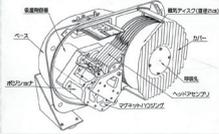
世界No.1のスパコンの計算性能の推移

図9 どんどん計算が速くなるCPU

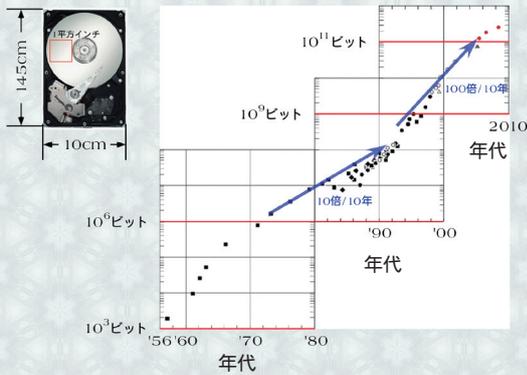
どんどん小さく，どんどん高容量になる記憶装置

ハードディスク

資料は三矢保永名古屋大学名誉教授の提供による

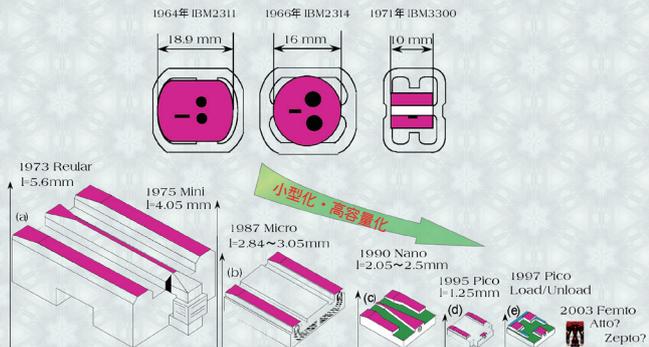
	1956年	1982年	1986年	2008年
				
	IBM 305 RAMAC (写真提供 日本IBM (IENA) Japan)	電信電話社 PATTY(Packaged Air Tight Tiny) (電気通信研究所研究実用化報告 Vol.31, No.1, p.350より転載)	NTT GEMMY (Gigabyte capacity Enhanced Magnetic Memory) (電気通信研究所研究実用化報告 Vol.36, No.4, pp.473より転載) カットモデル展示中!!	
円盤の直径(インチ)	24	8	10	2.5
総容量(MB)	4.4	400	800	160,000
1MBあたりの金額	3,780万円	1万円		0.9円
1mm ² あたりの記憶容量	3ビット			3.9億ビット

1平方インチ当たりの記憶密度の変遷(縦軸は対数目盛)



浮動ヘッドスライダの変遷

浮動ヘッドスライダはハードディスクの情報を読み書きする部品です。ハードディスクの記録密度が高くなる(1ビットを記録する面積が小さくなる)のにしたがって浮動ヘッドスライダも小さくなっていきます。



History of slider dimension and configuration

メインメモリ

磁気ドラムメモリ

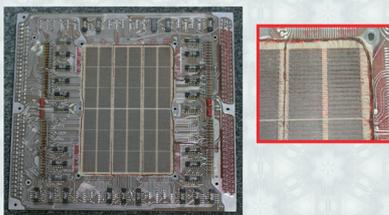
低価格/低性能
1950年代～1960年

真空管メモリ

高価格/高性能
1950年代～1960年

コアメモリ

導線と磁石で情報を記憶
1950年代～1970年代初め
8～150KByte程度



半導体メモリ

トランジスタとコンデンサで情報を記憶
1970年頃～
現在の主流の方式



基板やLSIの大きさは変わらず，LSIの高密度化によって容量増加

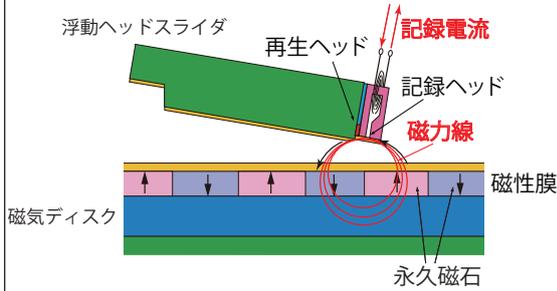


図 10 どんどん小さく，どんどん高容量になる記憶装置 (資料提供：三矢保永名誉教授)

浮動ヘッドによる高度10ナノメートルの極限飛行

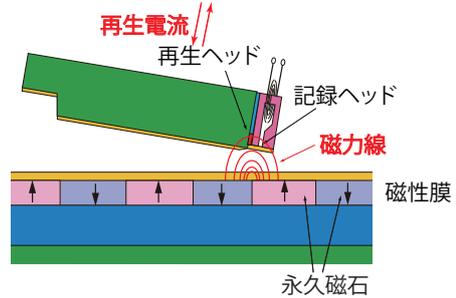
—記録密度を高めるために**磁気ヘッドと磁気ディスクのすきま**をできるだけ狭くする—
資料は名古屋大学・三矢保永名誉教授の提供による

記録するとき：小さな永久磁石を作る



情報は永久磁石の極の向き (N,S) として記録される
 記録ヘッドは電磁石と同じ原理である

読み出すとき：永久磁石から出る磁力線を検出する



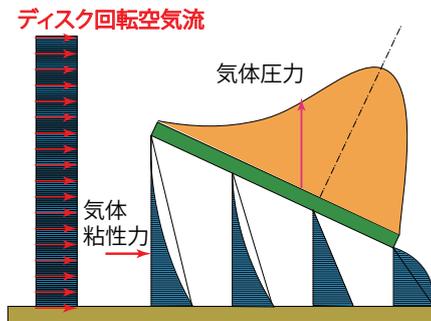
表面から漏洩する磁力線の変化を検出する
 再生ヘッドには磁力線の強さによって抵抗が大きく変化する素子 (GMR*) が用いられる
* GMR現象の発見者には2007年にノーベル物理学賞が授与された

- ヘッドとディスクのすきまが狭いほど：
 - 小さな磁石を作ることができる
 - 弱い磁力線の変化を検出できる

狭いすきまで非接触浮上させるために
動圧気体軸受の原理を応用

- 狭いすきまでは空気の粘性効果が増大する
 →空気を潤滑剤として利用することができる
 (潤滑油を使用するとすきまが大きくなり過ぎる、摩擦が大きくなり過ぎるなどの問題がある)
- 空気の粘性は潤滑油の粘性の 1/1000 程度であり、狭いすきまの形成に有利である。空気膜は破断しやすいという弱点がある

動圧気体軸受の原理



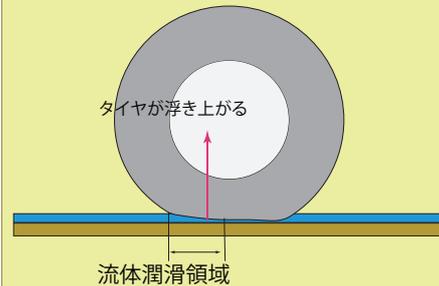
ディスク回転 →
 ディスク回転空気流が未狭まりのすきまに押し込まれるときに圧力が発生する
 この圧力によりスライダがディスク上に浮上する



10 nm のイメージ  飛行場のアリの背丈

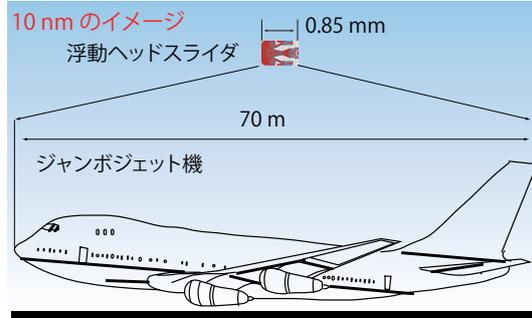
動圧流体軸受の身近な例

例：雨の日に車のタイヤがスリップする
 きれいな机の上で配ったトランプが滑る



浮上すきまの狭小化の推移

1957年：20,300 nm
 2008年：<10 nm



ジャンボジェットが地上を1 mmで飛んでいる!

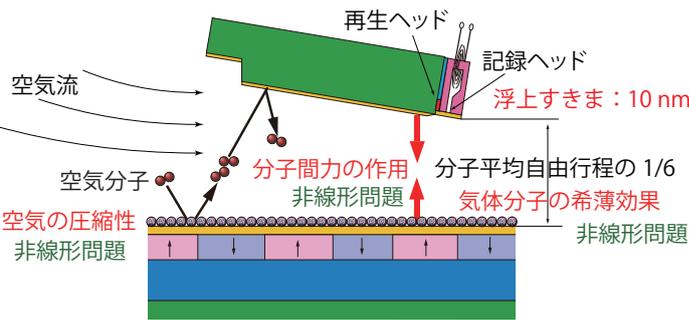
図 11 浮動ヘッドによる高度 10 ナノメートルの極限飛行 (資料提供：三矢保永名誉教授)

浮動ヘッドの浮上解析シミュレーション

—浮動ヘッドの潤滑面形状を最適設計するための手法—

資料は名古屋大学・三矢保永名誉教授の提供による

記録密度を高めるためには、ヘッドとディスクのすきまの狭小化が必須である。しかし、空気膜は弱いのでヘッドとディスクが接触損傷しやすくなる、わずかのすきまの変動によって記録再生動作にエラーが生じる、という問題がある。そこで、1) 破断されにくい空気膜（剛性・減衰が大きい）を作る、2) すきまが変動しにくい空気膜を作る、3) 異物が排除されやすい空気流路を作るなどのために、浮上解析シミュレーションが採用されている。



- すきまの変動要因**
- 1) 速度変動（内周⇄外周）
 - 2) ヨー角変動（内周⇄外周）
 - 3) 外乱・衝撃
 - 4) 雰囲気温度・圧力

浮上解析シミュレーション

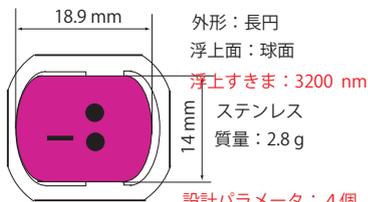
すきま変動要因に対してすきまが一定になるように設計パラメータを最適化する

シミュレーションの基礎式

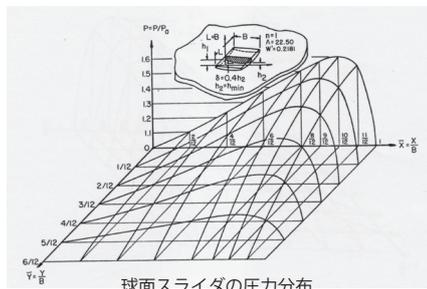
空気薄膜の特性→高度に非線形な楕円型の偏微分方程式
圧縮性潤滑方程式（レイノルズ方程式）

1964年 (IBM2311型)

IBMが開発した磁気ディスクをメモリに使用して、初めて浮上解析を行った (Gross, W. A., Numerical Analysis of Gas Lubricating Film, First International Symposium on Gas Lubricated Bearings, Oct. 26-28, 1959)



