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 ASγ Collaboration
平成24年度共同利用成果発表会
2012.12.7

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
- 次期計画(MD, YAC) 建設の現状
- 今年度のデータ解析のトピック

  （太陽の影、かに星雲からの100TeVγ線探索）

平成24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. 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. 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）

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 560万円　→　配分額 200万円

2002年に完成したTibet−IIIの維持・運転及び
YAC(Yangbajing Airshower Core detector)と
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 1233.8万円　→　配分額 405万円

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！

論文と国際会議発表

査読付き論文

●Is the large-scale sidereal anisotropy of the galactic cosmic-ray intensity really instable at TeV energies?
Astroparticle Physics, 36 (2012) 237-241

国際会議

●Modeling of the TeV galactic cosmic-ray anisotropy
39th COSPAR Scientific Assembly

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

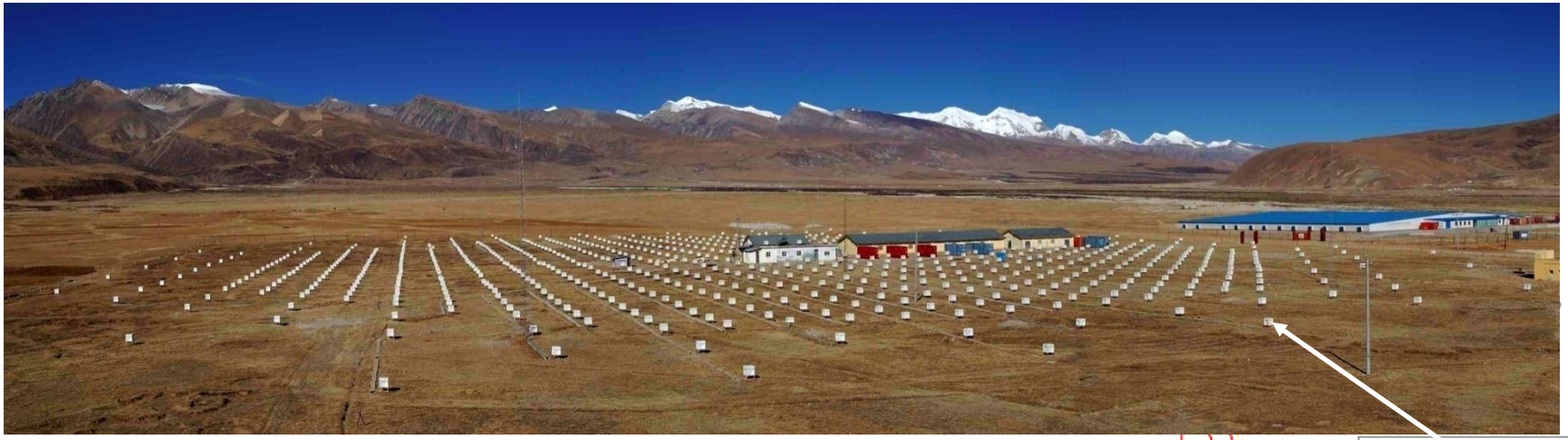
(1)Department of Physics, Hirosaki University, Japan
(2)Key Laboratory of Particle Astrophysics, Institute of High Energy Physics, Chinese Academy of Sciences, China
(3)Institute for Cosmic Ray Research, University of Tokyo, Japan
(4)Department of Physics, Hebei Normal University, China
(5)Department of Mathematics and Physics, Tibet University, China
(6)Department of Physics, Shandong University, China
(7)Institute of Modern Physics, SouthWest Jiaotong University, China
(8)Faculty of Engineering, Kanagawa University, Japan
(9)Faculty of Education, Utsunomiya University, Japan
(10)Department of Physics, Konan University, Japan
(11)Research Institute for Science and Engineering, Waseda University, Japan
(12)Faculty of Engineering, Yokohama National University, Japan
(13)Department of Physics, Shinshu University, Japan
(14)School of Information Science and Engineering, Shandong Agriculture University, China
(15)Saitama University, Japan
(16)National Institute of Informatics, Japan
(17)Sakushin Gakuin University, Japan
(18)Tokyo Metropolitan College of Industrial Technology, Japan
(19)Max-Planck-Institut f¥"ur Physik, Deutschland
(20)College of Industrial Technology, Nihon University, Japan
(21)Shonan Institute of Technology, Japan
(22)RIKEN, Japan
(23)School of General Education, Shinshu University, Japan

Yangbajing Cosmic Ray Observatory

中国西蔵自治区羊八井

90°522**E**, 30°102**N**, 4,300 m a.s.l. (606g/cm^2)

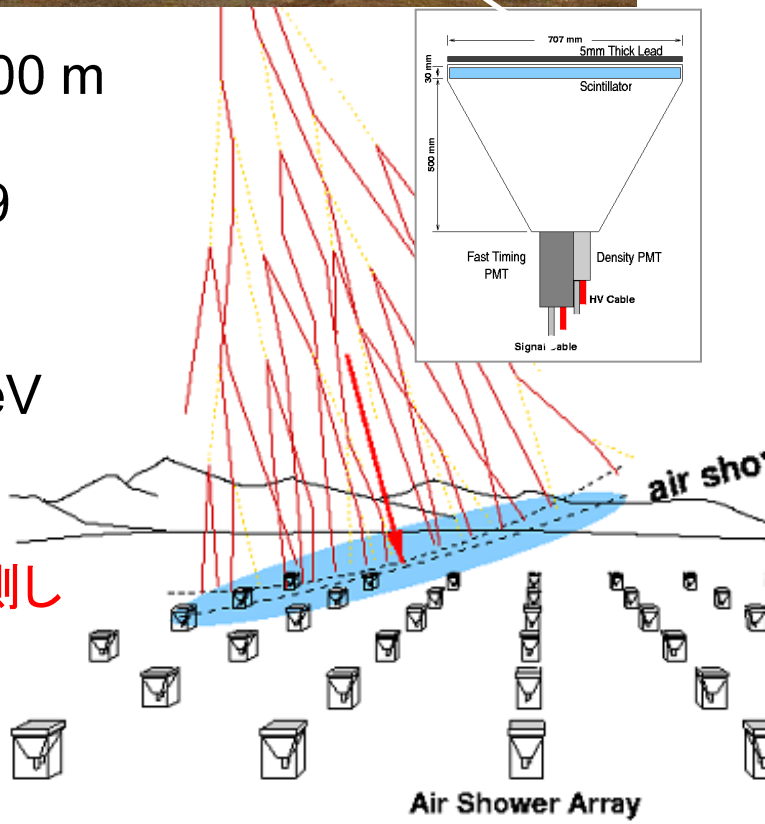
チベット空気シャワー観測装置 (Tibet AS)



