

チベット高原での 高エネルギー宇宙線の研究

佐古崇志

For the Tibet AS γ Collaboration
平成27年度共同利用成果発表会

2015.12.18

本日の内容

- 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
- MD, YAC 稼働の現状
- 今年度のデータ解析のトピック

(かに星雲からの100TeV γ 線探索、宇宙線異方性)

平成27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
(片寄祐作 横浜国立大学大学院工学研究院)
3. チベット高原における雷雲からの高エネルギー放射線の研究
(日比野欣也 神奈川大学工学部)
4. 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 国立情報学研究所情報社会相関研究系)
5. 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 577万円 → 配分額 200万円

2002年に完成したTibet-IIIの維持・運転及び
YAC空気シャワーコア観測装置と
水チェレンコフ型地下ミュオン観測装置の維持・運転
に必要な経費の一部に使用。

旅費： 申請額 1261万円 → 配分額 390万円

中国出張海外旅費や宇宙線研での研究打ち合わせ
に使用。

ご支援、どうもありがとうございます！

査読付き論文

- Search for gamma rays above 100 TeV from the Crab Nebula with the Tibet air shower array and the 100 m² muon detector

Amenomori M. et al., 2015, ApJ, 813, 98

国際会議

ICRC2015 [oral]

- Search for gamma rays above 100 TeV from the Crab Nebula using the Tibet air shower array and the 100m² muon detector
- Northern sky Galactic Cosmic Ray anisotropy between 10-1000 TeV with the Tibet Air Shower Array
- Observation of primary cosmic rays with the new Tibet hybrid experiment(YAC-II + Tibet-III + MD)

ICRC2015 [poster]

- The TIBET AS+MD Project; progress report 2015
- Development of a Front-End Electronics for YAC-III detectors of TibetASgamma experiment
- Observation of intense fluxes of charged particles in association with thundercloud in Tibet
- Sidereal anisotropy of Galactic cosmic ray observed by the Tibet Air Shower experiment and the IceCube experiment
- Long term stability analysis on the MD-A under TIBET III array
Investigation of hadronic interaction models from 10TeV to 1 PeV with the Tibet AS-core

TeVPA2015 [oral]

- Recent results from the Tibet AS γ experiment

CRA2015 [oral]

- Observation and modeling of cosmic-ray anisotropy observed with the Tibet air shower array

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、 $10^{14} \sim 10^{17}$ 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 TibetAS γ Collaboration



M. Amenomori¹, X. J. Bi², D. Chen³, T. L. Chen⁴, W. Y. Chen², S. W. Cui⁵, Danzengluobu⁴, L. K. Ding², C. F. Feng⁶, Zhaoyang Feng², Z. Y. Feng⁷, Q. B. Gou², Y. Q. Guo², H. H. He², Z. T. He⁵, K. Hibino⁸, N. Hotta⁹, Haibing Hu⁴, H. B. Hu², J. Huang², H. Y. Jia⁷, L. Jiang², F. Kajino¹⁰, K. Kasahara¹¹, Y. Katayose¹², C. Kato¹³, K. Kawata¹⁴, M. Kozai¹³, Labaciren⁴, G. M. Le¹⁵, A. F. Li^{16,6,2}, H. J. Li⁴, W. J. Li^{2,7}, C. Liu², J. S. Liu², M. Y. Liu⁴, H. Lu², X. R. Meng⁴, T. Miyazaki¹³, K. Mizutani^{11,17}, K. Munakata¹³, T. Nakajima¹³, Y. Nakamura¹³, H. Nanjo¹, M. Nishizawa¹⁸, T. Niwa¹³, M. Ohnishi¹⁴, I. Ohta¹⁹, S. Ozawa¹¹, X. L. Qian^{6,2}, X. B. Qu², T. Saito²⁰, T. Y. Saito²¹, M. Sakata¹⁰, T. K. Sako¹⁴, J. Shao^{2,6}, M. Shibata¹², A. Shiomi²², T. Shirai⁸, H. Sugimoto²³, M. Takita¹⁴, Y. H. Tan², N. Tateyama⁸, S. Torii¹¹, H. Tsuchiya²⁴, S. Udo⁸, H. Wang², H. R. Wu², L. Xue⁶, Y. Yamamoto¹⁰, K. Yamauchi¹², Z. Yang², S. Yasue²⁵, A. F. Yuan⁴, T. Yuda¹⁴, L. M. Zhai², H. M. Zhang², J. L. Zhang², X. Y. Zhang⁶, Y. Zhang², Yi Zhang², Ying Zhang², Zhaxisangzhu⁴, X. X. Zhou⁷

¹Department of Physics, Hirosaki University, Japan

²Key Laboratory of Particle Astrophysics, Institute of High Energy Physics, Chinese Academy of Sciences, China

³National Astronomical Observatories, Chinese Academy of Sciences, China

⁴Department of Mathematics and Physics, Tibet University, China

⁵Department of Physics, Hebei Normal University, China

⁶Department of Physics, Shandong University, China

⁷Institute of Modern Physics, SouthWest Jiaotong University, China

⁸Faculty of Engineering, Kanagawa University, Japan

⁹Faculty of Education, Utsunomiya University, Japan

¹⁰Department of Physics, Konan University, Japan

¹¹Research Institute for Science and Engineering, Waseda University, Japan

¹²Faculty of Engineering, Yokohama National University, Japan

¹³Department of Physics, Shinshu University, Japan

¹⁴Institute for Cosmic Ray Research, University of Tokyo, Japan

¹⁵National Center for Space Weather, China Meteorological Administration, China

¹⁶School of Information Science and Engineering, Shandong Agriculture University, China

¹⁷Saitama University, Japan

¹⁸National Institute of Informatics, Japan

¹⁹Sakushin Gakuin University, Japan

²⁰Tokyo Metropolitan College of Industrial Technology, Japan

²¹Max-Planck-Institut fuer Physik, Deutschland

²²College of Industrial Technology, Nihon University, Japan

²³Shonan Institute of Technology, Japan

²⁴Japan Atomic Energy Agency, Japan

²⁵School of General Education, Shinshu University, Japan

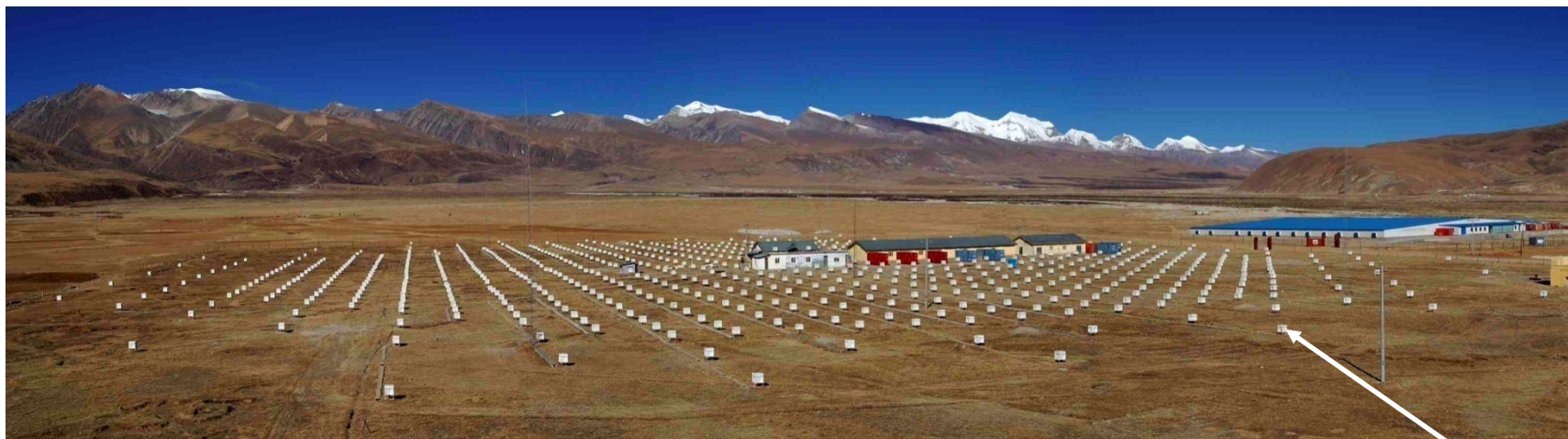
Yangbajing Cosmic Ray Observatory



中国西藏自治区羊八井

90° 522E, 30° 102N, 4,300 m a.s.l. (606g/cm²)