外形：長円
浮上面：球面
ステンレス
質量：2.8 g
設計パラメータ：4個
シミュレーション：差分法
格子点総数：13×7=91点

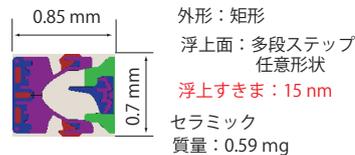


球面スライダの圧力分布

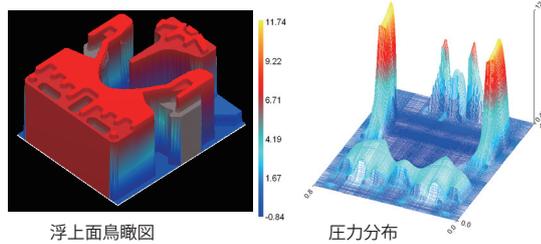
Number Data												
1.0529	1.1090	1.1689	1.2328	1.3005	1.3711	1.4446	1.5205	1.5971	1.6749	1.7536	1.8331	1.9134
1.0518	1.1064	1.1648	1.2268	1.2925	1.3609	1.4309	1.5023	1.5749	1.6486	1.7234	1.7992	1.8759
1.0484	1.0990	1.1524	1.2089	1.2684	1.3301	1.3920	1.4552	1.5194	1.5846	1.6507	1.7177	1.7856
1.0426	1.0880	1.1311	1.1785	1.2281	1.2797	1.3329	1.3879	1.4434	1.4994	1.5559	1.6129	1.6704
1.0336	1.0665	1.1000	1.1348	1.1710	1.2084	1.2473	1.2876	1.3292	1.3720	1.4158	1.4606	1.5063
1.0203	1.0389	1.0573	1.0763	1.0959	1.1158	1.1351	1.1542	1.1733	1.1924	1.2114	1.2303	1.2491

数値データ (京都大学矢部寛名誉教授より提供)

2008年 (Femto型)

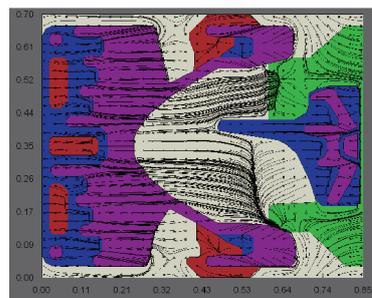


外形：矩形
浮上面：多段ステップ任意形状
セラミック
質量：0.59 mg
設計パラメータ：≒無限大
シミュレーション：有限体積法
格子点総数：321×321=103,041点



浮上面鳥瞰図

圧力分布



浮上面内の流線 (黒い線)

図12 浮動ヘッドの浮上解析シミュレーション (資料提供：三矢保永名誉教授)

ものトランジスタが作られたのである。

世界初のスーパーコンピュータは1960年代半ばに登場したCDC6600で、計算性能は1MFlops程度だった。現在では、クロック周波数を高くしたり、複数の演算を連続的に処理したり、1つのCPU内にたくさんの演算装置を配置したりといったCPU製造技術の向上や、ネットワークで多数のコンピュータを接続するなどして、1PFlopsもの性能を持つに至っている。50年で実に10億倍も性能が向上したわけである。

ハードディスクの高容量化も顕著である。1956年に作られた世界初のハードディスクは総容量がわずか4.4MBしかなく、1MBあたりの金額は3,780万円に達した。現在では、ノートパソコンに使われる2.5インチサイズで160GB程度、デスクトップパソコンに使われる3.5インチサイズで500GB～1TBと高容量化され、1MBあたりの金額は0.05～1円程度と飛躍的に減少している。これには単位面積当たりの記憶密度の高密度化、浮動ヘッドスライダの小型化などが貢献している。

メインメモリの高容量化も同様である。1950年代～1970年代初めに使われていたコアメモリは8～150KB程度の容量しかなかったが、1970年代になるとコアメモリの代わりに半導体メモリが使われるようになり、現在では1つのメモリLSIあたり128MB、通常のパソコンでも1つのコンピュータあたり8GB程度も搭載することが可能となっている。

実物展示（図13～14）

ハードディスクのカットモデル（図13）を展示した。説明パネルは、「磁気ディスク記憶装置NTT GEMMY この装置は、世界で初めて薄膜媒体と薄膜ヘッドを同時に搭載することにより、面記録密度が1平方ミリメートルあたり62キロビットとなって、1986年開発当時世界一でした（このときの浮上すきまは200ナノメートル）。なお、2008年現在の最高記録密度は、この6,250倍になっています（本装置を開発された三矢保永名誉教授のご教示によります）」とした。さらに、真空管、開発初期と最新のCPU、コアメモリや半導体メモリ、初期の浮動ヘッドスライダなどを展示した（図14）。

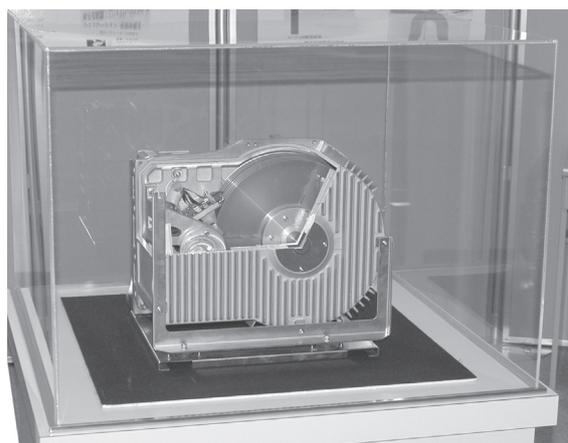


図13 ハードディスクのカットモデル

計算機シミュレーションで広がる世界（図15～28）

関連する研究グループによる最新研究がポスターで紹介された。液体や気体、荷電粒子などの流れのシミュレーション、スケジュールの自動作成、手術シミュレーション、社会現象のシミュレーション、タンパク質やゲノム情報の解析など、非常に幅広い分野で計算機シミュレーションがなくてはならないものであることが認識される。このうち、「身の回りの様々な流れシミュレーション」（図15）、「竜巻から台風までのシミュレーション」（図16、17）、「看護師勤務表自動作成支援システム」（図18）、「宇宙環境をコンピュータで作る：地球」（図22）、「人体シミュレーション」（図23、24）については、来館者が自由に触れるパソコンを用意し、計算機シミュレーションを実際に体験してもらったり、説明画像を放映した（年少者向けパネルや画像の説明パネルの内容は省略する）。

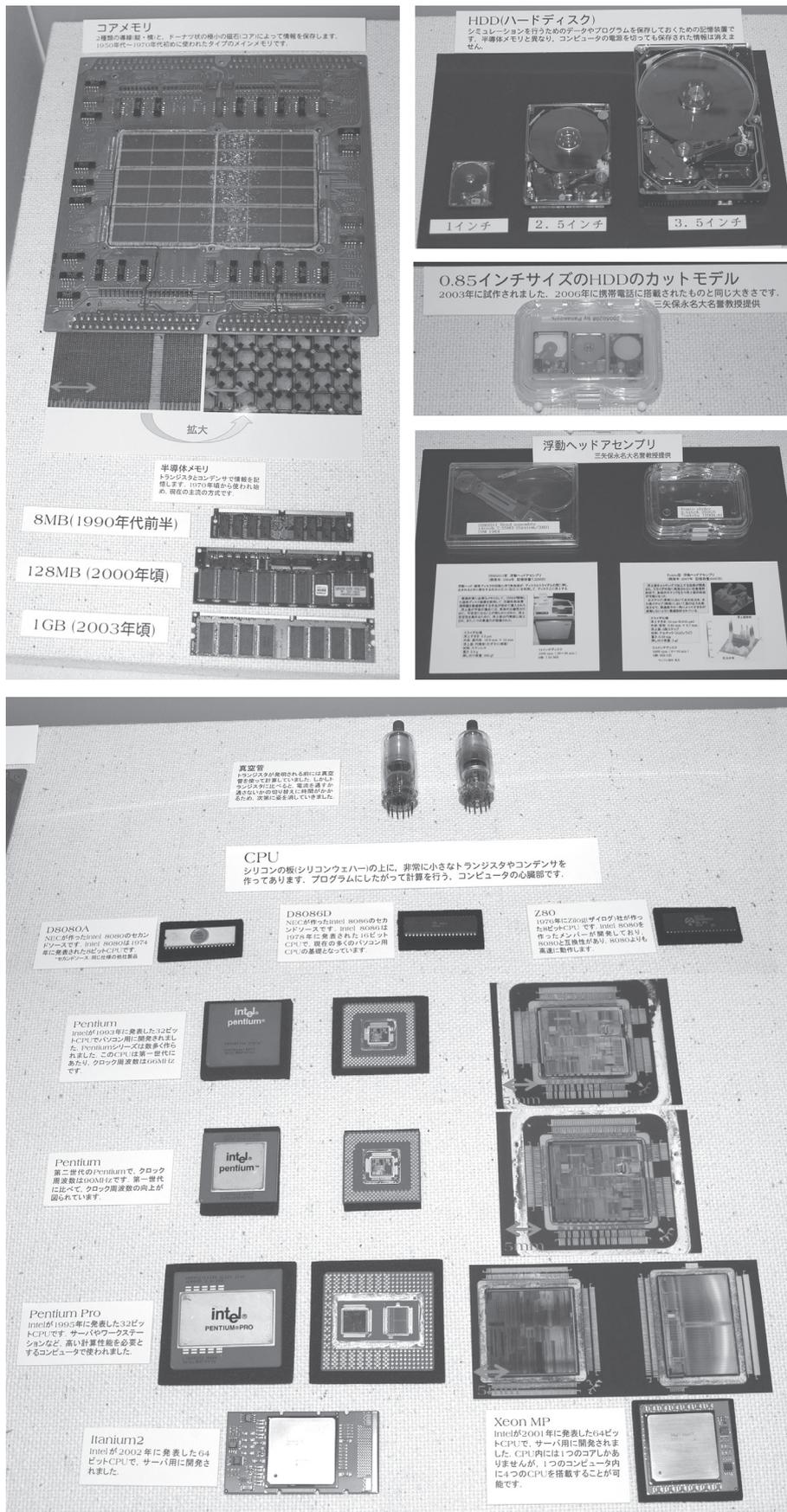


図 14 真空管、開発初期および最新のCPU、コアメモリ、半導体メモリ、初期の浮動ヘッドスライダなどの実物展示

身の周りの様々な流れシミュレーション

情報連携基盤センター大規模計算支援環境研究部門(石井克研)
教授: 石井克研 准教授: 平野晴 助教: 永井亨

数値計算が理論・実験に並ぶ第3の手法となりつつあります。
身の周りの流れに対して行われている研究の一部を紹介します。

未来を予測する

(左)ジェット気流による渦、(右)大気密度変動 (左)ジェット気流による渦、(右)大気密度変動

地球の温暖化や天気予報などを正確に予測するためには、地球規模の物理現象と局所的な物理現象両方を研究する必要があります。ジェット気流や山脈を越える風など強い回転成分を持つ流れからできる波(密度や圧力の変化)の発生メカニズムを解明することで温暖化の予測や天気予報などの高精度化を目指しています。

安定な飛行を目指して

翼は傾きを大きくするほど揚力(物体を上へ押し上げる力)が大きくなります。しかし、傾きを大きくし過ぎると剥離(空気が翼に沿って流れない)が起こり翼は失速してしまいます。図では翼の前部にスปีーカをつけることで流れの剥離を抑えることを示しています。これにより騒音の低減、燃費の向上を目指しています。

