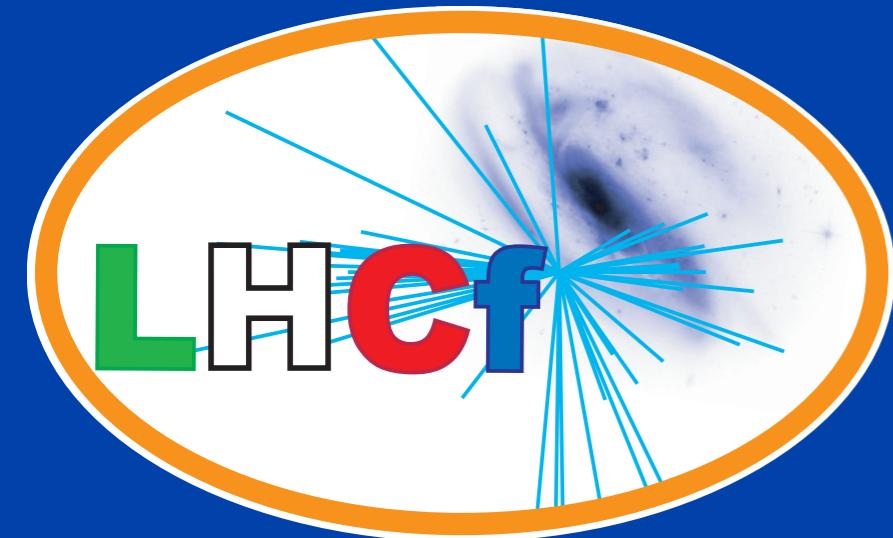


東京大学宇宙線研究所 共同利用研究

# 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



毛受弘彰 (名大ISEE)

