

TA地表粒子検出器による宇宙線観測

1.2km grid

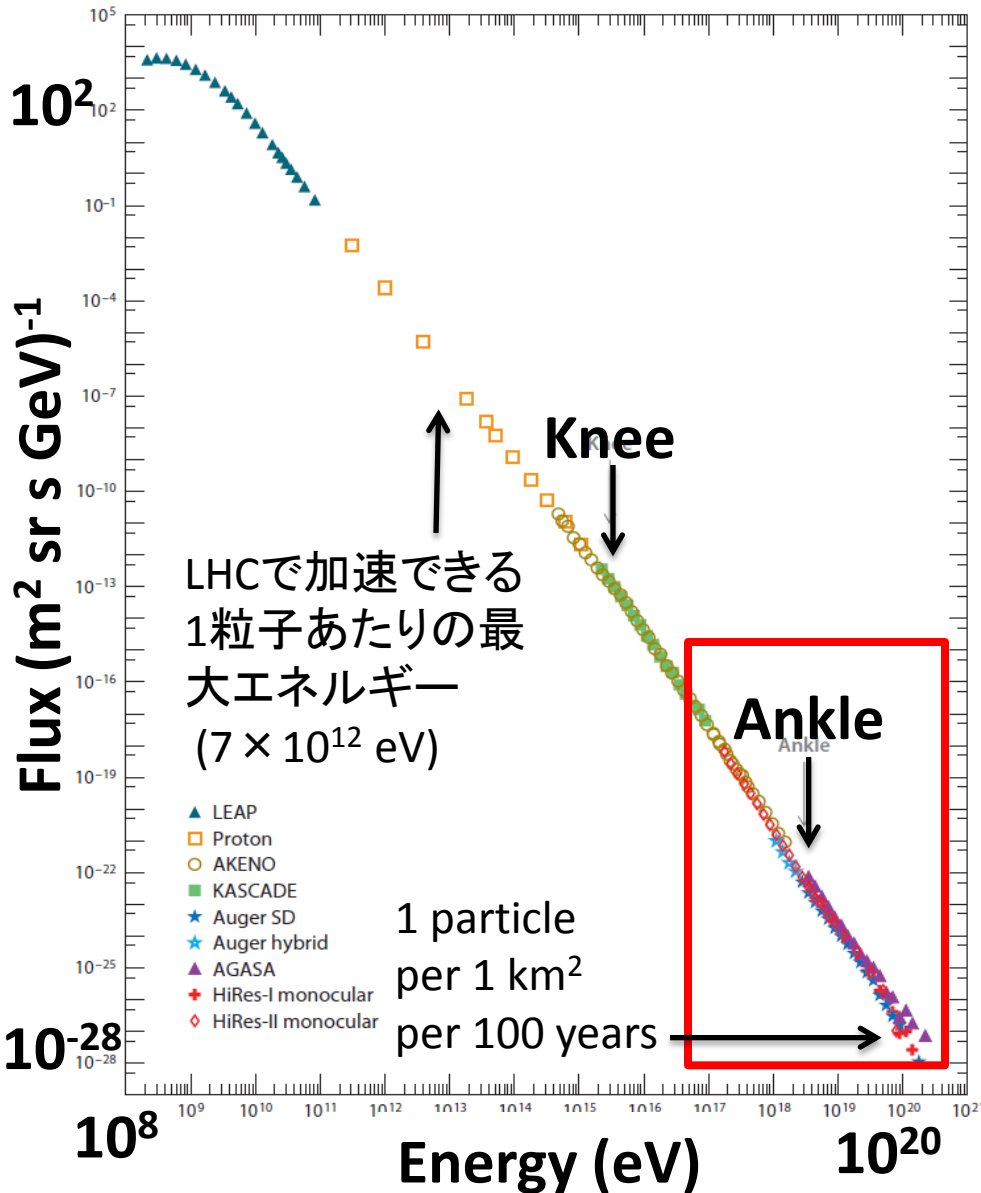


木戸 英治
(東京大学宇宙線研究所)

