

令和元年6月12日現在

機関番号：13901

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K17692

研究課題名(和文)LHC,RHICでの陽子-陽子衝突を用いた陽子-パイ中間子相互作用の研究

研究課題名(英文)Study of proton-pion interactions using proton-proton collisions at LHC and RHIC

研究代表者

毛受 弘彰(Menjo, Hiroaki)

名古屋大学・宇宙地球環境研究所・助教

研究者番号：10447849

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文):本研究を進めるにあたり、スイスにある世界最大の粒子加速器LHCを用いたLHCfとATLASの2つの実験の共同データ解析体制を確立した。2つの実験グループ間の相互理解を進めるためにまずはシンプルな解析である最前方光子生成における回折事象の寄与の測定を行った。回折事象は、陽子-陽子衝突の内、約20%をしめており、衝突の中心領域での粒子生成が少ない。これを利用し、ATLAS検出器で粒子検出がない事象を選んでLHCf検出器の光子イベントを解析した。陽子-陽子衝突データを用いた陽子-パイ中間子衝突測定の解析は現在進行中であり、この結果も近いうちに公表できる予定である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、世界最大の粒子加速器LHCを用いてハドロン相互作用を研究し、宇宙線と大気との相互作用の理解を進めることによって宇宙線研究に貢献するものである。今回得られた回折事象の測定結果は、一部のハドロン相互作用モデルの改良にすでに使用されている。陽子-パイ中間子の相互作用は、現在あるハドロン相互作用モデル間で差が大きく、測定結果によってモデルの検証が進む。

研究成果の概要(英文): We have successfully formed the joint analysis group of two LHC experiments, LHCf and ATLAS, for this unique measurement of proton-pion interaction study using proton-proton collisions. To understanding each experiment before going to this measurement, a simpler analysis has been performed, which is for measurement of diffractive-collision contribution on the forward photon production. Diffractive collisions are one of the main processes of proton-proton collisions. In these events, few particle are produced in the central region of collisions. Selecting no charged particle detection in the ATLAS detector, we analyzed LHCf photon events. Analysis of proton-pion interaction measurement is on-going and we will publish the result soon.

研究分野：宇宙線物理学

キーワード：ハドロン相互作用 宇宙線空気シャワー

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

高エネルギー宇宙線の加速天体およびそこでの加速機構の解明のため、広大な有効面積をもった **Pierre Auger** 実験と **Telescope Array** 実験の2つの超高エネルギー宇宙線実験が現在観測を行っている。これらの実験では、高エネルギー宇宙線が地球大気と相互作用することによって生成される粒子シャワー（空気シャワー）を観測している。観測される空気シャワーから宇宙線の情報を精度良く再構成するためには、宇宙線と大気の相互作用を理解することが不可欠である。相互作用のなかでも、特にハドロン間（陽子-窒素原子核、 π 中間子-窒素原子核など）の高エネルギー相互作用に理解の進展が必要不可欠である。

世界最大の粒子加速器である **Large Hadron Collider (LHC)** が可動を開始して、高エネルギーの陽子-陽子衝突のデータが得られるようになり、ハドロン相互作用の理解が進化した。ハドロン相互作用を記述するモデルは **LHC** のデータを用いて改良されて、宇宙線空気シャワーの特徴量の予測精度があがった。しかし、改良後のモデル間でも予測値に違いがあり、その違いが空気シャワー観測の結果の解釈を難しくしている。

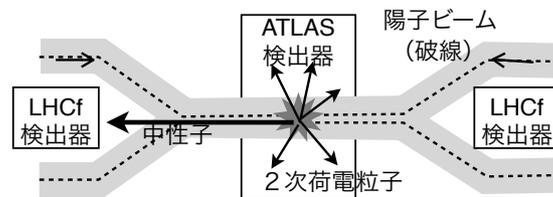
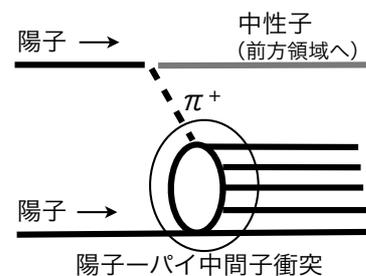
2. 研究の目的

