Ashraによる GRBニュートリノ観測

東京大学宇宙線研究所
野田浩司

2009年9月26日

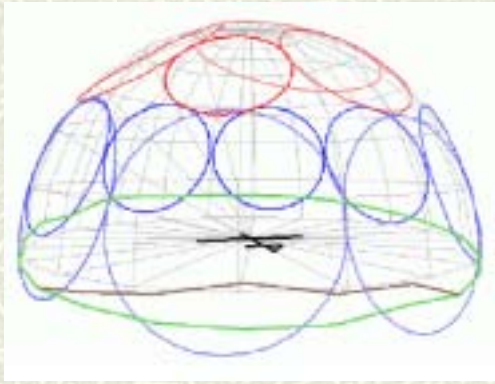
科研費特定領域研究「ガンマ線バーストで読み解く太古の宇宙」
第三回領域シンポジウム@下呂温泉

Ashra実験

All-sky Survey High Resolution Air-shower detector

Ashraマウナロアサイト

- 超広視野（直径42度）・高解像度（分角）の光学系×12で全天の77%を監視
- 空気シャワーのトリガー制御精細撮像による、到来方向の決定・粒子識別



超高エネルギー素粒子天文学の創成

Ashra Phase-1 (Ashra-1)

Collaboration list（2009年9月）

会田勇一, 青木利文, 浅岡陽一, 安生純[A], P.Binder[B], T.Browder[C], 長南勉, S.Dye[C], R.Fox[B], J.Hamilton[B], 東悠平, 石川巨樹[A], 木村孝之[D], 久世宏明[E], J.Learned[C], 増田正孝, 松野茂信[B], 森元祐介, 野田浩司, 小川了[A], S.Olsen[C], 佐々木真人, 渋谷寛[A], 篠宮浩平[E], 杉山直[F], 矢吹正教, G.Varner[C], 渡邊靖志[G], 渡邉由以[A]

東京大学宇宙線研究所　[A] 東邦大学
[B] Univ. of Hawaii Hilo　[C] Univ. of Hawaii Manoa
[D] 茨城大学　[E] 千葉大学 CEReS　[F] 名古屋大学　[G] 神奈川大学

歴史

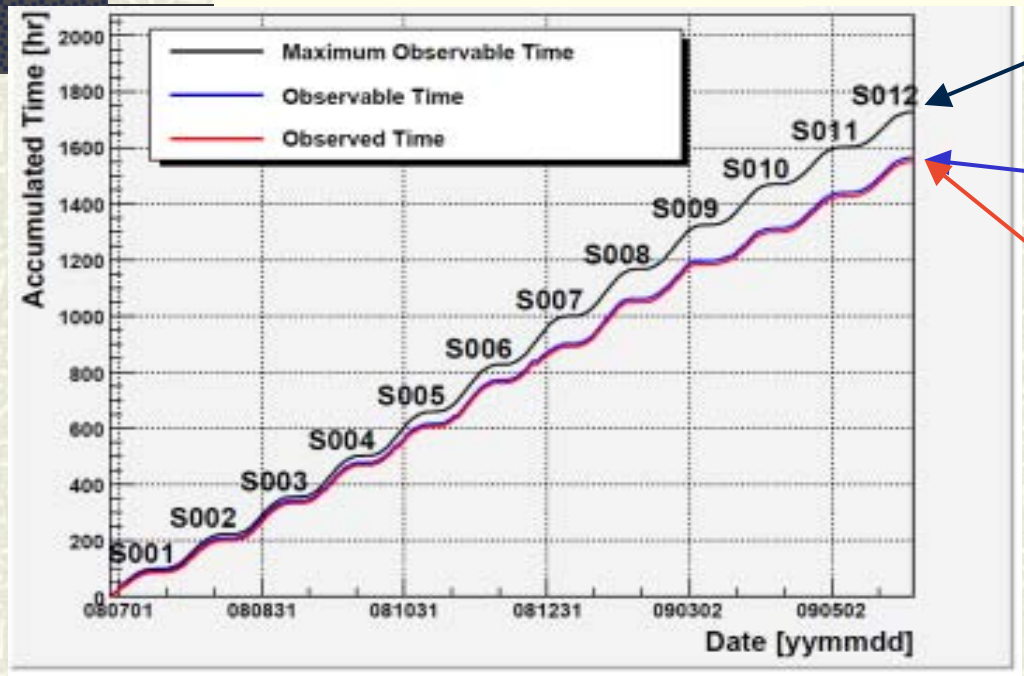
- 2003年　初めて予算化
- 2006年　建設開始
- 2008年　部分的ながら観測開始