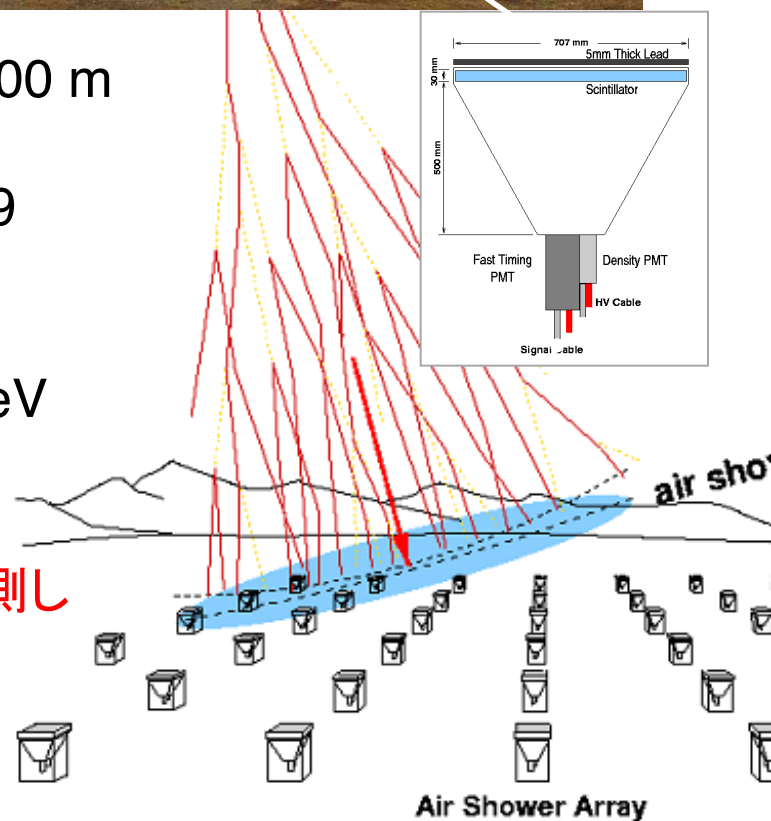
チベット空気シャワー観測装置 (Tibet AS)



□ 中国チベット (90.522°E, 30.102°N) 標高4300 m

- シンチレーション検出器数 0.5 m² x 789
- 空気シャワー有効面積 ~37,000 m²
- 最頻エネルギー ~3 TeV
- 角度分解能 ~0.9° @3 TeV
- 視野 ~2 sr

→ 空気シャワー中の二次粒子(主にe[±], γ)を観測し
一次宇宙線エネルギー、方向を測定



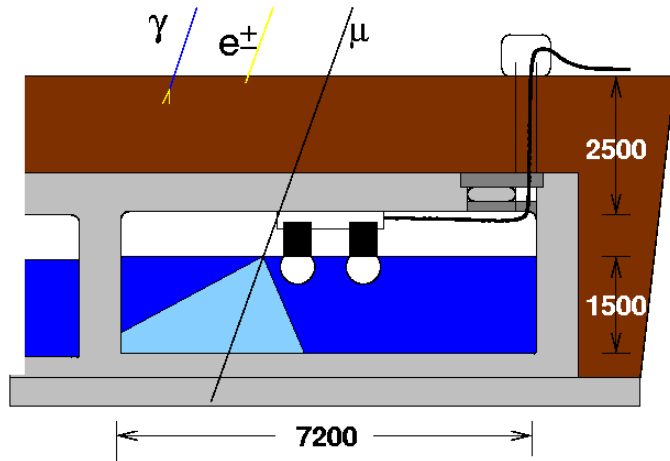
チベット水チェレンコフミュオン観測装置 (Tibet MD)

地下 2.5m (物質厚 $\sim 515\text{g}/\text{cm}^2 \sim 19X_0$)

7.2m \times 7.2m \times 水深1.5m 水槽 192台

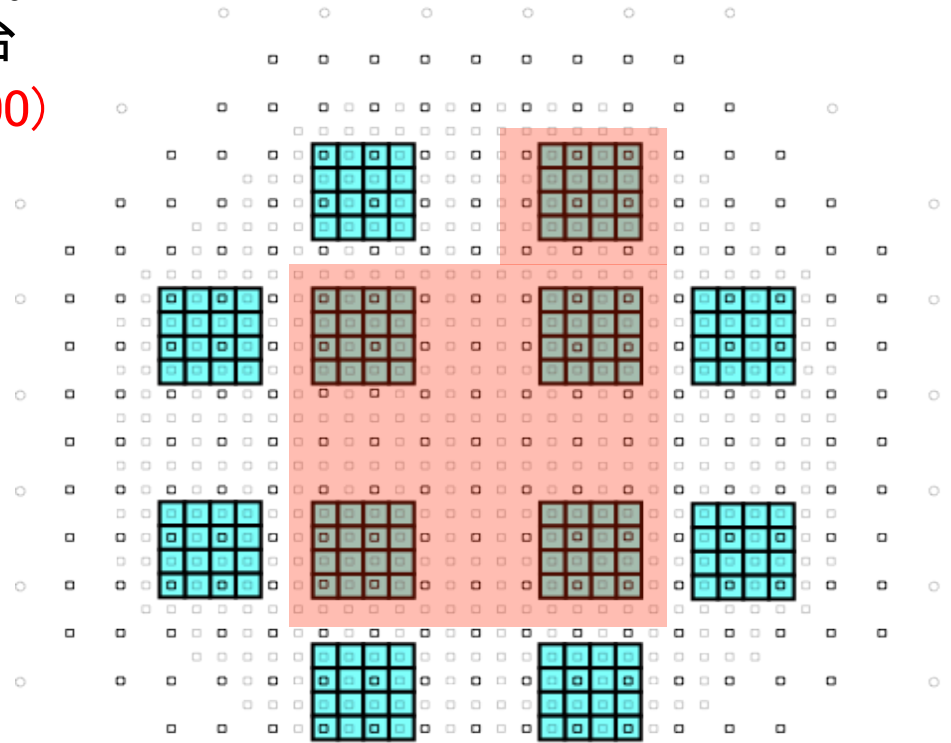
20" Φ PMT 2本 (HAMAMATSU R3600)

水槽材質: コンクリート
白色反射材



Tibet III Air Shower Array (2007)