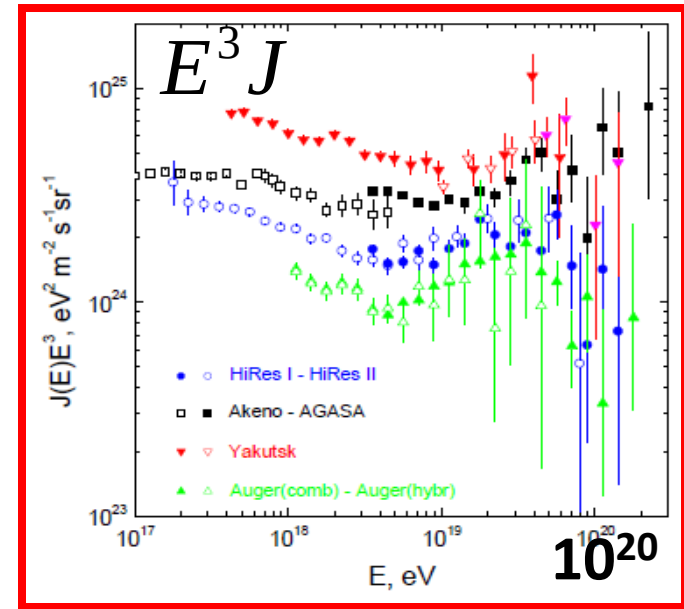
Outline

1. 導入
2. 地表粒子検出器(SD)で観測した宇宙線のエネルギースペクトル
3. SDで観測した宇宙線の到来方向
4. まとめ

1. 極高エネルギー宇宙線

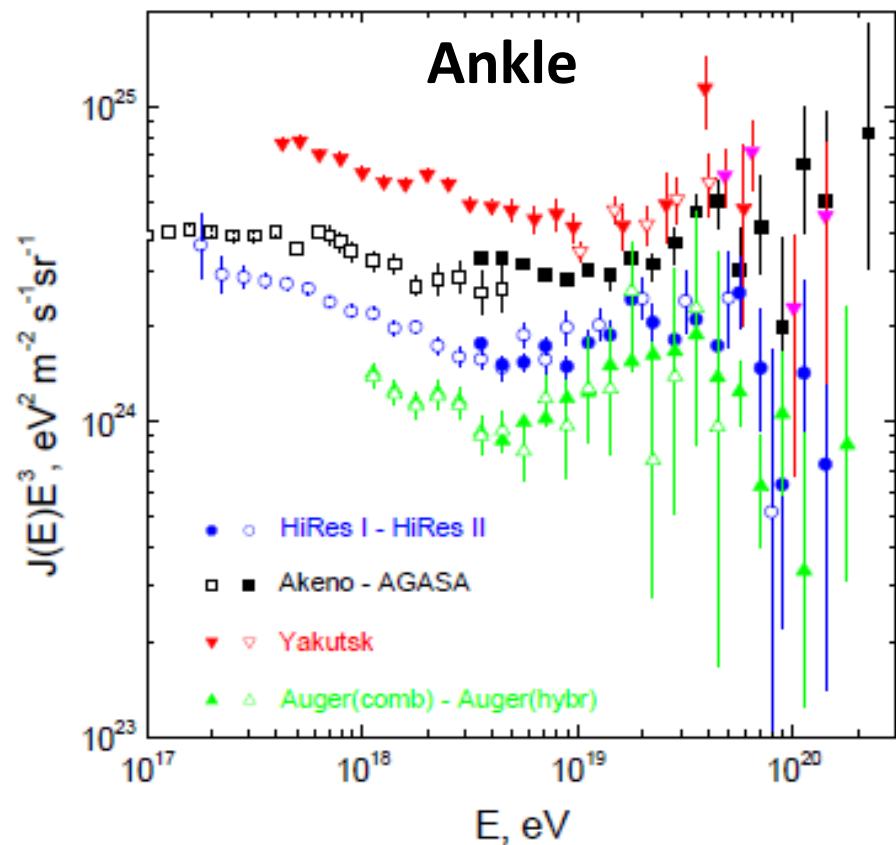
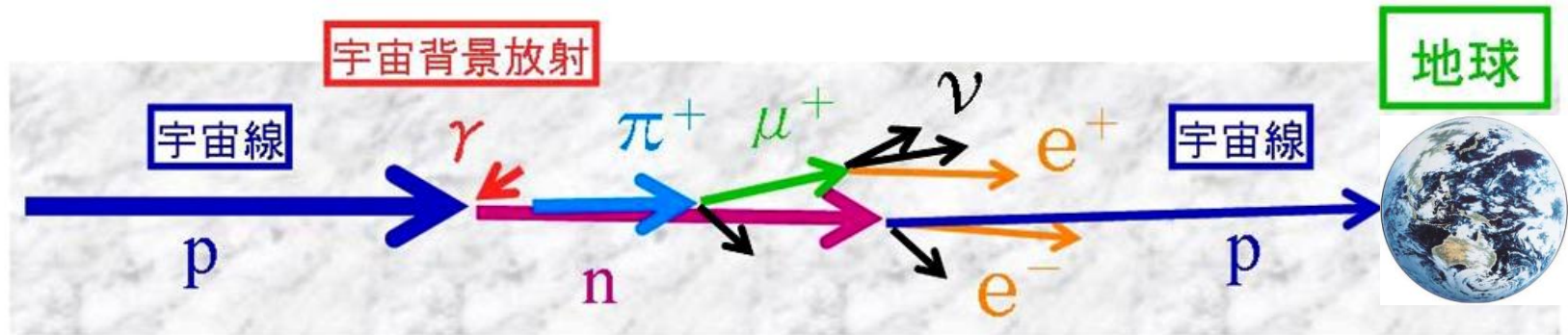


極高エネルギー宇宙線



➡ 宇宙線源?
組成?

1. Greisen, Zatsepin and Kuzmin (GZK) カットオフ



- 宇宙背景放射と極高エネルギー陽子が相互作用

$$p + \gamma_{\text{CMBR}} \rightarrow p + \pi^0, n + \pi^+$$

- ✓ 平均自由行程 $\sim 50 \text{ Mpc}$

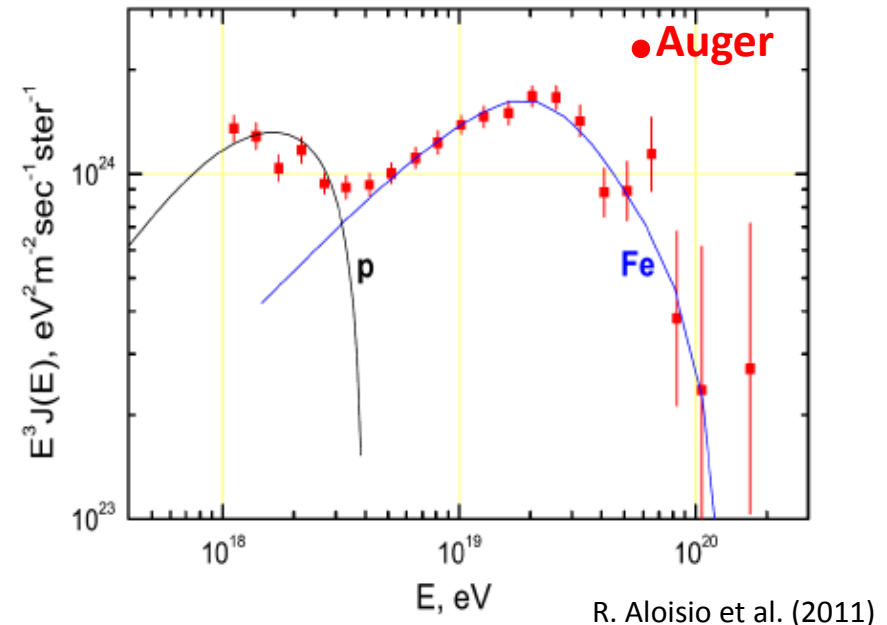
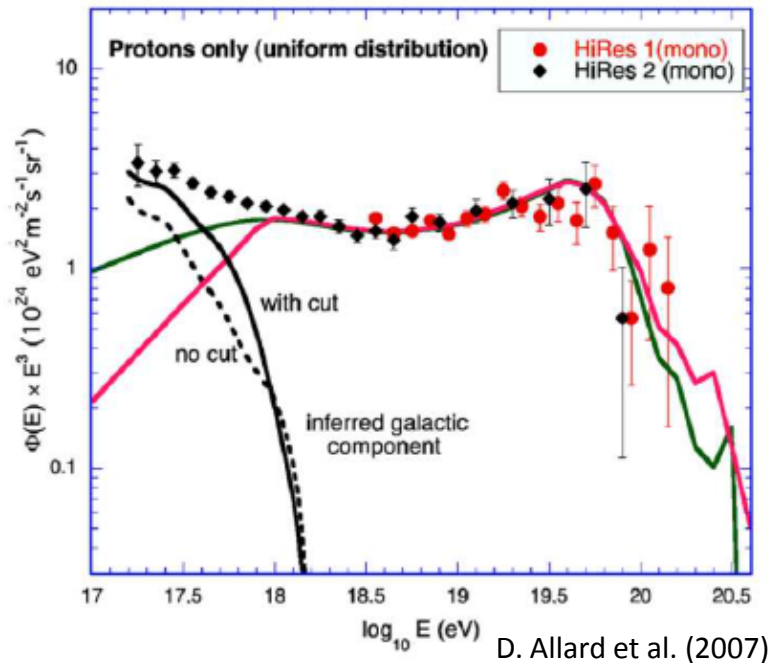
- $5 \times 10^{19} \text{ eV}$ 以上でスペクトルが抑制されると予測

- ✓ AGASA $\rightarrow$ beyond
- ✓ HiRes, Auger $\rightarrow$ Suppression

- 大きな系統誤差

- ✓ AGASA 18%, HiRes 17%, Auger 22%

1. Ankle構造の理論モデル



- Suppression = GZK カットオフ
- 観測された“ankle”
= 電子対生成による“dip”
 $p + \gamma_{\text{CMBR}} \rightarrow p + e^+ + e^-$
- “Ankle”より前に起源の遷移
がすでに起こっている

