

## 2020 (令和二) 年度 共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：Knee 領域および最高エネルギー領域での宇宙線反応の実験的研究  
英文：Cosmic ray interactions in the knee and the highest energy regions

### 研究代表者

毛受弘彰 (名古屋大学)

### 参加研究者

伊藤 好孝、村木 綏、佐藤 健太、大橋 健 (名古屋大学)、  
笠原 克昌、(芝浦工大)、  
櫻井 信之 (徳島大学)、  
塚 隆志、佐川 宏行 (東大宇宙線研)

### 研究成果概要

本研究では、LHC および RHIC 加速器の最前方方向生成粒子を測定することによって、宇宙線と地球大気とのハドロン相互作用を理解することを目的とする LHCf 実験と RHICf 実験を推進する。これによって、宇宙線空気シャワーの観測結果から一次宇宙線情報推定の系統誤差を低減することができる。

LHCf 実験は、当初、2021 年度に LHC 加速器の 14TeV 陽子-陽子衝突の測定を予定していたが、コロナの影響により 2022 年度に延期になってしまった。この測定準備のために共同研究者がいるイタリア・INFN フィレンツェでのデータ収集システムのアップグレードや検出器の動作テストを実施する予定であったが、こちらも影響を避けられずスケジュールの大幅な変更を行なった。海外渡航ができない状況ではあるが、次期測定の準備を日本グループ、イタリアグループでそれぞれ進めている。このような状況にあるので、2020 年度は取得したデータ解析により注力し、LHCf 実験と RHICf 実験でそれぞれ物理成果を論文として発表してした。下記にはそれぞれの成果を簡潔に紹介する。

#### ・ LHCf 実験による 13TeV 陽子陽子衝突での中性子測定のアップデート

LHCf 実験では衝突の 0 度方向を含む最前方方向に生成された中性子を測定することができる。13TeV 陽子衝突のデータを用いた中性子測定のデータ解析を拡張し、以前の解析よりも広いフェーズスペースでの測定を実現した [1]。また、最前方領域に生成される中性子は、数 TeV のエネルギーを持っており、衝突で生成される粒子中で最も高いエネルギーをもった Leading particle となる。この Leading particle のエネルギーから 2 次粒子生成に使われるエネルギーの割合 (非弾性度:  $1-k_n$ ) を計

算することができ、非弾性度は宇宙線空気シャワーの発達にとって重要なパラメータである。測定した中性子のエネルギースペクトルから弾性度 ( $k_n$ ) の分布と非弾性度の平均値を求めた結果が図 1 である。分布の形状は各相互作用モデルの値とのち外が見られるが、平均値は  $2\sigma$  以内で一致していることがわかった。

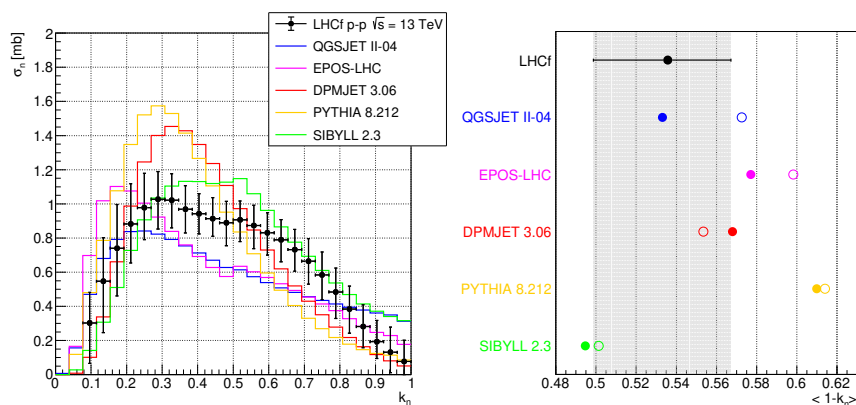


図 1：中性子測定結果から求めた弾性度分布と非弾性度の平均値 [1]。  
色線と点は各ハドロン相互作用モデルの値を示す。

#### ・RHICf 実験による $\pi^0$ 生成のスピンの非対称性測定

RHIC ではスピン偏極した陽子陽子の衝突を 2017 年に測定した。最前方に生成された  $\pi^0$  のスピン方向に対する左右非対称性を測定した結果、これまで考えられていたものよりも大きな非対称性を発見した[2]。  $\pi^0$  の非対称性はこれまで衝突の中心領域や前方方向では測定されていたが、0 度方向で  $<1\text{GeV}/c$  の小さい横軸運動量領域で測定されたのは初めてである。本測定結果は RHICf 実験の初の物理解析結果であり、宇宙線研究には直接関係するものではないがこの結果を通して粒子生成の理解が進呈することが期待される。

また、毎年開催している「空気シャワー観測による宇宙線の起源探索勉強会」を 3 月 25-26 日に開催した。2019 年度はコロナの影響で開催できなかったが、2020 年度は開催形式を ZOOM を用いたオンライン形式に変更して実施した[3]。主に本研究会用の旅費として採択していただいた研究費は使用する必要がなくなったため、返還した。

参考論文：

[1] LHCf Collaboration, JHEP 07 (2020) 016

[2] M. H. Kim, et al. PRL 124 (2020) 252501

[3] <https://indico.cern.ch/event/998011/>

整理番号 F30