

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

LHC/RHIC加速器を用いたハドロン相互作用研究を通して、高エネルギー宇宙線の課題解決に貢献すること

- 共同研究者

名大: 伊藤好孝、村木綏、上野真奈、佐藤健太、大橋健

早稲田大: 笠原克昌、(鈴木拓也)

徳島大: 櫻井信之

宇宙線研: 佐川宏行、埴隆志

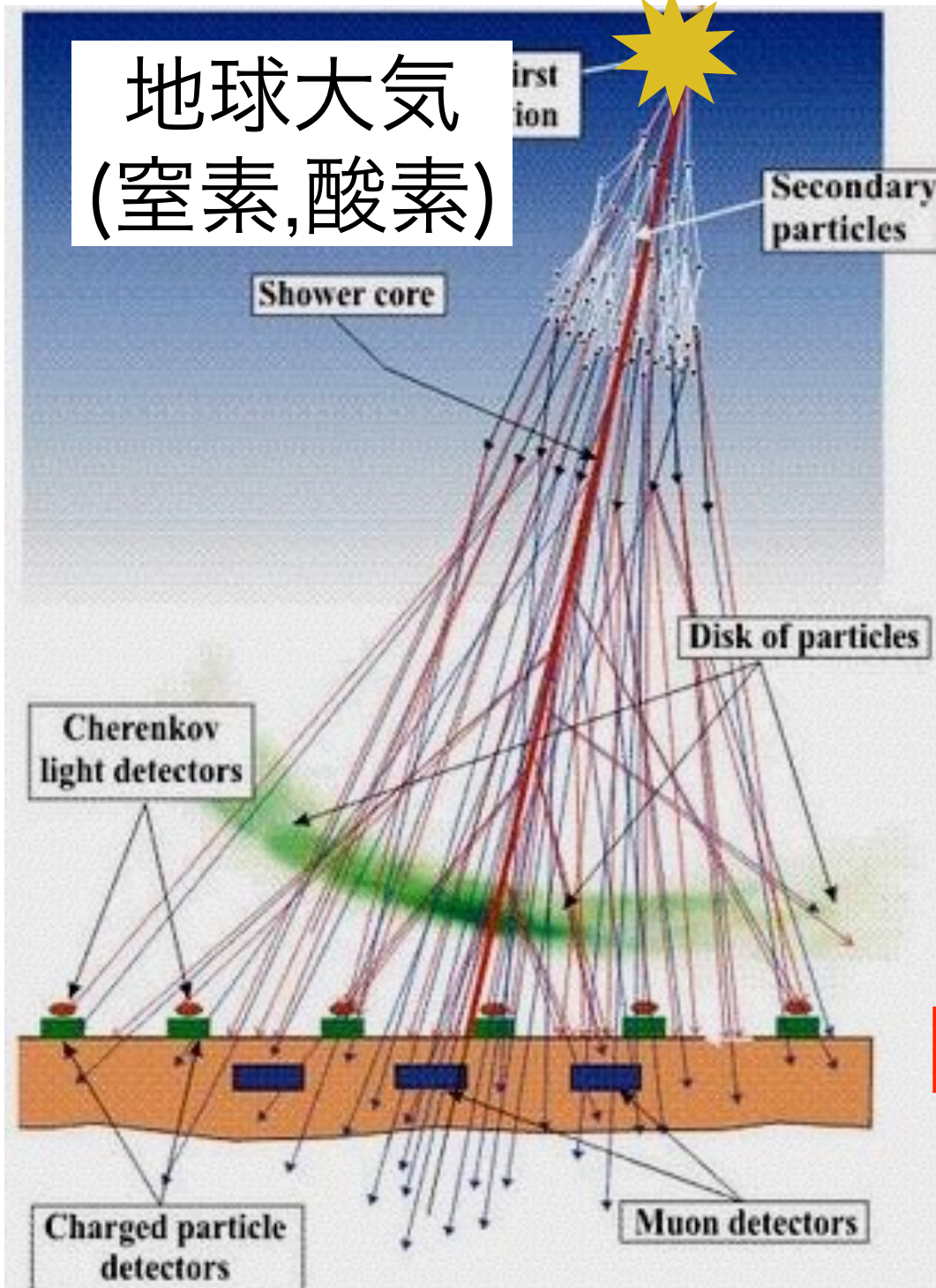
- 査定額: 15万円(旅費)

