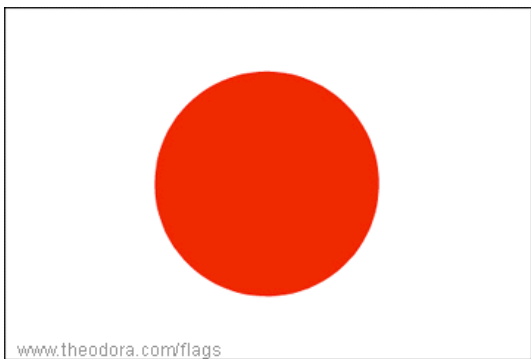


GRAPES-3実験とMC

中部大学 大嶋晃敏

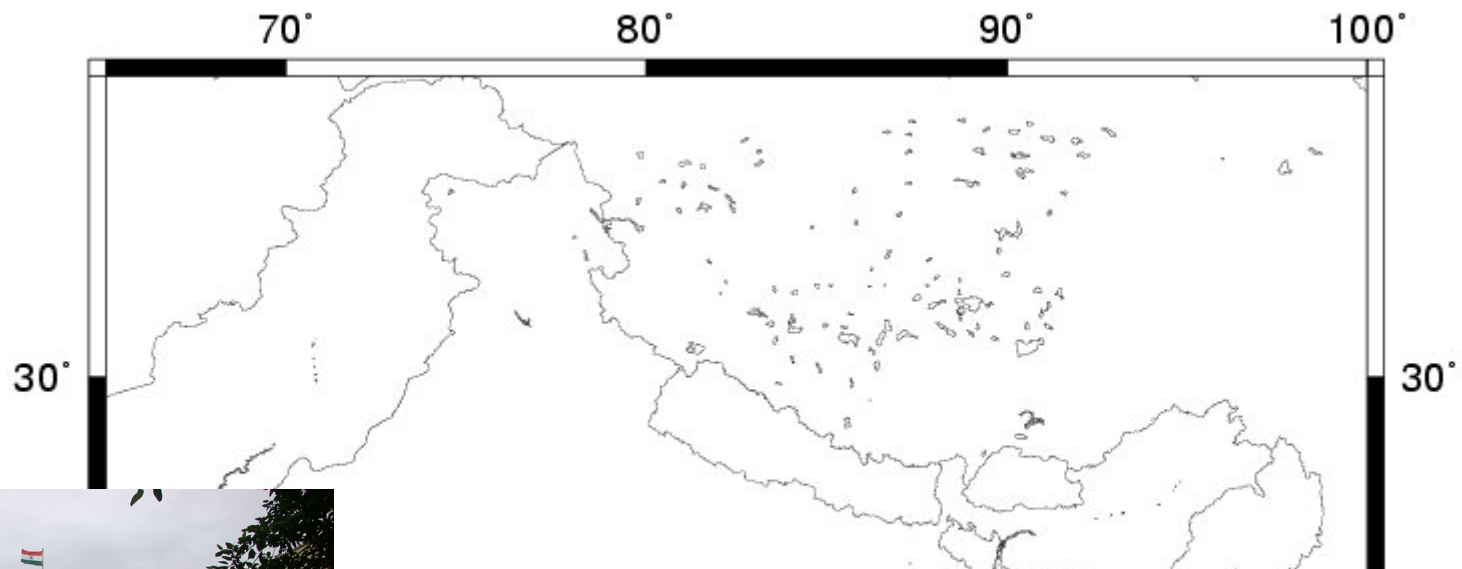


GRAPES-3 collaboration



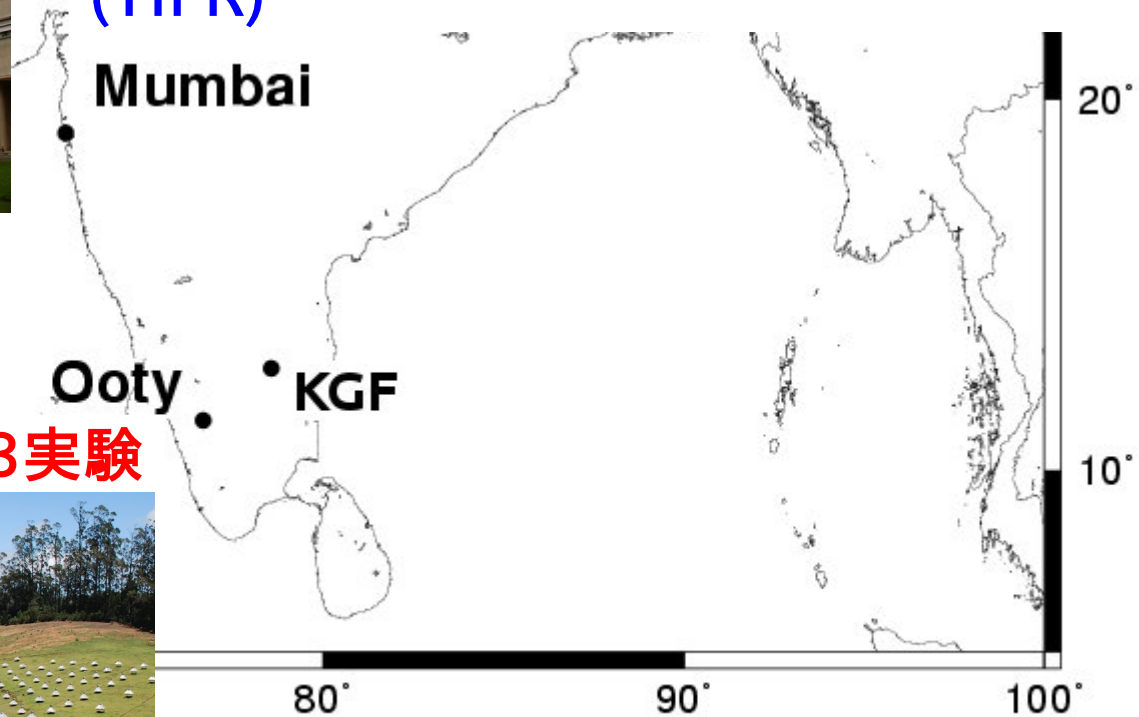
S.K. Gupta, H.M. Antia, S.R. Dugad, B. Hariharan, I. Mazumdar, P.K. Mohanty, P.K. Nayak, P. Jagadeesan, A. Jain, S.D. Morris, B.S. Rao, Y. Hayashi, S. Kawakami, S. Ogio, H. Kojima, R. Koul, V.K. Dhar, K. Venugopal, S. Das, S.K. Ghosh, S. Raha, P. Joarder, P. Subramanian, P. Jain, T. Nakamura, K. Tanaka, A. Ohsima, S. Shibata, S. Ahmad, Badruddin, A. Bhadra, R.K. Dey, S.K. Sarkar, C.S. Garde

1. Tata Institute of Fundamental Research, Mumbai, India
2. Osaka City University, Osaka, **Japan**
3. Aichi Institute of Technology, Toyota, **Japan**
4. Bhabha Atomic Research Centre, Mumbai, India
5. J.C. Bose Institute, Kolkata, India
6. Indian Institute of Science and Engineering Research, Pune, India
7. Indian Institute of Technology, Kanpur, India
8. Kochi University, Kochi, **Japan**
9. Hiroshima City University, Hiroshima, **Japan**
10. Chubu University, Kasugai, **Japan**
11. Aligarh Muslim University, Aligarh, India
12. North Bengal University, Siliguri, India
13. Vishwakarma Institute of Information Technology, Pune, India



TIFR: Mumbai

Tata Institute of Fundamental Research (TIFR)



GRAPES-3実験



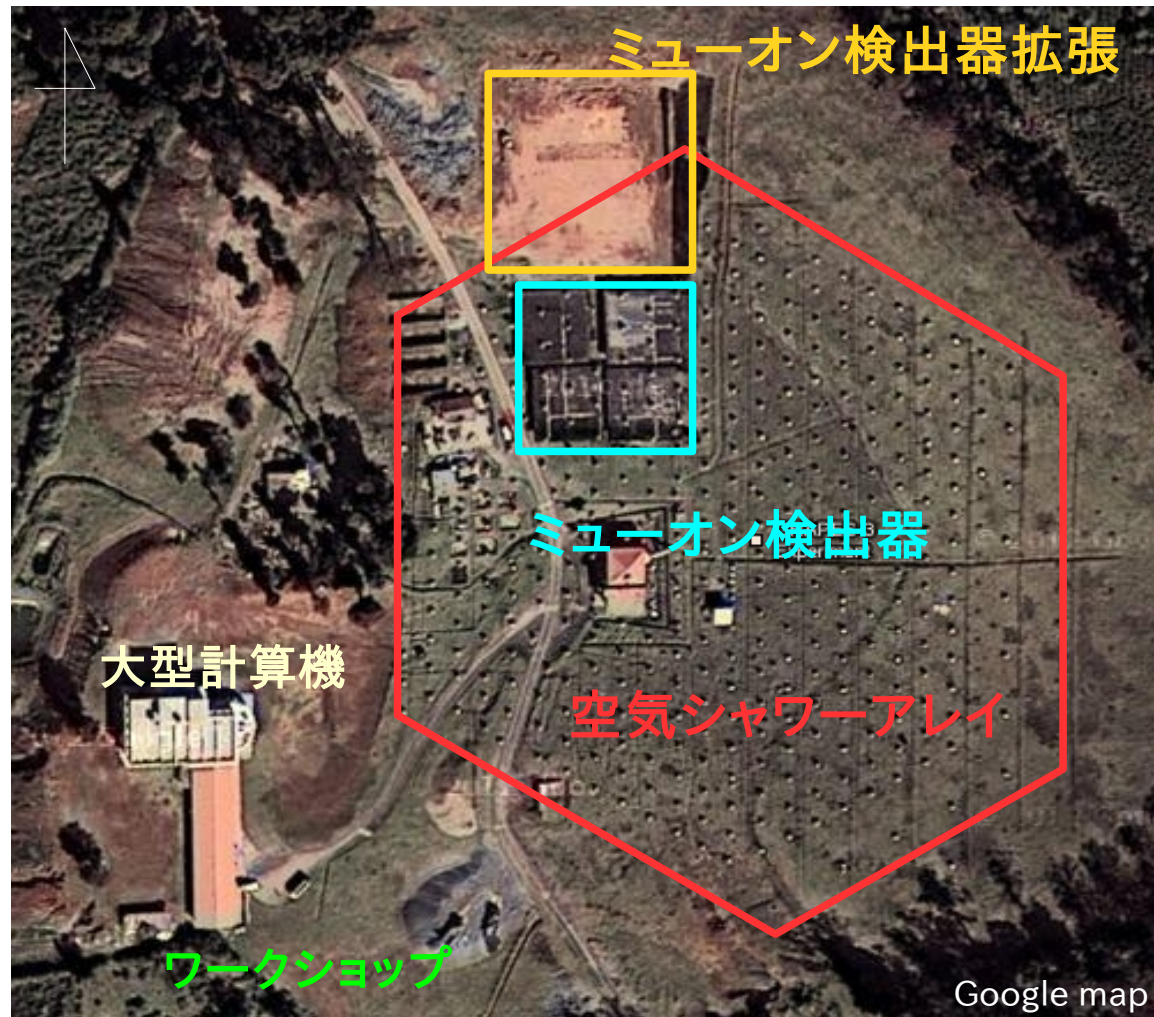
Tamil Nadu

GRAPES-3実験

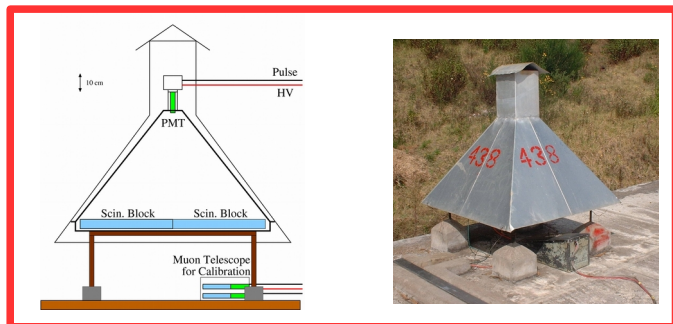


インド・タミルナド州、Udagamandaram (Ooty)、
標高2200m、東経76.7°、北緯11.4°

GRAPES-3実験(2014年現在)



- 空気シャワーアレイ
 - 1台の面積: 1 m^2
 - 台数: 350台
 - 8 m 間隔
- ミューオン検出器
 - 面積: 35 m^2 (モジュール)
 - 台数: 16 モジュール
- その他観測機器
 - 電場計: 4 機
 - 雲モニター: 1 機
- ワークショップ
- 大型計算機



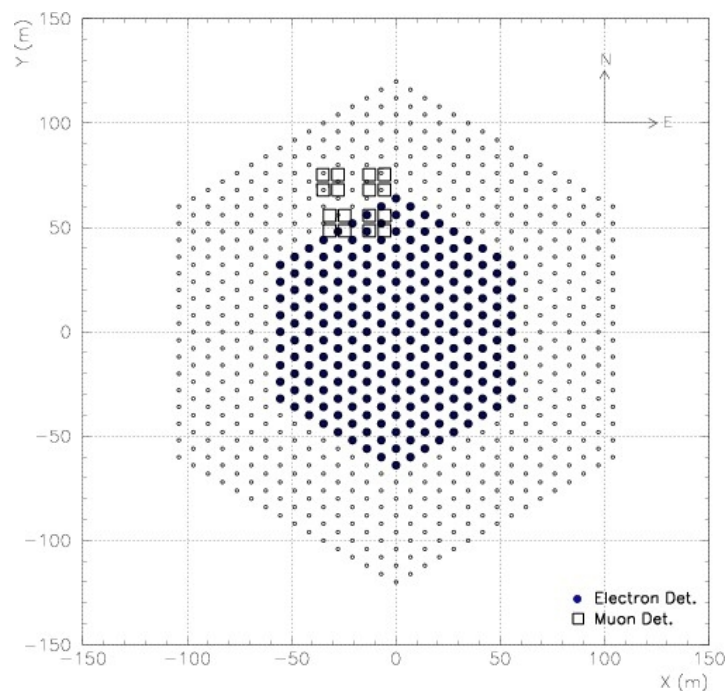
シンチレーション検出器



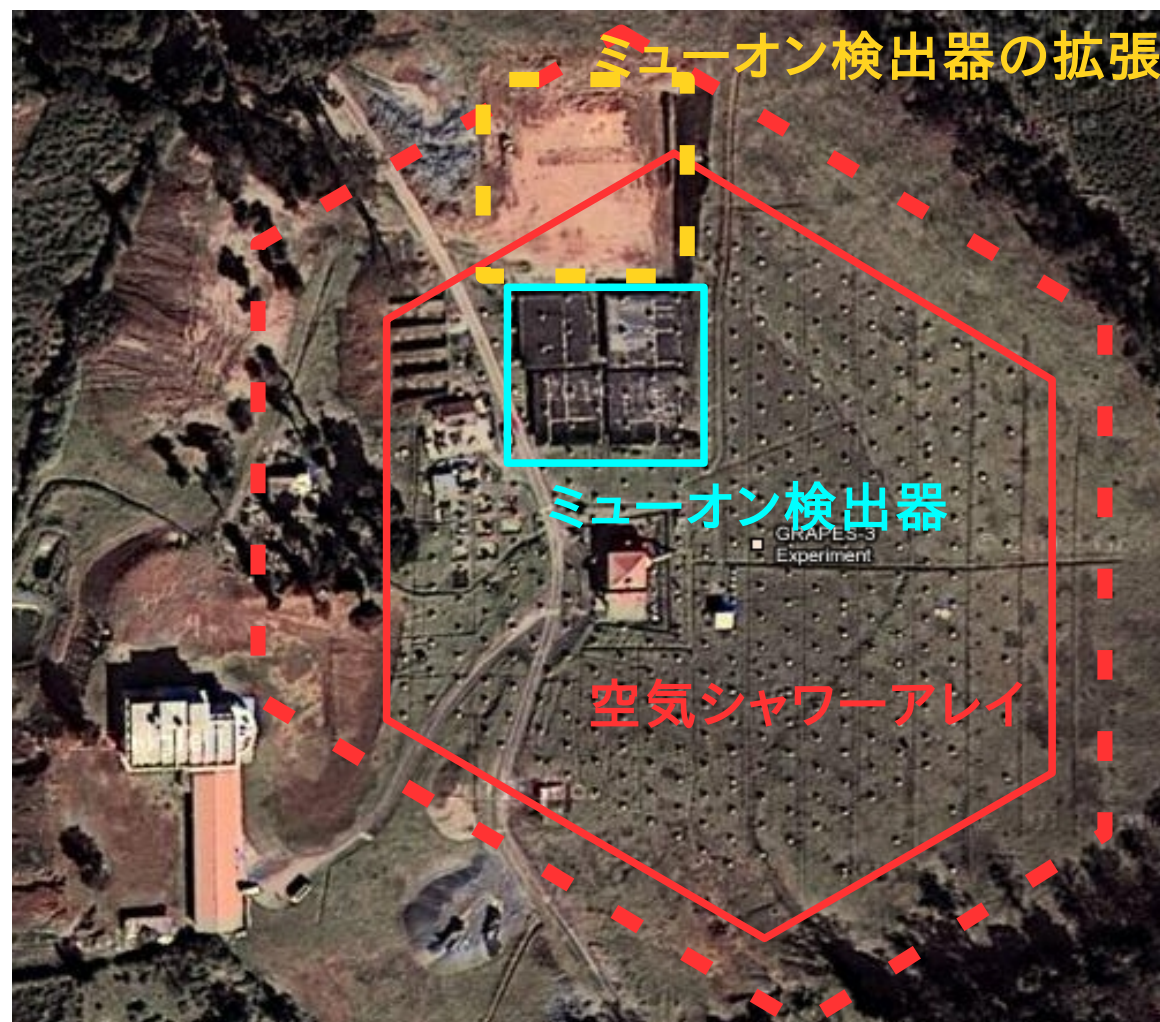
ミューオン検出器建屋

ミューオン検出器建屋内部

空気シャワーアレイ(拡張進行中)



