

イベント形状を用いてヒッグス粒子のCPと結合定数を測る

竹内道久 (名古屋大学素粒子宇宙起源研究所 takeuchi@kmi.nagoya-u.ac.jp)

理論的には約50年前に予言され、長らく探索が続けられていた**ヒッグス粒子**が、2012年にLHC実験において発見された。これにより、素粒子標準模型を構成するすべての素粒子が揃い、素粒子間にはたらく相互作用が正確に記述できるようになった。現在、ヒッグスに関する様々な性質が測定されているが、大きなすれは報告されておらず、自然に対する人類の理解が極小の世界まで正しいことが確認されたと言える。

一方、暗黒物質の存在や宇宙にほとんど反物質が存在せず、ほぼ物質のみから構成されていることなど、標準模型だけでは説明できない現象が依然残っており、更なる新物理、新粒子の発見が期待されている。

我々の世界では、空間反転変換P(鏡に写した世界を考える変換)、荷電共役変換C(粒子と反粒子を入れ替える変換)を考慮することができ、これらの変換の下での物理法則の不変性を議論できる。標準模型では、P対称性が大きく破れている一方で、C、Pを同時に変換する、CP対称性はほぼ成り立っており、わずかなCP対称性の破れが小林-益川行列に存在するのみである。しかし、既知の宇宙における物質・反物質非対称性は、このわずかなCPの破れに比較して大きく、標準模型を超えたCPの破れの素が必要であると考えられている。

この謎を解く鍵がヒッグスセクターにあることは十分考えられ、例えば、超対称模型では、2つのヒッグス場が必要となり、必然的に新たな**CP位相**の自由度が登場する。このように、発見されたヒッグス粒子のCP量子数の測定は、標準模型を超える物理に迫る第一歩として重要である。

LHC実験における、ヒッグス粒子のCP量子数の決定方法としては、ヒッグス粒子のZボソン対への崩壊事象を用いる方法や、ヒッグス粒子と同時に2つのクォークが生成する事象を用いて、2つのクォーク間の角度相関(方位角相関)を用いる方法等がよく知られていた。

後者の方法については、クォークは実際には、ジェットとよばれる粒子の束として観測されるため、クォークからジェットへの変換過程の摂動QCD理論に基づく予言が重要となるが、不定性も大きい。我々は、同様に摂動QCD理論に基づくが、更により近似が可能となるような、**イベント形状変数**を定義し、これを用いてCP量子数を判別する方法を提案した。

我々は、摂動QCD計算に基づくモンテカルロシミュレーションを行い、ジェット方位角相関、イベント形状変数、それぞれを用いたヒッグスのCP量子数の測定精度を比較した。その結果、あるイベント形状変数(横方向スラスト)を用いる方法がより高い感度をもつことを示した。両者は相補的な関係にあり、同じ物理量を様々な手法で測定することで、現象への理解をより深めることに役立ち、また、摂動QCD理論の検証という側面でも意味をもつ。

LHC実験は、13 TeVで稼働したRun 2が 139 fb^{-1} の積算ルミノシティを蓄積して終了した。Run 3が2022年から再開され、3年間稼働し14 TeVに到達、 350 fb^{-1} を蓄積する予定である。新粒子が発見されれば、そのCP量子数の測定にも同手法が応用できる。近い将来、標準模型を超える新物理の発見・解明の報告を期待したい。

用語解説

ヒッグス粒子:

素粒子標準模型では、南部-ゴールドストーンの自発的対称性の破れの考えを発展させたヒッグス機構により、全ての素粒子は質量を獲得するが、その際に必要となるスカラー粒子。全ての素粒子は、その質量に比例したヒッグスとの結合定数をもつと考えられている。

CP位相:

粒子や、粒子系には、CPパリティという量子数を定義でき、CP対称性が厳密であれば、CPパリティを保存する遷移しか起きない。CP対称性の破れがある場合、CP+とCP-の状態が混合でき、その混合具合をCP位相とよぶ。素粒子標準模型のもつCP位相は、なぜ宇宙が物質で構成されているのかを説明するには足りず、未知のCP位相の存在が期待されている。

イベント形状変数:

加速器実験の検出器で観測されるイベントは複雑な構造をもつため、分布の特徴を要約した数値を定義することで系統的な扱いができる。例えば、球面上の分布について、等方的か、ある軸にそって集中して分布しているかを表現する変数を定義することができる。