

宇宙線研究所シンポジウム
「法人化後の宇宙線研究所研究プロジェクトについて」

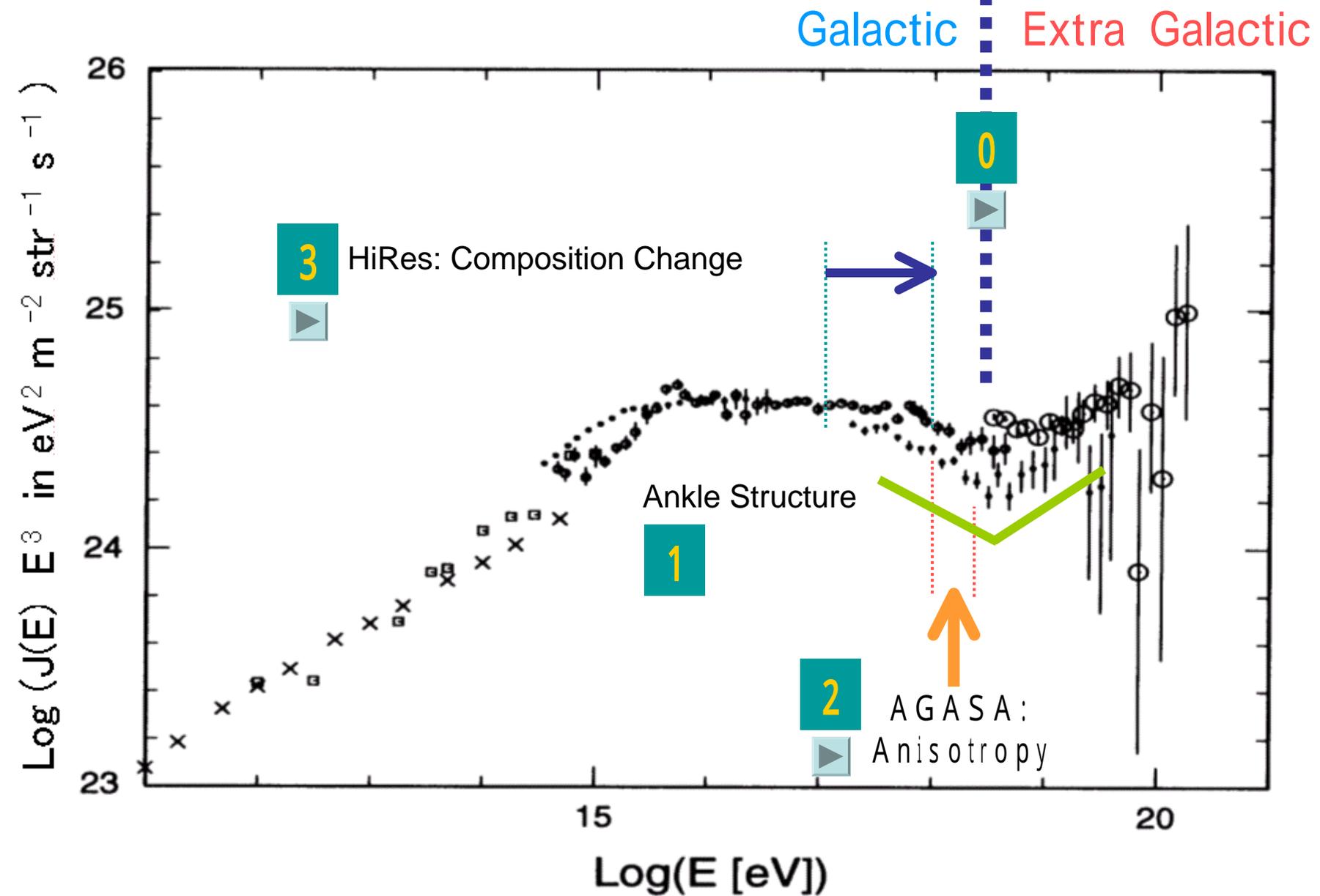
宇宙線望遠鏡計画： 新提案

平成15年2月1日
福島正己

AGASA (+ HiRes)

銀河系内宇宙線から

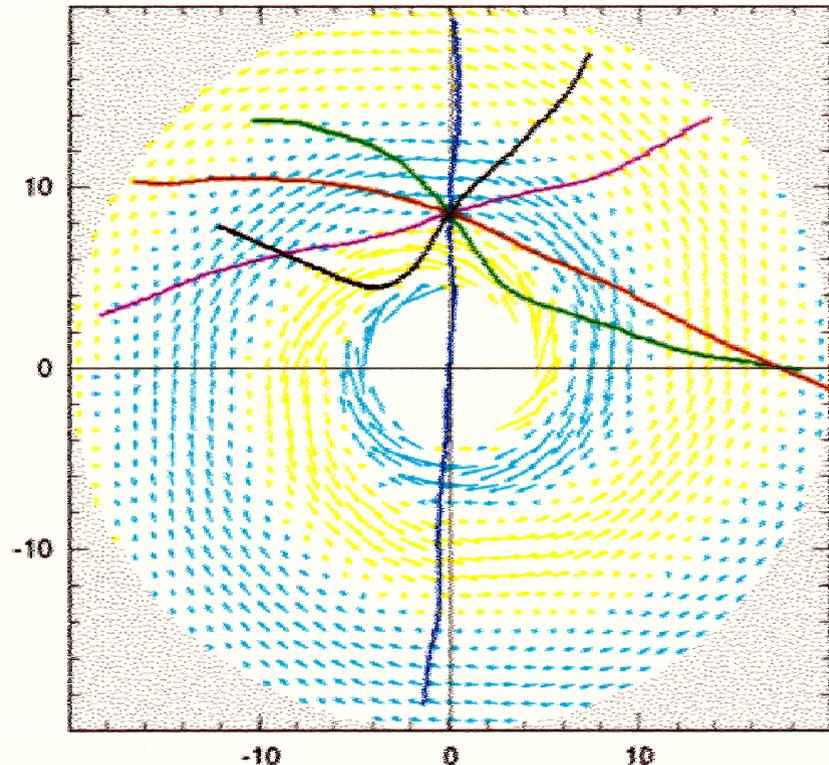
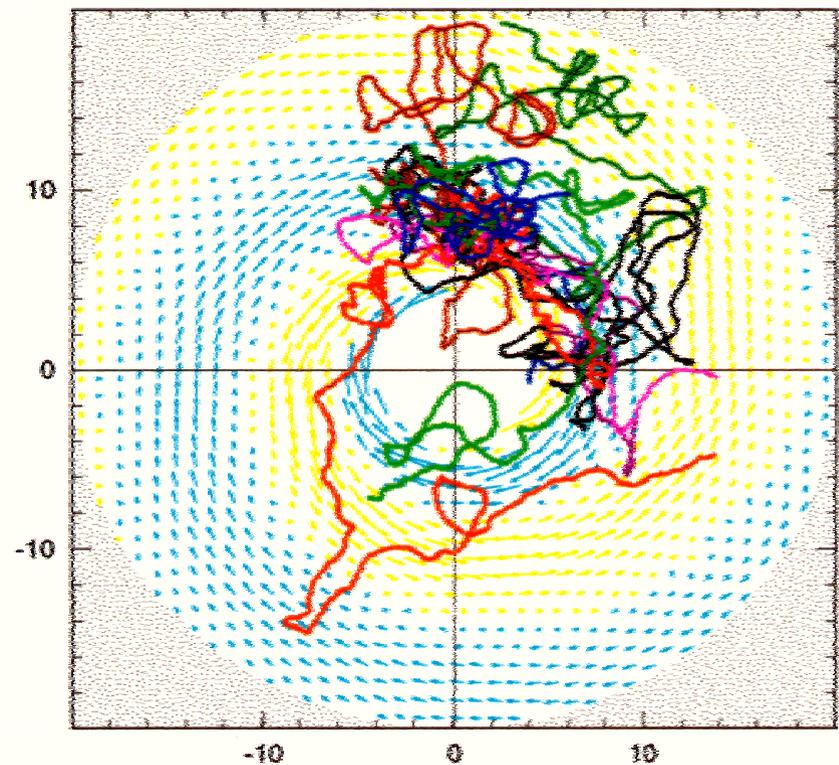
新しい世界：
銀河系外宇宙線へ



銀河系外宇宙線の観測 (エネルギースペクトル)