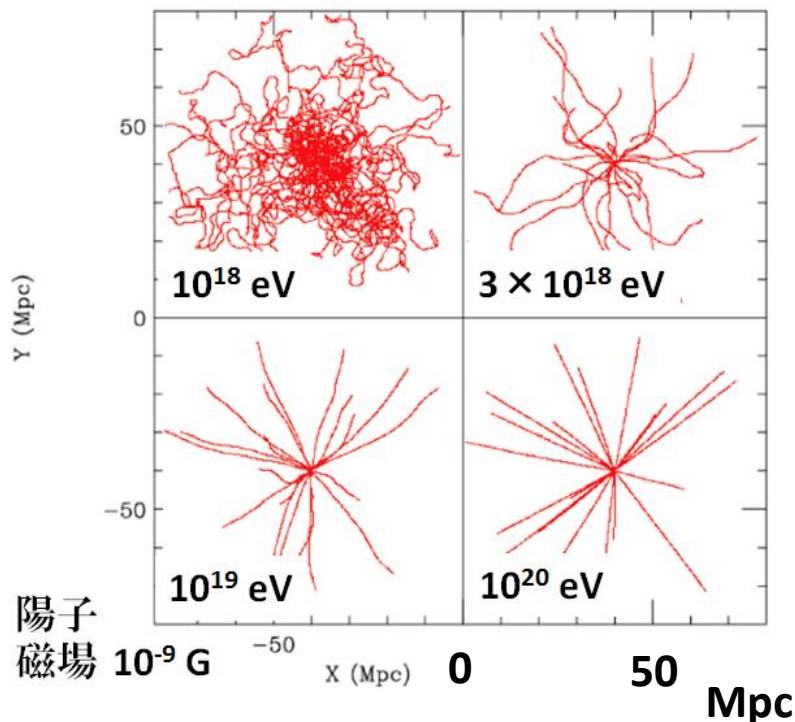
- Suppression = 宇宙線の加速
限界
- Ankle構造 = 起源の遷移
- “dip”ではない

粒子種の測定結果が鍵となる

1. 最高エネルギー宇宙線の伝播 と宇宙線の到来方向

$$0.8^\circ q \left(\frac{E}{10^{20} \text{ eV}} \right)^{-1} \left(\frac{d}{10 \text{ Mpc}} \right)^{1/2} \left(\frac{l_c}{1 \text{ Mpc}} \right)^{1/2} \left(\frac{B}{10^{-9} \text{ G}} \right) \quad \text{“dip” model}$$

