

High-Energy Cosmic Rays and Neutrino Astrophysics



IceCube

Shigeru Yoshida

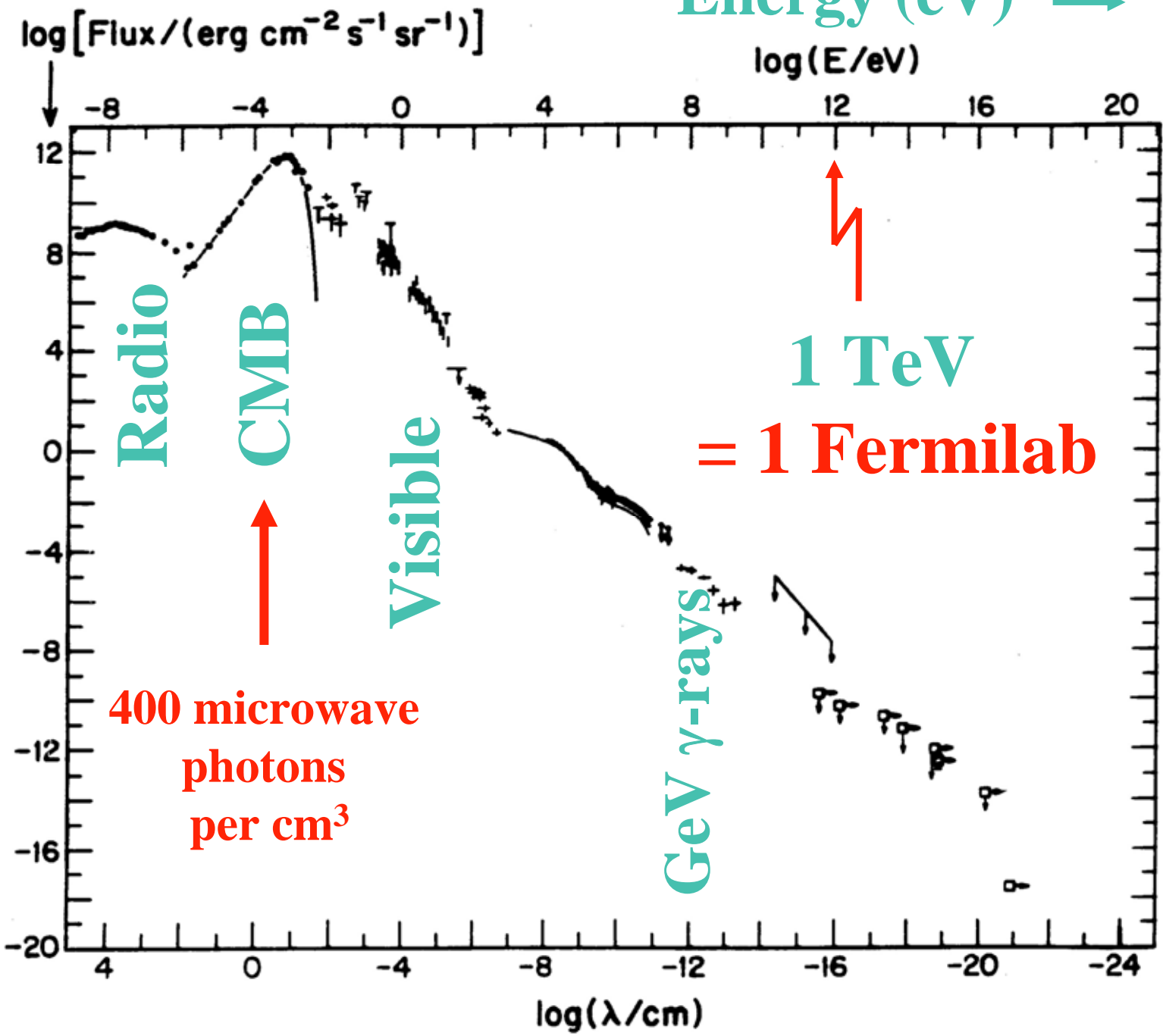
Dept. of Physics, Chiba University.

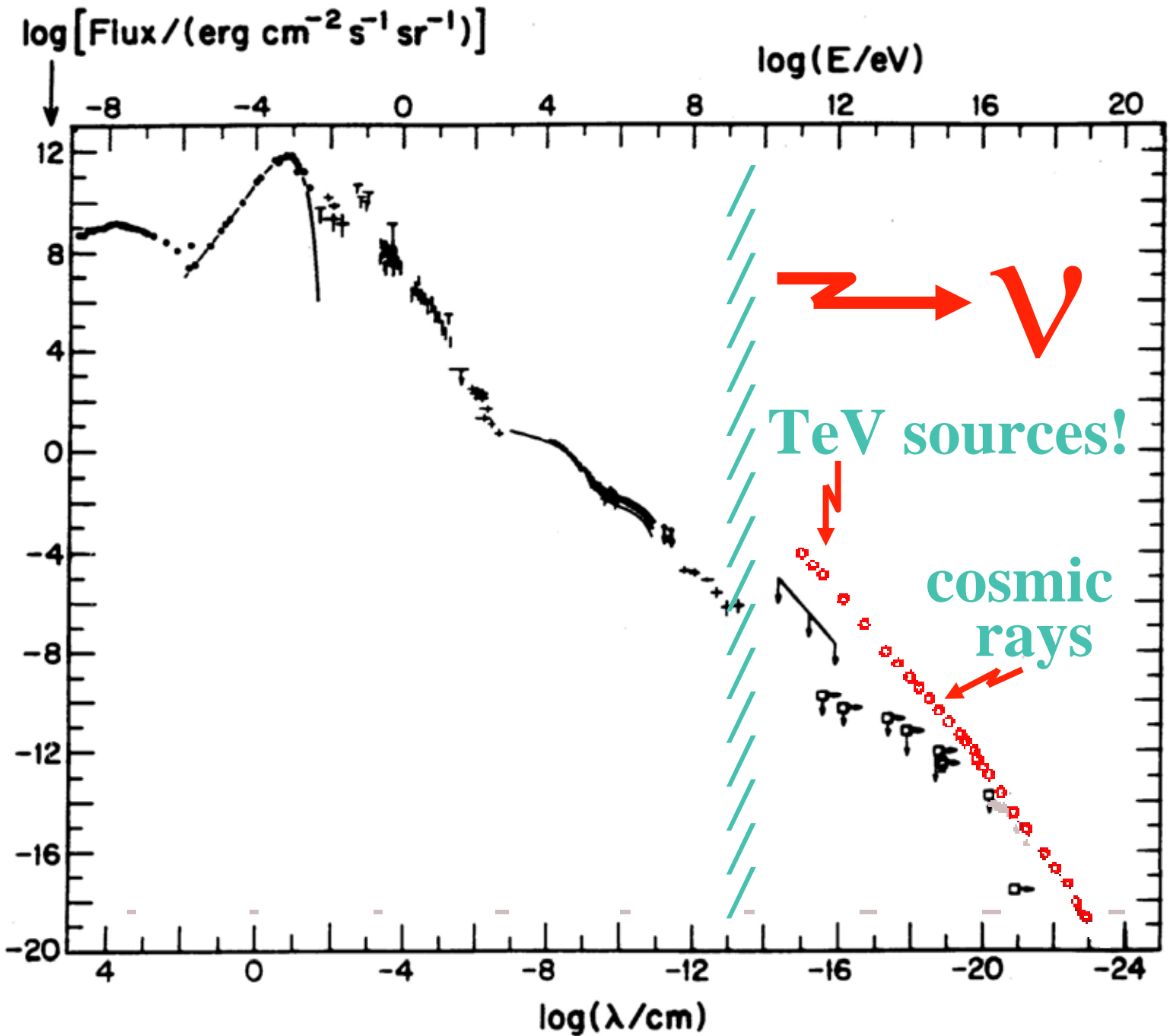
<http://www.ppl.phys.chiba-u.jp/>



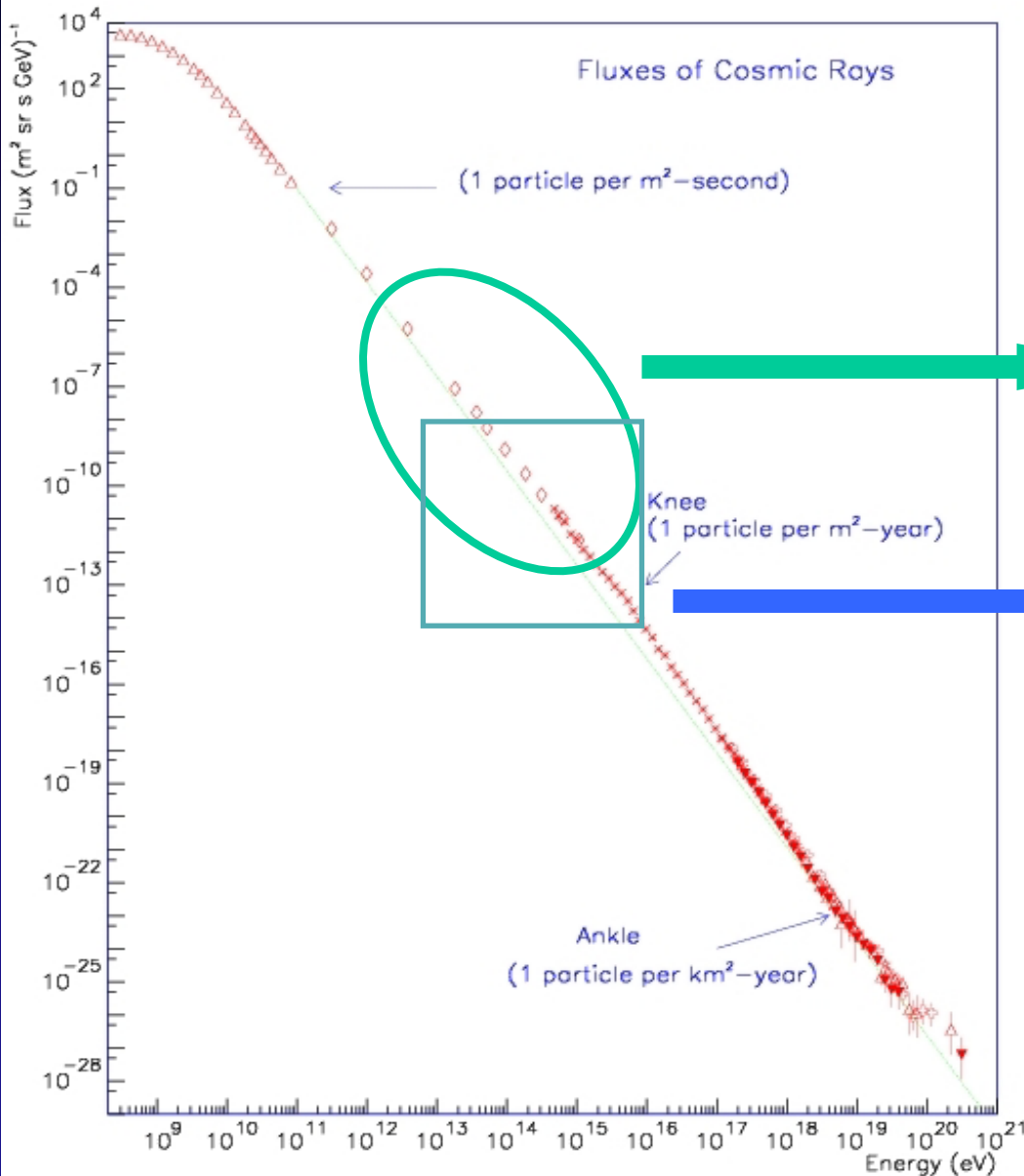
Flux \uparrow

Energy (eV) \rightarrow



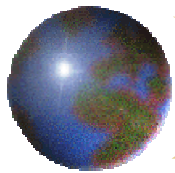


Energy Spectrum of CRs



CALET

Tibet

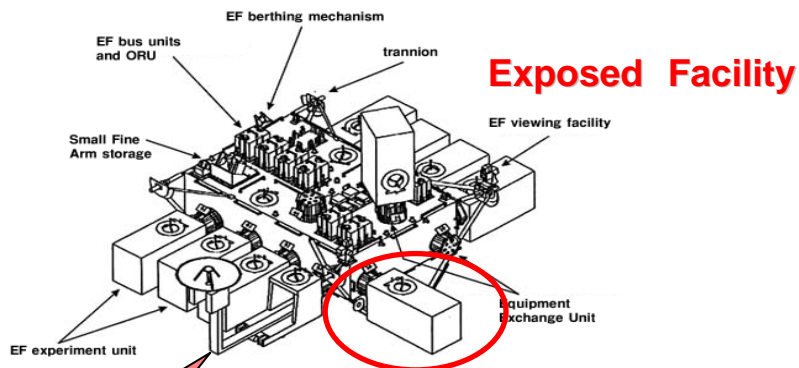


宇宙ステーション搭載用高エネルギー 宇宙線観測装置 (CALET)

JEM/EFにおいてTeV領域での高エネルギー電子線、ガンマ線の観測を行うことにより、宇宙物理における基本問題である、1) 宇宙線の成因、2) 暗黒物質の検出、3) 宇宙進化の過程の解明を行う、計画を提案している。このため、2.5トンの質量を持つ観測装置 (CALET) の基礎開発をすでにJSF地上研究公募により6年間にわたって実施してきており、装置開発上の基本的な困難は全て克服できている。



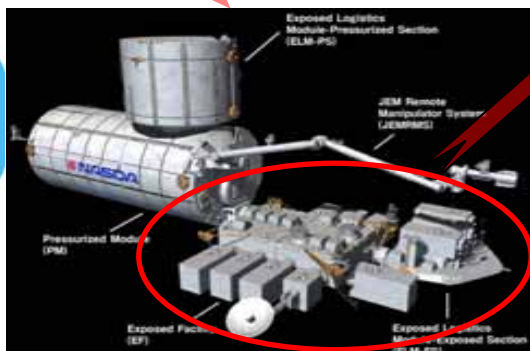
International Space Station



Exposed Facility

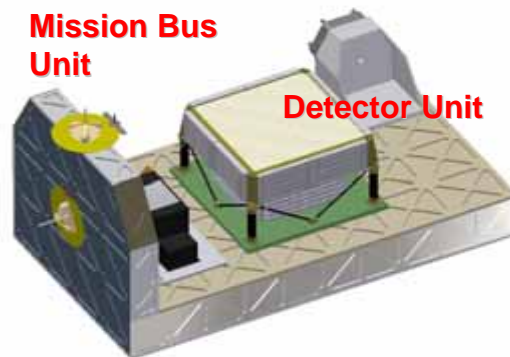


きぼう



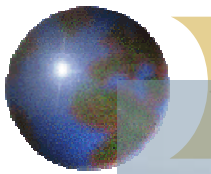
JEM: Japanese Experiment Module

CALET System

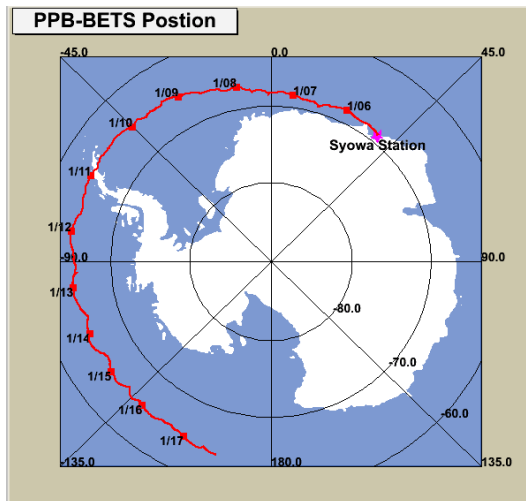


Mission Bus Unit

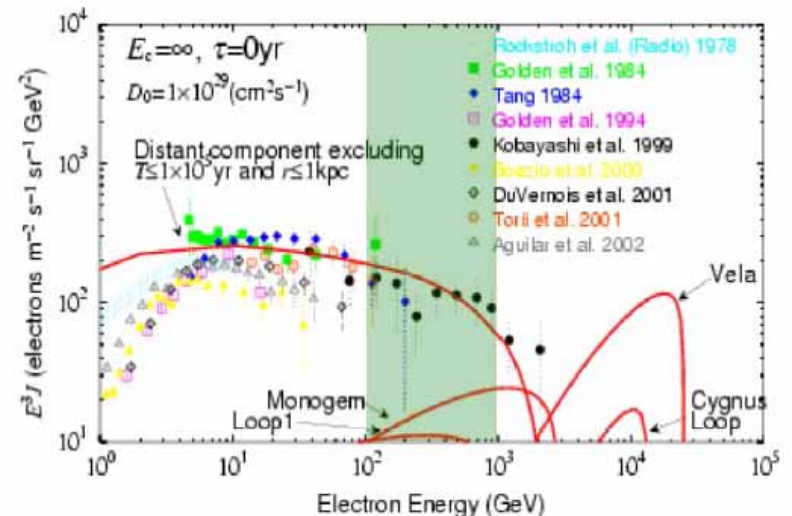
Detector Unit



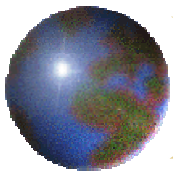
南極周回気球の放球風景(左図)と観測装置(BETS-PPB)概観。(南極昭和基地)



