

地球シミュレータが拓く未来

浅野 俊幸 板倉 憲一 上原 均

国立研究開発法人海洋研究開発機構 地球情報基盤センター

地球に関わる全ての学術分野や産業界に広く利用されてきた地球シミュレータ (ES) の 3 代目のシステムが稼働を開始した、その特徴を述べるとともに最新の利用動向と産業利用の取り組みについて述べる。

Key word: 地球シミュレータ、特別推進課題、地球シミュレータ産業戦略利用プログラム

1. はじめに

地球シミュレータは、地球に関わる全ての学術分野や産業利用に利用されている。2002 年に稼働を開始した初代から 2 代目の地球シミュレータへ変遷する時期に国のフラッグマシンとしての役割を終了し、その後、地球関連分野の専用マシンとしての役割を得て現在に至っている。昨年 2015 年 6 月からは 3 代目の地球シミュレータが稼働を開始し、皆様に大いに活用されている。産業界における利用については、各企業による取り組みにとどまらずさらに協働の結び付きを強くできるよう、イノベーション創造に向けた展開基盤となるよう柔軟な運用と強力なサポートそして戦略的な共同研究の促進にさらに力を注いでいる。本稿では、新しい地球シミュレータについて説明するとともに、新システムになって新たな試みで実施した特別推進課題の成果と、それを支える技術サポートについて、さらに、これまで長く実施してきた役目を終える地球シミュレータ産業戦略利用プログラムについて説明する。

2. 地球シミュレータの概要

地球シミュレータは、平成 14 年に初代システムが運用を開始し、地球温暖化に関する IPCC 第 4 次および第 5 次報告書への貢献をはじめ地球科学ならびに関連科学技術の発展に多くの貢献をしている。平成 21 年 3 月には第 2 代(ES2)への更新が行われた。その間、フラッグシップ・システムから、海洋地球科学分野を主とした計算を担当するシステムへと役割が変わったが、この分野を中心に多くのユーザに利用されてきた。ES2 は、平

成 27 年 2 月末日をもって運用を終了し、3 月からは ES2 の実効性能を 10 倍超上回る新地球シミュレータの試験運用が開始され、6 月には正式運用に入った (表 2-1)。新地球シミュレータでは省エネルギー化を達成するとともに、引き続き海洋地球科学分野を中心とした研究を推進する HPC 基盤システムとして活用されるように運用を行っている。



図2-1 新地球シミュレータ

新地球シミュレータは、平成 27 年 3 月より全体の 1/2 の 2560 ノードでの稼働を開始し、6 月より全システム 5120 ノードでの正式運用を開始した。導入にあたっては、システムが運用に耐えうるものであることを担保するため、機能、性能が提案仕様を満たしていることを、それぞれ 914 項目、13 項目の実証検査で確認するとともに、試験運用での負荷環境下での二週間の連続運用とその間 90%以上の資源が利用可能であることを要件とする可用性検査を実施し、新地球シミュレータシステムは、可用率 98.985%率で検査合格となった。性能試験では、調達時の性能評価試験に用いたベンチマークプログラムで実測を行ったが、実際のシステムは、コンパイラの改善などが寄与し、入札時の報告値を実測値が 2~5%上回ることが確認された。

表 2-1 ES2 と新地球シミュレータの仕様比較

		ES2 (SX-9)	新 ES (SX-ACE)
コア	ピーク性能	102.4 GFLOPS	64 GFLOPS
	ADB 容量	256 KB	1 MB
C P U	コア数	1	4
	ピーク性能	102.4 GFLOPS	256 GFLOPS
	メモリバンド幅	256 GB/s	256 GB/s
ノ ー ド	CPU 数	8	1
	メモリ容量	128 GB	64 GB
シ ス テ ム	ノード数	160	5,120
	CPU (コア) 数	1,280 (1,280)	5,120 (20,480)
	ピーク性能	131 TFLOPS	1.3 PFLOPS
	ネットワーク性能	8 × 8 GB x 2	4 GB × 2

