

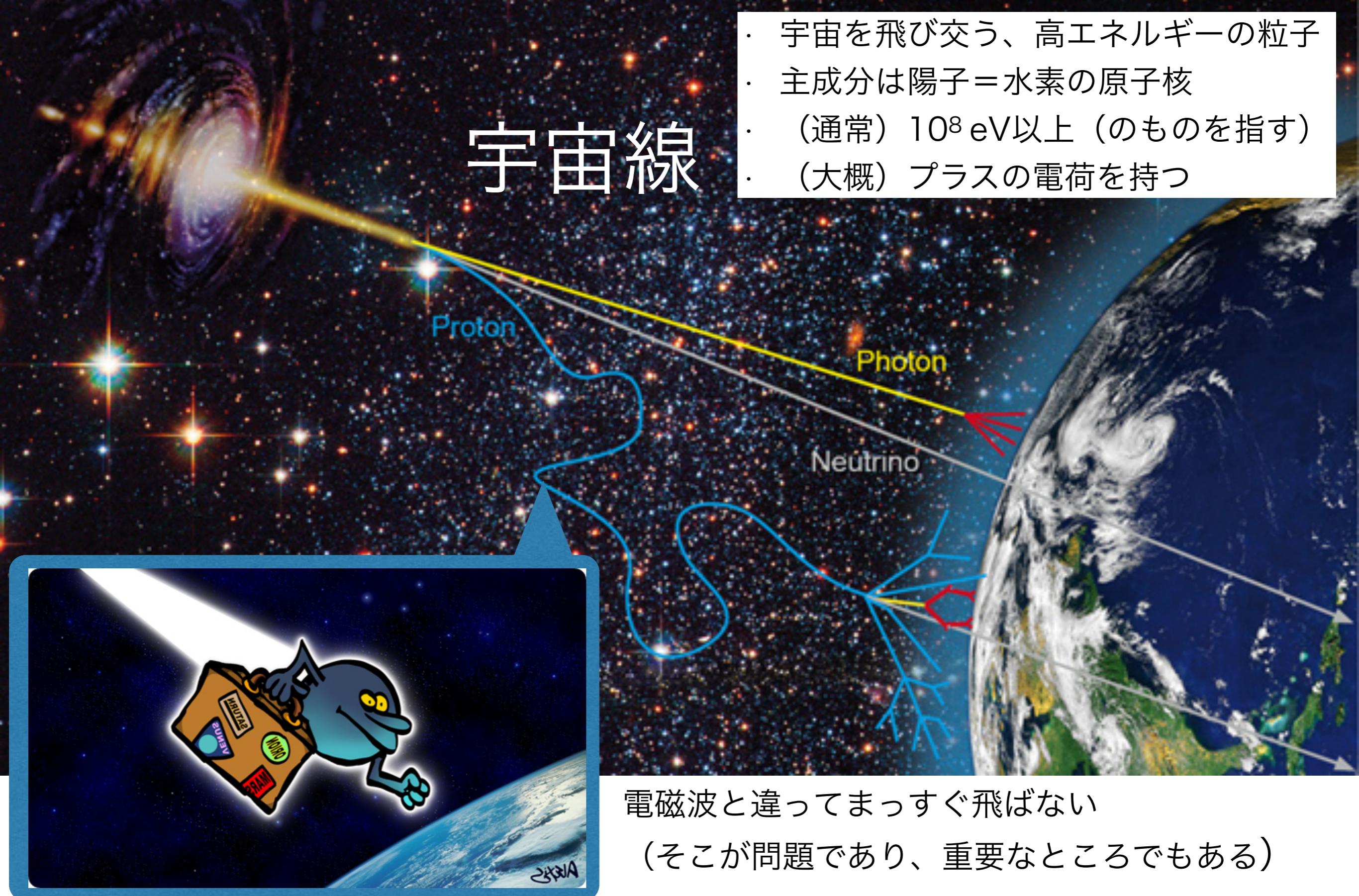


テレスコープアレイグループ

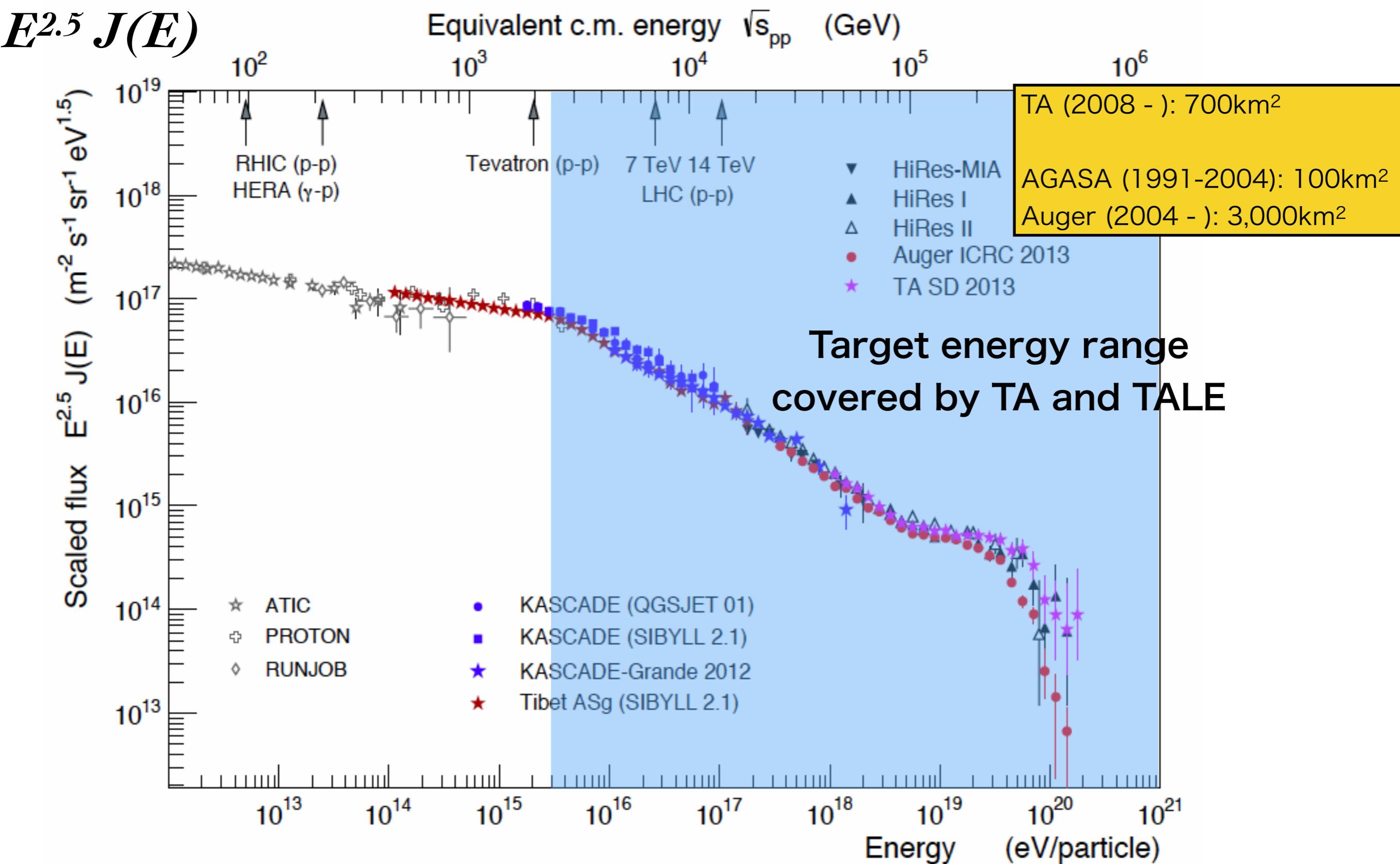
高エネルギー宇宙線研究部門／TA実験前代表
荻尾 彰一

宇宙線

- ・ 宇宙を飛び交う、高エネルギーの粒子
- ・ 主成分は陽子=水素の原子核
- ・ (通常) 10^8 eV以上 (のものを指す)
- ・ (大概) プラスの電荷を持つ



Telescope Array (TA) : UHECR observatory in the northern hemisphere



最高エネルギー宇宙線研究で 解明したいこと

- ・大きなエネルギーはどこまで？
- ・その仕組み＝宇宙最大の
高エネルギー現象とは？

①そのエネルギーは？

= 3×10^{20} eV

可視光より20桁以上大きい
(観測史上最高記録)

