

**将来(2010年前後を想定)の
スーパーコンピューティング環境について**

平成16年11月

**海洋研究開発機構
地球シミュレータセン
ター**

渡邊 國彦

1. 現行のスーパーコンピュータシステム(地球シミュレータ)及び研究成果について

現行システム構築の背景

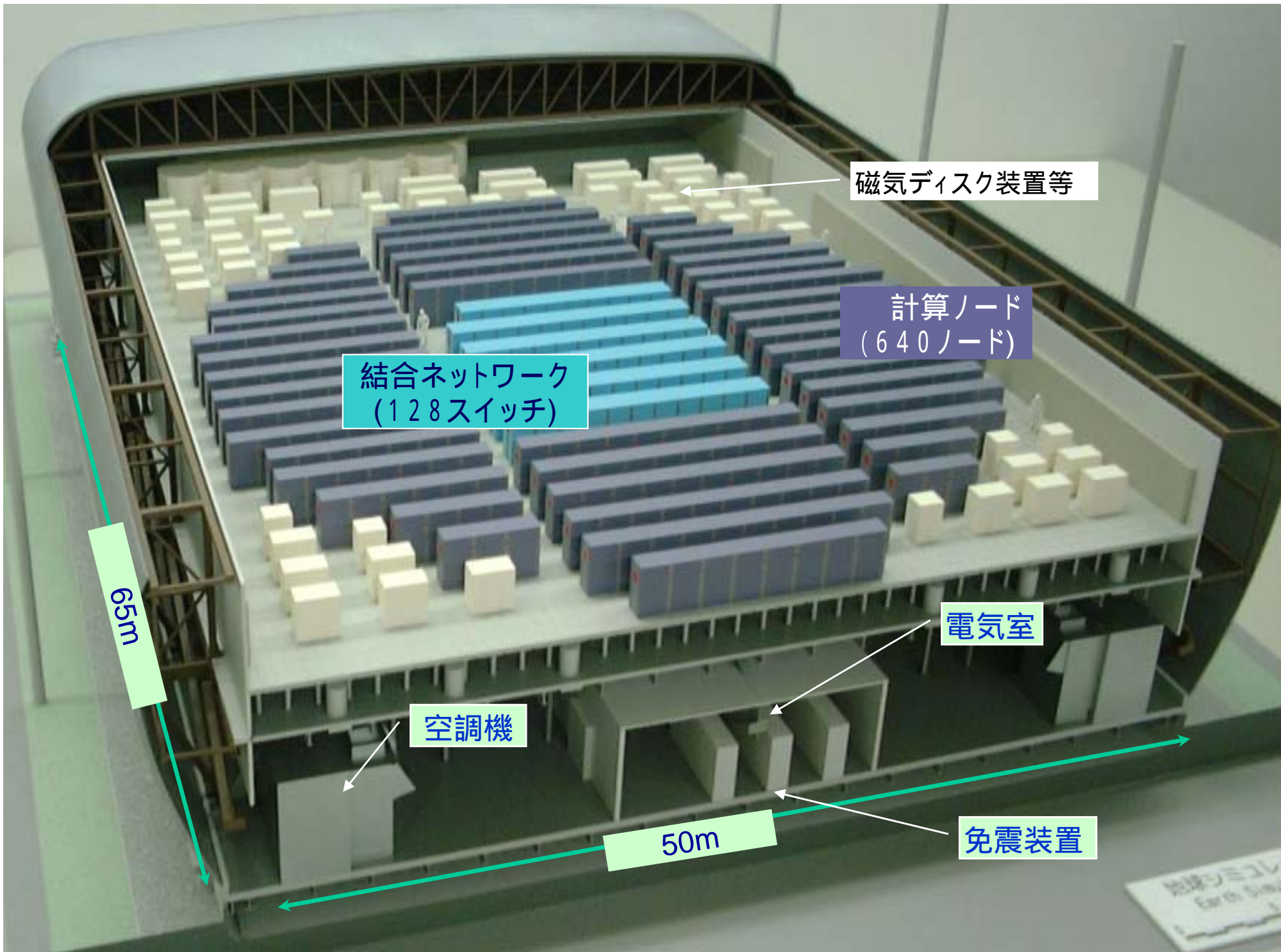
地球シミュレータ開発プロジェクト (1997.4 - 2002.2)

- 1994年気候変動枠組条約発効、
- 1995年学術審議会(地球環境科学の推進)
- 1996年航空・電子等技術審議会(地球変動予測の実現に向けて)
- 1997年 京都における地球温暖化会議 京都議定書
これら一連の動きを基に地球環境変動を的確に予測するシミュレータの開発(故三好甫氏)
- 2002年2月末に開発完了。同3月より運用開始。

運営基本理念

- 1) 利用体制が開かれている
- 2) 成果の速やかな公開を原則とする
- 3) 成果及び運用に関する評価を行う
- 4) 利用は平和目的とする

地球シミュレータの概要



磁気ディスク装置等

計算ノード
(640ノード)

結合ネットワーク
(128スイッチ)