実験開始当初のアレイ完成形
最終的な検出器台数:721台



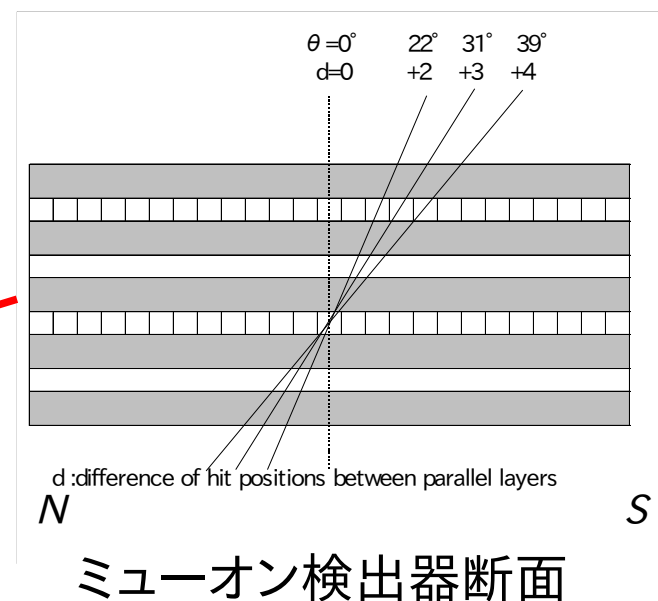
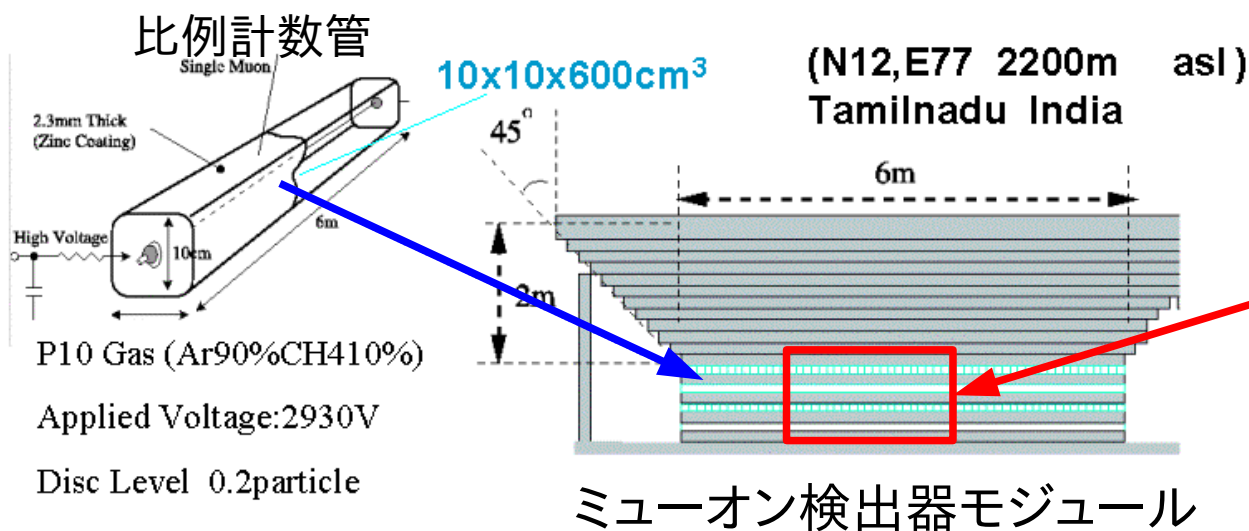
現在の拡張作業

- シンチレーション検出器
→ 350台から550台に増設中。
→ 内部の検出器配置は8 m間隔、外周部16 m間隔に。
- → アレイ面積を約2倍に。
- ミューオン検出器の増強
→ ミューオン検出器面積を2倍に。

ミューオン検出器



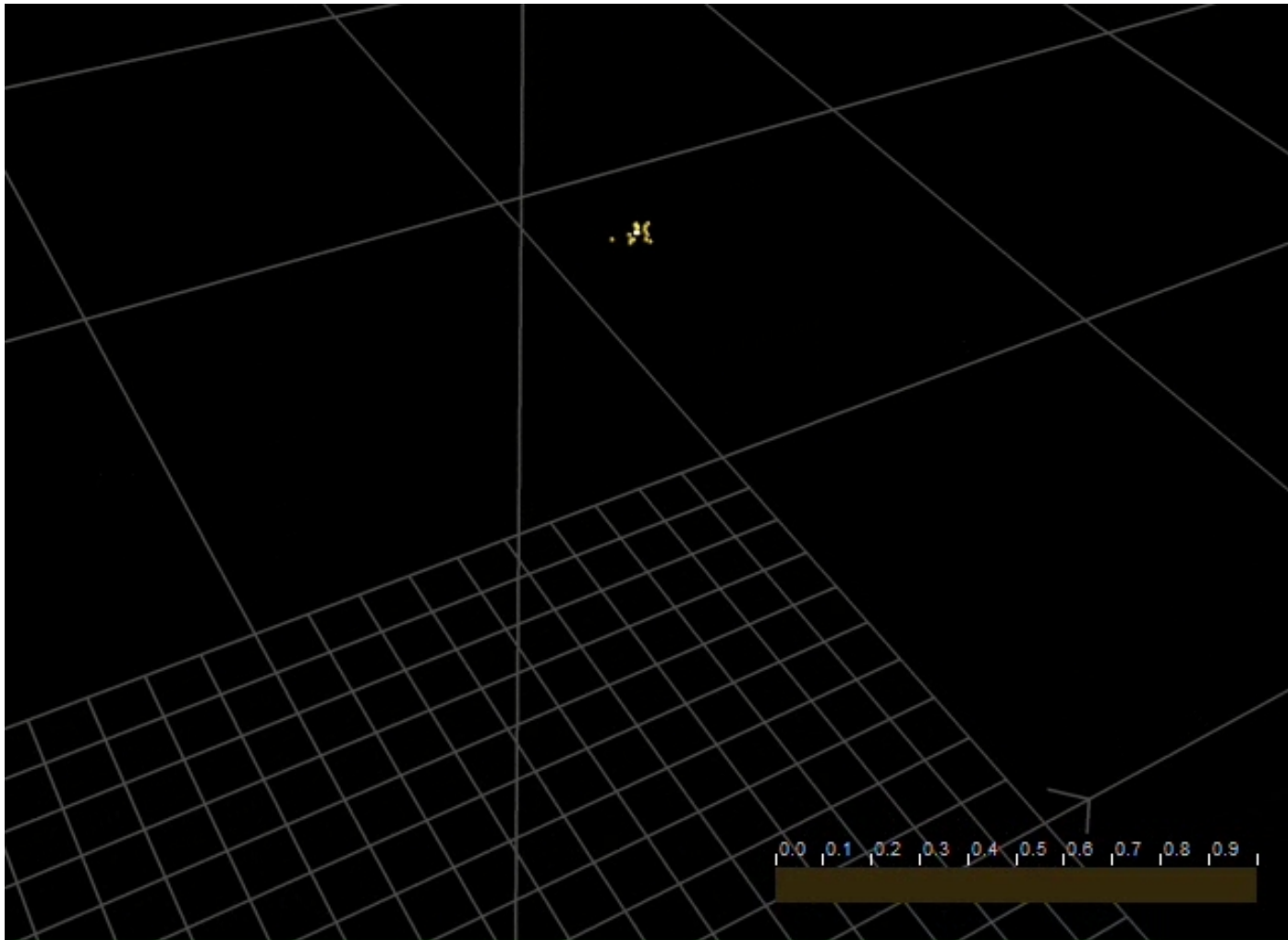
- 1機 (モジュール) の構成
 - 1層に58本の比例計数管
 - 4層による方向決定
 - 2 m 厚のコンクリート天井
 - $E_\mu > 1 \text{ GeV}$ (垂直)
 - 面積 35 m^2
- 16台のモジュール
 - 総面積: 560 m^2



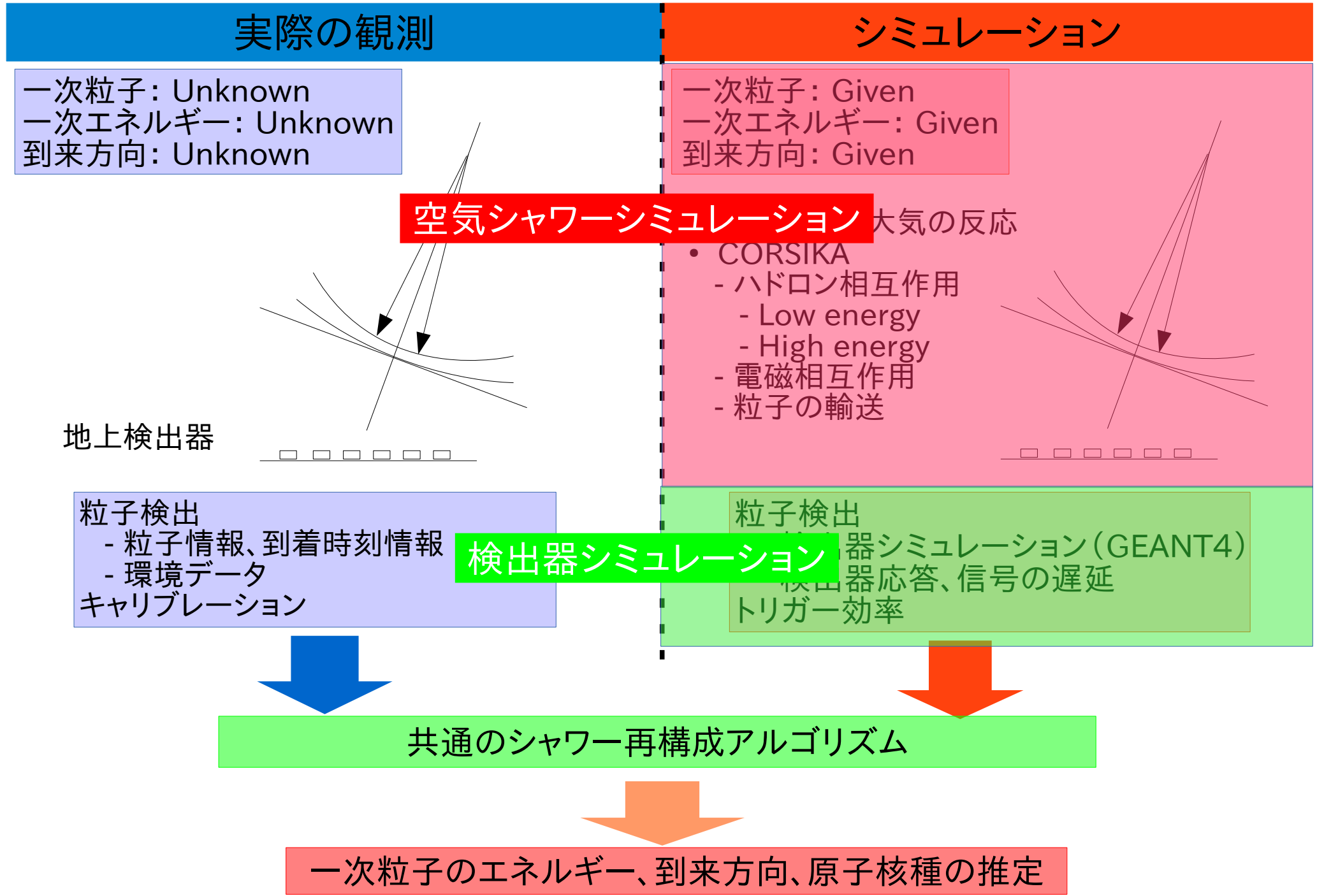
お話の内容

- 1.地上宇宙線観測とモンテカルロシミュレーション (MC)
- 2.原子核組成・エネルギースペクトルとMC
- 3.一次ガンマ線識別とMC
- 4.ミューオン検出器によるハドロン相互作用モデルの比較
- 5.シミュレーションのための計算機システム