→ 3月開催予定のLHCf-TA共同勉強会の旅費に使用予定

- 大型計算機利用

# 空気シャワーとハドロン相互作用

宇宙線(陽子,鉄など)



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、

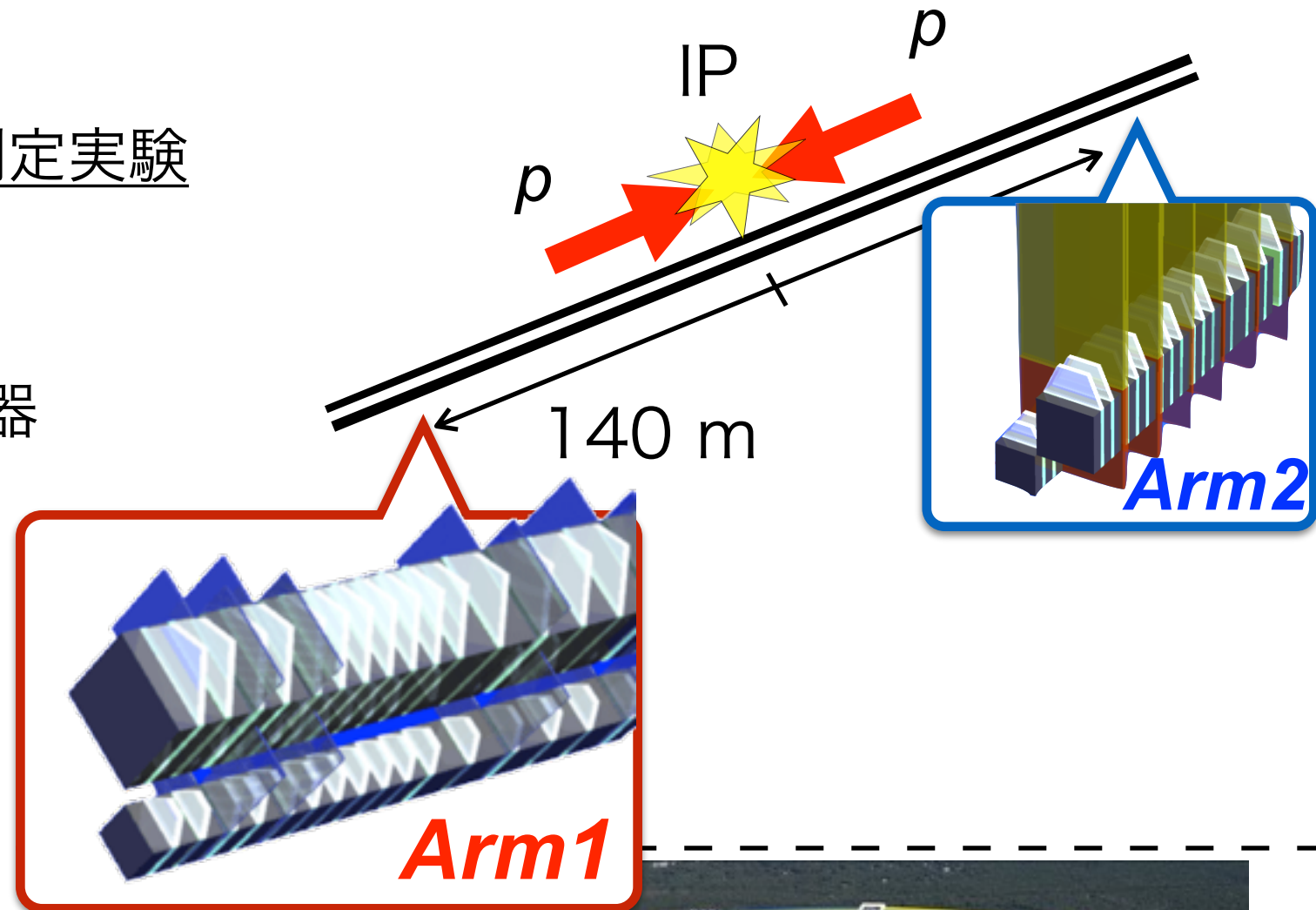
高エネルギー宇宙線観測の課題を解決



# 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、スピン物理の測定も実施。



# 測定と解析状況のまとめ

Run	E <sub>lab</sub> (eV)	Photon	Neutron	π <sup>0</sup>	
p-p √s=0.9TeV (2009/2010)	4.3x10 <sup>14</sup>	PLB 715, 298 (2012)		-	
p-p √s=2.76TeV (2013)	4.1x10 <sup>15</sup>			PRC 86, 065209 (2014)	PRD 94 032007 (2016)
p-p √s=7TeV (2010)	2.6x10 <sup>16</sup>	PLB 703, 128 (2011)	PLB 750 360 (2015)	PRD 86, 092001 (2012)	
p-p √s=13TeV (2015)	9.0x10 <sup>16</sup>	PLB 780, 233 (2018)	JHEP 073 (2018)	進行中	
p-Pb √s <sub>NN</sub> =5TeV (2013,2016)	1.4x10 <sup>16</sup>			PRC 86, 065209 (2014)	
p-Pb √s <sub>NN</sub> =8TeV (2016)	3.6x10 <sup>16</sup>	Preliminary			
RHICf p-p √s=510GeV (2017)	1.4x10 <sup>14</sup>	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

