

Ooty空気シャワー実験による 一次宇宙線原子核組成

大阪市立大学 田中秀樹

ウーティー空気シャワー実験 GRAPES-3 (Gamma-Ray Astronomy at PeV Energys 3rd)

日印共同研究 (OCU, TIFR)

観測地点



南インド ウーティー

E 76.7° N 11.4°

2230m a.s.l. (800g/cm²)

目的

knee領域宇宙線原子核組成

>10TeV ガンマ線点源

>10TeV 拡散ガンマ線

>100GeV宇宙線の異方性

宇宙線強度の短期変動



GRAPES-3 Collaboration

India-Japan collaboration

Osaka City University, Osaka, Japan

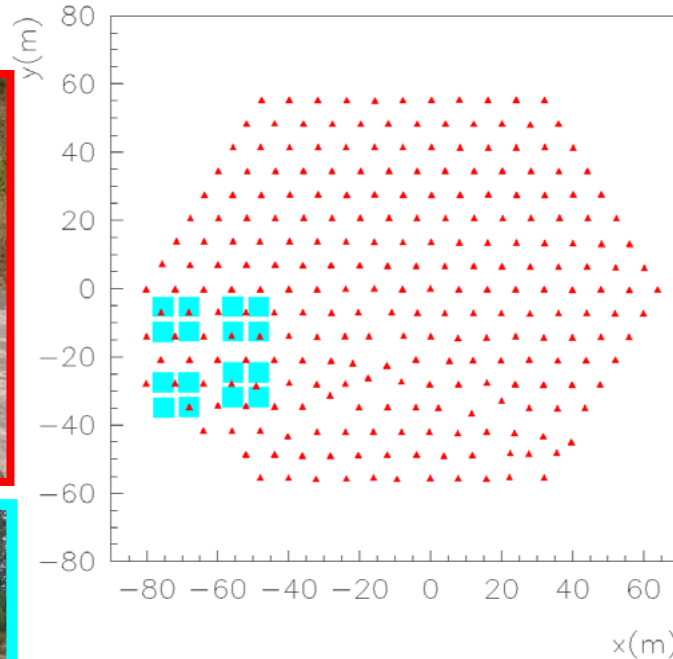
Tata Institute of Fundamental Research, Mumbai, India

S.K. Gupta, K. Hayashi, Y. Hayashi, N. Ito, A. Jain, A.V. John,
S. Karthikeyan, S. Kawakami, H. Kojima, T. Matsuyama,
M. Minamino, P.K. Mohanty, S.D. Morris, T. Nonaka, S. Ogio,
T. Okuda, A. Oshima, B.S. Rao, K.C. Ravindran, M. Sasano,
N. Shimizu, K. Sivaprasad, B.V. Sreekantan, H. Tanaka,
S.C. Tonwar, K. Viswanathan, V. Viswanathan, T. Yoshikoshi

空気シャワーアレー



空気シャワー観測装置



▲ SD ■ MU

電磁成分検出器:
プラスチックシンチレータ
($1\text{m}^2 \times 5\text{cm}$)
8m間隔で256台
ADC、TDC値を記録

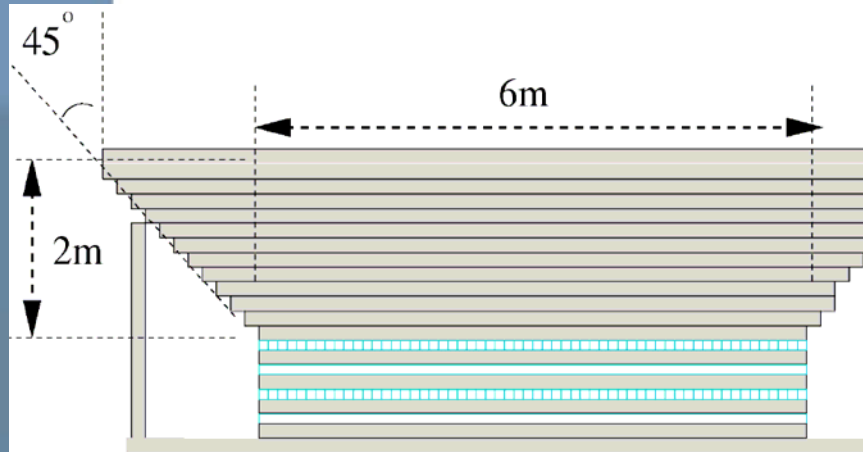
ミューオン検出装置:
比例計数管
6m $\times$ 6mの検出(>1GeV)
16台 合計 560m²
ミューオンのトラックを記録

GRAPES-3 空気シャワーアレー ミューオン多重度をMCと比較して核組成を推定

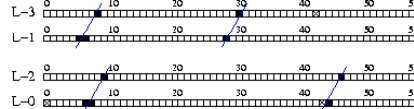
ミューオン検出装置



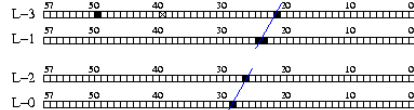
- ・ 6m比例計数管
- ・ 4層
- ・ $>1\text{ GeV}$ ミューオン
- ・ トラックを識別
- ・ 合計 560 m^2