銀河間磁場中の伝播

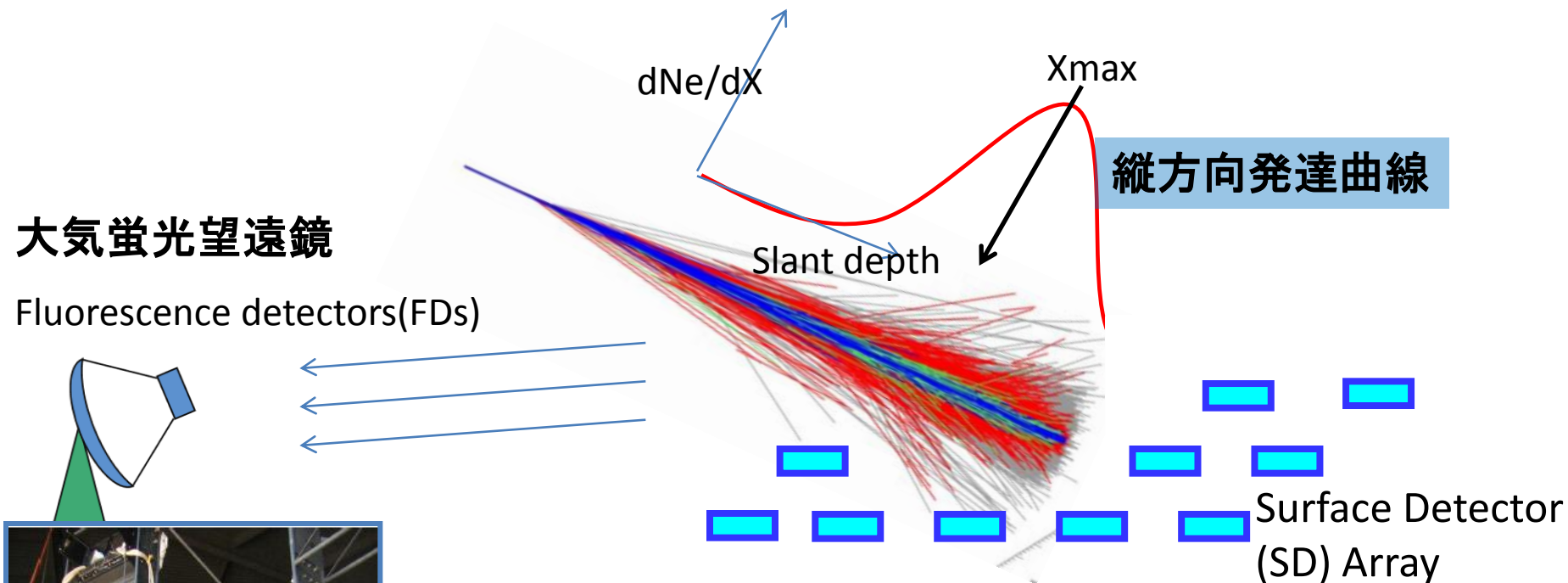


- 陽子は原子核の中でもっとも銀河間磁場で曲げられにくい。
- 極高エネルギーになるとほぼ直進

— 荷電粒子による天文学 —

既知の天体で加速されているとすると、到来方向と既知の天体(活動銀河核など)や宇宙の大規模構造との相関が期待される。

1. 空気シャワーと検出器

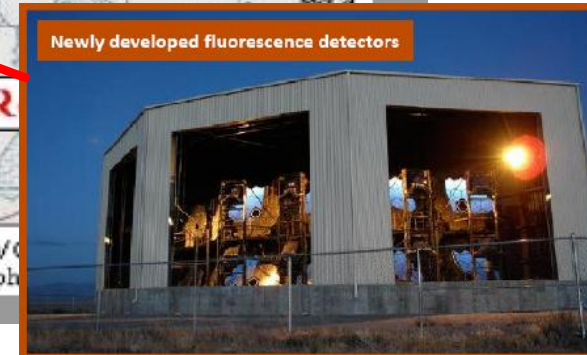
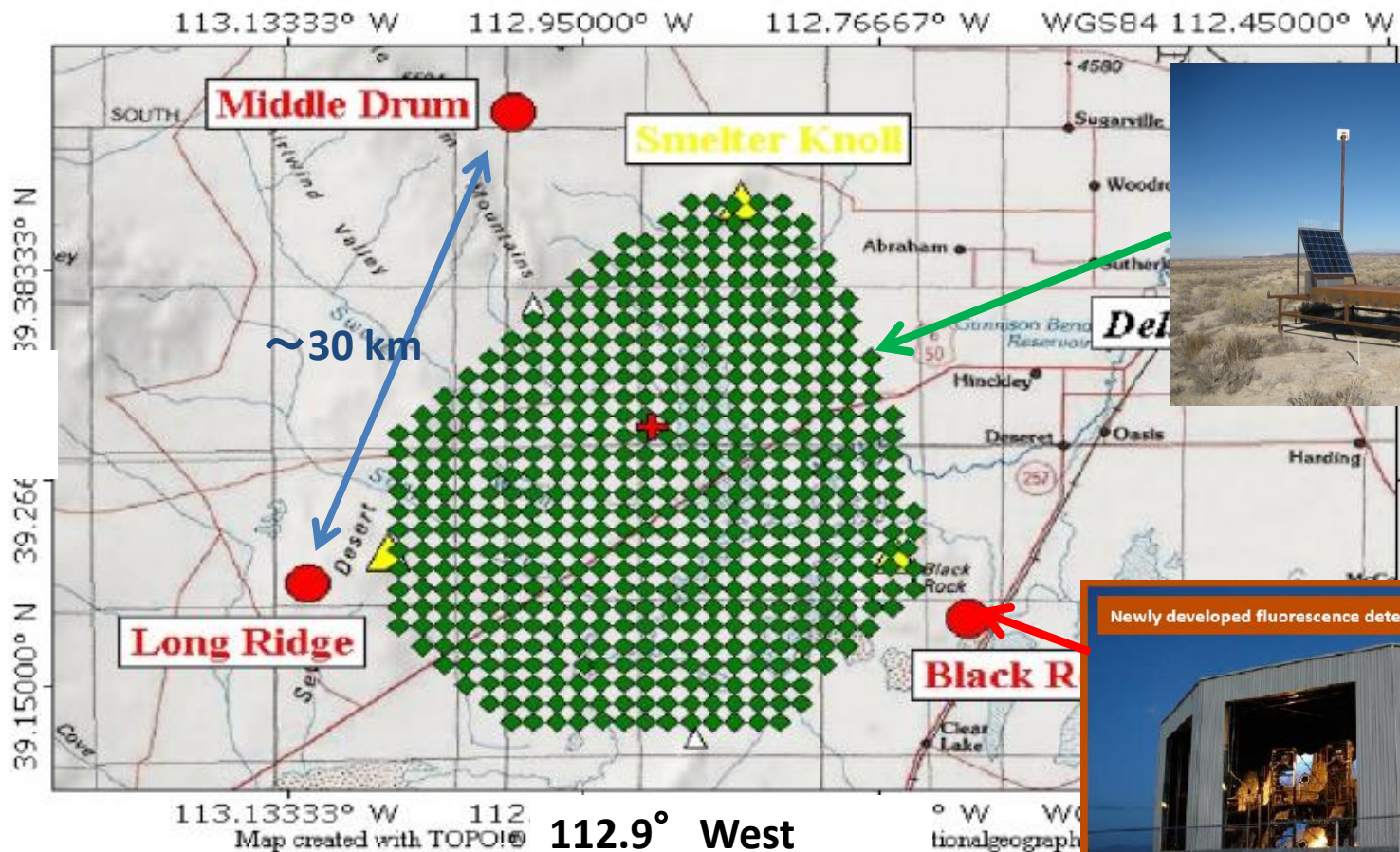


地表検出器アレイ:横方向密度分布を測定



TELESCOPE ARRAY HYBRID DETECTOR

39.3°
North



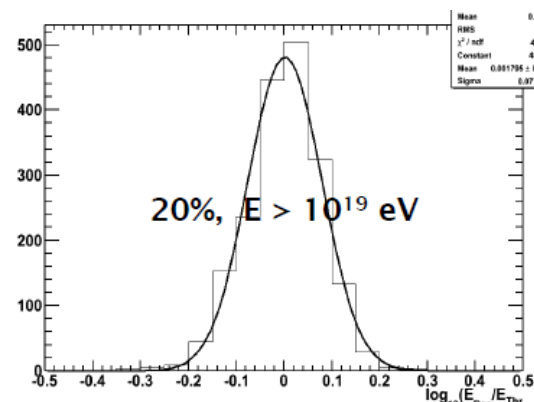
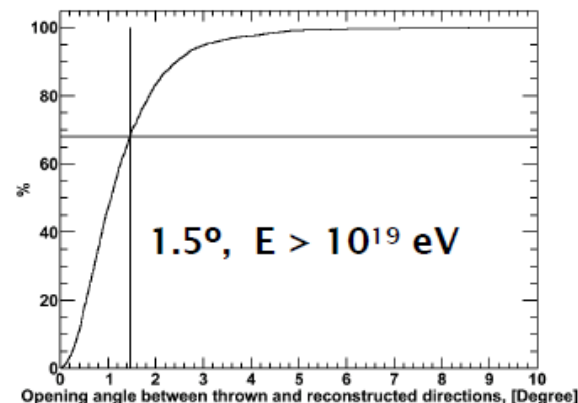
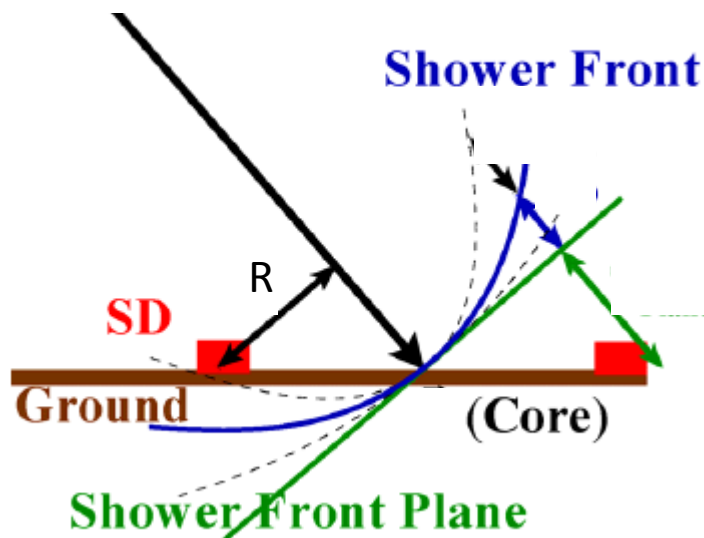
507 scintillator detectors covering 700 km²
 3 fluorescence sites, 38 telescopes (~10% duty cycle)
 Surface detector (SD) full operation (~**100%** duty cycle)
 from 11 May 2008 → 14 Sep 2011
 SD relative size: TA ~ 7 AGASA ~ PAO/4
 Total statistics: TA ~ 2 AGASA ~ PAO/10