- 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 m^2 x 789
- 空気シャワー有効面積　~37,000 m^2
- 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



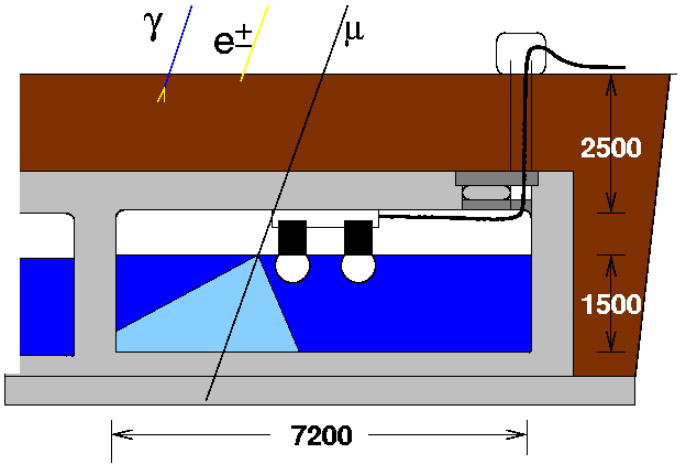
チベット水チェレンコフミューオン観測装置（Tibet MD）

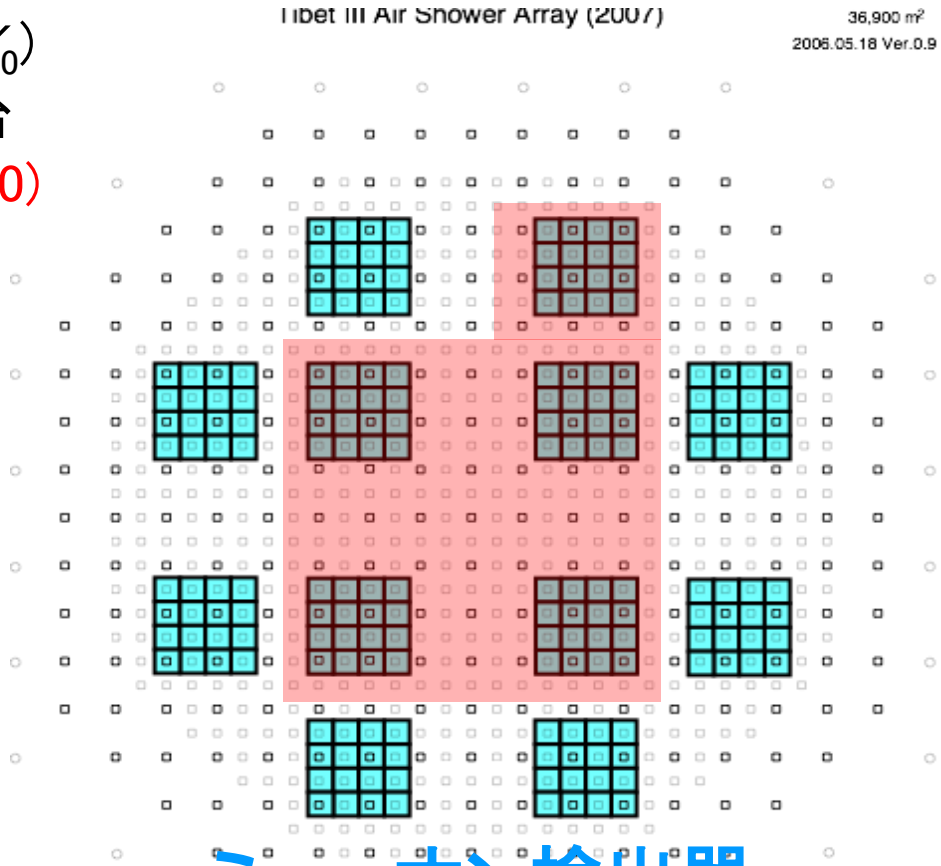
地下 2.5m（物質厚 ~ 515g/cm^2 ~19X_0）

7.2m × 7.2m × 水深1.5m　水槽　192台

20”Φ PMT　2本（HAMAMATSU R3600）

水槽材質：コンクリート
白色反射材



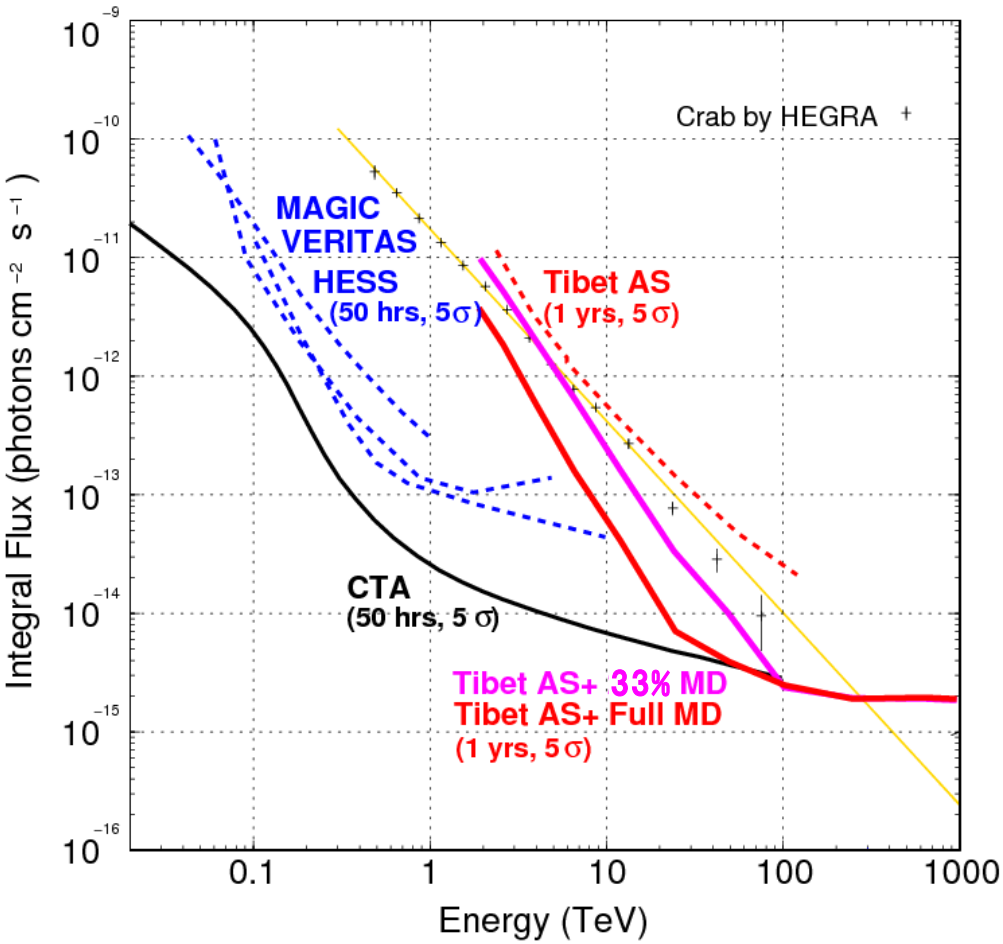


ミューオン検出器
～10,000m^2

→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

原子核起源空気シャワーを99.9%以上除去（>~20TeV）

γ線点源検出予想感度（1yr or 50hrs, 5σ）