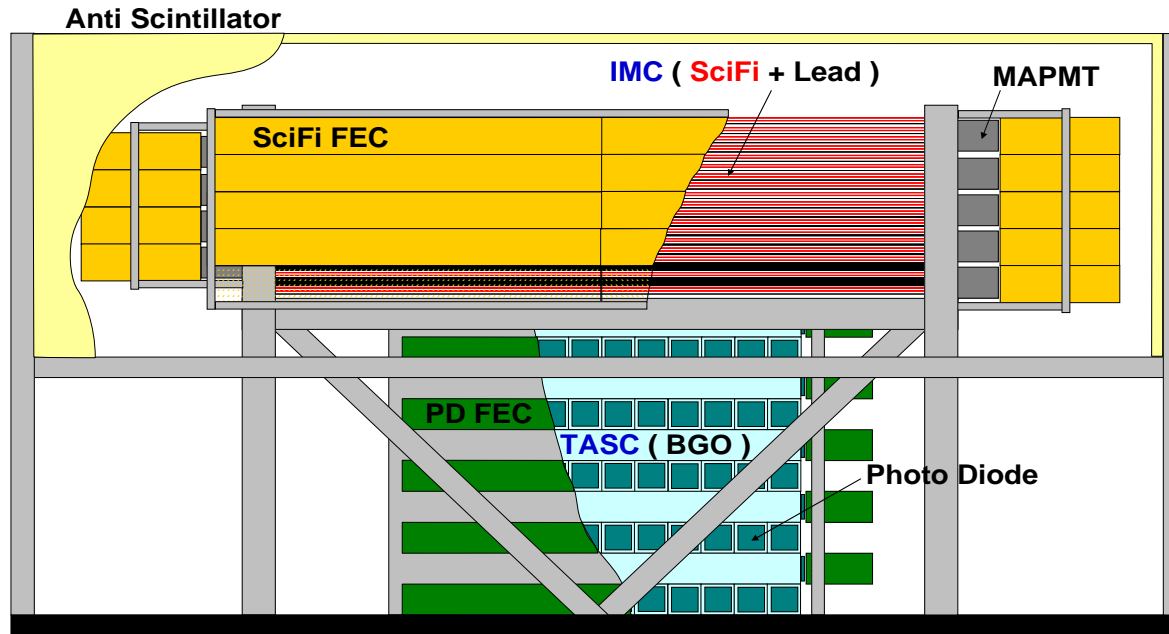
2004年1月のPPB実験航跡図(13日間)



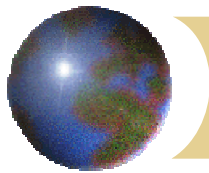
PPB-BETSの観測領域(青色)



CALETの搭載装置としての予備的な開発を全て終了し、**プロトタイプによる先駆的な気球観測**を実施する。そして、観測結果により装置へのフィードバックをかけ、観測性能の実証と向上を行い、**次期ミッション公募の発動を待って、搭載装置の製作、観測を実施する。**



気球実験用のCALETの1/4スケールモデルの側面図。サイズはIMCが512 mm x 512 mmで、TASCは300mm x 300 mm。



Electron Energy Spectrum in 1 GeV ~ 10 TeV

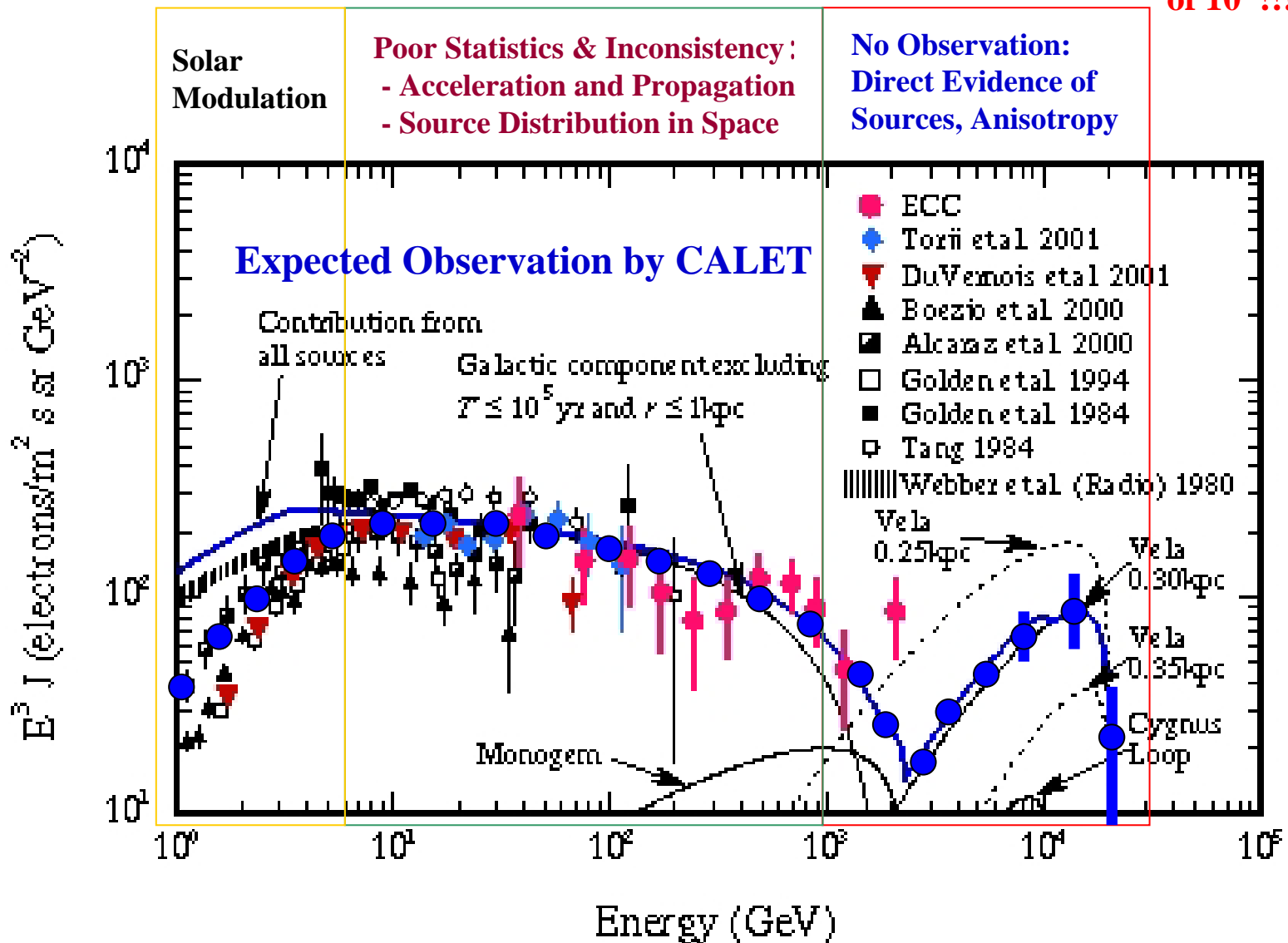
Background: p/e

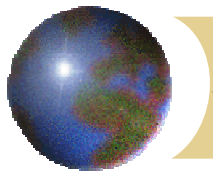
100 ~ a few 10^3

$10^3 \sim 10^5$



Rejection Power
of 10^6 !!!





CALETのステータス

- 日本宇宙フォーラムの「地上研究公募」のフェーズAI研究に2期(1期は3年間)にわたって採用され、装置要素開発、概念設計を実施した。その結果、搭載装置としての基本的困難はすべてクリアーされている。
- 日本の宇宙機関統合により、日本実験モジュール曝露部における宇宙科学ミッションは、宇宙科学研究本部が所轄することになり、理学委員会へ計画提案書を準備中である。
- 今後、ミッションAOが発動されれば、いつでも対応できる体制にあるが、搭載装置の製作には約6年を想定されているので、打ち上げは2012年頃と予想される。

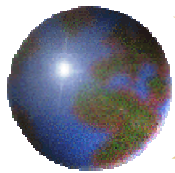
現在の国内の参加メンバーは、

鳥居祥二1)、横野文命1)、田村忠久1)、立山暢人1)、柏木利介1)、吉田健二1)、奥野祥二1)、日比野欣也1)、西村純2)、山上隆正2)、斉藤芳隆2)、高柳昌弘2)、上野史朗2)、富田洋2)、柴田慎雄3)、片寄祐作3)、内堀幸夫4)、北村尚4)、倉又秀一5)、市村雅一5)、笠原克昌6)、村上浩之7)、小林正8)、古森良志子9)、水谷興平10)、湯田利典10)、寺沢敏夫11)

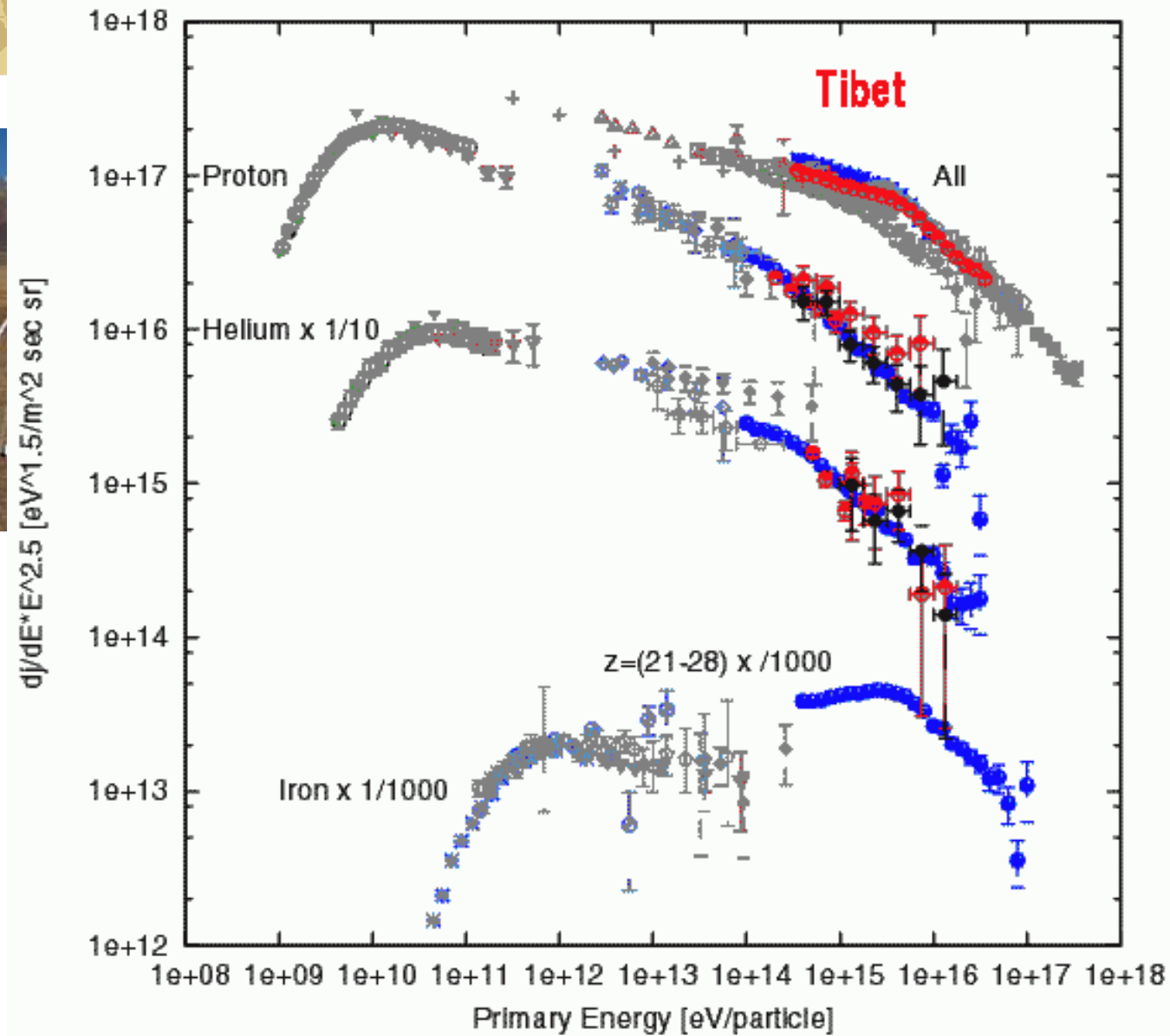
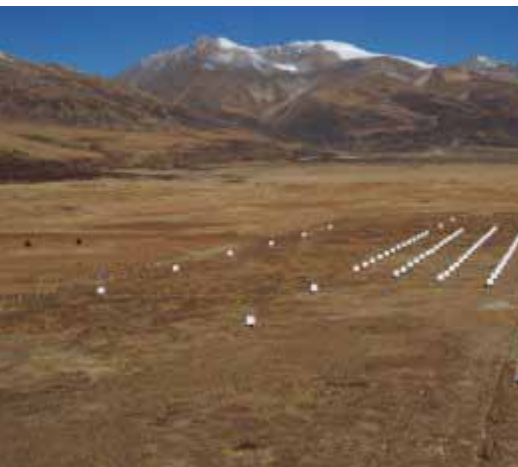
1) 神奈川大学工学部、2) 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部、3) 横浜国立大学工学部、4) 放射線医学総合研究所、5) 弘前大学理工学部、6) 芝浦工業大学システム工学部、7) 立教大学理学部、8) 青山学院大学理工学部、9) 神奈川県立保健福祉大学、10) 東京大学宇宙線研究所、11) 東京大学理学研究系

