

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」

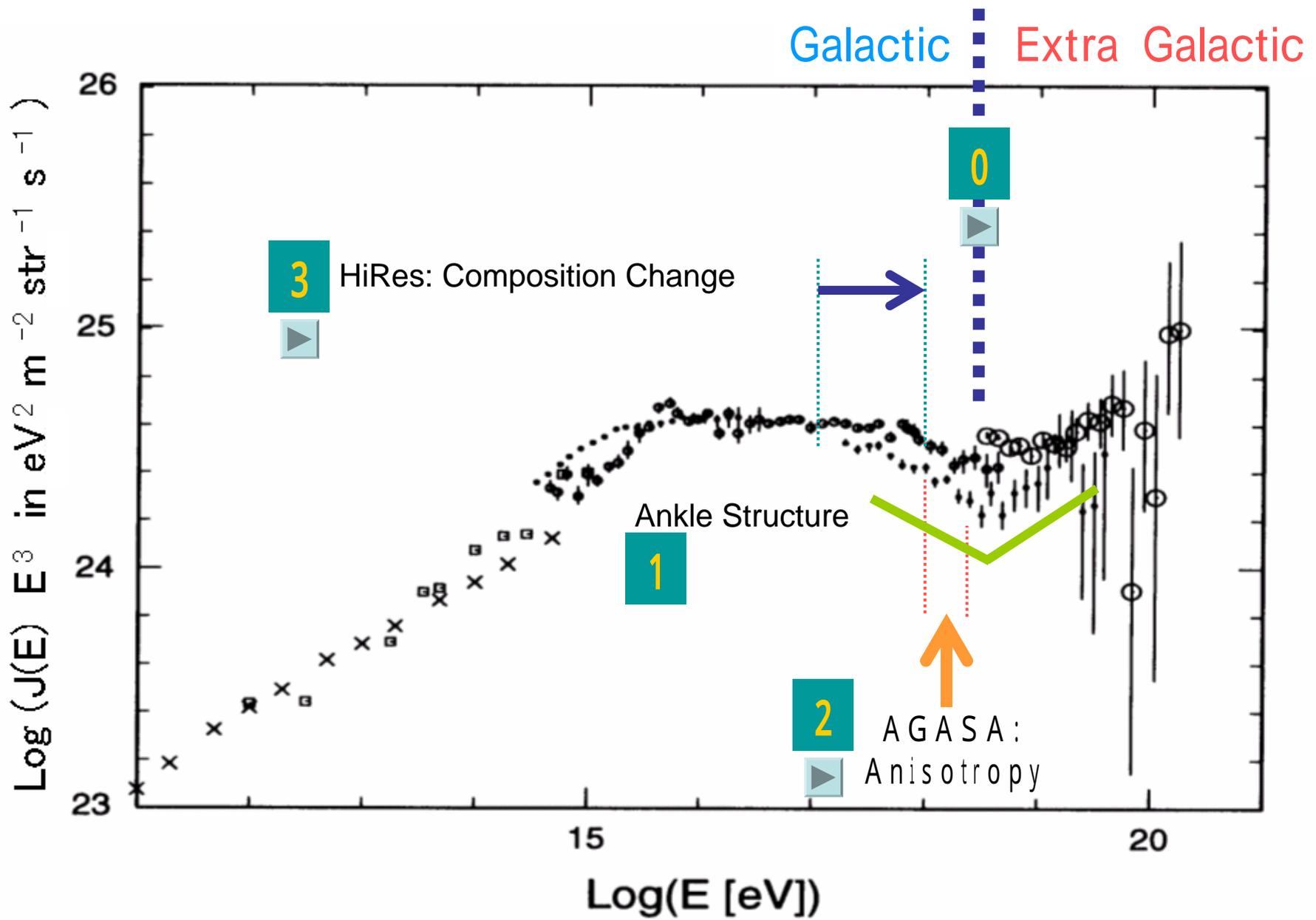
宇宙線望遠鏡計画： 新提案

平成15年2月1日
福島正己

AGASA (+ HiRes)

銀河系内宇宙線から

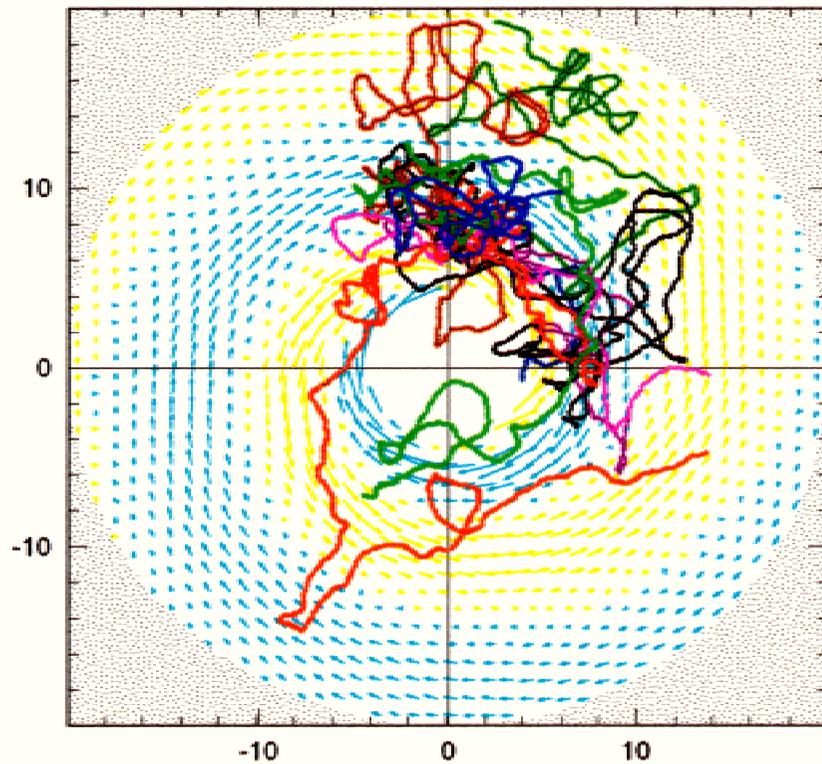
新しい世界：
銀河系外宇宙線へ



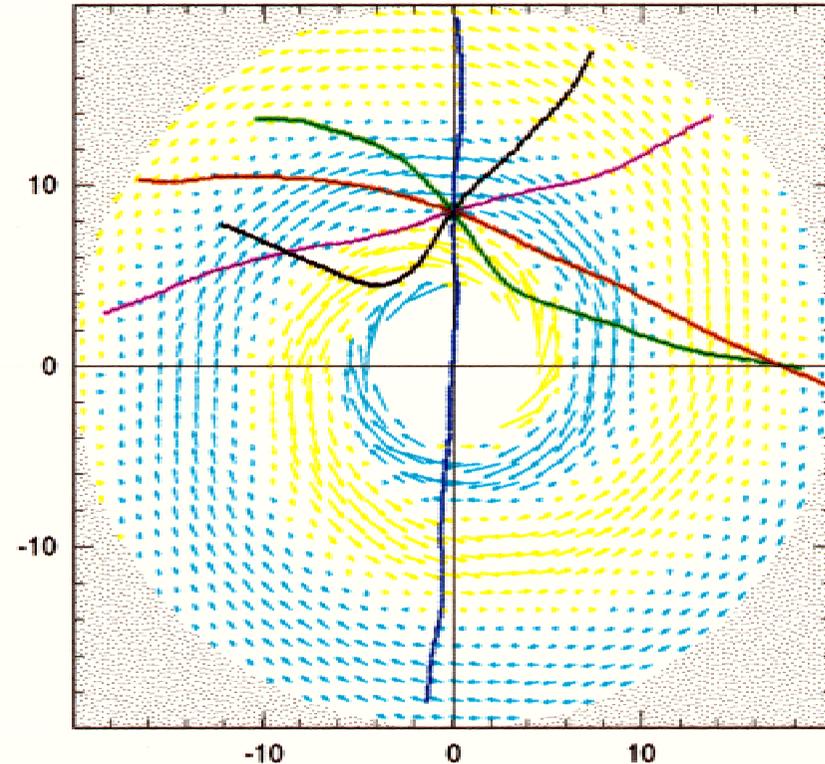
銀河系外宇宙線の観測 (エネルギースペクトル)



10^{18} eV

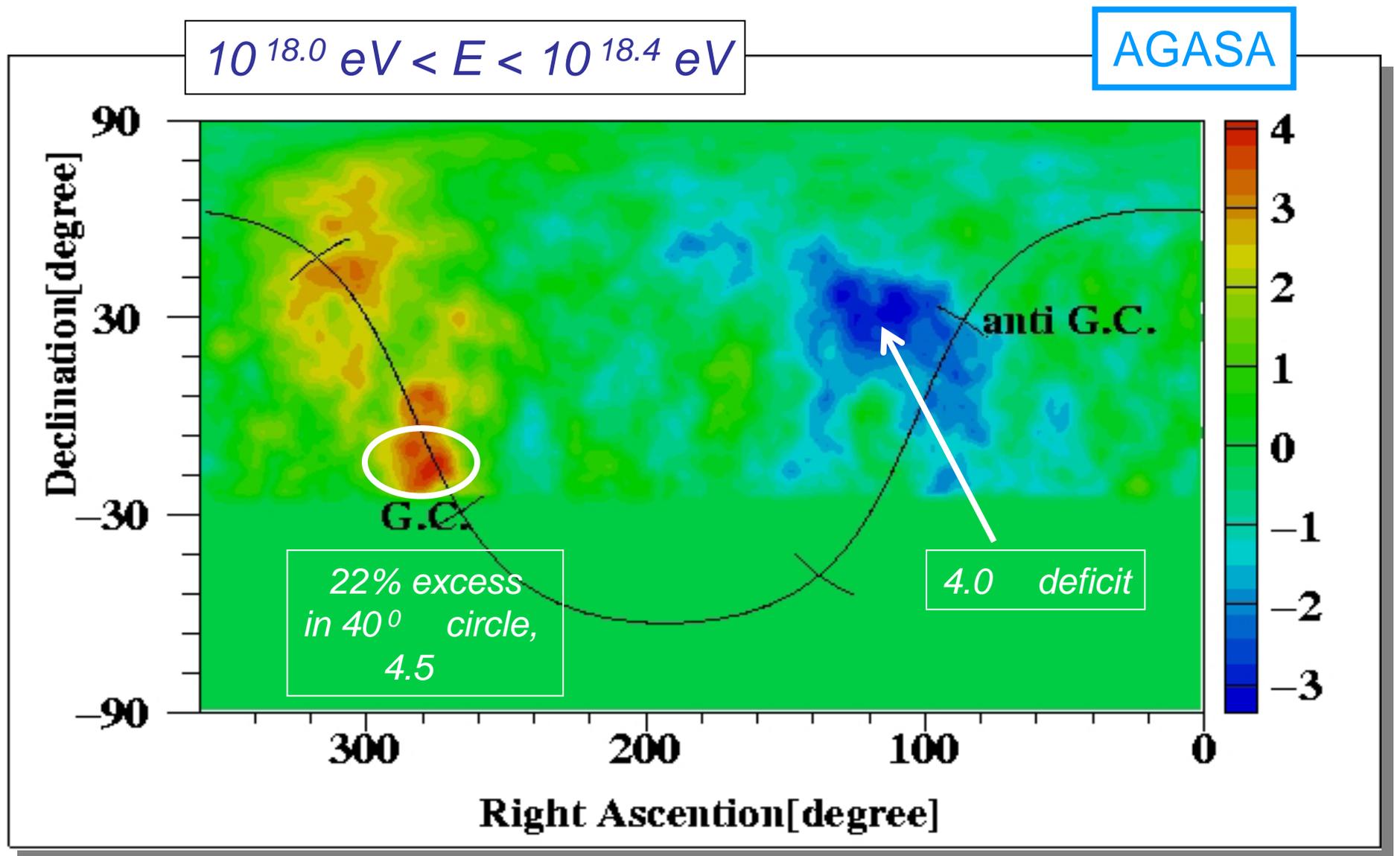


10^{19} eV



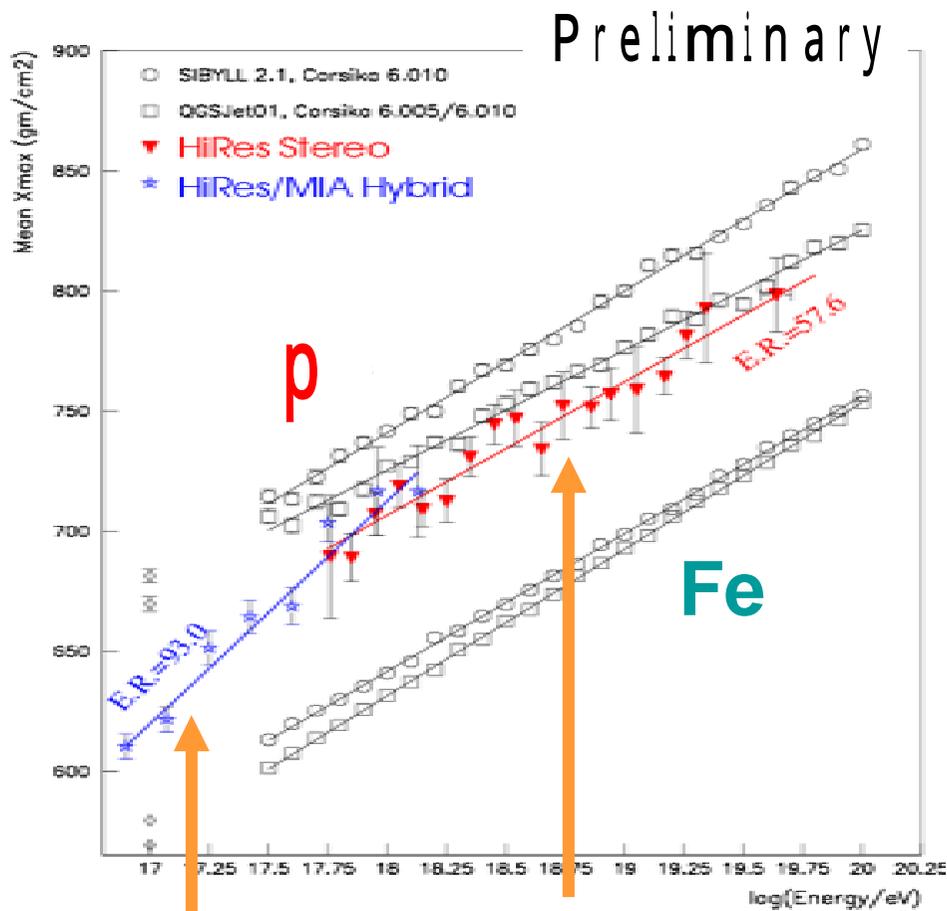
銀河系内磁場による(反)陽子軌跡の偏向
(竹田成弘による simulation)