10^{18} eV

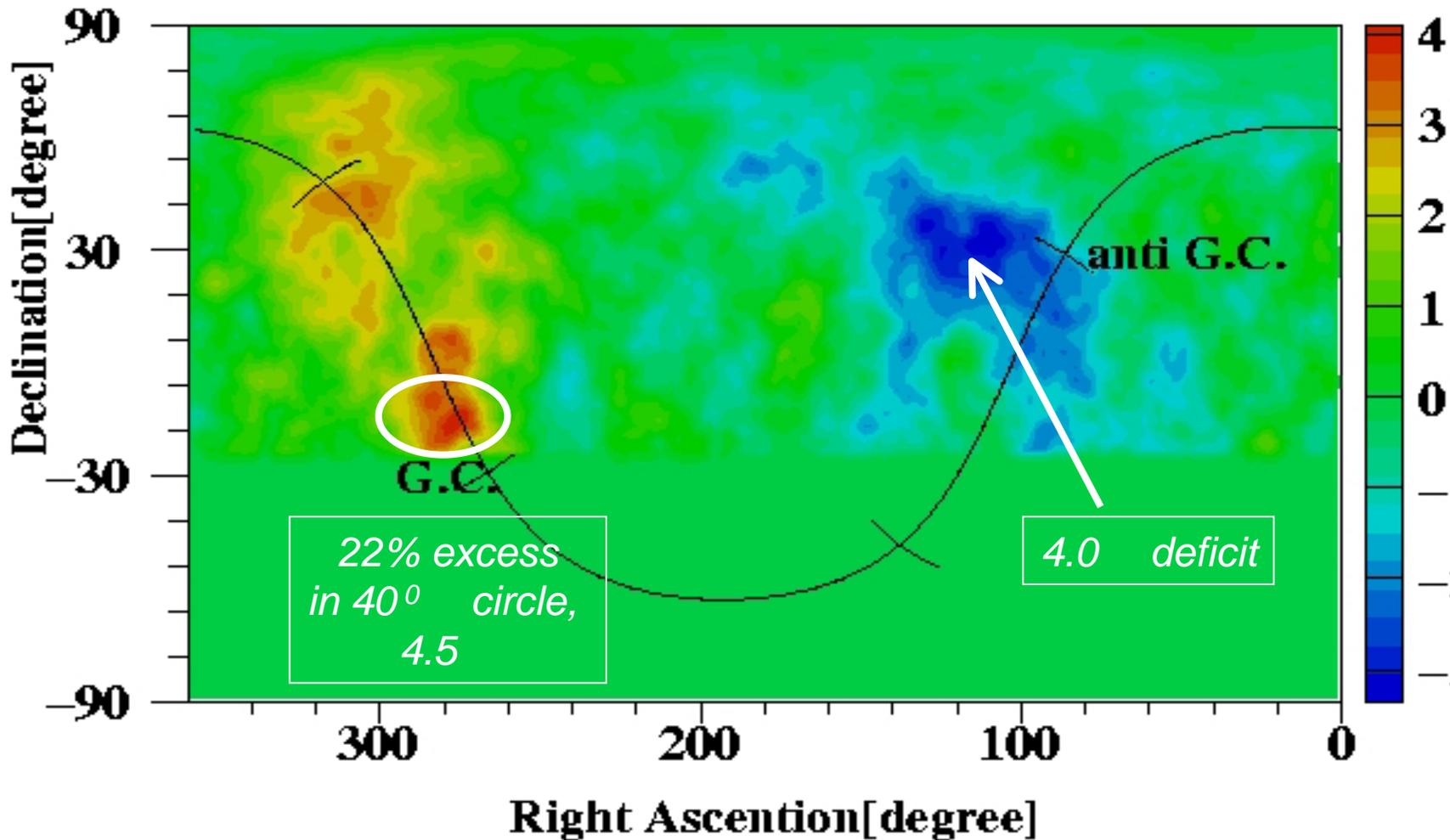
10^{19} eV



銀河系内磁場による(反)陽子軌跡の偏向
(竹田成弘による simulation)

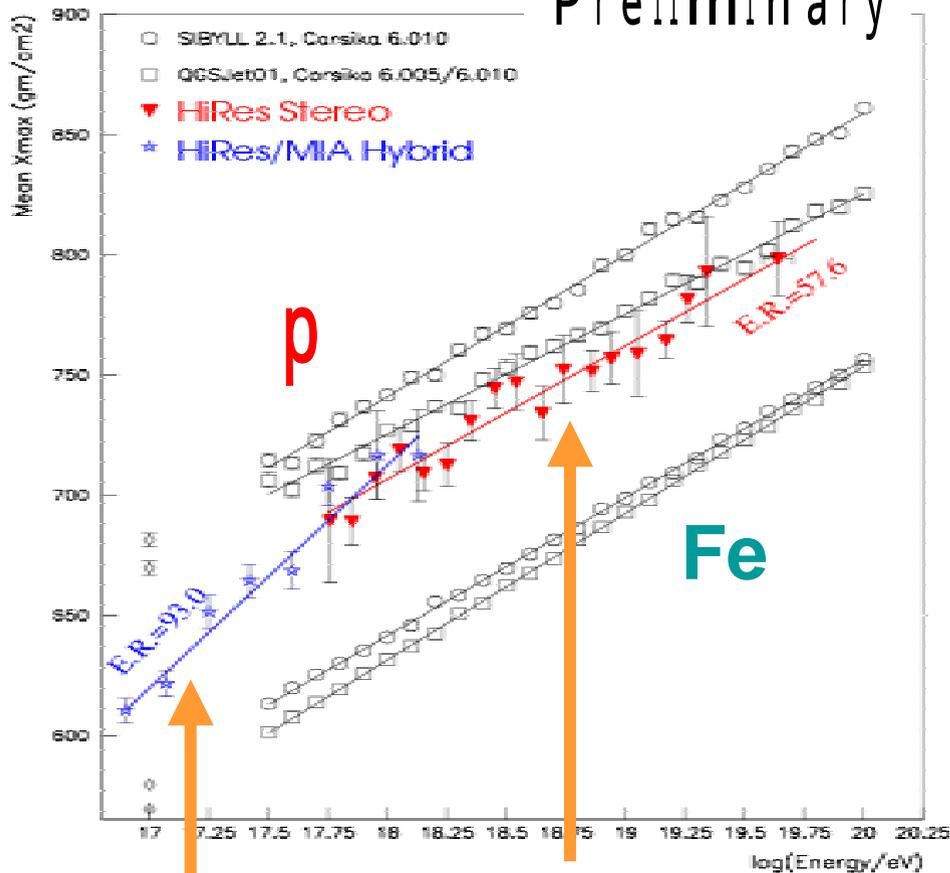
$10^{18.0} \text{ eV} < E < 10^{18.4} \text{ eV}$

AGASA



赤道座標における異方性 (216 k events)

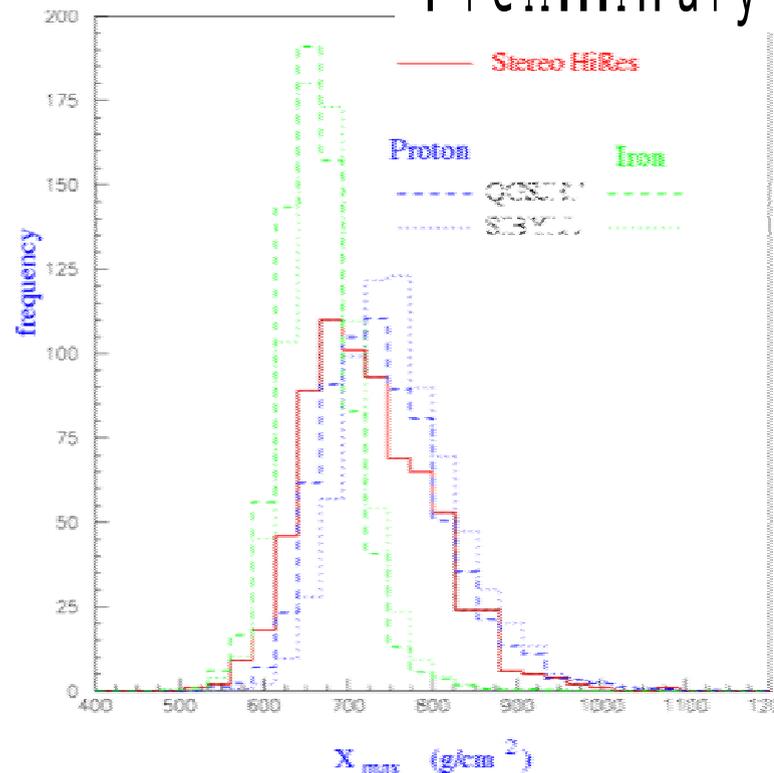
Preliminary



HiRes - MIA

HiRes stereo

Preliminary



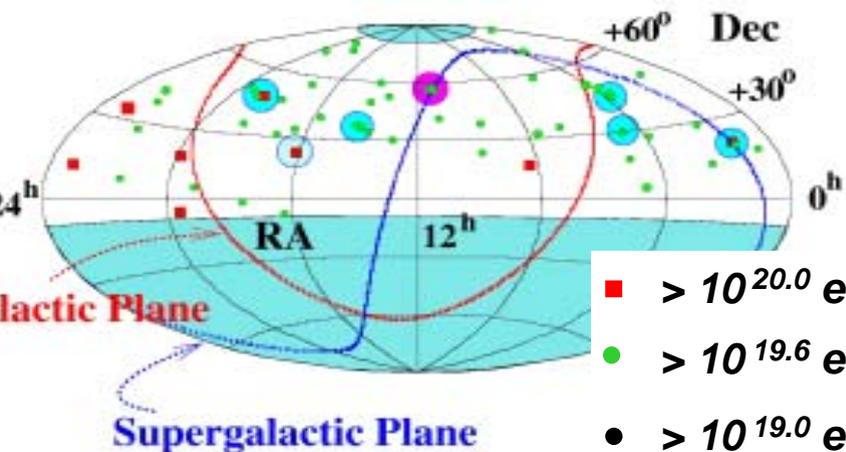
$10^{17}eV - 10^{18}eV$ 領域における 宇宙線粒子組成の変化
(空気シャワー最大発達点 X_{max} による測定)

