

HPCI戦略プログラム分野3 「防災・減災に資する地球変動予測」

統括責任者

今脇 資郎

(海洋研究開発機構)

2016年3月9日

特定高速電子計算機施設に係る評価委員会

戦略目標

研究開発課題(1)
防災・減災に資する
気象・気候・環境予測研究

- 地球温暖化時の**台風**の動向に関する全球的予測
- **集中豪雨**などの予測実証

研究開発課題(2)
地震・津波の予測精度の
高度化に関する研究

- 次世代型**地震**ハザードマップの基盤構築
- **津波**予測の高精度化
- **都市全域**の自然災害シミュレーション



計算科学技術推進体制の構築

研究開発課題(1)防災・減災に資する気象・気候・環境予測研究

プロジェクト開始時(5年前)

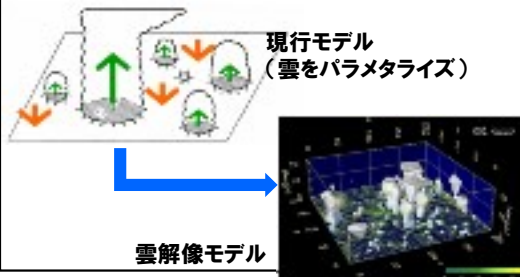
プロジェクト終了時(現在)

終了から5年後

地球温暖化時の台風の動向の
全球的予測

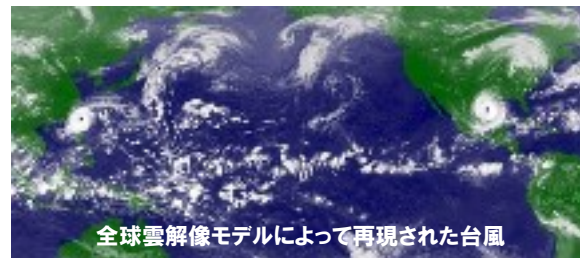
(雲を顕に表現できない) 解像度20kmの全球大気 モデルによる予測

- 予測の不確実性が大きく、1週間先の数値予報が限界
- 全球雲解像モデル(NICAM)を開発中、初期的に成果



雲を顕に表現した**全球雲解像モデル** による世界初の予測実証

- 解像度7km—3.5km—1.8kmで実行、**温暖化による台風の変化**を予測
- 台風発生に寄与する熱帯季節内振動(MJO)を再現、2週間以上先の**延長予測**を実証
- シームレスな地球環境予測を実現



地球温暖化が台風に
及ぼす影響を定量的に評価

日本の1カ月先の
天候予測精度を向上

世界の国々で地球温暖化
対応・対策の基礎資料として
活用

集中豪雨などの予測実証

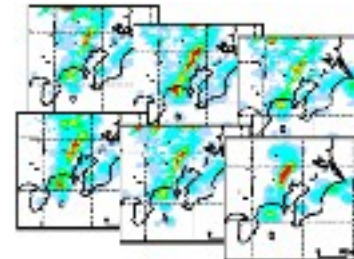
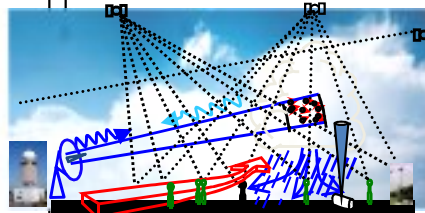
(積乱雲を顕に表現できない) 解像度5kmの メソモデルによる予測

- 弱雨予測の精度は年々向上しつつも強雨予測の精度は不十分
- 局地的強雨の空振り率は減少傾向であるが見逃し率は減っていない
- 僅かな初期値や計算条件の違いで予測結果が大きく異なる

ドップラーレーダー・GPS等の
高解像度観測(データ利用が拡大)

従来は困難とされた、**集中豪雨、 局地的大雨、竜巻**などの予測を実証

- ドップラーレーダー・GPS等の高解像度観測データを雲解像モデルに同化、集中豪雨を**直前予測**
- 雲解像アンサンブル予測により時間・場所・強度を特定して集中豪雨を半日以上前に**確率的に予測**
- 雲解像モデルを改善