1. SDの運用



- 自動データ取得
- 不調検出器: 1週間に数台→アクセス
→部品交換、GPSアンテナ固定、ソーラーパネル洗浄等

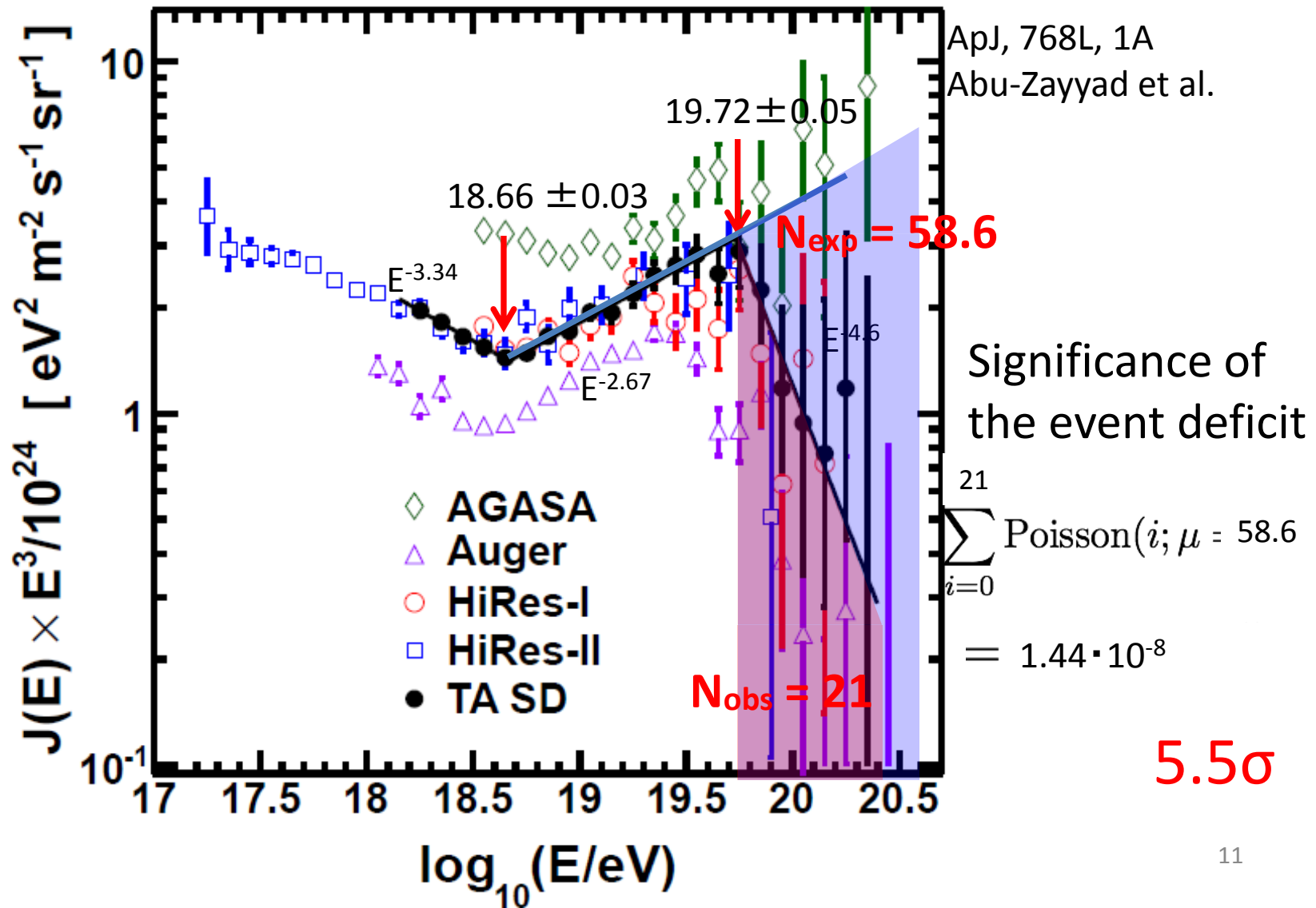
1. SDによる空気シャワー事象の再構成



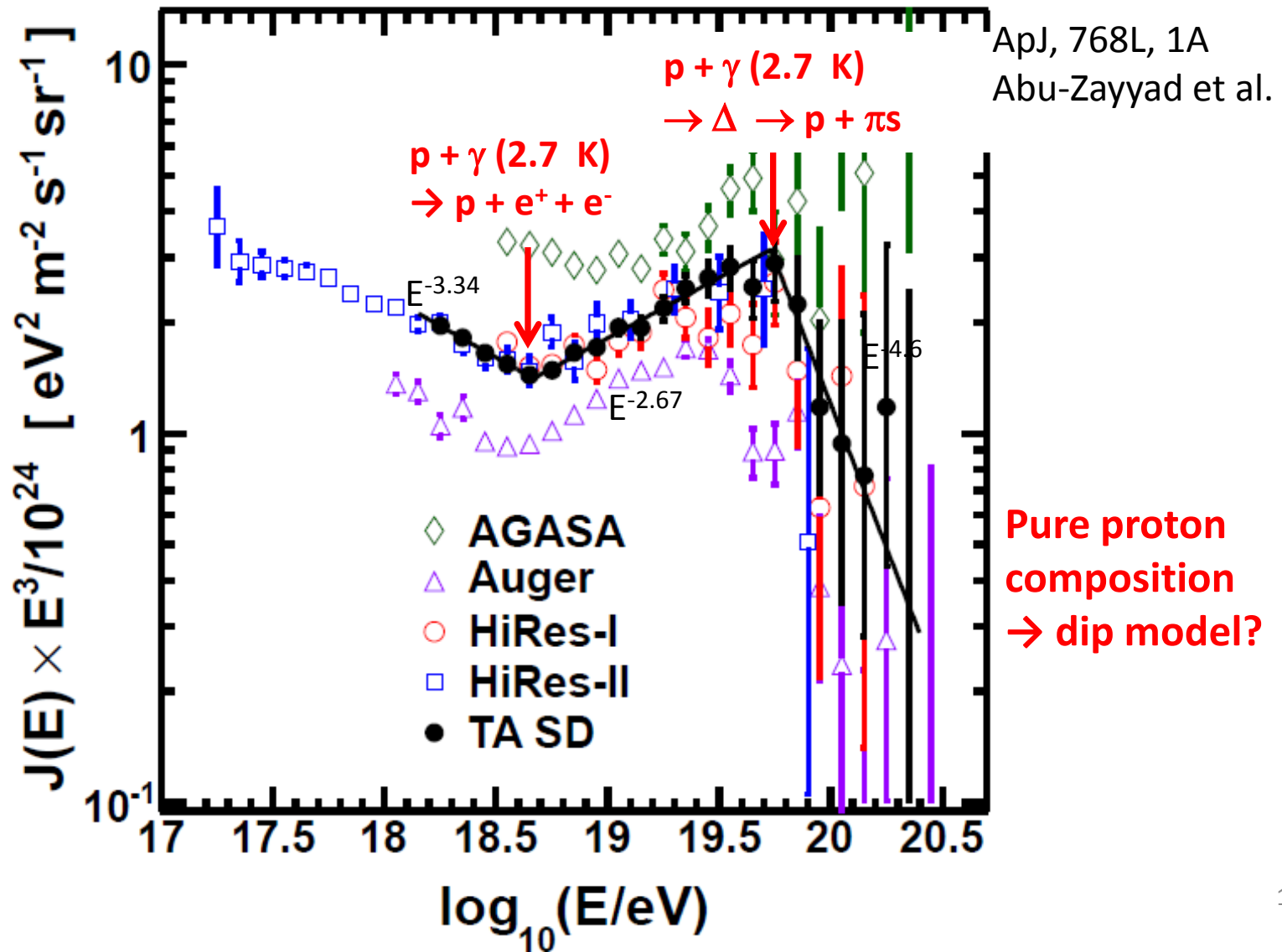
- Timing fit → Shower Geometry
- Lateral distribution fit → $S(800)$ → Energy from MC
→ Energy from FD

$S(800)$: energy depositions at $R=800(\text{m})$ which are converted in VEM unit.

