チベット高原での
高エネルギー宇宙線の研究

日比野欣也　（神奈川大）

平成22年度共同利用成果発表会

@宇宙線研究所(2010.12.18)

(For the Tibet ASγ Collaboration)

今日の内容

- 共同利用研究課題の内訳と経費の用途
- チベット実験について
- 今年度のデータ解析のトピック
- 水チェレンコフ型ミューオン検出器の建設の現状

平成22年度チベット実験関係
共同利用研究採択課題一覧

1. チベット高原での高エネルギー宇宙線の研究
(瀧田正人　東京大学宇宙線研究所)

2. Knee領域一次宇宙線組成の研究
(柴田槇雄　横浜国立大学大学院工学研究院)

3. 銀河拡散ガンマ線の研究
(日比野欣也　神奈川大学工学部)

4. チベット実験用シミュレーション計算
(堀田　直巳　宇都宮大学教育学部)

5. 宇宙線による太陽の影を用いた太陽周辺磁場の時間変動の研究
(西澤正己　国立情報学研究所人間・社会情報研究系)

6. チベット空気シャワーアレイによる10TeV宇宙線強度の恒星時日周変動の観測
(宗像一起　信州大学理学部)

チベットグループ共同利用
研究経費執行状況

研究費：　申請額 ４５０万円　→　配分額 ２２０万円

２００２年に完成したTibet-IIIの維持・運転及び
水チェレンコフ型地下ミューオン観測装置の建設
に必要な経費の一部に使用。

旅費：　申請額 ８６９．４万円　→　配分額 ３７８万円

宇宙線研での研究打ち合わせや中国出張海外旅費
に使用。

ご支援、どうもありがとうございます！

The Tibet ASγ Collaboration

Papers (in refereed journals):

1. OBSERVATION OF TeV GAMMA RAYS FROM THE FERMI BRIGHT GALACTIC SOURCES WITH THE TIBET AIR SHOWER ARRAY, M. Amenomori et al.,
   The Astrophysical Journal, Letters, 709, L6-L10 (2010)
2. Temporal Variations of the Multi-TeV Cosmic Ray Anisotropy Using the Tibet III Air Shower Array, M. Amenomori et al.,

   The Astrophysical Journal, 711, 119-124 (2010)

国際会議（全5講演）

- ICREA Workshop on The High-Energy Emission from Pulsars and their Systems (Barcelona, Spain, April 2010),

  1 presentation

- COSPAR2010, (Bremen, Germany, July 2010),

  1 presentation

- ECRS2010, (Turku Finland, August 2010),

  3 presentations

研究目的

- 大気チェレンコフ望遠鏡と相補的な広視野（約2sr）連続観測高エネルギー宇宙線望遠鏡

  - 3～100 TeVの高エネルギーガンマ線放射天体の探索、10^{14} ～10^{17} eV の宇宙線の観測から、宇宙線の起源、加速機構の研究を行う
  - 太陽活動期における“太陽の影”（太陽による宇宙線の遮蔽効果）を観測し、太陽近傍および惑星間磁場の大局的構造を知る。

The Tibet ASγ Collaboration

M.Amenomori(1), X.J.Bi(2), D.Chen(3), S.W.Cui(4), Danzengluobu(5), L.K.Ding(2), X.H.Ding(5), C.Fan(6, 2), C.F.Feng(6), Zhaoyang Feng (2), Z.Y.Feng(7), X.Y.Gao(8), Q.X.Geng(8), Q.B.Gou(2), H.W.Guo(5), H.H.He(2), M.He(6), K.Hibino(9), N.Hotta(10), Haibing Hu(5), H.B.Hu(2), J.Huang(2), Q.Huang(7), H.Y.Jia(7), L.Jiang(8, 2), F.Kajino(11), K.Kasahara(12), Y.Katayose(13), C.Kato(14), K.Kawata(3), Labaciren(5), G.M.Le(15), A.F.Li(6), H.C.Li(4, 2), J.Y.Li(6), C.Liu(2), Y.-Q.Lou(16), H.Lu(2), X.R.Meng(5), K.Mizutani(12, 17), J.Mu(8), K.Munakata(14), H.Nanjo(1), M.Nishizawa(18), M.Ohnishi(3), I.Ohta(19), S.Ozawa(12), T.Saito(20), T .Y.Saito(21), M.Sakata(11), T.K.Sako(13), M.Shibata(13), A.Shiomi(22), T.Shirai(9), H.Sugimoto(23), M.Takita(3), Y.H.Tan(2), N.Tateyama(9), S.Torii(12), H.Tsuchiya(24), S.Udo(9), B.Wang(2), H.Wang(2), Y.Wang(2), Y.G.Wang(6), H.R.Wu(2),L.Xue(6), Y.Yamamoto(11), C.T.Yan(25), X.C.Yang(8), S.Yasue(26), Z.H.Ye(27), G.C.Yu(7), A.F.Yuan(5), T.Yuda(9), H.M.Zhang(2), J.L.Zhang(2), N.J.Zhang(6), X.Y.Zhang(6), Y.Zhang(2), Yi Zhang(2), Ying Zhang(7, 2), Zhaxisangzhu(5) and X.X.Zhou(7)

(1)Department of Physics, Hirosaki University, Japan.
(2)Key Laboratory of Particle Astrophysics, Institute of High Energy Physics, Chinese Academy of Sciences, China.
(3)Institute for Cosmic Ray Research, University of Tokyo, Japan.
(4)Department of Physics, Hebei Normal University, China.
(5)Department of Mathematics and Physics, Tibet University, China.
(6)Department of Physics, Shandong University, China.
(7)Institute of Modern Physics, SouthWest Jiaotong University, China.
(8)Department of Physics, Yunnan University, China.
(9)Faculty of Engineering, Kanagawa University, Japan.
(10)Faculty of Education, Utsunomiya University, Japan.
(11)Department of Physics, Konan University, Japan.
(12)Research Institute for Science and Engineering, Waseda University, Japan.
(13)Faculty of Engineering, Yokohama National University, Japan.
(14)Department of Physics, Shinshu University, Japan.
(15)National Center for Space Weather, China Meteorological Administration, China.
(16)Physics Department and Tsinghua Center for Astrophysics, Tsinghua University, China.
(17)Saitama University, Japan.
(18)National Institute of Informatics, Japan.
(19)Sakushin Gakuin University, Japan.
(20)Tokyo Metropolitan College of Industrial Technology, Japan.
(21)Max-Planck-Institut fur Physik, Deutschland.
(22)College of Industrial Technology, Nihon University, Japan.
(23)Shonan Institute of Technology, Japan.
(24)RIKEN, Japan.
(25)Institute of Disaster Prevention Science and Technology, China.
(26)School of General Education, Shinshu University, Japan.
(27)Center of Space Science and Application Research, Chinese Academy of Sciences, China.

日本から31名、中国から53名、合計84名

Our site : Tibet

Yangbajing, Tibet, China

90°53**E**, 30°11**N**, 4,300 m a.s.l. (606g/cm^2)

Yangbajing,
Tibet, China
4,300 m a.s.l. = 606 g/cm^2

Tibet Air Shower Array

Tibet III (37,000 m^2)

Total 789 detectors

Mode Energy
~3 TeV

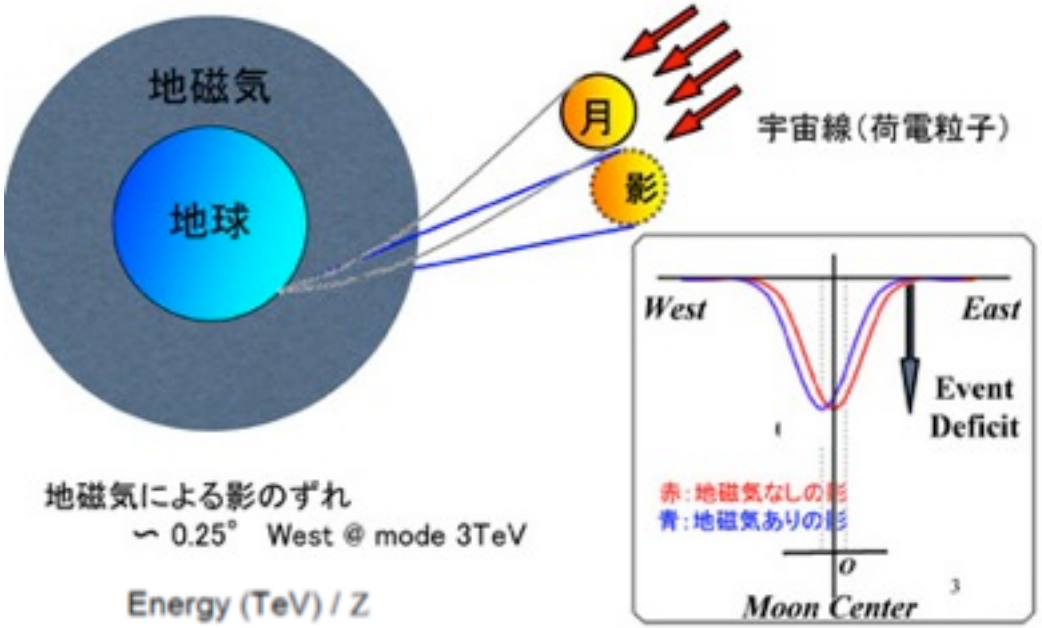
Angular Resolution
~0.9 deg @ 3 TeV

Trigger Rate
~1,700 Hz

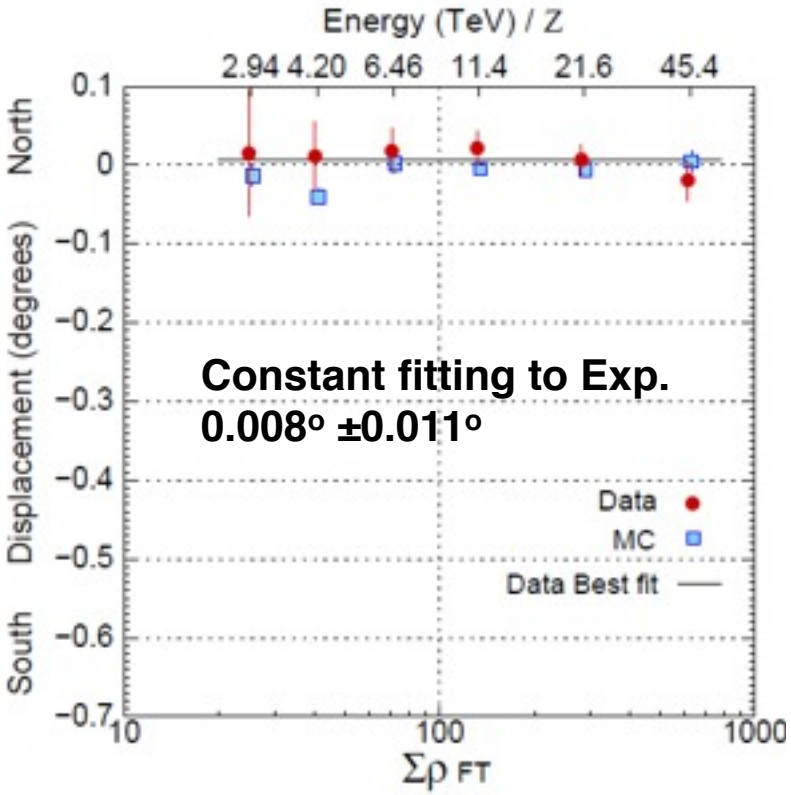
月の影による装置性能評価

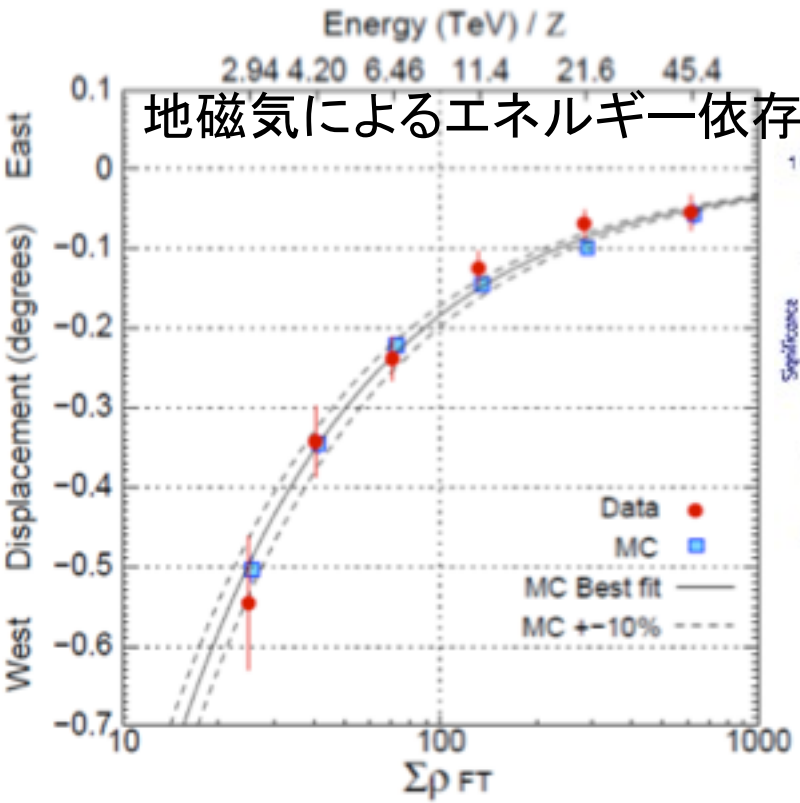
The Astrophysical Journal, 692, 61-72(2009)