Scientific Achievements of AGASA

銀河系外宇宙線の新しい姿

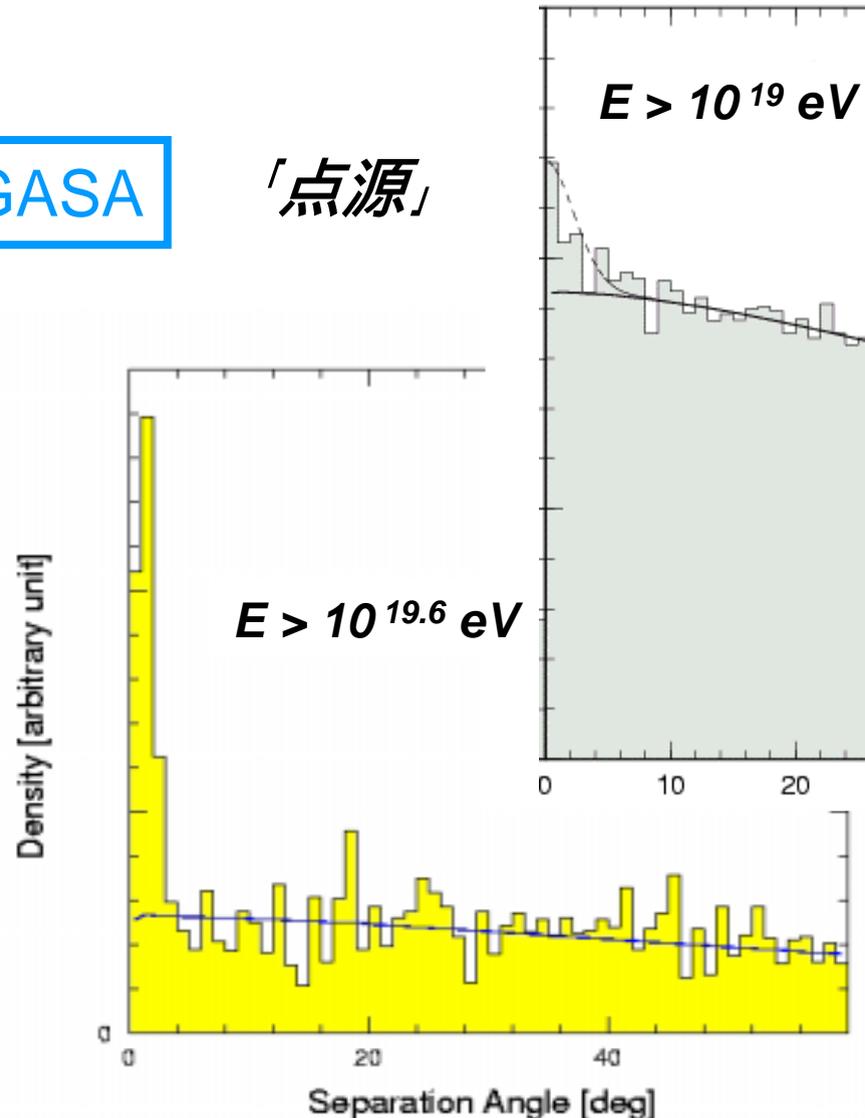
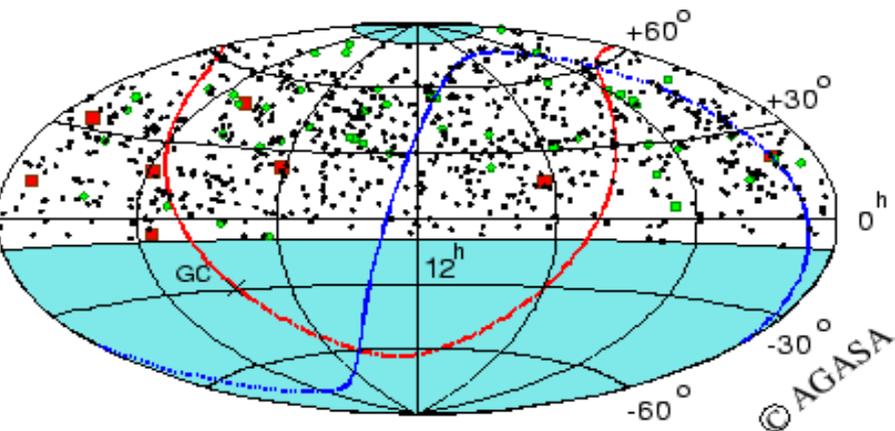
ENERGY	EVENTS	PHYSICS VALUE	CONFIRMATION LEVEL	
$10^{18} - 10^{18.5}$	Anisotropy	**	***	“verified”
$10^{19.6} -$	Cluster 	***	**	unconf.
$10^{20} -$	Super – GZK 	*****	*	challenged

Equatorial Coordinates

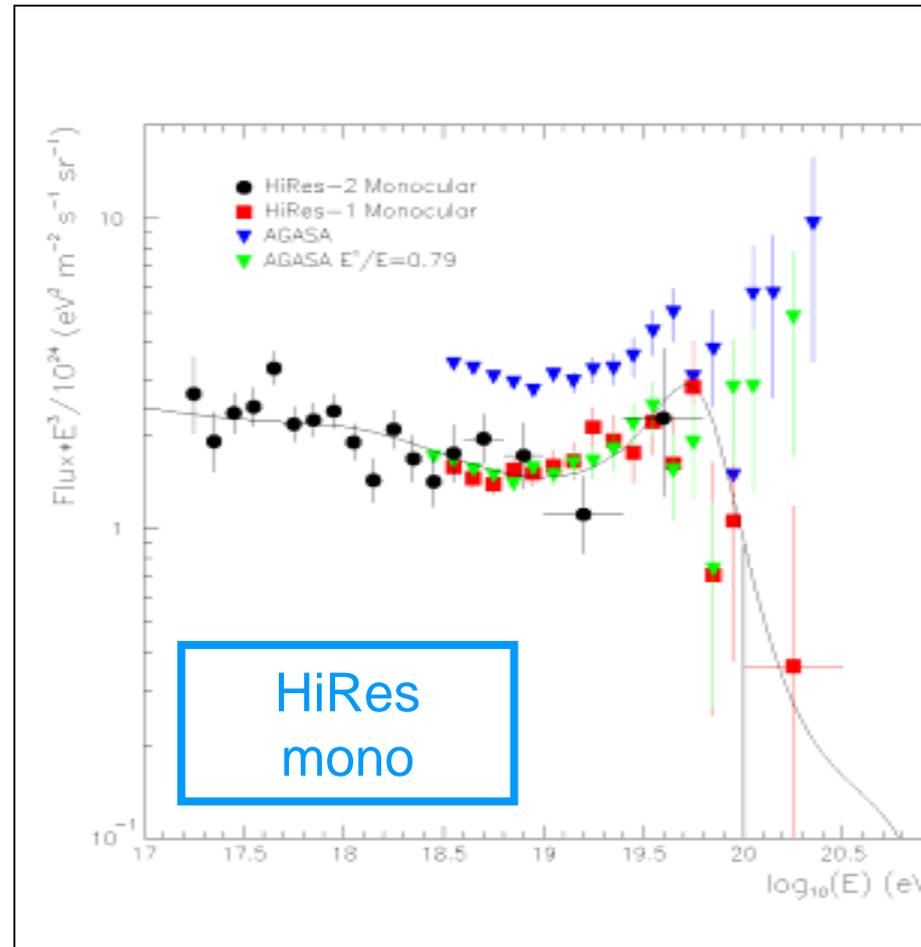
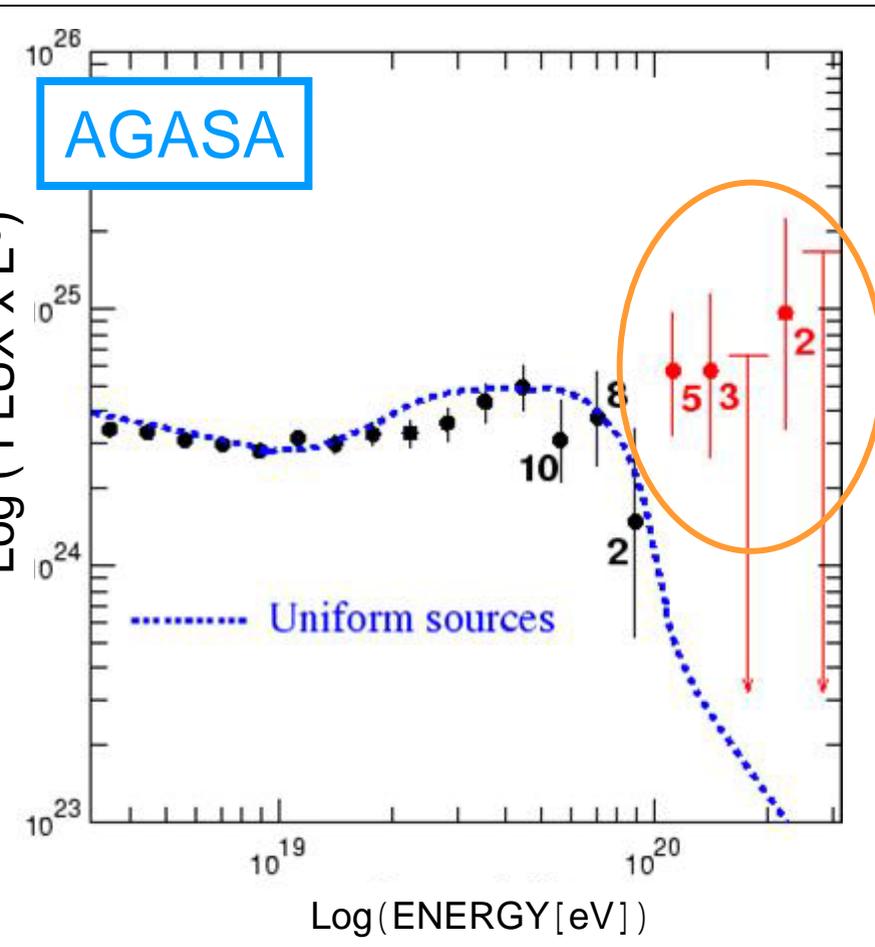


AGASA

「点源」



到来方向分布と離角分布(クラスターの存在)



AGASA (左) と単眼 HiRes (右) のエネルギースペクトル

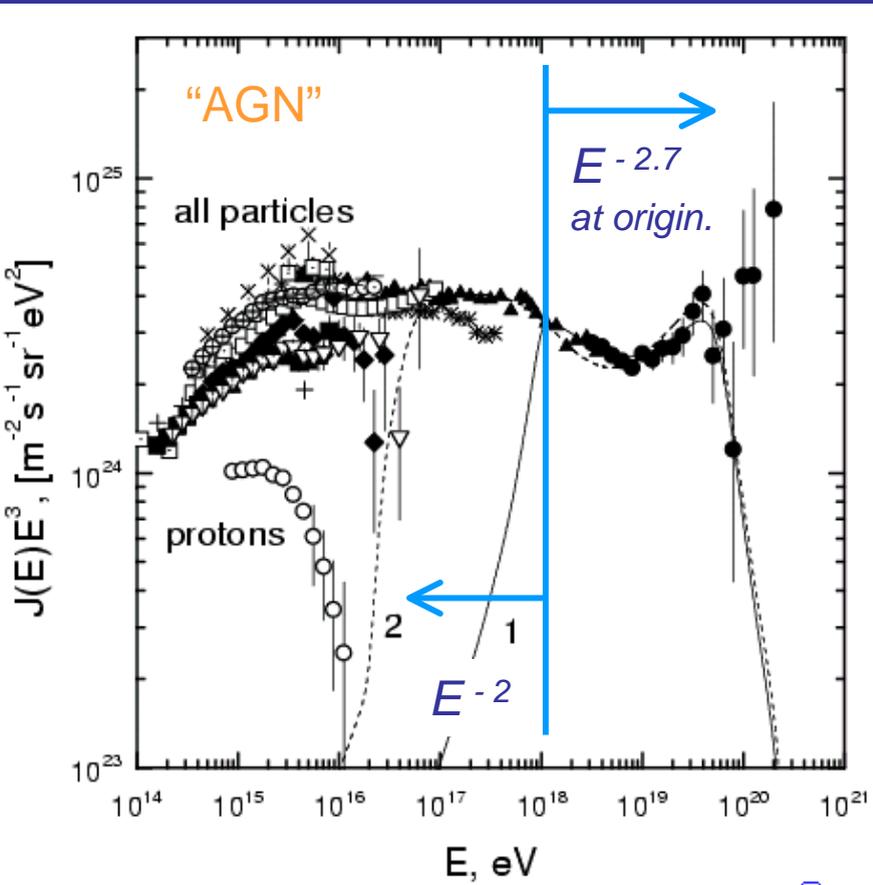
右図には AGASA (energy x 1.0 and x 0.79) のデータも プロットしてある。

