

特集／〈電弱統一理論〉

電弱統一理論完成の道のり

小林 誠

1. 序

電弱統一理論とは、電気・磁気の力のもとである電磁相互作用と、ベータ崩壊などを引き起こす弱い相互作用を統一的に記述する理論のことで、QCD理論とともに素粒子の標準模型の根幹を形成するものである。電弱統一理論は1970年代の初めにほぼ現在の形にできあがったが、同時に新たな問題を提起し、そのうちのいくつかは今なお未解明である。本特集は、電弱統一理論成立の過程を改めて振り返ると同時に、ヒッグス粒子、ニュートリノ質量、CP対称性の破れなど未解明の問題の現状についても解説する。

2. 電磁相互作用と弱い相互作用

統一に至るまでの、電磁相互作用、弱い相互作用それぞれの理論の進展はまったく異なる道筋をたどるが、いずれもその過程で、物理学上の重大な発見と理論の誕生に関わってきた。

まず電磁相互作用について考えてみよう。電磁相互作用の基礎となるマクスウェルの理論が誕生したのは19世紀の中ごろのことである。これによって電気と磁気の統一的な記述ができることに

なったが、同時に新しい問題の出発点でもあった。マクスウェルの方程式には、電場と磁場の波、すなわち電磁波が解として存在するが、その伝播速度が当時すでに知られていた光の速度とよく一致した。その結果、光の正体が電磁波であることが決定的となったが、問題は伝播速度が何に対する速度かという点であった。素直に考えれば、電磁波を伝える媒質が存在して、この媒質に対する速度とするのが自然である。その場合、媒質に対して運動している観測者から見れば光の速度も変わるはずであるが、マイケルソン・モーレーの実験によってこれは否定されることとなる。言うまでもなく、これに正しい答えを与えたのがアインシュタインの特殊相対性理論である。

電磁相互作用は量子論誕生にも深く関わっている。1900年、プランクは空洞輻射、すなわち空洞内に閉じ込められた電磁波が壁と熱平衡にあるときのスペクトルを説明するために量子仮説を導入した。さらに、1905年、アインシュタインは光電効果を光の粒子性により説明し、量子論へ向けて決定的なインパクトを与えた。その後の量子力学完成への過程では、原子の中の電子の運動が主として議論の対象になったが、1928年になると、ハイゼンベルグとパウリが電磁場に量子論を適用して、場の量子論のさきがけとなった。

しかし、場の量子論には大きな困難があること