

(続紙 1)

京都大学	博士 (理学)	氏名	救仁郷 拓人
論文題目	Diboson resonance searches in the final state of the $l\nu qq$ with improved large-R jet uncertainties in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector		
<p>(論文内容の要旨)</p> <p>本論文は、世界最高エネルギーでの陽子-陽子衝突による高い質量共鳴状態探索の結果について報告している。</p> <p>2012年に欧州原子核機構(CERN)の大型ハドロン衝突型加速器(Large Hadron Collider, LHC)でヒッグス粒子が発見され、素粒子標準模型は素粒子とその相互作用を正しく記述していることが再認識された。しかし、天文学的な観測からその存在が確立している暗黒物質の説明ができないことなどの問題があることから、現在は標準模型を超えた新しい物理の発見が待望されている状況である。新物理の候補として多数のモデルが提唱されており、その中の大きな割合に共通して予言されているのが、弱ボソン対に崩壊する新粒子の存在である。このような粒子は、事象中の2つのボソンからなる系の不変質量分布を測定したときの共鳴として観測される。</p> <p>本論文では、LHCを用いた重心系エネルギーが 13 TeV での陽子-陽子衝突事象について、2015年から2016年にATLAS 検出器で得られた 36.1/fb の実験データを用いた弱ボソン対共鳴探索の結果について報告されている。救仁郷氏は、強い相互作用に由来する背景事象を抑えつつ、分岐比を高く保つために、片方の W ボソンにはレプトン崩壊 ($W \rightarrow l\nu$)、もう片方の W もしくは Z ボソンに対してはハドロン崩壊 ($W/Z \rightarrow qq$) を要求するチャンネルに着目した。大きな質量の新粒子が崩壊して生じる W もしくは Z ボソンは高い運動量を持っており、それらのハドロン崩壊から生じる2つのクォークは近接する。この場合は2つのクォークを別々のジェットとして再構成することが困難なため、1つの大半径ジェットとして再構成する必要があるが、このときの測定精度が研究を成功させる上での鍵となる。救仁郷氏は、大半径ジェットの4元運動量を精度良く較正するために、シミュレーションを用いた従来の手法に加えて、データを用いたエネルギー較正手法を開発した。これによって大半径ジェットのエネルギー測定に対する系統誤差をそれまでより 2-3% 削減した。この改善は2015年と2016年に取得したデータを用いた解析には適用出来なかったが、大半径ジェットのエネルギーを、データを用いて精度良く較正出来ることを世界で初めて示した。</p> <p>最終的な解析の結果、標準模型による背景事象からの有意な超過は見つからず、新粒子に対して生成断面積の上限値を求めている。例として、Heavy Vector Triplet (HVT) 模型における Z' に対して 2750 GeV (Model-A)以下の質量を、95% 信頼度において棄却した。また、論文の最終部分で、LHC Run-2 (2015-2018) の全データを用いた時にどれだけ感度を改善できるが議論されている。さらに、大半径ジェットに対する新しいエネルギー較正結果を適用した場合について、新粒子の発見感度が 2-10% 程度改善出来ると見積もられている。さらに、この手法は標準模型でのボソン散乱事象の精密測定に応用が可能であるなど、今後の新物理発見への道筋を示した非常に重要な研究であると言える。</p> <p>まとめると、本論文では、高い運動量を持った W や Z ボソンを精度良く捉える手法を開発し、その手法を適用することで感度の向上を達成し、世界最高感度での弱ボソン対共鳴状態の探索を行った結果について報告している。</p>			

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

本学位申請論文は、LHC-ATLAS実験における弱ボソン対共鳴探索の最新結果について発表している。素粒子標準模型はこれまでの実験結果をほぼ完璧に記述するが、いくつかの大きな問題がある。その1つが暗黒物質の起源を説明できないという事実である。そのため、超対称性などの標準模型を超える物理モデルが提案されてきたが、現在までの LHC における探索では、1 TeV 付近までに軽い超対称性クォークなどの新粒子を含む新物理の徴候は見つかっておらず、もはや次の物理のエネルギースケールがどこにあるのかわからない、というのが現状である。そこで鍵となるのが、弱ボソンの散乱事象の振幅を精密に測定し、標準模型での理論値との比較を行うことにより、新物理の徴候を発見する、という手法である。救仁郷氏の研究は、この点を最終目標に見据えた上で、まず現在得られたデータを用いて、新たに開発した解析手法を同じ終状態である弱ボソン対の共鳴探索という物理に焦点を当て、適用したものである。弱ボソン共鳴そのものも、スカラー、ボソン、グラビトンを含む様々な新物理のモデルから予言されており非常に物理的意義が高く、この研究が進むことで様々な理論に対して示唆が得られる、または制限がかけられることになる。

本論文で救仁郷氏は、まず上記のようなベンチマークとなる新物理のモデルについて詳細な解説を行い、解析の鍵となる共鳴状態の生成過程について明確に説明している。そして、LHC加速器とATLAS検出器を紹介し、そこで測定する電子、ミュオン、ジェットなどの物理オブジェクトについて丁寧に説明している。特にこの解析で重要となる大半径ジェットの再構成方法と、そのエネルギー較正については詳細に述べられており、救仁郷氏が導入した、複数のジェットを組み合わせる横方向運動量の比を取り、その測定値データとシミュレーションで比較することにより系統誤差が大きく軽減できることが示されている。これは今後の高エネルギー実験における大質量の新粒子を探索するにあたって常に有用となる研究であり、素粒子物理全体の進展に結びつく成果である。

残念ながら新物理の徴候を示す有意な結果は見つからなかったが、最終的に、それぞれのベンチマークとなる物理モデルにおけるスピンが 0, 1, 2 の共鳴状態に対して、生成断面積の上限値を求めることに成功しており、これまでの結果を大きく改善する結果となった。この際の非常に複雑な統計解析において、救仁郷氏はグループの代表として主導的な立場で研究を行い、その活躍によって物理結果が迅速に得られた。

本論文の最後に、LHC Run-2の全データを用いた時の感度の改善について議論されており、また救仁郷氏が開発した大半径ジェットに対する新しいエネルギー較正結果を適用した場合に新粒子の発見感度が改善できることが示されている。これは今後の物理測定の指針となる重要な結果であると言える。

以上のように、ATLAS実験という3000人規模の非常に大きな国際共同研究の成果による本論文の結果に対し、様々な新しい解析手法を確立した点において、救仁郷氏の貢献は非常に大きいと判断した。またこの結果は、上述のように素粒子物理学の今後の指針にも示唆を与える重要なものである。

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、平成31年1月15日に論文内容とそれに関連した事項について試問を行い、救仁郷氏は多くの質問にも的確に解答した。その結果、合格と認めた。

要旨公表可能日： 2019 年 4月 1日以降