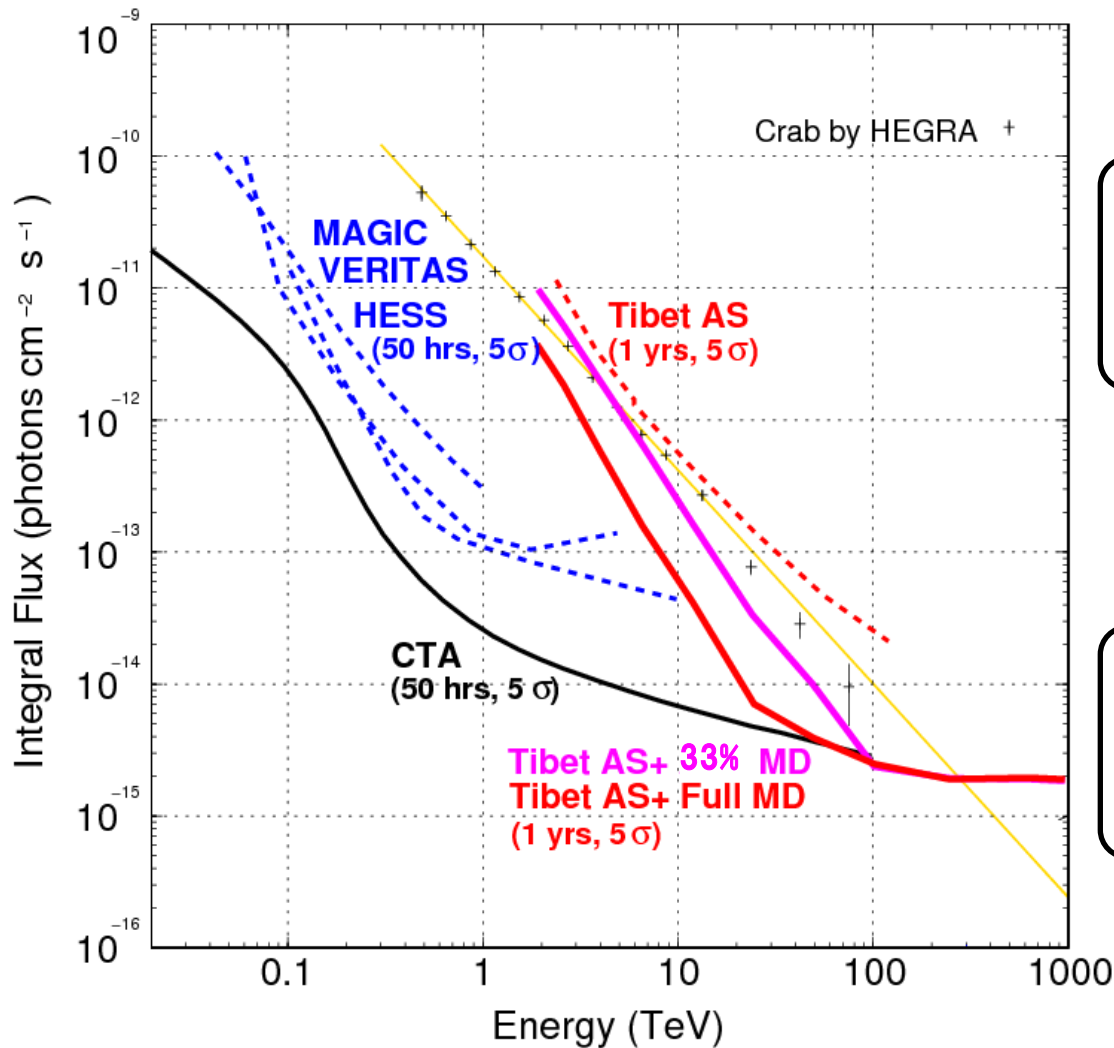
36,900 m²
2006.05.18 Ver.0.9



ミュオン検出器
 $\sim 10,000\text{m}^2$

→ 空気シャワー中のミュオン数を測定し、ガンマ線 / 核子選別

γ 線点源検出予想感度 (1yr or 50hrs, 5σ)



+Full MD

~10倍 @10TeV
~15倍 @100TeV

+1/3 MD

3~4倍 @10TeV
~15倍 @100TeV

2014年3月より5プールの観測開始



支持金具の取り付け



天井への取り付け



PMT取り付け完了(1)



PMT取り付け完了(2)

2013/10/10



Image © 2014 CNES / Astrium

2013/10/10



4,200m²
地下施設

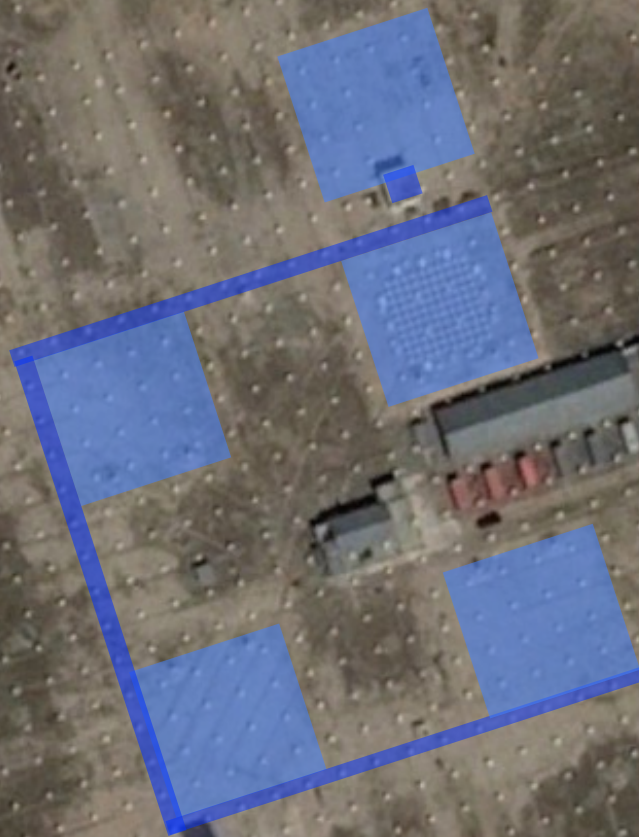


Image © 2014 CNES / Astrium

YAC II (YAC=Yangbajing Air shower Core detector) (Dense version)

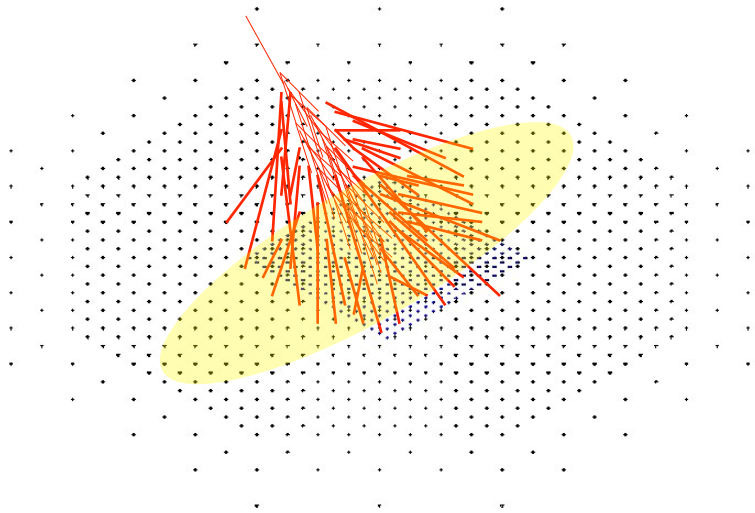
YAC II detector consists of 100 burst detectors with 1.5m spacing between detectors.

Total area of the array is 160 m² located near the center of Tibet III AS array.