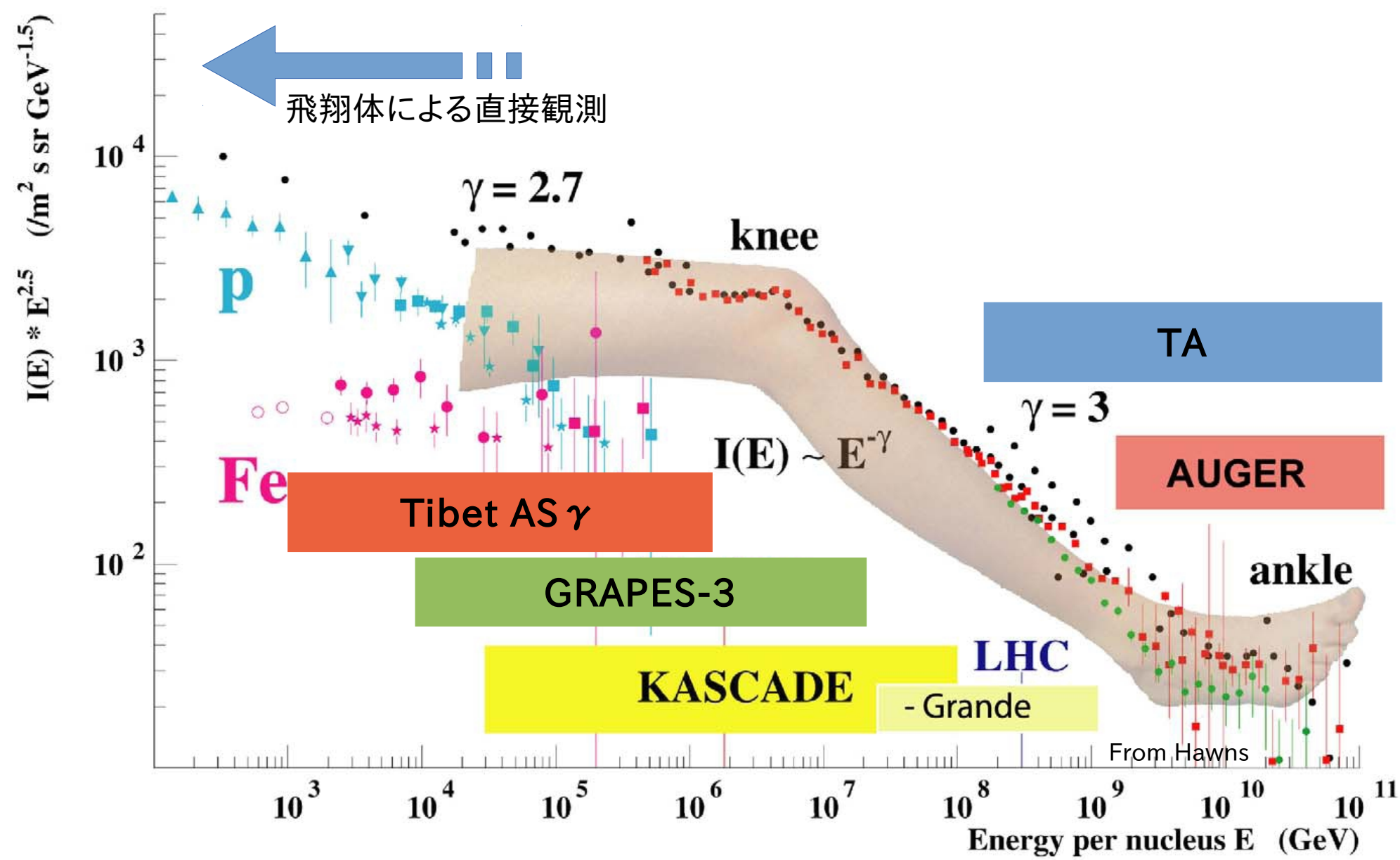
空気シャワー by CORSIKA



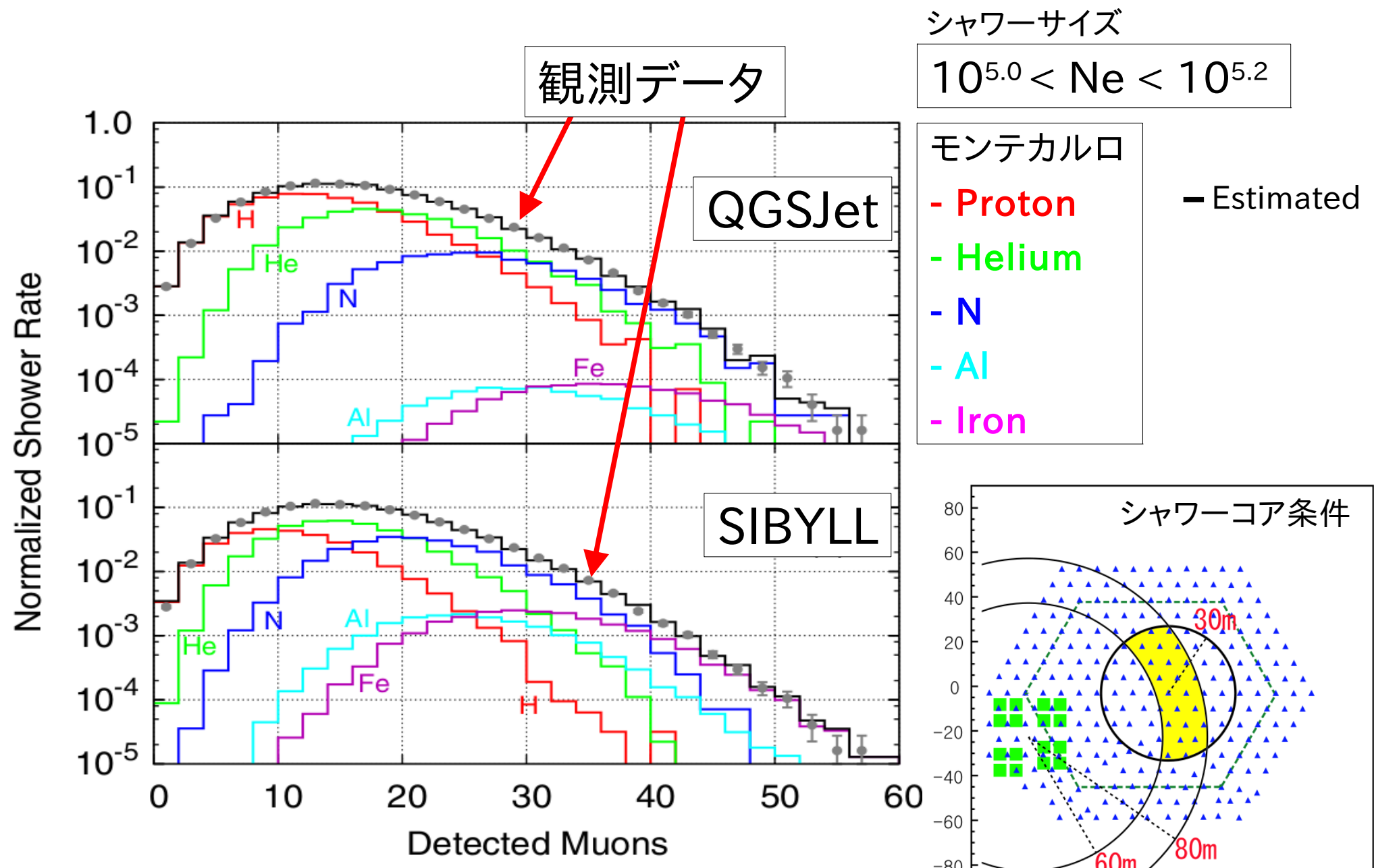
地上宇宙線観測におけるシミュレーション



地上宇宙線観測とエネルギースペクトル

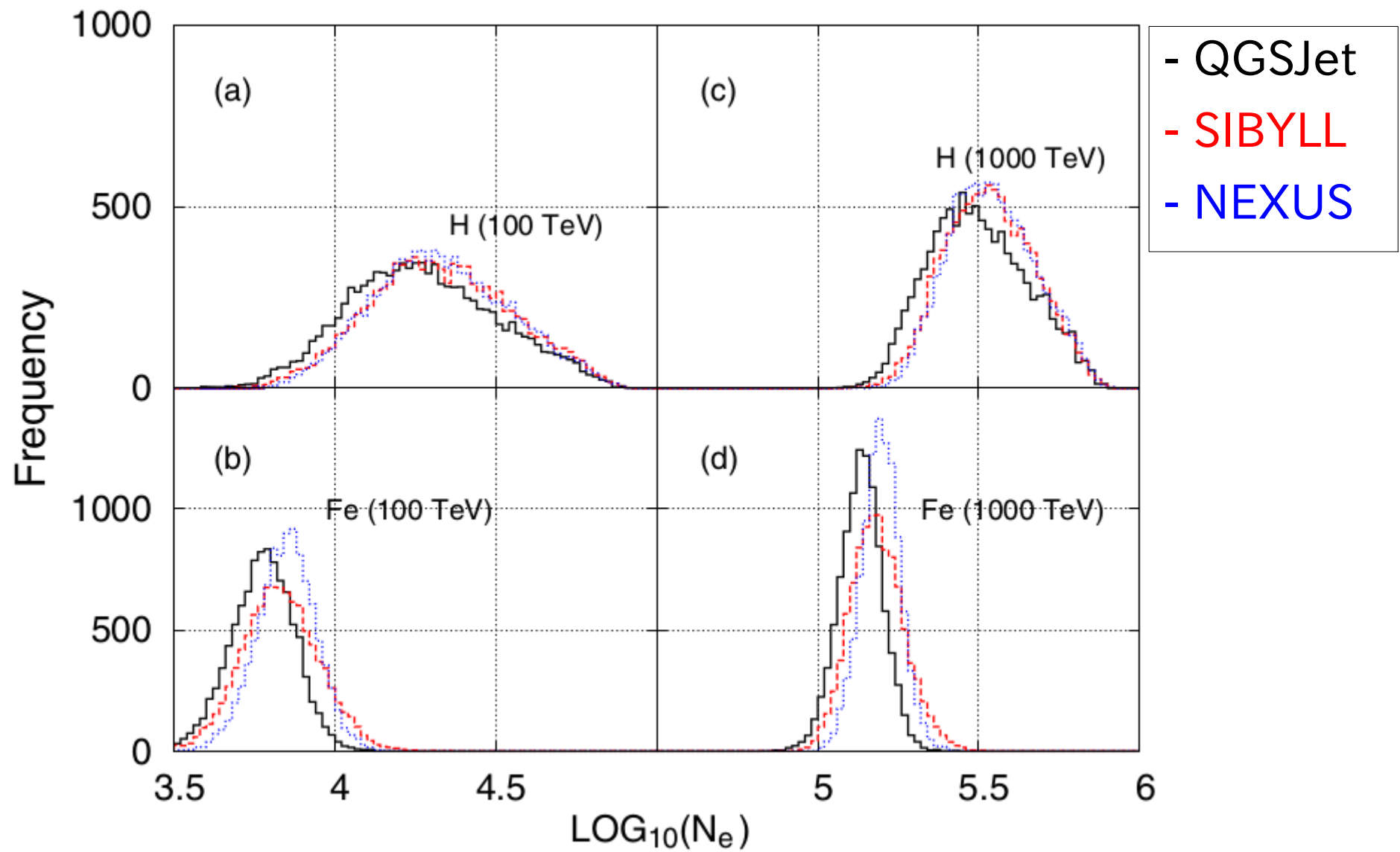


Muon multiplicity 分布

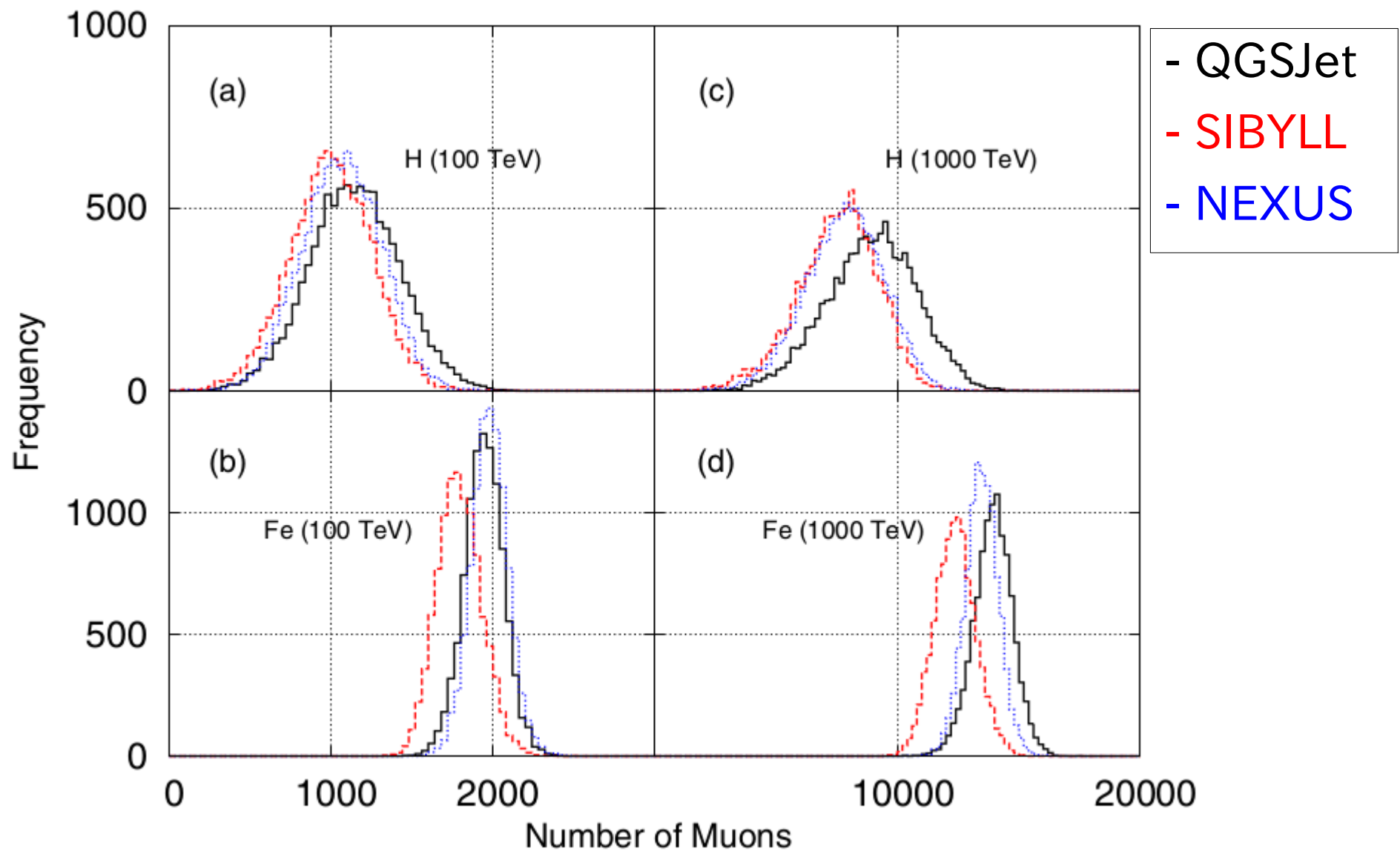


「Studies on the energy spectrum and composition of the primary cosmic rays at 100 – 1000 TeV from the GRAPES-3 experiment」,
H.Tanaka et.al.

シャワーサイズ分布@100TeV & 1PeV



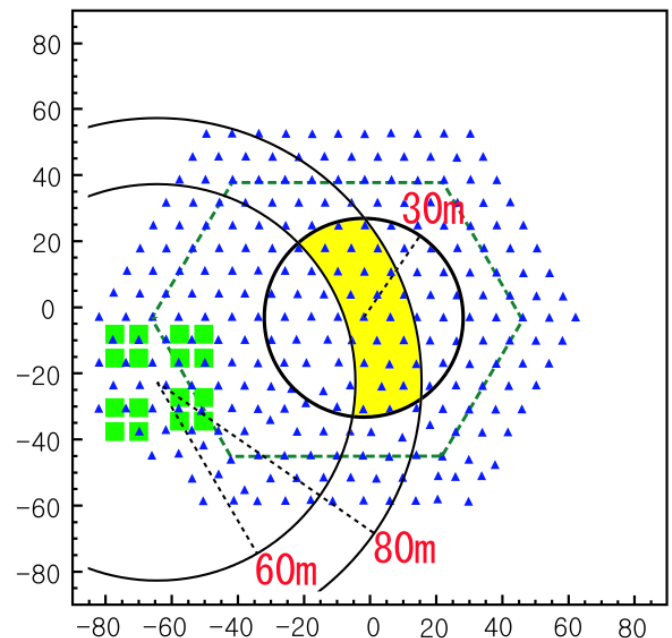
ミューオン数分布@100TeV & 1PeV



CORSIKAセットアップの要約

- ハドロン相互作用モデル
QGSJET-1, SIBYLL-2.1, NEXUS ($E > 80 \text{ GeV}$)
GHEISHA ($E < 80 \text{ GeV}$)
- スペクトル冪指数: -2.7
(-3.15 H: $> 3 \text{ PeV}$ He: $> 6 \text{ PeV}$, N: $> 21 \text{ PeV}$ ……)
- 天頂角: $0 \sim 30 \text{ degree}$
- 最小エネルギー at the observation level
hadron $> 1 \text{ GeV}$, muon $> 1 \text{ GeV}$,
electron $> 1 \text{ MeV}$, photon $> 1 \text{ MeV}$
- 観測高度: 2230 m (800 hg/cm^2)
- シャワーコア位置の制限
- 一次粒子のエネルギー

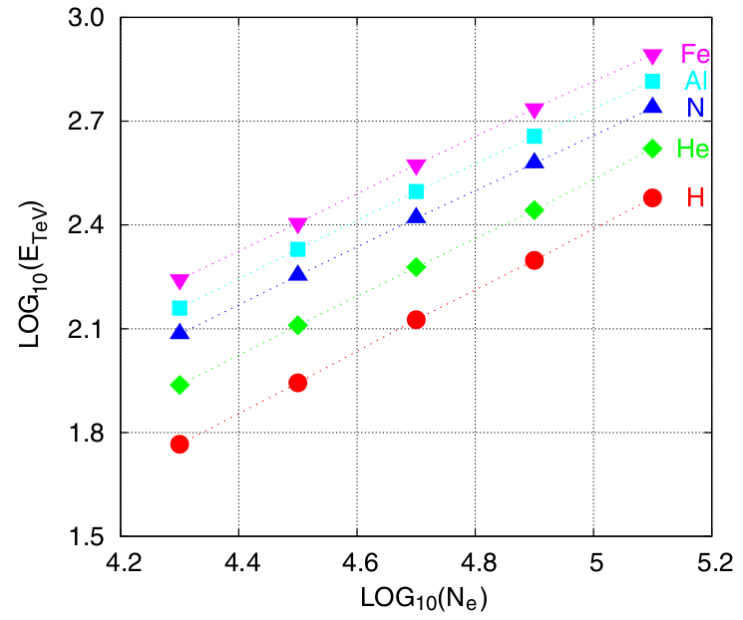
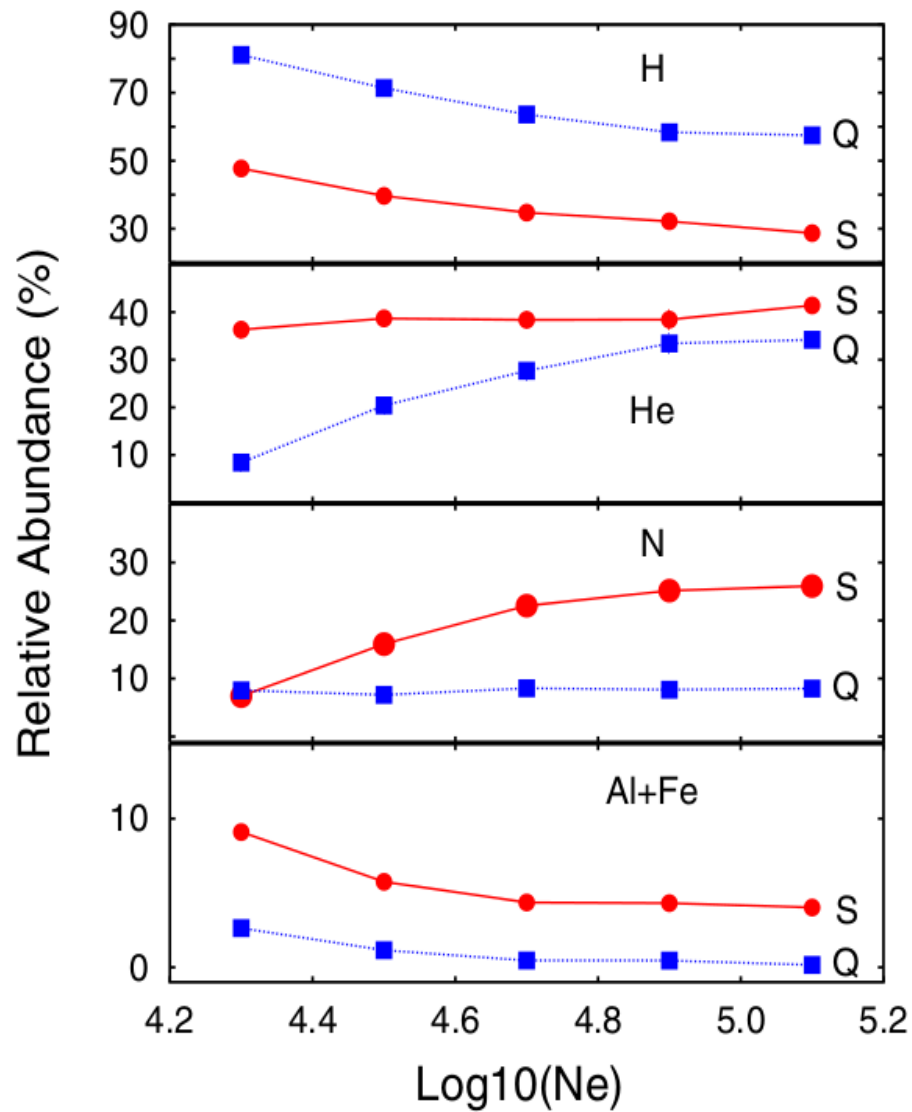
核種	A	Z	E _{min} (TeV)
H	1	1	5
He	4	2	8
N	14	7	16
Al	27	13	16
Fe	56	20	20