# 本研究課題の内容

## ■ 研究目的

加速器実験を用いた宇宙線相互作用の理解を通して、ミューオン超過問題など空気シャワー観測結果とシミュレーション結果との不一致問題の解決を目指す。

## ■ 共同研究者 10名 (代表:毛受)

## ■ 査定額： 15万円(旅費)

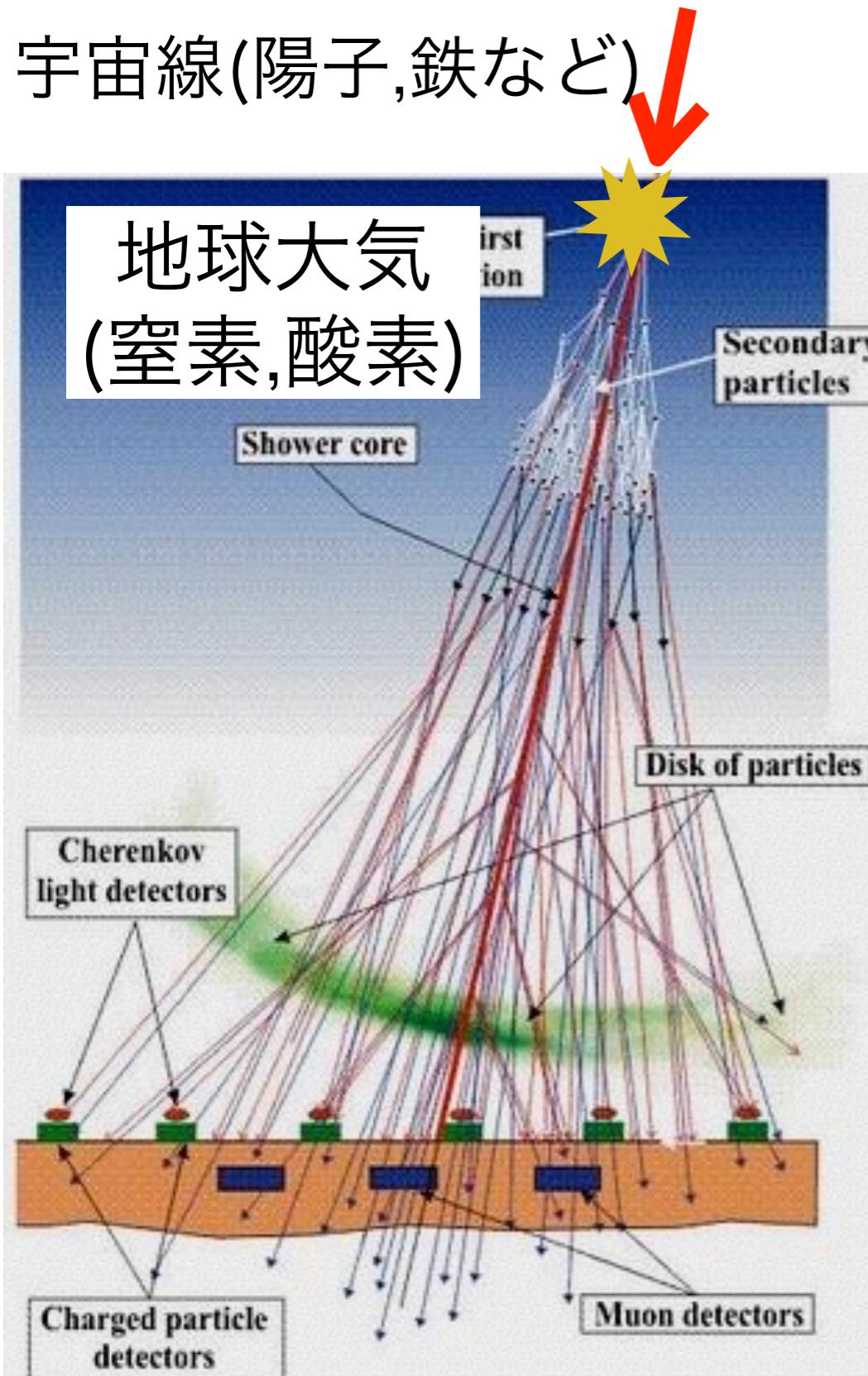
⇒毎年開催している勉強会の参加者旅費補助に使用予定。

## ■ 大型計算機利用

## ■ 本年度の成果

- データ解析の進展 (LHCf  $\pi^0$ ,中性子測定など)
- LHC Run3(2021-2023)期間中のLHCf測定の承認 (pp,(pO))
- 勉強会の開催 (3/23,24予定)

# 空気シャワーとハドロン相互作用



空気シャワーは、  
高エネルギー粒子(宇宙線)と大気原子核衝突  
2次生成粒子と大気原子核衝突  
またその2次粒子と、  
無数の電磁 + ハドロン相互作用によって形成

高エネルギー領域での理解が重要

現在のハドロン相互作用モデルの問題

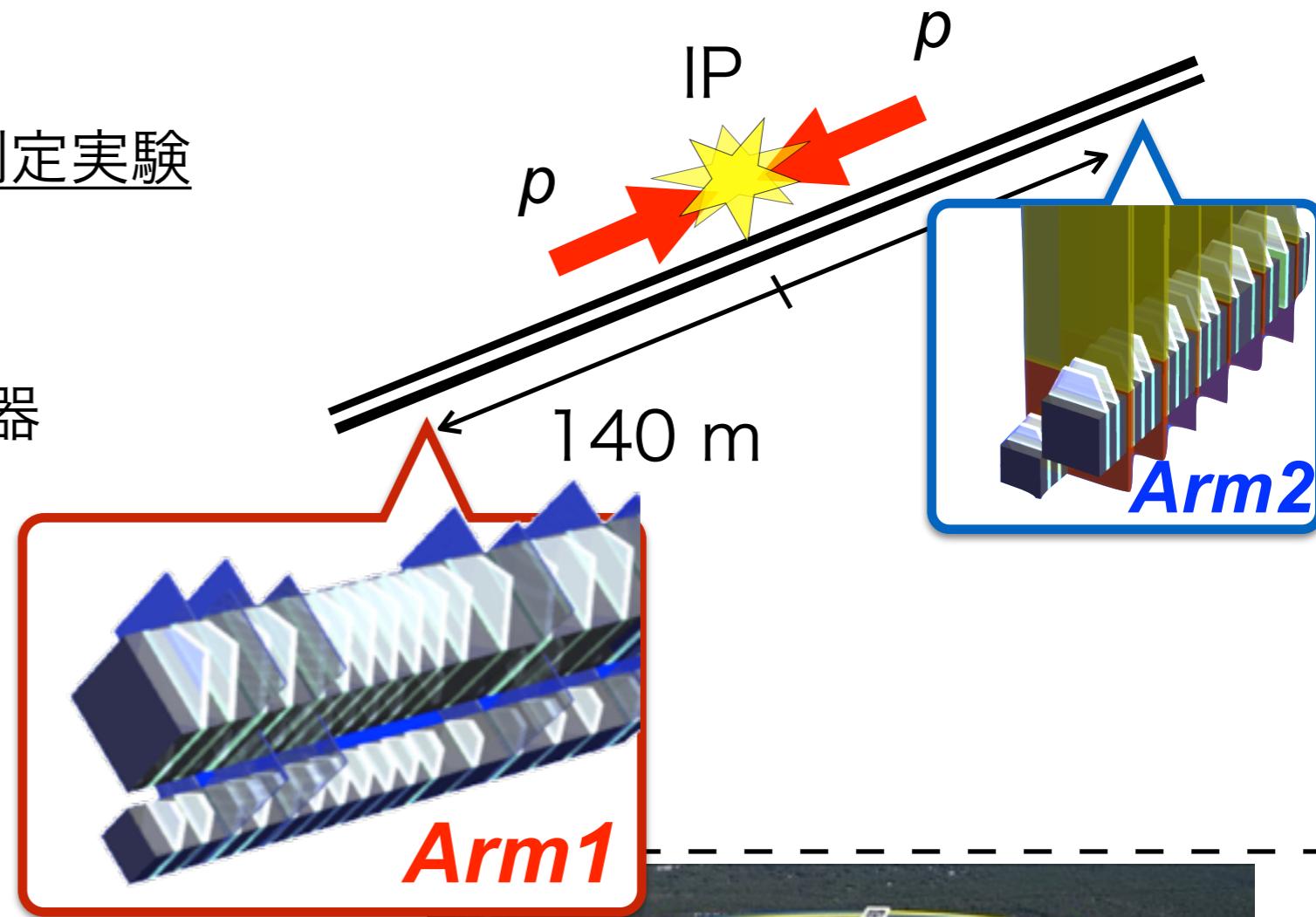
- ▶ 化学組成決定の不確定性  
モデル間の差 > 実験誤差
- ▶ ミューオン超過問題  
どのモデルも実験を再現できていない