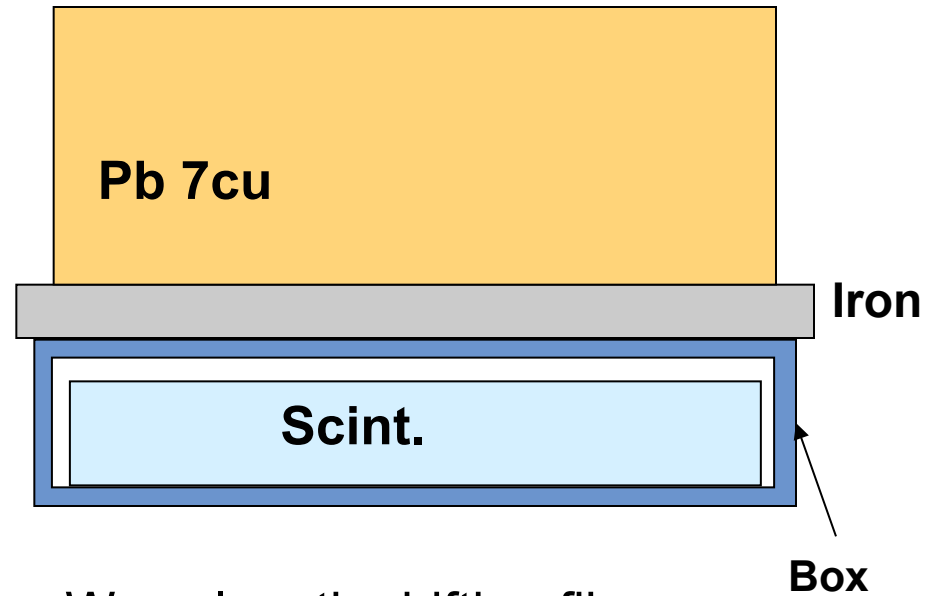
It is designed to measure proton and helium spectra in the knee region. Expected number of protons (>100TeV) and helium (>200TeV) using HD model are 2300 and 800 per one year, respectively.

Design of YAC-II

40cm x 50cm, 100 channels $S=160\text{m}^2$

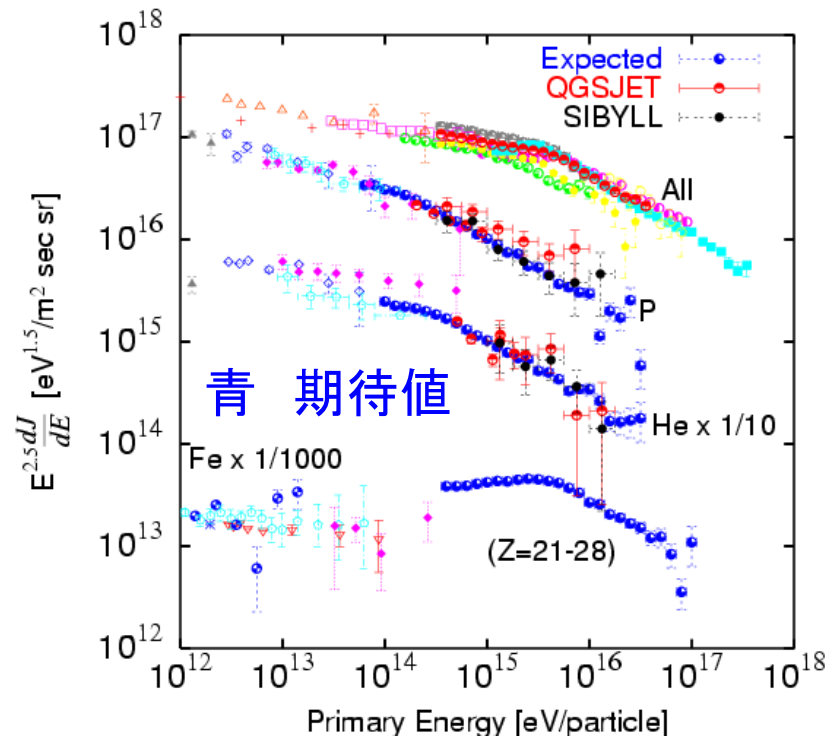


1.5m spacing 100ch
 $N_b > 100$ 電子数,
any 1 ($>30\text{GeV}$)