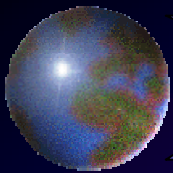
国外からは、以下の機関のメンバーが参加する。

中国科学院紫金山天文台、Goddard/NASA、Luisiana State University、Siena University

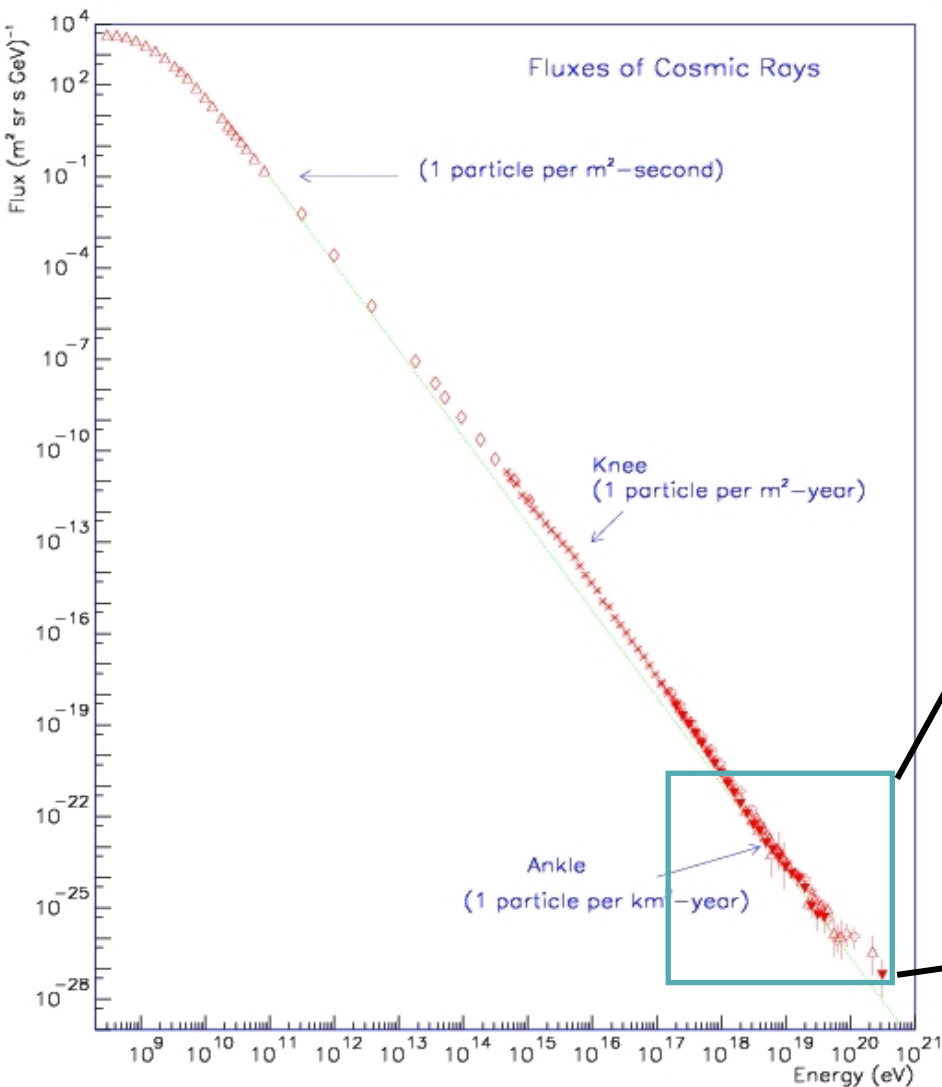


Tibet



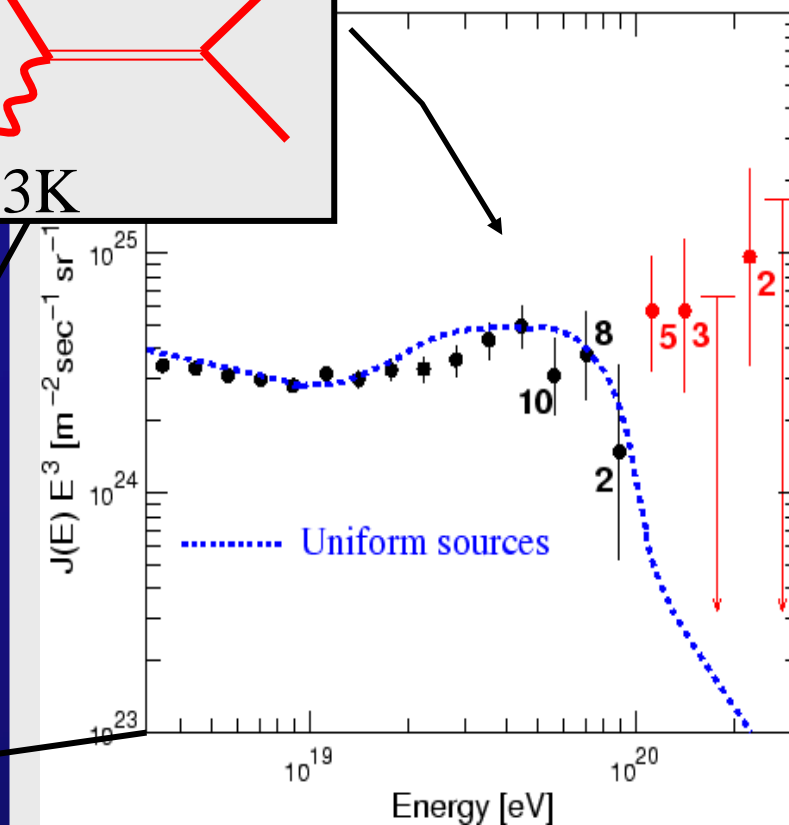
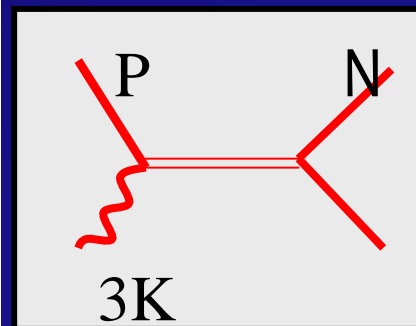


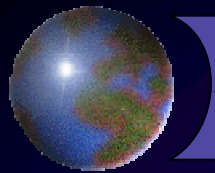
Energy Spectrum of CRs



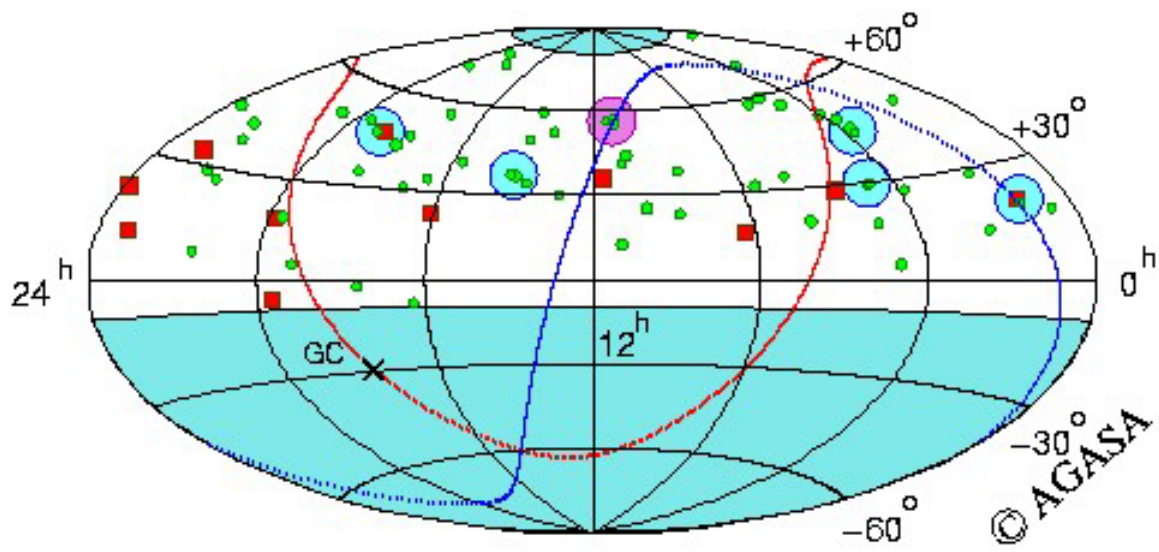
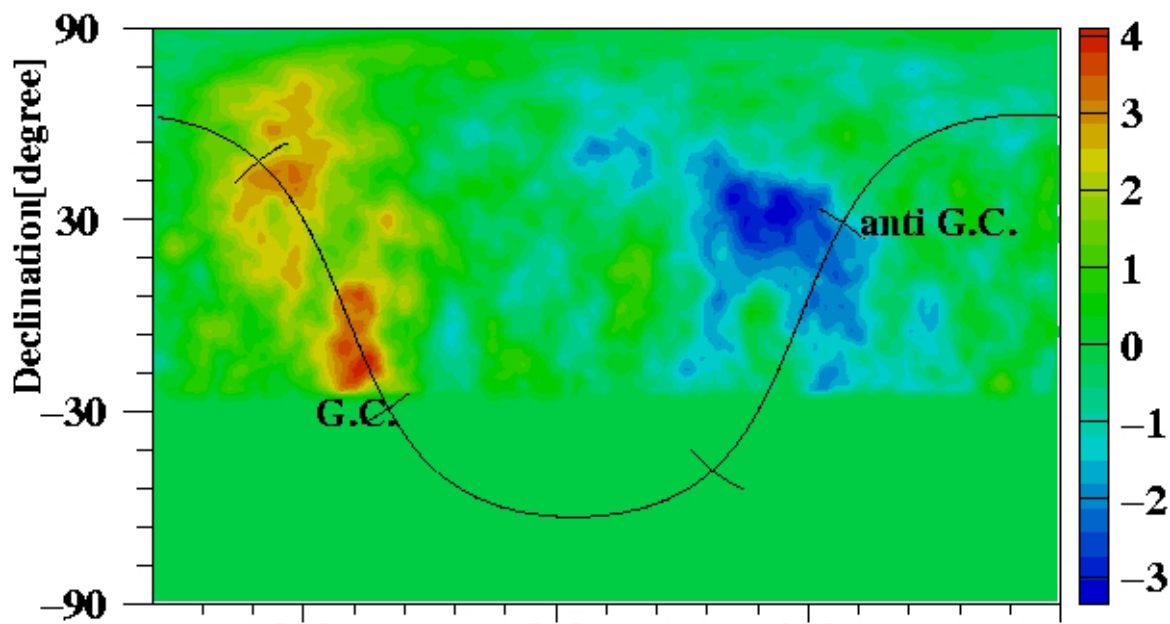
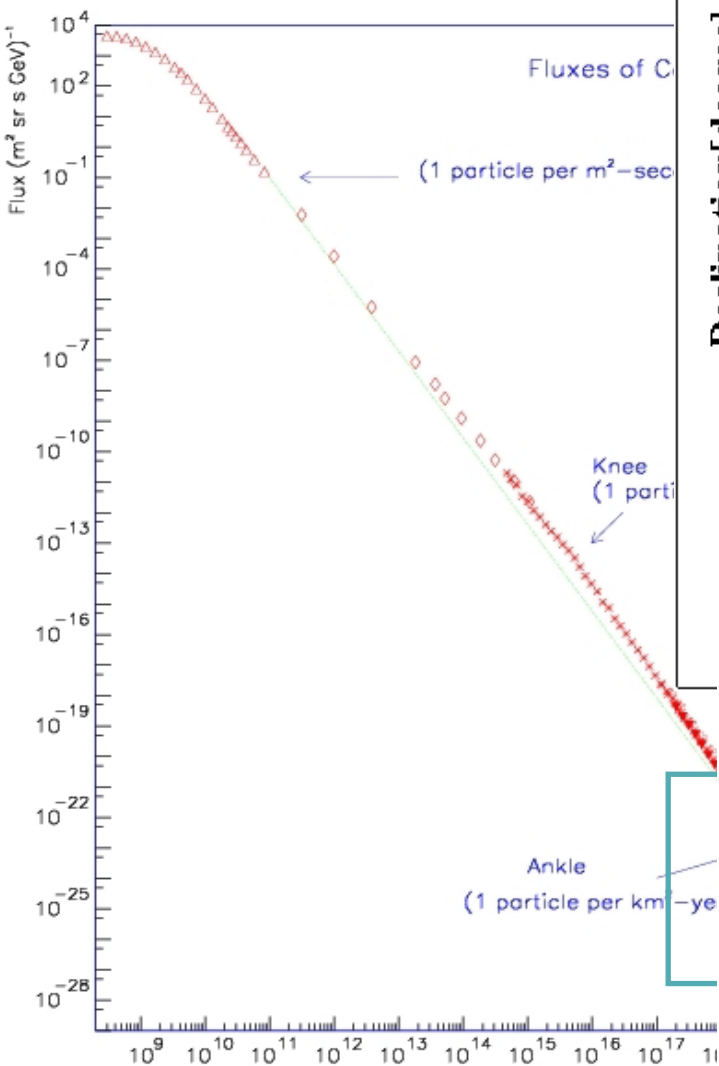
AGASA エネルギースペクトル

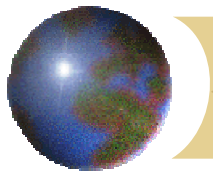
GZK mechanism





Arrival Directions of CRs





宇宙線望遠鏡 (phase-1 TA)

建設 2003-2006

観測 2007-

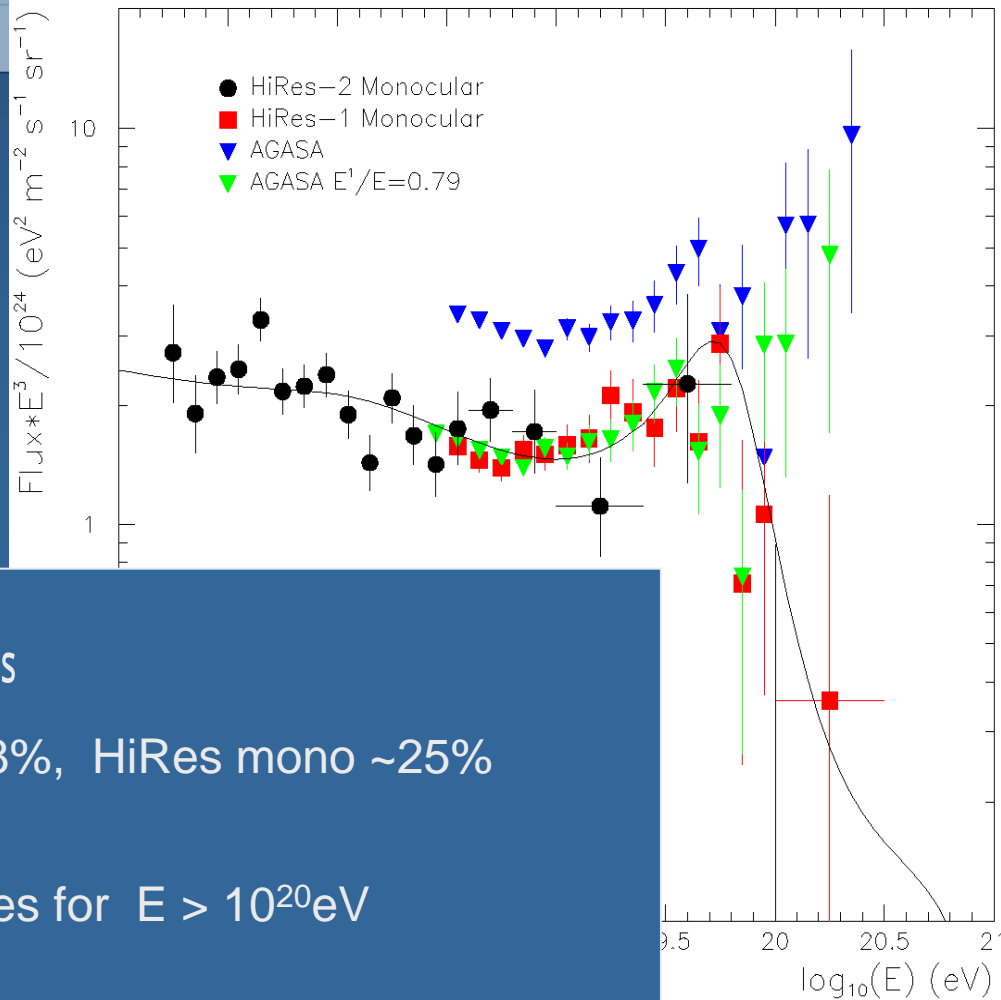
科学研究費 特定領域研究

「最高エネルギー宇宙線の起源」による建設

東大宇宙線研, 愛媛大理, 大阪市大理, 神奈川大工, 近大理工,
高工機構, 高知大理, 埼大理, 芝浦工大システム工, 千葉大理,
東工大理, 広島市大情報, 放医研, 武蔵工大工, 山梨大工,
ユタ大, ルトガース大 他

