

ポスト「京」プロジェクトについて

理化学研究所計算科学研究機構

平尾 公彦





世界で初めて10ペタフロップス※の壁を突破した「京」

※10ペタは1兆の1万倍(「京」)

「京」は主要部品、システム全体を開発から製造まで国内で一貫して行った純国産のスパコン。
2012年9月より本格稼働。

アプリケーションプログラムの実効性能や使いやすさに関する演算性能あたりのメモリ容量、CPU・メモリ間のデータ転送性能やCPU間のデータ転送性能では、「京」が天河2号等よりも優位、幅広い分野での活用が可能。「京」はStrong Science Machine。

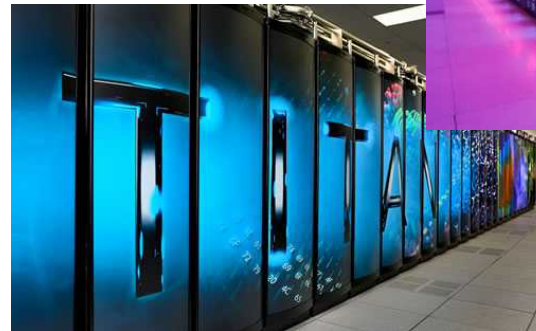
世界のスパコン トップ5 - 2013年11月

順位・国	機関	PF(実行効率)
1 中国	「天河2号」 広州国立スーパーコンピュータセンター	33.86 (61.7%)
2 アメリカ	「タイタン」 オークリッジ国立研究所	17.59 (64.9%)
3 アメリカ	「セコイア」 ローレンス・リバモア国立研究所	17.17 (85.3%)
4 日本	「京」 理研 計算科学研究機構	10.51 (93.2%)
5 アメリカ	「ミラ」 アルゴンヌ国立研究所	8.59 (85.3%)

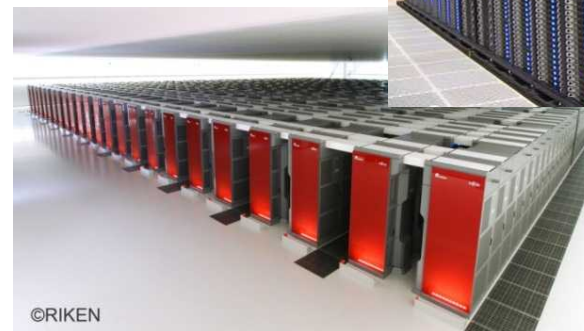
天河2号



タイタン



セコイア

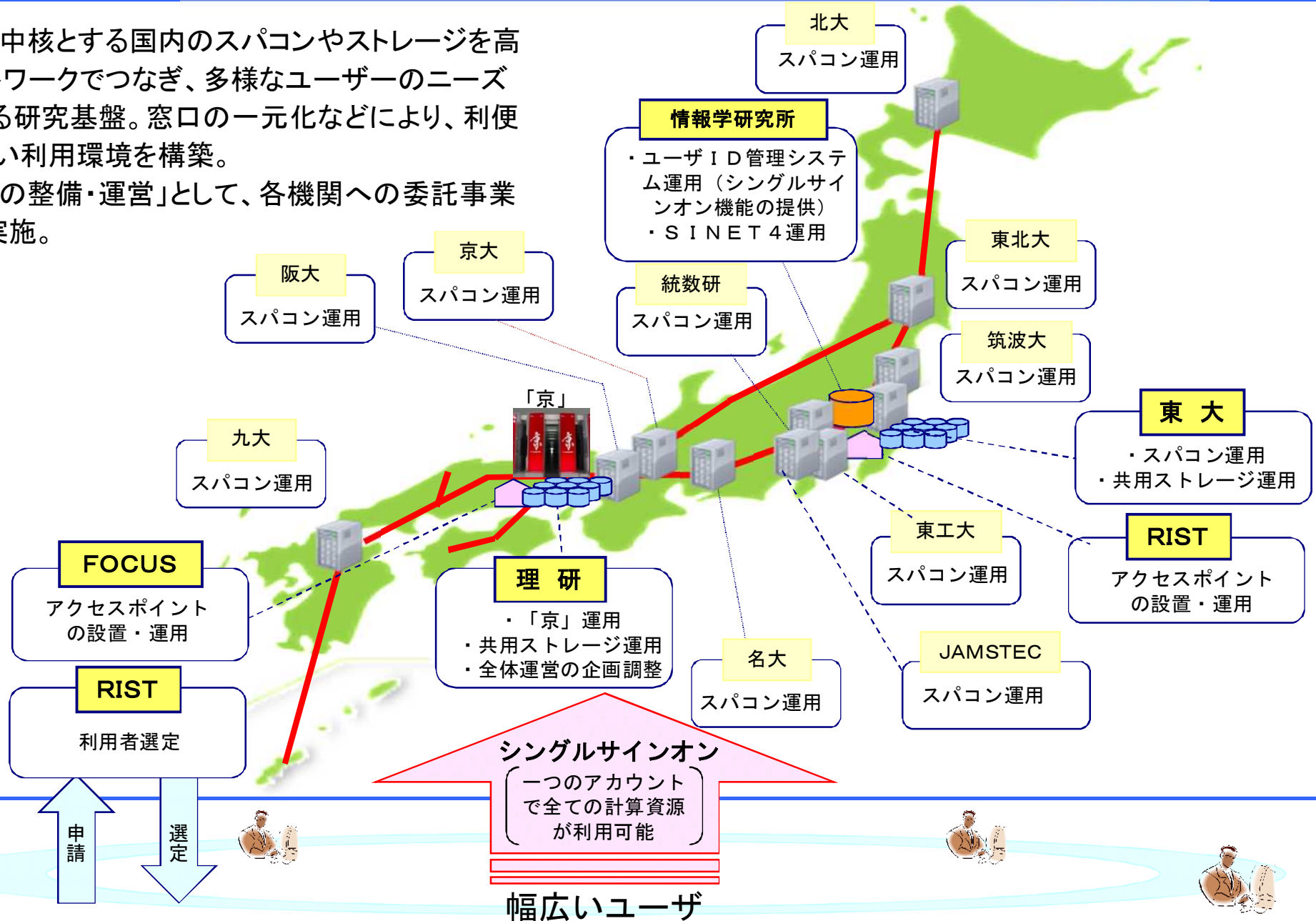


京

©RIKEN

HPCI:革新的ハイパフォーマンス・コンピューティング・インフラ

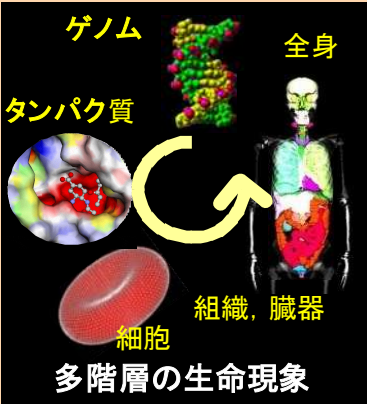
- 「京」を中核とする国内のスパコンやストレージを高速ネットワークでつなぎ、多様なユーザーのニーズに応える研究基盤。窓口の一元化などにより、利便性の高い利用環境を構築。
- 「HPCIの整備・運営」として、各機関への委託事業により実施。



「京」による画期的な成果創出を目指す戦略分野

予測する生命科学・医療
および創薬基盤

新薬の開発



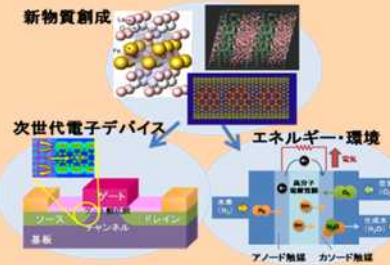
生体分子から細胞、臓器、全身にわたる多階層の生命現象を予測し、副作用のない革新的な医薬品が開発できる。

【戦略機関】
・理化学研究所

新物質・エネルギー創成

新デバイスとエネルギーの開発

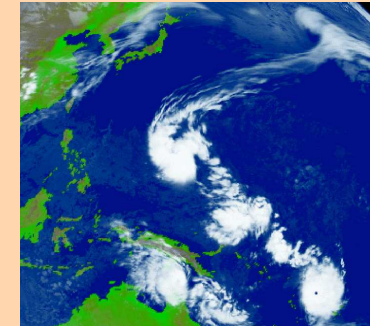
新物質・新現象の探索を基盤とし、次世代電子デバイス開発の指針を与え、クリーンエネルギーの生成の高効率化に資する。



【戦略機関】
・東京大学物性研究所(代表)
・自然科学研究機構分子科学研究所
・東北大学金属材料研究所

防災・減災に資する
地球変動予測

台風の進路や集中豪雨の予測



NICAMIによる全球3.5kmシミュレーション

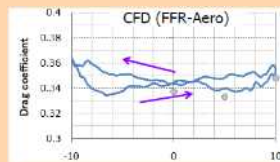
全球雲解像モデルにより台風の進路や集中豪雨の高精度予測が可能となり、効果的な防災・減災対策に資する。