65m

電気室

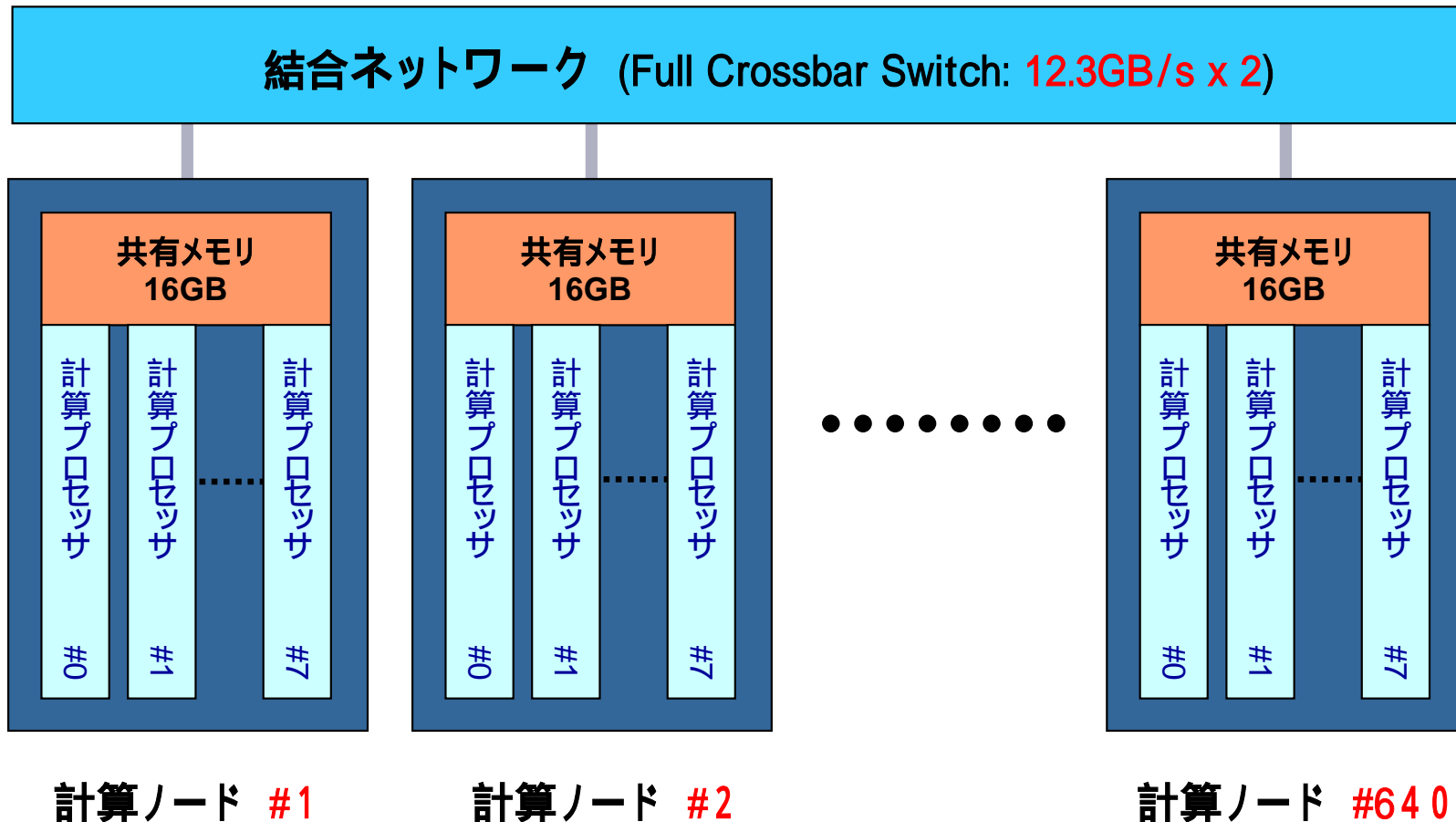
空調機

50m

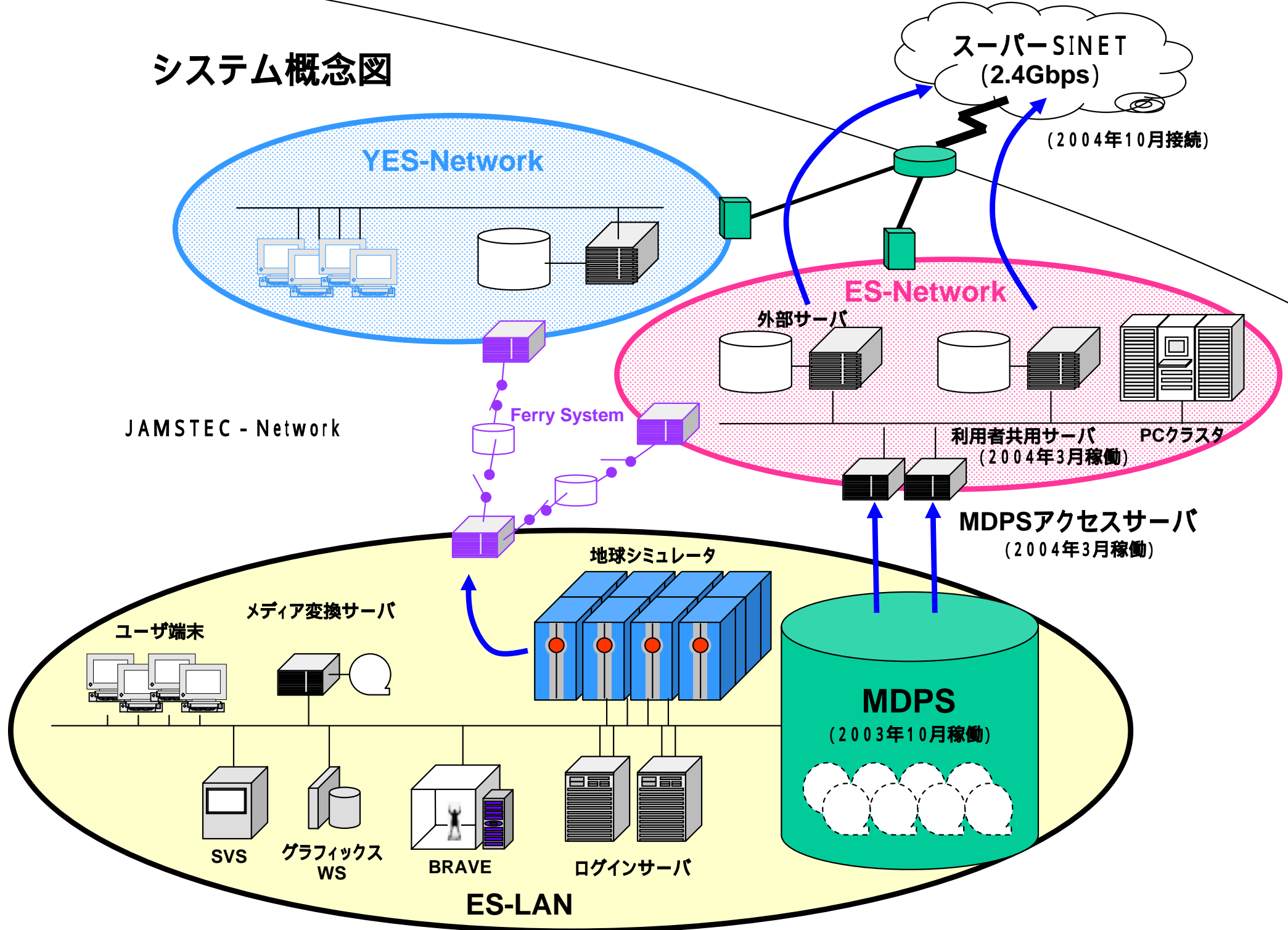
免震装置

地球シミュレータの全体構成

- ピーク性能: **40TFLOPS**
- 主記憶容量: **10TB**
- 総ベクトルプロセッサ数 : **5120**
- 総ベクトル計算ノード数: **640**
- 計算プロセッサのピーク性能: **8GFLOPS**
- 計算ノードのピーク性能: **64GFLOPS**
- 計算ノードの主記憶容量: **16GB**



システム概念図



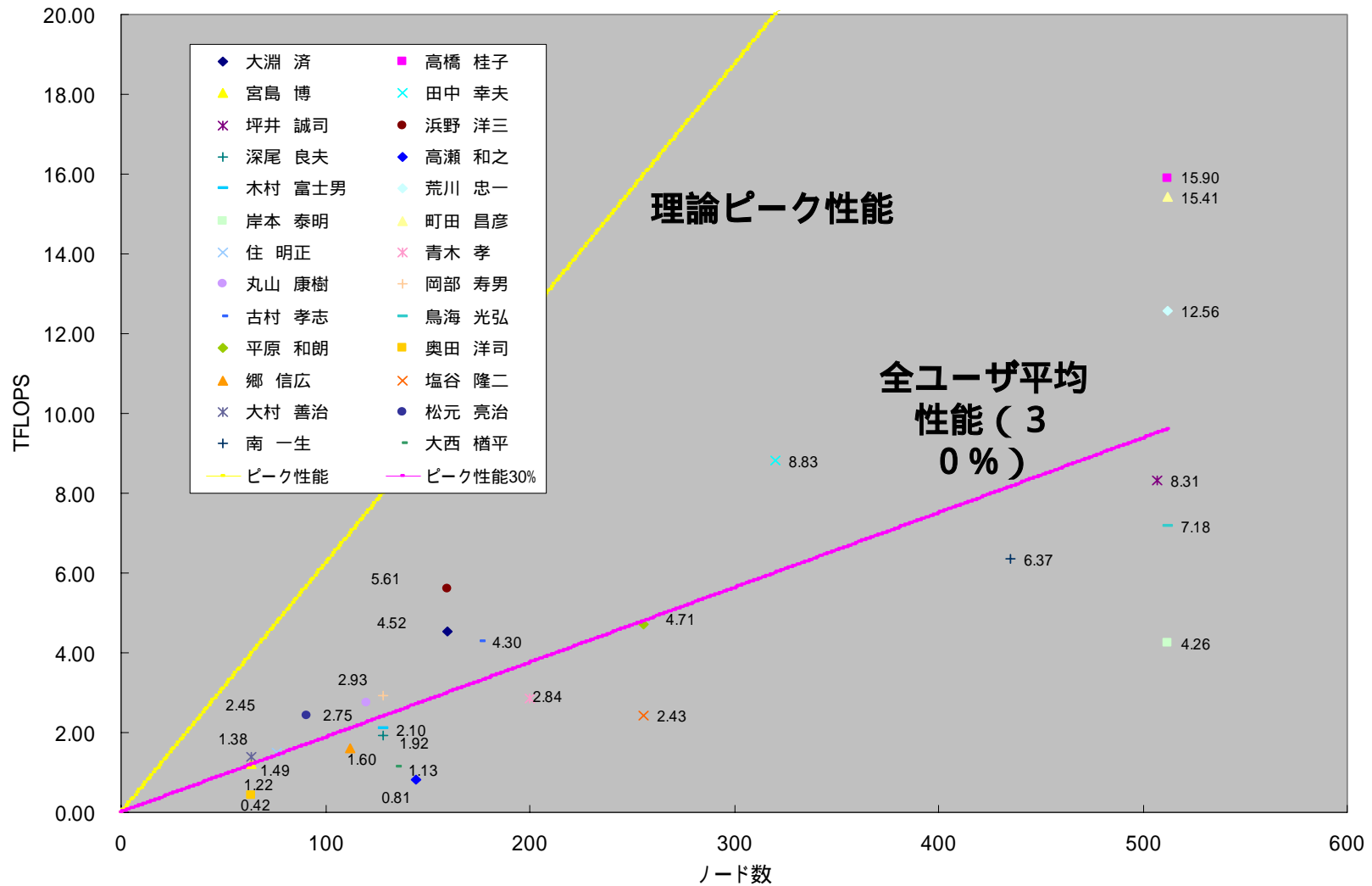
ソフトウェア概要

ほとんどのシミュレーションプログラムは、
fortran + MPIで書かれた自主開発プログラム

例外

- ・バイオグループの一部がC言語
- ・いくつかのプロジェクトでは、HPFを利用
- ・自動車工業会の衝突解析・燃焼解析は商用コード

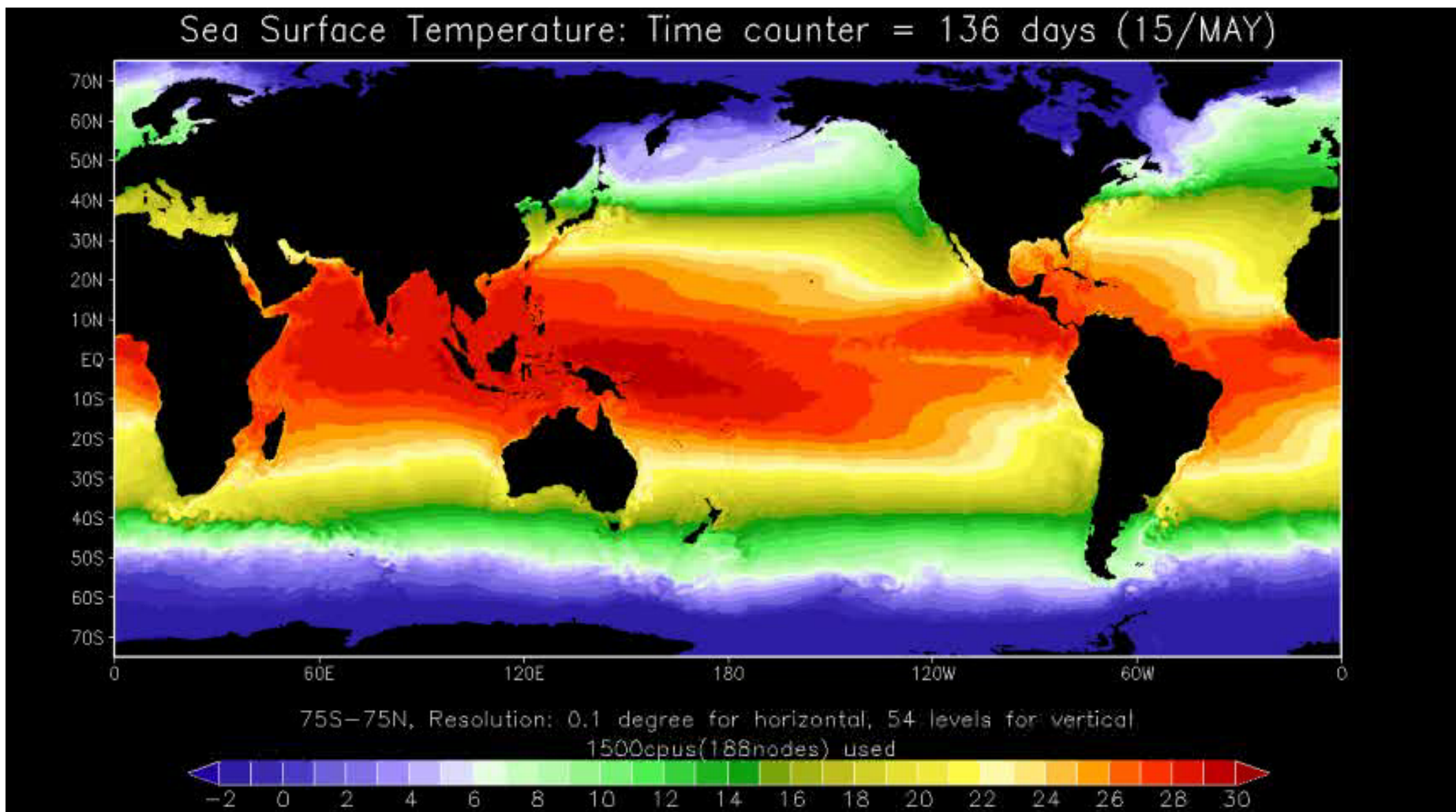
平成15年度 地球シミュレータ グループ毎性能値 ノード数/TFLOPS (50ノード以上) (4月16日から2月2日)



