

Tibet AS γ 実験、化学組成測定実験の紹介

横浜国大・工 片岡幹博^G for the Tibet AS γ Collaboration

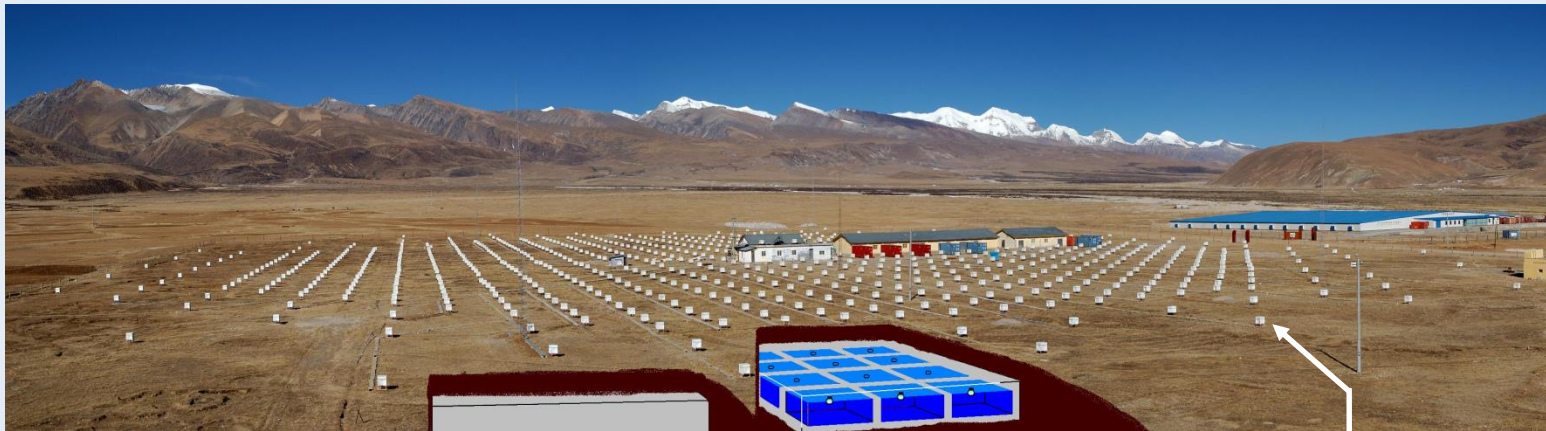
雨森道紘^A, 日比野欣也^B, 堀田直己^C, 梶野文義^D, 笠原克昌^E, 片岡厚典^F,
片岡幹博^G, 片寄祐作^G, 加藤千尋^H, 川田和正^F, 小池俊輝^H, 小財正義^I,
水谷興平^{EJ}, 宗像一起^H, 中村佳昭^H, 南條宏肇^A, 西澤正己^K, 大西宗博^F,
太田周^L, 小澤俊介^E, 齋藤隆之^M, 齋藤敏治^N, 坂田通徳^D, 佐古崇志^F,
柴田槇雄^G, 塩見昌司^O, 白井達也^B, 杉本久彦^P, 鈴木大^G,
瀧田正人^F, 立山暢人^B, 徳永恭助^F, 鳥居祥二^E, 土屋晴文^Q, 有働慈治^B,
山本嘉昭^D, 他 **The Tibet AS γ Collaboration**

弘前大理工^A, 神奈川大工^B, 宇都宮大教^C, 甲南大理工^D, 早大理工研^E, 東大宇宙線研^F,
横浜国大工^G, 信州大理^H, 宇宙研^I, 埼玉大^J, 国立情報学研^K, 作新学院大^L,
Max-Planck-Institut fuer Physik^M, 都立産業技術高専^N, 日本大生産工^O, 湘南工
大^P,
原子力機構^Q

空気シャワー観測による宇宙線の起源探索勉強会

平成29年3月30日、31日 東京大学宇宙線研究所

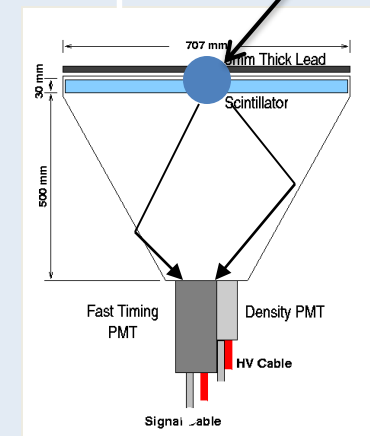
Tibet-III 空気シャワーアレイ



ミュオン検出器 ↑

Yangbajing, Tibet, CHINA, 4300m a.s.l.

- 検出器台数 0.5 m² x 789
- アレイ有効面積 ~37,000 m²
- 観測エネルギー範囲 ~TeV - 100 PeV
- 角度決定精度 ~0.4 @10 TeV
(Gamma rays) ~0.2 @100 TeV
- エネルギー決定精度 ~50% @10 TeV
(Gamma rays) ~25% @100TeV
- 視野角 ~2 sr
- 高稼働率 (>90%)

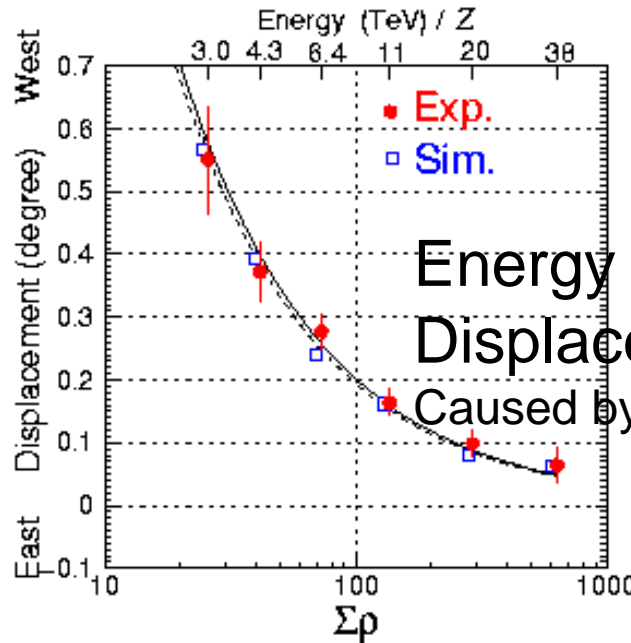
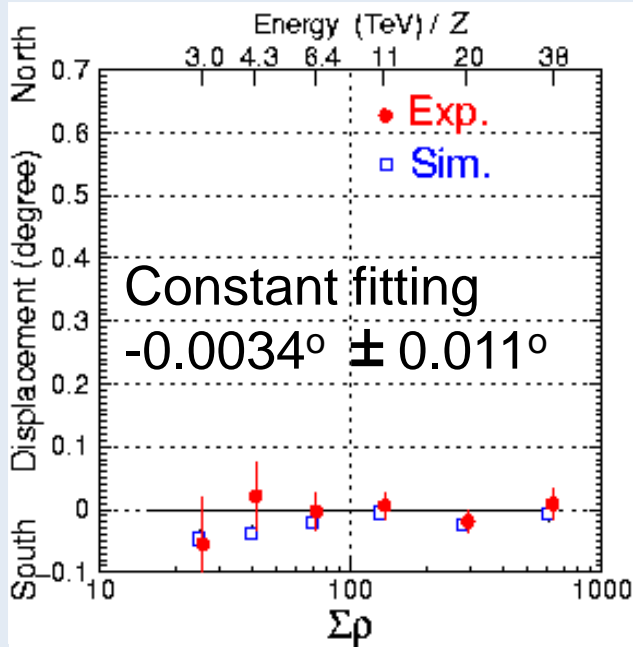
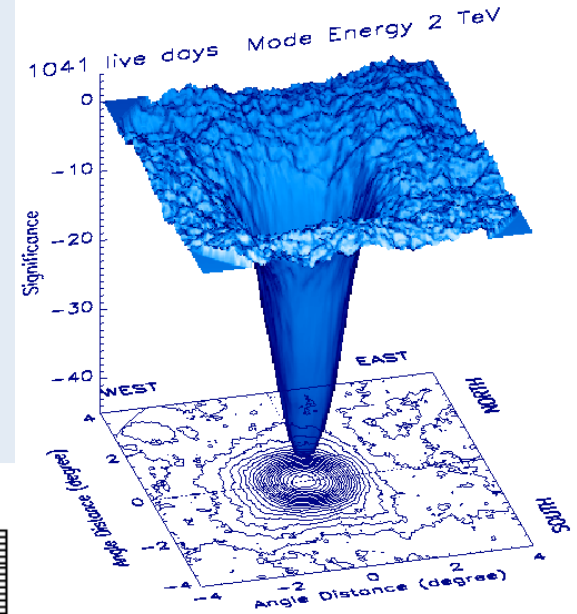


2nd particles
Timing &
Energy deposit

Tibet-III 基本性能

月の影

- Absolute Energy Scale error
- Pointing error



Energy dependence of Displacements
Caused by Geomagnetic field

➔ Systematic pointing error < 0.01°

➔ Absolute Energy Scale error -4.4% +- 7.9%stat +- 8%sys

Tibet ASy実験での化学組成研究

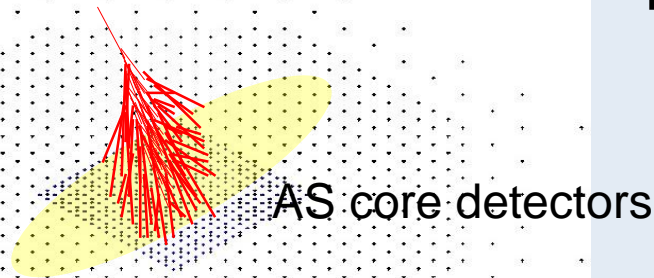
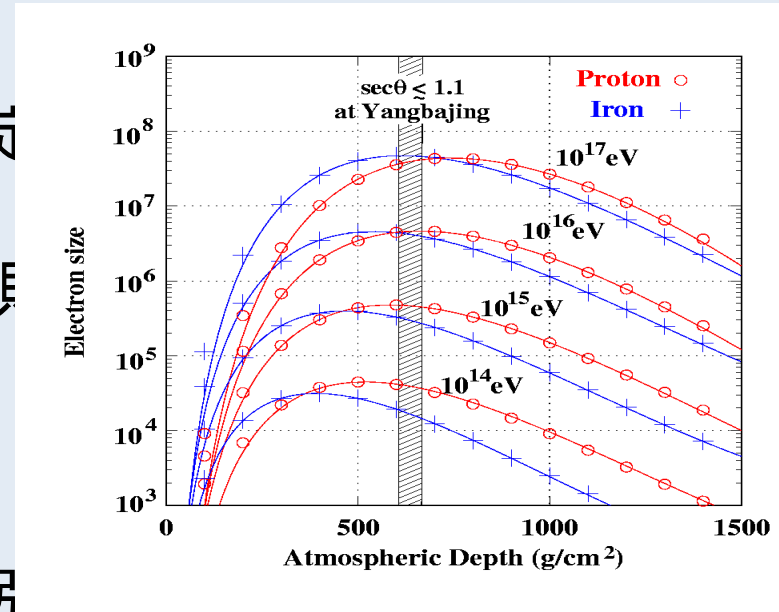
Tibet-III 検出器