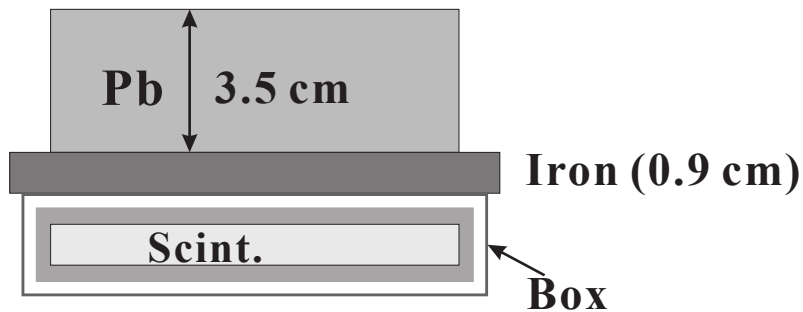


Wave length shifting fiber
+ 2 PMTs
(Low gain & High gain)
 $10^2 < N_b < 10^6$

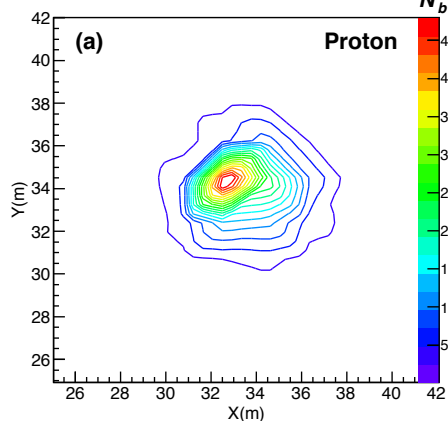
YAC 計画 Knee領域一次宇宙線組成



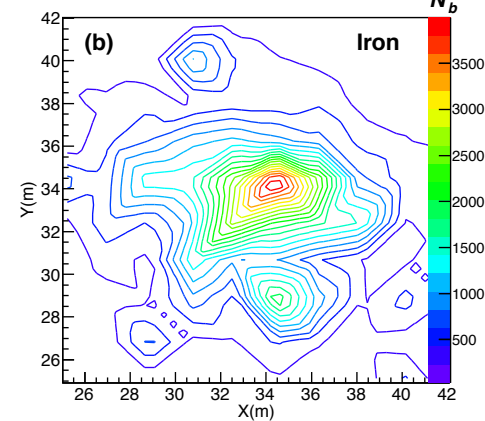
観測装置 2014年3月からDAQ開始



MC Proton



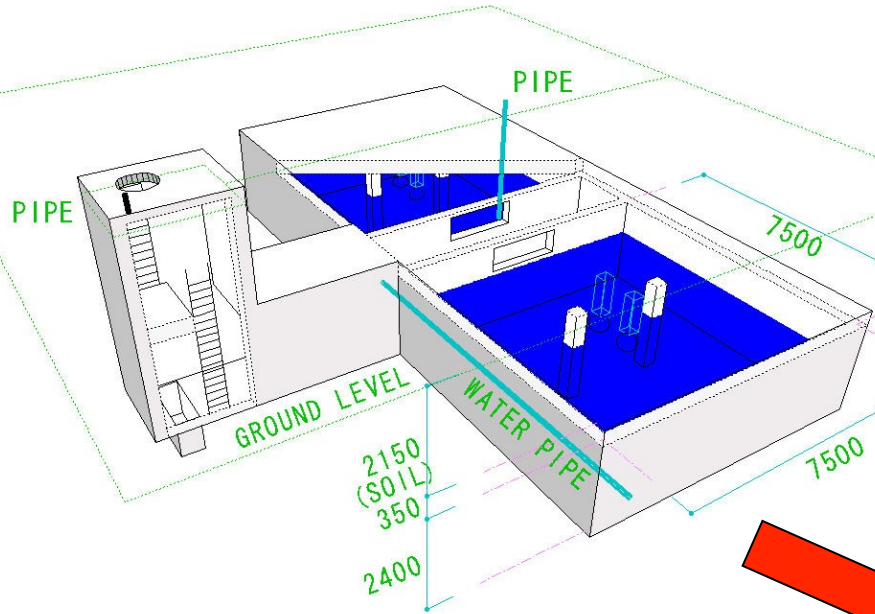
MC Iron



データ解析のトピック

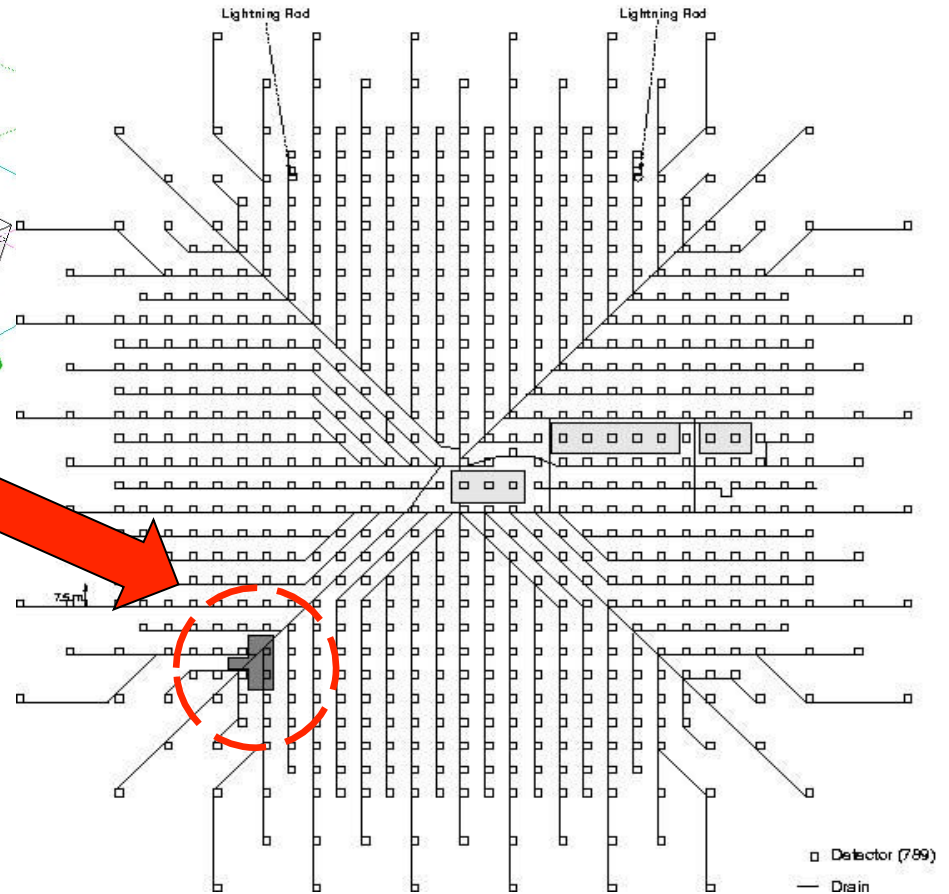
- 1) プロトタイプMDによる
かに星雲からの $>100\text{TeV}$ ガンマ線の探索
- 2) 恒星時異方性 ($10\text{TeV} - 1000\text{TeV}$)

Prototype 100 m² MD in Tibet



Tibet III Drain Map (2003)