【戦略機関】
・海洋研究開発機構

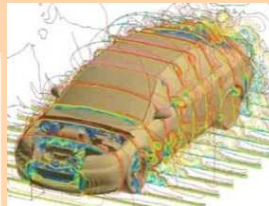
次世代ものづくり

設計プロセスの革新

独自の要素技術の創造、組合せ最適化、丸ごと性能評価を可能とし、ものづくりプロセスの革新とイノベーション創出に資する



非定常空力・振動連成解析による、低空気抵抗、低揺動車の開発



【戦略機関】
・東京大学生産技術研究所(代表)
・宇宙航空研究開発機構
・日本原子力研究開発機構

物質と宇宙の起源と構造

物質の起源と宇宙の構造形成



ビッグバンに始まる宇宙において、極微の素粒子から元素合成、そして星・銀河形成に至る物質と宇宙の起源と構造を統一的に解明する。

【戦略機関】
・筑波大学計算科学研究センター(代表)
・高エネルギー加速器研究機構
・自然科学研究機構国立天文台

これまでの検討経緯

○技術的事項の検討

今後のHPC技術の研究開発の検討WG
(平成23年4月～7月)

「今後のハイパフォーマンス・コンピューティング技術の研究開発について」
(平成23年7月)

アプリケーション作業部会
コンピュータアーキテクチャ・コンパイラ・システムソフトウェア作業部会
(平成23年7月～平成24年2月)

「今後のHPCI技術開発に関する報告書」(平成24年2月)

将来のHPCIシステムのあり方の調査研究
略称：FS (平成24年度から2カ年)

- ・公募により システム設計研究チームとアプリケーションソフトウェアチームを選定。
- ・システム設計研究チームでは、技術動向調査、システム設計研究、システムソフトウェアの検討等を行う。
- ・アプリケーションソフトウェアチームでは、サイエンスロードマップの策定、評価用アプリの抽出、それを用いたシステムの評価等を行う。
- ・これらの活動をもとに、**5～10年後の我が国のHPCIシステムに必要な技術的知見を獲得**する。

【選定結果】

分野	主管事業実施機関		
アプリ	理化学研究所		
システム設計	東京大学	筑波大学	東北大学

○政策に関する検討

今後のHPCI計画推進のあり方に関する検討WG
(平成24年2月～平成26年3月)

- ・研究振興局長の諮問会議であるH P C I 計画推進委員会の下に設置
- ・今後10年程度を見据え、国内外の計算科学技術の動向、H P C I システム構成のあり方、H P C I 全体のネットワークや利用体制のあり方、今後の研究開発のあり方等について調査検討を実施。
- ・**平成26年3月に最終報告をとりまとめ。**
- ・世界最高水準のスーパーコンピュータは我が国の競争力の源泉となる最先端の研究成果を創出する強力なツールであり、本プロジェクトは実施する意義や必要性が高く、国として主導的に開発に取り組むべき
- ・**2020年頃までにエクサスケールコンピューティングの実現を目指すことが適当とされた。**

WGの議論
に反映

今後のHPCI計画推進のあり方に関する検討WG
システム検討サブWG (平成25年6月～8月)


- ・**中間報告**において、リーディングマシンの研究開発の方向性として、開発主体候補（理研）において、期待される成果、必要なスペック、要素技術等に関するイメージを明らかにした上で、フラッグシップシステムの具体的な方向性等を検討。
- ・開発主体候補からのヒアリングを実施。
- ・**平成25年8月30日報告書要旨公表**

ポスト「京」(エクサスケール・スーパーコンピュータ)の開発

平成26年度予定額 1,206百万円 (新規)

背景

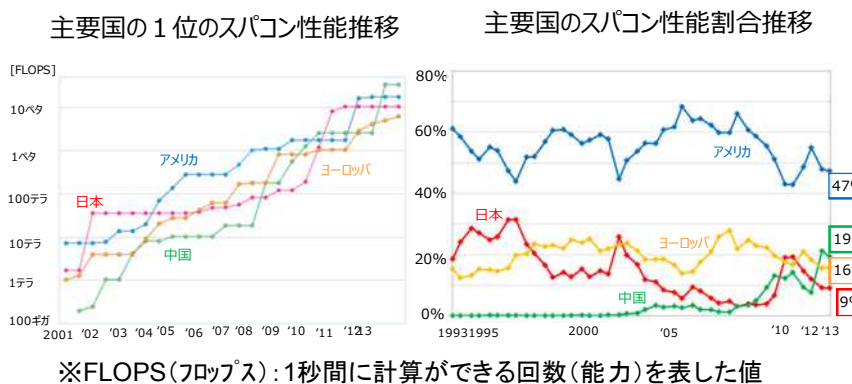
○スーパーコンピュータは科学技術の発展、産業競争力強化、安全安心の国づくりに不可欠な国家の基幹技術であり、米国、EU、中国をはじめ国際的に開発・整備・導入が活発

 : 世界の計算性能の約半分,2020年頃のエクサ級スパコン開発・稼働予定

 : 日本を超える総計算能力,2020年頃のエクサ級スパコンを整備予定

 : 最新ランキングで一位獲得,CPUの自主開発を進めエクサ開発に着手

○少子高齢化やエネルギー・環境問題、産業の国際競争激化、巨大な自然災害など、我が国を取り巻く様々な社会的・科学的課題の解決には最先端のスパコンが必要不可欠



開発の概要

○2020年までにエクサスケールのスーパーコンピュータを開発し、実際のシミュレーションでも、「京」の100倍の性能を実現

○世界一の成果を創出できるアプリケーションをハードウェアと一体的に開発(Co-design)し、社会的・科学的課題の解決に貢献

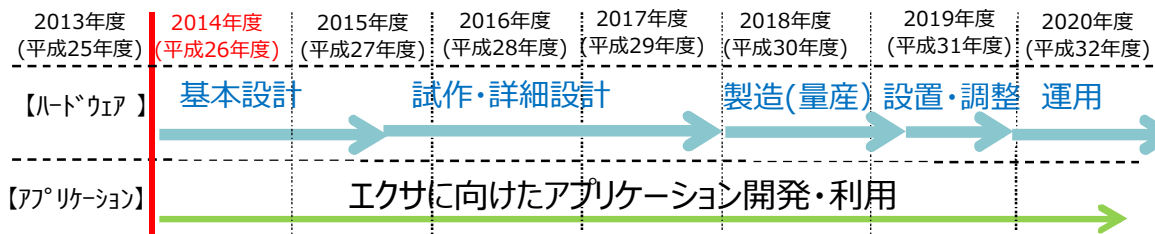
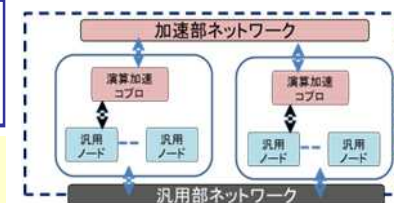
○自主開発によりIT技術の波及効果が得られ、海外展開に貢献するとともに、我が国に蓄積された高度なICT技術・人材を維持・強化

○ポスト「京」を設置するために必要なインフラを備え、計算科学分野の優秀な研究者等を有している理化学研究所が主体となって開発

○総事業費 約1,400億円 (うち国費分 約1,100億円)

- ・アーキテクチャ：汎用部+加速部
- ・目標演算性能：1E17フロップス級(「京」の100倍)
- ・消費電力：30~40MW(「京」は12.7MW)

平成26年度は汎用部と加速部の基本設計を行い、ハードウェア仕様の詳細を検討



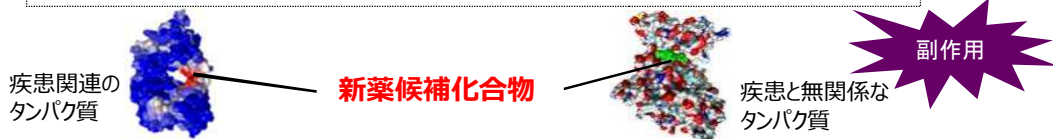
エクサスケール実現により期待される成果

<新薬の開発>

・限られた時間内に探索できる新薬候補化合物の種類が大幅に増大し、新薬の開発期間の大幅な短縮に貢献

・より複雑な細胞環境下のシミュレーションが可能となり、有効な新薬候補化合物の検出の可能性が高まるとともに、副作用の有無の予測も可能に

タンパク質と化合物との結合作用を予測、「京」で約2.4年かかる計算が約5.5日で可能に



<ものづくり(自動車開発)>

・走行、燃費、対衝突性能等の解析プロセスを統合した自動車設計手法を開発。設計の大幅な効率化により低コストかつ短期間での開発が実現

・自動車衝突時の影響を、車体だけでなく乗員の体への影響(骨や内臓等の損傷)も評価し、より安全性の高い車体の開発に貢献

個別解析プロセスを統合したシミュレーション、「京」で約1.4年かかる計算が約3日で可能に



ポスト「京」に対する3つのcomputingのニーズ

- 大規模、精密、長時間発展といったcapability computingのニーズ
 - Heroic computations
 - 大規模計算を解く。例えば、京で8万ノード使わないと動かせないプログラム。
- 複雑な現象を対象とした課題におけるensemble computingのニーズ
 - 現象や課題の複雑さ、不確実さ、多変数、予測困難ゆえに確率論的予測
 - 気象、気候シミュレーションなど多くの分野では、初期パラメータを変えてシミュレーションし、それらの結果から予測値を得る。例えば、京で80ノード使って動作するプログラムを1000個同時に動かす。このような計算はcapacity computingとも呼ばれる。
- Big data computing、社会科学シミュレーションのニーズ

