

令和2年度は地球シミュレータ（第3世代）の最終年度ということで、2月までの運用でしたが、期間中に利用可能だったノード時間は全体の99.96%、提供した計算資源のうちユーザの利用時間割合は96.38%であり、極めて安定な稼働と高い利用率でした。ユーザの皆様は新しいマシンへの移行準備もある中で、大いに活用いただくことができました。令和3年度からはベクトルノードに加えてCPUノード・GPUノードをあわせたヘテロな構成の新しい地球シミュレータ（第4世代）の運用が始まっております。新たな地球シミュレータについても、皆様の研究開発の発展につながるよう、積極的に活用していただきたいと思います。

地球情報基盤センター センター長
石川 洋一



地球シミュレータプロジェクト概要

1. 地球シミュレータ運営の基本方針

地球シミュレータは、海洋・地球・生命システムの統一像の解明のために、海洋研究開発機構が中期目標・中期計画を達成し、創造的で国際的に卓越した研究開発を推進するための基盤施設としての役割を有しています。海洋研究開発機構は、地球シミュレータを最大限に活用して我が国の海洋地球科学と関連分野を牽引し、また、海洋地球科学と関連分野及び産業界等を含む社会に対して地球シミュレータの利用の機会を広く開くものとしています。海洋研究開発機構は以下の基本方針に従い、地球シミュレータの運用を行っています。

- 1) 海洋研究開発機構は、地球シミュレータの効率的で安定した稼働を基盤とした資源の提供を行います。また、利用者が目的を効果的に達成できるよう多様なニーズに応じた運用と技術的支持を行います。
- 2) 地球シミュレータの利用に際しては、海洋研究開発機構に設置された計算機システム運営委員会による審議を経て機構が定める内容等に応じて特徴付けられた資源配分枠ごとに、課題と利用者を選定します。また、国等からの要請や有償利用の申請は原則として受け入れるものとします。海洋研究開発機構は、地球シミュレータのより良い運営を実現するため、利用者の意見を反映するとともに、地球シミュレータの運用への協力を要請します。
- 3) 課題の選定については、別に設置する課題選定委員会において審議するものとし、選定された課題毎の資源配分量も課題選定委員会の審議を経て決定します。課題選定委員会は、地球シミュレータの計算能力や特性を最大限に活用する課題や科学的なブレイクスルーが期待される挑戦的な課題、及び社会的貢献に資する課題等の利用促進も念頭に置き、地球シミュレータを利用した成果が学術及び社会に広く貢献できるように考慮するものとします。
- 4) 地球シミュレータの利用を通して、海洋地球科学と関連分野において世界をリードする科学者の育成を促進するとともに、地球シミュレータの運用における知見と経験を蓄積し、それらを利活用することにより、計算科学、計算機科学及び情報科学の研究開発と技術開発においても、卓越した人材の育成を推進します。
- 5) 地球シミュレータを利用して得られた成果は、その利用

条件に即して公表することとします。公表の際は、原則としてその成果が地球シミュレータを利用したものであることを明示することとしています。

2. 地球シミュレータの計算資源配分

海洋研究開発機構では、地球シミュレータの計算資源を「機構課題」と「公募課題」の利用枠に割り当てます。機構課題には、海洋研究開発機構の中期目標及び中期計画の達成のために必要な研究開発を行う課題並びに成果専有型有償利用課題があり、以下の4つの課題があります。

- 1) 所内課題：海洋研究開発機構の役職員を代表者として、海洋研究開発機構内の研究者を対象に募集する課題です。
- 2) 特別推進課題：地球シミュレータの能力を最大限に活用し、画期的な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です。新たなイノベーション創出や、関連する国の政策等の実現に貢献可能な課題提案も歓迎します。
- 3) 指定課題：国等からの委託、補助金等を受け、機構が実施し又は第三者に実施させる課題です。「統合的気候モデル高度化研究プログラム」、「科学研究費助成事業」などで利用されます。
- 4) 成果専有型有償利用課題：産業界等を対象とした有償課題で、利用者は成果を専有することができます。

機構課題に対して公募課題は、我が国の海洋地球科学と関連分野の研究を推進するため、広く地球シミュレータ利用の機会を開くもので、海洋研究開発機構外を対象に募集する課題です。

