

ボリビア・チャカルタヤ山における
高エネルギーガンマ線・宇宙線
広視野観測計画
“ALPACA”

大阪市立大学
常定 芳基

2017年3月31日
「空気シャワー観測による宇宙線起源探索の研究会」

経緯

- ・ボリビア・チャカルタヤ山宇宙線観測所（東大宇宙線研共同利用研究拠点）における空気シャワー実験：BASJE - 標高5200m
 - ・1961年開始：菅浩一の主導による
 - ・2015年9月 終了
 - ・2016年3月 垣本先生退官
- ・2015年6月 チベットおよびボリビアグループ有志による話し合い
 - ・南天で観測する意義の再確認
 - ・チャカルタヤ山観測所のインフラ、サンアンドレス大学とのパイプという資産
 - ・さらにインド GRAPES グループとも連携 → 海外3実験の「合流」
- ・ターゲット："Sub-PeV" ガンマ線・宇宙線の広視野連続観測
 - ・チャカルタヤ山中腹、4740m（依然として世界最高高度）
 - ・**空気シャワーアレイ 86,000m²**、検出器400台
 - ・**地下ミューオン検出器 5,400m²**
 - ・モードエネルギー：5TeV
 - ・角度分解能：0.2°、エネルギー分解能 30% (100TeV)
 - ・視野：2 sr
- ・プロジェクト名：ALPACAに決定。 (ボリビアグループも含めて投票) 2

研究グループ：ALPACA

宇都宮大

堀田直己

原研

土屋晴文

東京大学宇宙線研究所

瀧田正人、大西宗博、川田和正、
佐古崇志、片岡厚典、徳永恭助

理研

田島典夫

日本大

塩見昌司

国立情報学研

西澤正己

都立産業技術高専

齋藤敏治

神奈川大

日比野欣也、有働慈治、多米田裕一郎

横浜国立大

片寄祐作、片岡幹博、松田光平、鈴木大

信州大

宗像一起、加藤千尋、中村佳昭

愛知工大

小島浩司

中部大

柴田祥一、大嶋晃敏

大阪市大

荻尾彰一、常定芳基、Rosa Mayta

広島市大

田中公一

サンアンドレス大

P. Miranda, R. Ticona, M. Subieta,
H. Rivera, M. Raljevich, J. Quispe

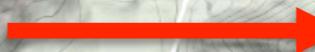
ALPACA Site

Mt. Chacaltaya, Bolivia



Site Survey

Cosmic Ray Observatory
5200m a.s.l
since 1962



ALPACA site
4740m a.s.l.

Airport
El Alto

Google

La Paz



標高：4740m ($\sim 570 \text{ g/cm}^2$)

南緯 $16^\circ 23'$ 、西経 $68^\circ 08'$

平地部分 $350\text{m} \times 350\text{m}$ ($122,500\text{m}^2$)



Schematic view of ALPACA

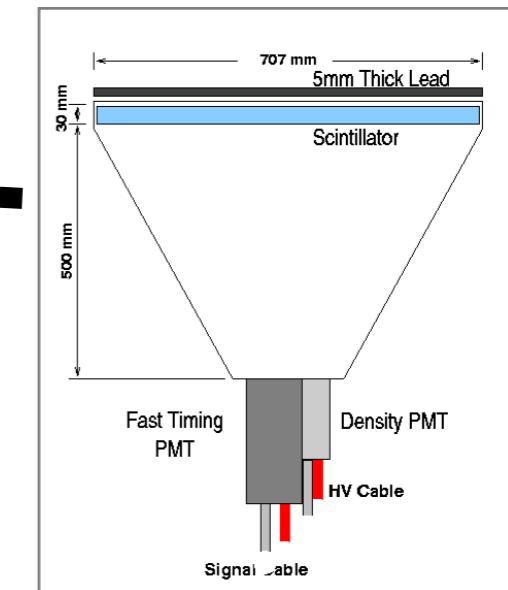
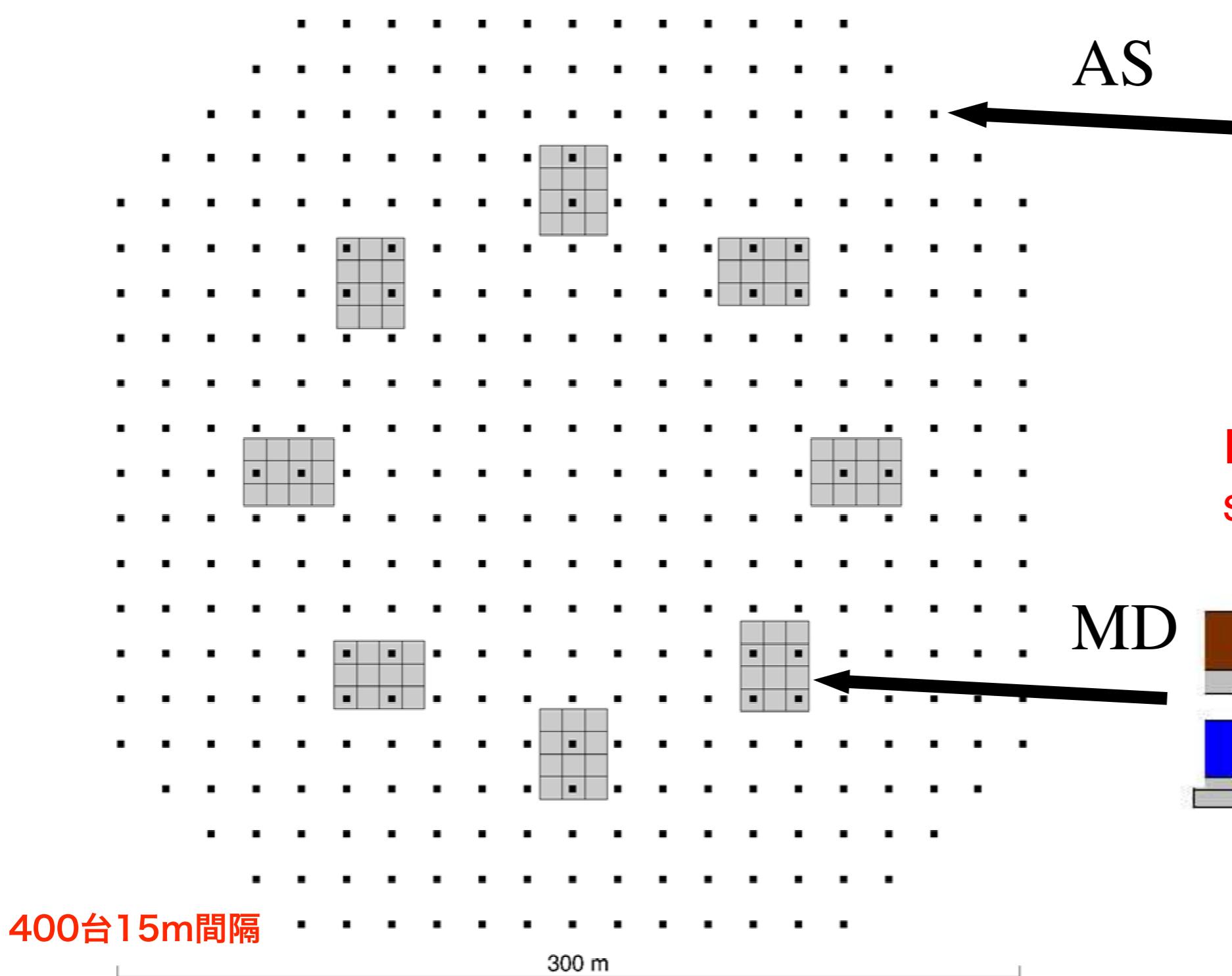


