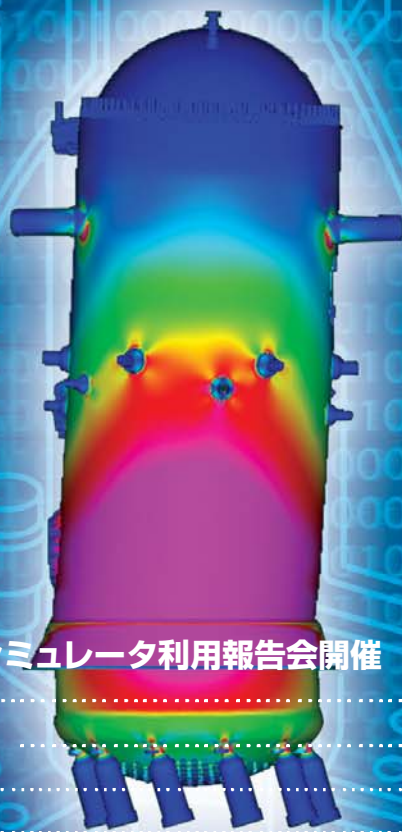


# ES

## Earth Simulator News



### ● ES Report 平成16年度 地球シミュレータ利用報告会開催

日常生活に生きるシミュレーション研究 .....	1
地球シミュレータによる最先端科学の粋! .....	4
ここまで来た! 地震予測 .....	4
原子力発電所の耐震性は? .....	4
オーロラのシミュレーションに成功! .....	4
「宇宙天気予報」の実現を目指して .....	5
素粒子の質量、解明間近! .....	5
進化する台風予測 .....	5

### ● ES Topics

愛知万博で地球シミュレータの映像が展示されています .....	6
国際イノベーション科学技術展示会（南アフリカ）に出展 .....	6
アルゴリズム研究グループの紹介 .....	6

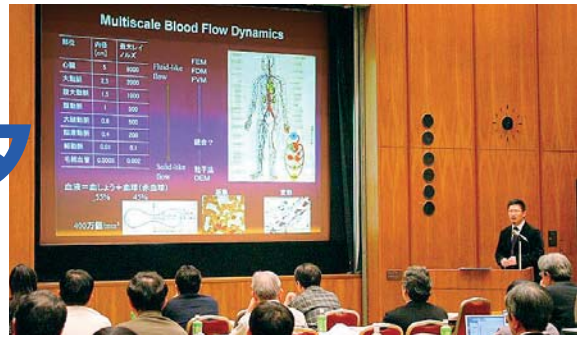
### ● ES Eye

ポスト地球シミュレータ .....	7
-------------------	---

画像提供：1940年にカリフォルニアで起きたエルセントロ地震（M7.1）規模の加速度を入力したとき、地震発生から1.6秒後に原子炉圧力容器に生じる応力分布と変形の様子。変形モードをわかりやすくするために、変形は5000倍に誇張している。



# 平成16年度 地球シミュレータ 利用報告会開催



## 日常生活に生きるシミュレーション研究

地震、集中豪雨、大津波、2004年は災害の年でした。

地球シミュレータでは、地震予測、台風予測、地震被害予測、建造物の耐震性、地球温暖化予測の研究などが行われ、防災への貢献を通して、私たちの生活を陰で支えています。

### 平成16年度 地球シミュレータ共同プロジェクト

#### ■ 大気・海洋分野 (14件)

責任者氏名	所属	プロジェクト名
住 明正	東京大学 気候システム研究センター	高分解能大気海洋モデルを用いた地球温暖化予測に関する研究
丸山 康樹	電力中央研究所	大気海洋結合モデルの高解像度化
松野 太郎	地球環境フロンティア研究センター	地球環境変化予測のための地球システム統合モデルの開発
野田 彰	気象庁 気象研究所	高精度・高分解能気候モデルの開発
淡路 敏之	地球環境フロンティア研究センター	フル結合四次元データ同化システムの研究開発と初期値化・再解析データの構築
秋元 肇	地球環境フロンティア研究センター	全球・地域スケール化学輸送モデルによる大気組成変動とその気候影響の研究
大淵 濟	地球シミュレータセンター	大規模場と中規模現象の相互作用による大気・海洋変動の機構と予測可能性 (AFES CFES OFES)
高橋 桂子	地球シミュレータセンター	地球シミュレータ用・非静力・大気海洋結合モデルの開発
日比谷紀之	東京大学大学院 理学系研究科	諸物理過程のパラメタリゼーションの高度化
植田 洋匡	京都大学 防災研究所	広域水循環予測システムの高度化
山形 俊男	地球環境フロンティア研究センター	気候・海洋変動のメカニズムの解明およびその予測可能性の研究
坪木 和久	名古屋大学 地球水循環研究センター	階層構造を持つ水循環システムの雲解像モデルを用いた高解像度モデリング
足永 靖信	建築研究所	ヒートアイランドの数値モデルの開発
時岡 達志	地球環境フロンティア研究センター	地球環境フロンティア研究センターにおける大気・海洋・陸面結合大循環モデルの開発