地球シミュレータを用いた研究成果

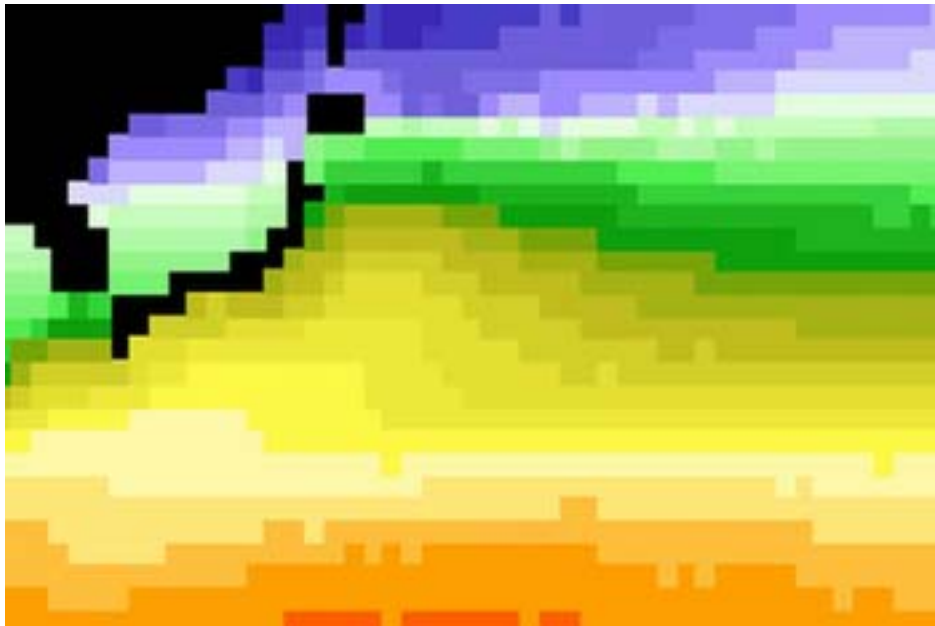
全球海洋大循環シミュレーション結果

解像度 10 km

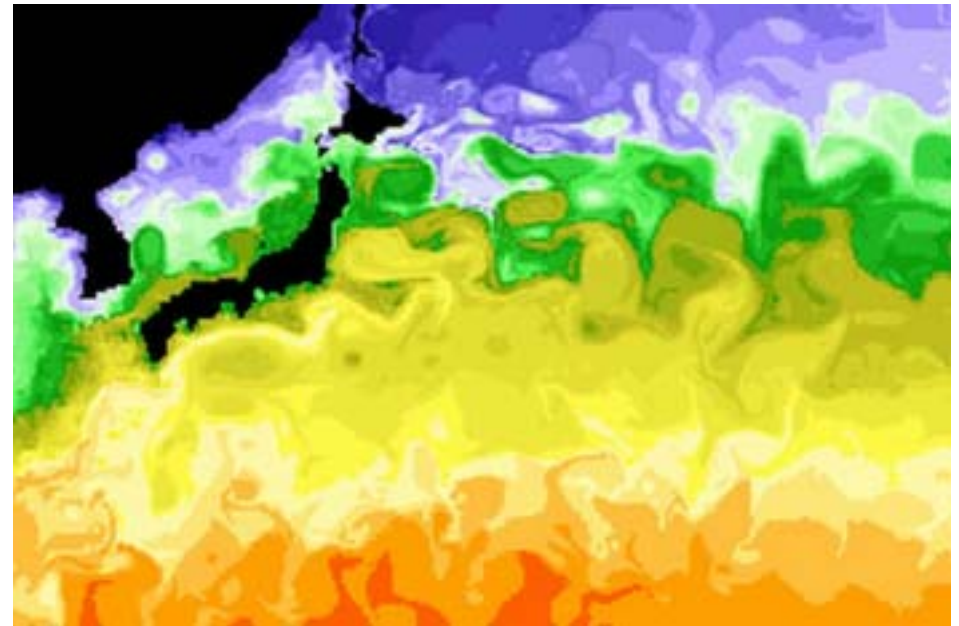


解像度が異なる海流のシミュレーション結果の比較

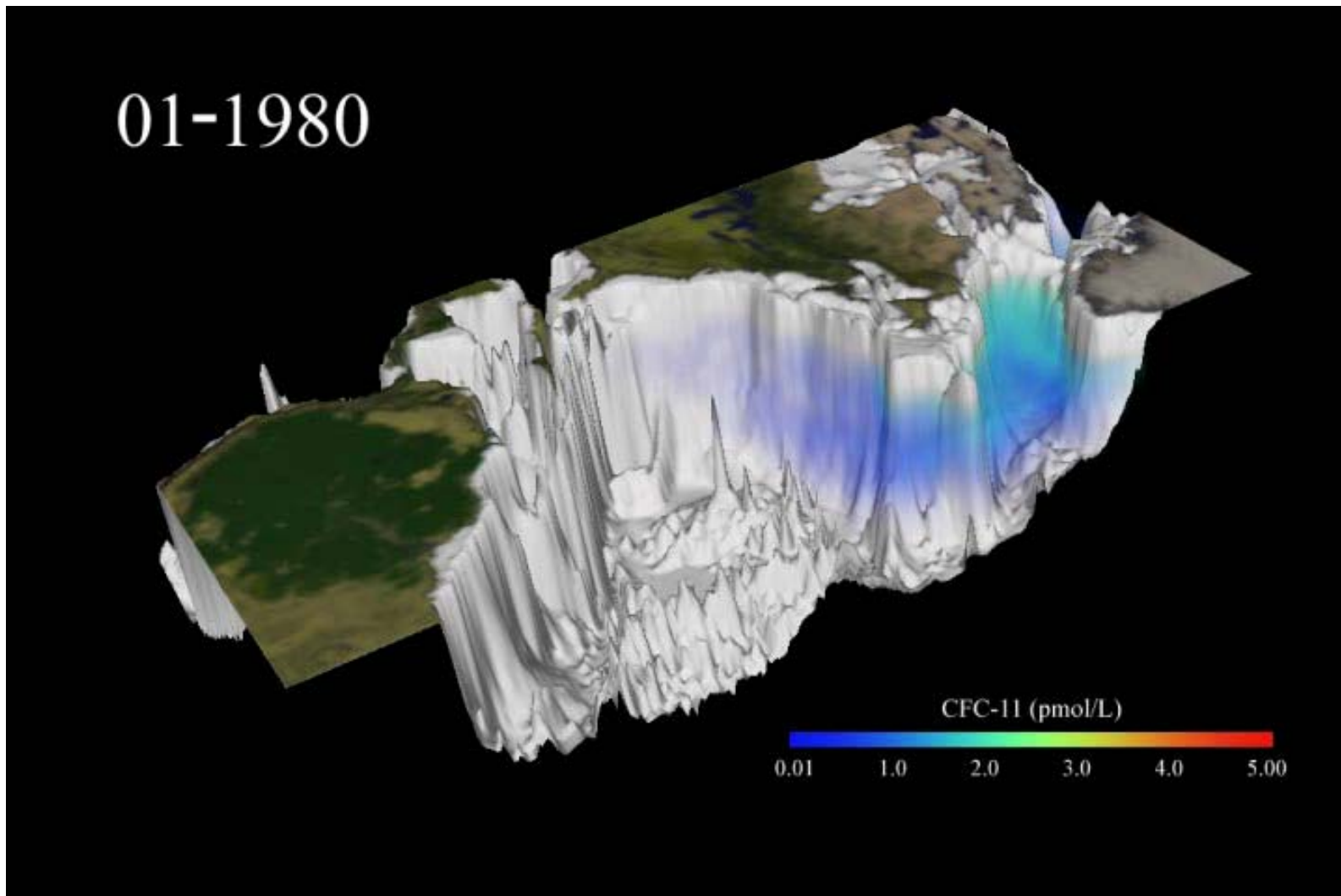
解像度 100 km による結果



解像度 10 km による結果

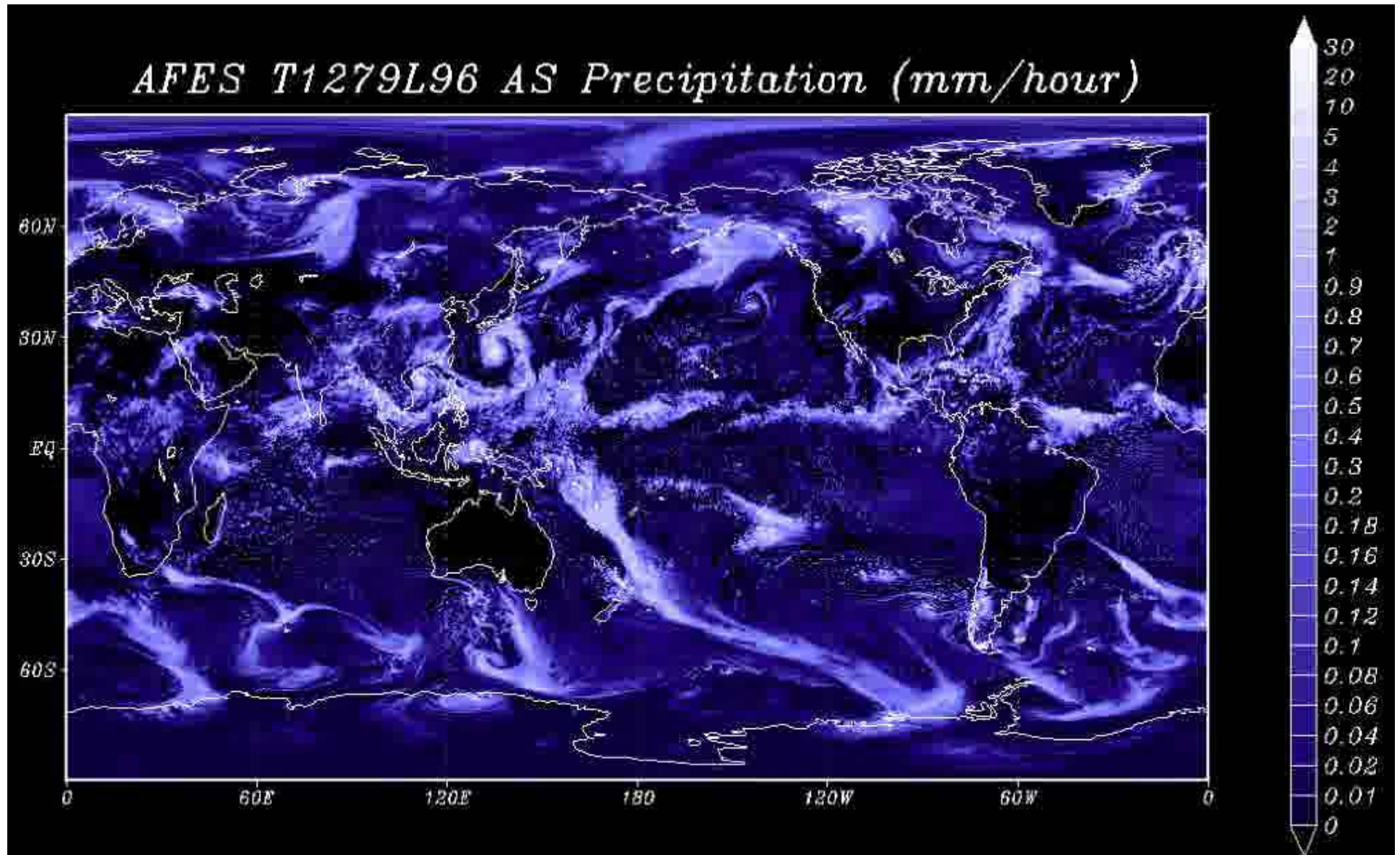