Image of 1m² plastic scintillation detector

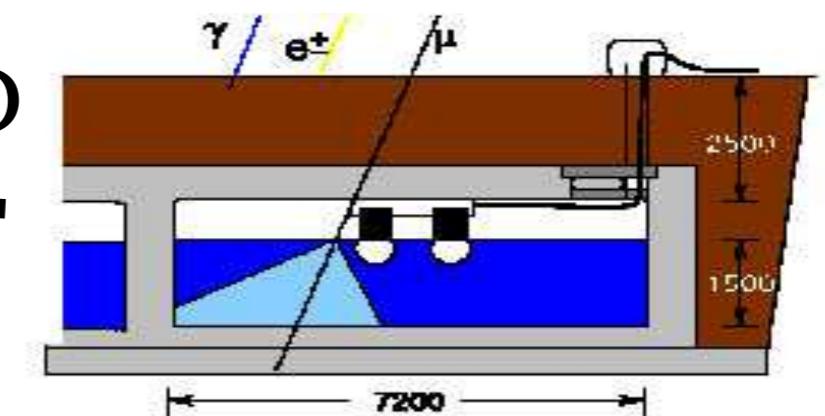


Image of unit (56m²) underground water Cherenkov muon detector

Performance of ALPACA

Location: 4,740 m above sea level
La Paz, Bolivia ($16^{\circ}23' S$, $68^{\circ}08' W$)

AS (air shower) array

scintillation detectors

$1 \text{ m}^2 \times 401$ (AGASA)

effective area

$83,000 \text{ m}^2$

angular resolution

0.2° @100 TeV

energy resolution

25% @100TeV

field of view (FoV)

$\sim 2 \text{ sr}$

MD (muon detector) array

water Cerenkov detectors

$56 \text{ m}^2 \times 96$ ($5,400 \text{ m}^2$)

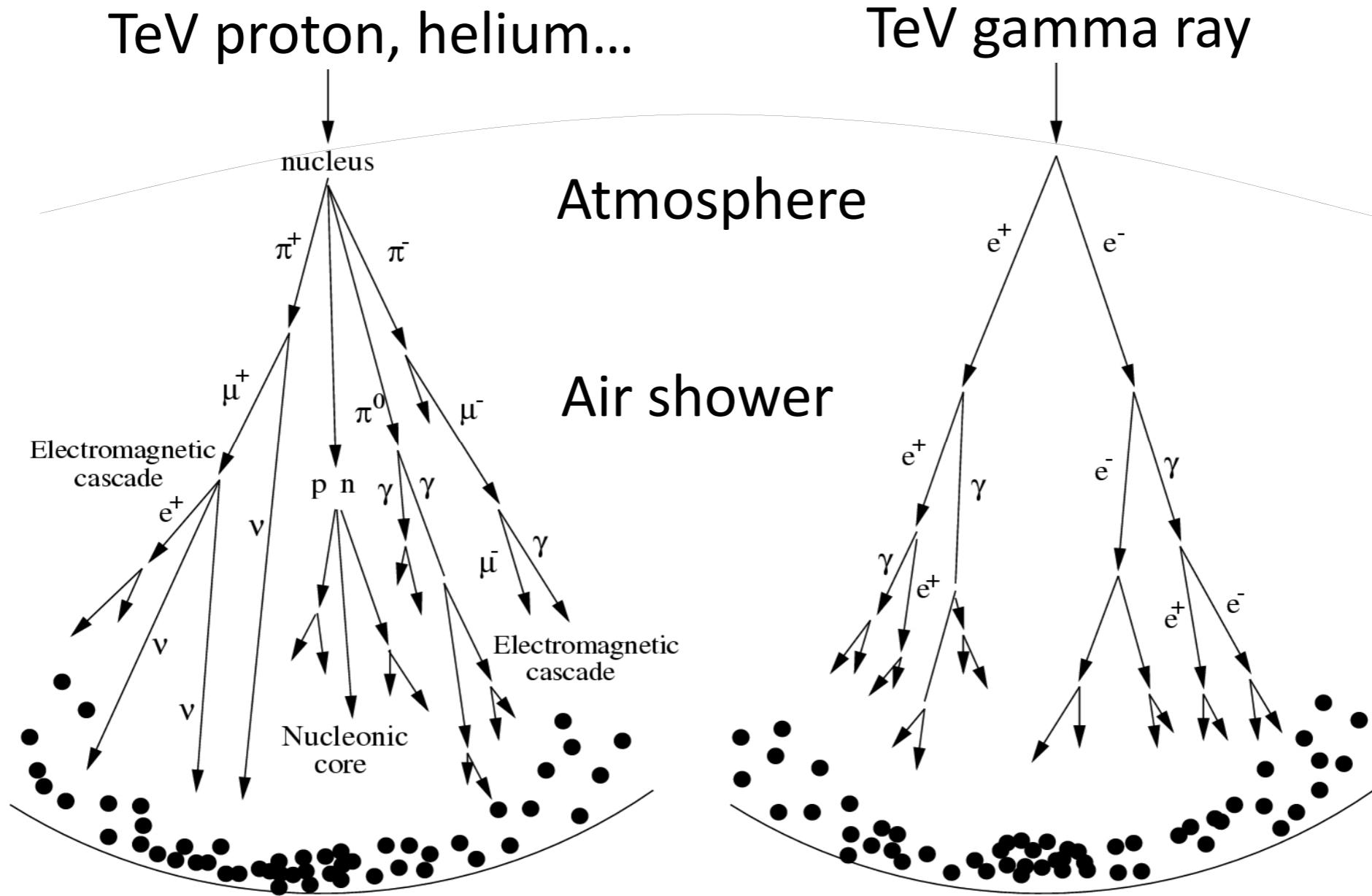
CR rejection power

> 99.9% @ 100 TeV

γ -ray efficiency

$\sim 90\%$ @ 100 TeV

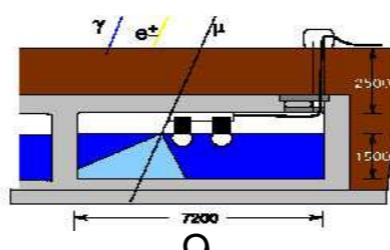
p/ γ discrimination by counting # of muons



