

時空はなぜ4次元か？

時空が4次元であること、すなわち、我々の宇宙が1つの時間と3次元の空間からなることは経験的に明らかである。実際、素粒子標準模型や一般相対性理論は、4次元時空のうえで定義された場に対する方程式であり、これらの方程式で自然現象はたいへんうまく記述できている。

一方、数学的には任意の次元の時空を考え、場の方程式や量子論をそのうえで矛盾なく展開することができる。そうすると、我々の宇宙はなぜ4次元なのかという疑問がごく自然にわいてくるだろう。

もし時空が単に平坦なミンコフスキー空間であれば、なぜ自然が4次元を選んだかといった疑問は、単に思弁的なものだろう。しかしながら、一般相対性理論は時空自体が力学変数であることを意味しており、さらに量子力学ではすべての量がゆらいでいることを考えると、時空のトポロジーや計量も、量子的にゆらいでいると考えられる。

重力の量子論、すなわち量子重力を完全な形で与える有力な候補が弦理論だが、残念ながらまだ完成していない。しかしながら、時空の量子ゆらぎがどの程度のものであるかを、アインシュタイン方程式と場の量子論から評価してみることができる。その結果、いわゆるプランク長さ、す

なわち 10^{-33} メートル程度より短い距離のスケールでは、時空のゆらぎがたいへん大きくなっていることがわかる。このことから「なめらかな多様体」という時空の描像は、プランク長さより長い波長で見たときの近似であり、プランク長さ以下の領域では、通常の幾何学的な描像はもはや成り立たないと予想される。

結局、時空の次元の問題は、弦理論が完成した暁には「プランク長さより長い波長で見たときに、4次元時空に見えるような宇宙が高い確率で生成される」という形で解決するかもしれない。まだ決定的ではないが、これに向けていくつかの議論がなされている。たとえば、弦理論の完全な定式化の候補である行列模型では、時空ははじめから導入されているのではなく、力学的に生成されるが、それが実際に4次元時空になっているかどうか調べられている。

逆に、弦理論が完成したとしても、残念ながら任意の次元の時空が可能であり、むしろ人間原理のような何らかの付加的理由によって、4次元時空が選ばれているのかもしれない。いずれにしても、時空がなぜ4次元かという問題は、基本原理を理解する鍵となる興味深い問題である。

川合 光 (京大院理)、会誌編集委員会