

⑱ 自然界の基本法則と宇宙・物質の起源の探求

概要: 加速器や地下実験室等による素粒子・ハドロン・原子核実験の成果を総合し、理論物理学と最新の計算科学を駆使することで、既知の物理法則を超えた自然界の新たな基本原理を発見するとともに、宇宙と物質の起源の解明を目指す。

キーワード: 素粒子物理、原子核・ハドロン物理、ダークマター、重力波、初期宇宙、スーパーコンピュータ

ア 背景

私たちが住む宇宙がいかなる物質からどのような原理で作られているのかという問いは、古くから人類のたゆまぬ好奇心の対象であった。20世紀に飛躍的進展を遂げた物理学においては、素粒子からなる微視的な世界と一般相対論が記述する巨視的な宇宙という、大きさにして60桁以上離れた両極限が密接な関係にあることが示唆されている。

微視的世界に関しては、高エネルギー加速器を用いた実験的検証を経て、素粒子の分類と物質の質量やエネルギーの起源を統一的に与える標準理論が21世紀初頭に確立した。一方で、四つの力の階層性と統一、物質・反物質の非対称性等に代表される根源的な問題は未解決のままである。また、標準理論の限界を示唆するかもしれない現象も報告されており、自然界の基本法則の究極理論構築へ向けた研究が展開されている。

一方、誕生後138億年を経た宇宙は、その大半が標準理論では説明できない未知のダークマターとダークエネルギーによって占められている。現在、加速膨張を続けている宇宙は、ブラックホールや高密度星等の多様な天体が誕生と消滅を繰り返す現場でもある。これらの宇宙の諸現象を統一的に理解するとともに、宇宙の始まりから現在に至る歴史を、基本法則を用いて説明することは物理学の最大目標の一つであり、巨視的世界を記述する一般相対論と微視的世界を支配する量子力学を無矛盾に取り込んだ理論体系の完成が待ち望まれている。

イ 目的・目標

実験研究では、日本がこれまで培った加速器技術を基盤にした大強度フロンティアとエネルギーフロンティア実験を継続して発展させる。さらに、地下実験による新現象や新粒子探索、重力波や宇宙ニュートリノ観測による宇宙の始まりからの歴史の検証等、相補的な精密実験の成果を基に、物質世界像・宇宙像を深化させていく。理論研究においては、最新の計算科学に基づくシミュレーションによる定量的検証の重要性も増している。これらのアプローチを連携して素粒子、原子核、相対論、宇宙物理を統合し、自然界の基本法則に基づく宇宙史の解明を目指す。

ウ 国内外の研究の動向

20世紀後半から世界の基礎物理学の最先端研究を牽引してきた日本は、その経験と実績を活かし、今後も最先端基礎研究を先導し続けていくことが期待されている。

本グランドビジョンの達成に必要な高エネルギー加速器や宇宙観測による研究のほとんどは、巨大な経費を必要とする国際共同プロジェクトとして提案され、実行されている。日本主導のプロジェクトは日本グループの特色と独自性を活かして着実に進め、他国主導のプロジェクトでも、成果が最大化されるように、国際的視点から環境確立に協力する必要がある。国際競争と国際協力が同時に進行するビッグサイエンスでは、研究コミュニティの徹底した科学的検討と議論の積み重ねが重要である一方、迅速な判断・合意形成も不可欠である。

エ 中長期の学術構想

高エネルギー粒子加速器を用いた実験としては、新粒子の直接探索、標準理論を構成するクォーク・レプトン・ボゾンを使った標準理論の精密検証、質量の起源や反物質消滅の謎の解明に繋がる対称性の破れの検証、原子核やハドロン粒子の構造やその相互作用の解明を、実験室における再現・検証も組み合わせつつ行っていく。非加速器実験としては、ニュートリノ放出を伴わない二重ベータ崩壊探索、陽子の寿命の探索、ダークマター粒子の直接検出を行う。さらに宇宙物理学的実験・観測としては、重力波を用いた一般相対論の精密検証、多波長時間領域天文学、重力波天文学、宇宙背景重力波検出を用いた宇宙のインフレーション理論の検証、遠方天体からの高エネルギーニュートリノ検出を推進する。



図 20 本グランドビジョンに関する実験・観測プロジェクトの俯瞰

(出典) 本提言にて、独自に作成