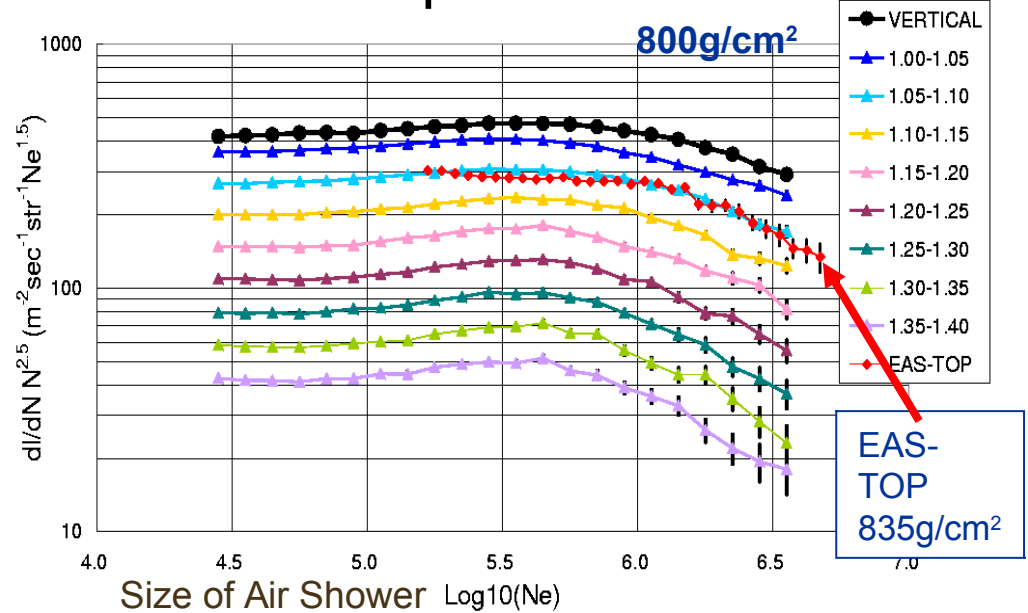
Energy spectrum の算出

エネルギー vs. シャワーサイズNe

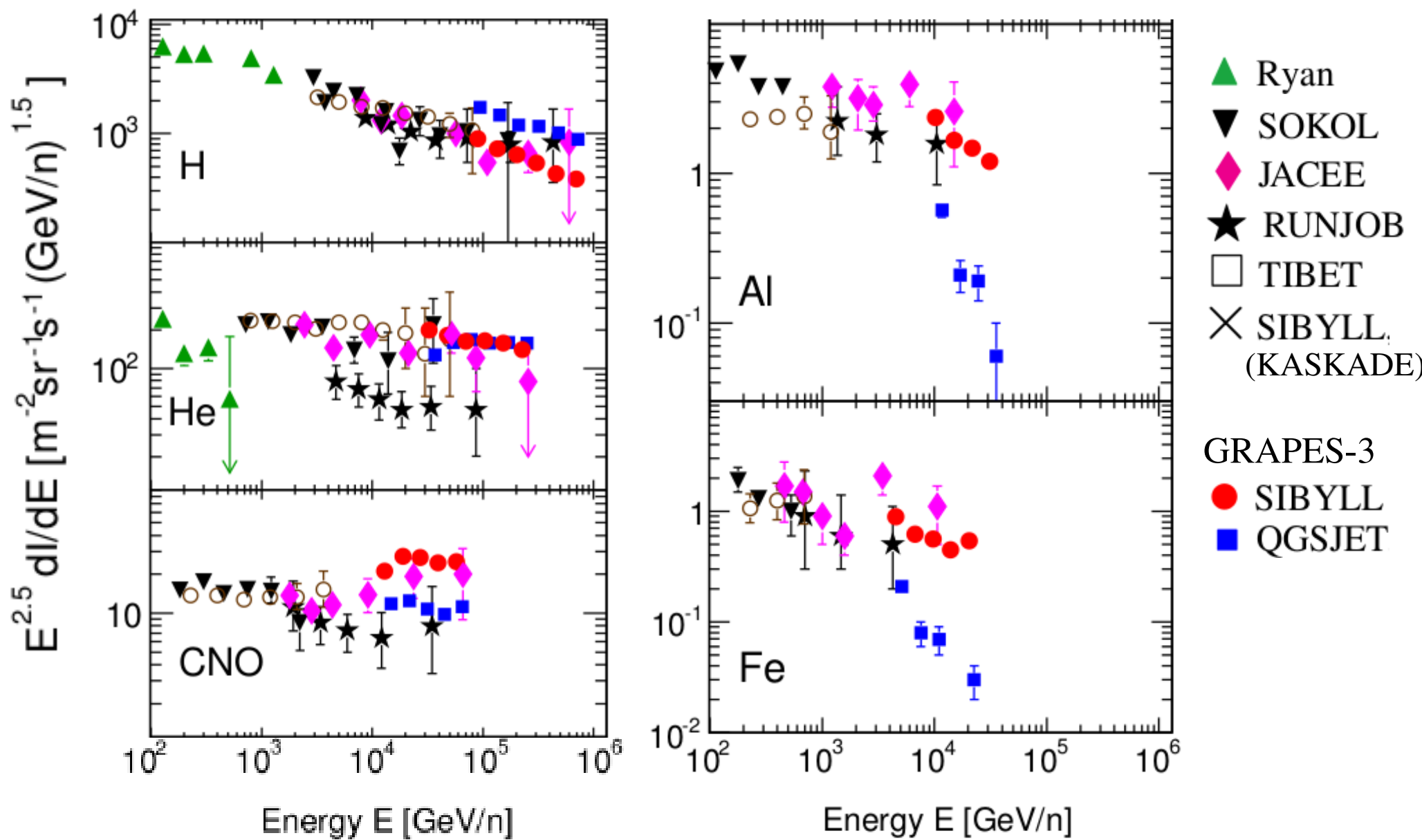
Relative abundance of nucleus



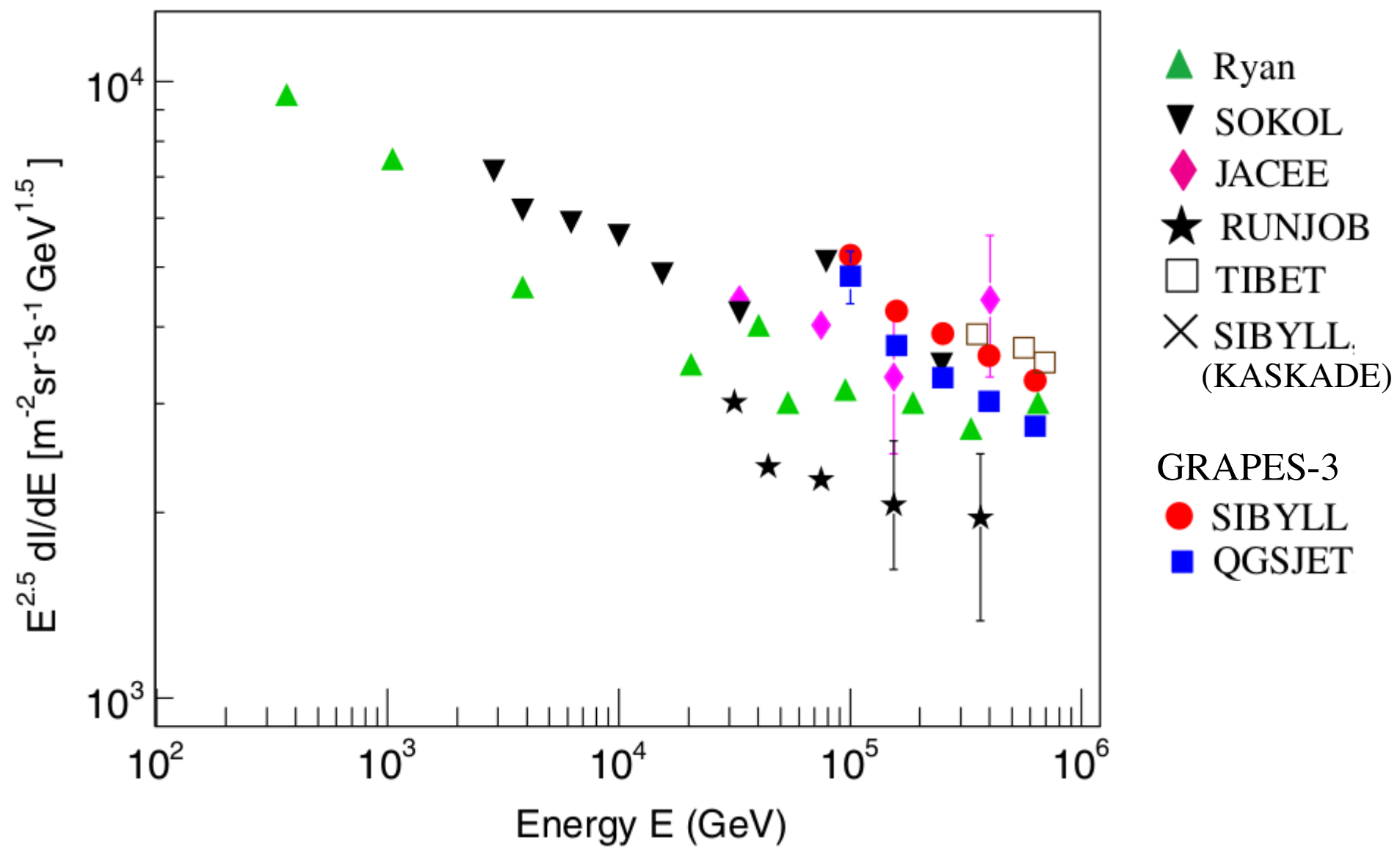
Size spectra Classified with sec θ



核種別エネルギースペクトラム (H, He, CNO, Al, Fe)



全粒子エネルギースペクトラム



SYBIL (v2.1)がスペクトルを再現できている!?