空気シャワー粒子数 ⇒ エネルギー測定
 空気シャワー粒子の到達時間

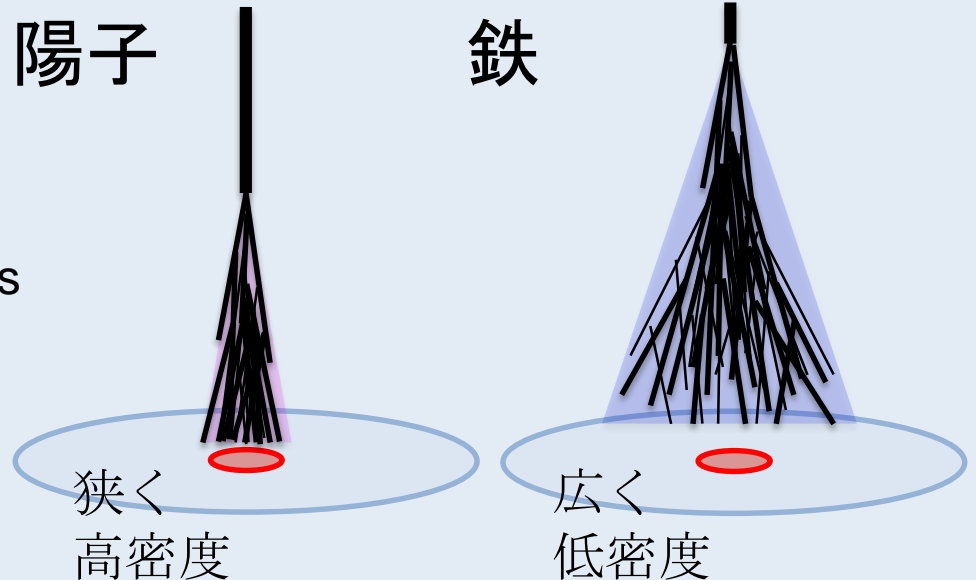
⇒ 方向測定

コア検出器

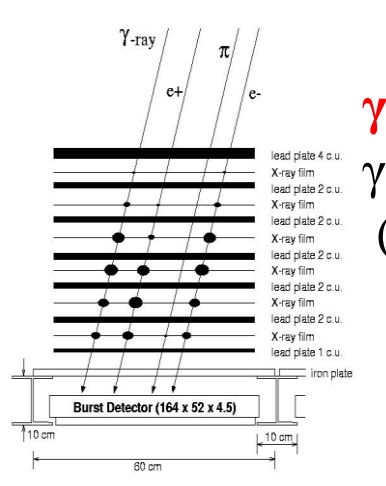
空気シャワー中心の高エネルギー粒子の広がり ⇒ 核種選別



Tibet-III air shower array



Phase I 実験 (1996-1998)



γ families

γ and e
($> \text{TeV}$)

177 events

→ P, He spectrum

鉛板、EC, X線フィルム、
Burst検出器

200TeV ~ 10PeV P と He

Phase II 実験 (2002-2005)

鉛板、**Burst**検出器のみ
沿 14r.l. → 7r.l.



p + Heを
高統計で測定

YAC-I 実験 (2009 -

鉛 **7r.l.**
16台 コア一検出器

プロトタイプ検出器
による観測性能

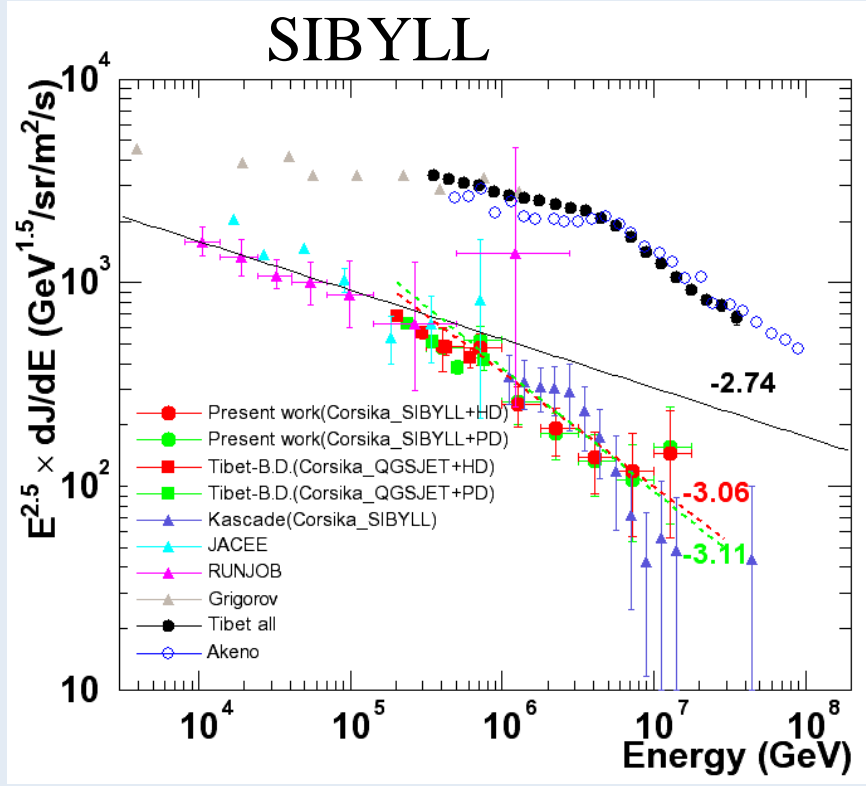
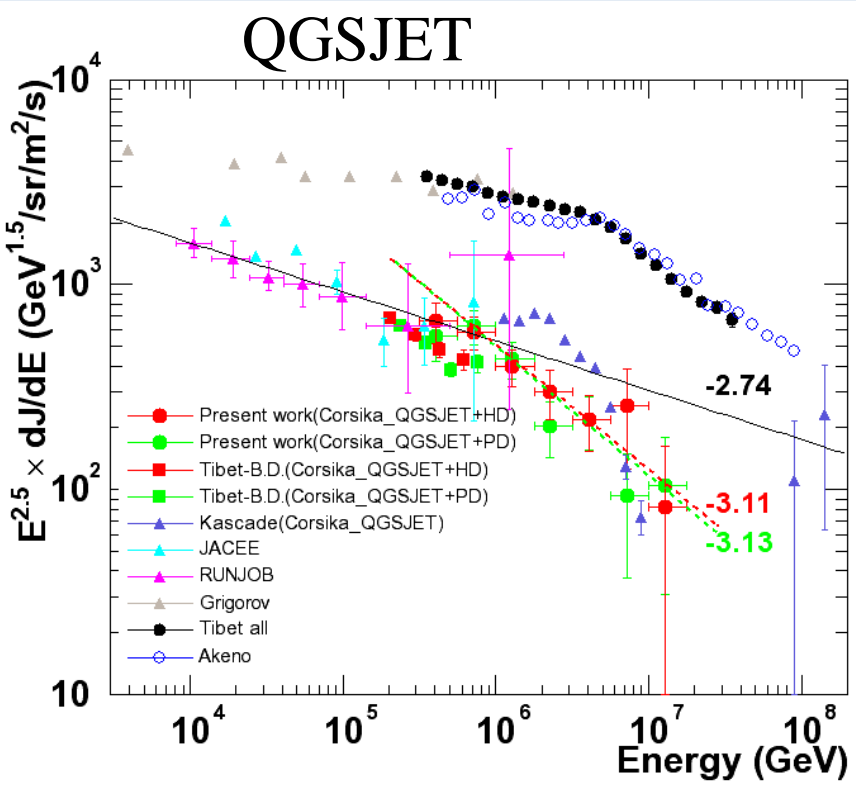
2010)

YAC-II 実験 (2011-)

124 YACs(
MD 検出器

~500 m² **50TeV ~ 10PeV P**
と He
+ より重い成分

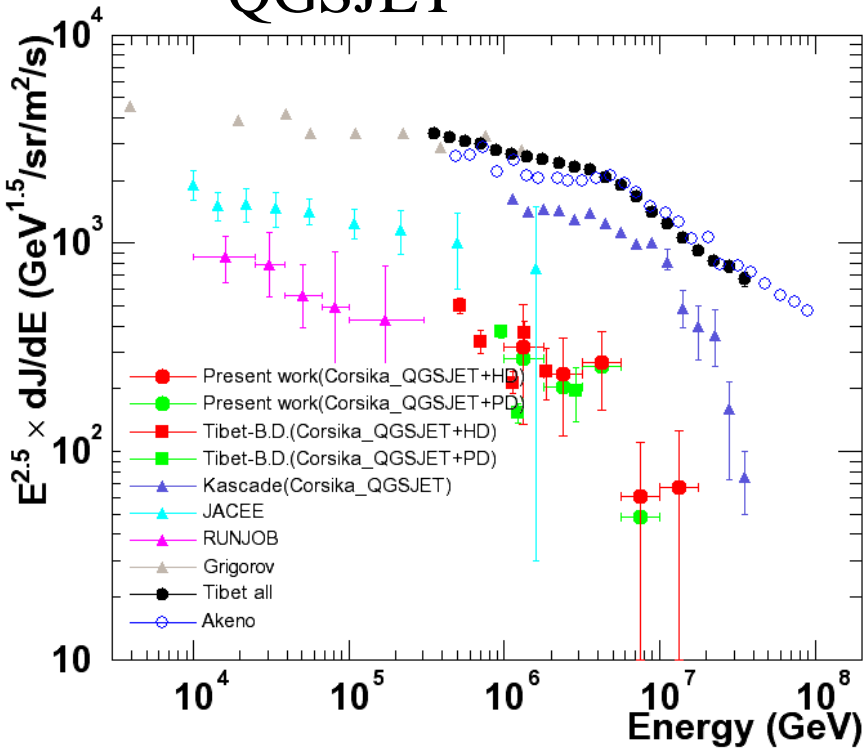
Phase-I 実験結果：陽子スペクトル



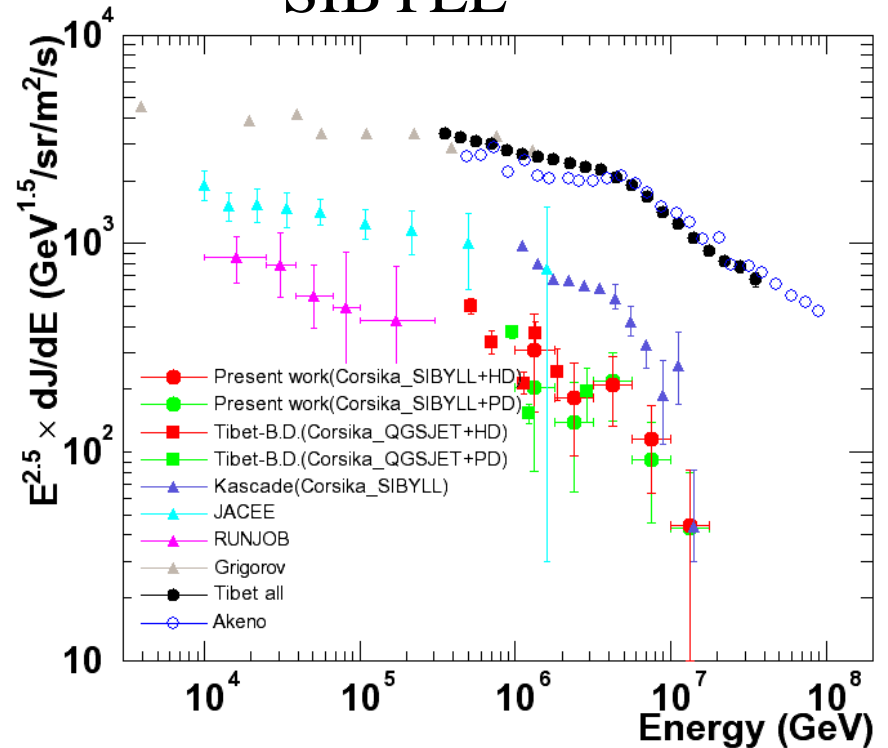
Phys. Lett. B 632 58-64 (2006)
Apj. vol.678, pp1165-1179 (2008)等