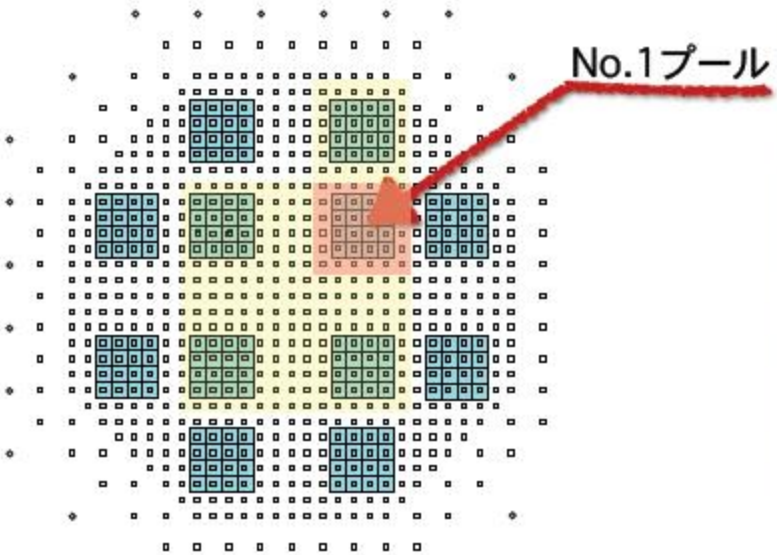
+Full MD

~10倍 @10TeV
~15倍 @100TeV

+1/3 MD

3~4倍 @10TeV
~15倍 @100TeV

MD No.1プールのPMTインストール



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)

MD 今後の予定

- 残りのMD内部作業(PMTインストール等)
- 注水
- 地表アレイ検出器の再配置

2013年観測開始予定

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

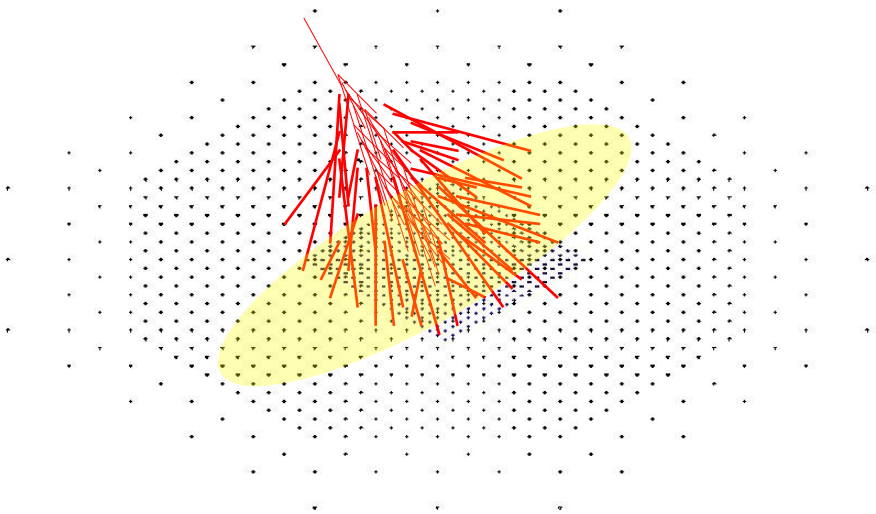
YAC II detector consists of 100 burst detectors with 1.5m spacing between detectors.

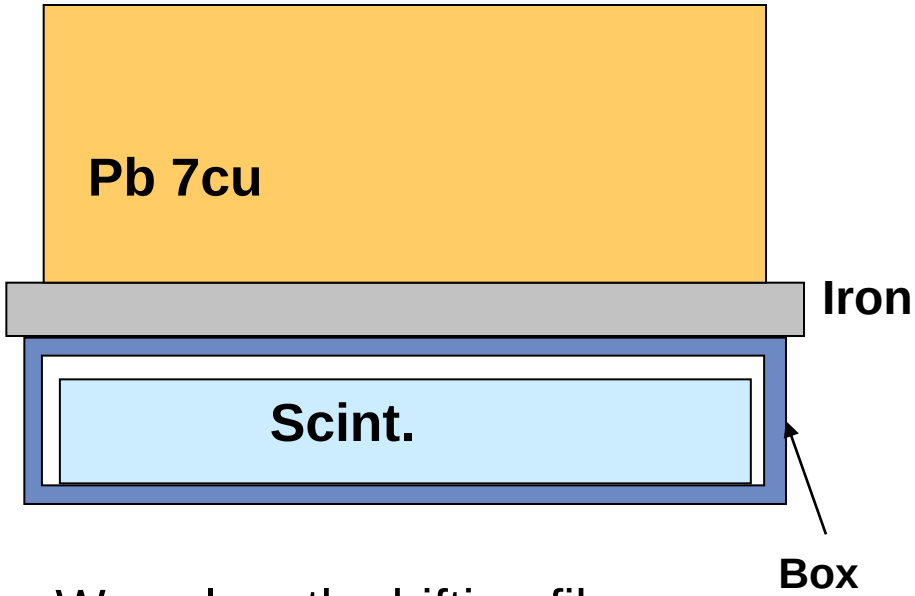
Total area of the array is 160 m^2 located near the center of Tibet III AS array.

