

最高エネルギー宇宙線・ニュートリノ 観測の現状と将来

NO
TURN
AROUND

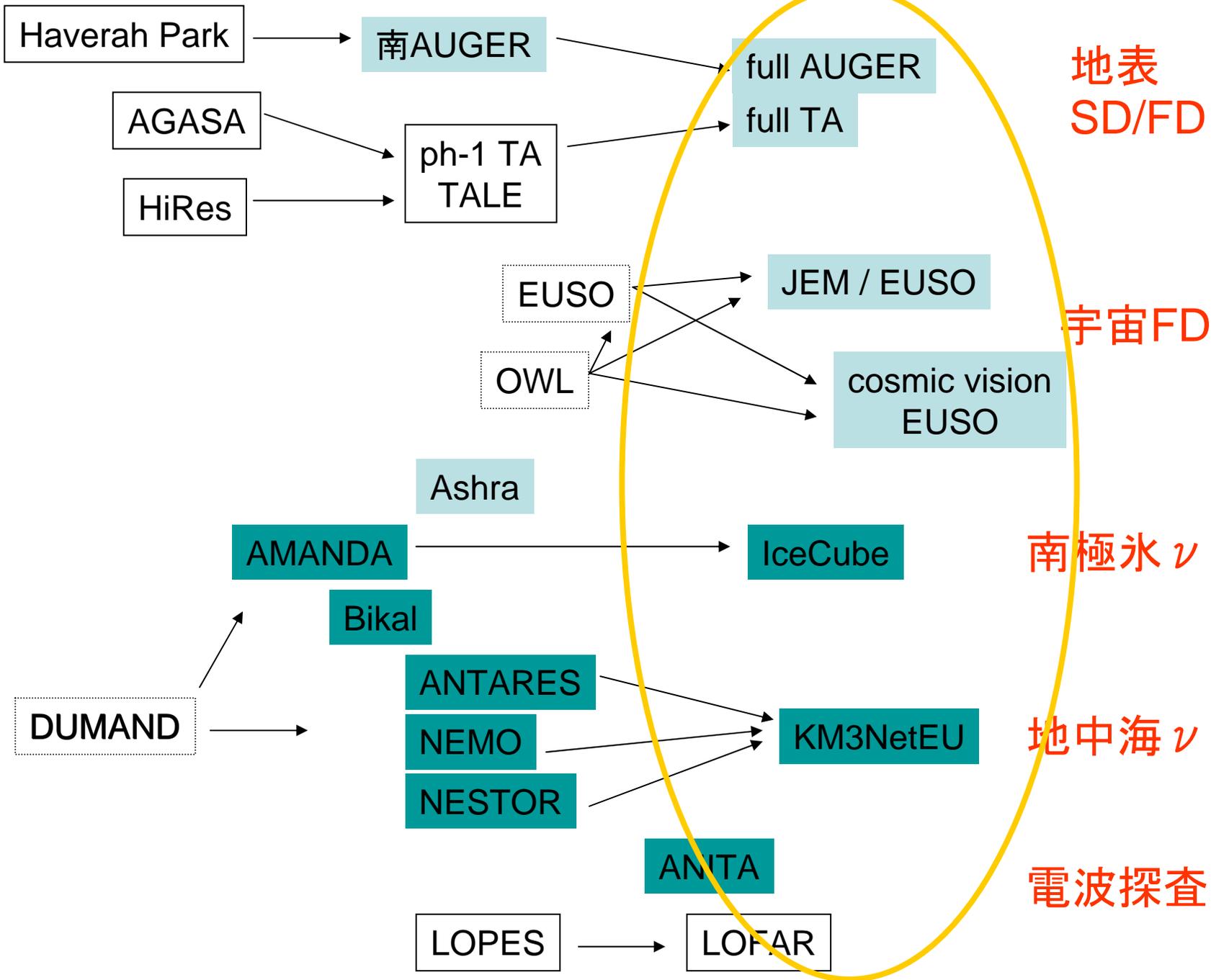
宇宙線研究所将来計画に向けた勉強会
平成18年4月20日 ICRR 福島正己

WEBで公表するにあたり、この頁を付け加えました。他に図の出典など、小さな修正も加えています。

TAは現在 ph-1 TAの完成に全力を注いでいるため、将来計画について十分な議論が出来る体制ではありません。以下の報告は、TAの宇宙線研グループで2度行った議論・勉強会と、福島の考え(バイアス)に基づいています。グループとしての方向は、今後の研究の進展や、共同研究者との議論・研究会、世界的な流れの中で形づくられて行くと思います。

また、この中の発表の大部分は、WEBなどで公表されたPPT発表や公刊文献から取りました。グループの芝田・竹田・得能の各氏に資料の収集・まとめに貢献していただきました。

UHECR and UHE ν experiments



AGASA

○ 明野観測所

- 1km² アレイ、 N > 100台のシンチ
- ミュー検出器、 比例計数管で~30台
- ハドロンカロリメータとコアアレイ
- AGASA

○ AGASA

- 2m²、5cm厚シンチが111台、~1km間隔
- 光ファイバーの使用で100km
- ~1990年から、2004年1月まで13年間の観測

○ AGASAの成果

- ~10¹⁸ eV Anisotropy、銀河中心からの excess
- ~10¹⁹ eV 点源
- ~10²⁰ eV Continued spectrum, No GZK cutoff

○ 明野観測所の共同利用粒子検出器は全て停止

4月から機能縮小して運用。主としてサイトとファシリティの利用

Fly's Eye, HiRes

○ ュタ

- FY mono > FY stereo
- HiRes / MIA hybrid
- first HiRes-1 then + HiRes-2
- HiRes stereo

○ High Resolution Fly's Eye

- HiRes-1, 1 ring: 仰角 3° - 19° , Old FY electronics (S/H)
- HiRes-2, 2 rings: 3° - 34° , FADC wave form sampling

○ HiRes の成果

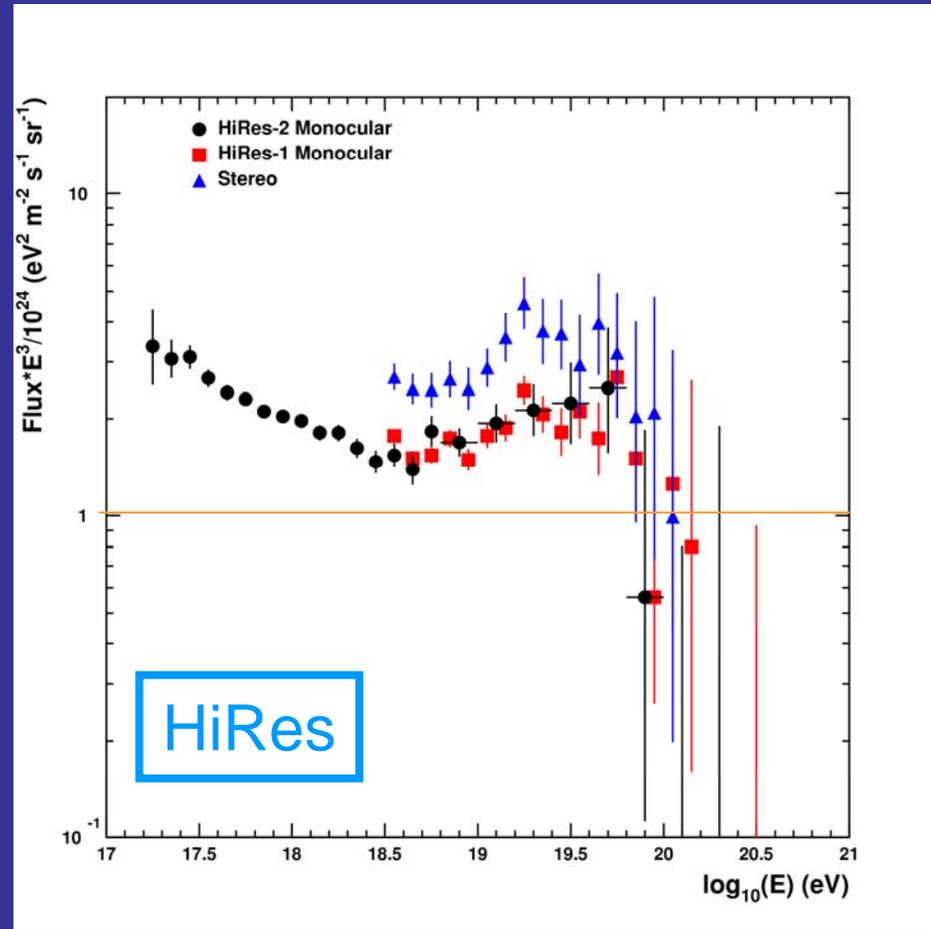
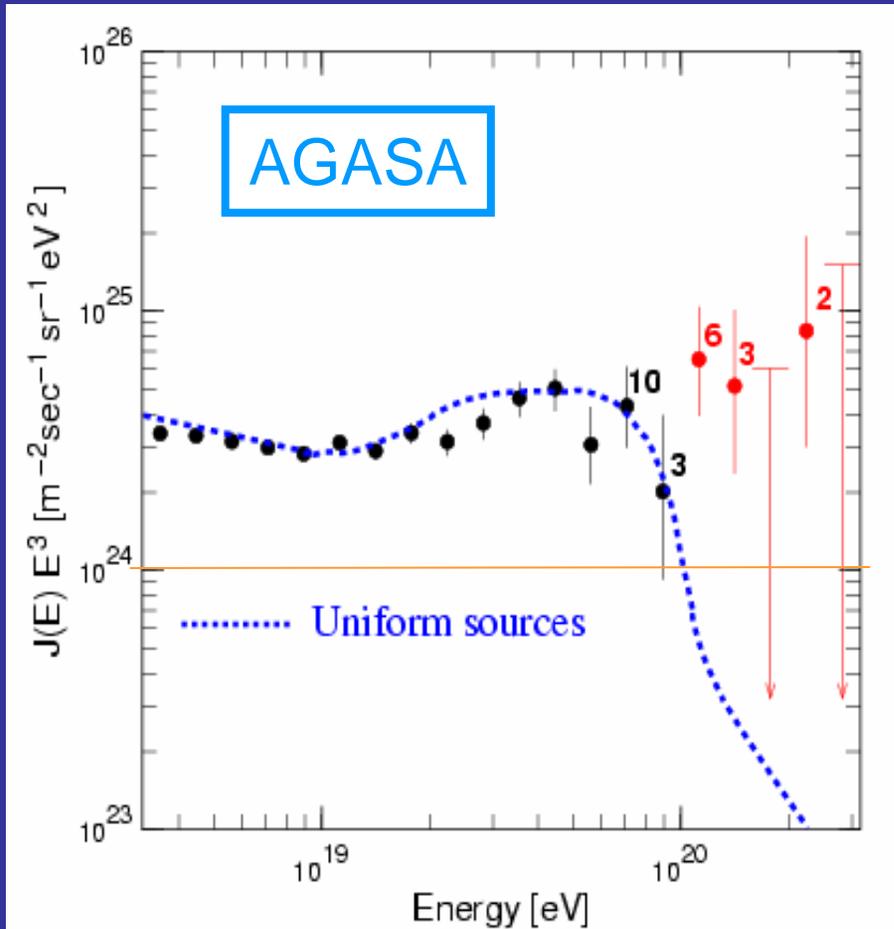
- $\sim 10^{18}$ eV heavy to light transition
- $\sim 10^{19}$ eV BL Lac との correlation
- $\sim 10^{20}$ eV GZK cutoff