微小機器の設計をサポートする

数値計算

実験

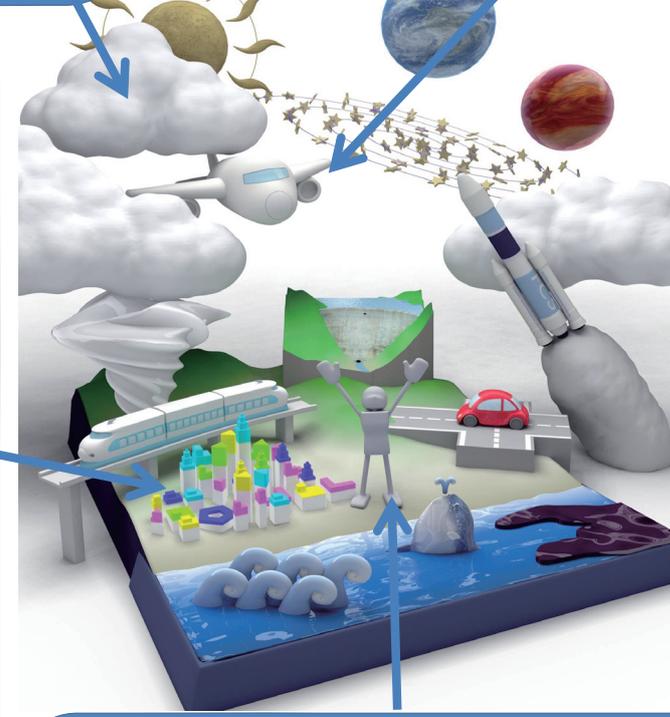
2円柱を通る流れの様子

マイクロメータスケールの微小な実験での観測が困難な場合数値計算は有用です。数値計算で実験の再現を行い、実験では得難い物理量を得ることができます。これは新たな実験器具の設計などに使われています。

エネルギーの高効率な使用を目指して

熱音響現象を利用した冷凍機 (パーベキューラー) 模式図

細い管に強い温度勾配をつけると、管内に音波が発生(熱音響現象)し、低温部から高温部への熱の輸送や発電が可能になります。



上図は温度勾配をつけた細管内の温度分布を表しています。高温部(黄色)が移動し、熱の輸送が行われていることがわかります。

新しい医療の形を作る

人体の中の血管中の血流や気管支中の空気の流れがシミュレーションの対象になっています。その流れを解析することにより高度な医療診断、手術の影響を事前に予測することが可能になります。

診断データから血流のシミュレーションを行いました。その結果、血管にかかる力の様子から動脈瘤の方向が黄色の部分が多く、動脈瘤が破裂する危険が高いことがわかりました。

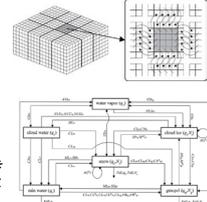
動脈瘤摘出後の血管にかかる力の変化

図 15 身の回りの様々な流れシミュレーション (作成: 情報連携基盤センター大規模計算支援環境研究部門 石井研究室)

竜巻から台風までシミュレーションできる 雲解像数値気象モデル CReSS

地球水循環研究センター 気象学研究室

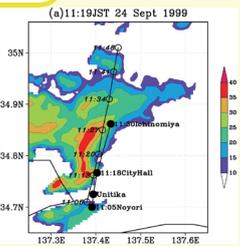
<http://www.rain.hyarc.nagoya-u.ac.jp>

<p>研究開発の目的</p> <p>現在の気象予報（シミュレーション）は、一辺10kmから20kmの樹目（メッシュ）で行われている。そのため、集中豪雨、突風、竜巻などの局所的な現象の正確な（つまり、雨量はどれだけかといった定量的な）予報は、十分にできない。この樹目を1km四方程度にまで小さくすれば、局所的な現象の予報がずっと精密になる。役今問題になっている集中豪雨や突風などの対策にも役立つ。これを可能にする雲解像数値気象モデルである。</p>	<p>新規性・独創性</p> <p>このモデルは雲そのものを直接表現するものであり、水平解像度が1kmのオーダーであるので、局地豪雨などの激しい雨について定量的に予測することができる。それにより豪雨に伴う災害をより精度よく予測できる可能性がある。またこのモデルCReSSは大規模並列計算機からP.C.クラスターまで、様々な計算機プラットフォームでの実行が可能である。</p>	<p>データ取得と処理過程</p> <p>初期値・境界値データ提供 → 気象業務支援センター → CReSS クラスタマシン → Output</p> 
<p>雲解像数値気象モデル (CReSS) の概要</p> <p>CReSS (Cloud Resolving Storm Simulator) は雲スケールからメソスケールの現象の高精度シミュレーションを行うことを目的として開発された雲解像の非静力学気象モデルである。雲、特に強い降水(豪雨)をもたらす積乱雲とその組織化したものは、非常に複雑なシステムで、流れの場と雲物理の複雑な非線形相互作用でその発展が規程される。このような降水システムを数値モデルによってシミュレーション(予報)するためには、大気場のプロセスとともに雲物理学過程を詳細に計算することが本質的に重要である。CReSSは並列計算機で効率よく実行できるように設計されており、その並列計算により雲と降水の詳細な時間発展のシミュレーションを行うことができるモデルである。</p> 		

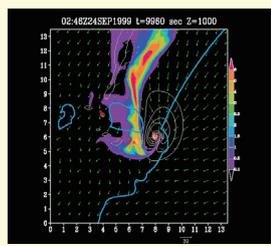
竜巻の事例



1999年9月24日愛知県豊橋市で発生した竜巻の写真。(佐々木滋夫さん撮影、読売新聞中部本社提供)



(a)11:19JST 24 Sept 1999



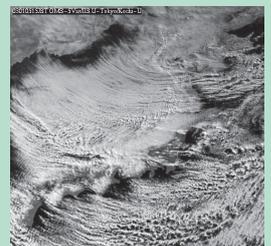
02:48Z24SEP1999 t=9980 sec Z=1000

1119JSTにおける高度2kmにおけるレーダー反射強度。白と黒のドットはそれぞれ、メソサイクロンと竜巻の位置。CReSSで再現された高度1kmの雨と気流の分布。白実線で上昇流、赤実線で鉛直渦度、青実線で前線を示す。

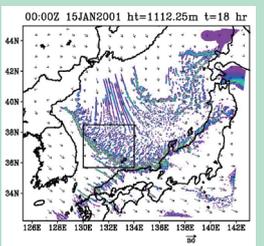
CReSSで再現された鉛直渦度(煙状のもの)と、地表面における温度偏差(カラー)の三次元分布(竜巻に対して西側からの視点(上)と南側からの視点(下))。

1999年9月24日 愛知県豊橋市

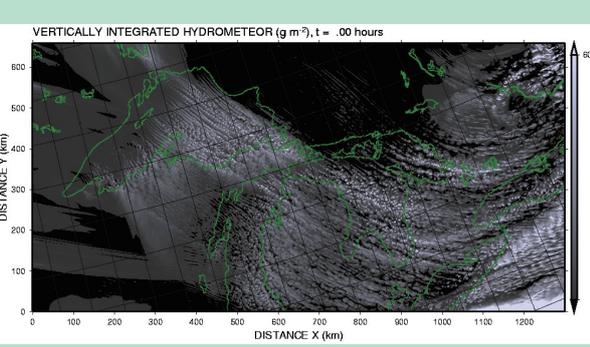
雪雲の事例



2001年1月15日に日本海で観測された筋状雲の衛星画像。



00:00Z 15JAN2001 ht=1112.25m t=18 hr



VERTICALLY INTEGRATED HYDROMETEOR (g m⁻²), t = .00 hours

CReSSで再現された降水粒子の混合比の鉛直積算量と風の分布。

冬季日本海側に多くの降雪をもたらす筋状雲の研究。

2001年1月15日 日本海の筋状雲

1997年2月8日
カナダ・五大湖周辺

五大湖周辺での冬季筋状雲の再現実験。CReSSで再現された、全ての降水粒子の混合比を鉛直積算した量の分布。

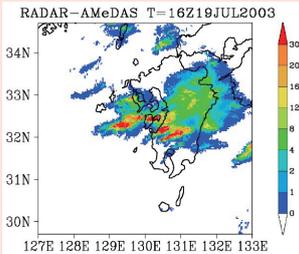
図 16 竜巻から台風までのシミュレーション (作成：地球水循環研究センター 気象学研究室)

集中豪雨の事例

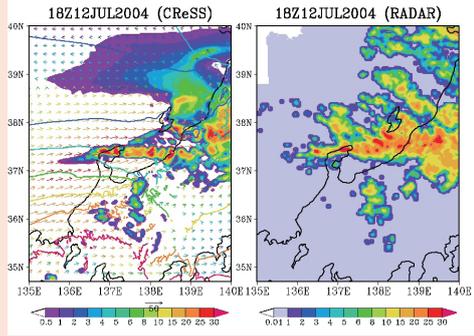
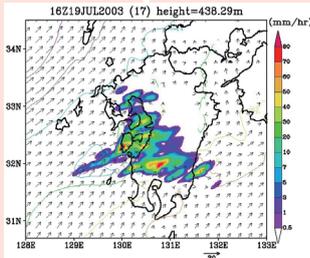
2003年7月19日 熊本県水俣市 水俣豪雨

九州西岸で発生する地形性降雨を再現できた。南西から暖かく湿った空気が流入し続けた事が豪雨を引き起こした事がCRESSの再現結果から明らかにされた。

7月19日16時における
気象庁レーダーアメダス合成図



CRESSで再現された
高度438mにおける降水強度分布と
水平風と気圧分布(等値線)



CRESSで再現された
高度438mにおける
降水強度分布と
水平風と気圧分布(等値線)

7月12日18時における気象庁
レーダーが観測した
高度2kmの降水強度

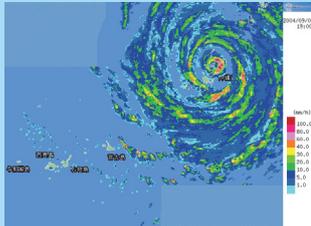
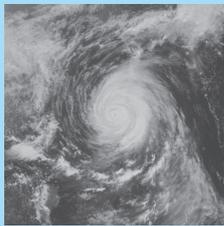
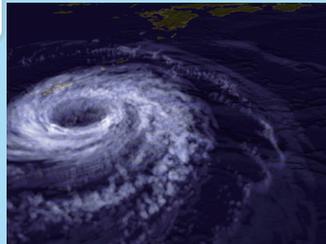
太平洋高気圧の縁に沿って、西から暖かく湿った空気が新潟地方に流入しつづけた事が豪雨を引き起こした。

2004年7月12日 新潟・福島豪雨

台風事例

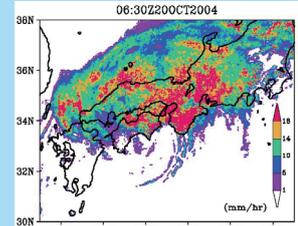
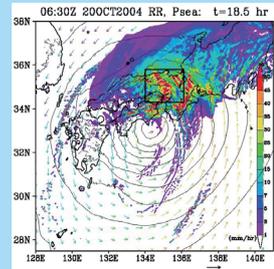
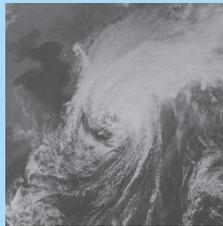
2004年9月5日 台風18号

