

超対称性の破れ

場の理論から弦理論まで

大河内豊著, B5判, 192頁, 本体 2241円, サイエンス社



本書が収録されている SGC ライブラリーは、理論物理学の最近の発展に関して、第一線で活躍する研究者が自身の研究成果を交えつつ日本語で解説する、という非常にユニークな企画である。これまでも多くの良書が出版されており、理論物理学を専攻する大学院生のみならず、私を含むシニアな研究者にとっても有益な情報源となりつつある。超対称性に関する本はこのライブラリーにもすでに何冊か存在するが、超対称性の破れを主眼とするのが本書の特徴と言える。

超対称性は、素粒子論における階層性問題を解決するための一つの有力なシナリオである。ただし現実には観測されていないという欠点を持つため、超対称性の破れの機構を解明する必要があるが、容易ではない。というのも、素粒子論における他の対称性と比べ、超対称性が量子補正に対してより安定に保たれるためである。言い換えると、超対称性の破れの機構を理解するには、場の量子論の非摂動効果の解析が不可欠である。それを反映してか、本書の構成のうち前半は、超対称性を持つ場の量子論の非摂動論の側面、特に 1990 年代以降に起きた劇的な進展に関する解説に当てられている。具体的には、超対称性理論における超場形式を導入し、Seiberg により提唱された超ポテンシャルの正則性が解説される。そして、 $\mathcal{N} = 1$ 超対称 QCD における Seiberg duality、さらには $\mathcal{N} = 2$ 超対称ゲージ理論の低エネルギー有効理論を完全に解いた Seiberg–Witten (SW) 理論について詳しい説明がなされている。2002 年の Nekrasov の仕事以降、SW 理論の数学的な側面が強調される反面、SW の原論文に書かれた物理的内容についてあまり注意が払われていないのでは、と危惧することがある。本書が、初学者にとってなかなか目の届きにくい原論文に立ち戻る一つのきっかけとなるかもしれない。

後半では、本書の主テーマである超対称性の破れが丁寧に説明されている。正直なところ、私のこれまでの研究内容とはかけ離れた題材も多く、書評をお引き受けするのが最初はためらったが、むしろ勉強する絶好の機会を頂いたと考えを改め、大学院生に戻ったつもりで読み進めた。

まずは摂動的に超対称性を破るいくつかのモデルを紹

介したのち、非摂動効果による超対称性の破れを実現する模型が詳しく議論される。具体的には R 対称性と超対称性の破れの関係、Intriligator–Seiberg–Shih (ISS) による準安定真空に基づく超対称性の破れ、そしてゲージ相互作用により超対称性の破れを伝える機構である gauge mediation についての解説へと続く。さらには、準安定真空の崩壊を引き起こすバウンス解、そして崩壊を促進する位相的欠陥による触媒効果など、内容は非常に多岐にわたる。自身による研究成果も随所に交えつつ、これらを手際よくまとめ上げた著者の力量には感服する。ただ 1 点、ISS が発見した超対称性を破る真空は準安定であることが明示されておらず初学者は戸惑うのでは、と少し気になった。

これらの話題に続き、超対称ゲージ理論における準安定真空が弦理論からどのように解釈されるか、解説される。弦理論に至っては、それだけで 1 冊の本には到底収まりきらないだけの内容を含む。にもかかわらず、著者は D-brane や Calabi–Yau 多様体、さらには geometric transition や flux compact 化など、非常に高度な話題について技術的な詳細にあまり立ち入らず、その物理的意味をできるだけ分かりやすく伝えようと努めている。本書の副題「場の理論から弦理論まで」の通り、超対称性とその破れに関する物理に関して、場の理論と弦理論の両面から語り尽くす力作となっている。

本書の前半と後半では独立して書かれた部分も多く、読者の興味に応じた読み方が可能である。本書の程度は比較的高めであり、初学者がいきなり読み進めるのは難しいかもしれない。技術的詳細の説明は文中に設けられた網かけの枠内で行うなど、初学者への配慮は随所に見て取れるが、場の量子論に関する多少高度な知識に加え、超対称性や弦理論の基礎を事前に習得しておくことが望ましい。巻末には詳細な文献表が用意され、専門的な事項について知りたい読者には大いに助けになるだろう。SGC ライブラリーの一冊を飾るに相応しい出来となっており、多くの方々が一読されることをお勧めしたい。

酒井 忠勝 (名古屋大学大学院理学研究科)