#### ■ 固体地球分野 (9件)

責任者氏名	所属	プロジェクト名
坪井 誠司	地球内部変動研究センター	全地球弾性応答シミュレーション
浜野 洋三	地球内部変動研究センター	実地球環境での地球磁場・変動シミュレーション
深尾 良夫	地球内部変動研究センター	マントル対流の数値シミュレーション
松浦 充宏	東京大学大学院 理学系研究科	日本列島域の地殻活動予測シミュレーション
古村 孝志	東京大学 地震研究所	3次元不均質場での波動伝播と強震動シミュレーション
平原 和朗	名古屋大学大学院 環境学研究科	複雑断層系の地震発生過程シミュレーション
奥田 洋司	東京大学 人工物工学研究センター	固体地球シミュレーションプラットフォームの開発
陰山 聡	地球シミュレータセンター	コア・マントル結合系のダイナミクス
鳥海 光弘	東京大学大学院 新領域創成科学研究科	計算地球物質科学による地球内部物質の物性評価計算



地球シミュレータが稼動を開始して、4年目を迎えました。平成17年1月7日、8日に行われた第3回利用報告会では、3年間の厚みを感じさせるめざましい成果が次々と報告され、今年度の成果に非常に満足であると佐藤センター長からコメントもあり、地球シミュレータプロジェクトはいよいよ佳境に入りました。

大気海洋分野では、地球温暖化予測研究のレポートが温暖化に関する国際

会議の資料として提出され、また、台風の正確な進路予測、集中豪雨の予測など、画期的な成果が報告されました。固体地球分野からは、日本列島の地震活動シミュレーションによって、巨大地震研究の大きな前進が報告され、計算機科学分野からは、連結階層シミュレーションという、シミュレーション科学の粋とも言える全く新しいアルゴリズムによる、世界初のオーロラのシミュレーションが発表されました。

また、地球シミュレータセンターとして、社会的な意味で特筆すべき4点を挙げると：

### 1. 自動車工業会との共同研究の開始

新車開発時には、計測器を搭載した実際の車で多くの実験を行います。これにシミュレーションを併用することで、現在より開発期間の短縮や開発コストの削減を期待する事ができます。今、(社)日本自動車工業会ではそれを

### ■ 計算機科学分野(2件)

責任者氏名	所属	プロジェクト名
岡部 寿男	京都大学 学術情報メディアセンター	並列処理言語HPF (High Performance Fortran) を用いた大規模並列実行の性能検証および新規機能の検討
渡邊 國彦	地球シミュレータセンター	連結階層シミュレーションアルゴリズムの開発

### ■ 先進・創出分野(12件)

責任者氏名	所属	プロジェクト名
古川 正夫	宇宙航空研究開発機構	ロケットエンジン内部流れのシミュレーション
南 一生	高度情報科学技術研究機構	カーボンナノチューブの特性に関する大規模シミュレーション
塩谷 隆二	九州大学大学院 工学研究院	バーチャル実証試験のための次世代計算固体力学シミュレータの開発
宇川 彰	筑波大学 計算科学研究センター	地球シミュレータによる格子上の素粒子標準模型の研究
立木 昌	物質・材料研究機構	テラヘルツ発振超伝導素子に関する大規模シミュレーション
大村 善治	京都大学 生存圏研究所	宇宙環境シミュレータ
大西 椿平	CAMP (Collaborative Activities for Materials Science Programs) グループ	計算材料科学のための物質情報構築法の開発
奥田 洋司	(社)日本原子力学会 大規模シミュレーション研究専門委員会	原子力関係の大規模シミュレーション研究 *サブテーマ(下記)を含む
荒川 忠一	東京大学大学院 情報学環	乱流の世界最大規模直接計算とモデリングによる応用計算
高田 俊和	バイオシミュレーション研究者の会	バイオシミュレーション
阪口 秀	地球内部変動研究センター	DEMIによる内部構造を持つ複雑多相系の粒子モデル
松元 亮治	千葉大学 理学部物理学教室	宇宙の構造形成とダイナミクス -階層構造を連結する流体、磁気、輻射プロセスへの新たなアプローチ-