Phase-I 実験結果： ヘリウムスペクトル

QGSJET



SIBYLL



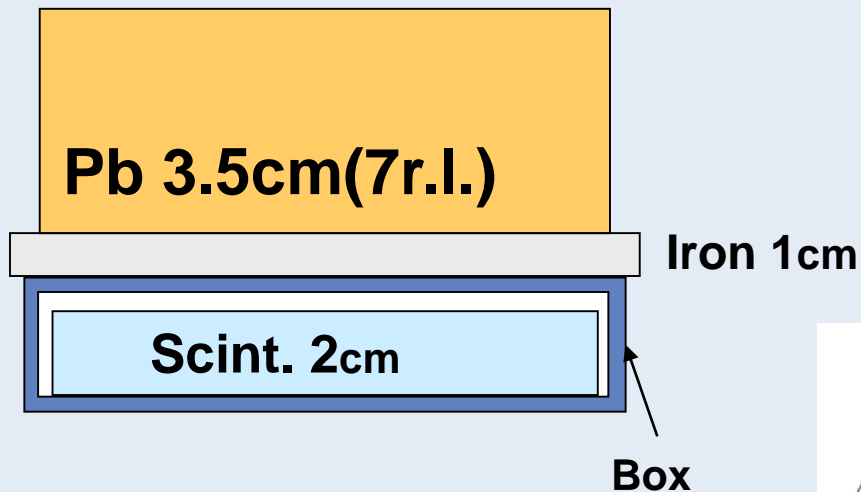
Phase-II実験

【陽子+ヘリウムスペクトル】

シンチレータ 50cm × 160cm × 2cm.

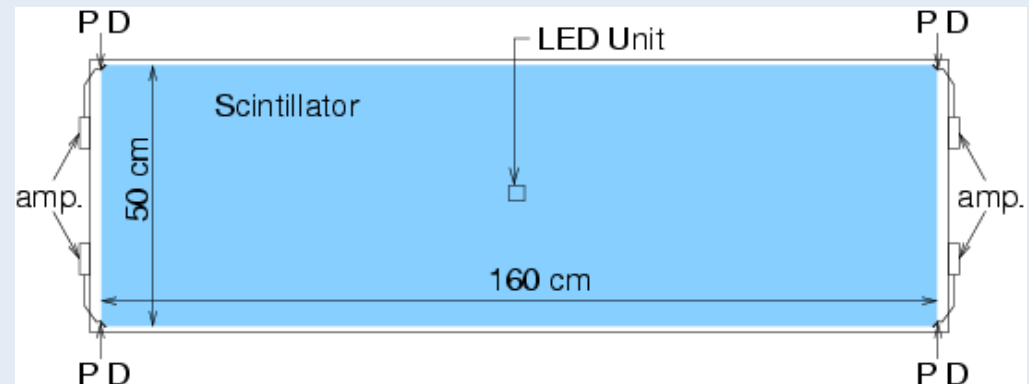
4つの光電子増倍管で測定

バーストの位置、サイズを測る (e.g., e.m. cascade)

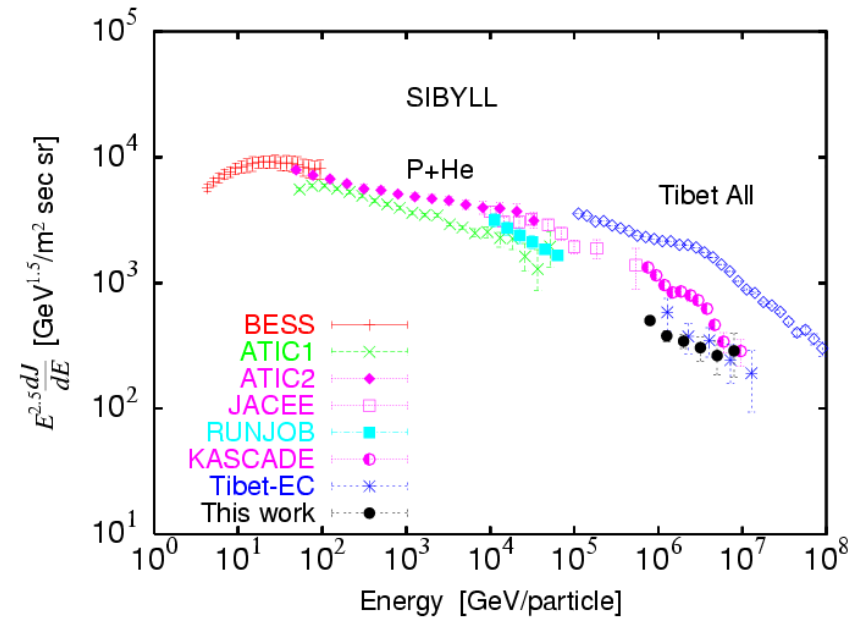
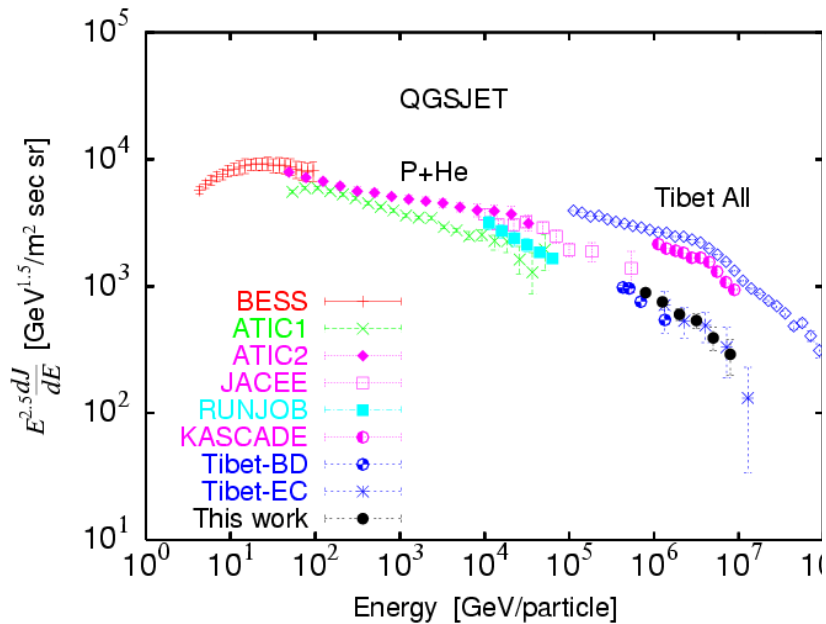


Electromagnetic component over GeV is responsible for burst size.