②その源は？

?わかっていません
候補は
銀河と銀河の衝突、など



③どのくらいの到来頻度？

とても少ない！

~ 1km^2 に100年に1個

④どうやってつかまえる（見る）？

空気シャワーを捕まえる！

どうやってつかまえる（見る）？

1個の高エネルギー宇宙線 → 多数の放射線

大気上空で 10^{20} eVの宇宙線



大気の底で1000億個の放射線

「空気シャワー」

大気の底=地上に到来するこれらの粒子たちを
とらえればよい



どうやって捕まえる（見る）？

方法①

地上に落ちてきた
空気シャワー粒子
をつかまえる

放射線検出器を地上にならべる



どうやって捕まえる（見る）？

方法②

このあたりの空気が光る



大気の発光を検出する



夜空の写真を撮る（撮りまくる）

どうやって捕まえる（見る）？

方法②

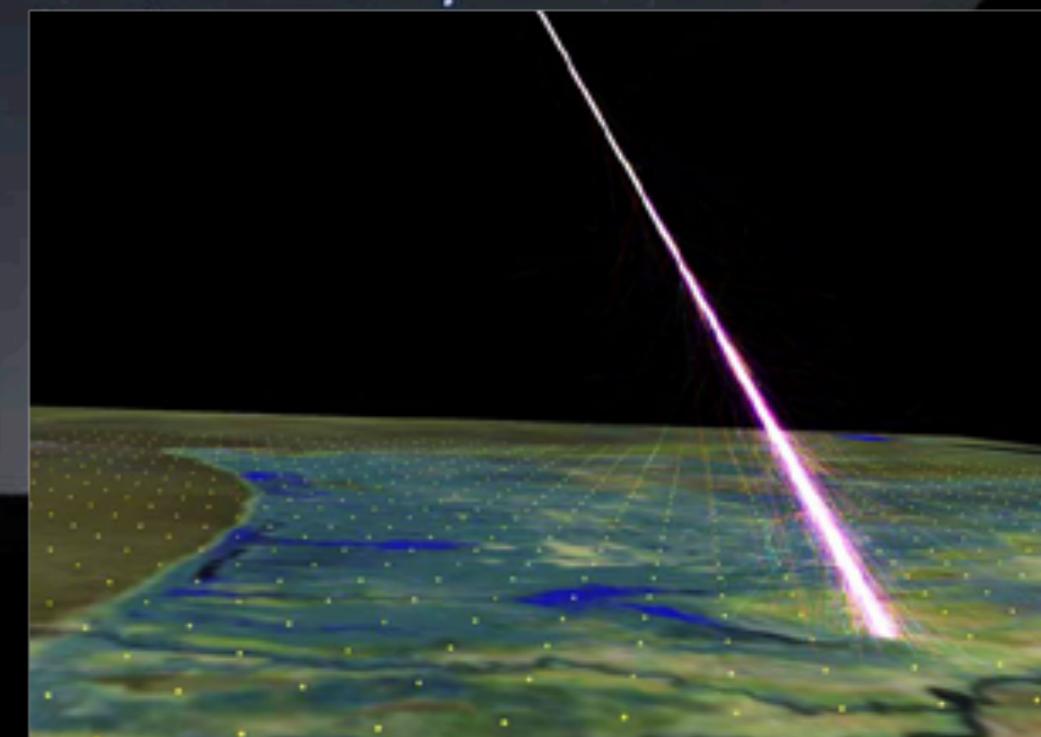
このあたりの空気が光る



大気の発光を検出する



gruemwhipps-photography.com

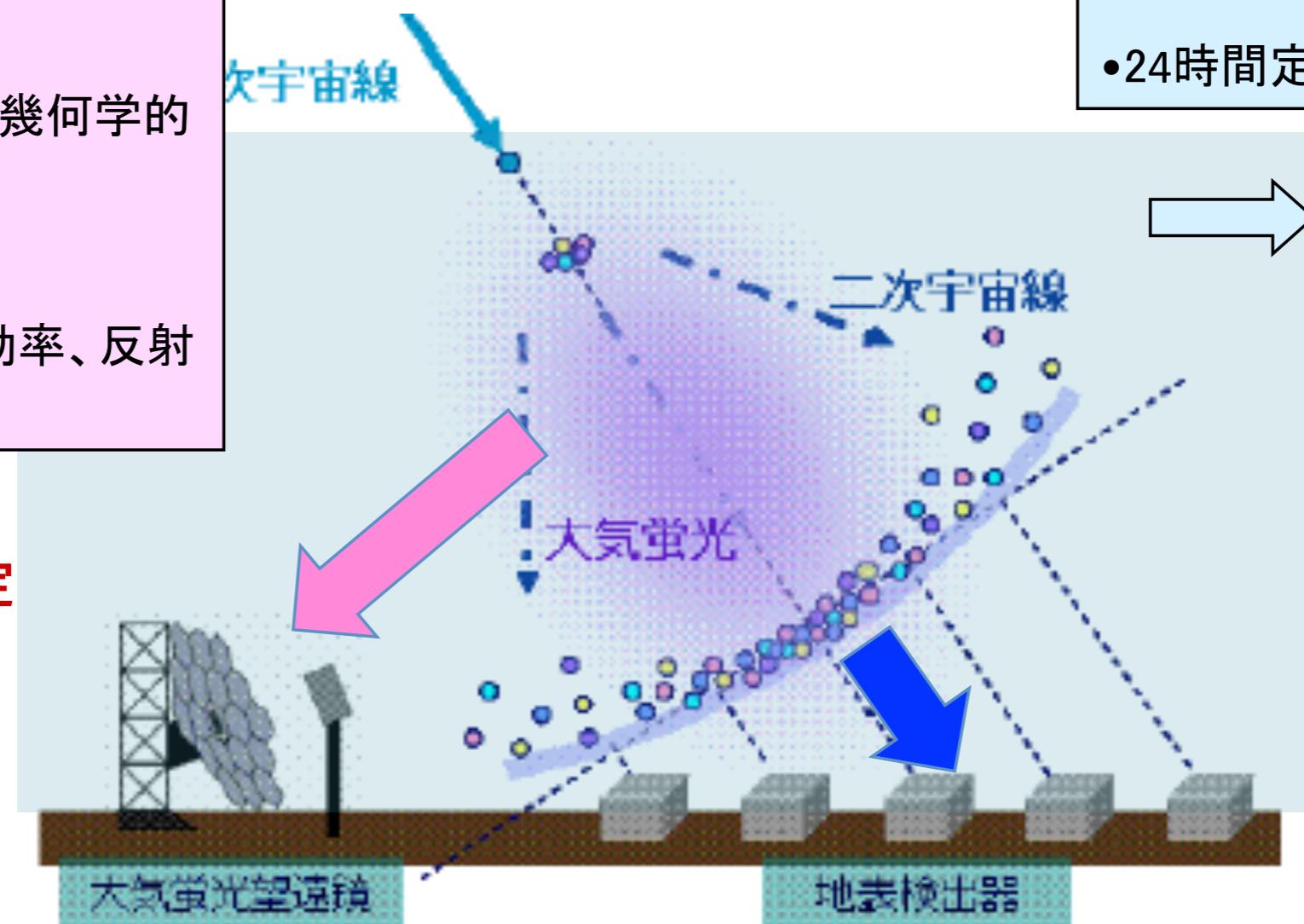


2つの方法の比較

大気蛍光法

- 縦方向発達
- カロリメトリックなエネルギー推定
- ステレオ観測による幾何学的な到来方向の推定
- 晴天&夜間のみ
- 蛍光の散乱、量子効率、反射率などの補正

→ 粒子種同定



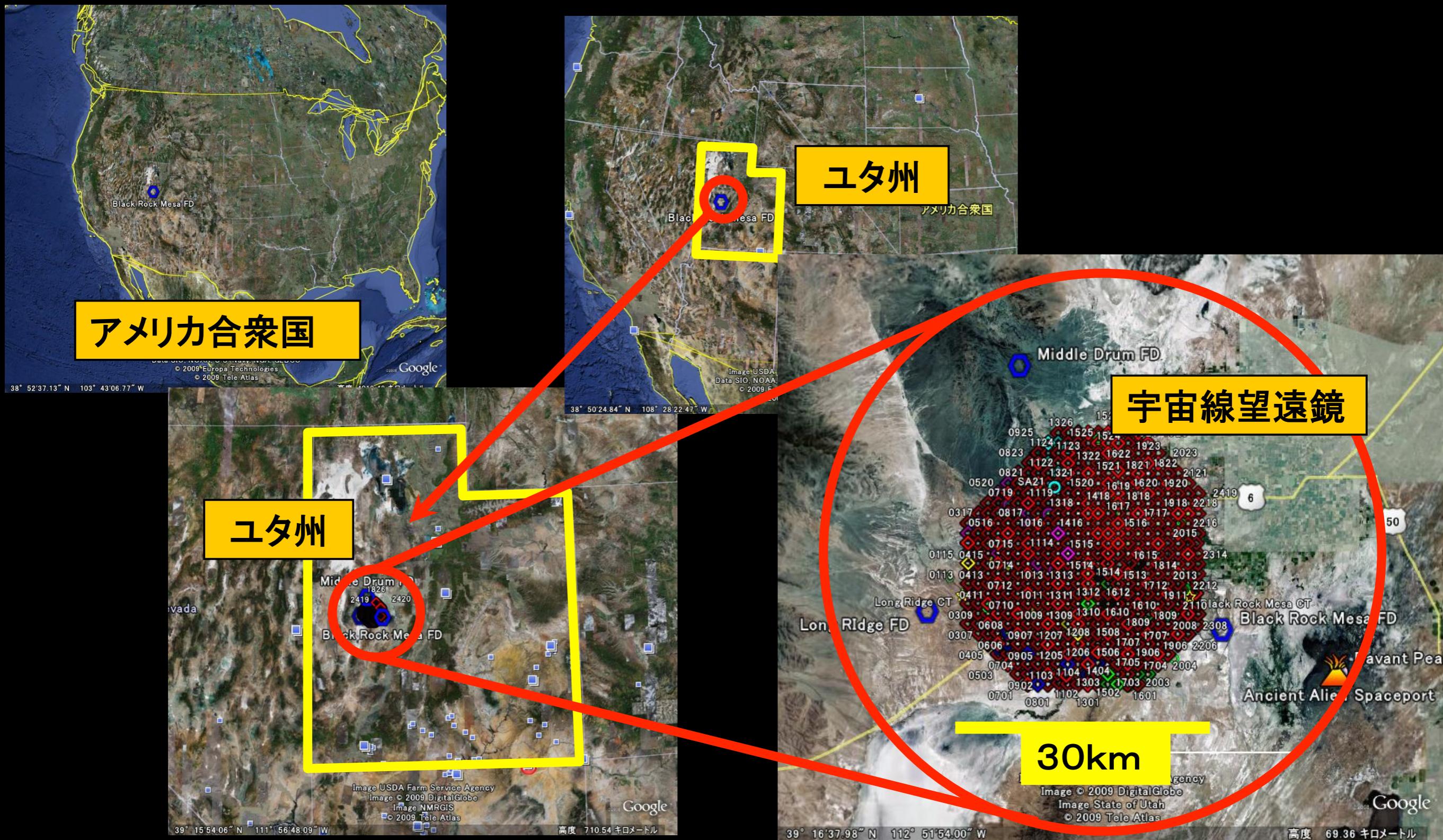
地表検出器法

- 粒子数の横方向分布
- 地表での総粒子数
- 粒子種によるエネルギー推定の系統誤差
- 24時間定常観測

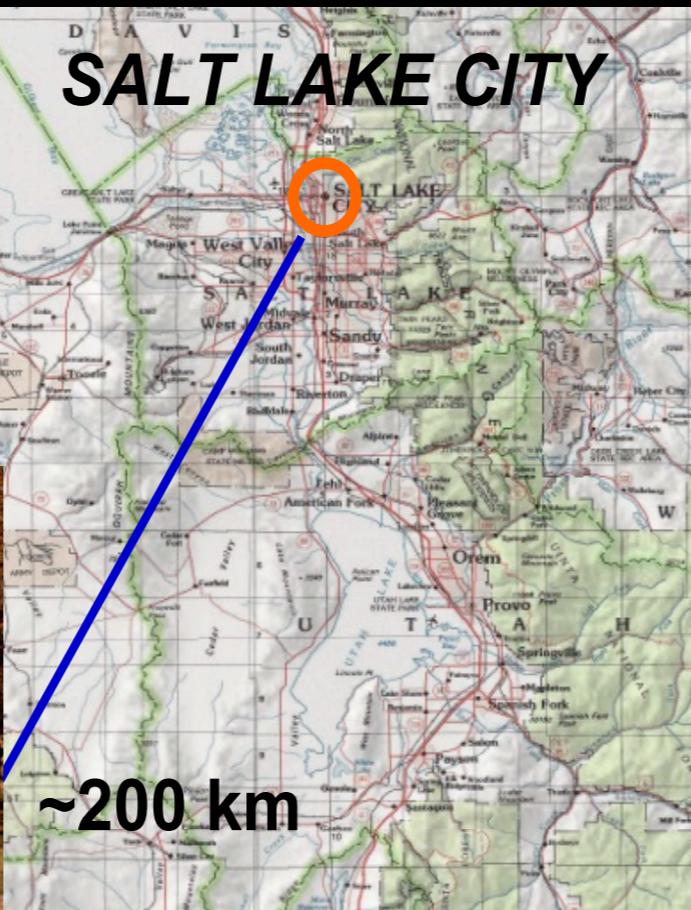
宇宙線望遠鏡実験（TA実験）

- ・日本、米国、ロシア、韓国、ベルギー、チェコ、
スロベニア、ポーランド
- ・35研究機関、約140人の共同研究者
- ・2003年から建設開始、2008年完成
- ・アメリカ合衆国ユタ州南西部