# 平成30年度の活動

## ■ データ解析の進展

LHCf

- 13TeV陽子-陽子衝突における中性子測定結果を論文発表。
- 13TeV陽子-陽子衝突の $\pi^0$ 解析が進行中。

RHICf

- 510GeV陽子-陽子衝突の前方 $\pi^0$ 生成のスピン非対称性測定のPreliminary結果発表。

LHCf+  
ATLAS

- 最前方光子生成におけるDiffractive衝突の寄与の測定。論文投稿に向けて準備中。

## ■ LHC：陽子-酸素衝突測定に向けた検討

- シミュレーションを用いた物理ケースの具体化
- 読み出しシステムの改良に向けたR&Dを開始。

# LHCf:中性子結果@13TeV陽子衝突

## 中性子測定の動機

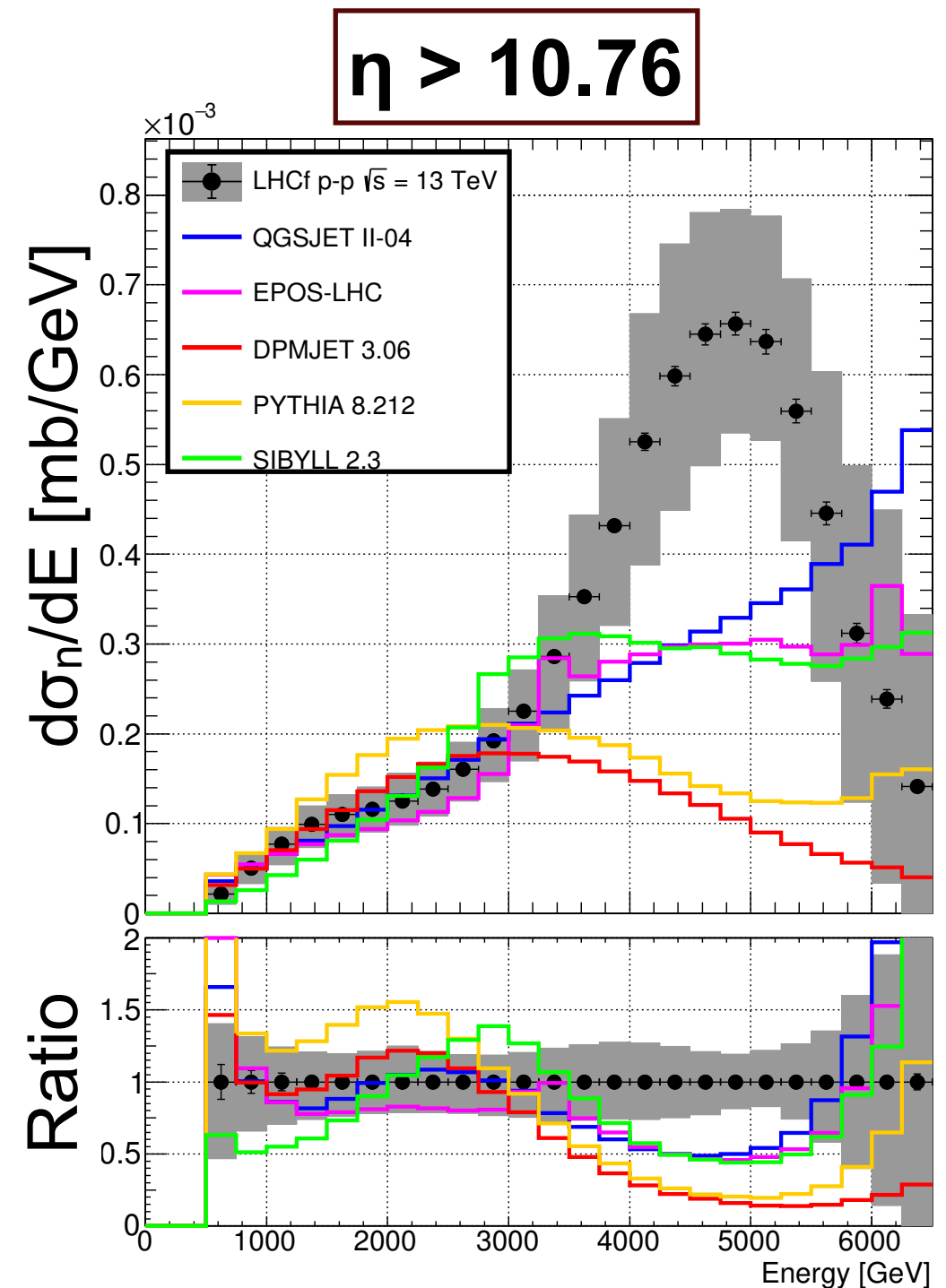
- リーディングバリオンの検出による非弾性度の測定
- 7TeV測定結果で、測定結果とモデル間で大きな差があった。