*Acceleration,
Propagation and
Interaction
of
extra-galactic
Matter-Particles*

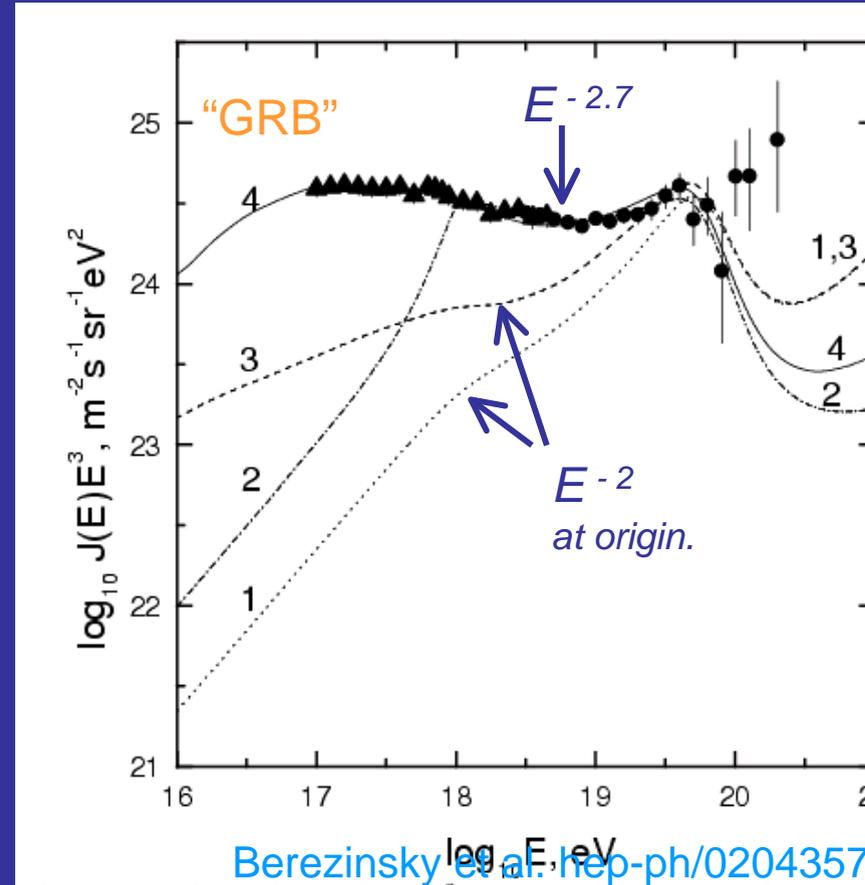
GZK cutoff
が見えない！

宇宙線物理学
最大の謎

Super-GZKを加速可能な天体として電波銀河 (AGN) と GRB を考える
 (uniform distribution over the universe)



Berezinsky et al. hep-ph/0204357



Berezinsky et al. hep-ph/0204357
 Bahcall, Waxman hep-ph/0206217

$10^{18} \text{ eV} - 10^{20} \text{ eV}$ can be fitted, **but GZK cut off persists**

GZK cutoff を超える連続スペクトラム

標準的な
天体物理・素粒子物理・宇宙論で

説明できない。

GZK cutoff を超えて連続スペクトラムを作るには、

mechanism	reason	signature
<p>超重粒子の崩壊 (ビッグバン起源)</p>	<p>銀河ハローに 蝟集</p>	<p>と 銀河中心</p>
<p>EHE + C B Z^0</p>	<p>C B over-density in super-cluster</p>	<p>と</p>
<p>EHE の余次元反応</p>	<p>~ 100 mB (大気原子核と反応)</p>	<p>shower- profile</p>
<p>Lorentz不変性の破れ</p>	<p>生成せず</p>	<p>陽子</p>
<p>「通常」の天体; 銀河系近傍における源過剰</p>	<p>50 Mpc で over-density ~ 10</p>	<p>-</p>
<p>実験的問題?</p>	<p>統計 Sys. Error</p>	

宇宙線望遠鏡の新提案:

*A G A S A の super-GZK と
cluster を実験的に確立する。*

MORE EVENTS NEEDED, but also

実験の問題点

Super-GZK	エネルギーの系統誤差 地表：安定しかしMC依存 大気：実験的しかし気象依存
Cluster	到来方向精度 角度分解能

➡ 地表粒子・大気蛍光の同時測定で較正

AGASA x 10 Plastic Scintillator Array

+

3-fold Stereo

Fluorescence Telescope

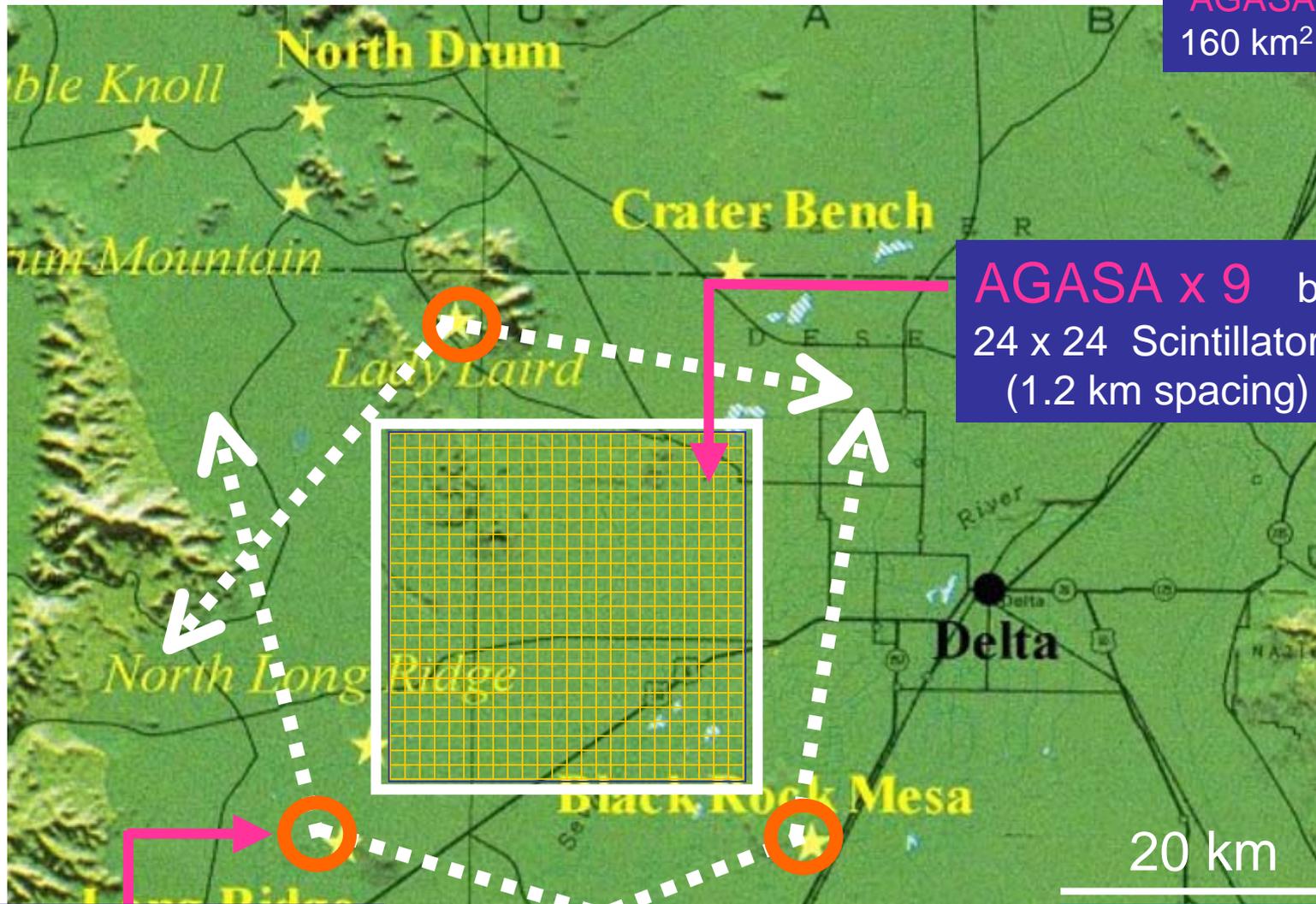
宇宙線望遠鏡：新提案

AGASA :
160 km² sr

AGASA x 9 by
24 x 24 Scintillators
(1.2 km spacing)

AGASA x 4 by
3 x Fluorescence Stations
(120° Azim.View)

Millard County
Utah/USA



測定感度 と 角度分解能

実験	Aperture (km ² sr)	Rel.	Angular Resolution
AGASA	162	(=1)	1.6 ⁰
TA: 24 x 24 ground array	1371	(9)	~1.0 ⁰
TA: Fluorescence	670	(4)	0.6 ⁰
TA: Hybrid 同時計測	165	(1)	0.4 ⁰

AGASA x 12 (~1900 km² sr) in total aperture,
A factor of (2 – 4) better angular resolution and
Coincidence measurement (=AGASA).