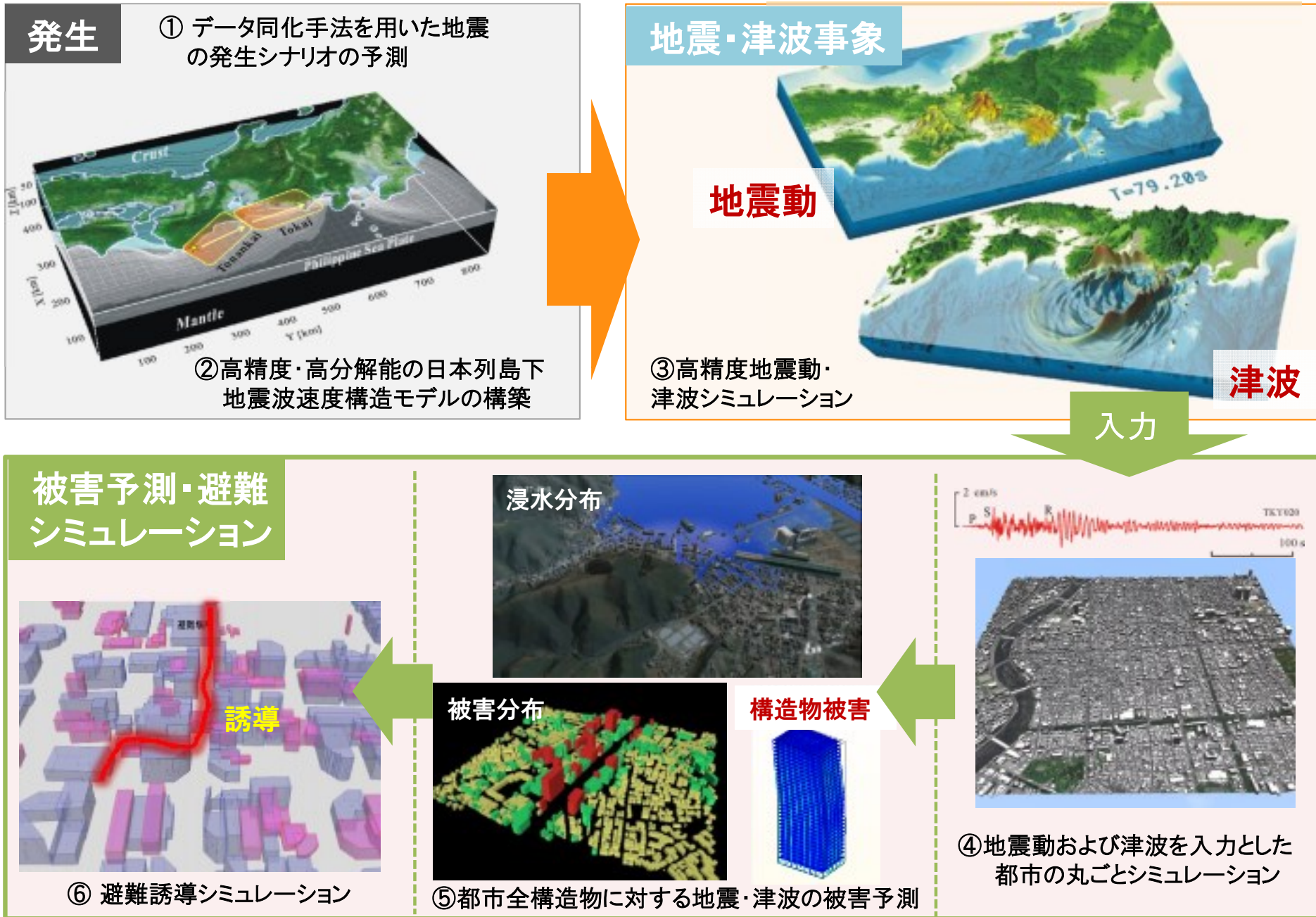
局地的大雨を
力学的に直前予測

信頼度情報に基づく
豪雨災害のリスクマネジメント

数値モデルの不確実性を
減らし、台風や集中豪雨など
の予測精度を向上

研究開発課題(2)地震・津波の予測精度の高度化に関する研究

統合地震シミュレータの開発を目指して



推進体制

統括責任者

実施責任者会合

統括責任者、研究開発課題責任者、
計算科学技術推進体制構築責任者、
課題責任者などから構成

分野3で行われる活動全体を横断的に
統括する

運営委員会

統括責任者、研究開発課題責任者、
計算科学技術推進体制構築責任者、
課題責任者、外部有識者などから構成

外部有識者の意見、助言を踏まえて
運営方針を決定する

研究開発課題(1)

防災・減災に資する**気象・気候**・環境予測研究

海洋研究開発機構 地球変動領域が中心となり、
東京大学 大気海洋研究所、気象庁 気象研究所などと連携して実
施

- 地球温暖化時の**台風**の動向に関する全球的予測
- **集中豪雨**などの予測実証

参加研究者: 130名

関連プロジェクト:

気候変動リスク情報創生プログラム 等

研究開発課題(2)

地震・津波の予測精度の高度化に関する研究

海洋研究開発機構 地震津波・防災研究プロジェクトが中心となり、
東京大学 大学院情報学環、地震研究所、東北大学などと連携し
て実施

- 次世代型**地震**ハザードマップの基盤構築
- **津波**予測の高精度化
- **都市全域**の自然災害シミュレーション

参加研究者: 80名

関係プロジェクト:

南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト
都市の脆弱性が引き起こす激甚災害の軽減化プロジェクト 等

計算科学技術推進体制構築

＜計算機利用支援、成果普及、人材育成＞
海洋研究開発機構 地球シミュレータセンターが中心となり、
計算科学研究機構などの関係機関と連携して実施

技術者 & 担当者: 23名

実施計画・最終目標

前半 (H23～H25上)

後半 (H25下～H27)

最終目標

温暖化時の台風変化: NICAMバイアス調整

25年実験、解像度依存性

感度実験

延長予測: NICAM計算効率向上

冬期MJO実験

感度実験

地球変動予測アプリケーションパッケージの開発

全域雲解像データ同化システムの構築

「京」による豪雨事例の雲解像データ同化実験

アンサンブル予報システムの並列計算への対応

「京」による実証実験と検証

雲解像モデルの超並列計算への対応

「京」による高解像度再現実験

地震シミュレーションのモデル開発
入出力機構の整備
アプリケーションの最適化

南海トラフ地震発生モデル
日本列島地下構造モデル
南海トラフ巨大地震の地震動・被害予測

地震時の津波複合災害の予測

モデル地域への適用

地震発生、建物振動との
連成避難シミュレーション開発

モデル地域での減災計画
人的被害の予測と軽減対策(避難計画)

モデル構築(超高層ビル、RC橋脚)

プロダクトラン: 破壊過程、多数地震シナリオ

コンポーネント開発
(地震動、構造物地震応答、群集避難)

東日本大震災の再現
南海トラフ地震の被害予測

台風の発生、経路、梅雨前線に伴う豪雨ポテンシャル等の2週間以上の延長予測可能性についての検討を可能に

集中豪雨や局地的大雨、竜巻の親雲などの顕著気象現象の力学的な直前予測と、リードタイムを持った市町村単位の定量的確率予測の可能性を実証

地震動データベースの事前準備
災害予測シミュレーションとの結合
災害予測・被害軽減システムの構築

モデル地域での災害計画、避難計画も含めた人的被害の予測と軽減対策を実施

構造物-地盤相互作用を考慮した地震応答解析の有効性を実証
シミュレーション結果を関連自治体に公表し、有効利用を図る

研究成果(1)

世界初の全球sub-kmシミュレーション

「京」の20,000ノードを9日間使用

⇒ 0.87 km格子で全球大気の2日間を再現

結果: 台風や温帯低気圧などの気象擾乱と、
個々の積雲対流の詳細な構造を再現

※積雲対流:

