

はじめに

私が専門としている素粒子理論の本来の目的は、物質を構成する最小単位となる粒子を見出し、その粒子に働く力を明らかにすることである。この最小単位の粒子を素粒子と呼ぶ。このとき、物質が収容されている時空は、もともと与えられていると仮定して話を進めるのが通常である。つまり、時間座標や空間座標は最初から与えられているとして議論をスタートするのであり、なぜそもそも時間や空間（まとめて時空と呼ぶ）が存在するのかは気にしない。これは物質の例でいうと、物質が何から構成されているのかを気にせずに、最初から大きな塊として扱うことに相当する。そこで、素粒子が多数集まって物質を構成するように、時空自体にも何か最小単位があり、それが多数のブロックを組み合わせるようにして宇宙が生まれると考えることができないだろうか。実際に、重力の理論において、プランクスケールという最小の長さスケールが存在することがよく知られている。このように、いわば「時空の素粒子」の探求が最近の素粒子理論における最先端の話題の一つとなっている。

このような重力理論において基礎的な問題を考える際に威力を発揮するのがゲージ重力対応である（AdS/CFT 対応とも呼ばれ、より一般にホログラフィー原理と呼ばれる）。この対応は、特別な時空における重力の理論（一般相対論やその発展）が物質の理論（量子論）と実は等価になってしまう現象である。つまり前者には重力の相互作用があるが、後者ではそれが消えてしまい、さらに後者は前者と比べて時空の次元が1次元低くなるのである。この「時空=物質」という奇妙で驚くべき対応関係は、ブラックホールの物理を鋭く考察することから生まれた。

このゲージ重力対応の考え方を用いると、重力理論における空間の面積が、プランクスケールを単位にすると、物質の「エンタングルメント・エントロピー」

と呼ばれる量と一致することがわかる。このエンタングルメント・エントロピーとは量子力学における二体間のミクロな相関を測る量であり、片方のみ測定した場合にアクセスできない「隠れた情報量」と解釈ができる。この量子論特有のミクロな相関を量子エンタングルメントと呼ぶ。さて、このようにして「時空の面積 = 情報量」という関係式が得られ、重力理論の時空を細かくすることは、物質に含まれるミクロな情報を細かく分けることになる。以上のように考えると、1ビットの情報がちょうどプランクスケールの宇宙に相当することになり、それを無数に組み合わせることで巨視的な宇宙が生まれるという描像が得られるのである。

量子力学や統計力学の初步を学んだ学部生が理解できるように必要な知識を順次説明しながら、以上で述べた最先端の話題を紹介することが本書の目的である。専門分野としては素粒子論の中でも主に超弦理論の分野に関する話題ではあるが、本書を理解する上で超弦理論の知識は仮定しない。一部に場の理論や一般相対論を用いたアドバンストな内容も書いてあるが、それらの部分は読み飛ばしても本書の重要な部分の理解に差し支えない。

本書の作成中の原稿に多数の誤植等を指摘してくださった、京都大学の大学院生の魏子夏氏と瀧祐介氏、学部生の鈴木優樹氏、また有益なコメントを頂いた京都大学の研究員の芝暢郎氏に感謝したい。最後に、辛抱強く原稿の完成を見守ってくださった共立出版株式会社編集部の高橋萌子氏と、閲読していただいた岡真先生に心から感謝の意を表したい。

2020年8月

高柳 匡