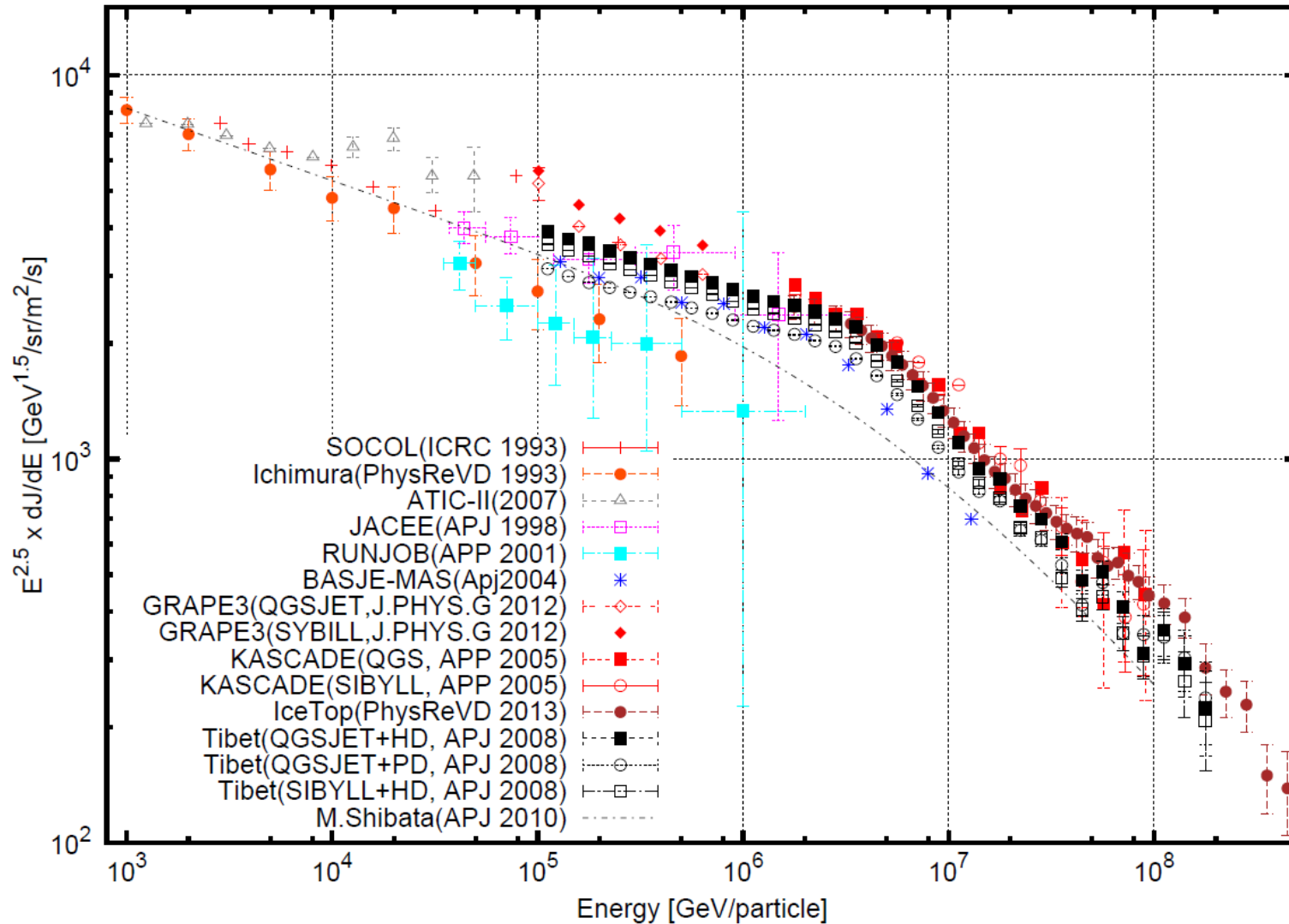
シンチレータは加速器によって較正



Phase-II実験結果： 陽子+ヘリウム スペクトル



全粒子スペクトル

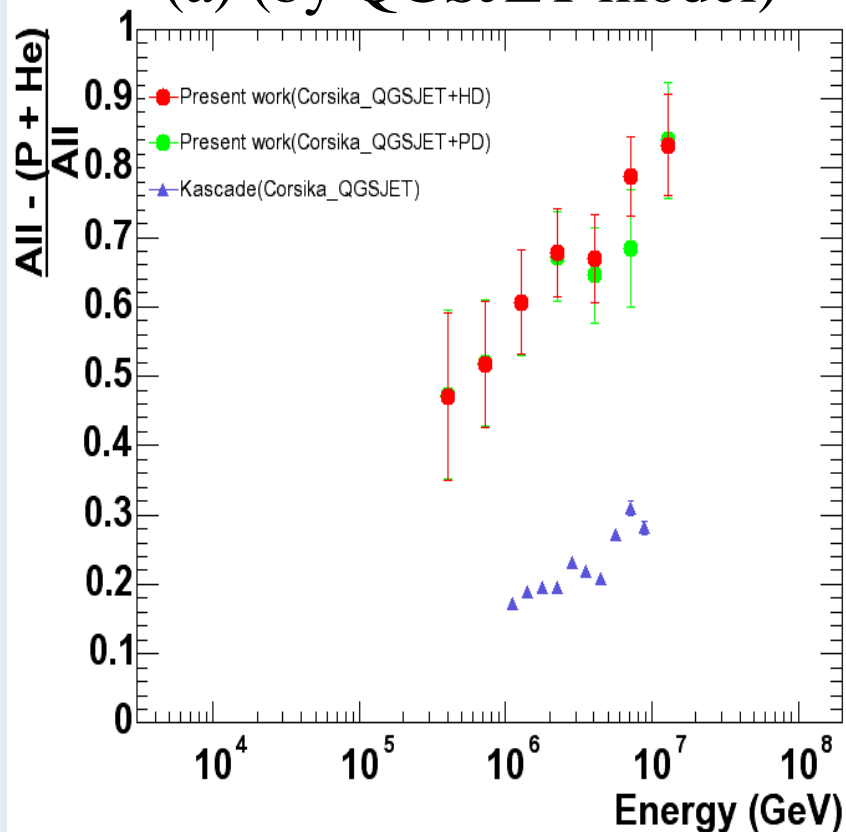


重原子割合

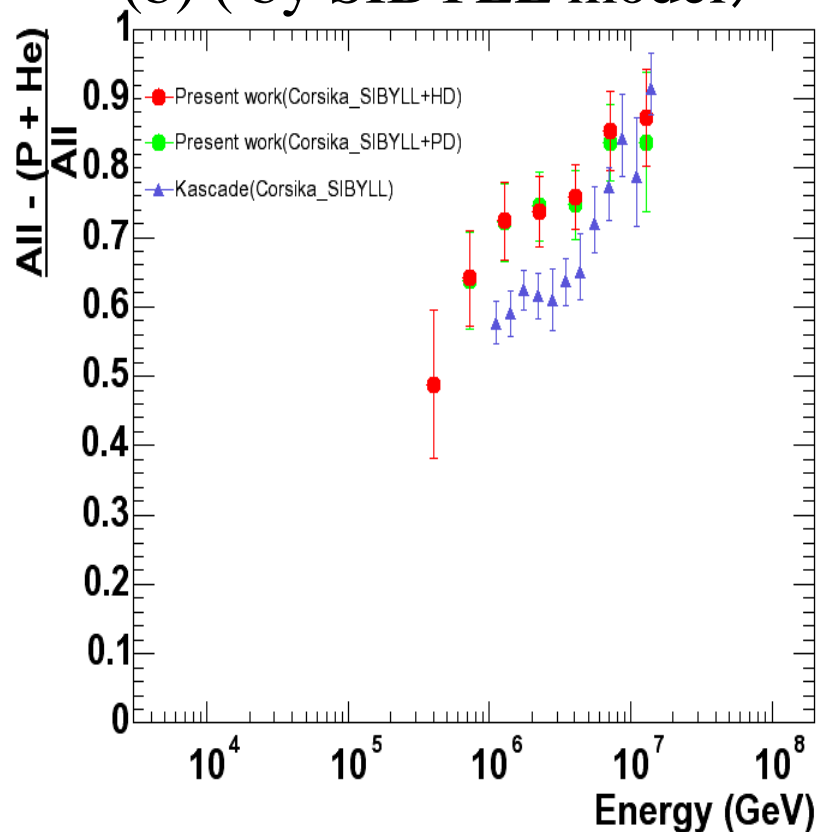
$$\frac{\text{All} - (\text{P} + \text{He})}{\text{All}}$$

All

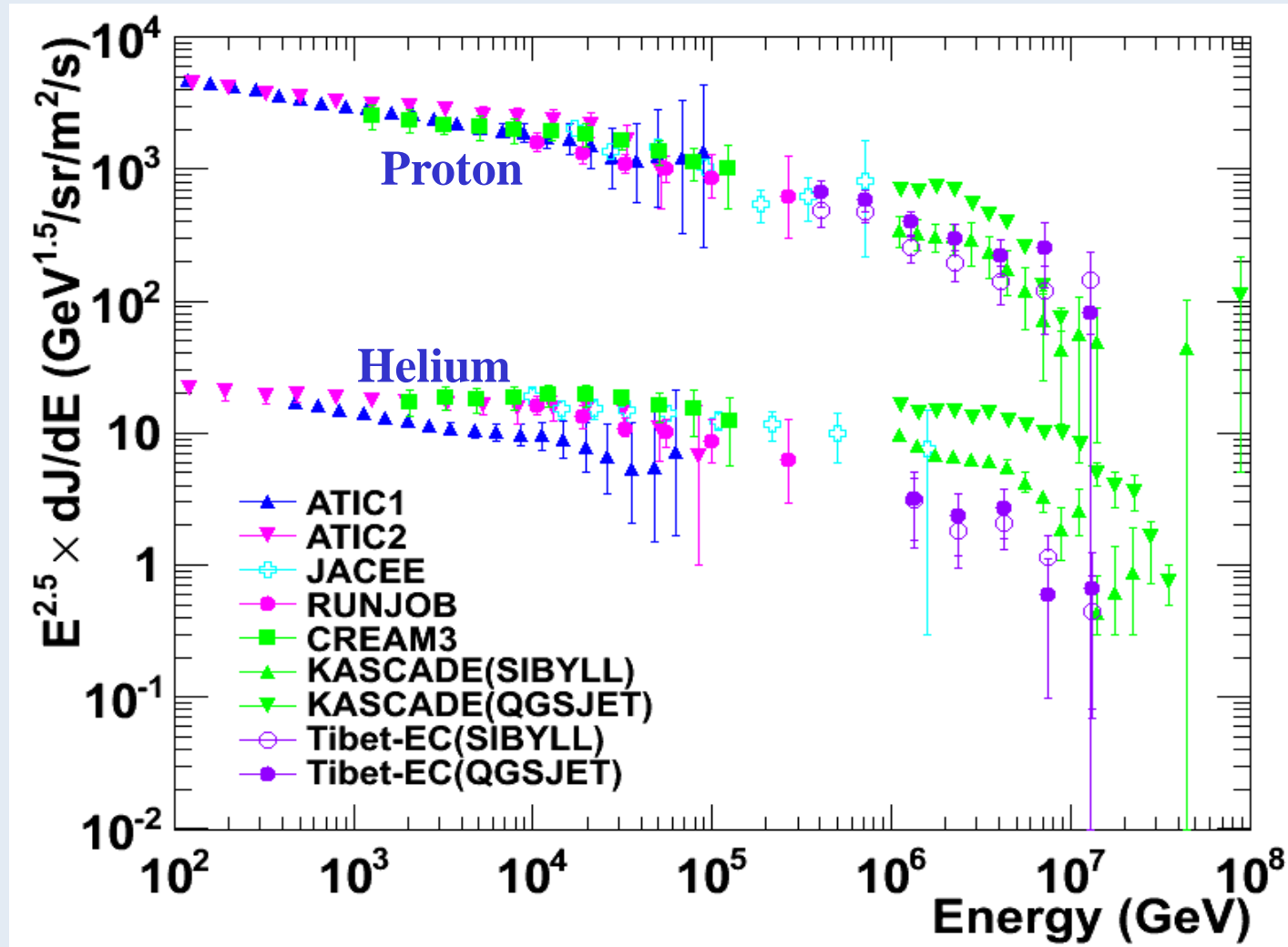
(a) (by QGSJET model)



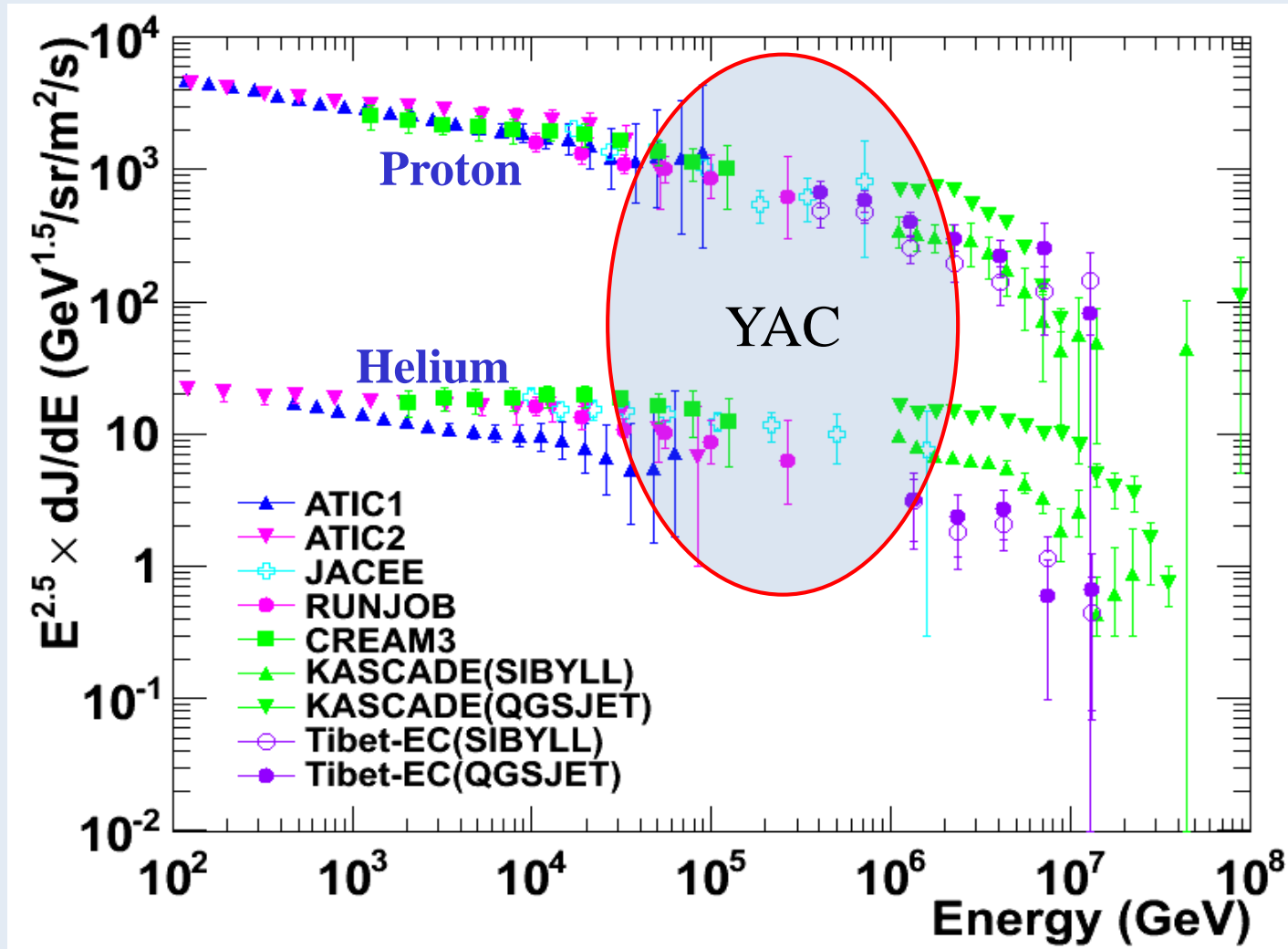
(b) (by SIBYLL model)