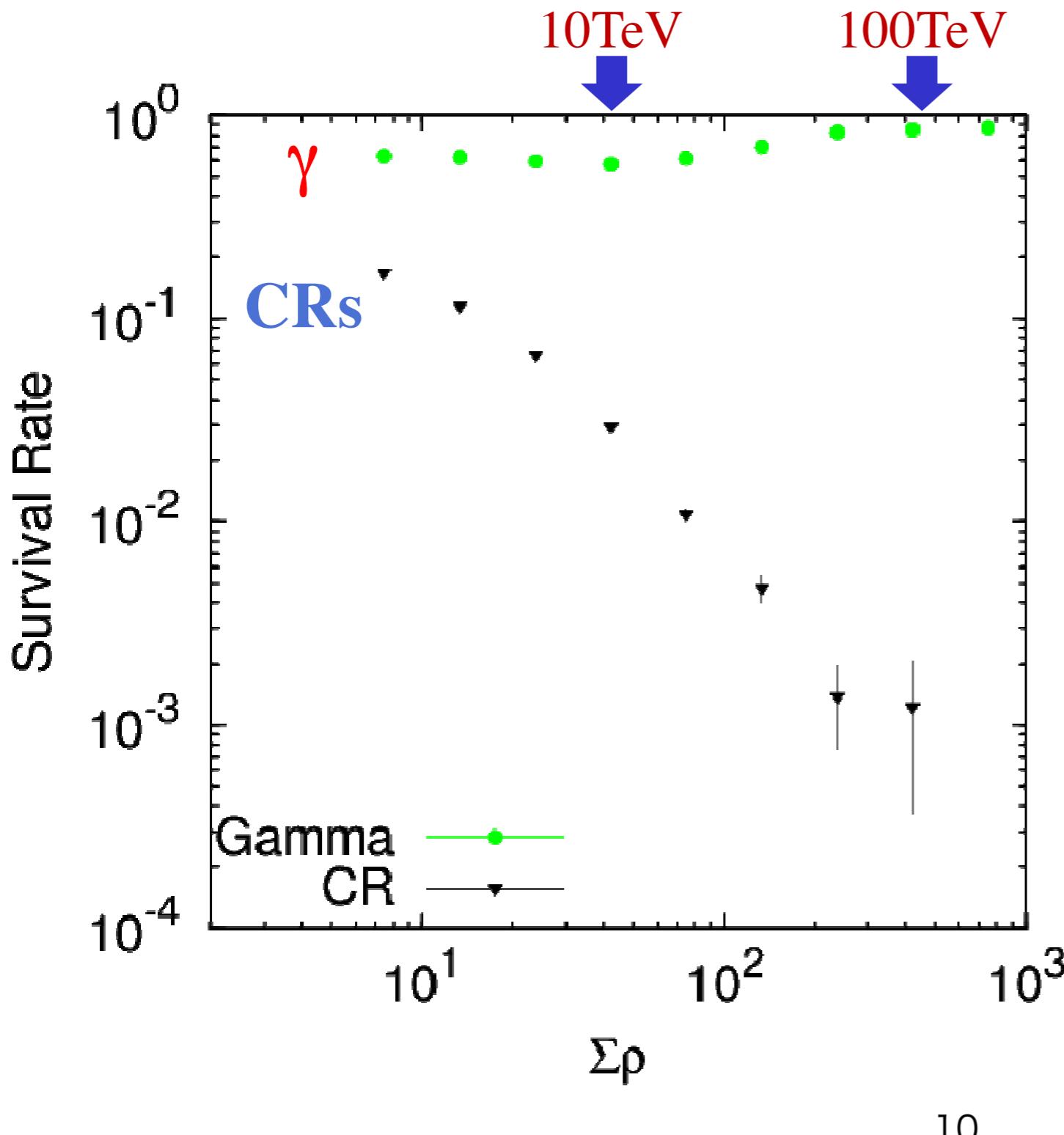
of muon within <100m from core

~ 50 μ for 100 TeV proton

~ 1 μ for 100 TeV γ



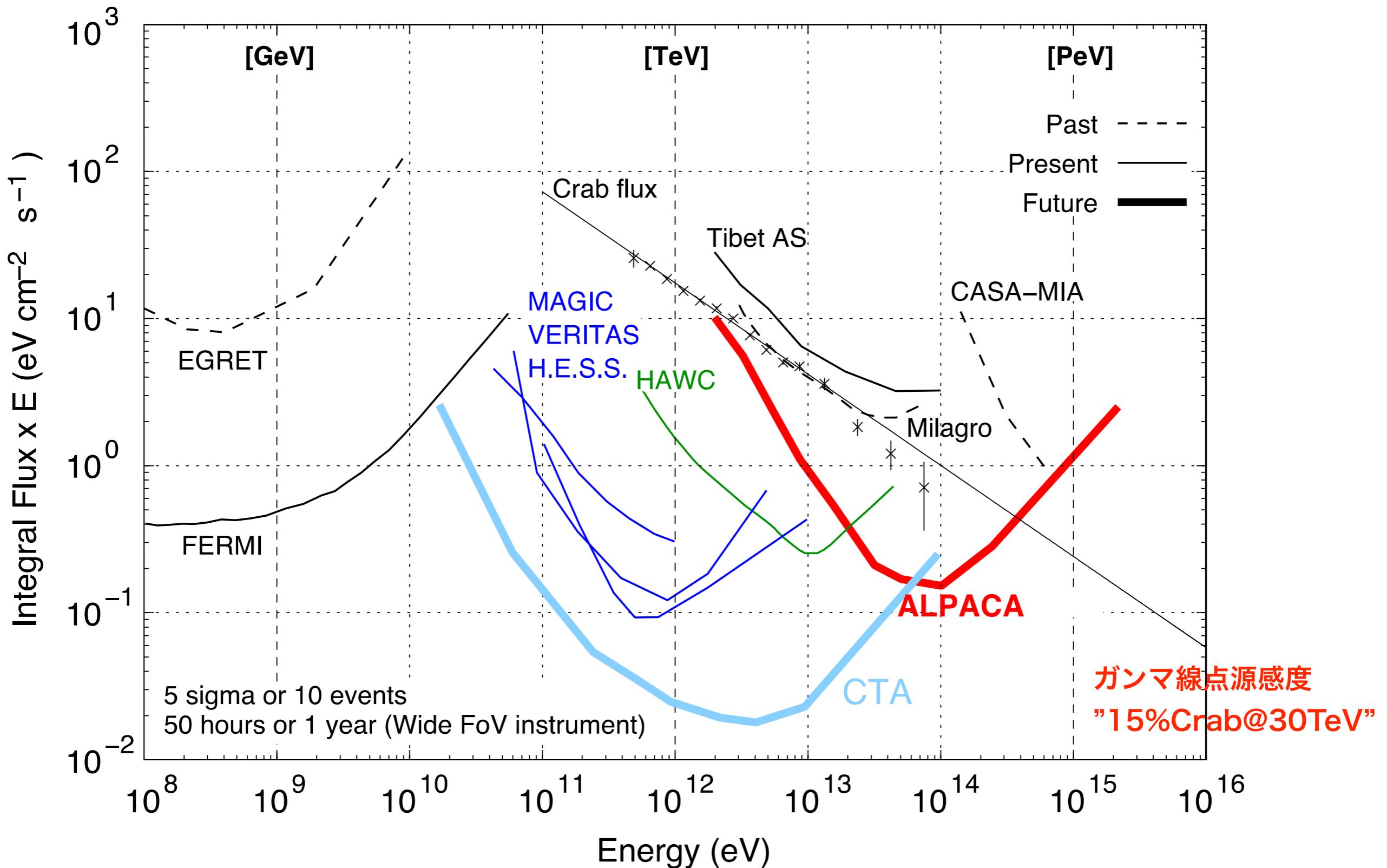
Survival Ratio After Muon Cut



MC simulation
(AS 83000m² + MD 5400m²)
Muon cut optimized, assuming
Crab-like spectrum at $\delta=-30^\circ$