2. 4 years SD energy spectrum

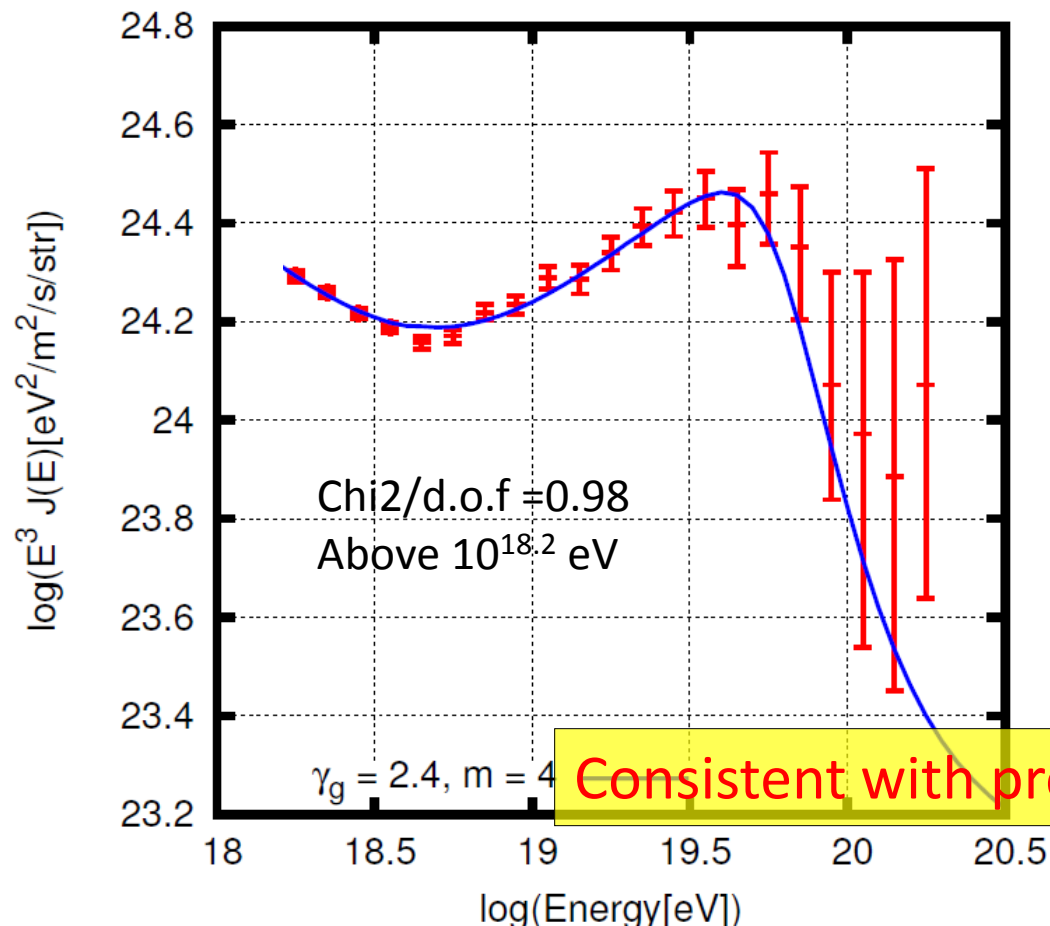


2. 4 years SD energy spectrum



2. fitted SD energy spectrum

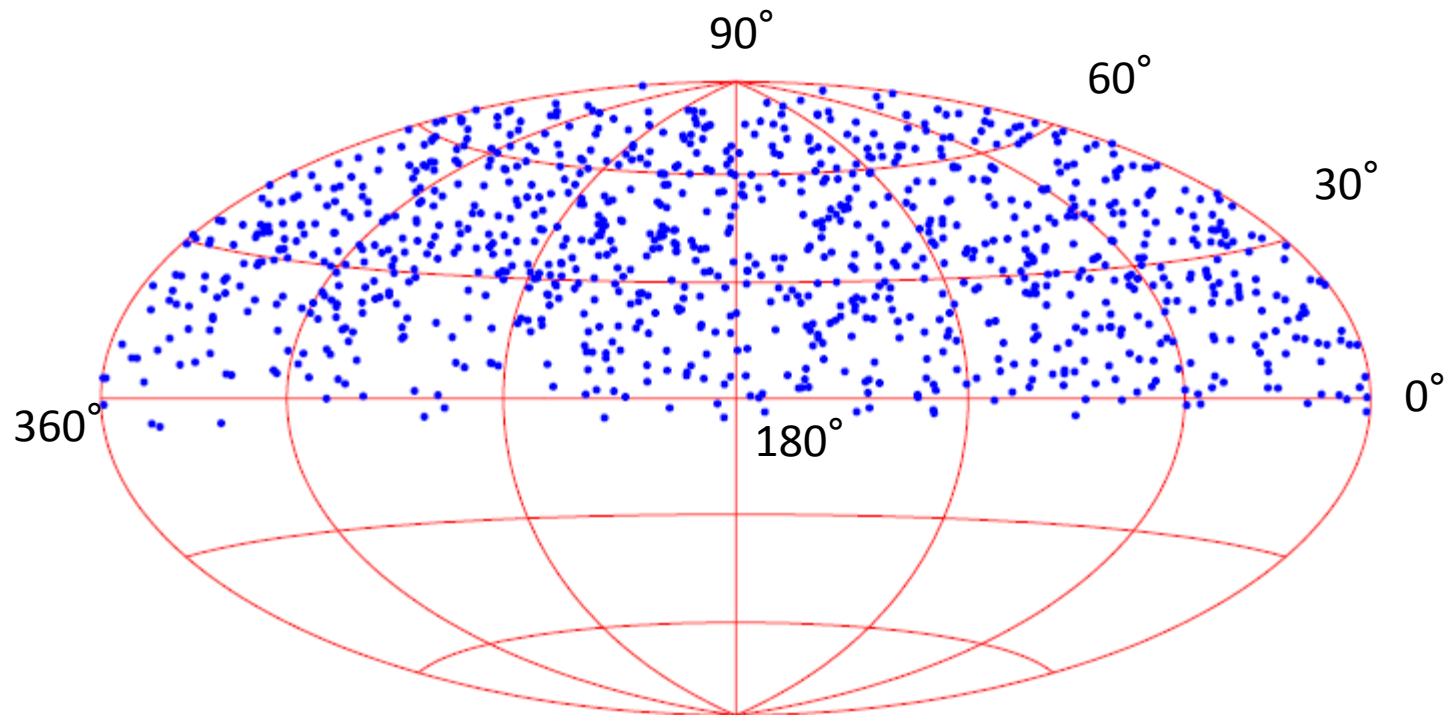
- Model using $p=2.4$ and strong evolutions $(1+z)^4$