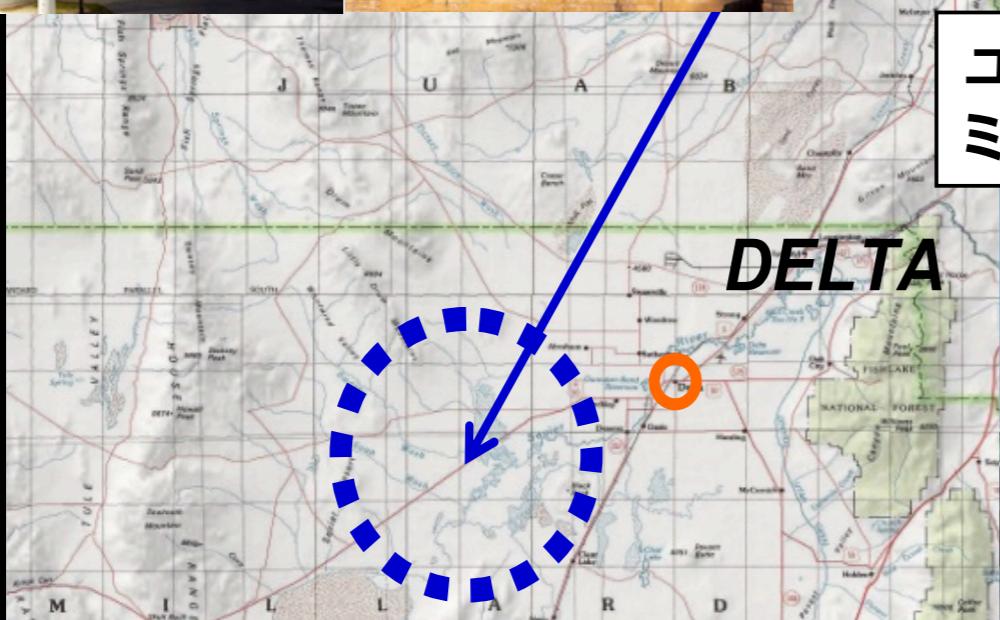
宇宙線望遠鏡実験 (TA実験)



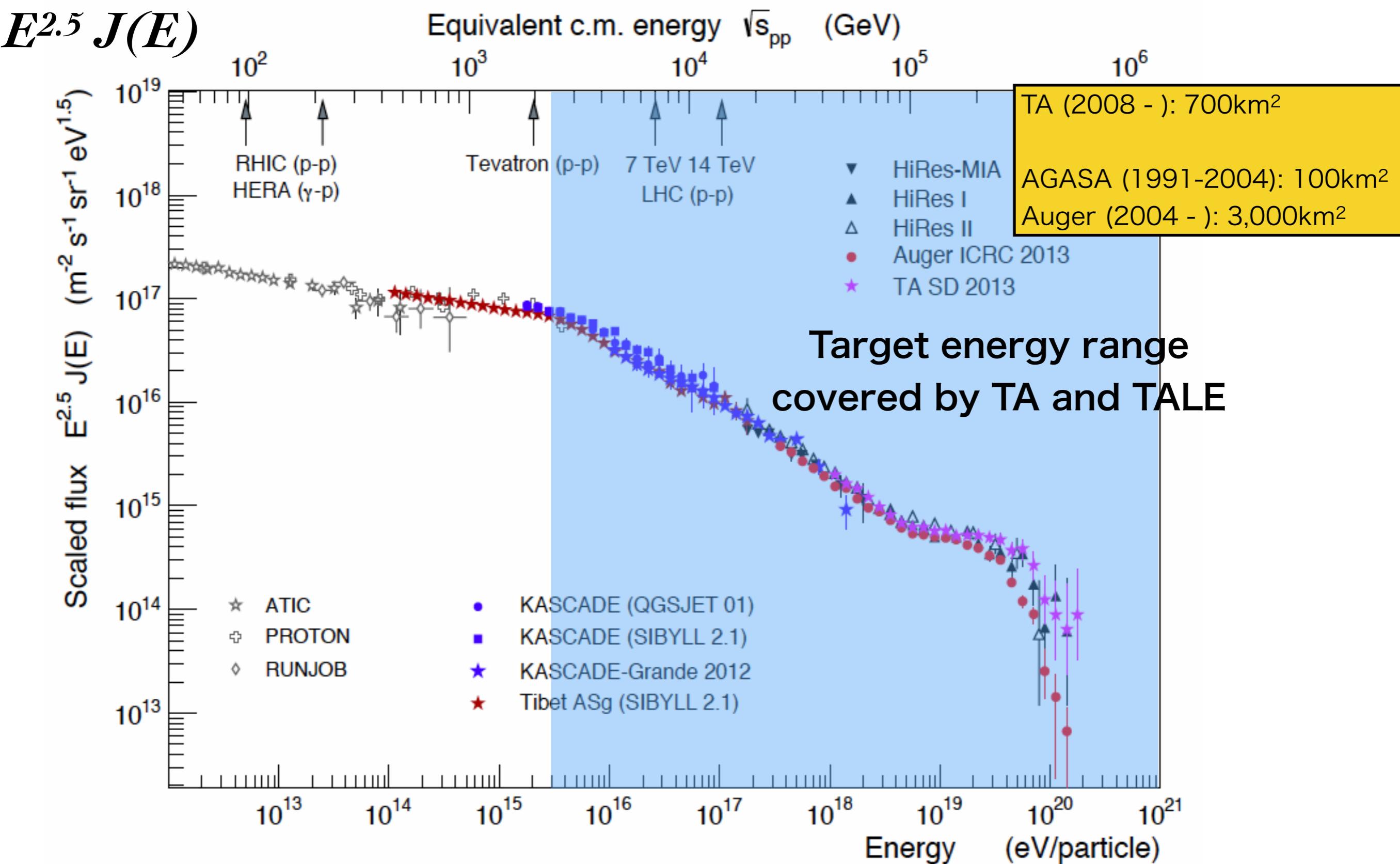
宇宙線望遠鏡実験 (TA実験)



ユタ大学付属
ミラード郡宇宙線研究センター

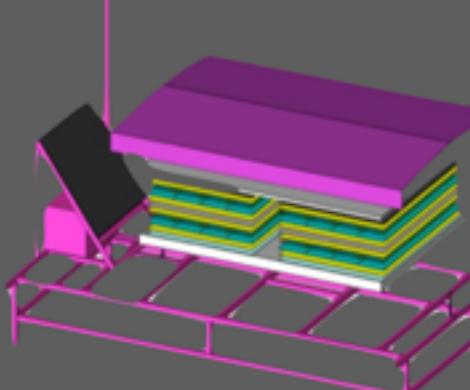


Telescope Array (TA) : UHECR observatory in the northern hemisphere



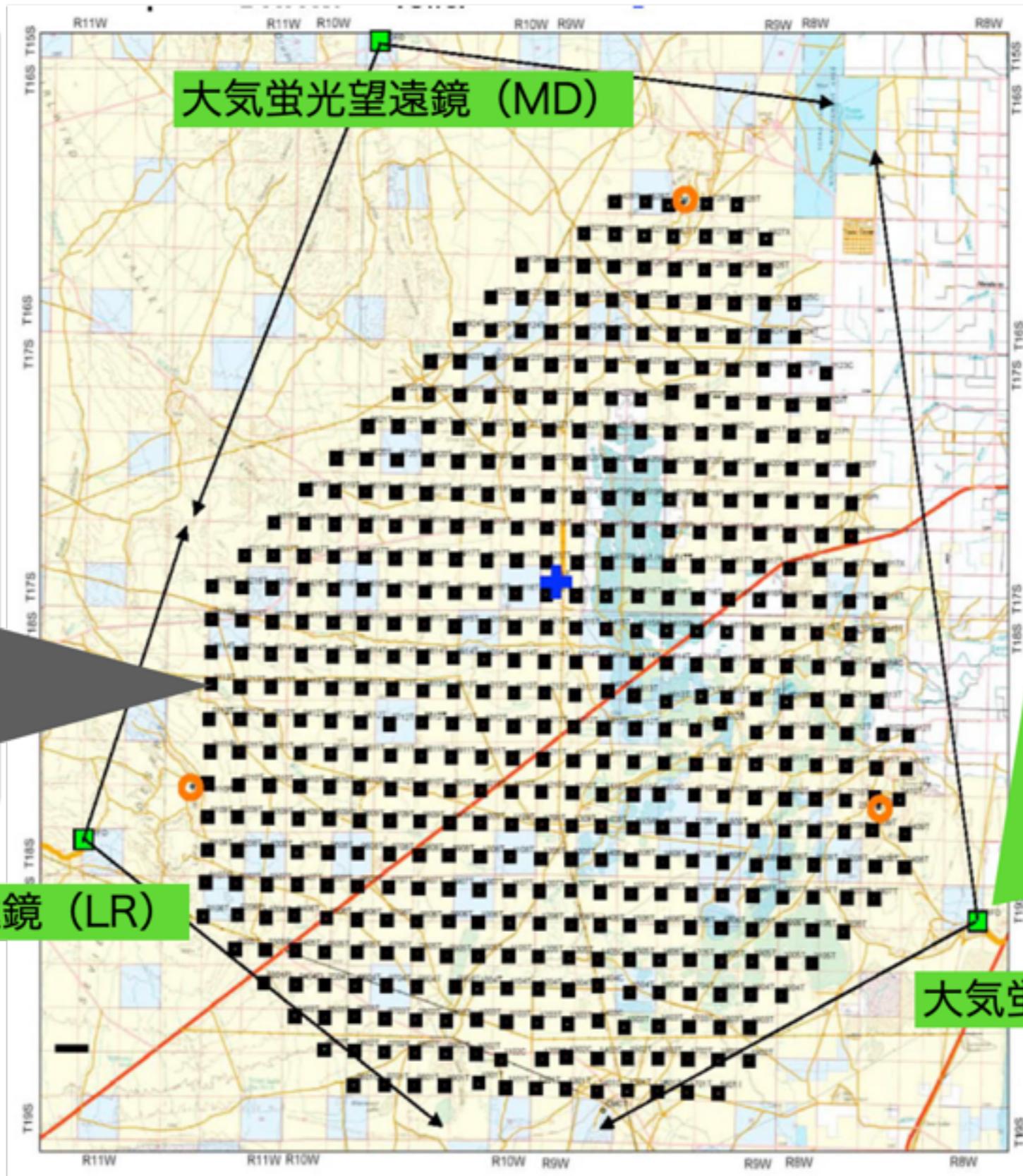
Telescope Array

地表粒子検出器
3m²、507台
1.2km間隔

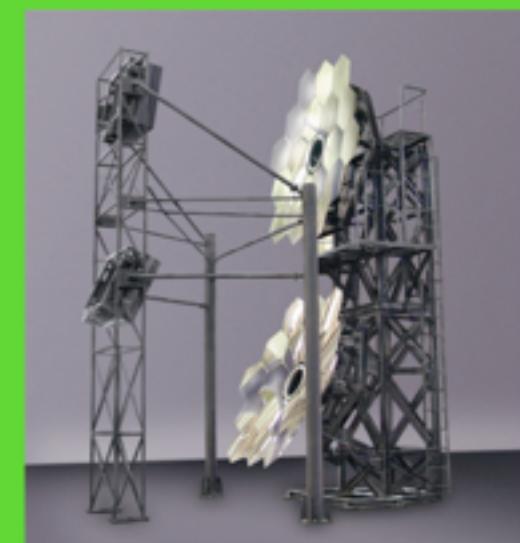


大気蛍光望遠鏡 (LR)