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=160m^2





1.5m spacing 100ch
N_b>100電子数,
any 1 (>30GeV)

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

YAC-II under construction

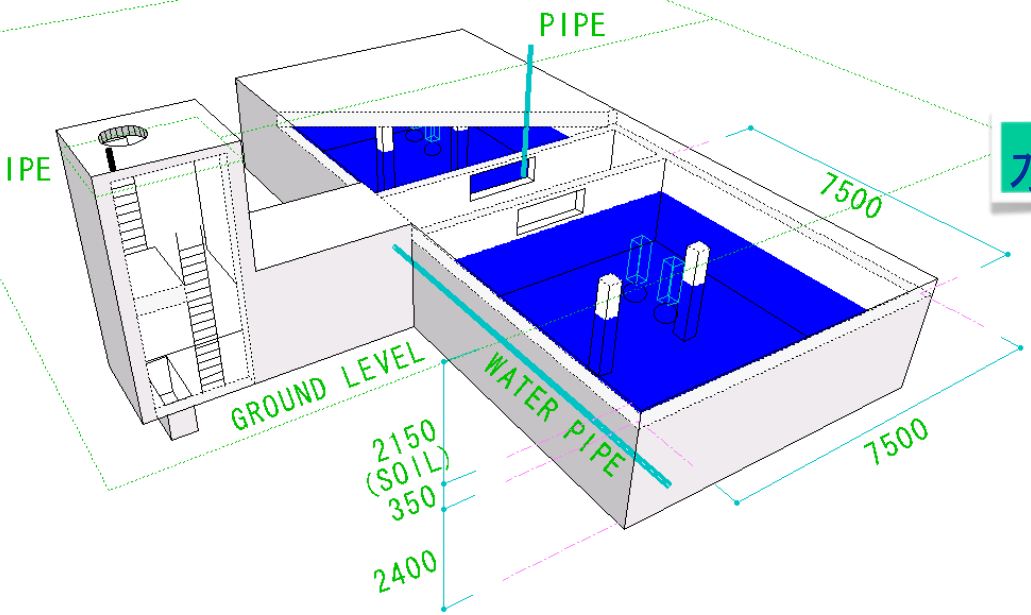
Data-taking will start 2013

最近のデータ解析のトピック

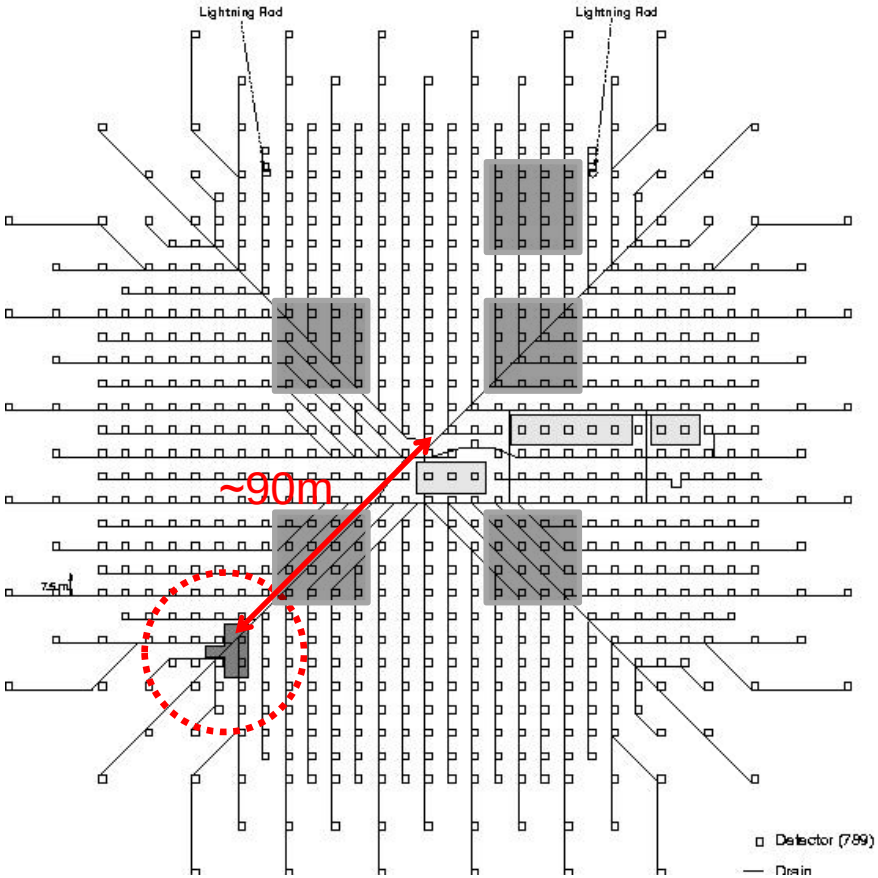
1) プロトタイプMDによる
かに星雲からの>100TeVガンマ線の探索
(論文投稿予定)

2) 「太陽の影」による太陽磁場構造の研究
(>10TeV : 論文投稿予定、>3TeV : 解析中)