台風など雲擾乱の最小構成要素

水平スケールは数キロ

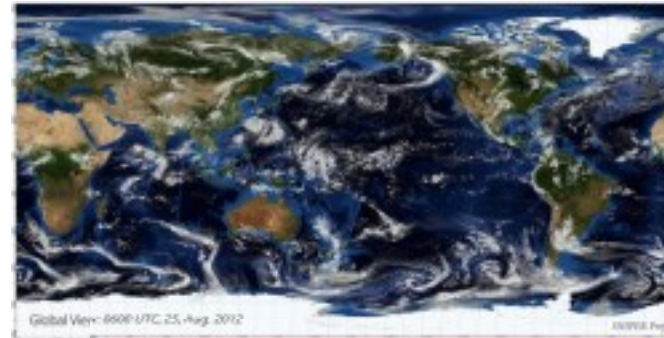
⇒非常に重要なが、解像度:数キロは
これまで計算不可能であった

新たな発見

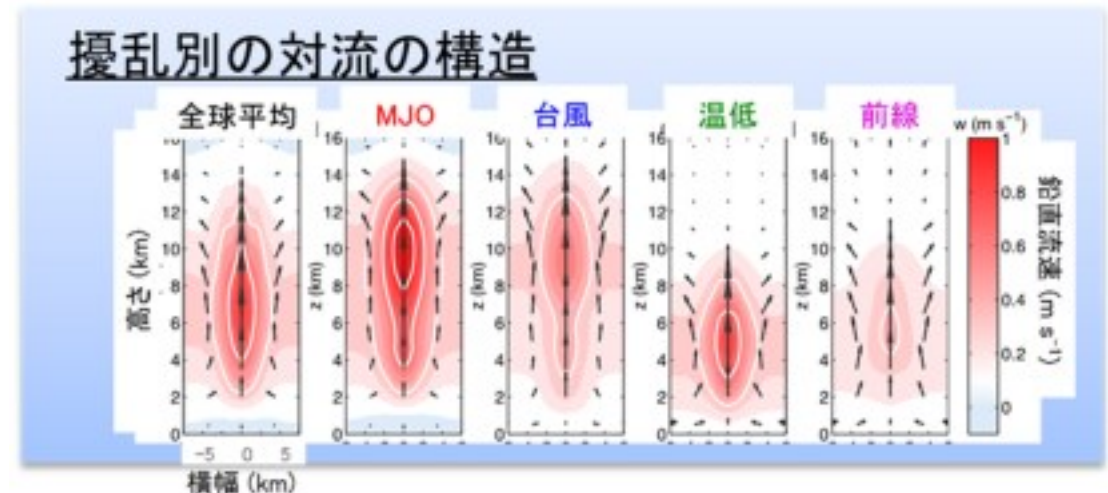
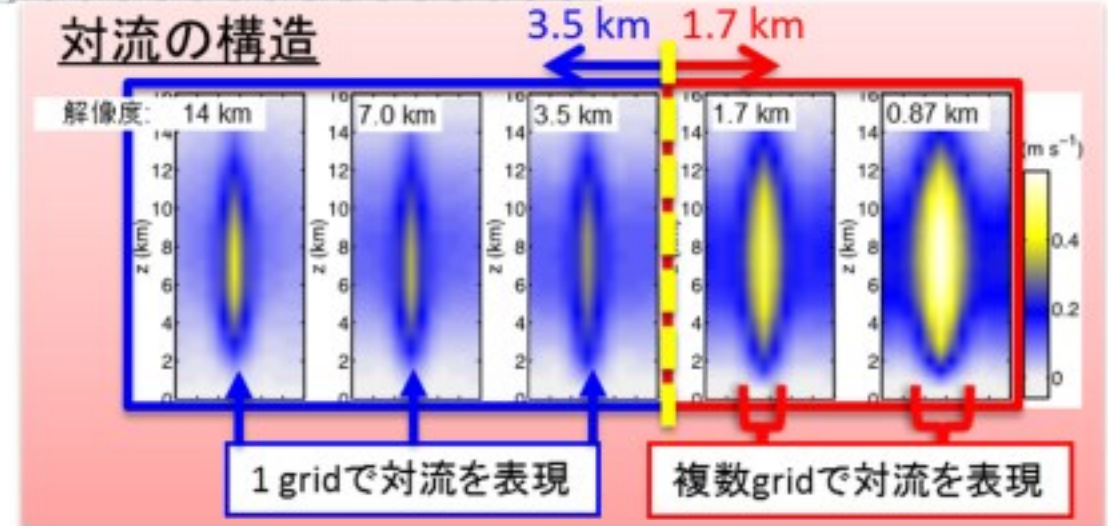
- 解像度1 kmを超える全球計算:
対流の詳細構造まで再現
地球上での対流の統計的性質を解明

- 対流の性質(構造・強度):
解像度**3.5 km** ⇔ **1.7 km**の間で変化
(対流の構造まで計算するためには約3 km以上の解像度が必要)

Miyamoto et al. (2014, 2015)



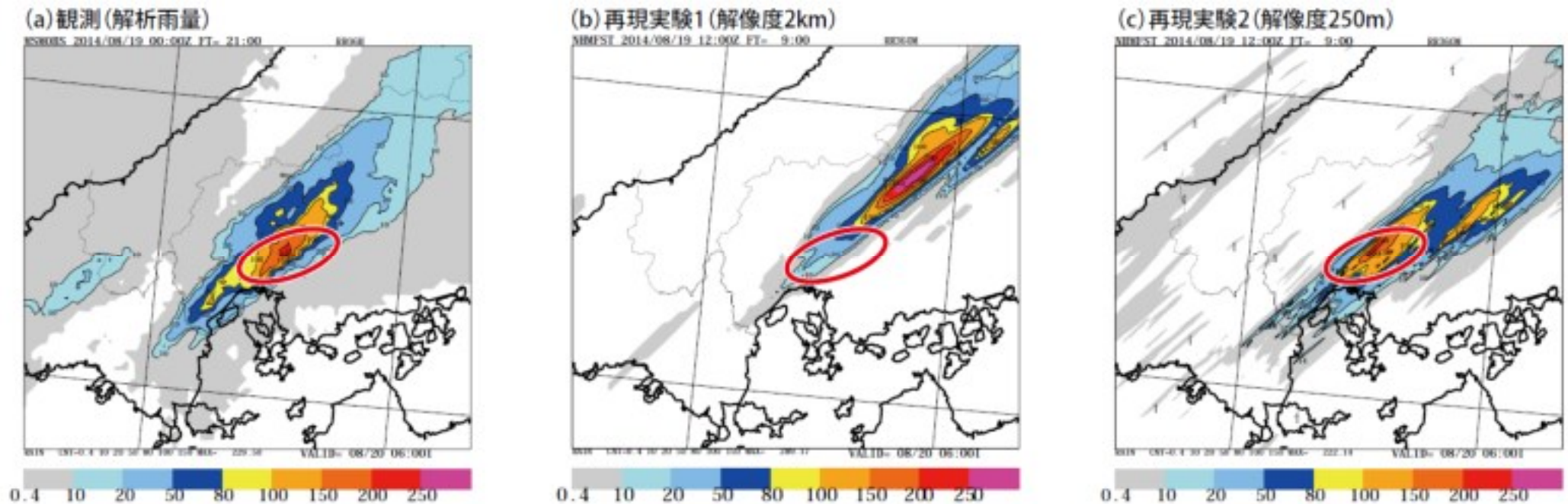
←3.5 km
870 m↓



研究成果(2)

2014年広島での土石流 豪雨の広領域超高解像度実験

数値予報で用いられる広領域(1,600 km × 1,100 km)を対象に前例のない
超高解像度(水平格子間隔:250 m)で予報



2014年8月20日午前0時～6時の6時間雨量。

左) 観測

中) 水平格子間隔:2 kmの場合

右) 水平格子間隔:250 mの場合

前日21時のメソ解析からの予報。

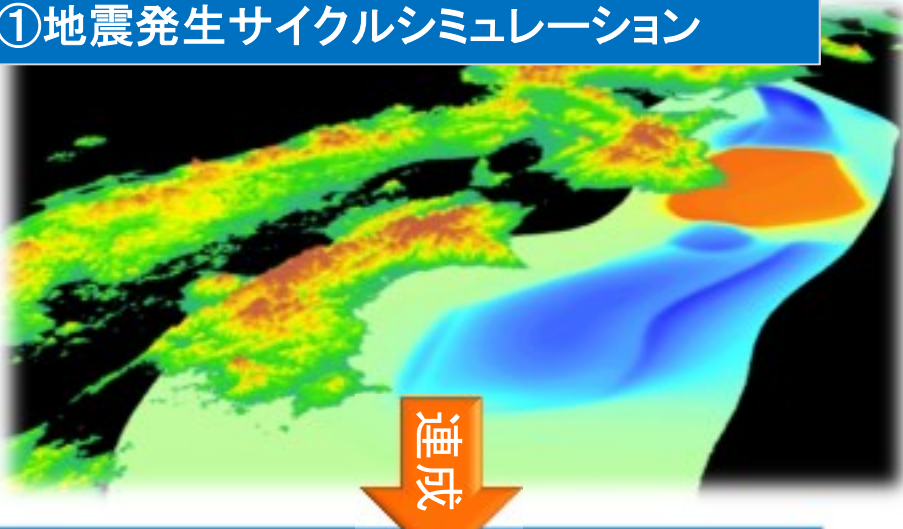
スケールの小さなバックビルディング形成による線状降水帯

Oizumi et al. (2016b)