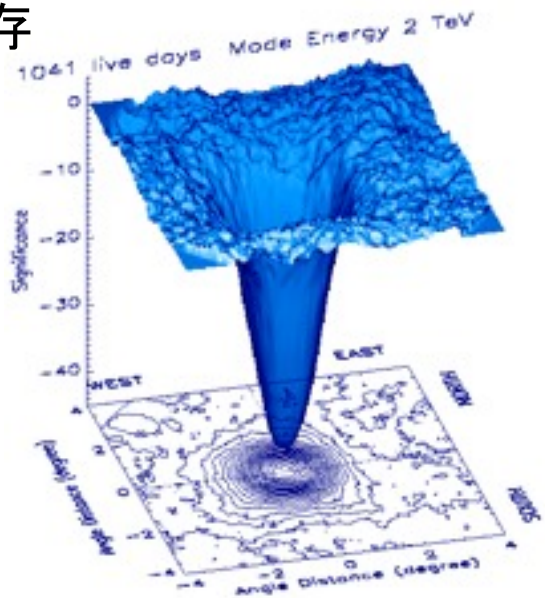
- □絶対エネルギー
- □角度分解能
- □ポインティングエラー



地磁気による影のずれ
～ 0.25° West @ mode 3TeV







ポインティングエラー
< 0.011°

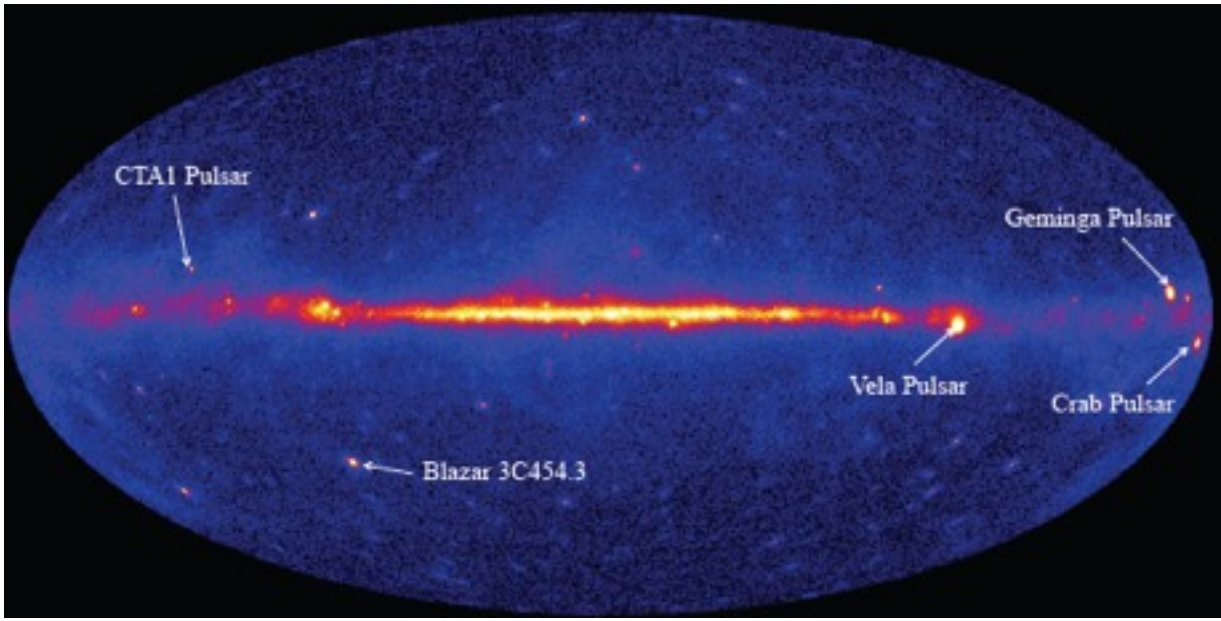
絶対エネルギーエラー **< 12%**
+4.5%(±8.6stat.±6.7syst.)%

チベット空気シャワー観測装置による TeV領域でのFermi/LATガンマ線放射 未同定天体の探索

Introduction

Large Area Telescope(LAT) on the Fermi Gamma-Ray Space Telescope

2008年6月に打ち上げ成功
8月から sky survey 開始



FERMI/LARGE AREA TELESCOPE BRIGHT GAMMA-RAY SOURCE LIST
Abdo, A. A. et al. 2009, ApJS, 183, 46 (July 2009, astrp-ph submitted in Feb. 2009)

Fermi LAT 3 ヶ月観測
>100MeV,
>10σ

205 most significant sources (120 extragalactic sources)
A typical 95% uncertainty radius of source position: 10′ ～ 20′

Observation of TeV Gamma Rays from the Fermi Bright Galactic Sources with the Tibet Air Shower Array

Amenomori et. al., ApJ Letters, 709: L6-L10 January 20（2010）

ABSTRACT

Using the Tibet-III air shower array, we search for TeV γ-rays from 27 potential Galactic sources in the early list of bright sources obtained by the *Fermi* Large Area Telescope at energies above 100 MeV. Among them, we observe seven sources instead of the expected 0.61 sources at a significance of 2σ or more excess. The chance probability from Poisson statistics would be estimated to be 3.8×10^{-6}. If the excess distribution observed by the Tibet-III array has a density gradient toward the Galactic plane, the expected number of sources may be enhanced in chance association. Then, the chance probability rises slightly, to 1.2×10^{-5}, based on a simple Monte Carlo simulation. These low chance probabilities clearly show that the *Fermi* bright Galactic sources have statistically significant correlations with TeV γ-ray excesses. We also find that all seven sources are associated with pulsars, and six of them are coincident with sources detected by the Milagro experiment at a significance of 3σ or more at the representative energy of 35 TeV. The significance maps observed by the Tibet-III air shower array around the *Fermi* sources, which are coincident with the Milagro $\geqslant 3\sigma$ sources, are consistent with the Milagro observations. This is the first result of the northern sky survey of the *Fermi* bright Galactic sources in the TeV region.

Key words: gamma rays: general – pulsars: general – ISM: supernova remnants

Tibet-III 空気シャワー観測装置を用い、Fermi/LAT 観測 “Bright Source List” 内の銀河系内天体中観測可能領域の 27 天体からの TeV ガンマ線を探索。

7 天体方向から 2 σ 以上の有意性でイベント超過を観測。 7 天体は期待値 0.61 天体よりも多く、そのような現象が起こる確率は 3.8×10^{-6}（Crab 除くと 3.6×10^{-6} 、ポアソン分布を仮定）。

Statistics

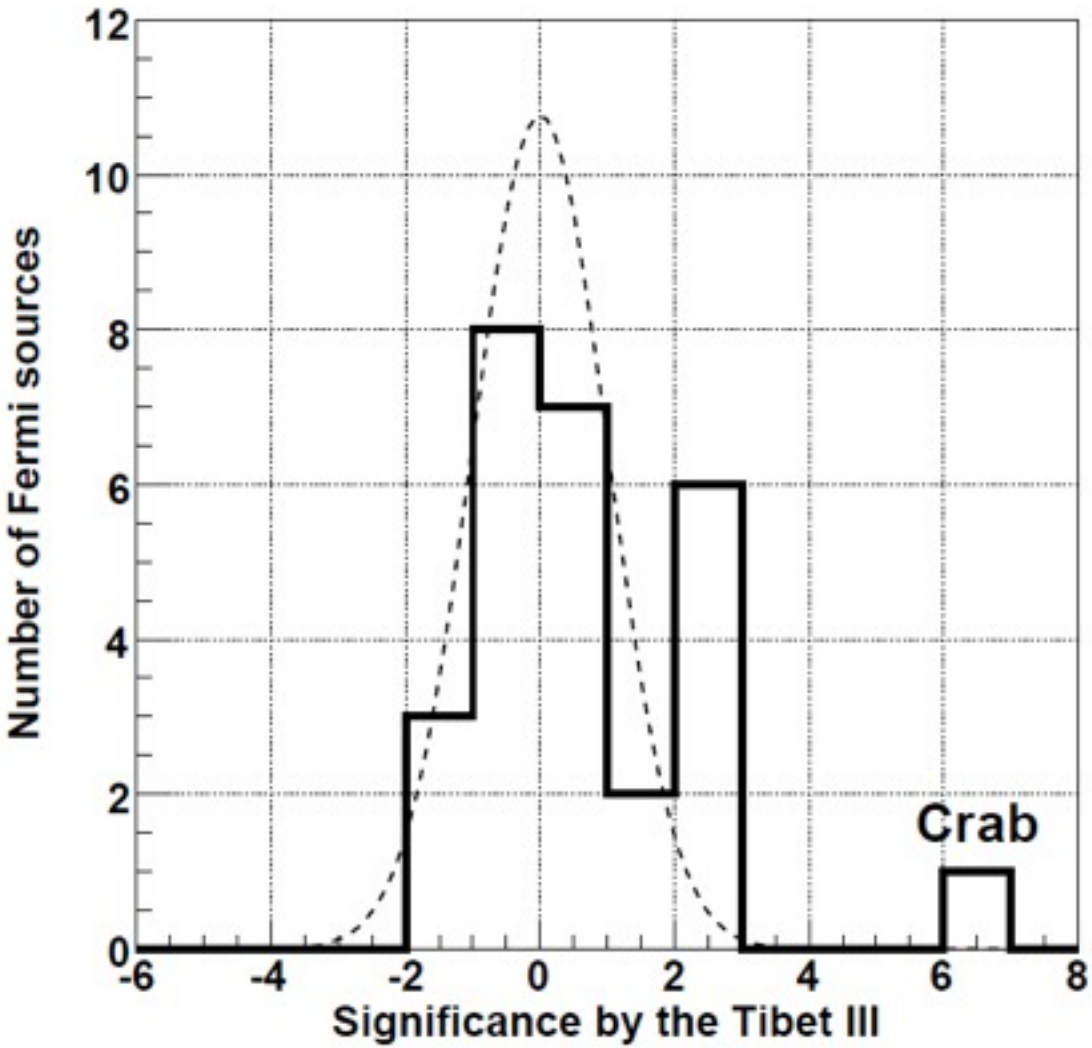


Fig. 1.— Histograms show significance distribution of the *Fermi* bright sources observed by the Tibet-III array. The dashed curve indicates the expected normal Gaussian distribution.

