

京都大学教育研究振興財団助成事業
成果報告書

2024年 1月 12日

公益財団法人京都大学教育研究振興財団

会長 藤 洋 作 様

所属部局・研究科 理学研究科

職名・学年 博士後期課程・2回生

氏 名 佐野 高嶺

助成の種類	令和5年度・在外研究助成			
研究課題名	LHC-ATLAS 実験における衝突点から離れた飛跡を用いたトリガーの検証と調整			
受入機関	欧州原子核研究機構 (CERN)			
渡航期間	2023年 10月 10日 ~ 2023年 12月 22日			
成果の概要	タイトルは「成果の概要／報告者名」として、A4版2000字程度・和文で作成し、添付して下さい。「成果の概要」以外に添付する資料 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> 有()			
会計報告	交付を受けた助成金額	684,000 円		
	使用した助成金額	684,000 円		
	返納すべき助成金額	0 円		
	助成金の使途内訳	費 目	金 額 (円)	
		渡航・滞在費	684,000	
当財団の助成について	(今回の助成に対する感想、今後の助成に望むこと等お書き下さい。助成事業の参考にさせていただきます。) この度は在外研究への多大なるご援助、心より御礼申し上げます。 貴財団のご支援なしには本研究は実現しませんでした。			

成果の概要 / 佐野高嶺

【研究の背景】

素粒子物理学の標準模型は、物質を構成するフェルミ粒子とそれらの相互作用を媒介するボーズ粒子の振る舞いを記述する。標準模型は最も成功した理論の一つとして知られ、非常に高精度で実験値を再現する。しかし、ヒッグス粒子の質量に不自然な補正が必要になる階層性問題や暗黒物質を記述できないなどの問題が依然として残っている。超対称性理論は標準模型をフェルミ粒子とボーズ粒子に対して対称的な形で書き直すことでこれらの問題を解決し、標準模型を拡張する有力な理論として注目されている。標準模型を超えて素粒子の振る舞いをより深く理解するためには、超対称性理論の実験的検証が重要である。

超対称性理論が成立する場合、超対称性粒子と呼ばれる新たな素粒子の存在が予想される。超対称性粒子は典型的に数 TeV の非常に大きな質量を持つと予想されているが、TeV スケールの高エネルギー実験を可能にする唯一の施設が CERN の保有する大型ハドロン衝突器(Large Hadron Collider, LHC)である。標準模型を超えた物理を理解するためには、LHC による実験的な検証が非常に重要である。

【研究の目的】

LHC では非常に高頻度で大量の粒子が生成されるため、その全てを記録することは難しい。そのため「トリガー」と呼ばれるシステムを用いて興味のある事象を抽出して記録する。

超対称性粒子と標準模型粒子との結合が小さい場合、超対称性粒子は準安定な状態となり一定の寿命を経た後に標準模型へと崩壊する。従来のトリガーはこのような長寿命の超対称性粒子の検出効率が低く、探索感度を狭める要因となっていた。本研究はトリガーを改良することで長寿命な超対称性粒子を高感度で探索し、従来では不可能だった質量領域で超対称性理論を検証することが目的である。

【在外研究の成果】

LHC を保有する CERN へ渡航し、LHC に併設された検出器でのトリガーの動作検証とトリガーの微調整を行った。また実際に観測したデータから超対称性粒子を再構成する解析手法の開発も併せて行った。

動作検証には標準模型内の長寿命粒子である K 中間子を用いた。あらかじめ LHC の衝突事象で生成される K 中間子をシミュレートし、本トリガーの応答を予測した。その後 LHC にて実際に生成した事象に対して本トリガーを使用して K 中間子を選別し、選別効率を予測値と比較した。この結果を元にシミュレーションと実測での性能間の補正量を算出し、トリガーを補正した。

このトリガーを用いて実際に事象を記録したとき、実際に記録される物は崩壊後の標準

模型粒子となる。そのため崩壊前の超対称性粒子の性質を測定するには記録された粒子から元の粒子を再構成する必要がある。本渡航では現地の研究者と議論を重ね、機械学習を用いて崩壊後の粒子から元の粒子を再構成する手法を開発した。この手法では特に transformer と呼ばれる深層学習の技術を応用することで、従来と比較して高精度での再構成を可能とした。

【今後の展望】

本渡航でトリガーのデータ取得環境下での性能評価・調整を行ったことにより、開発したトリガーによるデータ取得が可能となった。今後 LHC の運転にあわせて長期的に事象を記録することで、超対称性理論検証のための重要なデータを蓄積していく。

また並行して開発した手法により、従来よりも高精度での超対称性粒子の再構成が可能となった。これにより、観測したデータをより有効に解析し探索感度を向上させることが可能になった。

今後は実装したトリガーによるデータ取得を進めながら、再構成手法の実データでの検証を行い、蓄積されたデータを解析していく。