面積 ~700 km²

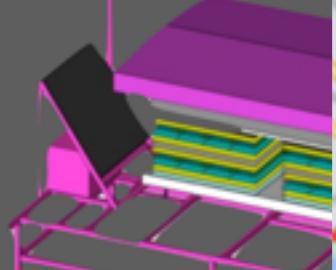


大気蛍光望遠鏡
口径3m、38台
3カ所



Telescope Array

地表粒子検
3m²、50
1.2km間



大気室

面積 ~700 l



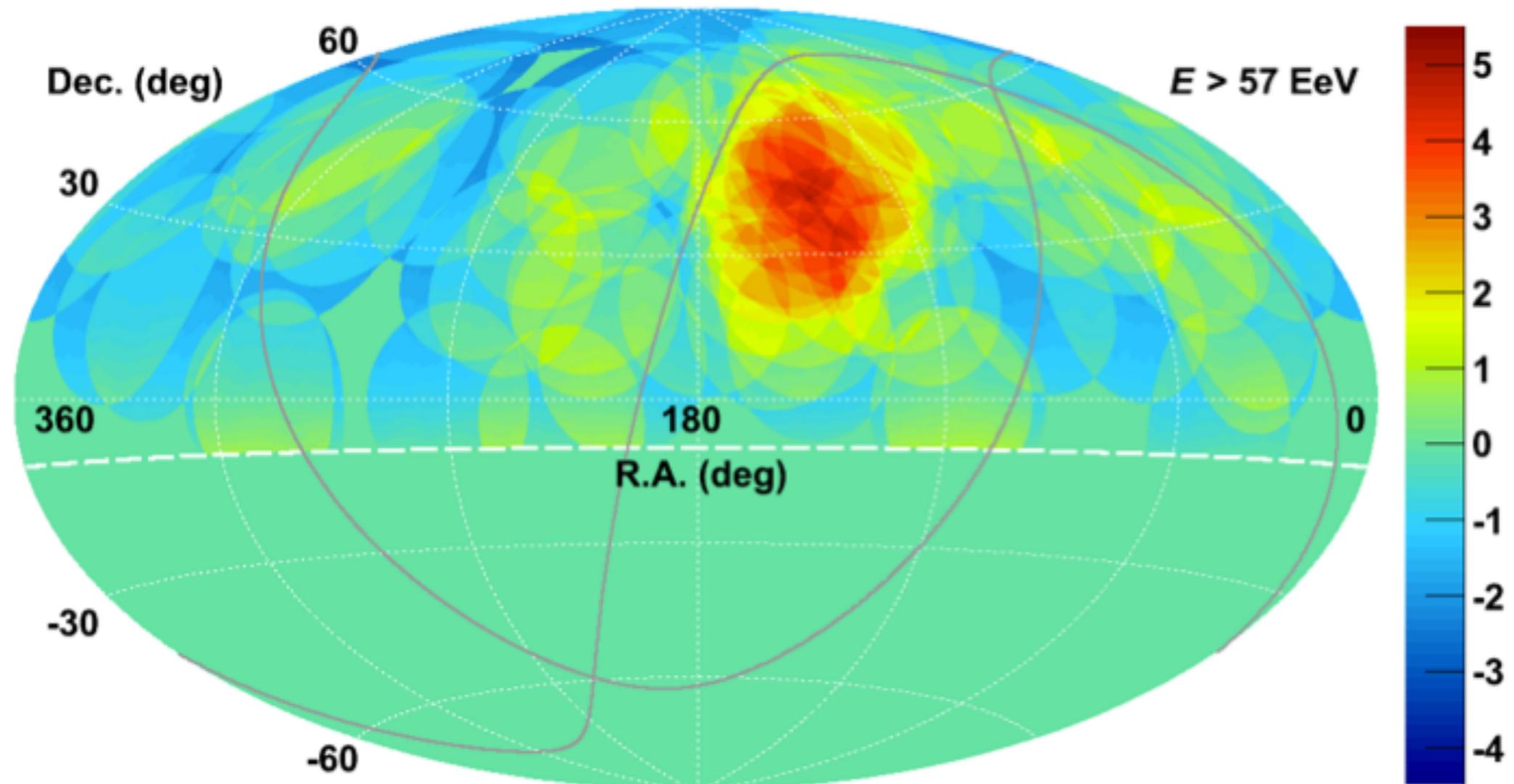
望遠鏡
38台
所



BRM)

Published “Hotspot” (5 yr data)

Ap. J., 790, L21(2014)



$E > 57$ EeV (Observed 72 events)

Events over-sampled using 20° circles

19 events fall in “Hotspot” centered at $\alpha=146.7^\circ$, $\delta=43.2^\circ$ (Expected = 4.5 events)

Li-Ma significance $\sim 5.1 \sigma$, chance probability in an isotropic sky to be 3.4σ

