

～世界最高性能を実現した
スーパーマシン～

「地球シミュレータの使命」

(2003年1月18日 海洋科学技術センター横浜研究所
地球情報館公開セミナーより)

大塚 清
1947年生まれ。電気通信大学大学院情報工学専攻修士課程修了。1973年に海洋科学技術センターへ入所し深海の調査研究に従事。1991年に数理解析室長、その後フロンティア研究推進室へ。1999年より地球シミュレータの研究開発に携わり、地球シミュレータセンター研究交流・教育グループリーダーに。現在、深海地球ドリリング計画推進室・調査役。

2002年2月末、海洋科学技術センター横浜研究所に完成した「地球シミュレータ」は、地球全体のメカニズムを再現する世界最速のスーパーコンピュータ。自然災害や気候変動の解明、さらに人類の持続的な発展への貢献が期待されています。理論、実験につぐ“第三の科学”とも言われるシミュレーション研究とはいったいどんなものなのでしょうか。

今日は、「地球シミュレータ」本体について簡単に説明して、なぜこうしたものを日本の総力を挙げて開発しなければならなかったか、という背景をご説明します。また、地球全体の長期的な変動、地球温暖化の話を中心に「地球シミュレータ」の重要性も話したいと思います。地球をシミュレーションするというのはどういうことなのか、少しでもみなさんにイメージが伝われば幸いです。

●“地球をシミュレーションする”とは？

「シミュレータ」とは「シミュレーションを行う装置」です。ではシミュレーションとは何か。辞書には「1.ある現象を模擬的に現出すること。2.コンピュータなどを使用して模擬的に実験を行うこと」とあります。「地球シミュレータ」はこの二番目に該当します。皆さんもご存じのシミュレーションゲームのほか、乗り物の実熟訓練に使う操縦シミュレータのように、実際には再現できない現象や実験、製作の事前テストにシミュレーションは大変有効です。薬学・化学などの素材開発、極小物質の研究、原子力や核融合など様々な分野でシミュレーションは行われています。「地球シミュレータ」の場合は、地球環境変動の研究を主たる目的として開発されました。

地球のシミュレーションとは大気や海流の動きを再現すること。特に地球全体の気候の長期的な変化の再現です。地球

温暖化や異常気象の予測を行ったり、日本周辺の海流を忠実に再現できればタンカー事故で流出した油の流れを予測して対応もできますね。それから、地球の中の挙動も再現します。日本は地震が多いので地球内部の研究はとても重要です。それ以外に、地磁気生成メカニズムの解明、これは10万年周期で地磁気の南と北が逆転するといわれていますが、そうしたことも地球内部のマントル対流などを細かく研究することで明らかにできるのです。

再現するには、まず地球を水平・垂直方向に細かく区切ります。上空から地底までを細かく格子状に区切り、それぞれの交点に物理法則に従った熱や物質の移動量などを計算式で置き換えて与えます。そうして地球一周、ずーっと計算式を解い



Linpackによるテストプログラムで“性能世界一”を証明した際の表彰状。

ていくのです。次に時系列を加えます。一定の時間ごとに交点の現象を計算していけば、空気が流れる方向や速さ、熱の移動についても予測できます。風の向き、強さ、温度、海面の状態などのデータを取り込めば、いろいろなシミュレーションができるのです。当然、格子のサイズが小さくなればなるほど細かな現象を再現できますが、それには計算機にパワーが必要です。そこで世界一のパワーを誇る「地球シミュレータ」を開発したわけです。

●人類の持続的な発展を目指して

ここで、地球温暖化について少しお話をしましょう。『気候変動に関する政府間パネル』という国際機関が作成した報告書の中に、1980～2000年までの地上の平均気温の変化を示したグラフがあります。1961年から30年間の平均値をゼロとして、それより平均気温が高いか低いか、