Total: 27 sources

>2σ: 7 sources

Chance Probability

2σ以上で期待されるsourceの数
27×0.02275 (2σ 上側確率) = 0.61

λ=0.61に相当する上側に7イベント（以上）存在しうる確率
ポアソン分布と仮定

$$p(A=7) = 1 - \sum_{k=0}^{A-1} \frac{e^{-\lambda}\lambda^{k}}{k!}$$

$$= \ 3.8 \times 10^{-6} \sim 4.5\sigma$$

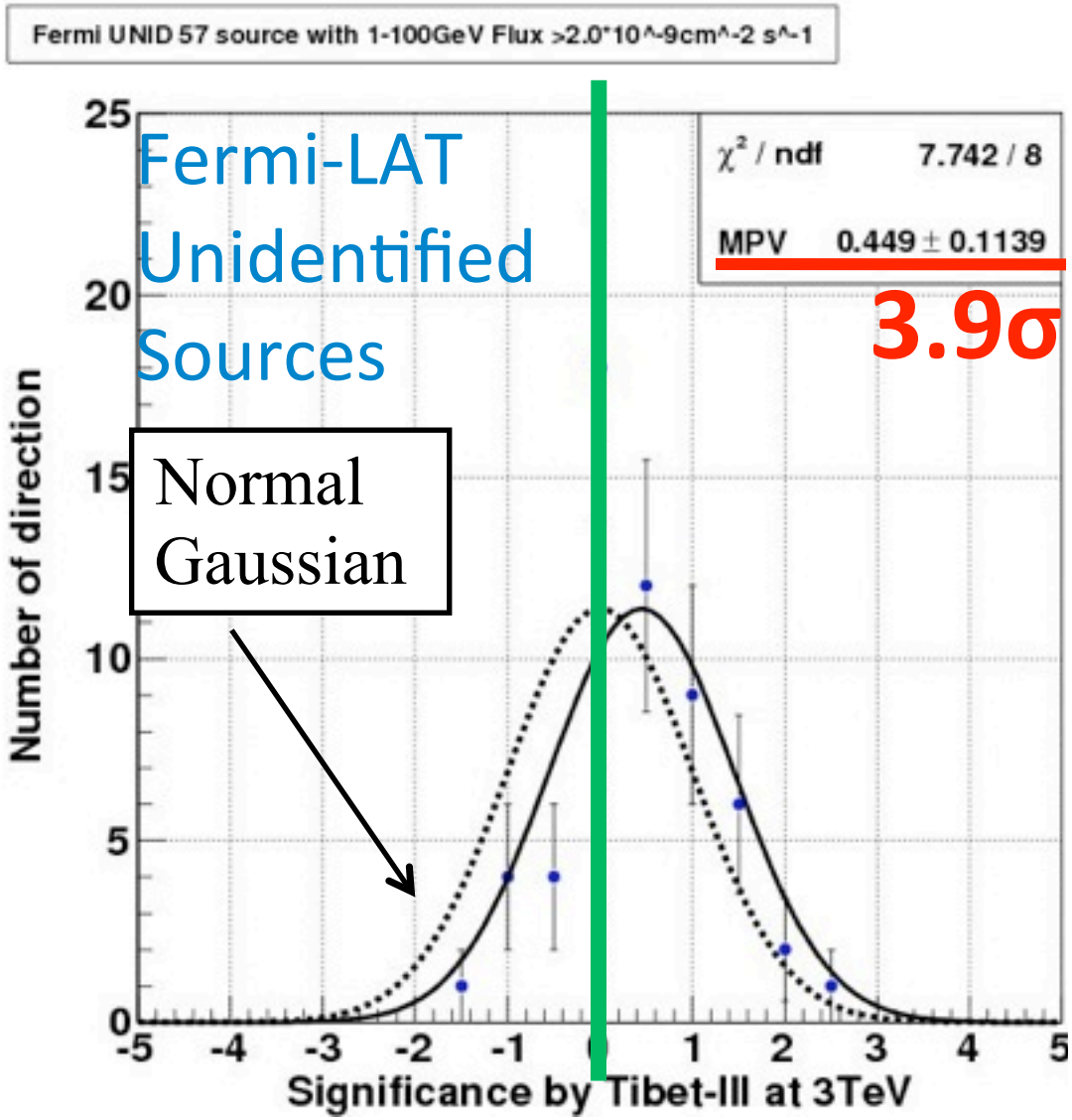
Crab を除いた場合、
λ = 26×0.02275 (2σ 上側確率) = 0.59
P(A=6) = 3.6×10^{-5} ～ 4σ

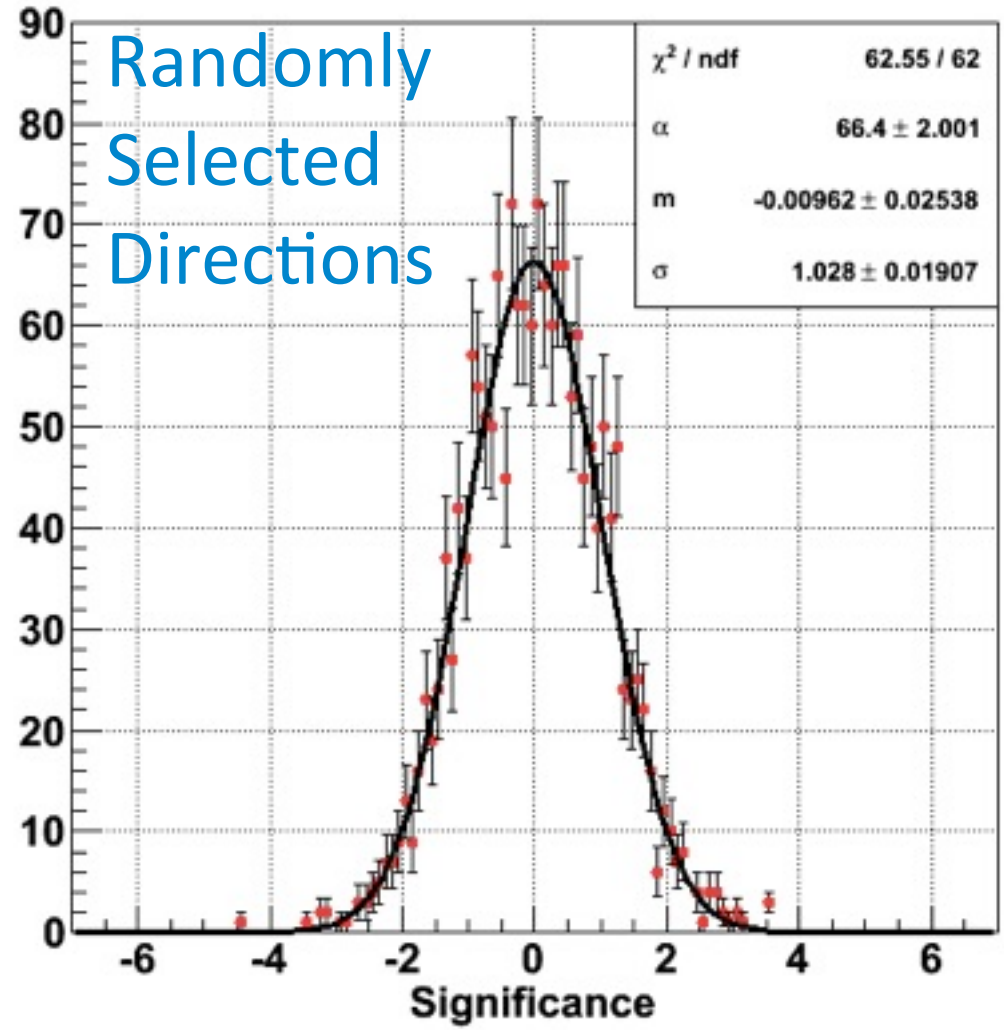
First *Ferm* Catalog

	Type	Description	# of sources	Tibet FOV
		Unidentified sources	630	220
Galactic	psr	Pulsar	63	24
	pwn	Pulsar wind nebula	2	0
	snr	Supernova remnant	3	3
	spp	Special case – potential association with SNR/PWN	41	14
	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
Extragalactic	gal	Normal galaxy	6 (LMC,SMC)	0
	sbg	Starburst galaxy	2	0
	agn	Non-blazar AGN	28	18
	agu	Active galaxy of uncertain type	92	27
	bzb	Blazar (BL Lac)	295	179
	bzq	Blazar (FSRQ)	278	134
		Total	1451	620

チベット空気シャワーアレイ の視野内の
未同定天体（220個）に着目

結果(1)

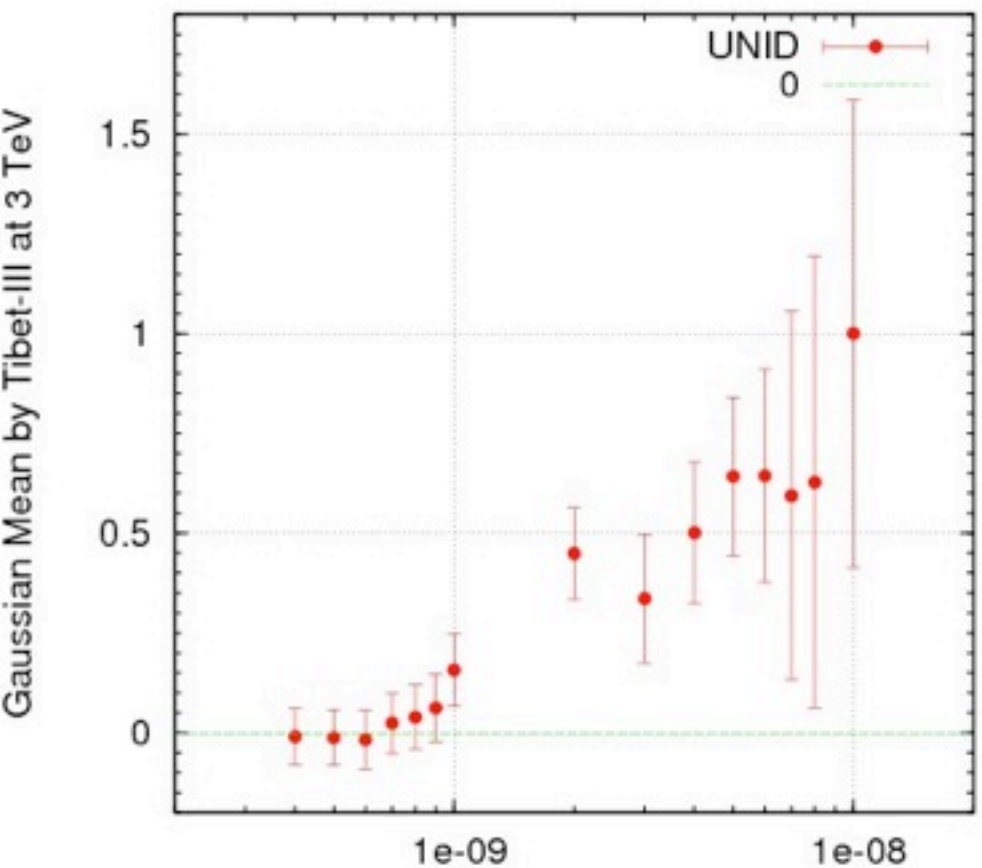




1~100GeVのフラックス>2.0x10^{-9}cm^{-2}s^{-1}
(57天体)

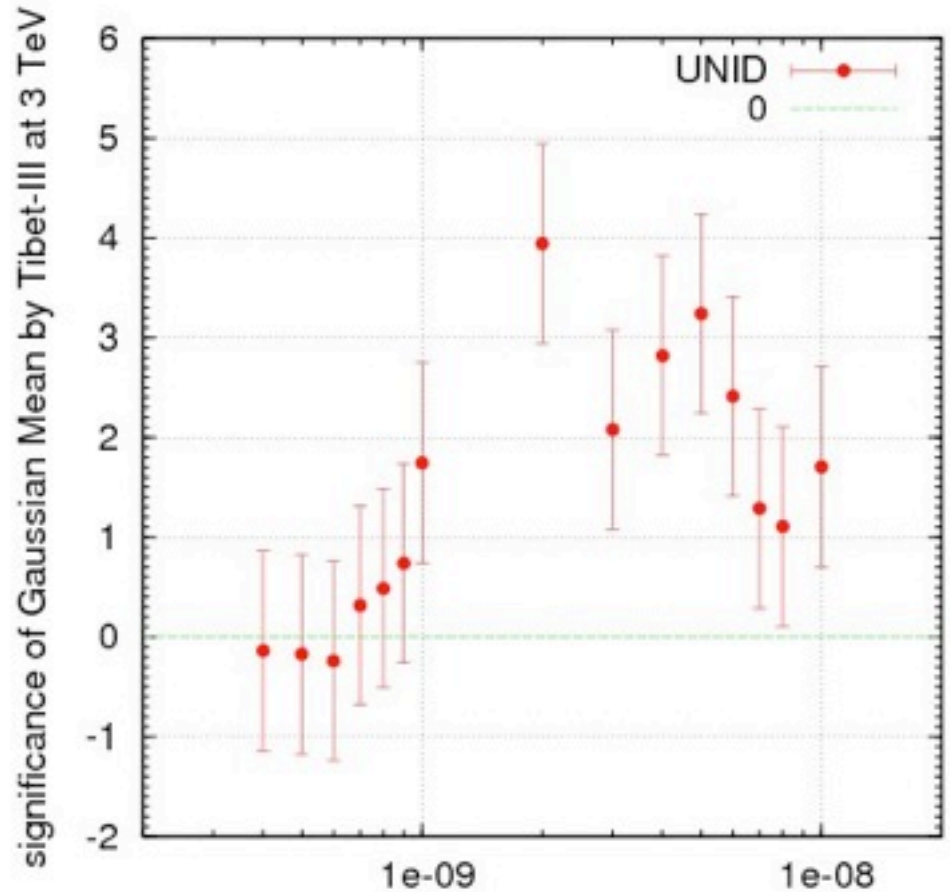
結果(2)