加速器実験によって  
ハドロン相互作用の理解を進め、  
高エネルギー宇宙線観測の課題を解決

# LHCf/RHICf実験

## LHCf実験

- CERN-LHC加速器の最前方領域測定実験
- ATLAS衝突点の両側140mに検出器を設置 (Arm1、Arm2)
- サンプリングカロリーメータ検出器
  - ▶ タングステン(44 r.l.)
  - ▶ GSOシンチレータ 16層
  - ▶ 位置検出層 4層
    - Arm1: GSOバーXYホドスコープ
    - Arm2: シリコンストリップ



## RHICf実験

- BNL-RHIC加速器の最前方領域測定実験
- STAR実験衝突点の片側18mに LHCf-Arm1検出器を設置。
- 偏極陽子を用いており、スピノ物理の測定も実施。



# 測定と解析状況

## ■ 測定

**LHCf**

pp衝突,  $\sqrt{s} = 0.9, 2.76, 7, 13 \text{ TeV}$

**RHICf**

pPb衝突,  $\sqrt{s_{\text{NN}}} = 5, 8 \text{ TeV}$

pp衝突,  $\sqrt{s} = 0.51 \text{ TeV}$

宇宙線換算  
 $\sim 10^{17} \text{ eV}$   
 $\sim 10^{14} \text{ eV}$

## ■ 本年度の解析の進展

**LHCf**

- pp 13TeV  $\pi^0$ スペクトル
- pp 13TeV 中性子の再解析
- LHCf-ATLAS連動解析

Preliminary@ICRC

投稿論文準備中

解析進行中

**RHICf**

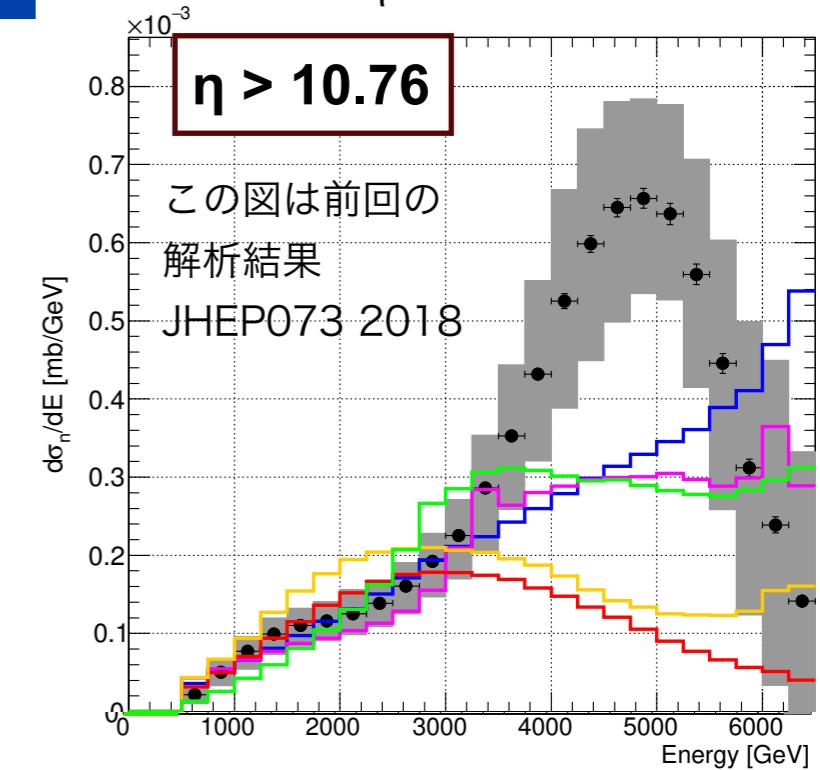
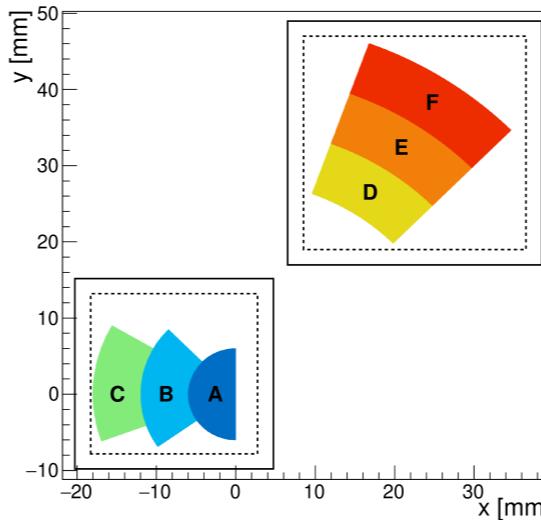
- 超前方生成  $\pi^0$ のスピノン非対称性