拡張テレスコープアレイ実験

-最高エネルギー宇宙線で解明する近傍の極限宇宙-

佐川 宏行

東京大学 宇宙線研究所

2015年3月26日 特別推進研究ヒアリング



TAx4計画

現行TA実験の南北に地表検出器500台増設

→1,000台、面積3,000km²

2015年から建設開始（予算がついた！）

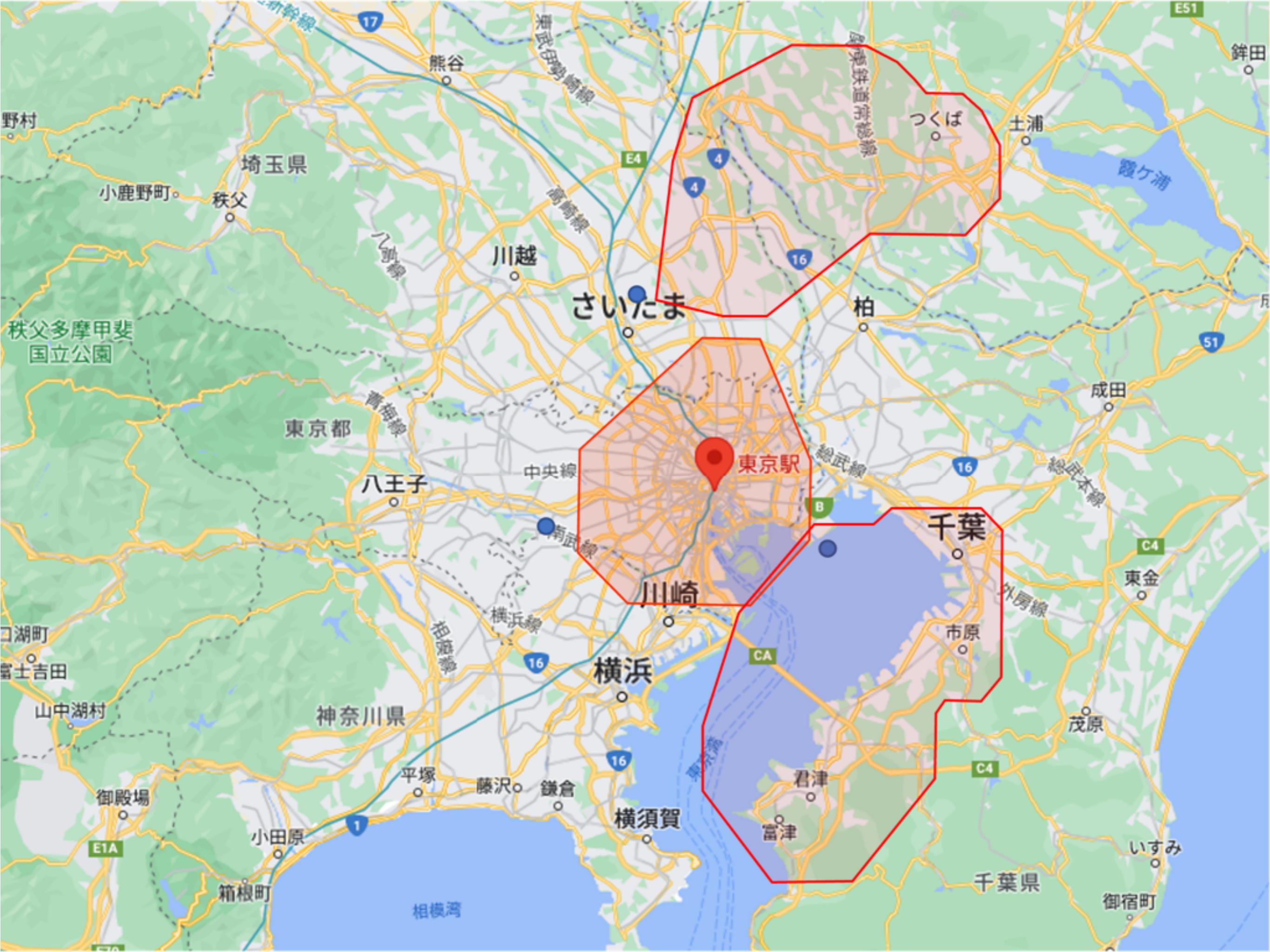
2019年運用開始（約760台）

TA地表検出器

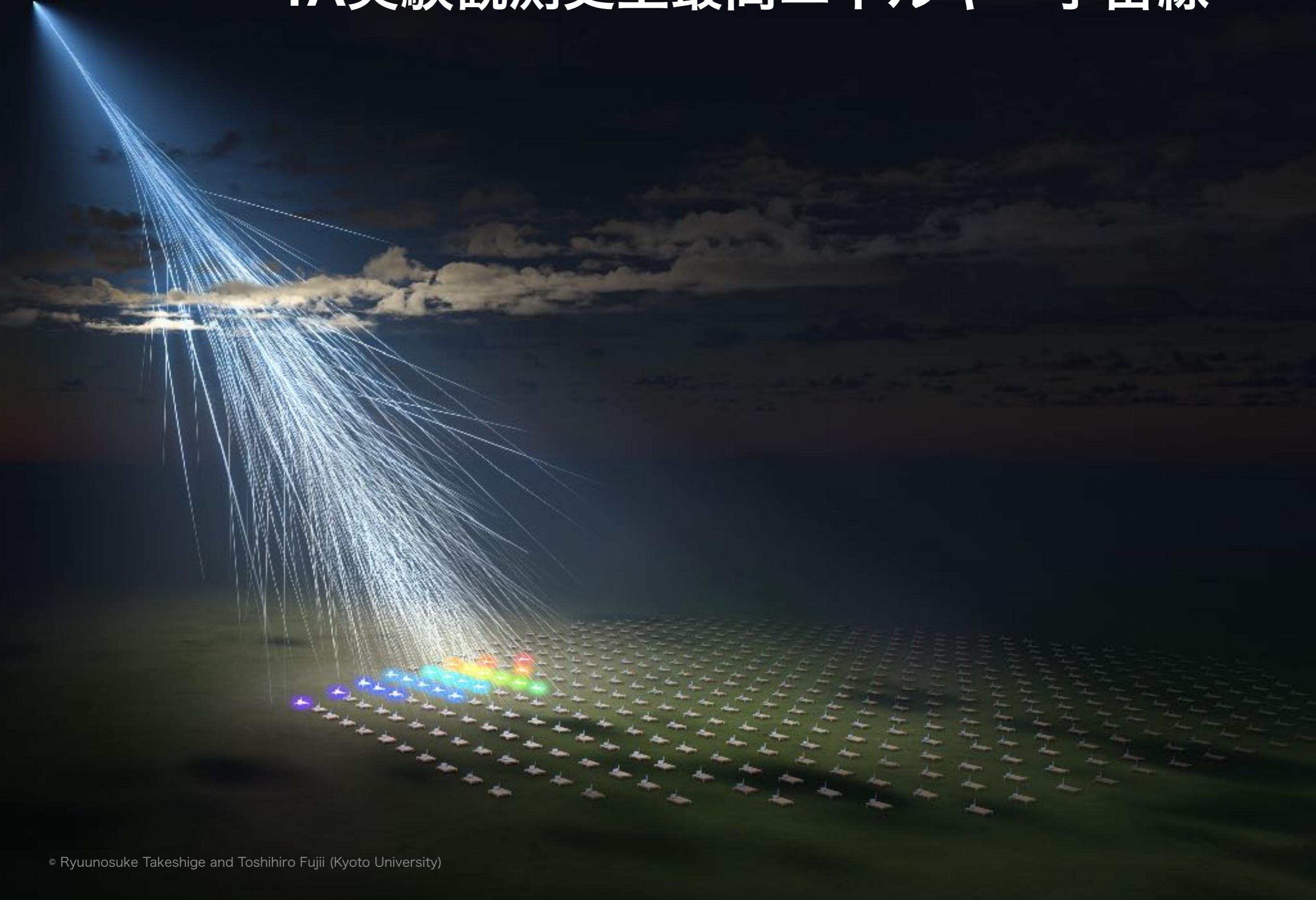
TAx4地表検出器

扇型はTAx4の大気蛍光望遠鏡の視野

TAx4地表検出器



TA実験観測史上最高エネルギー宇宙線

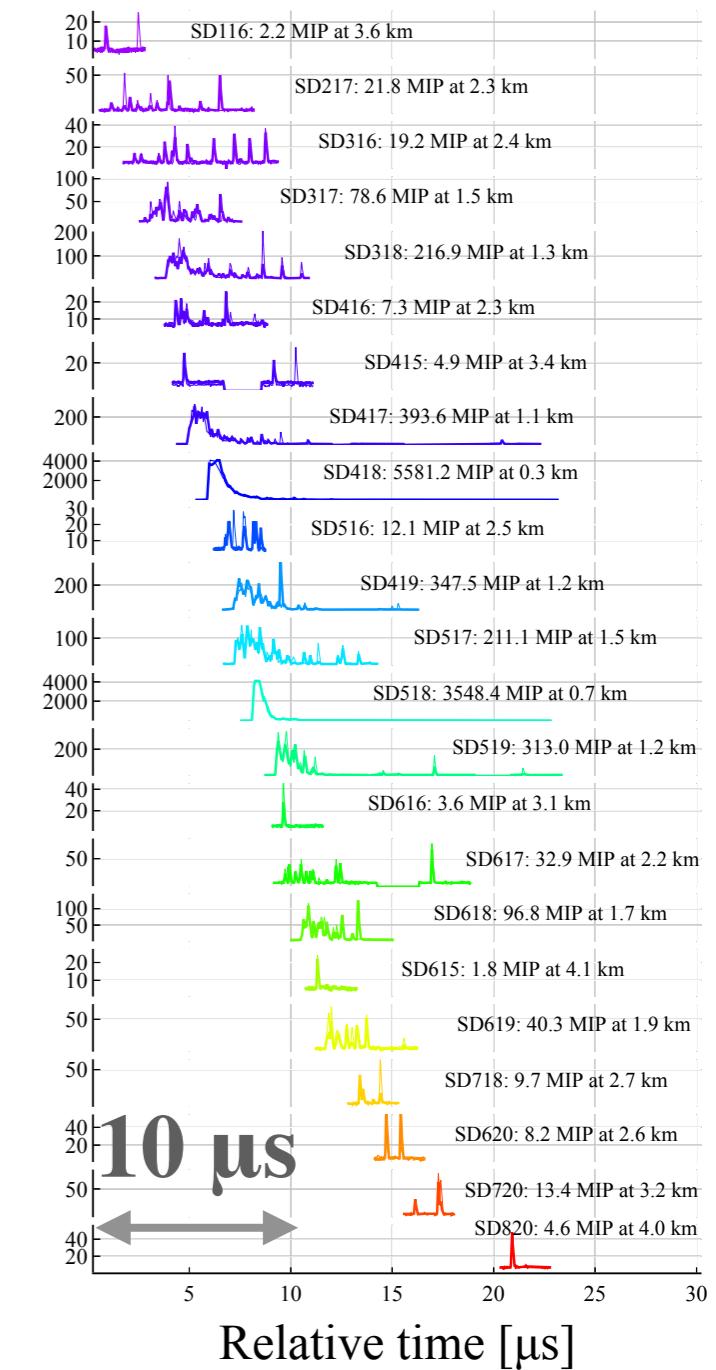
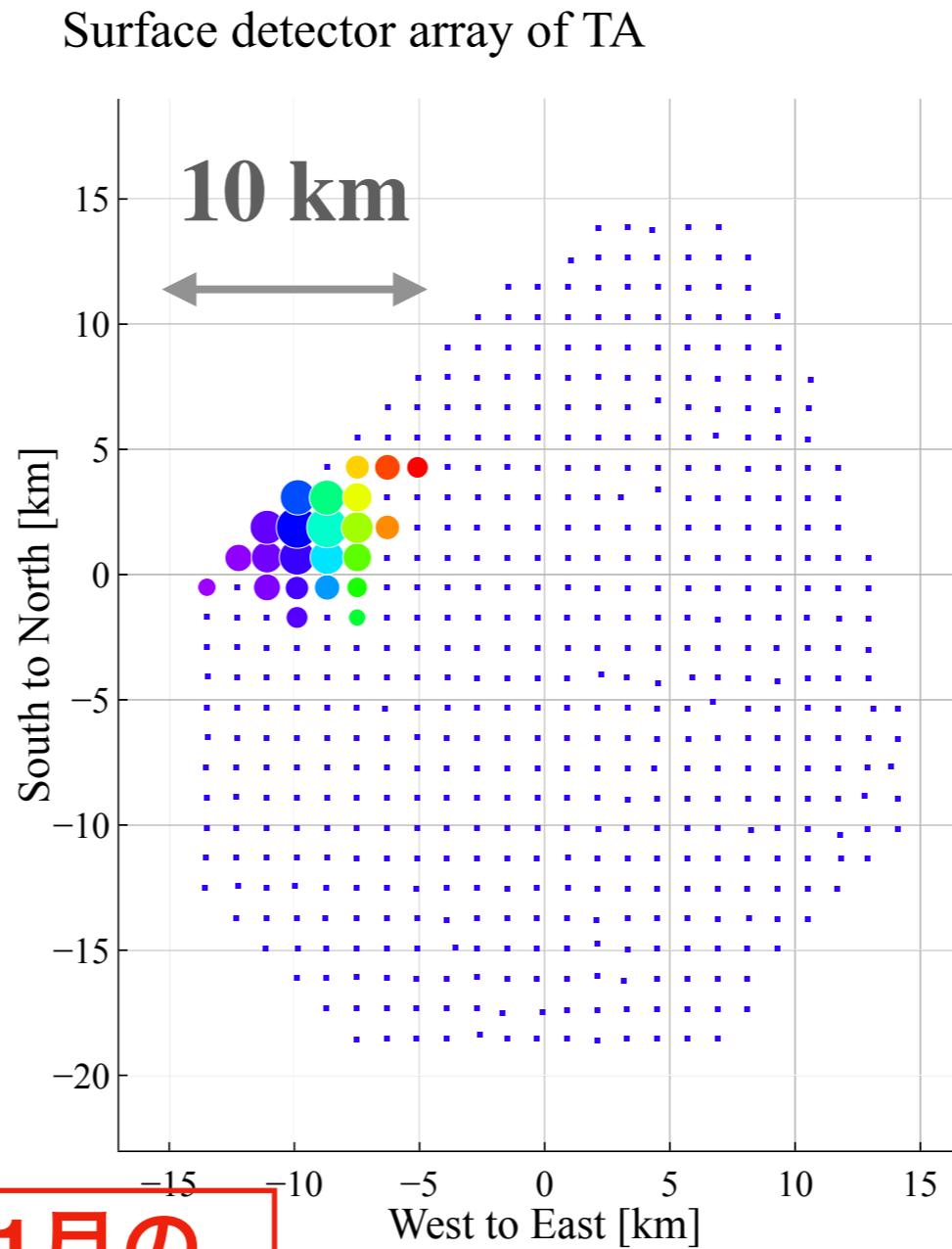


2021年5月27日に観測された宇宙線

25



- $E = 244 \pm 29 \text{ (stat.)} \pm 51 \text{ (syst.) EeV}$
- コア位置から800 mでの粒子数密度
- $S_{800} = 530 \pm 57 \text{ (m}^{-2}\text{)}$
- 天頂角 $\theta = 38.6^\circ$
- 大気蛍光望遠鏡による観測なし



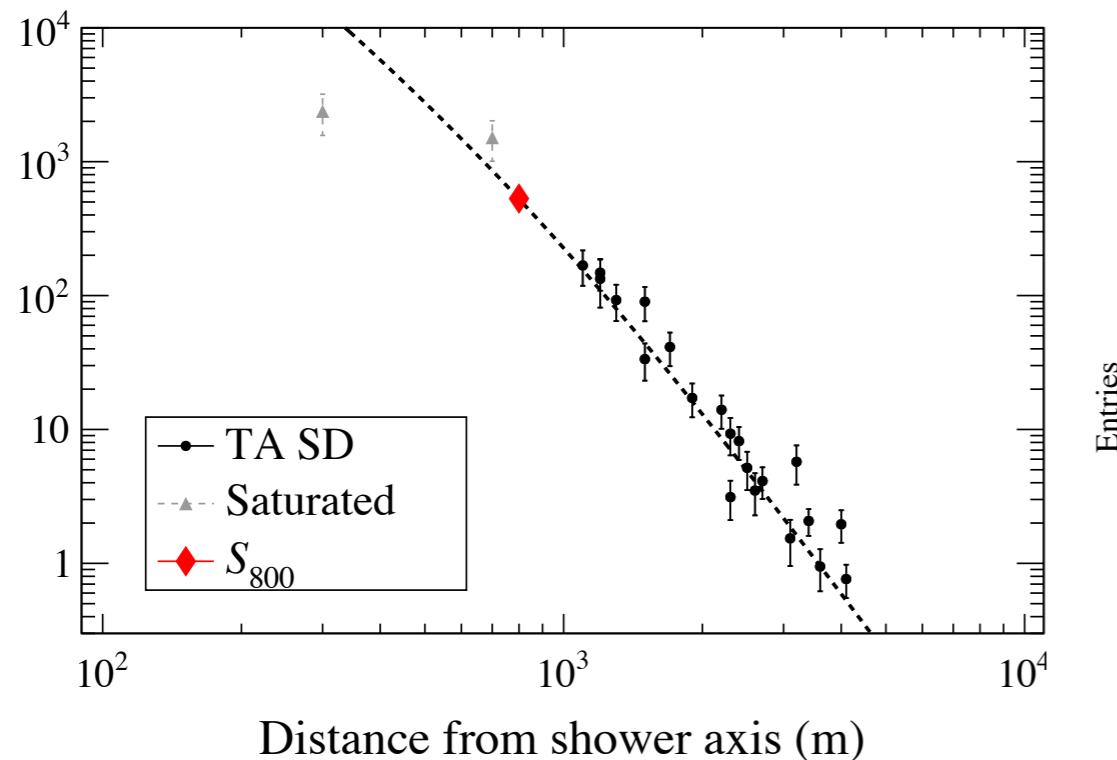
2008年5月から2021年11月の
13.5年のTAの観測運用の中で
最もエネルギーの高い宇宙線