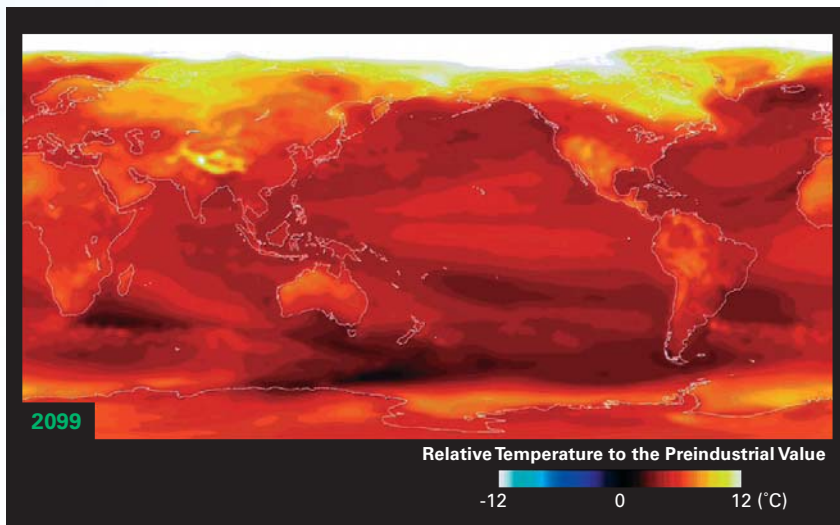
### \* 原子力関係の大規模シミュレーション研究 サブテーマ

高瀬 和之	日本原子力研究所 東海研究所	直接解析手法による原子炉内複雑熱流動挙動の大規模数値シミュレーション
平田 勝	日本原子力研究所 東海研究所	溶液の第一原理分子動力学シミュレーション
岸本 泰明	日本原子力研究所 那珂研究所	多階層ダイナミクスが支配するプラズマの構造形成に関する研究
荒川 忠一	日本原子力研究所 計算科学技術推進センター	水銀ターゲットにおける液体水銀の圧力波伝播と容器壁の変形挙動と気泡成長の相互作用のシミュレーション
町田 昌彦	日本原子力研究所 計算科学技術推進センター	超伝導ナノファブリケーションによる新奇物性と中性子検出デバイス開発のための超伝導ダイナミクスの研究
蕪木 英雄	日本原子力研究所 計算科学技術推進センター	放射線照射に伴う材料の物性変化と破壊の微視的シミュレーション
奥田 洋司	東京大学 人工物工学研究センター	地下空間における放射性核種移行と地下水挙動の大規模シミュレーション技術に関する研究
宮下 敦巳	日本原子力研究所 高崎研究所	耐放射線性SiCデバイス用酸化膜の第一原理分子動力学シミュレーション
二ノ方 寿	東京工業大学 原子炉工学研究所	稠密格子燃料集合体サブチャンネル内冷却材直接乱流シミュレーション

実現するために、リアルタイムで高精度のシミュレーションの可能性を確認しています。

## 2. 社会科学分野のシミュレーションが初参加

昨年秋にスタートしたので、次回の利用報告会での成果発表が待たれていますが、一橋大学経済研究所が中心となり、「地球まるごと経済シミュレーション」が開始されました。コンピュータで経済をシミュレーションするのは困難であるという従来の概念を破ろうと、代表者の安田教授のグループは、地球シミュレータの性能を最大限に生かした世界情勢の未来を予測できるシミュレーションプログラム(モデル)の開発に打ち込んでいます。



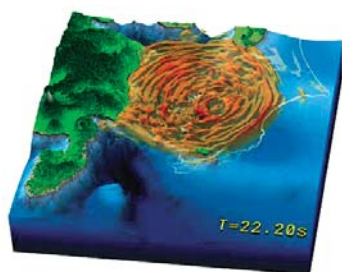
<2099年の地球の気温上昇>

産業革命前～2099年の年平均気温の上昇分布です。陸上が海上より気温が上がりやすく、北半球中高緯度の陸上で特に気温上昇が大きいことが分かります。北米大陸南部などの亜熱帯で気温上昇が周囲より大きいのは、降水量が減って土壌が乾燥することによります。