Prototype Muon Detector in Tibet



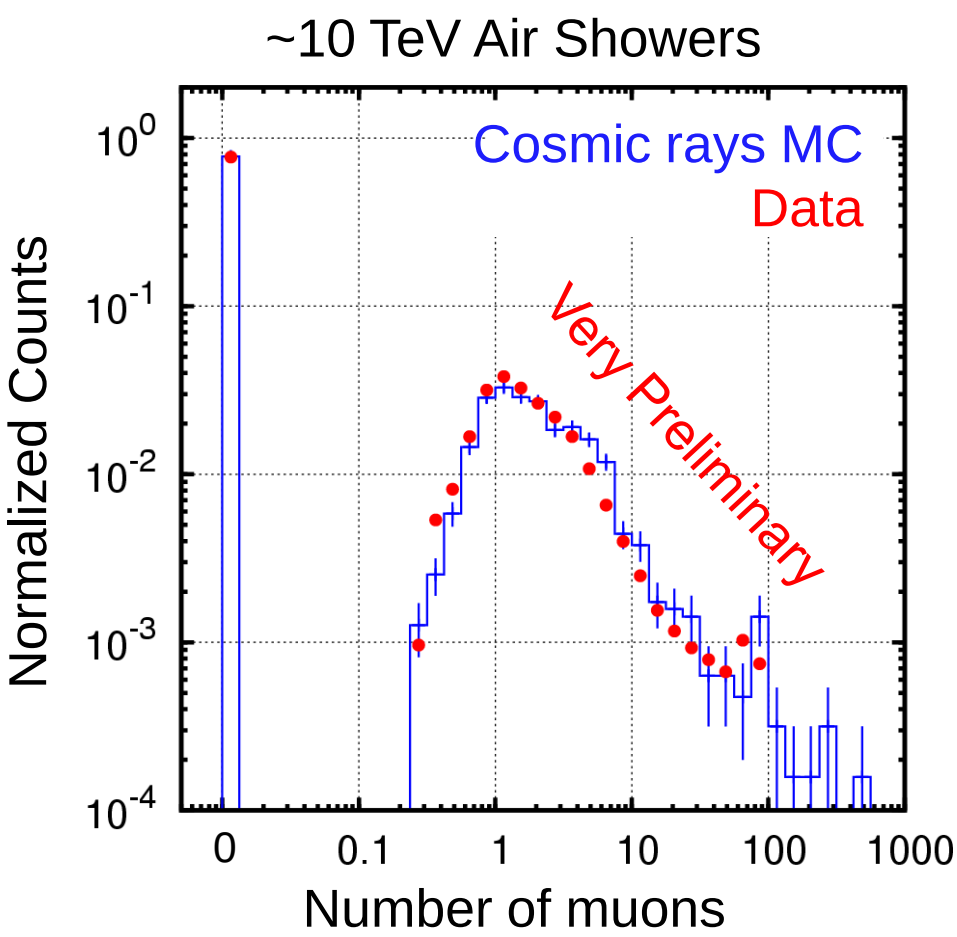
水深 1.5m　52m^{2}x 2 プール

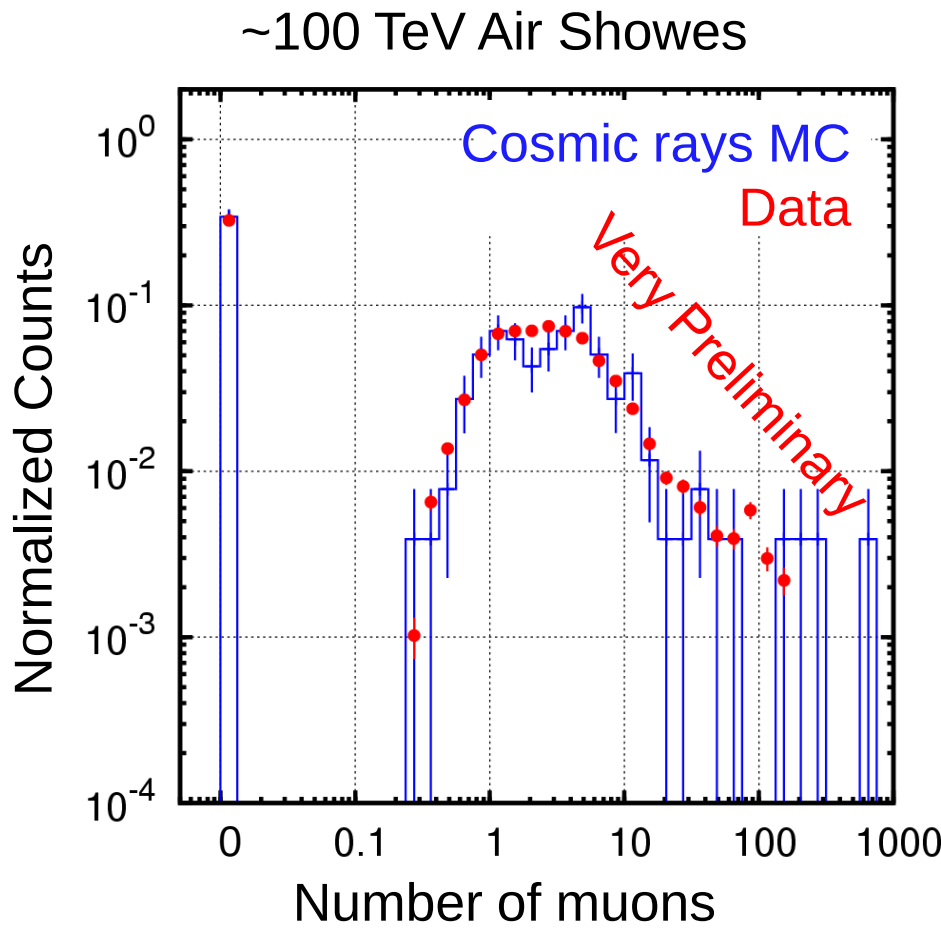