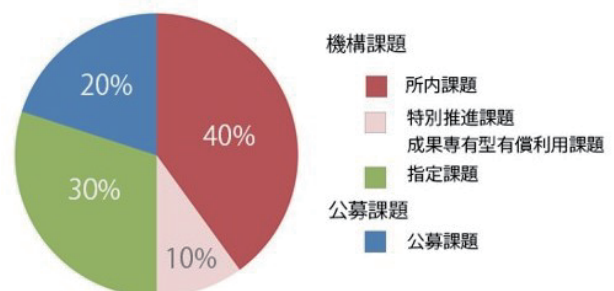


図1 令和2年度の地球シミュレータ資源配分

地球シミュレータ課題一覧

地球シミュレータ公募課題

課題名	課題責任者氏名	課題責任者所属
大気・海洋分野		
数値天気予報における予測可能性変動メカニズムの解明	松枝 未遠	筑波大学 計算科学研究センター
古環境研究および気候将来予測に資する気候数値実験	阿部 彩子	東京大学 大気海洋研究所
中緯度大気海洋結合変動が季節予測可能性に与える影響	中村 尚	東京大学 先端科学技術研究センター
航空機により観測された非常に強い台風の雲解像モデルを用いた高解像度シミュレーション	坪木 和久	名古屋大学 宇宙地球環境研究所
気候変動に伴う台風・沿岸災害ハザードの長期評価手法の開発	森 信人	京都大学 防災研究所
安定密度成層中の内部せん断層による乱流維持機構	渡邊 智昭	名古屋大学 大学院工学研究科
大型大気レーダー国際共同観測データと高解像大気大循環モデルの融合による大気階層構造の解明	佐藤 薫	東京大学 大学院理学系研究科
豪雨・高潮・津波の重畳災害に関する研究	有川 太郎	中央大学 理工学部都市環境学科
地域気候モデルを用いた気候変化予測	山崎 剛	東北大学 大学院理学研究科
全球海洋渦解像解析・予測システムの開発	田中 裕介	株式会社オーシャンアイズ
力学的ダウンスケーリングによる洪水リスクの将来予測	山田 朋人	北海道大学 大学院工学研究院
固体地球・宇宙分野		
津波被害軽減に向けたアウターライズ地震による津波の高精度計算	馬場 俊孝	徳島大学大学院社会産業理工学研究部
3次元不均質地球構造での地震・津波波動伝播シミュレーション	古村 孝志	東京大学 地震研究所
AFESを用いた金星・火星大気の高解像度大循環シミュレーション	林 祥介	神戸大学 大学院理学研究科
火山ダイナミクスの数値シミュレーション	鈴木 雄治郎	東京大学 地震研究所
木星型惑星大気の高緯度構造の成因の研究	竹広 真一	京都大学 数理解析研究所
実大鉄筋コンクリート造建物の振動台実験の精密・詳細シミュレーション解析システムの開発	北野 敦則	前橋工科大学 工学部建築学科
星形成と惑星形成を包括する大規模シミュレーション	町田 正博	九州大学 理学研究院
太陽地球圏環境予測プロジェクト (PSTEP)	草野 完也	名古屋大学 宇宙地球環境研究所
環境分野		
都市温暖化緩和のための都市環境デザインガイドラインの作成	田中 貴宏	広島大学 大学院工学研究科
浅海底サンゴ礁地形による津波・波浪の減衰効果の定量評価	渡部 真史	中央大学 理工学部都市環境学科
計算科学分野		
低炭素社会実現のための密度汎関数法に基づいた第一原理分子動力学シミュレーション技術の開発	奈良 純	物質・材料研究機構
塩分成層流体中の乱流と物体まわりの流れ	花崎 秀史	京都大学 大学院工学研究科
高分子マテリアルズ・インフォマティクスの確立に向けた記述子の開発	鷺津 仁志	兵庫県立大学 大学院シミュレーション学研究科
大気境界層を対象とした高レイノルズ数乱流における凍結乱流仮説の検証：壁面圧力の統計と大規模構造との関連	辻 義之	名古屋大学 大学院工学研究科
移動する物体と混相流れのシミュレーション	白崎 実	横浜国立大学 大学院環境情報研究院
実空間乱流構造と波数間エネルギー・スカラー輸送の関係と大気海洋拡散予測への応用	酒井 康彦	名古屋大学 大学院工学研究科
Active と passive なスカラー場におけるスカラー勾配の共変性に基づく乱流維持機構の解明	高木 洋平	横浜国立大学 大学院 工学研究院