○ 2006年4月、HiRes 観測停止。TAサイトへ移設して

- TA 第3望遠鏡サイト
- 10^{18} eV 領域のFD stereo: TALE

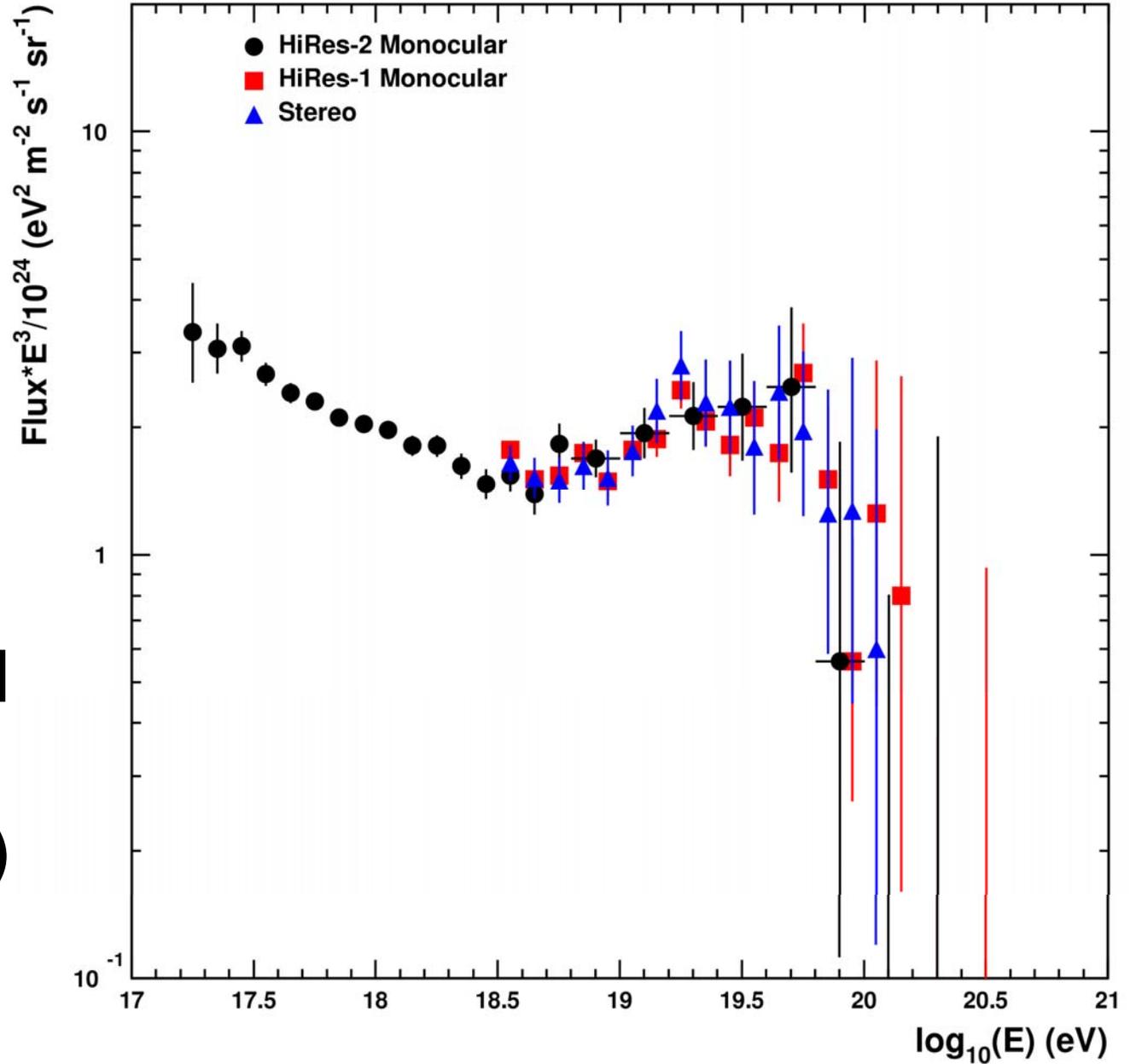
NSF予算 (FY2006-FY2008) が認められた。

Energy Spectra by AGASA and HiRes

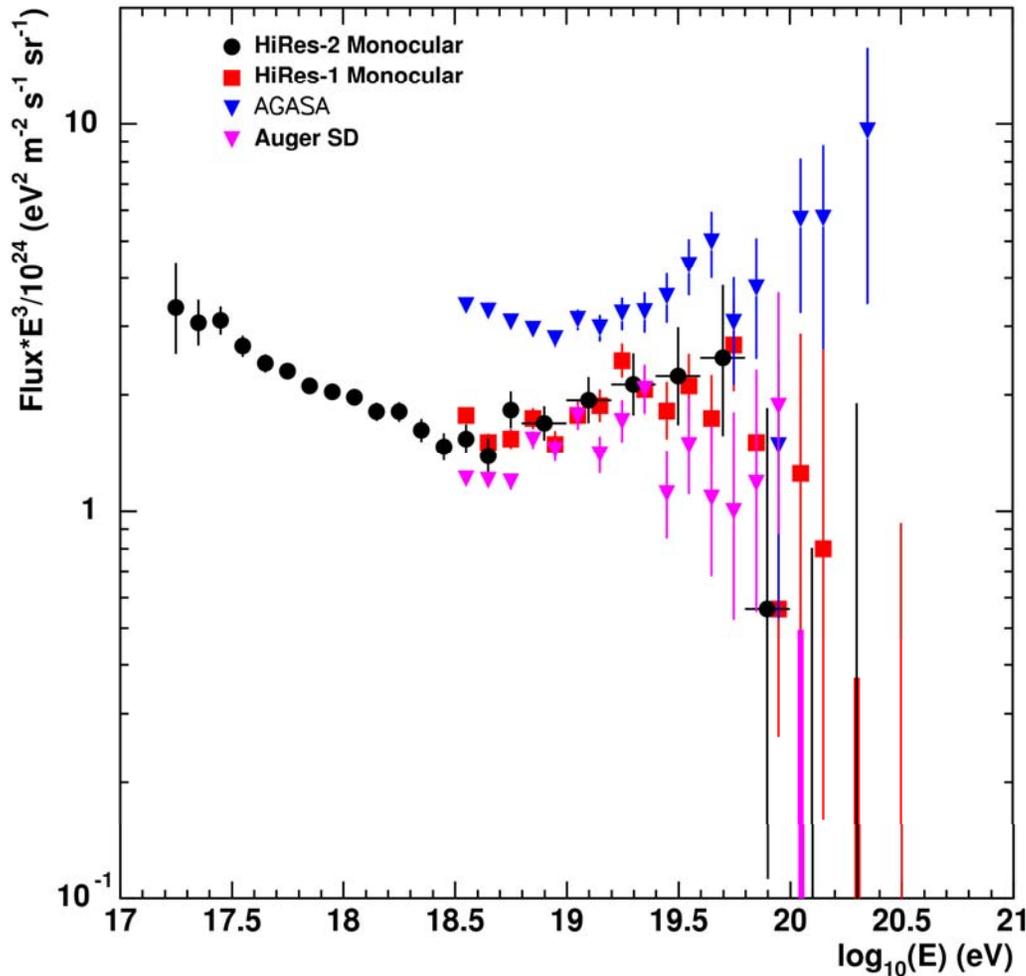


HiRes Monocular & Prelim Stereo Spectra

(Stereo
Normalized
to
Monocular)



Auger SD spectrum



**Energy scale uncer.
still large**

~40 % in 100 EeV

**improvement will come
soon**

;))

The Mission of phase-1 TA

Confirm / Refute

- *super-GZK*
- *cluster*

by AGASA x 10 hybrid

*The problem is understood
only if the answer is independent of methods,
by air fluorescece or ground array, by water tank or scintillator,
in the north or the south*

Ph-1 TA

Telescope Array Locations

General Reference Map



Middle Drum

Comm. Tower

~600 Counters
AGASA x 10

CLF

Hinckley

Delta

Long Ridge

Black Rock Mesa

- TA Locations
- Communication Towers
- Fluorescence Locations
- ▲ Central Laser Facility
- Streams
- Lakes

TALE

3 x Fluorescence Stations
AGASA x 4

Low Energy Extension

TAの未来: 2010年までに

- 物理の課題
- 装置の性能と限界
- コストとマンパワー

が判る。

○ Full TA: 大気蛍光望遠鏡 10基

○ AGASA x100 アレイ; 4500台のSD

■ Scalable from ph-1 TA

■ 80 / 45億円、科研費 or 特別教育研究経費、

■ 国際協力

AGASAが正しい

Super-GZK の起源は？

- Top-down: $\nu \cdot \gamma$ 銀河中心、宇宙紐
- Bottom-up: 鉄核、点源天体
- 相対論: 陽子、起源天体までの距離
- Zバースト: $\nu \cdot \gamma$ 、極高 ν 天体？ 等方？

規模・粒子種・到来方向 > 巨大FD、精密SD

巨大地表FD, 宇宙FD、TAUGER

HiResが正しい

GZK Cutoff か？ 加速限界か？（天体起源）

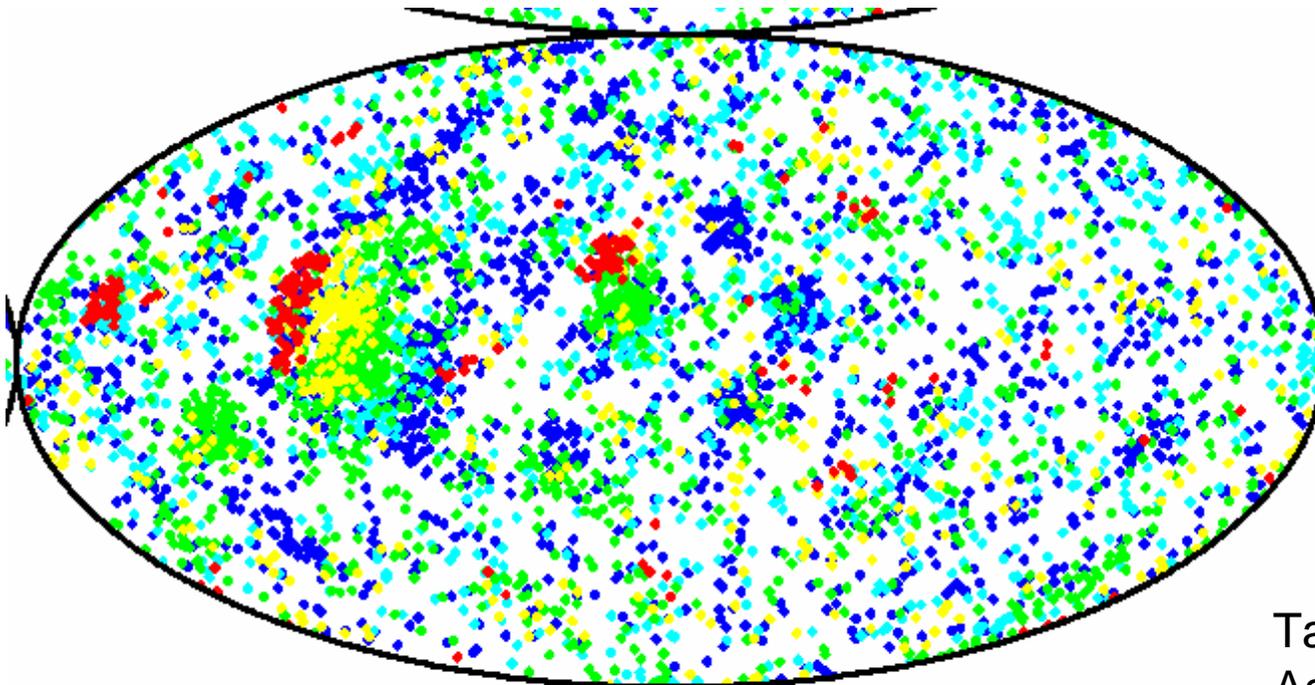
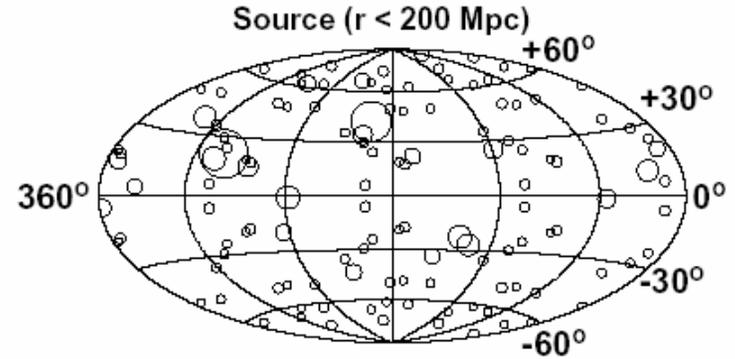
- GZK ν の検出
- apres GZK 宇宙線
- 起源天体での物理