Gaussian Mean Value vs. Flux Threshold



1-100 GeV flux [photons $cm^{-2}s^{-1}$]

Significance of Gaussian Mean vs. Flux Threshold



1-100 GeV flux [photons $cm^{-2}s^{-1}$]

まとめと今後の展望

- The First Fermi LAT Catalogの未同定天体のうち、チベット空気シャワーアレイ視野内にある220個について、TeV領域での放射を探索した。

現時点ではGeV-TeV領域の放射に有意相関があるとは断定できなかった（3σ程度か）が面白そう。

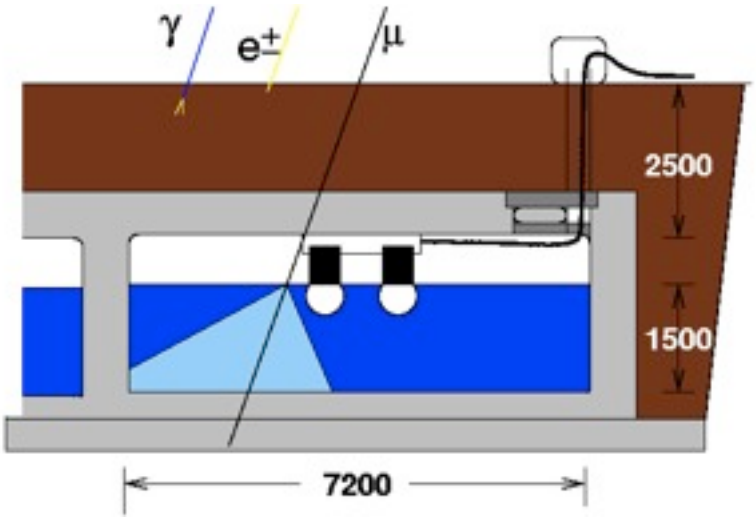
↓

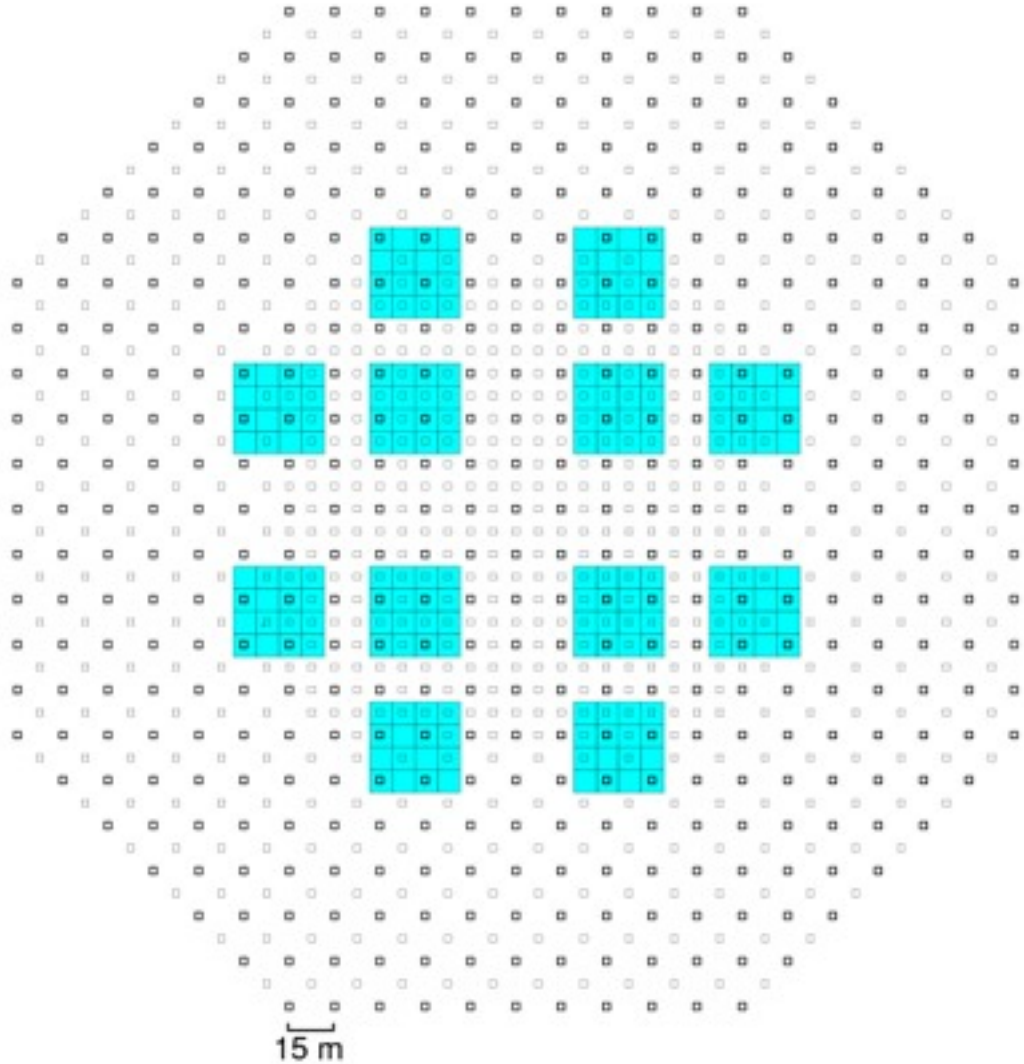
現在TeVガンマ線に対する感度を上げるためのミューオン観測装置(MD)を建設中。

チベット水チェレンコフミューオン観測装置（Tibet MD）

地下 2.5m（物質厚 ~515g/cm^2~19X$_0$）
7.2m×7.2m×水深1.5m　水槽　192台
20”ΦPMT　2本（HAMAMATSU R3600）
水槽材質：
コンクリート
白色エポキシ樹脂塗装