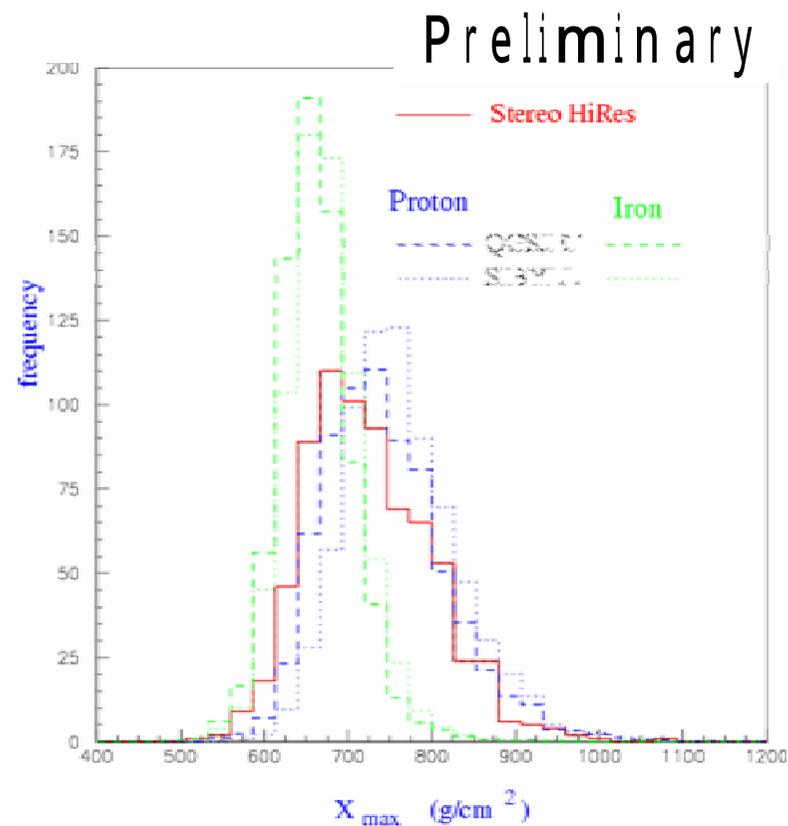
赤道座標における異方性 (216 k events)





HiRes - MIA

HiRes stereo



$10^{17}eV - 10^{18}eV$ 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)

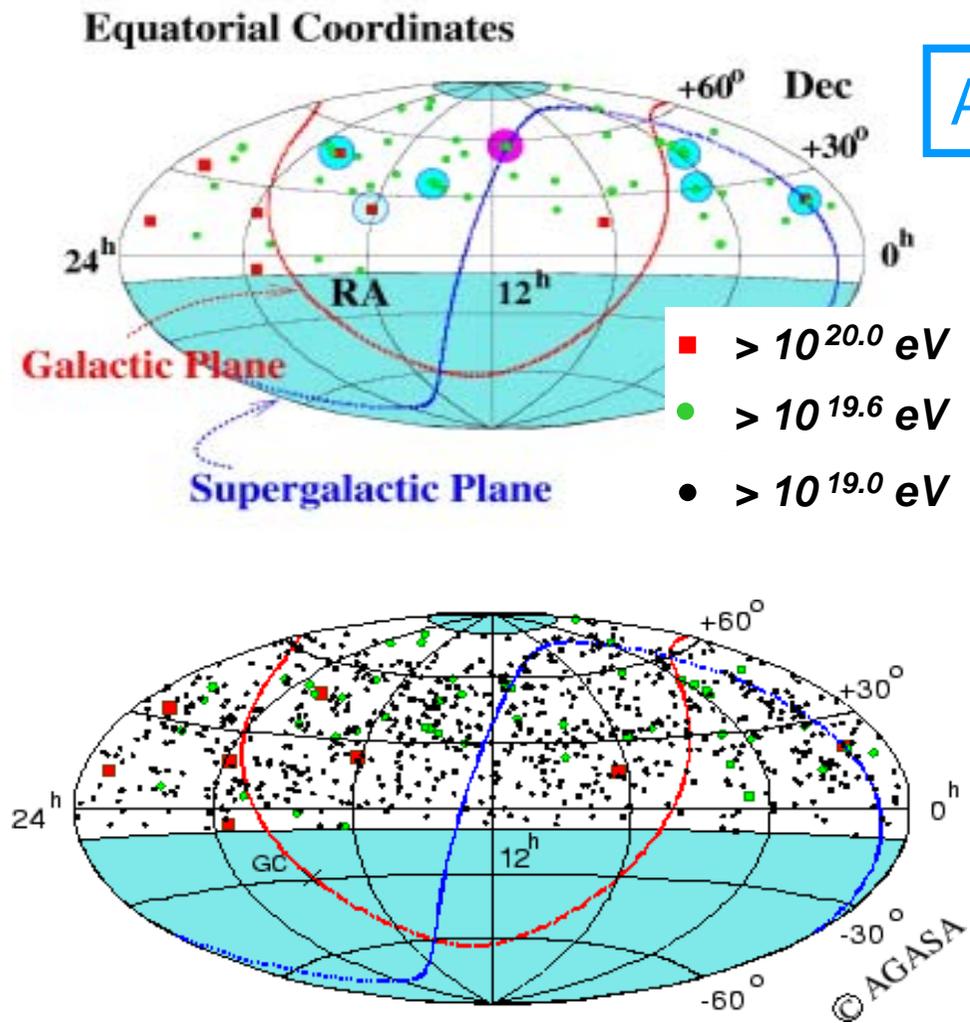


Scientific Achievements of AGASA

銀河系外宇宙線の新しい姿

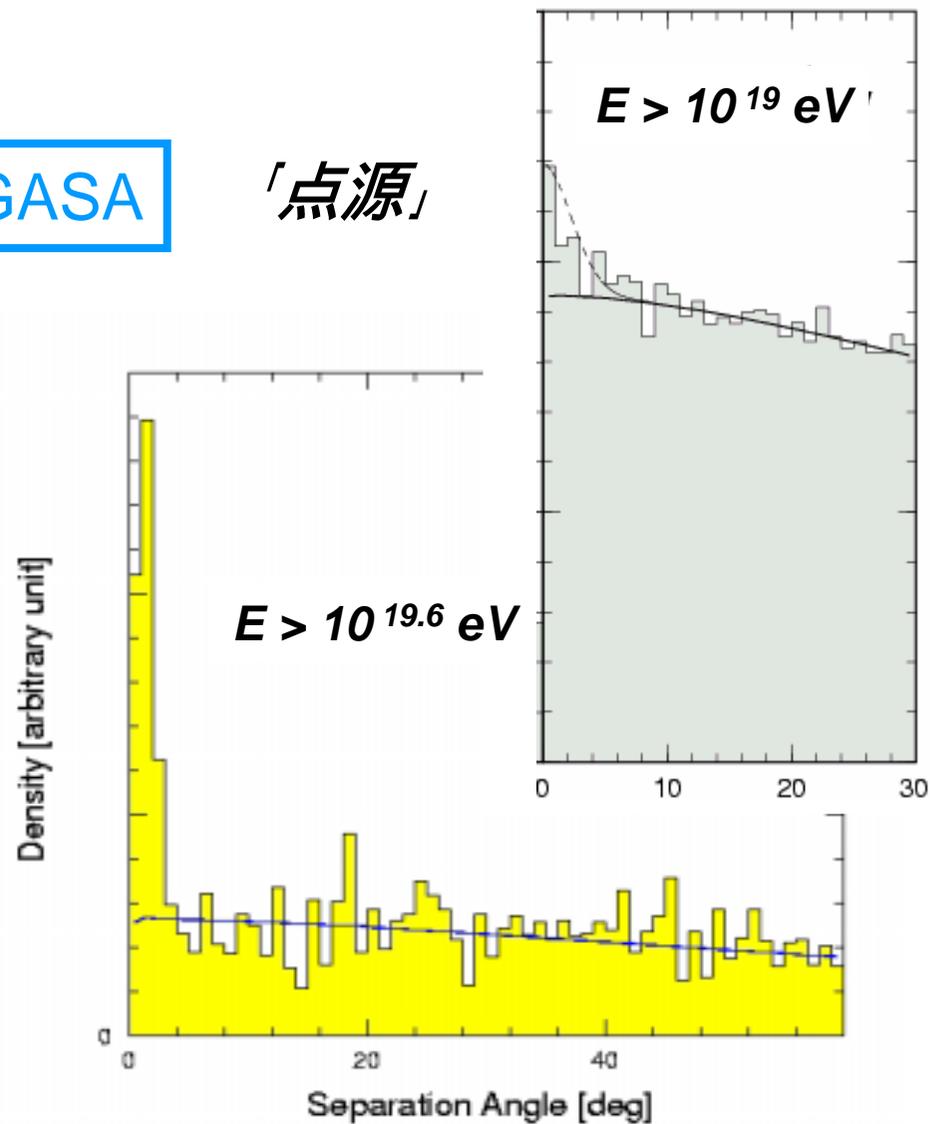
ENERGY	EVENTS	PHYSICS VALUE	CONFIRMATION LEVEL	
$10^{18} - 10^{18.5}$	Anisotropy	**	***	“ verified ”
$10^{19.6} -$	Cluster	***	**	unconf.
$10^{20} -$	Super – GZK	*****	*	challenged





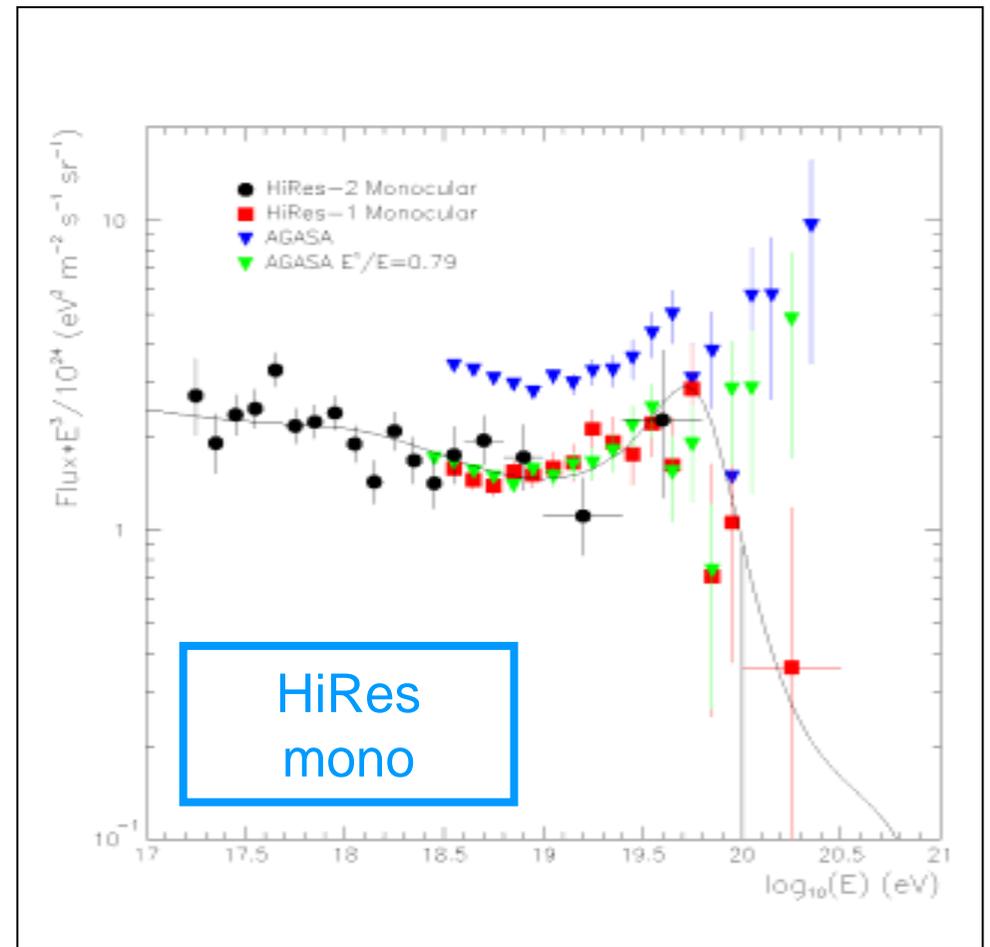
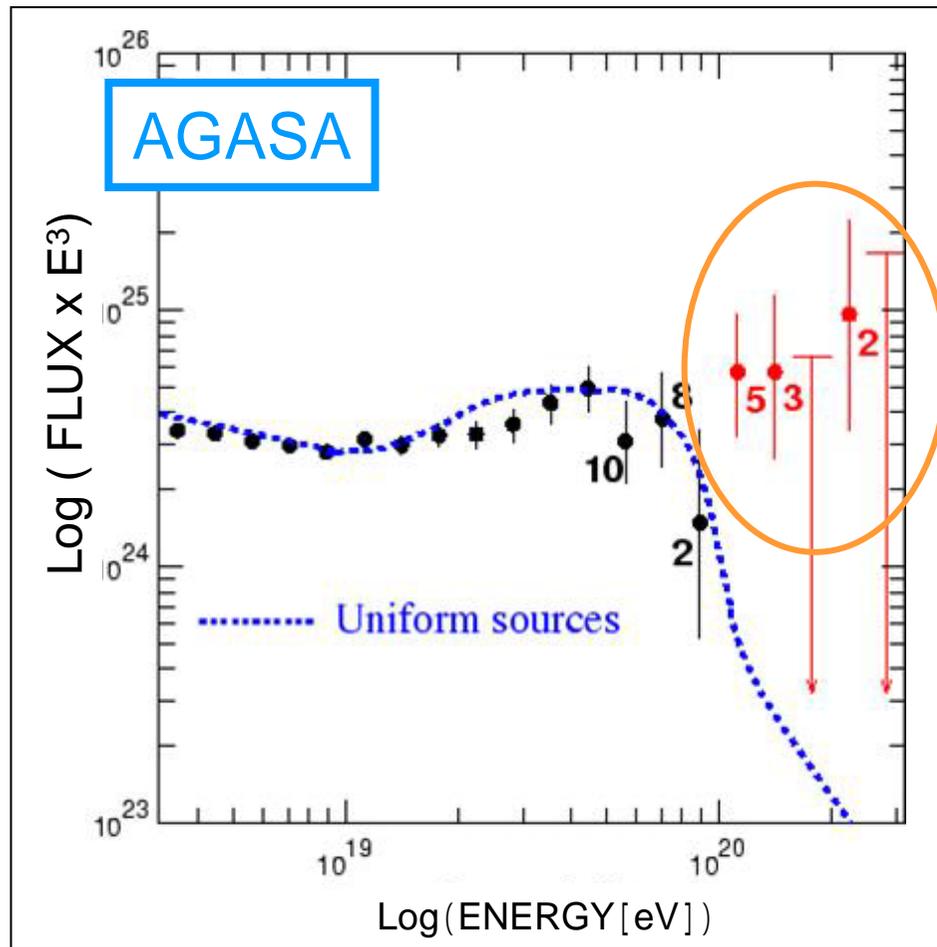
AGASA