研究成果(3)

★地震発生—地震津波伝播 連成シミュレーション

①地震発生サイクルシミュレーション



②地震・地殻変動・津波シミュレーション



「京」で実用化した、地震発生—地震波伝播連成シミュレーションにより、**地震断層**の動的特性の違いによる、強震動と津波の生成効率の評価を実施、**南海トラフ地震**の現実的な地震・津波被害予測に向けた大きな前進があった。

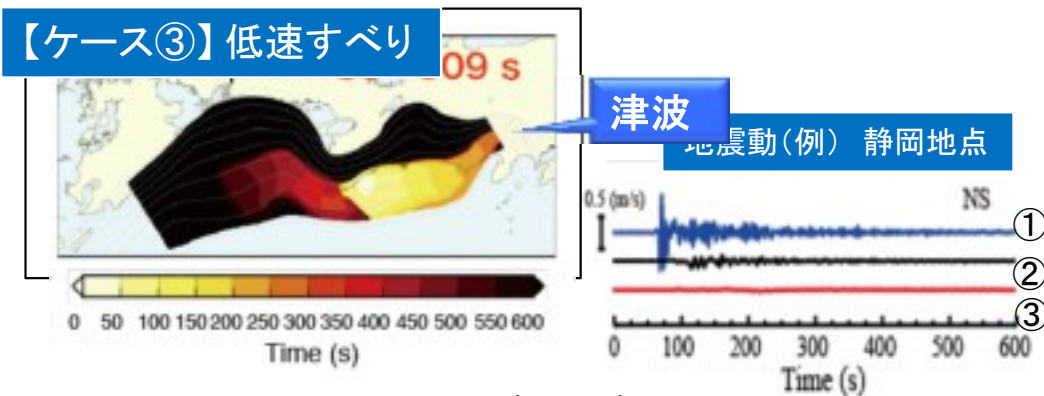
【ケース①】高速すべり



【ケース②】中間速度すべり



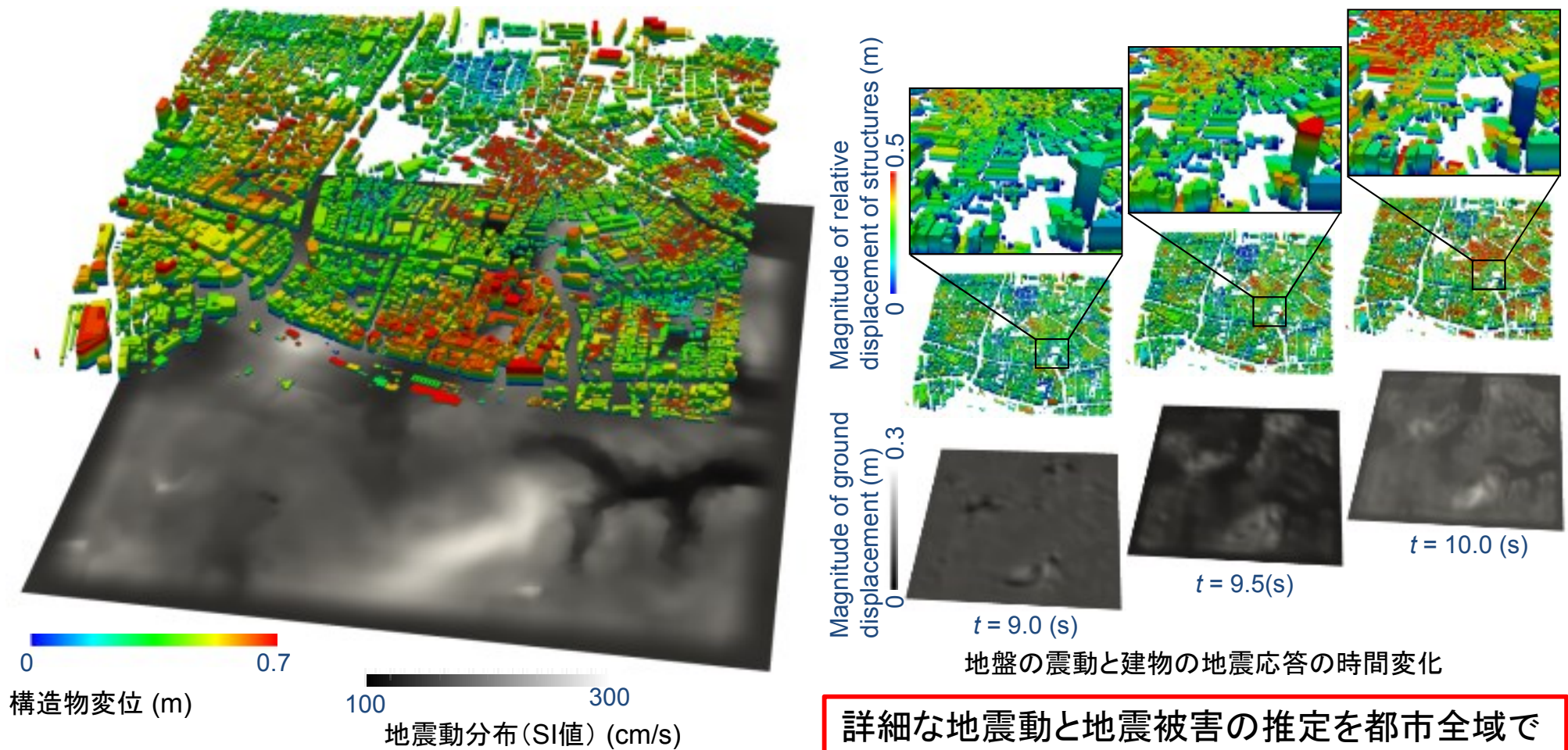
【ケース③】低速すべり



Todoriki, Hori, Hyodo, Furumura (2015)