合計　～10,000m^2

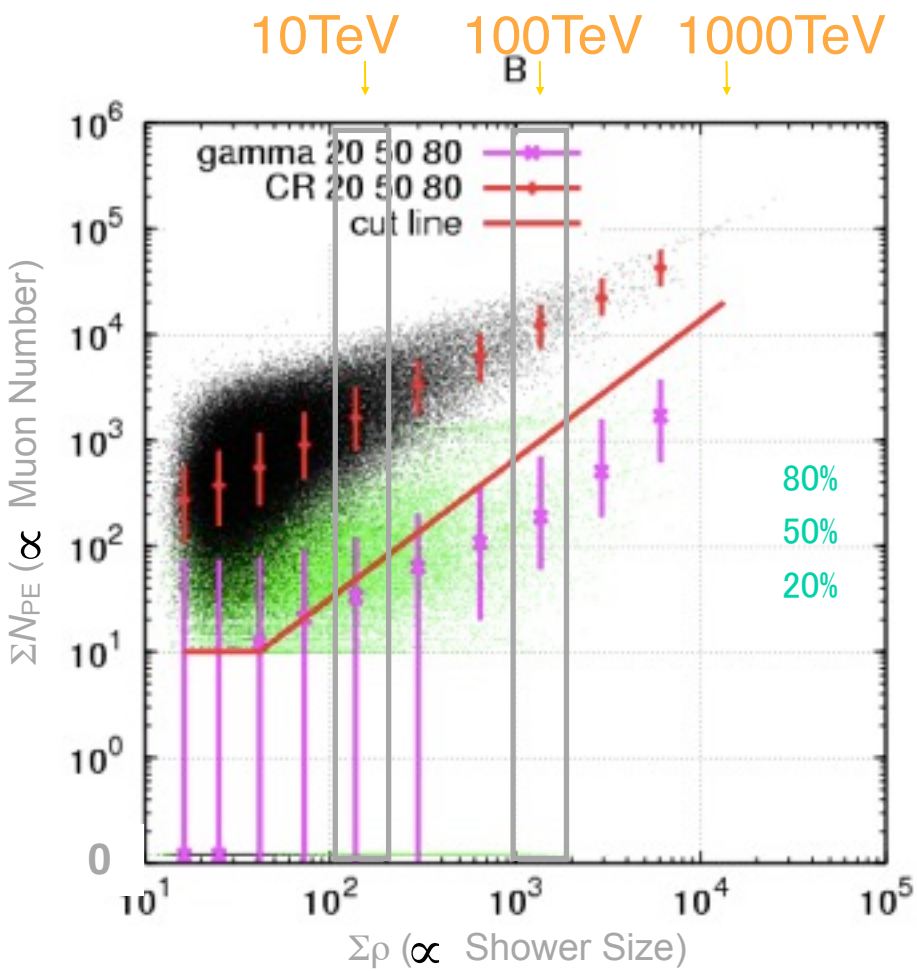


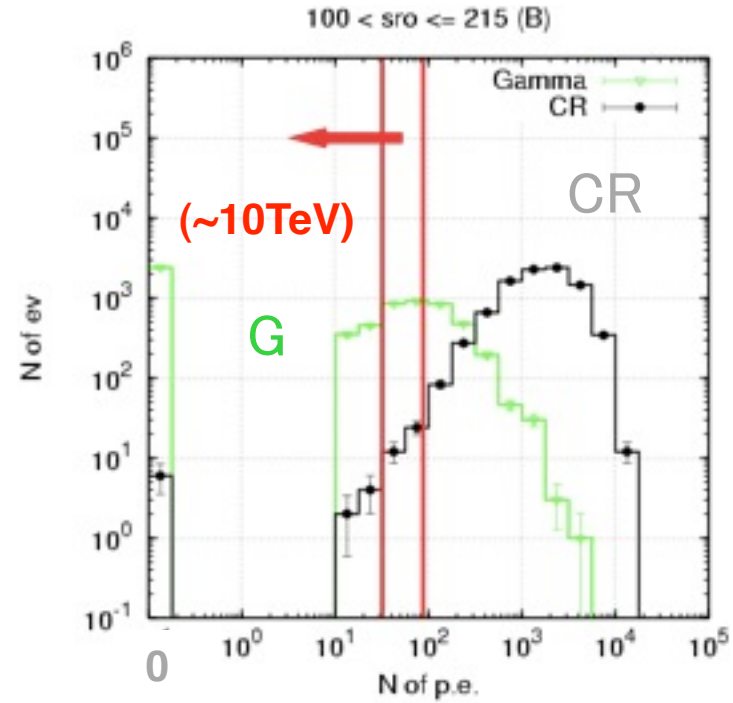


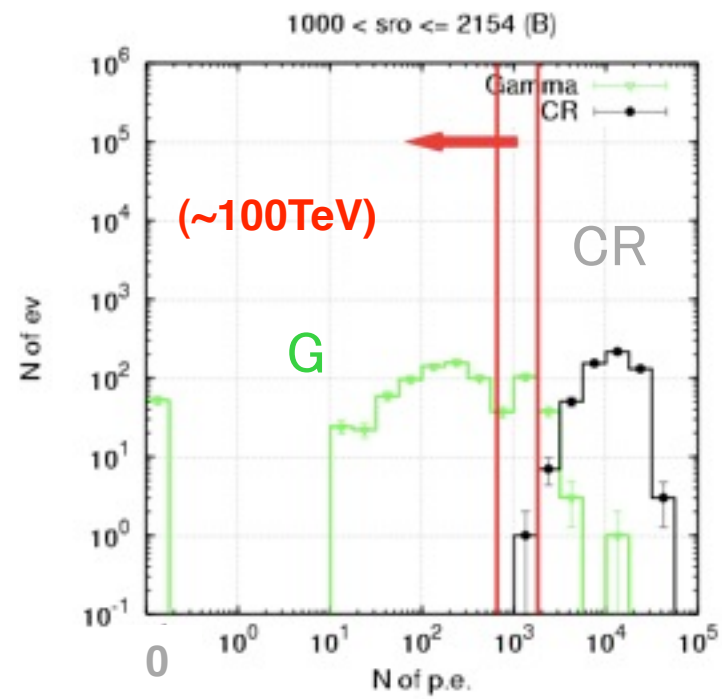
→空気シャワー中のミューオン数を測定し、ガンマ線／核子選別

ミューオン数VSシャワーサイズ （シミュレーション）

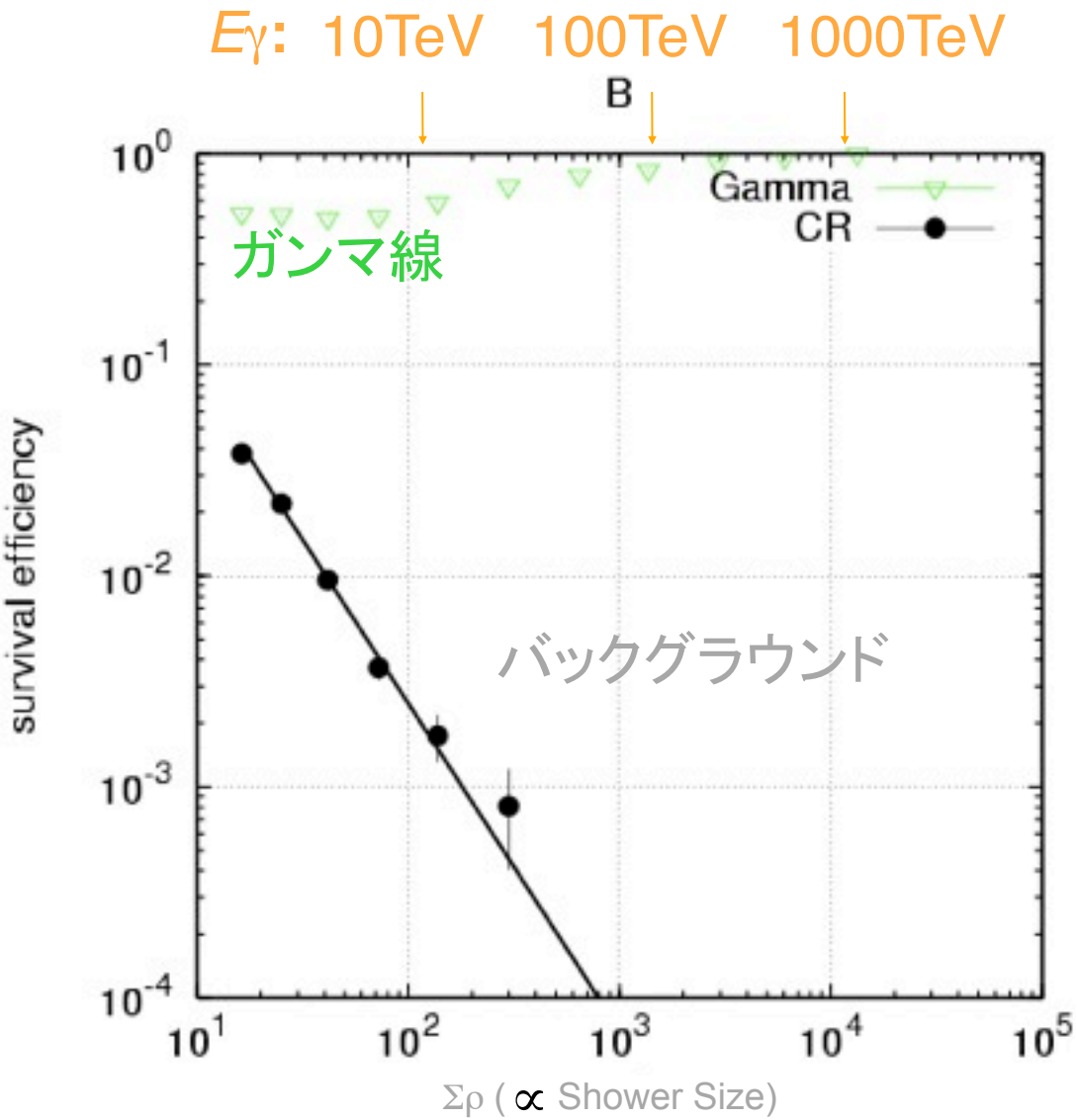
Σ ρ : シンチレータ検出器で観測した粒子密度の和
∝シャワーサイズ
Σ N_{PE}: ミューオン検出器で観測した光電子数の和
∝ミューオン数
（MD検出器の閾値 N_{PE} >10 光電子）







カット後の生存率　（シミュレーション）



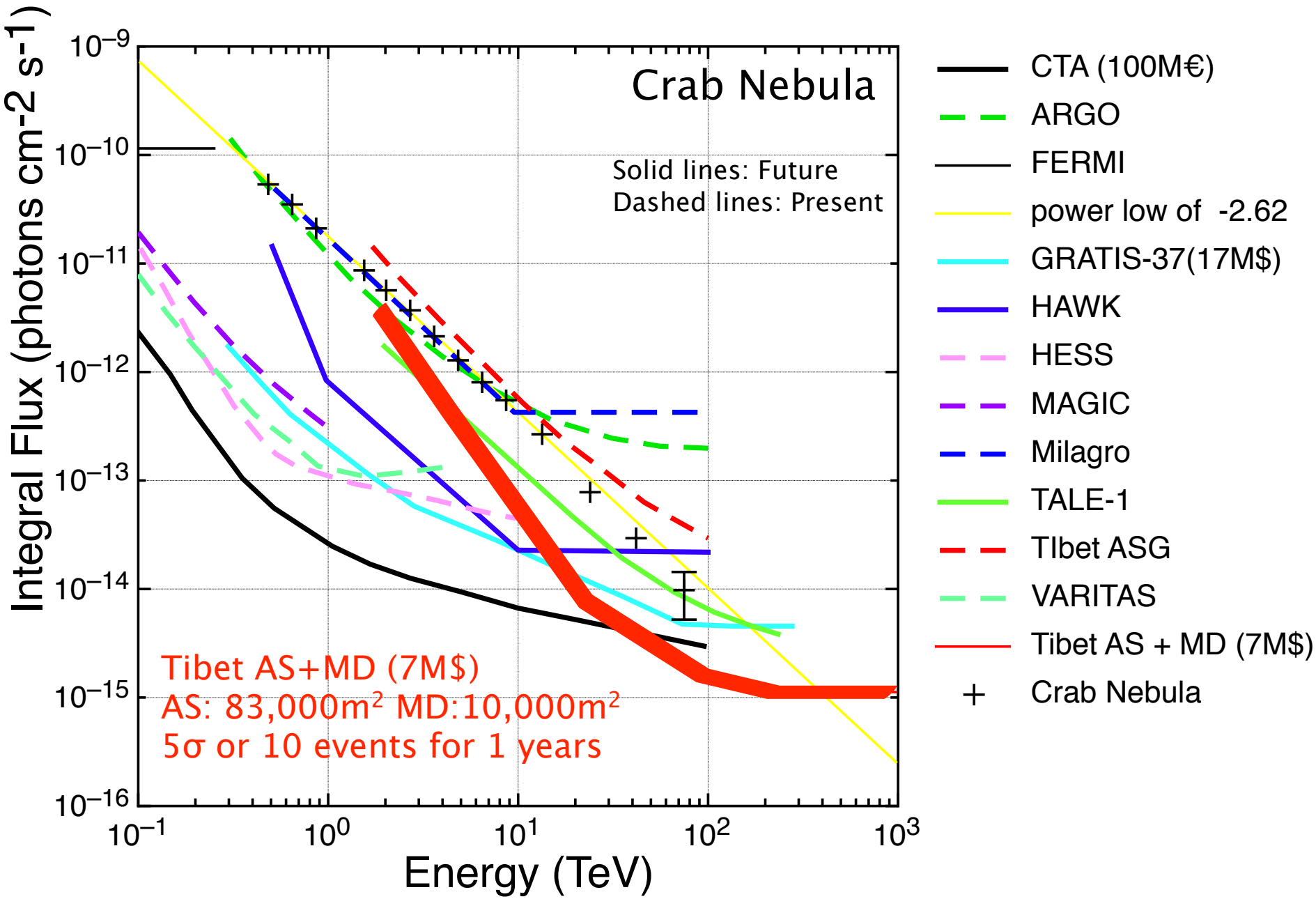
10TeV:
カットΣN_{PE}=~50
バックグラウンド:　~99.8%　除去
ガンマ線:　~65%　生存
ガンマ線感度:　~10倍　感度UP！

100TeV:
カットΣN_{PE}=~1000
バックグラウンド:　~99.99% 除去
ガンマ線:　~95% 生存
ガンマ線感度: バックグラウンドフリー!

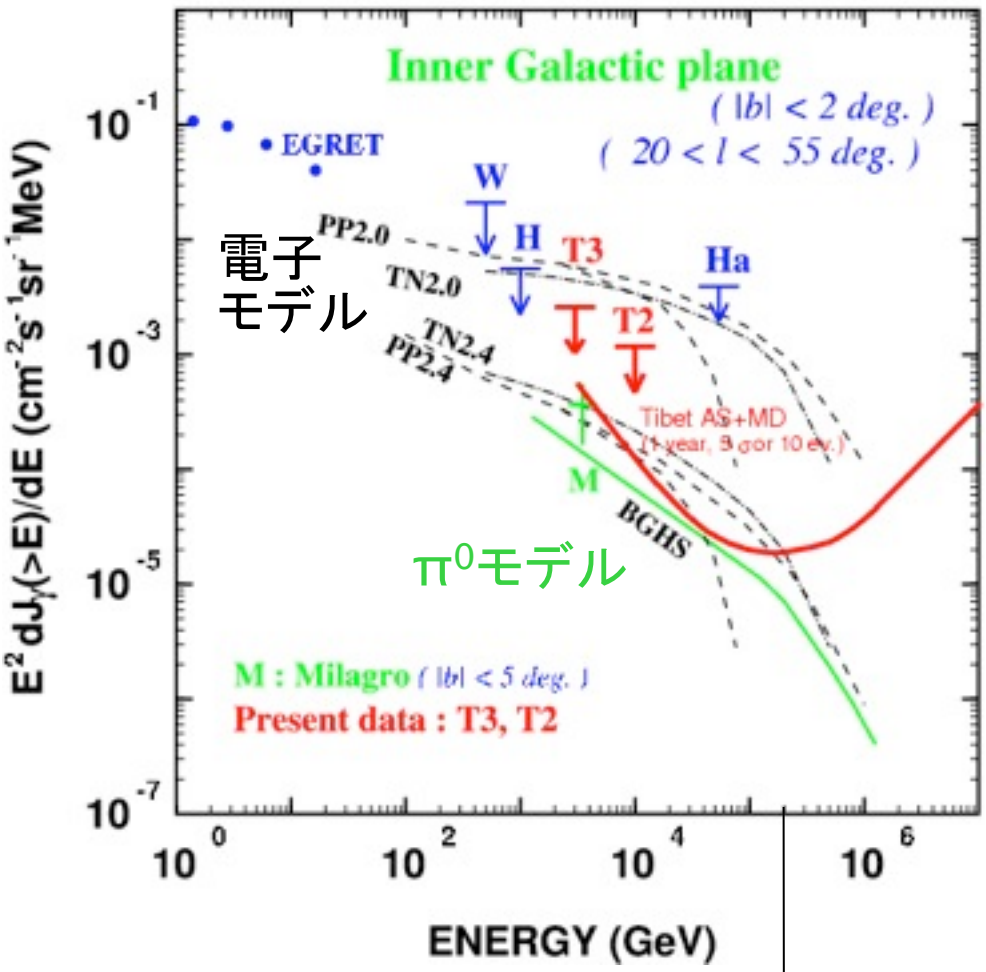
1000TeV:
カットΣN_{PE}=~20000
バックグラウンド:　>>~99.99%　除去
ガンマ線:　~99% 生存
ガンマ線感度: バックグラウンドフリー!