投稿論文準備中

# 解析結果クイックレビュー

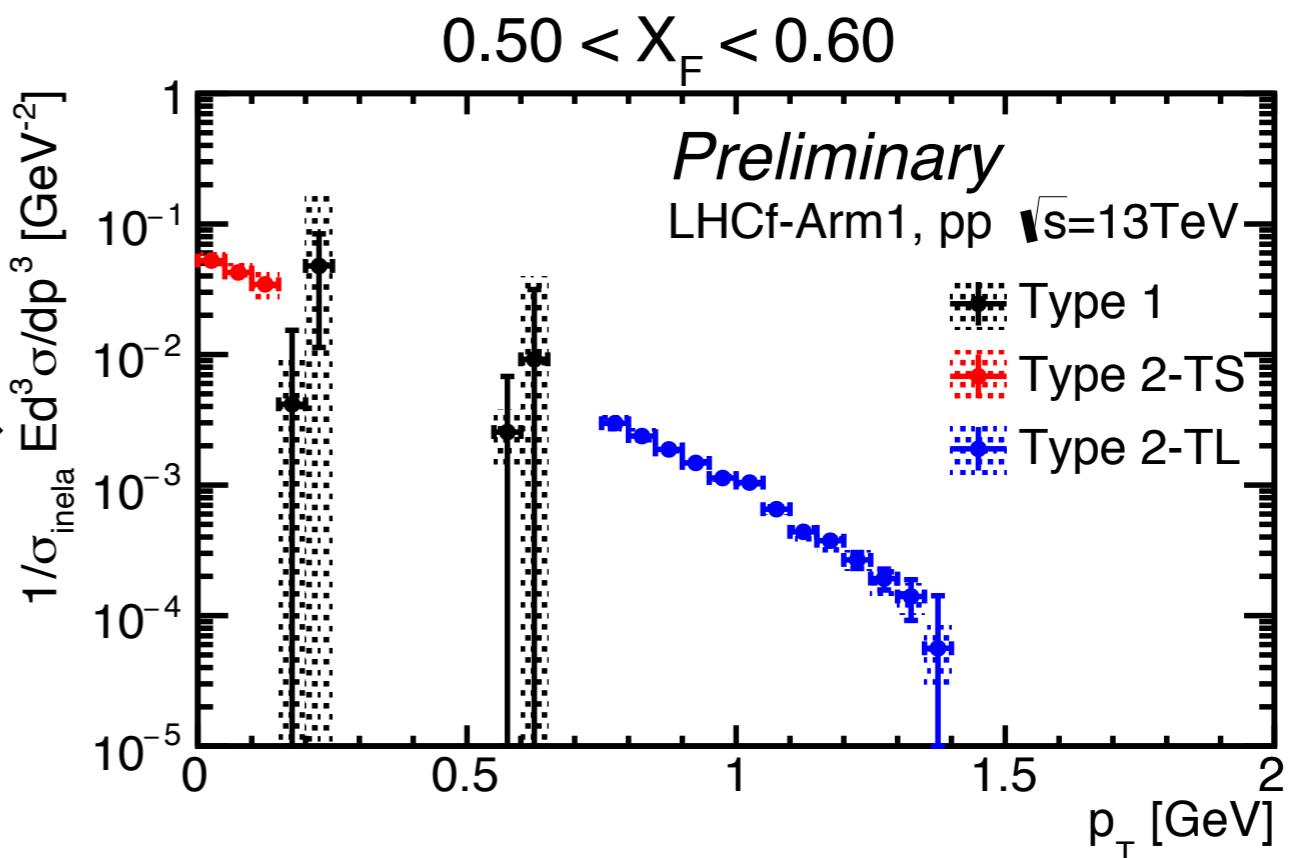
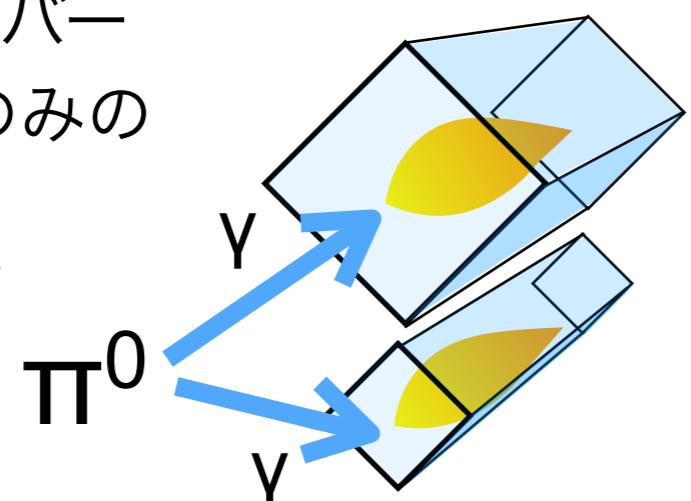
## 13TeV pp 中性子再解析