極高エネルギー宇宙線のエネルギー分布

AGASA	HiRes
地表検出器	大気蛍光望遠鏡
山梨県明野村	米国ユタ州



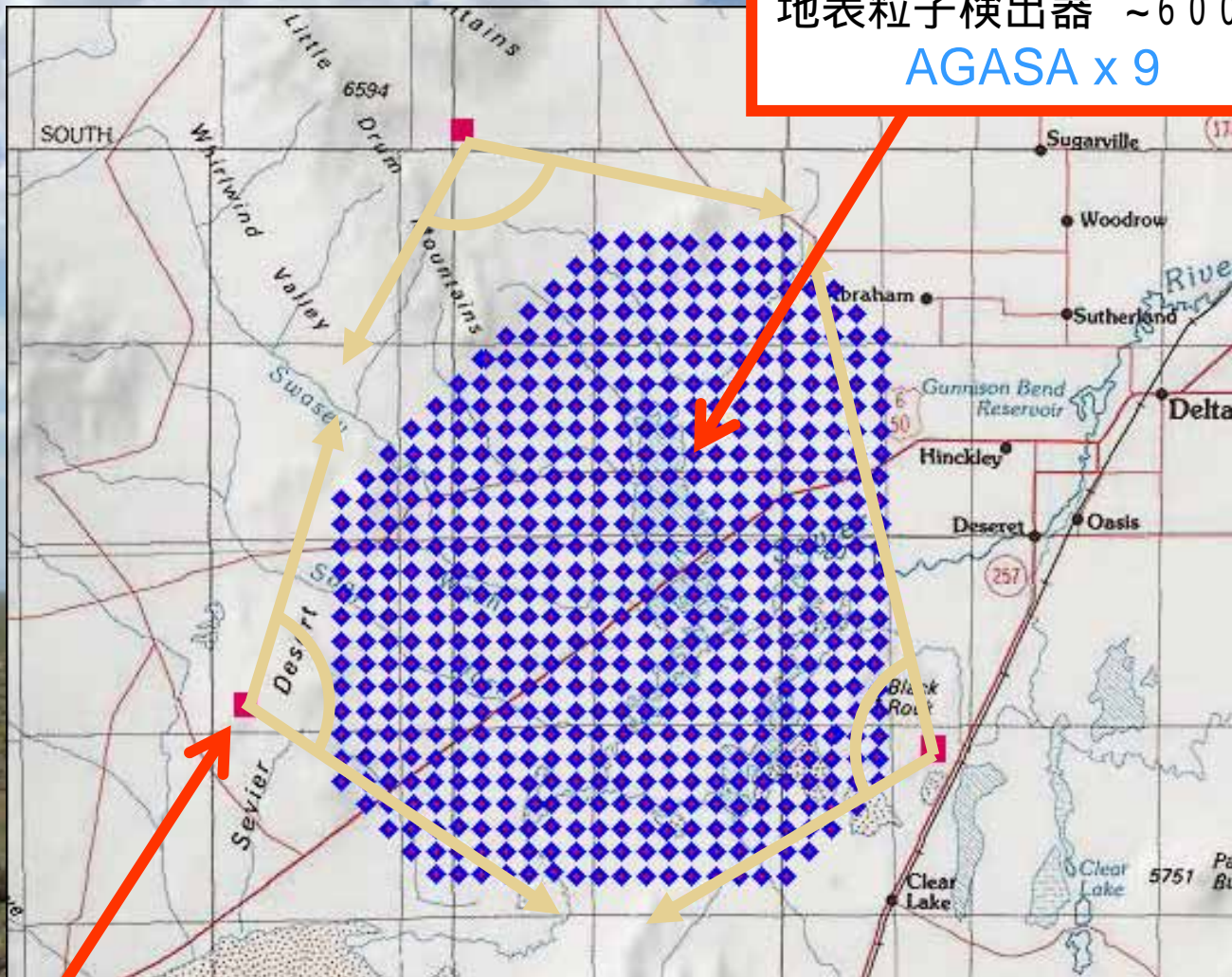
AGASA vs HiRes

- Energy scale error: AGASA~18%, HiRes mono ~25%
- Scale error を補正した後、
AGASA : spectrum continues for $E > 10^{20}\text{eV}$
HiRes : GZK cutoff
- 統計が不十分、異なる測定方法、 $E > 10^{20}\text{eV}$ での系統誤差？

>>> 10 倍を超える検出器規模
大気蛍光・地表の同時観測 (Hybrid) と相互の較正

Telescope Array : TA (phase-1) の建設

地表粒子検出器 ~600台
AGASA x 9



大気蛍光望遠鏡 3基
AGASA x 4

Low Energy extension
in hybrid (米国主導)

TALE

米国ユタ州西部砂漠地帯、平均標高1400m

proto-1



SD Assembly

x 20 are being produced
In Delta this month.



prod. version

proto-2



環境負荷の小さい検出器
電力はソーラーパネル (120 W)
データ収集は無線LAN (11 Mbps)
同時計測タイミングはGPS (20 ns)
運搬設置はヘリコプター

16 x 16 PMT array

x 2 produced



Fluorescence Telescope

x 6 produced



3 m diameter
spherical
mirror

x 12 produced



Schedule of TA & Approved Funding Profile in Grant-in-Aid in Scientific Research (Kakenhi on Priority Areas) in Japan.

Tot = 13.3M inc. operation

1.5M 4.3M 4.3M 1.9M 0.7M 0.7M USD

	Y2003	Y2004	Y2005	Y2006	Y2007	Y2008	Y2009
Site Acquisition and Preparation							
Development of FD and SD Components							
Test of Prototypes in Akeno / Japan							
Test of Engineering Array in Utah							
FD Construction							
FD Deployment and Tuning							
SD Construction							
SD Deployment and Tuning							
Routine Operation and Physics Analysis							



20 SD + 2 FD in desert



End of Deployment
>>> Start Observation

M.Fukushima / ICRR F.Kakimoto / Tokyo Inst. of technology,

S.Kawakami / Osaka City Univ. S.Yoshida / Chiba Univ.

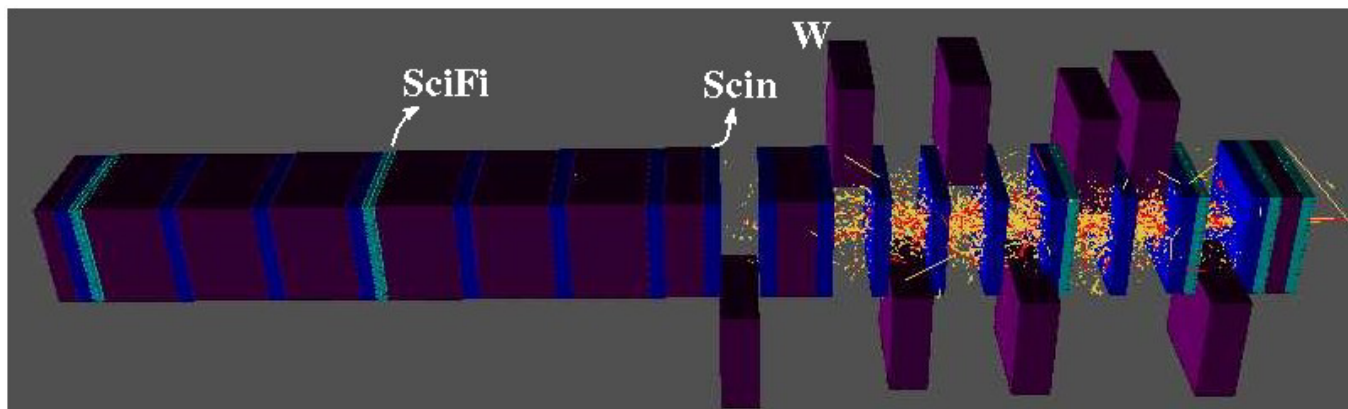
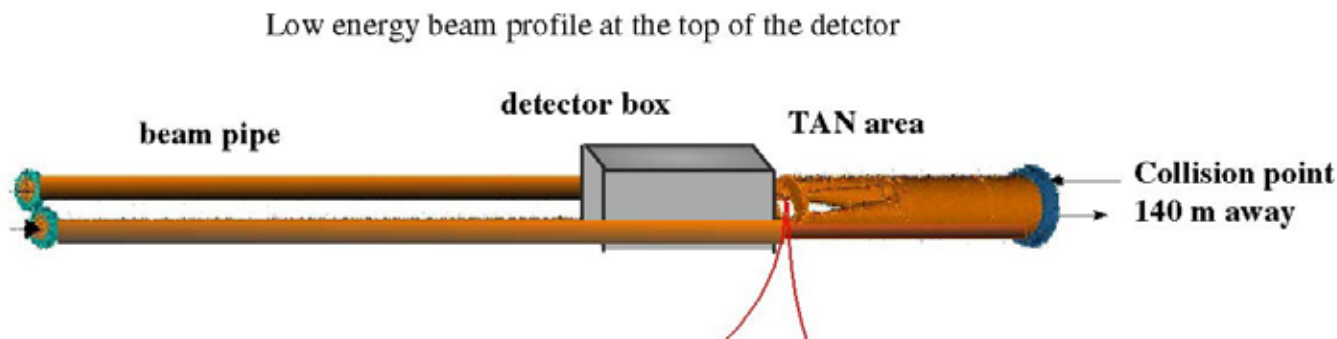
K. Kasahara / Shibaura Institute of Technology

5 PI's,

ICRR as host

モンテカルロ計算に頼らざるを得ない最高エネルギー宇宙線観測のエネルギー決定に対して実験的な裏づけを与える。

7 TeV x 7 TeVの衝突型加速器 (CERN-LHC)による前方散乱粒子の測定により、 10^{17} eVにおける2次粒子の最前方領域でのエネルギー分布を測定することにより、シミュレーション計算に必要なハドロン相互作用モデルを決定する。



測定器の概念図

EUSO



EUSO mission





EUSO Concept

•遠方、大広角(60°) → 広大な検出エリア

– $\sim 4.5 \times 10^5 \text{ km}^2 \text{ sr}$

- 宇宙線観測器として最良
- 宇宙線バーストに対し3000倍の感度 (AGASA)

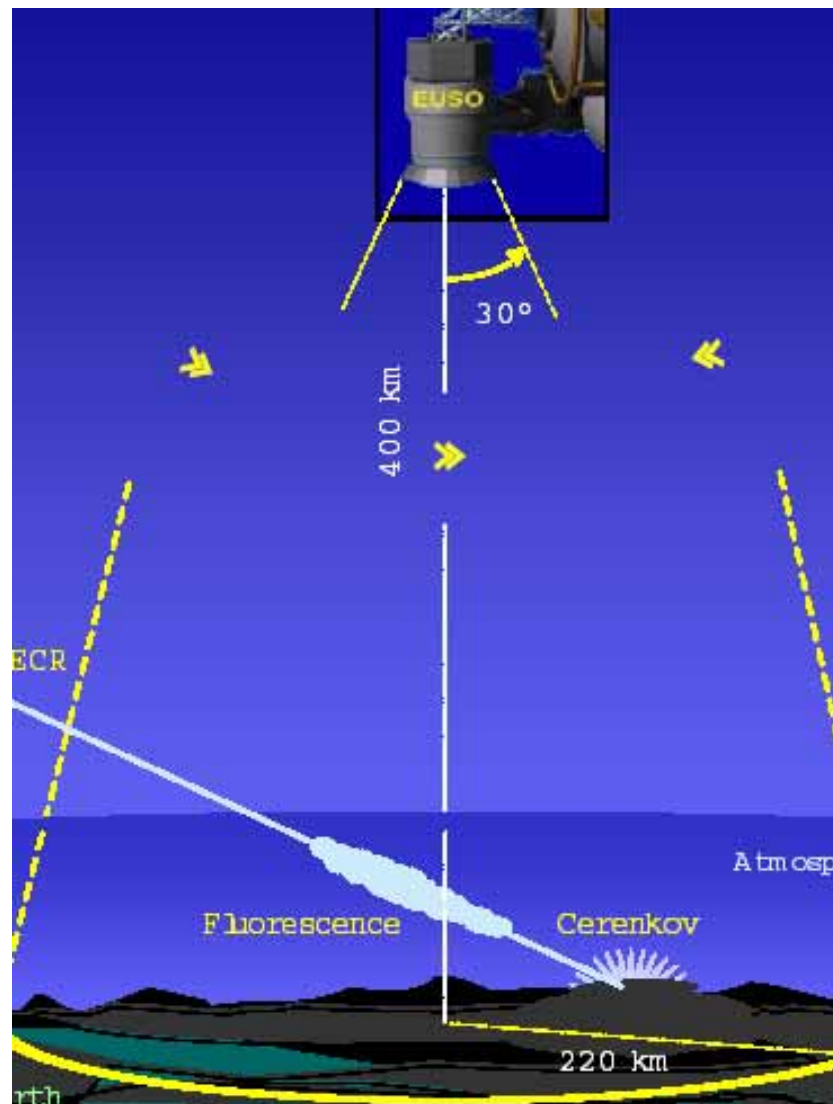
–1500 Giga-ton 大気

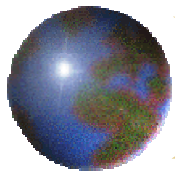
- 超高エネルギーニュートリノ検出器としての可能性

•全天観測

–南北半球にわたる均一な観測が可能
国際宇宙ステーション軌道のおかげ!!