本研究では、空気シャワー現象を用いた高エネルギー宇宙線の測定精度の向上のために、ハドロン相互作用を **LHC** 加速器を用いて研究する。本研究では、ハドロン相互作用モデル間でいまだに大きな差がある陽子と π 中間子の相互作用を **LHC** 加速器の陽子-陽子衝突データを用いて測定することである。本研究では次項で述べるように、**LHC** の陽子-陽子衝突の最前方領域を測定する **LHCf** 実験と中心領域を測定する **ATLAS** 実験の共同データ解析が必要である。**LHCf-ATLAS** の共同での物理解析はこれまでなく、2つの異なる実験グループの共同データ解析の体制を確立することも本研究の目的である。

3. 研究の方法

陽子-陽子衝突の1パイオン交換 (**One Pion Exchange: OPE**) プロセスを用いて陽子-パイ中間子衝突を測定する。陽子の周りは仮想パイ中間子が取り巻いていると考える事ができる。これをパイオン雲と呼ぶ。一部の陽子-陽子衝突では、右図のように陽子はこのパイオン雲中の π^+ と衝突する。このとき、陽子は中性子に変換されて前方領域に放射される。**OPE** 事象の頻度は全衝突の2%程度と小さいが、この前方中性子をタグすることによって **OPE** 事象を選択することができる。この **OPE** 事象を用いて陽子-パイ中間子測定が可能となる。

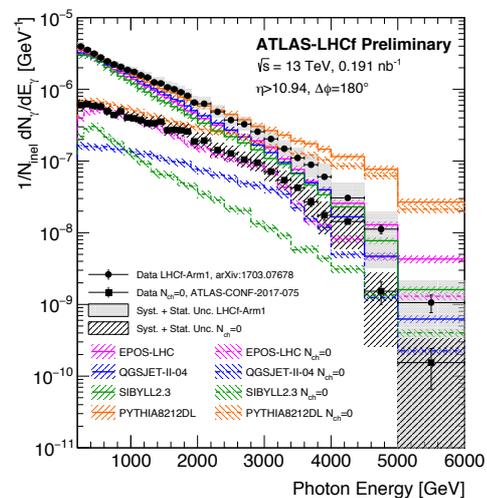
OPE 事象の測定には、最前方領域に生成される中性子と陽子- π 中間子衝突によって中心領域に生じる粒子を同時に測定することが必要となる(右図)。我々は2015年に **LHCf-ATLAS** 実験の陽子-陽子衝突の共同データ取得をすでに完了しており、このデータ解析を行った。



4. 研究成果

本研究では **LHCf-ATLAS** の2つの実験グループの共同データ解析が必要となる。本研究を目的として初めての両実験共同での物理データ解析グループを組織した。異なる2つの実験の共同作業には、お互いの検出器の理解、データ解析手法の違い、論文の内部レビュープロセスの違いなどさまざまな点を考慮しながら進める必要があり、予想以上の時間が必要であった。しかし、この3年間で共同データグループ内でお互いの理解が進み、現在は物理解析が進んでいる。**OPE** 事象を用いた陽子- π 中間子測定の解析は **LHCf** 検出器での中性子検出イベントを抽出し、**ATLAS** 検出器内の荷電粒子生成分布を測定した。しかし、現段階での中間結果は公表できない。この遅れは、共同データ解析グループを立ち上げた際に、まずはよりシンプルな物理解析を行って上記で述べたような相互理解を進める方針にしたために生じたものである。

右図は、**LHCf** 検出器で測定された光子エネルギースペクトルを **ATLAS** の内部飛跡検出器で粒子が検出されなかった事象を選別して測定したものである。上側の丸点が事象選別がなかった