全球海洋大循環シミュレーションによる 大西洋西部の深海流



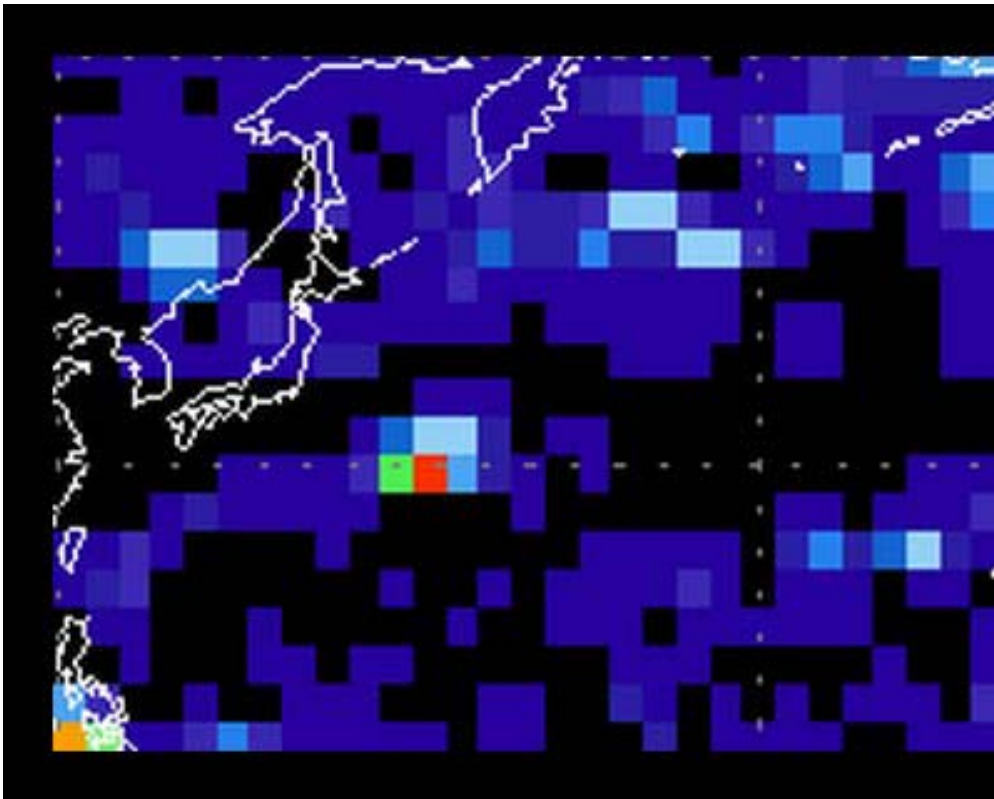
全球大気大循環シミュレーション結果

解像度 10 km

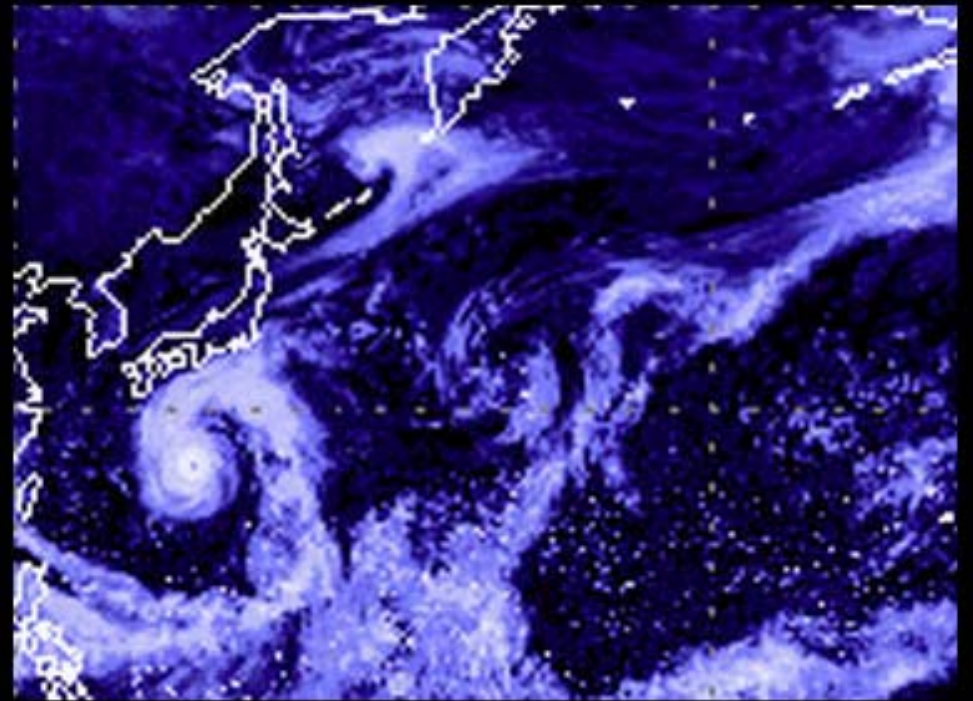


解像度が異なる台風シミュレーション結果の比較

解像度 300 km による結果

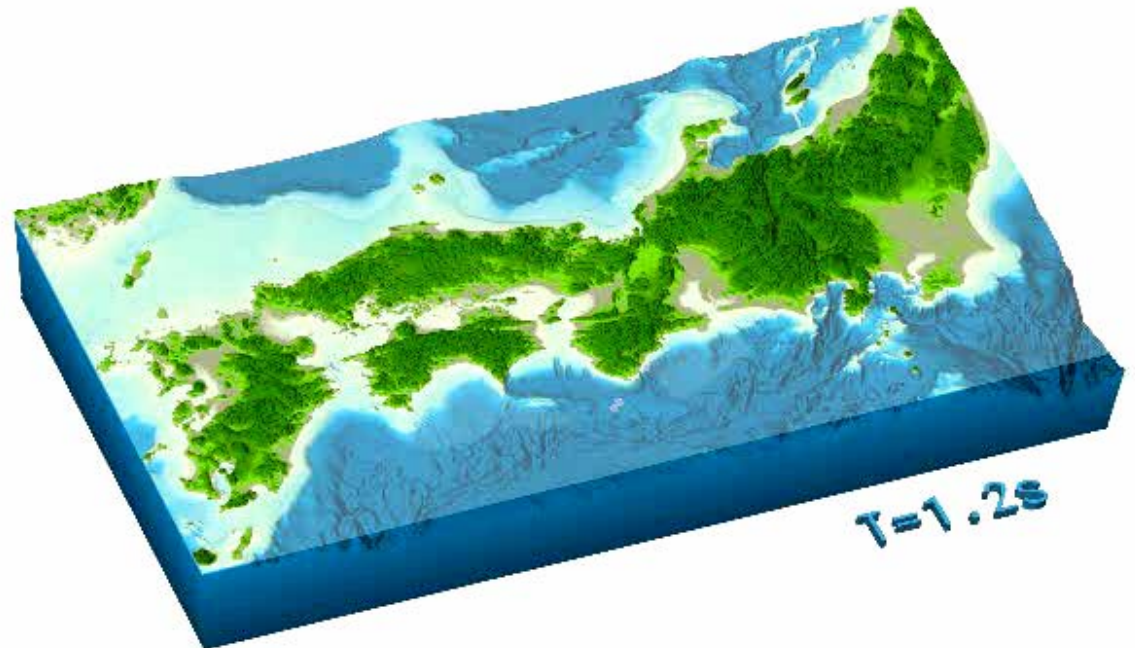
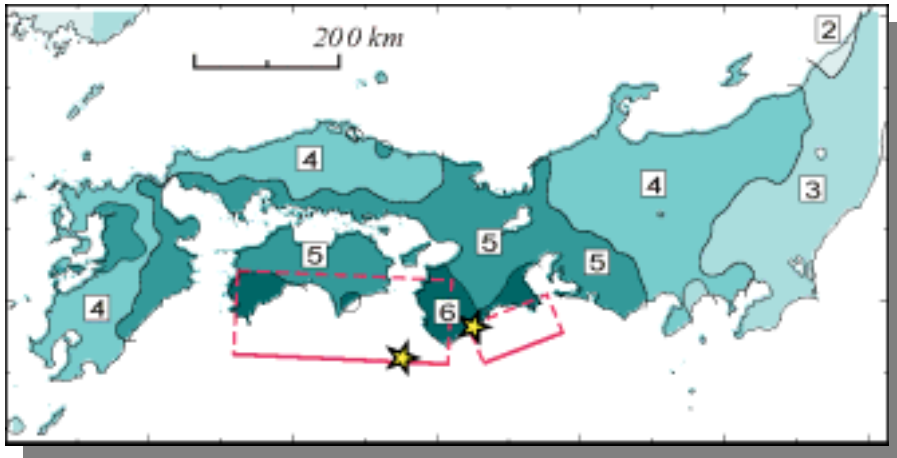