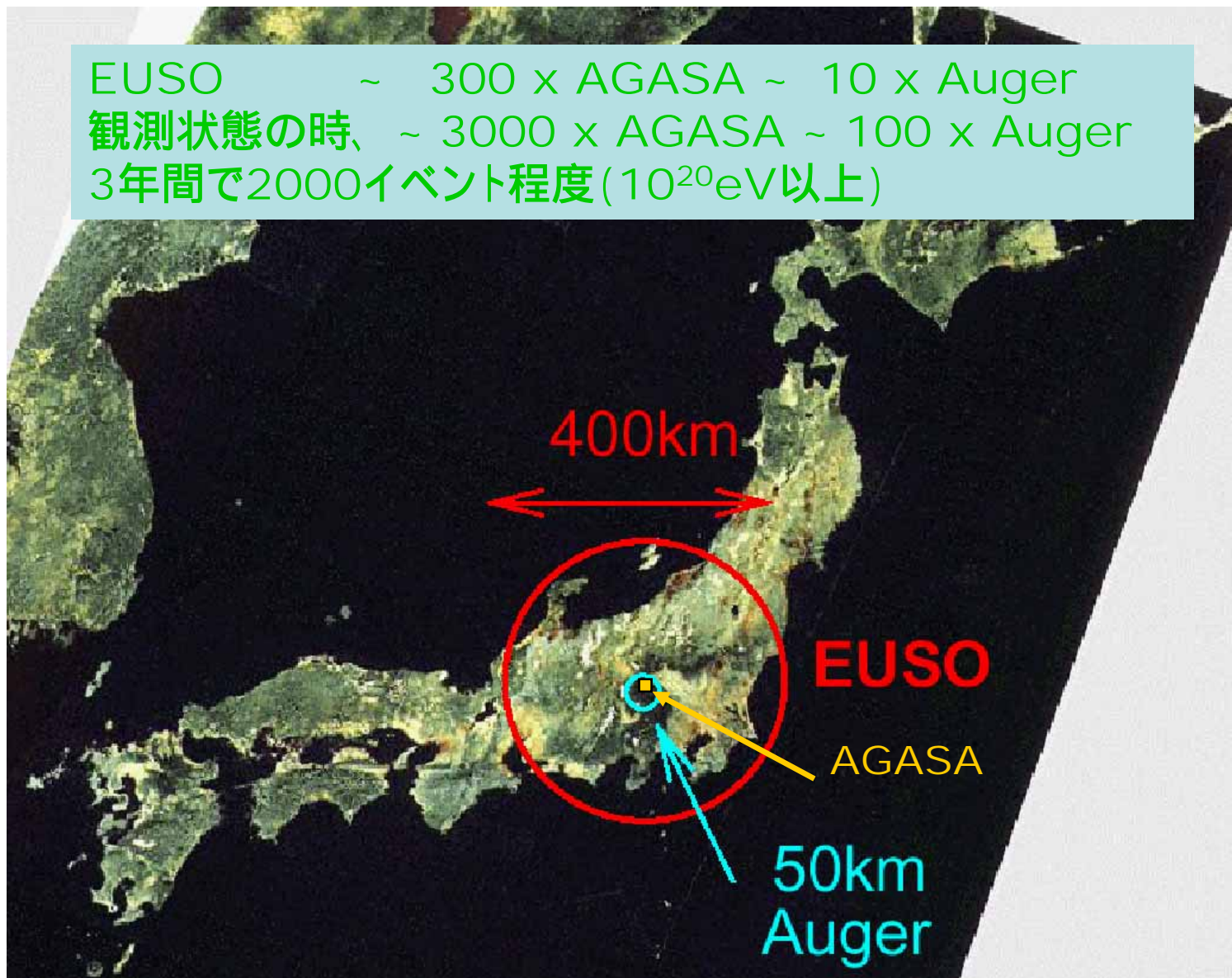
•地上観測と相補的観測





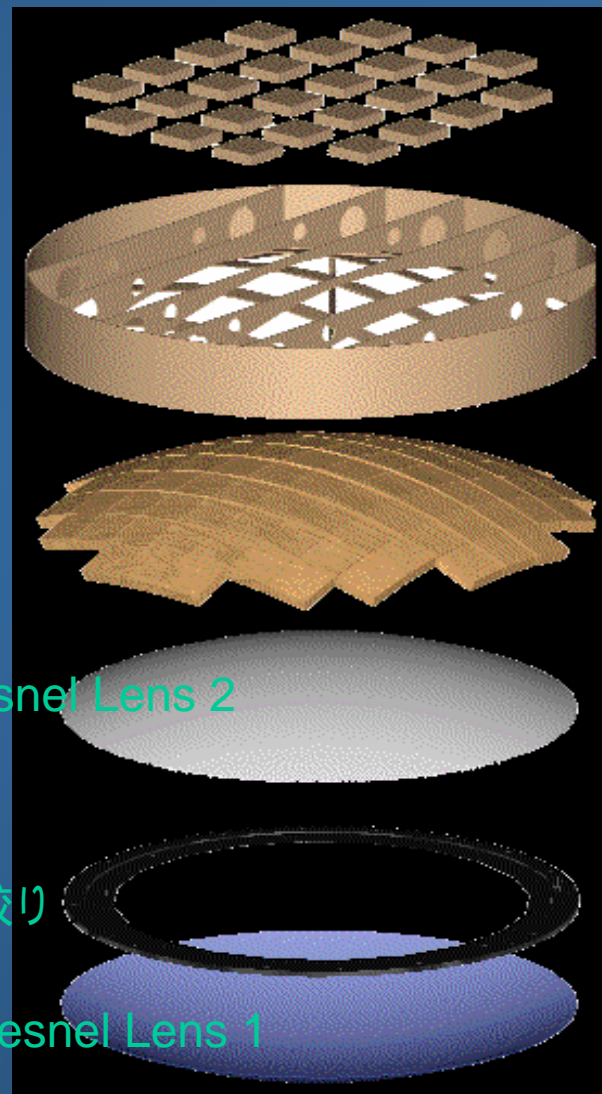
EUSO FOV

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)





EUSO 望遠鏡の構造



信号処理系



焦点面構造体

焦点面検出器



Fresnel Lens 2

絞り

Fresnel Lens 1

光学系



各国の状況

● 欧州：

- Phase-A Study 成功裏に終了
- 2005年春からPhase-B

※予定

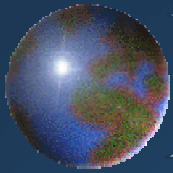
● 日本：Phase-B実行中

- 日本におけるPhase-A研究終了
- 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

FY2009-11 ??



EUSO 全体に必要な費用

総額 123 M €

各国の分担金

・欧州 68 M €

EUSO望遠鏡の構築、EUSO打ち上げ費用等

・日本 16 M €

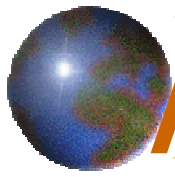
光電子増倍管、HVの開発と供給等

・米国 36 M €

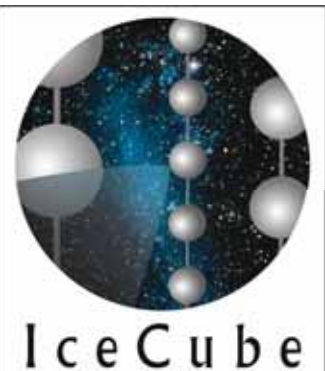
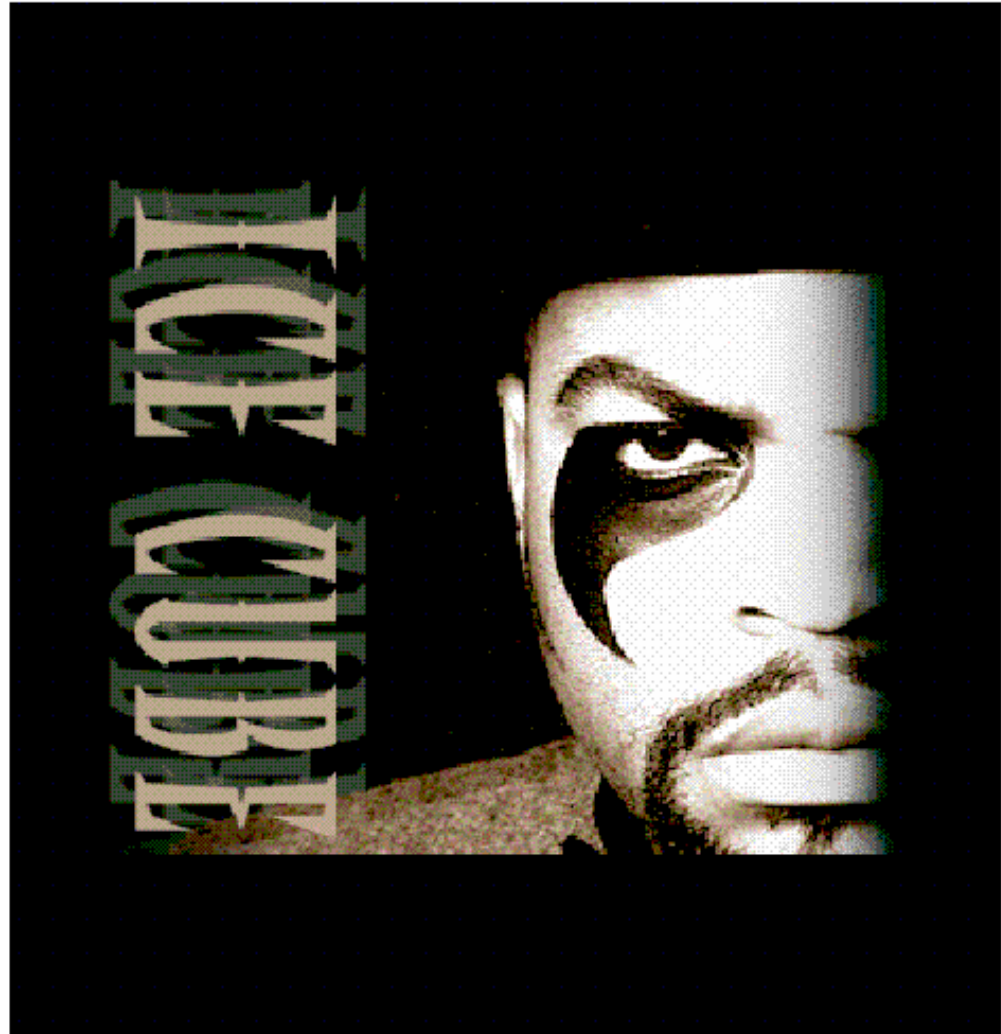
フレネルレンズの開発と供給等

