サイエンテフィック・システム研究会
HPC フォーラム 2016

２０１６年8月２６日

重点課題９「宇宙の基本法則と進化の解明」の狙いとポスト京への期待

青木　慎也
京都大学基礎物理学研究所

「アブストラクト」
重点課題９「宇宙の基本法則と進化の解明」が目指すことは、素粒子から宇宙までの幅広いスケールにわたる様々な現象を精密に計算し、大型実験・観測と組み合わせて、素粒子・原子核・宇宙物理学全体にわたる物質創成史を解明することである。その目的を実現するために必要なポスト京に対する期待や要望も述べていきたい。

「キーワード」
究極の物理法則、宇宙開闢、 物質創成史、 物質変換、宇宙進化、広域宇宙観測データ

1.　はじめに

我々は、HPCI戦略分野5「物質と宇宙の起源と構造」の活動において、京を用いて、バリオン間相互作用の決定、核物性解明、超新星爆発の解明などに取り組んできた。そこでの知見をもとにして、それをさらに拡大発展させるために、重点課題９「 宇宙の基本法則と進化の解明」による活動を通して、ポスト京の有効活用を目指している。ここでは、その活動の狙いと、ポスト京への期待を述べていきたい。

2.　重点課題９の狙い

重点課題9の目的は、素粒子から宇宙までの幅広いスケールにわたる様々な現象を精密に計算し、大型実験・観測と組み合わせて、素粒子・原子核・宇宙物理学全体にわたる物質創成史を解明することである。その活動は、サブ課題A「究極の自然法則と宇宙開闢の解明」、サブ課題b「物質創成史の解明と物質変換」、サブ課題C「大規模数値計算と広域宇宙観測データの融合による宇宙進化の解明」という３つのサブ課題を通して行われる。

3.　ポスト「京」への期待

戦略分野５で京を使って研究活動をしてきた経験から、ポスト京へ期待することや要望は幾つかある。まず、ピーク性能が高いだけではなく、実際に研究に使われるアプリの実行性能が高いことを期待している。そのためには、開発者と我々ユーザーがコデザインを通して、実行性能が出るように可能な限りの工夫をする必要がある。また、チューニング支援の充実やユーザーによる最適化の容易さも必要である。実行性能が高いだけでなく、実際の運用も効率的に行い、ジョブの実時間が短縮できることも期待したい。このためにも、開発者とユーザーが協力して、実際のジョブの実行イメージをもとに、運用システムを作り上げていくことが重要である。