- ✓ Cosmic rays will be rejected by ~99.9% @ 100TeV
- ✓ Gamma rays will be kept over 90% @ 100TeV

ガンマ線点源に対する感度

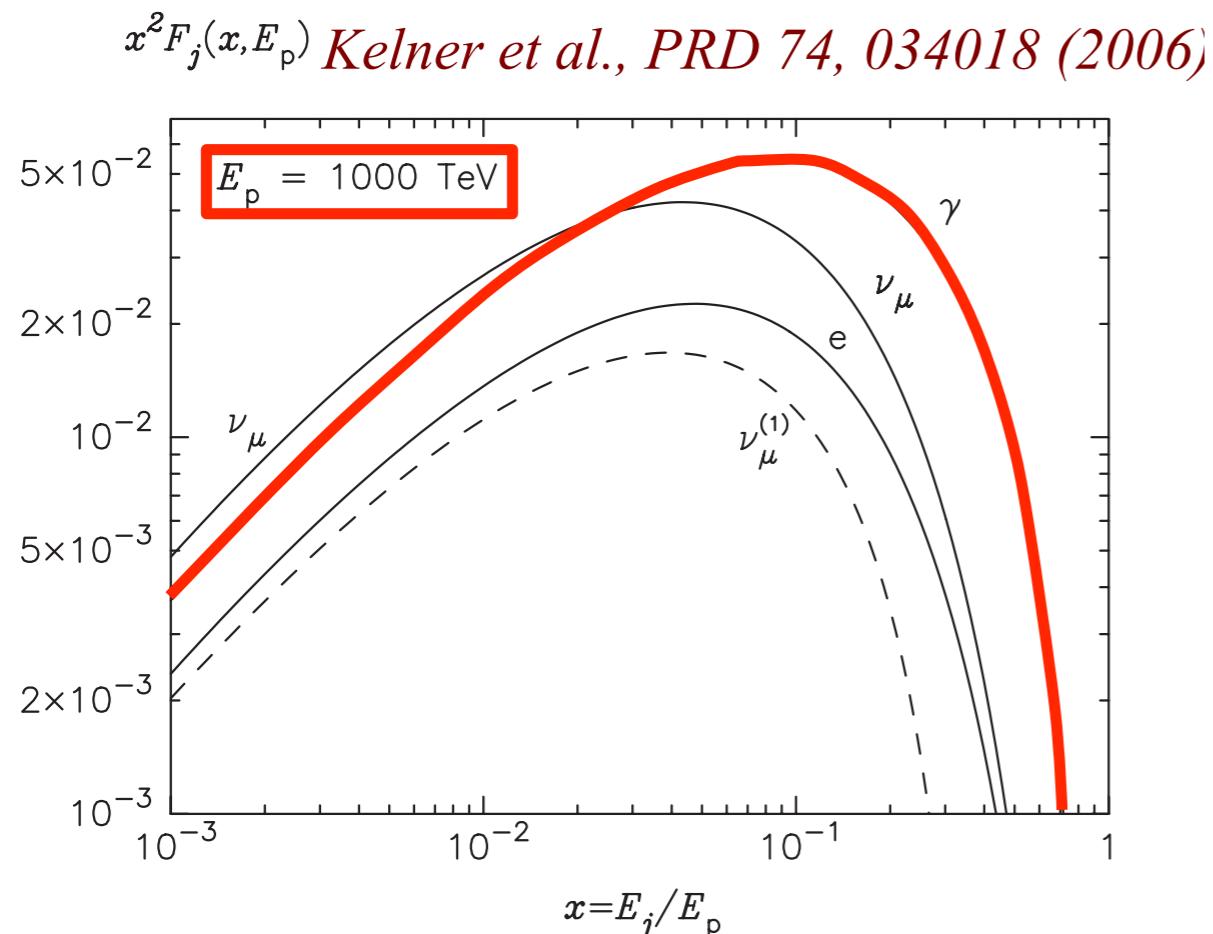
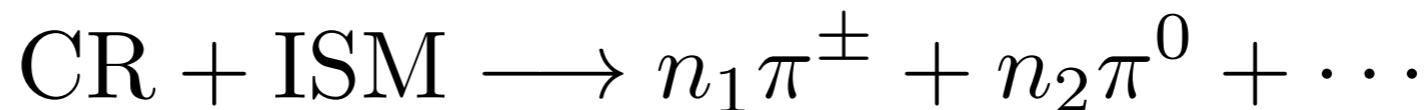


CTA Review by Kubo (JPS 2015)

M.Daniel, Proc. of 28th Texas Sympo. (2015)

宇宙線と高エネルギーガンマ線

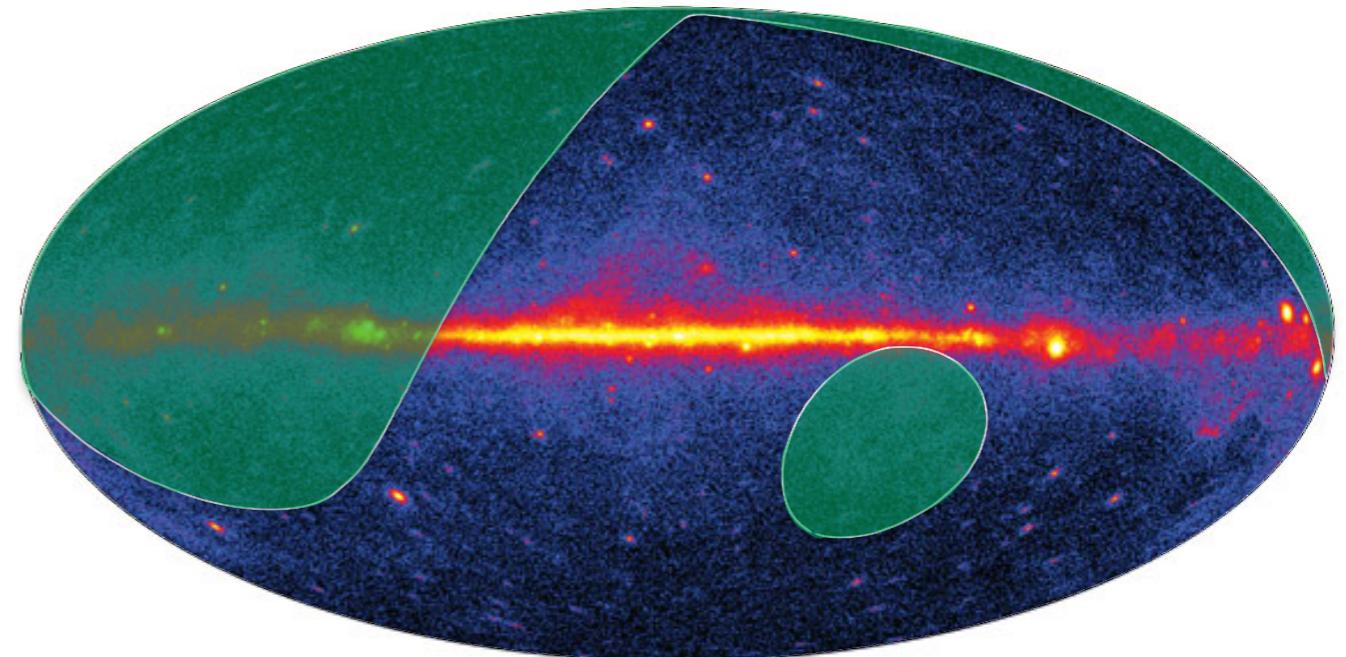
- ・超新星残骸 (SNR) が有力とされてきている
- ・到達可能エネルギー：加速領域のサイズ、時間、etc. \rightarrow PeV (10^{15} eV)
- ・これがまわりの物質と相互作用