・他 3 M €

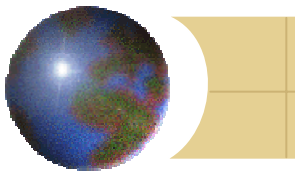
詳しくは p36



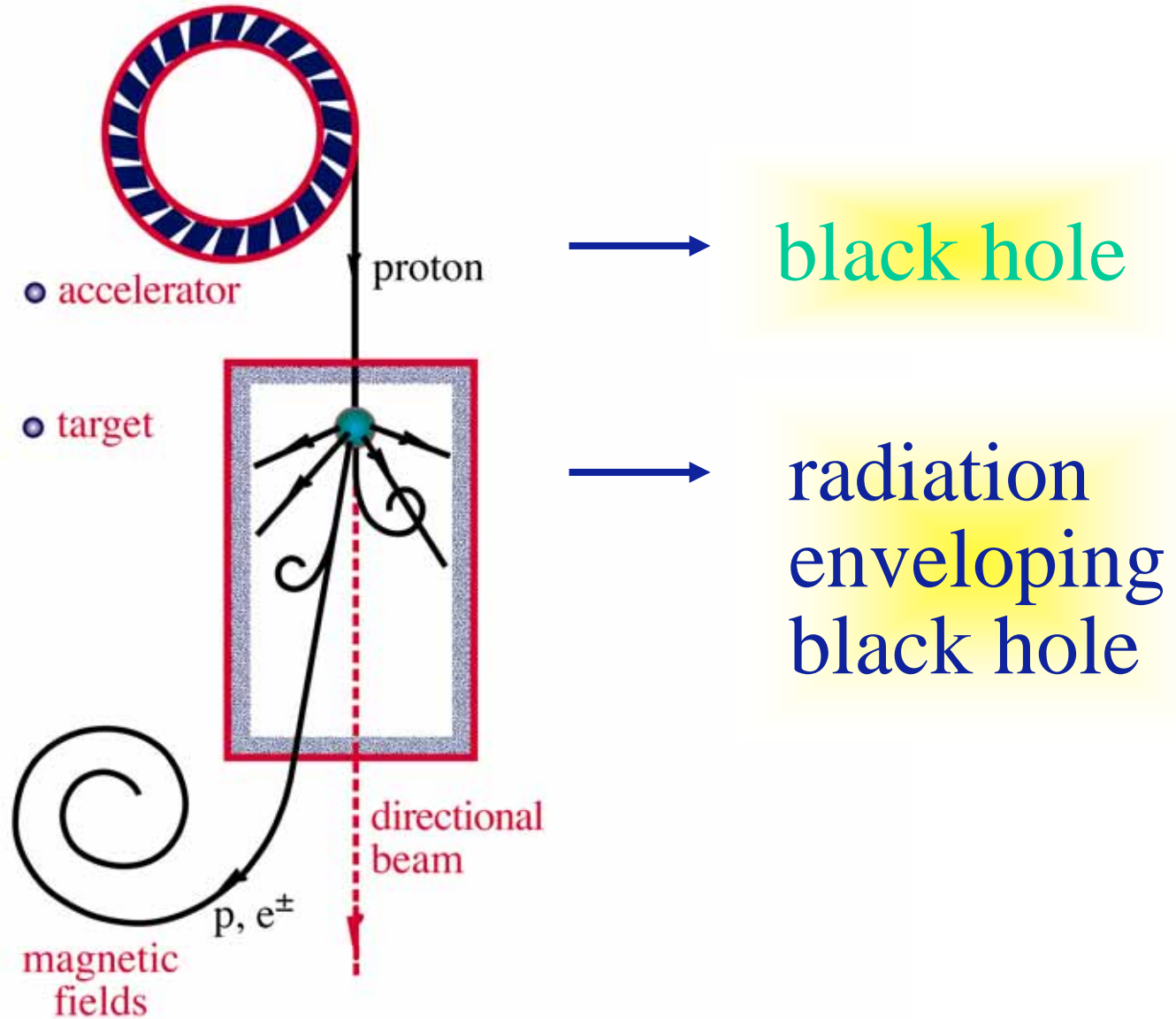
High Energy Neutrino Astrophysics

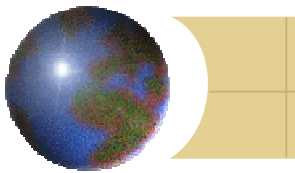


IceCube

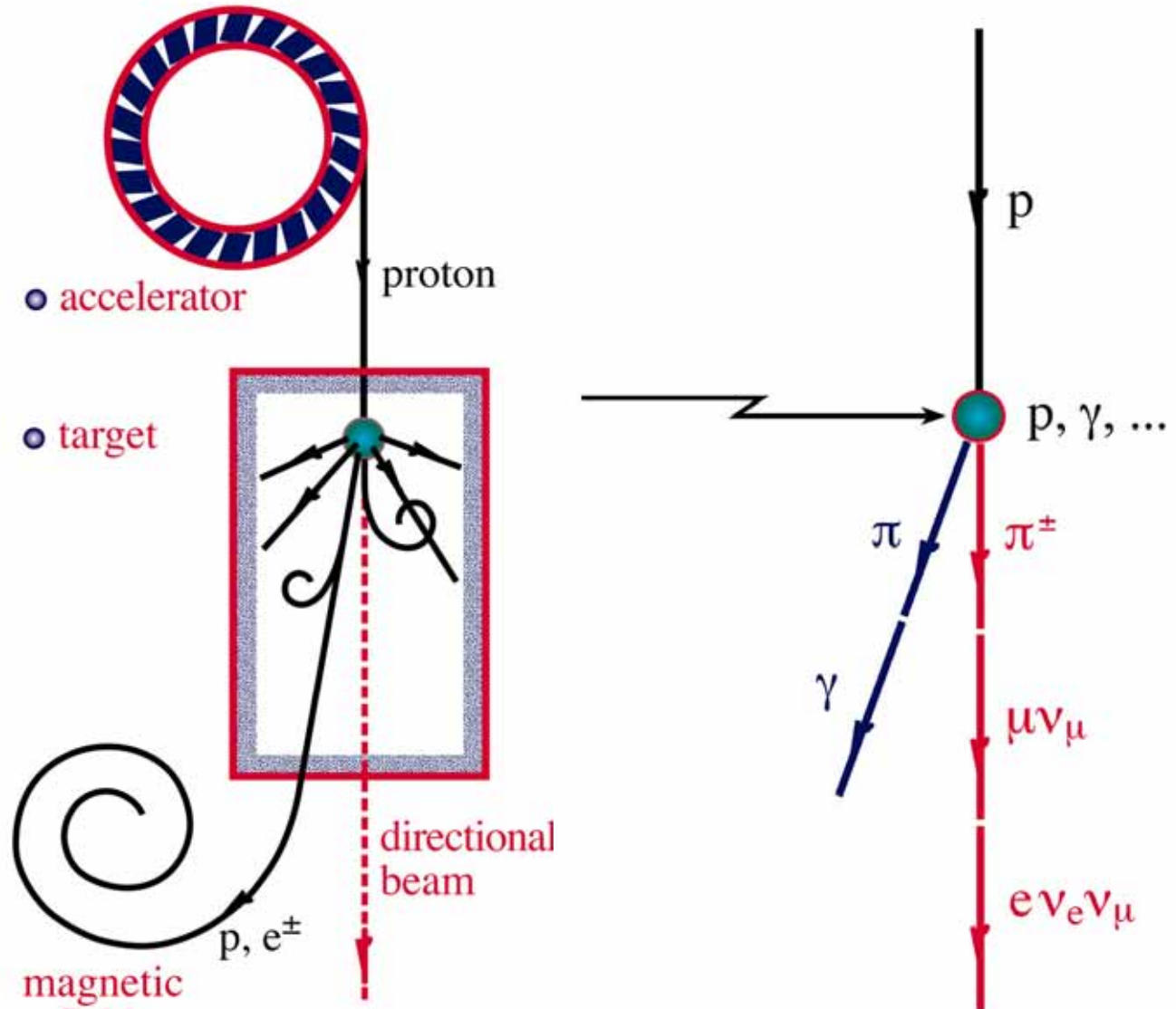


NEUTRINO BEAMS: HEAVEN & EARTH

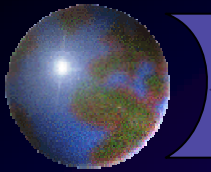




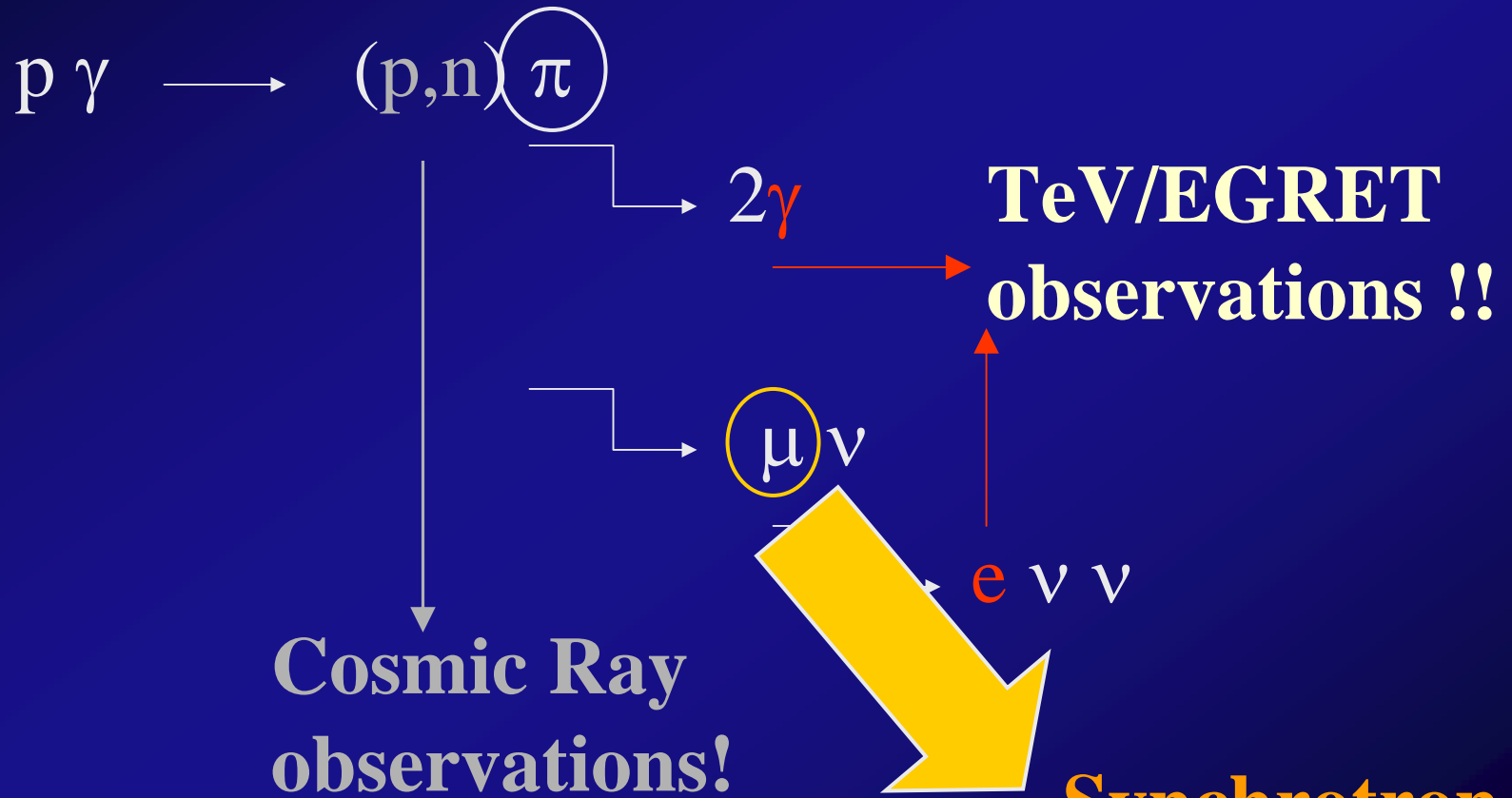
NEUTRINO BEAMS: HEAVEN & EARTH



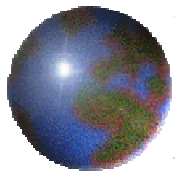
Cosmic Hadrons are right HERE!!



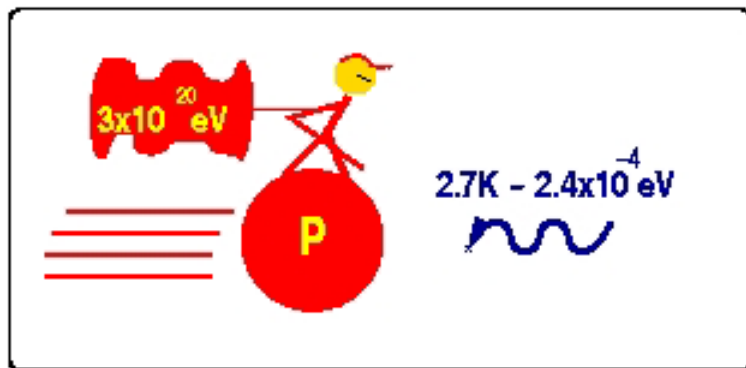
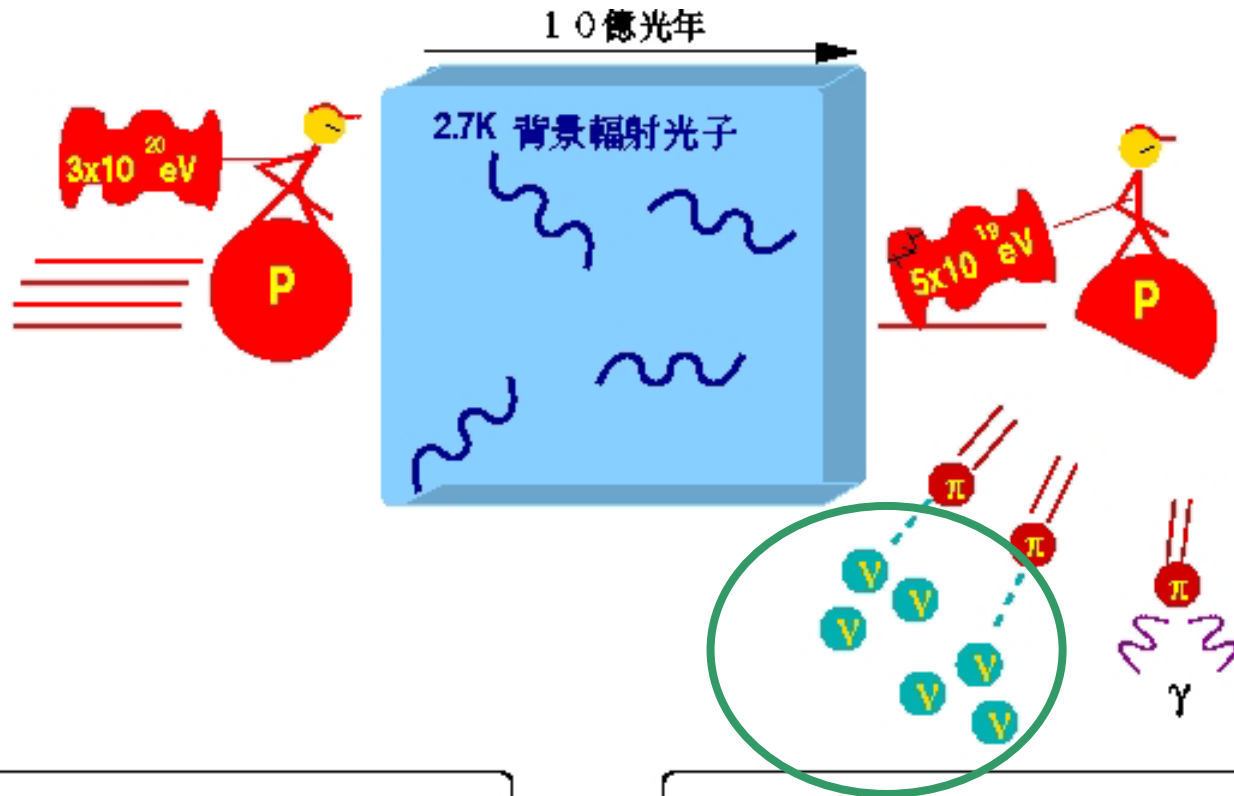
You cannot expect too many ν !



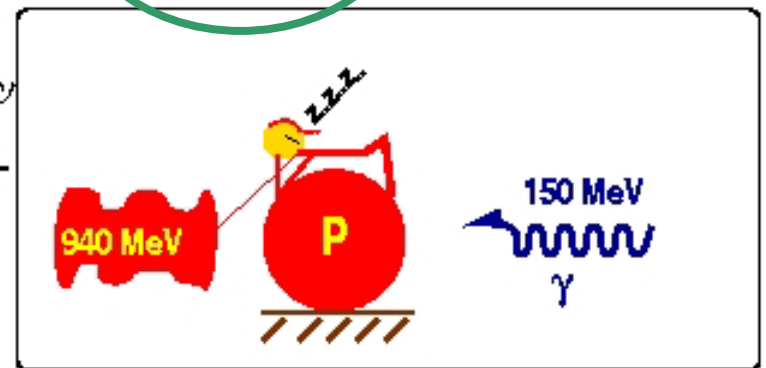
You cannot expect too high energies

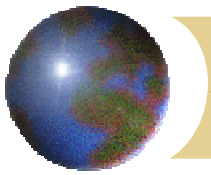


The GZK Neutrino



ローレンツ
変換





Shall we Dance?





Who are we ?



Bartol Research Inst, Univ of Delaware, USA
 Pennsylvania State University, USA
 University of Wisconsin-Madison, USA
 University of Wisconsin-River Falls, USA
 LBNL, Berkeley, USA
 UC Berkeley, USA
 UC Irvine, USA

Univ. of Alabama, USA
 Clark-Atlanta University, USA
 Univ. of Maryland, USA
 IAS, Princeton, USA
 University of Kansas, USA
 Southern Univ. and A&M College, Baton Rouge



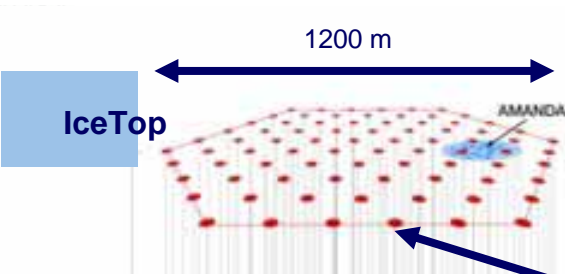
Chiba University, Japan

University of Canterbury, Christchurch, New Zealand

Universidad Simon Bolivar, Caracas, Venezuela

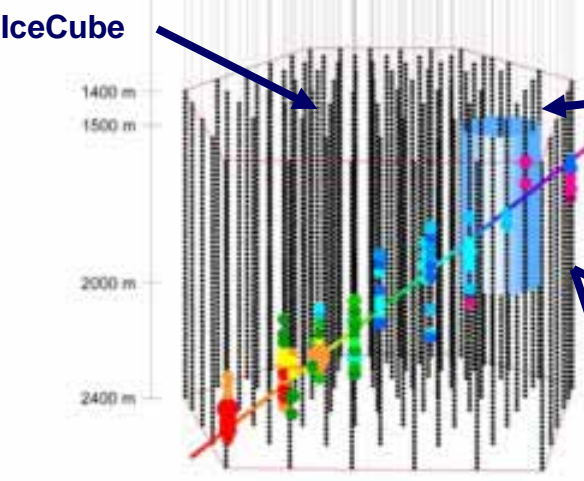
Université Libre de Bruxelles, Belgium
 Vrije Universiteit Brussel, Belgium
 Université de Mons-Hainaut, Belgium
 Universität Mainz, Germany
 DESY-Zeuthen, Germany
 Universität Wuppertal, Germany

Uppsala Universitet, Sweden
 Stockholm universitet, Sweden
 Kalmar Universitet, Sweden
 Imperial College, London, UK
 University of Oxford, UK
 Utrecht University, Utrecht, NL

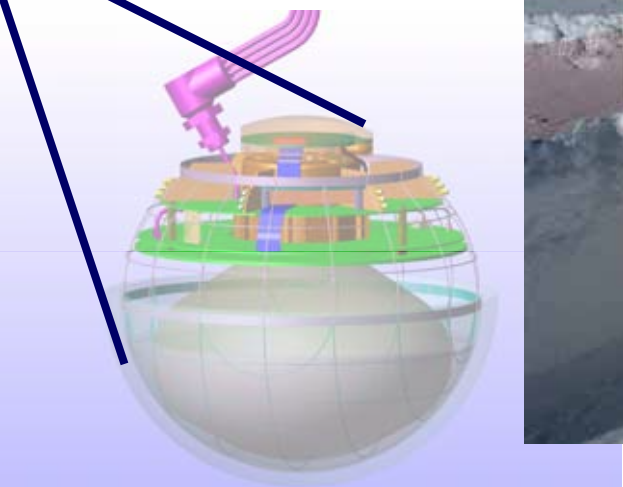


IceTop
 160 tanks
 frozen-water tanks
 2 OMs / tank

First year deployment (Jan 2005)
 4 IceCube strings (240 OMs)
 8 IceTop Tanks (16 OMs)



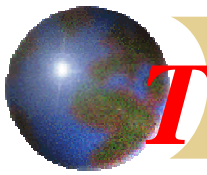
IceCube
 80 strings
 60 OMs/string
 17 m vertical spacing
 125 m between strings