「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。

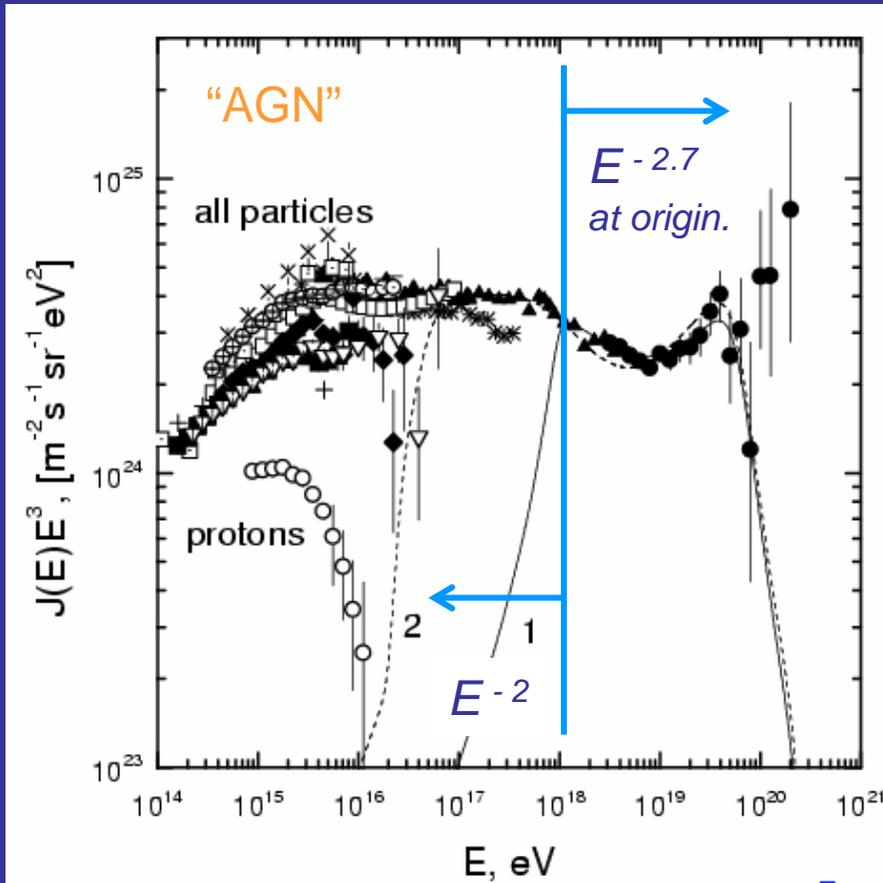


*Acceleration,
Propagation and
Interaction
of
extra-galactic
Matter-Particles*

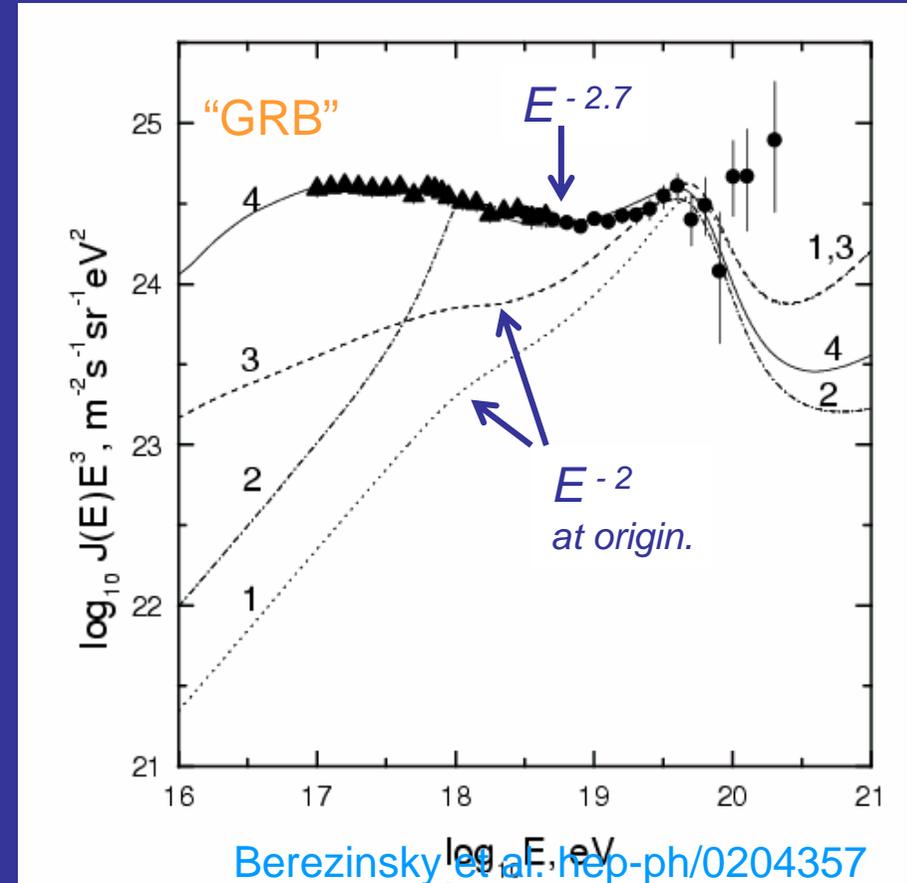
GZK cutoff
が見えない。

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
1	超重粒子の崩壊 (ビッグバン起源)	銀河ハローに 蝟集	と 銀河中心
2	$EHE + C + B + Z^0$	$C + B$ over-density in super-cluster	と
	EHE の余次元反応	~ 100 mB (大気原子核と反応)	shower- profile
3	Lorentz不変性の破れ	生成せず	陽子
4	「通常」の天体; 銀河系近傍における源過剰	50 Mpc で over-density ~ 10	-
*	実験的問題?	統計 Sys. Error	

宇宙線望遠鏡の新提案:

*AGASA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

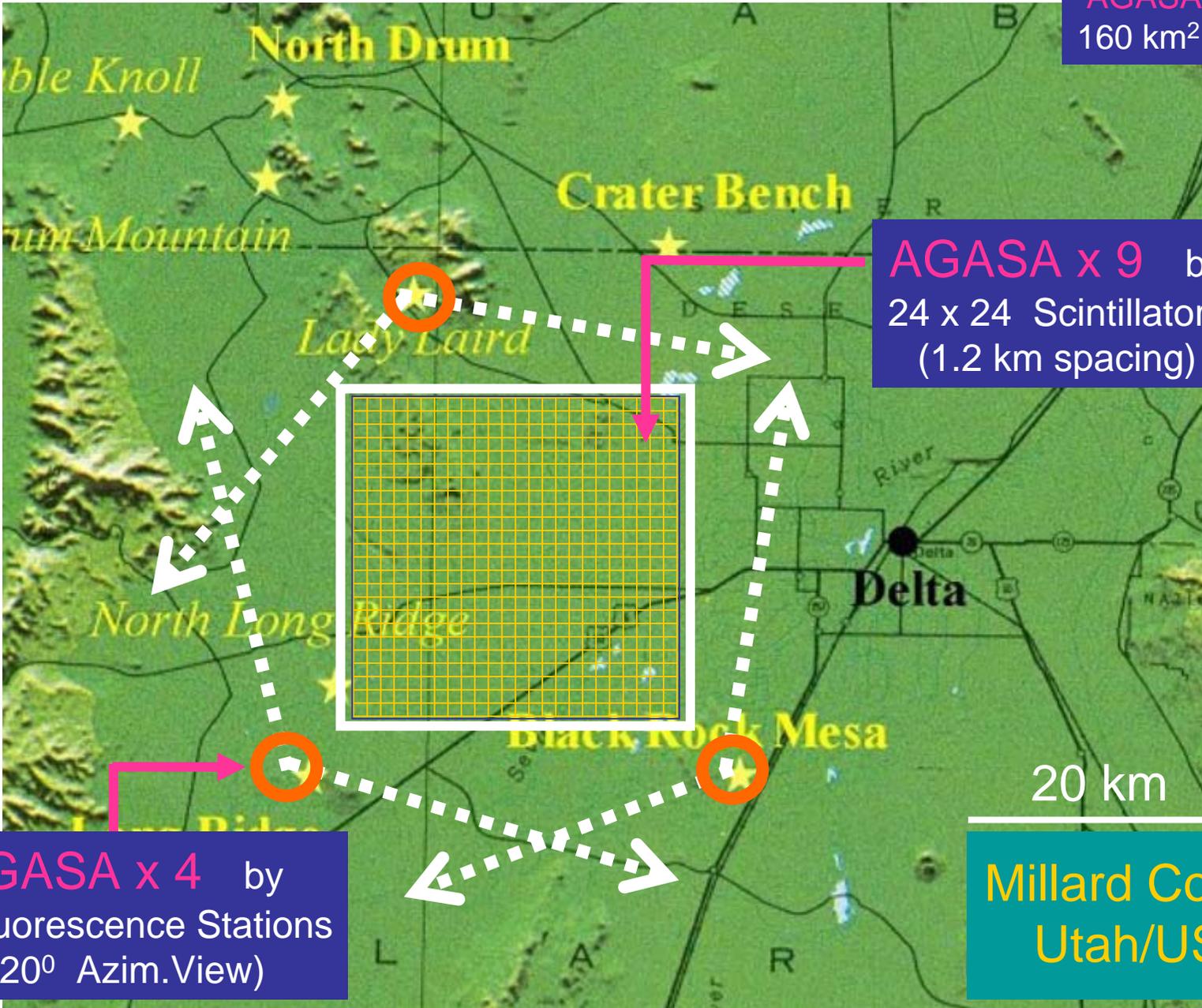
Super-GZK	エネルギーの系統誤差 地表：安定しかしMC依存 大気：実験的しかし気象依存
Cluster	到来方向精度 角度分解能

➡ 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



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 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

$E > 10^{19} \text{ eV} \sim 100 \text{ ev. / 年}$

$E > 10^{20} \text{ eV} \sim 1 \text{ ev. / 年}$

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)