Observation-1

- **光学閃光の広視野監視**
  - **トリガーなし**
  - 2008**年**6**月**28**日**-2009**年**6**月**5**日の約**1**年間、高効率で実施＝*Observation-1と定義***
  - **解析中**
- **タウニュートリノのパイロット観測**
  - **トリガーあり**
  - 2008**年**10**月**28**日**-2009**年**12**月**10**日**
  - **解析 → 論文執筆中**

光学閃光観測 Observation-1実績

積算の観測時間



最大観測可能時間
（空が暗い時間）

好天観測可能時間
（好天だった時間）

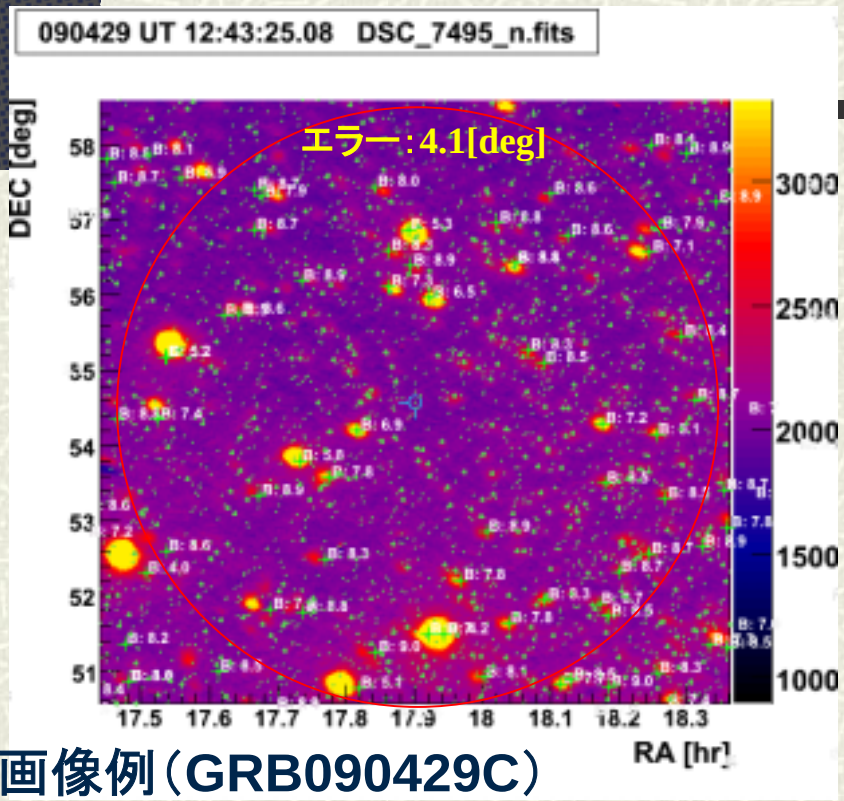
実観測時間

1年間のDuty factor
= 実観測時間/全時間
= 18.8% 達成

衛星	時間領域ごとの、視野に入った衛星トリガー数		
	プリカーサ閃光（24時間以内）	プロンプト閃光（T0を含む）	残光 (3時間以内)
Swift	**19**	**3**	**1**
Fermi	**16**	**2**	**2**