- チベットでの建設実現性の確認
- MCシミュレーションの確認
- 数百TeVにおけるγ線探索

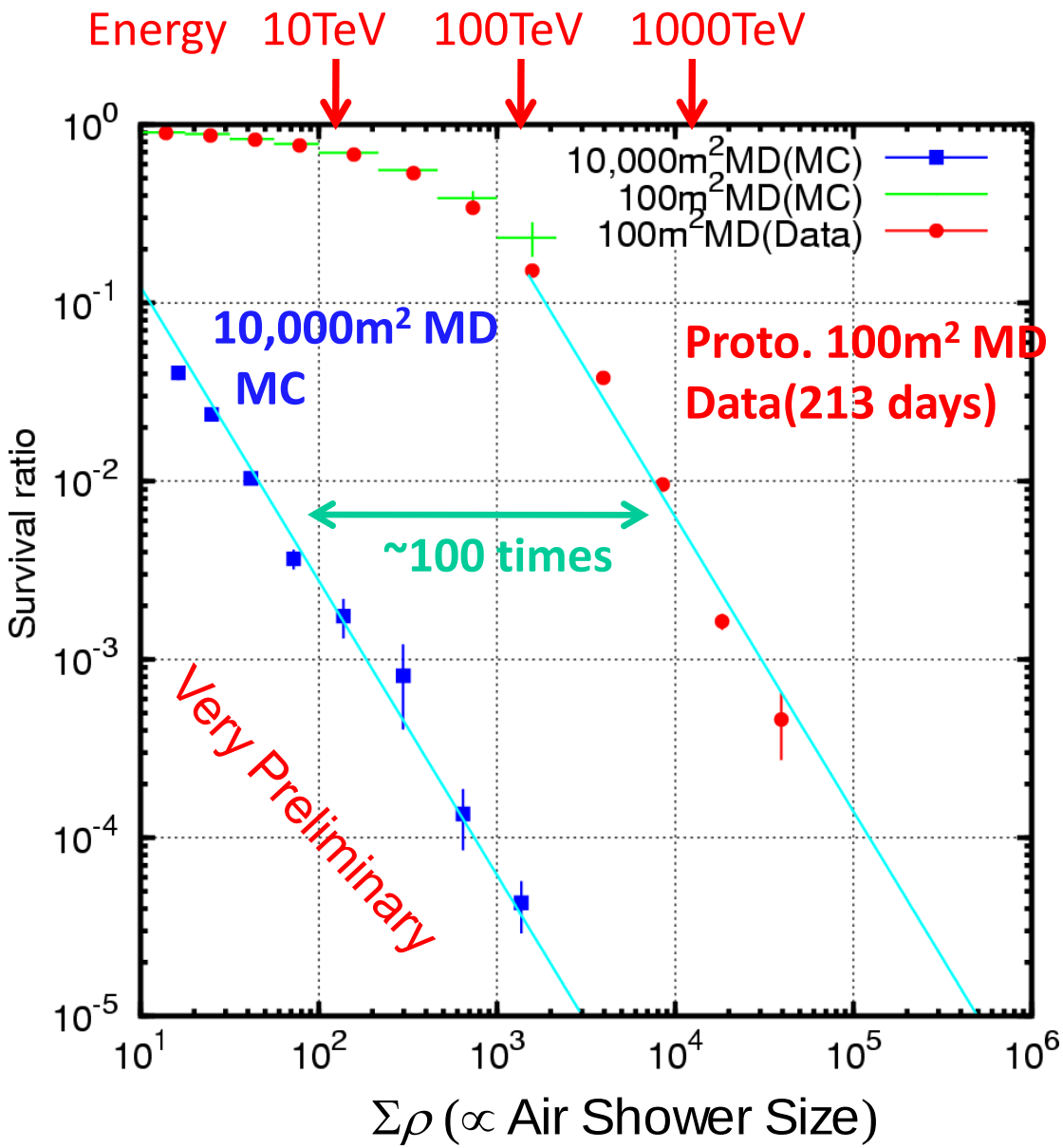
2007年　9月 : 建設開始
2007年12月 : データ取得開始
2010年　3月 : データ取得終了