- ・ 解析領域( $\eta$ 範囲)の拡張
- ・ エネルギースペクトルに加えて  
エネルギー流量、非弾性度測定  
→投稿論文準備中



## 13TeV pp $\pi^0$ 解析

- ・ 3タイプのイベント解析で  
広い $p_T$ 領域をカバー
- ・ ICRCでArm1のみの  
結果を発表  
→Arm2を含んだ  
解析進行中



# LHC-Run3期間(2021-2023)の測定準備状況

- 現在長期メンテナンス中のLHCは2021年より再稼働。  
→LHCfグループも測定に参加
- 準備状況
  - 今年6月にLHCC(運営委員会)に、測定目的、測定条件、および準備計画をまとめたTechnical Reportを提出。 **承認**
  - 測定計画

pp衝突,  $\sqrt{s}=14\text{TeV}$  (or  $13\text{TeV}$ ) **2021**  
高統計  $\pi^0$ , ATLAS-RP, ZDCとの共同測定, レア粒子 ( $\eta, K^0$ )の測定  
陽子-酸素原子核衝突 **(2023)**  
宇宙線-大気衝突を再現する理想的測定条件。 原子核効果測定
  - 準備状況
    - 読み出しシステムの高速化 (読み出しレート >3倍)
    - 高エネルギー  $\pi^0$ , レア粒子用の新トリガーの導入

↳ 10倍イベント取得 (2015年pp測定に対して)

# 空気シャワー観測による 宇宙線の起源探索勉強会

- 例年、年度末に勉強会を開催。  
2017年度から共同利用研究「新しい宇宙線空気シャワーシミュレーションコード開発」との共同開催。
  - "去年度"は、3/25に開催。
    - 「宇宙線化学組成、ハドロン相互作用」をテーマとして9つの講演。
    - 約25名が参加。
  - 本年度は、3/23,24に開催。
    - 23日は若手セッション  
→若手間の交流と相互の研究理解
    - 24日はシニアセッション  
→「将来計画」がテーマ
- <https://indico.cern.ch/event/866163/>

去年度のプログラム

第三回 空気シャワー観測による宇宙線の起源探索勉強会

Monday 25 Mar 2019, 09:00 → 20:00 Asia/Tokyo  
6階大セミナー室(宇宙線研)

10:00 → 12:00 シニアセッション: 午前

10:00 SIBYLL 2.3c  
Speaker: felix riehn (LIP Lisbon)  
[sibyll\\_icrr\\_v...](#)

10:30 Recent result of Telescope Array Experiment, and the current status of TA x 4  
Speaker: Dr Yuichiro Tameda (Facility of Engineering, Kanagawa University)  
[20190325\\_t...](#)

11:00 Report on the UHECR2018 hadronic interaction WG results  
Speaker: Ryuji Takeishi (ICRR Univ. Tokyo)  
[Takeishi\\_ai...](#)

11:30 Results and prospects of LHCf/RHICf  
Speaker: Hiroaki Menjo (Nagoya University (JP))  
[20190325...](#)

12:00 → 13:00 ランチ ① 1h

13:00 → 16:00 シニアセッション: 午後

13:00 Measure the light-component spectrum of primary cosmic rays at the 'knee' energies with the Tibet YAC-II experiment  
Speaker: Yusaku Katayose (Yokohama National University (JP))  
[ASMC\\_190...](#)

13:30 Cosmic-ray Monte Carlo simulation studies in IACT experiments  
Speaker: Michiko Ohishi  
[ASMC\\_190...](#)

14:00 Shower Structure Analysis using Telescope Array data SD  
Speaker: Rosa Mayta Palacios (Osaka City University)  
[rmpLHCf...](#)

14:20 break ② 20m

14:40 Hadronic interaction and air shower development  
Speaker: Nobuyuki Sakurai  
[nsakuraiAS...](#)

15:10 Impact of diffractive collisions on air shower development  
Speaker: Ken Ohashi (Nagoya University (JP))  
[20190325...](#)