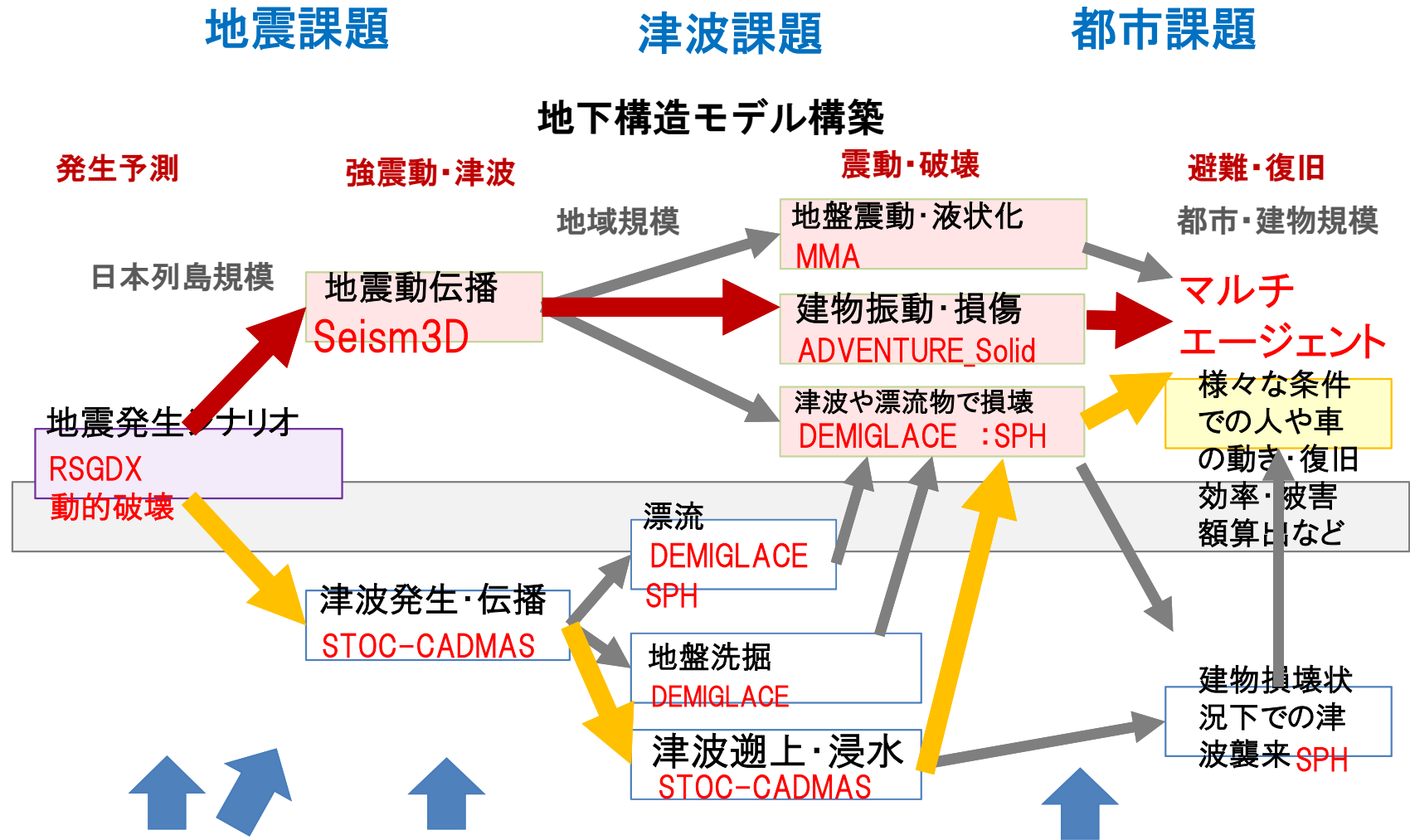
研究成果(4)

都市地震応答解析手法:地盤と建物群の連成解析



SC14ゴードンベル・ファイナリストに選出され, HPC分野でも評価

「地震・津波」関係3課題の統合解析に向けた課題



計算科学技術推進体制構築

<最終目標(事業計画)>

「京」の利用によって、研究開発課題の戦略目標を達成し、画期的な成果を生み出すことを目的に、「京」と地球シミュレータ(地球変動予測の中核的な計算機資源)の間で、効果的・効率的な運用ができる体制を構築する。

I. 計算資源の効率的マネジメント

- ・計算科学研究機構内の共用サーバの設置・運用
- ・各研究拠点のサーバ管理
- ・研究拠点間のネットワーク管理
- ・アプリケーションの移植、最適化
- ・「京」利用に関する講習会の開催
- ・シミュレーション結果の可視化支援

II. 人材育成

- ・若手研究者の雇用
- ・講習会の開催
- ・神戸大学との連携(講師の派遣等)
- ・人材育成WGの設置・運用

III. 人的ネットワークの形成

- ・研究会、ワークショップの開催
- ・合同研究交流会の開催
- ・広報責任者会議への参画

IV. 成果の普及

- 専門家への情報発信
 - ・ワークショップ開催
 - ・地域研究会の開催
- 国民への情報発信
 - ・シンポジウムの開催
 - ・HPの運用、パンフレット制作・配布

