

CERN の LHC 実験において、希なヒッグス粒子反応の初めての兆候を発表

第 40 回 ICHEP 国際会議において、ATLAS 実験と CMS 実験は、ヒッグス粒子が 2 つのミュオン粒子に崩壊することを示す新しい研究結果を発表しました。ミュオン粒子は、質量が大きい電子のコピーのような存在であり、宇宙の物質の構成する基本的な粒子（素粒子）のひとつです。電子は第 1 世代の素粒子に分類されますが、ミュオン粒子は第 2 世代に属します。ヒッグス粒子がミュオン粒子に崩壊する物理過程は、希な現象です。5000 個のヒッグス粒子のうち 1 個ほどしかミュオン粒子に崩壊しません。この新しい結果は、ヒッグス粒子が第 2 世代素粒子と相互作用をすることを初めて示すものであり、基礎物理学にとって極めて重要です。

物理学者たちは、ヒッグス粒子が発見された 2012 年から、この特別な粒子であるヒッグス粒子の性質の研究を進めてきました。大型ハドロン衝突型加速器 (LHC) の陽子衝突から生成されたヒッグス粒子は、それが生成されるやいなや他の粒子へと崩壊してしまいます。ヒッグス粒子の性質を調査する主な方法のひとつは、ヒッグス粒子がどのように様々な素粒子に崩壊するのか、そして、それぞれの崩壊の確率がどれほどかを解析することです。

CMS 実験は 3σ の統計的有意度でこの崩壊の証拠を捉えました。これは、統計的な揺らぎのせいでヒッグス粒子がミュオン粒子対に崩壊したように見えてしまう確率が 700 分の 1 未満であることを意味します。ATLAS 実験は 2σ の統計的有意度を得ました。これは、統計的な揺らぎのせいでヒッグス粒子がミュオン粒子対に崩壊したように見えてしまう確率が 40 分の 1 未満であることを意味します。CMS と ATLAS の両実験結果を統合することで統計的有意度は 3σ を超え、ヒッグス粒子がミュオン粒子対に崩壊する強力な証拠となります。

「CMS 実験がヒッグス粒子のミュオン粒子対への崩壊に対する高い感度を達成し、この崩壊の最初の実験的証拠を示すことができたことを誇りに思っています。ヒッグス粒子は標準模型の予想通り第 2 世代素粒子とも相互作用をしているようです。次に予定している実験で収集されるデータを用いて、さらに検証が進むことを期待します。」と CMS 実験の代表であるロベルト・カーリン氏は述べています。

ヒッグス粒子はヒッグス場の量子化によって現れ、ヒッグス場は、ブルート・アングレル・ヒッグス機構を通じて、ヒッグス場と相互作用する素粒子に質量を与えます。ヒッグス粒子の様々な素粒子への崩壊の確率を測定することによって、物理学者はその素粒子とヒッグス場との相互作用の強さを推測することができます。ヒッグス粒子からの崩壊の確率が高い素粒子ほど、ヒッグス場との相互作用が強いことを意味します。これまでのところ、ATLAS 実験と CMS 実験では、ヒッグス粒子が W ボゾンや Z ボゾンなどのボーズ粒子、タ

ウ・レプトンなどの重いフェルミ粒子に崩壊することを観測してきました。最も重いトップクォークやボトムクォークとの相互作用は 2018 年に測定されました。ミュー粒子はこれらと比較して軽く、ヒッグス場との相互作用は弱くなります。したがって、ヒッグス粒子とミュー粒子の相互作用は、これまでの LHC 実験では測定できませんでした。

「ヒッグス粒子が第 2 世代素粒子に崩壊することの証拠により、LHC の Run 2 実験におけるヒッグス物理プログラムは大成功となりました。ヒッグス粒子の性質の測定は、測定精度の観点で新しい段階に達し、稀な崩壊過程の測定も可能になりました。これらの成果は、LHC の多量のデータ、ATLAS 検出器の卓越した検出効率と性能、さらには、革新的な解析手法の開発によります。」と ATLAS 実験の代表であるカール・ヤコブ氏は述べています。

LHC 実験では、ミュー粒子対に崩壊するヒッグス粒子がひとつ生成される間に、何千ものミュー粒子対が他の物理過程を通じて生成されるために、これらの解析はとても挑戦的です。ヒッグス粒子がミュー粒子対に崩壊する反応の特徴は、ミュー粒子対の情報から算出した質量がヒッグス粒子の質量である 125 GeV 程度になることですが、125 GeV 付近に集まったわずかな兆候をとらえることは簡単なことではありません。そのために、ATLAS と CMS の両実験は、ヒッグス粒子の崩壊によると思われるミュー粒子候補のエネルギー、運動量、放出角度を測定しました。さらに、洗練された背景事象モデルや機械学習などの高度な解析技術を導入することで解析の感度を高めました。CMS 実験では、ヒッグス粒子の生成過程に応じて最適化した 4 種類の解析を個別に行った後にそれらを統合しました。ATLAS 実験では、ヒッグス粒子の生成過程に応じて、20 のグループに事象を分類して解析を行いました。

これまでのところ、標準模型の予想と一致する結果が得られていますが、これは LHC 実験の Run 2 実験で取得した全データを用いた結果です。次の Run 3 実験やさらにその先の高輝度 LHC 実験で取得予定のデータを用いることで、ATLAS 実験と CMS 実験は、ヒッグス粒子のミュー粒子対崩壊を発見したと主張できる感度まで到達できると考えており、そこから、このヒッグス粒子の崩壊過程に影響を与える標準模型を超える理論に対して制限を与えることが可能になります。