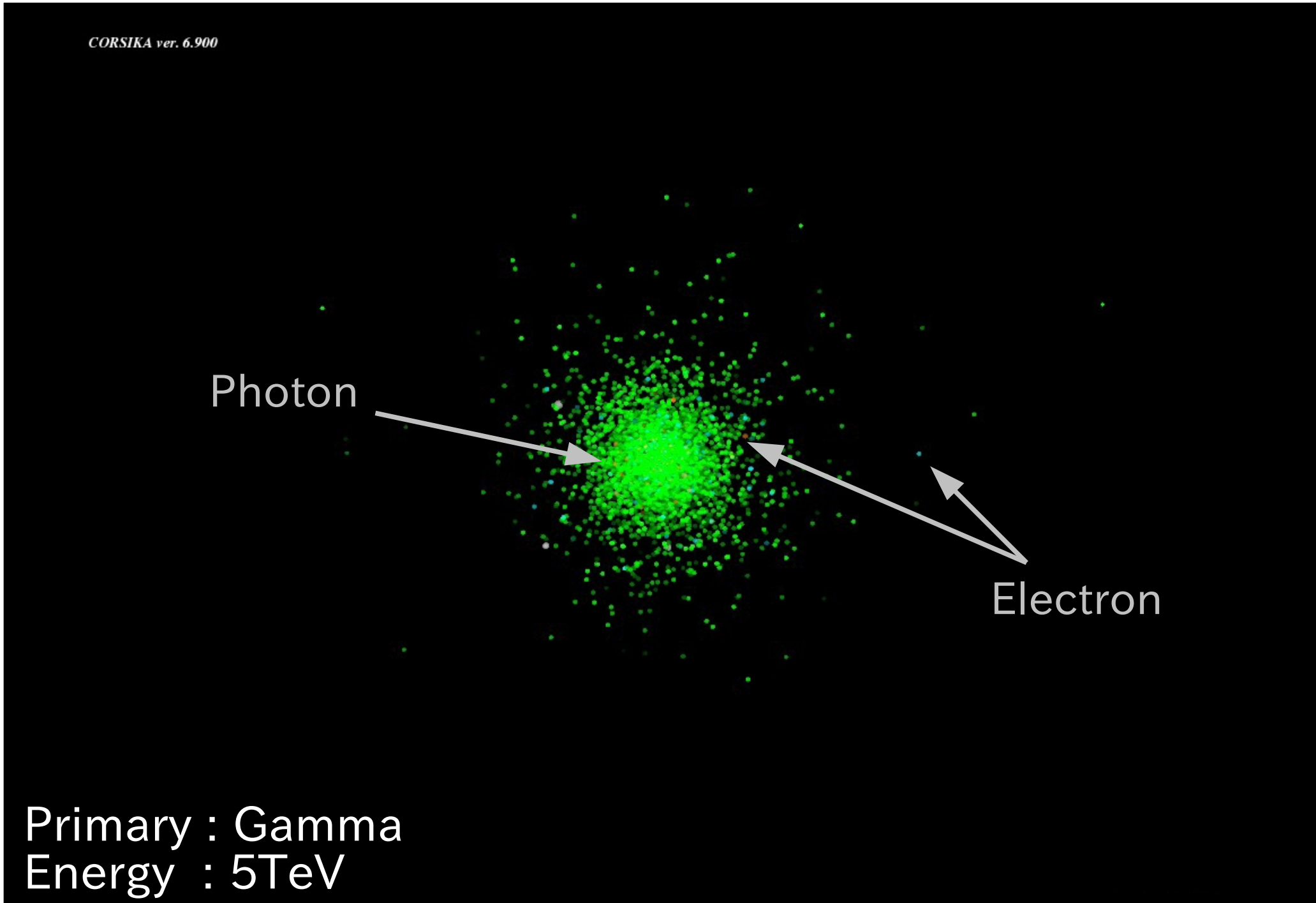
宇宙線とガンマ線の弁別

CORSIKA ver. 6.900

Photon

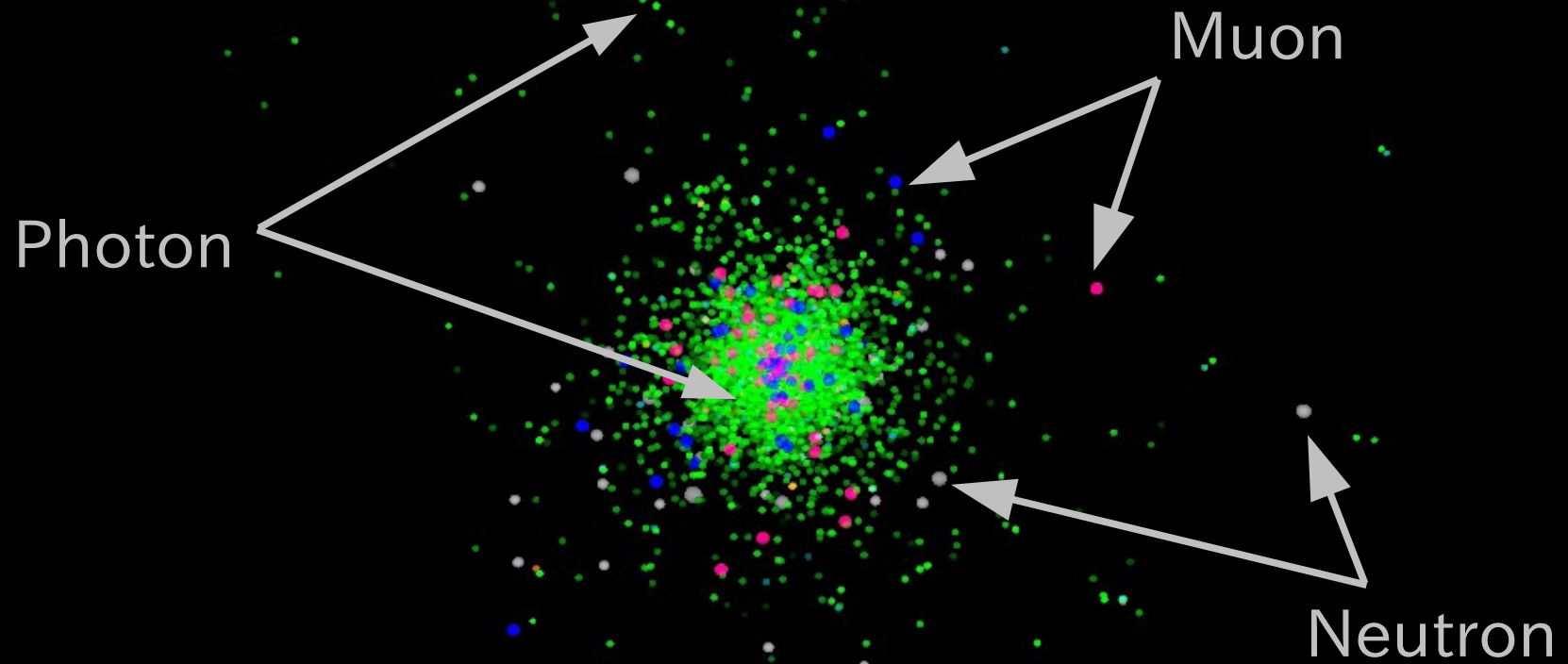
Electron

Primary : Gamma
Energy : 5TeV



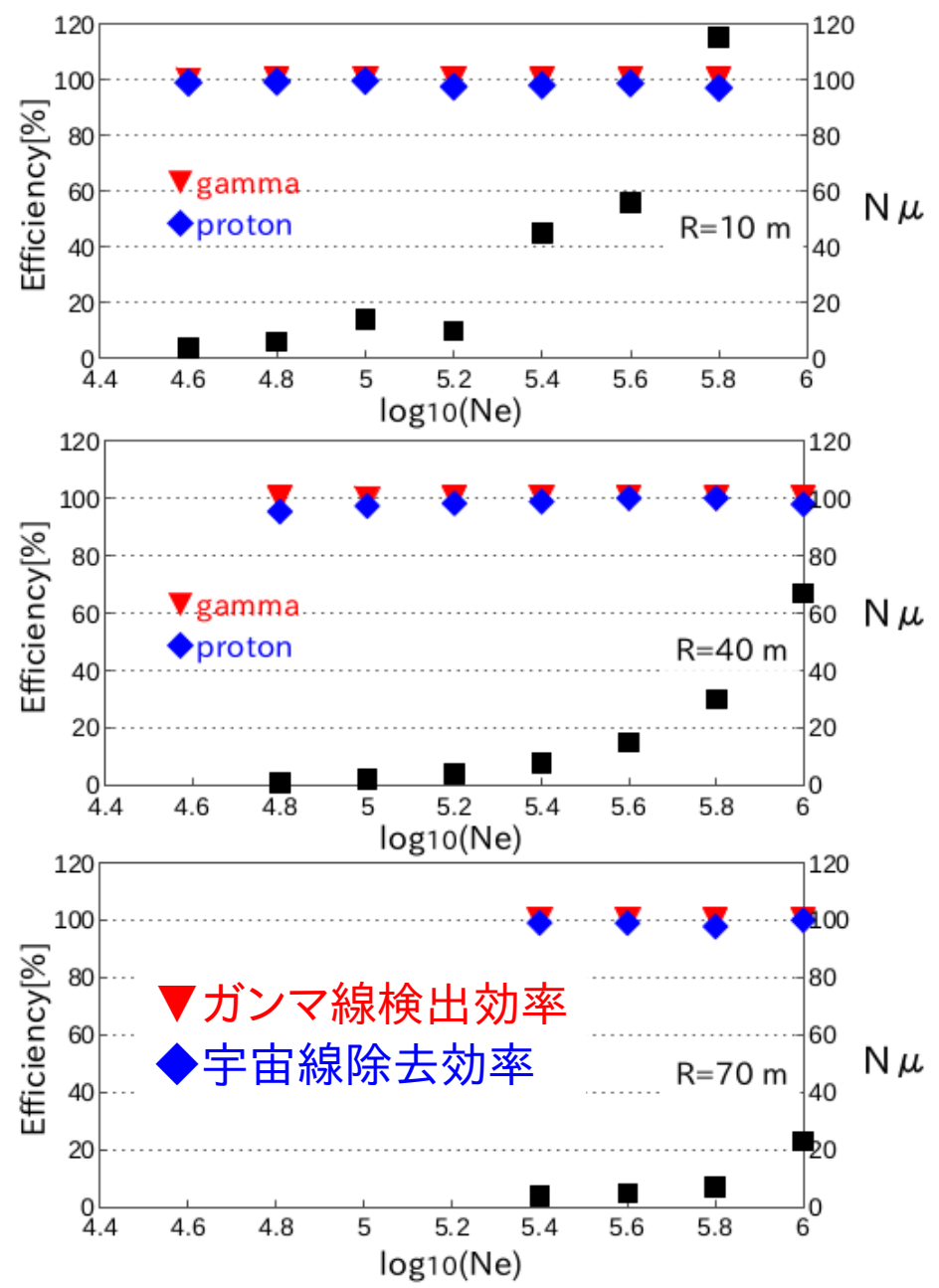
宇宙線とガンマ線の弁別

CORSIKA ver. 6.900

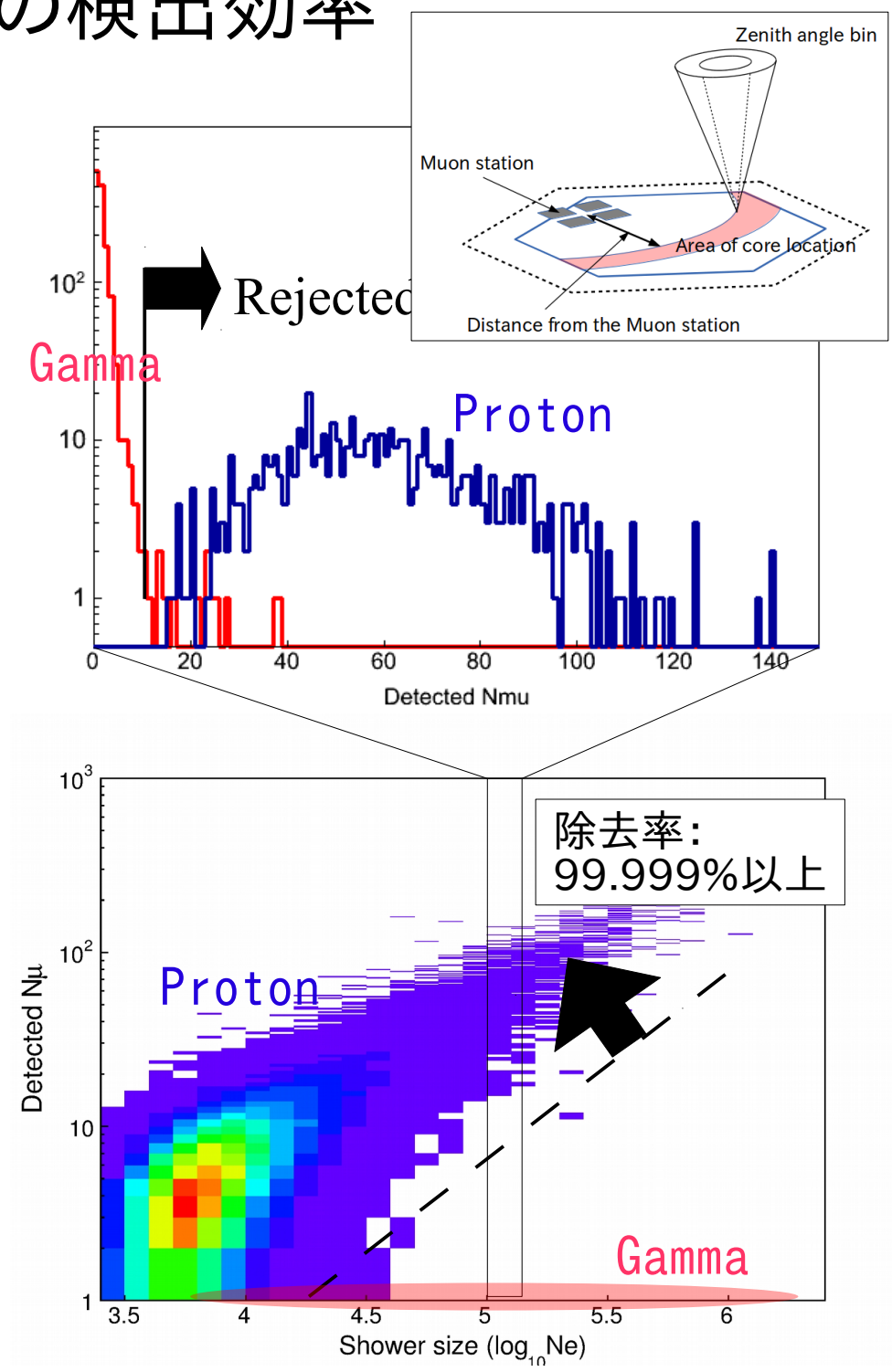


Primary : Proton
Energy : 5TeV

宇宙線の除去効率とガンマ線の検出効率



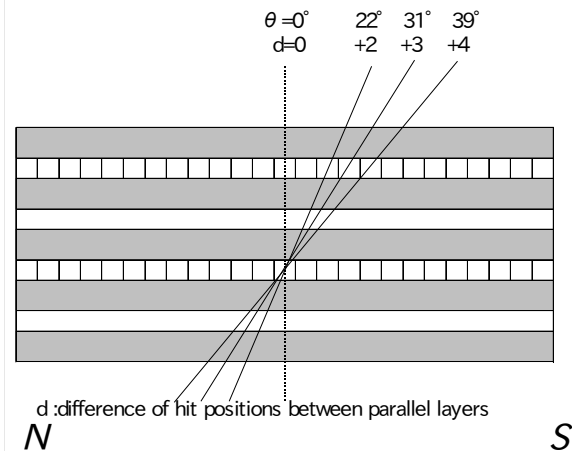
ミュオン検出器からの距離と効率



ミューオン検出器によるハドロン相互作用モデルの検証 (Angular distribution of Muon for different hadronic model)

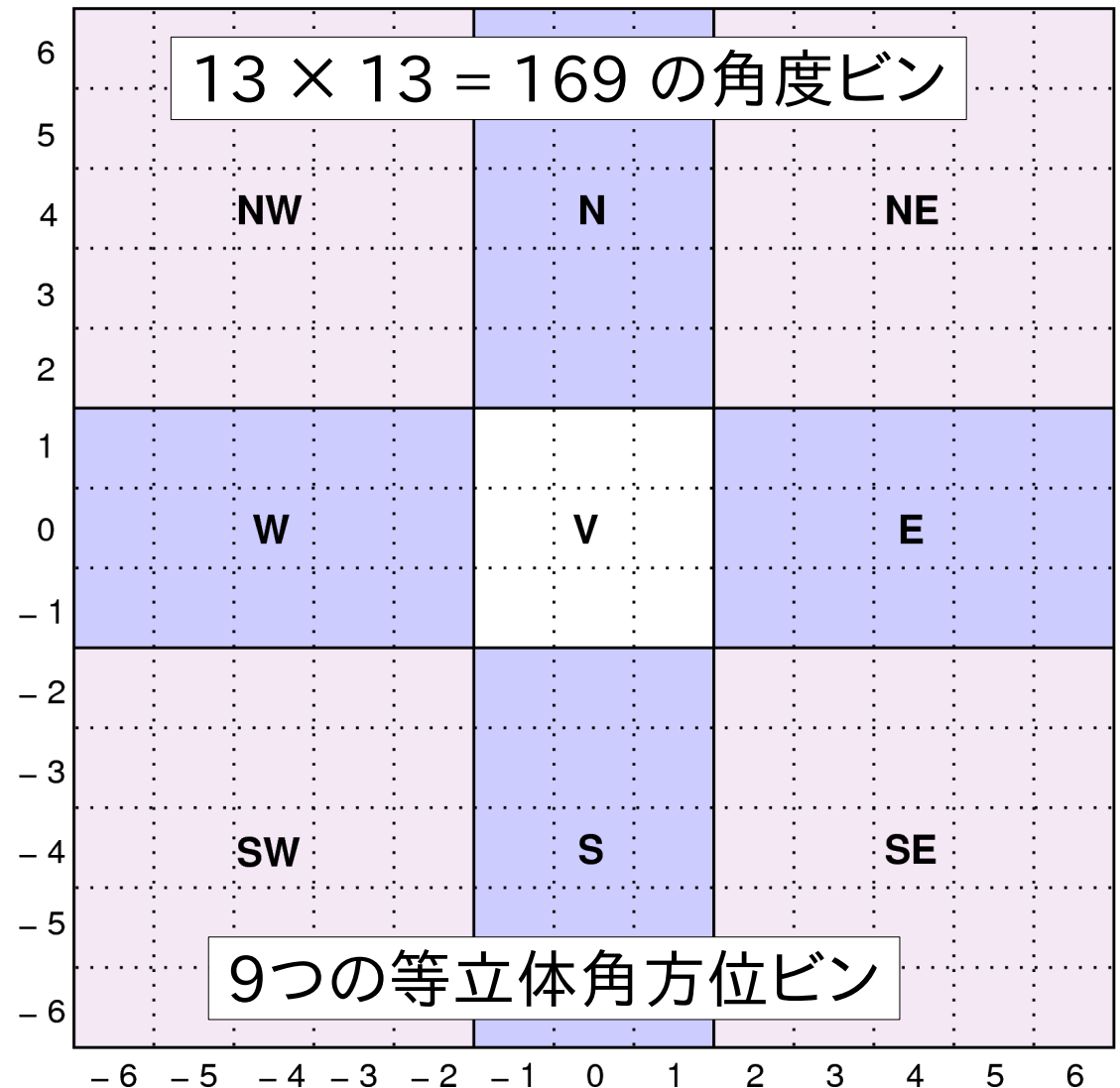


ミューオン検出器単体では、
約100 GeV以上の銀河宇宙線を観測している。

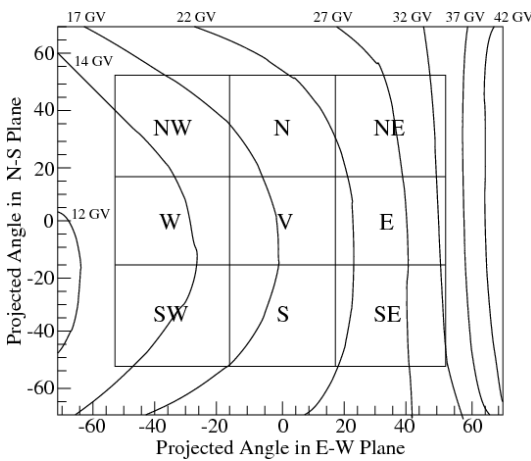
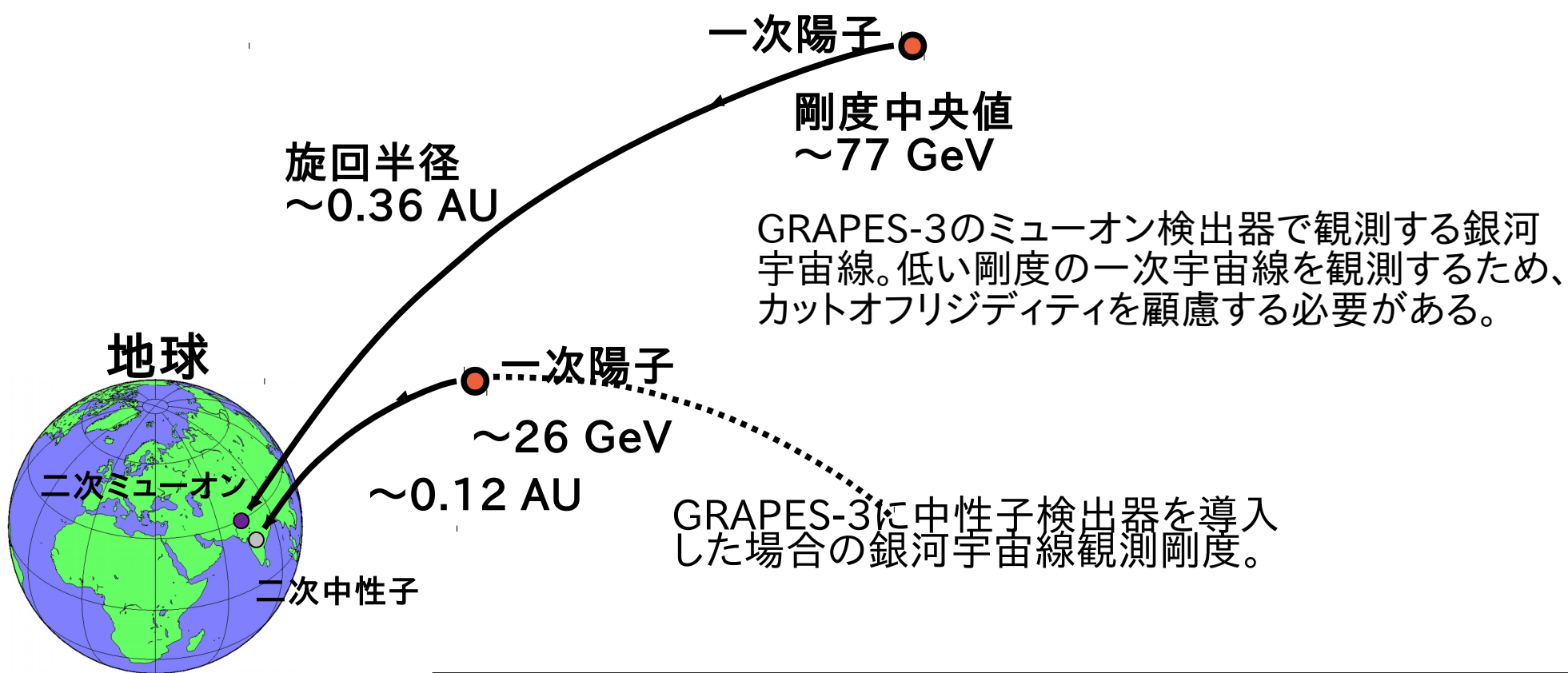


- ミューオン検出器一機あたりのシングルミューオンレートは約3000Hz。
- 検出器全体 (560m²) では、1日に約40億個のミュオンイベント。

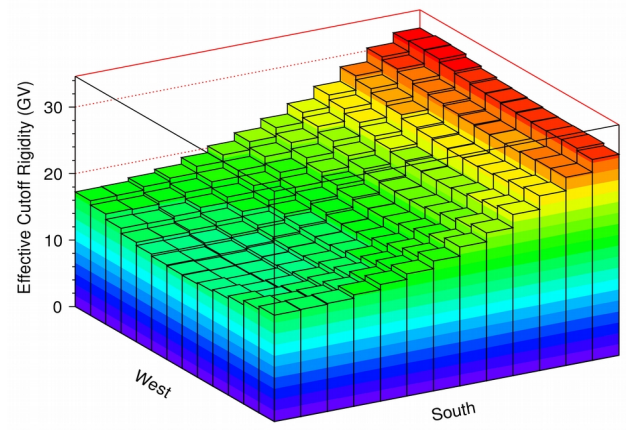
非常に高統計!