重点課題９「宇宙の基本法則と進化の解明」の狙いとポスト京への期待

青木　慎也
京都大学　基礎物理学研究所

SS研HPCフォーラム2016、２０１６年８月２６日（金）、
汐留シティーセンター２４階　富士通（株）大会議室、東京

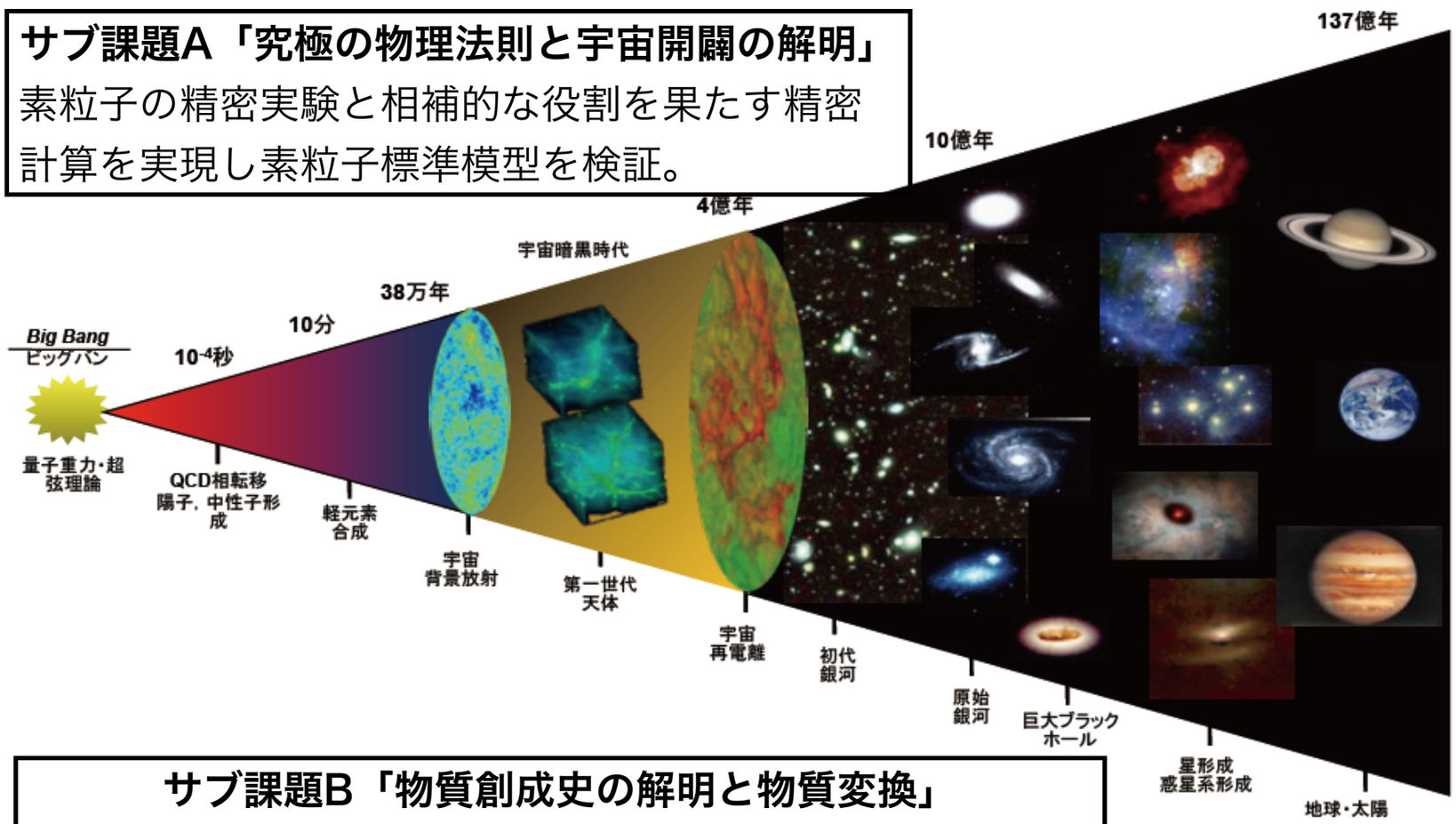
重点課題９「宇宙の基本法則と進化の解明」の狙い

目的：素粒子から宇宙までの幅広いスケールにわたる現象を精密に計算し、大型実験・観測と組み合わせて、素粒子・原子核・宇宙に関わる物質創成史の解明を目指す。

目標：①ポスト京で実行するアプリの計算手法を確立する。②アプリの本格的な最適化を実施し、ポスト京での実行のための準備を完了する。

活動内容：①ポスト京で実行するために、計算規模・時間の検討、コードの開発・最適化、などを実施する。②ポスト京時代に備えて、各研究分野における最先端の研究を継続する。

サブ課題A「究極の物理法則と宇宙開闢の解明」
素粒子の精密実験と相補的な役割を果たす精密計算を実現し素粒子標準模型を検証。



サブ課題C「大規模数値計算と広域宇宙観測データの融合による宇宙進化の解明」
宇宙の階層的構造形成と銀河形成、ブラックホール進化を融合した大規模計算を行い、広域サーベイ観測データの統計解析により宇宙の進化史を解明。

サブ課題B「物質創成史の解明と物質変換」
バリオン間相互作用、原子核の構造と反応、超新星爆発・中性子星連星合体という素粒子から天体現象までをシミュレーションで関連させ、物質創成・変換過程を理解。

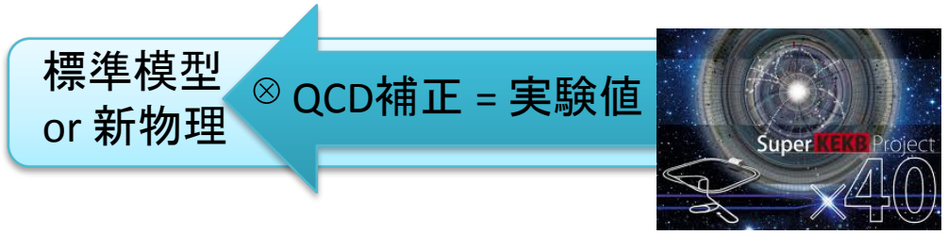
サブ課題A：究極の物理法則と宇宙開闢の解明

概要：SuperKEKBやJ-PARCで行われる素粒子の精密実験と相補的な役割を果たす精密計算を実現し、素粒子標準模型を検証する。そのために、格子量子色力学(QCD)の大規模シミュレーションにより素粒子反応における標準模型からの寄与を精密に求めることが鍵になる。標準模型からのズレが見つかれば、新しい物理法則発見への手がかりとなる。また、究極理論の候補とされる超弦理論のシミュレーションにより、宇宙開闢の謎に迫る。