規模・粒子種・到来方向 > 巨大・ ν 検出器

World only one Detector = 宇宙FD？

GZK cutoff あり, cluster – anisotropy なし
「健全な常識」は正しいのか？

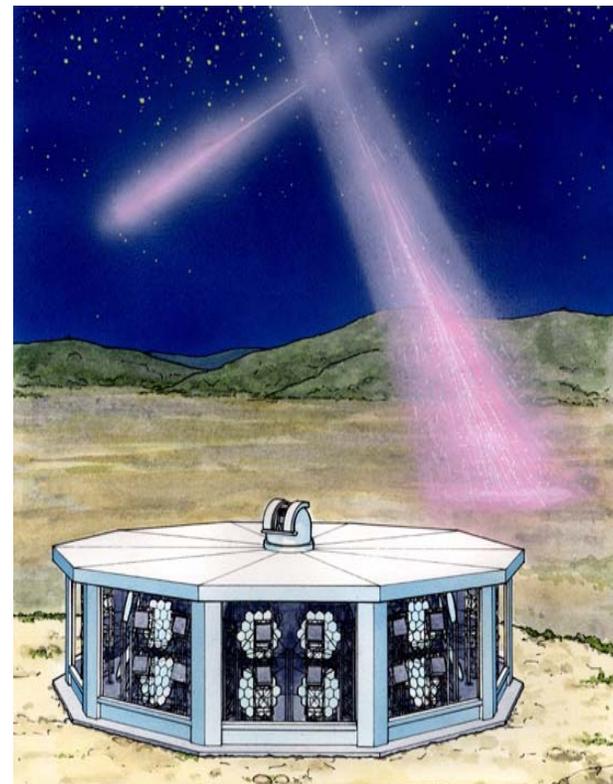
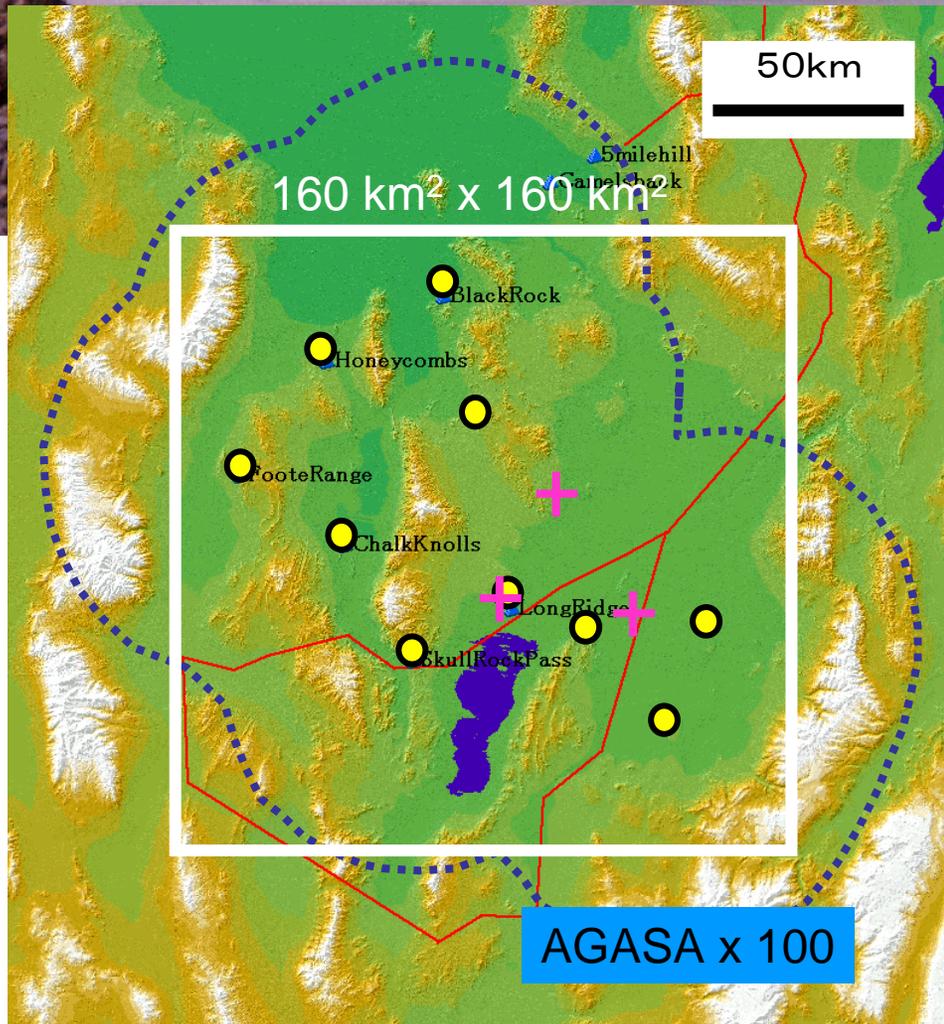
- $10^{19.0} \text{ eV} < E < 10^{19.1} \text{ eV}$
- $10^{19.1} \text{ eV} < E < 10^{19.2} \text{ eV}$
- $10^{19.2} \text{ eV} < E < 10^{19.4} \text{ eV}$
- $10^{19.4} \text{ eV} < E < 10^{19.6} \text{ eV}$
- $10^{19.6} \text{ eV} < E$



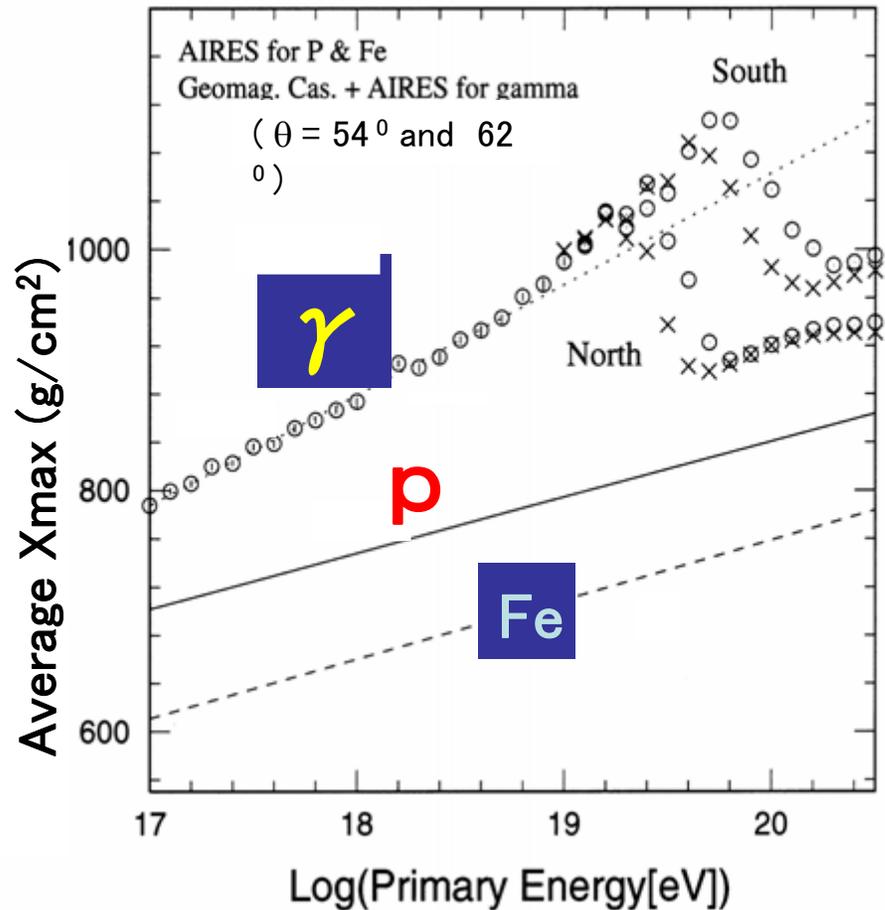
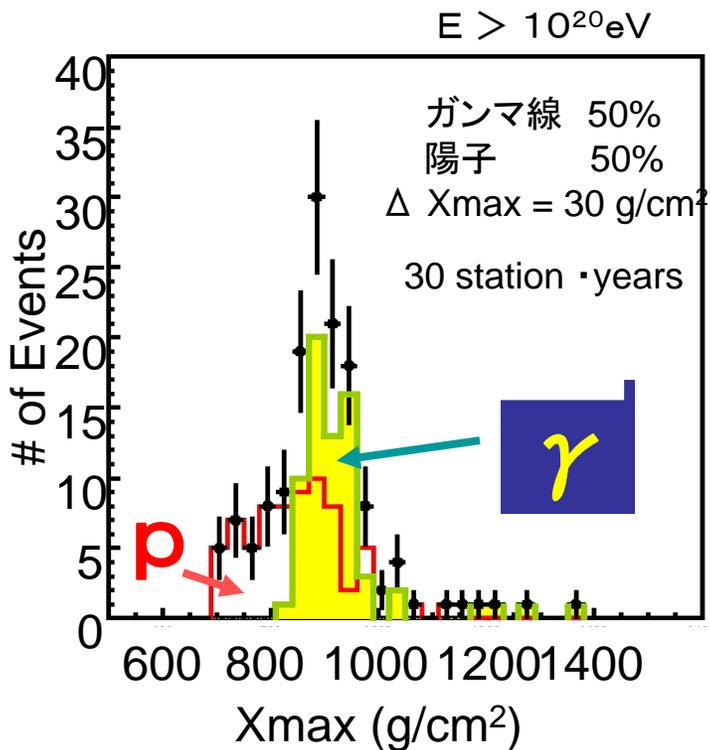
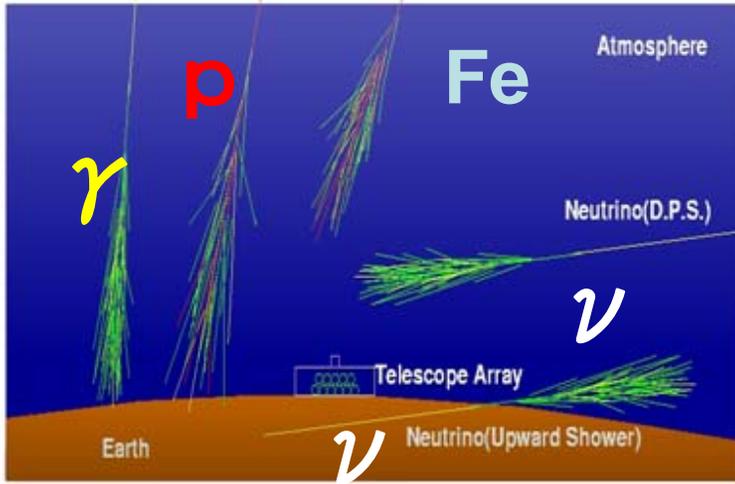
Takami-Yoshiguchi-Sato
Astro-ph/0506203