地球シミュレータはシステム保守を除き、年間の総供用計算資源は 37,600,000 ノード時間として計画し、実際の運用では、4 月～1 月の利用率は、99.96%を達成した。また、利用率、稼働率は、全ノード運用を開始した6月から9月までの立ち上がり時間に時間がかかったものの、11 月以降は利用率が増加し、1 月の利用率は 97%、稼働率は 87%に達した(図 2-2)。

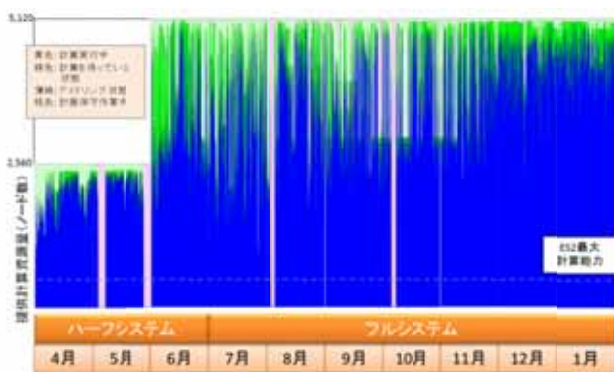


図2-2 ノード使用状況の推移

地球シミュレータで使用されている OS は、NEC の SX シリーズのスーパーコンピュータのために開発されたオペレーティングシステム SUPER-UX である。オペレーティングシステムとして UNIX System V をベースに、BSD および SVR4.2MP から機能を取り込み、さらにスーパーコンピュータに必要な機能を強化した

オペレーティングシステムである。

システム構成の特徴として、5120 ノードはそれぞれ独立したファイルシステムを持っている。計算ノード全てを使用するような巨大な並列ジョブが、一つの計算ノードに接続されたディスクを共有して大量の読み書きを行うと、各々の計算ノードはそのディスクを順番にアクセスするため、パフォーマンスが極度に悪くなる。各々の計算ノードが自身のディスクに読み書きするようにすれば、そのような問題は解決できるが、膨大な量のファイルをプログラミングで管理することは、非常に難しくなる。そこで、従来からのステージング処理を踏襲し、分散コンピューティング環境に高速な I/O 性能を提供する NEC Scalable Technology File System(ScaTeFS)を採用した。地球シミュレータは基本的にはバッチ処理システムであり、バッチ処理システムとして、Network Queuing System II(NQSII)が使用されている。大規模ジョブで使用する各計算ノードはユーザディスクへアクセスすることはできないが、これはディスクへのアクセス性能を十分に確保するためである。そのため、ジョブの実行に必要なファイルはジョブの実行前に各ノードのワークディスクへコピー(ステージイン)をする必要があるが、このステージングにかかる時間を如何に隠すかがジョブスケジューリングでは重要になる。

地球シミュレータのハードウェアは、3 階層の並列性(ベクトル処理、PN 内の共有メモリ並列処理、PN 間並列処理)を持っている。地球シミュレータの性能を十分に引き出すには、これら 3 つの並列性を最大限に利用するプログラムを開発する必要がある。

表 2-2 地球シミュレータのプログラミングモデル

	ハイブリッド	フラット
PN 間並列	HPF/MPI	HPF/MPI
PN 内並列	マイクロタスク / OpenMP	
AP	自動ベクトル化	

表 2-2 に示すように、地球シミュレータの 3 階層並列性を利用するには「ハイブリッド並列化」と「フラット並列化」の 2 つの方法がある。ハイブリッド並列化では、ノード間並列性は HPF または MPI で記述し、ノード内並列性はマイクロタスクまたは OpenMP で記述

する。この場合は、プログラムを書く際に並列性の階層を意識する必要がある。一方で、フラット並列化では、ノード間並列性とノード内並列性の両方をHPFまたはMPIで記述できるため、並列性の階層を意識する必要はない。一般に、ハイブリッド並列化は性能に優れ、フラット並列化はプログラムのしやすさに優れている。MPI ライブラリと HPF ランタイムは、どちらの並列化方法においても効率良く動作するよう最適化されている(図2-3)。