15:30 Discussion ③ 30m

# まとめ

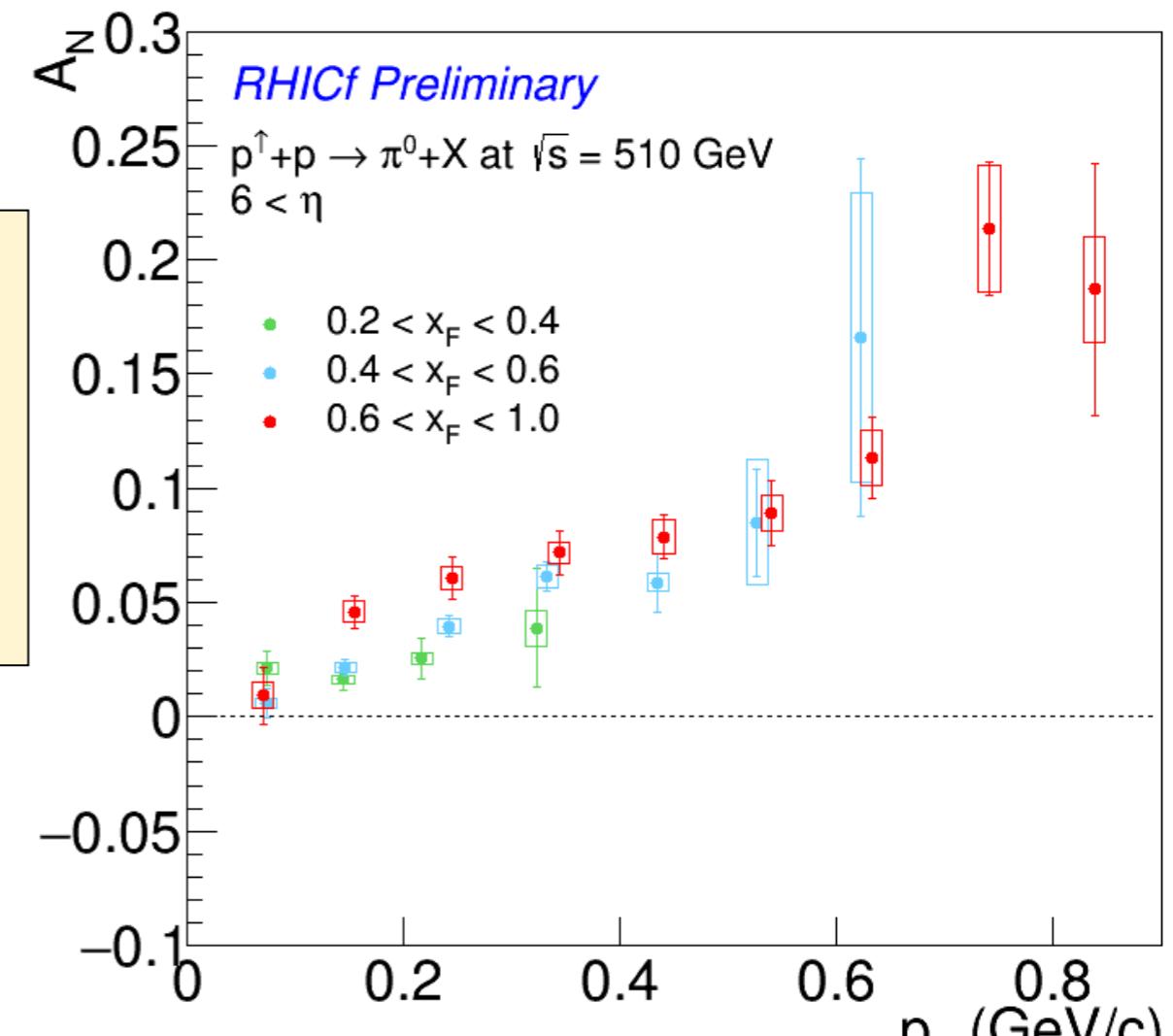
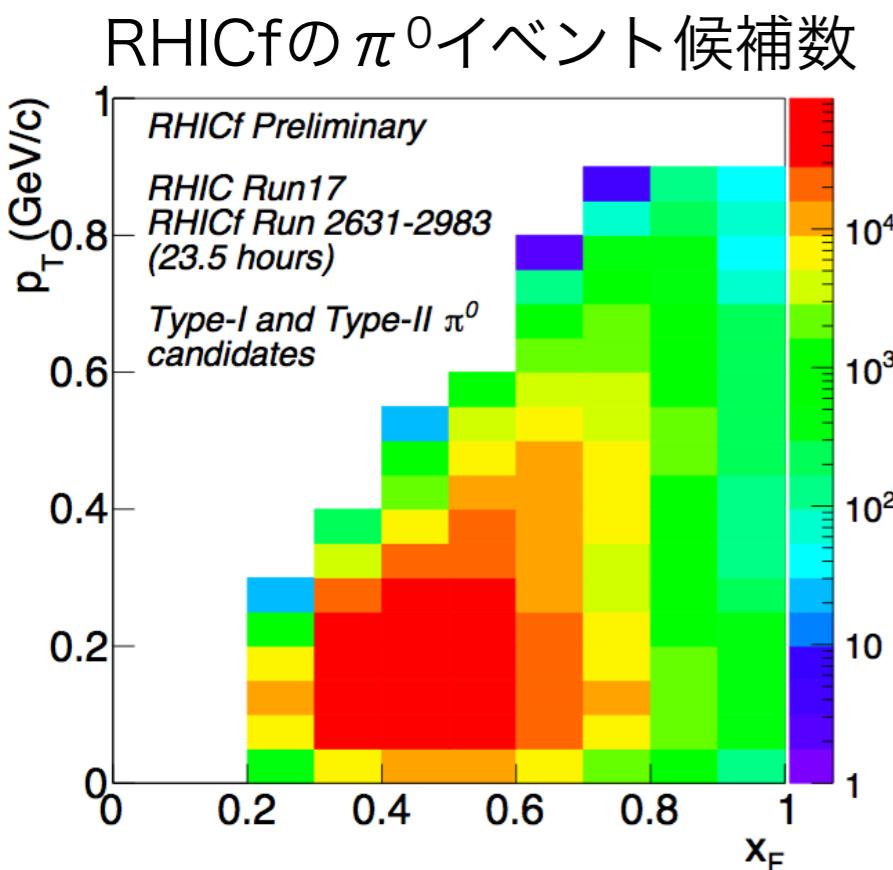
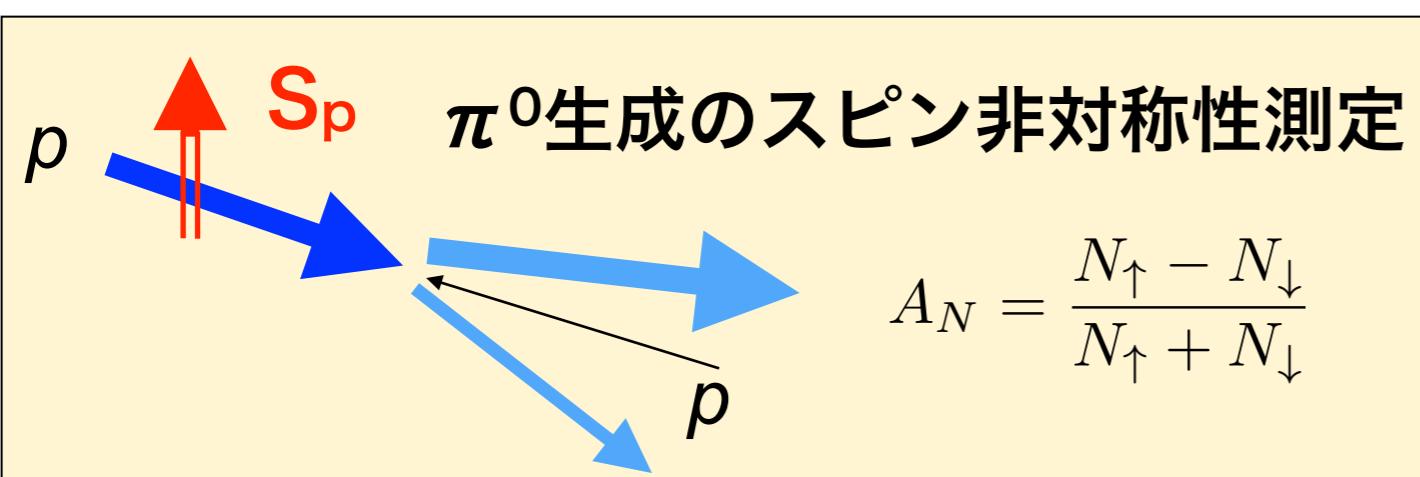
- LHCf/RHICf実験は、宇宙線相互作用理解のために、LHCとRHIC加速器で最前方領域測定実験を実施している。
- 本年度は、 $pp$  13TeVデータを中心に解析を実施し、中性子と  $\pi^0$ の結果を新たに得た。またRHICで取得した低エネルギー衝突のデータやATLAS-LHCf連動解析なども進行している。
- LHC-RUN3(2021-2023)期間に実施予定の $pp$  14(13)TeV, pO衝突測定に向けた準備を進めている。
- 勉強会を毎年年度末に開催。  
共同利用研究費はこの旅費に使用している。