全国的に暴風災害をもたらした台風18号の衛星画像(下)、レーダー画像(右下)とCRESSが再現した高度2kmにおける雨と気圧の分布(右)。

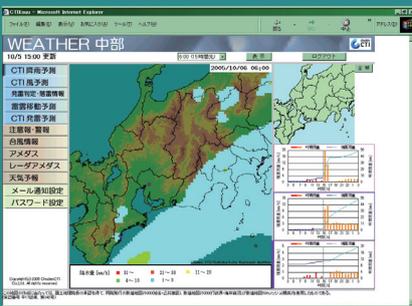


2004年10月20日
台風23号

全国的に豪雨災害をもたらした台風23号の衛星画像(下)、レーダー画像(右下)とCRESSが再現した高度2kmにおける雨と気圧の分布(右)。等値線で気圧を示す。



産学の連携事業



中電シーティーアイ提供の降雨予測マップ



TOSHIBA提供の降雨予測マップ

実用化と産学連携

このモデルCRESSは実用化が進みつつある。左の「予測マップ」はその例である。豪雨や豪雪、突風、さらには夏季の酷暑の短時間(12時間から24時間)予報が可能になり、災害の軽減や防災に貢献することが期待される。

実用化への見通し

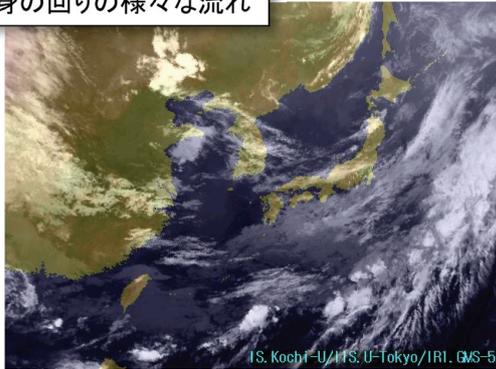
ここで開発した雲解像数値気象モデルCRESSおよび予測システムは、適切な手続きをふめば、研究用のみならず民間の気象に関わる機関や行政機関などで実際に稼働できるようにすることが可能である。またすでに実用化された例もある。ここに示した例は、(株)東芝と(株)中電シーティーアイとの共同研究を行い、CRESSモデルを現在実用化したものである。それぞれ局地的な気象予測に用いられている。

図17 図16の続き

乱れた流れを「計算」科学する

名古屋大学大学院工学研究科計算理工学専攻金田研究室

身の回りの様々な流れ



流体の方程式

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + (\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \nu \Delta \mathbf{u} + \mathbf{f}$$

$$\nabla \cdot \mathbf{u} = 0$$

\mathbf{u} : 速度
 t : 時間
 ρ : 密度
 p : 圧力
 ν : 動粘性係数
 \mathbf{f} : 外力

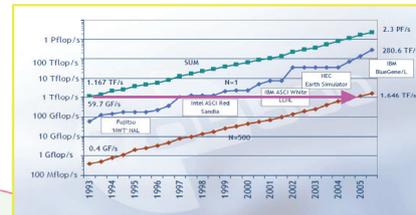
ミレニアム問題
 解決したら100万ドル

→ 計算機で解けばいい。しかし、レイノルズ数

$$Re = \frac{(\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u}}{\nu \Delta \mathbf{u}} \approx \frac{U^2/L}{\nu U/L^2} = \frac{UL}{\nu}$$

U : 代表速度
 L : 代表長さ

が大きい乱れた流れの計算には Re^3 に比例したコストが必要
 → 巨大な計算資源が必要



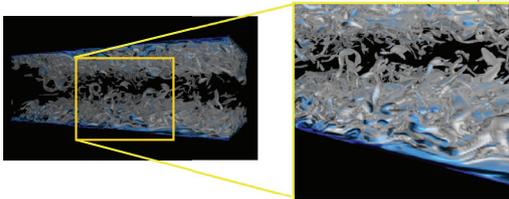
Kilo 10^3
 Mega 10^6
 Giga 10^9
 Tera 10^{12}
 Peta 10^{15}
 Exa 10^{18}

世界のスーパーコンピュータtop500の発達

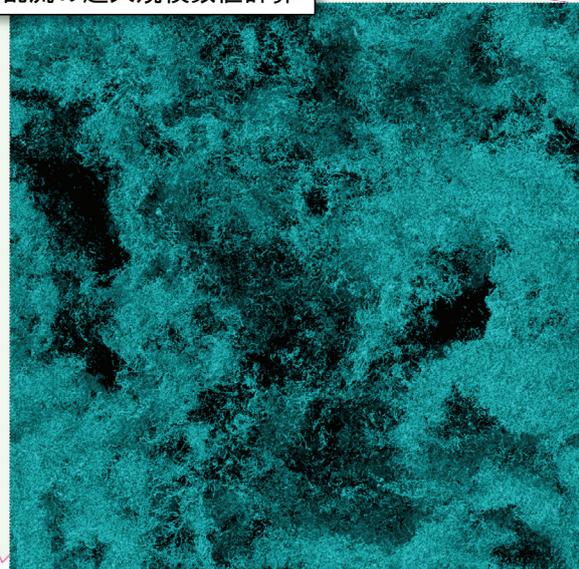
乱流の超大規模数値計算

乱れた流れは我々の身の回りのいたるところにあります
 乱れた流れにより物質は良く混ざり、良く広がります
 乱れた流れはひとつとして同じものがなく、再現性はありません
 しかし、全くでたらめというわけでもありません

乱れた流れの「統計法則」を理解することが
 複雑な流れの「予測」と「制御」の技術の向上につながります



平行平板間乱流の大規模直接数値計算
 壁のある最も基礎的な乱流場
 ポリマー添加による抵抗低減効果などの基礎研究も盛ん



Earth Simulatorを用いた乱流の世界最大規模直接数値計算
 屋内の乱流実験で得られる最大 Re 乱流に匹敵する乱流場が計算機上で実現
 これにより高 Re 乱流の詳細な解析が可能に

図 18 乱れた流れを計算科学する (作成: 工学研究科計算理工専攻 金田行雄、石原卓)



凝集反応系の計算科学 - 生命現象の微視的理解にむけて

道具は世界/世界観を変える !!
例: 望遠鏡→宇宙観、顕微鏡→医学・生命観

新しい道具“コンピュータ”の出現
→コンピュータを通して観る“新しい世界観”

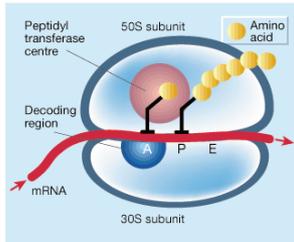
計算科学 = コンピュータの高度利用に基づく科学
実験、理論 とならぶ第3の科学へ

→ 凝集反応系における超多自由度現象の解明、
詳細情報の獲得

超多自由度凝集反応系の計算例

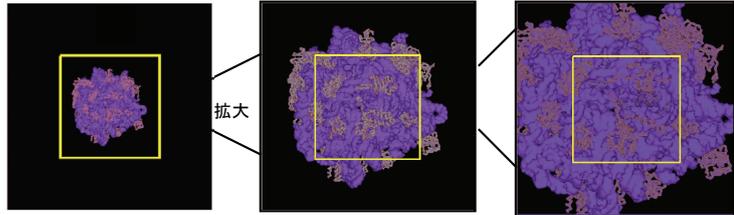
①

タンパク質はどのように合成されるか？

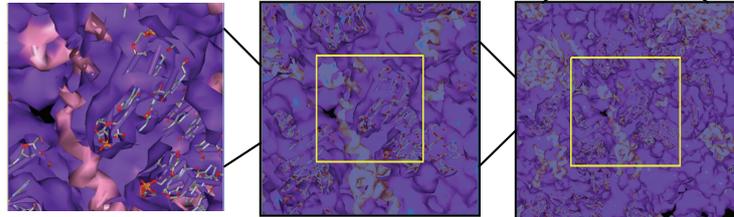


タンパク質を合成中のリボソーム。メッセンジャーRNAは2つのサブユニット(50S、30S)の間にはさまれた形で遺伝情報を読み取られる。一方、合成されたペプチドは50Sサブユニットの中央部にある長いトンネルを通り外部に押し出されていく。分子レベルの作用機構解明が期待されている。

リボソームの全体像



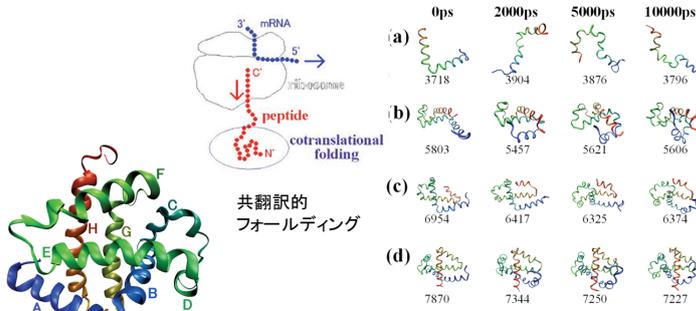
トンネル内部の原子配置



超並列計算手法を駆使した蛋白質の全原子直接シミュレーション
リボソームサブユニット 50S(分子量=約280万)
今後の計算能力の飛躍によって実現可能

②

合成された後、どうなるのか？



アポミオグロビンの天然構造

合成後のタンパク質は、自発的に折り畳まれ、機能を発現する構造(天然構造)となる。このようなタンパク質の折り畳み(フォールディング)機構解明は重要な課題である。

リボソーム上で合成され、伸長途中にあるタンパク質部分鎖は、リボソームから外へと露出し、部分的なフォールディング(共翻訳的フォールディング)をするとされている。しかし、実際に共翻訳的フォールディングがどのように進行するのかは詳しくは分かっていない。そこで、ヘリックスのみから成るタンパク質(アポミオグロビン)の構造が部分鎖においてどの程度安定であるのかを、全原子シミュレーションを実行し、調査した。その結果、短い部分鎖ほどヘリックス構造は不安定であるのに対し、長い部分鎖ではヘリックス構造が安定であることが示された。

【参考文献】M. Takayanagi, I. Yu and M. Nagaoka, *Chem. Phys. Lett.*, 421, 300 (2006).

超多自由度の計算によって初めて直接的に多階層スケールにわたる合成、フォールディング過程を捉えることができる。

“分子生物学の長年の夢”
コンピュータ利用による原子レベルからの生命現象解明のブレイクスルー！

本研究は、名古屋大学大学院情報科学研究科 長岡研究室 および、本学21世紀COE「計算科学フロンティア」が推進しております。



図 19 凝集反応系の計算科学 (作成: 情報科学研究科複雑系科学専攻 長岡研究室)

看護師勤務表自動作成支援システム

名古屋大学大学院工学研究科
計算理工学専攻 吉川大弘

看護師さんの勤務表を作るのは大変!?

1. 考えられる組み合わせ数が膨大!!

	月	火	水	木	金	土	日
Aさん	日勤	日勤	休み	夜勤	夜勤	休み	夜勤
Bさん	夜勤	休み	日勤	日勤	休み	夜勤	休み
Cさん	休み	夜勤	夜勤	休み	日勤	日勤	日勤

平成×年×月×週目 Aチーム勤務

組み合わせ数 $\approx 10^{800}$ 通り

勤務形態の種類 (人数×日数) = 8^{900}
(8種類) (30人)×(30日)

考えられる組み合わせを全部作っていると、
日が暮れてしまう...

2. 考慮すべき制約条件が多い!!