## 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



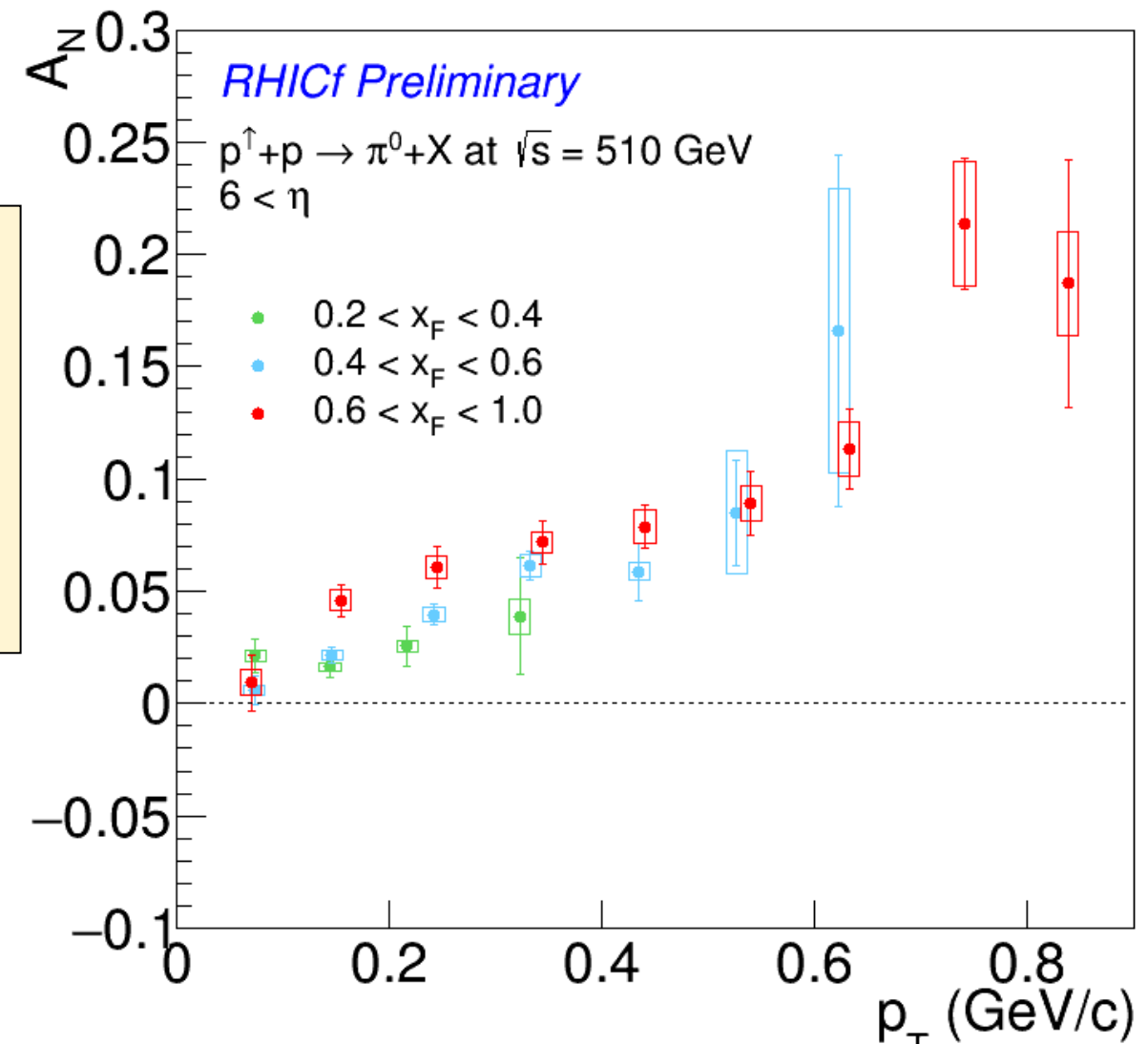
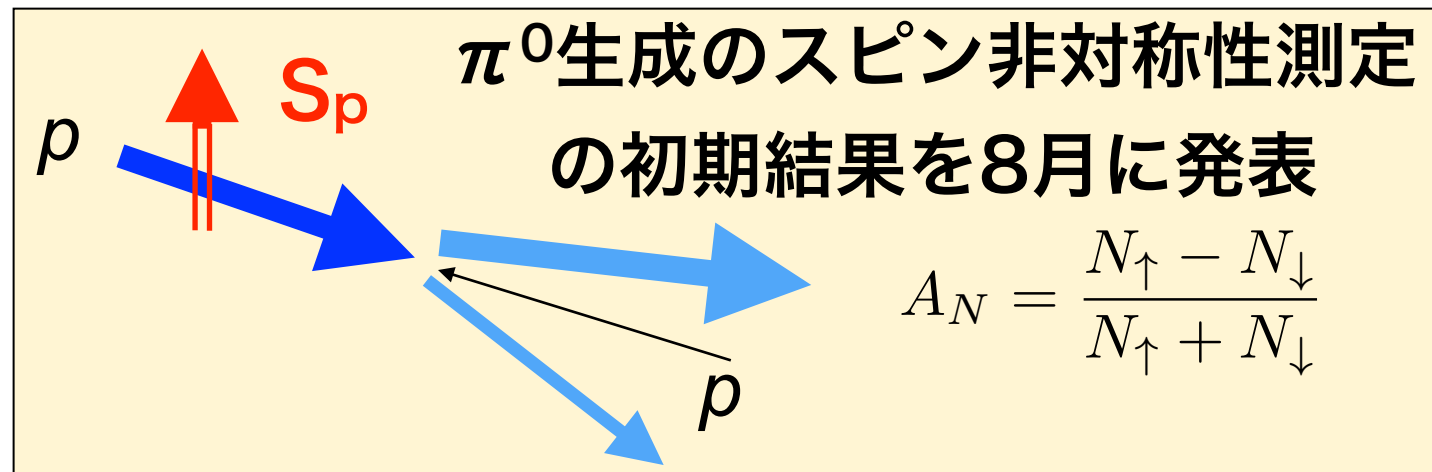
JHEP (2018) 073