AUGER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**

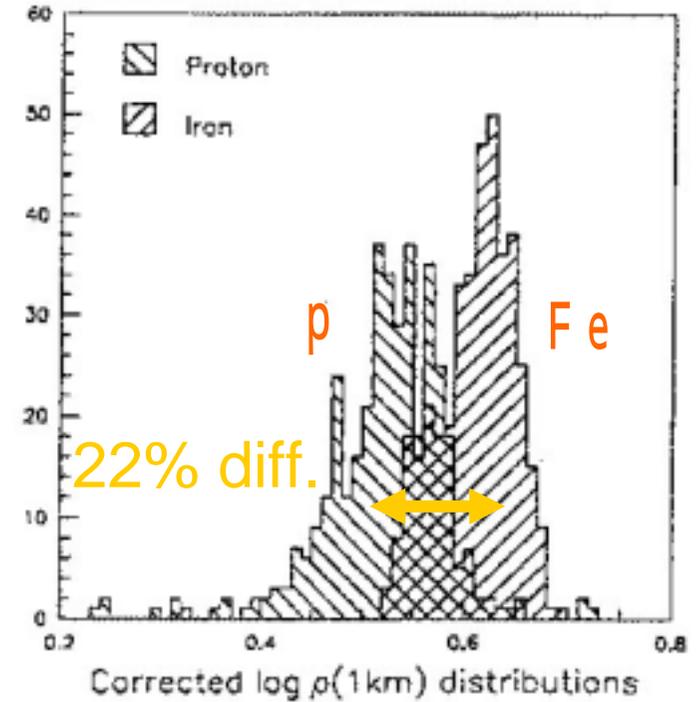
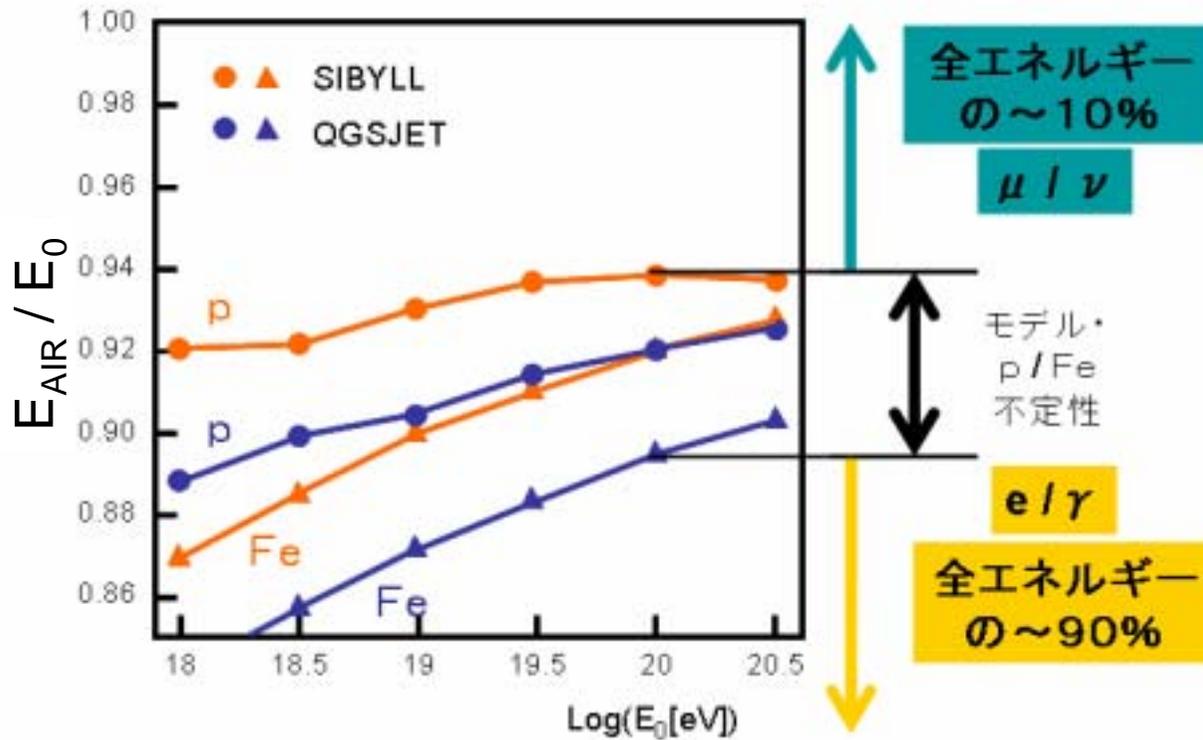
90% of Energy to electron/gamma

Small model / composition dependence

μ 測定

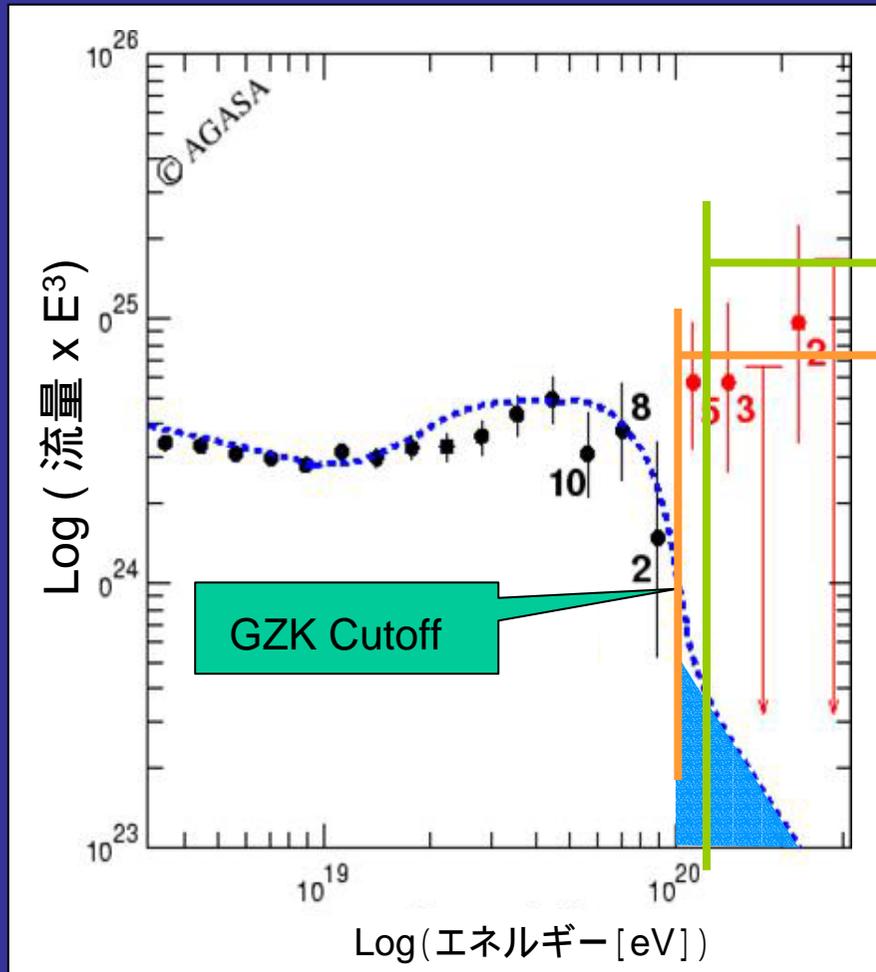
Energy Loss in the Air

“μ” Density at 1km for p/Fe



AUGER water tank simulation

目的 : GZK Cutoff ; Yes or No を確定する。



AGASAの
エネルギーの系統誤差
(- 18%)を考慮して

第1期計画3年
(- 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。 $\text{Log } E_{\text{TA}}^{\text{MAX}} - \text{Log } E_{\text{AGASA}}^{\text{MAX}} = 0.5$

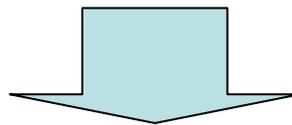
$$\begin{array}{l} \text{diff flux} \quad J(E) \propto E^{-3} \\ \text{integ flux} \quad \int_{10^{20}}^{\infty} J(E) dE = 10 \int_{10^{20.5}}^{\infty} J(E) dE \end{array}$$

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°

1.0°

0.4°

AGASA

本計画地表検出器

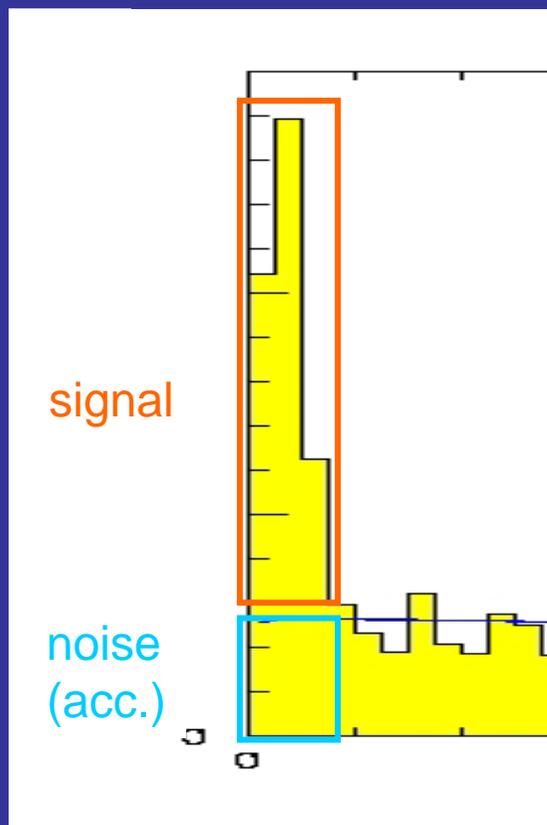
ハイブリッド

アクセプタンス

1

10

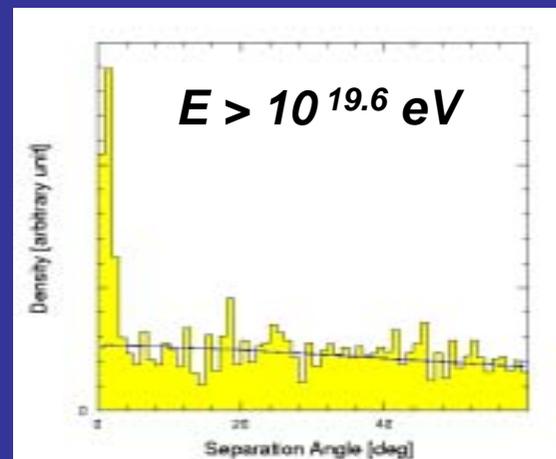
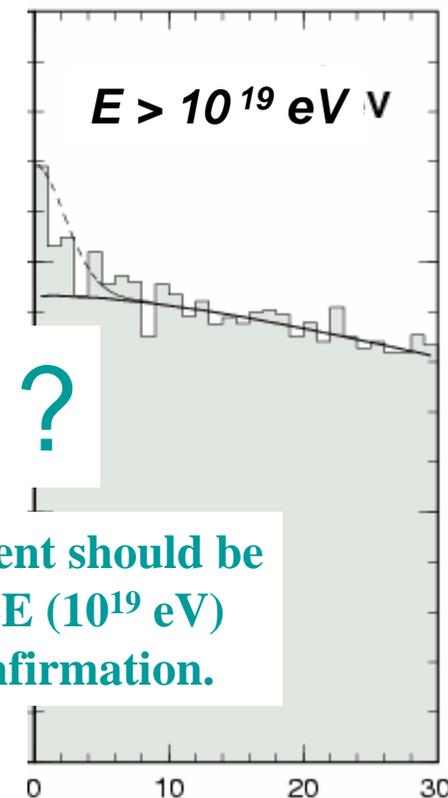
1



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.

?