Knee of the spectrum

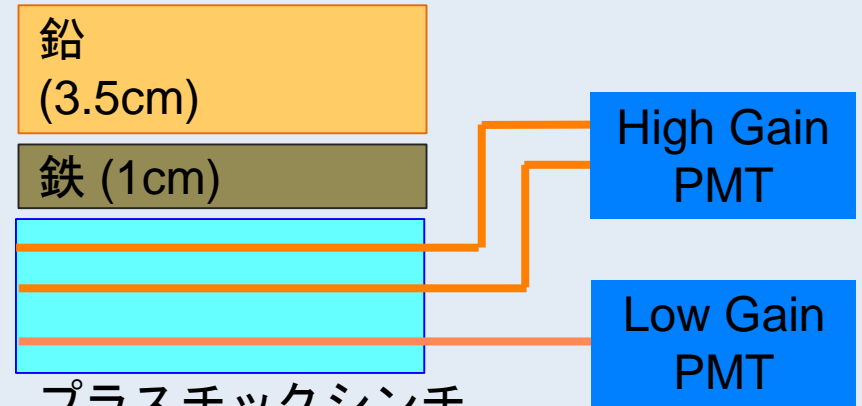
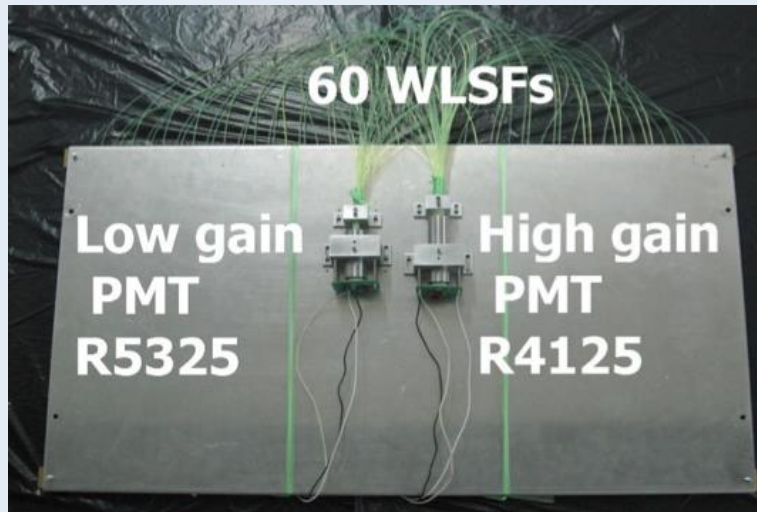
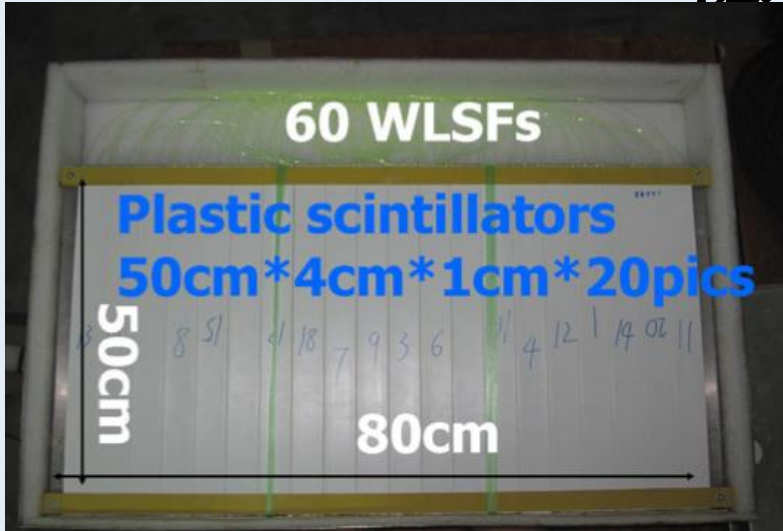


Knee of the spectrum



YAC (Yangbajing Air-shower Core)

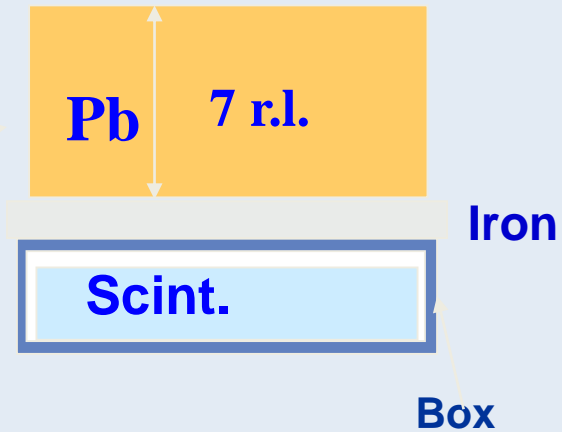
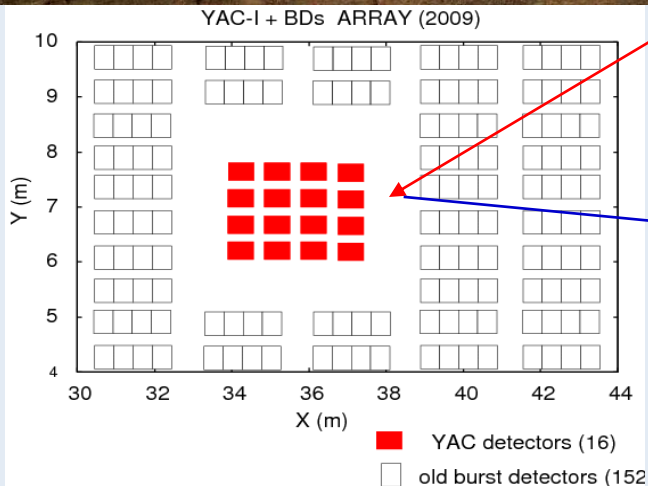
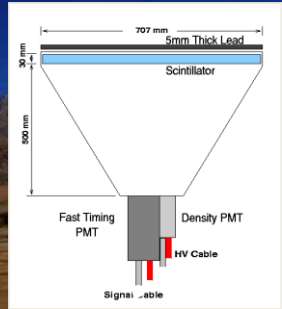
検出器



プラスチックシンチ
&波長変換ファイバー

2つのPMTで1粒子~10⁶粒子測定

YAC-I 実験 (2009~2010)

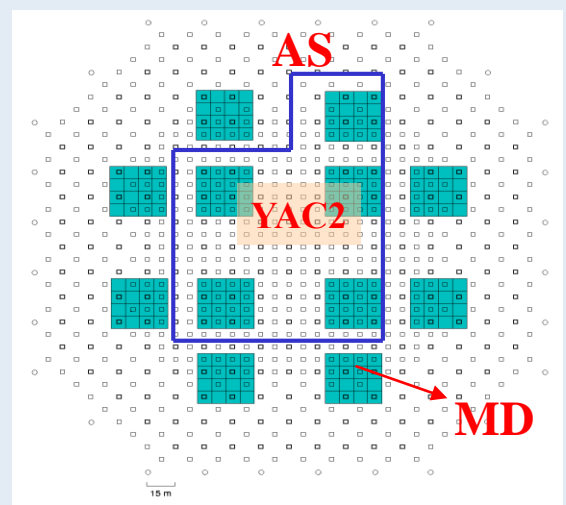
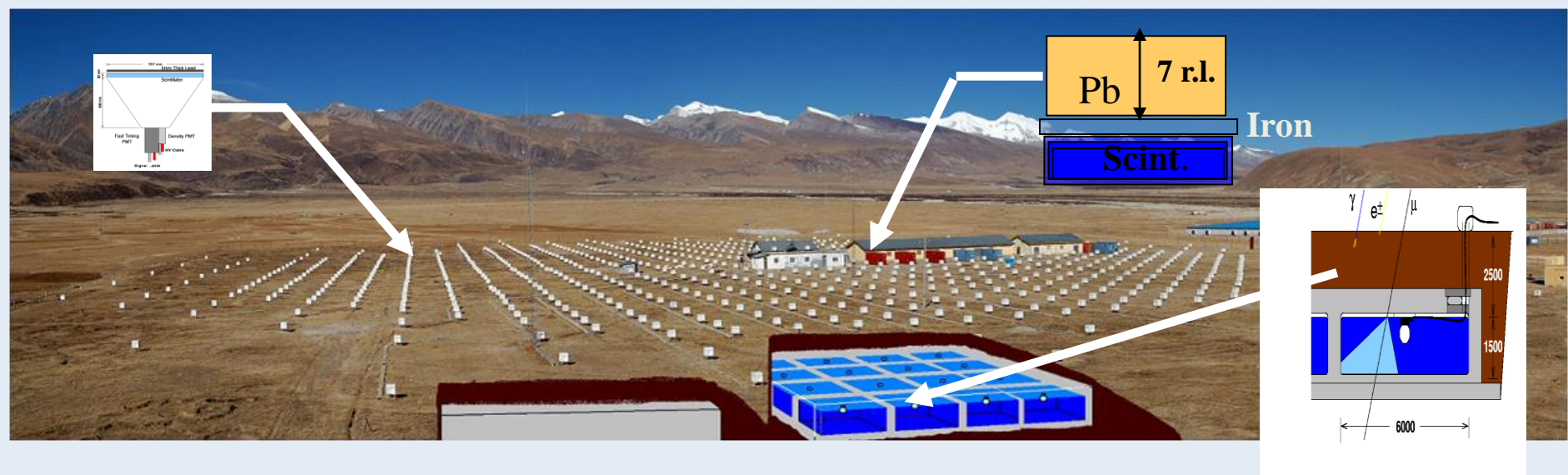