地球シミュレータ所内課題

課題名	課題責任者氏名	課題責任者所属
大気・海洋分野		
北極域環境変動メカニズムの解明に向けた高解像度海水海洋結合モデリング	渡邊 英嗣	海洋研究開発機構 地球環境部門 北極環境変動総合研究センター
四次元変分法データ統合システムを用いた全球長期海洋環境の再現	増田 周平	海洋研究開発機構 地球環境部門 海洋観測研究センター
「日本沿海予測可能性実験」のための海洋モデル大規模計算	宮澤 泰正	海洋研究開発機構 付加価値情報創生部門 アプリケーションラボ
海洋観測データを融合した確率論的な数理季節予測システムの開発	Swadhin Behera	海洋研究開発機構 付加価値情報創生部門 アプリケーションラボ
リアルタイム-APLモデルアンサンブル季節予測とその応用可能性について	Swadhin Behera	海洋研究開発機構 付加価値情報創生部門 アプリケーションラボ
全球非静力学モデルを用いた高解像度計算による気象擾乱の発生・発達メカニズムとその予測可能性に関する研究	那須野 智江	海洋研究開発機構 地球環境部門 環境変動予測研究センター
長期的気候変動予測のための高精度気候モデルの開発研究	河宮 未知生	海洋研究開発機構 地球環境部門 環境変動予測研究センター
地球環境変動予測に向けた北極域の変動とその全球的影響の解明	小室 芳樹	海洋研究開発機構 地球環境部門 北極環境変動総合研究センター
海洋の渦・前線とそれらが生み出す大気海洋現象の解明	野中 正見	海洋研究開発機構 付加価値情報創生部門 アプリケーションラボ
アンサンブル同化手法を用いた観測システムの最適化に関する研究	小守 信正	海洋研究開発機構 付加価値情報創生部門 アプリケーションラボ
大気海洋における混相乱流輸送プロセスの数値研究	松田 景吾	海洋研究開発機構 付加価値情報創生部門 地球情報基盤センター
持続的な安全社会の構築に資する先端的マルチスケール環境予測シミュレーション法と周辺技術の開発	松田 景吾	海洋研究開発機構 付加価値情報創生部門 地球情報基盤センター
中層大気の季節内～季節スケール予測	渡辺 真吾	海洋研究開発機構 地球環境部門 環境変動予測研究センター
気候変動適応策の検討に資する近未来海洋予測データの作成とダウンスケール技術の開発	五十嵐 弘道	海洋研究開発機構 付加価値情報創生部門 情報エンジニアリングプログラム
地球表層における物質循環モデルの開発研究	滝川 雅之	海洋研究開発機構 地球環境部門 北極環境変動総合研究センター
南半球中緯度における海洋変動と成層圏循環の予測可能性	滝川 雅之	海洋研究開発機構 地球環境部門 北極環境変動総合研究センター
固体地球・宇宙分野		
幅広いプラントル数における対流と固体地球惑星科学への応用	宮腰 剛広	海洋研究開発機構 付加価値情報創生部門 数理科学・先端技術研究開発センター
先端的固体地球シミュレーションコードの開発	古市 幹人	海洋研究開発機構 付加価値情報創生部門 数理科学・先端技術研究開発センター
全球地震波伝播シミュレーション	坪井 誠司	海洋研究開発機構 付加価値情報創生部門 地球情報基盤センター
逐次データ同化によるプレート境界固着・すべりの推移予測実験	堀 高峰	海洋研究開発機構 海域地震火山部門 地震津波予測研究開発センター
環境分野		
暑熱環境改善適応策のシナリオと評価手法に関する研究	杉山 徹	海洋研究開発機構 付加価値情報創生部門 情報エンジニアリングプログラム

