

## 概要

量子論はミクロな実在を「状態」と「作用素」に分解してみせた。そのうえで、「ミクロとマクロの接続を与える測定公理」を付加され、あらゆるスケールの物理を整合的に記述できる完全な理論となっている。量子論の分解された要素を個別に吟味すると、古典論とは本質的に違う様相が見えてくる。「状態」と「作用素」にそれぞれ対応して、「量子エンタングルメント」と「不確定性原理」に代表される特徴がまずあらわれる。これらは近年、もっと広く、quantum discordや誤差・擾乱も入れた形の新たな原理として捉えることが可能であることがわかってきた。いわば「(量子力学)と(古典力学)の引き算」にあたる領域に、多様な視点でアプローチが行われるようになってきている。またこの広がりの中に、量子情報理論・量子計算機科学の発展も含まれる。物理としての量子論そのものも、新たな発展を遂げる可能性があるだろう。本シリーズは、そのような新しい物理の可能性を探るシリーズとして企画された。

本シリーズで取り上げる内容について簡単に紹介する。本シリーズで取り扱う記事は、大きく3つにわけられる。第一のカテゴリーは「非局所相関」である。量子力学の建設直後に、アインシュタインがボーアと量子力学の解釈を巡って鋭く対立したことは良く知られる。相補性原理に基づく新たな自然観を唱えるボーアに対し、アインシュタインは1935年にEinstein-Podolsky-Rosen (EPR) 論文を提出して量子力学の「不完全性」を主張した。この論争は、直後のBohr論文により決着されたと考えられてきたが、約30年後の1964年に出版されたBellの論文により、彼らの論争が実験的に決着可能であることが発見された。Bellは用意された「もつれた(エンタングルした)量子状態」を観測する際の「非局所性」を議論しており、実験検証も行われた。1990年代に入ると、この「非局所性」を積極的に利用した量子情報処理の研究が爆発的に進展した。2014年はベル不等式から50周年にあたり、量子力学の基礎、特に「非局所性」に関するこれまでの研究を振り返るのに適した節目の年である。現在、本シリーズの一環として「量子もつれ(量子エンタングルメント)」の小特集が企画されている。さらに「量子もつれ」に関わる実験研究についても取り上げる予定である。

第二のカテゴリーは「不確定性原理」である。量子力学を学ぶ際に最初に出会う「日常生活の常識からはずれた」法則は「Heisenberg不確定性原理」であろう。標準的な量子力学の教科書では、単に単一の量子状態に対して「位置のみ」もしくは「運動量のみ」を多数回観測したとき、そ

れぞれの観測値のゆらぎについて成立する不等式(Robertson不等式)が取り扱われる。しかし、Heisenbergが考えた不確定性原理は「位置と運動量の同時測定」に関わるものであり、その深い考察のためには「測定の不確かさ」や「観測による擾乱」を適切に定義する必要がある。いわゆる「小澤の不等式」の発見は、この問題に新しい視点を与え、「不確定性原理」に関わる研究を大きく進展させた。本シリーズでは「小澤の不等式」の実験的検証や周辺の理論研究を多面的に取り上げる予定である。

第三のカテゴリーは「他分野への広がり」である。最近になって量子力学の基礎理論が多くの分野に波及し、重要な概念を形成することが多くなってきた。例えば、量子もつれの一つの指標であるエンタングルメントエントロピーは、量子情報分野から量子多体系研究へ輸入され、量子臨界点やトポロジカル秩序の普遍性クラスを同定する新しい道具として応用されている。また、密度行列くりこみ群などの量子多体系の計算手法が、エンタングルメントエントロピーのスケージングの観点から見直され、新しいアルゴリズムの開発が行われている。また最近活発に議論されている「AdS/CFT対応」では、この概念に幾何学的な意味付けが与えられ、エンタングルメントエントロピーが超弦理論を用いた強結合領域の物理に重要な役割を果たすことがわかってきた。宇宙論においても量子力学の基礎概念は重要であり、例えば初期の宇宙における密度ゆらぎを「量子もつれ」の考え方によって理解しようとする試みが行われている。本シリーズでは、このような広い分野における量子力学の基礎概念の利用についても、記事として取り上げて紹介する予定である。

このシリーズでは量子論の広がりを俯瞰して、新しい物理の可能性がどこにあるのかを読者とともに探っていきたい。とはいえ、量子力学の基礎にかかわる研究は多彩であり、また読者の興味もさまざまであろう。本シリーズは各記事の「緩いつながり」を意識しつつも、通常の解説記事として読んでいただければ(そしてできれば楽しんでいただければ)と考えている。

本シリーズの最初の記事として、第一のカテゴリーからイオントラップ中の冷却イオンを用いたエンタングルメント生成を取り上げる。本シリーズを通して、超弦理論から宇宙論まで、あるいは深化した基礎論からテクノロジーとしての量子論まで、さまざまなスペクトルの中で展開される量子論の広がりについて、思いを巡らせていただければ幸いである。

(2013年11月14日原稿受付, 文責: 会誌編集委員会)