

学位論文審査の要旨

学位申請者	藤本 みのり 理学専攻2019年度生		論文題目	Measurement of Vector Boson Scattering in semileptonic final states with the ATLAS detector using LHC Run-2 data
審査委員	主査:	曹 基哲 教授	インター ネット 公表	学位論文の全文公表の可否: <input checked="" type="checkbox"/> 否
	副査:	出口 哲生 教授		「否」の場合の理由
	副査:	河野 能知 准教授		<input type="checkbox"/> ア. 当該論文に立体形状による表現を含む
	審査委員:	左右田 稔 講師		<input type="checkbox"/> イ. 著作権や個人情報に係る制約がある
	審査委員:	寺師 弘二 准教授 (東京大学)		<input type="checkbox"/> ウ. 出版刊行されている、もしくは予定されている
学位名称	博士	理学		<input checked="" type="checkbox"/> エ. 学術ジャーナルへ掲載されている、もしくは予定されている
(英語名)	(Ph. D. in Physics)			<input type="checkbox"/> オ. 特許の申請がある、もしくは予定されている
				※本学学位規則に基づく学位論文全文の インターネット公表について

学位論文審査・内容の要旨

【学位論文審査の要旨】

本学位論文は、欧州原子核研究機構(CERN)で稼働中の大型ハドロン衝突型加速器(LHC)を利用した陽子・陽子衝突実験によってベクトル・ボソン散乱過程を調べたものである。ベクトル・ボソン(Zボソン及びWボソン)は素粒子の標準模型において、電弱相互作用を媒介する素粒子であり、ヒッグス場による電弱対称性の破れの結果としてそれらの間の相互作用が定まる。ベクトル・ボソン散乱過程の研究は電弱対称性の破れの起源を詳細に検証し、それに絡む新物理の兆候を探る上で重要な散乱過程である。申請者の藤本みのり氏はLHCにおける主要実験の一つであるATLAS実験に参加して、2015～2018年にかけてATLAS実験で取得された重心系エネルギー13 TeVにおける陽子・陽子散乱データ約139 fb⁻¹を解析した。藤本氏は2つのボソンのうち一方がレプトン対、もう一方がクォーク対に崩壊するモード(セミレプトニック・チャンネル)の測定を行った。このモードはフルレプトニック・チャンネルと比べてバックグラウンドが多く解析が困難である一方、より高統計であるため測定法を確立できれば精密測定へと繋がる重要なチャンネルである。

藤本氏は、信号事象の選別、信号事象とバックグラウンドの分離、シミュレーションによるデータのモデリングの検証、系統誤差を考慮したフィットによる信号強度および断面積の測定を行った。この解析の鍵であるバックグラウンドと信号事象の分離には機械学習(Recurrent neural network)を用いてバックグラウンドに対して数%しかない微小な信号の観測を可能にした。また、バックグラウンドの見積もりと補正の効果を詳細に検討しており、フィットによる信号強度の導出にも説得力がある。その結果、セミレプトニック・チャンネルにおけるベクトル・ボソン散乱を5.9シグマの有意性で観測した。さらに、その結果を基に次元8の演算子からなる有効ラグランジアンを仮定した場合の新物理による影響を評価し、これらの演算子に掛かる係数に対して制限を与えた。これらの結果はセミレプトニック・チャンネルにおけるベクトル・ボソン散乱を初めて統計的有意性をもって測定したもので、電弱相互作用の検証、電弱対称性の破れの起源の解明に寄与するものである。

2023年1月25日に開催された審査委員会において、藤本氏が博士論文の内容を詳しく説明し、申請者と審査委員による質疑応答を行った。それにより、学位論文として高い水準にあることに加え、大型の国際共同実験の中で本学位論文のデータ解析において申請者が独自の寄与を果たしていることが認められた。2023年2月10日に行われた最終試験では、申請者による口頭発表と研究内容に関する質疑応答を行った。その結果、藤本氏は当該研究分野に関する知識を十分もっているものと評価され、最終試験に合格したとの判断に至った。

以上により、本審査委員会は藤本みのり氏に博士(理学)、Ph. D. in Physicsの学位を授与することが適切であると判断する。

【学位論文内容の要旨】

本学位論文は、LHC-ATLAS実験における重心系エネルギー13 TeVにおける陽子・陽子散乱データ約139 fb⁻¹を用いて、ベクトル・ボソン散乱過程を調べたものである。学位論文は12章からなり、第1章のイントロダクションに続く第2章で素粒子物理全般、電弱対称性の破れとベクトル・ボソン散乱を測定することの意義を説明している。第3章と第4章ではATLAS実験の概要とATLAS測定器で得られたデータから粒子識別する方法を記述している。解析で使用する電子及びミューオン(レプトン)、ジェット、bジェットおよび運動量欠損の再構成方法が簡潔にまとめられている。

第5章から第11章までが、ベクトル散乱過程の測定に関して書かれた部分である。事象選別の方法は標準的なものであるが、第6章Event Selectionではベクトル・ボソン散乱の中に、4点ゲージ相互作用によるものと、中間状態にトップ・クォークを含むものがあることを指摘している。4点ゲージ相互作用を含むものを効率よく選別するために3本のジェットの不变質量を用いたカットが導入されている。また、機械学習の一つであるRecurrent neural network (RNN)を用いて、効率的に信号とバックグラウンドを分離するための分離変数を定義している。ベクトル・ボソン散乱の信号に対してバックグラウンドが約100倍もある中で、RNNによる分離変数の導入は信号の観測に決定的であると言える。第7章では主要なバックグラウンドであるZボソンと複数のジェットを伴う過程が支配的な領域を導入して、シミュレーションを補正する方法を説明している。第8章では系統誤差の要因を列挙し、第9章では信号強度をフィット・パラメータとして系統誤差を考慮したフィット・モデルを構築している。

第10章ではフィット・モデルをいくつかの分布に対して同時に適用することで、信号強度を求めている。フィットの妥当性を丁寧に検証しており、複雑な解析全体をよく理解していることが伺える。信号強度として0.98±0.22-0.20、さらに、3つのセミレプトニック・チャンネルを合わせた断面積として13.3±3.0-2.7 fbという結果を得ている。第11章では、測定結果を用いて有効場理論における次元8の演算子の係数に対する制限を与えており、第12章を結論としている。

本学位論文における結果は、セミレプトニック・チャンネルにおけるベクトル・ボソン散乱の観測を明確に示しており、初めての統計的有意性を持つ測定である。ベクトル・ボソン散乱の詳細な分析は、電弱相互作用の破れ及びヒッグス場の役割を解明する上で重要なチャンネルであり、本論文で有意な測定結果を得た意義は大きい。