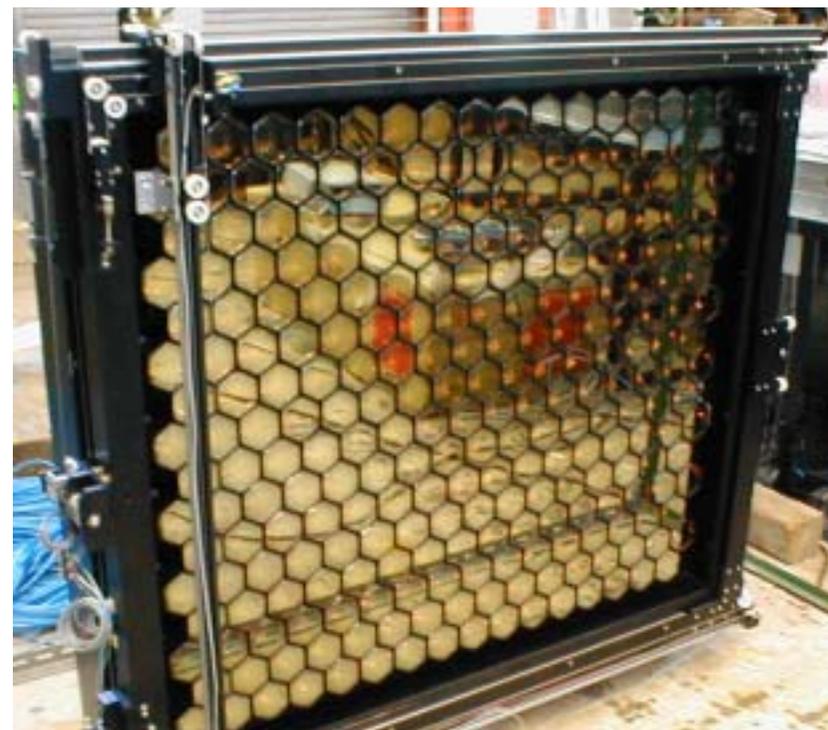
Randoms (角度)²

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・撮像カメラの
開発を完了して使用する。



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

測定精度

ΔE から 蛍光の発生数へ

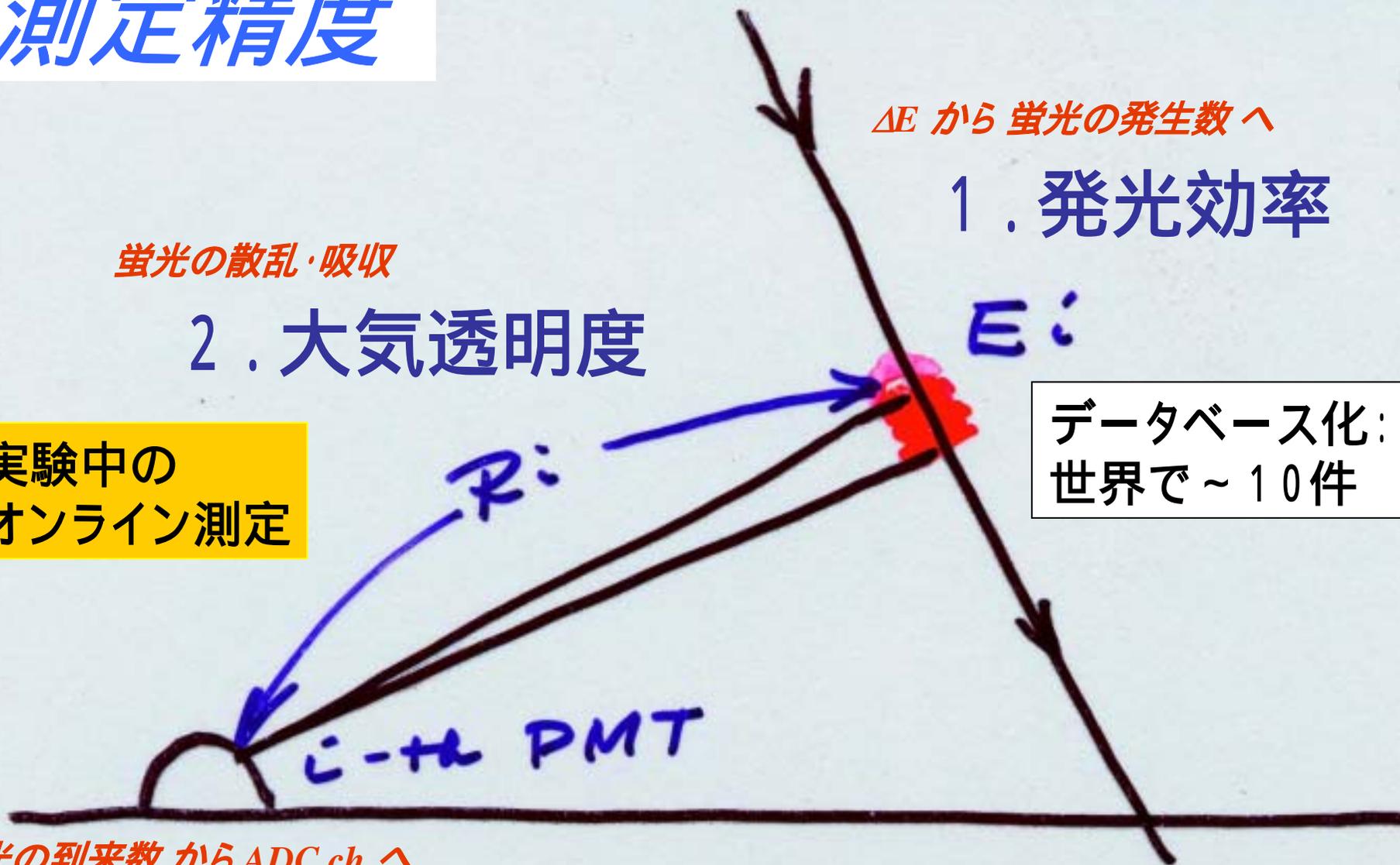
1. 発光効率

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



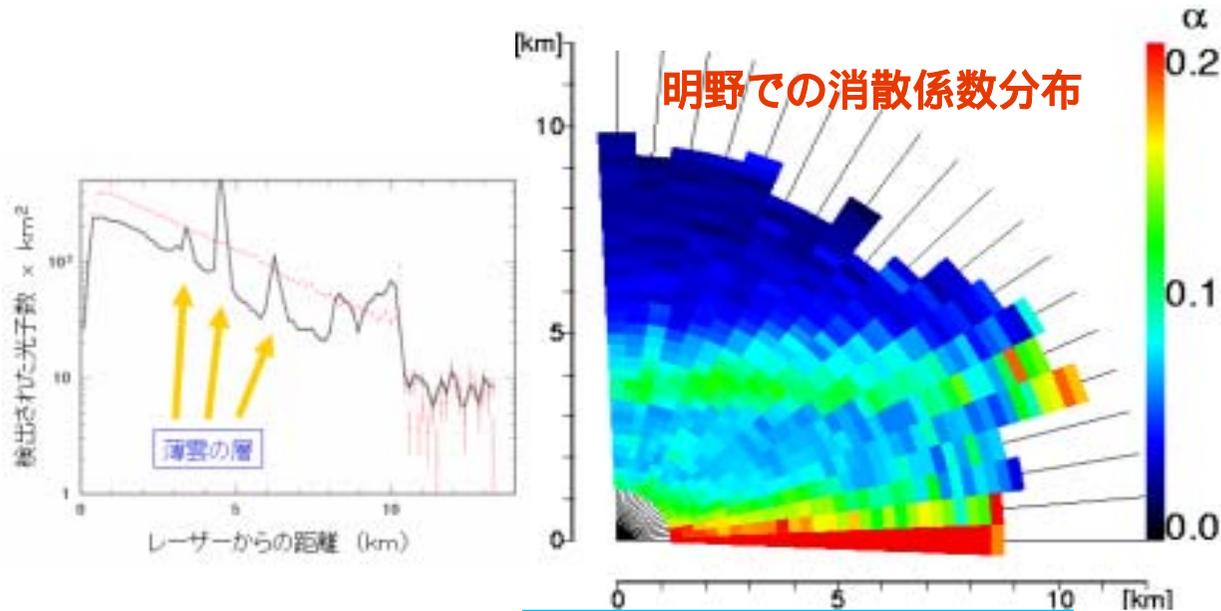
蛍光の到来数 から ADC ch へ

3. 装置感度

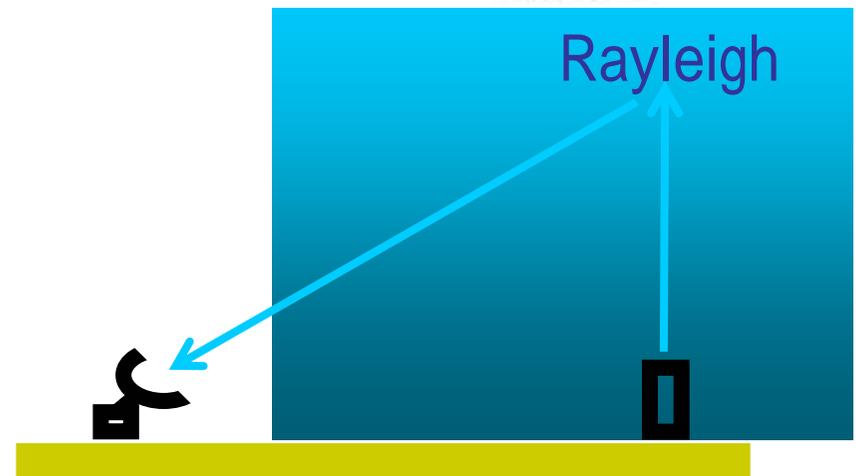
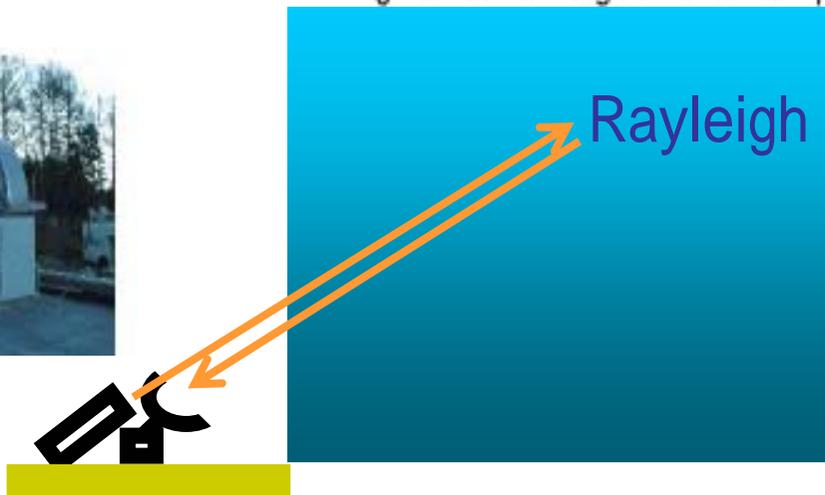
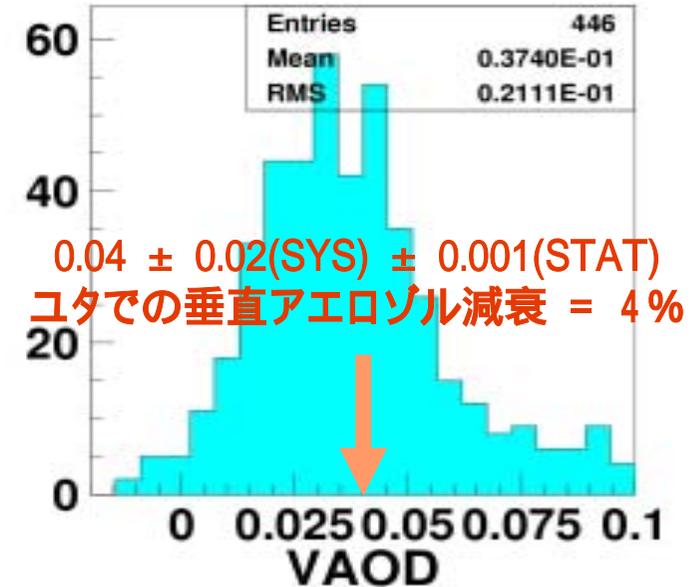
実験前測定 +
実験中モニター