(画像提供：東京大学気候システム研究センター・国立環境研究所・地球環境フロンティア研究センター)

## 3. 国際共同研究の実働開始

世界のTOP500を選ぶ基準となっているLINPACKベンチマークテストは単純テストであるため、地球シミュレータ



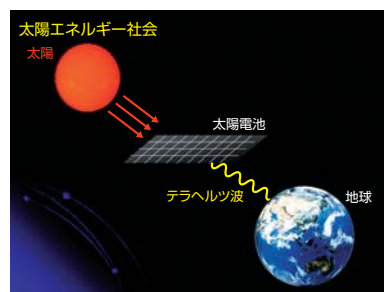
<大地震の強い揺れの予測>

10年前の阪神淡路大震災と同じ、マグニチュード7.3の直下型地震が首都圏で起きた場合の、地震の揺れの予測シミュレーションです。これは、地震発生22秒後の揺れの様子です。震度や揺れの特徴が高精度で予測できるようになってきており、防災対策への貢献が期待されています。(画像提供：東京大学地震研究所)

本来の計算能力を検証できません。そこで、米国エネルギー省傘下の研究所、NERSCは実際に研究で使う複雑なシミュレーションプログラムを走らせて、米国製のスーパーコンピュータと地球シミュレータの性能比較を行い、地球シミュレータのすば抜けた能力が改めて実証されました。(下図参照)

## 4. 先進分野の研究成果が各分野で高い評価を獲得

シミュレーション成果に基づいた発振実験が成功し、製品化まで秒読み段階に入った世界初のテラヘルツ発振装置開発プロジェクト(立木グループ)では、学会で最も権威のある「Physical Review B」に論文が受理されました。また、「銀河系

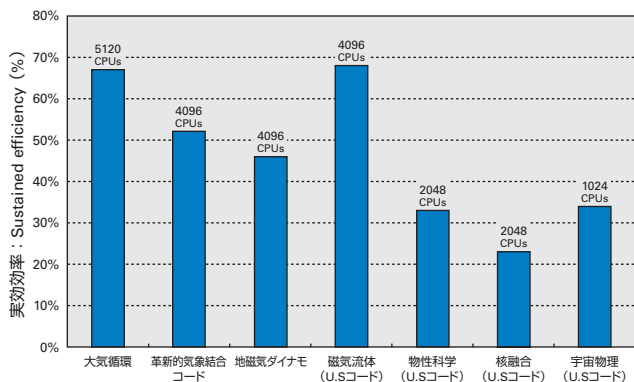


<テラヘルツ波の利用例>

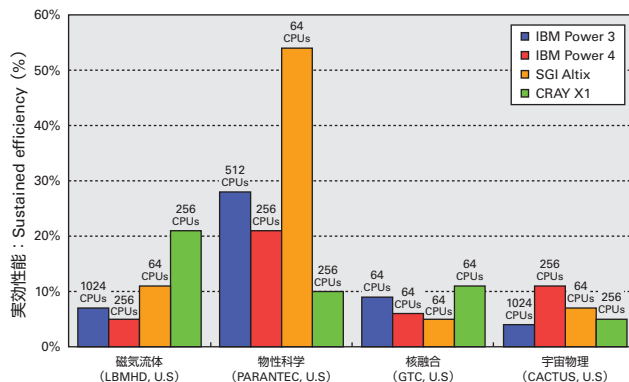
宇宙空間に浮かべた太陽電池システムで生産したエネルギーをテラヘルツ波によって瞬時に地球に送るシステム図。このようにテラヘルツ波は広範囲での実用が期待されています。

誕生シミュレーション」を行っている松元グループの成果が、科学雑誌「Nature」(平成17年3月24日発売)に掲載されるなど、地球シミュレータのプロジェクトの成果が各分野で高い評価を得ています。