# Backup

# RHICf: $\pi^0$ 生成のスピン非対称性測定

RHICf = LHCf メンバー

+ スピン物理研究者 (理研、他)



✓ 横運動量に比例して増加する大きな非対称性を発見

投稿論文準備中

# 測定と解析状況のまとめ

Run	$E_{\text{lab}}$ (eV)	Photon	Neutron	$\pi^0$
p-p $\sqrt{s}=0.9\text{TeV}$ (2009/2010)	$4.3 \times 10^{14}$	PLB 715, 298 (2012)		-
p-p $\sqrt{s}=2.76\text{TeV}$ (2013)	$4.1 \times 10^{15}$			PRC 86, 065209 (2014)
p-p $\sqrt{s}=7\text{TeV}$ (2010)	$2.6 \times 10^{16}$	PLB 703, 128 (2011)	PLB 750 360 (2015)	PRD 86, 092001 (2012)
p-p $\sqrt{s}=13\text{TeV}$ (2015)	$9.0 \times 10^{16}$	PLB 780, 233 (2018)	JHEP 073 (2018)	進行中
p-Pb $\sqrt{s_{\text{NN}}}=5\text{TeV}$ (2013,2016)	$1.4 \times 10^{16}$			PRC 86, 065209 (2014)
p-Pb $\sqrt{s_{\text{NN}}}=8\text{TeV}$ (2016)	$3.6 \times 10^{16}$	Preliminary		
RHICf p-p $\sqrt{s}=510\text{GeV}$ (2017)	$1.4 \times 10^{14}$		進行中	スピン非対称性 Preliminary

