

「計算科学」

科学とは、自然界にひそむ法則を見つけ出し、さまざまな現象を理解し、再現・予測する営みです。これまで人類は、理論と実験（観測）の2つを柱とし、見出した法則を方程式などに表してきました。しかし、素粒子の性質や宇宙の進化といった現象は、方程式が解析的な方法で解けるほど単純ではありません。そのとき助けになるのがスーパーコンピュータです。理論と実験に加え、スーパーコンピュータを用いる「計算科学」が3番目の大きな柱になっています。

計算基礎科学連携拠点

計算基礎科学連携拠点 (Joint Institute for Computational Fundamental Science: JICFuS) は、スーパーコンピュータを使った計算基礎科学を精力的に進める国内 13 機関により構成されています。

JICFuS は、これまで「京」など国内のスーパーコンピュータを活用して HPCI 戦略プログラム分野 5「物質と宇宙の起源と構造」を推進し、素粒子・原子核・宇宙研究および計算基礎科学推進体制構築を行い、ACM ゴードン・ベル賞を受賞するなど多大な成果をあげてきました。

2015 年度からは、ポスト「京」重点課題(9)「宇宙の基本法則と進化の解明」に引き継がれ、次世代スーパーコンピュータ・ポスト「京」の能力を最大限に発揮するためのアプリケーション開発および研究を進めてきました。

2020 年度から惑星科学分野も加わり「富岳」成果創出加速プログラムの領域 (1) 人類の普遍的課題への挑戦と未来開拓において、「シミュレーションで探る基礎科学：素粒子の基本法則から元素の生成まで」および「宇宙の構造形成と進化から惑星表層環境変動までの統一的描像の構築」の2課題を実施していくことになりました。

これまでの研究・アプリ開発の成果を活かして、スーパーコンピュータ「富岳」からの速やかな研究成果創出を目指します。

計算基礎科学連携拠点を構成する 13 機関

高エネルギー加速器研究機構
筑波大学計算科学研究センター
自然科学研究機構国立天文台
京都大学基礎物理学研究所
大阪大学核物理研究センター
東京大学原子核科学研究センター
東京大学大学院理学系研究科天文学専攻
千葉大学ハドロン宇宙国際研究センター
理化学研究所仁科加速器研究センター
理化学研究所計算科学研究センター
神戸大学惑星科学研究センター
東北大学大学院理学研究科
東海国立大学機構名古屋大学宇宙地球環境研究所



計算基礎科学連携拠点
Joint Institute for
Computational Fundamental Science



<https://www.jicfus.jp/jp/>

計算基礎科学分野の振興

計算基礎科学連携拠点では、計算科学の研究開発体制を充実させるための様々な研究支援活動を行っています。また、計算基礎科学に対する信頼度、重要性に対する理解度を上げるために広報活動に取り組んでいます。



■ 月刊 JICFuS

計算基礎科学連携拠点が推進しているプロジェクトに参加している研究者にインタビューを行い、研究の内容について解説するウェブ用記事です。若手からシニアまで幅広い年齢層の研究者に対して、様々な切り口から行っている研究について説明をいただいています。

■ 月刊 JICFuS ムービー

計算基礎科学連携拠点が推進しているプロジェクトに参加している研究者の紹介ムービー。各研究者の扱っている課題を5分ほどの短い時間でまとめており、Youtube で公開されています。



JICFuS 公式チャンネル



■ クォーク・カード・ディーラー

量子色力学 (QCD) の色荷をモチーフにしており、各色に対応するクォークカードを集めてバリオンやメソンと呼ばれる粒子のカードを集めるゲームです。計算基礎科学連携拠点の参加研究機関の一般公開で試遊会が行われています。

「富岳」成果創出加速プログラム

シミュレーションで探る基礎科学：素粒子の基本法則から元素の生成まで

自然界の成り立ちには、宇宙の誕生とそれに関わる素粒子の基本法則から、原子核の構造、元素がどこでどうやって作られたのか、といった大きな疑問が残っています。大規模な実験・観測の結果を解釈し科学を発展させる上でシミュレーションが重要な役割を果たします。本課題は、我が国で卓越した成果が見込まれる 6 研究テーマ（B 中間子崩壊、QCD 相構造、バリオン間力、核構造と r 過程、中性子星合体、時空生成）を推進します。

宇宙の誕生・素粒子標準模型に挑む

B 中間子崩壊

SuperKEKB/Belle II 実験で測定される B 中間子の崩壊では、そのいくつかで素粒子標準模型からのずれを示唆する実験データが得られています。このずれを理解するために格子 QCD シミュレーションにより B 中間子崩壊、特に $B \rightarrow \pi \nu$ 崩壊の形状因子を精密に計算し、実験結果と組み合わせて素粒子標準模型を超える物理法則に制限をあたえます。