プロトタイプ検出器

L M Zhai et al ,J. Phys. G: Nucl. Part. Phys. 42 (2015) 045201

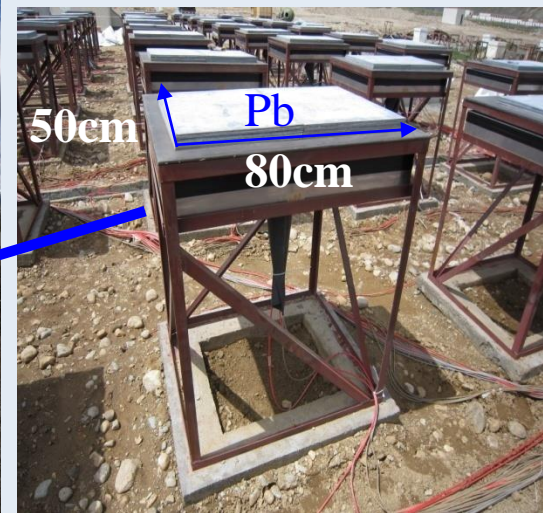
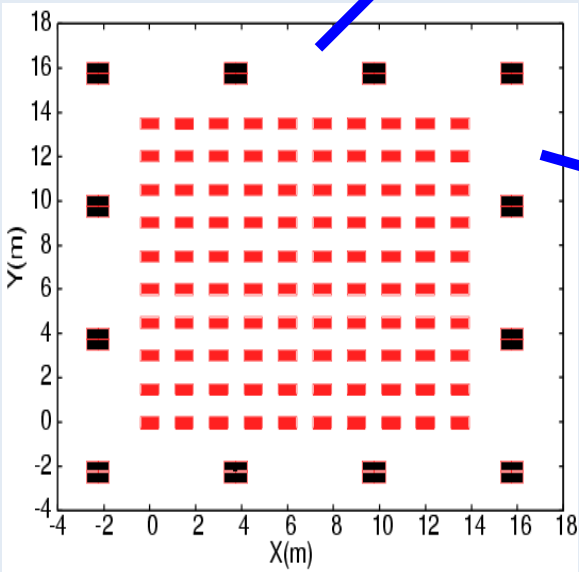
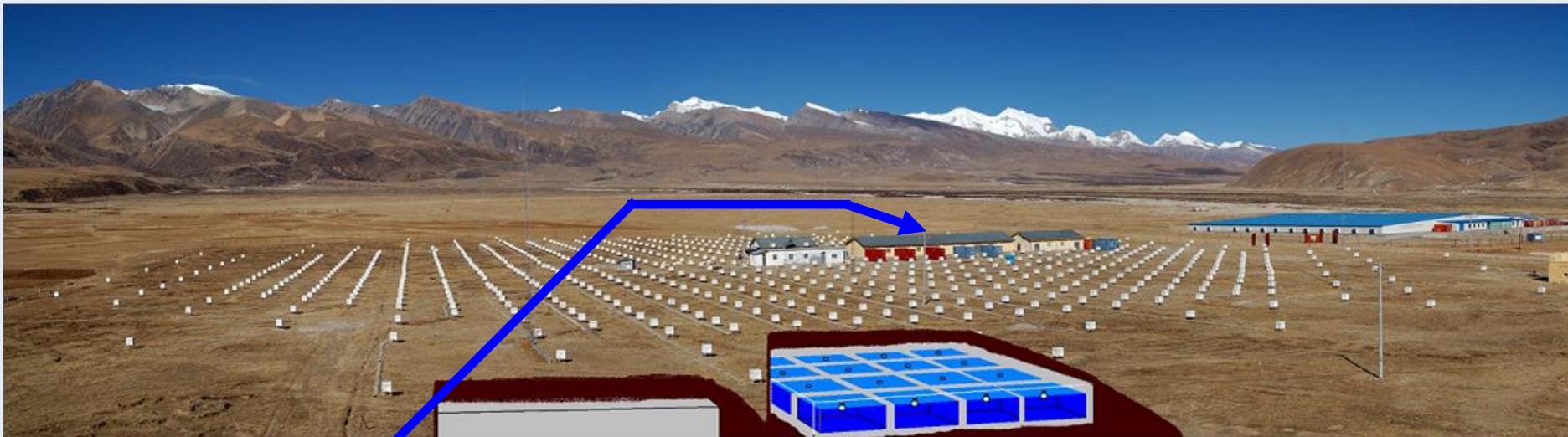
NEW HYBRID experiment (TAC+Tibet-III+MD)

この実験は、低閾値空気シャワーコアアレイ(YAC-II)、空気シャワーアレイ(Tibet-III)、
ミュオン検出器(MD)からなる。



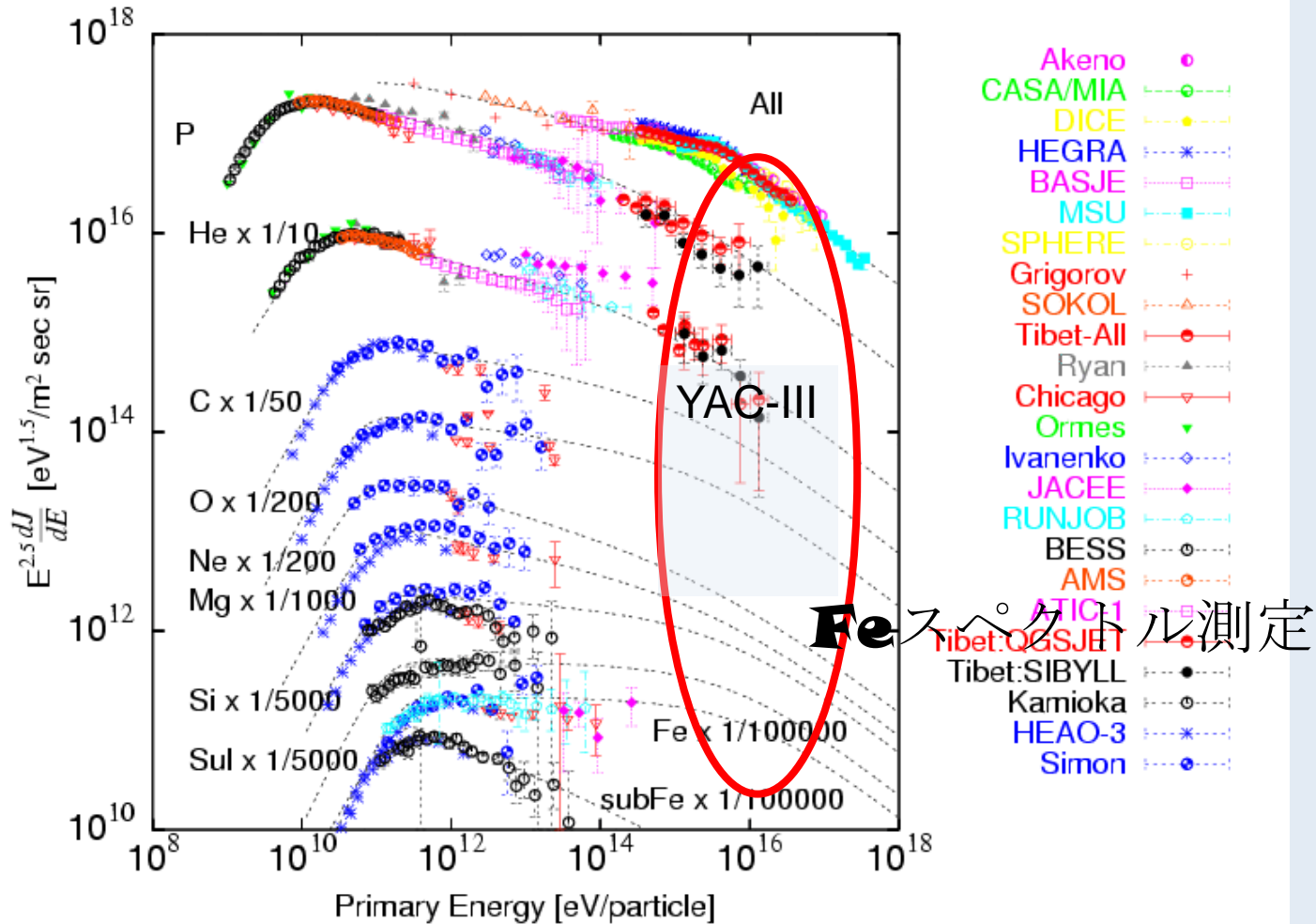
Tibet-III (37000 m²) : 入射粒子エネルギーと入射方向
YAC-II (~500 m²) : 高エネルギー空気シャワーコア
Tibet-MD (4500 m²) : ミューオン

YAC-II 実験 (2014~ 観測中)



将来計画 YAC-III実験

400 YAC検出器
観測面積 ~5000m²



YAC-IIIの準備状況： データ収集システム開発

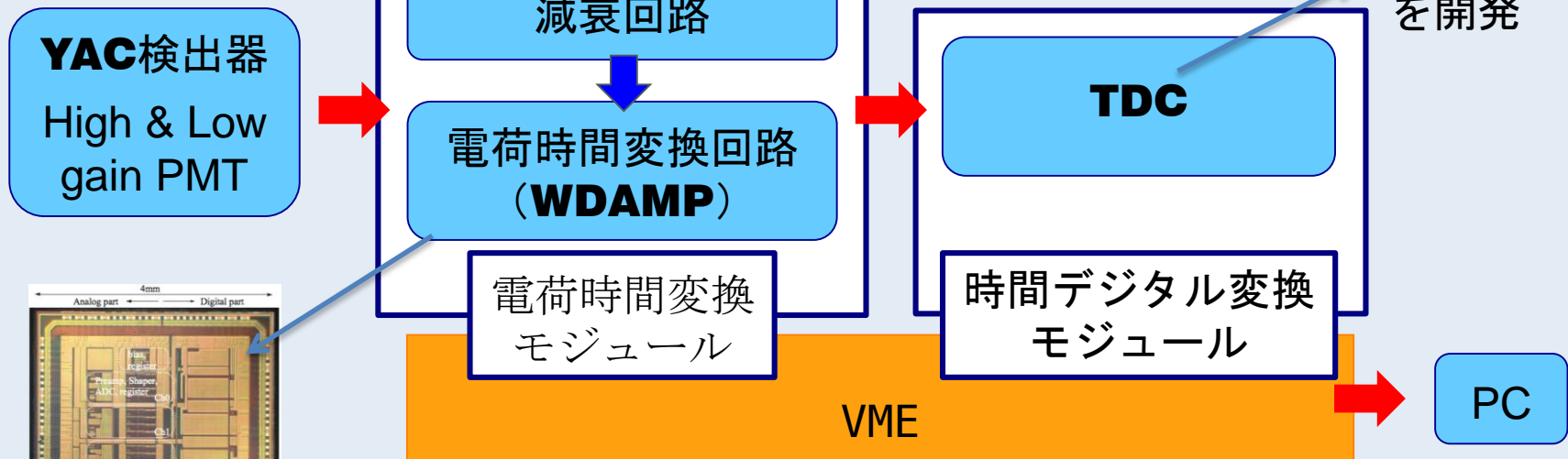
必要な性能

広い測定レンジ：

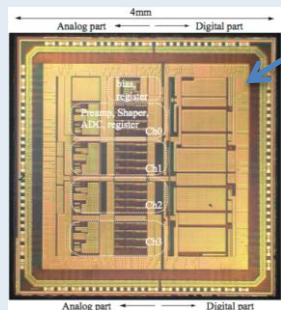
YAC検出器1台で**1~10⁶**粒子
=> 読み出し回路に**3桁以上**のレンジ