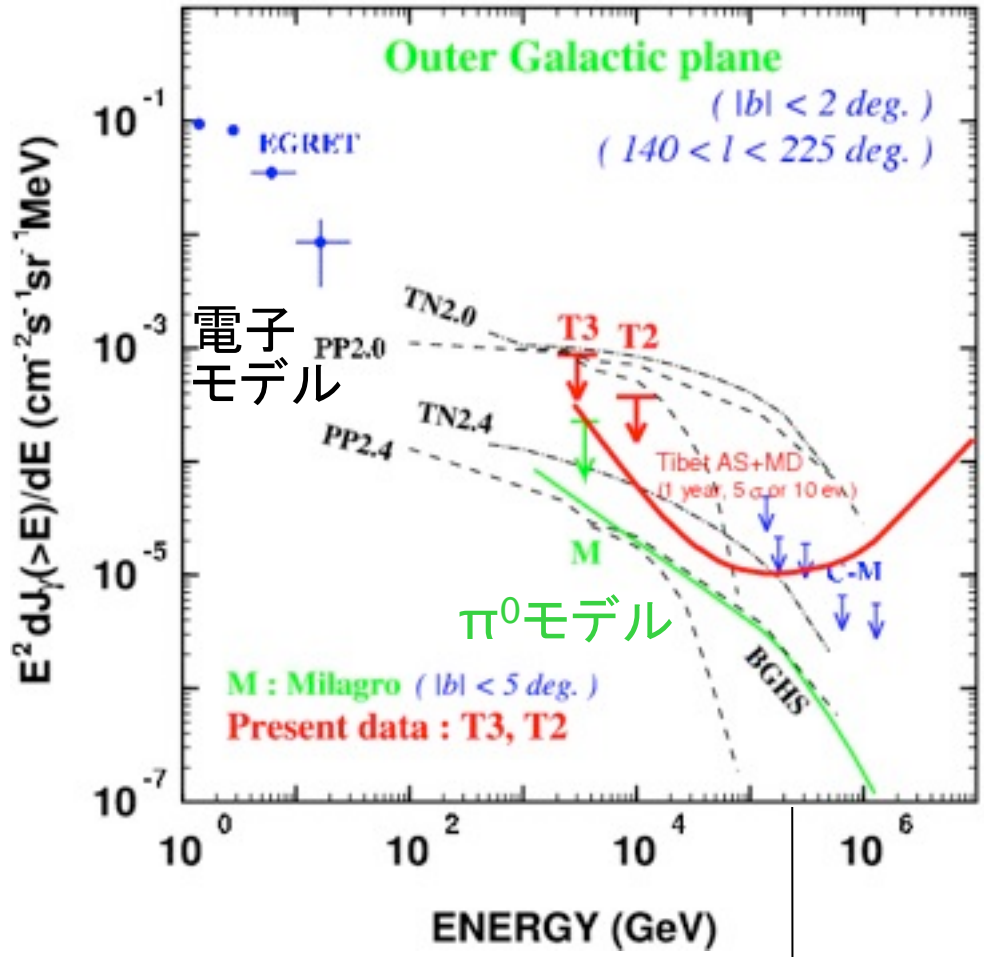
	Tibet AS+MD >~100 TeV	HESS >~TeV
Location	30N-90E	23S-16E
FOV	~2 sr	~0.02 sr
Duty cycle	~90%	~10%
θResolution	~0.2°	~0.1°
E Resolution	~40%	~20%
Background Rejection	~99.99%	~99%
S/N Ratio (RX J1713)	S/N = 80ev / 0.5ev (1yr in 0.6° radius, >100TeV)	S/N = 2500ev / 2000ev (50hrs in 0.6° radius, >1TeV)
	S/N = 200 / 5 (1yr in 0.6° radius, >40TeV)	S/N = 20 / 20 (50hrs in 0.6° radius, >40TeV)

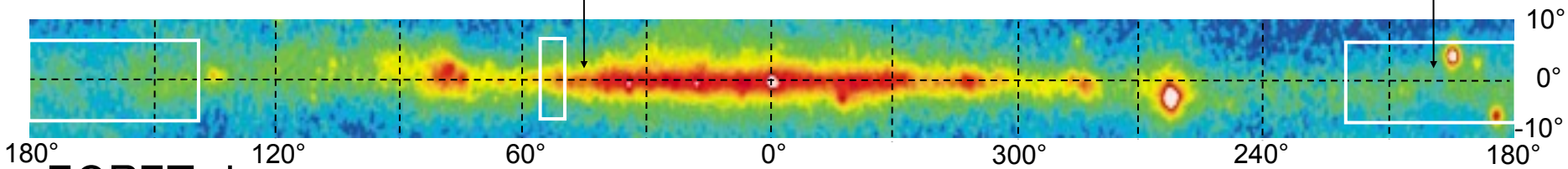
Comparison with other experiments or future plans
（5σ or 10イベント）



銀河面からのDiffuseガンマ線







EGRET data

チベットMD計画のまとめ

チベットMD計画

～83000 m^2 チベット空気シャワー観測装置+

～10000 m^2　水チェレンコフミューオン観測装置

→100TeV領域(10-1000TeV)ガンマ線の観測（宇宙線加速限界と拡散γ線）

シミュレーションによる予想感度

F(>100(20)TeV) ～10^{-15} cm^{-2} s^{-1} ～10 (5) % Crabs

→従来より1桁以上ガンマ線に対する感度が改善

>10-20TeV で>HESS, >30-40TeVで>CTA

北天100TeV領域のガンマ線候補天体:

観測可能天体　：Diffuse γ from Milky way,

(1 year)　Crab, TeV J2032+4130,

MGRO J2019+37, MGRO J1908+06, MGRO J2031+41

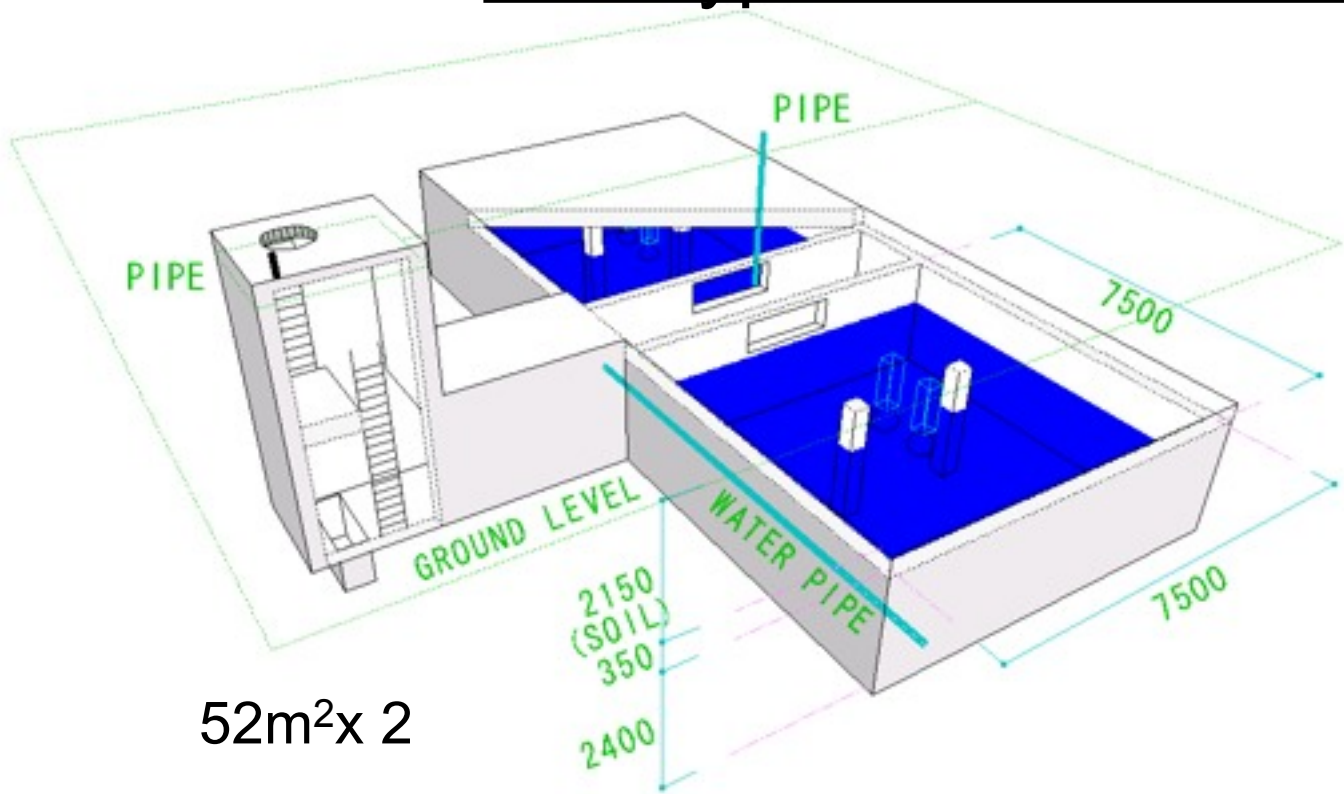
HESS J1837-069, Mrk 421

面白そう　：Cas A, M87, HESS J1834-089, HESS J0632+058

(Several years)　Mrk 501, LS I +61 303, IC443, Extragalactic Diffuse γ???

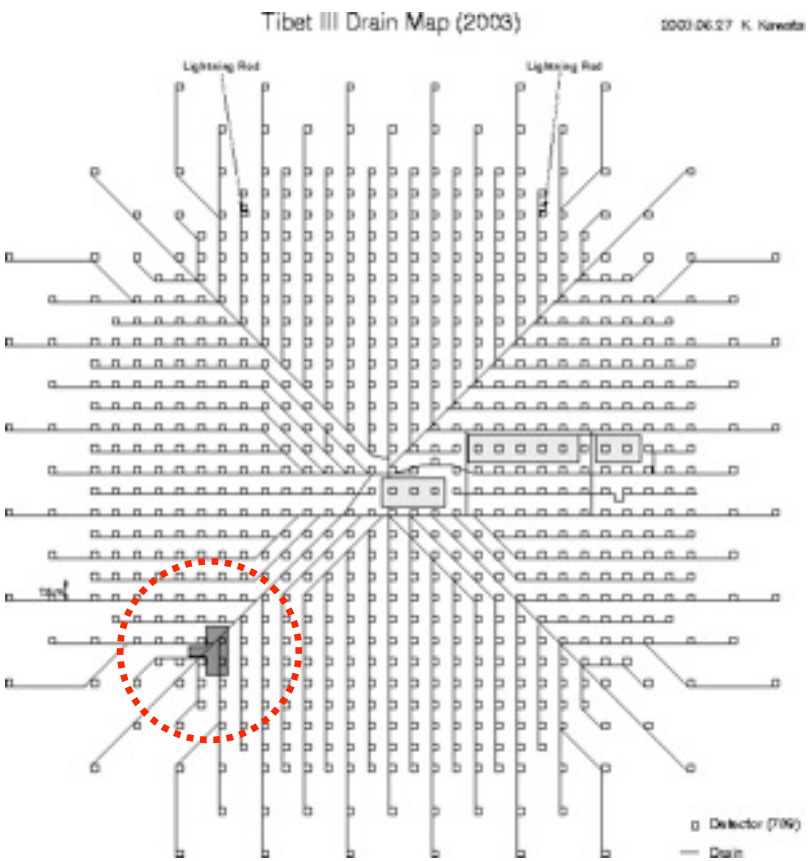
予想未知天体数　：数個-10個位!?

Prototype Muon Detector in Tibet



52m^{2}x 2

Construction from Sep. 2007
Data taking from Dec. 2007



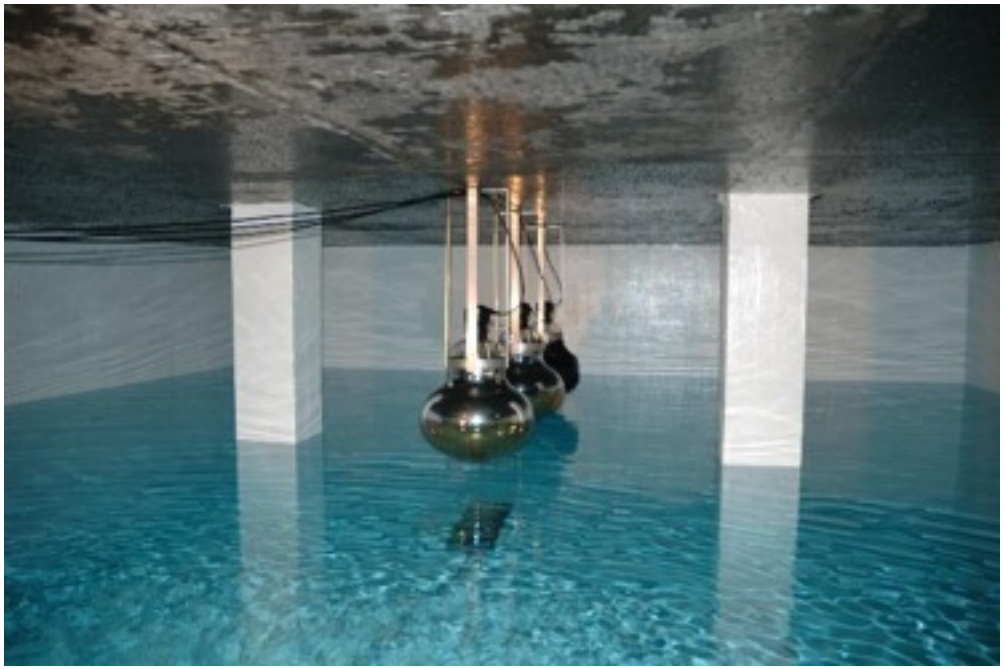
- Construction feasibility in Tibet ?
- MC simulation OK?
- γ observation above multi 100 TeV