シミュレーションを行うには、地球全体を細かな格子(メッシュ)で区切り、計算式を与えていく。

年ごとに比較したもので、確かに産業革命のあたりからじわじわと気温が上がっています。どうも気温上昇と人間活動は関連があるようです。20世紀の間に地球の平均気温は約0.6℃上昇し、今後、2100年にはさらに1990年の気温から4～5.8℃上昇すると書かれています。地球の周りは大気で覆われ、二酸化炭素などの温室効果ガスが含まれていますが、それ自体は悪者ではありません。大気の温室効果ガスが全くないとすると、地球の平均気温は-18℃にもなるといわれます。ただ、最近では温室効果ガスが増えすぎて、気温が上がっているのです。このまま地球温暖化対策を講じなければ2100年には空気中の二酸化炭素濃度は現在の2倍になり様々な災害を引き起こす可能性もあり、積極的に対策を行えばそれを防ぐこともできます。海水も地球のエネルギー輸送に大きく関わっています。北極で冷えた比重の重い海水は海底へ沈み大西洋を經由して太平洋を北上し、赤道付近の貿易風で南北に散らされた表面の海水を補うように再び上昇します。こうした海水の大循環もシミュレータで予測してみたいですね。

地球の内部、プレートテクトニクス運動についても、掘削船で海底を掘って研究を推進しようとしています。センターでは地球深部探査船「ちきゅう」も建造中です。

このように、地球シミュレータ計画の背景には、気候や地殻の変動、異常気象や大気汚染など地球規模で起こる様々な変動現象があり、そうした事象の理解と予測によって、人類の持続的な発展、自然災害からの人命保護などに役立てていくという目的があります。大規模シミュレーションによる研究は、理論、実験に次ぐ、

第三の科学ともいわれます。地球シミュレータ計画は、1997年に科学技術庁(現・文部科学省)によって始められました。基礎科学による現象の解明、観測研究によるデータ収集、そしてシミュレーション研究の三位一体により、効果的な地球環境変動予測研究の推進を目指しています。研究開発段階では、日本原子力研究所、宇宙開発事業団、海洋科学技術センターの三者が「地球シミュレータ研究開発センター」を設立、本体や基本ソフトの開発を進めてきました。現在は、「地球シミュレータ」の運用管理および応用ソフトウェアの研究開発の段階に入り、新しく「地球シミュレータセンター」を設立し海洋科学技術センターが運営しています。このような大規模シミュレータは世界にひとつしかありませんから、外部の方にも有効利用してもらえようように公募制で研究テーマを募ったり、海外との共同研究にも使える体制をとっています。

●世界最速のコンピュータ

地球シミュレータシステムの中核となる計算機は、8個のCPUと16ギガバイトの共有メモリが1セットとなり、これを計算ノードと呼びます。「地球シミュレータ」はこの計算ノード640個で構成されています。ここで重要なのはベクトル計算機を使っていることです。パソコンなどはスカラ方式と違って、 $C(0)=A(0)+B(0)$ 、 $C(1)=A(1)+B(1)$ 、…と順番に計算をしていく方式が使われます。ベクトル方式は、それをいっぺんにこなす方法です。船に例えると、右岸から左岸に人を運ぶのに1人ずつ小舟に乗せて往復するのがスカラ方式、大型船におおぜい乗せていっ

きに運ぶのがベクトル方式なのです。この場合の船の速さはコンピュータではクロックと言ひ、パソコンでは2.0ギガもの高速の周波数を使ったものがありますが、「地球シミュレータ」のベクトル計算機は500メガ程度。つまり船の速度は遅いんですが、一度に運べる量が多いため、結果的に処理能力が速くなるのです。この特別な計算機によって、1秒間に40兆回の計算ができる非常に高性能な処理能力を実現したのです。