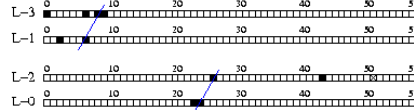
Module-0



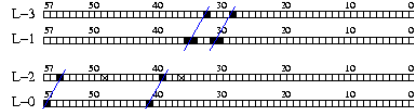
Module-2



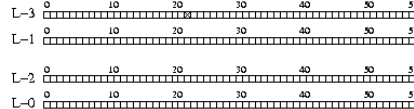
Module-4



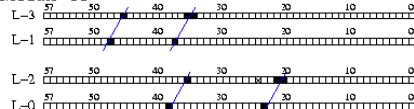
Module-6



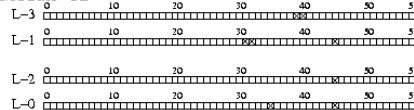
Module-8



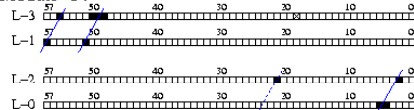
Module-10



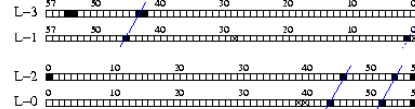
Module-12



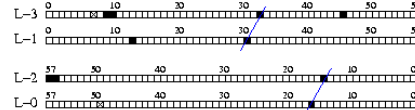
Module-14



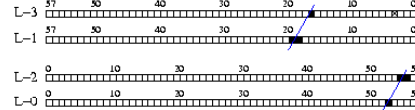
Module-1



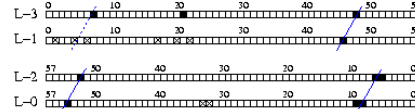
Module-3



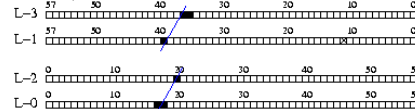
Module-5



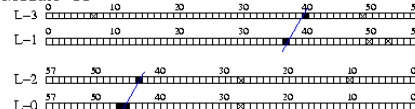
Module-7



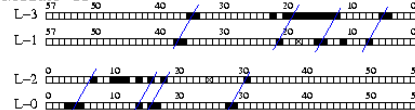
Module-9



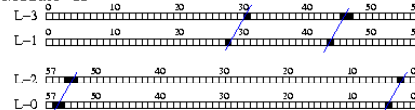
Module-11



Module-13



Module-15

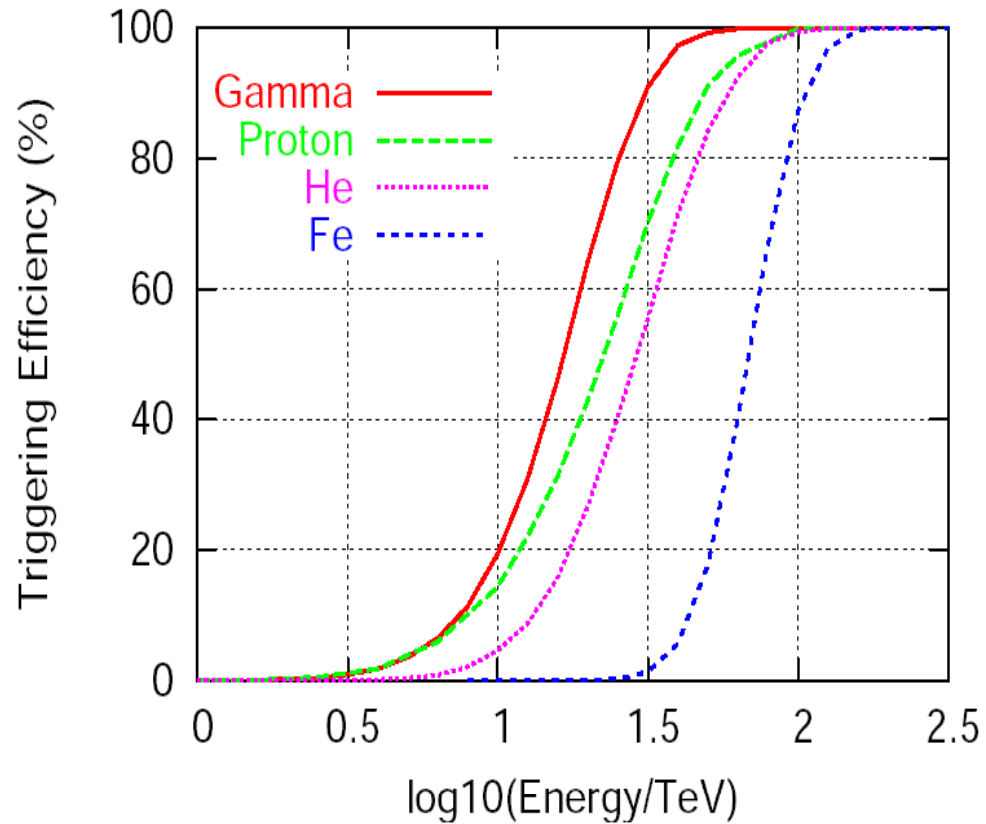


全ミューオン装置のデータ

計24本

トリガー効率

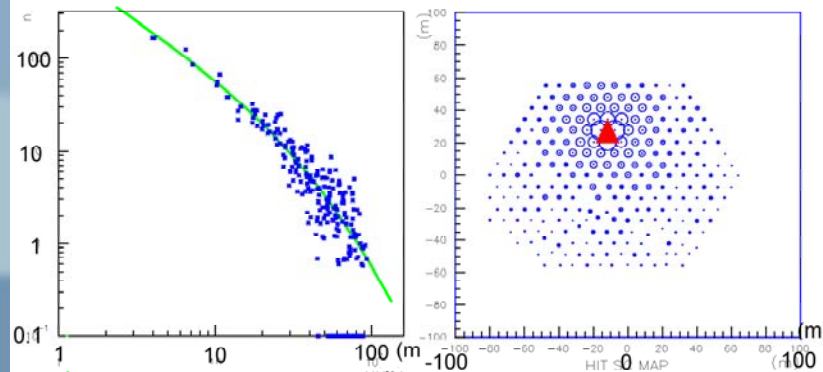
>0.4 Mips 10 台



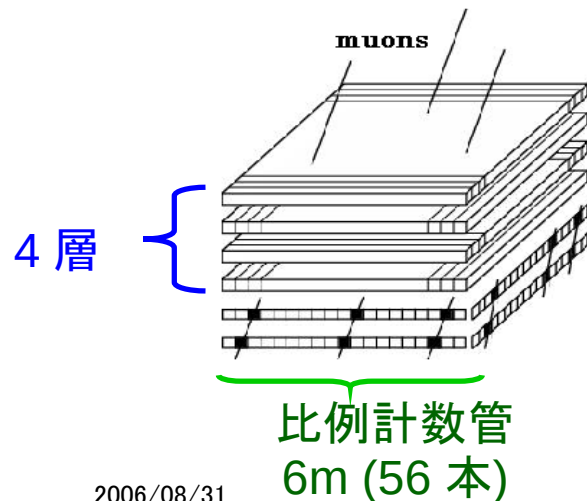
~20TeV proton で 50% 程度

空気シャワー再構成

062082-000814 2 2001-11-26 21:34:34.016600
NKG LOG PROB: -231.2351 / 252 LOOP: 62 $\phi: 4$ $\psi: 111$
X: -11.8 ± 0.2 m Y: 27.3 ± 0.3 m S: 0.91 ± 0.02 N: $1.82E+05 \pm 4\%$ ADC: 208 STAT: 0187



- ・ 横方向フィット
 - NKG関数
 - フリーパラメタ
 - ・ コアの座標 (x, y)
 - ・ シャワーサイズ N_e
 - ・ 横分布 s
- ・ 到来方向フィット
 - シャワー面をコーンで近似
- ・ ミュー粒子の計測
 - シャワー方向に一致する軌跡の本数



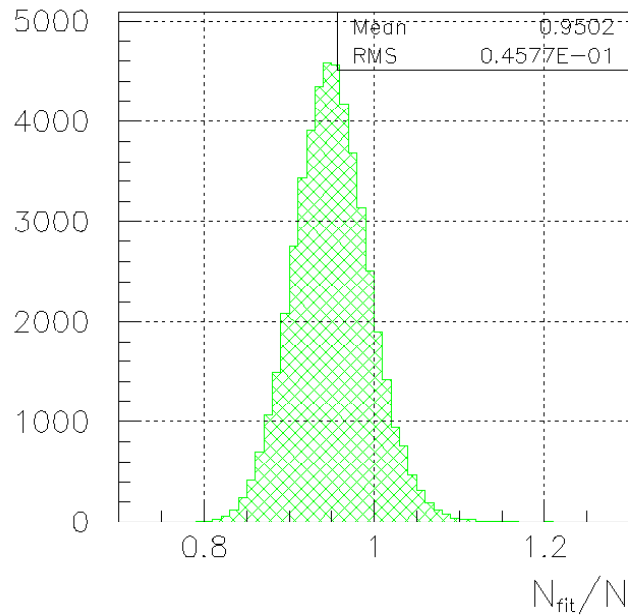
サイズの推定 (M.C.)

distribution of Air shower Size error

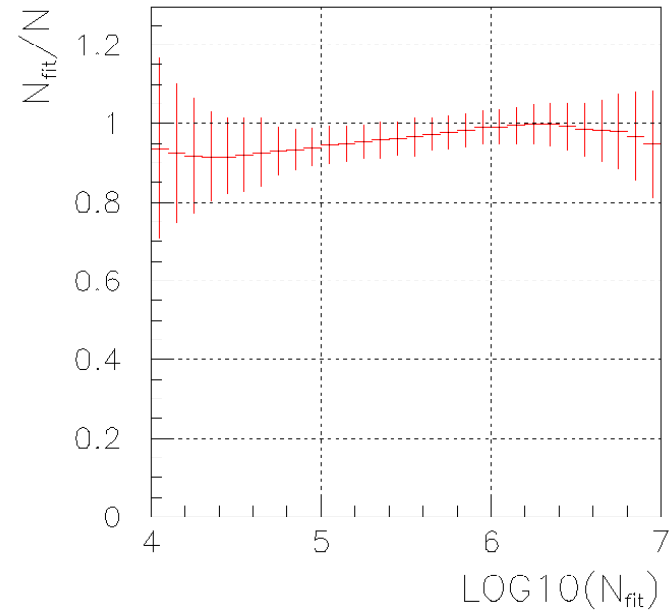
Error $\sim \pm 5\%$

Error in Ne (N_{fit} / N_e)