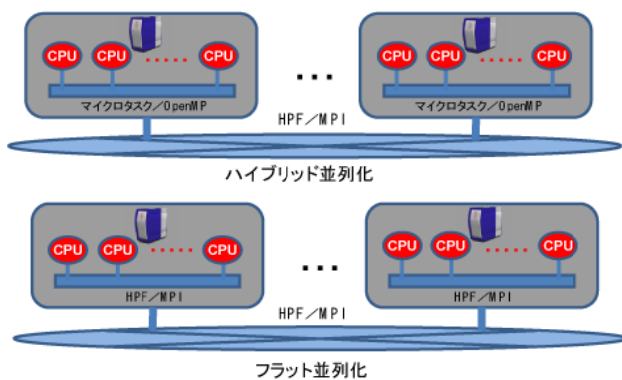


図2-3 ノード使用状況の推移

3. 新地球シミュレータシステムの利用について

3.1. 利用の枠組み

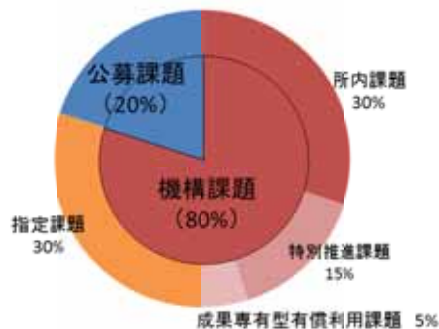


図3-1 地球シミュレータ利用の枠組み

平成27年度での地球シミュレータ利用枠を図3-1に示し、各課題の定義は表3-1に示す。当機構外の研究者を課題代表者として地球シミュレータを利用できる枠組みとして、公募課題のほか、特別推進課題、指定課題、成果専有型有償利用課題があり、割り当て可能計算機資源量の計70%におよぶ。所内課題においても当機構外の研究者が課題参加者として参加できるため、地球シミュレータは外部に対して非常に開かれた計算機リソ

ースとなっている。なお地球シミュレータのプリ・ポストシステムとして位置づけられる大規模共有メモリシステム UV2000 は原則、指定課題枠内の特定プロジェクトと成果専有型有償利用課題において外部利用が可能である。

表3-1 地球シミュレータの課題枠

課題枠	定義	特徴
所内課題	機構の役職員を代表者として、機構内を対象に募集する課題	機構が中期計画達成のために使用する課題
特別推進課題	成果創出の加速を目的として、機構の内外を問わず募集する課題	地球シミュレータの特性を最大限に活用し、成果を創出する課題
指定課題	国等からの委託、補助金等を受け、機構が実施または第三者に実施させる課題	国等が進めるプロジェクトに貢献する課題（気候変動リスク情報創生プログラムなど）
成果専有型有償利用課題	産業界等に対し、成果専有を条件に有償で実施させる課題	産業界における利用を促進する課題
公募課題 (20%)	主に地球科学分野について、機構外を対象に募集し、かつ成果の公開を義務付ける課題	わが国の地球科学分野と関連分野を牽引する課題

3.2. 地球シミュレータの利用課題

地球シミュレータの利用課題については成果専有型有償利用課題を除いて、ホームページにて公開されている[1]。平成27年度では、所内課題として23課題が採択された。特別推進課題は試験運用期間(平成27年3月～5月)で4課題、第一期(平成27年6月～9月)で4課題、第二期(10月から平成28年1月)で4課題、計12課題が採択された。指定課題では「気候変動リスク情報創生プログラム」と「地球シミュレータ産業戦略利用プログラム」が実施されている。公募課題としては計18課題が採択された。

3.3. 新地球シミュレータの利用成果例

ここでは新地球シミュレータを用いた利用成果例として、特別推進課題の成果をいくつかご紹介する。

まず気象庁気象研究所の高薮出先生を課題責任者とした「地球温暖化施策決定に資する気候再現・予測実験データベース」では、本格化する地球温暖化への対策の推進に資するため、甚大な災害をもたらす極端気象の将来変化予測も含む高解像度大規模データベース「d4PDF」を作成した（図 3-2 参照）。将来の気候変化を高い精度で推定できるため、防災等への研究利用はもとより、国や自治体、産業界での影響評価や温暖化対策策定への活用が期待される。この研究成果は 2015 年 12 月 21 日「地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース公開シンポジウム」において公開された[2]。

