

LHC 実験 質量 126 GeV を持つヒッグス粒子の発見



田中 純一

東京大学素粒子物理国際研究センター

欧州原子核研究機構 (CERN) において ATLAS 実験と CMS 実験は 2012 年 7 月 4 日に「ヒッグス粒子らしい新粒子を発見した」として合同セミナー及び記者会見を行った。その粒子の性質については十分理解できていないことから学術的な正確さを期すため「らしい」という言葉を補ったが、この研究に携わった多くの研究者にとって約 50 年にわたって探し続けてきた「ヒッグス粒子」発見の歴史的な発表であった。

素粒子の標準理論には 12 種類のフェルミオン (クォークとレプトン)、4 種類のゲージボソン、そして 1 種類のヒッグス粒子、合計 17 種類の素粒子が存在する。この 17 個の素粒子によりこの世界の物質とその間の相互作用が非常に上手く記述できることがこれまでの数々の実験から示されてきた。しかしながら、この 17 個の素粒子の中でヒッグス粒子は唯一その存在が実験で確認されていなかった粒子で、他の素粒子に「質量を与える」メカニズムの証拠となる素粒子である。そもそもゲージ不変性を基本原理としている標準理論では素粒子は一般に質量を持つことができない。そのため W/Z ボソンや電子等の素粒子が質量を持っているという観測事実は標準理論では説明できないように思えるが、1964 年にピーター・ヒッグスらは、標準理論に自発的対称性の破れを応用することでローカルゲージ不変性を保ちつつ、素粒子に質量を与えることに成功した。これがヒッグス機構であり、その副産物としてヒッグス粒子と呼ばれるスカラー粒子が予言された。したがって、素粒子の質量の起源であるヒッグス粒子を発見することは標準理論を完成させる上で必要不可欠であり、ある意味標準理論において残された最後の、そして最重要

研究テーマであった。

2012 年 7 月、標準理論のヒッグス粒子探索の研究において ATLAS 実験は統計的有意度 5.9σ 、CMS 実験は 5.0σ の事象超過を質量 126 GeV 付近に発見した。先に述べたようにこの時点では「らしい」という言葉を補っていたが、2012 年 12 月まで取得したすべてのデータを使って研究を進めた結果、2013 年 3 月に結合定数の強さが標準理論と無矛盾であることやスピン・パリティが 0^+ であるという強い示唆を得たため、この新粒子は「らしい」がとれて晴れて“a Higgs boson”となった。その根拠となる様々な結果は本文に譲って、ここでは 3 つの結果を挙げる。標準理論のインプットパラメータの一つであるヒッグス粒子の質量は ATLAS 実験 $125.5 \pm 0.2 (\text{stat.})^{+0.5}_{-0.6} (\text{syst.})$ GeV、CMS 実験 $125.7 \pm 0.3 (\text{stat.}) \pm 0.3 (\text{syst.})$ GeV である。標準理論のヒッグス粒子に対する信号の強さ (標準理論であれば 1 となるパラメータ) は ATLAS 実験 $1.33^{+0.21}_{-0.18}$ (125.5 GeV)、CMS 実験 0.80 ± 0.14 (125.7 GeV) で標準理論のヒッグス粒子の信号と無矛盾である。また、この粒子のスピン・パリティについては 0^+ に対して $0^-, 1^\pm, 2^+$ のモデルは 97.8% CL (以上) で排除した。このヒッグス粒子が標準理論のヒッグス粒子かどうかをより精度良く見極めるためには更にデータが必要である。標準理論の素晴らしさをより一層実感するか、それとも標準理論を超えた物理を垣間見るか、LHC 実験の再開が非常に楽しみである。

—Keywords—

LHC 実験：

ジュネーブ近郊のヨーロッパ共同原子核研究機構 (CERN) にある周長 27 km の陽子-陽子衝突型加速器 Large Hadron Collider (LHC) を用いた実験であり、その中でエネルギーフロンティアの素粒子物理を研究する実験として ATLAS 実験と CMS 実験がある。LHC は 4 つの衝突点を持つ。ATLAS 実験及び CMS 実験は異なる衝突点にそれぞれ検出器を設置し独立に実験を行っている。

ヒッグス粒子：

素粒子の標準理論で存在が予言される素粒子のうち最後まで未発見であった素粒子。本記事で紹介される LHC 実験 (ATLAS 実験と CMS 実験) がヒッグス粒子を発見した。ヒッグス粒子の発見に伴い、昨年度のノーベル物理学賞を Peter Ware Higgs 氏と François, Baron Englert 氏が受賞した。