この事象固有のエネルギー分解能の評価



27

横方向密度分布

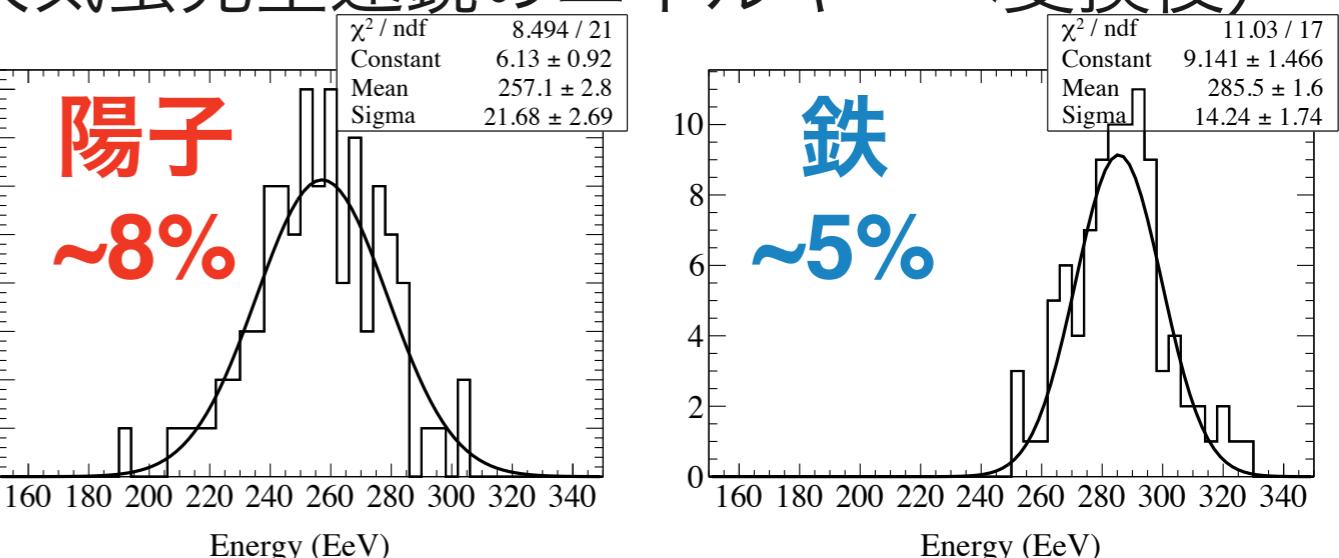


SDでの再構成エネルギーは310 EeV、大気蛍光望遠鏡でのエネルギーに変換すると244 EeV

同じ到来方向と同じエネルギーを仮定してこの事象固有のエネルギー分解能を評価した

QGSJetII-04のシミュレーションによる エネルギー決定精度評価

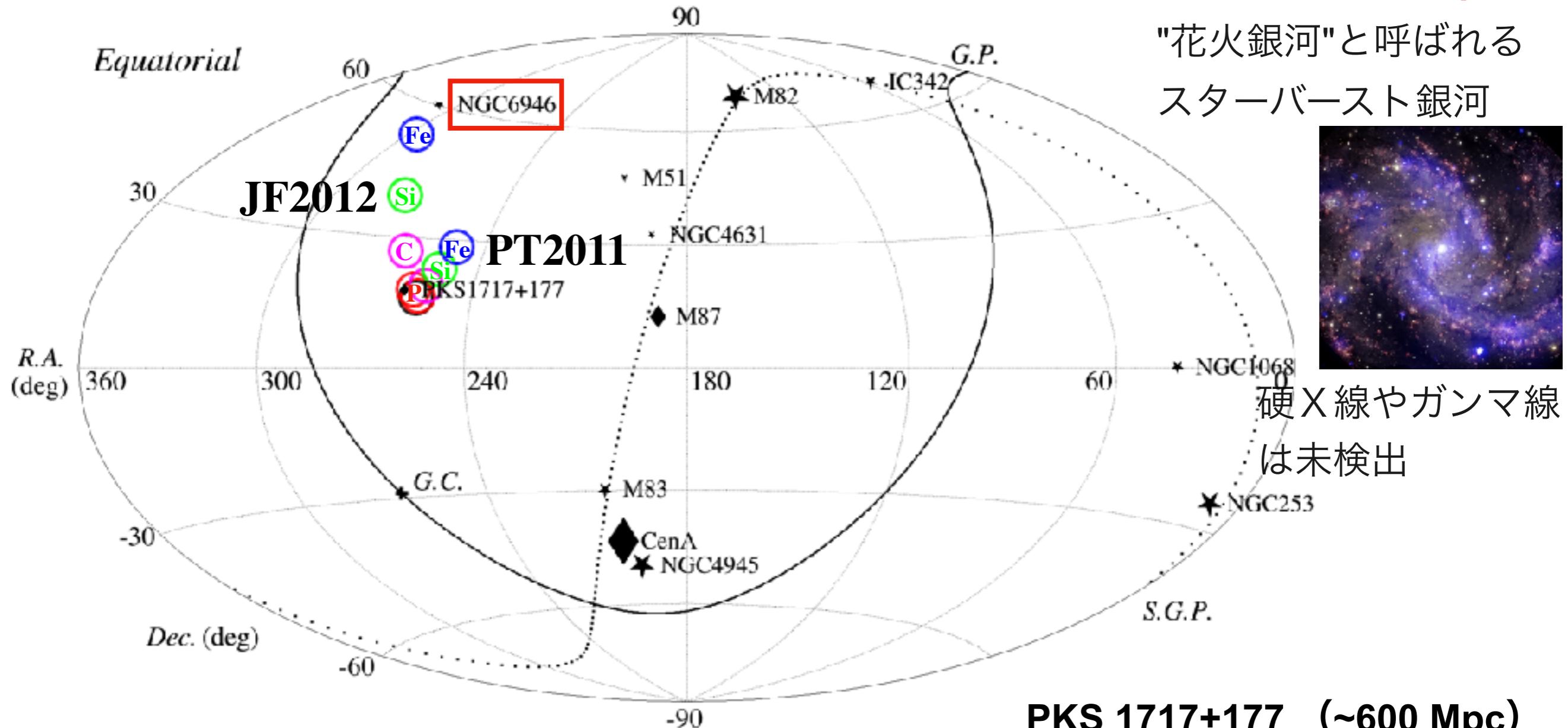
(大気蛍光望遠鏡のエネルギーへ変換後)



	Day	Time	E
1	2021/05/	10:35:56	244
2	2014/06/	15:32:41	176
3	2016/05/	07:02:03	172

銀河磁場での曲がり角を補正

28



NGC6946 (5.9 Mpc)

"花火銀河"と呼ばれる
スターバースト銀河

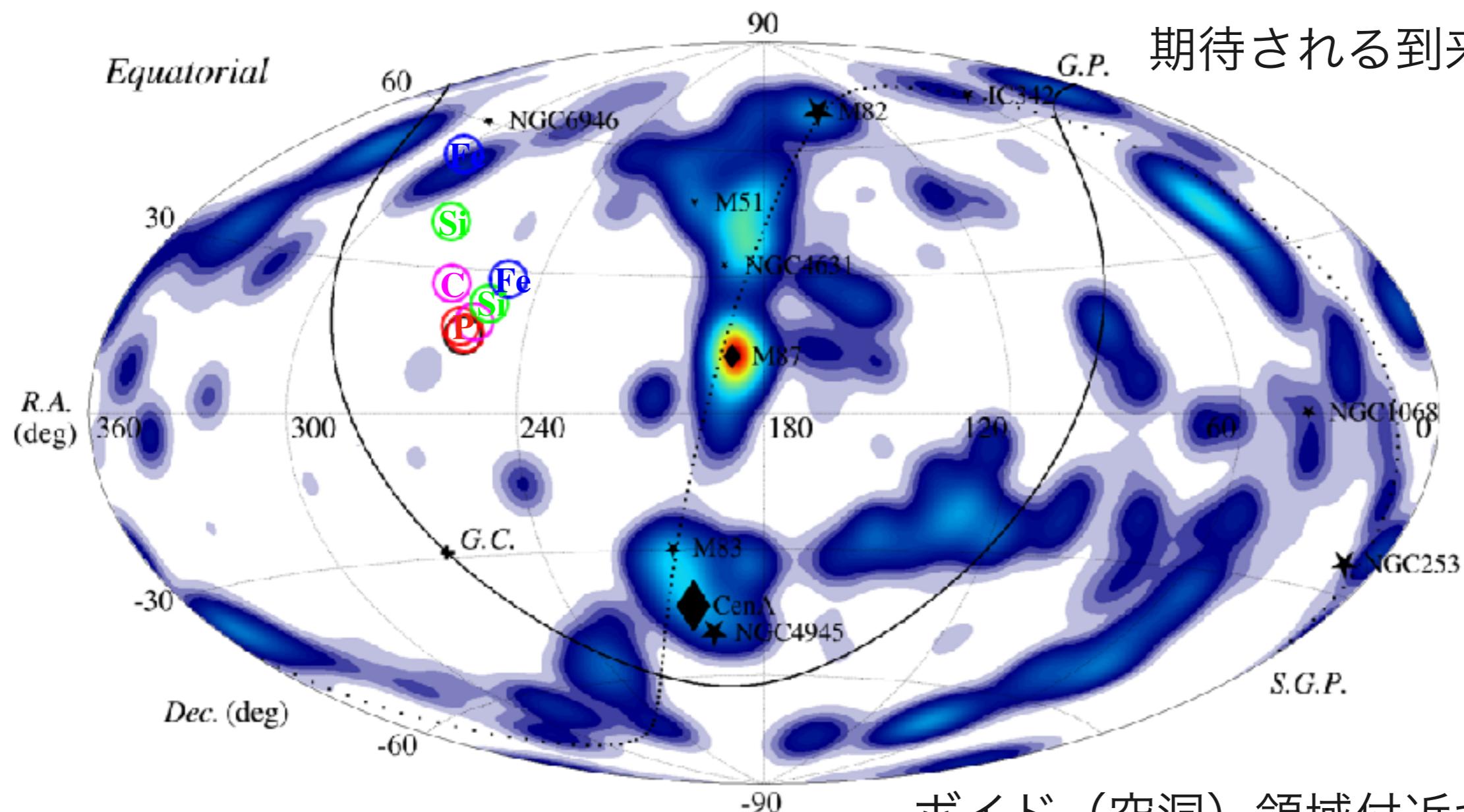


硬X線やガンマ線
は未検出

PKS 1717+177 (~600 Mpc)