地球シミュレータ特別推進課題（成果創出加速）

課題名	課題責任者氏名	課題責任者所属
令和元年10月～令和2年2月		
関東地方での治水・利水リスクの将来変化の把握のための高解像度大量アンサンブル気候データセットの構築	山田 朋人	北海道大学 大学院工学研究院

3. 地球シミュレータシステム構成

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きました。平成 21 年 3 月には二代目のシステム (ES2) への更新が行われました。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りましたが、この分野を中心に多くのユーザに利用されてきました。ES2 は、平成 27 年 2 月末日をもって運用を終了し、三代目の地球シミュレータ (ES3) を 3 月から運用することとなりました (図 2)。ES3 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まいりました。

ES3 調達は、平成 25 年 5 月に資料招請、平成 26 年 2 月入札公示、同 5 月に開札を行い、機種を決定しました。平成 27 年 2 月末に予定通り全体の 1/2 の 2560 ノードを検収し、3 月初めより稼働を開始して試験運用に入り、5 月末に検収を完

了して、6 月より正式運用を開始しました。

検収では、システムが運用に耐え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、ES3 は可用性 98.985% で検査合格となりました。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いました。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ました。性能評価試験の結果から、ES3 では同数の CPU を用いれば、ES2 の平均 2.1 ~ 2.8 倍の性能を得られることが示されています (表 1、図 3)。

この ES3 を令和 3 年 2 月未まで、計 6 年間にわたり運用しました。運用期間中は可用性、ならびにユーザによる使用率ともに高く、非常に効率的に活用されました。



図 2 地球シミュレータ (ES3)

		ES2	ES3	性能比
CPUコア	クロック	3.2GHz	1.0GHz	1/3
	ベクトル性能	102.4GF	64GF	1/1.6
	メモリバンド幅	256GB/s	64~256GB/s	1/4~1×
	ベクトルバッファサイズ	256KB	1MB	4×
ノード	CPUコア数	8	4	1/2
	ベクトル性能	819.2GF	256GF	1/3
	メモリ容量	128GB	64GB	1/2
	ノード間通信性能	8GB/s×8×2	4GB/s×2	1/16
システム	ノード数	160	5120	32×
	演算性能	131TF	1.31PF	10×
	メモリ容量	20TB	320TB	16×

表 1 ES2 と ES3 の仕様比較

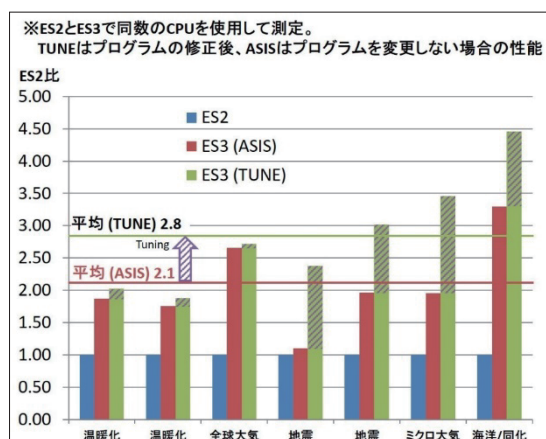


図 3 ES2 と ES3 の性能比較

4. 新システム

地球シミュレータシステムは令和3年3月に3回目の更新を行いました。4代目となる新システム(ES4)の総理論演算性能は旧システム(ES3)の約14.9倍、総ストレージ容量は約12.8倍に向上しました。ES4の大きな特徴は、汎用的なCPUをベースとしてベクトルエンジンやGPUといったアクセラレータを組み合わせたマルチアーキテクチャ構成を採用した点です。これにより従来の研究を発展させるだけでなく、これまでは実施が難しかった新しい研究テーマ(新規研究)の実施をES4

では可能とします。また全ノード計算や複数のアーキテクチャを組み合わせたプログラム実行も可能です。このES4により、従来から行われてきた地球環境変動などの研究や地殻変動、地震のメカニズムの解明、津波被害の予測などの更なる発展のほか、人工知能(AI)技術を用いた研究のような新規研究による成果創出が期待されます。



図4 新・地球シミュレータ(ES4)