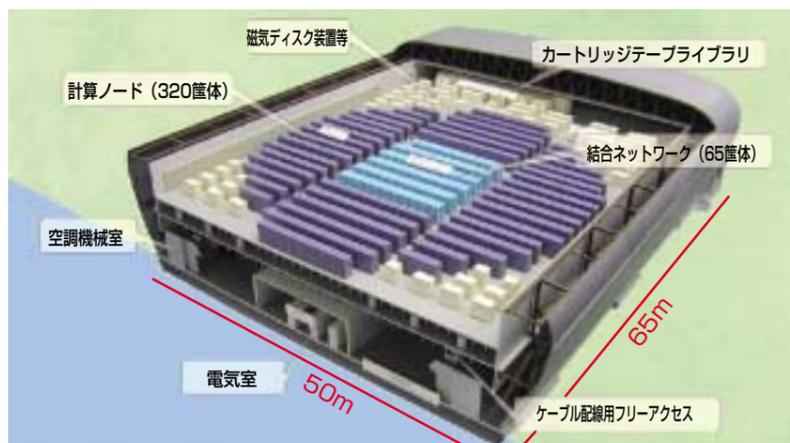
シミュレータの開発で特に苦労したのは、このCPUのワンチップ化です。わず



中央の黒い部分が2cm×2cmのCPU(プロセッサ)。これ1枚で8ギガフロップスの演算処理能力がある。



上のプロセッサボード8個と16ギガバイトの共有メモリで1台の計算ノードを構成。計算ノードキャビネットには2台の計算ノードが収納されている。



50m×65mの計算機室内に320筐体の計算ノードキャビネットと65筐体の結合ネットワークキャビネットが並べられている。

か2cm×2cmのチップの中に全ての機能を凝縮する、これに非常に時間がかかりました。ひと世代前のスーパーコンピュータだと32個のチップを使って同じ性能を実現していました。約23cm角ほどの大きさですが、シミュレータに必要なCPU数、5,120個を収納するのに、その大きさでは今の倍以上の広さが必要で物理的に無理です。あとでみなさんも見学すると思いますが、計算機室の内部はテニスコート約4面分。そこにキャビネットがずらりと並び、なかなか一枚の写真に収まらない(笑)。計算機室の床下にはネットワークをつなぐケーブルが納められています。本数にして8万3,000本、全長約2,400km、北海道から沖縄までの長さがあります。

計算機の性能を測るためにはLinpackという世界的に広く使用されているテストプログラムがあります。それを使って

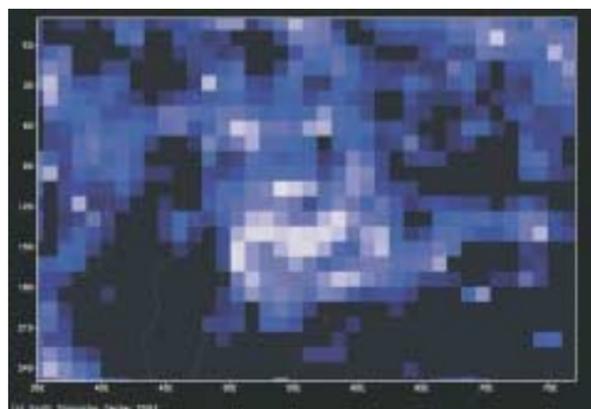
「地球シミュレータ」は世界最高の演算性能を持つことが承認されました。それまで世界最速だったコンピュータに比べ、5倍もの速さが出たのです。コンピュータは実効性能が重要で、ピーク性能(理論値)がいくら良くても、実際の計算でその性能が出なければ意味がない。「地球シミュレータ」はピーク性能が40テラフリップス(*注)のところ、実効性能で35.86テラフリップスまで出せました。米国の新聞の見出しに「コンピュートニク」と書かれ世界中を駆けめぐりました。宇宙開発大国アメリカを驚かせたロシアの人工衛星スプートニク事件の再来、という造語です。加えて、昨年11月にはスーパーコンピューティング2002という米国の国際会議で非常に荣誉ある「ゴードンベル賞」も受賞しました。

最後に「地球シミュレータ」で可視化

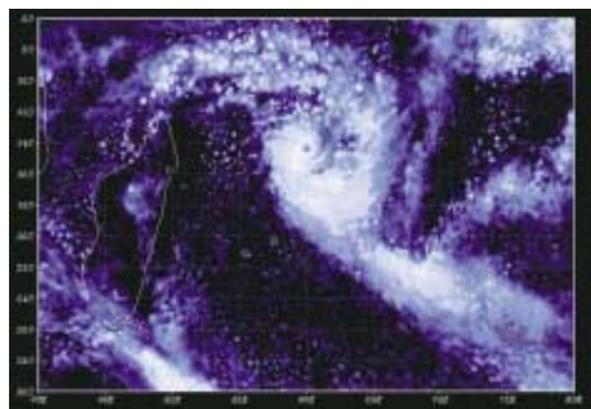
した全球モデルをご覧に入れます。メッシュ(格子)サイズ10kmで地球の降水量を色分けしています。北半球の夏の画像ですが、台風の日も再現されています。気象衛星データと同じような感覚で再現できます。全球モデルでこういうことができるのは世界で初めてです。現在はこの計算が本当に正しいかどうか、正確な観測データを入力し、実証、実験しています。実際に研究目的でシミュレータを使うには、あらかじめ50年分以上のプログラムを走らせておく必要があります。コップにコーヒーを入れ表面をそっと吹きながらミルクを垂らすと模様ができますね。やがてコーヒーは底の方まで動きミルクと混ざってくる。同様に、「地球シミュレータ」も1、2年のデータだけでは表面しか動かない。50年くらいのデータで準備運動をして海底の方まで攪拌し、いろんな現象がシミュレーションの中に入るようにして、ようやく先ほどのようなシミュレーションが可能となるのです。