With one standard deviation

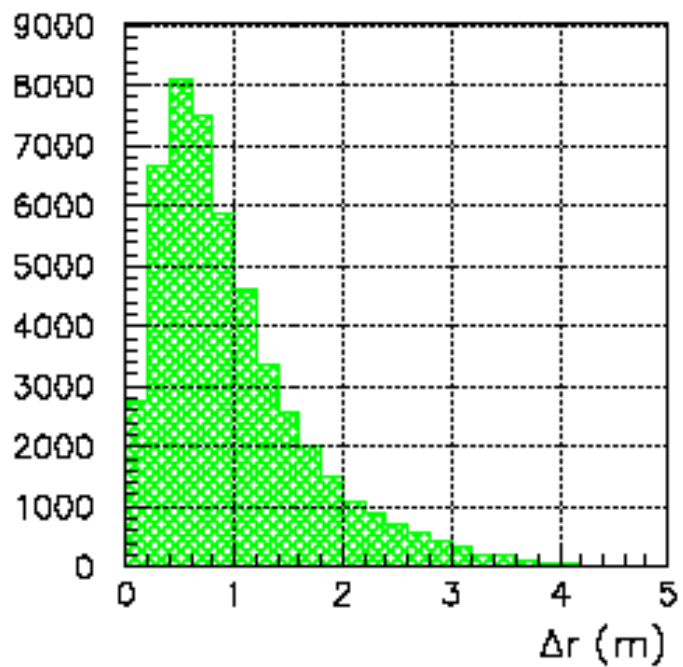


(a) ($10^{5.0} \leq N_{\text{fit}} < 10^{5.5}$)

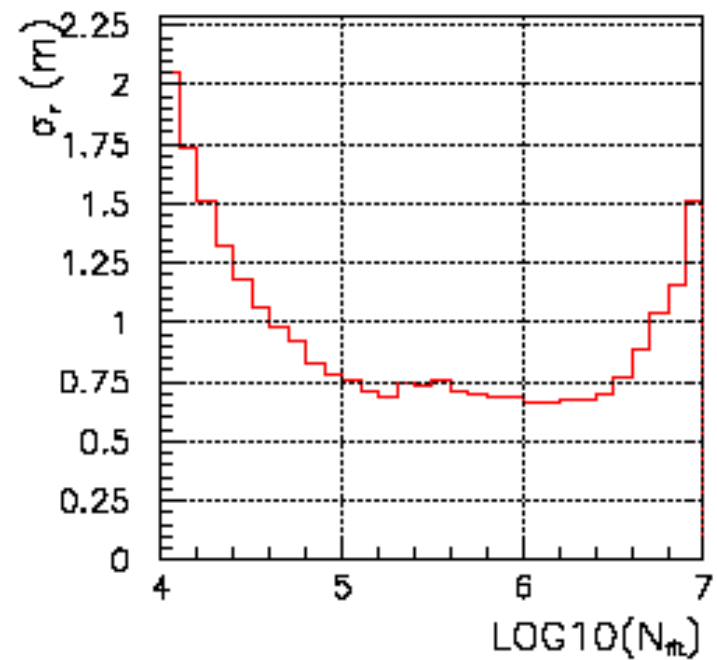


LOG10 (N_{fit})

コアの推定 (M.C)

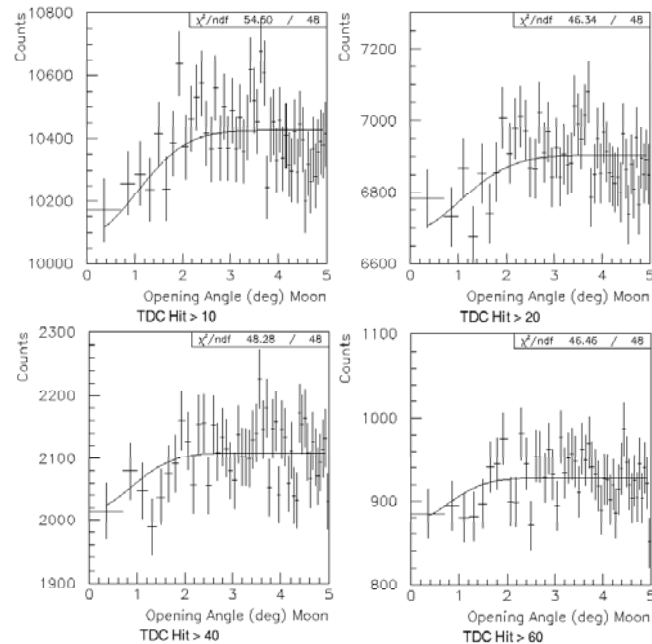


(a) $(10^{5.0} \leq N_{\text{fit}} < 10^{5.5})$



LOG10 (N_{fit})

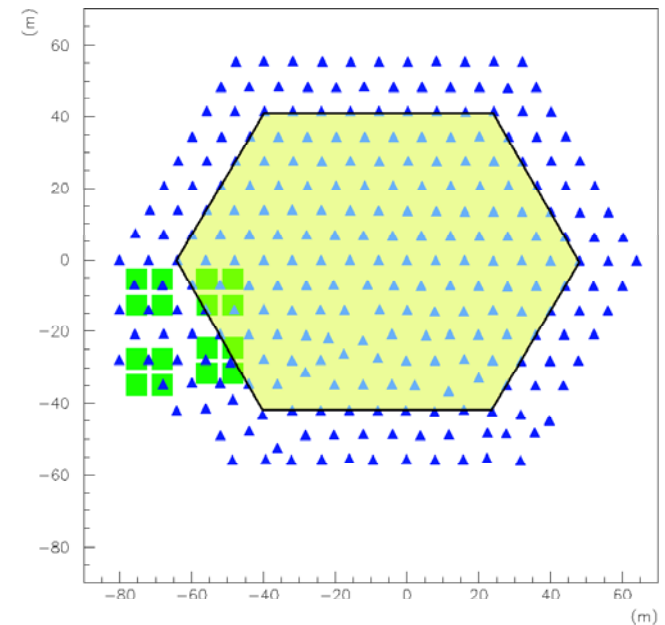
到来方向決定（月の影）



Number of Hit TDC	resolution
> 10	$1.03^\circ \pm 0.14^\circ$
> 20	$1.05^\circ \pm 0.16^\circ$
> 40	$0.88^\circ \pm 0.17^\circ$
> 60	$0.78^\circ \pm 0.19^\circ$

サイズスペクトル測定条件

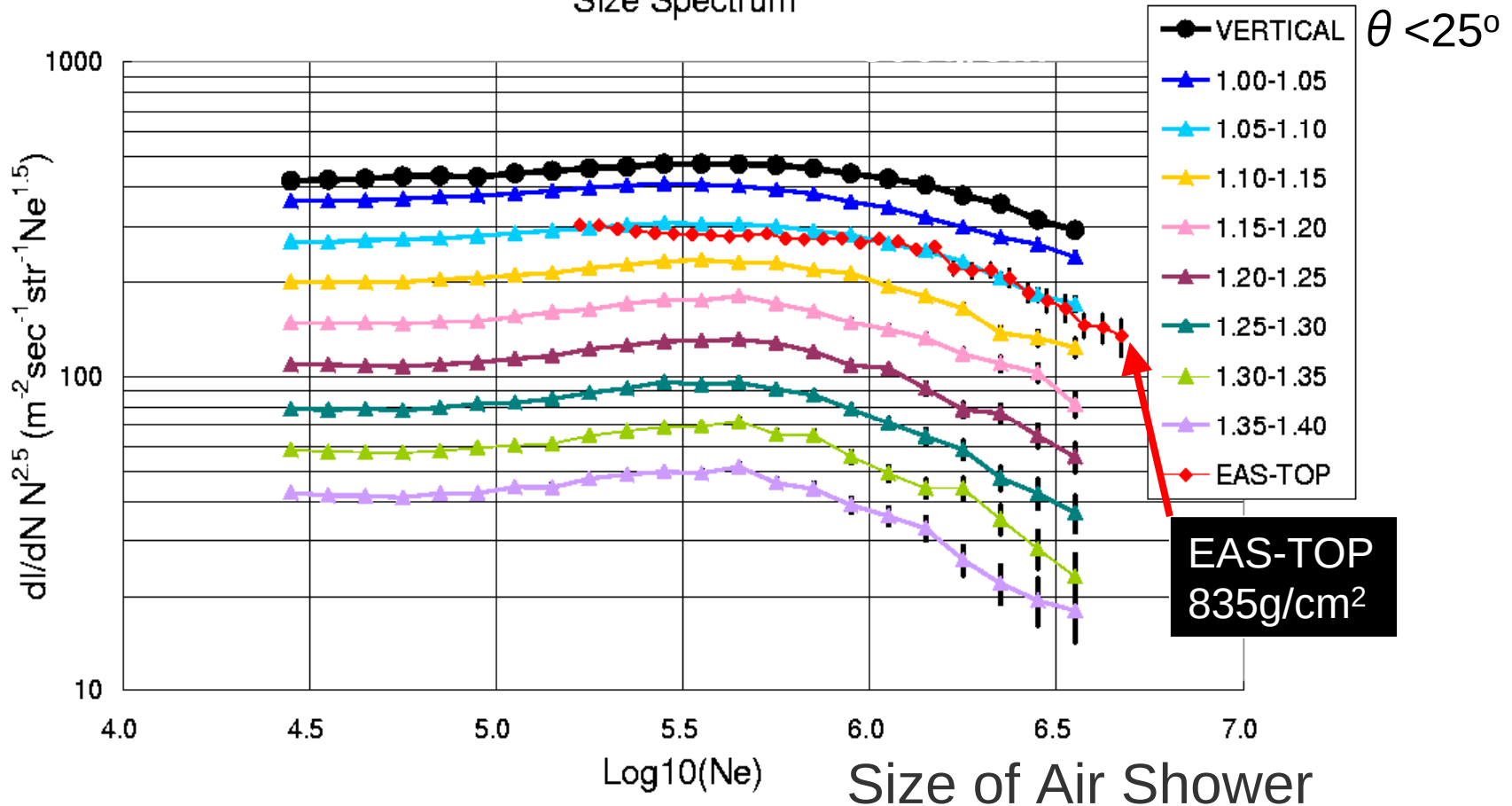
- 観測期間
 - 2000 – 2001年
 - 約560日
- 総シャワー数
 - 6×10^8
- トリガー頻度
 - 約13Hz
- シャワーコア
 - アレー内側の黄色の領域