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。

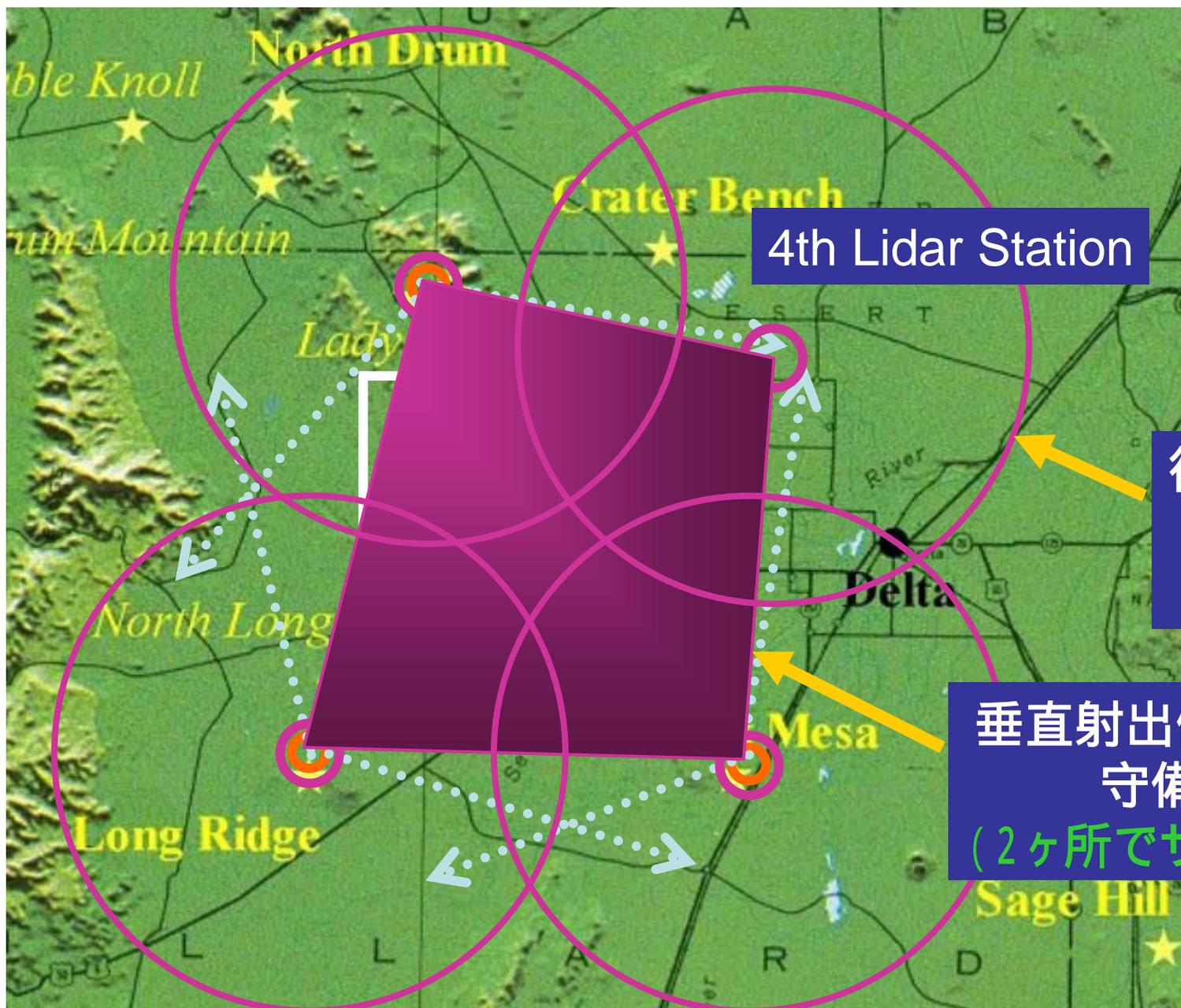
後方散乱：
相対量観測で大気の微分像



側方散乱：
絶対量観測で減衰の積分量



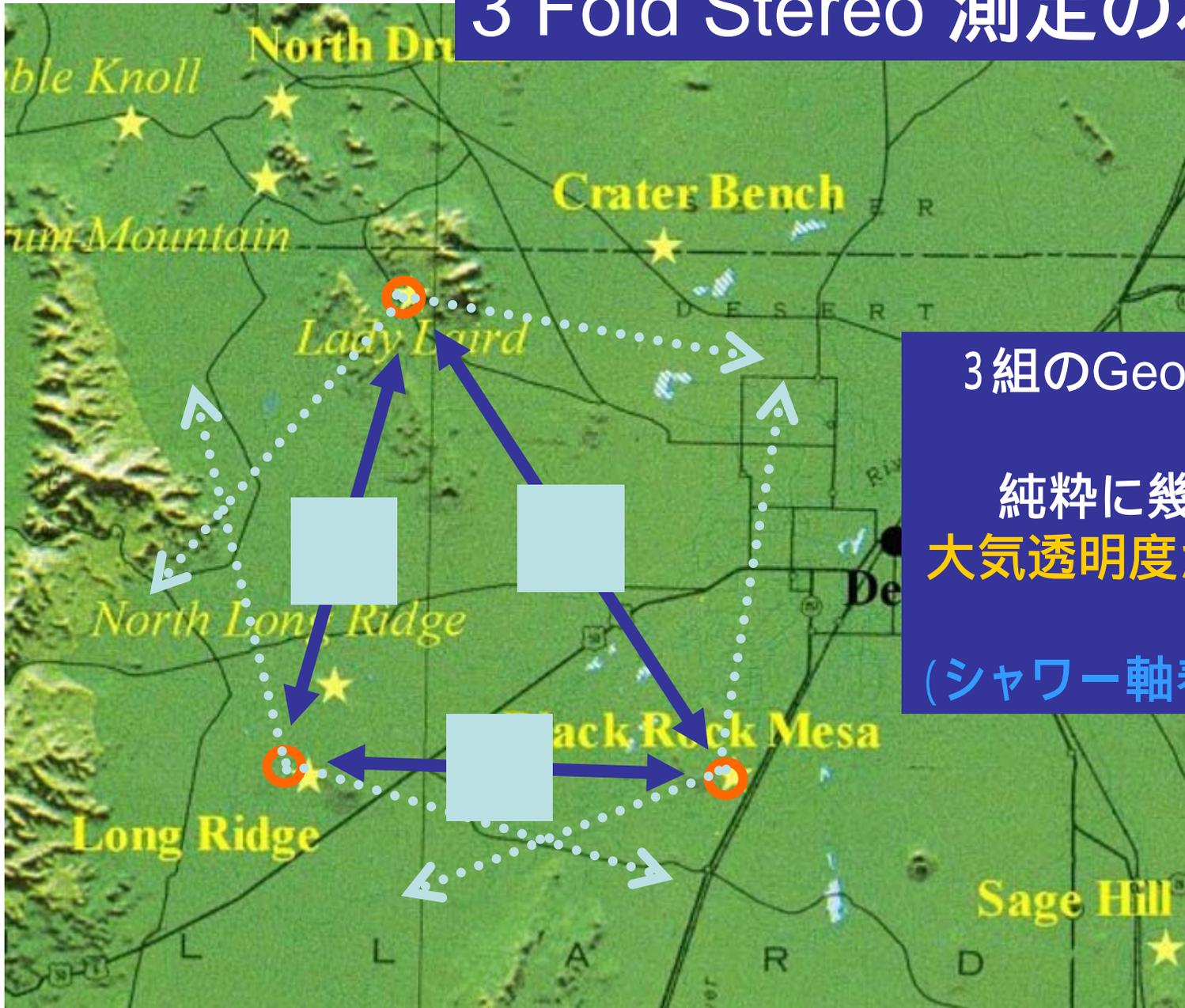
大気透明度モニターの配置案 (後方 + 側方散乱の併用で誤差10%以内を目標)



後方散乱Lidarの
守備範囲
(20 km 以内)

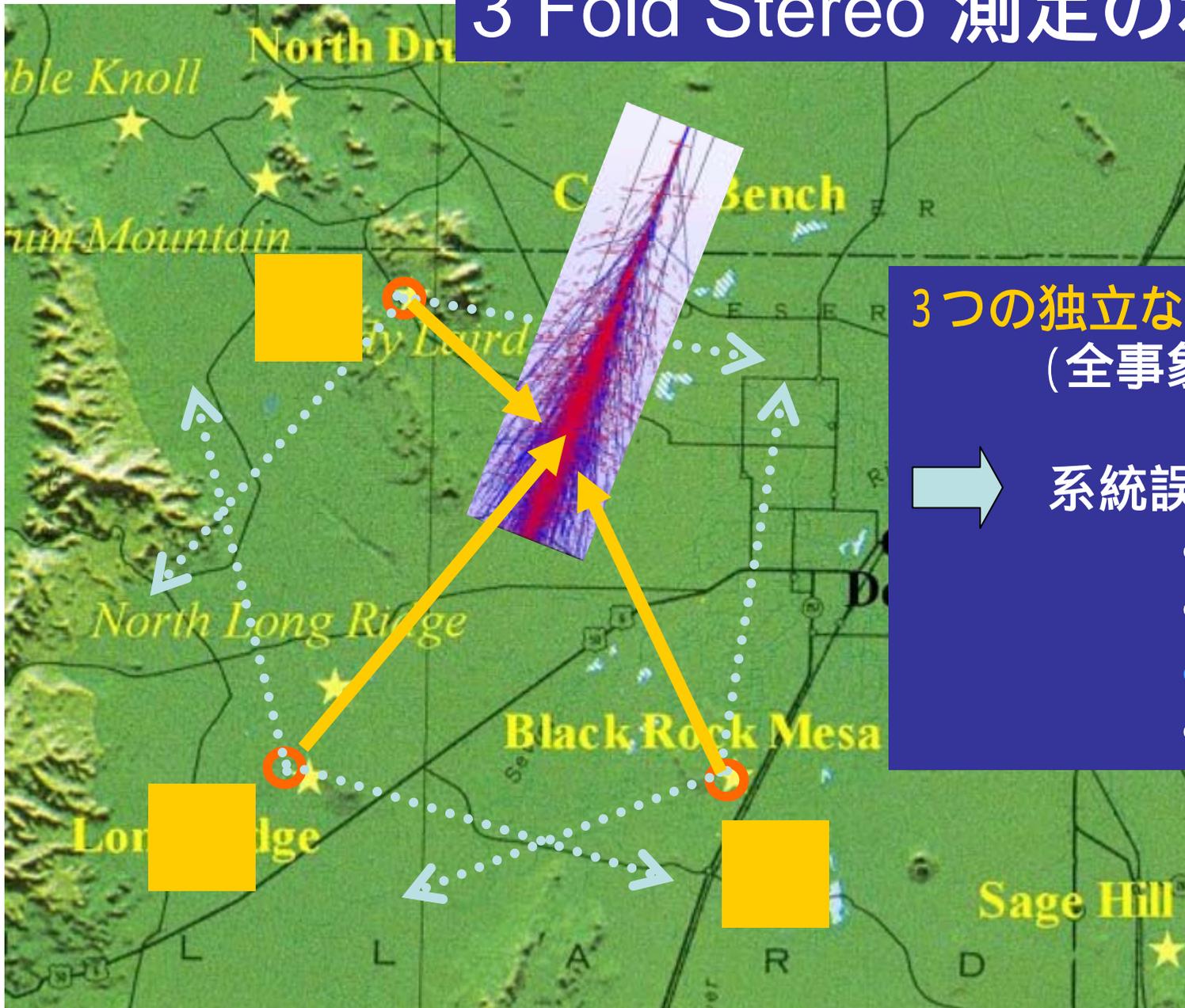
垂直射出側方散乱の
守備範囲
(2ヶ所でサンドイッチ)

3 Fold Stereo 測定の利点 - 1

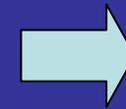


3組のGeometry決定法
+
純粹に幾何学のみ:
大気透明度が関係しない。
+
(シャワー軸着地点の測定)

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 光
- ・ 地表検出器
- ・ etc..

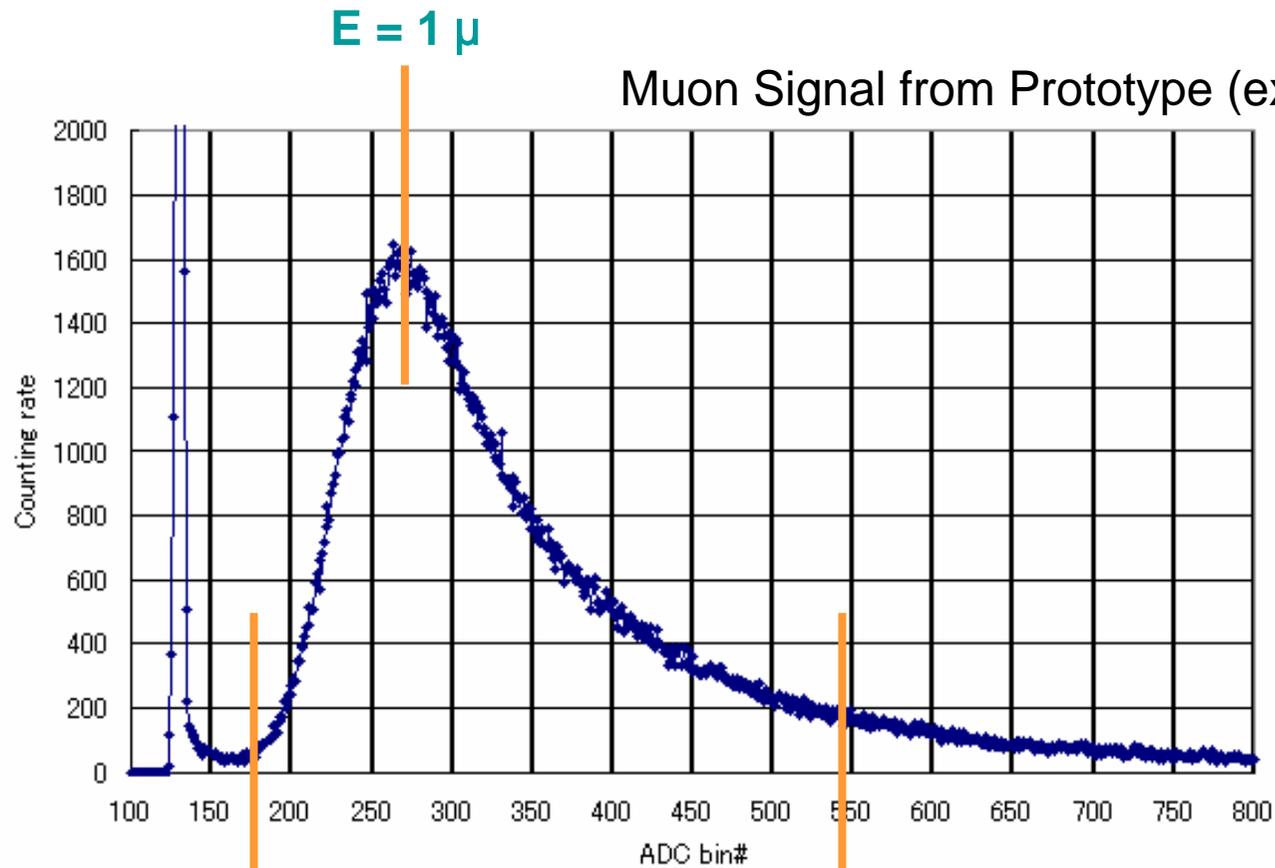


Scintillator Prototype:

50 cm x 50 cm, 1 cm thick
Wave Length Shifter Fiber readout
50 modules used in L3 for 2.5 years.



Muon Signal and Lev-0, -1 Trigger.

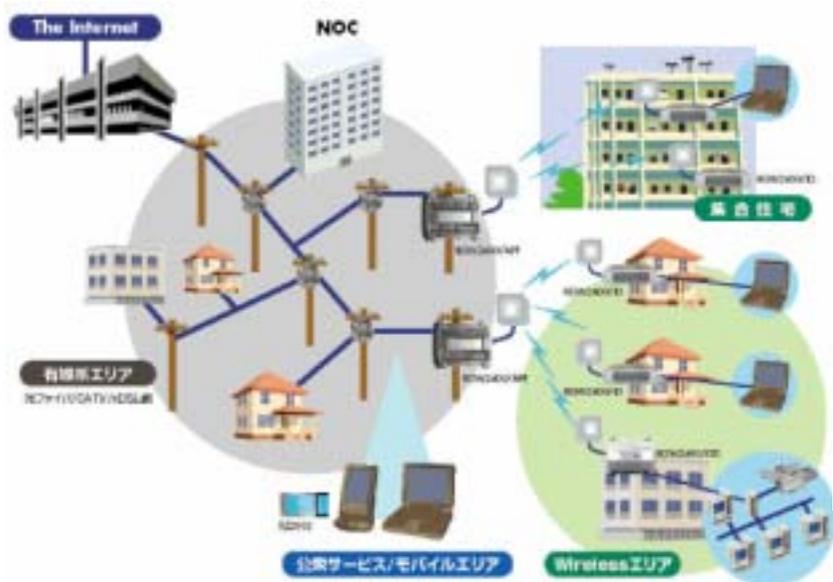


3 Scint. In Coinc.

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.