ポスト京で目指すもの

「素粒子現象論」

小さな格子間隔での格子QCDシミュレーションにより、重いボトムクォークの直接計算が可能になり、B中間子崩壊などに対する素粒子標準模型からの寄与が精密に計算できる。格子QCDは精密科学と呼べる段階に入り、新物理法則探索においてSuperKEKB実験やJ-PARC実験と相補的な役割を果たす。



「QCD相転移」

カイラル対称性を厳密に扱った計算で軽いクォーク領域での相転移の次数を確定させる。

「超弦理論」

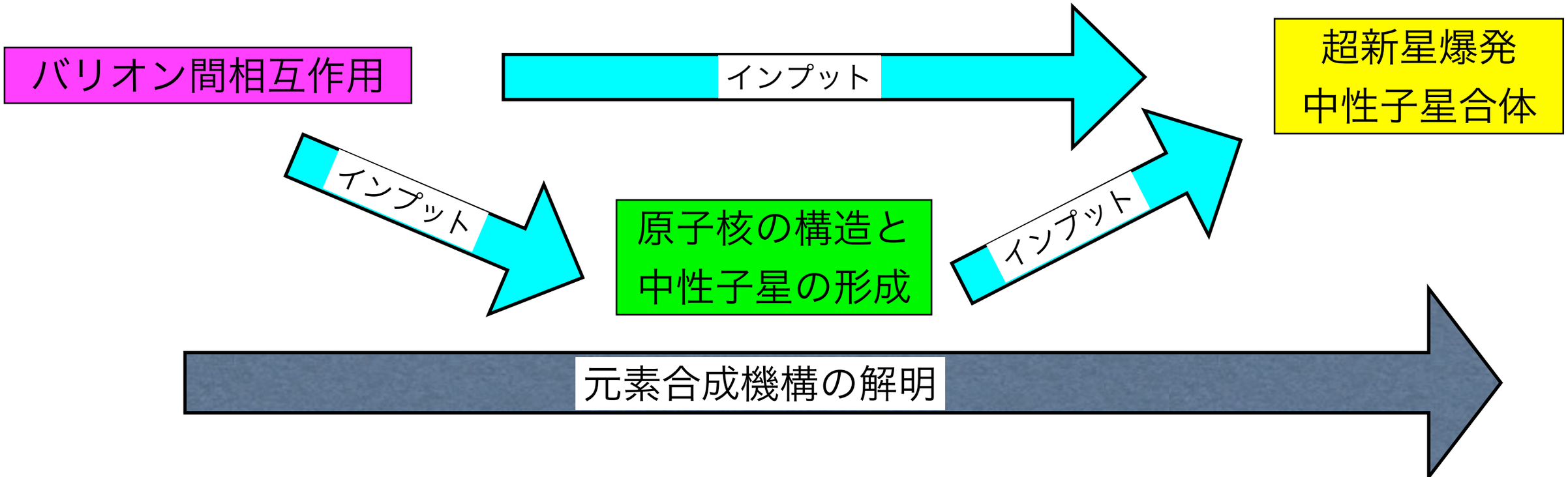
ゲージ重力対応の検証をさらに進め、ゲージ理論を通じた量子重力の非摂動的計算を実現する。行列模型のシミュレーションにより、空間３次元の宇宙創成とインフレーションに対する理解を進める。

サブ課題B：物質創成史と物質変換

概要：水素からウランに至る元素は物質を構成する要素であるが、１３８億年の宇宙史に於けるその創成の過程は大きな謎である。最近では、従来の常識を覆して、中性子星の合体で重元素が創成されるのでは、ということが指摘されている。この物質創成の過程を素粒子・原子核・宇宙天文物理学の連携で、ミクロな力とそれが作る多体系、宇宙におけるそのマクロな現れを、俯瞰的な視野と確かな基礎に立って調べる。同時に、そのような計算による放射性物質の核変換などの理解にも取り組む。

ポスト京で目指すもの

物質創成の歴史の解明を大目標に、素粒子・原子核・宇宙天文物理学分野の連携により、基礎物理学における階層をまたいだ未解決問題の定量的理解を目指す。
J-PARC, RIBF, KAGRA, SUBARUなどの関連大型設備との連携を深めることで、研究成果の還元やより一層の発展を図る。