次に、徳島大学 馬場俊孝教授を課題責任者とする「即時津波浸水予測に向けた高分解能・量的津波シミュレーション」では、南海トラフ地震を想定した大規模津波シミュレーションを実施し、多数のシナリオに基づく和歌山県沿岸域における津波浸水データベースを構築した。本津波データベースとして 2015 年より和歌山県が独自に運用している津波浸水予測システムに組み込まれており、津波予報業務に活用されている（図 3-3 参照）。高精度津波浸水データベースを活用した津波の高さだけでなく津波浸水の即時予測は、南海トラフ地震における津波被害の軽減に資すると期待される。

このほか、特別推進課題の研究成果は、TV ニュース(NHK)や新聞記事、ネットニュースでも取り上げられたほか、学術論文 42 本(2016/2/18 現在)としても公表されている。

以上の紹介から分かるように、新地球シミュレータでは運用開始後一年少々で今後の防災・減災、あるいは地球温暖化対策、海洋政策などの多方面から社会に貢献できる、極めて貴重な研究成果が創出されている。

3.4. 新地球シミュレータの技術サポート

前節では新地球シミュレータで創出された研究成果を紹介したが、これらが創出されるにあたってはプログラムの移植や最適化などが不可欠であり、それには当センター職員も大きく貢献した。ここでは、これまでの技術サポートをとおして得られた知見についてご紹介する。

3.4.1. 新地球シミュレータの特色

技術サポートの概要をご紹介する前に、技術サポートを行う上で根幹となった、新地球シミュレータ(SX-ACE)の技術的特徴について御紹介する。

最初にあげられるのが、メモリ性能の向上である。なかでも NEC 社製 SX シリーズ独自のコアメモリ間キャッシュである ADB (Assignable Data Buffer) は、SX-9 から取り入れられてはいたが、SX-ACE ではコアあたりのサイズが SX-9 時の 4 倍にあたる 1MB に拡大された。さらに Miss Status Handling Register (MSHR) も導入された。これらの動作概念を図 3-4 に示すが、4 回のロード命令(LDA)が最良のケースでただ 1 回のメモリアクセスで実現される。またメモリレイテンシも大幅に削減されている。

またベクトル計算機として重要なベクトル計算処理については短ベクトル性能・リストベクトル性能が向上している。さらにスカラ性能についても大幅に改善されている。

一方で、ノードあたりのピーク性能は ES2 の 819.2GF から 256GF にダウンしている(表 2-1)。コアあたりの演算性能も ES2 時の 102.4GF/s から 64GF/s に低下しているので同コア数での速度比較は不利となる。ノードあたりのメモリ容量も半減しているため、新地球シミュレータでは ES2 時よりも多くのノードを使うのが必然となる。しかしノード間ネットワーク性能も ES2 時の 8×8GB/s から 4GB/s に大幅ダウンしているため、効率的な通信が必要となる。