地上・大気蛍光同時測定によるエネルギーの較正

地上アレイと大気蛍光; **完全に独立な2つの方法**によるエネルギーの同時測定

$E > 10^{19}$ eV ~ 100 ev./年

$E > 10^{20}$ eV ~ 1 ev./年

本計画では

シンチアレイによる エネルギースケール
大気蛍光による エネルギースケール

e / 測定

比較・較正

唯一の正しいエネルギースケールによるスペクトル
(エネルギーの系統誤差 < 10% を目標)

UGERは

大気蛍光のエネルギースケール

TRANSFER

AUGER (水タンク)のエネルギースケール

シンチによる **電子 (線) 測定の利点**

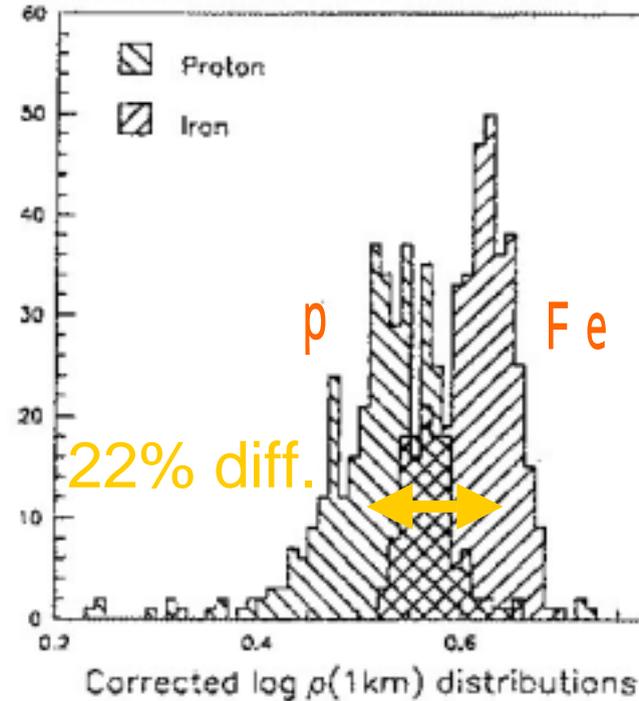
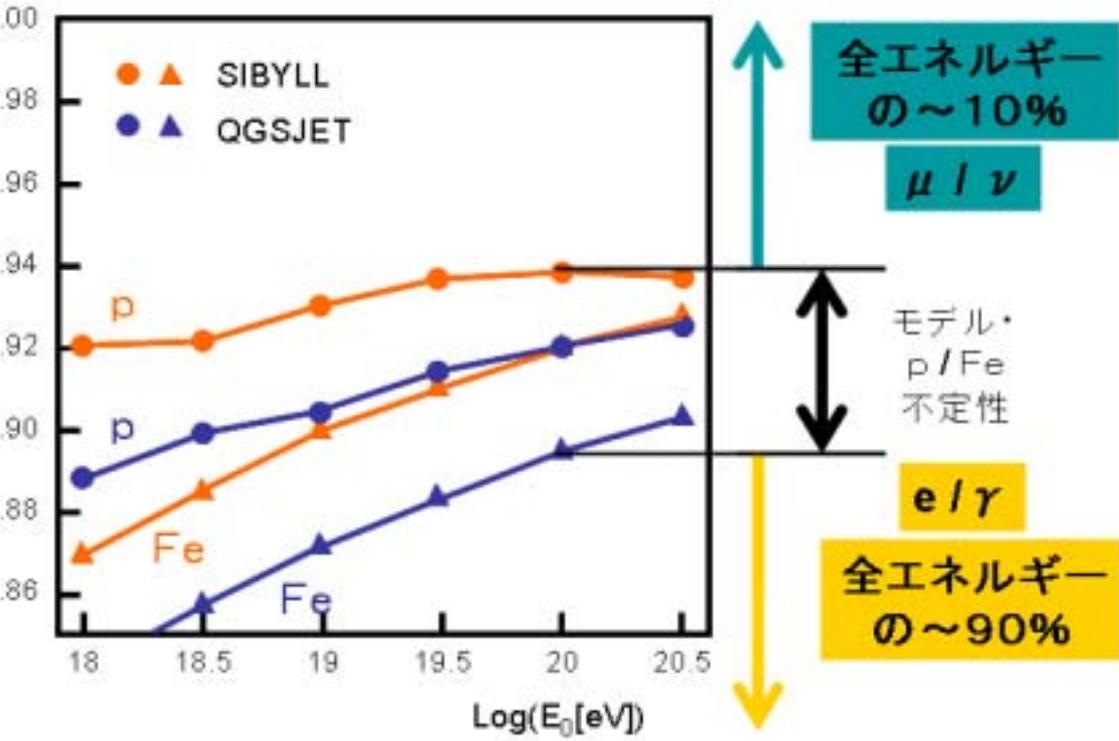
90% of Energy to electron/gamma

Small model / composition dependence

μ 測定

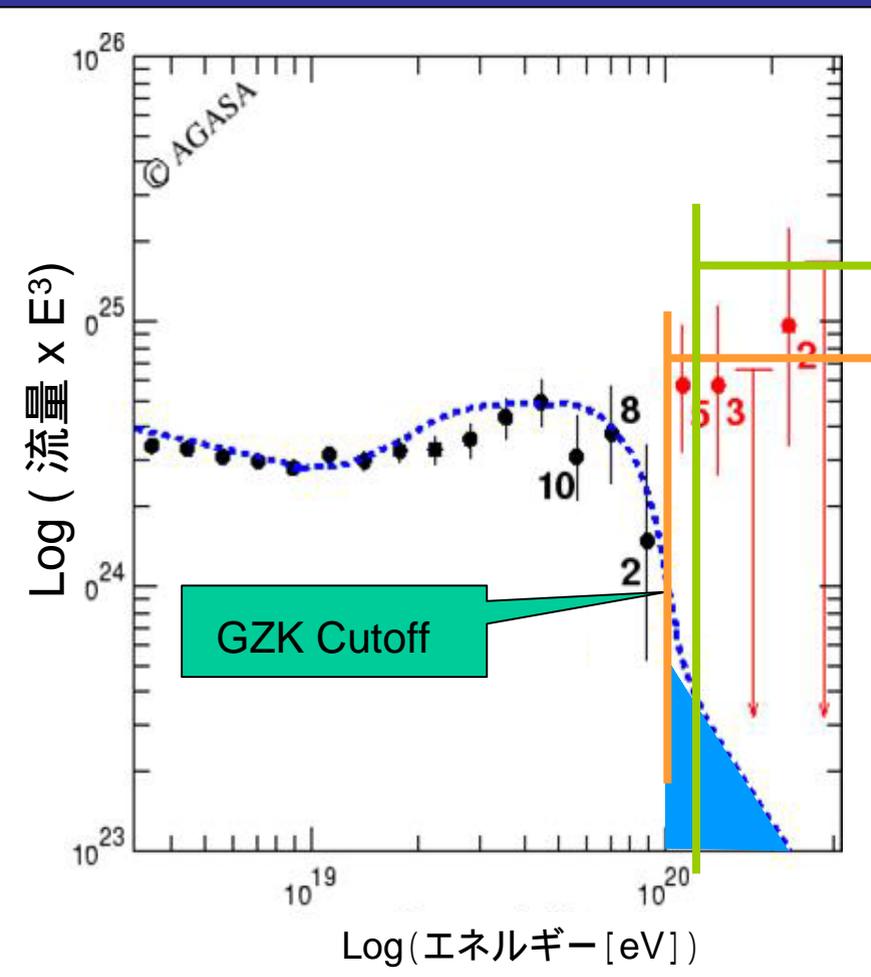
Energy Loss in the Air

“μ” Density at 1km for p/Fe



AUGER water tank simulation

目的 : GZK Cutoff ; Yes or No を確定す



AGASAの
エネルギーの系統誤差
(- 18%)を考慮して

第1期計画3
(- 2009)

AGASA
11年

観測数	10	5	35.3
期待数	1.6	1.0	5.6
C.L.	4.0	2.6	8.3

でGZKカットオフを棄却

エネルギー較正後のスペクトル

測定可能領域が 10^{20} eV から $10^{20.5}$ eV へ広がる。 $\text{Log } E_{\text{TA}}^{\text{MAX}} - \text{Log } E_{\text{AGASA}}^{\text{MAX}} = 0.$

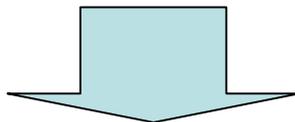
$$\begin{array}{l} \text{diff flux} \quad J(E) \propto E^{-3} \\ \text{integ flux} \quad \int_{10^{20}}^{\infty} J(E) dE = 10 \int_{10^{20.5}}^{\infty} J(E) dE \end{array}$$

較正後のエネルギー系統誤差 (scale error)

$$\text{Log } E_{\text{SYS}} / E < 0.05$$

エネルギー分解能

$$\text{Log } E / E = 0.1$$



AGASA x 10 による統計が、エネルギー決定の系統誤差・分解能に打ち勝ち、
カットオフを超えた Super-GZK 事象の存在を確実に立証できる。

目的 : 点源の確立と 北半球での対応天体探索

到来方向分解能 1.6°

AGASA

1.0°

本計画地表検出器

0.4°

ハイブリッド

アクセプタンス 1

10

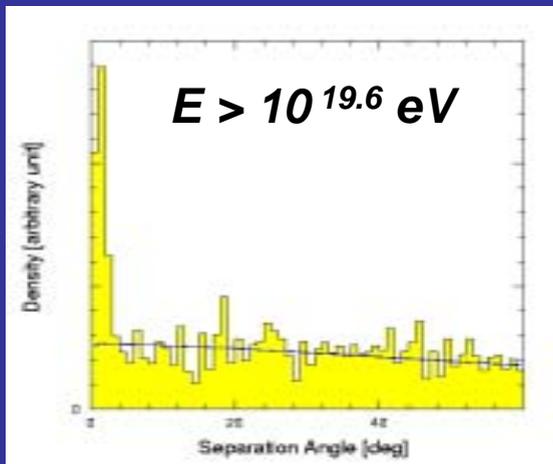
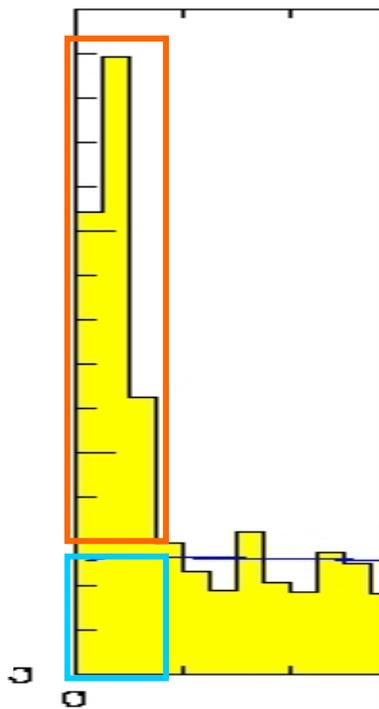
1

S	8	80	8 pairs
N	1.6	6	0.1 pairs
	5	-	-

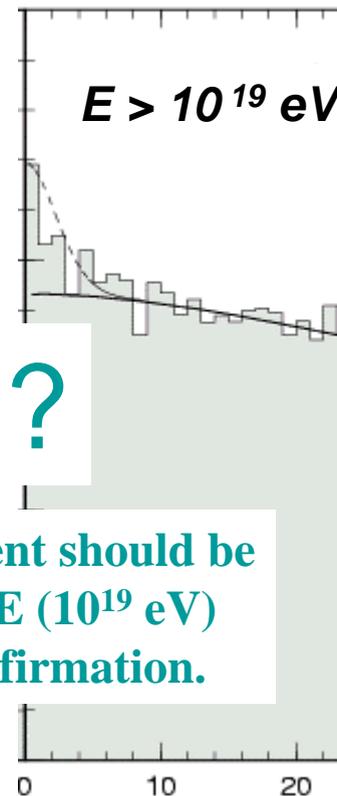
Hybrid event should be good for LE (10^{19} eV) cluster confirmation.

signal

noise
(acc.)