<地球シミュレータにおけるシミュレーションコードの性能比較>



<米国スカラー並列計算機におけるシミュレーションコードの性能比較>





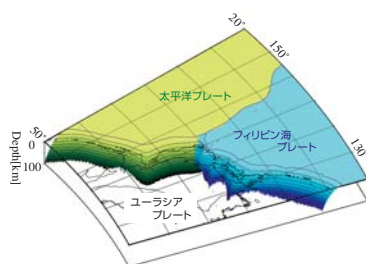
# 地球シミュレータによる 最先端科学の粋！

今年度の研究成果の中から地球科学分野2件、計算機科学分野1件、先進創出分野3件の6つのプロジェクトをご紹介します。

## ここまで来た！地震予測

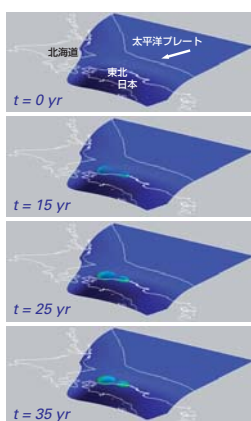
Report 1

大地震の多くは、プレート境界とその周辺域で発生します。松浦グループが開発したプレート沈み込みモデルにより、プレート境界で起きる大地震の予測が可能になってきました。



日本列島域のプレート沈み込みモデルと1968年十勝沖地震の震源域における大地震の発生予測シミュレーション

(画像提供：松浦 充宏 東京大学大学院理学研究科)

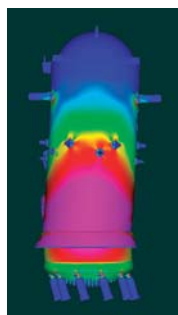


まず、日本列島とその周辺域のプレート沈み込みモデルの中で、観測で分かっている太平洋プレートやフィリピン海プレートの運動を再現します。すると、プレート境界の強く固着している部分(大地震の震源域)に地震を起こす元となる応力が徐々にたまりだし、限界点に達したときに急激なすべりが起きます。これが大地震の発生です。ところが、1968年の十勝沖地震の震源域を例にとり、この様子をシミュレーションした結果、2003年の時点では十分な応力がたまっていないため、何かの拍子で地震すべりが始まってても大地震には発展しないことが分かりました。このようなシミュレーションとGPSなどの観測を併せたシステムを開発し、震源域に応力がたまっていく様子をリアルタイムで監視すれば、プレート境界で起きる大地震の予測が可能になります。

一方、10年前の神戸地震や昨年の新潟地震は、プレート境界ではなく、プレート内部で発生しています。松浦グループでは、プレート境界での部分衝突という考え方を導入し、プレート境界だけでなく、プレート内部で起きる地震の原因の解明も進めています。

## 原子力発電所の耐震性は？

Report 2



原子炉圧力容器に生じる応力分布と変形の様子。変形モードをわかりやすくするために、変形は5000倍に誇張しています。

(画像提供：塩谷 隆二 九州大学大学院工学研究院)

塩谷グループでは自然物や人工物をまるごと再現し、地震動や熱、風を与え、その影響でどのように変形するかをシミュレーションしています。今回は、原子炉圧力容器を約1200万要素に分割し、地震発生時のシミュレーションを行いました。また、古代建築物パルテノン廟を約4600万要素に分割し、シミュレ

ーションによって耐震度、耐熱度などさまざまな検証が可能になりました。

この技術を用いて、既存の建造物の耐震度、耐熱度、耐風度などのシミュレーションを行い、現在地球シミュレータで行われている地震やヒートアイランド、台風や集中豪雨などの研究との連携を図ると、自然災害による被害を最小限におさえられるような建築が可能になるので、産業のみならず人類全体への貢献が期待されています。

## オーロラのシミュレーションに成功！

Report 3

連結階層シミュレーションは、数百キロメートルの自然現象を計算しながら必要な部分ではミクロン単位の計算を行うという、誤差の少ない予測シミュレーションです。このアルゴリズムを用いて世界で初めてオーロラのシミュレーションに成功しました。オーロラは、地球が太陽風を磁力で

大気圏に引き込んだ時に起きる発光現象です。開発中の連結階層シミュレーションアルゴリズムでは、オーロラや太陽フレア爆発などの宇宙プラズマ現象、集中豪雨や台風発生などの気象現象、また地球内部の破壊現象などのシミュレーションを行い、その成果が大きく期待されています。



オーロラのシミュレーション

(地球シミュレータセンター：連結階層シミュレーション研究開発プログラム)