地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース

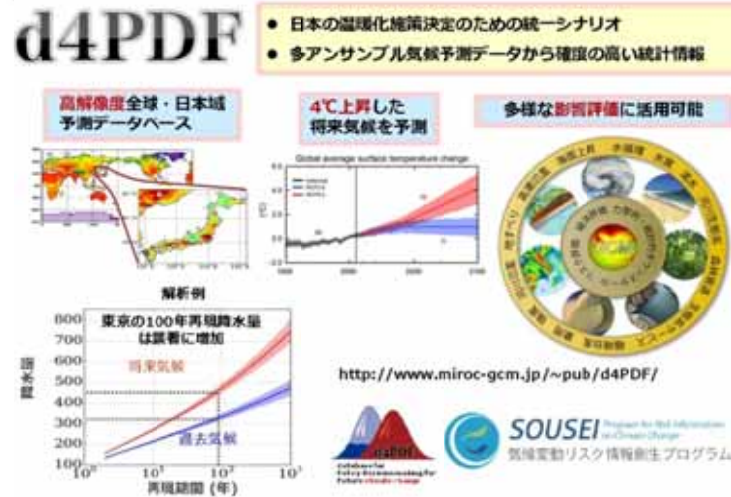


図 3-2 高解像度大規模データベース「d4PDF」の概要



図 3-3 和歌山県の津波浸水予測システム

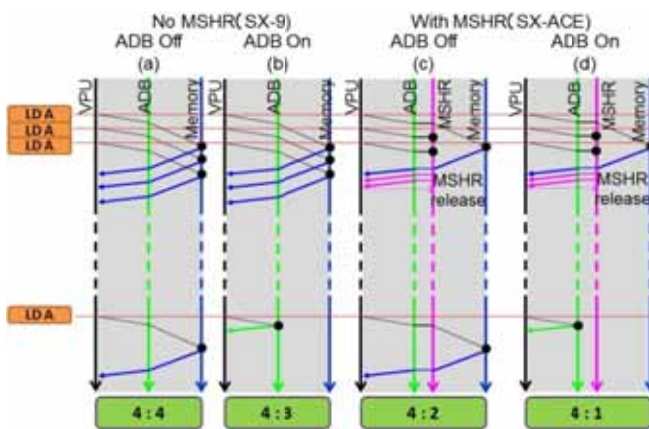


図 3-4 ADBとMSHRによるメモリアクセス負荷軽減

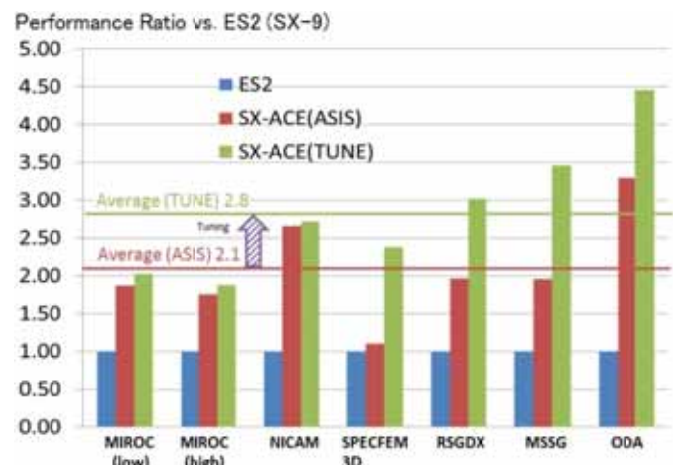


図 3-5 地球科学系アプリケーションによるベンチマーク

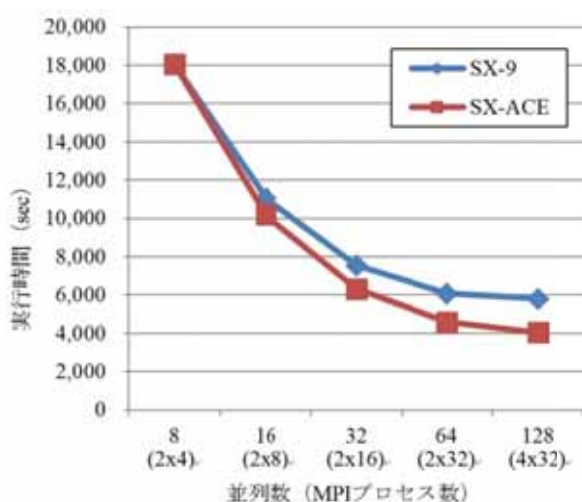


図 3-6 津波遡上プログラム JAGURS での SX-9 と SX-ACE の性能比較

3.4.2. SX-ACE 向けチューニング

SX-ACE は短ベクトル性能の向上および連続メモリアクセスの性能向上といった特長を有するため、ベクトル・チューニングでは「短ベクトル長であっても連続メモリアクセス」を目指す。対照的に SX-9 でのベクトル・チューニングの方向性は「ストライドアクセスであってもベクトル長を長くする」であったので、SX-9 と SX-ACE は同じベクトル機とはいえ、ベクトル・チューニングの方向性は真逆といえる。しかし昨今のアプリケーションではベクトル長が短くなる傾向があるので、SX-ACE の方向性は昨今のアプリケーションの傾向に合致しているといえる。