V. 分野を超えた取組み

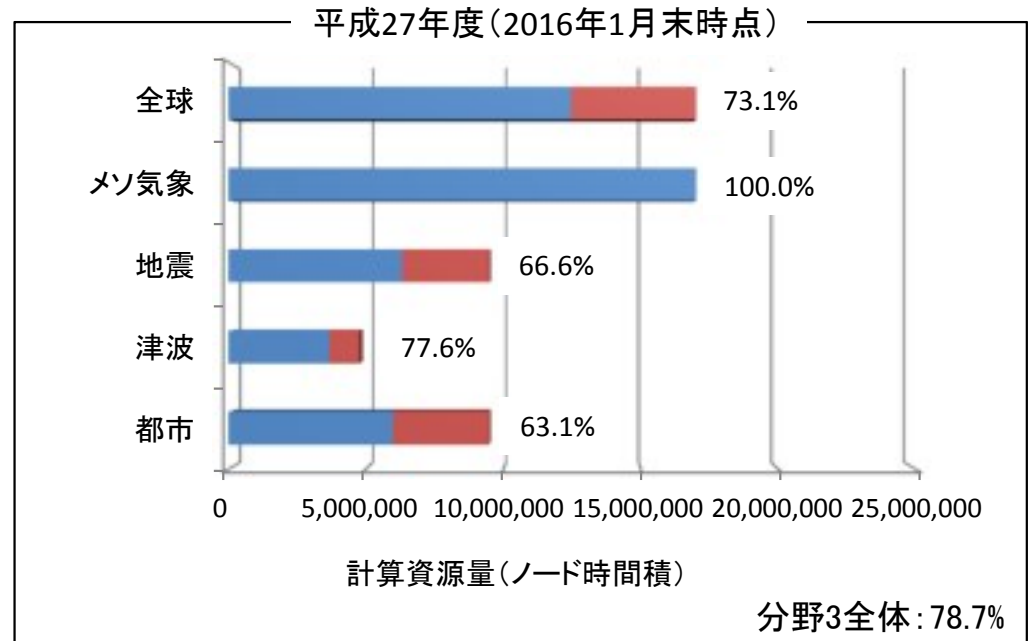
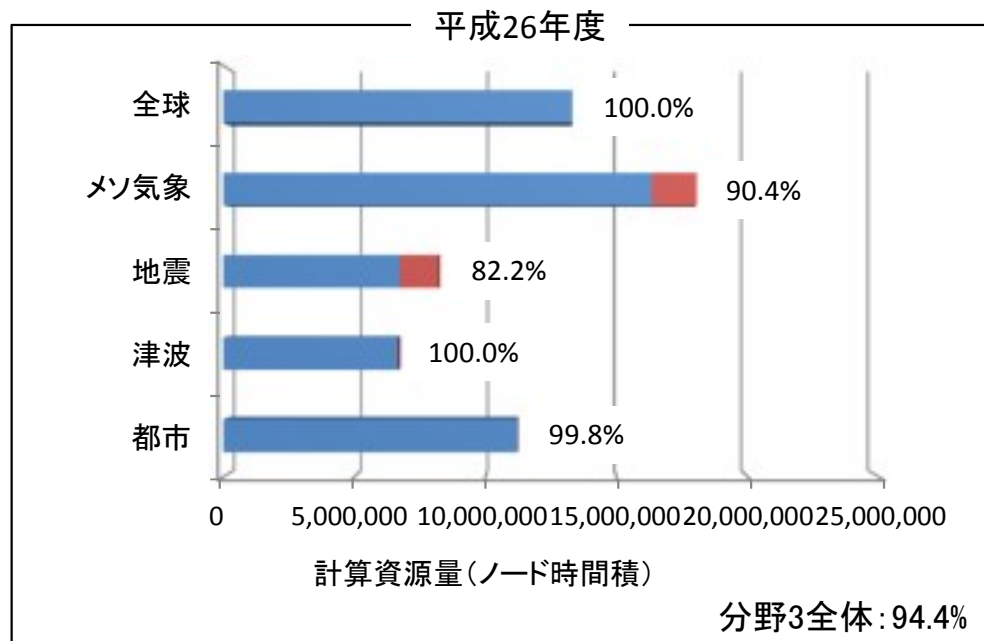
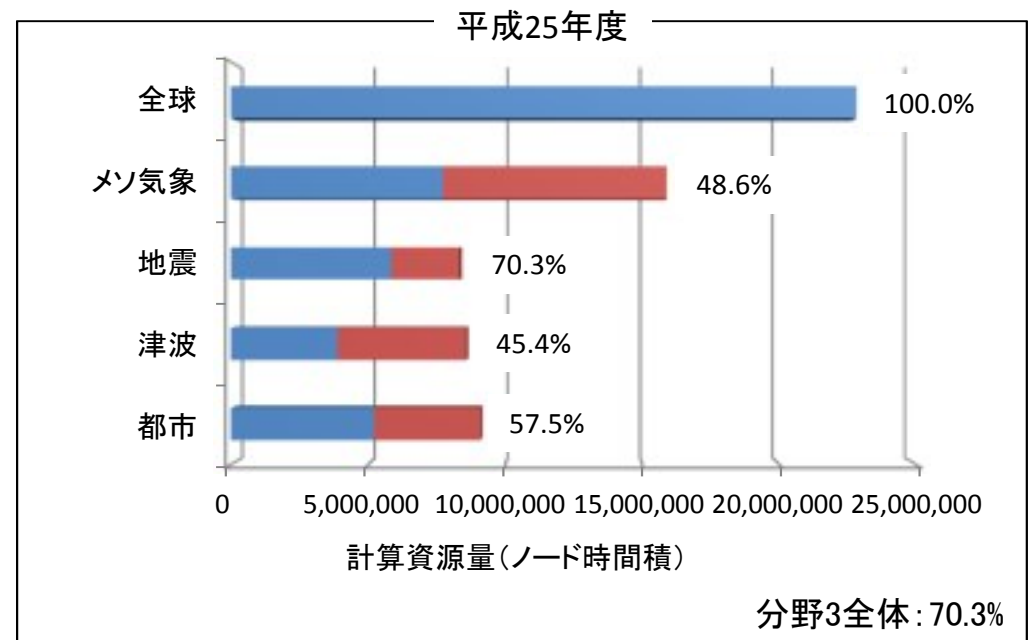
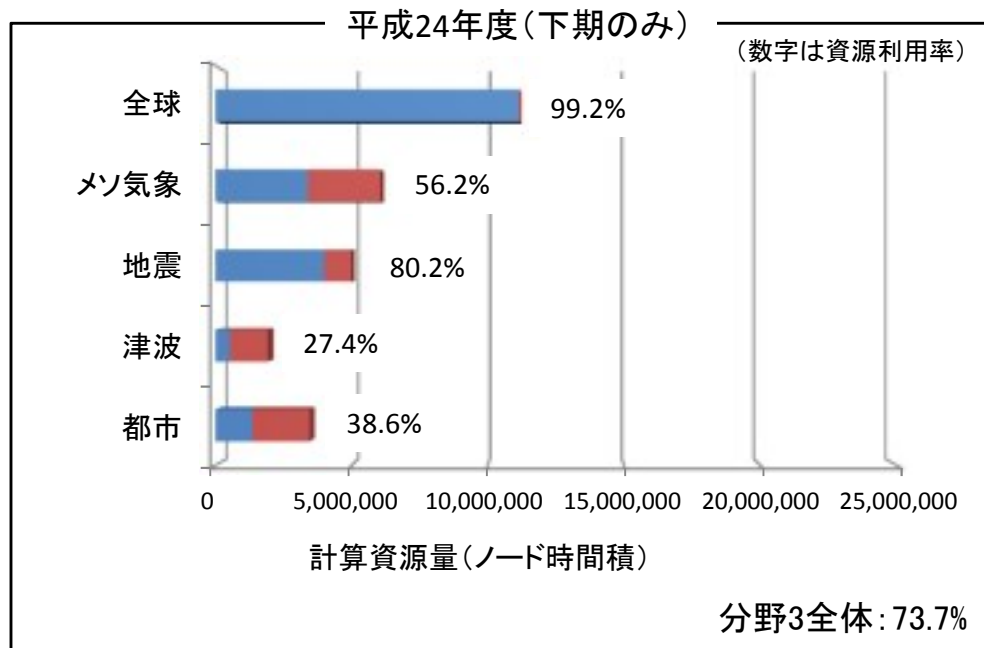
- ・HPCI関係機関との連携
- ・HPCIコンソーシアムへの加入
- ・連携推進会議等への出席

目標達成状況

(分野3:◎大幅に達成)