夜勤人数足りないと困るなあ。
一人を働かせ過ぎても、
休まれ過ぎてもなあ。
新入りばかりでもダメだし、
ベテランばかりでもねえ...

現在は、毎月看護師長さんが、
休日返上で2~3日かけて作っている。



看護師長さんの負担を減らしたい!!

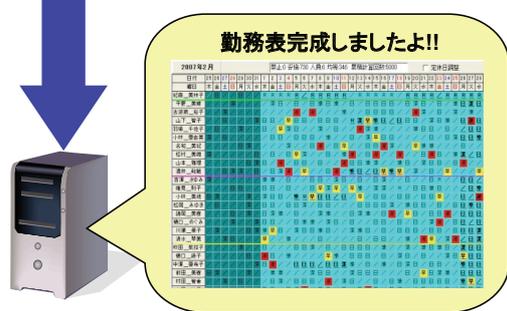
勤務表自動作成支援システム

コンピュータで勤務表を自動的に作成します!!

1. コンピュータに制約条件を伝える



2. 遺伝的アルゴリズムで勤務表を求める!!



3. 勤務表を軽く修正すれば完成!!

遺伝的アルゴリズムとは

手順1. ランダムに組み合わせ(候補)を複数作ってみる
A: ダイヤと指輪と時計 B: 貯金箱と腕輪
C: 腕輪と指輪と時計

手順2. 作った候補の強さ(価値)を計算してみる
候補Aは、5万円
候補Bは、1万円
候補Cは、4万円
→ AとCが生き残る

手順3. 良さそうな候補(親)の要素を積極的に組み合わせ
新たな候補(子)を作ってみる
(凄いや親の子供はきっと凄いやだろう(まさに遺伝的))

手順4. 手順2に戻る(繰り返し: 次世代へ)

全パターンを試すより 遙かに短い時間で、
良い組み合わせが見つかる手法

→ 看護師勤務表の作成にも使える!!

組み合わせの数	全て試す	遺伝的アルゴリズム
50個 (10 ¹⁵ 通り)	600万時間	数秒
100個 (計算不能)	数万年	数分

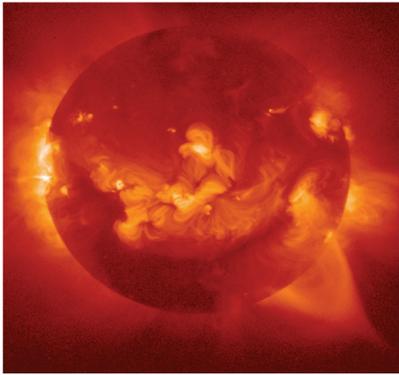
図 20 看護師勤務表自動作成支援システム (作成: 工学研究科計算理工学専攻 吉川大弘)

宇宙環境をコンピュータで作る：太陽・惑星



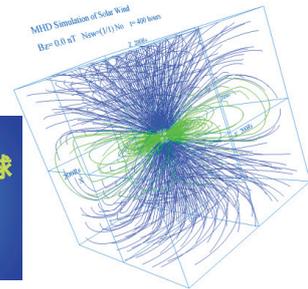
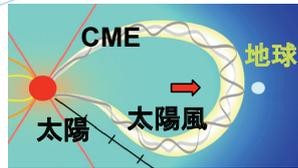
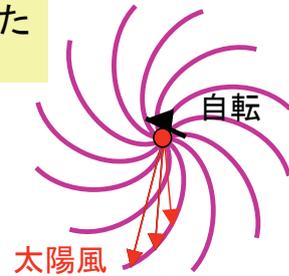
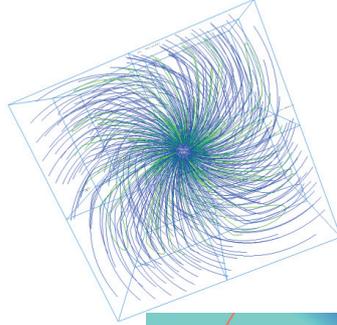
名古屋大学 太陽地球環境研究所 ジオスペース研究センター

太陽

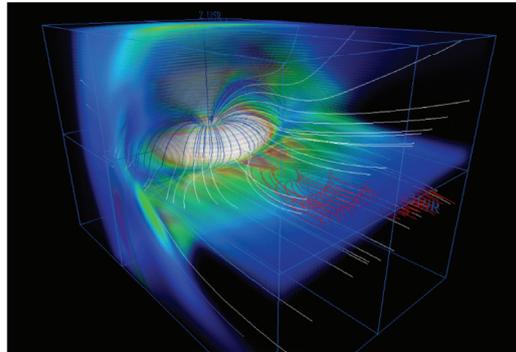


太陽からは、太陽内部の核反応によって生じた電気の粒子が吹き出しており、これを太陽風と呼びます。太陽は磁場を持っており、太陽風によって地球まで運ばれます。太陽表面では激しい爆発現象(太陽フレア)も発生し、高エネルギー粒子と磁場のかたまりが地球に飛んできて、地球にさまざまな影響をあたえます。

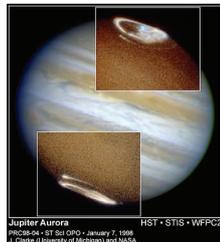
コンピュータで再現した太陽の磁力線



コンピュータで再現した木星の磁気圏

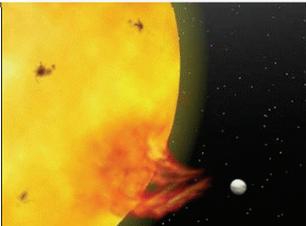
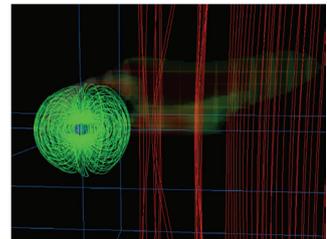
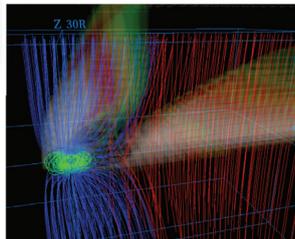


惑星



太陽系には、地球以外に火星、水星、金星などさまざまな惑星があります。土星や木星などの固有磁場を持つ惑星は、地球と同様にオーロラが発生します。太陽系の外にも太陽と同様の恒星や惑星が存在します。太陽系の外には、木星のようなガス惑星が恒星のすぐそばにあるような状況が見つかっています。

コンピュータで再現した太陽系外惑星「ホットジュピター」の磁気圏



「ホットジュピター」(熱い木星)のCG 恒星のコロナの中にガス惑星がある。

直接観測できない現象をコンピュータ内で予測することができる！

図 21 宇宙環境をコンピュータで作る：太陽・惑星 (作成：太陽地球環境研究所ジオスペース研究センター)

宇宙環境をコンピュータで作る：地球

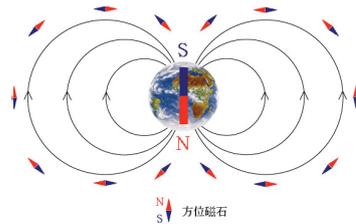


名古屋大学 太陽地球環境研究所 ジオスペース研究センター

地球

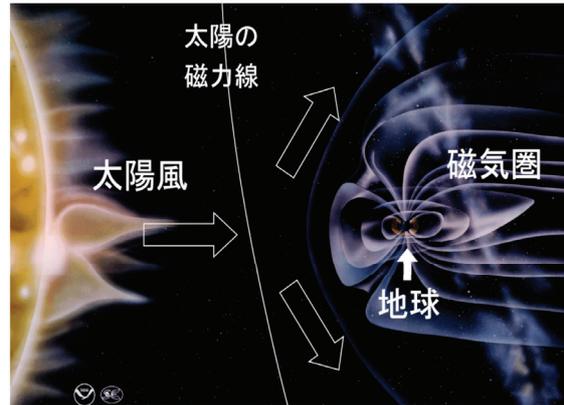


地球の磁力線



地球の周りには太陽から電気の粒子の風（太陽風）が吹き荒れていますが、地球は固有磁場によって太陽風から守られ、「磁気圏」をかたち作っています。太陽風と惑星間磁場は地球の磁気圏にさまざまな影響をもたらし、オーロラなどの原因となります。

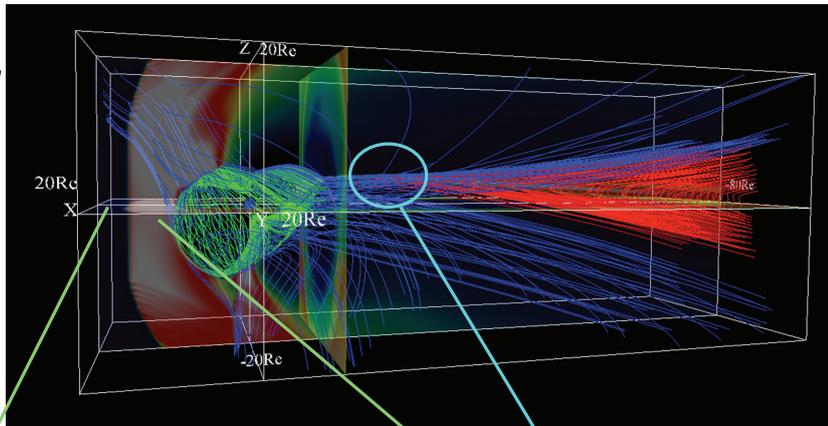
太陽風と惑星磁気圏



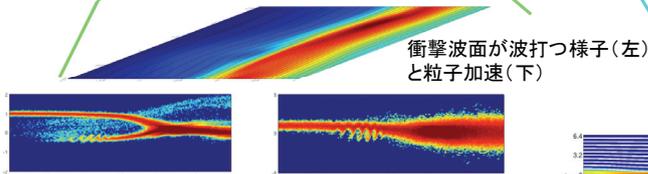
太陽と反対側の磁力線が引き伸ばされ、“磁気圏のしっぽ”ができる

コンピュータで再現した磁気圏

太陽風

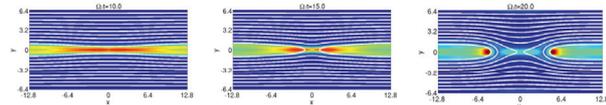


緑の線
北極と南極で地球につながった磁力線
青い線
北極または南極の片方で地球につながった磁力線
赤い線
地球につながっていない磁力線
色
粒子の温度



音速よりも速い太陽風が、地球の磁気圏にぶつかることによって「衝撃波」が発生し、粒子のエネルギーが上昇する。

磁気圏のしっぽで、磁力線のつながりかえ「磁気リコネクション」が発生し、青い線が緑の線と赤い線にかわる。



太陽風と地球磁気圏

地球は固有磁場を持ち、磁力線が地球の周りにひろがっています。太陽から噴出された電気の粒と太陽の磁力線からなる太陽風が地球に吹き付けるため、地球磁場は引きのぼされます。太陽で大きな爆発があると、そのエネルギーは太陽風とともに地球にやってきて、磁気圏は大きく変化し、「磁気嵐」が起きます。