チャンネル数：**800**

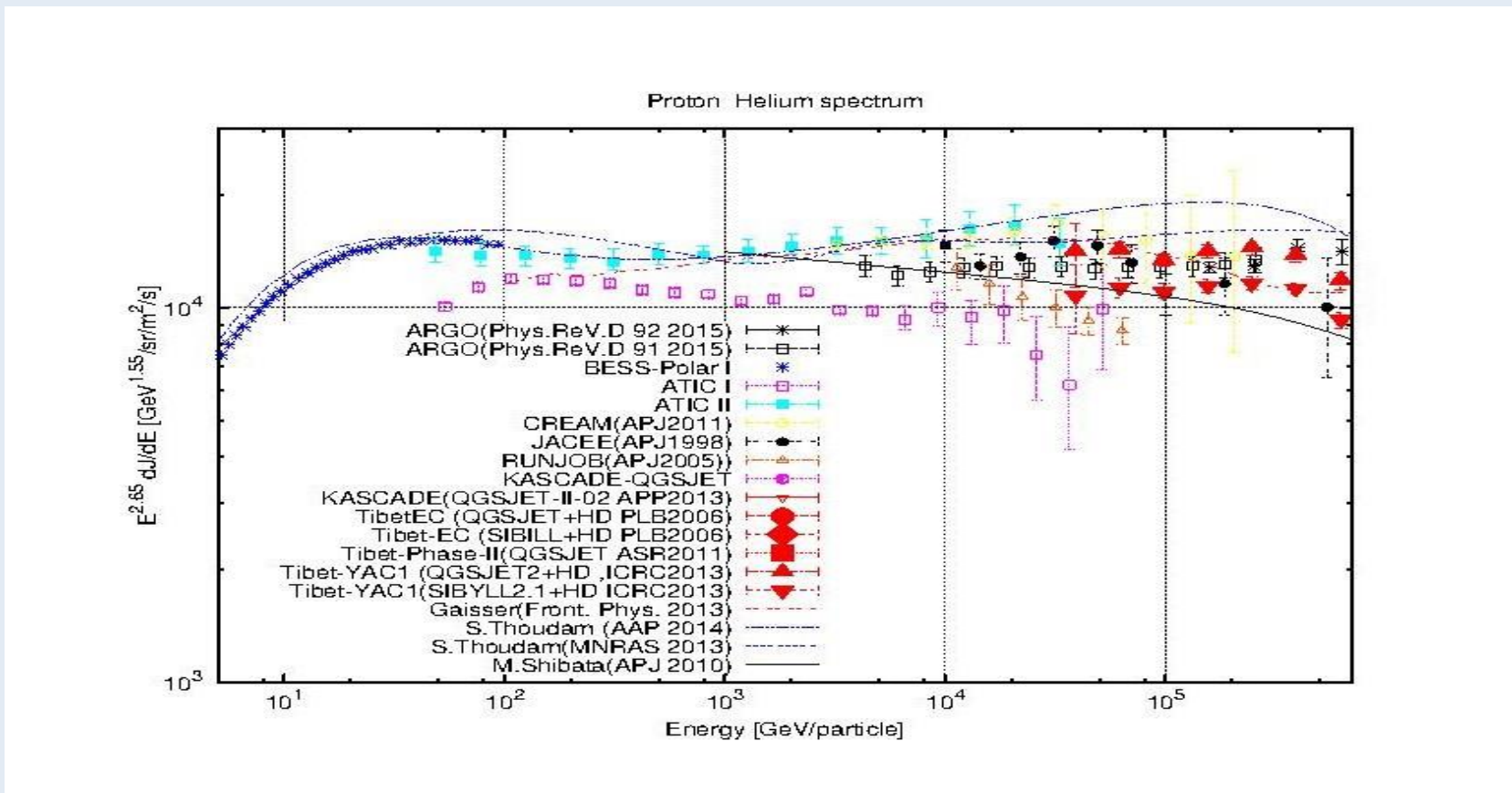
データ収集フロー



FPGAを用いた
1ns精度の
ロジック回路
を開発



調査中の計画：TeV領域のP+Heスペクトル



直接観測実験での
エネルギー決定精度

CREAM
350GeV
CALET

~46% @

~35% @ 100TeV

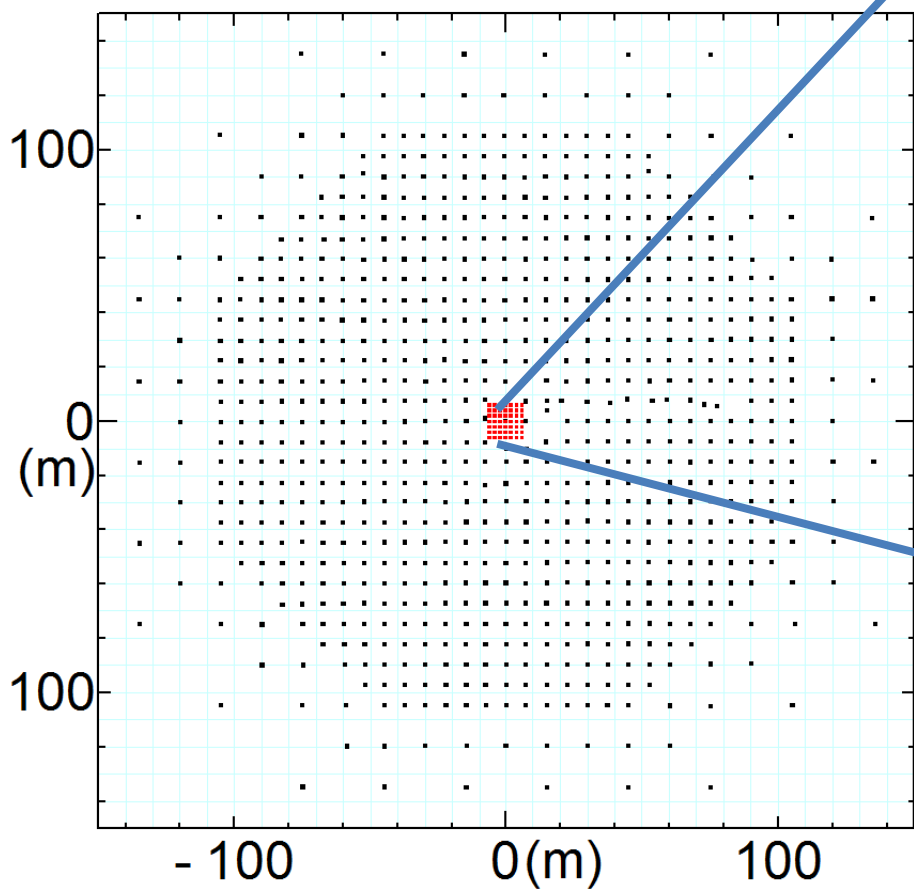
YACでのTeV領域 P+He測定の可能性 :

コア位置の精密決定、コアによるイベント選択、垂直イベントのみの観測
⇒ 60%程度なら可能か???

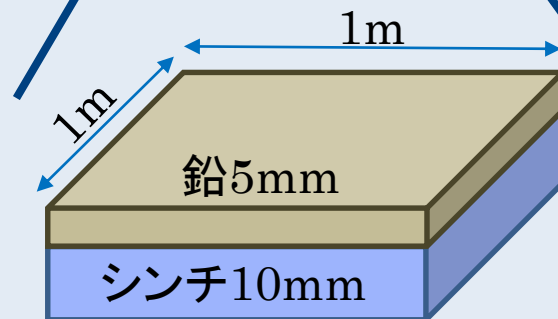
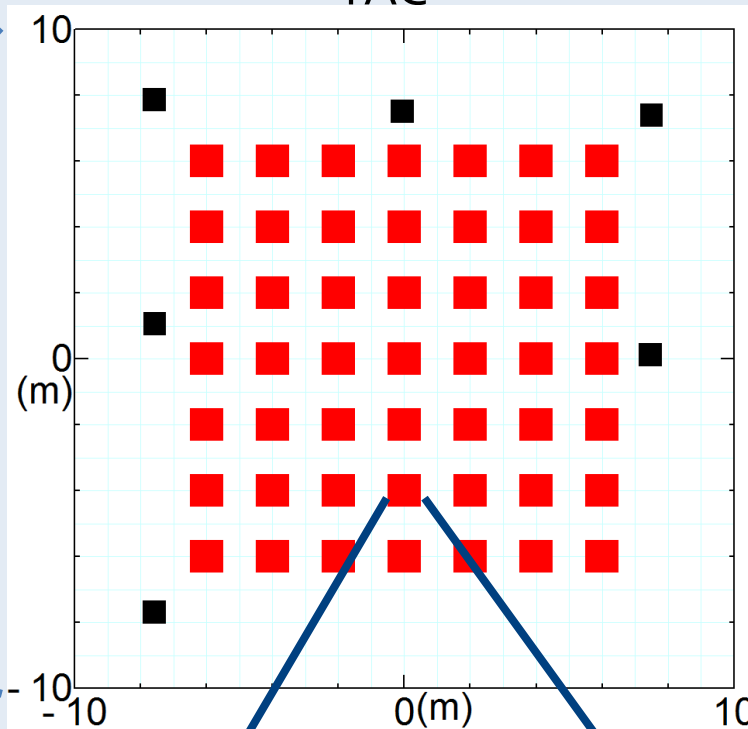
測定の意義： TeV~PeV領域のスペクトルを同一実験により測定

Tibet-III + YAC によるTeV領域p+Heスペクトルの測定

TibetIII

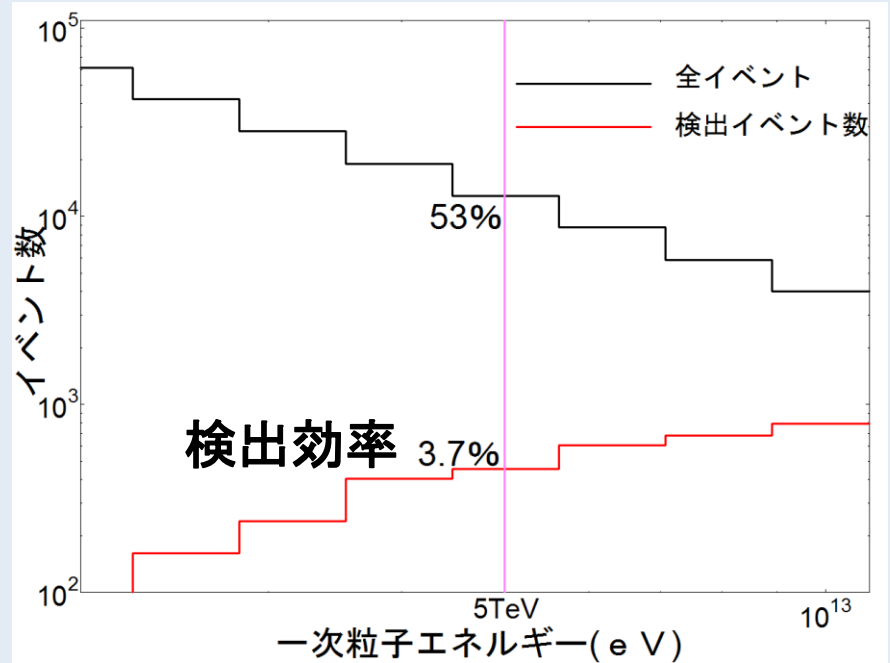
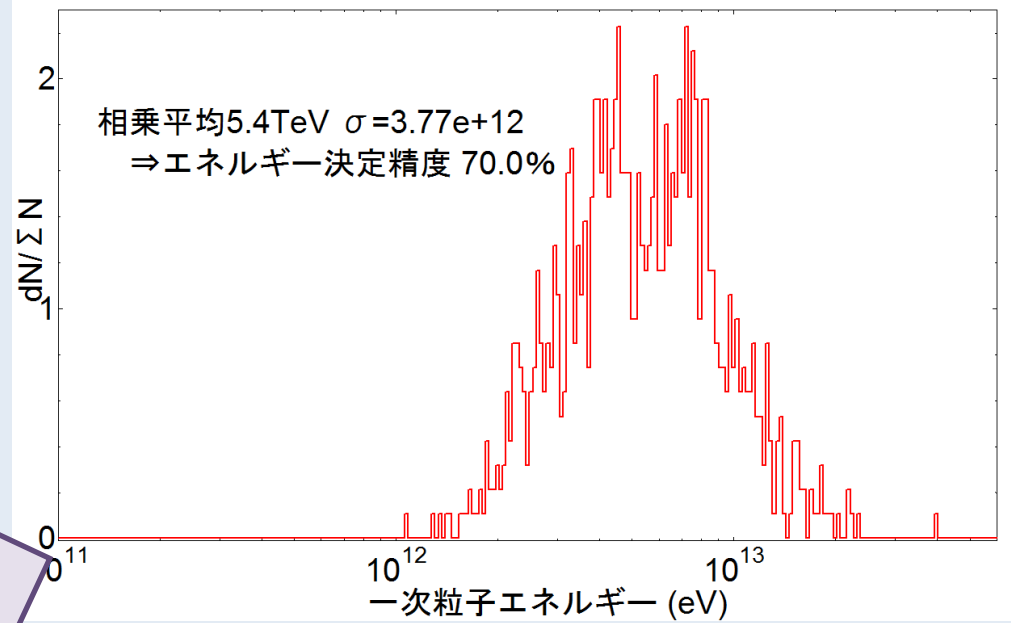
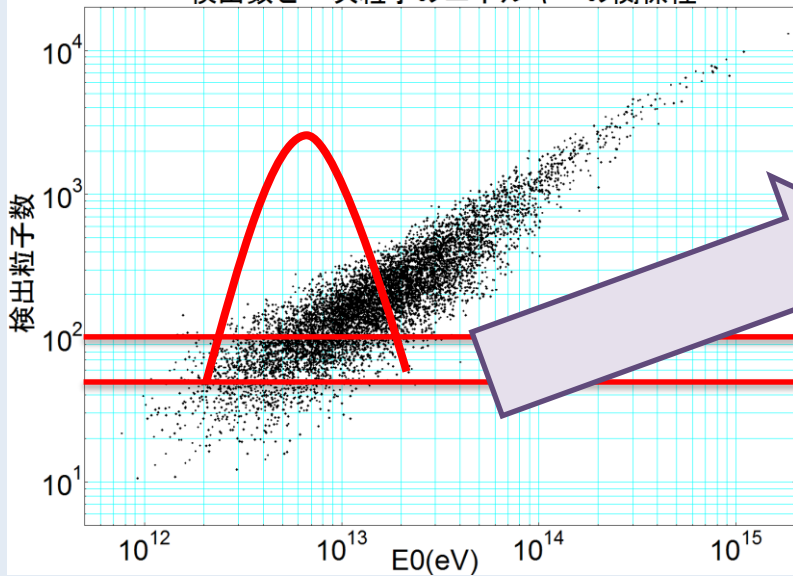