3. Events in the equatorial coordinates

$E > 10 \text{ EeV}$

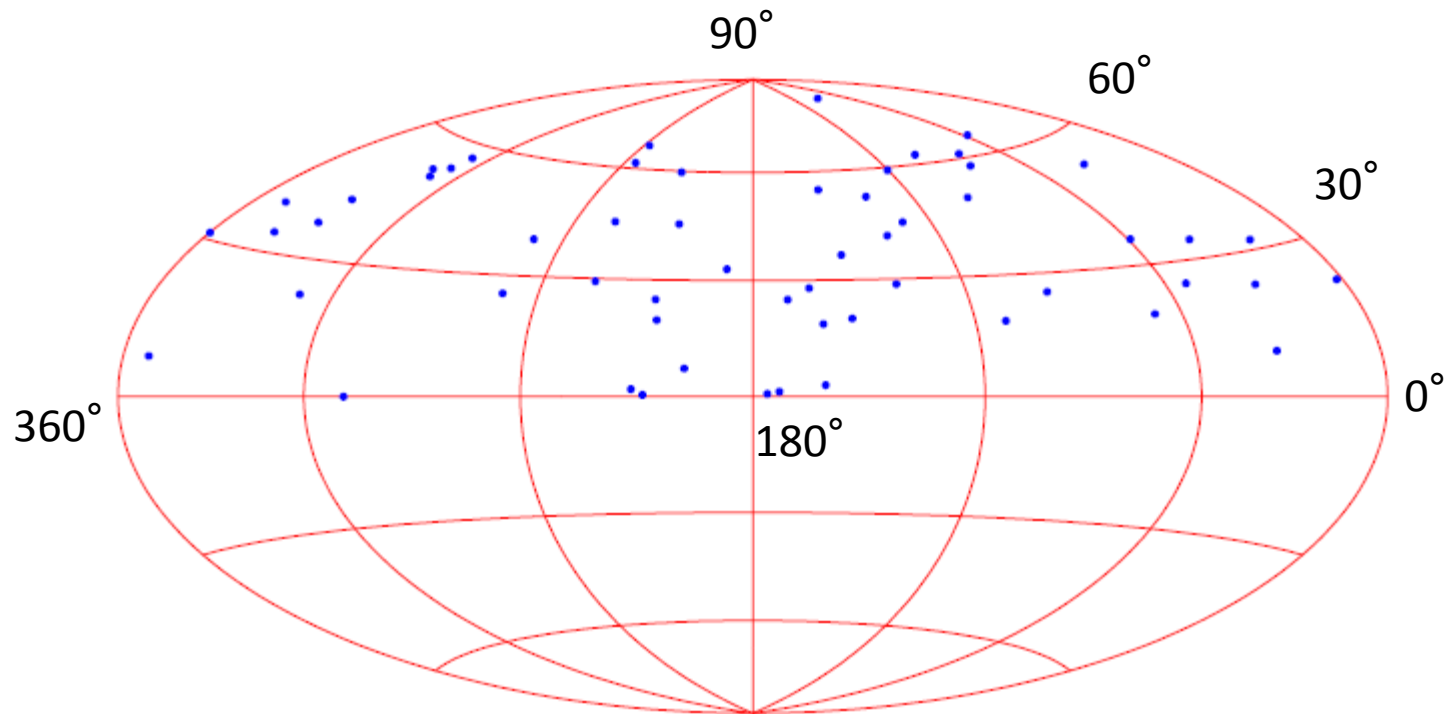
(1 EeV = 10^{18} eV)