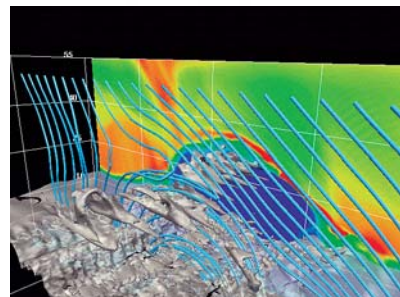
# 「宇宙天気予報」の実現を目指して

Report 4

宇宙飛行士の放射線被曝、通信障害地上での大規模停電などの原因になる太陽活動現象は太陽内部で形成された磁気アーチが表面にあらわれた後に発生します。この磁気アーチが現れてから大規模な爆発や質量放出に至るメカニズムが長い間不明でしたが、太陽大気の高解像度シミュレーションによって、磁気ア

ーチ内(浮上磁場領域)ではなぜガスがフィラメント状になるのかなどの謎が世界で初めて解明されました。

松元グループでは、この研究を推進し、太陽フレアやコロナ質量放出を予測する「宇宙天気予報」の実現につなげることを目指しています。



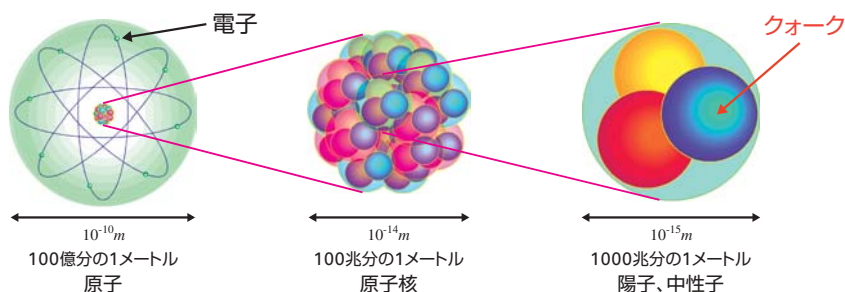
太陽大気シミュレーション  
(画像提供: 京都大学 磯部洋明)

# 素粒子の質量、解明間近!

Report 5

初めて素粒子が発見されたのは、1897年の電子の発見にさかのぼります。その後、陽子、中性子や、湯川秀樹

博士の予言したパイ中間子など多くの粒子が発見されましたが、これらはクォークと呼ばれる素粒子で造られている



自然界の最小の構成単位「クォーク」(画像提供: 宇川 彰 筑波大学計算科学センター)

と考えられています。私たちの世界で最も小さな単位、クォークは、1個を取り出すことが不可能なため質量が求められず、シミュレーションによる素粒子クォークの質量の解明は、シミュレーションが行われた1981年から今日までの、大きな課題でした。

従来、素粒子の質量は仮想値が使われてきましたが、宇川グループでは20×20×20×40で格子で計算を行った結果、実際の質量は、従来値の1/2から2/3であるというのが検証され、物理学会の注目を集めています。今後、さらに28×28×28×56格子を用いてより正確な質量を求めていきます。

台風の進路を正確に予測すること、これは地球シミュレータの開発時の一つの目標でしたが、高橋グループでは昨年の台風10号の進路をほぼ正確に予測することに成功し関係者に驚きを与えました。

そのシミュレーションの特徴は、地球を1つのサイズで分割し計算することをやめ、大~小と数種類のサイズに分けてシミュレーションを行っていること、また従来使われていた緯度経度に沿った分割方法\*1をやめ、全球を均等に分割できる「陰陽格子」\*2を用いて計算していることがあげられるでしょう。

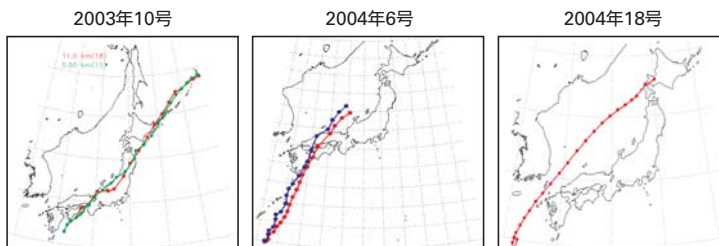
今後はヒートアイランド現象の研究グループとも協力し、都市特有の気象現象が気候にどのような影響を与えるかをもターゲットにしていきます。