16 November, 2007 Prototype Muon Detector

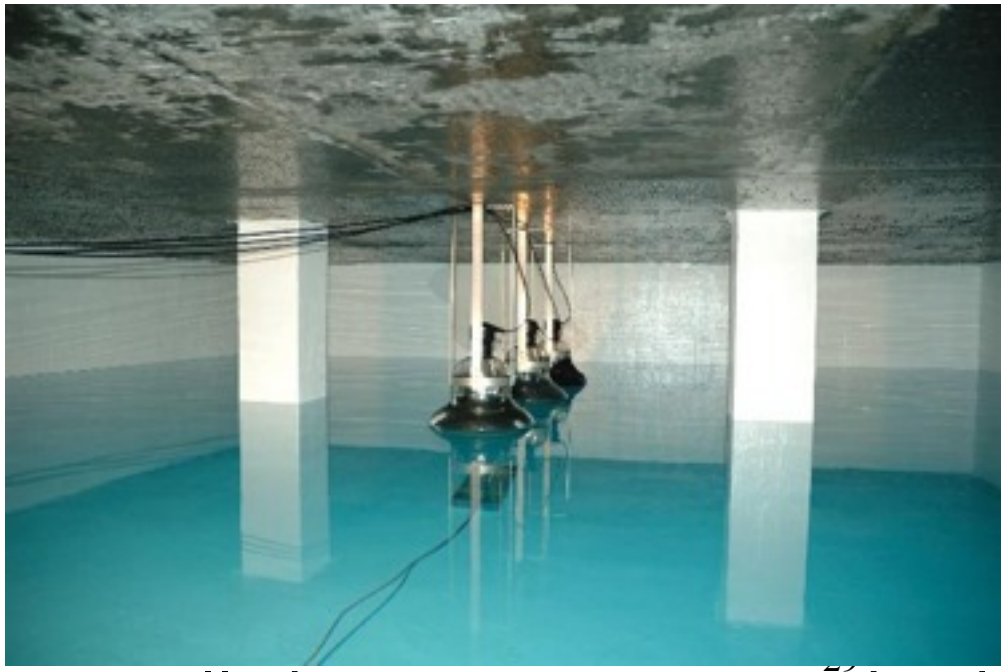
Interior decorations

Pool(1): white epoxy resin (high cost)

Pool(2):cheap waterproofing + Tyvek (low cost)



Pouring very clear well-water



Filled up water 1.5 m in depth

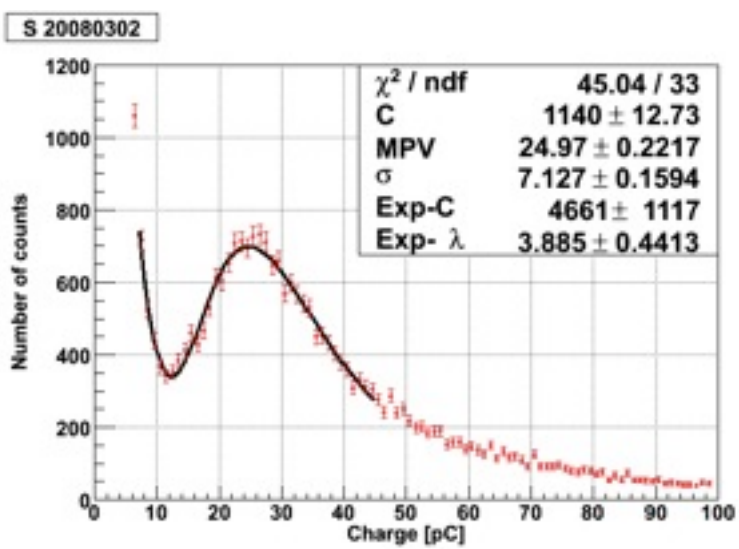
Data Analysis

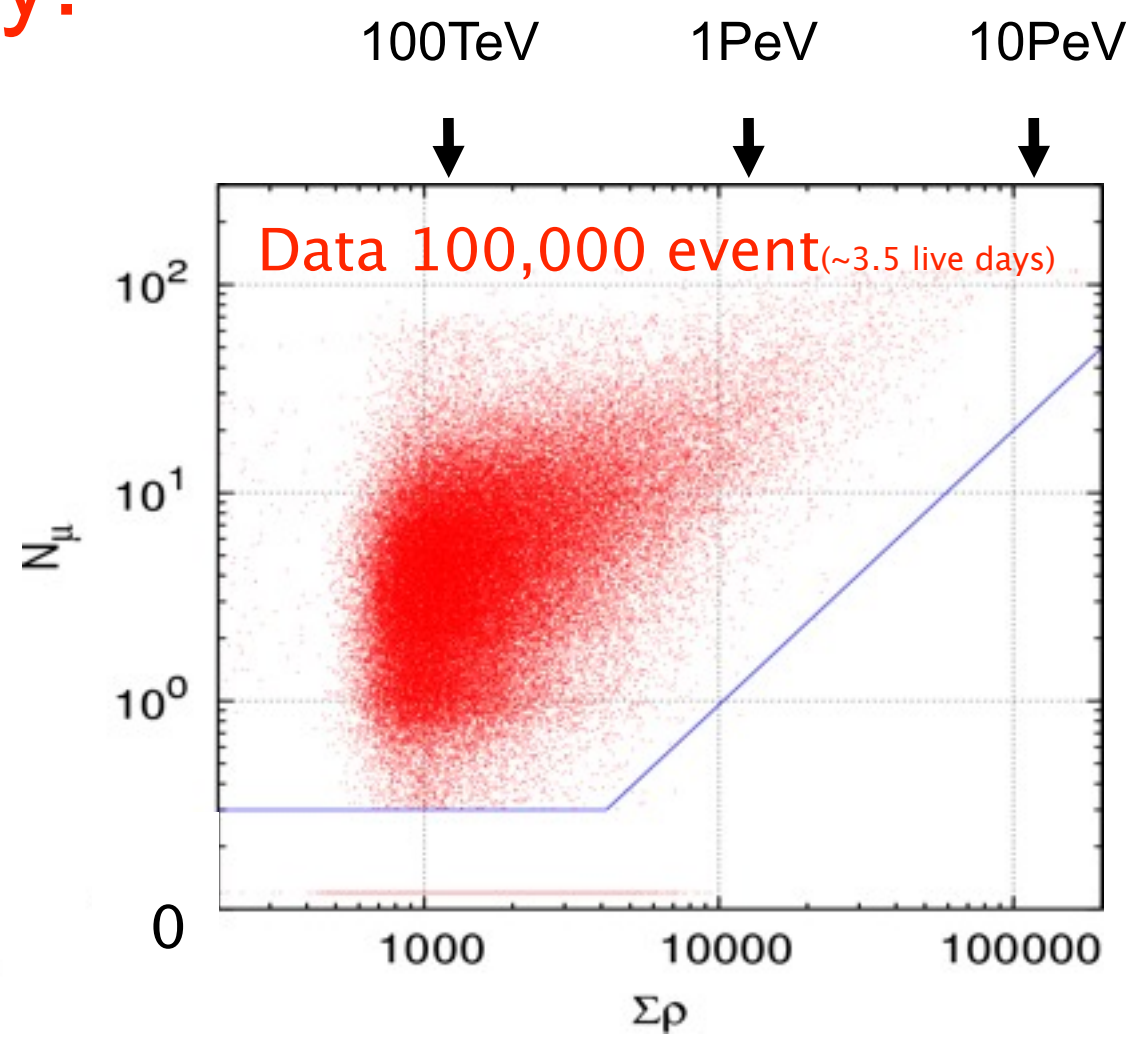
Very Preliminary!

Air Shower Size v.s. Nμ

Low-energy events are cut (Eth = ~ 50 TeV)