今後の計算科学が貢献しうる社会的課題 (capability computing の例)

エネルギー・環境問題

エネルギー技術と環境との調和

電子デバイス・材料の高性能・省エネルギー化の実現

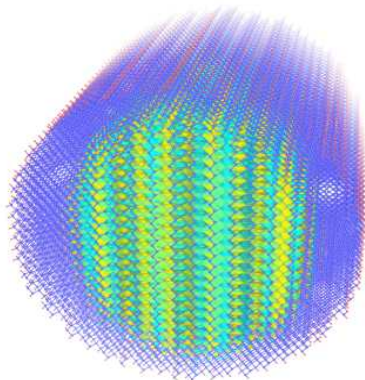
- 高速動作・高集積・低エネルギー損失の次世代半導体デバイスの開発
- 2次電池や燃料電池の材料劣化機構解明

【京からポスト京への飛躍】

青字: 京での成果

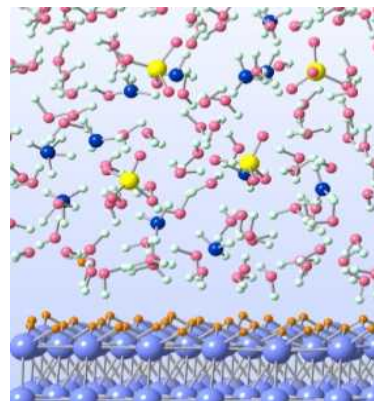
赤字: ポスト京以降で期待される成果

- 第一原理計算により、今までベールに隠れていたシリコンナノワイヤの電子分布をようやく把握できるレベルに
- 大規模かつ大量の計算を行うことで、複合材料や化合物半導体の物性を予測・解明
- 強相関物質の理解によって全く新しいエネルギー変換・伝送技術を開拓



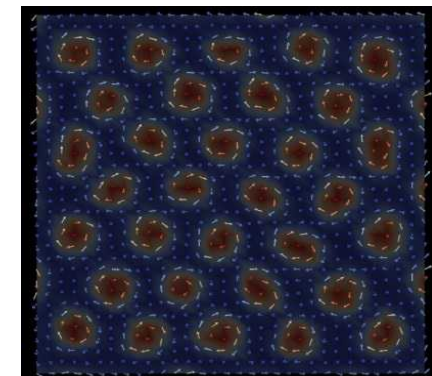
シリコンナノワイヤの電子状態計算

提供: 東京大学 岩田潤一



電極・電解液界面の第一原理計算

出典: 評価専門調査会(第103回)資料6-2より



磁気スカームイオンの結晶化シミュレーション

提供: 理化学研究所計算科学研究機構

分野連携における新しい科学の創出 (capability computing の例)

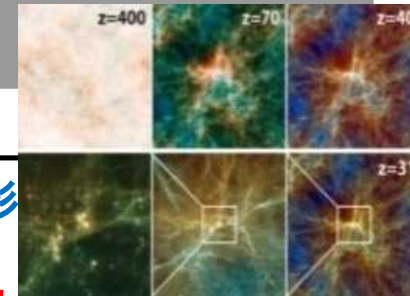
基礎科学の連携例

I 宇宙科学と地球科学の連携

○銀河系や惑星系の多様性やその起源や進化の解明

II 宇宙・原子核・素粒子論の連携

○鉄より重い原子の発生・生成起源の探究



ダークマター粒子の宇宙初期における重力進化の計算

【京からポスト京への飛躍】

I

- **ダークマター構造形成等については概ね物理法則に基づく計算が実現。銀河形成や星形成とその進化については半経験的モデル計算にとどまる。**
- **ダークマターを含め銀河形成や星形成といった複数階層においてより物理法則に基づく統合的天体計算へ**

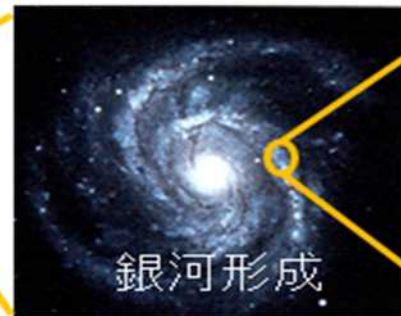
II

- **超新星爆発のシミュレーションが可能となり、その爆心地の様子を再現。**
- **超新星爆発における鉄より重い原子の発生の生成シナリオの有力仮説の検証へ。**

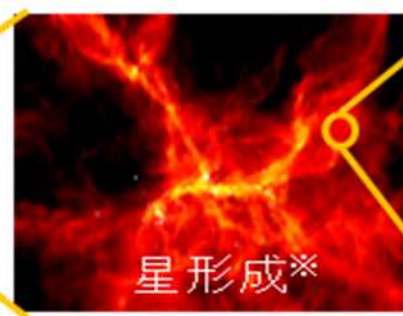
宇宙の大規模構造形成、銀河形成、星形成、惑星形成にいたる、複数階層を一連のものとしたシミュレーション



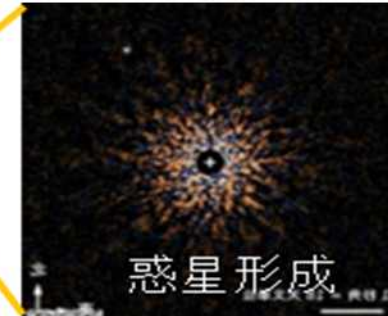
宇宙の大規模
構造形成



銀河形成



星形成*



惑星形成

出典: 評価専門調査会(第103回)
資料6-2より

今後の計算科学が貢献しうる社会的課題 (ensemble computing の例)

創薬・医療

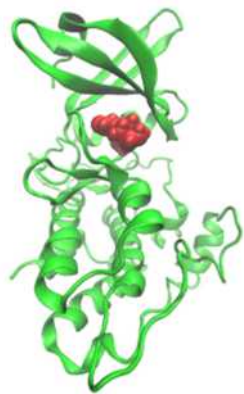
画期的創薬・医療技術の創出

計算創薬の本格化による画期的創薬の実現

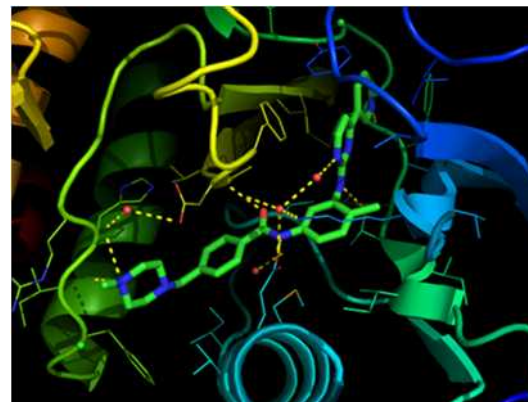
- 効能が高く、副作用が少ない画期的創薬
- 実験と比べて、低コスト化・短期間化が実現

【京からポスト京への飛躍】

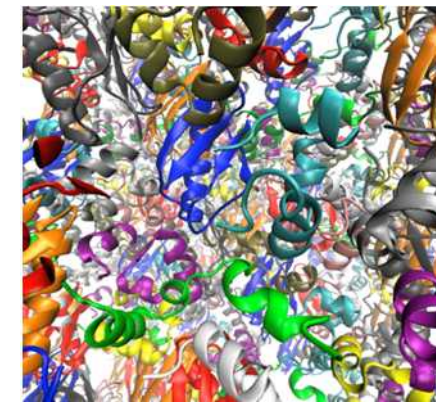
- 単一タンパク質計算から**複数タンパク質の環境下での大型計算**へ。
- 新薬候補物質の探索数を劇的に拡大：**数100程度から10万程度**へ。
- より信頼性の高い計算へ：**古典分子動力学計算から量子化学計算**へ。



標的蛋白質(緑)と
薬剤候補化合物(赤)