サイズスペクトル

Classified with sec θ

Size Spectrum



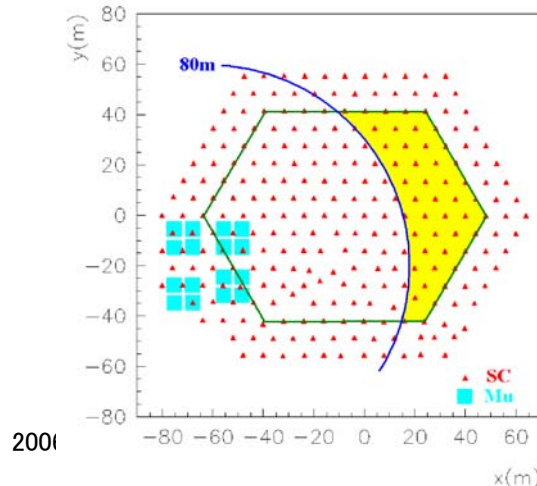
Spectrum of EAS-TOP is ~10% lower than ours in terms of Ne.

It is fairly well matching in case of A.S. experiment !

ミューオン数を用いた解析

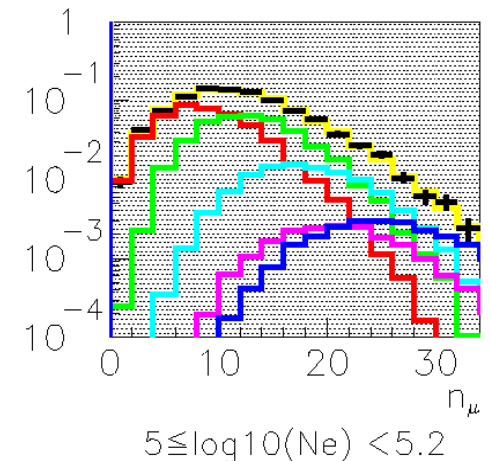
▶ 観測シャワーデータ

- ▶ 2000 – 2001年(合計 約560日間)
- ▶ $\theta < 25^\circ$
- ▶ $80\text{m} < R_\mu < 105\text{m}$
- ▶ シャワー数 6×10^8
($4 \times 10^5 : \text{Ne} > 10^5$)
- ▶ シャワー頻度 13Hz



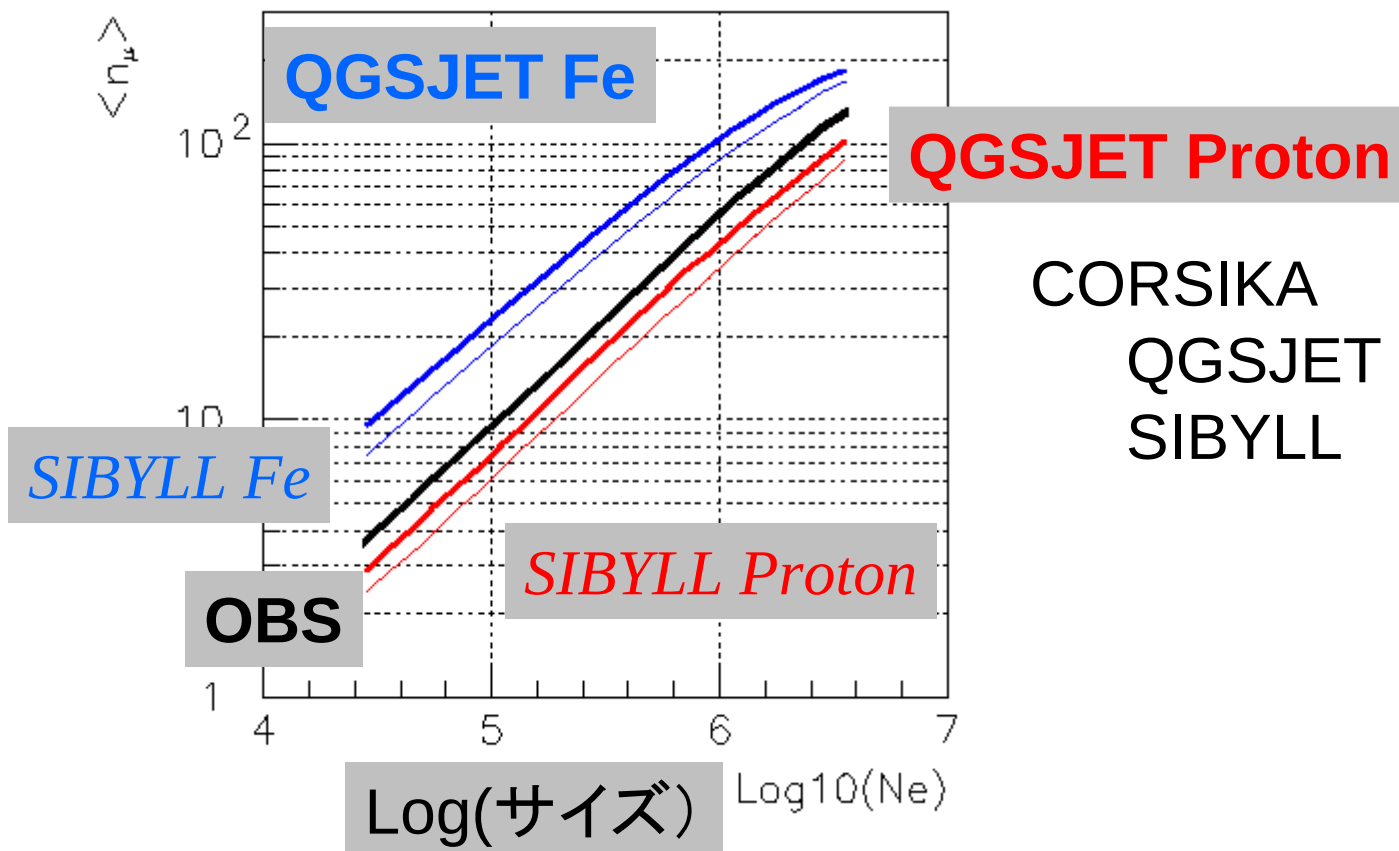
▶ MCシミュレーション

- ▶ CORSIKA v6.02
- ▶ QGSJET, SIBYLL
- ▶ 5核種
 - ▶ Proton
 - ▶ He
 - ▶ N
 - ▶ Al
 - ▶ Fe