2003.06.27 K. Kawata

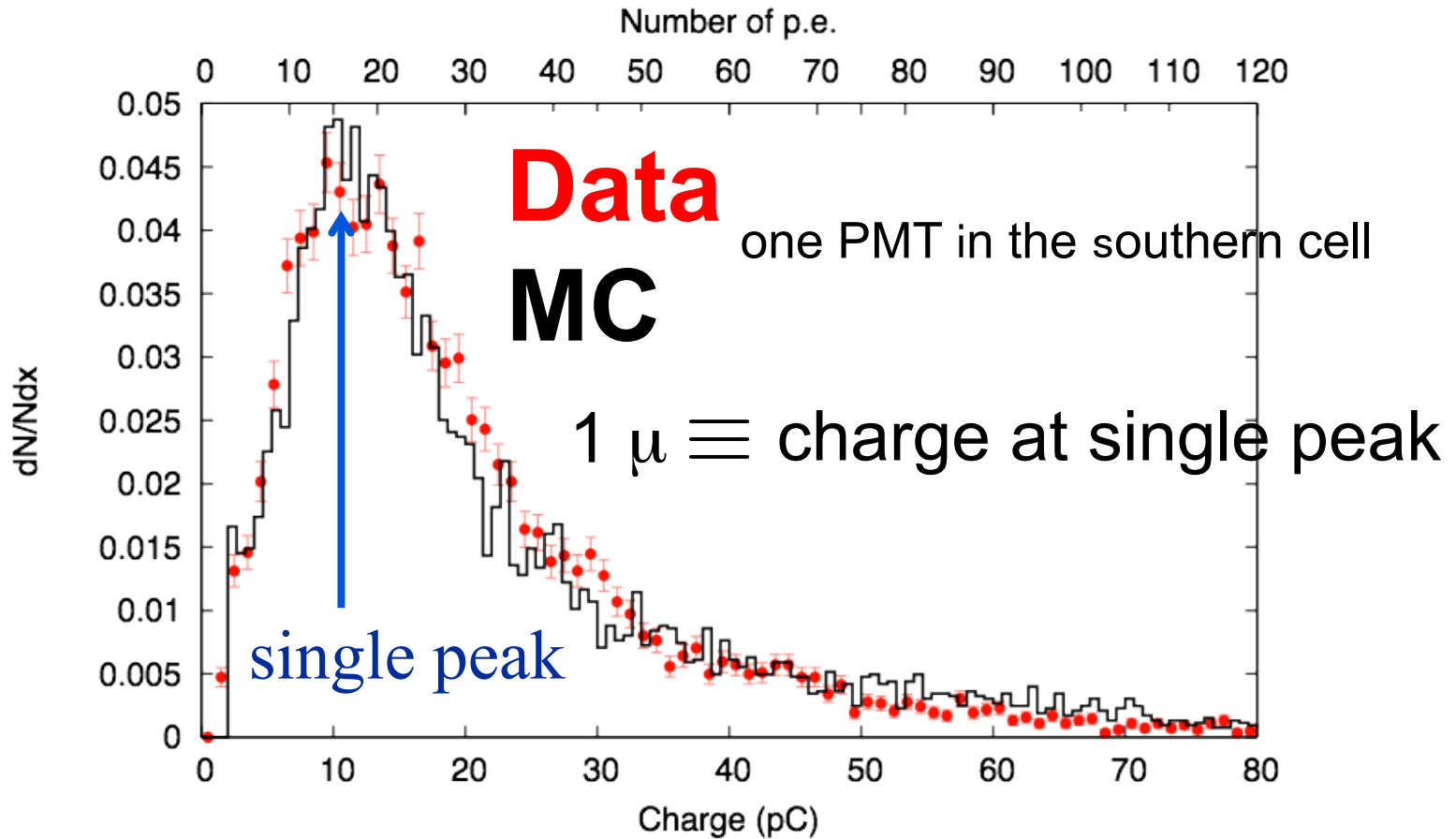


52m² x 2 cells

Construction from Sep. 2007
Data taking from Dec. 2007

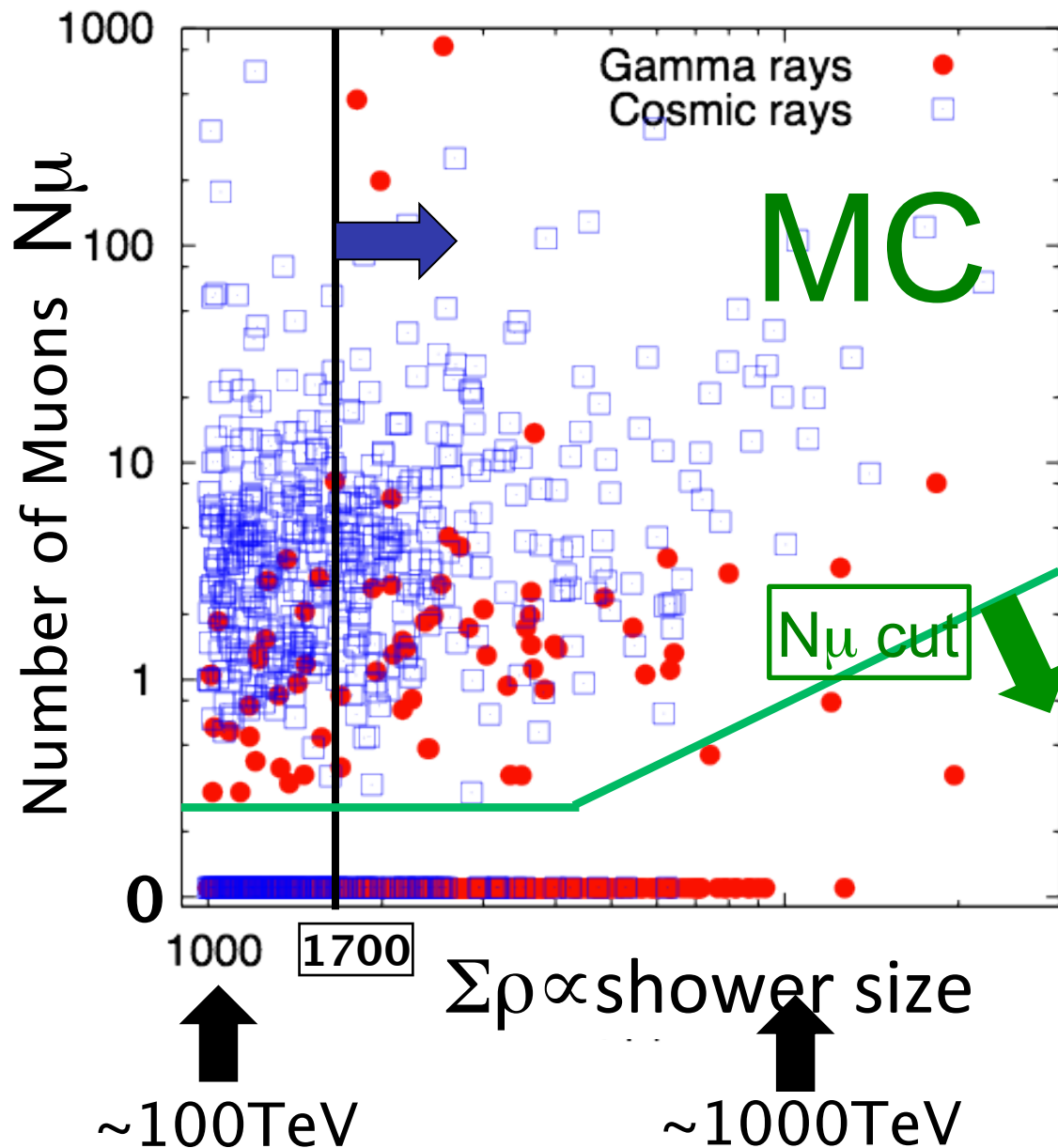
Charge/photo-electron distribution

(100 m² MD)



N_{μ} \equiv sum of numbers of muons from both cells
(averaged over two PMTs in each cell)

MC Simulation for the 100 m² MD



$>140\text{ TeV}$

($\Sigma\rho > 1700$)

After / Before N_μ cut

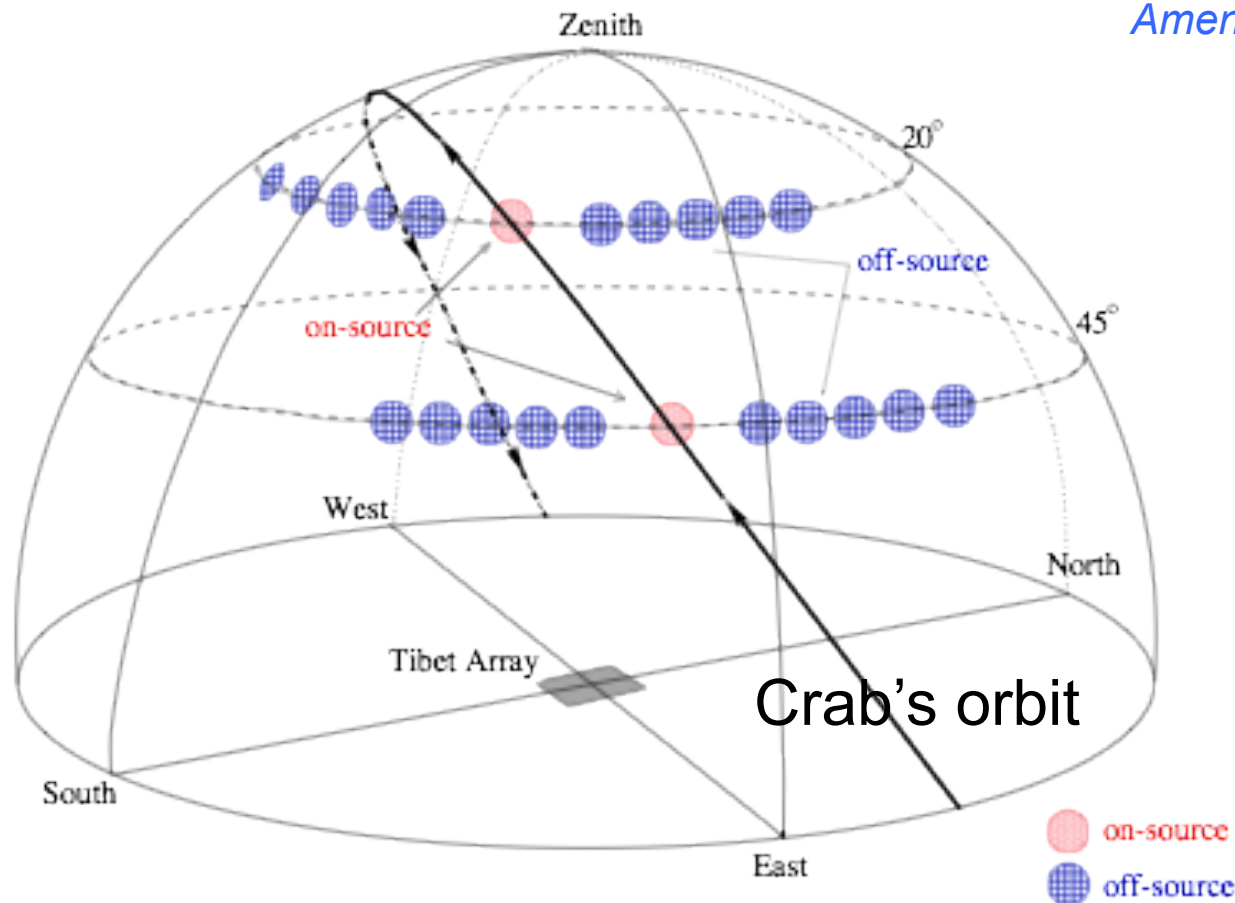
gamma : 92 %
CR : 16 %

S/N ratio improvement

$$\frac{0.92}{\sqrt{1 - 0.84}} = 2.3\text{-fold}$$

Data analysis (equi-zenith angle method)

Amenomori et al. 2009, ApJ, 692, 61



$$\text{Excess} \\ = \\ \text{Non} - \text{Noff}/10$$

Period : Mar. 2008 – Feb. 2010 (438 live days)