\*1: 緯度経度で分割すると北極南極の周辺が細かく、また赤道に近づくにしたがって大きく分割される。  
\*2: 地球シミュレータセンター固体地球グループが開発した格子で、野球のボールの皮の縫い合わせがヒントになっています。

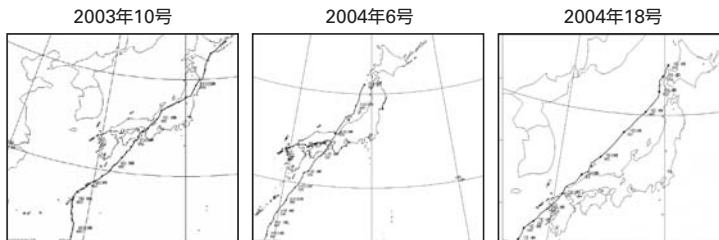
# 進化する台風予測

Report 6

シミュレーション結果



観測結果



東京都管区気象台資料

(地球シミュレータセンター: 複雑性シミュレーション研究グループ)



## 愛知万博で 地球シミュレータの映像が展示されています

21世紀初の万博「愛・地球博」が3月25日～9月25日、愛知県で開催されていますが、ここにも地球シミュレータの研究成果が展示されています。

長久手日本館の目玉は、「地球の部屋」の直径12.8mの360度全天球型映像システムですが、その「地球の部屋」への廊下に設置された120インチのスクリーンに、1950年から2100年の150年間に平均気温がしだいに上昇していく様子がアニメーションで再現されています。

これは東京大学気候システム研究センターなどが中心となって進められているプロジェクトで、地球温暖化防止会議の資料として、IPCCに提出されています。ご来場の際には、是非お立ち寄りください。



## 国際イノベーション科学技術展示会（南アフリカ）に出展



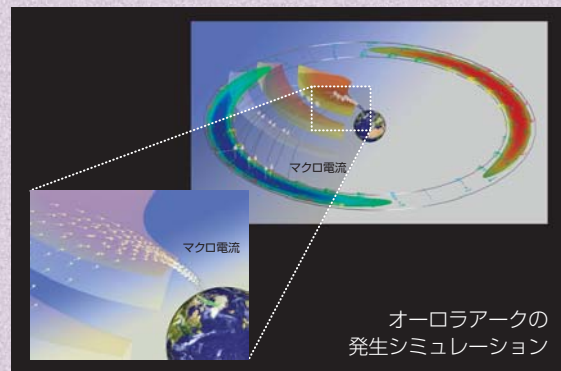
2004年11月1日～3日の3日間、南アフリカ共和国ミッドランドにて、南アフリカ科学技術省主催による国際イノベーション科学技術展示会が開催され、日本コーナーでは、地球シミュレータを含む、ピノロボットなど4件日本を代表する科学技術が展示されました。地球シミュレータセンターからは、パネル2枚とプラズマディスプレイによるシミュレーション成果映像の上映を行いました。ブースには一般企業や学生をはじめ、政府の関係者など多数来られ、地球シミュレータのスペックや得られた成果の説明を受けて感嘆の声をあげていました。

## 連結階層シミュレーション研究開発プログラム アルゴリズム研究グループの紹介

「地球シミュレータ」の出現によって、人類の未来を予測するためにシミュレーションがいかに重要な方法であるかが実証されました。アルゴリズム研究グループでは、さらにそれを推し進め、自然や社会のさまざまな現象の予測を行うために必要な新しいアルゴリズム開発に着手しました。

開発中のアルゴリズムの特徴は、従来のように、単一のプログラムで全てを均一に計算するのではなく、物事がさまざまな階層に分かれていることに着目し、微細な世界から巨大な世界までの各階層を異なるモデルで計算しながら、各階層の計算結果を効果的に統合するという点です。

この新しいアルゴリズムにより、宇宙プラズマ現象をはじめとした複数の階層を含む複雑な現象のメカニズムを解明すると同時に、気象災害、材料開発、バイオ、自動車、燃料電池などのさまざまな分野で活用し、次世代のシミュレータ開発を前提としたシミュレーション科学の新たな可能性の開拓を目指しています。



## ポスト地球シミュレータ

地球シミュレータセンター長  
佐藤 哲也

中国の後漢(25-220)に発明されたと考えられているソロバンほど長い時代にわたって重宝された計算道具はないであろう。特に、日本において、江戸時代の商人に盛んに利用され、電卓が出回る1965年ぐらいまで四則演算においてこれほど効率的で優れた計算道具は歴史上類を見ない。一方、西洋では近年になり、手回し計算機械が発明されたが、その有用性はそれほど私には魅力的なものではなかった。