解像度 10 km による結果

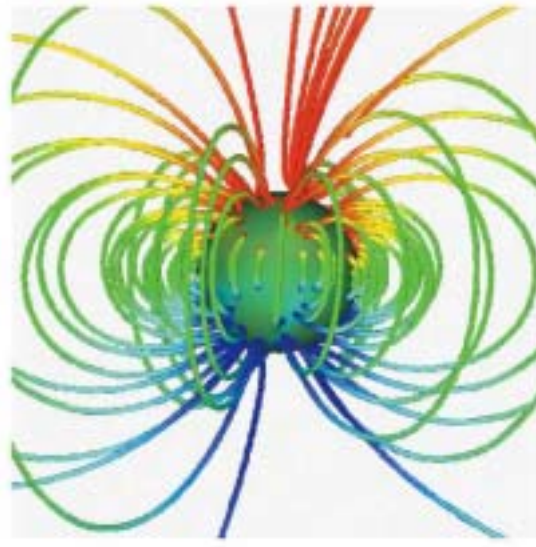
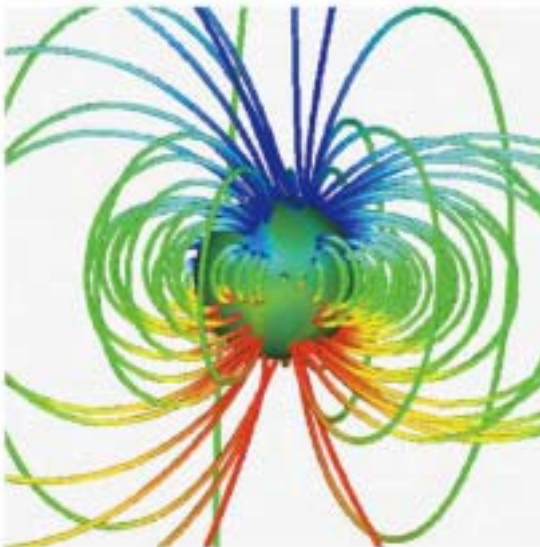
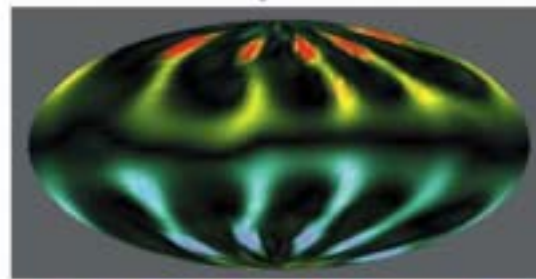
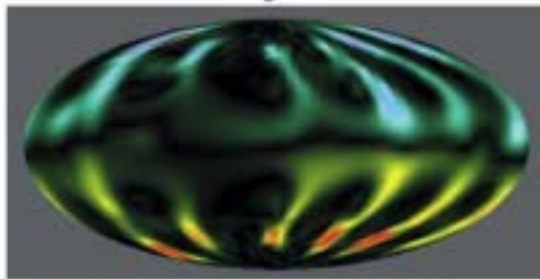
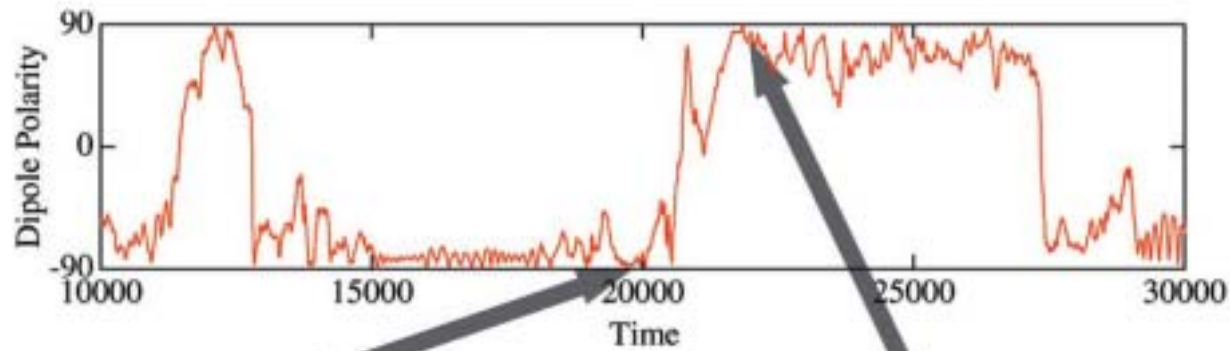


