

論文審査の結果の要旨

氏名 加納 勇也

本論文は、LHC ATLAS 実験で記録された重心系エネルギー13TeV の陽子陽子衝突データ 36.7fb^{-1} の中から、複数の”**photon-jet**”（近接した複数の光子の集まり）の終状態を探ることにより、標準理論を超える新しい物理現象をモデルによらず探索するものである。例えば、超対称性理論の NMSSM において、 $O(100)$ GeV のスカラーヒッグス(H)が、ふたつの $O(1)$ GeV の擬スカラーヒッグス(a)に崩壊し、a が二つの光子に崩壊する場合などに、a からの二つの光子は近接し **photon-jet** となる事象を本解析により再構成することが可能である。**Photon-jet** 二つを組んだ不変質量($M_{\gamma\gamma}$)の分布を調べ、なだらかな背景事象の中の、鋭い信号のピークを探索する。過去には、ATLAS における光子二つの終状態の探索がなされており、本研究と同様の終状態にも多少の感度があった。しかしながら、過去の研究では“**photon-jet**”が極めて単独の光子に似ている場合のみに感度が限定されており、本研究は全く新しい手法によって探索を行うものである。

加納氏は実際に解析の全般を行っているが、特に、光子識別条件の工夫と、**photon-jet** を示すクラスタ形状変数の導入により、**photon-jet** を効率よく再構成し測定の感度を向上させたことは彼独自のアイデアによるものである。

ハドロンジェットなどによるバックグラウンドを除去し、光子を選び出すために、電磁シャワーの形状を表すいくつかの変数に対し、ゆるい条件（トリガー条件と同等）、きつい条件（通常の光子を選び出すために使用される条件）と、独自に作成したその中間の条件を用意した。その条件を工夫することで、**photon-jet** のようにシャワー形状が単純な光子とは異なるものを有効に見つけ出すことが可能となった。また、トリガー条件より厳しくしておくことで、追加された条件を反転することで制御サンプルを得ることができ、モンテカルロと実データの比較・較正を行い、信頼度の高い解析を行っている。

そのような **photon-jet** 候補の電磁クラスタに対し、**photon-jet** らしさを表す変数を用意している。いくつかの候補を検討し、期待される探索感度から、「エネルギーがふた山に分かれている状態で、谷と低い方の山のピークの差に相当するエネルギー(ΔE)」を用いることを決定している。また、得られた信号事象候補を ΔE の値に応じて2つのカテゴリに分けることで、適用する解析を最適化することができ、分けない場合よりも良い感度での探索を行っている。

この中間的光子識別条件と ΔE の導入により、過去の研究と比較して20倍高い感度で**photon-jet** 終状態の探索が可能になっており、本研究は過去の研究とは異なる全く新しい解析であると言っても過言ではない。また、感度向上のために加納氏が果たした役割は大きい。

主な背景事象としては、標準理論に従う崩壊からの $\gamma\gamma, \gamma \text{ jet}$ （誤識別）、 jet jet （二

重誤識別) などである。 $\gamma\gamma$ の $M_{\gamma\gamma}$ 分布はシミュレーションにより決定し、その他の **jet** の誤識別を含むものについては、先述の制御サンプルを用いている。信号事象の $M_{\gamma\gamma}$ 分布は、**Gaussian** に非対称な **tail** を接続した **double-sided Crystal-Ball function** を用いている。これらを用いて得られたデータをフィットしたところ、分布はバックグラウンドに一致し、有意な信号は観測されなかった。

終状態が $a \rightarrow 3\pi^0 \rightarrow 6\gamma$ となるものについても同様に解析し、有意な信号が観測されないという結果を得ている。これらの無発見を **NMSSM** に基づいて解釈し、これまで過去の他の実験では許されてきたパラメータ空間を新たに制限した。また、結果を **a** が **long-lived** な場合に対しても解釈し、反応断面積と分岐比の積に制限を加えている。

本論文は 7 章からなる。第 1 章はイントロダクションであり、素粒子物理学における標準理論を超える物理理論と、本研究が対象にするような現象の出現可能性について述べている。第 2 章は理論の概説で、超対称性理論と **MSSM**, **NMSSM** について紹介し、**photon-jet** への分岐比について述べている。第 3 章で **LHC** 計画と **ATLAS** 測定器について紹介し、第 4 章で光子の再構成と識別、第 5 章で **photon-jet** の探索のためのモデリングとその系統誤差について議論し、フィットの結果を述べている。第 6 章では、一例として結果を **NMSSM** の文脈で解釈した際に、どのようなパラメータ空間を制限するかについて述べ、将来の改善可能性について述べている。第 7 章で結論をまとめている。

審査委員会として、論文の結果の正当性を確認し、またそれが適切に記述されていることを確認した。なお、本論文は、**ATLAS** コラボレーションによる共同研究である。加納氏は、本研究を遂行する上で欠かせない中心的な役割を担っており、彼自身の発想と研究により、物理学の新たな知見を獲得している。よって、加納氏に博士号を授与するにふさわしいと認める。