過去にフレアがある活動銀河核
GZK限界のため到来できない

近傍天体分布から期待される異方性



Calculated by M. Kuznetsov

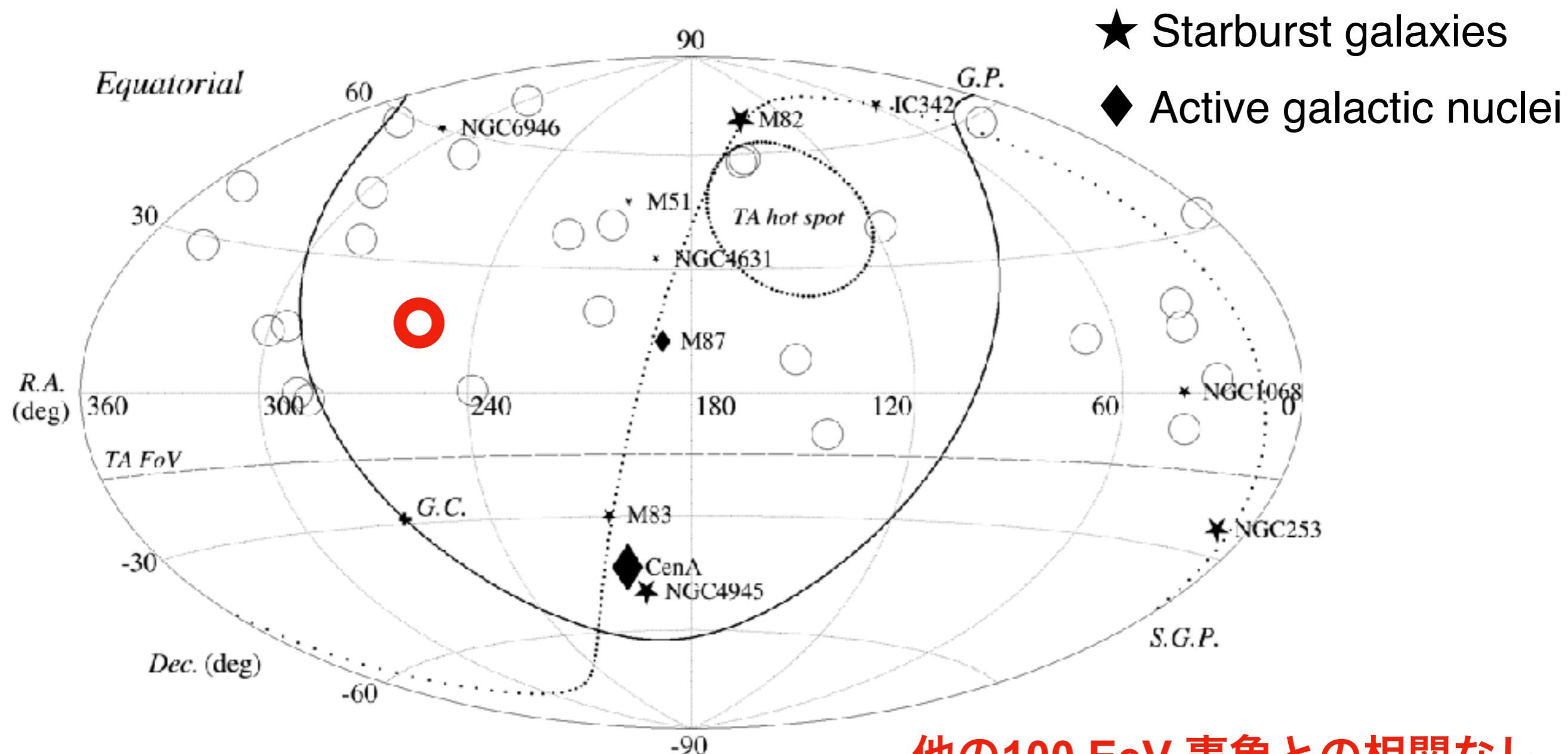
近傍天体から 244 EeV の²⁹Fe原子核が到来した場合に期待される到来方向分布

ボイド（空洞）領域付近から到来
→ 天体起源では可能性が低い方向

100 EeV以上の28事象の到来方向分布



30



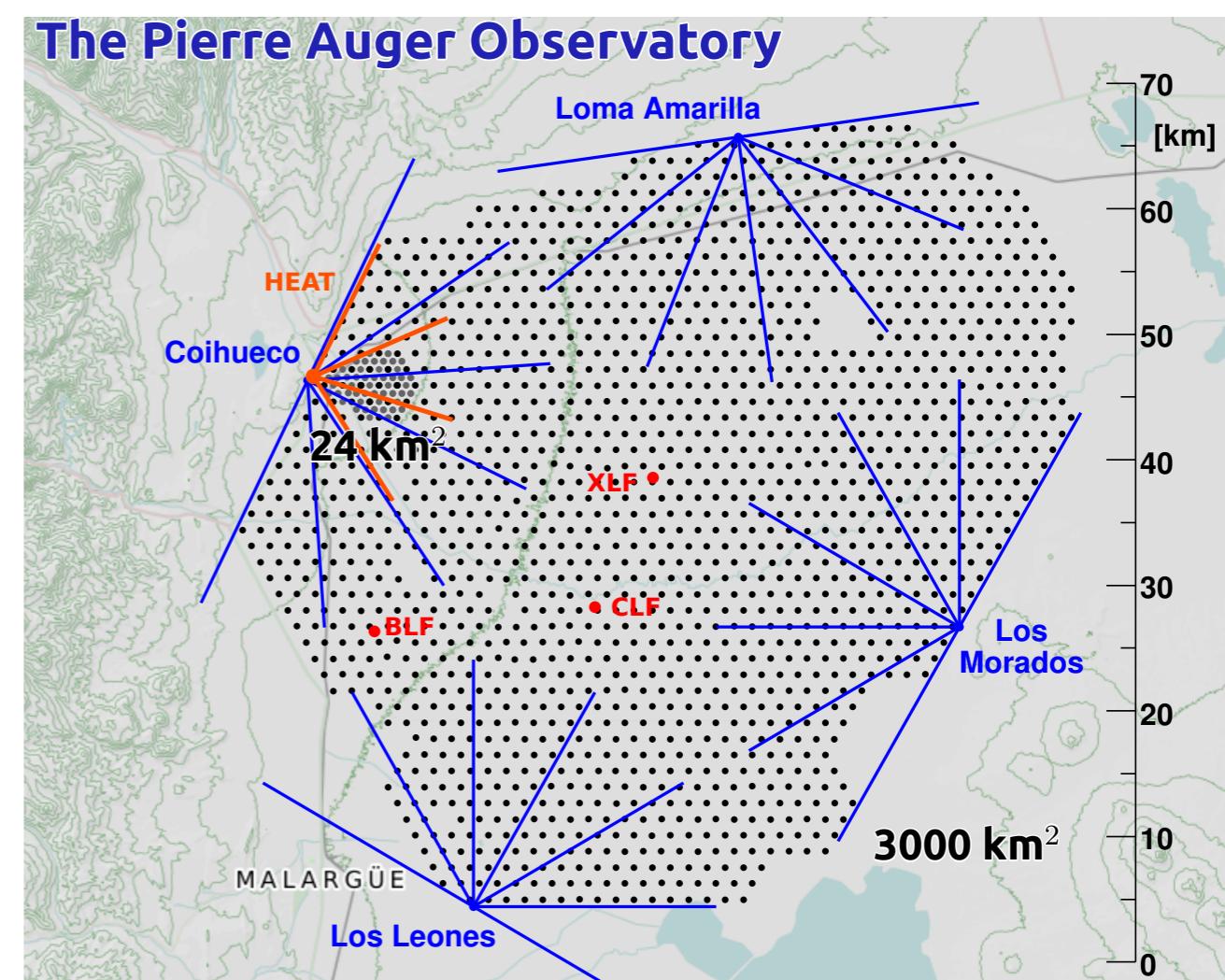
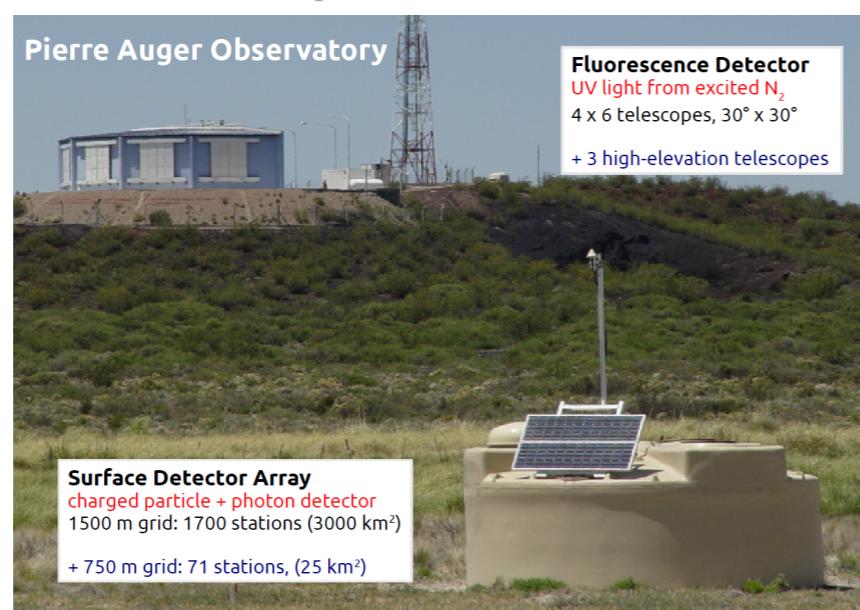
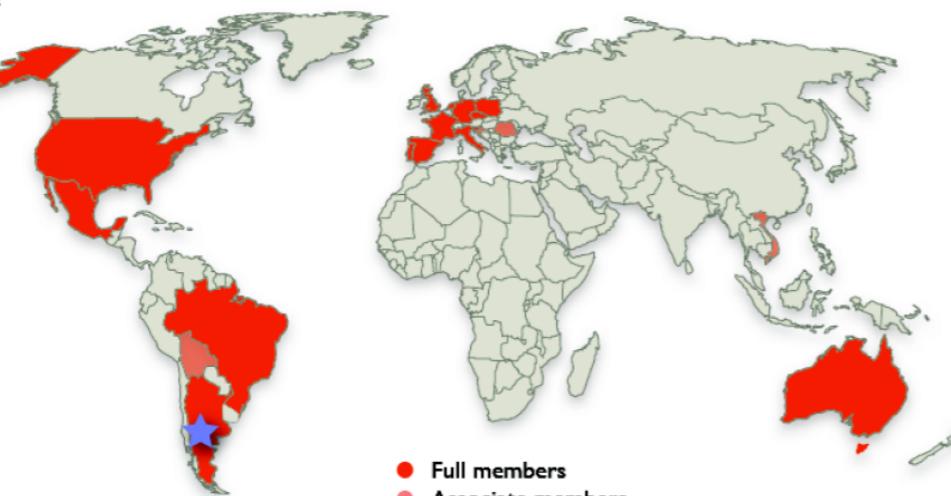
他の100 EeV 事象との相関なし
ホットスポットとも異なる方向