Selection criteria : $\Sigma\rho > 1700$ ($> 140\text{TeV}$)

zenith angle $< 60^\circ$

search window size = 0.4°

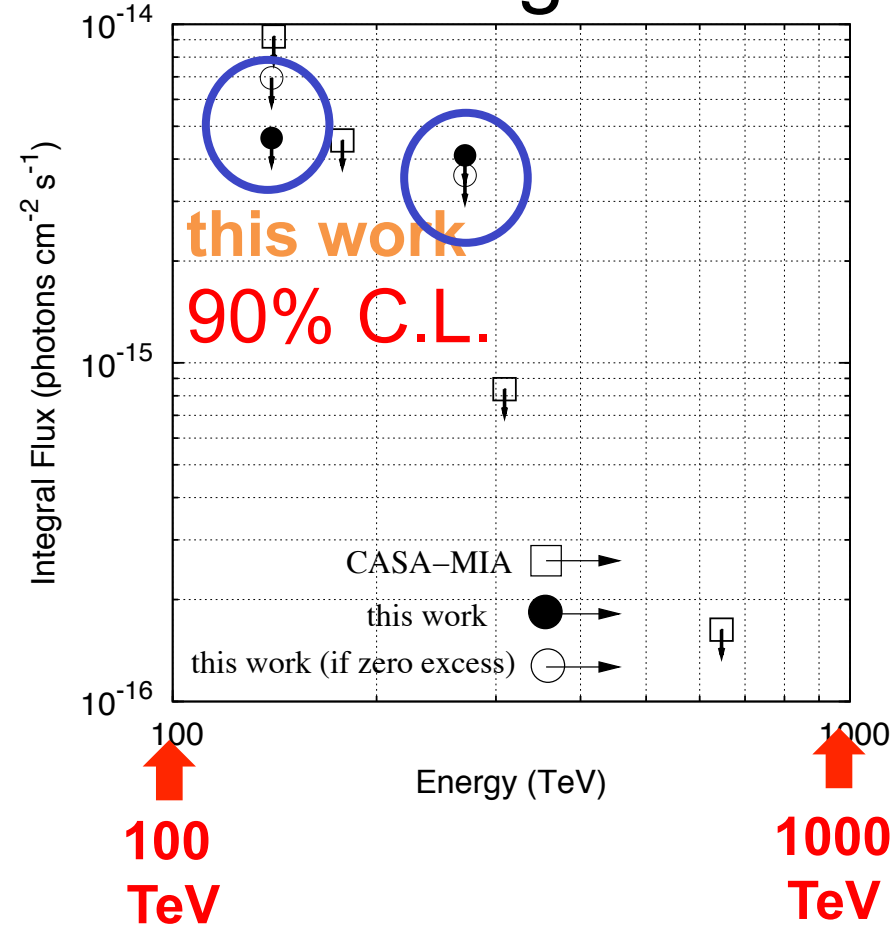
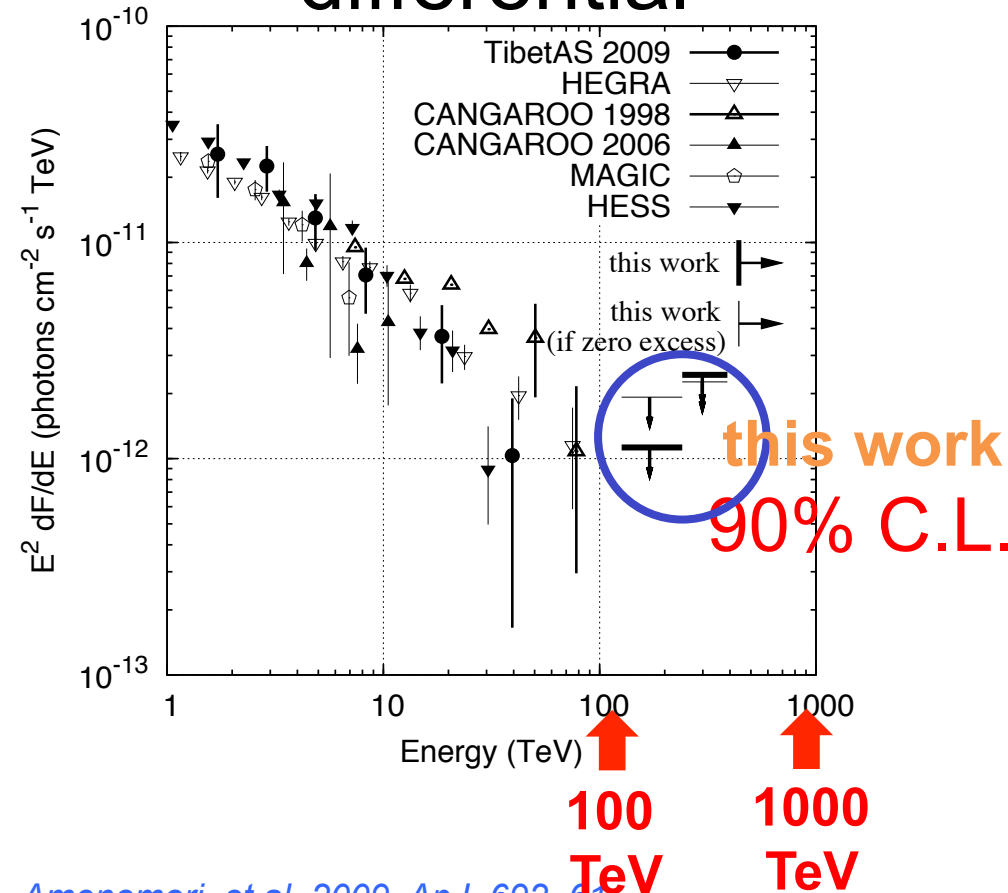
use only μ -poor events to reduce background CRs

Upper limits on the Crab Nebula flux above 100 TeV

Amenomori M. et al., 2015, ApJ, 813, 98

differential

integral



Amenomori et al. 2009, ApJ, 692, 61
Aharonian et al. 2004, ApJ, 614, 897
Tanimori et al. 1998, ApJ, 492, L33
Enomoto et al. 2006, ApJ, 638, 397
Albert et al. 2008, ApJ, 674, 1037
Aharonian et al. 2006, A&A, 457, 899