YAC



Tibet-III + YAC エネルギー決定精度 & 検出効率 @5TeV

検出数と一次粒子のエネルギーの関係性



まとめ

- ・ チベット **AS γ** 実験での宇宙線化学組成研究
- **100TeV~100PeV** 全粒子スペクトル
- **100TeV~10PeV** 陽子、ヘリウムスペクトル
- \Rightarrow “**Knee**” の位置 \sim **4 PeV**
折れ曲がりの鋭さを “**broken power law formula**”
だけで説明するのは難しい。
 \Rightarrow > 1 **PeV** 重い原子核 ($>$ **He**) が優勢となる

YAC-I、II 実験 (観測中)

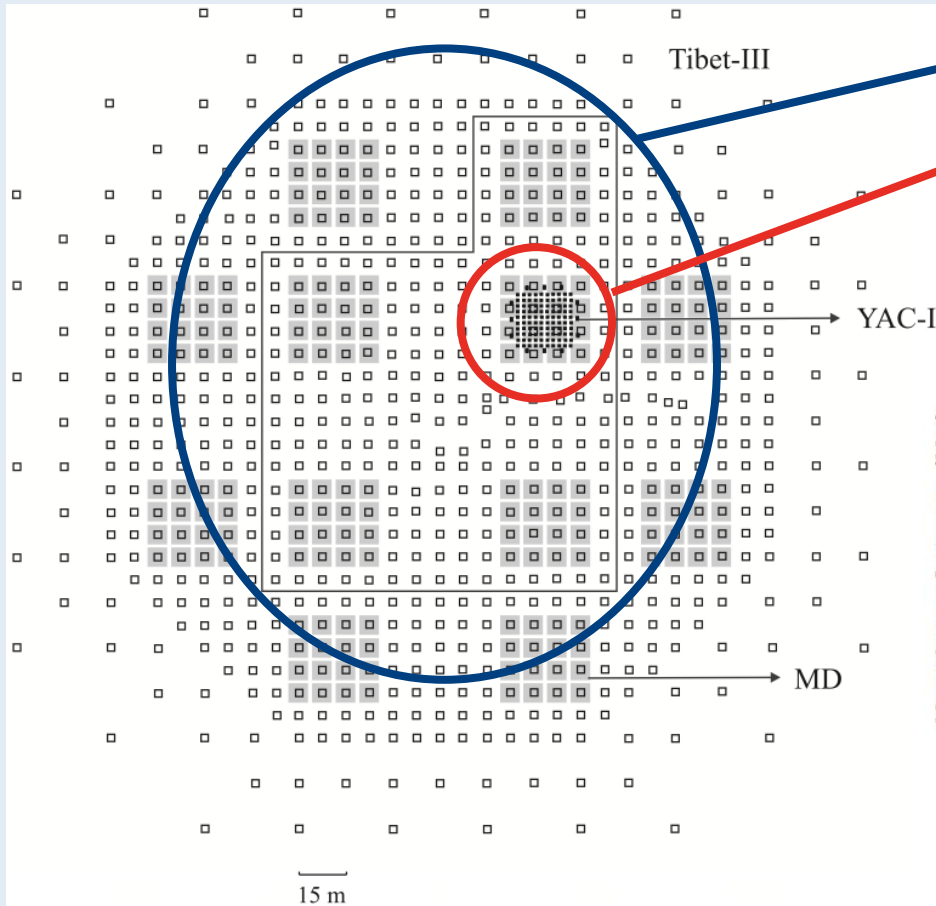
\Rightarrow 陽子、ヘリウムの折れ曲がりを精密測定

将来計画： ・ **10 PeV** 領域の鉄成分の測定 (**YAC-III** 実験)

・ **TeV** 領域の陽子 + ヘリウム成分

補

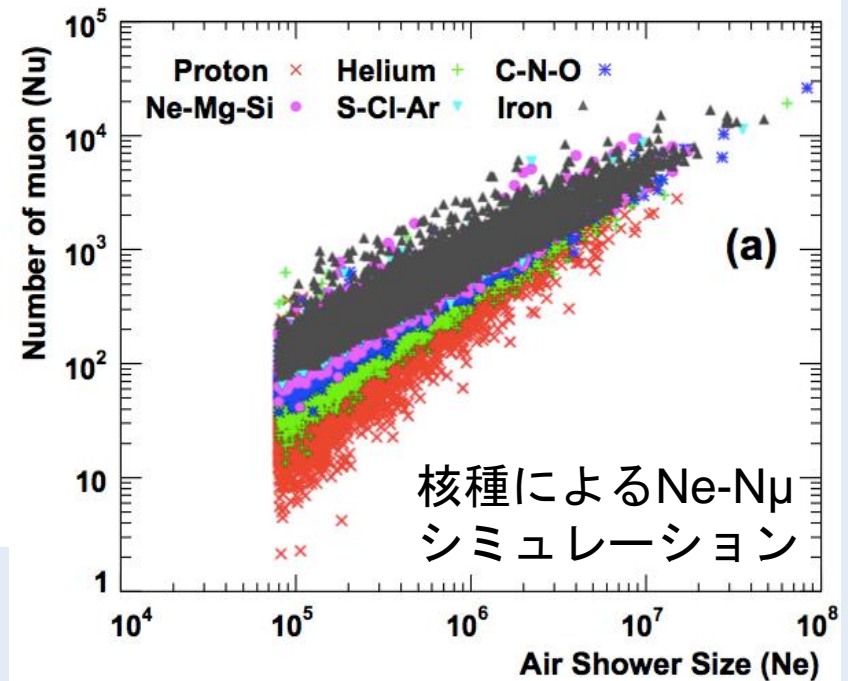
Tibet-III + YAC-II + MD



Muon Detector

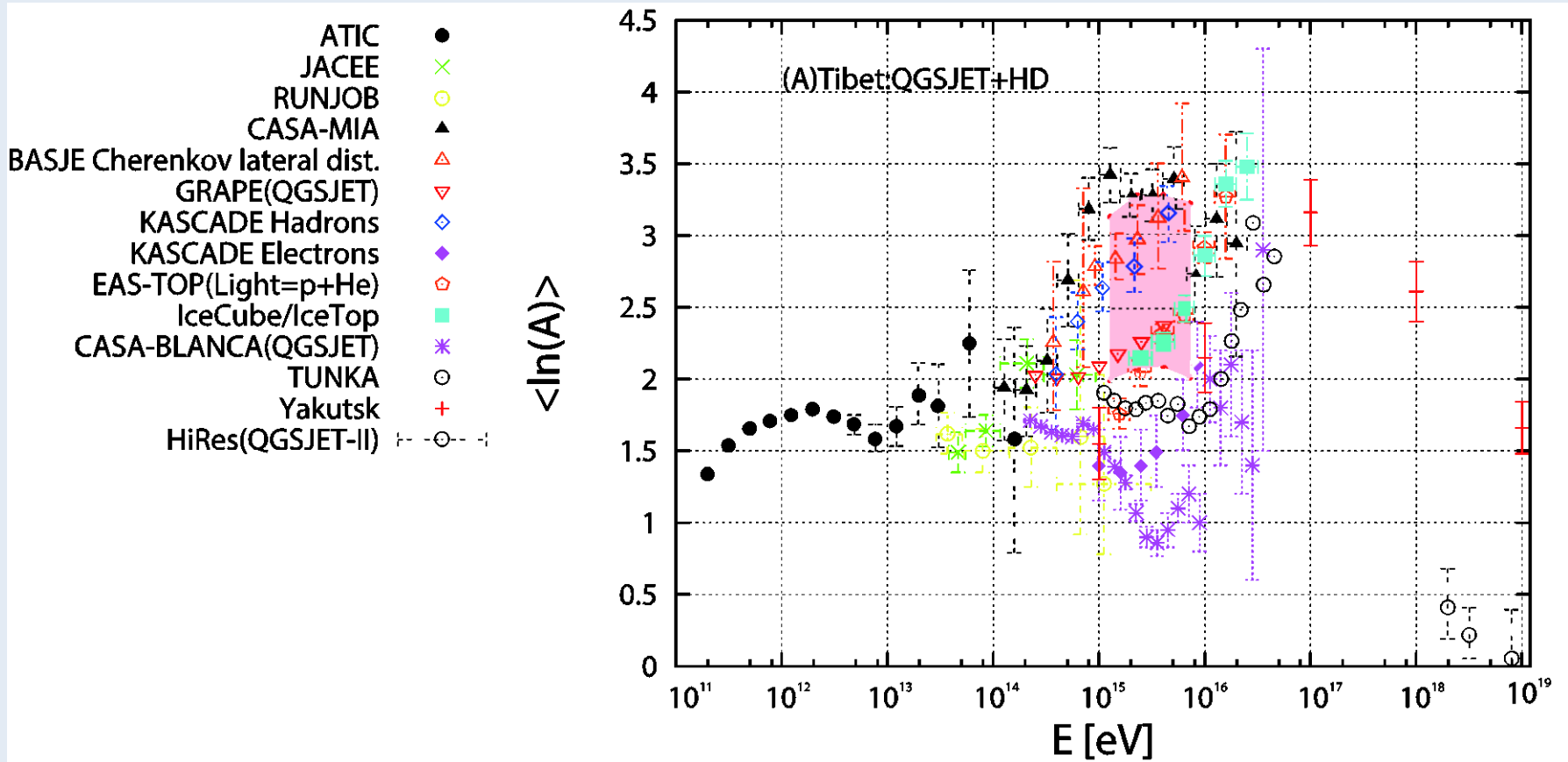
YAC

➡ Tibet-III + YAC + MD
シミュレーションは進行中



**J.Huang et al, Astropart.Phys. 66
(2015) 18-30**

平均質量数



**33RD INTERNATIONAL COSMIC
RAY CONFERENCE, RIO DE
JANEIRO 2013**