図 22 宇宙環境をコンピュータで作る：地球（作成：太陽地球環境研究所ジオスペース研究センター）

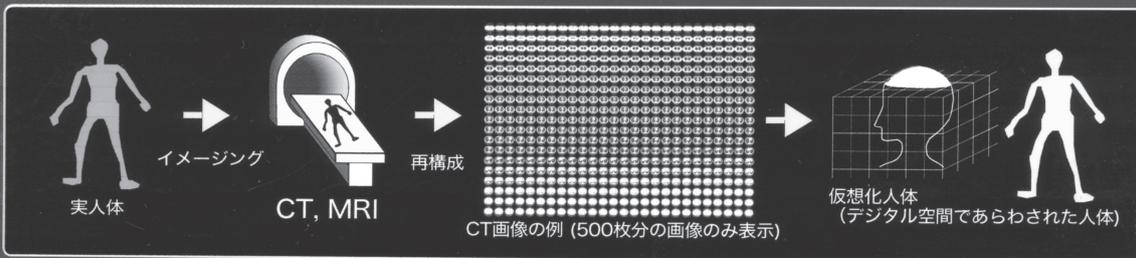
人体シミュレーション —画像に基づく手術シミュレーション—

名古屋大学大学院情報科学研究科 森 健策

概要 医療の場で撮影されるCTスキャン画像やMRスキャン画像を用いた手術検査のシミュレーションです。人体を切らずに何回でも練習や観察ができます。また、仮想化内視鏡は、患者に苦痛を与えることなく臓器の中を観察することができます。さらに病気が疑われる場所をコンピュータが教えてくれます。最先端の医療で欠かせない技術として注目されています。

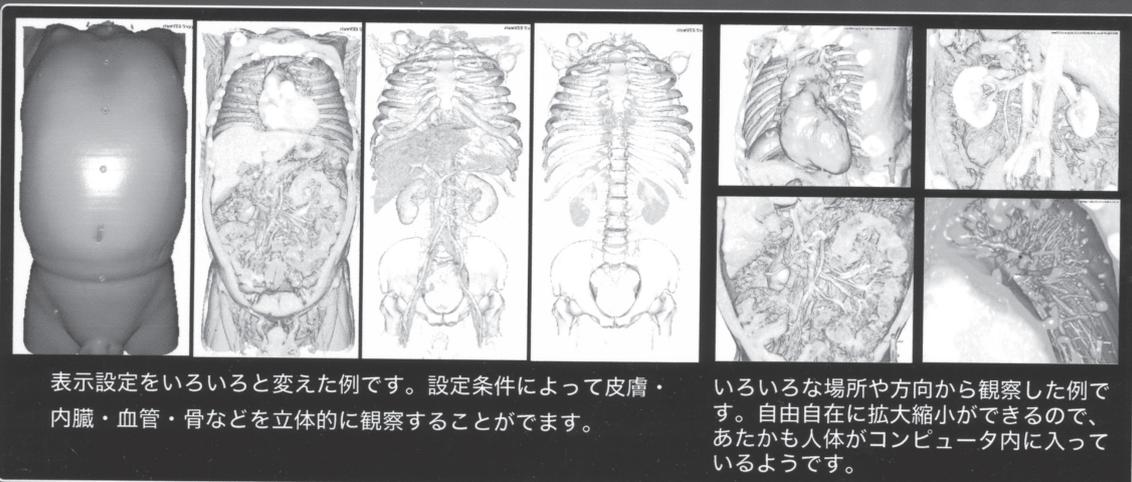
1. 医用画像と仮想化人体

- ・ 医用画像とは病院などで撮影されるX線写真やCT画像のことです。
- ・ 最新のCTスキャンでは0.5mm単位で人体を輪切りにして画像として映し出すことが可能です。
- ・ たくさんのCT画像を積み上げるとデジタルの世界での人体が完成します(仮想化人体)。
- ・ 格子上に区切られた一つ一つ(ボクセル)がその場所における組織情報を表します。



2. 仮想化人体をのぞいてみよう

- ・ コンピュータグラフィックスの技術を使って仮想化人体を表示します。
- ・ 表示の設定を変えればいろいろなものが見えます。
- ・ いろいろな視点位置・方向から観察でき各患者さんの体の中の様子を画面上でシミュレーションできます。



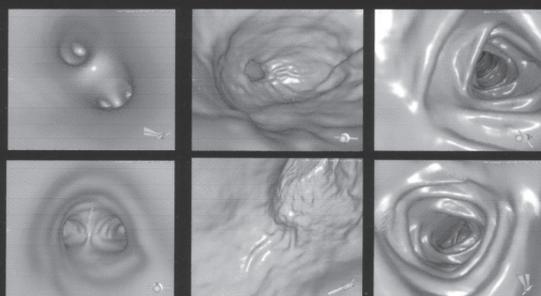
表示設定をいろいろと変えた例です。設定条件によって皮膚・内臓・血管・骨などを立体的に観察することができます。

いろいろな場所や方向から観察した例です。自由自在に拡大縮小ができるので、あたかも人体がコンピュータ内に入っているようです。

図 23 人体シミュレーション (作成：情報科学研究科メディア科学専攻 森健策)

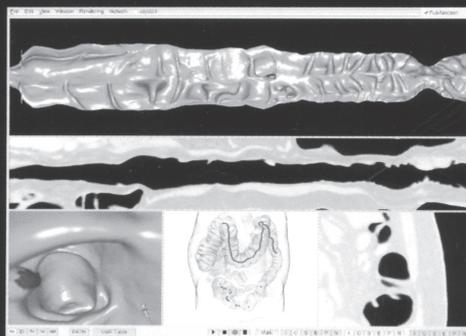
3. 仮想化内視鏡 – 内視鏡のシミュレーション

- ・ CT画像などからあたかも内視鏡で観察した様な画像をシミュレーションできるシステムです。
- ・ 仮想化人体観察時に仮想カメラを人体内部に設定することで実現されます。
- ・ マウスを用いて気管支や血管内などを自由にフライスルーすることができます。
- ・ 大腸の場合一直線にのばして展開して表示することもできます。
- ・ 大腸ポリープなど病気の部分を画像処理で自動的に発見することも可能です。



気管支 胃 大腸

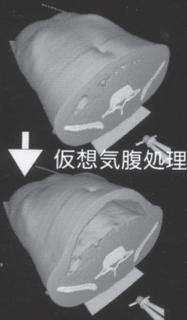
仮想化内視鏡システムを用いてCT画像から仮想的な内視鏡画像を作成した例です。管状臓器の壁の状態を観察することができます。



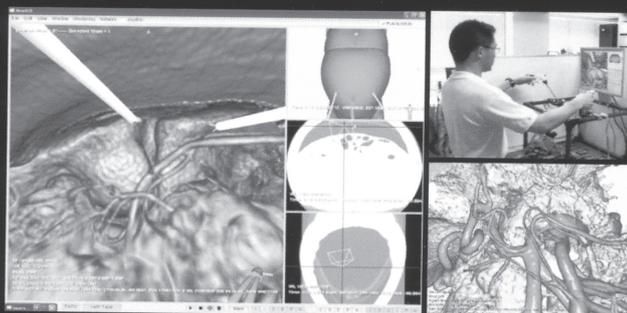
大腸内部観察に特化した仮想化内視鏡システムです。大腸を展開した画像や大腸ポリープ自動発見結果(青くマーキング)を表示できます。

4. 仮想化内視鏡を利用した手術シミュレーション

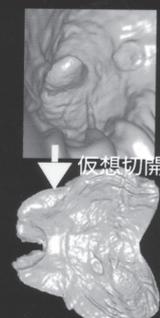
- ・ 仮想化内視鏡システムを用いて腹腔鏡 (お腹の手術のときに用いる内視鏡) を使った手術のシミュレーションができます。
- ・ 腹腔鏡手術を行う時にはガスを入れてお腹を持ちあげます(気腹)。このシステムでも「質点ばね変形モデル」と呼ばれる計算方法を用いて気腹のシミュレーションをしています。
- ・ 画像解析の結果を利用して、それぞれの臓器を違った色で表示することもできます。
- ・ これを利用してお医者さんは手術のトレーニングをしたり、明日手術する患者さんのリハーサルを行ったりします。
- ・ 他にも胃の切開シミュレーションなどがあります。



お腹の持ち上げりをシミュレーションした例です。



気腹結果と仮想化内視鏡システムを利用して腹腔鏡手術シミュレーションを行っている例です。臓器ごとの色分けも可能です。



胃の切開シミュレーション例です。

図 24 図 23 の続き

名古屋大学大学院工学研究科航空宇宙工学専攻
空力・推進講座 流体力学研究グループ

“再使用型二段式宇宙往還機TSTOの極超音速衝撃波干渉流れ場に関する研究”

➤何のためにスペースシャトルやロケット等の宇宙輸送機をつくるのか？

⇒ 人・物資を宇宙へ運ぶための輸送手段、惑星探査等の宇宙開発、…



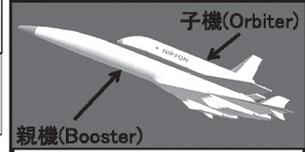
© NASA 2007
2007, Discovery



© NASA 1969
1969, Apollo 11

➤次世代宇宙輸送システムに期待される成果

- コスト削減
- ミッションの柔軟性
- 高い安全性・信頼性



親機(Booster)
子機(Orbiter)
TSTO
(Two-Stage-To-Orbit)
再使用型二段式宇宙往還機

※二物体 (Orbiter/Booster) が一体となって飛行し、極超音速域 (マッハ数5以上) の速度で分離。Orbiterは宇宙へ、Boosterは地上に帰還し再使用が可能である。

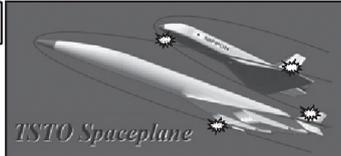
➤スペースシャトル引退 (~2010)

- 膨大な打ち上げ費用
- 古くなったコンピュータシステム
- 多発する事故
- 緊急脱出システムが存在しない

➤カプセル型有人宇宙輸送再開 (2015~)

- 安価な打ち上げ費用
- 新たなコンピュータシステムの導入
- カプセルがフェアリングで保護される
- 緊急脱出システムが存在する

TSTOにおける空力分野の課題



➤親機と子機間の空力干渉

分離時、親機・子機から発生する衝撃波が互いの機体に衝突する。衝突位置では圧力・温度が急激に上昇し、機体を破壊する危険がある。

衝撃波が干渉すると、どのような現象が現れるのか、
実験(Experiment)
計算(CFD: Computational Fluid Dynamics)
により調べる必要がある。

実験(Experiment)

- | | |
|------------------|----------------|
| 良い点 | 悪い点 |
| •実際の現象が現れる | •計測点数・条件が制限される |
| •設計に必要なデータの取得が可能 | •実験・模型製作費等がかかる |

計算(CFD: Computational Fluid Dynamics)

- | | |
|--------------------|-----------------|
| 良い点 | 悪い点 |
| •計測点数・条件は無制限(空間も可) | •計算条件によって結果が変わる |
| •設計に必要なデータの取得が可能 | •計算コストがかかる |

実験(Experiment)と計算(CFD: Computational Fluid Dynamics)の両方から解析・検証することで実験・計算結果の信頼度が増し価値のあるデータの取得が可能となる。

結果

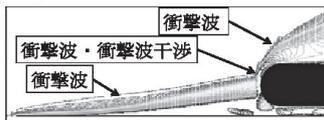


Fig. 1 計算結果 (h=5mm, 圧力等値線図)

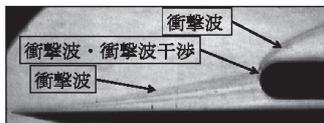


Fig. 2 実験結果 (h=5mm, シュリーレン可視化結果)