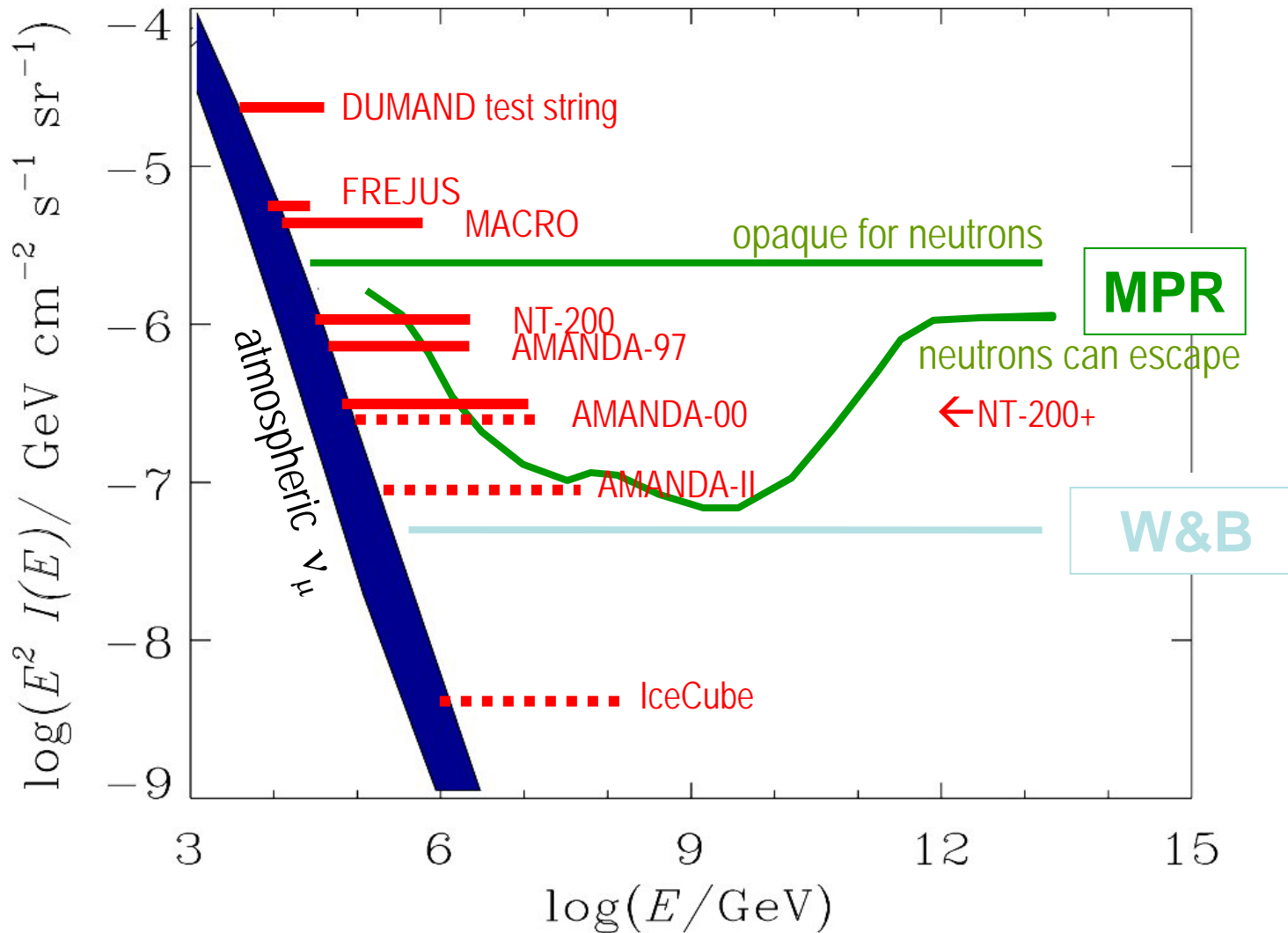
10" Hamamatsu R-7081



IceTop Tank deployed in 2004



Theoretical bounds and future



Mannheim, Protheroe and Rachen (2000) – Waxman, Bahcall (1999)

⚡ derived from known limits on extragalactic protons + γ -ray flux



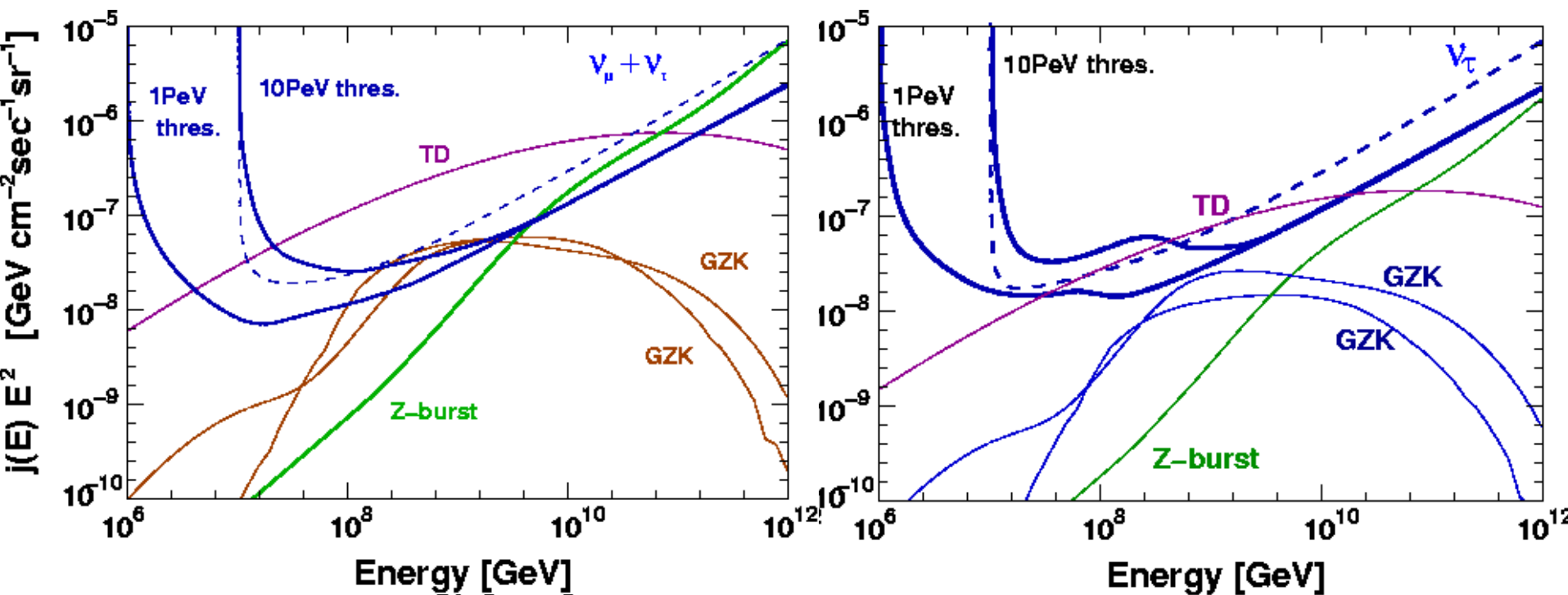
IceCube

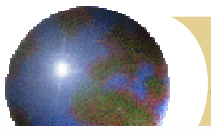
IceCube EHE ν Sensitivity

90% C.L. for 10 year observation

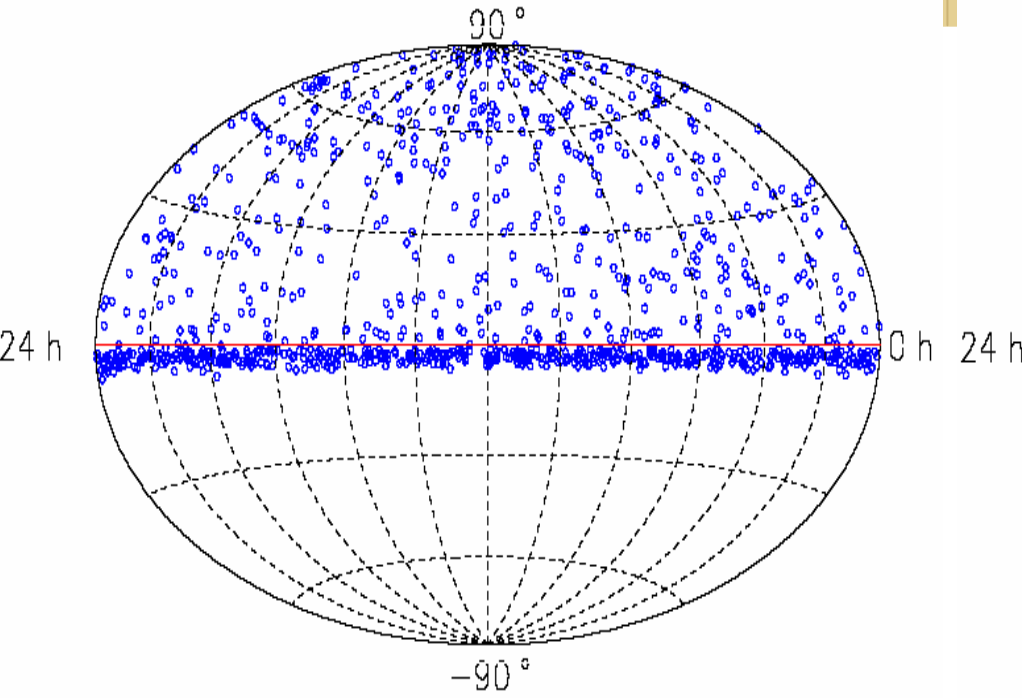
Published in Phys. Rev. D

S.Yoshida, R.Ishibashi, H.Miyamoto, PRD 69 103004 (2004)