また ADB の拡大は SX-ACE の特徴であるものの、コンパイラが非常に効果的なコードを生成しており、プログラマによる ADB チューニングはほぼ不要と、当方は経験則的に判断している。

前述した通信性能の低下については、ハードウェアとしてのネットワークスループットは低下しているが、隣接間通信であれば送信プロセスと受信プロセスの両方を同一ノード内に配置することで性能向上が得られる。これは同一ノード内の MPI 通信はメモリコピーで実現されるためであり、大幅に高速化される可能性がある。ただし同一ノードに配置できるのは 4 プロセスまでであるから、効果は限定的であるかもしれない。通信回数の低減やプロセス間ロードインバランスの解消によるアイドル時間低減は SX-ACE でも効果的である。

3.4.3. 地球科学系アプリケーションでの性能測定結果

図 3-5 に六種の地球科学系アプリケーションによるベンチマーク結果をグラフで示す。MIROC については高解像度と低解像度での 2 ケースのベンチマークを行ったので計 7 ケースである。このベンチマークは同 CPU 数での ES2(SX-9)、SX-ACE(高速化前 (ASIS)、高速化後 (TUNE)) の速度を計測しており、グラフの縦軸は各アプリケーションの ES2 での速度で正規化している。つまり縦方向の目盛の 2 は ES2 時の倍速を意味する。ここで CPU ピーク性能は、ES2(SX-9)で 102.4GF/s、新 ES(SX-ACE)で 256GF/s であり、倍率としては 2.5 にも関わらず、SX-ACE 向けチューンの結果として ES2 の 2.5 倍以上に高速化されたアプリケーションが存在することは興味深い。これは、SX-ACE で講じられた各種の改良が実アプリケーションのピーク性能比向上に結び付いたものと思われる。

この SX-ACE における実行性能向上は別のケースでも確認されている。3.3 で紹介した特別推進課題の徳島大学 馬場教授らの課題で用いられた津波遡上シミュレーションプログラム JAGURS について ES2 と新 ES での性能比較を図 3-6 に示す。

このグラフの横軸は core 数であるため、core 当たりの性能が 102.4GF/s の SX-9 に比べ 64GF/s の SX-ACE が不利な筈であるが、図に示される通り、並列数が多くなるにつれて SX-ACE の方が実行時間が低減、すなわち高速化している。これは、単純な core 当たりピーク性能の比率 ($64/102.4=0.625$) から考えれば SX-ACE では 4 割弱ほど実行性能が悪化する筈であるが、その度合い以上に SX-ACE でのピーク性能比が高まっていることを示している。

4. 地球シミュレータの産業利用

4.1. 地球シミュレータ産業戦略利用プログラム

地球シミュレータの産業利用では、大きく分けて 2 つの利用方法が提供されている。1 つはここで述べる「地球シミュレータ産業戦略利用プログ

ラム」であり、我々は成果公開型と略している。
もう 1 つは、「地球シミュレータ成果専有型有償利用」であり、研究テーマや研究成果、利用者情報などを公開しない「非公開型利用」である

(http://www.jamstec.go.jp/es/jp/project/ot_hers.html)。

「地球シミュレータ産業戦略利用プログラム」は、平成 19 年度、文部科学省の「先端研究施設共用イノベーション創出事業【産業戦略利用】」の一環として開始した。平成 21 年度から平成 24 年度は文部科学省の先端研究施設共用促進事業による補助事業として、平成 25 年度から平成 27 年度まで文部科学省の先端研究基盤共用・プラットフォーム形成事業による補助事業として実施している。

先端研究基盤共用・プラットフォーム形成事業は、大学、独立行政法人等が保有する外部利用に供するにふさわしい先端研究施設・設備について、産業界をはじめとする産学官の研究者等への共用を促進するとともに、これらの施設・設備のネットワーク化や先端性向上等を併せて支援することで、多様なユーザーニーズに効果的に対応するプラットフォームを形成し、もって「科学技術イノベーションによる重要課題の達成」、「日本企業の産業競争力の強化」、「研究開発投資効果の向上」に貢献することを目的として実施されている。

