

# Search for heavy neutral leptons using displaced vertices in pp collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV with the ATLAS detector

調, 翔平

<https://doi.org/10.15017/2348698>

---

出版情報 : 九州大学, 2019, 博士 (理学), 課程博士  
バージョン :  
権利関係 :

氏 名 : 調 翔平

論 文 名 : Search for heavy neutral leptons using displaced vertices in  $pp$  collisions at  $\sqrt{s} = 13$  TeV with the ATLAS detector

(重心系エネルギー13 TeVにおける陽子・陽子衝突でのビーム衝突点から離れた崩壊点を用いた重い中性レプトンの探索)

区 分 : 甲

### 論 文 内 容 の 要 旨

ニュートリノ振動の発見により、ニュートリノがゼロでない質量を持つことがわかっている。現在、素粒子の振る舞いとそれらの相互作用を最も正確に記述する素粒子の標準模型は、その質量の起源を明らかにしない。そこで、ニュートリノの質量を説明する標準模型の拡張理論が様々提案されているが、その中でも有力なのが標準模型に右巻きニュートリノをフレーバの数と同じ3つだけ加えた物理模型である。このように標準模型に新しく導入された右巻きニュートリノは、ステライルニュートリノ、重い中性レプトン(Heavy Neutral Lepton, HNL)とも呼称される。この模型では、シーソー機構によりニュートリノの質量に説明を与える他に、導入された HNLのうち、最も軽いものは暗黒物質の候補となる。また、HNLの質量が電弱スケールよりも小さい場合には、宇宙のバリオン非対称性を説明する。標準模型の抱える問題のほとんどを一挙に解決するこの魅力的な理論は、電子陽電子コライダーLEPでのDELPHI実験により1990年代に検証されている。そこでは50 GeV以下のHNLに対して、標準模型のニュートリノとHNLの結合の強さ $|U_{\mu N}|^2$ が $10^{-5}$ 以下であるという制限を与えており、この制限はそれから20年以上更新されていない。このHNLに対し、さらに高感度での探索を行い、その存在を検証することは非常に重要である。

本研究でターゲットとする質量である数 GeV~数十 GeVのHNLは、Zボソンまたは $W^\pm$ ボソンを介して生成される。2015年から運転を再開した大型ハドロンコライダー(Large Hadron Collider, LHC)では重心系エネルギー13 TeVで陽子・陽子衝突を行っており、 $30 \text{ fb}^{-1}$ のデータあたり約 $10^9$ 個の $W^\pm$ ボソンを含む。この豊富な $W^\pm$ 生成環境を用いることで高感度でのHNLの探索を可能にする。本研究では、ATLAS検出器により2016年に収集した積分ルミノシティ $32.9 \text{ fb}^{-1}$ の陽子衝突データを用いてHNLの探索を行った。

HNLは標準模型の粒子との結合が弱いため、比較的長い寿命を持ち、ATLAS検出器内のビーム衝突点から離れたところで崩壊する。ATLASの標準的な飛跡再構成はビーム衝突点由来の飛跡を想定しているため、比較的長寿命なHNLの崩壊点由来の飛跡は再構成されない。本研究では、ビーム衝突点から離れた崩壊点由来の飛跡に対し、特別な再構成法を適用することで探索を可能にした。

ATLAS検出器で再構成されるHNLの終状態は、Wボソン由来の荷電レプトン1つとHNLの崩壊由来のビーム衝突点から離れた崩壊点(Displaced Vertex, DV)を作る2つの荷電レプトンである。解析をより簡素で扱いやすいものにするため、本研究ではWボソン由来の荷電レプトンがミューオンであり、DVを構成する2つの荷電レプトンはミューオン2つの場合とミューオンと電子の場合

のみを用いた。W ボソン由来のミュオンは信号事象のイベントトリガーに用いた。本解析の特徴の一つに背景事象が少ないことが挙げられるが、これは標準模型の粒子の中に荷電レプトン対に崩壊し、DV を構成するものがないことに由来する。B ハドロンの崩壊から生成する  $J/\Psi$  及び、 $\Psi(2S)$  粒子は荷電レプトン対からなる DV を構成するが、DV の不変質量に対し、4 GeV 以上という制限を設けることで影響を完全に排除できることを、取得したデータを用いて明らかにした。ビーム衝突点付近を通過する宇宙線ミュオンは、反対電荷を持つミュオン対の崩壊点として再構成され本解析の背景事象となりうる。しかしながら、宇宙線ミュオンが作る DV は、元は一つのミュオン由来であるため、再構成された二つの飛跡は一直線に近い形となる。そのような特徴を記述できる適切な変数を定義し、それに制限を設けることで宇宙線ミュオン由来の背景事象を排除した。パイルアップ由来の荷電レプトンが偶然重なって作る DV や粒子と検出器中の物質とのハドロン相互作用によって生成される DV など、その他の背景事象については、取得したデータを用いて見積もった。その結果、信号領域に期待される背景事象数は 90% の信頼度で 2.3 イベント以下であった。実際に信号領域に観測されたイベント数は 0 イベントであった。

本研究の結果から HNL の質量が 5 GeV から 9 GeV の領域で、結合の強さ  $|U_{\mu N}|^2$  に対し、最高で約  $10^{-6}$  まで制限を与えた。また本研究により、10 GeV 以下の比較的小さい質量領域の崩壊点に対しても ATLAS 実験が感度を持つことを示した。