With the EGMF and the GMF

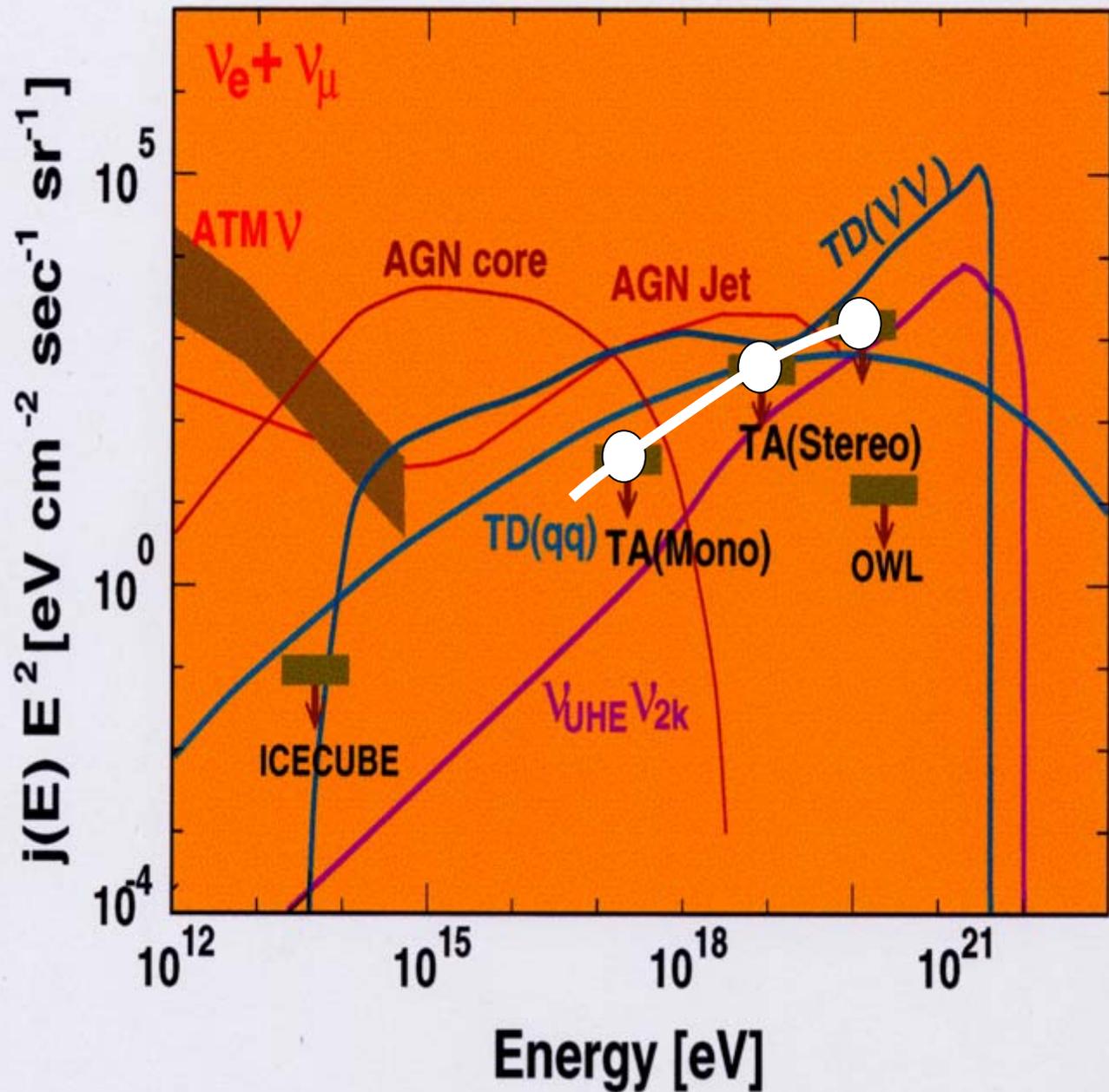
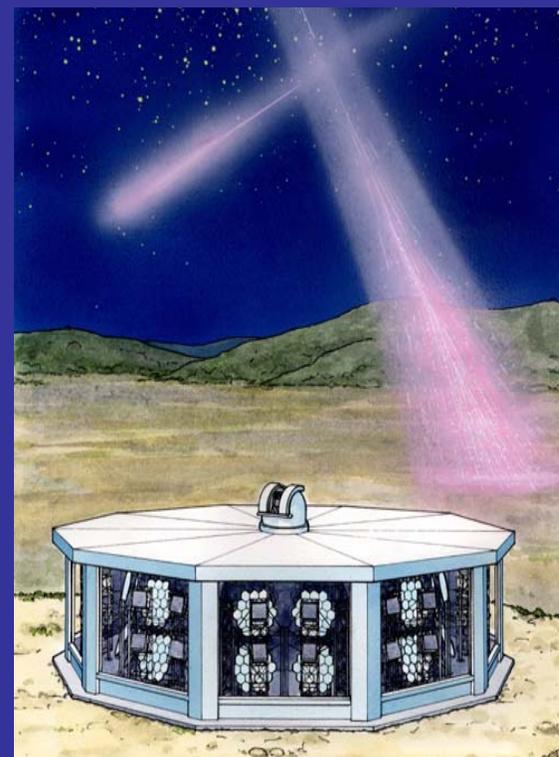
巨大地表 FD



Identifying γ Rays



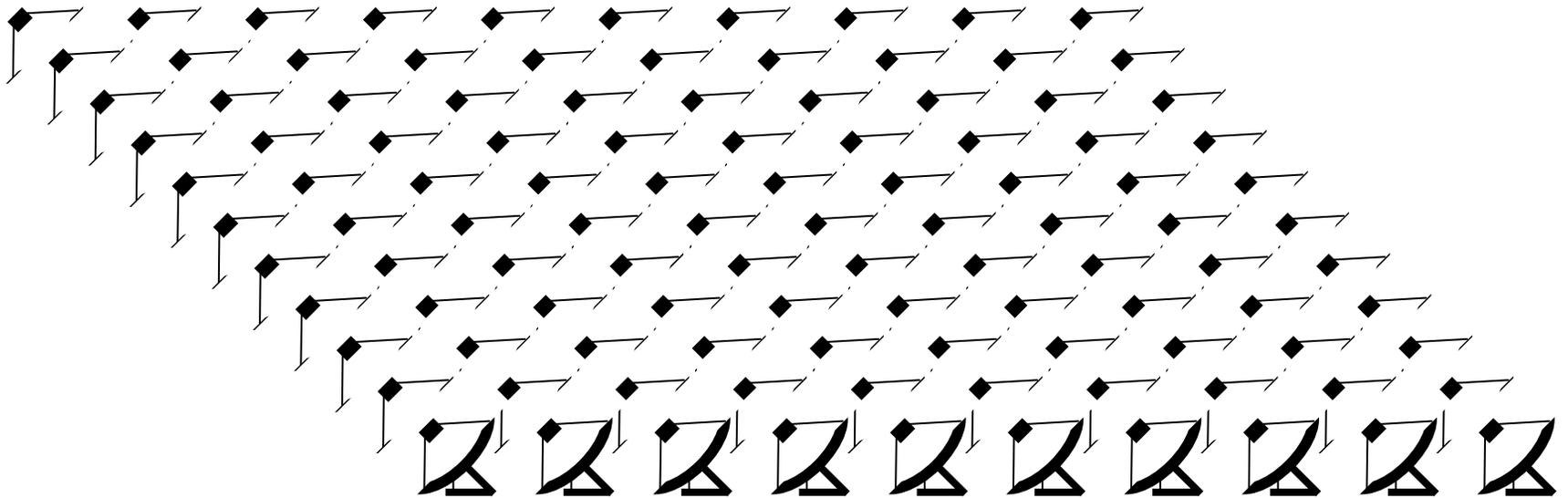
Full-TA for UHE ν



AGASA x 100 Fluorescence Telescope

30° FoV telescope
with 5 km spacing

広角固定望遠鏡アレイ



~100,000 km²
by EUSO

UHE ν detector:

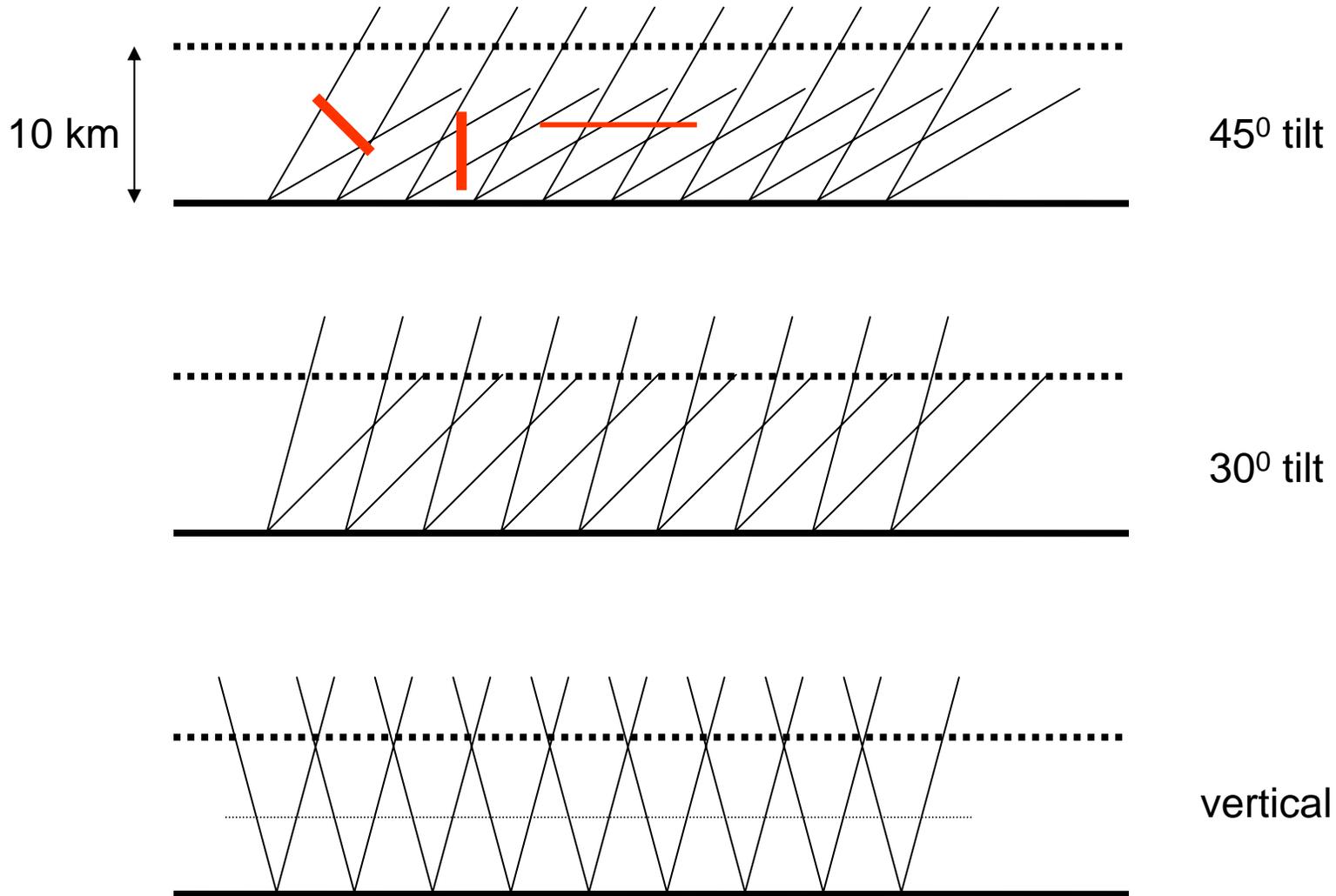
- 3×10^{10} トンの空気
- IceCube 10^9 トンの氷

160 km x 160 km
= 25,600 km² covered
by 1,089 telescopes

Fly's Eye
1.5m Φ
5.5 度ピクセル

- 2m Φ mirror
 - 2° pixel (256ch)
- 総額 109 億円
1基1000万円

30° FoV telescope with 5 km spacing



広角固定望遠鏡アレイ

仰角 45° で ~ 15 km 遠方まで見れば良い。

- 大気透明度の問題なし
- 遠方での角度分解能の劣化なし
- エネルギー精度、Acceptance (flux) 精度
 - ∴ Mie 散乱 $< 10\%$ 、Rayleigh 散乱補正小
 - Trigger & Acceptance がエネルギーに対してほぼ不変
(10^{17} eV – 10^{21} eV)
- 高い方向精度、 X_{\max} (粒子種識別) 精度
 - ∴ Long Track、大気透明度補正小