海洋研究開発機構では、上記の趣旨に沿って、国内でも有数の規模を誇る「地球シミュレータ」について、科学技術に関する数値シミュレーションを用いた研究・開発を行う機関への共用を促進し、利用を積極的に支援することを目的として「地球シミュレータ産業戦略利用プログラム」を実施している。本事業の推進を目指して、地球シミュレータを利用する際に必要となる技術指導や支援を行う施設共用技術指導研究員と、利用者拡大のための活動や利用開始後のフォローを行う共用促進リエゾンを配置している。

表 4-1 これまでの採択件数

	総計	流体	ナノ	環境	バイオ	新規
平成 19 年度	12	2	3	—	—	7
平成 20 年度	12	4	4	—	—	4
平成 21 年度	14	1	5	2	2	4
平成 22 年度	13	1	4	3	1	4
	総計（＊）		環境負荷（＊）		安全・安心（＊）	
平成 23 年度	13（5）		10（3）		3（2）	
平成 24 年度	13（6）		9（4）		4（2）	
平成 25 年度	10（5）		8（4）		2（1）	
平成 26 年度	12（8）		9（5）		3（3）	
平成 27 年度	11（9）		6（4）		5（5）	

流体：戦略分野利用推進、戦略分野「極限環境流体シミュレーション」

ナノ：戦略分野利用推進、戦略分野「ナノ・材料における物性解明・機能高度化シミュレーション」

環境：戦略分野「環境負荷低減技術開発・評価シミュレーション」

バイオ：戦略分野「大規模バイオシミュレーション」

新規：新規利用拡大、新規分野

環境負荷：「環境負荷を低減する技術開発」分野

安全・安心：「安全・安心な社会を実現する技術開発」分野

＊：うち、トライアルユースの件数

分野について

- 「極限環境流体シミュレーション」：主に、高温、高圧、高速、微小スケールなどの環境（極限環境）下における流体挙動等の解明・制御を目指す課題
- 「ナノ・材料における物性解明・機能高度化シミュレーション」：非経験的第一原理計算や分子動力学等に基づいた計算機シミュレ

ーションを行うような課題

- 「環境負荷低減技術開発・評価シミュレーション」：環境に与える負荷を低減する技術の開発あるいは評価に関するシミュレーションにより、環境問題の解決あるいは改善につながる課題
- 「大規模バイオシミュレーション」：医療技術や創薬といった分野において大規模な計算機シミュレーションを用いて取り組む課題
- 「環境負荷を低減する技術開発」：低炭素化、省エネ、エコ製品、再生可能エネルギー等に係る技術的課題の解決を目指す利用課題
- 「安全・安心な社会を実現する技術開発」：防災・減災、事故対策、創薬、ライフイノベーション等に係る技術的課題の解決を目指す利用課題

表 4-1 にあるように、平成 19 年度から 27 年度までの 9 年間で、延べ 110 課題の利用があった。表 4-2 に平成 27 年度の実施課題を紹介する。

表 4-2 平成 27 年度先端研究基盤共用・プラットフォーム形成事業

分野	プロジェクト責任者・所属	プロジェクト名
環境	株式会社東芝研究開発センター	低環境負荷材料の基礎となる高性能機能性材料の探索
環境	株式会社東芝電力社会システム技術開発センター	流体構造大規模連成解析を用いた高性能ターボ機械翼等の部分負荷特性を考慮した設計法の開発
環境	株式会社テラバイト	人工的な仮定を極力排した物理モデルに基づく非熱流体シミュレーションコードの開発
環境	東光株式会社	大規模数値解析によるコイル損失低減技術の開発
環境	日本ゼオン株式会社	環境負荷低減に向けたカーボンナノチューブ複合材料の電気伝導に関する大規模シミュレーション