課題名	達成状況
地球規模の気候・環境変動予測に関する研究	【達成状況:◎大幅に達成】 全球雲解像モデルを用いて、マッデン・ジュリアン振動については1ヵ月先、台風発生については2週間先まで予測が可能であることを示したほか、世界で初めて1 km以下の格子での全球大気のシミュレーションに成功した。
超高精度メソスケール気象予測の実証	【達成状況:○着実に達成】 領域非静力学モデルに基づくアンサンブル解析予報システムを開発したほか、伊豆大島や広島での豪雨事例を対象とした超高解像度(250 m格子)の広領域の再現予測実験に成功した。
地震の予測精度の高度化に関する研究	【達成状況:◎大幅に達成】 南海トラフ地震について、地震発生～地震波伝播～強震動・長周期地震動の発生の連成シミュレーションに成功し、成果を国の中央防災会議等に提供した。
津波の予測精度の高度化に関する研究	【達成状況:○着実に達成】 仙台平野を5 m格子でモデル化した2時間分の津波浸水解析が2分以内で計算できることを示し、リアルタイム津波ハザード予測の実現に向けて大きく前進した。
都市全域の地震等自然災害シミュレーションに関する研究	【達成状況:◎大幅に達成】 地盤・建物・避難を連成して行う統合地震シミュレーションを開発して、東京23区内の10 km四方の領域を対象とした計算に成功し、極めて高い時・空間分解能の地震災害・被害評価を例示した。
計算科学技術推進体制構築	【達成状況:○着実に達成】 延べ51本のアプリケーションの最適化・高速化等の支援に成功し、世界初となる大規模計算の実行を可能とするなど、研究開発課題の推進に大きく貢献した。

「京」の利用状況(平成24年10月～27年12月)



予算額の推移 I

単位:千円

	H23年度	H24年度	H24年度 (補正予算)	H25年度	H26年度	H27年度	備考 (主な用途)
研究開発課題							
(1) 防災・減災に資する気象・気候・環境予測研究							
課題①地球規模の気候・環境変動予測に関する研究	76,485	113,329	39,000	113,273	101,250	91,000	人件費、旅費 設備備品費 等
課題②超高精度メソスケール気象予測の実証	99,166	95,721	82,000	113,273	101,250	91,000	人件費、旅費 設備備品費 等
共通	18,433	12,450	0	3,454	3,500	3,500	事業実施費 等
(2) 地震・津波の予測精度の高度化に関する研究							
課題①地震の予測精度の高度化に関する研究	40,123	80,850	0	85,864	95,092	88,142	人件費、旅費 設備備品費 等
課題②津波の予測精度の高度化に関する研究	19,017	48,388	0	48,576	25,116	21,616	人件費、旅費 設備備品費 等
課題③都市全域の地震等自然災害シミュレーションに関する研究	6,700	4,750	0	4,750	32,292	30,542	人件費、旅費 設備備品費 等
共通	140,575	61,012	0	32,460	0	0	事業実施費 等
小計	400,499	416,500	121,000	401,650	358,500	325,800	

予算額の推移 II

単位:千円

	H23年度	H24年度	H24年度 (補正予算)	H25年度	H26年度	H27年度	備考 (主な用途)
計算科学技術推進体制の構築							
計算資源の効率的マネジメント	13,525	1,445	40,000	1,616	332	6,510	サーバ設置 ディスク増設 等
「京」利用に際しての研究支援協力	13,643	43,060	0	157,668	43,277	33,400	プログラム高度化、 最適化開発者支援 等
人材育成	0	0	0	433	6,977	1,000	講習会実施 講習会参加 等
人的ネットワークの形成	0	0	0	437	200	500	会議開催 シンポジウム開催 等
研究成果の普及	9,618	9,896	0	14,350	7,101	10,100	シンポジウム開催 パンフレット作成 等
分野を超えた取組みの推進	0	300	0	0	200	5,000	イベント開催 等
プロジェクトの総合的推進	55,016	17,512	0	14,694	14,654	11,000	会議開催 謝金 等
その他	1,227	4,817	0	6,824	10,669	4,600	国内旅費 外国旅費等
小計	93,029	77,030	40,000	196,022	83,410	72,110	
総計	493,528	493,530	161,000	597,672	441,910	397,910	

【5年間総額】2,585,550 千円

中間評価(研究計画・評価分科会)等指摘事項への対応(1)

指摘事項

【必要性】

統括責任者等の更なるリーダーシップの下に、分野内の連携はもちろんのこと、必要に応じて分野を越えた連携や他の研究開発プロジェクトの活用も図りながら、本質的に新しい現象の解明や真に革新的な技術開発等を通じて、戦略目標の達成や社会的・科学的課題の解決に資する、「京」や本プログラムならではの成果を創出していく必要がある。その際、「京」でなければ成し得ない成果はどの部分か、どこまで超並列化を進めるとどの様な成果が期待できるのか、という視点をこれまで以上に強く意識する必要がある。

対応

「気象・気候」分野については、雲のモデル化が共通テーマであり、それに関する連携を進めきたが、さらに意識して連携を強化した。「地震・津波」分野では、各課題が連携して「統合地震シミュレータ」の開発を進めた。

<分野内の連携>

「全球気候」課題の研究者が「メソ気象」課題の研究会に参加して、発表・議論を行うとともに、2014年9月に開催された国際非静力学ワークショップ等の機会を通じて、連携の可能性を探った。「地震・津波」関係の課題では、各課題が連携して「統合地震シミュレーション」の開発を進めた。2014年8月には分野3全体の成果報告会を開催し、連携を促進した。その後も継続して課題間や分野全体としての連携を図った。

<分野を越えた連携>

分野4との連携は、定期的に会合を設けて議論を進めた。

<他の研究開発プロジェクトの活用>

上記のプロジェクトなどに加え、ポスト「京」重点課題とも連携を図った。

<「京」ならではの成果>

上記の成果のほか、「台風発生の2週間予測が実現可能であることを実証」、「高解像度大気海洋結合モデルにより台風強度の予測精度が大きく向上することを実証」、「地盤の揺れ・地震による建物などの振動の計算により、世界で初めて、地震災害と建物被害を統合した大規模シミュレーションを実現」などの、「京」ならではの成果を創出した。

中間評価(研究計画・評価分科会)等指摘事項への対応(2)

指摘事項

【必要性】

得られた成果の情報発信については、社会に分かりやすく伝えることはもちろんのこと、時には社会の期待や研究者の士気を高めるための大きな目標を示しながら、「京」や本プログラムが社会の「役に立つ」、「役に立った」という国民の実感が得られるようにしていく必要がある。その際、特に、国民の生命・健康や安全・安心に直結する分野については、反動を生みかねない過剰な期待を防ぐため、現在「京」を用いて到達可能な成果とその限界も正確に社会に伝える必要がある。