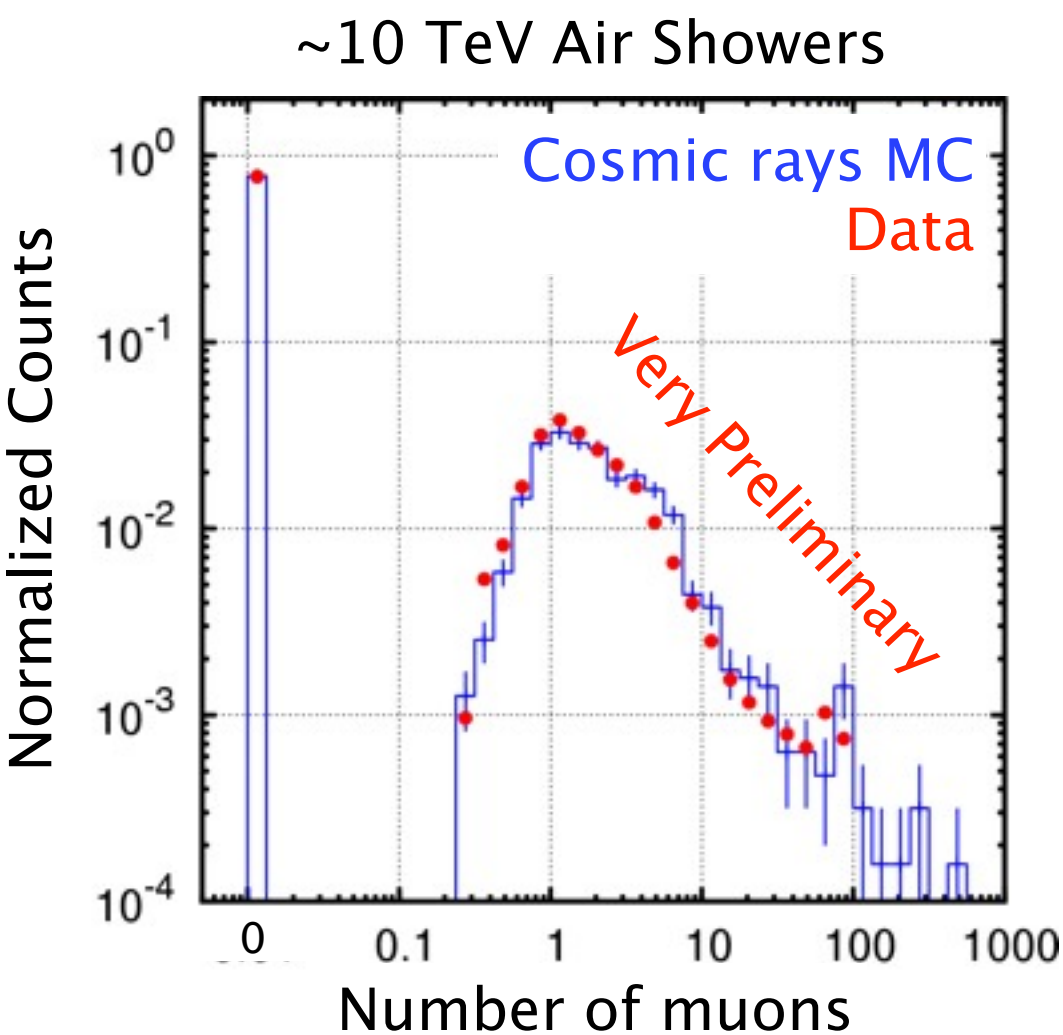
Single Muon Peak

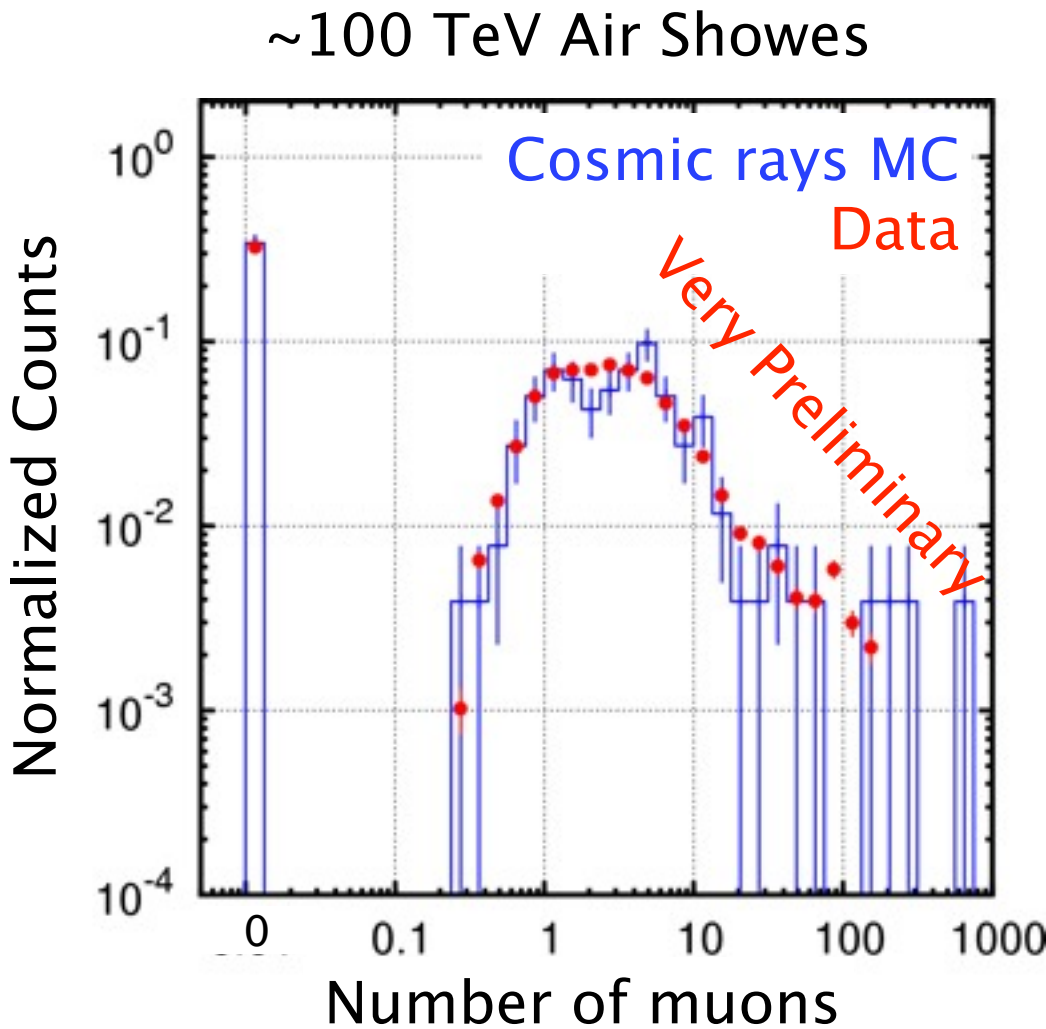




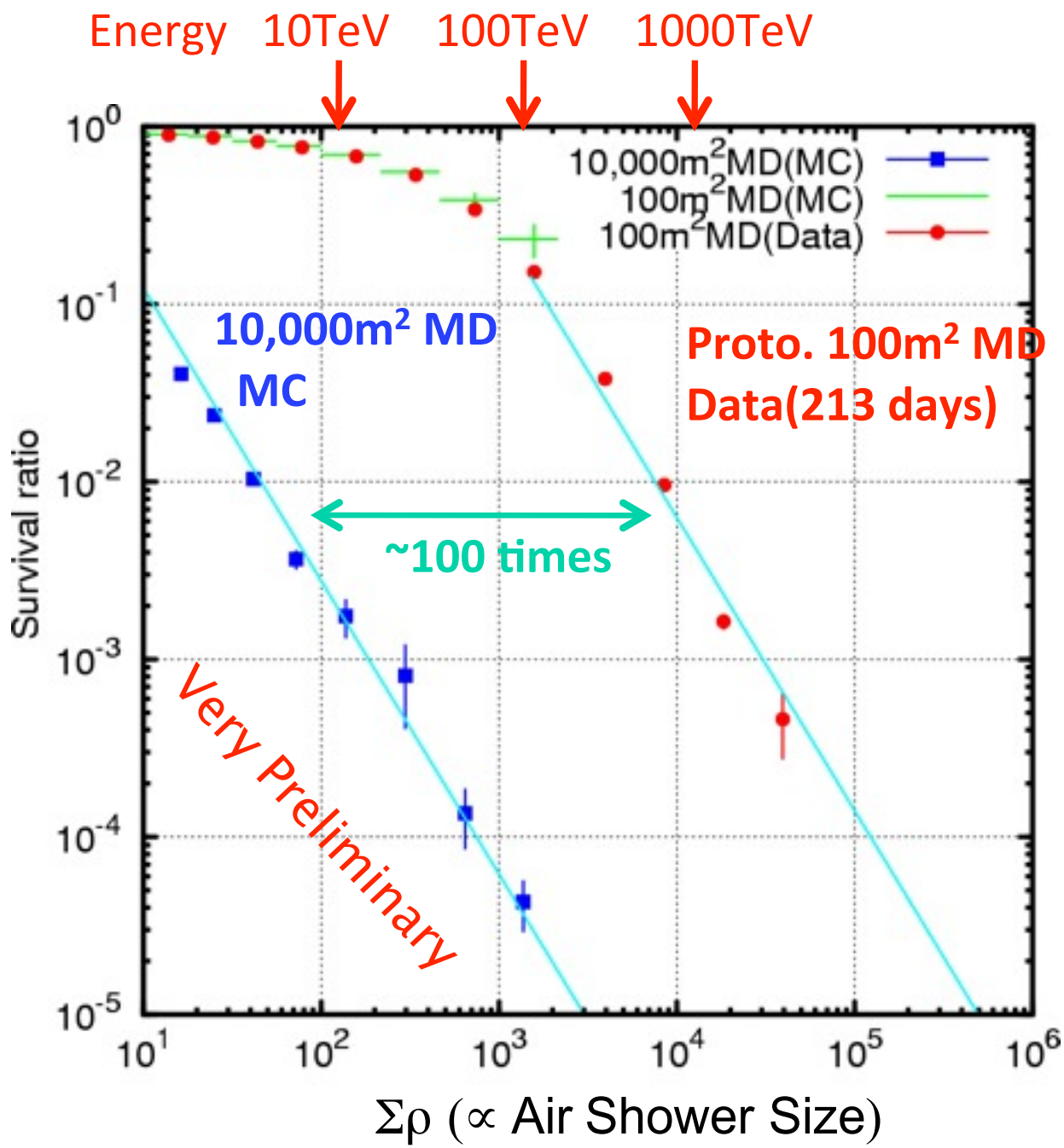
Σρ (∝ Air Shower Size)

Number of muons

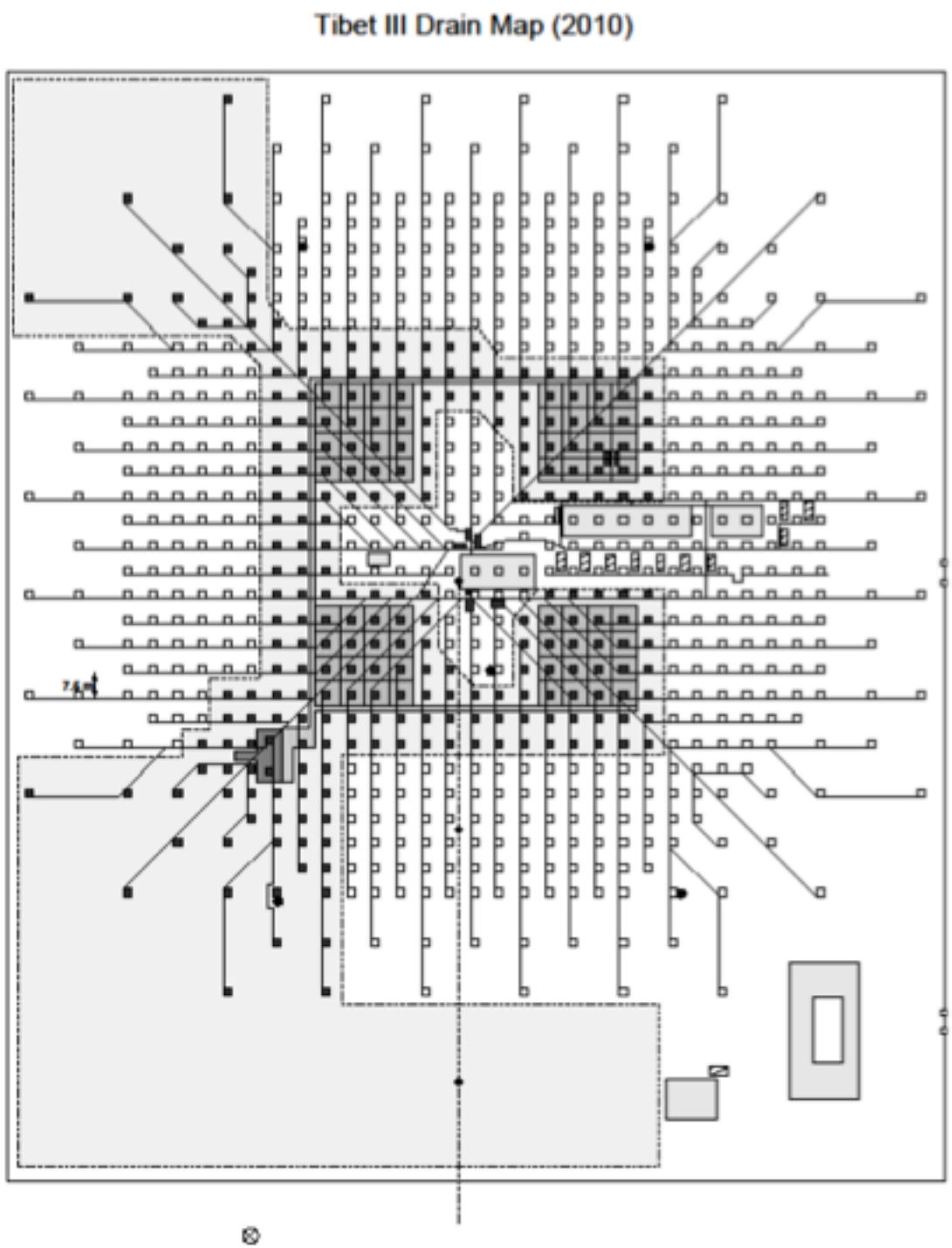




Cosmic Ray (Nucleus) Survival Ratio



MD2010 建設報告



概要

52 m^2 x 16セル x 4プール
～3300 m^2

2010年7月13日着工
11月20日竣工予定

成都市尉洪建設有限公司
西藏分公司

1プールの建設工程

掘削→捨てコン→床&壁の配筋→床の型枠→床のコンクリート→
壁&天井の型枠→天井の配筋→壁&天井のコンクリート→天井防水→埋め戻し

掘削→捨てコン→床&壁の配筋→床の型枠→床のコンクリート→
壁&天井の型枠→天井の配筋→壁&天井のコンクリート→天井防水→埋め戻し

掘削→捨てコン→床&壁の配筋→床の型枠→床のコンクリート→
壁&天井の型枠→天井の配筋→壁&天井のコンクリート→天井防水→埋め戻し

掘削→捨てコン→床&壁の配筋→床の型枠→床のコンクリート→
壁&天井の型枠→天井の配筋→壁&天井のコンクリート→天井防水→埋め戻し

10月12日の状況

北東プール（No. 1） 2010年10月12日

完成度

８０％

掘削→捨てコン→床&壁の配筋→床の型枠→床のコンクリート→
壁&天井の型枠→天井の配筋→壁&天井のコンクリート→天井防水→埋め戻し

北西プール（No. 2） 2010年10月12日

完成度

７０％

掘削→捨てコン→床&壁の配筋→床の型枠→床のコンクリート→
壁&天井の型枠→天井の配筋→壁&天井のコンクリート→天井防水→埋め戻し

南東プール（No. 3） 2010年10月12日

完成度

６０％

掘削→捨てコン→床&壁の配筋→床の型枠→床のコンクリート→
壁&天井の型枠→天井の配筋→壁&天井のコンクリート→天井防水→埋め戻し

南西プール（No. ４） ２０１０年１０月１２日

完成度

５０％

掘削→捨てコン→床&壁の配筋→床の型枠→床のコンクリート→
壁&天井の型枠→天井の配筋→壁&天井のコンクリート→天井防水→埋め戻し

近況

No.1プール
2010年11月30日
埋め戻し完了
換気ファン設置

No.2プール
2010年11月28日
埋め戻し途中

No.3プール
2010年11月29日
これから埋め戻し

No.4プール
2010年11月29日
屋上防水が終了

2010年11月29日　アレイ南西より

No.1プール
2010年12月11日
土盛り量の測量

No.1プール
2010年12月11日
セル内
防水材塗装

現在、地下プールの埋め戻しがほぼ終了

地下プール建設終了後の作業

ケーブルドレイン復旧
シンチ検出器架台設置
シンチ検出器設置
シンチ検出器ケーブル敷設
MDプールのPMT設置
MDケーブル敷設
etc…

MD Phase Ⅰ

52 m^2 × 16セル × 4プール

〜3300 m^2

2011年7月頃に
データ取得開始予定

終わり