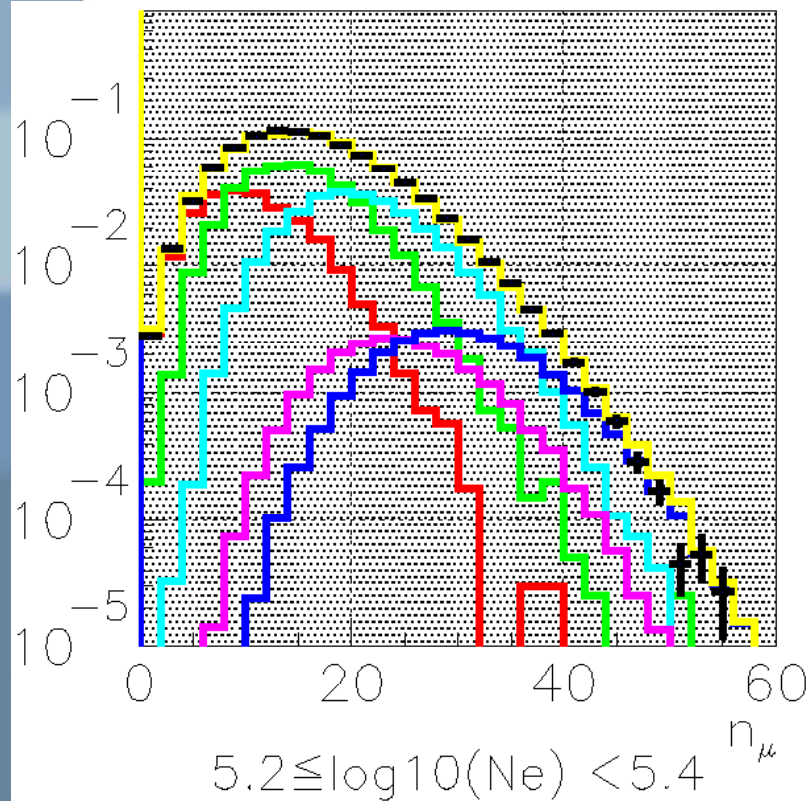


ハドロンモデル依存性

検出ミューオン数



Relative abundance of each nucleus group



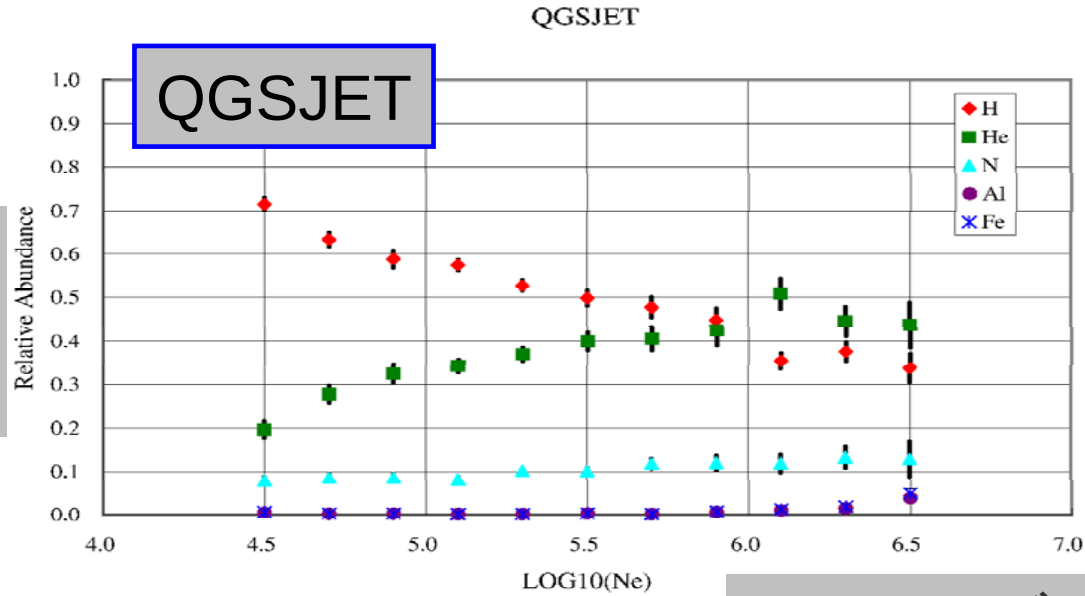
SIBYLL

2006/08/31

- $10^{5.2} \leq \text{Ne} < 10^{5.4}$
- Al / Fe fixed at 0.8
- Proton 0.2
- He 0.4
- N 0.3
- Al 0.02
- Fe 0.03
- Estimated
- Observation