想定南海トラフ地震の強震動シミュレーション

想定： 東南海地震を引き金として南海地震が起きた場合

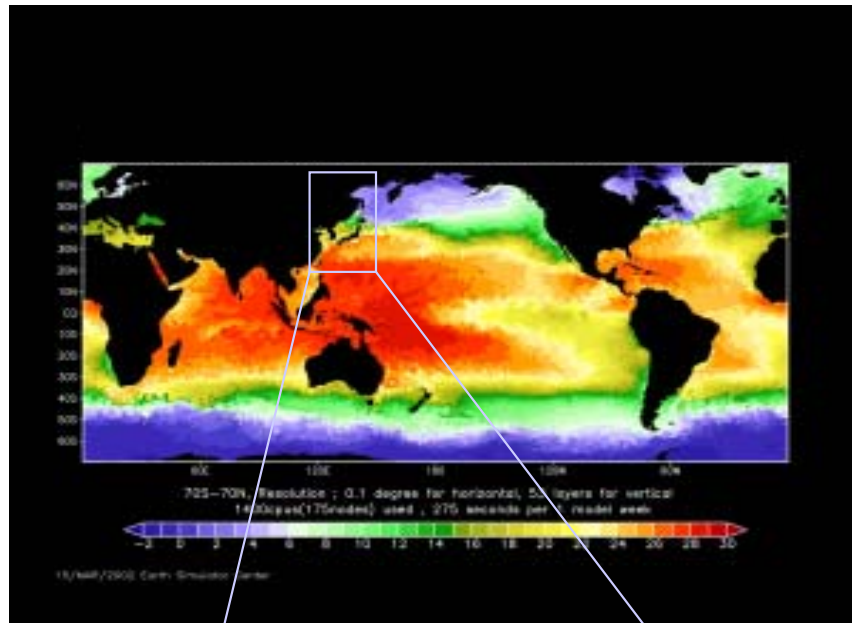


地磁気（惑星磁場）の自己反転

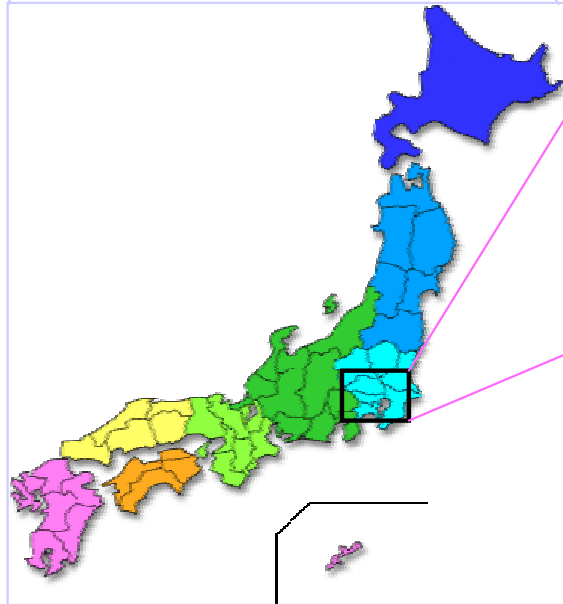


用いたコードは、2004年
ゴードン・ベル賞「最高性能賞」を受賞

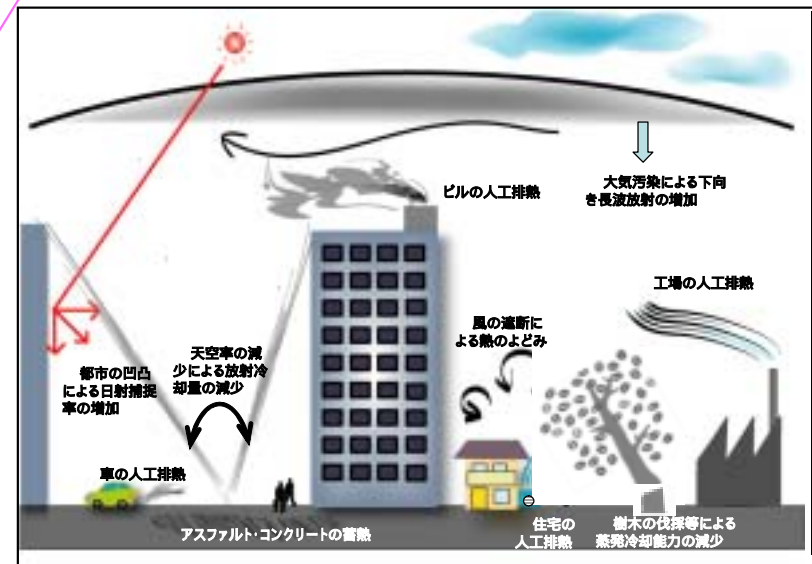
全球・領域・局所 連結シミュレーション



全球



領域



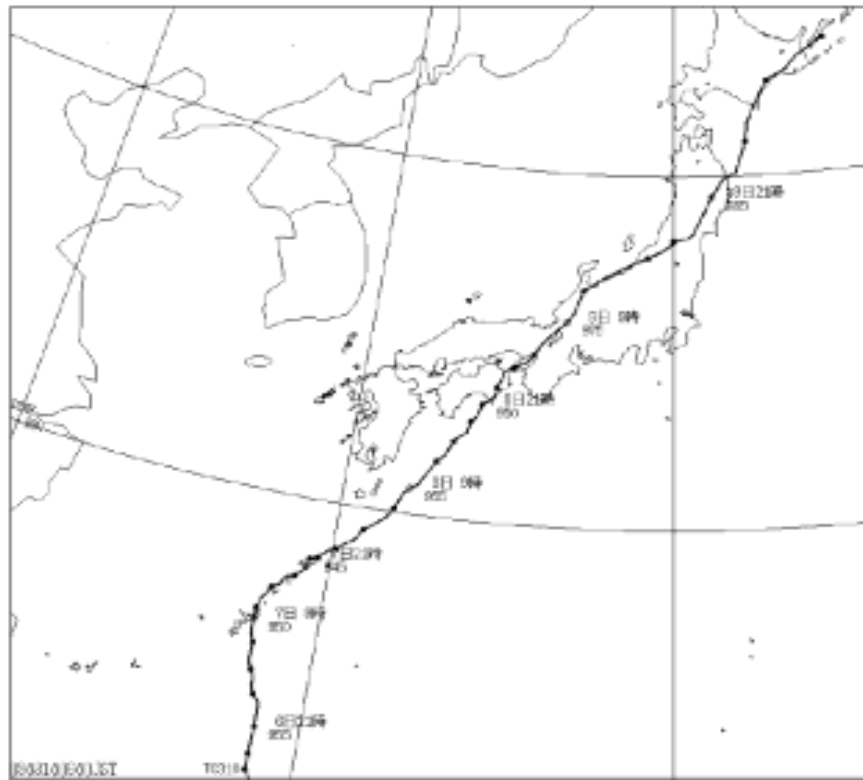
局所

全球のシミュレーション結果を日本領域の境界条件として、領域シミュレーションを行う

平成15年 台風10号の進路比較

現実

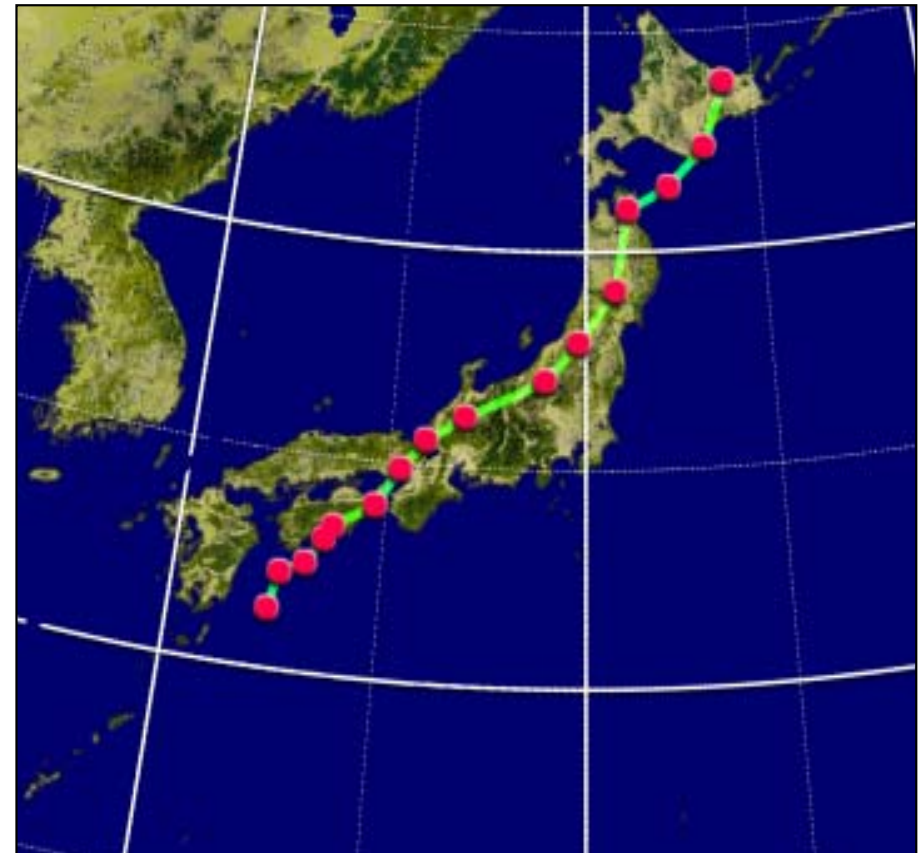
平成15年8月 台風第10号に関する気象速報



東京管区気象台

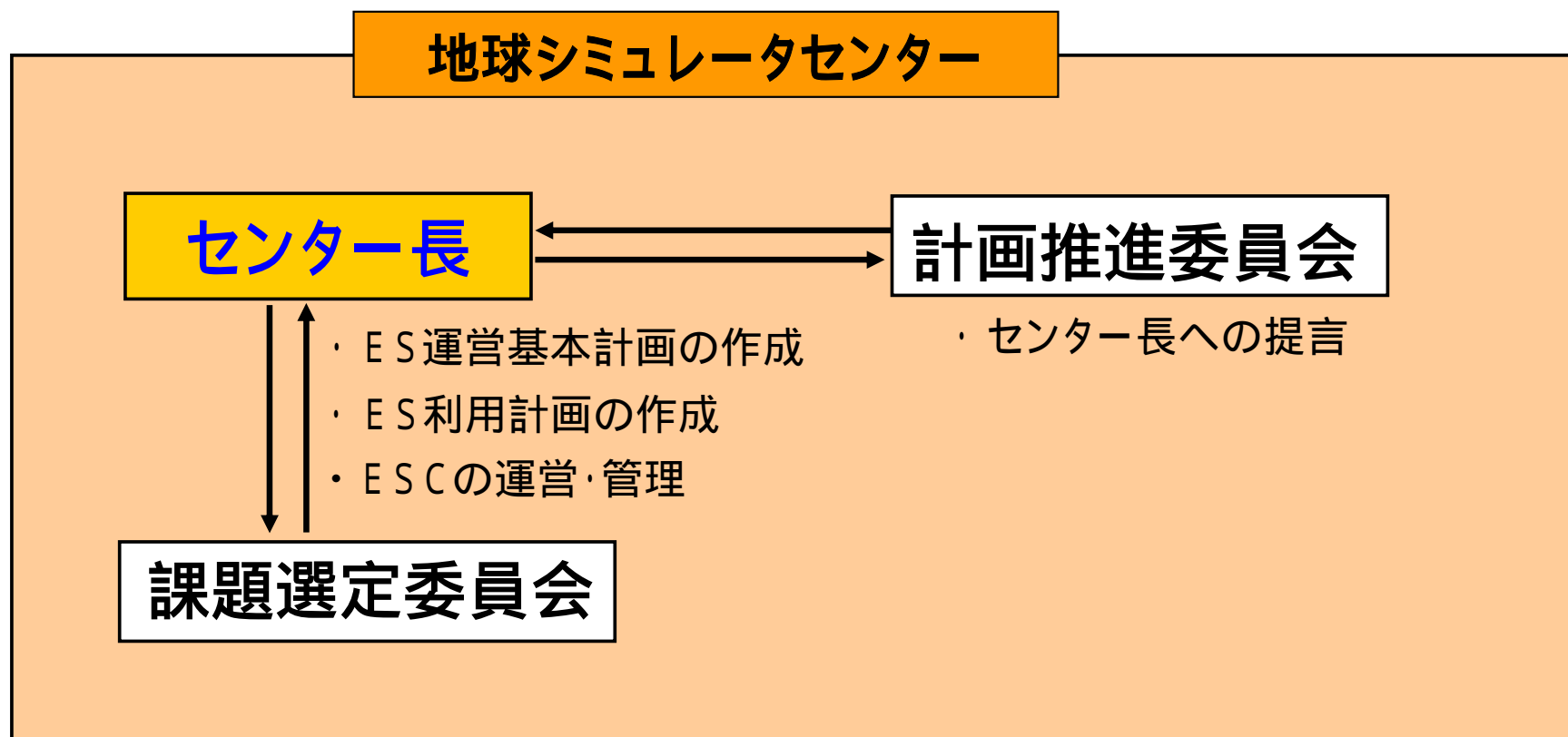
平成15年8月10日

シミュレーション予測



地球シミュレータの運用

地球シミュレータの運用体制図(平成16年度)



計画推進委員会の構成員(23名):

研究者(大気、海洋、固体地球、計算機、情報、宇宙、生命科学、物質科学、経済学、レーザー、プラズマなど)、産業界、ジャーナリスト、JAERI、JAXA

平成15年度委員会での主な決定事項

(1) 平成16年度の地球シミュレータの分野別の計算資源配分は、以下の配分を目安とした。(第5回利用計画委員会)

(1) 大気・海洋分野	35%
(2) 固体地球分野	20%
(3) 計算機科学分野	10%
(4) 先進、創出分野	15%
(5) 戦略的研究枠	20%

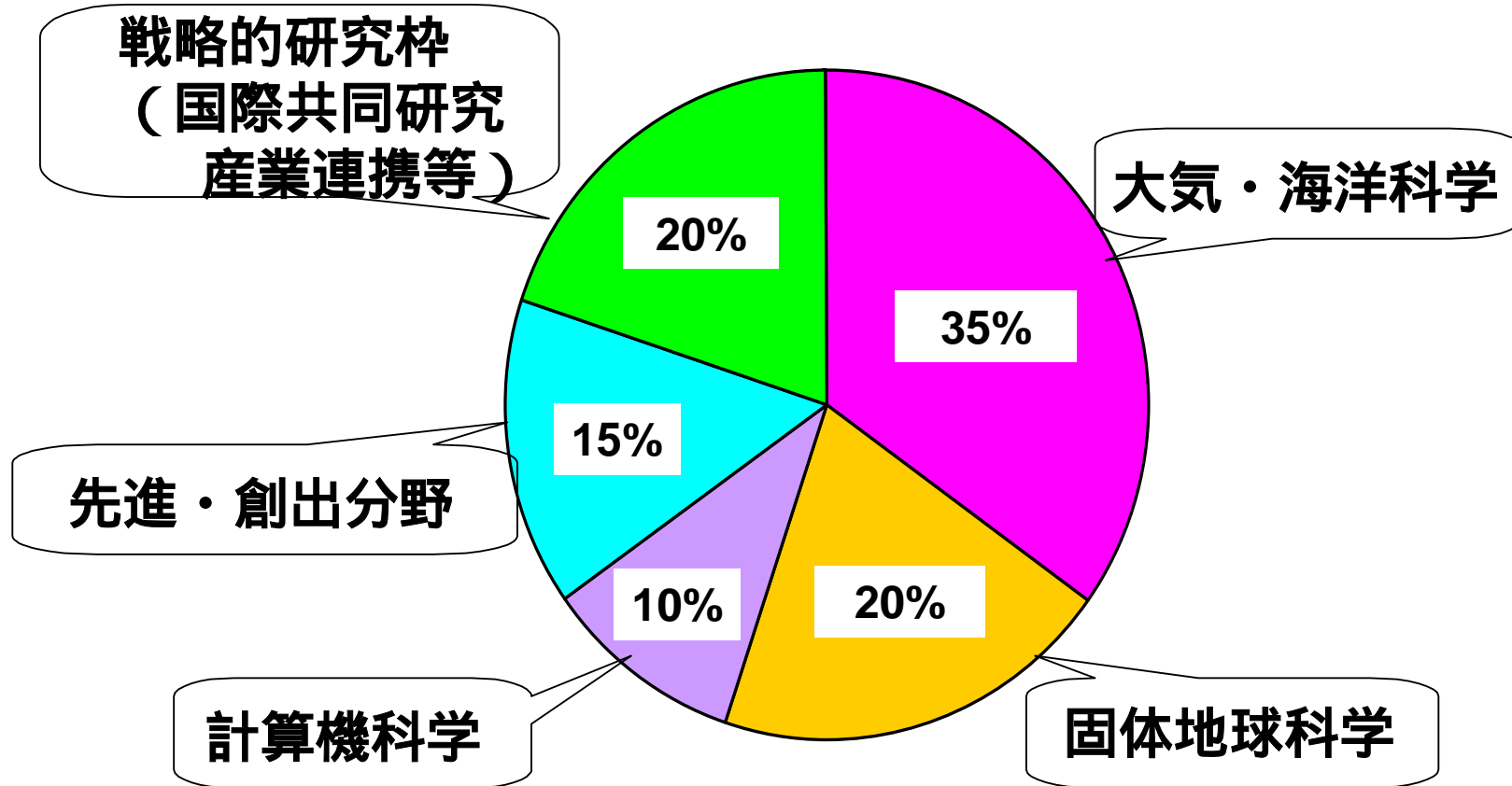
(2) 平成16年度地球シミュレータ研究プロジェクトが応募43課題のうち、**37課題選定**された。(第4回課題選定委員会)

この採択については、内部ユーザも外部ユーザも同列に審査

ユーザ総数:約700名

計算資源の分野別配分（平成16年度）

（利用計画委員会決定事項）



平成16年度地球シミュレータプロジェクト(1)

[大気・海洋分野]

	責任者氏名	利用機関名称	プロジェクト名
1	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
2	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
3	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
4	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
5	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
6	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
7	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
8	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
9	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
10	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
11	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
12	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
13	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
14	時岡 達志	地球環境フロンティア研究センター	地球フロンティア研究システムにおける大気・海洋・陸面結合大循環モデルの開発

平成16年度地球シミュレータプロジェクト(2)