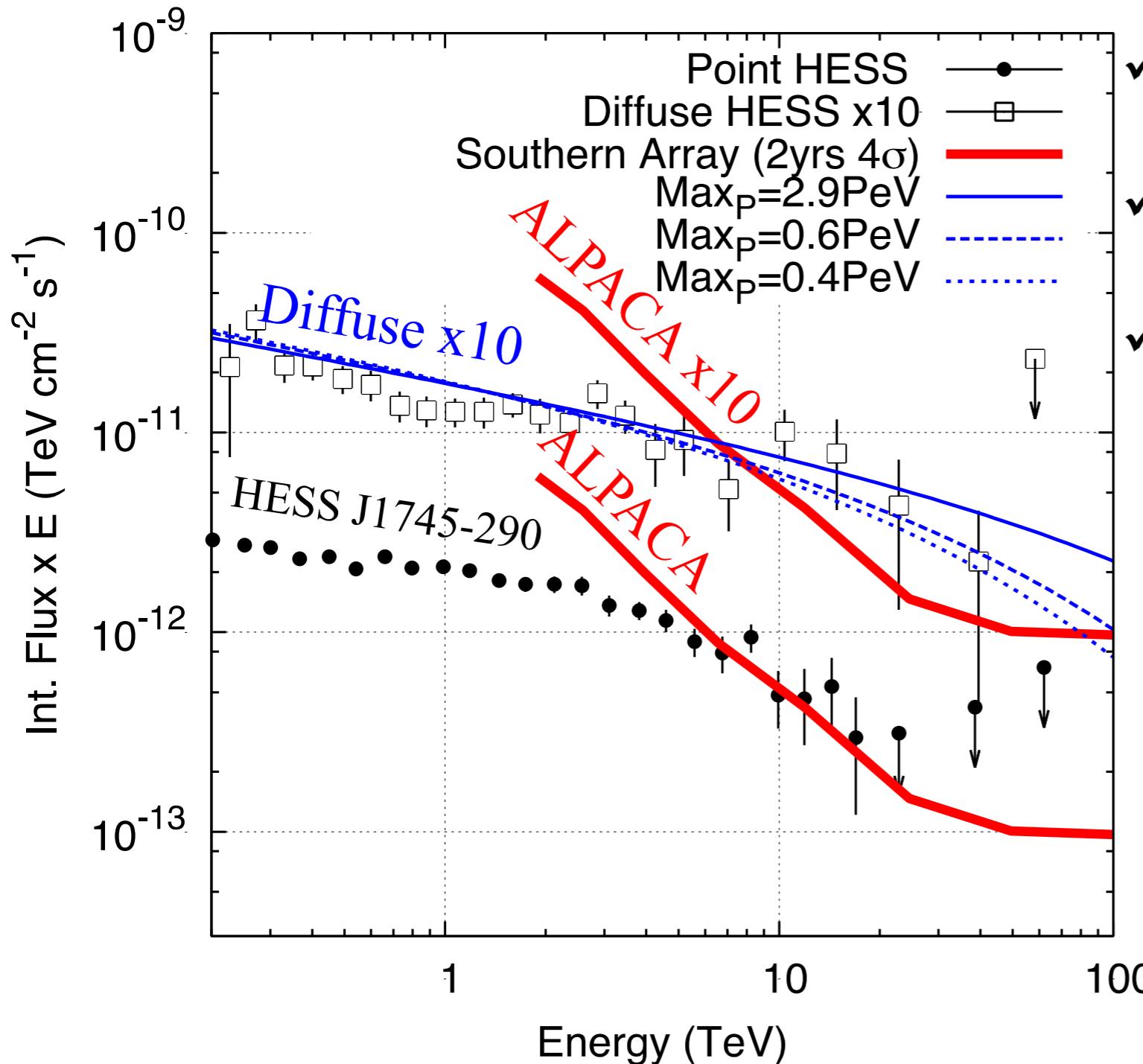
親宇宙線の1/10程度のエネルギー
の γ 線 $\rightarrow 100\text{TeV}$ を狙え

南天の意義

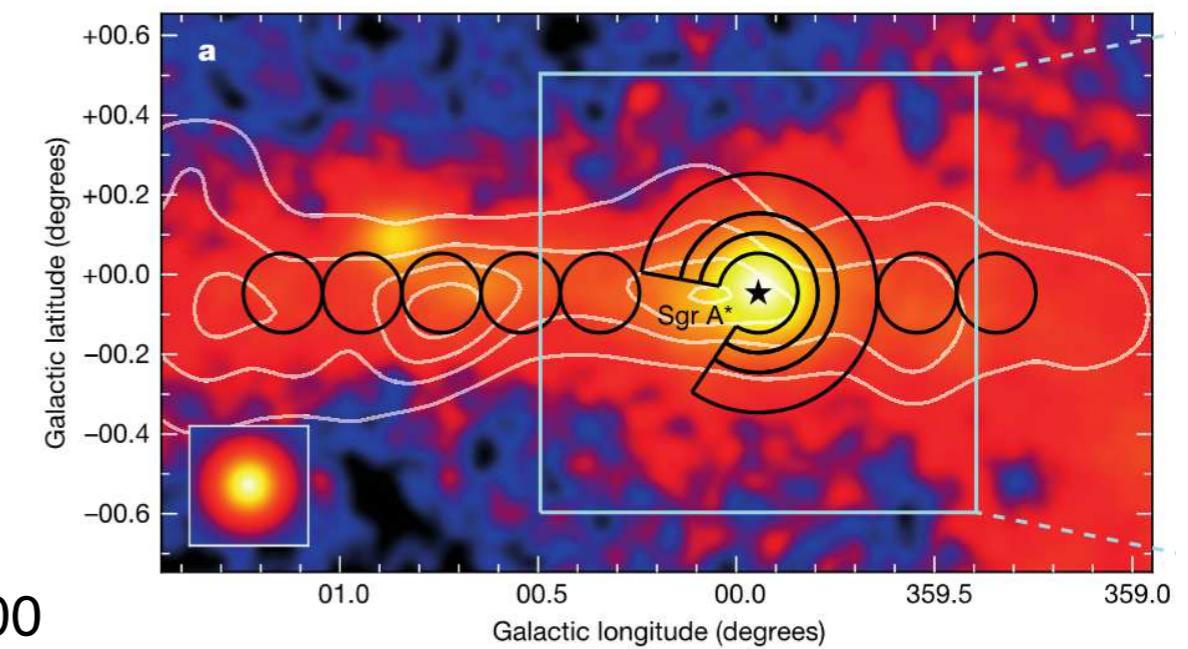
- Galactic Center
- Fermi Bubbles
- Young SNRs
- Other Galactic Sources
- Nearby Extragalactic Sources



Galactic Center as PeVatron!?