Fig. 3 CFDによるTSTO周りの空間圧力分布

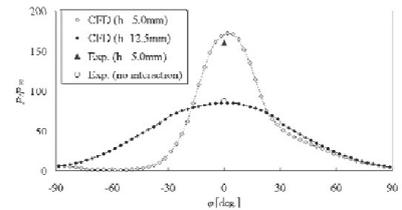


Fig. 4 子機半球面子午線上圧力分布

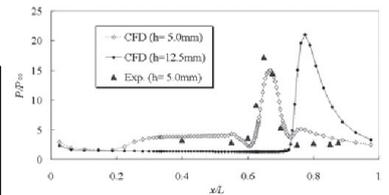


Fig. 5 親機中心軸上圧力分布

Fig. 1とFig. 2のTSTO空力干渉流れ場を比較すると、定性的に良い一致を示している。Booster先端からの斜め衝撃波とOrbiterで形成される弓型衝撃波が衝撃波・衝撃波干渉を起こしており、CFDではこの干渉位置をしっかりと捉えることができている。この干渉により、半球前方に垂直衝撃波が形成されている。また、Fig. 3の計算結果より、TSTO周りの空間圧力分布を定性的に把握することが可能である。Fig. 4とFig. 5に、TSTO中心軸上の圧力分布を示す。衝撃波・衝撃波干渉位置($\phi=0\text{deg}$)で、圧力が急激に上昇していることがわかり、また定量的な一致が困難な圧力ピーク値をしっかりと捉えていることがわかる。CFDによる定量的評価が可能であることが示せれば、CFDは設計時に大きな威力を発揮する。

Fluid Dynamics Lab., Dept. of Aerospace Engineering, Nagoya Univ.

図 25 極超音速衝撃波のシミュレーション (作成: 工学研究科航空宇宙工学専攻空力・推進講座 流体力学研究グループ)

小さな人工世界が創る 大きなびっくり

大学院情報科学研究科複雑系科学専攻
有田・鈴木研究室 (人工生命ラボトリ)
http://www.alife.cs.is.nagoya-u.ac.jp/

複雑系科学では、たくさんのものが集まってお互いに影響しあうことで全体としてびっくりするような新しい挙動や性質が生まれること、つまり「創発」現象に注目します。

私たちは、計算機の中に小さな人工世界を創り、その主役たちを実際に動かしてみることで、創発現象が生じるメカニズムを明らかにしようとしています。また、そのメカニズムをロボットに應用するなどのさまざまな工学的な應用も同時に行っています。

研究対象を限定せずにさまざまな方面から普遍的なメカニズムを追うのが複雑系科学の大きな特徴です。ここでは、人工生命ラボトリで行っている研究の中から4つを選び、概要とびっくりポイント(創発現象)を紹介いたします。

3. 協調行動とネットワークの共進化

— 人と人を結ぶ複雑ネットワーク —

人間関係、伝染病のメカニズム、脳内のニューロンネットワーク、電話網やインターネットなど、実社会のネットワークには共通の特徴が存在することが知られています。これらのネットワークは複雑ネットワークと呼ばれます。その中から社会に存在する人と人を結ぶネットワークに注目し、ネットワーク構造の変化と協調行動との相互作用を考えます。

人間関係を模したエージェントのネットワークを造りました。各エージェントは戦略(協調・裏切り)を持ち、リンクを持つエージェント間におけるコミュニケーションはN人版囚人のジレンマゲーム(裏切の方が個人の利益が大きいのに、集団全体では協調した方が得になる)で行います。ゲームの結果により、裏切者増加、協調者増加、ネットワークの形は各ノードがリンクを張替えることにより進化し、ノードが持つ戦略(協調、裏切り)も進化します。

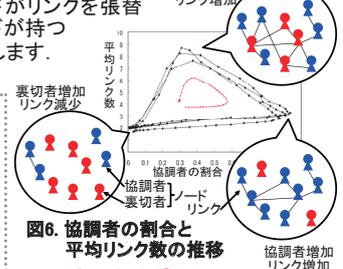


図6. 協調者の割合と平均リンク数の推移
→びっくりポイント
— 協調者と裏切者の数が振動するようなサイクルが起こる！
— うまくいっていた関係が裏切り者の増加で殺伐とした関係になったり、お人好しが増えていくような状況は、現実でもよくありそう！

1. 蟻の群れと群知能

— 蟻の群れにおける群知能の理解と工学的應用を目指して —

蟻は女王を中心とした集団(コロニー)をつくって助け合いながら生活しています。しかし、個々の蟻は自分勝手に活動しています。この蟻の「社会」は、リーダーがいなくても、群れ全体で知的な行動を行っている、つまり群知能が存在しているのです。

例えば餌集め、ワーカー(働き蟻)の行動は、餌を巣に持ち、帰るときにフェロモンという化学物質を地面に落とし、餌を持っていないときは別のアリが残したフェロモンを追うだけなのです。このような単純な行動を各自が行うことで、餌まで仲間を集め、さらに、餌と巣を結ぶ最短経路を使って餌を運ぶという知的な行動を実現しています。

(1) 蟻がフェロモン・コミュニケーションを用いて最短経路を発見するという行動を元にする、巡回セールスマン問題(全ての街を訪問して元に戻ってくる経路を最小にする問題)を解くことができます。このAnt Colony Optimizationと呼ばれる方法に、「間違っただけ」を混ぜることで、より短い経路を見付けることができます。

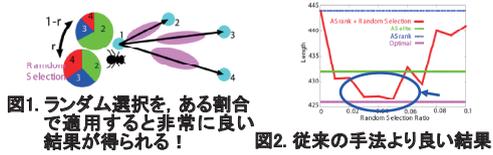


図1. ランダム選択を、ある割合で適用すると非常に良い結果が得られる！
図2. 従来の手法より良い結果

(2) 図3では、餌を採取する問題を例に、フェロモン・コミュニケーションの創発・進化に関するシミュレーションを行っています。実験の結果では、人間が考えるよりも巧みなフェロモン・コミュニケーションが創発しました。

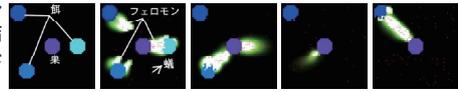


図3. フェロモン・コミュニケーション

→びっくりポイント

- フェロモンで組み合わせ最適化問題が解ける！
- 間違える蟻がいたほうが全体では結果がよくなる！
- 人が考えたのより巧みなフェロモン・コミュニケーションが創発！

2. 所得格差の起源に関するエージェントベースモデル

— 人間社会における所得格差の起源とその創発要因とは何か —

人々の能力は、趣味嗜好や身体能力、さらには家庭環境や周囲の社会環境など、様々な要因によって決定されます。これらの要因は、人々の所得や地位、また、多様性に变化を及ぼします。

シンプルな人工社会を造りました。家庭環境や身体的能力などの親から受け継ぐ「**先天的能力**」と、その後の個人のがんばり次第で変わり得るモチベーションや知識などの「**後天的能力**」を、個体の持つ能力とします。そして、両者から個体の所得が決まるとします。そして、同程度の所得を持つもの同士が交流することで、後天的能力の模倣が起こるものとします。そうすると、先天的能力が高いものは後天的能力がより高くなる傾向、逆に先天的能力が低いものは後天的能力がより低くなっていく傾向が生じます。困ったことです。

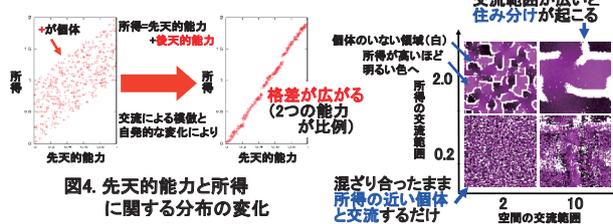


図4. 先天的能力と所得に関する分布の変化

図5. 空間局所性による分層

→びっくりポイント

- 所得の似通った人々との交流によって所得の格差が拡大(図4)！
- 所得の格差に応じて住み分け(分層)が起こる(図5)！
- 自由な成長(自発的変化)と適切な範囲での交流が格差を減らす！

4. 心の理論における再帰レベルの進化

— 他者の心を推測することは社会生活を送るための条件 —



図7. 予測の再帰レベル

私たちは他者と共に生きる環境の中で他者の行動を予測し自分の行動を決めています。さらに、自分の行動が他者に与える影響も考えることができます。こうした個体は、「心の理論」と呼ばれる。自己または他者の心の状態、目的、思考、推測などを推測する心の機能を持っています。

「どのように自分のことを他者は考えているのか？」という推測は「私は『相手が...しようと思っている』と推測する」といったような再帰的に推測を行うことで可能になります。そこで、他者を推測する能力はどのように進化してきたのか？を考察するために、人混みの中での移動という場面を想定して、衝突回避行動を表すモデルを造りました。

個体は個々に設定されたスタートからゴールまで移動します。個体は、衝突を回避し、必要以上の距離を迂回しないために、他者の心を予測する必要があります。シミュレーションの結果、奇数レベルでは他者が全く避けられないことを起点に推測し回避行動が強く、逆に、偶数レベルでは回避行動が弱くなりました。

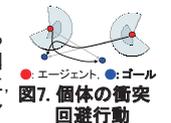


図8. 予測レベルと回避行動の基本的傾向、進化の傾向

→びっくりポイント

- 再帰レベルの偶数と奇数で挙動が分かれることを発見！
- 社会的な関係性がある特定条件のとき、ヒトの知性が創発！

図 26 小さな人工世界が創る大きなびっくり (作成: 情報科学研究科複雑系科学専攻 有田隆也、鈴木麗聖)

計算科学を用いたX線構造解析

構造物性物理学講座 構造物性工学研究グループ (真木 祥千子)

タンパク質構造解析と計算機

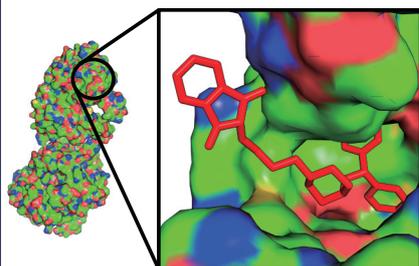
タンパク質の構造解析は健康増進や病気の治療の観点から期待されています。例えば病気の原因物質を合成するタンパク質の立体構造から合成メカニズムが解明され、その合成をブロックする医薬品のデザインが行われています。計算科学的手法であるMaximum Entropy Method (MEM)や遺伝的アルゴリズム(GA)を応用し、精度の高いタンパク質の構造解析に挑んでいます。

タンパク質は1分子の原子数が多く、MEMやGAによる構造解析に時間がかかります。この計算時間の短縮が課題となります。

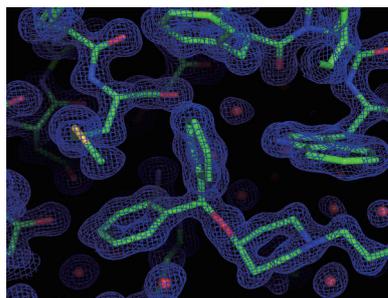


スーパーコンピュータSX-7

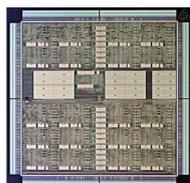
スーパーコンピュータSX-7、超高速専用計算機MDGRAPE-3、汎用PCを用いた並列計算などを利用して、構造解析の計算を加速しています。また計算プログラムの開発も行っています。



医薬品分子とタンパク質の反応



タンパク質のMEM電子密度



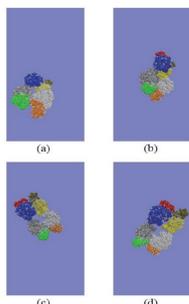
超高速専用計算機MDGRAPE-3



研究成果

世界最速を誇る理化学研究所の専用計算機MD-GRAPe3システムを用いて40万原子を含んだ大型タンパク質のGAによる構造解析を行いました。この成果は、スーパーコンピュータの国際会議SC07における実用計算世界一を決めるゴードンベル賞の最終候補者に選ばれました。(残念ながら受賞はできませんでした。)

MEMによりタンパク質の動き多数の水分子、さらには水素結合などを可視化することに成功しました。この成果は国際結晶学会の生物系雑誌『Acta Crystallographica Section D.』3月号の表紙を飾りました。



構造解析の様子



MD GRAPE-3システム

Application of maximum-entropy maps in the accurate refinement of a putative acylphosphatase using 1.3 Å X-ray diffraction data.
Eiji Nishibori, Takahiro Nakamura, Masanori Arimoto, Shinobu Aoyagi, Hideo Ago, Masashi Miyano, Ryutarō Himeno, Toshikazu Ebisuzaki, and Makoto Sakata.
Acta Cryst. D. 64, 237-247 (2008).