[固体地球分野]

	責任者氏名	利用機関名称	プロジェクト名
15	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
16	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
17	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
18	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
19	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
20	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
21	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
22	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
23	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

[計算機科学分野]

	責任者氏名	利用機関名称	プロジェクト名
24	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
25	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

平成16年度地球シミュレータプロジェクト(3)

[先進・創出分野]

	責任者氏名	利用機関名称	プロジェクト名
26	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
27	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
28	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
29	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
30	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
31	大村 善治	京都大学 生存圏研究所	宇宙環境シミュレータ
32	大西 檜平	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
33	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
34	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
35	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
36	阪口 秀	海洋研地球内部変動研究センター	DEMによる内部構造を持つ複雑多相系の粒子モデル
37	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

平成16年度地球シミュレータプロジェクト（続3）

「原子力関係の大規模シミュレーション研究」のサブテーマ

責任者氏名	利用機関名称	サブテーマ名
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

国際共同研究

- ・ Hadley Center/CGAM (イギリス)
- ・ Scripps Institute of Oceanography (米国)
- ・ CIRA (イタリア)
- ・ Canada Met Office (カナダ)
- ・ NERSC (米国)
- ・ CNRS/IFREMER (フランス)
- ・ Texas Univ. (米国)
- ・ Minnesota Univ. (米国)
- ・ IARC (米国)

国内共同研究

- ・日本自動車工業会

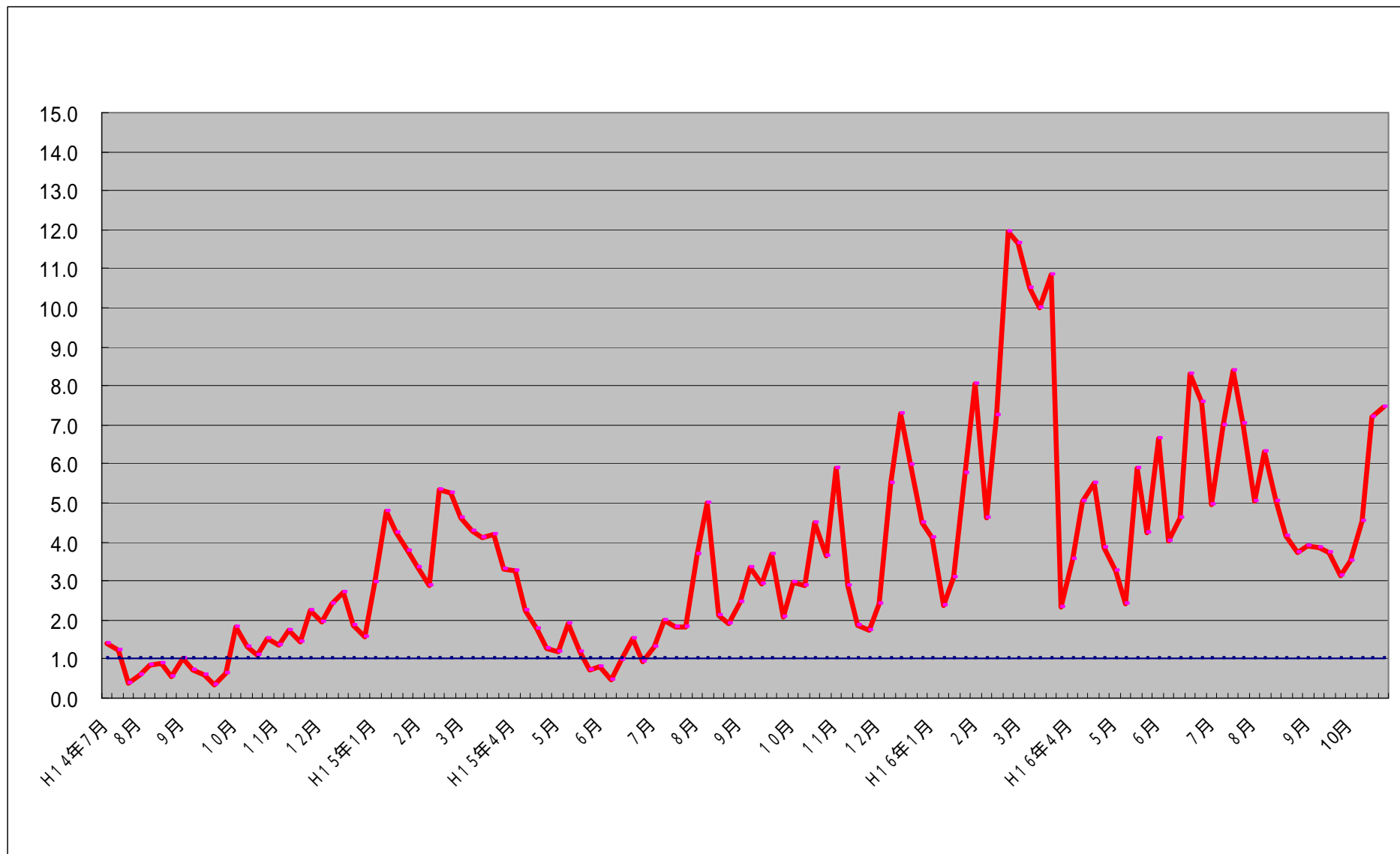
 - 「車まるごとリアルタイム高精度シミュレーションの検討」

- ・一橋大学 経学研究所

 - 「地球まるごと経済シミュレーションに関する共同研究」

ノード待ち率(要求ノード数 / 624) (平成14年7月～平成16年10月)

実行中ノード数を含む



運用上の悩みの根元は**お金**

保守費、電気料金、ユーザ支援などの、後年度負担が大きい

目下の最大の悩みは、
シミュレーション結果保存用データ保管領域

M D P S (ディスク:0.25PB、テープライブラリ:0.8PB)

- ・ユーザにファイル消去・別途保管を絶えず依頼
- ・M D P S用テープ媒体の追加購入



それでも、**90%以上**の使用率

3. 将来想定される研究目標について(その1)

研究分野	アプリケーション	概要	目的	期待されるブ レークスルー	波及効果	必要な 実行性能
気候変動	大気・海洋結合 シミュレーション	植生、化学物質、都市部の熱放射など複数の効果を取り入れた、高解像度の大循環コード	数年から数百年にわたる気候変動を詳細に解明	シナリオに基づく温暖化物質の増減などではなく、その時の地球環境から直接フィードバックされた温暖化予測が可能	温暖化防止に関する、国際的合意に資する。	数百TFLOPS 100TB程度
気象予測 都市設計	非静力・大気海洋陸面雲物理結合・全球 - 領域 - 局所連結階層シミュレーション	全球シミュレーションを行いながら、その結果を境界条件として、同時並行的に日本領域、更には、都市領域を解く	数日から数年での気象変化、(冷夏、猛暑、長雨、台風、集中豪雨等)を予測し、また、都市が放射する熱による局所的温暖化を予測する。	台風の進路予測、集中豪雨など生活に密着した正確な気象予測が可能となる。また、ヒートアイランドなどを考慮した都市設計が可能になる。	風水害等による災害の軽減、及び、都市環境の改善など、直接的な市民生活に貢献する。	数百TFLOPS 100TB程度

3. 将来想定される研究目標について(その2)

研究分野	アプリケーション	概要	目的	期待されるブ 레이크スルー	波及効果	必要な 実行性能
気象・気候 変動	大気・海洋・陸 面・雲微物理結 合シミュレーショ ン	雲生成のミク ロプロセスを 取り入れた高 解像度コード	10年レベル での全球水循 環を予測する。	地球規模から 領域規模まで の水資源の活 用が可能にな る。	農業政策、水 力発電の有 効性などに寄 与	数百TFLOPS 100TB程度
地震	全球・領域地震 波伝搬シミュ レーション	全球、あるい は、日本領域 において地殻 構造を取り入 れた地震波 の伝搬を解く	地震発生時 の各地点での 災害レベルを 予測する。	詳細な地殻構 造を考慮に入 れた、長周期 波残存などの 地震波伝搬の 解明	地震災害の 軽減、対策強 化地域の詳 細にわたる特 定	数百TFLOPS 100TB程度
地震	プレート・断層連 結階層シミュ レーション	プレートによ る数10年レベ ルの応力集 中と数秒レベ ルの断層変 動を連結する	プレート移動 による応力集 中とそれが引 き起こす断層 変動の解明	断層移動によ る直接的なプ レート型地震 発生メカニズ ムの解明	プレート型地 震発生予知 の確度向上	数百TFLOPS 100TB程度

3. 将来想定される研究目標について(その3)

研究分野	アプリケーション	概要	目的	期待されるブ レークスルー	波及効果	必要な 実行性能
地殻変動	マントル・プレー ト連結階層シ ミュレーション	マントル対流 とプレート運 動を一体とし て結合する	長期的・短期 的プレート駆 動の詳細解 明	プレートの一部 としてのマントル 対流の役割の 解明	大陸移動・ 地震発生に 関わるプ レート運動 の解明	数百TFLOPS 100TB程度
地磁気変 動	コア・マントル連 結階層シミュ レーション	地磁気を生成 するコア対流 を、マントル 対流を境界条 件として解く	地磁気生成・ 反転の詳細な メカニズム解 明	地球物理・惑星 物理の謎の解 明	惑星・恒星 における磁 場生成、極 性の解明	数百TFLOPS 100TB程度
核融合	MHD・粒子・位 相空間分布関 数連結階層シ ミュレーション	炉心・周辺プ ラズマ・高速 粒子を連結し て燃焼プラズ マ解析を行う	磁場閉じ込め プラズマにお ける輸送機構 の解明・輸送 レベルの予測	プラズマ閉じこ め改善条件を探 求	流体力学、 天体・宇宙 プラズマで の輸送問 題の解明	数百TFLOPS 100TB程度
宇宙環境	宇宙プラズマシ ミュレーション	MHD・粒子結 合シミュレー ションによっ て、宇宙環境 を解く	宇宙環境と宇 宙飛翔体特 性の定量的 理解	宇宙利用におけ る放電・帯電・電 磁界干渉などに 関する工学的 データの抽出	宇宙利用・ 技術開発に 必要な環境 アセスメント に貢献	数百TFLOPS 100TB程度

3. 将来想定される研究目標について(その4)