宇宙 FD

- JEM / EUSO in 2012
@ 国際宇宙ステーション
- ESA Cosmic Vision EUSO
in 2015 – 2025
口径10m・人工衛星

EUSOの視野

EUSO ~ 300 x AGASA ~ 10 x Auger
観測状態の時、~ 3000 x AGASA ~ 100 x Auger
3年間で2000イベント程度 (10^{20} eV以上)

400km

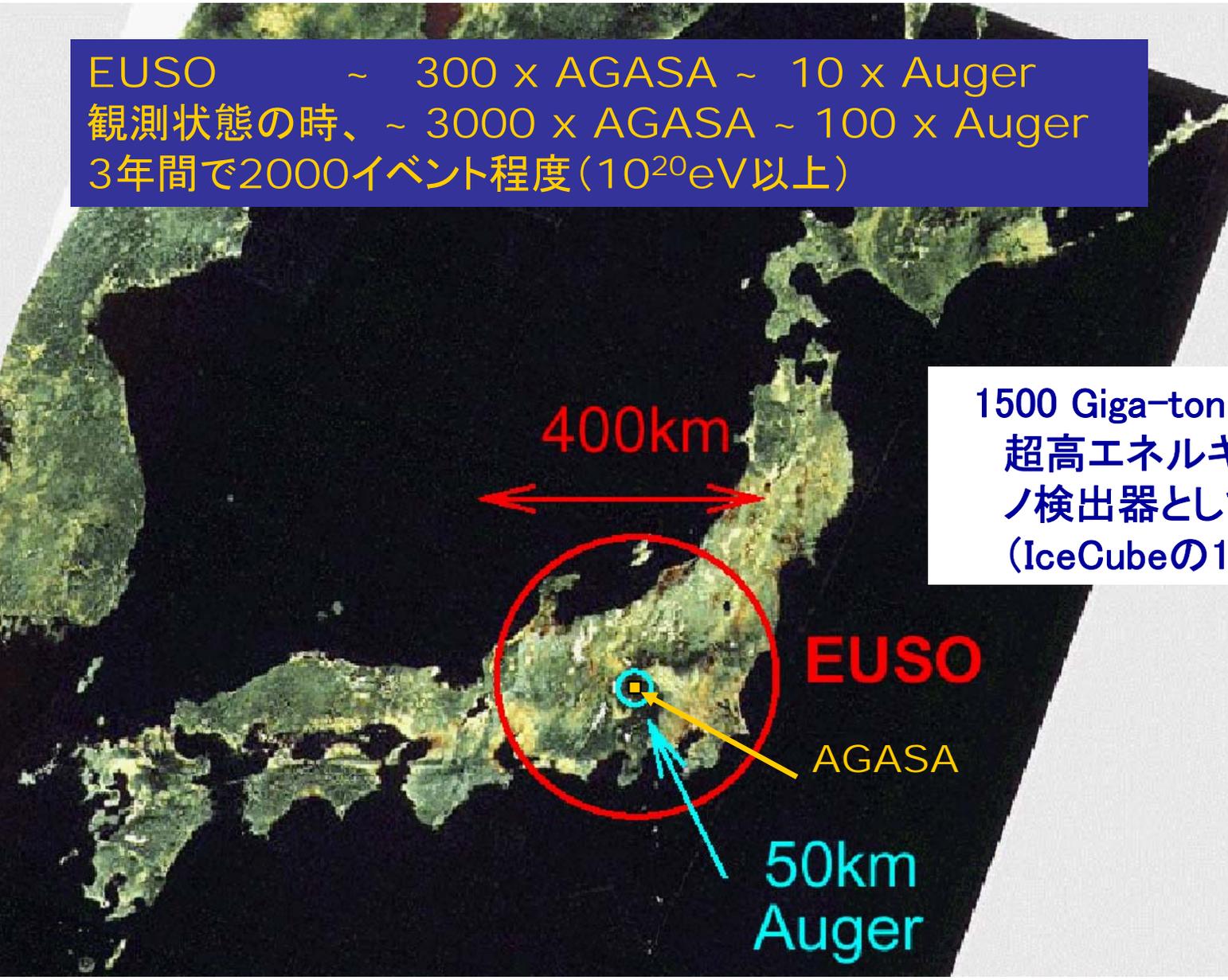


1500 Giga-ton 大気
超高エネルギーニュートリ
ノ検出器としての可能性
(IceCubeの1500倍)

EUSO

AGASA

50km
Auger



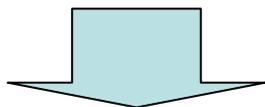
EUSO から JEM/EUSO へ

EUSO計画

- ・ 欧州： Phase-A研究終了
- ・ 日本： 2004年度からPhase-B 開始
- ・ 米国： Phase-B採用
ミッション終了までのコミット

共同研究国（9カ国）

Italy, France, Switzerland
Germany, Portugal, Spain
Japan
USA
Brazil



2005年10月ESTEC会議

国際宇宙ステーション、輸送機、欧州における予算などの急激な状況変化により計画を変更

- ・ **日本＋米国**： **日本実験棟船外実験プラットフォーム（JEM/EF）**
＋ H2A輸送機（HTV）を利用する
JEM/EUSO計画を推進する。
- ・ 欧州： ESA cosmic vision を目標に計画を立てる。

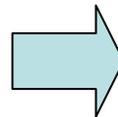
JEM/EUSO計画の概要

✓ 日本実験棟船外実験プラットフォーム (JEM/EF) への設置

	2.5m口径EUSO	JEM/EF
全重量	1826kg	2500kg (#2#9#10)
消費電力		
稼動中	1141W : OK	3kW (約3倍の余裕)
非稼動中	517W : OK	
サバイバル	263W : 要改善	100W
熱制御	1141W	3kW

✓ 閾エネルギーの低減

1. 口径 (2.5m→3.5m)
2. 新レンズ材 (CYTOP) と新設計
3. 高感度検出器
4. 高効率トリガ (余剰電力の利用)



超高エネルギーニュートリノ
検出能力の強化

✓ 斜め観測モードの採用

45度の傾きで5倍の有効面積

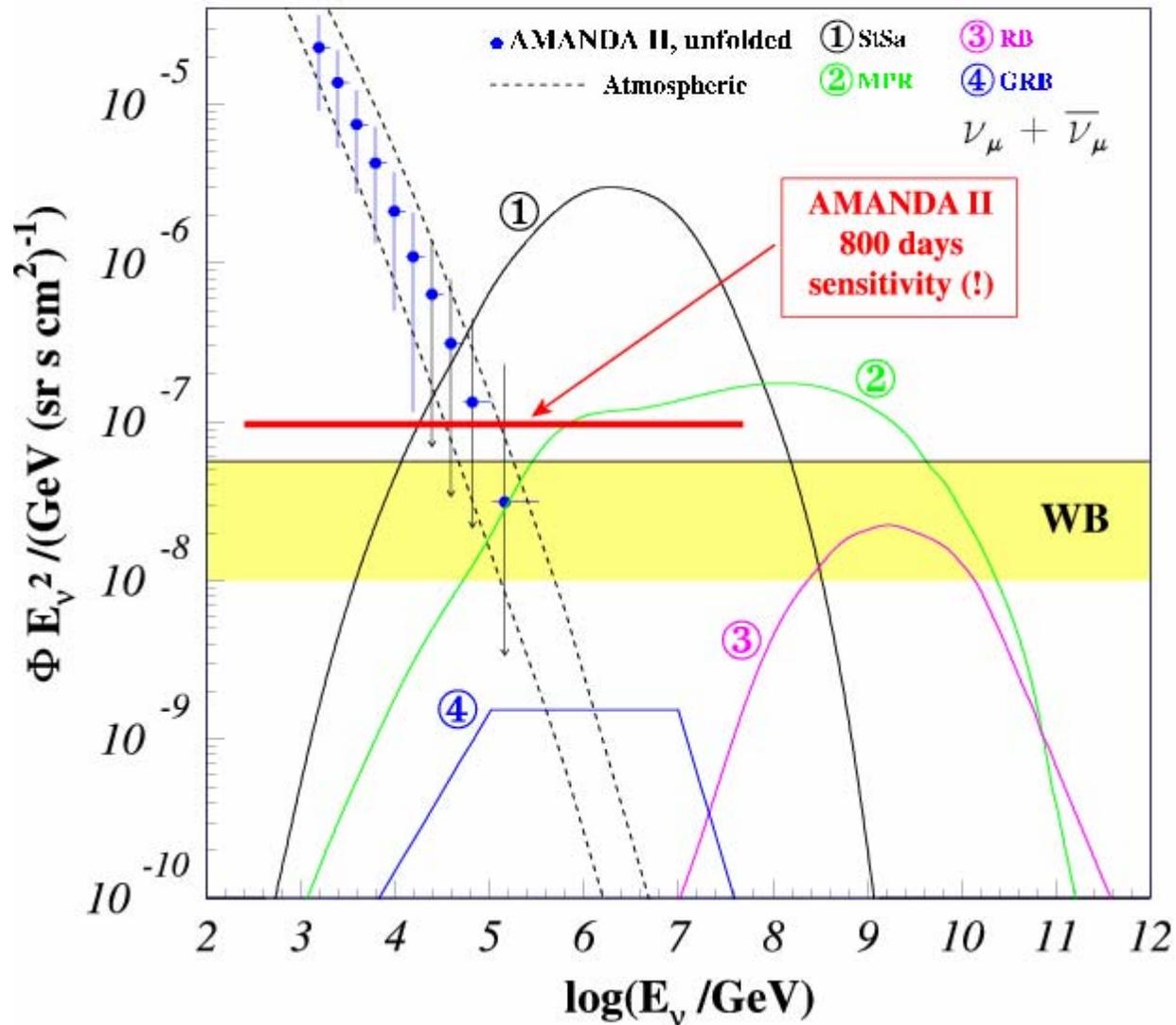
✓ JEM第二期利用公募を目指す

ν 専用巨大検出器 (km^3 の氷 $\cdot 2\pi$)