対応

研究活動と広報活動のバランスに配慮するとともに、成果発表については等身大の発表を心がけた。

＜安全・安心に直結する分野での過剰な期待＞

成果報告会、プレスリリース等による社会への成果の発信では、等身大の発表を心がけ、国民に過剰な期待を抱かせないように配慮した。

＜研究活動と広報活動の両立＞

研究者の過度の負担にならないよう、研究者の研究活動と広報活動のバランスに配慮しながら成果の発信に取り組んだ。

指摘事項

【有効性】

「京」を用いて予測された結果、あるいは、理解された結果を実証するため、実験系研究者との連携を図りつつ、結果の検証作業も強化していく必要がある。

対応

分野3で研究対象としている気象・気候や地震・津波の現象については、初期値の作成や結果の検証に必要なデータが気象庁などによってほぼ整えられており、シミュレーション結果の定量的な評価に活用している。例えば、台風、集中豪雨や竜巻、地震波や津波水位など。また、津波シミュレーションでは東日本大震災の被害状況や映像データとの比較により信頼性を検証している。地震応答シミュレーションについては、E-ディフェンス実験(実際の建物等を載せた振動台での実験)と比較し、結果の信頼性を確認している。

中間評価(研究計画・評価分科会)等指摘事項への対応(3)

指摘事項

【効率性】

大学・研究機関のスーパーコンピュータ、さらには民間のクラウドサービス等のコンピュータの性能が向上していることも認識し、「京」や本プログラムならではのインパクトのある成果を迅速に創出する観点に立って、本プログラムに割り当てられた「京」の計算資源をこれまで以上に重点的に配分するとともに、「京」以外の計算資源の更なる有効活用を図る必要がある。

対応

それまでの利用実績や計画の進捗状況を考慮し、提供される計算資源を最大限活用できるように配分を決めた。分野3の研究者は、地球シミュレータをはじめ、他の大学等の大型計算機も積極的に利用してきており、引き続き積極的に活用した。

<計算資源の重点的な配分>

それまでの利用実績や計画の進捗状況を考慮し、提供される計算資源を最大限活用できるように配分を決めている。平成26・27年度は「全球気候」課題と「メソ気象」課題を重点課題として設定した。平成26年度は、これらの課題で重点課題追加配分枠を得たほか、下期には戦略プログラム加速枠を取得した。さらに、「都市全域」課題が、平成26年度下期において、ゴードンベル賞を目指すための計算資源追加配分を取得した。

<「京」以外の計算資源>

分野3の研究者は、地球シミュレータをはじめ大学等の大型計算機も積極的に利用してきており、引き続き積極的に活用した。例えば、「メソ気象」課題では、「京」には不向きな多数のジョブステップに分かれるデータ同化システムの開発に、東京大学情報基盤センターのFX10を課題経費で利用した。

行政事業レビュー「公開プロセス」指摘事項への対応(1)

指摘事項

成果指標の達成度合が不明瞭なため、個々の研究開発目標の評価・分析において工夫すべき

対応

研究分野の性格上、定量的な指標は立てにくいですが、今後は達成度合が分かりやすい評価指標を工夫したい。例えば、数値予測モデルでは、時・空間分解能や予測可能時間に関する目標値を設けるなど。なお、今回の達成度の自己評価では、プロジェクト開始時に立てた、「京」を用いて初めて実現できるブレークスルー的な科学目標がどれだけ達成できたかを重視した。

指摘事項

国民に対し、コストパフォーマンスを含めた事業成果についてわかりやすく表示すること

対応

国民の理解を得るために、随時ホームページを更新し、成果発表会やシンポジウムをたびたび開催して、自然災害による経済的損失に対する防災・減災研究の重要性を示すなど、成果の分かりやすい説明を心掛けた。

指摘事項

官と民の適切な役割分担により、民の活力を活用すべき

対応

この分野では、実用化のフェーズに入る前の、基礎的な研究開発の段階では、民間活力の活用は難しい。

行政事業レビュー「公開プロセス」指摘事項への対応(2)

指摘事項

ポスト京に向け、これまでの課題分析、官民の役割分担、成果を見えるようにして、次の事業展開につなげるべき

対応

分野3の特徴は、連続体を計算対象とし、膨大な観測データを使って防災・減災に資する技術開発を行うことである。ポスト「京」でもその特徴が活かせるように、コデザインなどに積極的に関わっていく。

「気象・気候」関係の課題分析として、以下の2点が挙げられる。

- (1) 社会的関心が最も高いと考えられる現実問題に挑戦する必要がある。
- (2) 観測データと学術成果を最大限活用して「人的災害ゼロ」に挑戦する必要がある。

これらの課題に対して、以下の事業展開を行う。

- (1) 予測対象を、気候変化の影響が指摘される豪雨や竜巻など社会的影響が大きく関心が高い現象に集中化し、
- (2) あらゆる観測データと最先端の予測技術によって、予測精度の向上とリードタイムの長期化の限界に挑む。

官民学の役割分担については、主に、最先端の技術研究開発を行う学术界と、頑健で信頼性の高いシステムの実現が求められる現業界(気象庁、建設業界等を含む)からのメンバーによる推進体制を構築し、研究開発の初期段階から、実利用の際の課題と可能性を明確にできるようにする。

「地震・津波」関係の課題では、都市の地震災害・被害をシミュレーションで予測する数値解析手法が開発されつつあるが、この数値解析手法を、国・自治体等が利用する仕組みが構築されていない。この仕組みを構築し実用化を図ることが課題である。

実用化の具体像は、官が想定した地震に対し、民(コンサルティング産業)が解析を実行、という形である。なお、数値解析手法の開発・維持は学が担う。

行政事業レビュー「公開プロセス」指摘事項への対応(3)

指摘事項

スーパーコンピュータ「京」の開発・整備に1,000億円を超える国費が投入されていることに鑑み、投入予算に見合った成果が得られているか、成果を基礎研究面での科学的な成果と、実用的成果とに分けて、**国民に分かりやすく説明**すべきである。

対応

科学的な成果は、ホームページ、パンフレット、成果報告会などで、折にふれて、国民に向けて説明してきた。

「気象・気候」課題で行われている研究開発の多くはフラッグシップ機を用いて初めて実現できる先端的研究であり、そこで得られた科学的知見の実用化には時間がかかる。気象庁のような**現業センター**で使われているスーパーコンピュータは、5～10年後にはフラッグシップ機並みの性能となるので、本課題の成果は、**将来の実用・応用**において大いに活用されるはずである。その点も含めて、今後も国民の理解を得るべく努力する。

「地震・津波」課題関係では、特に、**南海トラフ地震**に関する防災研究プロジェクトの地域研究会において、行政等の関係者にシミュレーションの有効性を説明し、地域に特化した課題解決の手段であることを強調している。**高知市**では、来年度から具体的な津波浸水シミュレーションと避難シミュレーションを実施し、災害時の状況を試算するプロジェクトを予定。その他、DVDを制作し、広く地震津波シミュレーションの有効性をアピールしている。