研究分野	アプリケーション	概要	目的	期待されるブ レークスルー	波及効果	必要な 実行性能
新材料開 発	ナノ構造解析シ ミュレーション、 超伝導素子解 析シミュレーショ ン等	ナノチューブ 構造、THz発 振超伝導素 子等新材料 の性能解析	次世代の新 材料の開発・ 改良	新物質・次世 代素子を開発	我が国の科 学技術にお ける戦略的 地位の確保	数百TFLOPS 100TB程度
産業開発	自動車・飛行機 等の構造解析・ 燃焼解析・制御 連結シミュレー ション	自動車や飛 行機などの産 業製品全体を 丸ごとシミュ レーション	産業製品の 設計・製造の 高度化	設計方法の変 革と、開発に要 する時間・コス ト・ゴミの低減	産業全般に わたるシミュ レーション文 化の波及と 競争力強化	数百TFLOPS 100TB程度
経済	マクロ経済・ミク ロ経済連結階層 シミュレーション	個人レベルか ら地球レベル までの経済活 動を解析	地球レベルで の経済活動 の予測と影響 の解明	シミュレーショ ンによる計量 経済学への新 たな挑戦	地球温暖化 など環境問 題に対する 経済活動の 影響解明	数百TFLOPS 100TB程度
バイオ	量子力学・分子 力学連結階層シ ミュレーション	量子力学と分 子力学の ギャップを埋 めた生体分 子シミュレー ション	生体物質の 機能ダイナ ミックスの解 明	病原解明や新 たな医薬品開 発	分子レベル での材料制 御・合成技 術、極少エ ネルギー利 用技術開発	数百TFLOPS 100TB程度

次世代シミュレータ

従来のシミュレータに対する考え方

対象システムの大きさ : L

シミュレータの主記憶容量 : 最大格子点数 : N

取り扱い可能な最小スケール : $d \sim L/N$

(スケール幅 : $N \sim L/d$)

地球シミュレータの取り扱い可能なスケール幅 :

総主記憶容量 10^{13} B、1変数 ~ 10 B、50 \sim 100変数 / 格子点

総格子点数 $\sim 10^{10}$

空間 1次元当たりのスケール幅 : $10^{10/3} \sim 10^{3 \sim 4}$

自然界・物質界のスケール幅

大気

雨・雪： 10^{-3} m

地球規模： 10^7 m

スケール幅 $\sim 10^{10}$

地震

断層破壊（岩石結晶破壊）： 10^{-6} m

プレート応力： $1 \sim 10 \times 10^4$ m

スケール幅 $\sim 10^{10 \sim 11}$

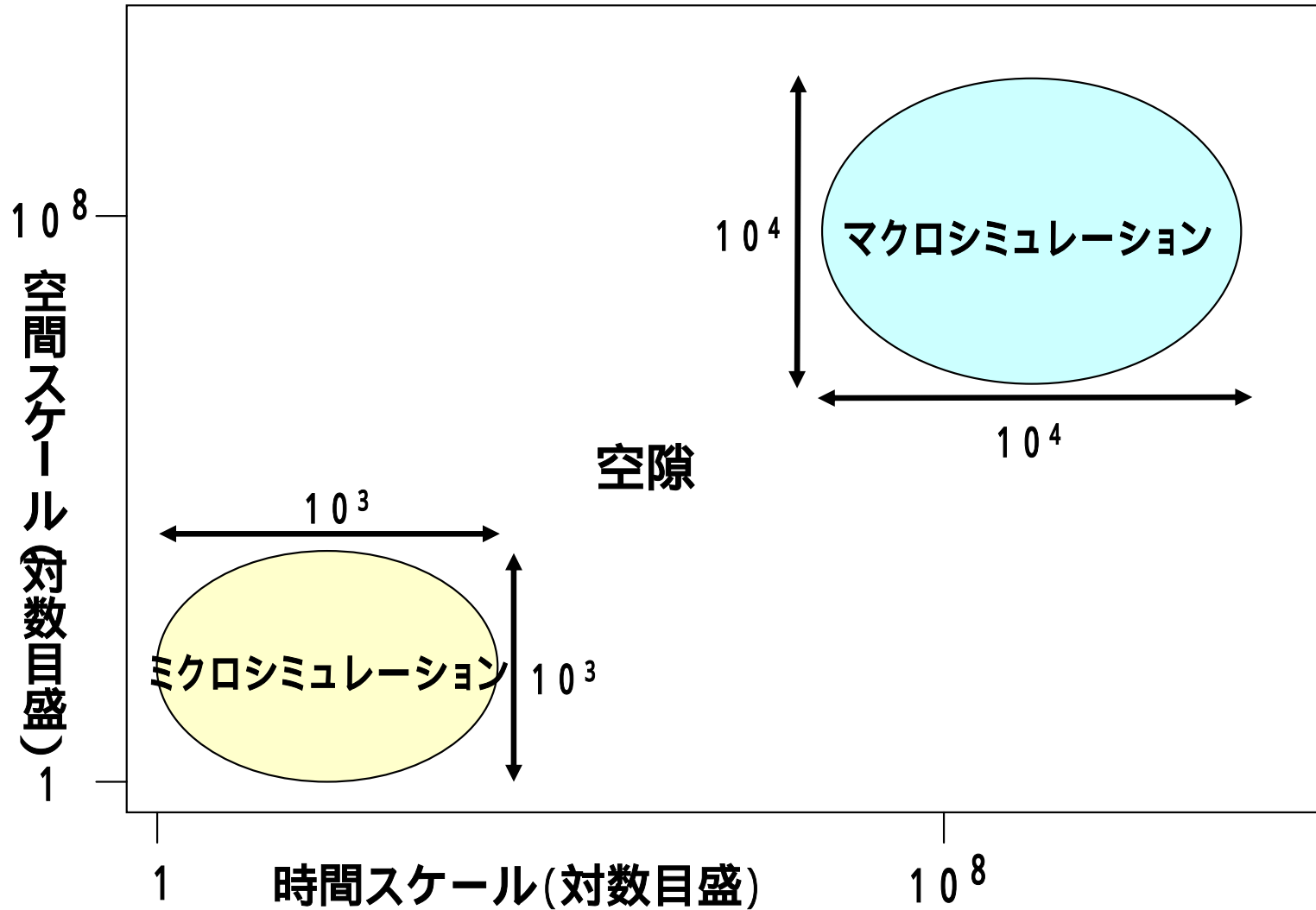
磁気圏

最小スケール長： デバイ長 10^{-1} m

最大スケール長： $10 \times$ 地球半径 $\sim 10^8$ m

スケール幅 $\sim 10^9$

連結階層シミュレーションにおける時間と空間のスケール



連結階層シミュレータ概念図

10³~4のスケール比
を解くマクロ演算機

マクロ演算機A
100TB, 200TF 程度

マクロ階層

情報交換

異なったタイプ
のコンピュータ
の密結合

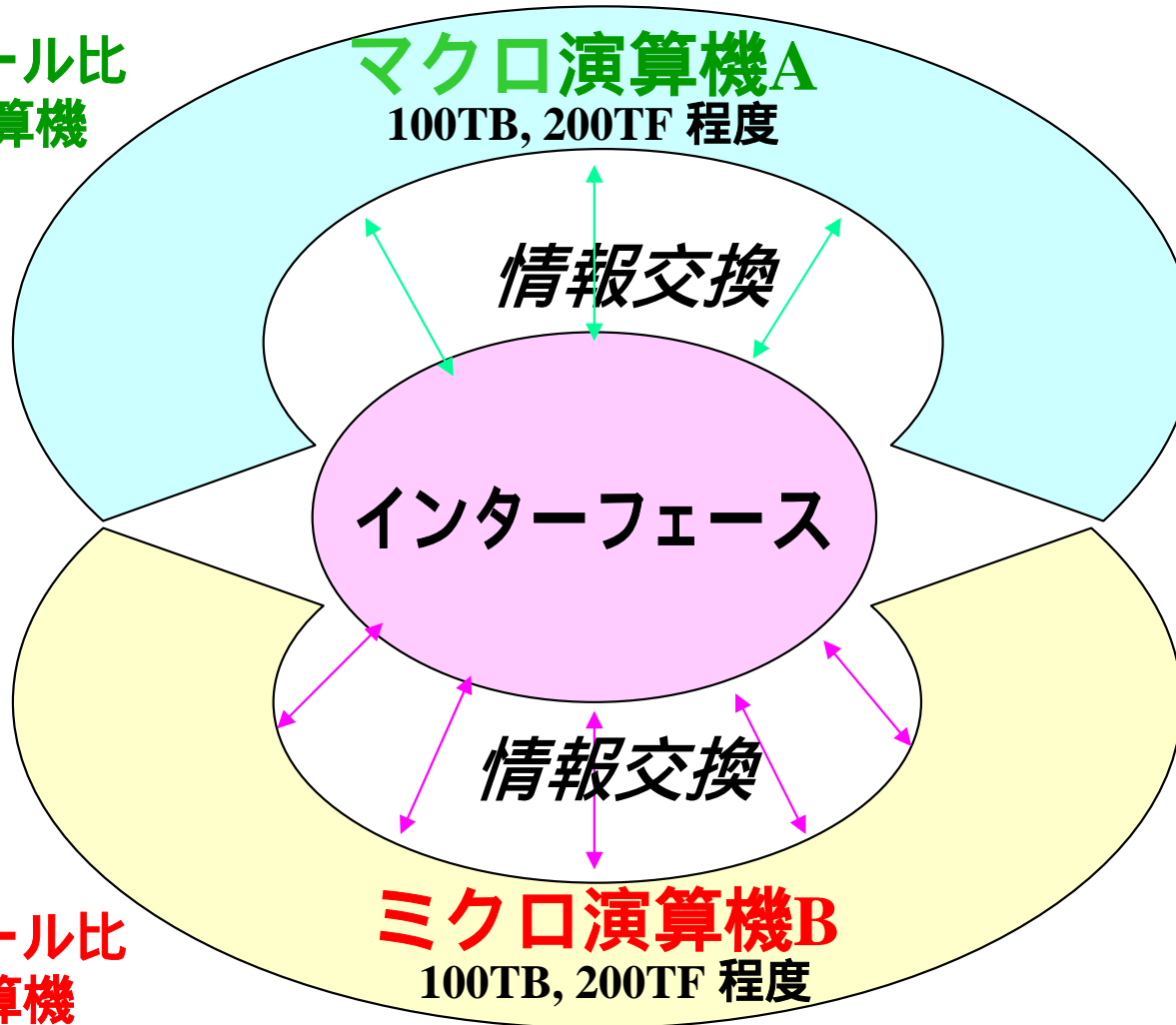
インターフェース

情報交換

ミクロ階層

10³~4のスケール比
を解くミクロ演算機

ミクロ演算機B
100TB, 200TF 程度



連結階層シミュレータ

ハードウェア・ソフトウェア要件

1) それぞれの演算機が必ずしもペタフロップス級である必要はない
200TF、100TB程度

(注: 国際競争力維持のために、要素技術開発は必要)

2) マクロ演算機とミクロ演算機は全体として一つのシステムとして演算を行うため、密結合していなければならない

3) マクロ演算機とミクロ演算機のいくつかのノード間で情報交換するためのハード・ソフトシステム(インターフェース)を開発する必要

4) 連結階層シミュレーションコードを様々な研究分野で開発する必要