タンパク質と薬の結合



細胞環境下での創薬

今後の計算科学が貢献しうる社会的課題 (ensemble computing の例)

総合防災

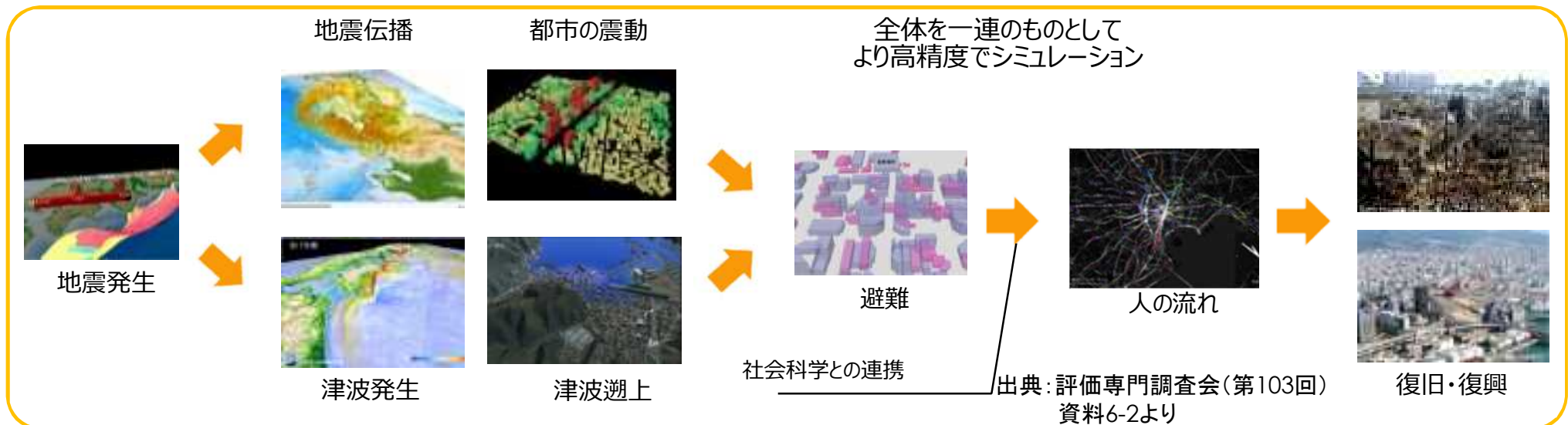
科学的知見に基づく 災害予測のシステム化

広域複合災害を予測しきめ細やかな防災・減災対策へ貢献

- 「想定外」を無くすため、多数の複合災害のシナリオに基づく大規模データベース化
- データベースに基づく、きめ細やかな防災・減災対策、復旧対策の策定

【京からポスト京への飛躍】

- 津波災害など都市防災シミュレーションによる次世代ハザードマップの作成方法を確立
- 1000を超える地震シナリオをもとに、広域災害データベースを構築
 - 地震直後の「複合災害」への迅速な対応(避難)へ貢献
 - 震災後の復旧へ向けた、社会経済予測を可能にする
 - 長期的な都市防災計画へ貢献



分野連携における新しい科学の創出 (Big data computingの例)

ビッグデータの有効利用例

ビッグデータ気象学の礎を築く

○従来では考えられない革新的なゲリラ豪雨のリアルタイム予測を実現

【京からポスト京への飛躍】

- 数時間毎の観測データを使った数km解像度のシミュレーションにより都市スケールでの10数時間後の天気を予測する可能性が開けた。
- 数100m解像度で30秒毎に更新するリードタイム30分の次世代天気予報を確立
 - 高解像度高速シミュレーションと複数の新型センサ・観測衛星によるビッグデータの融合

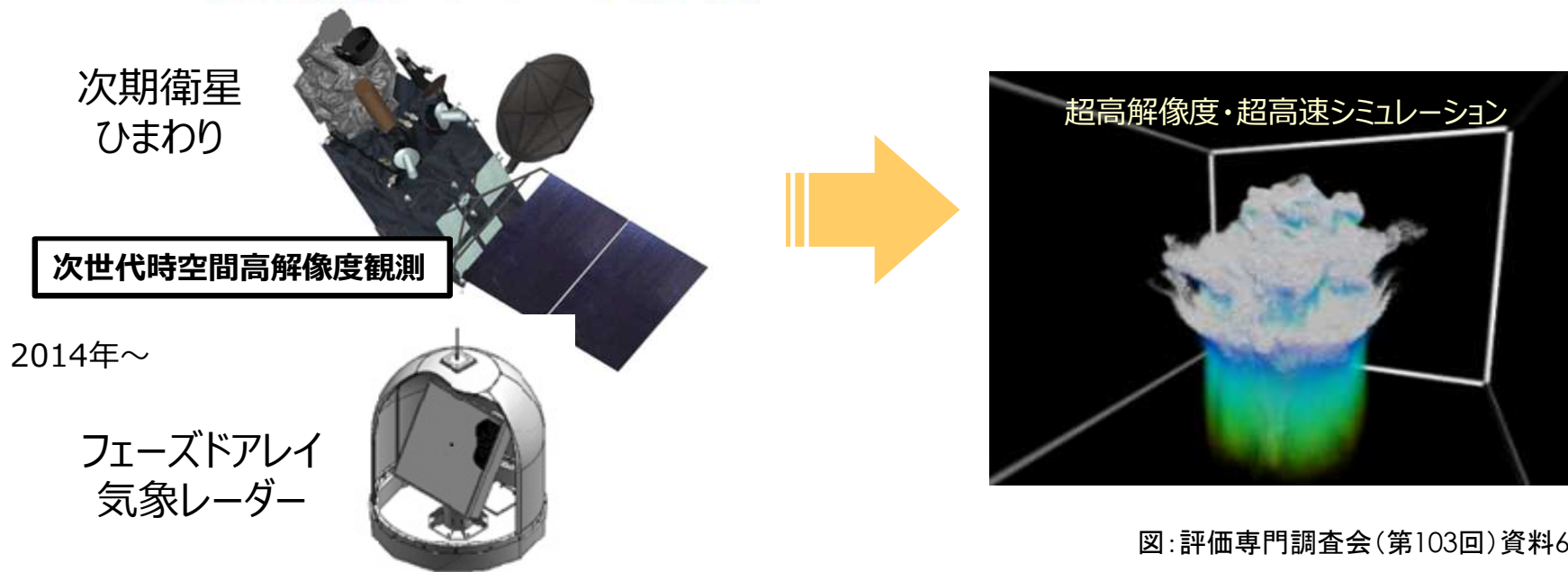


図:評価専門調査会(第103回)資料6-2をもとに変更

科学技術の総力をあげて ポスト「京」で挑戦するに値する課題を

科学的卓越性があり

社会的インパクトが強く

人類社会が直面する難問解決に資する

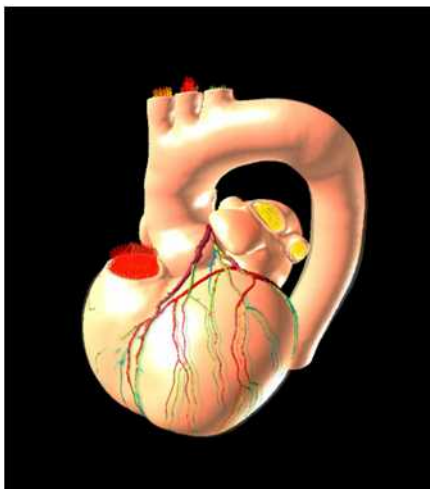
参考資料:「京」の成果について

「京」が実現したシミュレーション

- 創薬・・・10種類以上の抗がん剤候補、リード化合物を発見
- 10兆個の結合の世界最大の脳神経シミュレーション(小型霊長類の全脳規模)
パーキンソン病のモデル確立へ
- 人の心臓を精緻に再現、肥大型心筋症の病態を蛋白質レベルの変異から解析、仮想手術、心臓に埋め込むペースメーカーの電極の位置を最適化
- 血流シミュレーター+心臓シミュレーターで心筋梗塞のシミュレーション
- ウイルスの営みを分子レベルで解明ー抗ウイルス剤やワクチン開発への道を拓くー
- シリコンナノワイヤー等の次世代半導体設計手法を開発、世界初でナノ領域に流れる電子分布
- 高温超電導、量子スピン液体の機構解明に向けてのシミュレーション
- リチウムイオン電池の電解液反応を分子レベルで解明、充電時間を1/3に減らす電解液の開発
- 磁性材料の材料設計に活用できる新たなシミュレーション技術を開発
- メタンハイドレートの融解機構を解明、より効率的なメタンの回収
- 全球雲解像モデル(NICAM)による気候研究、一月先までMJOの予測可能性
台風発生10日程度前から60%の確率で台風の発生を予測
- 世界初の1km以下解像度で地球全体での積乱雲の描像を明らかに
- 発生の日～1日前からの計算で高い確率で2012年7月の九州北部豪雨を予測
- 2012年5月6日のつくば竜巻のアンサンブル予報実験
- 南海トラフ巨大地震 広域詳細な高精度地震動・津波シミュレーション
- ものづくり 自動車の空力、船体の推進抵抗、ファンの性能と騒音、超高精度シミュレーション
- 超新星爆発のシミュレーションに成功