QCD 相構造

宇宙初期に高温相にあったとされる QCD の真空は、相転移によって低温相に移行し、物質の質量の起源となっています。相転移の詳細は系のもつ対称性に支配されるが、QCD の対称性は量子異常により不明確になるため相構造は十分に理解されていません。カイラル対称性を保つシミュレーションにより、2+1 フレーバー QCD の相構造を確立します。

時空生成

ビッグバンは宇宙の始まりだとされていますが、その最初の機構は明らかになっておらず、インフレーション宇宙論も現象論的な理論にすぎません。すべてを説明する理論として期待されている超弦理論を出発点として、無から時空が生成して成長する様子をシミュレーションで明らかにします。

物質創成史を解き明かす

バリオン間力

陽子・中性子などのバリオンの間に働く力をバリオン間力と呼びます。実験的情報の少ないストレンジクォークを含むバリオン間の力の決定には、格子 QCD 計算が有効です。ハイペロン力や、さらに重いチャームクォークを含むバリオン間力の計算により未知の 2 バリオン状態の存否を明らかにし、J-PARC におけるハイパー核実験や LHC における重イオン衝突実験につなげます。

核構造と r 過程

原子核構造の研究を中性子過剰核に進め、重元素合成の r 過程を定量的に理解することが大きなチャレンジとなります。これまでに培ったモンテカルロ殻模型の手法を適用してニッケル（原子番号 28）同位体の構造計算を質量数 68 近傍から 78 近傍、さらに質量数 100 を超える領域にまでに進めます。RIBF での実験結果との比較によって信頼性を高め、r 過程の主要部を定量的に明らかにします。

中性子星合体

重元素合成の機構としての r 過程には、大量の中性子が必要になります。そのもっとも有力な起源と考えられているのが中性子星合体であり、2017 年の重力波イベントによってもそれは強く示唆されています。中性子星合体のシミュレーションを進めて合体時の放出物質の性質を明らかにすることで、KAGRA 等の重力波干渉計による重力波観測、光学望遠鏡による電磁波観測による検証へつなげます。

「富岳」成果創出加速プログラム 領域①人類の普遍的課題への挑戦と未来開拓

宇宙の構造形成と進化から惑星表層環境変動までの統合的描像の構築

宇宙の始まりであるビッグバンから、膨張宇宙における構造形成、それに伴って起こる銀河形成、銀河の中での星形成、星形成に伴う惑星形成、惑星の進化、惑星表層環境の形成、さらには太陽活動とその太陽圏、地球への影響といった、宇宙における階層的な構造の形成と進化についての全体・統合的な理解を、複数の階層にまたがって「富岳」を駆使した世界最高規模のシミュレーションと最新の観測成果を組み合わせることで構築します。

宇宙の構造形成と進化史を解き明かす

宇宙の進化史

宇宙の構造形成から初代星の誕生、銀河形成、その中での天体の形成進化といった、異なる空間・時間スケールの現象を大規模数値シミュレーションによって明らかにします。これらの高解像度計算の結果から、大規模銀河サーベイなどの観測結果と直接比較可能な理論テンプレートを提供し、宇宙の各階層における天体形成進化の包括的理解を目指します。

銀河の形成と進化

銀河の形成過程を恒星を分解しシミュレーションすることで、太陽系の起源、天の川銀河の形成史、銀河における星団形成とブラックホール連星の起源などを明らかにします。シミュレーション結果と位置天文衛星などの観測結果と直接比較することで過去の銀河系の姿に迫り、さらに観測の将来計画への貢献を目指します。

ブラックホールと超新星爆発

ブラックホールの形成および成長機構、ブラックホール周囲で生じる高エネルギー現象のメカニズム、さらにはブラックホールが星や銀河の進化に与える影響を解明します。宇宙の物質循環のカギとなる重力崩壊型超新星の爆発機構を、原子核やニュートリノが複雑に絡み合うニュートリノ輻射輸送現象をできるだけ緻密に扱った第一原理計算に基づいた 3 次元シミュレーションによって明らかにします。

恒星・惑星の形成と環境変動を解き明かす

星形成と惑星形成

銀河系内における分子雲や分子雲コアの形成、原始惑星系円盤の成長、微惑星集積と惑星系形成、乱流中のダスト成長といった multi-physics かつ multi-scale な現象を大規模数値シミュレーションによって明らかにし、分子雲から原始星・原始惑星系円盤を経て惑星へと至る過程の一貫した描像を構築します。

太陽活動と環境影響

太陽の磁気活動から環境影響を包括的に理解し、太陽内部活動、黒点周期、太陽面爆発現象と惑星間空間ダイナミクスのつながりを明らかにします。さらに太陽磁気活動影響の解明と予測を目指します。

惑星環境の進化

太陽系探査の拡大、惑星形成論の進展、物質科学・地質学的研究により明らかとなってきた地球・月・惑星の多様な姿について、惑星内部・表層大気に対する高解像度連続体力学数値シミュレーションを実現させ、これらの形成進化の統合的な理解を目指します。