今後は、さらに大気モデルと海洋モデルのカップリング作業があります。海からの熱量は大気に上がり、空から降った雨は海に注ぎますね。互いのデータのカップリングができれば、もっと精度の高いシミュレーションをお見せできると思います。是非とも期待してお待ちいただきたいと思ひます。

*テラフリップス=テラは10の12乗。キロ、メガ、ギガに次ぐ単位。1兆倍。テラフリップスは計算速度を表し、1テラフリップスは1秒間に1兆回の計算ができる性能を表す。



従来のモデル 150~200kmのメッシュで降水量をシミュレーションした結果。



地球シミュレータモデル 10kmメッシュで全球をシミュレーションしている。台風の日もはっきりと見える。



Blue Earth BE Room

「海洋科学技術センターの世界」をテーマに、ビデオ上映や解説が行われた。

夏休みを利用して、海洋科学技術センター横浜研究所では、7月30日、8月6日、20日、27日の4回にわたって「夏休み子供教室」が実施された。これは、多くの人々にセンターの活動や海洋科学・地球科学に関心を抱いてもらうことを目的に開催されたもので、今回は小学生高学年の子どもたち(各回30名)とそのご家族を

対象に行われた。

「海洋科学技術センターの世界」をテーマにしたビデオ上映では、有人潜水調査船「しんかい6500」、地球深部探査船「ちきゅう」、世界最速のスーパーコンピュータ「地球シミュレータ」、エル・ニーニョなどの観測を行っている熱帯域海洋気象観測係留ブイシステム「トライトンブイ」

Book

『海の生き物 100不思議』東京大学海洋研究所/編 東京書籍/刊 1,500円(本体価格)

「クラゲが大発生する理由」「ウナギの産卵場所の謎」「クジラやイルカが座礁するのはなぜ?」といった素朴な質問が全部で100問、ひと見開きにひとつのコラムにまとめられている。実はこの本、「海洋生命系のダイナミクス: Dynamics of the Ocean Biosystem (DOBIS)」という海洋学の研究者による大型研究プロジェクトの活動成果を踏まえ、一般の人

にも親しみやすい形でまとめてみようとして出されたもの。海洋生命系の先端を担う研究者たちが、素朴な疑問に最新の知識で答えてくれる。深海生物のコラムではJAMSTECの研究者も執筆している。海流や海水成分、生命の進化、地球温暖化や人間の営みなどとのつながりも感じさせる幅広い内容は、「海の生き物」から海洋生命系の複雑さへと興味をかきたてて



家族で地球深部探査船「ちきゅう」の工作を楽しむ。

を、それぞれ取り上げて分かりやすく解説。さらに、参加した子どもたちは、センターオリジナルの工作キットでミニサイズの「しんかい6500」や「ちきゅう」をつくりたり、科学実験やインターネットなどにチャレンジして、楽しいひとときを過ごした。



『Blue Earth』定期購読のご案内



<http://www.jamstec.go.jp/jamstec-j/regular/index.html>

発行日にお手元に届く便利な年間定期購読をご利用ください。定期購読を申し込まれる方は、以下の内容をハガキかEメールにてお送りください。購読するためには、定価+送料+振込手数料がかかります。

郵便番号・住所・氏名・機関名・所属(学年)・TEL・FAX・E-mailアドレス・定期購読を希望する刊行物名(海と地球の情報誌「Blue Earth」)

支払方法

・年度一括: 4月から翌年3月までの1年分(5・6月号~翌年3・4月号)を一括でお振り込みいただけます。
・1誌毎: 毎号送付する際に請求書を同封いたします。その都度振込手数料がかかります。

送り先

〒236-0001 神奈川県横浜市金沢区昭和町3173-25
海洋科学技術センター 横浜研究所 情報業務課 情報業務課
「Blue Earth」編集室

送信先

info@jamstec.go.jp

お問い合わせ

海洋科学技術センター 横浜研究所 情報業務課 情報業務課
TEL: 045-778-5350
FAX: 045-778-5424
E-mail: info@jamstec.go.jp