●細胞モデルからの心臓シミュレーション

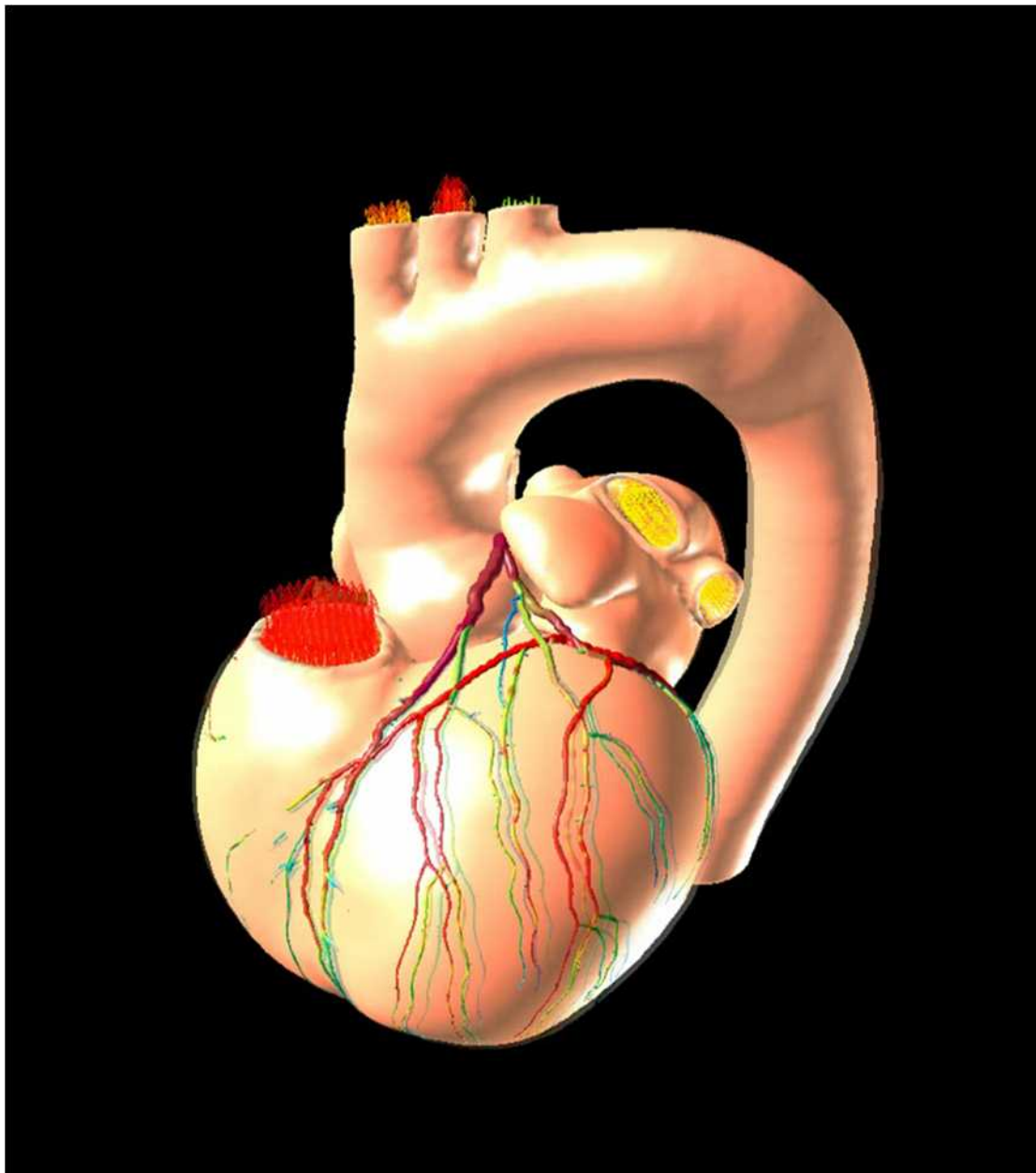
スパコンの活用による分子レベルの挙動を取り入れた心臓シミュレータや血栓形成シミュレータの開発が進められ、病態解明や医療応用が進められている。「京」以前のスパコンの性能では細胞内の構造を精密に再現した心臓モデルの1回収縮分の計算に2年近く掛かっていたが、「京」により、同様の計算が1日で再現可能になり、心筋細胞内のたんぱく質の確率的運動から細胞の収縮、心拍動、血液駆出、冠循環までを一貫してシミュレートすることが出来るようになった。



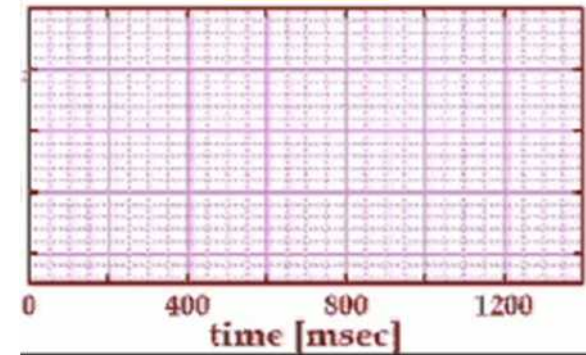
細胞モデルからの心臓シミュレーション

東京大学 久田、杉浦、鷺尾、岡田研究室
協力:富士通株式会社

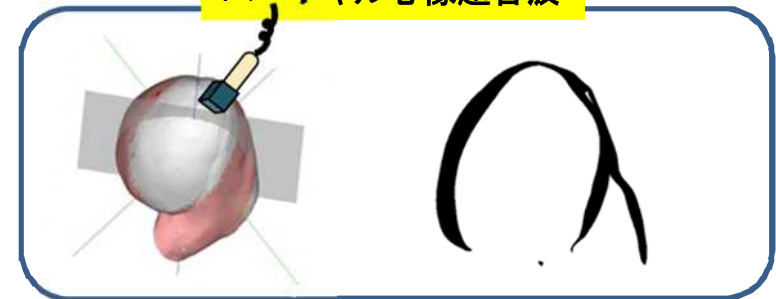
最近では、京を使った心臓シミュレータと比べて簡素化したモデルを用いてではあるが、東大と富士通の共同開発により、患者ごとの心臓モデルを基にしたシミュレーション(仮想手術)による最適なペースメーカーの電極の取り付け位置の算出に成功しており、臨床への応用が期待されている。



心電図



バーチャル心像超音波

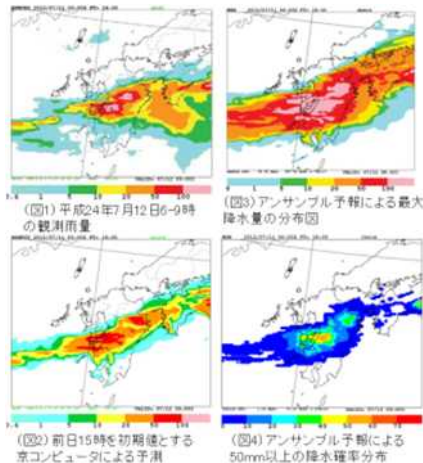


- ・心筋細胞内のたんぱく質の確率的運動から細胞の収縮、心拍動、血液駆出、冠循環までを一貫してシミュレート。
- ・シミュレーションから超音波エコー、流速ドップラー、心電図、カテーテル検査などの精緻なデータが再現される。そのデータを基に病態の解析が可能に。

東京大学 久田、杉浦、鷺尾、岡田研究室 協力:富士通株式会社

●防災のための気象予測モデルの精度向上

スパコンの発展は、将来的な集中豪雨の予測の改善や新しい豪雨予測システムの構築、台風・集中豪雨などの発生メカニズムの解明や雲の気候への影響の研究などに寄与する。「京」以前には**全球大気のシミュレーションは3.5km程度が最高解像度であったが、「京」では水平格子間隔1km未満の超高解像度の全球帯域シミュレーションが可能となった。**また、「京」以前のスパコンでは**積乱雲を詳細に表現することが難しかったが、個々の積乱雲から全球規模の積乱雲群との相互の関係をより正確に調べることが可能になった。**