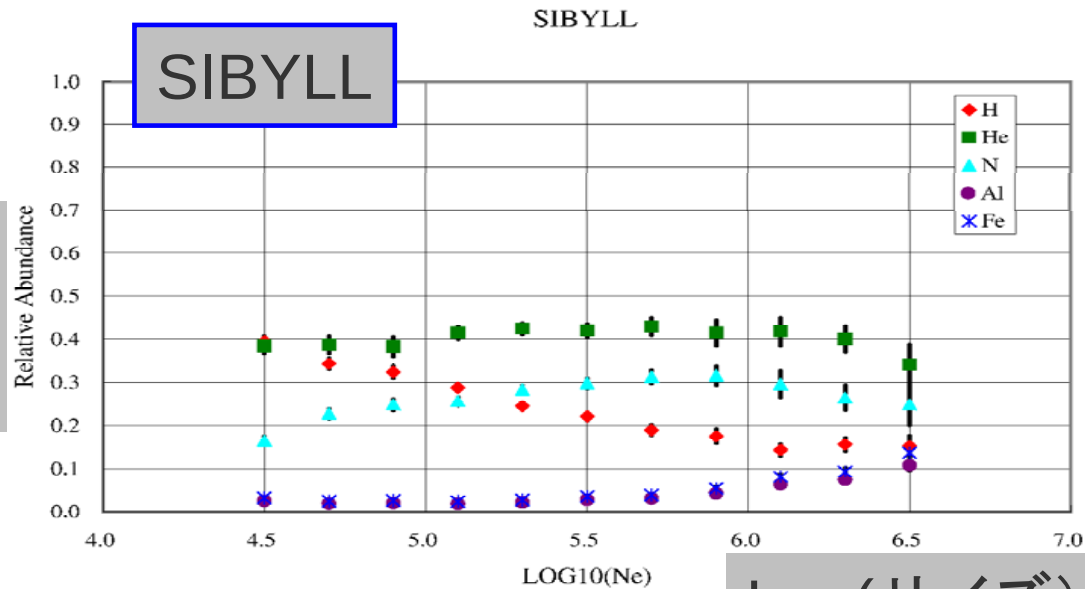
核種成分存在比

存在比



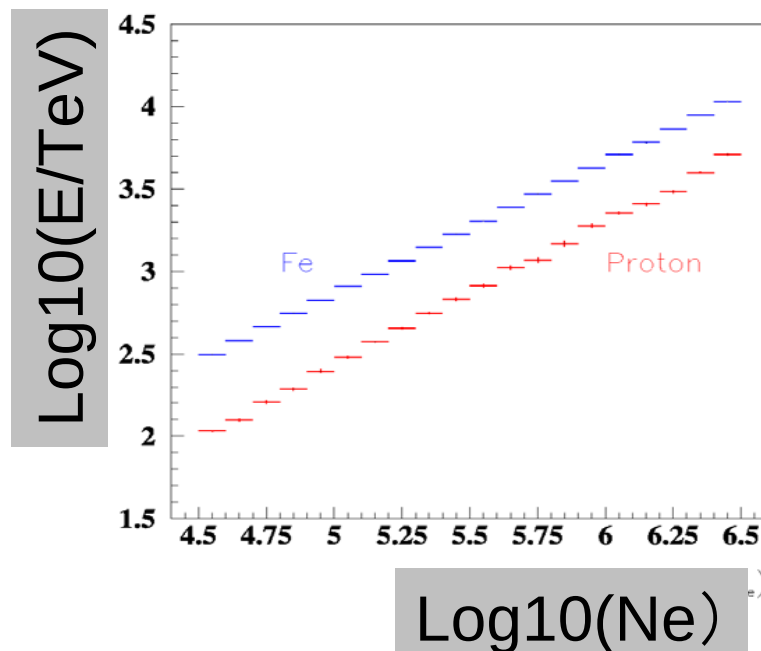
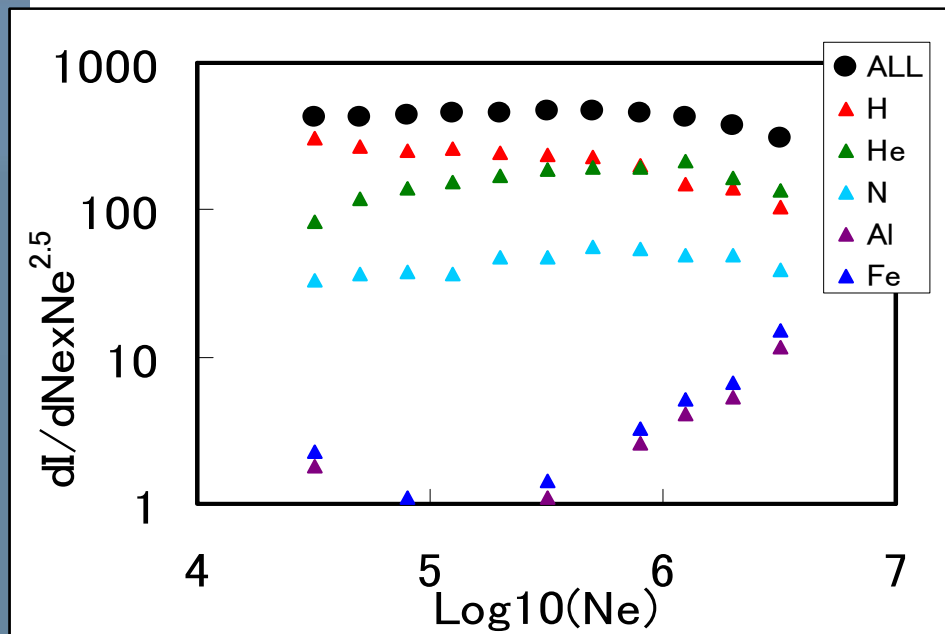
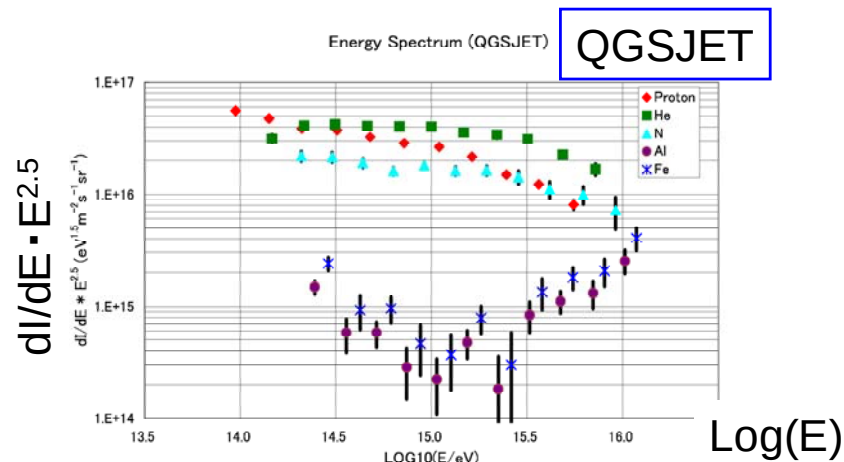
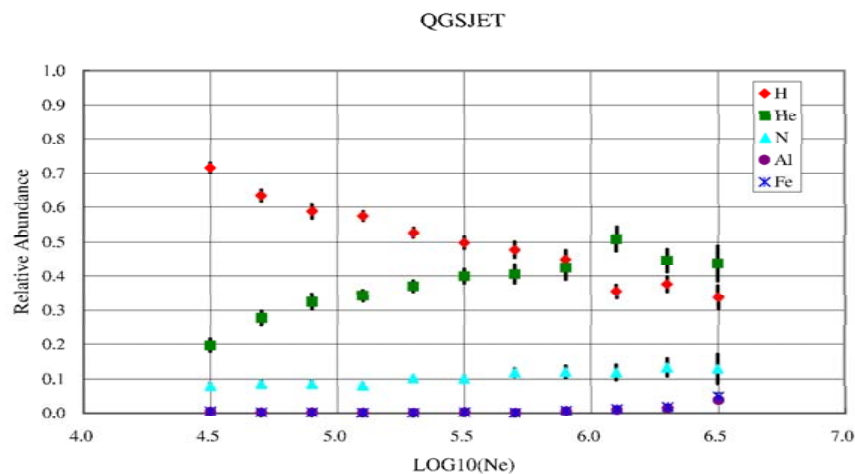
Log(サイズ)

存在比

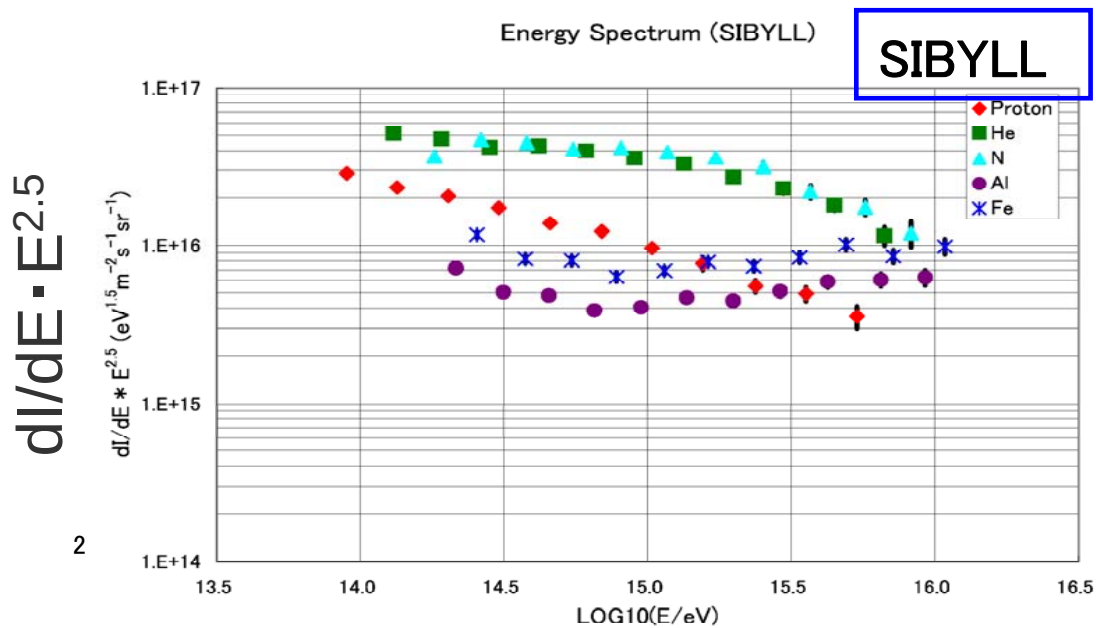
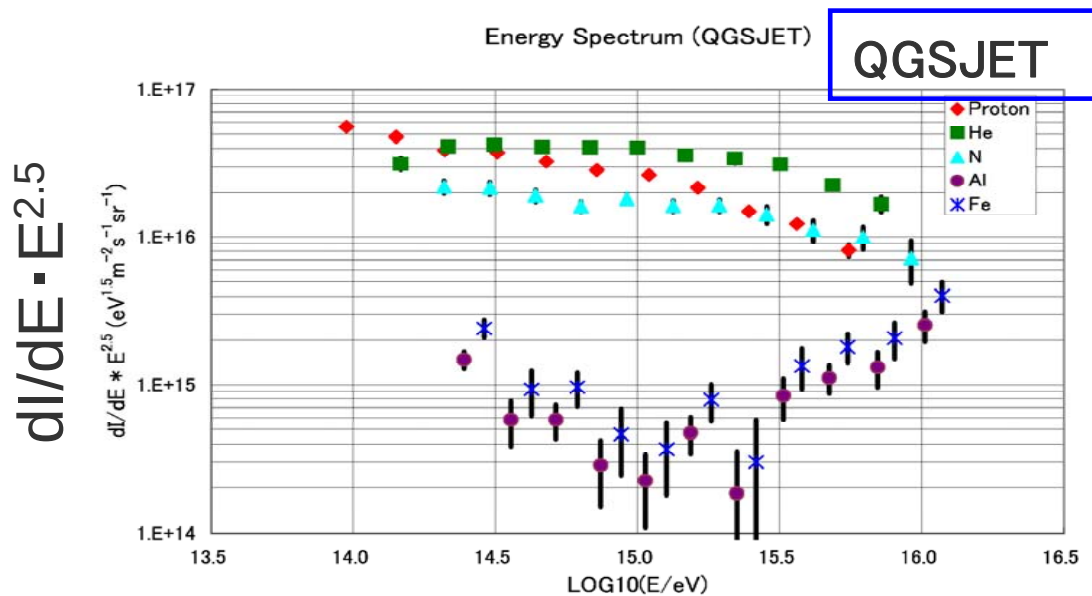