カットオフリジディティ(切断剛度)の考慮

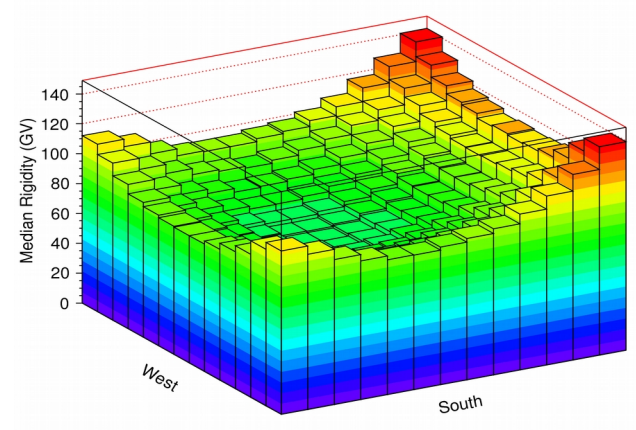


カットオフリジディティマップ



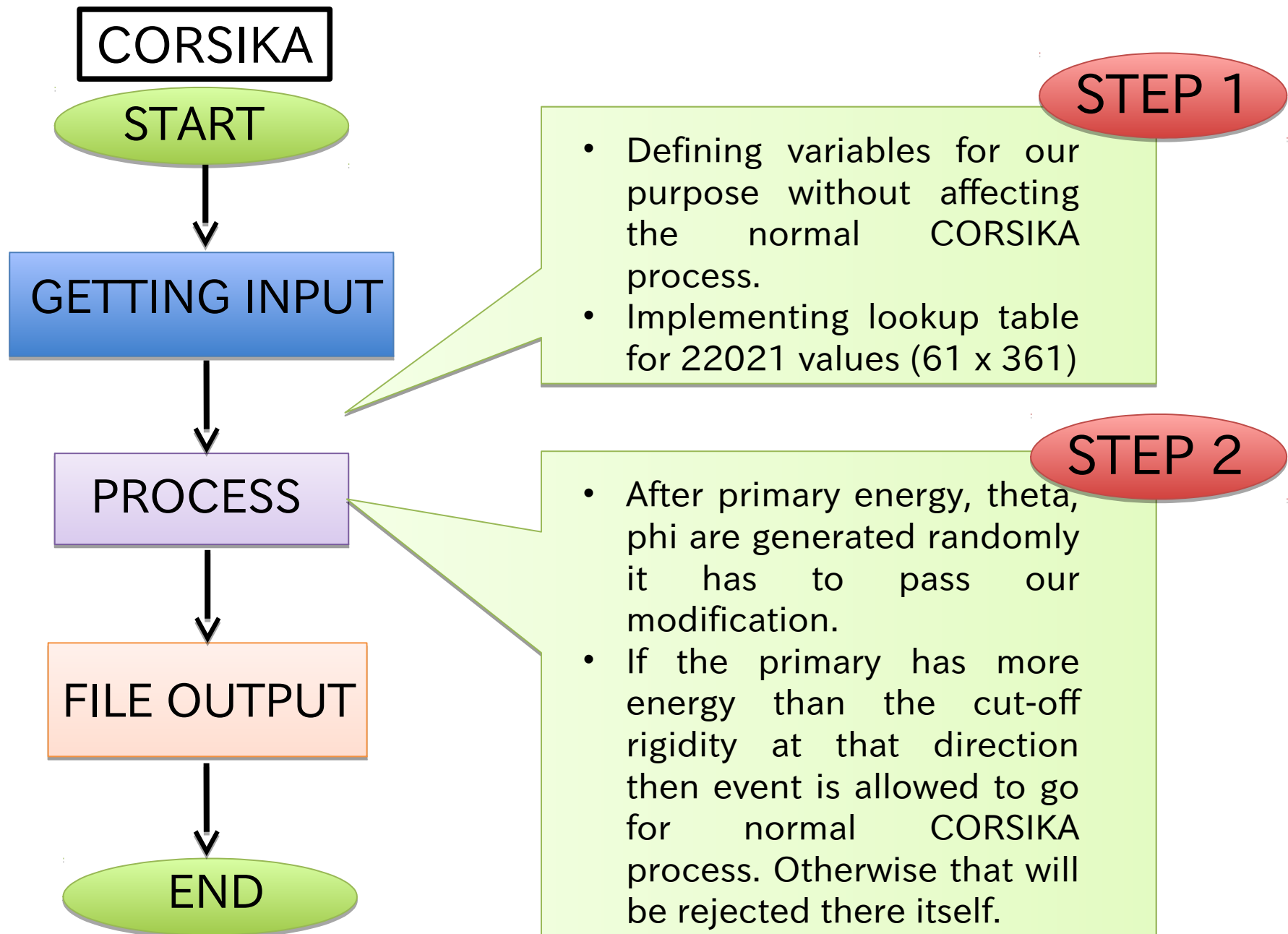
Calculated using IGRF2011

剛度中央値マップ

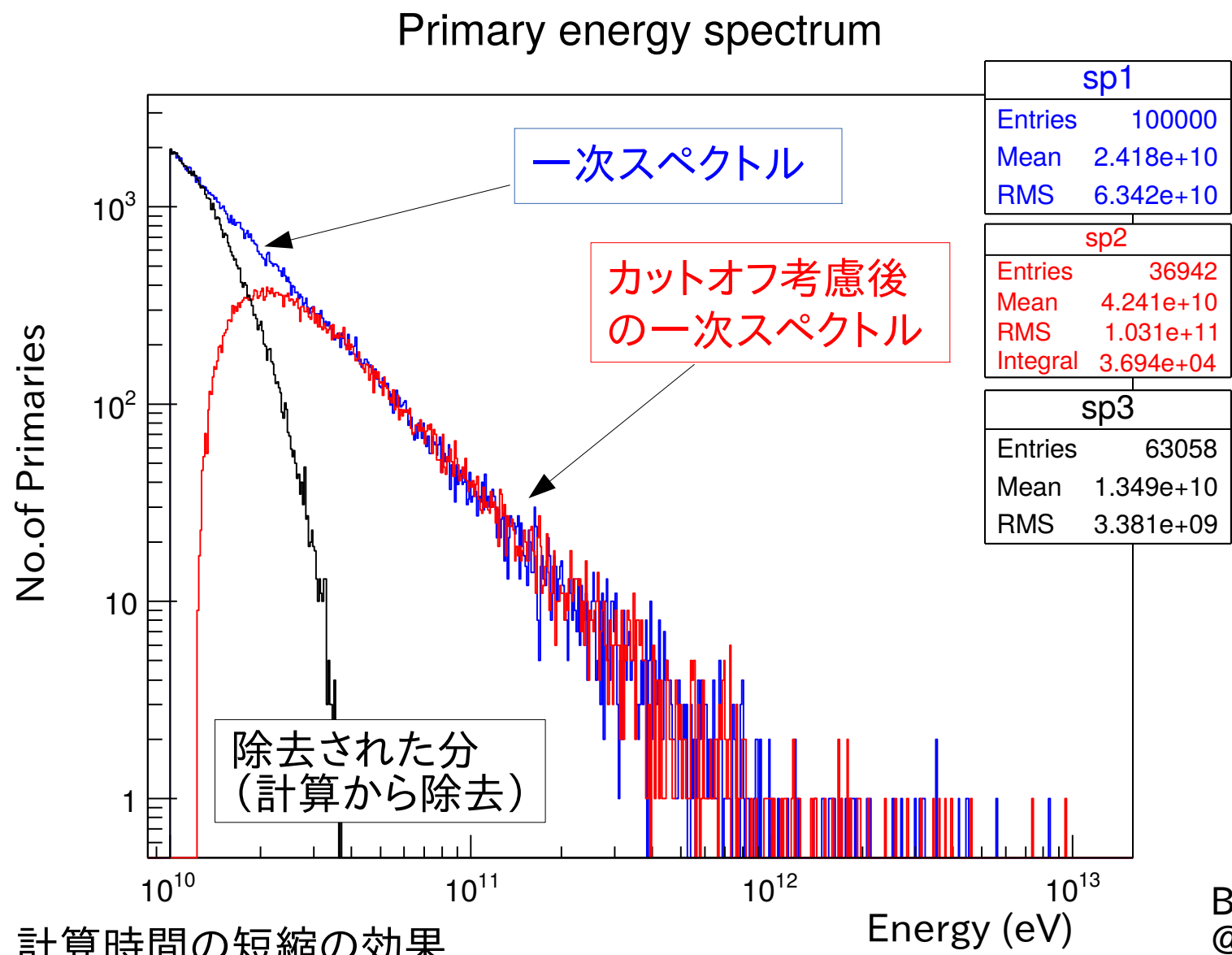


P.K.Mohanty Ph.D. Thesis

カットオフリジディティのCORSIKAへの組み込み



カットオフリジディティ適用の効果 (CORSIKA)



PARAMETERS	MODIFICATION前	MODIFICATION後
Total run time (Sec)	2424	1238
Events generated	100000	36942

用いた飛翔体実験のスペクトルデータ

低エネルギー側の一次スペクトルを再現するために飛翔体のデータを利用

1) **CREAM** (Proton & Helium) Balloon Borne Experiment

Proton Energy Range: 2.5 TeV – 250.0 TeV, $\gamma_p = 2.660 \pm 0.02$,

Helium Energy Range: 0.63 TeV/n – 63.0 TeV/n, $\gamma_{he} = 2.58 \pm 0.02$

2) **CAPRICE** (Proton & Helium) Balloon Borne Experiment

Proton Energy Range: 20 GeV – 350 GeV, $\gamma_p = 2.776 \pm 0.002$,

Helium Energy Range: 15 GeV/n – 150 GeV/n, $\gamma_{he} = 2.753 \pm 0.014$

3) **BESS** (Proton & Helium) Balloon Borne Experiment

Proton Energy Range: 30 GeV – 540 GeV, $\gamma_p = 2.732 \pm 0.011$,

Helium Energy Range: 20 GeV/n – 250 GeV/n, $\gamma_{he} = 2.699 \pm 0.010$

4) **PAMELA** (Proton & Helium) Satellite Based Experiment

Proton Energy Range: 30 GeV – 1000 GeV, $\gamma_p = 2.782 \pm 0.003$,

Helium Energy Range: 15 GeV/n – 600 GeV/n, $\gamma_{he} = 2.712 \pm 0.01$

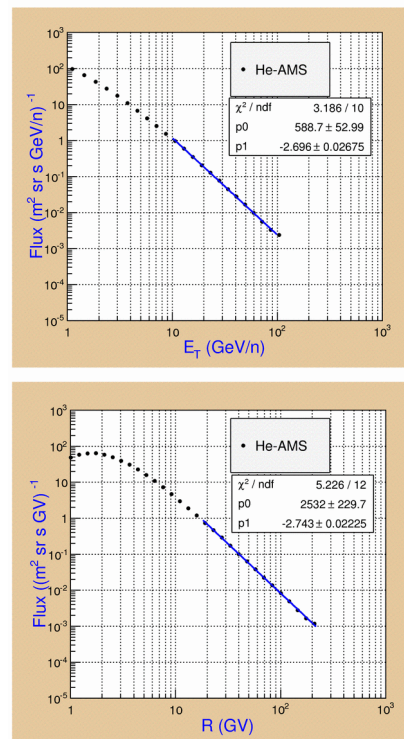
5) **AMS** (Helium) Satellite Based Experiment

Helium Rigidity Range: 20 GV – 200 GV, $\gamma_{he} = 2.740 \pm 0.010$

CORSIKAセットアップの要約

- Number of events to be produced about $\sim 10^9$ for Protons and 150 million for He.
- Particle ID:
Proton=14
Helium = 402 ($A \times 100 + Z$)
- エネルギースペクトル冪指数:
Proton : 2.652 ± 0.001
Helium: 2.494 ± 0.001
- 一次粒子のエネルギー:
Proton: 10GeV – 10TeV
Helium: 20GeV – 20TeV.
- 天頂角 : $0^\circ - 60^\circ$
- 方位角: $0^\circ - 360^\circ$
- 観測高度 at Ooty:
 2200×10^2 cm
- 地磁気強度 at Ooty:
39.96 – 6.16

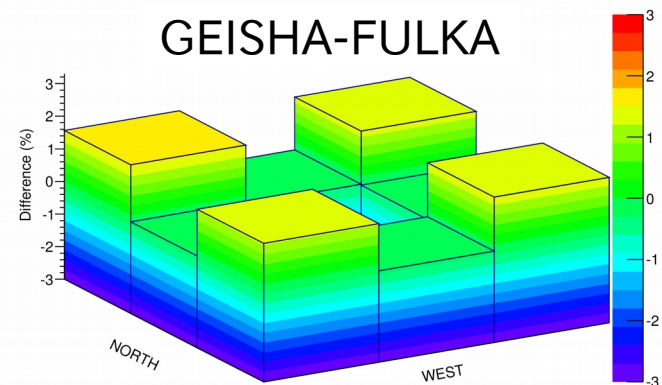
飛翔体のデータから再現



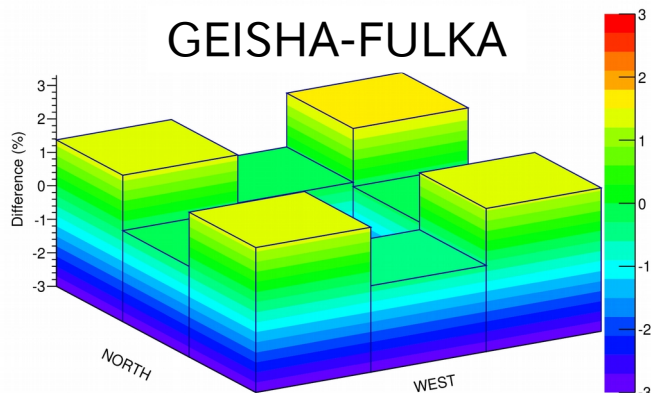
High energy	Low energy
SIBYL 2.1	FLUKA
QGSJet II-04	GEISHA 2002d
EPOS LHC	UrQMD 1.3cr