平成24年7月九州北部豪雨による大雨について、発生半日～1日前からの計算で高い確率で予測できる例があることが気象研究所による研究で判明。

従来の水平格子3.5km(左)と「京」で可能になった1km未満(右)の格子間隔でシミュレートされた台風。

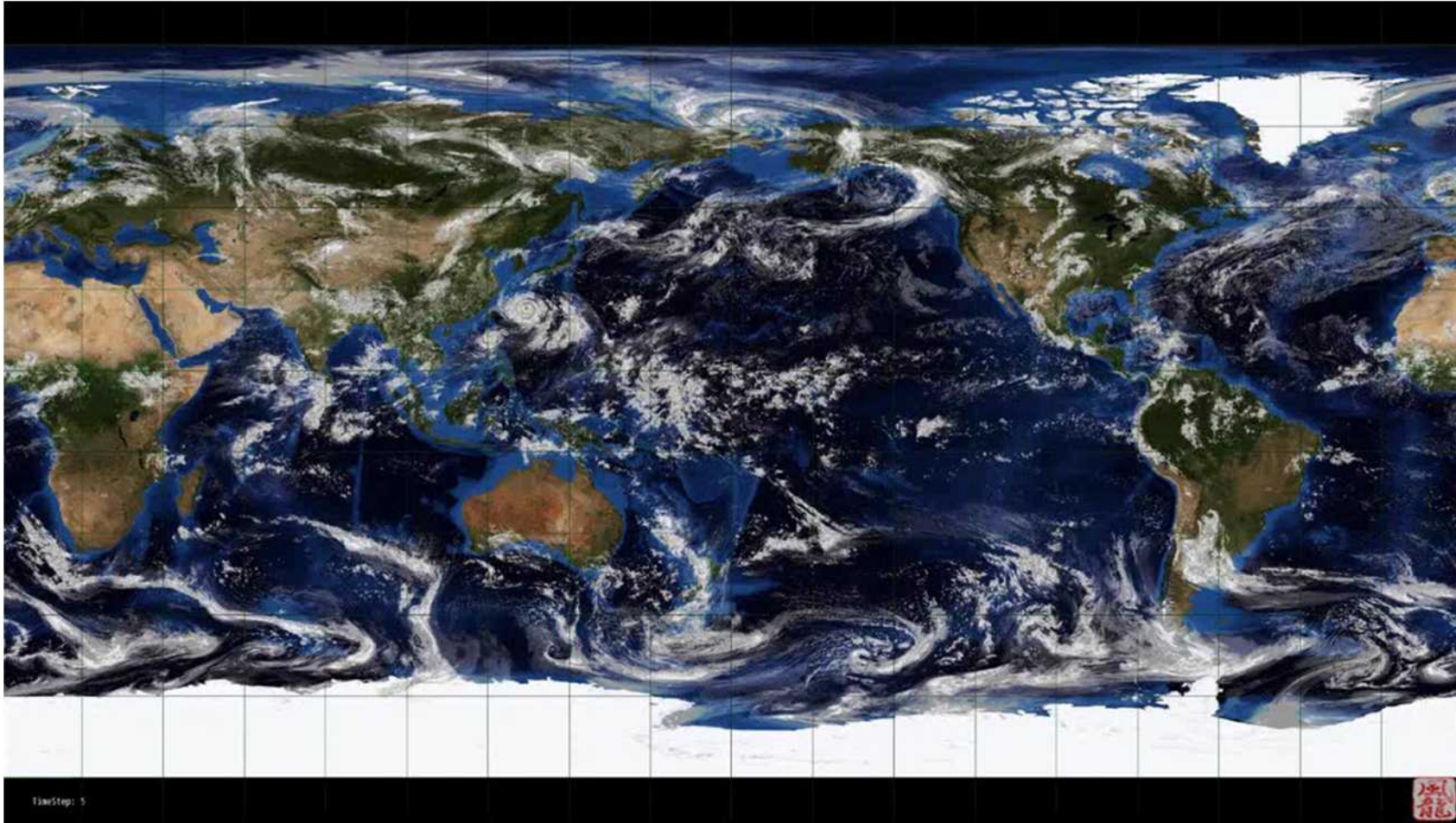
可視化: 理化学研究所計算科学研究機構(複合系気候科学研究チーム) 吉田龍二



世界をリードする我が国のシミュレーション

世界初の1km以下解像度の全球大気モデル

2012年8月台風Bolavenを含む全球870mメッシュNICAMシミュレーション



地球全体での
入道雲の平均的
描像が明らかに



今後の研究の進展
次第では、台風予測
や日本の夏の気候
等に大きく影響
する熱帯長期予測
が視野に入る！

海洋研究開発機構・東京大学大気海洋研究所(HPCI戦略プログラム分野3)および理化学研究所計算科学研究機構の共同研究
可視化: 理化学研究所計算科学研究機構(複合系気候科学研究チーム) 吉田龍二

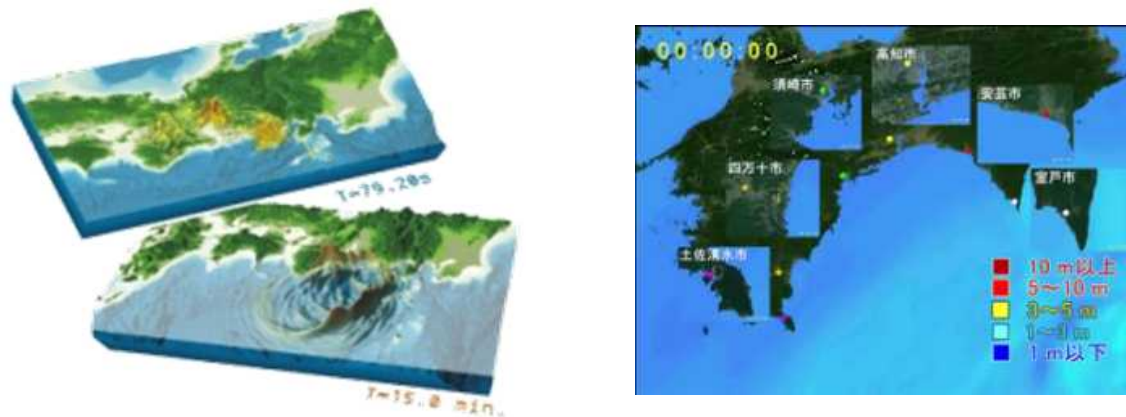
Miyamoto et al (2013), Geophys. Res. Lett., 40, 4922-4926, doi:10.1002/grl.50944.

米国地球物理学連合(AGU)のResearch Spotlightに選定!

● 広域複合災害に対する総合防災・減災対策

過去の被害データの統計分析だけでなく、災害と被害の物理過程のシミュレーションを利用することで信頼度を格段に上げた次世代型ハザードマップ作成への期待は「京」以前からあったが、実現するにはスパコンの性能が及ばず、構想でしかなかった。

「京」では都市全域に対する高精度な地震・津波シミュレーションの実現によりきめ細かな次世代型ハザードマップの作成が実現しつつある。群集避難のような、被害対応過程のシミュレーションも可能となった。また、全国各都市での次世代型ハザードマップの作成に関する研究開発が開始されている。



シミュレーションによる地震・津波の被害予測



南海トラフの巨大地震や首都直下型地震などの大地震の備えを不断に行うことは我が国の宿命

巨大地震により引き起こされる強い揺れ、地殻変動、そして津波を一度に再現したシミュレーション。これまでは近似式を用いて個々に計算してきたが、京を用いた地震津波の基本方程式の直接計算により、これらの地震随伴現象を同時に評価。

京での成果 前田(東大)ら、Bull. Seism. Soc. Am. (2013)

- ・地震波と津波の発生・伝播の同時計算を実現
- ・ただし周波数0.5-1Hz



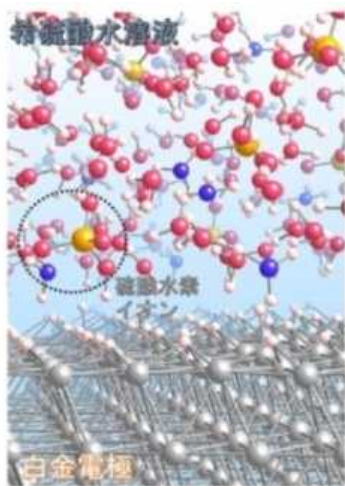
広域かつ詳細な津波計算 (高知県全域5m分解能、約6.8億メッシュ)

シミュレーションが未来をひらく

●燃料電池等の材料・デバイス設計

燃料電池の開発において、電極触媒反応の解析が重要となるが、「京」が登場する以前はスパコンの応用へ向けた方法論の提案がされる段階であり、方法論の制約から電極材料の電子状態計算等、特定の解析に留まっていた。

「京」により、第一原理分子動力学計算に基づく化学反応過程の解明が可能となり、単純化したモデルに対する、電池の電極とその周りの電解質との反応の計算が可能となった。



最近では、東大、京大、物材機構(NIMS)の研究グループがリチウムイオン電池の新規の電解液を開発し、「京」を用いてそのメカニズムを解明した。この電解液は従来の「高濃度＝反応が遅く電解液に適さない」という通説を覆す超高濃度のリチウムイオンを含む“濃い液体”で、従来の3分の1の時間で充電を可能にする新世代の電解液として期待される。(平成26年3月24日プレスリリース)