Log(サイズ)

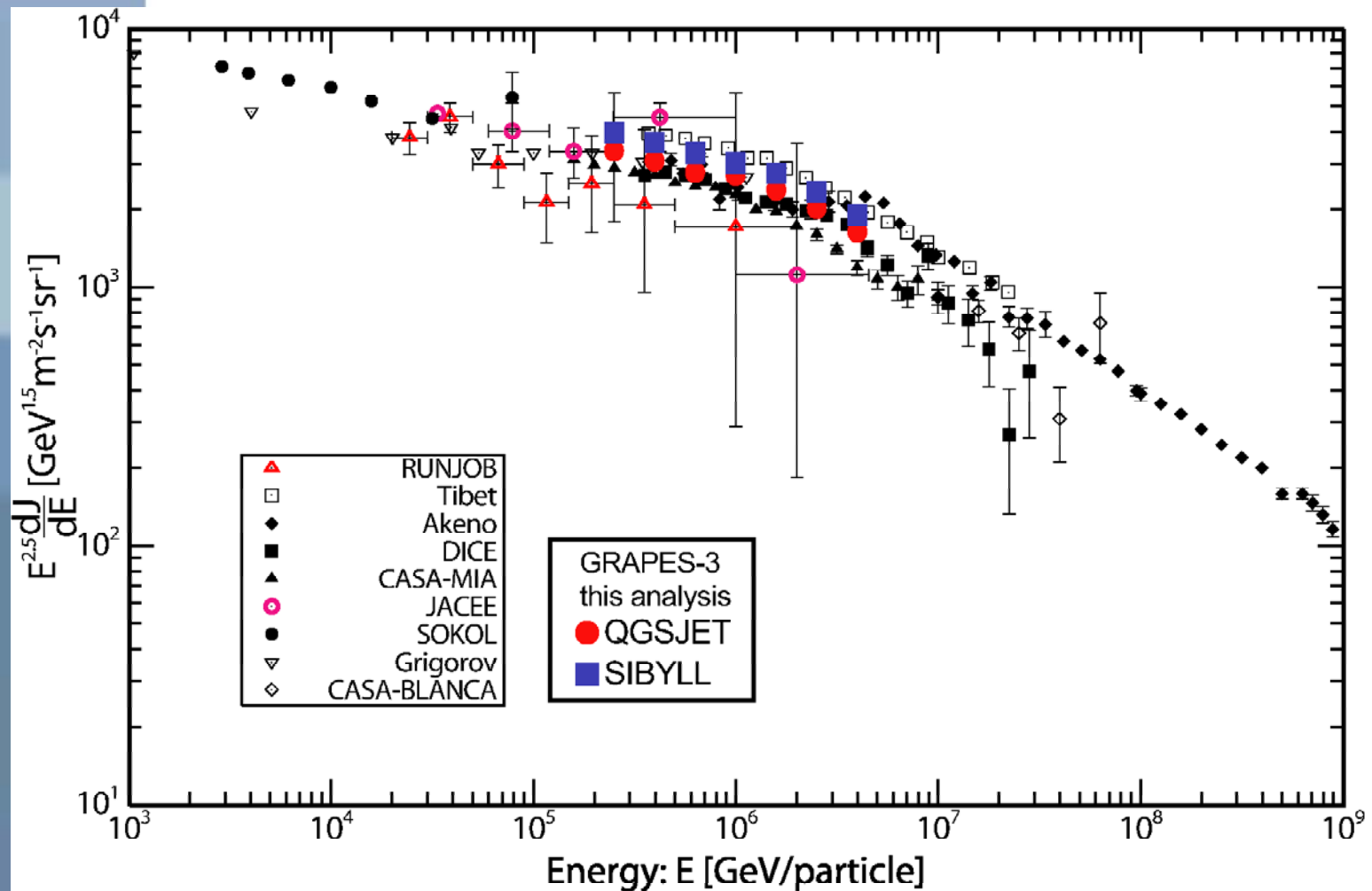
エネルギースペクトルの算出



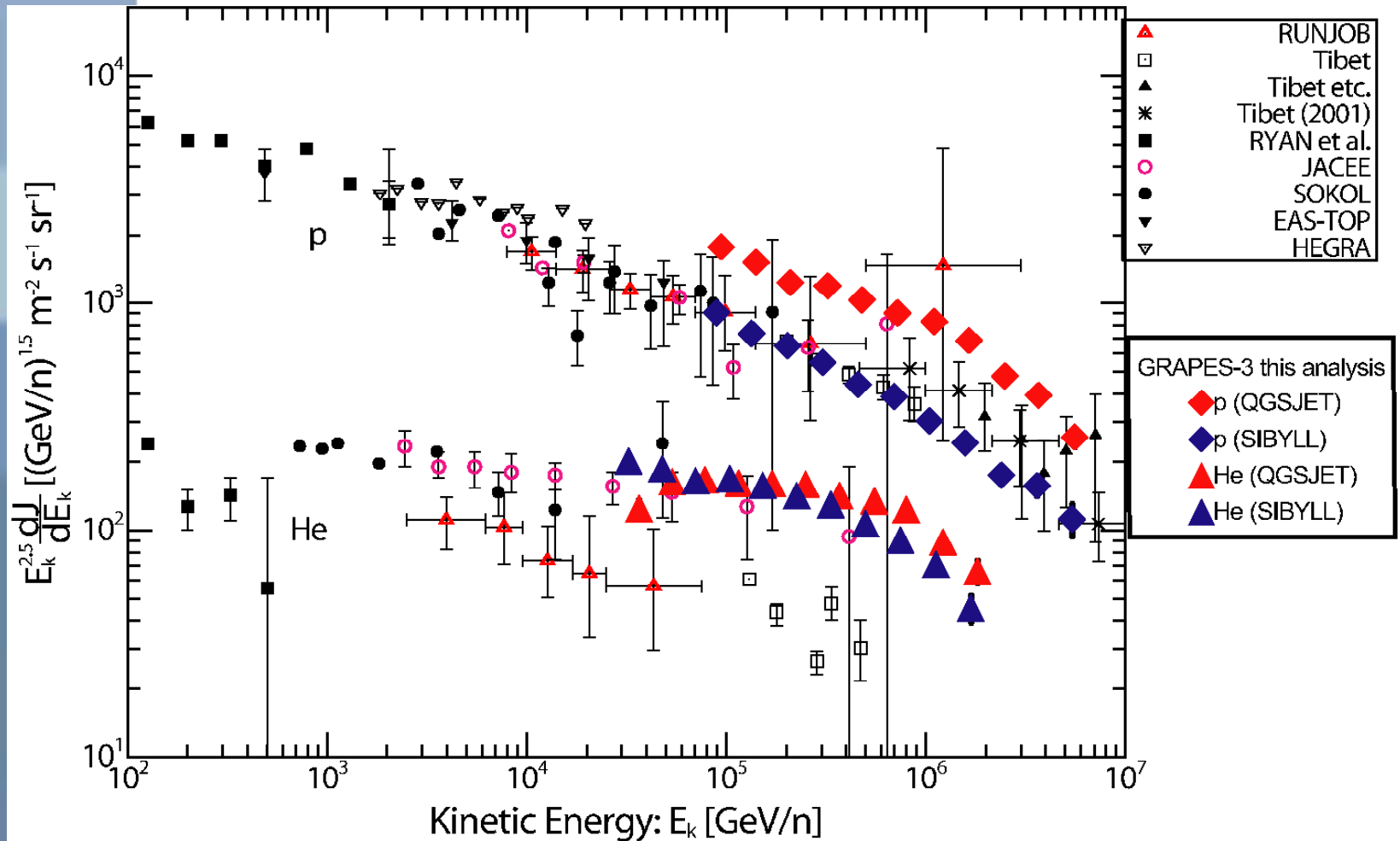
エネルギーースペクトル



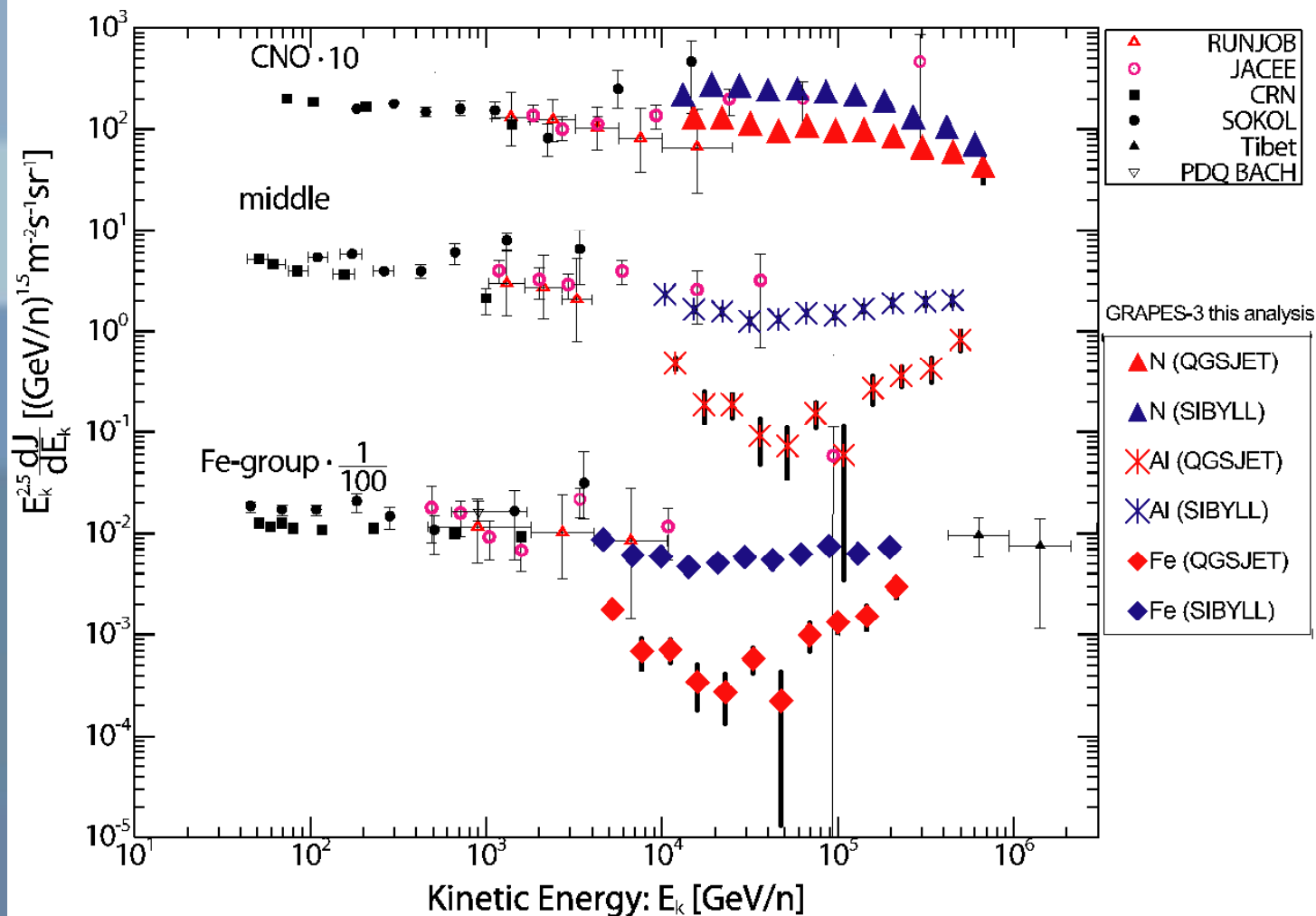
全粒子スペクトル



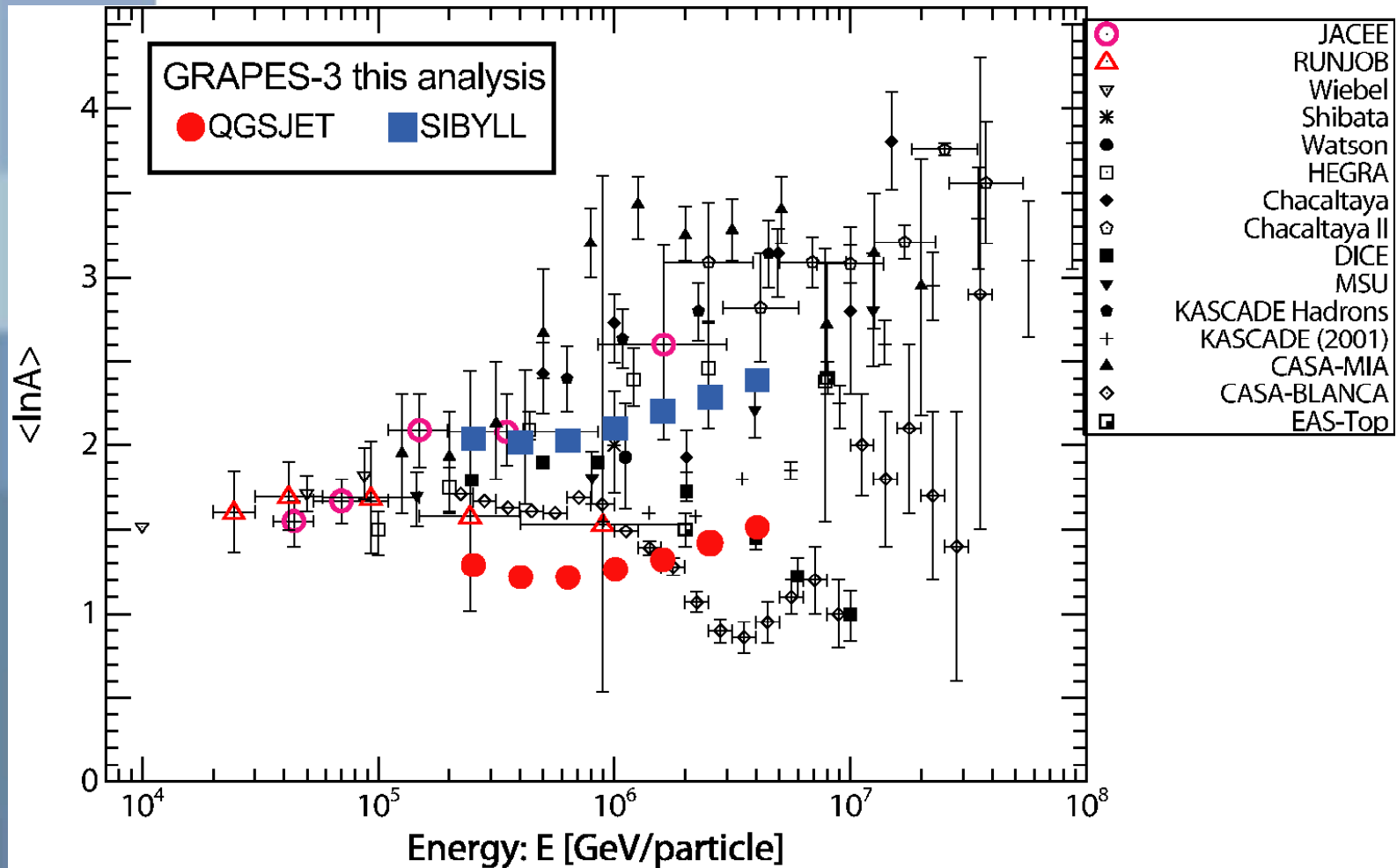
陽子・ヘリウムスペクトル



他のスペクトル



平均質量数



まとめ

- 2000年、2001年のGRAPES-3の観測から核種グループごとにエネルギースペクトルを導出
- SIBYLLでの結果は直接観測に良く合う
- 平均質量数はエネルギーと共に増加する傾向

将来計画

- 721台SDアレー
($12000\text{m}^2 \rightarrow 37000\text{m}^2$)
- ミューオン検出器の増設
($560\text{ m}^2 \rightarrow 875\text{ m}^2$)
- Dual PMT SD
($100\text{mips} \rightarrow \text{数}1000\text{mips}$)