Number of muons



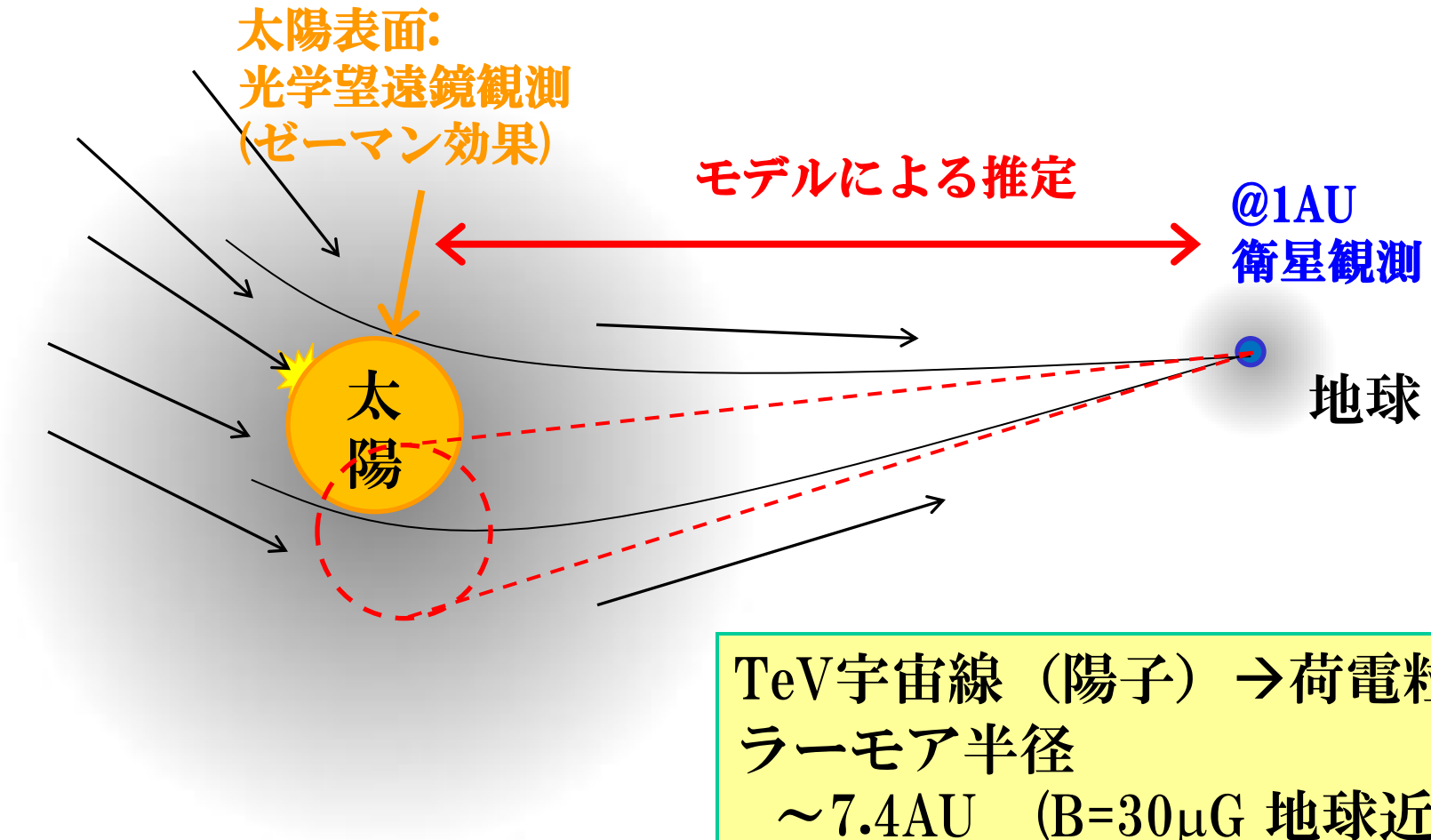


Cosmic Ray (Nucleus) Survival Ratio



「太陽の影」

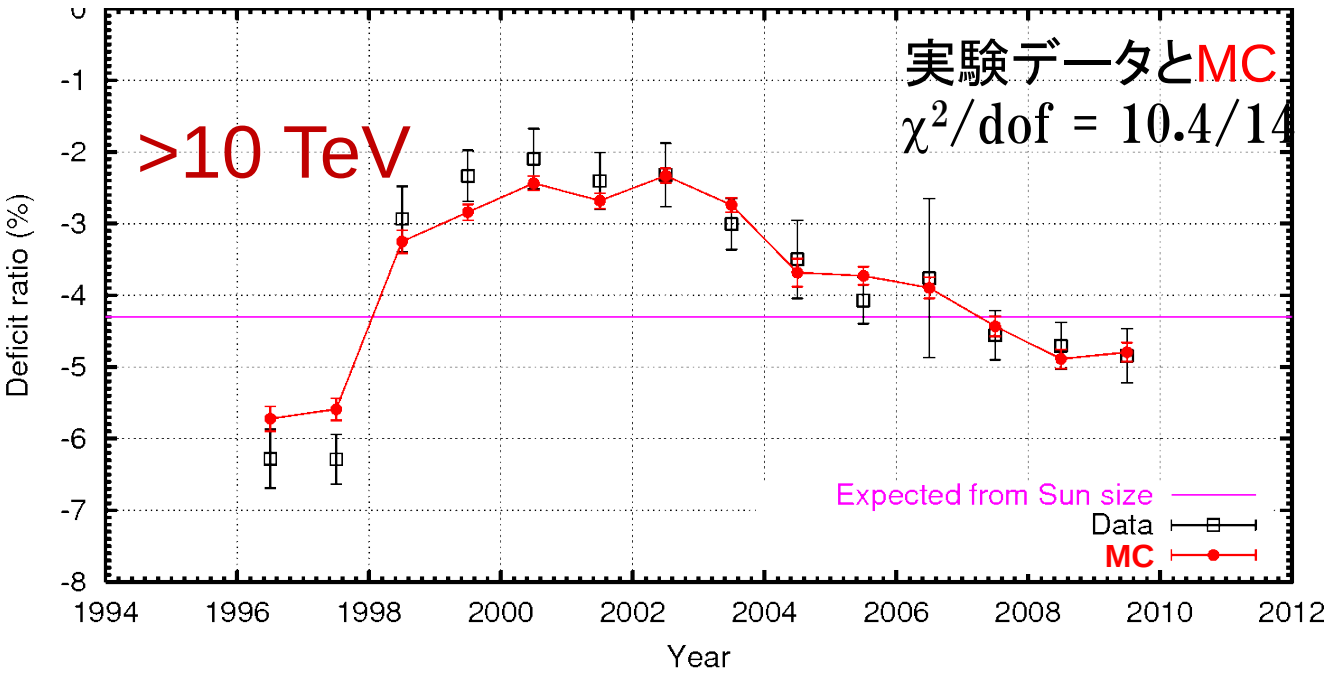
太陽による宇宙線の遮蔽



TeV宇宙線（陽子）→荷電粒子
ラーモア半径
～7.4AU　(B=30μG 地球近辺)
～0.16R$_\odot$(B=300mG 太陽近辺)
太陽圏磁場構造のプローブ！