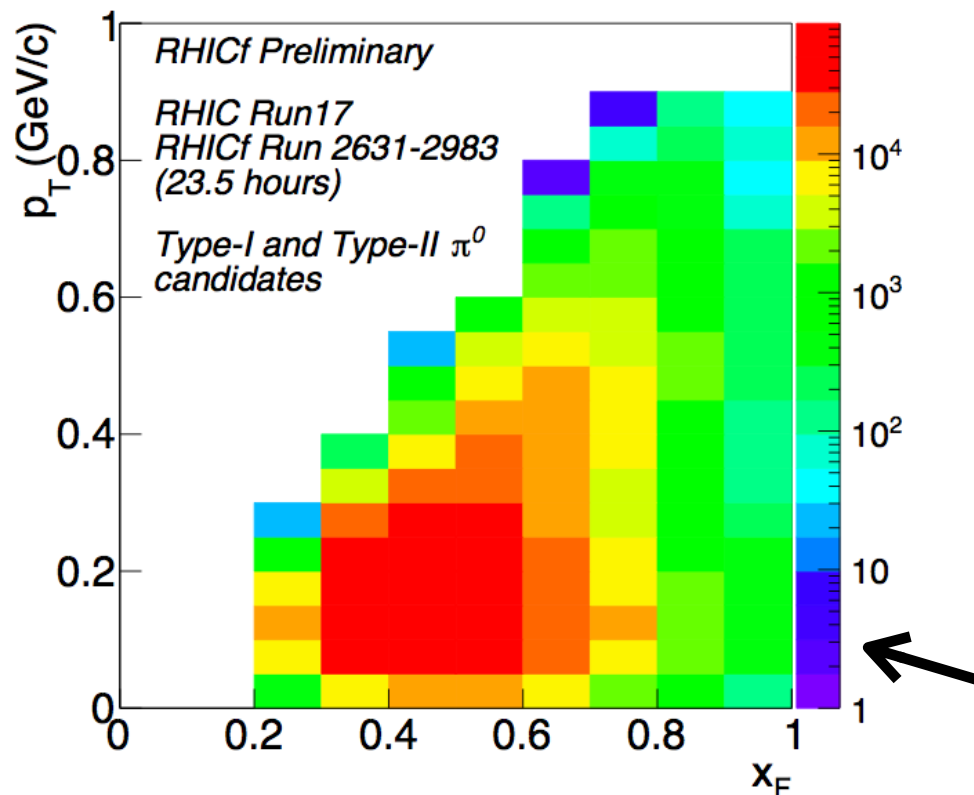
# RHICf: $\pi^0$ 生成のスピンの非対称性測定

RHICf = LHCf メンバー

+ スピン物理研究者 (理研、他)