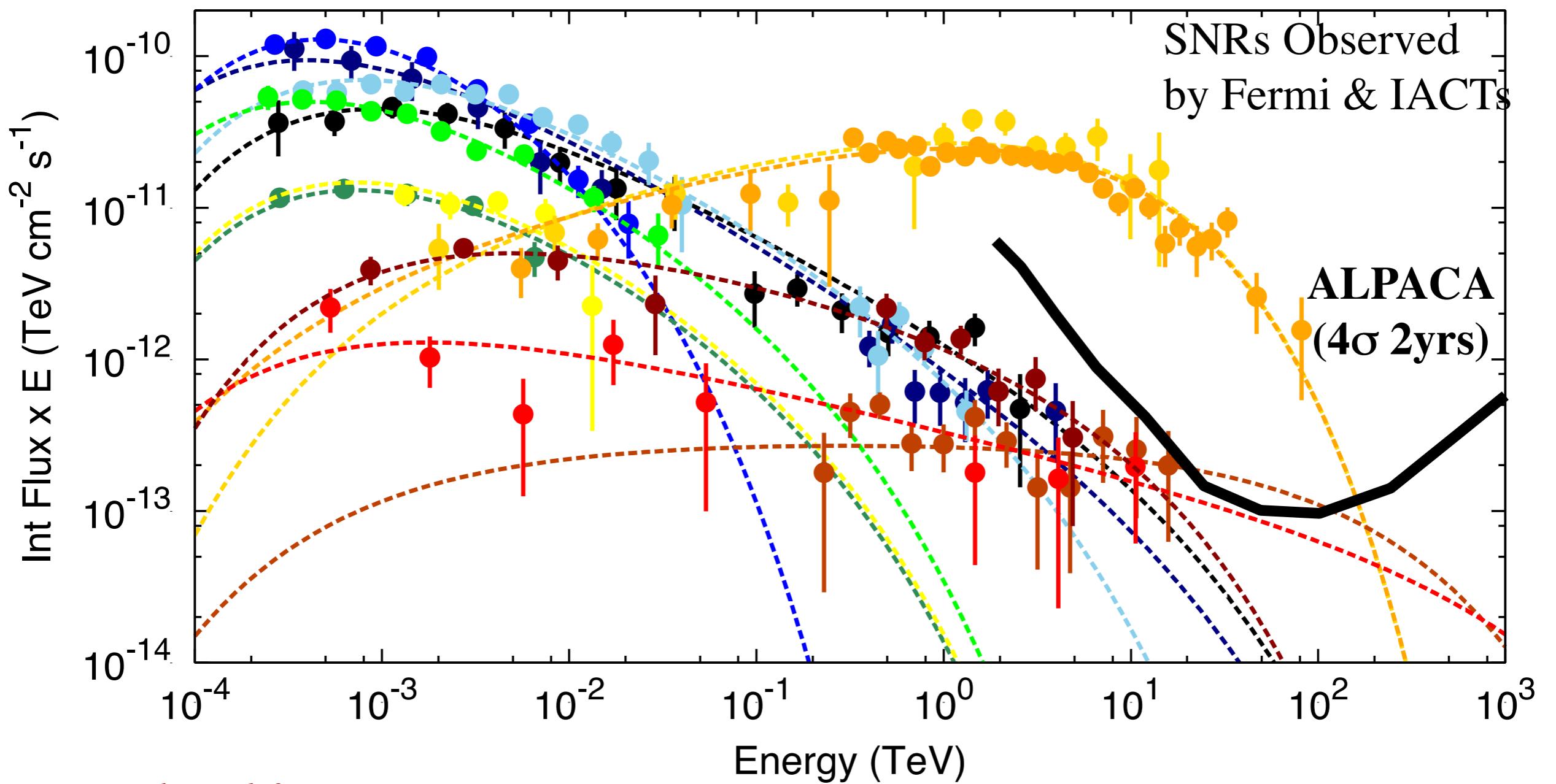


- ✓ Detection of diffuse component
- ✓ sub-PeV γ -ray expected
- ✓ Promising candidate for PeVatron



Abramowski, et al, Nature (2016)

Young SNRs



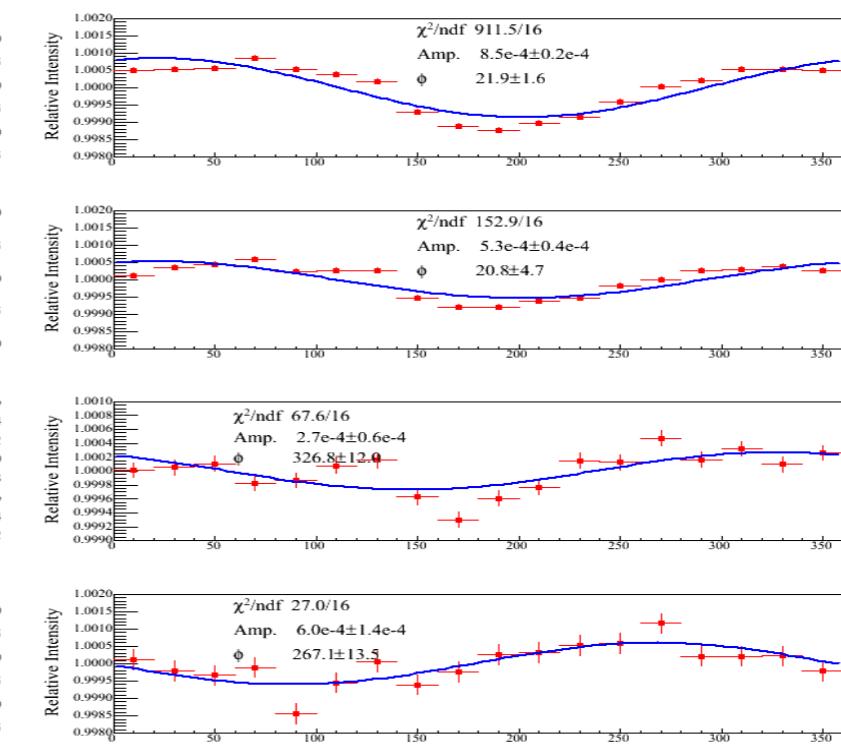
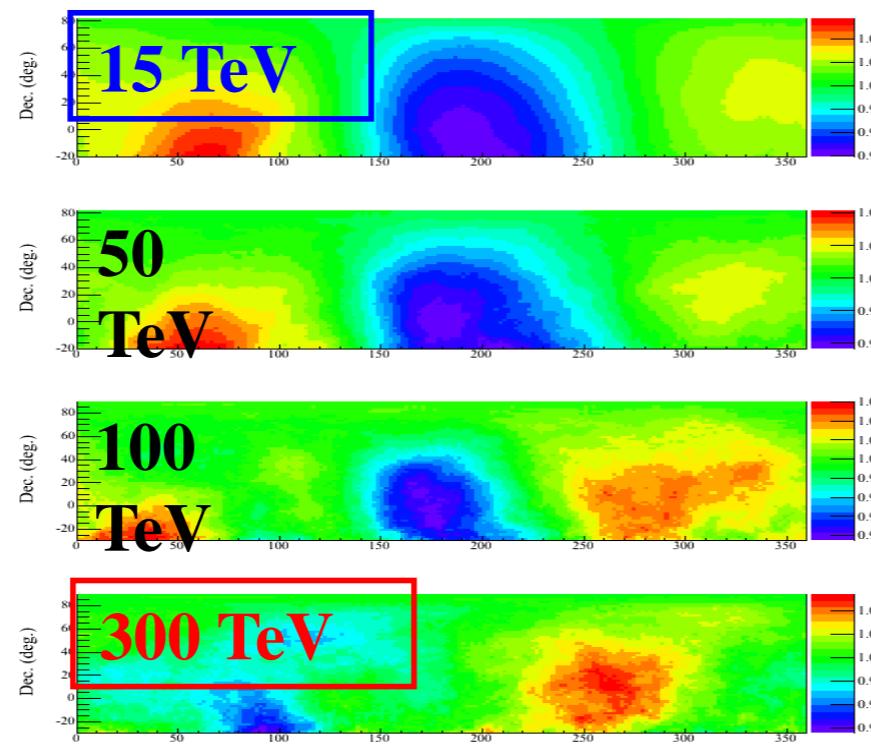
*Reproduced from
slides presented by
S. Funk (TeVPA
2011)*