$10^{11} - 10^{15} \text{eV}$

$10^{11} - 10^{16} \text{eV}$

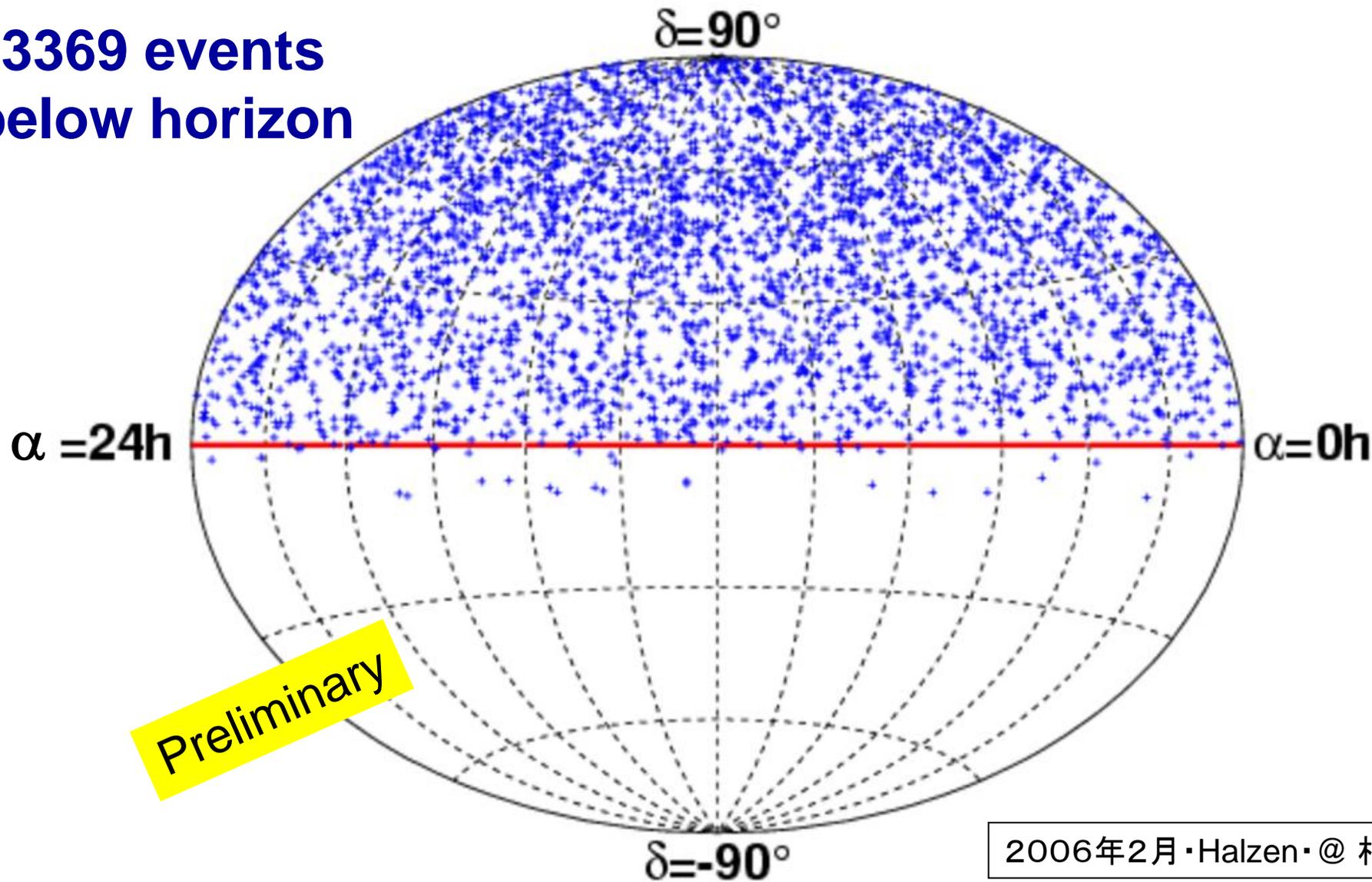
- AMANDA > Ice Cube
in 2011 @ 南極
- 深海の3検出器 > KM3-Net
in 2013 @ 地中海



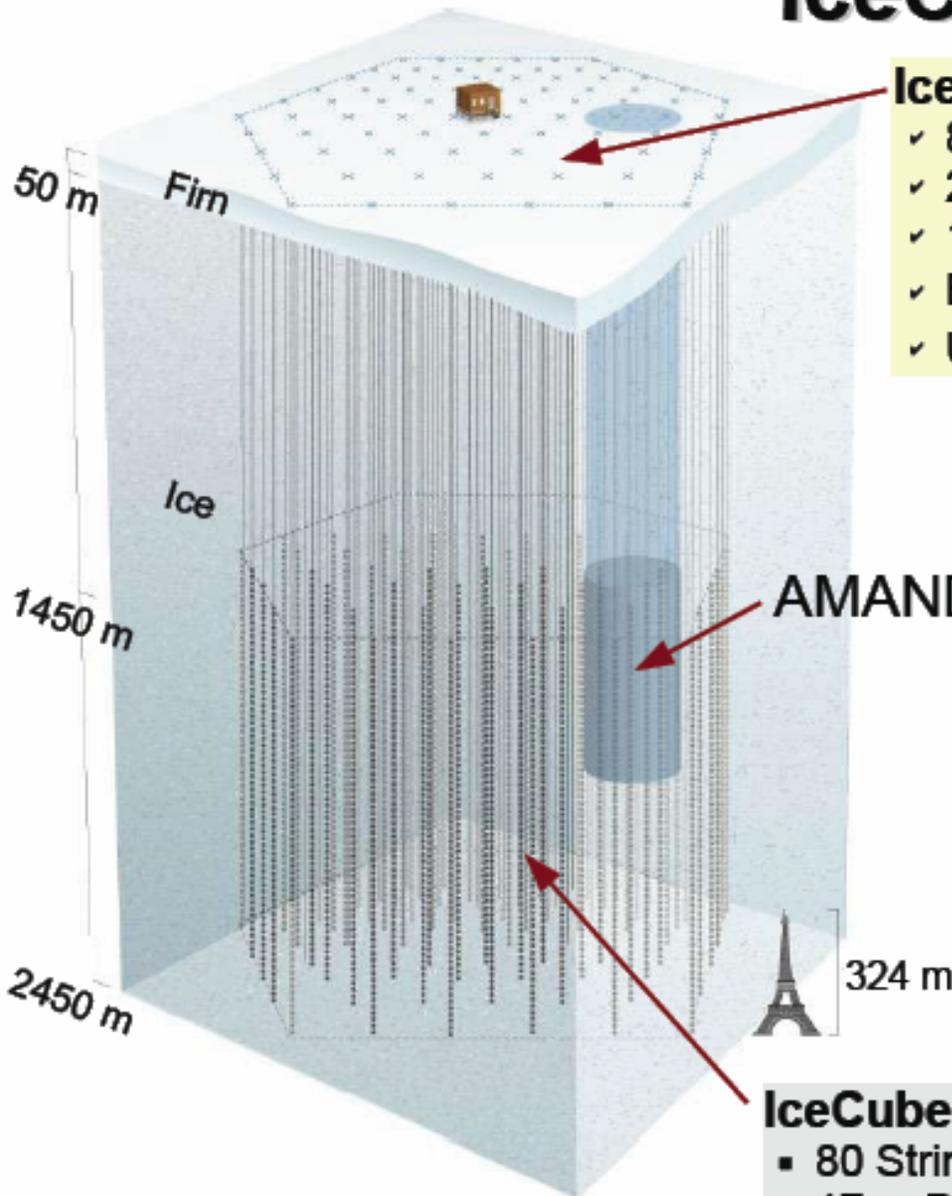
AMANDA skyplot 2000-2003

optimized for best sensitivity to E^{-3} – E^{-2} sources

3369 events
below horizon



IceCube



IceTop: air shower array

- ✓ 80 Stations / 2 Tanks each
- ✓ 2 DOMs each per tank
- ✓ 125 m grid, 1 km² at 690 g/cm²
- ✓ $E_{\text{thres}} \sim 300 \text{ TeV}$ for ≥ 4 stations
- ✓ Useful rate up to $\sim \text{EeV}$

AMANDA



Digital Optical Module

IceCube: deep ice array

- 80 Strings / 60 DOMs each
- 17 m DOM spacing
- 125 m between strings
- 1 km³ instrumented



IceCube construction



- 1 million pounds of cargo
- C-130 planes: > 50 flights

2006年2月・Halzen・@ 柏

What is KM3NET?

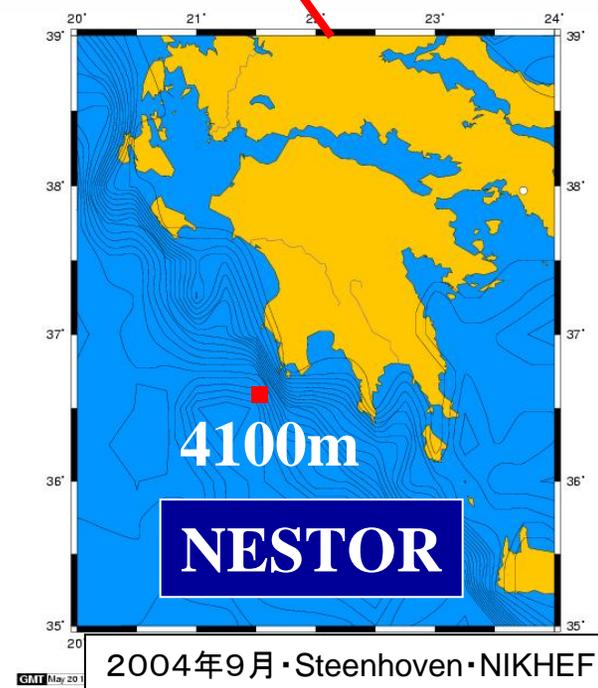
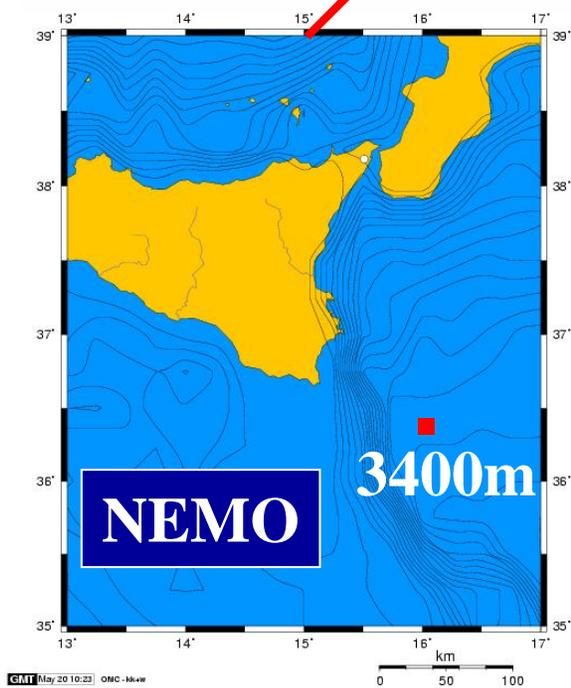
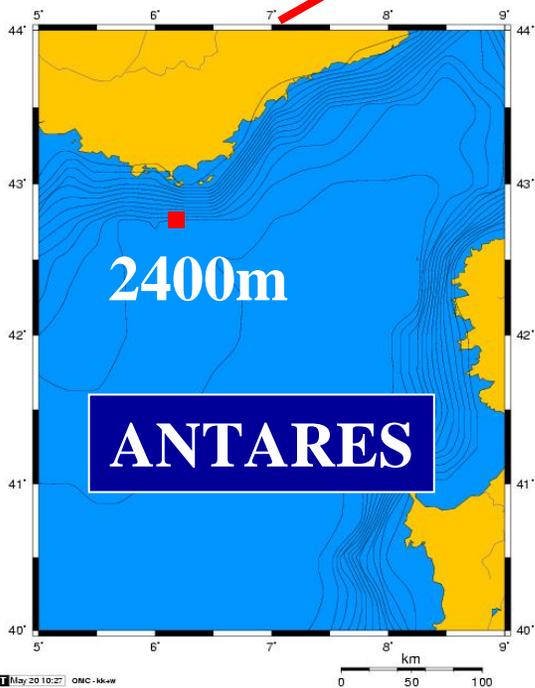
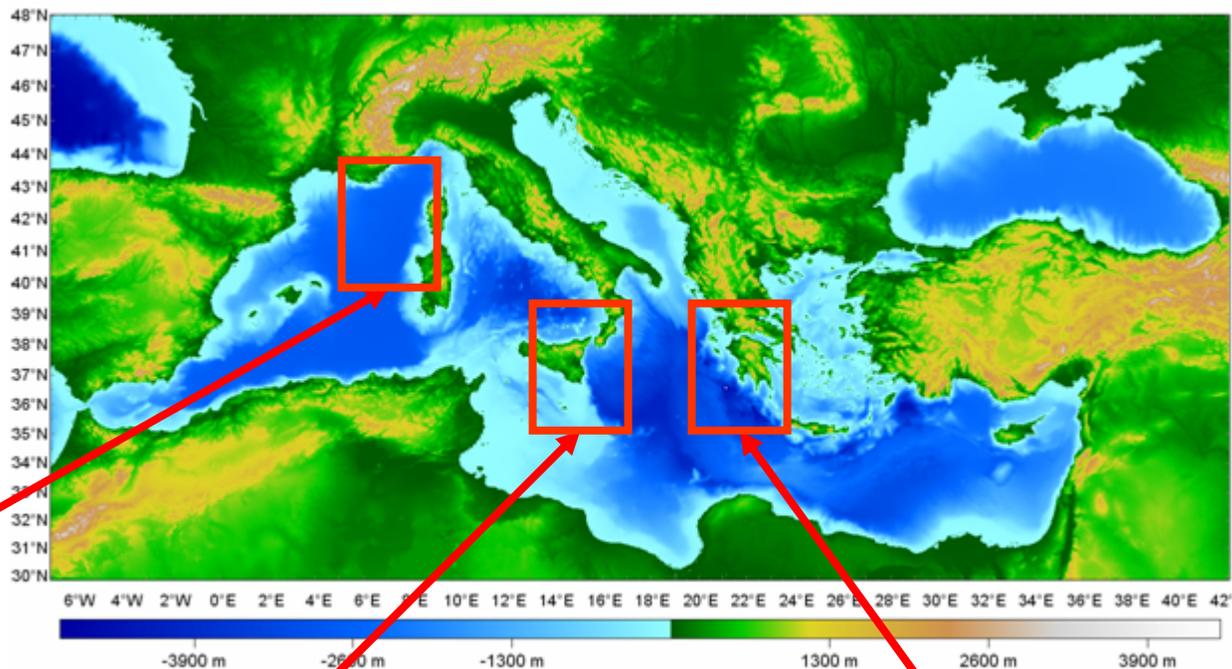
2004年9月・Steenhoven・NIKHEF
taken from web

- *Design study for a Deep Sea Facility in the Mediterranean for Neutrino Astronomy and Associated Sciences*
- Objective: *develop cost-effective design of a 1 km³ neutrino telescope* (~ 200 M EUR)
- Participants from existing collaborations:



+ ...