分野	プロジェクト責任者・所属	プロジェクト名
環境	アドバンスソフト株式会社	大規模共有メモリシステムにおける大規模シミュレーションの可能性の検討
安全	日本電波工業株式会社	水晶振動子の設計精度向上
安全	株式会社地圏環境テクノロジー	全球水循環シミュレーションモデルの構築
安全	清水建設株式会社	強震動予測の高精度化に向けた動力学モデルを用いた断層破壊シミュレーション
安全	計測エンジニアリング工業株式会社	解の爆発を伴う非線形方程式の計算
安全	大同メタル工業株式会社	ナノバブルの形成および挙動に関する大規模シミュレーション

環境：「環境負荷を低減する技術開発」 分野

安全：「安全・安心な社会を実現する技術開発」 分野

4.2. スーパーコンピュータ活用のための取り組み

わが国の産業競争力強化のためには、スーパーコンピュータ本体の利用環境の整備はもちろん、活用のためのソフトウェアが準備されていることが重要である。いくつかの取り組みはあるもののスーパーコンピュータの産業利用が進んでいない 1 つの要因でもある。

この問題に取り組んだ課題として、「地球シミュレータ産業戦略利用プログラム」で実施された 1 つの研究を紹介したい。平成 26 年度から実施されているアドバンスソフト株式会社の“大規模共有メモリシステムにおける大規模シミュレーションの可能性の検討”（表 4-2）である。

アドバンスソフト株式会社は、国プロあるいは自社で開発した多くの大規模・高精度なシミュレーションソフトウェアを保有している。それらをスーパーコンピュータ上で性能を発揮できるようにチューニングし、環境整備することは、今後のスーパーコンピュータの産業利用に大きく貢献できると考え、海洋研究開発機構の保有する大

規模共有メモリシステム SGI UV2000 にアドバンスソフト株式会社が所有するソフトウェアを移植し、更なるチューニングを実施した。さらに、本システムを利用した、利用者が使いたいときに直ちにスーパーコンピュータを利用できる「アドバンス／スーパーコンピューティング・サービス [3]」事業を 2015 年 8 月から開始している。このようにスーパーコンピュータを使った成果を上げるにとどまらず、その利用環境を整備することによって、わが国の産業競争力強化に努める課題も登場してきたのは注目される。詳細についてはアドバンスソフト株式会社に照会されたい。今後は、全国のスーパーコンピュータの共用に際して、より敷居が低い利用環境が整備され、ますますの利用拡大が見込まれるものと考ええる。その一翼を、海洋研究開発機構が努められるよう、今後も産業利用に注力していきたい。

参考) 大規模共有メモリシステム (UV2000)
(UV2000 の図)

SGI 社製 UV2000 で構成されている共有メモリ型スカラ並列計算機である。32TByte の共有メモリを 1 ノードで運用している。2.4GHz の Intel Xeon E5-4650v2 10 コアから成る CPU を 256socket 搭載している。全体では、総コア数 2560、総合演算性能は 、メモリ 32TByte となっている。



図 4 大規模共有メモリシステム (SGI UV2000)

た技術サポート、特別推進課題の成果について説明した。また、平成 27 年度で終了される地球シミュレータ産業戦略利用プログラムについてご紹介した。今後も引き続き地球シミュレータの利用拡大に努め、地球に関わる全ての学術分野や産業利用に取り組んでいく。

参考文献

- [1] 地球シミュレータ、
<http://www.jamstec.go.jp/es/jp/index.html>
- [2] 地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース公開シンポジウム、
<https://www.jamstec.go.jp/sousei/jp/event/others/d4PDFsympo/about.html>
- [3] 小池 秀耀ら, "特集「アドバンスソフト株式会社が製造販売するソフトウェアパッケージ」", アドバンスシミュレーション Vol.20, 2014.12.

※ 技術情報誌アドバンスシミュレーションは、アドバンスソフト株式会社 ホームページのシミュレーション図書館から、PDF ファイルがダウンロードできます。(ダウンロードしていただくには、アドバンス/シミュレーションフォーラム会員登録が必要です。)

5. おわりに

新たに稼働を開始した 3 代目の地球シミュレータの紹介、そのシステムの特徴を最大限に生かし