W51C (35k yrs)	●	PuppisA (3.7k yrs)	○
W28 (30k yrs)	●	RXJ0852 (2.5k yrs)	○
W44 (20k yrs)	●	RXJ1713 (2.0k yrs)	○
IC443 (10k yrs)	●	SN1006 (1.0k yrs)	●
Cyg Loop (5.0k yrs)	●	Tycho (0.4k yrs)	●
W49B (4.0k yrs)	●	CasA (0.3k yrs)	●

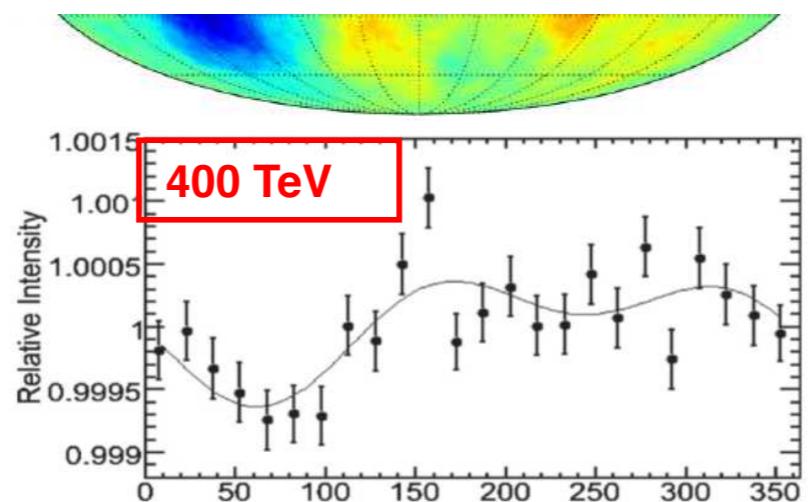
豊かなサイエンス

- Knee 領域宇宙線：スペクトル (+ 組成)
- TeV 宇宙線の異方性
 - IceCube/IceTop とのオーバーラップ
- 太陽の影、太陽・惑星間空間磁場
- 太陽起源の ~100GeV ガンマ線

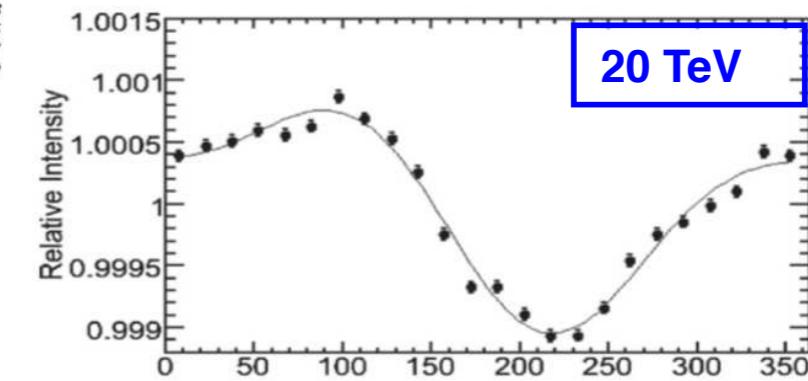
IceCube (Abbasi+ 2012)



Tibet AS γ (Amenomori+ 2017)



1D profile in two hemispheres



Possible models @ \sim 10TeV

No model so far $> \sim$ 300 TeV

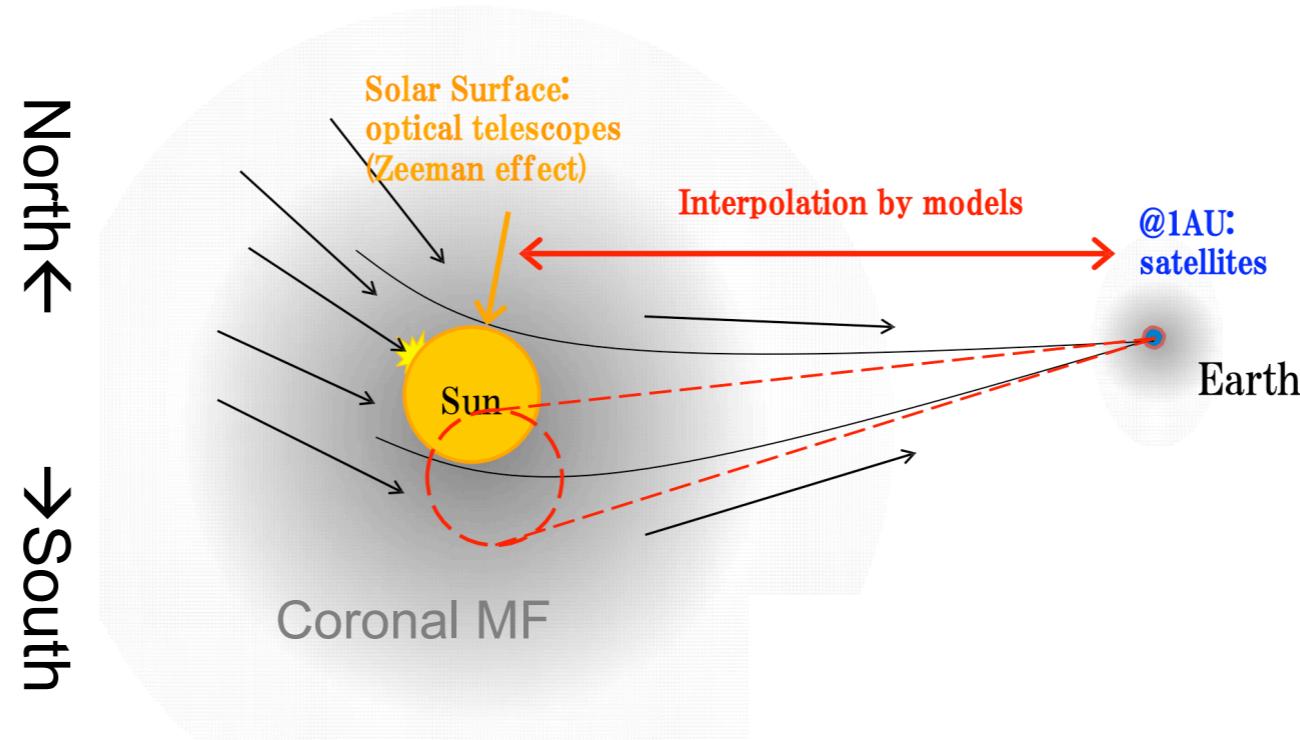
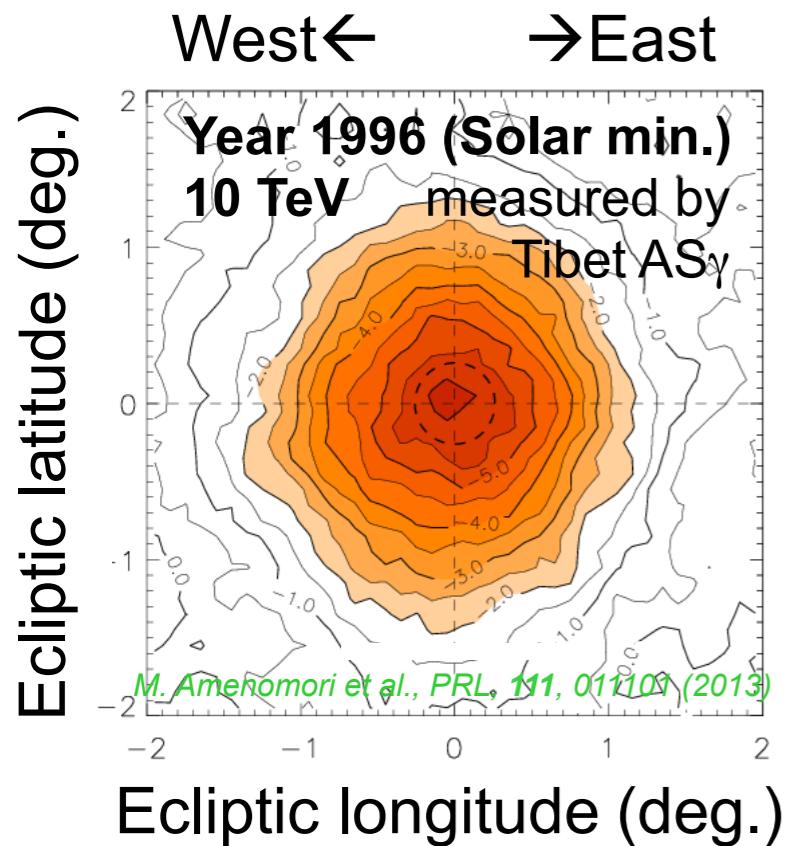
M. Amenomori et al., Astrophys. Space Sci. Trans., 6, 49 (2010)