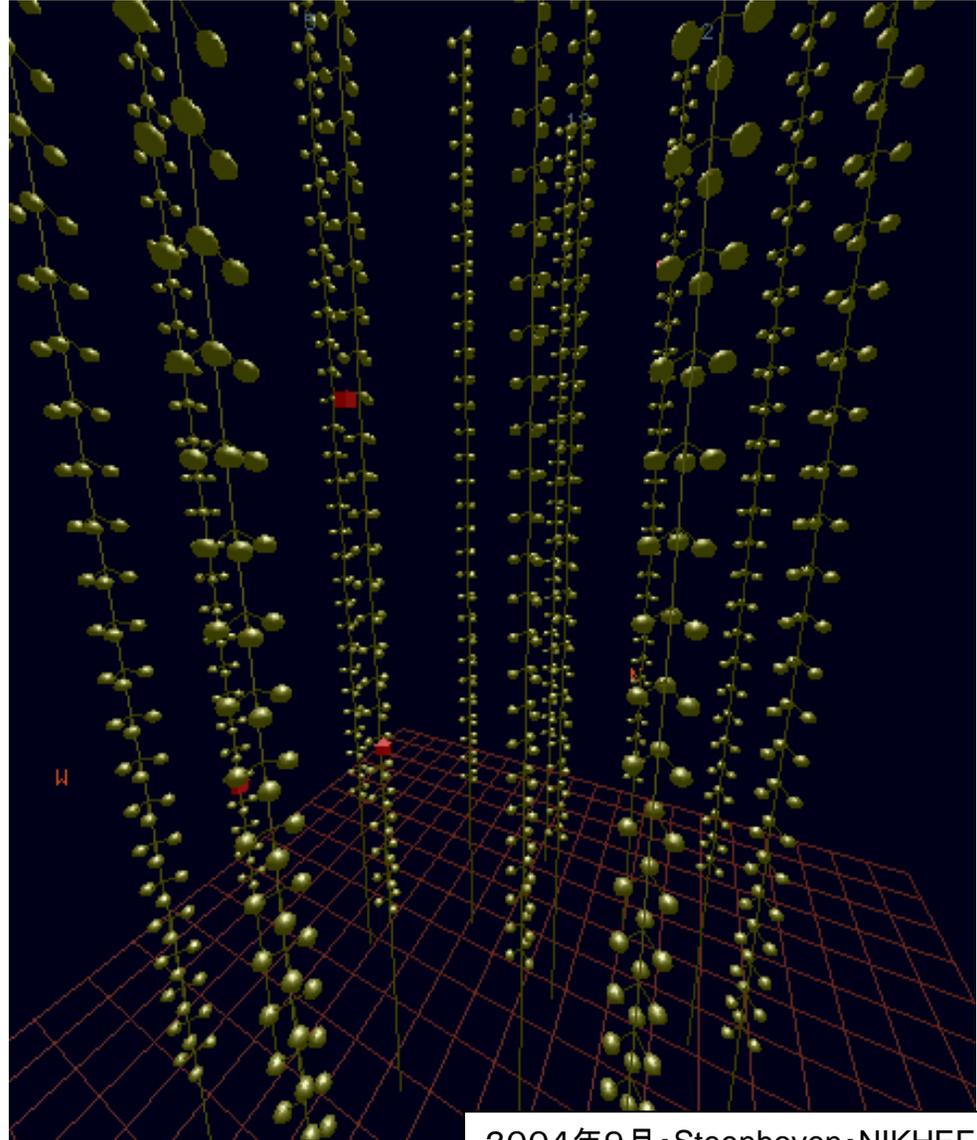
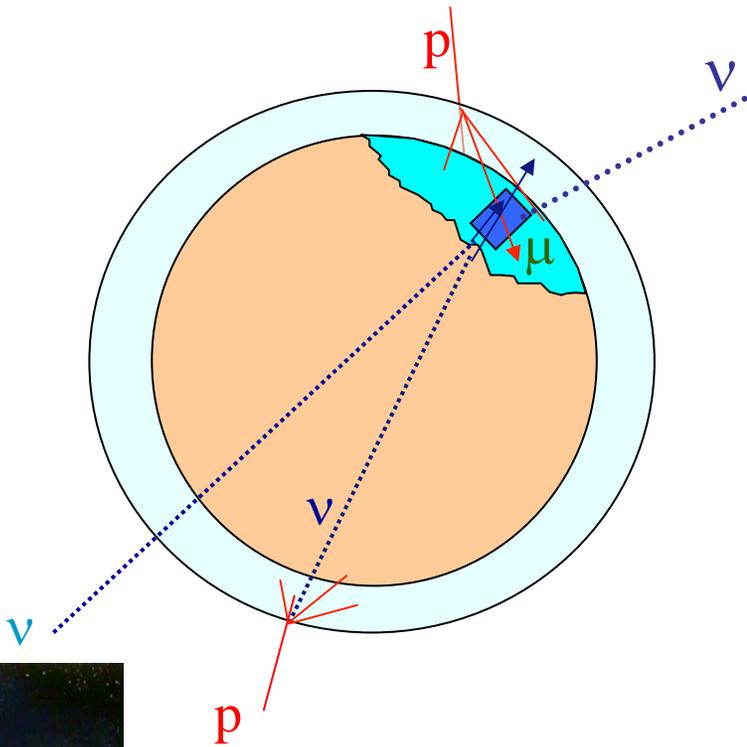
KM3NET: site selection



2004年9月・Steenhoven・NIKHEF

KM3NET: basic concept

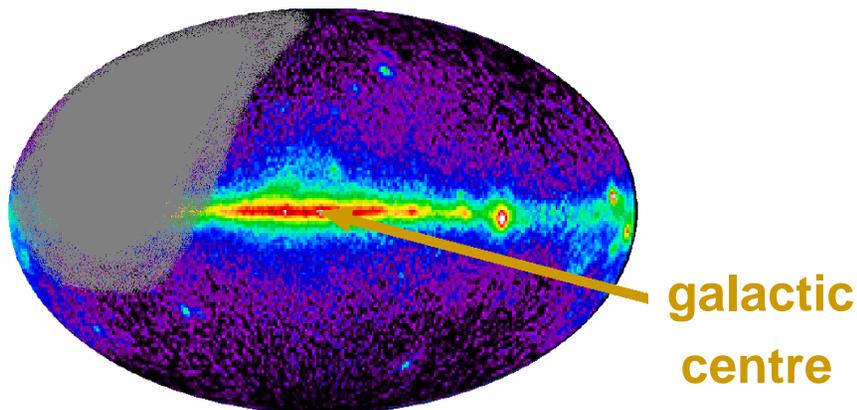
- Underwater Cerenkov detector of $\sim 1 \text{ km}^3$



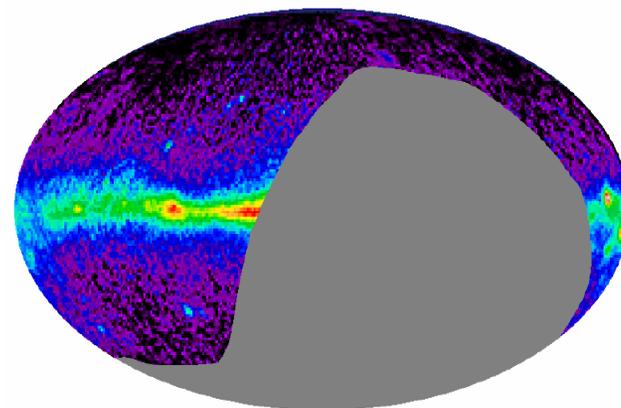
KM3NET versus ICECUBE

- Complementary sky views*:

KM3NET



ICECUBE



- Angular resolution:
- Energy threshold:

KM3NET	ICECUBE
0.1 deg	0.5 deg
1 TeV	10 TeV

(*) ANTARES location provides a sky coverage of 3.5π sr and an instantaneous common view with AMANDA of 0.5π sr, and about 1.5π sr common view per day. The Galactic centre is visible for about 100 days per year.

電波による空気シャワー観測

- Radio Cherenkov (Askaryan effect)
 - Radio Fluorescence (Bremsstrahlung)
 - Radio Synchrotron Radiation
 - Something else.
-
- 古くから観測されている。
 - 色々あり、良く判らない。
 - High Tech RD, 原理追求 が面白い。
-
- 巨大 ν 検出器
 - 南極氷床 (ANITA), 岩塩ドーム ()
 - 地表検出器を代用
 - 簡単・低コスト、
 - 環境雑音・再現性の問題？

- **空気シャワーそのものが発生する電波**

Askaryan effect

- Askaryan effect が測定された(D. Saltzberg et al PRL 86 (2001) 2802)
- 大気中ではその他の電波が優勢
- 入射一次宇宙線エネルギーの2乗に比例した電波強度をもち一次宇宙線が高エネルギーになるほど有望になる
- 電波に対して透明な物質(氷、岩塩、月面)がターゲットとなる
- FORTE, RICE, SALSA, GLUE,

- **空気シャワー粒子が地磁気に巻きついてシンクロトン放射**
(巻きつくといっても1/4周程度)