図：水素原子で被覆された白金電極と希硫酸水溶液界面のシミュレーション

急速充電、高電圧作動を可能にする新規な電解液を開発

社会ニーズと課題



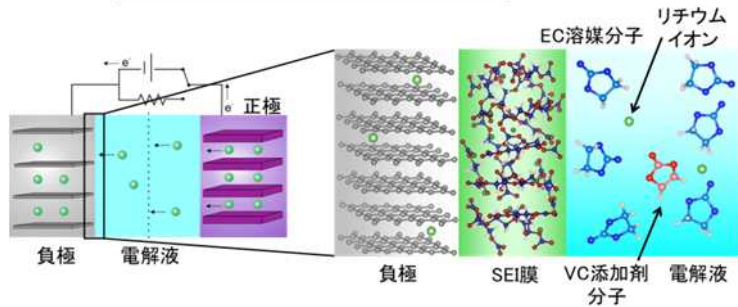
大型二次電池の開発ニーズ



高容量・高出力 & 長寿命・高安全性の両立



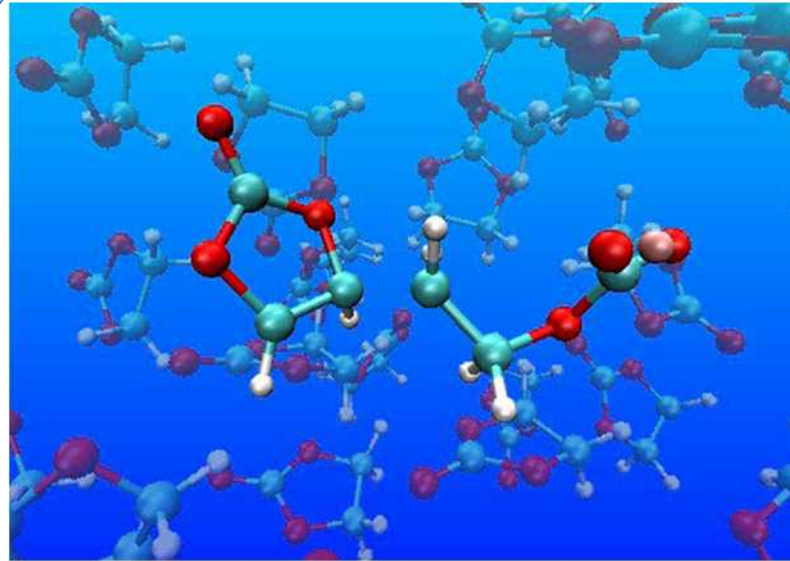
リチウムイオン電池の模式図



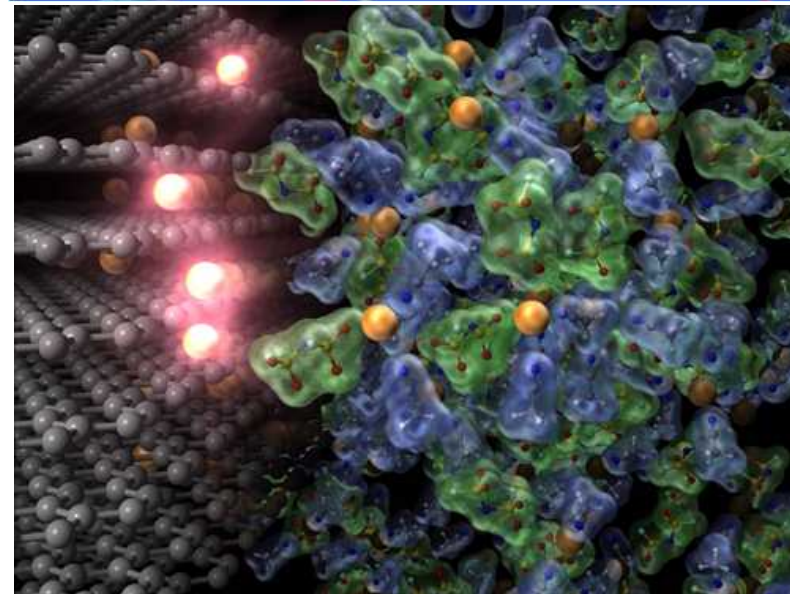
電極上被膜(SEI膜)が高性能・高安全性の鍵



電解液の還元反応からはじまる電極上被膜の形成過程の解明と、その制御が今後の開発に必須



電解液の還元反応から電極上に被膜が形成される過程を「京」で計算し、その機構を分子レベルで解明。

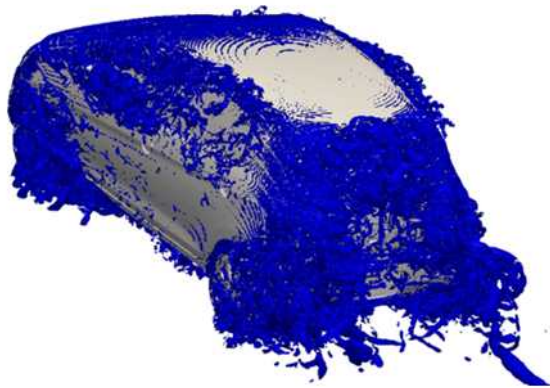


新規な電解液は従来の4倍以上となる“濃い液体”であり、従来の3分の1以下の時間で急速充電が可能。電気自動車やスマートグリッドへの実用に耐えうる5V級の高電圧作動への道を拓くもの

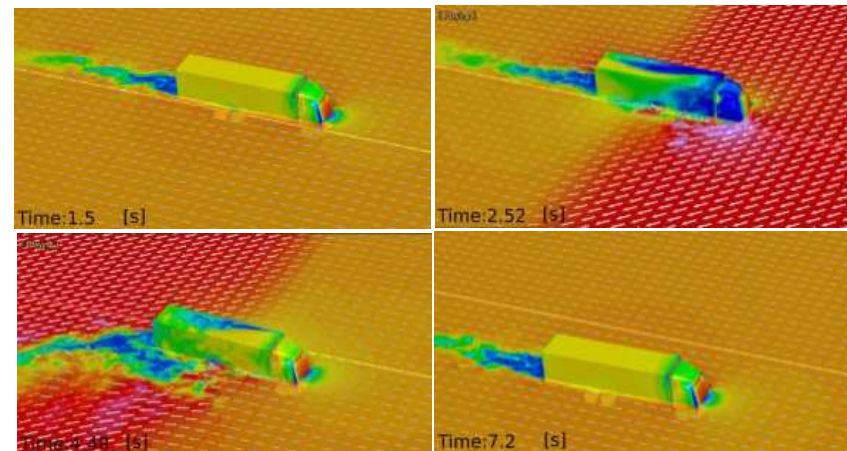
●プロダクトと設計プロセスのイノベーション

「京」以前の自動車の設計では、運動安定性の解析には風洞実験が主な手段であり、シミュレーションは実験の完全な代替にはなっていなかった。

「京」では、既存の風洞実験では予測が難しかった走行中の自動車が遭遇する様々なリスク(追い越し、追い抜き、突風、急なハンドル操作)の予測も可能になった。今後のスパコン性能の向上を踏まえると、大手自動車会社においても10年以内に実用段階に入ることが期待され、これまでの風洞実験を中心にした自動車空力設計プロセスに大きな変化をもたらすことが期待される。