A 281 Tflops Calculation for X-ray Protein Structure Analysis with Special-Purpose Computers MDGRAPE-3.
Yousuke Ohno, Eiji Nishibori, Tetsu Narumi, Takahiro Koishi, Tahir H. Tahirov, Hideo Ago, Masashi Miyano, Ryutarō Himeno, Toshikazu Ebisuzaki, Makoto Sakata and Makoto Tajiri.
SC07, Gordon Bell Prize Award Session

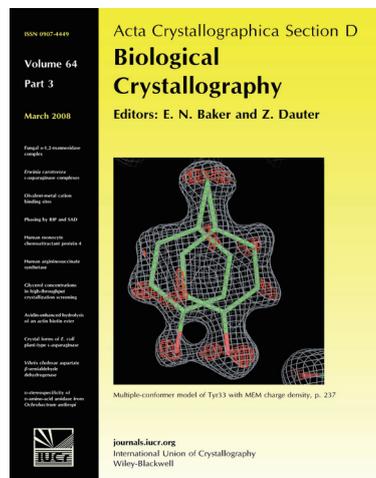


図 27 計算科学を用いた X 線構造解析 (作成: 工学研究科マテリアル理工学専攻 西堀英治、理化学研究所 宮野雅司、同 戎崎俊一、同 泰地真弘人、SPRing-8/JASRI (高輝度光科学研究センター) 坂田誠)

ゲノム情報解析

生物ゲノム中の膜タンパク質

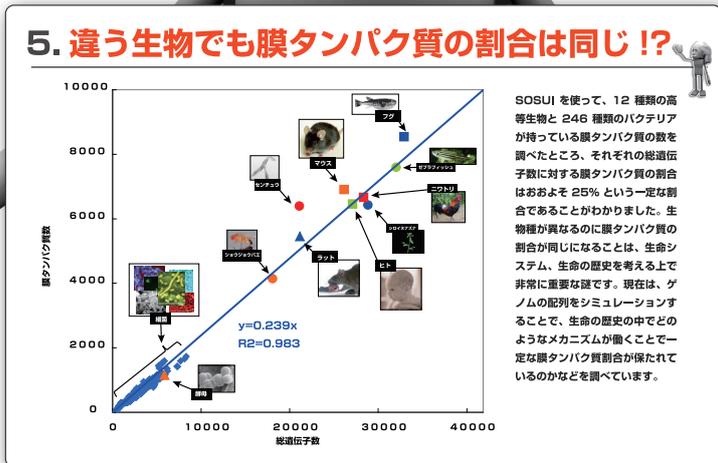
1. ゲノムとは

ゲノムとは生物の持つ全ての遺伝情報のことです。近年、ヒトをはじめとし、多くの生物種でゲノムが解読されています。私たちのグループではゲノム情報を解析することで、生物の仕組みや、生物システムがどのようにしてできているのかなどを調べています。

2. 細胞の中のタンパク質

ゲノムにコードされた遺伝子からは、様々なタンパク質が作られます。新しく作られたタンパク質は細胞の決まった場所に運ばれ、そこで仕事を行います。これにより、細胞の様々な活動が可能になります。私たちのグループでは、これらのタンパク質のうち、細胞膜の中で働くタンパク質である膜タンパク質に注目し、研究を行っています。

膜タンパク質



4. 膜タンパク質の予測

膜タンパク質は細胞膜という油の層に存在するため、油に似た部分を持っています。私たちのグループでは、この特徴をもとに、ゲノムから作られるタンパク質を膜タンパク質とそれ以外の水溶性タンパク質とに分類するソフトウェア SOSUIを開発しました。

膜タンパク質予測システム：SOSUI

ゲノム配列
 MNSTGPNFYVPSNKTGVVSPSPPEQVYLA
 EPIWQFSLAAAYMLLMLGPPNFLT...

膜タンパク質予測システム：SOSUI
 ロドプシンの疎水性プロット

疎水性
 疎水性
 疎水性

膜タンパク質 水溶性タンパク質

3. 膜タンパク質のやくわり

細胞は細胞膜によって、外と隔たれています。そこで、細胞膜に存在する膜タンパク質が、情報や物質の通り道となることで、外からの刺激を受け取ったり、物質を取り込んだりすることができます。

ロドプシン
 視覚を感じるロドプシンが光を受けて、シグナルの伝達と情報を受け取ります。

メカノレセプター
 細胞の膜が伸び縮みして、膜タンパク質が引っ張られることで、情報が伝達されます。

アクアポリン
 膜の中で水を運ぶためのチャネルタンパク質です。水分子が膜を通過しやすくなります。

嗅覚レセプター
 嗅覚を感じるタンパク質は、臭いの分子が結合するとシグナルの伝達と情報を受け取ります。

図 28 ゲノム情報解析 (作成：工学研究科マテリアル理工学専攻応用物理学分野 美宅研究室)

大型スクリーンによる立体視とテレビ電話による質問コーナー（図 29、30）

計算機シミュレーションの計算結果を可視化し、立体視システムによって大型スクリーンに常時表示するコーナーを設置し、以下のメニュー表のなかから来館者の希望に応じて放映した。メニューは、空気の流れ、ビルの周りの風、レイリ・ベナール対流、車体の構造解析、航空機の周りの空気の流れ、シートベルトにかかる力、地球磁気圏、動脈瘤、塩水と真水の振動などをそろえた。

また、博物館展示室と研究者の研究室をテレビ電話で接続し、来館者からの質問を遠隔地にいる研究者が回答する企画を、毎週土曜日に実施した。担当者は、石井克哉名古屋大学情報連携基盤センター教授（8月23日）、荻野竜樹名古屋大学太陽地球環境研究所教授（8月30日）、吉川大弘（名古屋大学大学院工学研究科准教授（9月6日）、森健策名古屋大学大学院情報科学研究科准教授（9月20日）、および坪木和久名古屋大学地球水循環研究センター准教授（9月27日）であった。

ハンズオンコーナー

「パズルに挑戦！ このパズルをやってみてください。あれこれ試しながら正解を見つけるのは大変ですね。計算機シミュレーションでは、この手順を、人間よりもはるかに素早く、しかも効率よく行っているのです。」というパネルを掲げ、2つのパズルを用意した。

関連講演会、ギャラリートークおよびコンサート

（博物館特別講演会：博物館講義室において）

「さまざまな流れのシミュレーション」

講師：石井 克哉（名古屋大学情報連携基盤センター 教授）

日時：8月23日（土） 午後1時～午後2時30分

「コンピュータシミュレーションで魔球をつくる」

講師：姫野 龍太郎（独立行政法人 理化学研究所情報基盤センター長）

日時：8月23日（土） 午後2時30分～午後4時

「太陽，地球，惑星のシミュレーション」

講師：荻野 竜樹（名古屋大学太陽地球環境研究所 教授）

日時：8月30日（土） 午後1時～午後2時30分



図 29 大型スクリーンによる立体視コーナー



図 30 テレビ電話を使って研究者と来館者が質疑応答コーナー

「遺伝的アルゴリズムと看護師勤務表自動作成」

講師：吉川 大弘（名古屋大学大学院工学研究科 准教授）

日時：9月6日（土） 午後1時～午後2時30分

「水、水、水；水の不思議」

講師：大峯 巖（名古屋大学大学院理学研究科 教授）

日時：9月13日（土） 午後1時～午後2時30分

「人体シミュレーション ―画像に基づく手術シミュレーション―」

講師：森 健策（名古屋大学大学院情報科学研究科 准教授）

日時：9月20日（土） 午後1時～午後2時30分

「台風のシミュレーション」

講師：坪木 和久（名古屋大学地球水循環研究センター 准教授）

日時：9月27日（土） 午前10時30分～午後12時00分

（ギャラリートーク：博物館展示室において）

「浮動ヘッドによる高度10ナノメートルの極限飛行」

講師：三矢 保永（名古屋大学名誉教授）

日時：9月13日（土） 午後2時30分～午後3時30分

（第23回 NUMCo 名古屋大学博物館コンサート

：博物館展示室において）

「名大軽音楽部現役×OB ジャズセッション」

演奏者：名古屋大学軽音楽部現役およびOB

日時：9月6日（土） 午後3時30分～午後5時

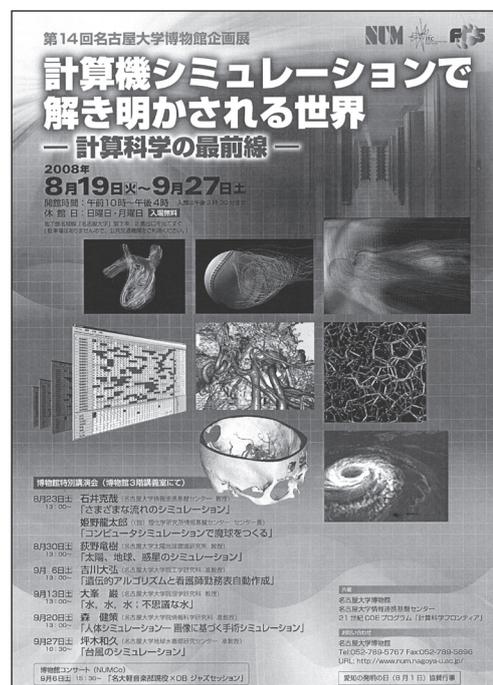


図 31 ポスター

謝 辞

本報告冒頭部分で献辞した方々のほか、研究展示パネルとシミュレーション結果を来館者に紹介するソフトウェアを作成していただいた21世紀COEプログラム「計算科学フロンティア」に参画する各研究室と、名古屋大学太陽地球環境研究所ジオスペース研究センター、地球水循環研究センター気象学研究室、および名古屋大学大学院情報科学研究科メディア科学専攻森 健策准教授、立体視システムの運用に尽力された全学技術センター高橋一郎技術専門職員、そして、本企画展を発案された前情報連携基盤センター長渡邊豊英教授に深謝する。

(2008年11月8日受付)