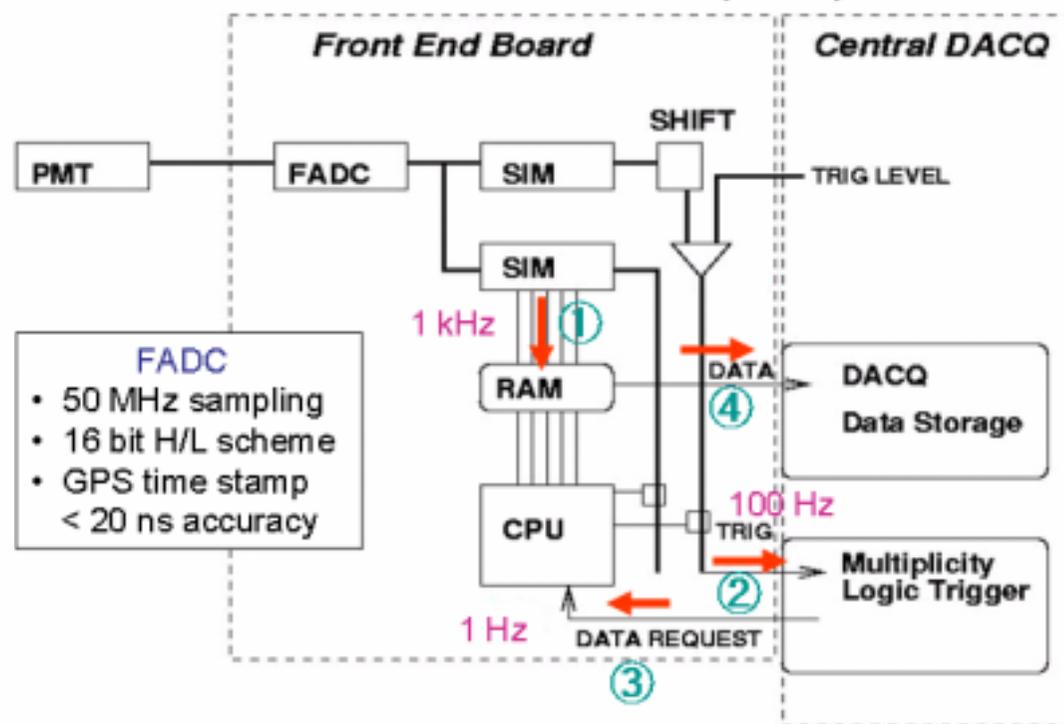
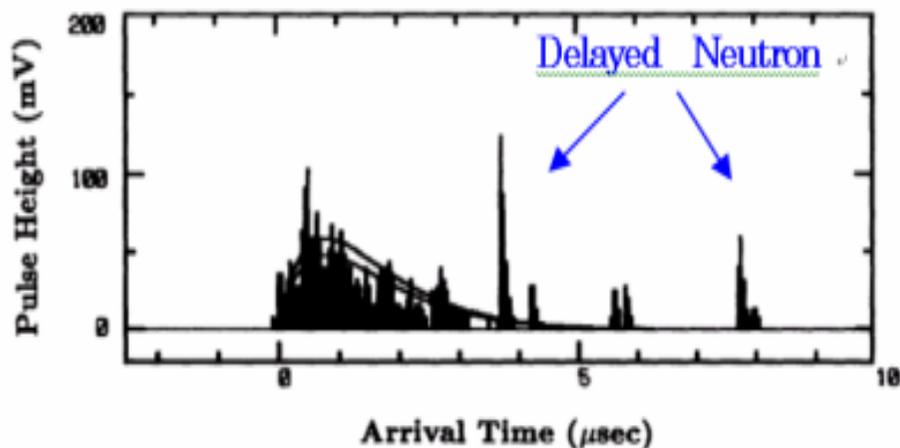
既製無線LAN



RGW2400/OD
屋外設置型メインユニット

TRIGGER and DAQ

Radio DAQ System



エネルギー測定 of 系統的誤差

For a Typical Fluorescence Detector

10% Fluorescence Efficiency
5% Atmospheric Corr.: Rayleigh
10% Atmospheric Corr. : Mie
10% Telescope Calibration
6% Reconstruction
5% Missing Energy (μ etc.)
20% 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 7 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

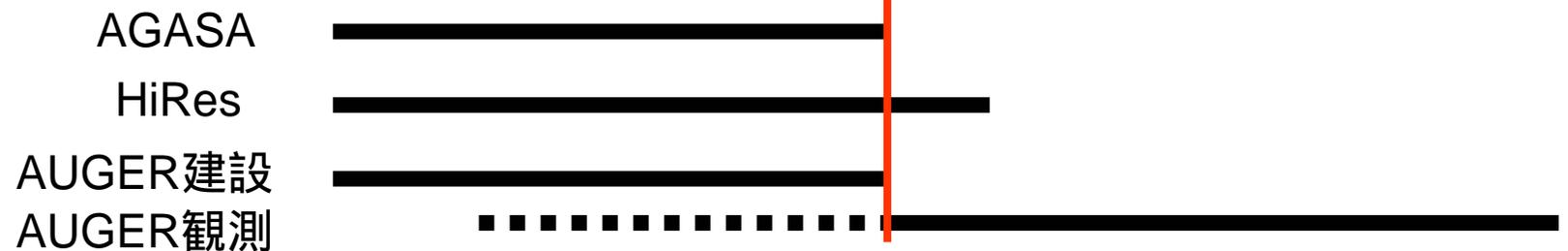
望遠鏡 3 ステーション	9.3	建屋・望遠鏡・カメラ・エレキ他 作業費等を含む
大気モニター	1.1	ライダー4基
サイト整備・インフラ(通信を含む)	1.7	HiResサイト・インフラ:240k \$ /基
シンチレータ検出器 24x24ユニット	9.7	太陽電池・通信を含む
小計	21.8	
維持運用費(2004-2009)	3.2	AGASA運用3年を含む
旅費	1.2	
小計	4.4	
合計	26.2	

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				■	■	■



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。

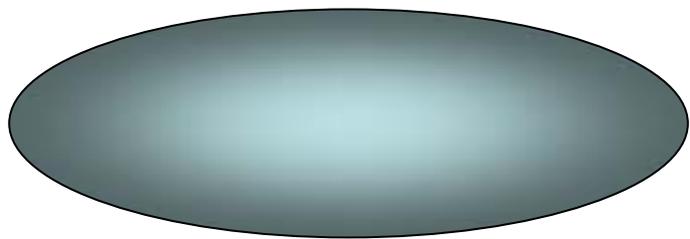
第1期中期計画の終わり2009年には
GZK cutoff, cluster の有無に実験的決着がついている。

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!



Memorandum of Understanding

Memorandum of Understanding

TA experiment

Memorandum of Understanding for cooperation on the Telescope Array Experiment between the collaborators in Japan and the US

1 Purpose of this document

A collaboration of Japanese physicists represented by ICRR at the University of Tokyo has applied for funds to build three telescope stations with associated atmospheric monitoring equipment in the Utah West Desert. The University of Utah is in the process of procuring permits for sites for these telescope stations.

The HiRes collaboration is currently operating fluorescence detectors on two sites in the Utah West Desert, and plans to build one additional site there.

The aim of the collaboration is to construct and operate a linked array of fluorescence detector stations with stereo aperture between nearest stations. We will work with Auger to ensure that the aperture will extend over the northern Auger site in Utah. All new sites will be built on locations accessible to international collaborators.

This Memorandum of Understanding (MOU) will guide the collaboration until a more complete document will be decided upon by the collaboration at a future time. Specifics of membership, institutional responsibilities, authorship on publications, shift duty for collaborators, etc. will be detailed at that later date. Until then this MOU shall define the collaboration.

2 Scope of the Experiment

The collaboration will explore all aspects of cosmic ray physics and cosmic ray interactions in the atmosphere that are accessible with the detectors it deploys. The primary goals are flux and anisotropy measurements as well as measuring the primary particle species of the highest energy cosmic rays. Other physics aspects will be added as the experiment progresses.

Memorandum of Understanding

TA experiment

3 Responsibilities and Privileges

The privilege of membership in the collaboration is initially extended to every individual that contributes to the experiment on her or his research time. All members have full access to the collaboration meetings, all data, and all software used in the experiment. They have the right to be heard at the collaboration meeting on any matter they deem relevant. The institution list is presently open. The collaboration promotes participation of interested physicists worldwide.

At this stage, the collaboration will be governed by a Steering Committee (SC) and two co-chairpersons.

The Steering Committee shall initially consist of two American and two Japanese representatives plus the two co-chairpersons of the experiment. Masaki Fukushima of ICRR, University of Tokyo, and Pierre Sokolaky of the University of Utah shall be the first co-chairpersons of the SC.

The Steering Committee will recommend a long term governing structure for adoption by the collaboration. This structure will include a forum that decides all issues of detector deployment, maintenance, and use. In the meantime, the Steering Committee will serve as this forum.

4 Rules

Collaboration meetings shall be held at least once a year, preferably twice a year.

All code, databases, and output of code that are used within the context of the experiment, including its design, its operation, and the analysis of its data by members of the collaboration must at all times be public within the collaboration. It is the responsibility of the individual members and groups that produce and use software, analysis output, and technical drawings to make their product accessible to all collaboration members.

Any subgroup or individual that installs scientific equipment using infrastructure (sites, power, data links, etc.) of the experiment will have to make that equipment's data as well as the necessary documentation available to the whole collaboration without delay or the equipment shall be removed at the advice of the collaboration governing body.

Hardware installed for the purpose of conducting the experiment shall not be removed until the experiment is completed, unless permission is given by the collaboration governing body.