?



Randoms (角度)²

中性粒子であれば、点源の存在は統計的な疑いなく立証できる。
(点源なら中性粒子。線!?)

高分解能は、対応天体探索に有利。
荷電粒子なら、銀河磁場の効果・Z-depが見える。

大気蛍光測定: TAの プロトタイプ望遠鏡・撮像カメラ・
エレクトロニクスを開発を完了して使用する。



3 m spherical



$1^{\circ} \times 1^{\circ}$ FoV / PMT

測定精度

ΔE から 蛍光の発生数へ

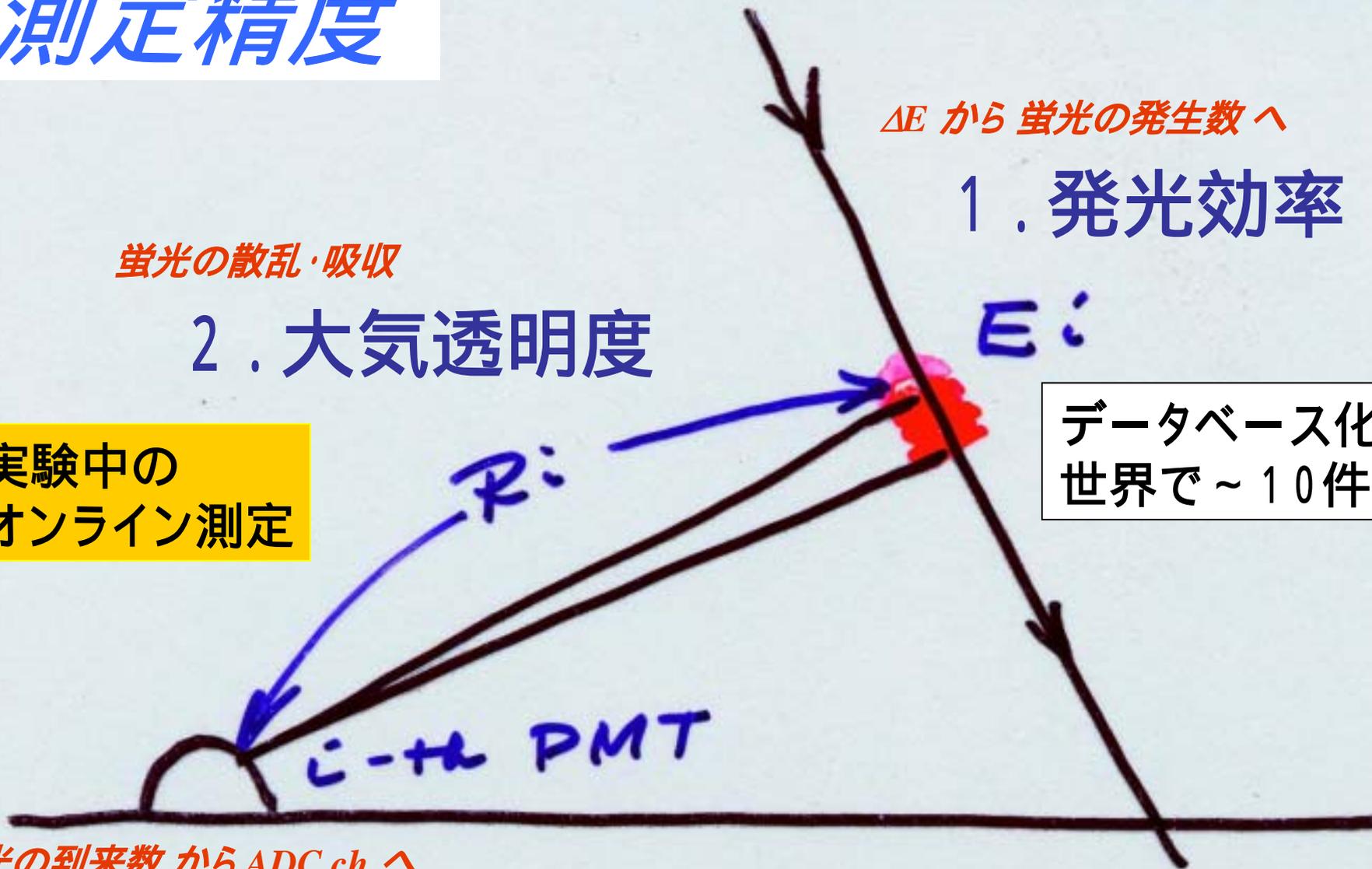
1. 発光効率

蛍光の散乱・吸収

2. 大気透明度

実験中の
オンライン測定

データベース化
世界で~10件



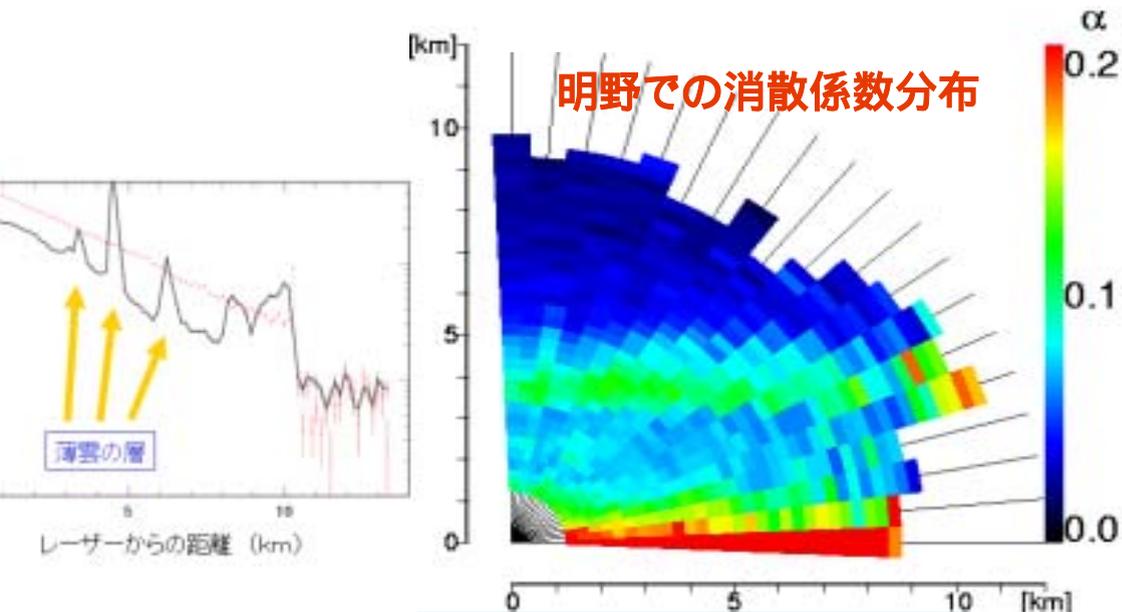
蛍光の到来数 から ADC ch へ

3. 装置感度

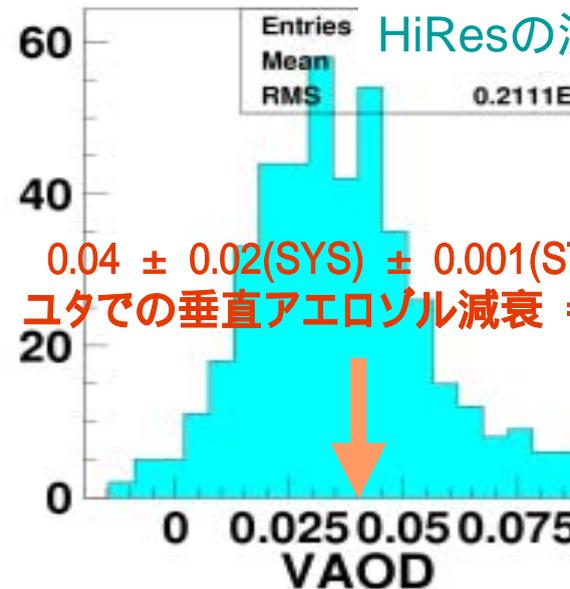
実験前測定 +
実験中モニター

大気モニターでは後方散乱と側方散乱の2方法が開発されてきた。

後方散乱：
相対量観測で大気の微分像