場合で、下側が事象選別を行った場合である。この解析によって最前方光子生成における回折事象の寄与を明らかにした。この結果は、Conference Note(ATLAS-CONF-2017-075, <https://cds.cern.ch/record/2291387>)として公表済みであり、最終結果の論文が内部レビュー中である。本結果は、LHCf-ATLAS 共同データ解析の有意性を示すとともに、共同解析の体制ができていていることを示す重要な成果である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計 2 件)

1. Zhou, Qi-Dong and Itow, Yoshitaka and Menjo, Hiroaki and Sako, Takashi, “Monte Carlo study of particle production in diffractive proton–proton collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the very forward detector combined with central information”, Eur. Phys. J., C77 (2017), P. 212, 10.1140/epjc/s10052-017-4788-7, 査読あり
2. The ATLAS and LHCf collaborations, “Measurement of contributions of diffractive processes to forward photon spectra in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV”, ATLAS-CONF-2017-075 (2017), <https://cds.cern.ch/record/2291387>

〔学会発表〕 (計 13 件)

1. H. Menjo, “LHCf/RHICf: a zero degree calorimeter at LHC and RHIC”, International Workshop on Forward Physics and Forward Calorimeter Upgrade in ALICE, 2019/3/7–9, Tsukuba, Japan
2. H. Menjo, “High energy hadron physics at zero-degree”, The 4th KMI international Symposium, 2019/2/18–20, Nagoya, Japan
3. H. Menjo, “Recent results from the LHCf experiment”, UHECR2018, 2018/10/8–12, Paris, France,
4. Q. D. Zhou, “Study of Study of contributions of diffractive processes to forward neutral particle production with the ATLAS-LHCf detector”, 20th International Symposium on Very High Energy Cosmic Ray Interactions, 2018/5/21–25, Nagoya, Japan
5. T. Sako, “Recent results from LHCf/RHICf”, 20th International Symposium on Very High Energy Cosmic Ray Interactions, 2018/5/21–25, Nagoya, Japan
6. H. Menjo for the LHCf collaboration, “LHCf Status Report”, Large Hadron Collider Committee (LHCC) Open Session, CERN, Switzerland
7. 周 啓東、他 LHCf コラボレーション、ATLAS コラボレーション、“LHCf-ATLAS 連動解析：超前方光子生成における回折イベントの寄与の測定”、日本物理学会第 73 回年次大会、2018/3/22–25, 東京理科大学
8. Q. D. Zhou for the LHCf collaboration, “Study of forward particle production in $\sqrt{s}=13\text{TeV}$ proton-proton collisions with ATLAS-LHCf detectors”, 35th International Cosmic-ray Conference (ICRC2017), 2017/7/12–20, Busan, Korea.
9. Q. D. Zhou for the ATLAS and LHCf collaborations, “Contributions of diffractive to forward photon production at 13 TeV with the ATLAS-LHCf detectors”, Workshop on forward physics and high energy scattering at zero degree 2017 (HESZ2017), 2017/9/26–29, Nagoya, Japan
10. H. Menjo for the LHCf collaboration, “Status of the LHCf experiment”, 35th International Cosmic-ray Conference (ICRC2017), 2017/7/12–20, Busan, Korea.
11. Q. D. Zhou for the LHCf collaboration, “The LHCf experiment: the very forward neutral particle measurements at LHC”, The 17th conference on Elastic and Diffractive scattering (EDS Blois 2017), 2017/6/26–30, Blois, France.
12. 周 啓東、他、“13TeV 陽子–陽子衝突での超前方検出器による回折イベントのシミュレーション研究”、日本物理学会第 72 回年次大会、2017/3/17–20, 大阪大学
13. Qidong Zhou, et al., “Monte Carlo study of diffraction in proton-proton collisions at 13TeV with the very forward detector”, 2016 International Conference on Ultra-High Energy Cosmic Rays, 2016/10/11–14, Kyoto, Japan

〔図書〕 (計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

6. 研究組織

(1) 研究分担者

(2) 研究協力者

研究協力者氏名： 周 啓東, 大橋 健

ローマ字氏名： Quidong Zhou, Ken Ohashi, Leszek Adamczyk, Felix Riehn, Sergey Ostapchenko

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。