さまざまな衝突エネルギーでの測定  
陽子-鉛衝突による原子核効果測定

→ 宇宙線相互作用を広く検証

# LHCf:中性子結果@13TeV陽子衝突

## 中性子測定の動機

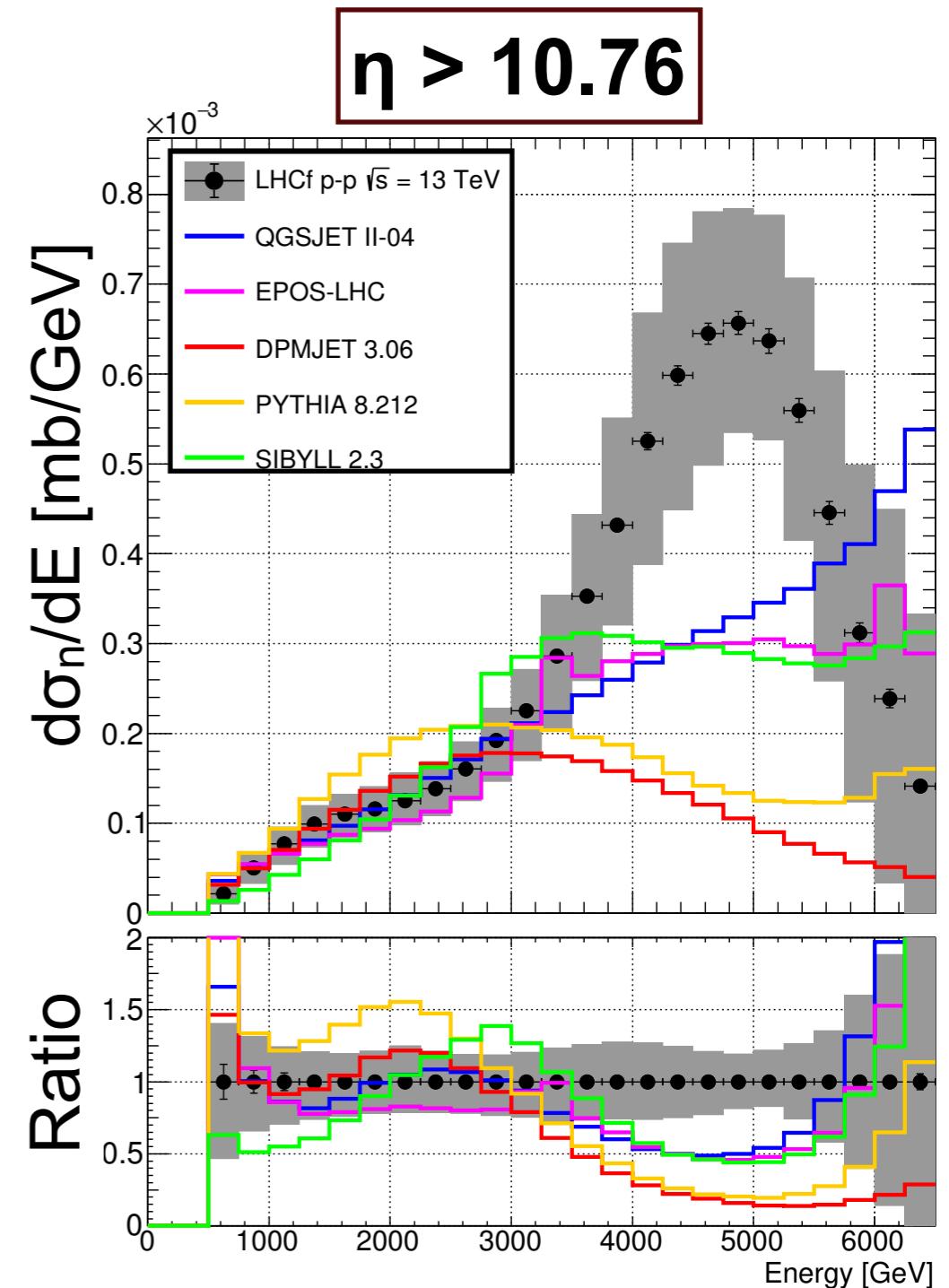
- リーディングバリオンの検出による非弾性度の測定
- 7TeV測定結果で、測定結果とモデル間で大きな差があった。

## 中性子解析

- エネルギー分解能 40%
- シャワー発達形状を用いた粒子種判別

## 結果

- ✓ ピーク構造を持つスペクトル  
↔低エネルギー実験(@ISR, RHIC)と一致  
One-Pion-Exchangeによる構造か
- ✓ 実験データとモデル間に大きな差  
↔モデル内には $\pi$ 交換の寄与が考慮されていない



JHEP (2018) 073