側方散乱：
絶対量観測で減衰の積分量

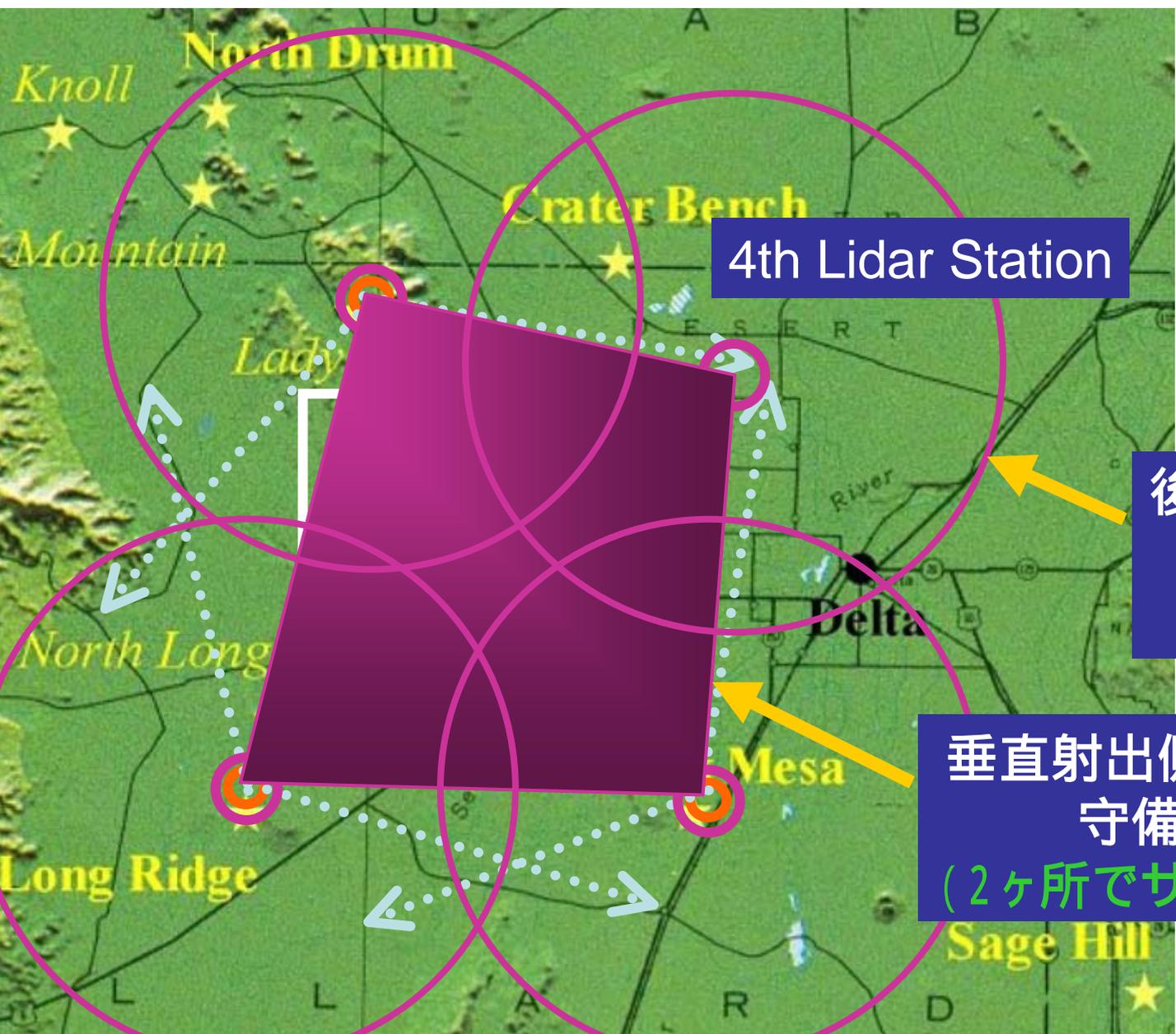


Rayleigh



Rayleigh

大気透明度モニターの配置案 (後方+側方散乱の併用で誤差10%以内を目標)



4th Lidar Station

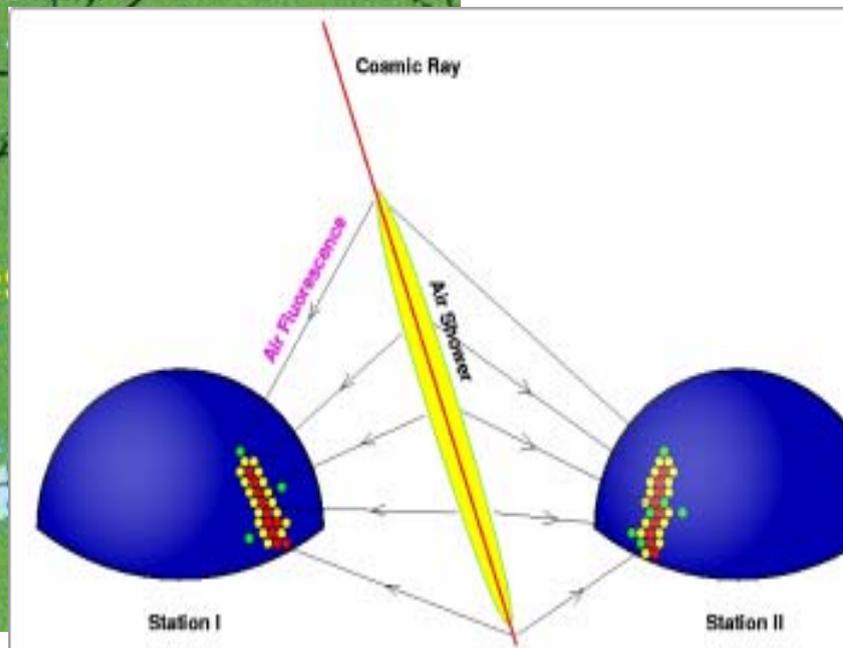
後方散乱Lidar
守備範囲
(20 km 以内)

垂直射出側方散乱の
守備範囲
(2ヶ所でサンドイッチ)

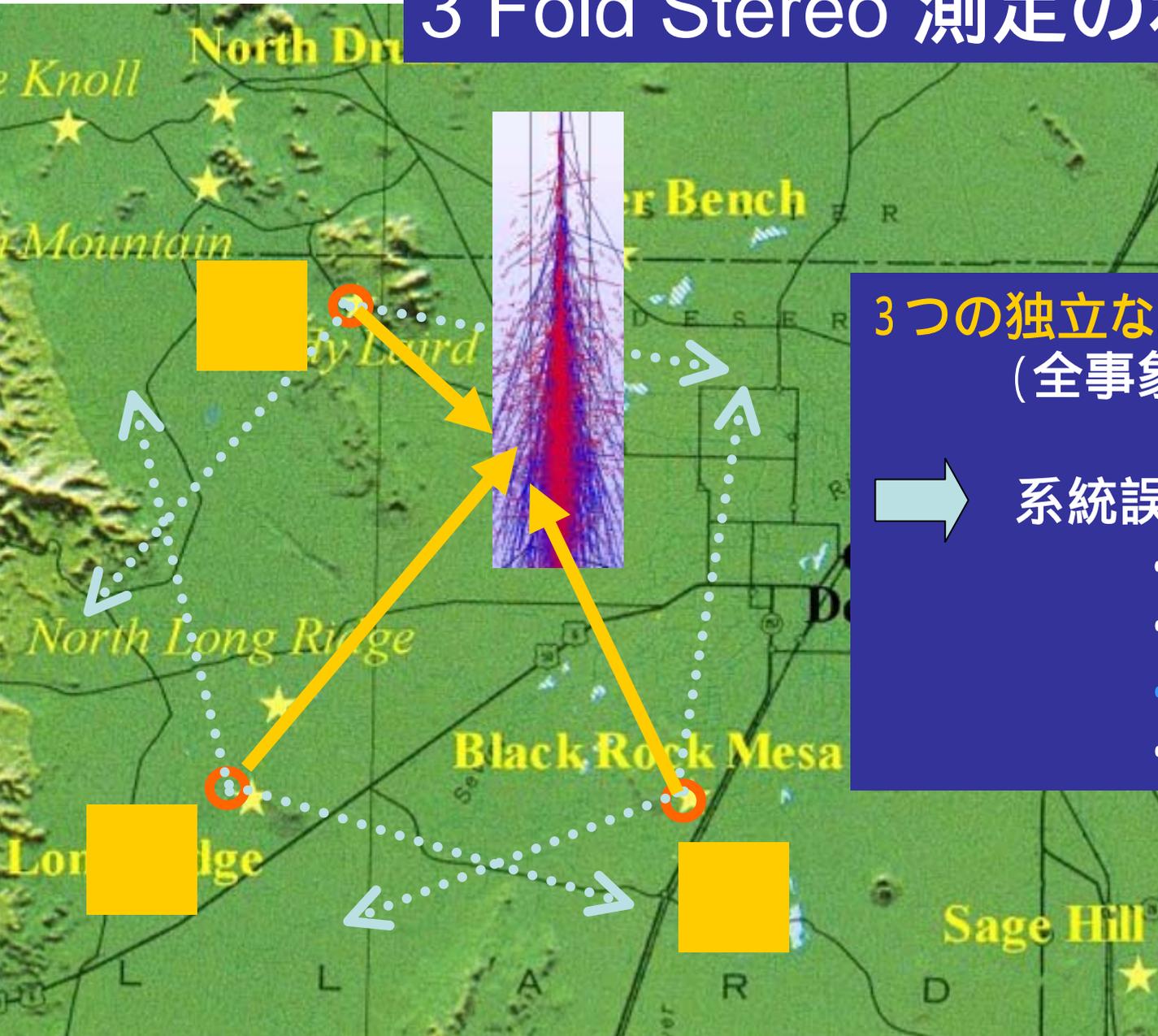
以内を目標。

3 Fold Stereo 測定の利点 - 1

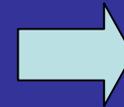
3組のGeometry決定法
+
純粹に幾何学のみ：
大気透明度が関係しない。
+
(シャワー軸着地点の測定)



3 Fold Stereo 測定 の 利点 - 2



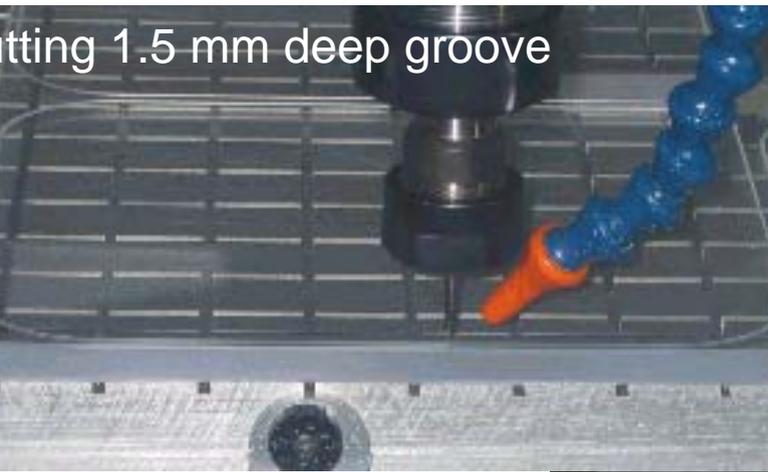
3つの独立なエネルギー測定
(全事象の ~ 60%)