Work in progress

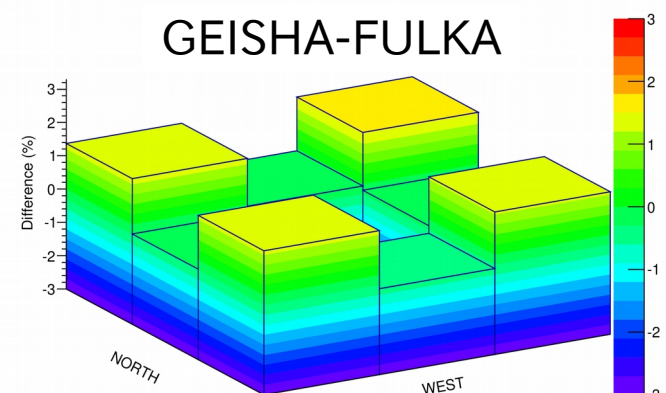
SIBYLL



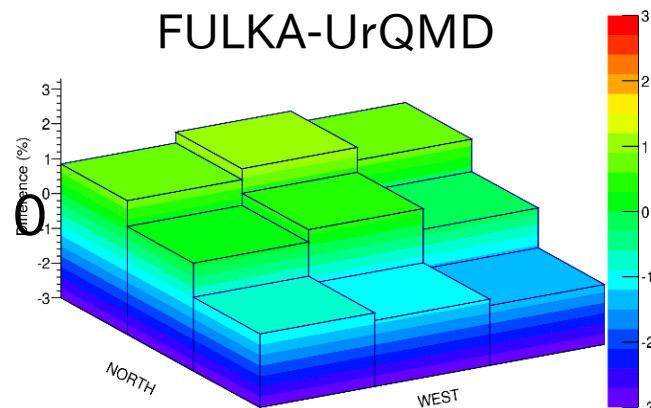
QGSJET II



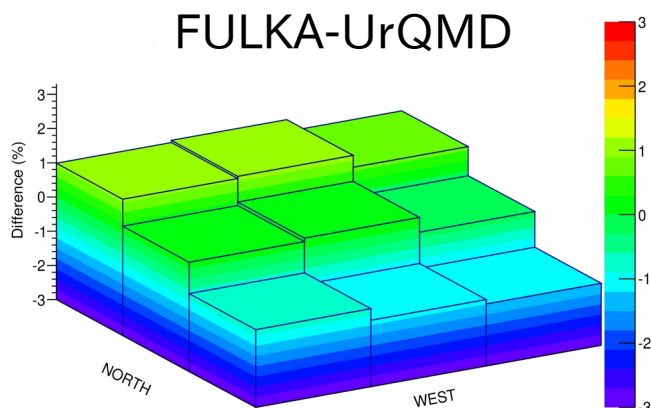
EPOS



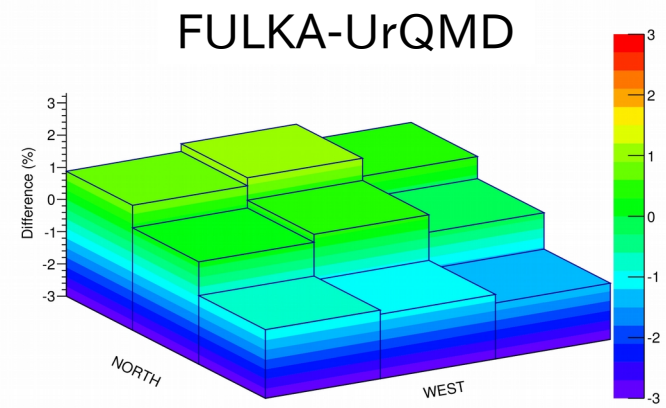
FULKA-UrQMD



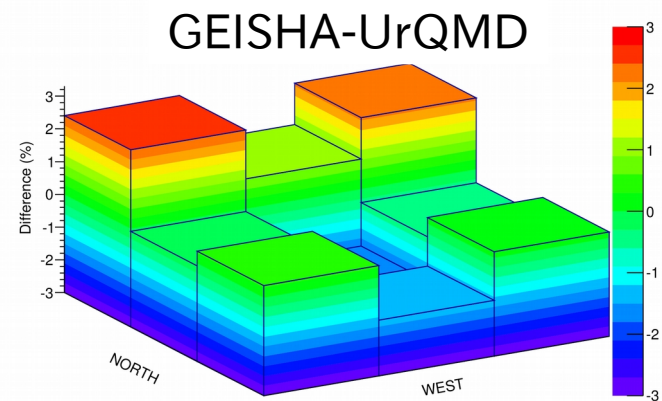
FULKA-UrQMD



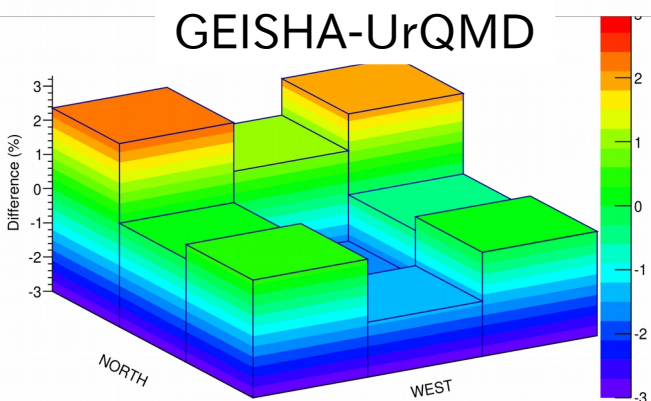
FULKA-UrQMD



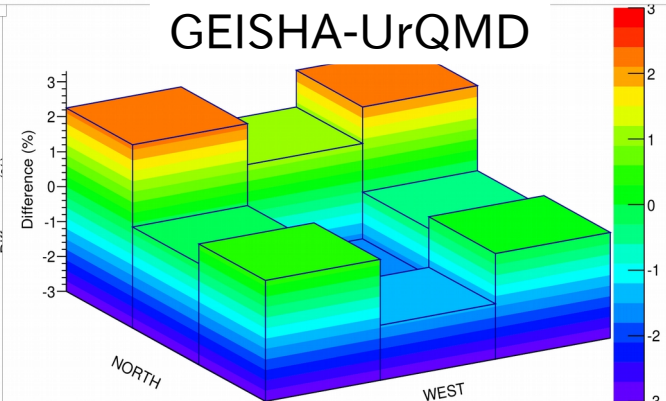
GEISHA-UrQMD



GEISHA-UrQMD



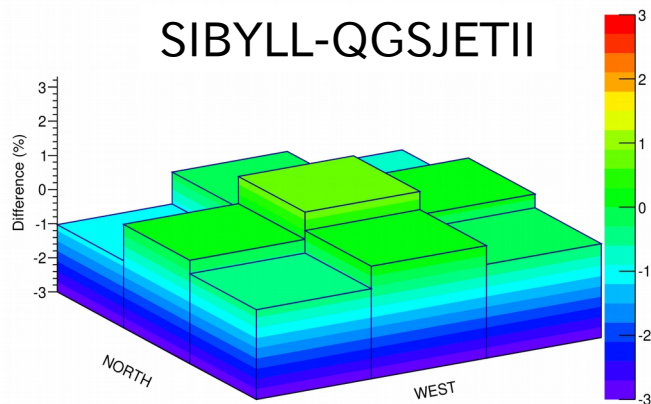
GEISHA-UrQMD



Work in progress

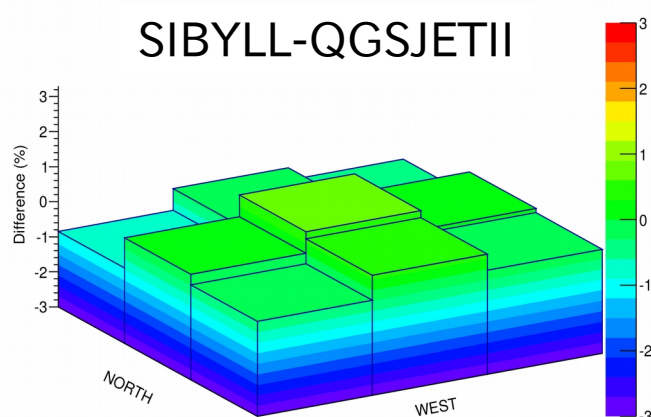
FULKA

SIBYLL-QGSJETII



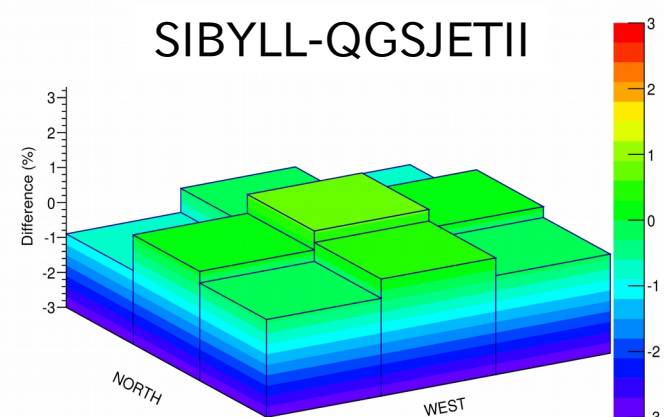
GEISHA

SIBYLL-QGSJETII

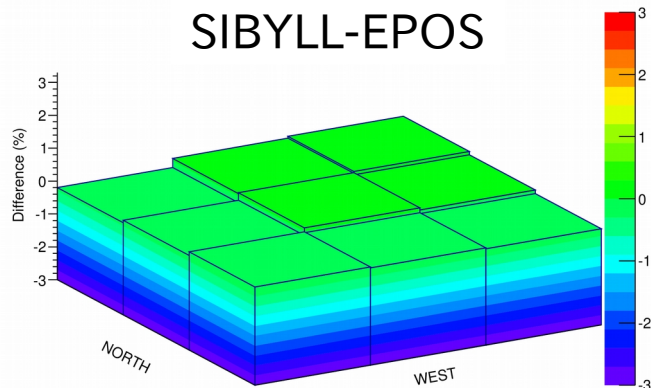


UrQMD

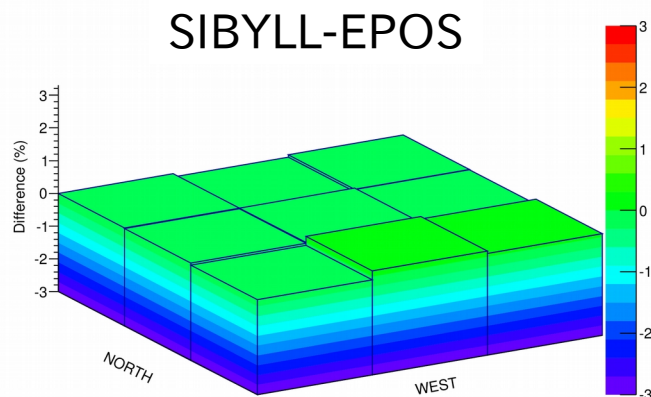
SIBYLL-QGSJETII



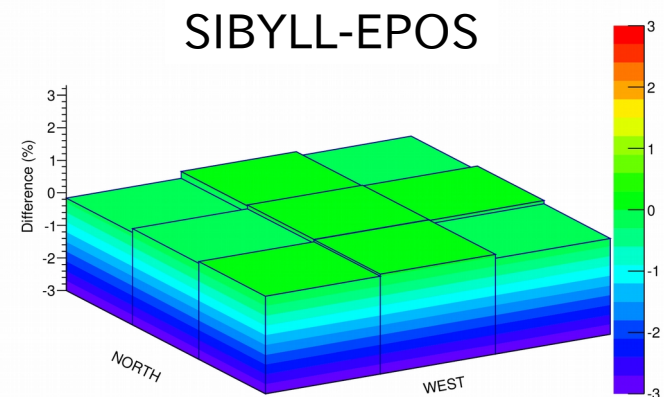
SIBYLL-EPOS



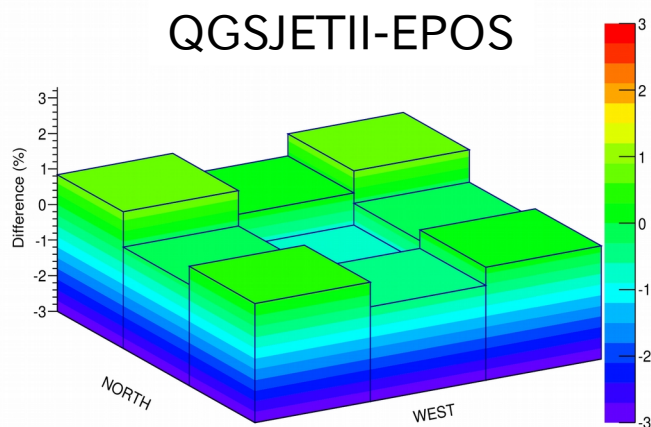
SIBYLL-EPOS



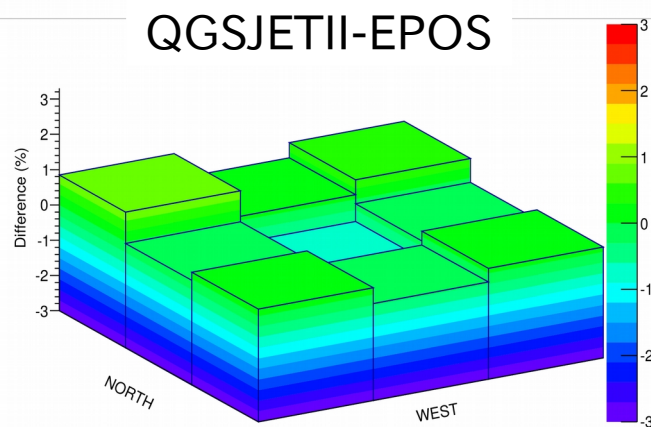
SIBYLL-EPOS



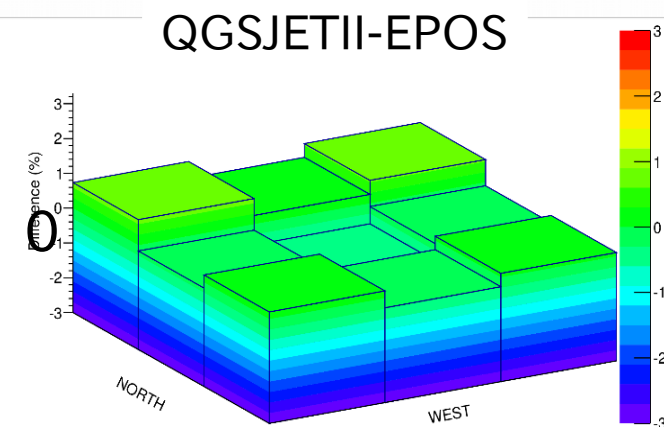
QGSJETII-EPOS



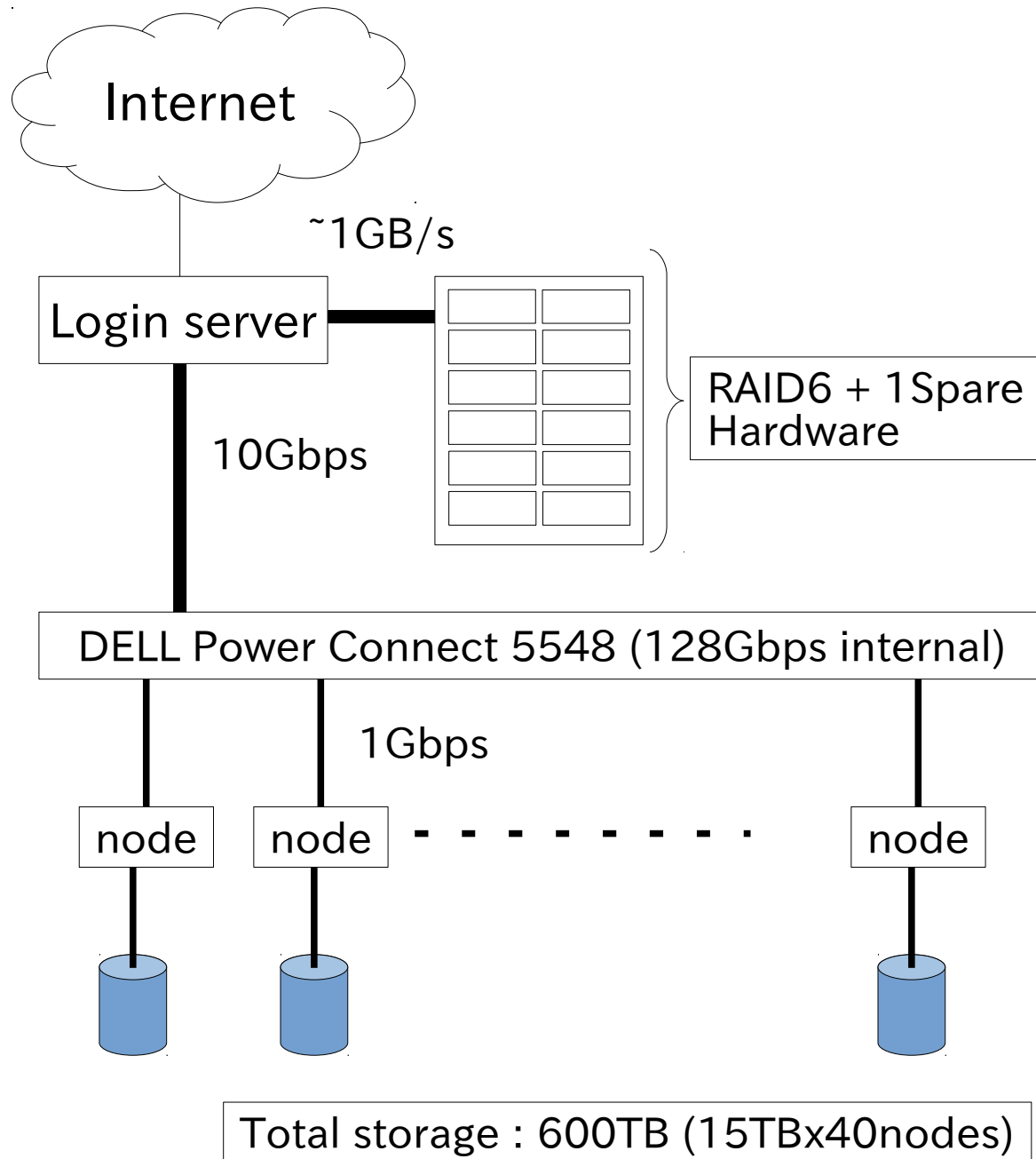
QGSJETII-EPOS



QGSJETII-EPOS



インド・Ooty (タタ基礎研究所) の大型計算機



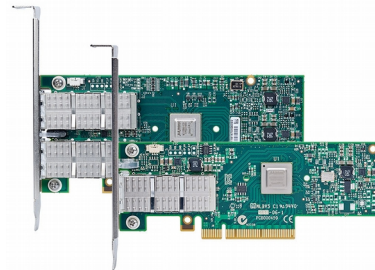
Cluster Configuration

- ノード数: 40
- スレッド数: $40 \times 32 (16 \text{ cores}) = 1,280$
- メモリ: $40 \times 32 \text{ GB} = 1,280 \text{ GB}$
- ストレージ@ノード: 15 TB
- ストレージ合計: $40 \times 15 \text{ TB} = 600 \text{ TB}$
- ノード・ファイルサーバ間通信: 10GbE



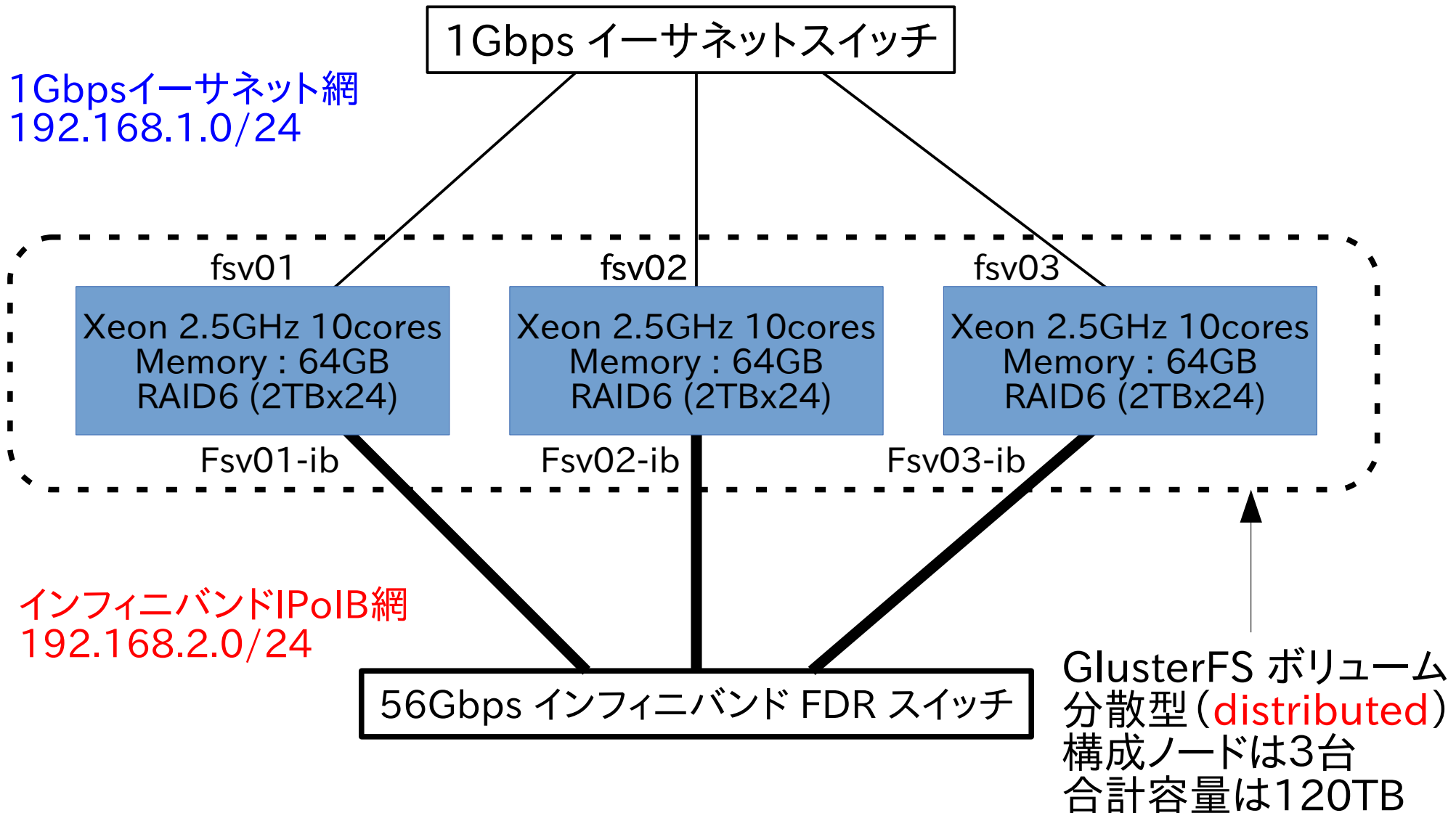
CORSIKAの大規模実行のためのシステム(日本)

- システム構成
- 計算兼用ファイルサーバ
 - HDD:24本(各2TB)
 - 主記憶64GB
 - 3台
 - 合計容量:120TB
- 分散ファイルシステム
 - Distributed
 - GlusterFS
 - IpoIB
 - Infiniband FDR (56Gbps)