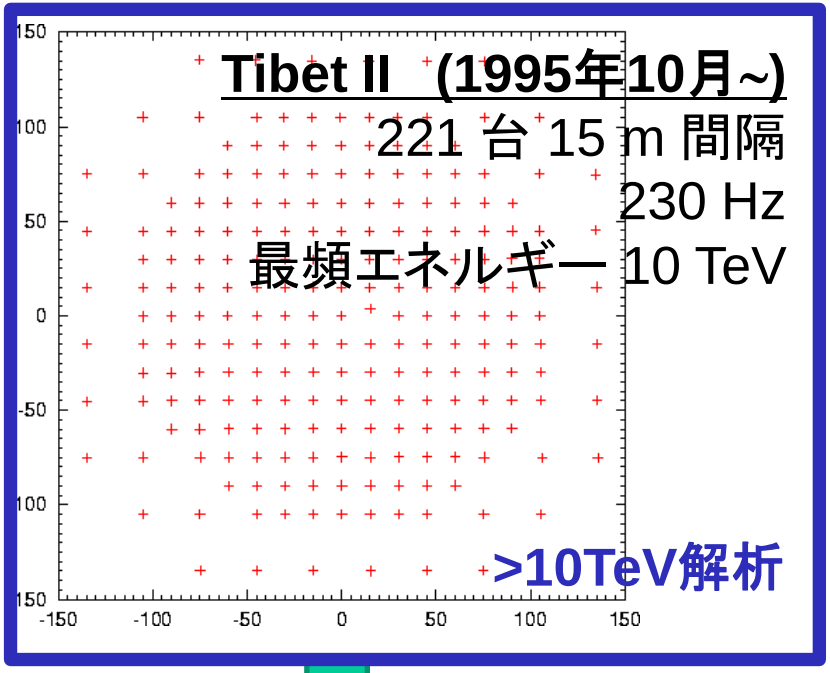
>10TeV でわかったこと

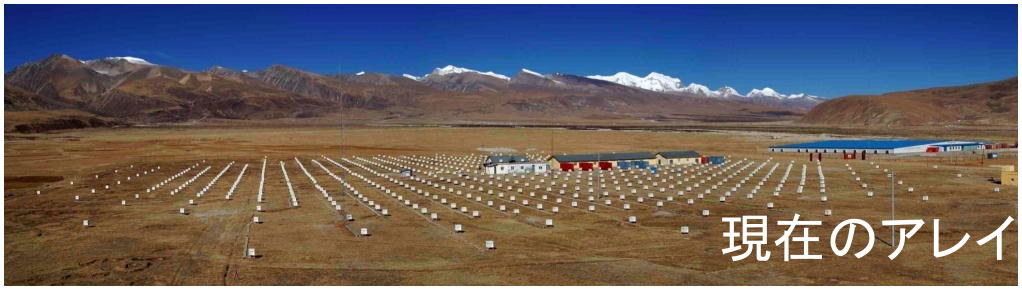
- > 10 TeV で1996年から2009年に至る第23太陽活動周期の太陽の影を連続観測
- 太陽の影は太陽コロナ磁場構造に感度あり *Zhao & Hoeksema, JGR (1995)*
- コロナ大気中の電流を取り入れた CSSS (Current Sheet Source Surface)モデルが太陽の影の周期変動を良く再現



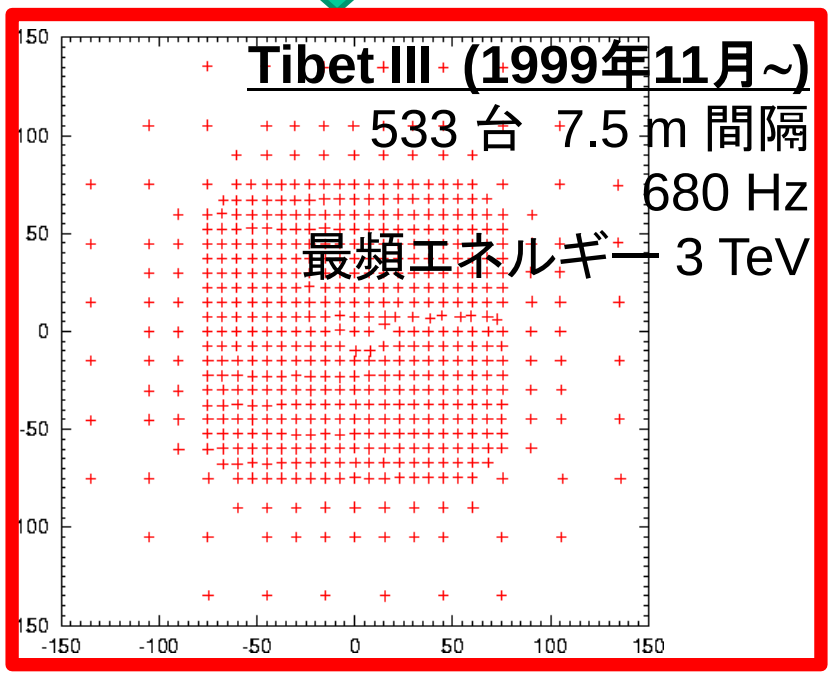
Tibet III アレイを用いて、> 3 TeV で太陽の影を観測する

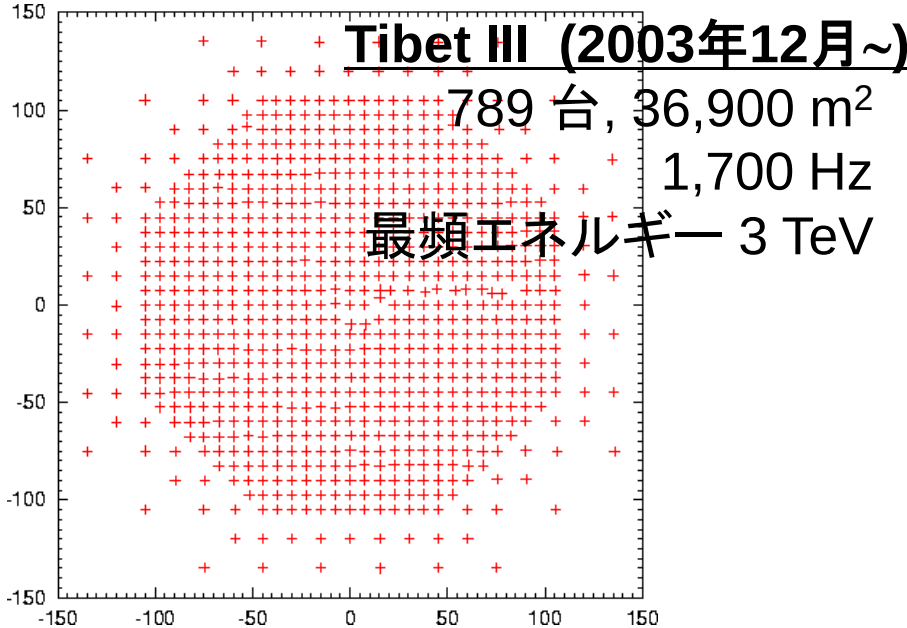
チベット空気シャワーアレイ
Tibet II から Tibet III へ





533 台を用いて 2000 年から 2009 年にわたって太陽の影を解析





まとめ

プロトタイプMD

Data vs MC in reasonable agreement

-> Full ($10^4 m^2$) MD MC: OK up to ~10TeV

かに星雲からの>100TeVγ線 U.L. **論文投稿予定**

太陽の影

>10TeV **論文投稿予定**

Tibet II を用いて1996年～から2009年に至る

第23太陽活動周期の「太陽の影」の連続観測に成功

→ 太陽の影はコロナ磁場構造に感度あり

→ コロナ大気中の電流を取り入れたCSSS磁場モデルが実験データを良く再現

> 3TeV

Tibet III を用いて2000年から 2009 年にわたって

太陽の影の周期変動を観測

MC準備中