5 Collaborating Institutions

1. ICRR, University of Tokyo

M. Kubokawa Masato Sakai

2. University of Utah

Reuven Solovskiy Kim Venter

3. Osaka City University

Chikuo Furuta
Yoshiki Teramoto

4. Tokyo Institute of Technology

Junji Kakimoto

5. Saitama University

Naoya Inoue

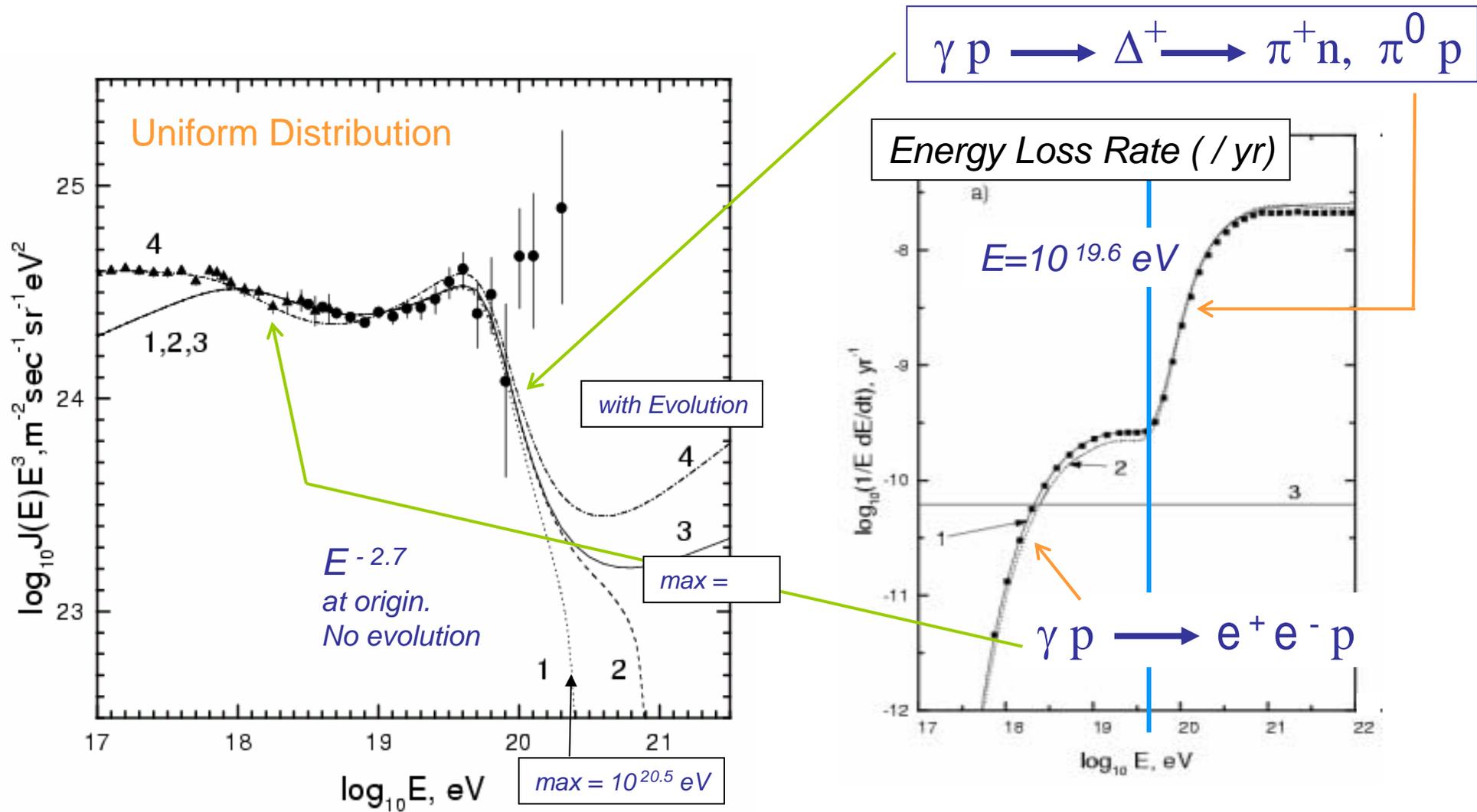
6. Rutgers University

Gordon Thomson GORDON THOMSON
Steve Schnetzer STEVE SCHNETZER

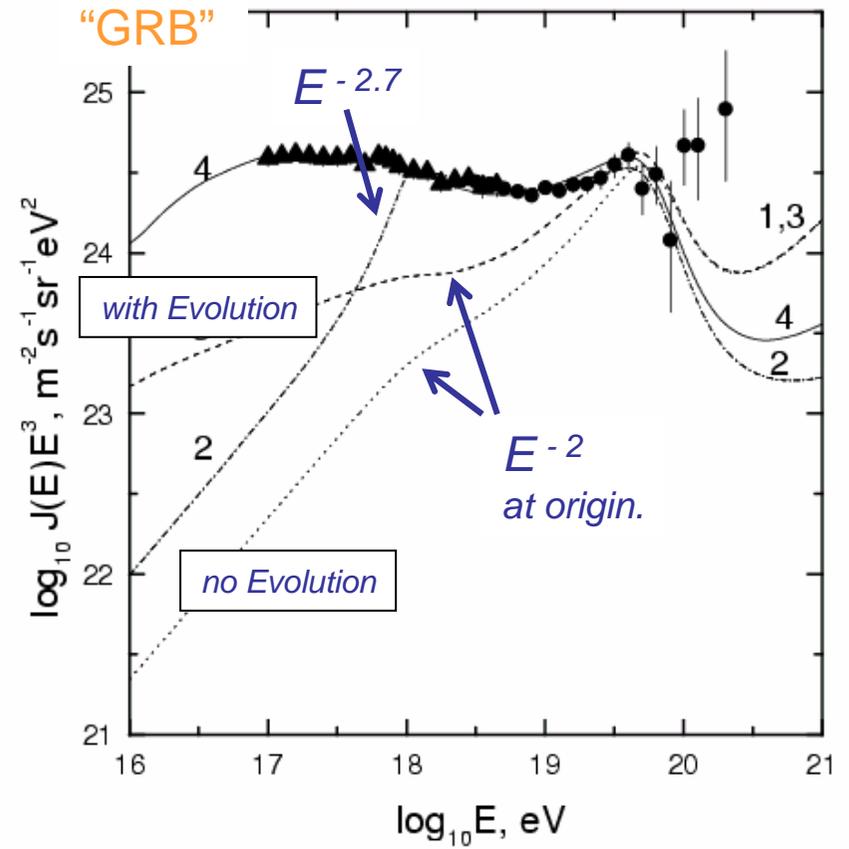
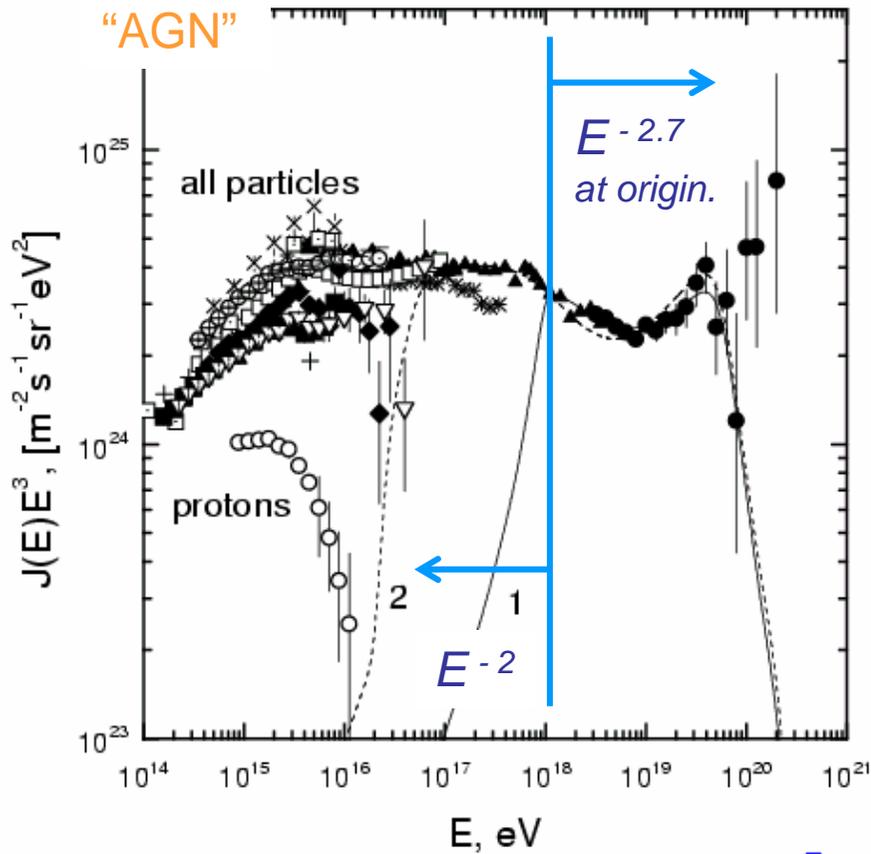
7. University of Montana

J.P.B.

JOHN BELZ



一様分布するソースによるスペクトルと AGASA データ
(エネルギー損失と cutoff の関連)



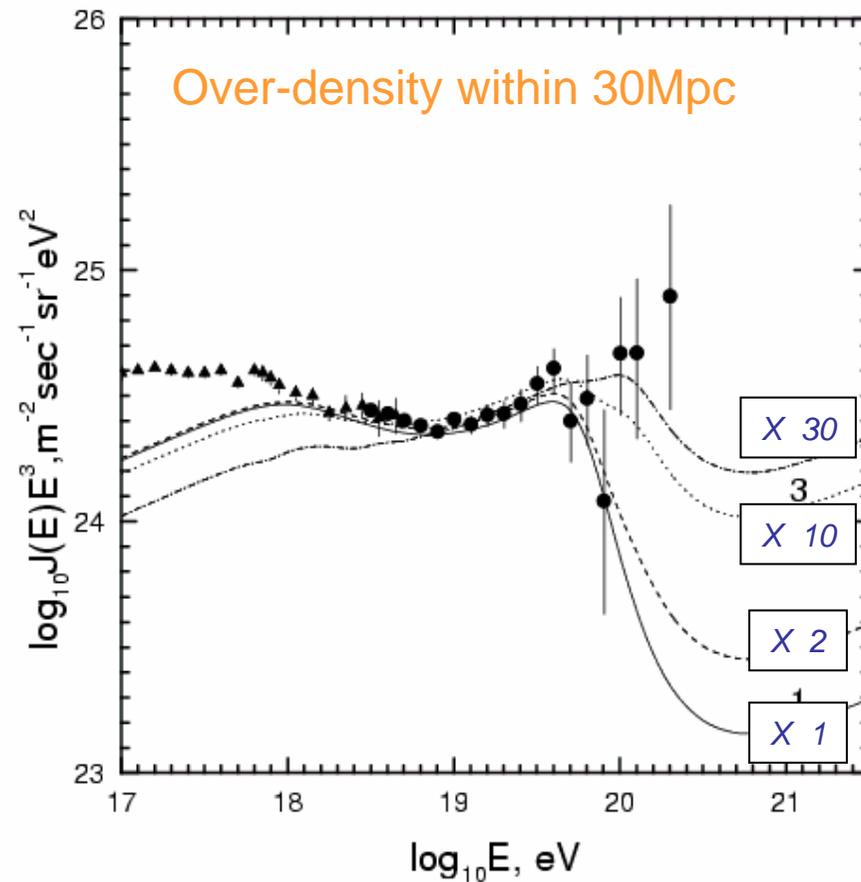
「活動銀河核」と「ガンマ線バースト」から期待される
 スペクトル (GZK-cutoff を避けられない。)

	Type of Object	# of CANDIDATES	# of COSMIC EVENTS	ENERGY THRESHOLD $\times 10^{20}$ eV	RESULT
1	Compact Radio Quasar	451	AG+HP+FE 10	~1	No
	Gamma Ray Blazar	47	10	~1	No
2	Gamma Ray loud BL Lac	14	YK AG 26 + 39	YK AG 0.24, 0.40	5 Signal
3	Nearby ($z < 0.01$)	12	AG 34	0.40	3 Signal
	Quasar Remnant		AG+HP+FE 7	1	No?

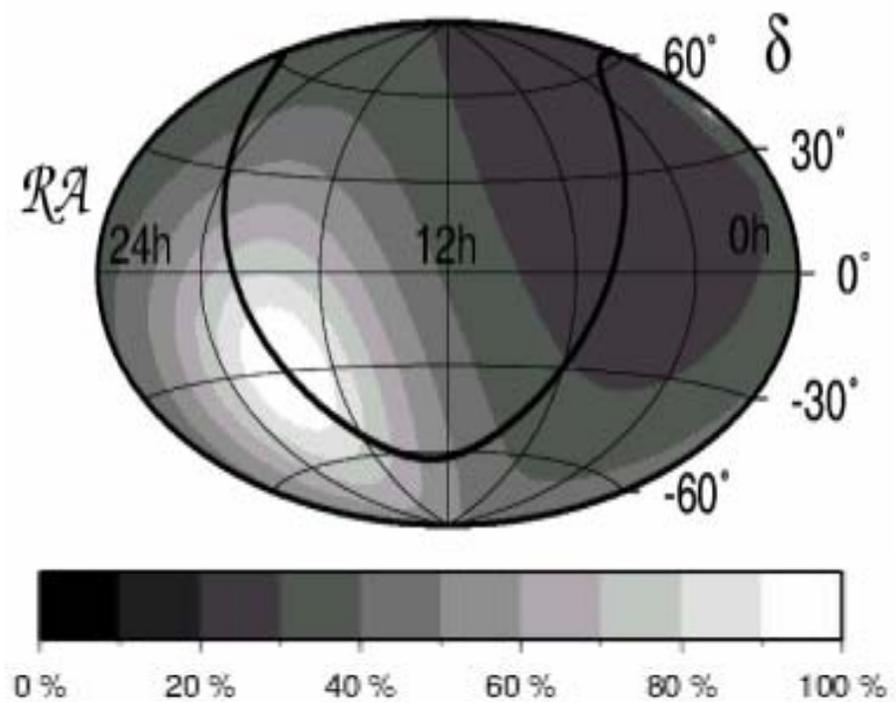
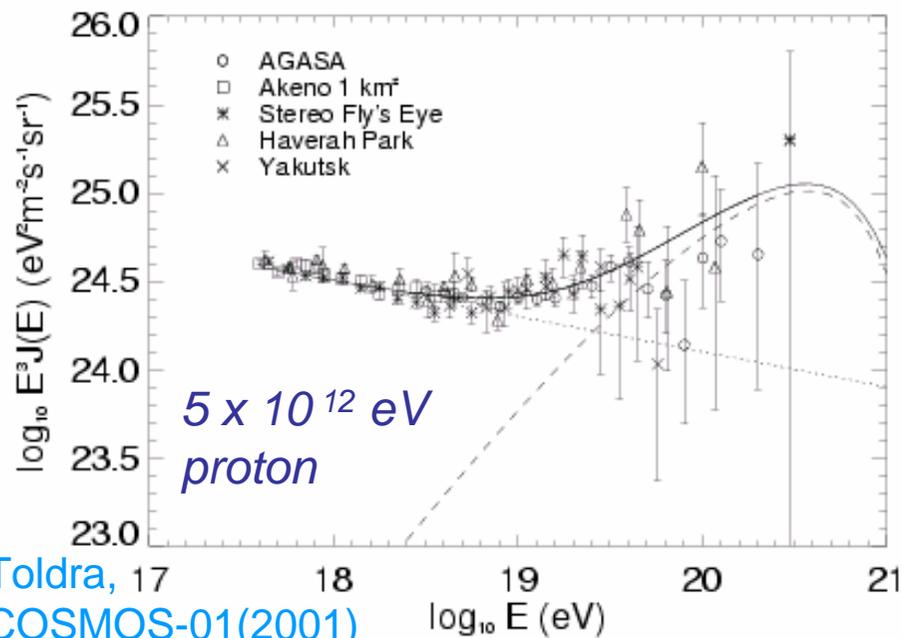
BL Lac : Relativistic Jet
QR : EMF by spinning BH

- 1 Sigl et al., PRD 63(2001) 0813021
- 2 Gorbunov et al., astro-ph/0204360
- 3 Torres et al., astro-ph/0204419

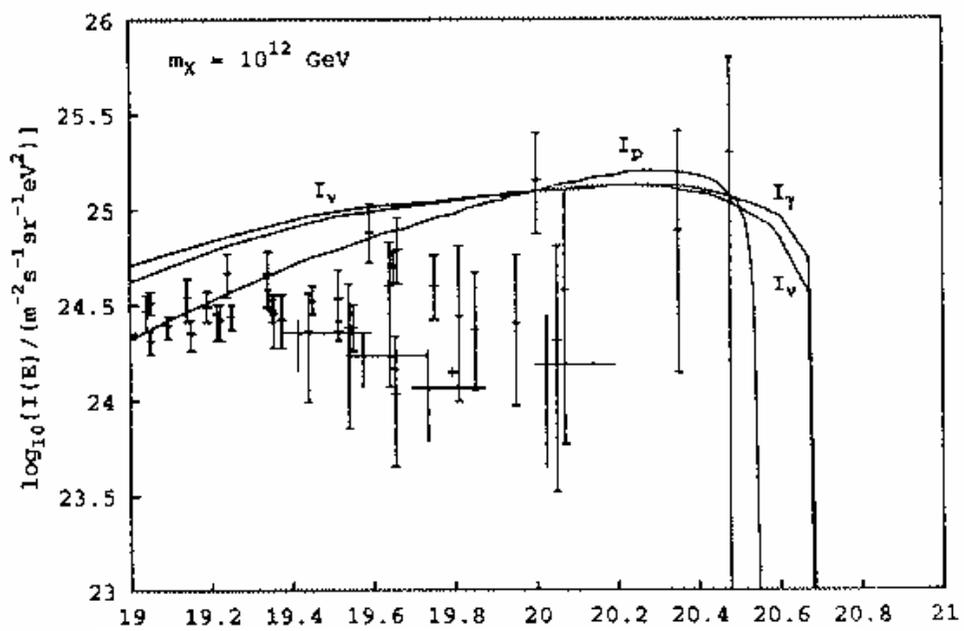
0.4×10^{20} eV以上の宇宙線と対応天体



銀河系近傍でのソースの over-density が
 スペクトルに与える影響 (GZK cutoff の緩和)



Evans-Ferrer-Sarkar



Birkel-Sarkar, Astropart.Phys 9(98)297

**超重粒子崩壊による
 スペクトル(ガンマ線成分他)と
 到来方向分布**

Haverah Park:

Rate of inclined ($60^\circ < \theta < 80^\circ$) events

AGASA:

Muon Density at 1000 m from shower axis

Energy	HP	AGASA
$E > 10^{19} \text{ eV}$	41 %	28 %
$E > 10^{19.5} \text{ eV}$		67 %
$E > 10^{19.6} \text{ eV}$	65 %	

95 % CL

AGASAと ハベラパーク による ガンマ線成分の上限値