

(続紙 1)

| | | | |
|--|--|----|-------|
| 京都大学 | 博士 (理学) | 氏名 | 岡崎 佑太 |
| 論文題目 | Search for direct production of charginos and neutralinos using final states with highly boosted hadronically decaying bosons in pp collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV with the ATLAS detector (ATLAS検出器において収集した重心系エネルギー13 TeVの陽子陽子衝突データを用いた、高運動量を持つボソンを終状態にもつチャージノーとニュートラリーノの直接生成事象の探索) | | |
| (論文内容の要旨) | | | |
| <p>本論文は、重心系エネルギー13 TeV での陽子・陽子衝突において、素粒子標準模型を超える新物理理論のうち有力と考えられている超対称性を探索したものである。本論文では超対称性模型で予言される新粒子のうち、電弱ゲージ超対称性粒子(「電弱ゲージノー」)であるチャージノーとニュートラリーノについて探索している。最も軽いニュートラリーノ(「LSP」)が数 TeV までの質量を持つ場合、それを WIMP 暗黒物質として宇宙熱平衡が説明できる。超対称性模型は、標準模型の諸問題、たとえばヒッグス質量発散問題の回避やミューオン異常磁気能率実験(「g-2 実験」)結果との乖離の説明なども解決できるため、本論文による探索は学術的な価値がきわめて大きい。</p> <p>本論文では、欧州原子核研究機構 CERN に設置された大型ハドロン衝突型加速器(Large Hadron Collider, LHC)を用いた国際共同実験 ATLAS において、2018 年までの第2期運転までに取得された全データ(積分輝度 139/fb)を用いて探索を行っている。解析では、陽子・陽子衝突から電弱ゲージノーが対生成されたのち標準模型の電弱ボソン(W粒子、Z粒子)またはヒッグスボソンを伴って、LSPへ崩壊する過程を探索した。本論文で着目し、新しい感度を拓いたのは、生成された電弱ゲージノーとLSPとの間の質量差が大きい物理領域である。この領域では電弱ボソンやヒッグスボソンが2つのクォークへ崩壊するチャンネル(「ハドロニック崩壊」)が、内部に2つの核があるような1つの大きな粒子束(「ジェット」)として観測できる。通常は膨大な背景事象によりハドロニック崩壊は解析できないところ、本論文では、大きい半径を持つジェットを再構成し、その内部構造をみることで背景事象として分離する新しい同定手法を確立し、4つのクォーク(と2つのLSP)終状態で探索することに成功した。4つのクォークとも b 以外(u, d, s, c)の場合は、ATLAS 実験ばかりでなく他実験でも例のない世界で初の測定である。ボソン同定手法の効率はデータで実際に測定してシミュレーションを較正し、背景事象の見積もりには実データをもちいて検証して評価するなどして系統誤差も抑え、崩壊分岐比が大きいというハドロニック崩壊の利点を生かして探索感度を従来の10倍程度も向上させた。</p> <p>探索結果は、標準模型からの背景事象の予想と無矛盾であったので、超対称性模型の質量領域に制限をかけた。レプトンやクォークのフレーバーなどの指定のないハドロニック崩壊であるため、制限をかける際の模型依存が小さいこともこの解析の利点である。様々な崩壊分岐比・超対称性粒子の種類について95%信頼度で棄却領域を定め、LSP 質量が400(240) GeV 以下で、かつ、LSP との質量差が400(450) GeV である場合の、ウィーノ(ヒッグシーノ)質量について1060(900) GeV まで棄却した。これまでの探索による simplified 模型に対する制限と比較すると300-400 GeV 高い質量まで棄却した。さらに、自然さ(「naturalness」)、暗黒物質、g-2 実験結果をそれぞれ説明する超対称性模型のパラメータ領域において、本論文における探索結果による制限を求めた。暗黒物質の残存量から有望となる模型ではZボソン、ヒッグスボソンの質量の半分の領域(「Z/h-funnel」)が好ましいとされているが、LHC 実験に限らず、XENON-1T や Fermi-LAT などと比較しても Z/h-funnel 領域で最も厳しい制限を課した。</p> | | | |

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

本論文で探索する超対称性は新物理候補の最有力とされ、多くの実験で精力的に探索されている。Naturalness などから数 TeV までに超対称性粒子が存在することが期待されており、その TeV エネルギー領域で直接生成して探索できる実験は LHC が世界で唯一である。これまでの LHC における探索でクォークやグルーオンの超対称性パートナーであるスクォークやグリーノについては既に 1-2 TeV 程度まで棄却され、超対称性モデルのパラメータ領域の多くが棄却された。しかし、電弱ゲージノについてはこれまでの探索がまだ高い質量まで至っておらず、また、ニュートラリーノが数 TeV までの場合には暗黒物質のよい候補ともなることから、現在、大きく期待されている。本論文で使用されたデータは審査時における全データであり、すなわち本論文は、現時点で可能な最高感度で、現時点で最も期待されているとよい電弱ゲージノを、LHC でしかできない直接生成によって探索した、学術的に大きな価値のある論文であるといえる。

実際の探索にあたって、これまで不可能だったハドロニック崩壊モードを初めて探索可能にしたことは本論文の大きな成果の一つである。大半径ジェットの内蔵構造を見ることで電弱ボソンやヒッグスボソンからのハドロニック崩壊によるものか、背景事象による通常のジェットなのか、を分別する「ボソントギング」手法を、シミュレーションを用いて詳細に最適化することから始め、実データで効率を測定して検証、較正することで物理解析に応用可能なレベルにまで完成させている。

解析においては、背景事象の評価も、シミュレーションだけでなく実データによる見積もり・検証を踏まえている。系統誤差についても多くの可能性を網羅して検討しており、解析としての信頼性も高い。また、標準模型と無矛盾であるという結果から超対称性モデルに制限を課しているが、その際、系統誤差も考慮に入れ、また、実データからの背景事象評価も考慮にいった上で、最小二乗法によるフィッティングで求めるという高度な解析を行って、できる限りの高い感度を出している。ハドロニック崩壊の利点を生かし、超対称性モデルの多くのパラメータ領域をスキャンして棄却しており、たとえば暗黒物質残存量から有力とされる Z/h-funnel 領域では LHC 実験以外の他実験と比べても最も強い制限を与えるという重要な結果を得ている。

岡崎氏は、本論文で行われたデータ解析すべてを行った。すなわち、探索解析、超対称性モデルへの制限つけはもとより、上記「ボソントギング」も自ら最適化、効率測定し、完成させている。ATLAS実験という3000人規模の非常に大きな国際共同研究内でもきわめて中心的な寄与をした。本申請論文は、この難易度の高い解析のすべてにわたり余すところなく記述されている。また、本論文自体には記載はないが、岡崎氏は ATLAS 実験において初段ミュオントリガーシステムの電子回路開発を行い、本論文で使用したデータ取得運転時にはトリガーシステムのエキスパートとして、実際に自らデータ取得に大きく寄与している。

よって、本論文は博士(理学)の学位論文として価値あるものと認める。また、令和3年12月6日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行い、岡崎氏は数多くの質問に対して的確に返答した。その結果、合格と認めた。

要旨公表可能日： 令和 4 年 1 月 1 日以降