サブ課題C：大規模数値計算と広域宇宙観測データの融合による宇宙進化の解明

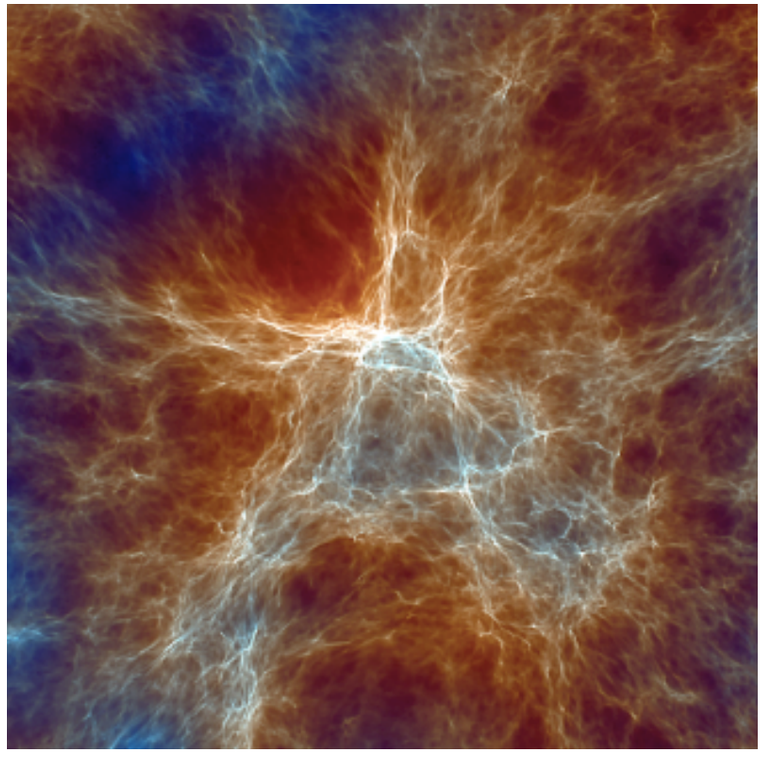
概要：宇宙誕生から現在までの宇宙進化を解明するためには、現代物理学を駆使したアプローチが必要である。本課題では、現実的な宇宙論的設定のもとでダークマターの密度揺らぎの非線形成長を追い、さらに流体力学や輻射輸送などの天体形成に関わる基礎物理を取り入れたマルチフィジックスシミュレーションを遂行する。また、世界中で進められている広域撮像観測により得られた天文ビッグデータと大規模計算を融合したビッグデータ宇宙論を展開する。

ポスト京で目指すもの

星、銀河、巨大ブラックホールといった諸階層をつなぐシミュレーションを実現し、宇宙初期から現在までの宇宙進化の包括的理解を目指す。

- 可能な限りダイナミカルレンジの大きな計算を実現し、諸階層をつなぐ理論を構築する。
- 輻射、ニュートリノ輸送、磁場を忠実に再現することを目指す。
- 最先端観測（すばる望遠鏡、ALMA望遠鏡、TMT計画など）との直接比較が可能なレベルのアウトプットを生成する。
- 情報科学者や統計学者と協同し、大規模サーベイ観測のデータ解析のために必要な統計量を導く。

宇宙大規模構造の粒子１兆個級の計算



ポスト京への期待（要望）

- アプリに対する実行性能が高いこと
  - コデザインによる最適化、高性能化、シミュレータ
  - 高速なメモリ（キャッシュの活用？）
  - チューニング支援（リスポンス時間の短縮、丸投げではない共同作業）
  - ユーザーによるチューニングの容易さ（情報開示、ノウハウの共有）
- 効率的な運用
  - 具体的なジョブをイメージした運用システムの構築（コデザイン？）
  - 効率的な大規模ファイル出入力によるジョブ実時間の短縮
  - 無駄のないジョブ運用、様々なジョブ形態に適応したジョブクラスの設定
  - 待ち時間の短縮、待ち時間の公平性
  - システムの安定性、ファイルシステムの安定性

ポスト京への期待（要望）

- 以下は可能な範囲での要望
  - 高速で大容量のファイルシステム
  - １CPUあたりの充分なメモリ
  - 低消費電力
  - 低価格化による同システムの普及
  - 京アプリの移植の容易さ
  - ユーザ支援の充実