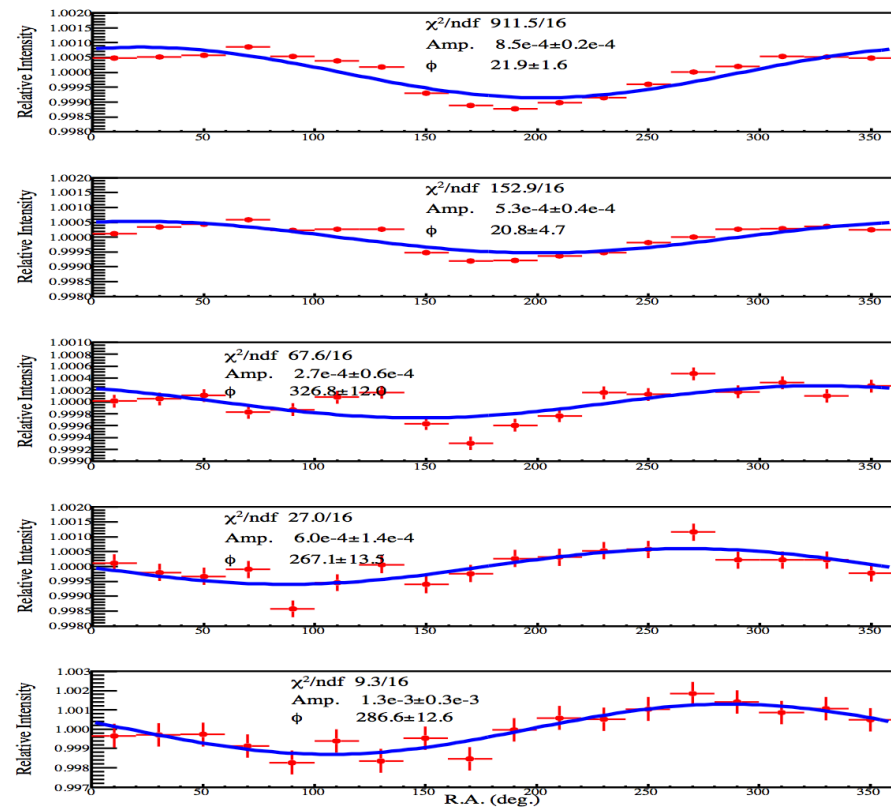
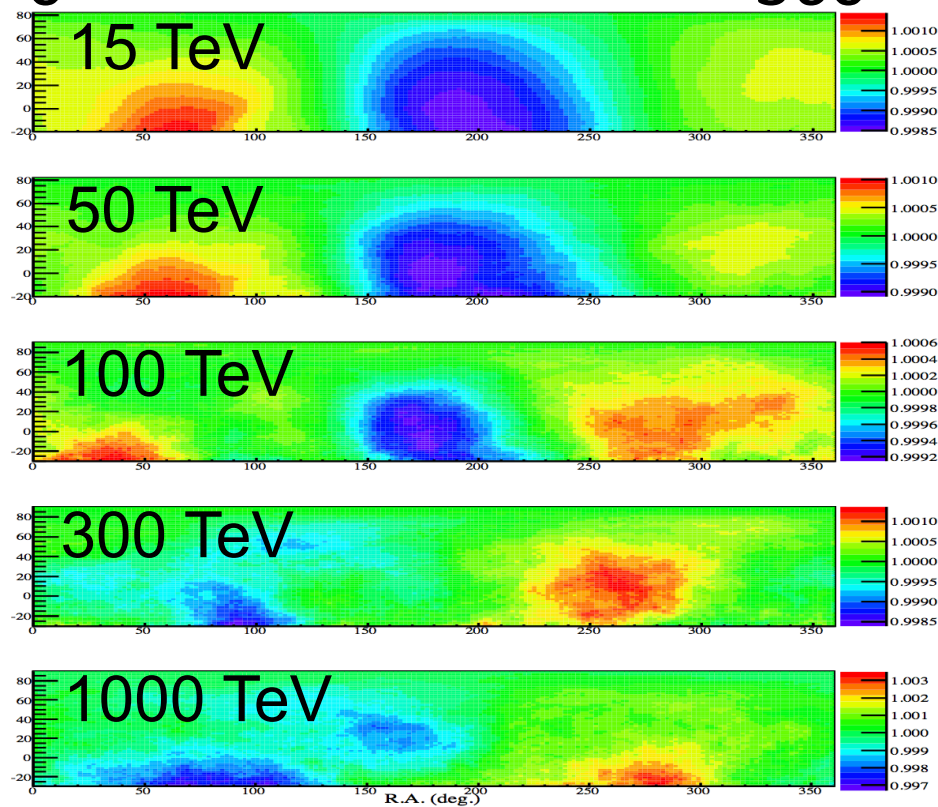
Borione et al. 1997, ApJ, 481, 313

Transition of the large-scale sidereal anisotropy

(10 TeV — 1000 TeV)

M. Amenomori et al., ICRC2015 (id355)

0 360



M. Amenomori et al., Astrophys. Space Sci. Trans., 6, 49 (2010)

M. Zhang et al., ApJ, 790, 5 (2014)

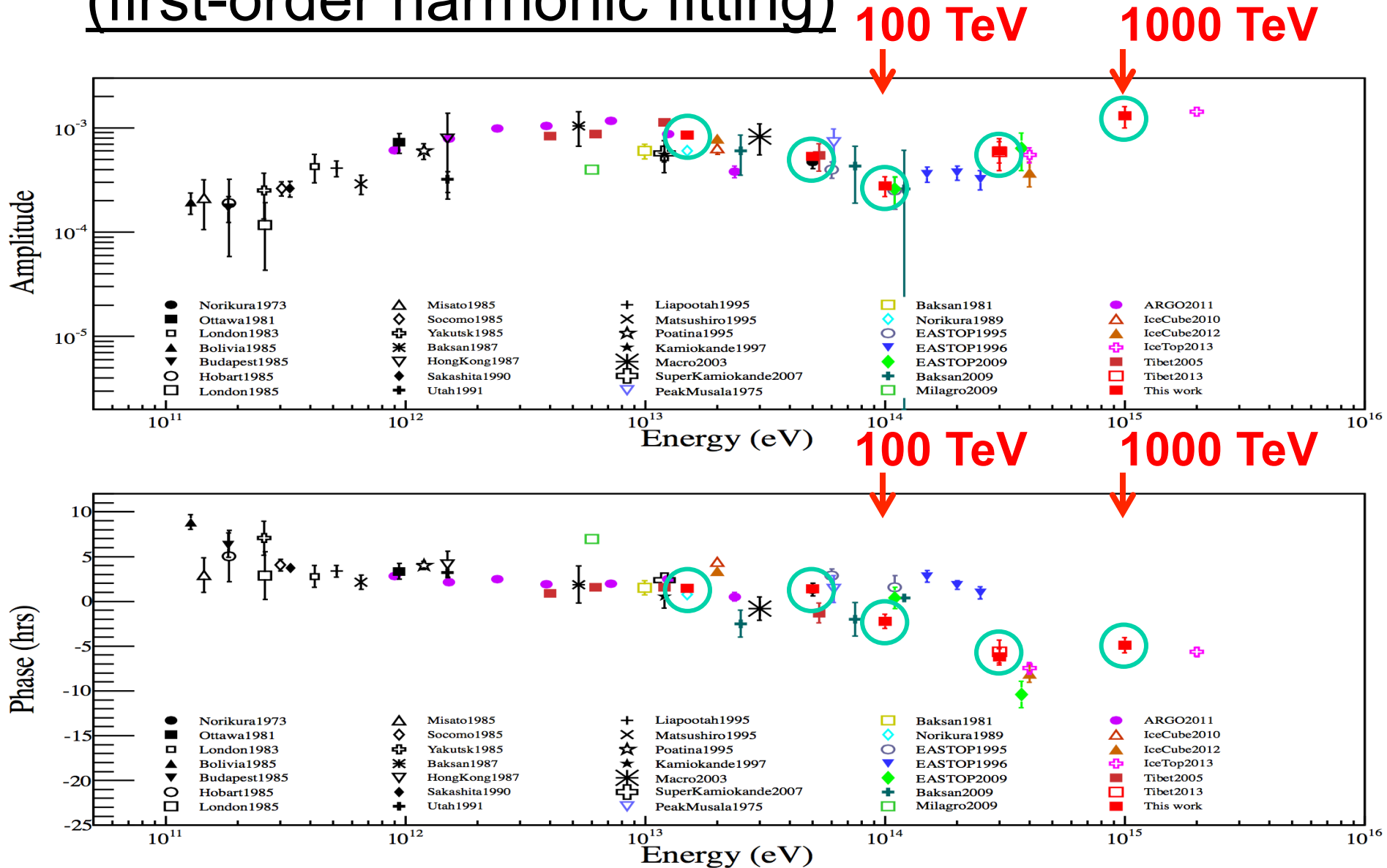
N. A. Schwadron et al., Science, 343, 988 (2014)

X. B. Qu et al., ApJL, 750, L1 (2012)

Possible models @ ~10TeV

No model so far > ~300 TeV

Energy Dependence of Amplitude & Phase (first-order harmonic fitting)



まとめ

- Tibet MD & YAC検出器

- 2014年3月観測開始 現在データ蓄積中

- プロトタイプMDを用いたかに星雲からの $>100\text{TeV}\gamma$ 線探索

- これまでに得られていた上限値を更新

Amenomori M. et al., 2015, ApJ, 813, 98

- 恒星時宇宙線異方性のエネルギー依存性を観測
(10TeV — 1000TeV)

- $\sim 10\text{TeV}$ 太陽圏近傍の磁場構造に起因するモデルあり

- $>$ 数百 TeV ??