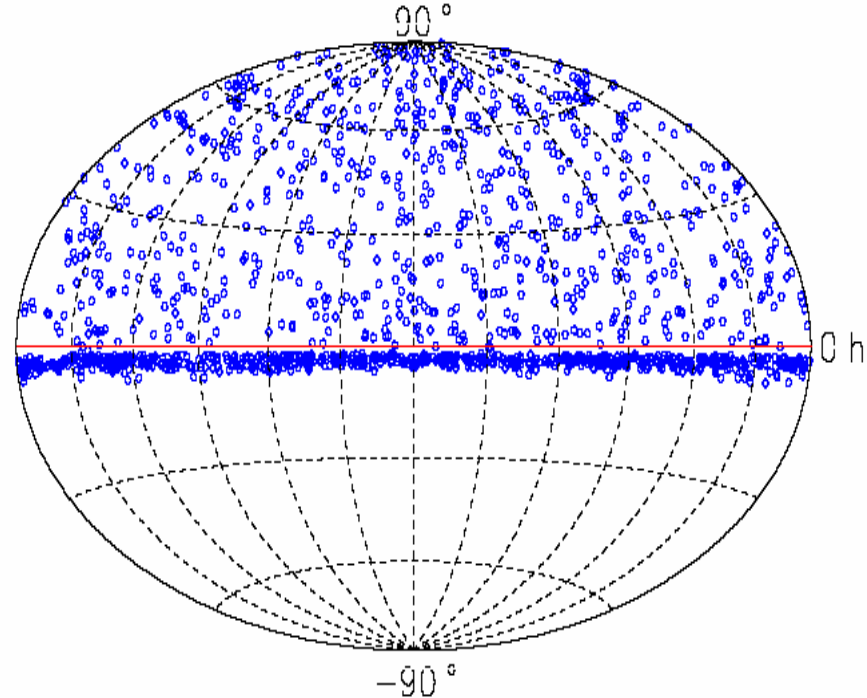




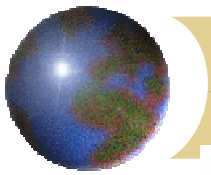
~ Sky Maps



2 years : 959 events

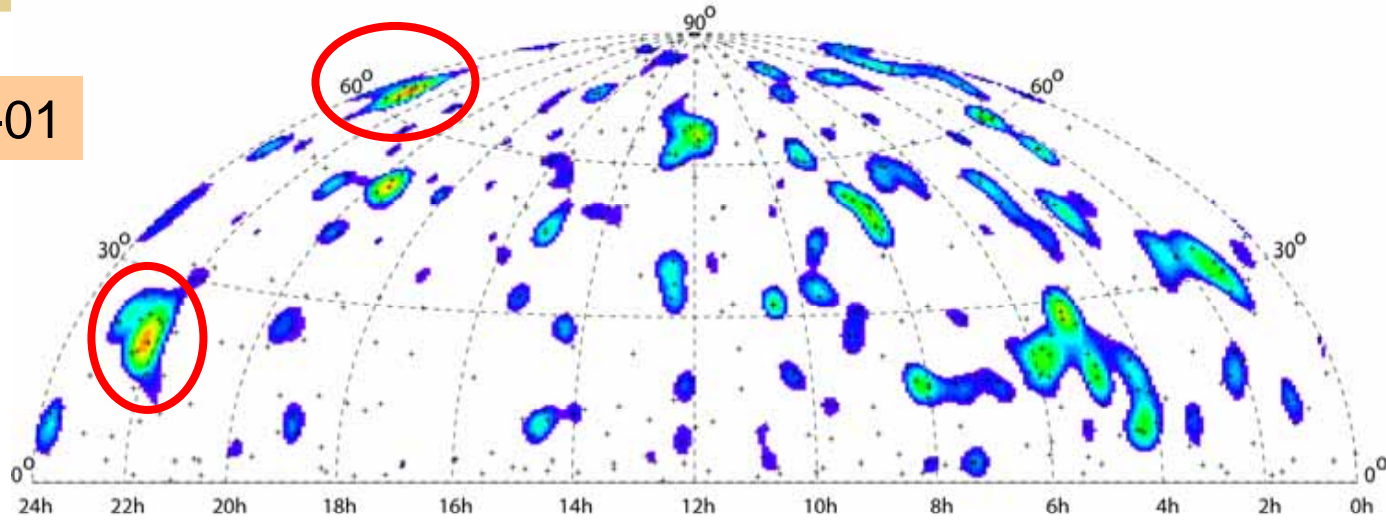


3 years : 1403 events

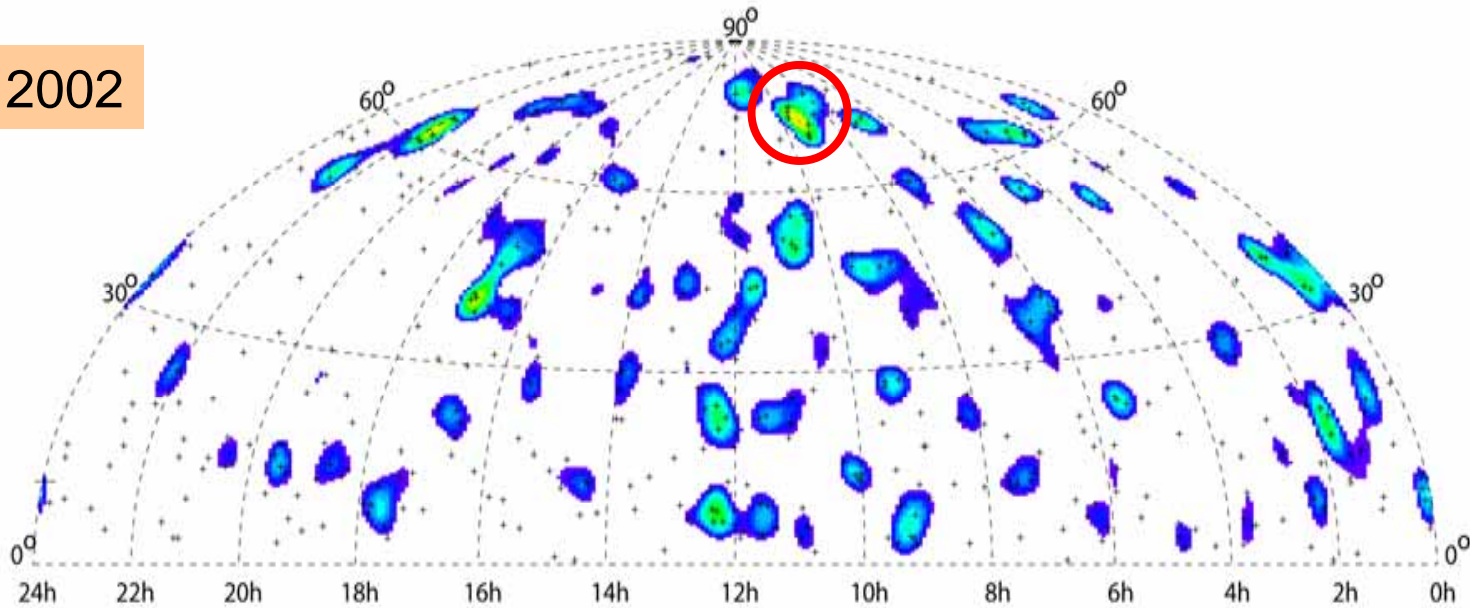


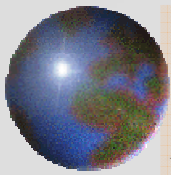
Grid Search Results

2000-01

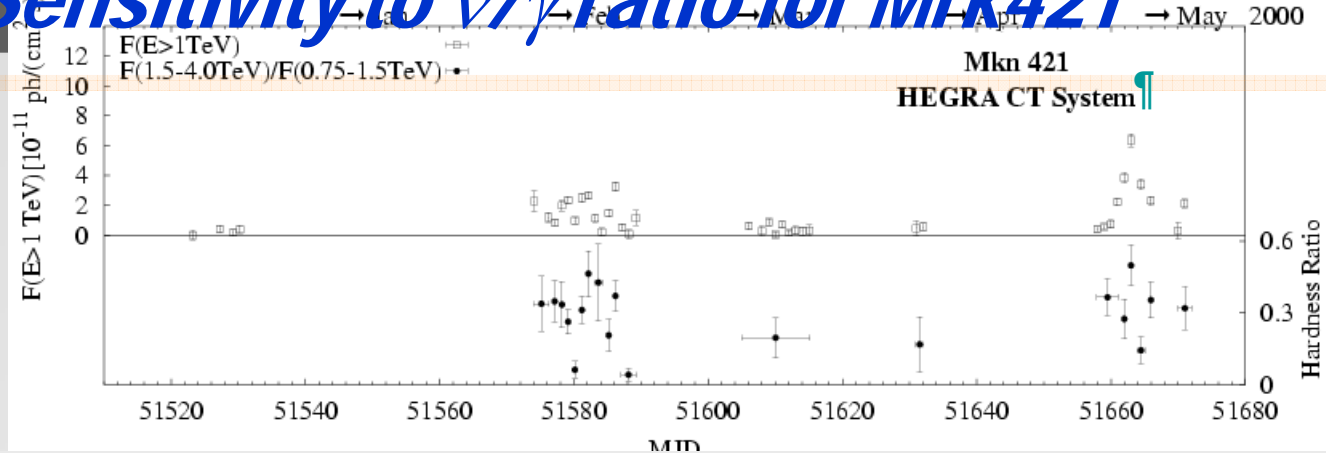


2002



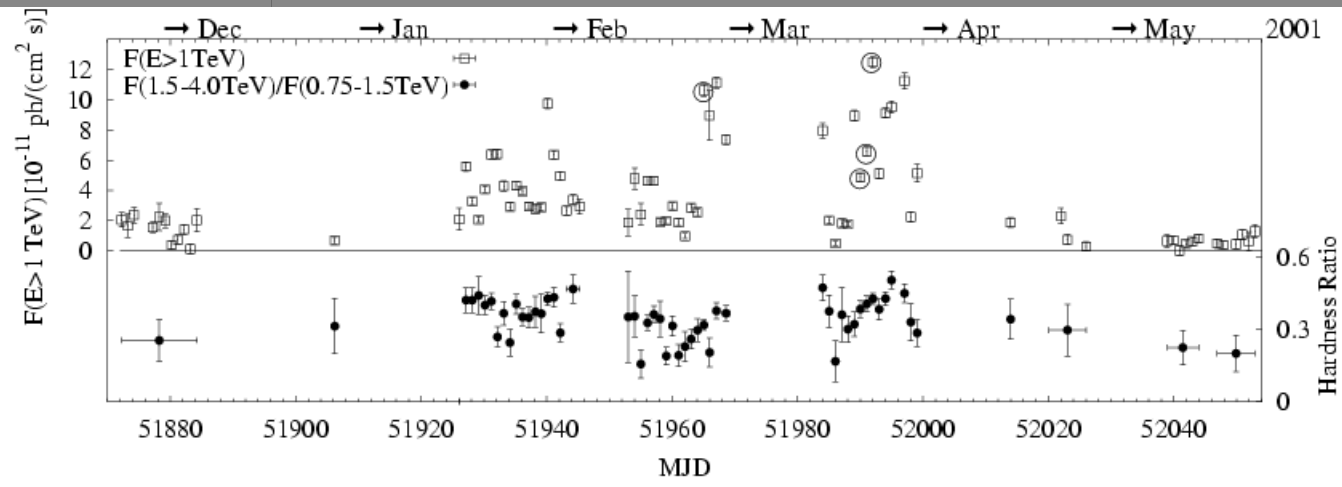


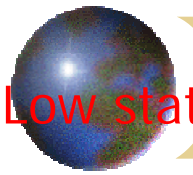
Sensitivity to ν/γ ratio for Mrk421



Dec 1999 - May 2000 period of relatively **low** TeV γ emission: 131 hours

Nov 2000 - May 2001 "flare" state: **high** TeV γ emission: 255 hours





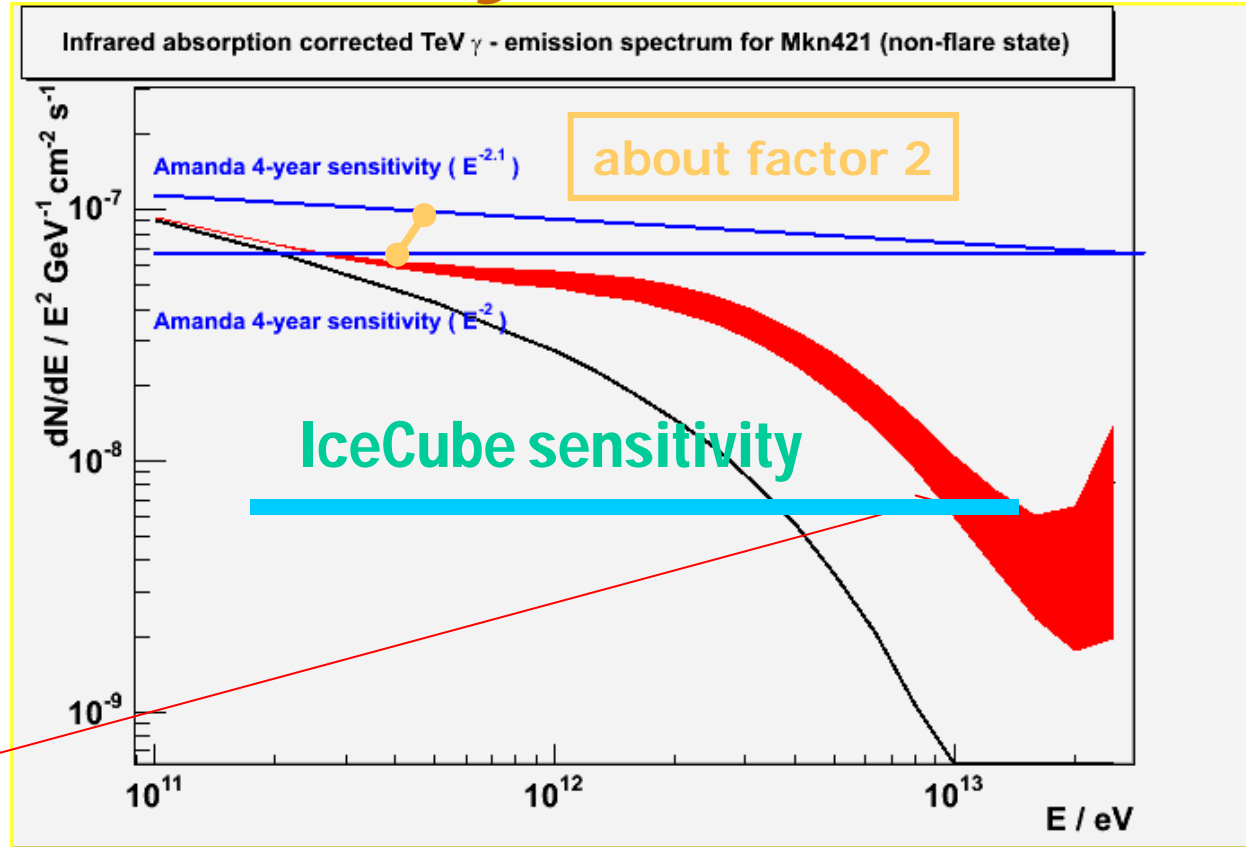
Low state: *Mrk 421 sensitivity (AMANDA)*

can be compared to our best upper limit (sensitivity shown here)

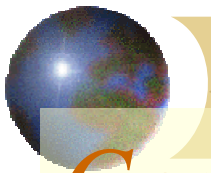
- Fit of the measured spectrum from HEGRA (Low)
- Allowed range for the emitted flux
- AMANDA sensitivity

Correction for extragalactic γ absorption[†]:

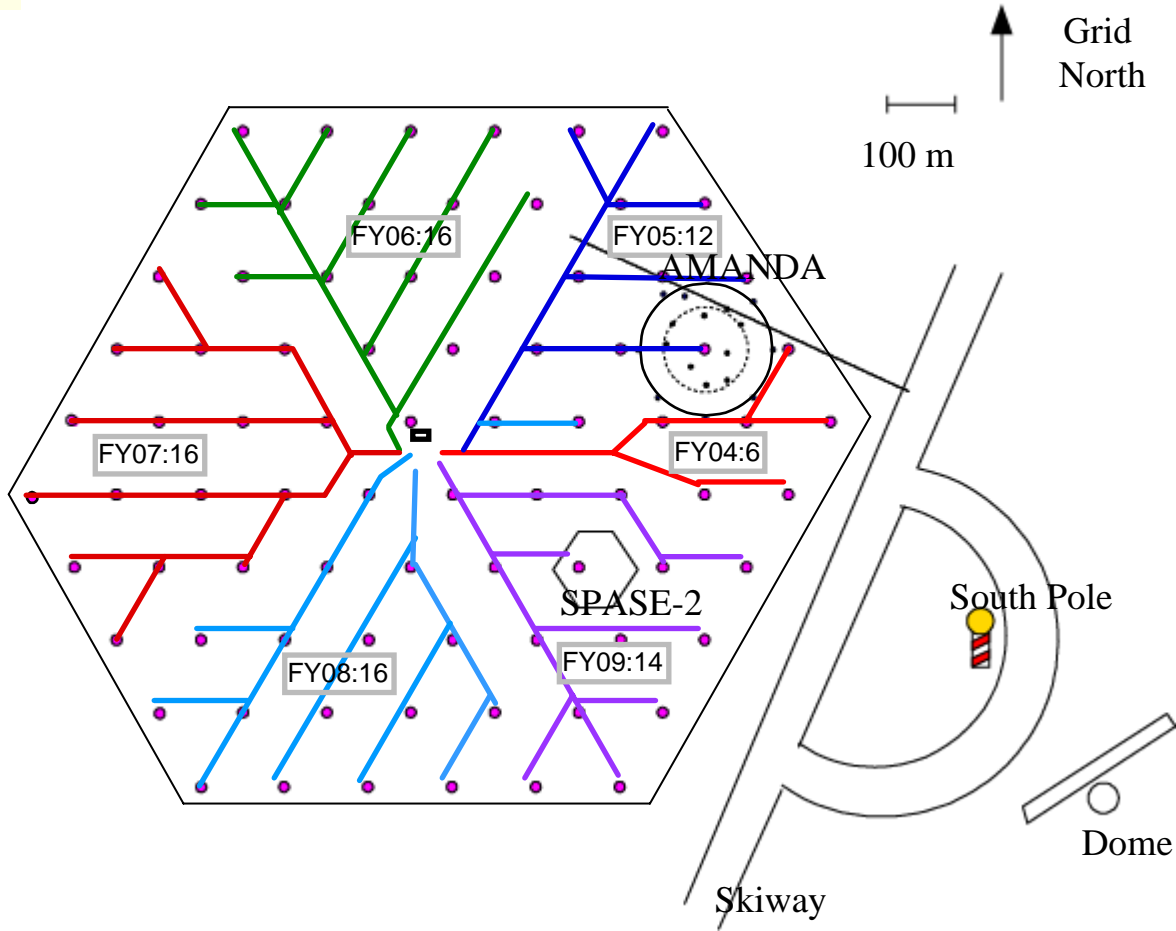
TeV γ -ray spectra are modified by red-shift dependent absorption by intergalactic IR-UV background



[†]O.C.De Jager & F.W.Stecker, *Astrophys.J.* 566 (2002), 738-743



Construction: 11/2004-01/2009



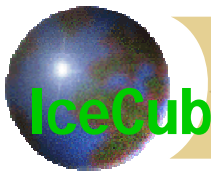


IceCube

Right now at the pole



© 2004 Steffen Richter

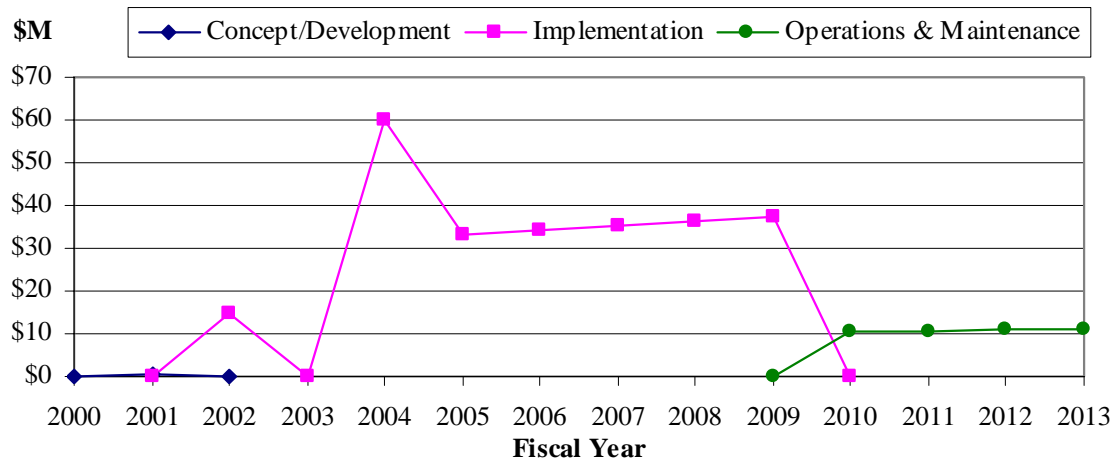


IceCube A part of NSF's MRE (Major Research Equipment) Budget

The Bush Administration requesting MRE \$202.3M
(60.2% Increase) for FY2004.

ALMA \$50.8M request (FY04)
IceCube \$60M request (FY04)

IceCube Funding, by Phase

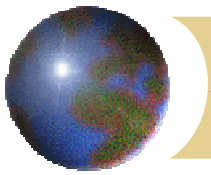


Japan Group



千葉大学
Chiba University

科研費 (~\$0.5M “完全”検出器製作費、人の雇用)



Summary

- ⊕ Highest Energy Cosmic Ray study sees its **highlight time!**
 - ▣ Telescope Array (FY2004- full Operation FY2007)
 - ▣ Auger (FY2003- full operation FY2007?)
- ⊕ High Energy Neutrino astrophysics becomes **REAL observational science**
 - ▣ IceCube (FY2004- full operation FY2009)
 - ▣ ANTARES, Bikal, NESTOR etc...
- Space projects like **EUSO, CALET** will expand cosmic ray physics horizon!