

## ゲージヒッグス統合理論

素粒子標準理論のその先へ

細谷裕著, B5判, 208頁, 本体2315円, サイエンス社



2012年にスイス、ジュネーブにある研究所 CERN でヒッグス粒子が発見された。全周約 27 キロメートルの円形加速器でつくられた高エネルギー陽子ビームを衝突させる LHC 実験によって、とうとう人類は素粒子標準理論における最も重要、かつ最もミステリアスな粒子の生成と崩壊の検出に成功した。いま、このヒッグス粒子の正体を見極めることは素粒子物理の最重要課題である。本書は、5次元時空上の力を媒介するゲージ粒子がヒッグス粒子の正体であるという著者の理論の解説書である。基礎的な背景の物理を含めて詳細な記述があり、大学院生でも十分に理解できるように書かれている。

本書は9章からなり、第1章で全体像について述べた後、第2章でヒッグス機構によりゲージ粒子やクォーク・レプトンが質量を獲得することを解説し、ヒッグス場の役割および、ヒッグス粒子の存在、またそこに潜む階層性問題について学ぶ。第3章からが本題の、著者が提案するゲージヒッグス統合理論のメカニズム(細谷機構)の解説である。量子力学におけるアハラノフ・ボーム効果と同様な現象としてヒッグス機構をとらえ、ヒッグス場は実は、隠れた次元を一周回ってくるときに現れる位相の自由度であるという理論を展開する。実際に、第7章で、そのような高次元時空上の理論から標準理論が導出できることを示し、第8章には新粒子の予言が書かれている。最後にはさらなる統一理論の可能性や理論的展望がまとめられ、エキサイティングな構成となっている。

ゲージ理論の線演算子やループ演算子は局所的でなく、一般の教科書を読むだけでは直感的理解が困難であるが、実際に物理に出現することが本書を読み進めるとよくわかる。ゲージヒッグス統合理論では、これらの演算子に現れる位相がヒッグス場と同定されるが、その位相の値は自由に選べるわけではなく、物質場が引き起こす量子論的效果により力学的に決定される。よって、クォークとレプトンを含めたモデルの構築には全体的に非自明な整合性が要求される。第7章で解説されているモデルは、実験的な制限だけでなく、そのような理論的整合性の上に成り立っており、それが具体

的計算によって示されている。高次元場のカルツァークライン展開や、曲がった時空上のゲージ理論など、理解にはいくつかの予備知識が必要となるが、本書では、その全てが第7章までに学べるようになっている。

ゲージヒッグス統合理論を主題においているが、ヒッグス現象と高次元の世界の関連は一般的であり、応用が広いことも学ぶことができる。第5章では、標準理論のヒッグス場だけでなく、大統一理論とゲージヒッグス統合の関係についての解説がある。標準理論がうまく大統一理論に統合されそうであることは、クォークとレプトン、およびゲージ相互作用の部分から見て取れるのであるが、実はヒッグス場だけうまくはまらない。しかし、大統一理論が高次元理論であるとすると非常にうまくいくという事実が2000年に川村嘉春氏により指摘されており、そのモデルの仕組みと細谷機構との関連が解説されている。

ヒッグス現象は、実際に真空中で起こっているある種の相転移現象と言える。相転移の背後にはおそらく何らかのダイナミクスがあるだろうというのが多くの物理学者の見解である。その何かを求め、ヒッグス粒子の存在の有無を含めて、これまで様々な仮説が立てられてきた。ヒッグス現象と高次元物理の関連は、それらの仮説のなかで脚光を浴びた一つの興味深い可能性である。細谷機構は、高次元ゲージ場の一部を自発的対称性の破れに伴う南部-ゴールドストーン粒子に同定するものという見方もできる。超弦理論におけるゲージ・重力対応からの類推により、曲がった5次元時空上のゲージヒッグス統合理論は、実は4次元の強結合ゲージ理論における複合ヒッグス理論と等価なのではないかとの考えもあり、背景の物理は奥深い。本書は、基本的なところから始まり、ゲージヒッグス統合理論における物理量の予言まで途中計算を飛ばさずにしっかり書かれており、学部生・大学院生に親切な構成であるだけでなく、関連分野の研究者のバイブルとして大いに役立つであろう。

北野 龍一郎 (高エネルギー加速器研究機構素粒子原子核研究所)