1936年にチューリングは、一連の0と1の並びを有限個(7個)のルールで操作することによってあらゆる論理演算を解くことができることを数学的に証明した。この2進法論理演算機をチューリングマシンと呼ぶ。これが今日のコンピュータの理論的な根拠である。

シミュレーションのアルゴリズム開発が各分野で進み、従来のコンピュータが余りにもまどろっこしく、いらいらする第一線のシミュレーション研究者の要求を満たすべくシーモア・クレイは、1976年にシミュレーションにおける繰り返し演算を非常に効率よく行うパイプライン方式を考案した。いわゆるベクトル演算機である。このベクトル方式の普及により、シミュレーション研究は長足の進歩を遂げることになる。この時代はそれまでの単一スカラプロセッサの第1世代に対し、第2世代シミュレータと呼ぶことにする。スーパーコンピュータという名がつけられたのはこのベクトルプロセッサである。

ところが、ベクトル機はコスト高であり、しかも、その能力は科学革命をもたらすほどの威力はなく、導入先も国などの学術分野に限られていたために、金儲け中心である米国では、1990年代に入ると、より大衆的なパソコン(スカラプロセッサ)に傾注する。大型シミュレーションの需要に対しては、スカラプロセッサを多数並列につ

なく、いわゆる、並列方式でまかなう方針をとった。

そして、その総合性能は、各プロセッサの性能(フロップス値)をその数だけ"足し合わせ"た目くらしの数値で表現された。プロセッサの数が増えると、プロセッサ間のデータ通信時間がプロセッサ数の二乗で増大してゆくことには全く目を閉じた。この背景には、シミュレーションに近い将来、革命児にはなりえないという認識があったことは間違いないであろう。この並列方式の時代が第3世代シミュレータである。

2002年3月に突如日本に現れた地球シミュレータは、ベクトルプロセッサを5120個並列につなぐことによって、驚くべき実効性能を出した。米国の驚きは想像をはるかに超えるものであった。その驚きは、確かにその実効性能の大きさによるところもあるが、西洋科学の推進者として現在の科学の手詰まり状態を認識していた欧米科学者が、地球シミュレータには新しい科学技術の救世主となる可能性が十分であると直感したためであった。

ここにきて、米国は市場至上主義に任せていたコンピュータ開発に対する真剣な反省にたち、日本の実地調査を丹念に行い、ピーク値偏重、LINPACK値偏重を戒め、新しいアーキテクチャーを発明する必要があると強調した報告書を昨年5月に大統領に提出した。ハイエンドコンピューティング再生タスクフォース(HECRTF)報告書である。この報告書で米国ははっきりと超並列アーキテクチャーの限界・非現実性を認めている。

地球シミュレータセンターでは、革新的でありかつ実現が確実なアーキテクチャーを早くから提案し続けている。自然の摂理としての階層性をそのままシミュレータのハードウェアに応用する連結階層結合(マクロ-ミクロ掛け算)アーキテクチャーである。これは超地球シミュレータ級のマシンを二つ密結合することによって、二つのシミュレータの性能の"掛け算"の実効性能を出させる革命的な方式である。これを私は第4世代シミュレータと呼ぶことにする。世界のシミュレータのブレイクスルーとなるアーキテクチャーである。第4世代シミュレータは正に21世紀の社会の持続的発展の牽引車となるだろう。

### Earth Simulator News

2005年3月発行 通巻6号

編集・発行

独立行政法人 海洋研究開発機構

地球シミュレータセンター 企画調整室 研究推進・広報グループ

〒236-0001 神奈川県横浜市金沢区昭和町3173-25

電話……………045-778-5863 FAX……………045-778-5490

URL ……http://www.es.jamstec.go.jp/ e-mail ……es-contact@jamstec.go.jp

お詫びと訂正 Earth Simulator News 2005年1月発行 通巻5号の1ページ記事におきまして表記の誤りがありました。お詫び申し上げますとともに、右記のように訂正いたします。(誤) 小千谷東中学校→(正) 東小千谷中学校

\* 本誌に掲載された文書・写真・イラストを無断で転載、複製することを禁じます。