Angular resolution: 1.5°
988 events

3. Events in the equatorial coordinates

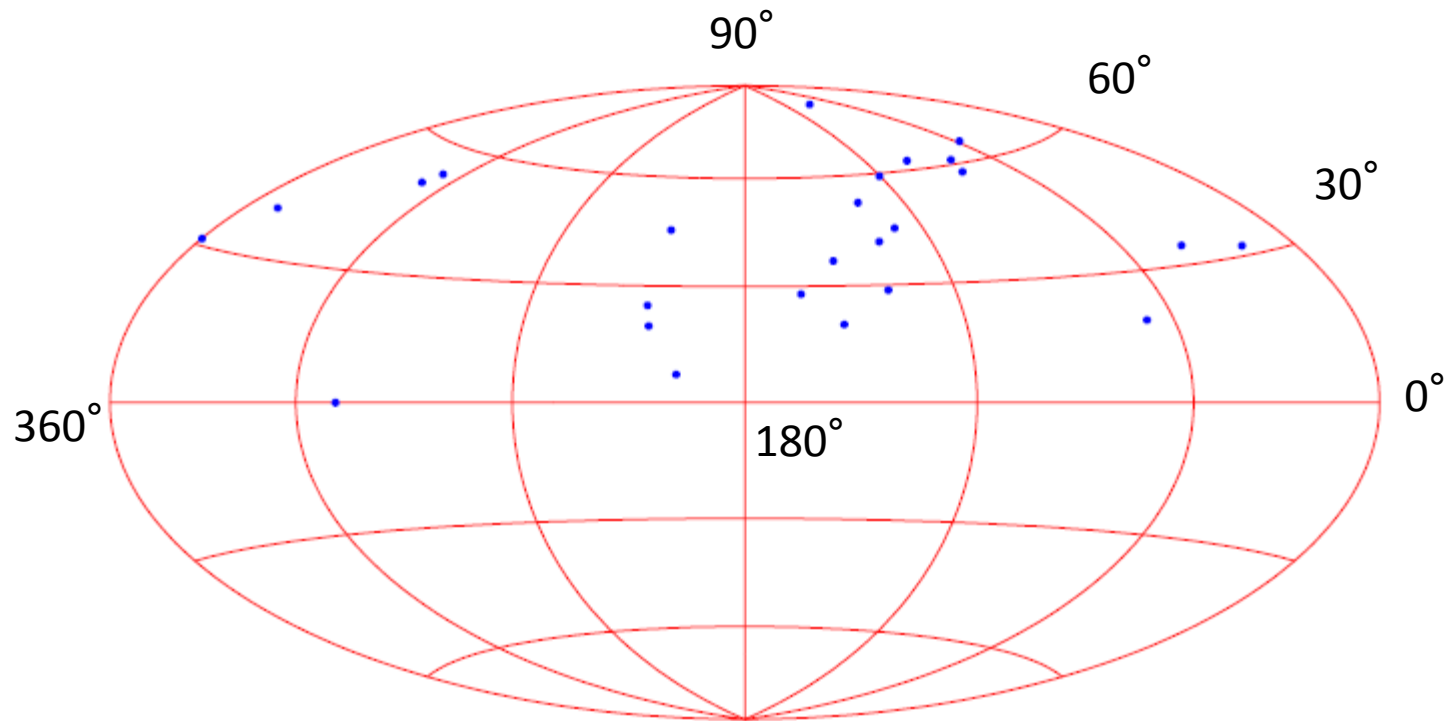
$E > 40 \text{ EeV}$



Angular resolution: 1.1°
57 events

3. Events in the equatorial coordinates

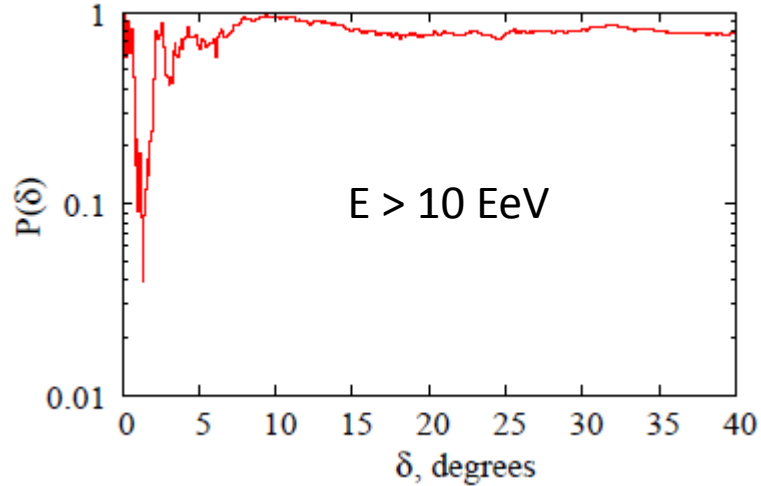
$E > 57 \text{ EeV}$



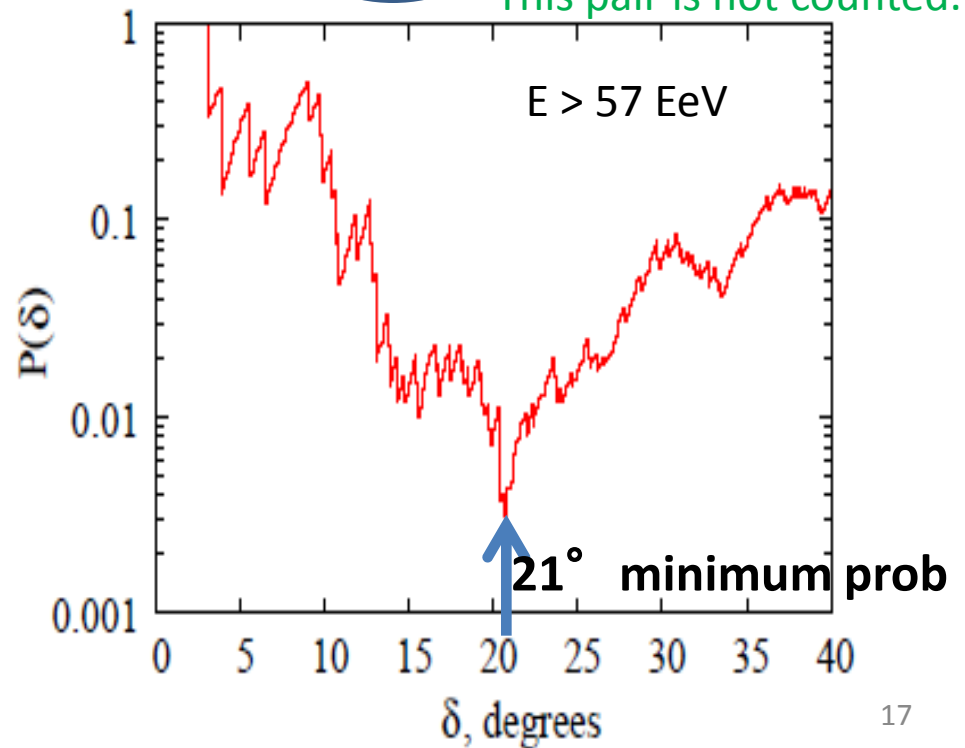
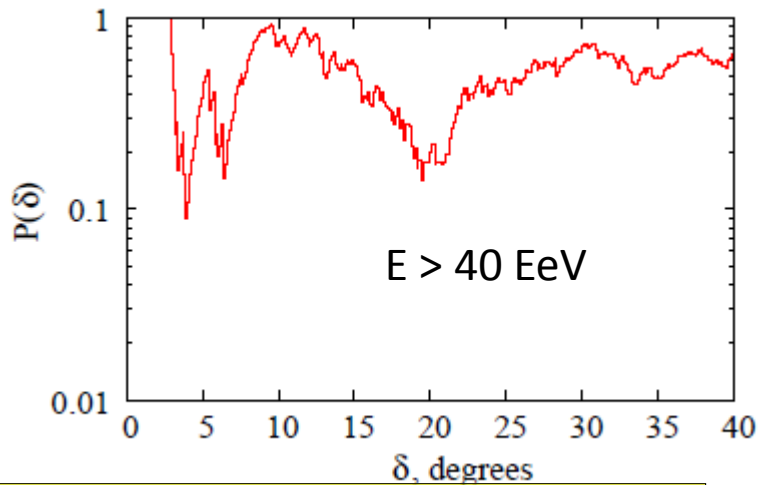
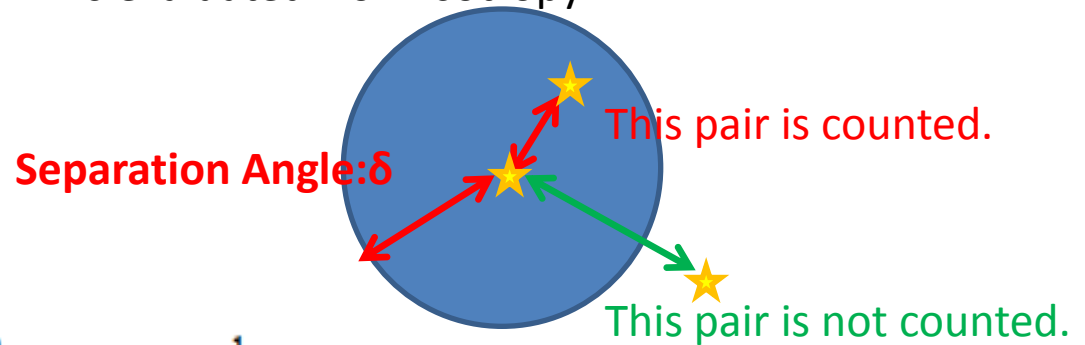
Angular resolution: 1.1°
25 events

3. Auto-correlations

Chance probability



Number of pairs $< \delta$ (deg)
is evaluated from isotropy.



No significant excess
at any case

4. まとめ

- 約5年間SDでデータ取得を継続している。 $\sim 100\%$ duty cycle.
- エネルギースペクトルは、極高エネルギー陽子と宇宙背景放射との相互作用から予測されるスペクトルと矛盾していない。
- TA のデータからは有意な自己相関は観測されていない。
- 現状のTA のデータからは 大規模構造と一致しているが、等方分布とも分布している。
- ピエールオージェ実験で報告されたようなVCVカタログとの有意な相関は観測されなかった。 $E > 57 \text{ EeV}$ の時、25 イベント中 11 イベントが AGNsと相関がある。この結果とランダムコインシデンス との一致度は2% である。