Pierre Auger Observatory

About 500 members from 19 countries

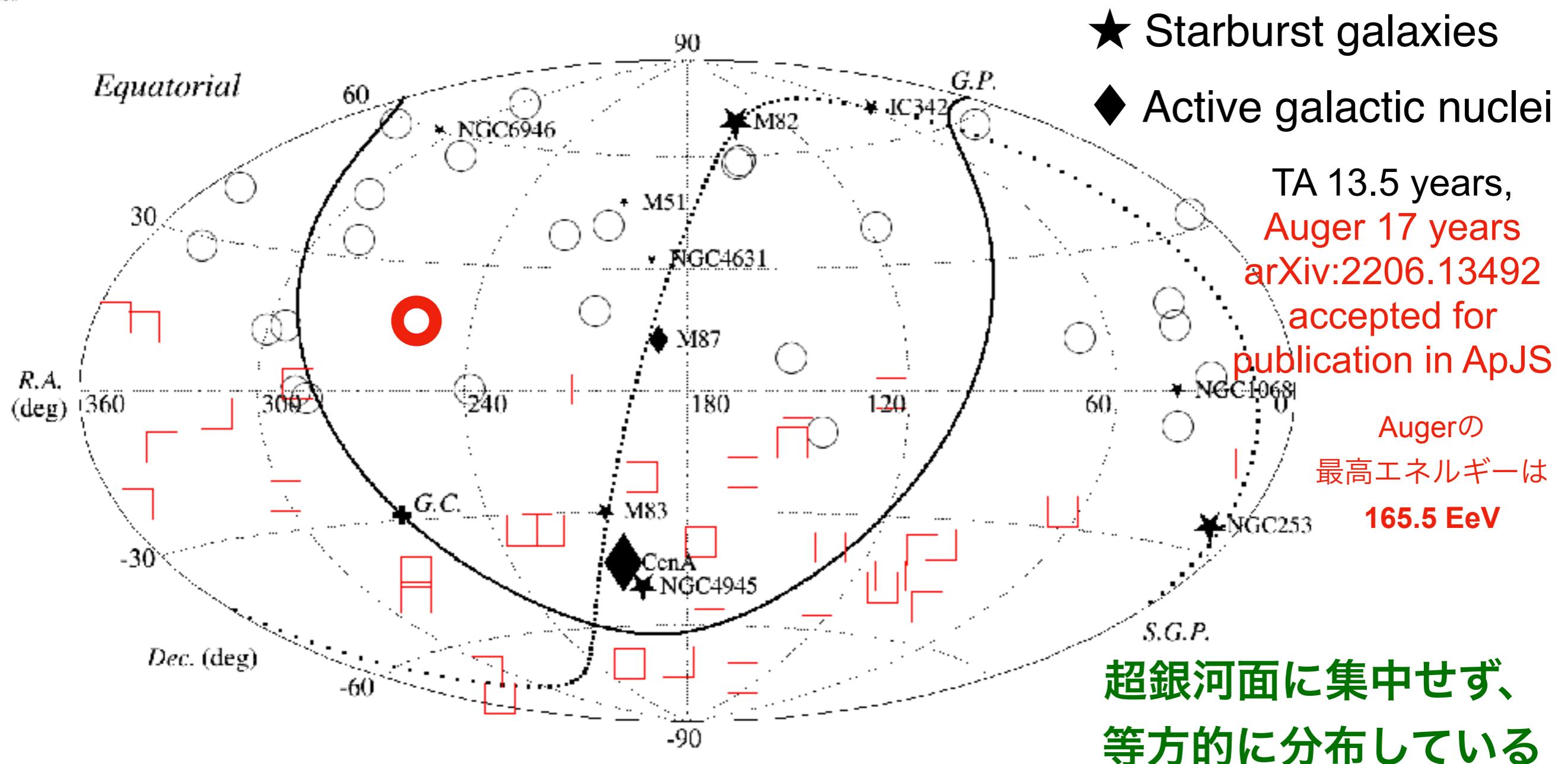
Argentina
Australia
Brazil
Croatia
Czech Republic
France
Germany
Italy
Mexico
Netherlands
Poland
Portugal
Slovenia
Spain
United Kingdom
USA

Bolivia*
Romania*
Vietnam*
*Associated



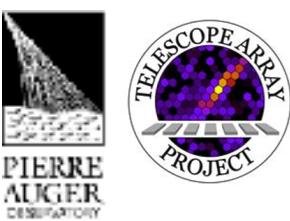
TAとAugerの100 EeV以上の到来方向分布

32



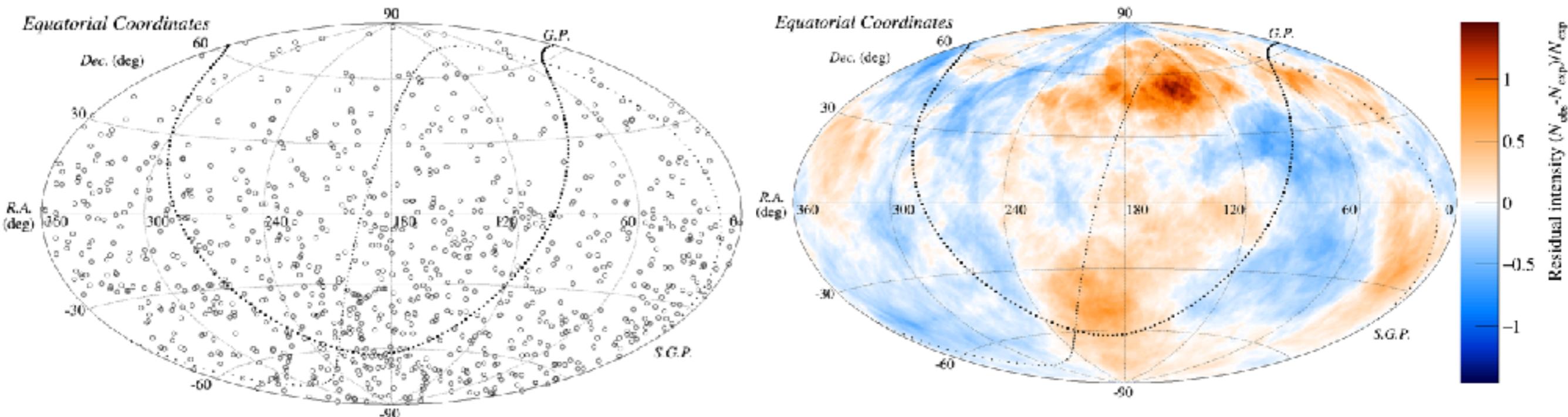
>50 EeVでの到来方向分布

33



Cutoff ($E_{\text{TA}} > 52.3 \text{ EeV}$ $E_{\text{Auger}} > 40 \text{ EeV}$)

T. Fujii et al., PoS (ICRC2021) 291
(2020), arXiv: 2107.02949



- 中角度スケール (~25度) での異方性 (hot/warm spots) が報告されている
- 超銀河面に沿って宇宙線の到来数の過剰が見られる → 天体起源を示唆
- 100 EeVでは等方的に分布 → 50 EeV以上とは別の起源かもしれない

今後 : TA×4, AugerPrime

Telescope Array (TA)

Delta, UT, USA

507 detector stations, 700 km²

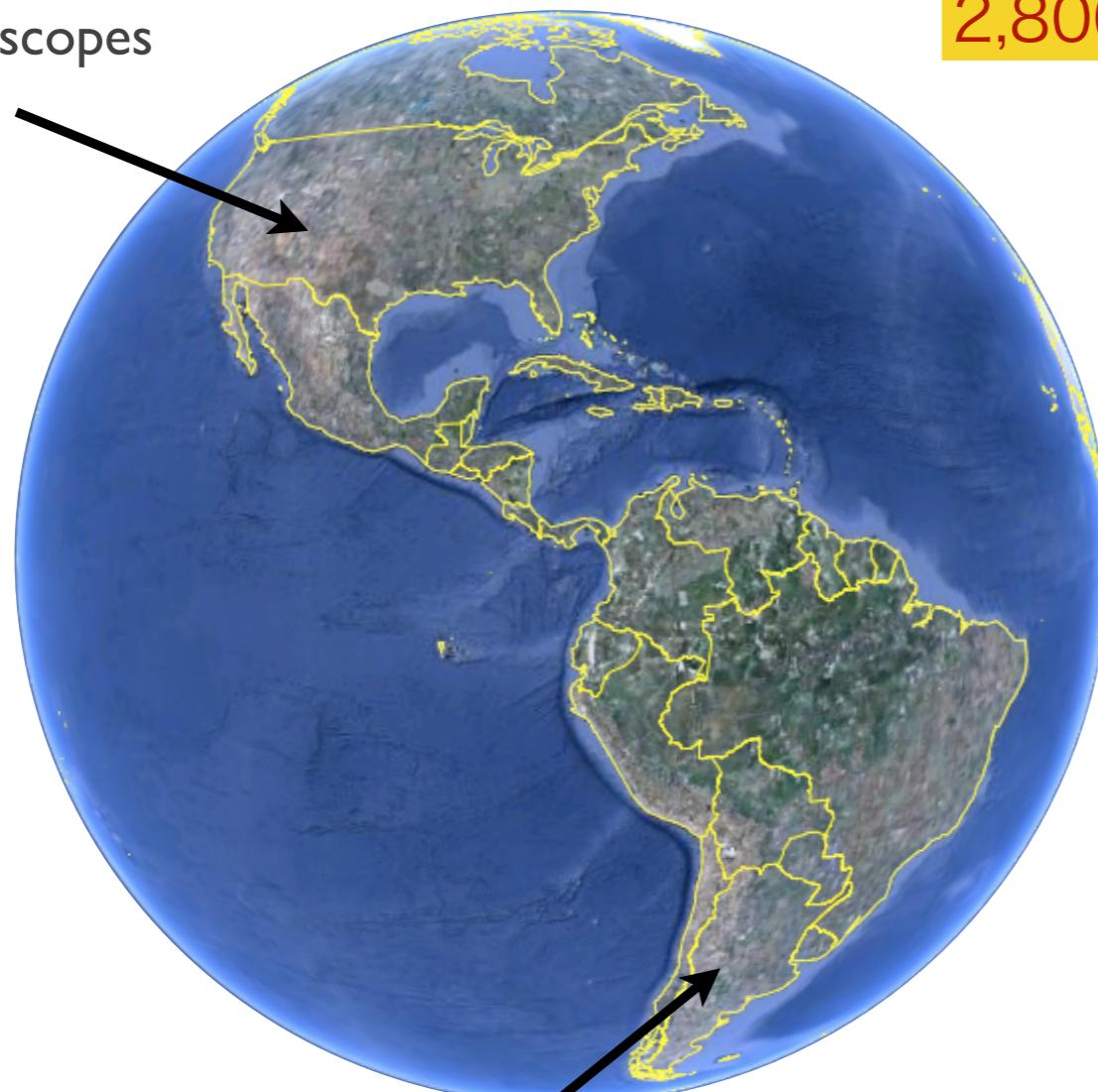
36 fluorescence telescopes



TA×4

1000 scinti. SDs

2,800 km² + 48 FDs



Pierre Auger Observatory

Province Mendoza, Argentina

1660 detector stations, 3000 km²

27 fluorescence telescopes



Auger Prime

1660 water tank+scinti.+antenna SDs

3,000 km² + 27 FDs