RHICfの $\pi^0$ イベント候補数



- ✓ 横運動量に比例して増加する大きな非対称性を発見。  
→ 論文投稿に向けて、解析の最終チェックが進行中
- ✓ 生成断面積測定も今後進めていく。

2017年の測定では高エネルギー $\pi^0$ 検出用トリガーを新規導入したことにより、高エネルギー領域まで十分な統計が取得できている。



# LHC 陽子-酸素衝突測定に向けて

## ”LHCで理想の宇宙線相互作用測定”

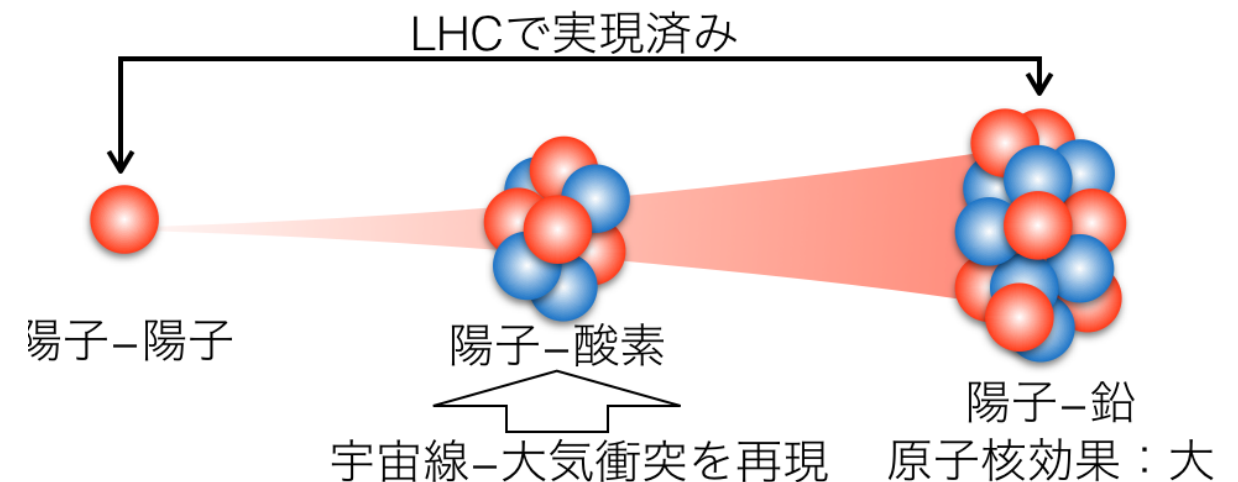
- ・ 軽原子核での原子核効果を測定

軽原子核 = [陽子衝突の重ね合わせ] + [原子核効果]

鉛は質量数が多い過ぎて、原子核効果が大きすぎる

- ・ 軽原子核衝突は、LHC加速器でも技術的には実現可能

春にLHCから各実験に年内の酸素-酸素衝突実施に向けての意見聴取→だが本年度は見送りに



- ▶ **軽原子核衝突に向けた機運は高まっている。**  
**2年間の運転停止期間後のLHC-RUN3で実現を！！**

2015 2016 2017 2018 2019 2020 2021 2022 2023 2024

RUN2

RUN3

### 現在の活動

- ・ 陽子-酸素衝突測定のPhysics Caseをシミュレーションスタディによって具体化
- ・ LHC加速器の各関係者との議論を加速
- ・ データ収集システムの改良に向けたR&Dを開始。(安定性と読み出し速度の向上)

# LHCf-TA勉強会

- 毎年、年度末に合同の勉強会を開催。  
テーマを毎回少しずつ変えながら継続している。  
本年度も3月に開催予定。
- 去年度に実施した勉強会 (2018/2/26-27@ICRR)  
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」と合同で実施  
範囲を拡大し、広く宇宙線空気シャワーについて議論

Second Air Shower Observation Cosmic Ray Origin Exploration Study Meeting

26 Feb 2018, 10:30 → 27 Feb 2018, 17:30 Asia/Tokyo

宇宙線研6階大セミナー室

Description 本勉強会は宇宙線研共同利用「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」と「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」の一環として実施します。両共同利用ともに共同研究で、研究集会ではないため参加者は関係者に限定します。その分、自由に議論ができることを期待します。勉強会は二日間開催しますが、二日目は学生・若手を中心に進めます。シニアの方は初日中心にご参加ください。(二日目を温かく見守ってくださっても結構です。)

昨年度の勉強会の内容は[ここから見れます](#)

\*下記プログラムは発表希望いただいた内容を順次埋めているだけです。時間、タイトルは希望に応じて今後調整します。

Registration Participants Register

Participants Daisuke Ikeda Eiji Kido Harufumi Tsuchiya Hiroaki Menjo Hiroyuki Sagawa katsuki kasahara Kazumasa KAWATA Ken Ohashi Kenta Sato Mana Ueno Masaki Fukushima Masaru Suzuki Masahito Yamamoto Michiko Ohishi Nanto Sakaki Nobuaki Sakurai Qidong Zhou Dima Mavris Palencia

MONDAY, 26 FEBRUARY

10:30 → 10:35 趣旨説明 Speaker: Takashi Sako (University of Tokyo (JP))

空気シャワー勉強会 空気シャワー勉強会

2日間のうち  
1日は若手セッション  
学生・若手が中心  
学生間で各実験の  
相互理解と交流

# 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。
- 平成30年度は、これまでに得られたデータ解析を進展させた。13TeV陽子衝突の中性子解析結果や最前方 $\pi^0$ 生成のスピン非対称性の結果などを発表。
- LHC-RUN3(2021-2023)での、陽子-酸素原子核衝突測定の実現に向けて準備を進めている
- 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。