系統誤差の評価

- ・ 大気透明度
- ・ Cherenkov
- ・ 地表検出器
- ・ etc..

cutting 1.5 mm deep groove



地表検出器の開発

Scintillator Prototype:

50 cm x 50 cm, 1cm thick

Wave Length Shifter Fiber readout

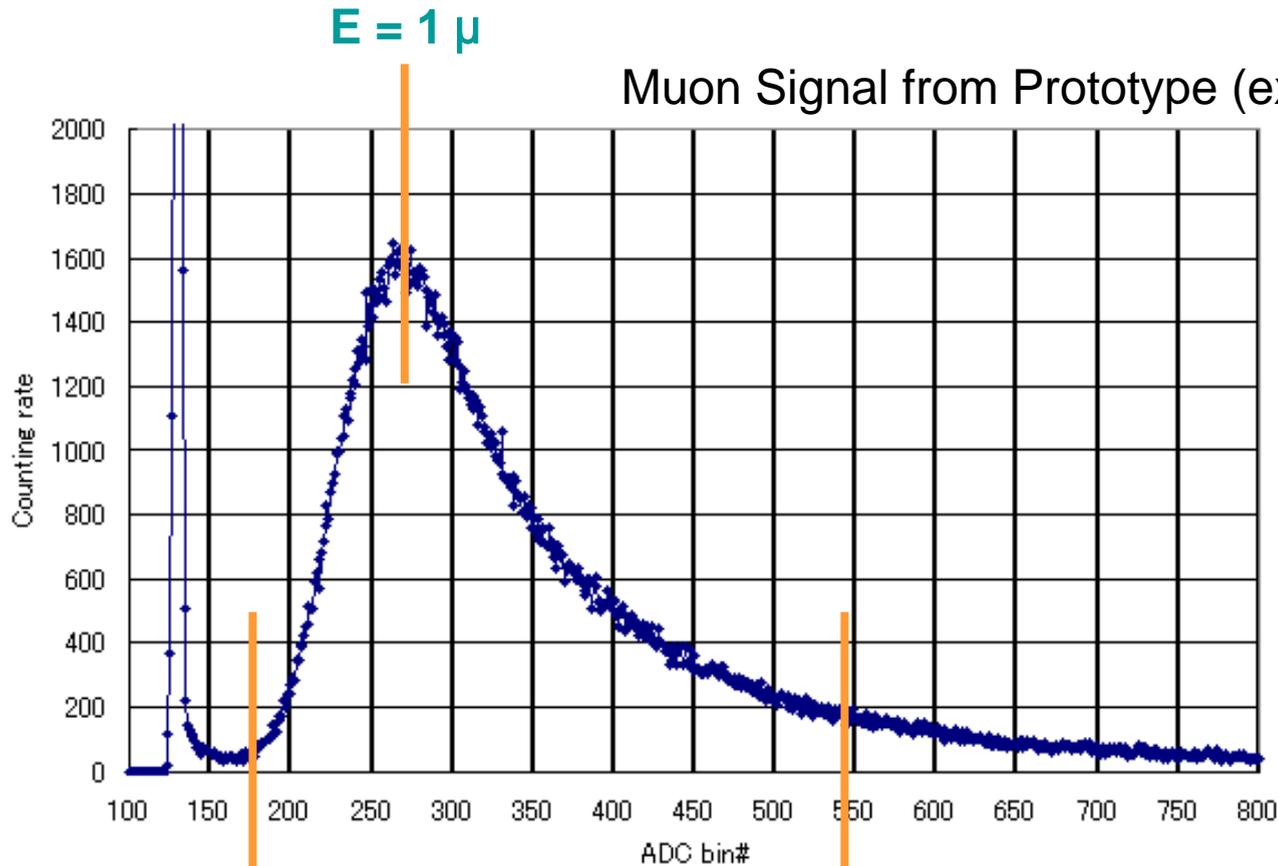
50 modules used in L3 for 2.5 years

WLS: BCF-91A
(1 mm)



Final: 3 m² by 2 PMT readout

Muon Signal and Lev-0, -1 Trigger.



3 Scint. In Coin

Lev-2 trig,
rate < 1 Hz
for event build.

Lev - 1 trig, ~ 100 Hz for central trigger.

Lev - 0 trig, ~ 1k Hz (/ 3m²) for local event recording and time stamp.

エネルギー測定 of 系統的誤差

For a Typical Fluorescence Detector

% Fluorescence Efficiency
% Atmospheric Corr.: Rayleigh
% Atmospheric Corr. : Mie
% Telescope Calibration
% Reconstruction
% Missing Energy (μ etc.)
% Quadratic Sum

Major Systematics in AGASA astro-ph/0209422

■ Detector		
● Detector Absolute gain		$\pm 0.7\%$
● Detector Linearity		$\pm 7\%$
● Detector response(box, housing)		$\pm 5\%$
■ Energy Estimator S(600)		
● Interaction model, P/Fe, Height	-10%	$\pm 15\%$
■ Air shower phenomenology		
● Lateral distribution function		$\pm 7\%$
● S(600) attenuation		$\pm 5\%$
● Shower front structure	+5%	$\pm 5\%$
● Delayed particle(neutron)	+5%	$\pm 5\%$
■ Total		$\pm 0\% \pm 18\%$

最終的目標: Error of Unified Energy Scale < 10%
まで追い込む。

参加者

望遠鏡	カメラ	東工大:垣本・荻尾、 愛媛大:吉井、 武蔵工大:門多
	望遠鏡躯体・回路・インフラ	ICRR:福島・瀧田(**)・林田・大西・桜井・大岡・下平・鳥居 MPI:手嶋**
	大気較正	近畿大:千川、 通総研:篠野
回路・DAQ	全般	KEK:松田・藤井・田中・新井*、長崎総科大:田中*
地表検出器	検出器	大阪市大:川上・林・吉越、 広島市大:田中、 高知大:中村
	AGASA較正	山梨大:本田・橋本
	回路・DAQ	千葉大:吉田・河合、 放医研:内堀・安田
Simulation & Analysis	-	埼玉大:井上、 芝工大:笠原、 神奈川:日比野、 東大:寺沢**
		合計 31名
米国	サイト	Utah: P.Sokolsky(**), K.Martens, C.Jui
		Rutgers: G.Thomson,S.Schnetzer, Montana: J.Belz,
		Leeds: A.Watson**
		合計 6名

*・Advisers **・科研費評価担当者

宇宙線望遠鏡第1期計画(2004 - 2009) の必要経費

望遠鏡 3 ステーション	9.3	建屋・望遠鏡・カメラ・エレキ他 作業費等を含む
大気モニター	1.1	ライダー4基
サイト整備・インフラ(通信を含む)	1.7	HiResサイト・インフラ:240k \$ /基
シンチレータ検出器 24x24ユニット	9.7	太陽電池・通信を含む
小計	21.8	
維持運用費(2004-2009)	3.2	AGASA運用3年を含む
旅費	1.2	
小計	4.4	
合 計	26.2	

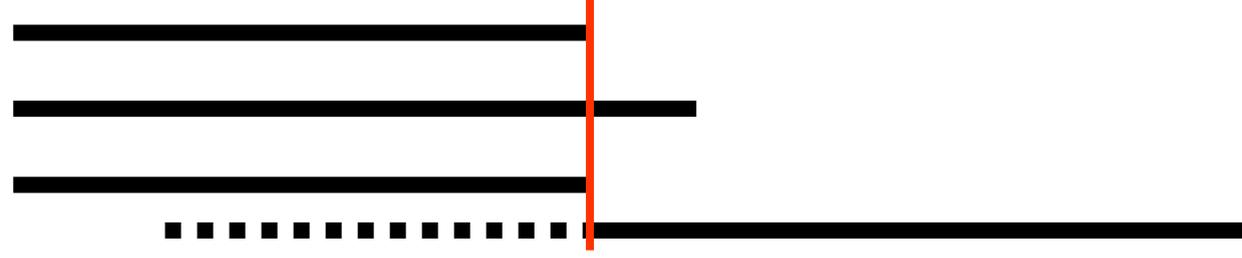
億円

**主要な建設経費と維持運用費 (minimum for 2003-2008) を
科研費・特定領域研究に申請した。**

年次計画 (2004 - 2009)

項目	2004	2005	2006	2007	2008	2009
サイト整備	■					
望遠鏡の現地試験		■				
望遠鏡の製作		■	■			
望遠鏡の設置			■	■		
地表検出器の現地試験	■					
地表検出器の製作	■	■				
地表検出器の設置	■	■				
AGASA との 同時計測による 較正	■	■				
地表検出器定常観測			■	■	■	■
ハイブリッド定常観測				■	■	■

AGASA
HiRes
AUGER建設
AUGER観測



2006よりTA地表・Auger南の観測開始

まとめ（宇宙線望遠鏡の新提案）

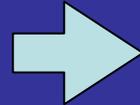
1. 目的：最高エネルギー宇宙線に関するAGASAの発見を、地表・大気蛍光同時測定で確立し、その起源を解明する。
2. 目標：測定信頼度を格段に高める。
ハイブリッド・3Fステレオ・波形記録....
3. 技術的に本質的な困難はない。2006年には地表検出器で、2007年にはハイブリッドで測定開始できる。
4. AUGERに対して独自である：
シンチ・独立ステレオ観測・北半球
5. 大型科研費と中期計画予算で実現を目指す。

第1期中期計画の終わり2009年には
GZK cutoff, cluster の有無に実験的決着がついている。

SPECULATIONS

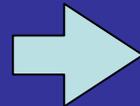
第2期中期計画 (2010 - 2015)

GZK cutoff なし。



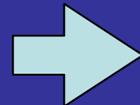
大気蛍光望遠鏡10台

Cluster あり。
対応天体見つかる。



AGASA x 100

GZK cutoff 見つかる。



宇宙からの観測

FULL OF EXCITATIONS!