車両周りの流れ構造と表面圧力, 速度分布

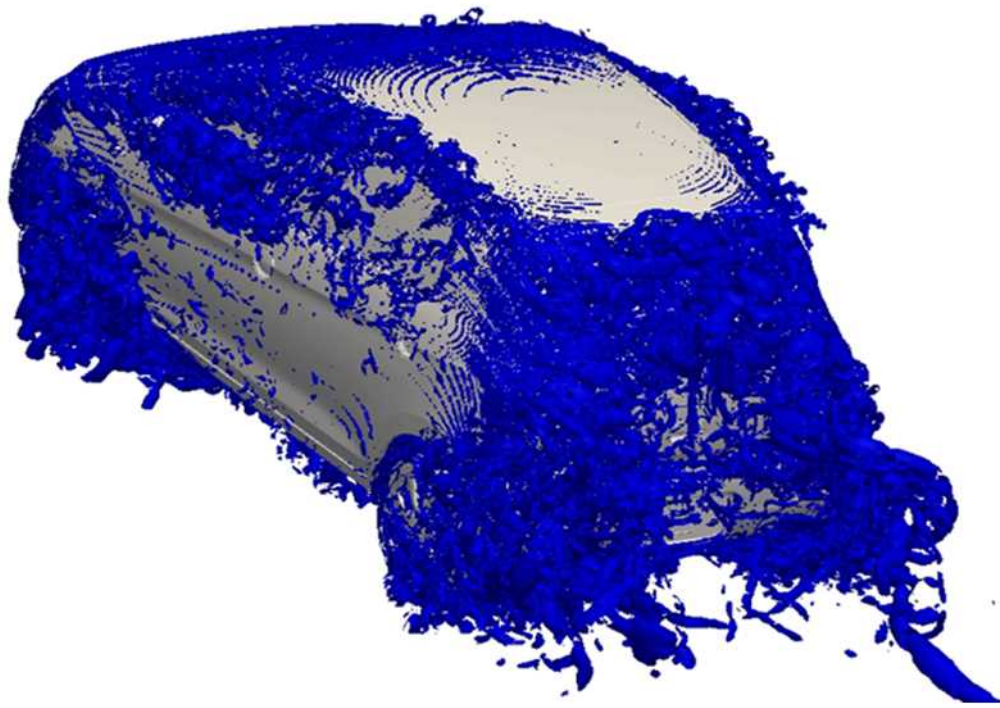


横風にあおられた自動車の運動安定性解析

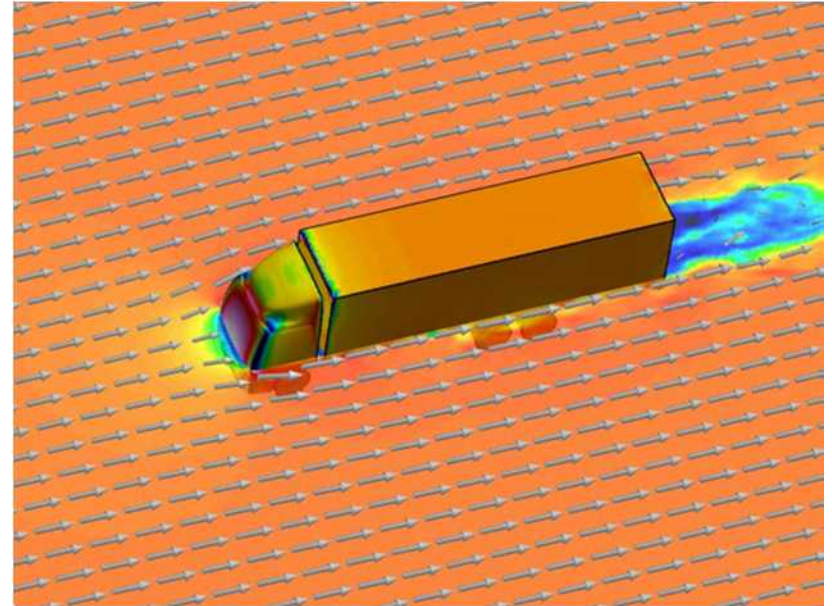
提供: 坪倉誠、大西慶治(理化学研究所計算科学研究機構)

自動車会社から提供された実車形状データから、修正なしに10分で計算格子を作成し、18時間で空力解析を実現(通常は格子作成も含めて一週間以上)。1ミリ・メートル以下の微小な渦まで「京」で再現。

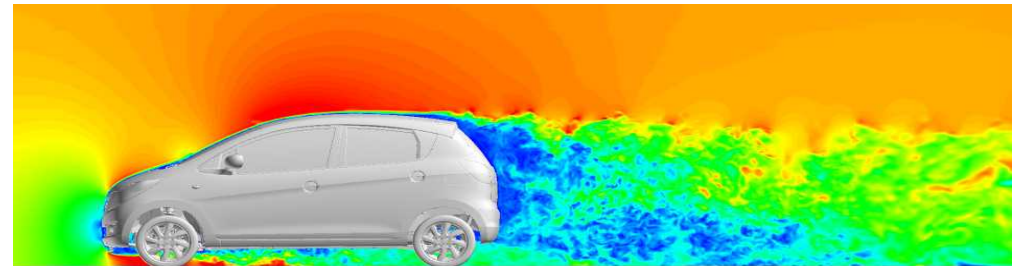
— 提供: 坪倉誠、大西慶治(理化学研究所計算科学研究機構)



車両周りの流れ構造と表面圧力, 速度分布



横風にあおられた際の自動車の運動挙動を解析することで、より安全な自動車の開発に役立てる。



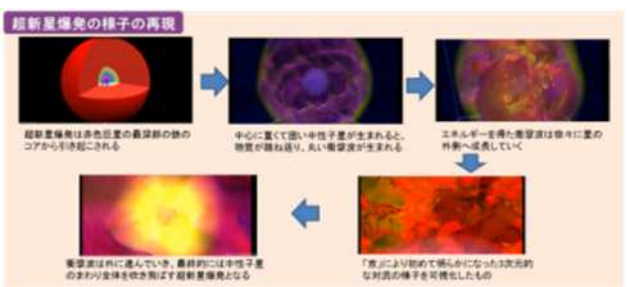
「京」により可視化された渦を制御して抵抗を低減

京が実現したシミュレーション<科学的卓越性>

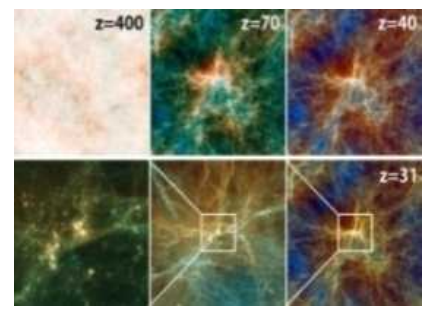
●超新星爆発のシミュレーションやダークマター粒子の宇宙初期における重力進化の計算

「京」以前のスパコンの能力では、単純化したモデルによる個別の天体现象の理解に留まっていた。超新星爆発のシミュレーションや、星形成、恒星進化は空間分解能、時間方向とも3次元計算にはスパコンの能力が不足していた。

「京」によって、超新星爆発の仕組みのシミュレーションが可能になり、その爆心地の様子が再現された。また、「京」専用のアプリケーションを開発した上で、実効性能5.67ペタフロップス(実行効率約55%)を達成し、世界最大規模の約2兆個のダークマター粒子の重力計算に成功。(この成果によりゴードン・ベル賞を受賞)



HPCI戦略プログラム 分野5
シミュレーション: 滝脇知也 固武慶 諏訪雄大
可視化: 国立天文台4次元デジタル宇宙プロジェクト



明るさはダークマターの空間密度を表し、明るいところは密度が高い

- ・1兆粒子を超える規模のダークマターシミュレーションは世界最大
- ・パソコン1台で数百年かかる計算が「京」では約3日で可能

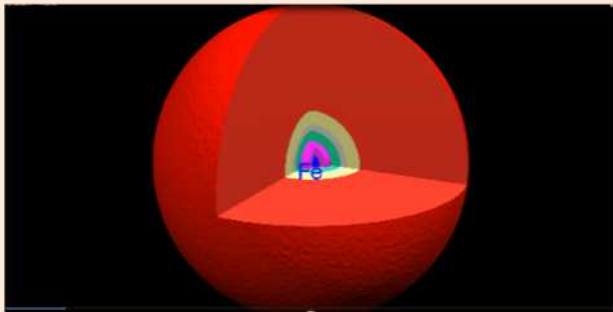
超新星爆発の様子再現

未だ解決されない
天文学上の大問題
超新星爆発の仕組み

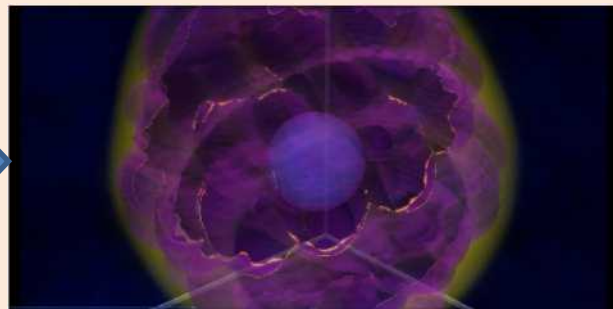
「京」を用いることで超新星爆発の
シミュレーションが可能に！

爆発の
様子を
再現！

超新星爆発の様子再現



超新星爆発は赤色巨星の最深部の鉄の
コアから引き起こされる



中心に重くて固い中性子星が生まれると、
物質が跳ね返り、丸い衝撃波が生まれる



エネルギーを得た衝撃波は徐々に星の
外側へ成長していく



衝撃波は外に進んでいき、最終的には中性子星
のまわり全体を吹き飛ばす超新星爆発となる



「京」により初めて明らかになった3次元
的な対流の様子を可視化したもの

HPCI戦略プログラム 分野5 シミュレーション: 滝脇知也 固武慶 諏訪雄大
可視化: 国立天文台4次元デジタル宇宙プロジェクト
国立天文台4次元デジタル宇宙プロジェクト