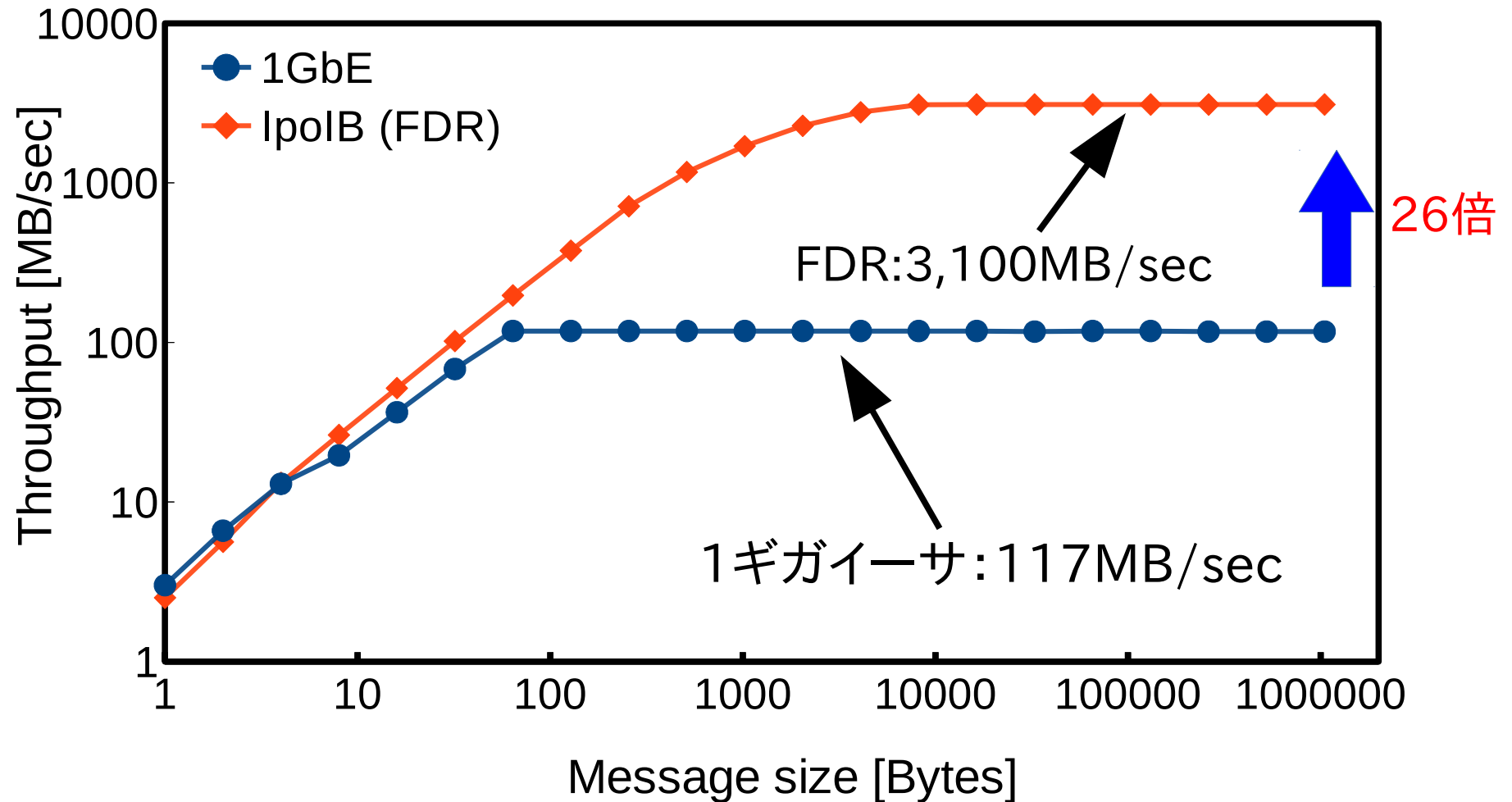
超高エネルギーの計算で使える？

クラスタ・ネットワーク構成



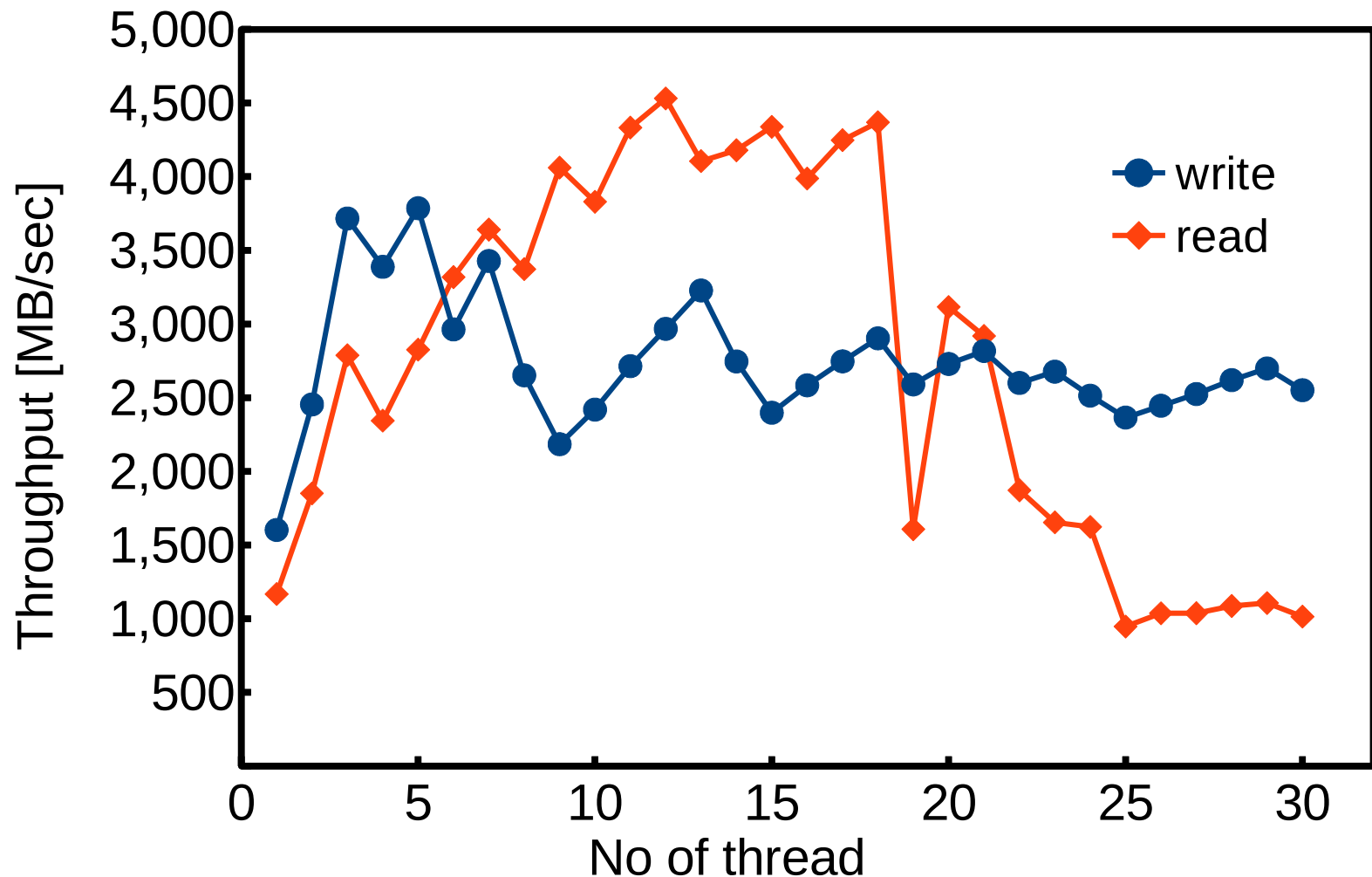
IPoIB/TCPのバンド幅性能 (qperf)

```
# qperf -oo msg_size:1:1M:*2 fsv02 tcp_bw
```



MPI並列read/write性能(IOR)

```
# mpirun_rsh -n 3 -hostfile hosts ./IOR -a MPIIO -b 4g -t 4m ¥  
-i 1 -F -o /mnt/gluster/iotest
```



- CORSIKAの並列MPIオプションで試してみる予定

ガンマ線5TeV

ガンマ線10TeV

ガンマ線30TeV

陽子5TeV

陽子10TeV

陽子30TeV

鉄原子核5TeV

鉄原子核10TeV

鉄原子核30TeV



まとめ

- GRAPES-3空気シャワーアレイの拡張作業
 - シンチレーション検出器の増設中
 - ミューオン検出器の建設中
 - 中性子検出器の設置を計画
- MCシミュレーション
 - 空気シャワーアレイとミューオン検出器の性能評価に使用
 - 低エネルギー銀河宇宙線のカットオフリジディティを考慮
 - CORSIKAの利用にはその中身の理解が必須
 - インド人若手研究者が活発(中身の理解)
- GRAPES-3のハドロン相互作用モデル検証への貢献の可能性
 - 空気シャワーの微細構造(空間的・時間的)の観測
 - 空気シャワーのミューオン成分の分布の詳細な観測

Infiniband とは

- 高速な通信が不可欠なHPC分野で発展した、スイッチ型ファブリックによるネットワーク
- 広帯域・低遅延のノード間通信、サーバ間・サーバストレージ間ネットワーク
- MPIによる並列計算、並列ファイルシステム等の分散型ストレージに利用される
- TOP500 では、約41% (205システム) がInfiniBandを採用したPCクラスタ型計算機
- 団体「InfiniBand Trade Association」により策定された

Infiniband FDR の特徴

- 広帯域
 - FDR 4xでは、双方向56Gbpsの帯域
- 低遅延
 - ポートtoポート:220ns
- 低CPU負荷
 - RDMA (Remote Direct Memory Access)
アプリケーションは、リモートのメモリへ直接データ転送
 - CPU Offload
トランスポート層までハードウェア(HCA)が担当
- エンコーディング
 - 従来の8b/10bエンコーディングから64b/66bに変更
 - 高効率化:80%から97%

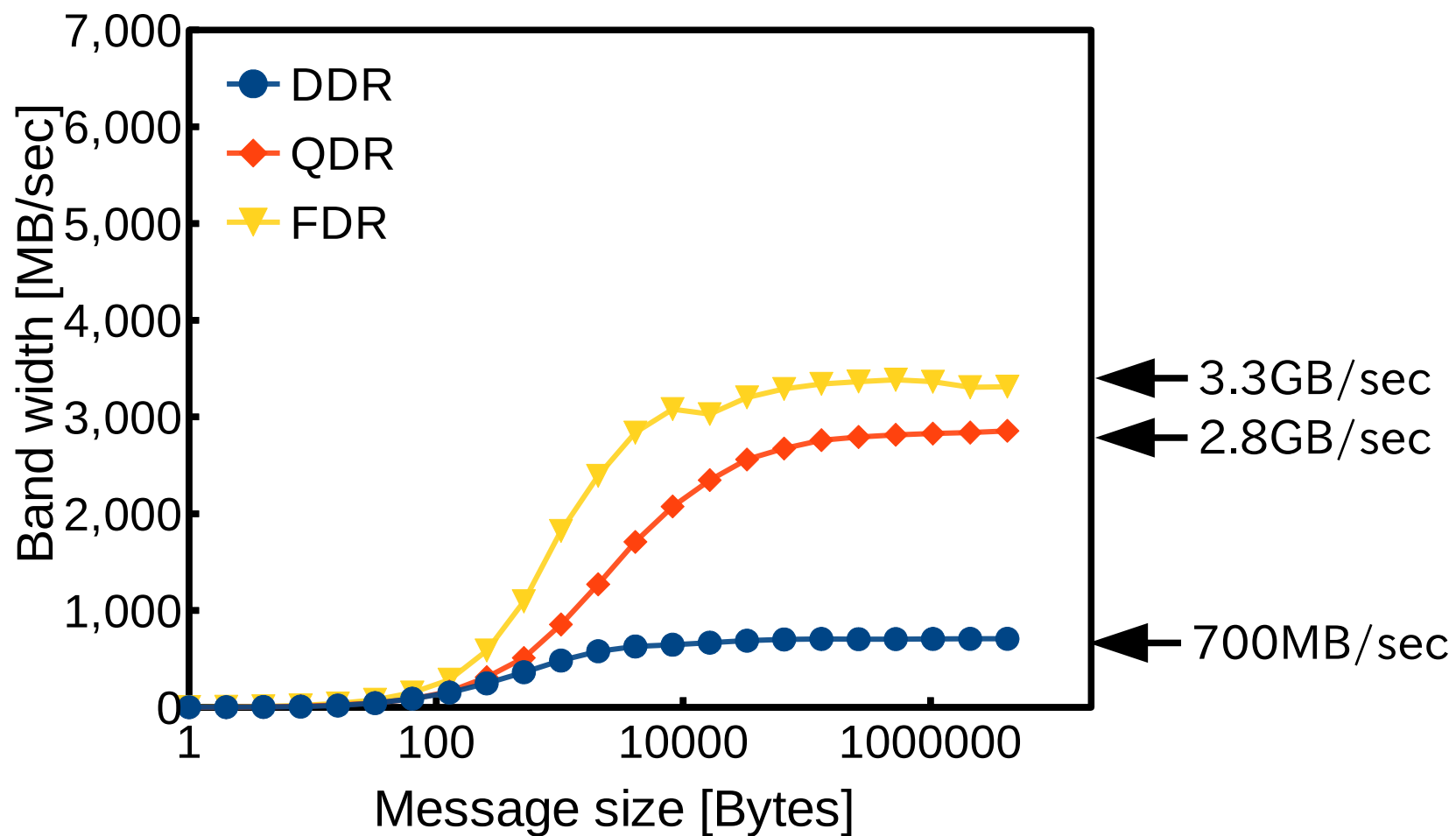
Infiniband の通信

- リンク幅
 - 1レーン (1X) がリンク幅の最小単位
 - 各リンク送信と受信用のペア
 - 一般的には、4レーン (4x) が用いられる
 - 12xはスイッチ間用
 - Auto Negotiation
- インフィニバンドのデータレート
 - SDR (Single Data Rate) 8Gbs
 - DDR (Double Data Rate) 16Gbps
 - QDR (Quad Data Rate) 32Gbps
 - FDR (Fourteen Data Rate) 56Gbps

次のページで
性能比較

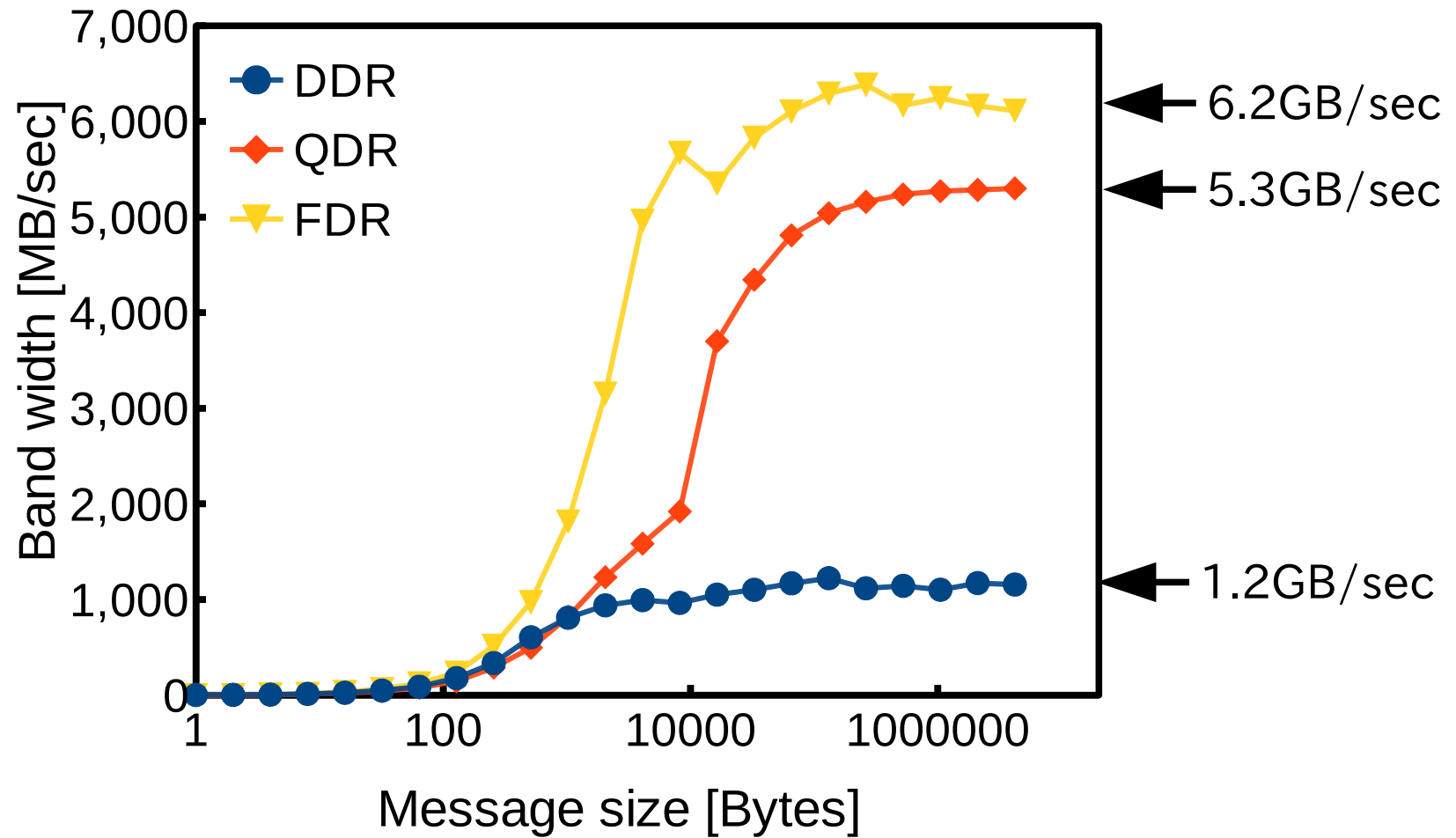
Infiniband/RDMA性能(片方向)

```
# mpirun_rsh -n 2 fsv02 fsv03 ./osu_bw
```



Infiniband/RDMA性能(双方向)

```
# mpirun_rsh -n 2 fsv02 fsv03 ./osu_bibw
```



IPoIB/TCPの通信遅延性能 (qperf)

```
# qperf -oo msg_size:1:1M:*2 fsv02 tcp_lat
```