Geo-synchotron radiation

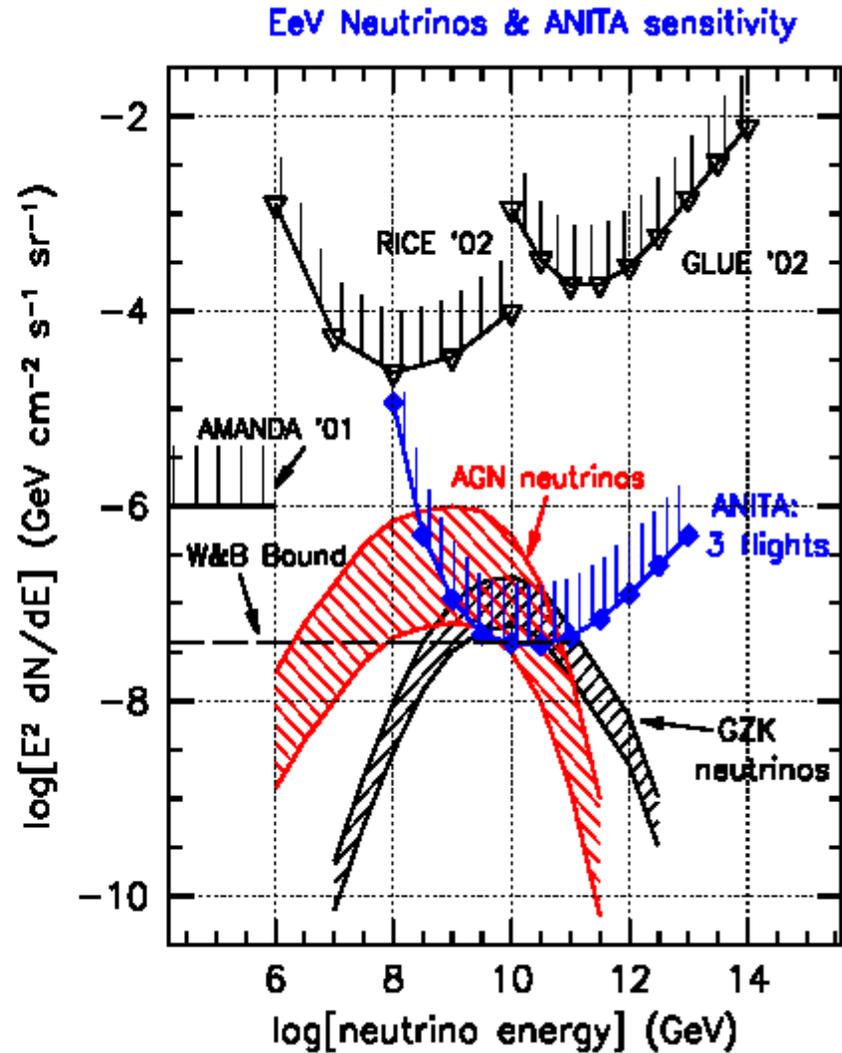
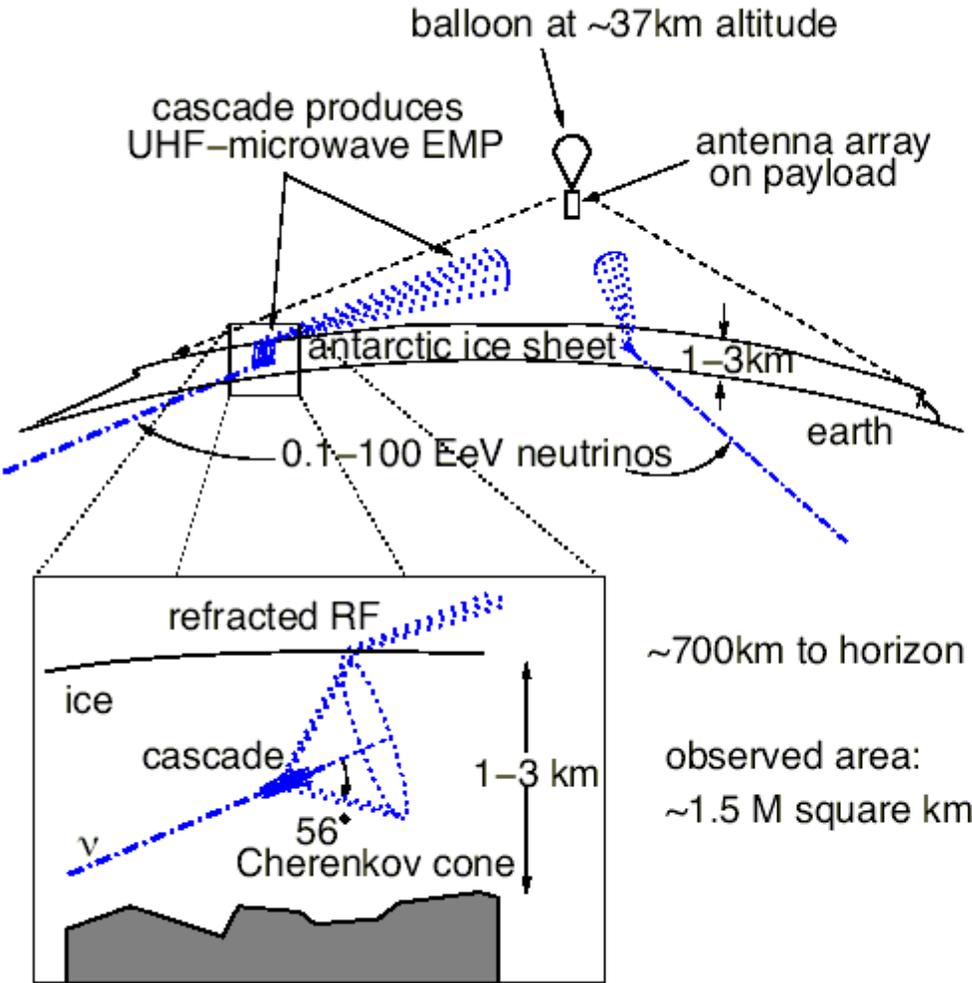
- 大気中では Askaryan effect よりも優勢
- 近年シミュレーターが整備されてきた
- LOFAR (プロトタイプ LOPES 1-32MHz, 4MHz 毎)

- **空気シャワー粒子の制動放射によって生じる電波**

Microwave Molecular Bremsstrahlung Radiation (MBR)

- AMBER (1G-数10GHz)

ANITA Proposal



ANITA proposal

氷、岩塩検出器模式図

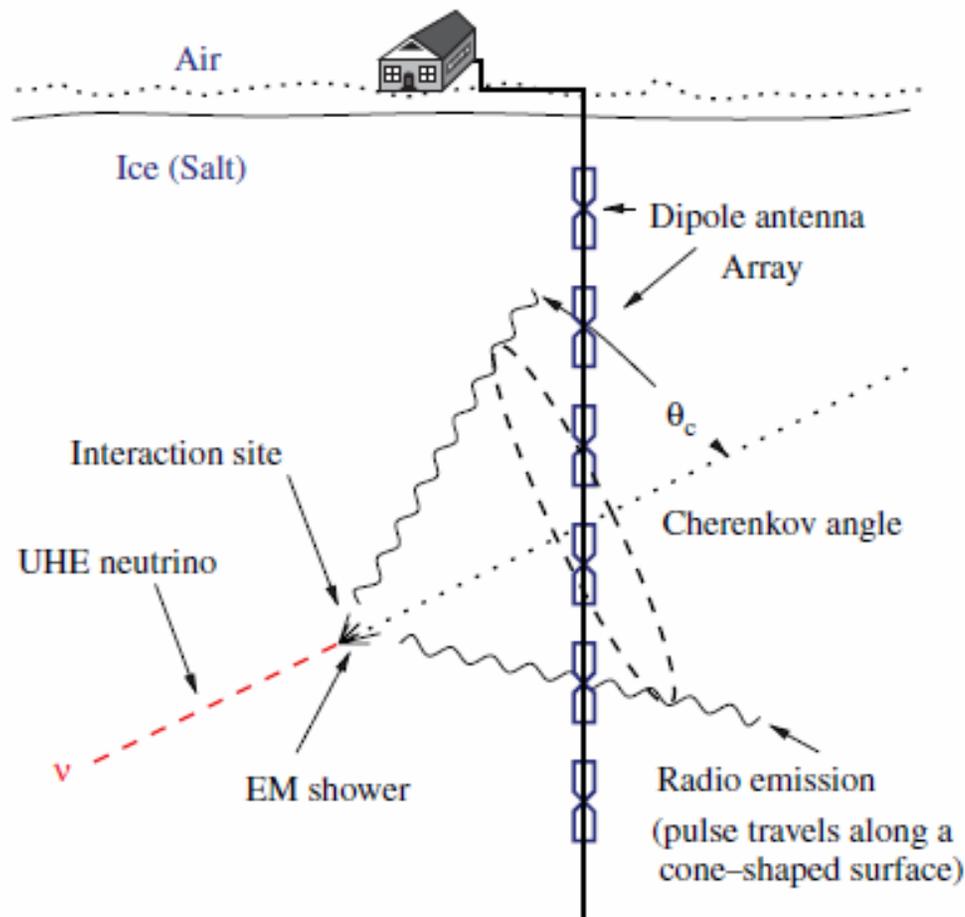


Fig. 1. Concept drawing of the Radio ICE (RICE) configuration. A Salt Sampling Array (SalSA) is conceptually identical though represents a larger effective target volume due to the higher density of rock salt compared to ice.

KASAKADE and LOPES (radio detection antenna)





Signal Detection

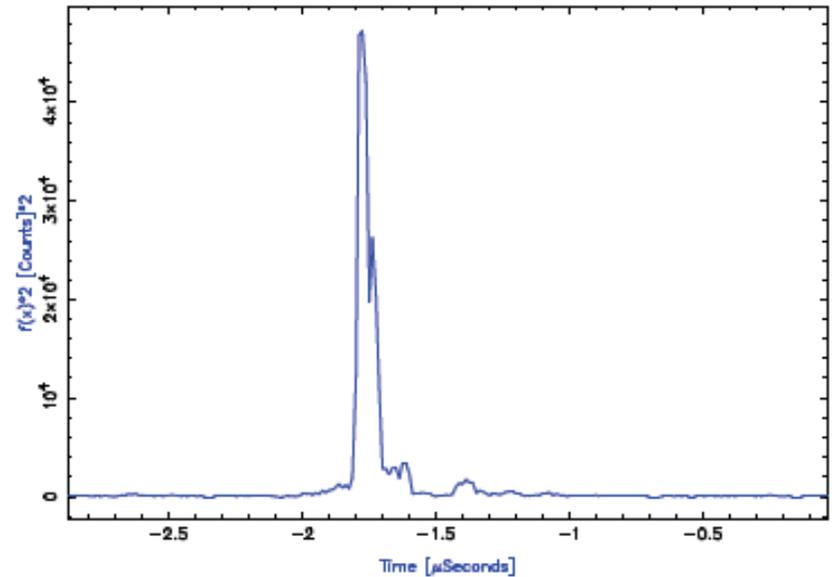
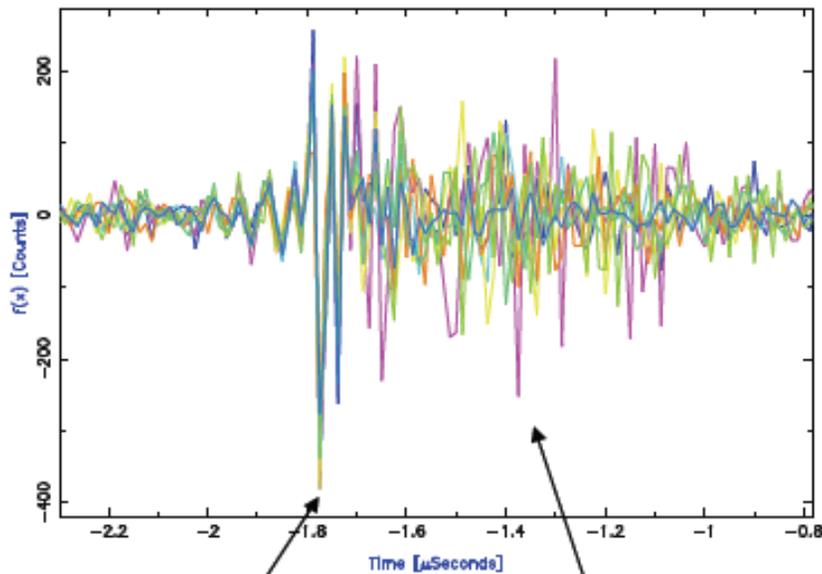


Electric field at each antenna corrected for arrival direction of CR

Sum of delay-corrected E-field from all antennas, squared

[1] Event1073867291-10101

[1] Event1073867291-10101



coherent
(CR)

incoherent
(detectors)

TA/ICRR 10人の(気楽な)意見分布。 一人2票

- 0: TA / SD 4,500 台 (AGASA x 100)
- 3: TA / FD 10 基 (AGASA x 100)
- 9: Hi-Q SD (MU + INFILL + 北AUGER)
- 4: 宇宙からのFD
- 6: 電波による観測(ph-1 TA で開発試験、縦・横電波)
- 0: 南極 or 地中海ニュートリノ

まとめ

TA地表アレイは、そのまま単純拡張でなく
+ μ 検出、高密度化(低エネルギー拡張、分解能・信頼度)

FD: 単純拡張よりは固定望遠鏡アレイ(福島バイアス大)
あるいは宇宙へ

電波観測は勉強 > RDが必要

南極・深海は、我々が付け加えるものが少ない。

To be Continued...