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

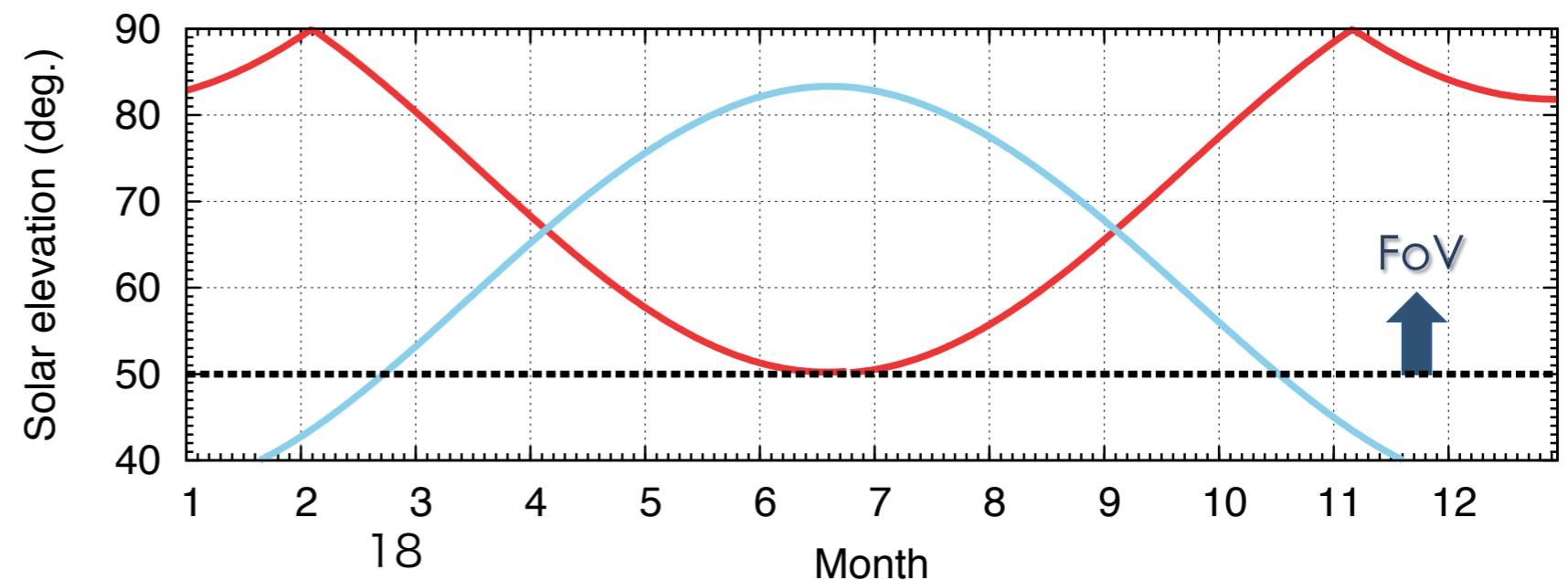
N. A. Schwadron et al., Science, 343, 988 (2014)

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

Sun's shadow



太陽の南中高度



ALPAQUITA

- 1/10 ALPACA プロトタイプ
- 1m² シンチレーション検出器45台、15m間隔
- 今年度中に ship, 2017年夏に建設
 - 設置1ヶ月、キャリブレーション1ヶ月
- R&D
 - エレクトロニクス：チップはチベットと同型。FPGAまわりは更新
 - シンチボックス内反射材選定、シンチ粒子入射位置依存性測定が完了

	Tibet I (1990 – 1993)	ALPAQUITA
Altitude	4,300 m	4,740 m
Spacing	15m	15m
Detector area	0.5 m ²	1 m ²
Coverage	0.22 %	0.44 %
Effective area	7,650 m ²	7,650 m ²
Mode Energy	10 TeV	~5 TeV
Trigger rate	40 Hz	~150 Hz
Moon shadow	5.8 σ (1990年6月-1991年10月)	~16 σ / 年
Sidereal anisotropy	LossCone ~5 σ (1992年)	~10 σ / 年

スケジュール

- 2017 (Year 0): ALPAQUITA 45台
- Year 1: ALPACA 予算獲得運動
- Year 2: Muon detectors (MD) 建設
- Year 3: AS アレイ建設
- Year 4: データ収集開始
 - “ALPACA Phase-I”

まとめ

- ALPACA 始動
 - 日本側29名（うち学生7名）、ボリビア側6名
 - チャカルタヤ中腹 4740m、84,000m²、400台
 - “15% Crab @ 30TeV”
- 特別推進研究に応募中
- プロトタイプ“ALPAQUITA”: 1/10スケール、45台は来年建設、稼働
 - 川田さん研究費獲得！
- チベットアレイは動き続ける：南北同時観測
- 海外の状況：南天-高地というキーワードで複数のプロジェクト提案あり：メキシコ、イタリア、etc.