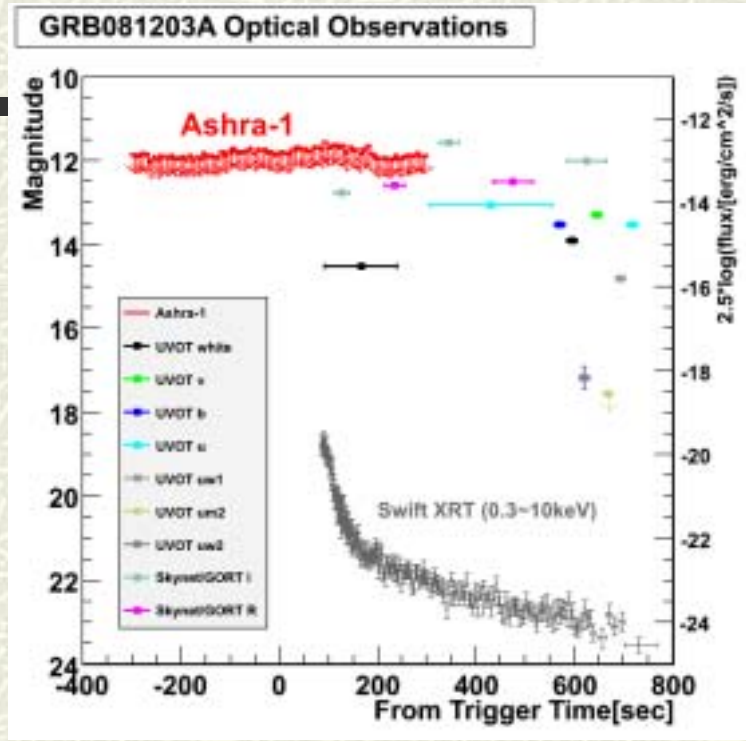
Fermiは誤差円が大きいので、広視野のAshraに有利

光学閃光解析例



画像例（GRB090429C）

- Fermi trigger
- トリガー前1.2時間からトリガー後1.6時間
- エラー半径4.1[deg] の全領域をカバー



光度曲線例（GRB081203A）

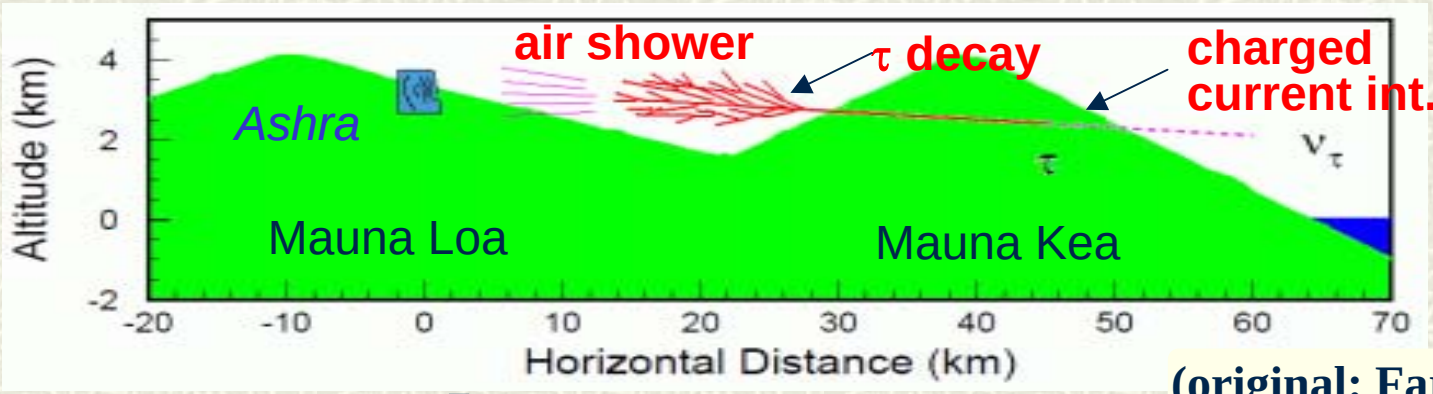
※GCN #8632

ν観測も実施

現在鋭意解析中。可視光とX・γ線の比から、prompt放射機構やprecursorの有無について示唆ができる可能性

本講演の観測

地球かすりニュートリノ由来の大気チェレンコフ光



(original: Fargion 97)

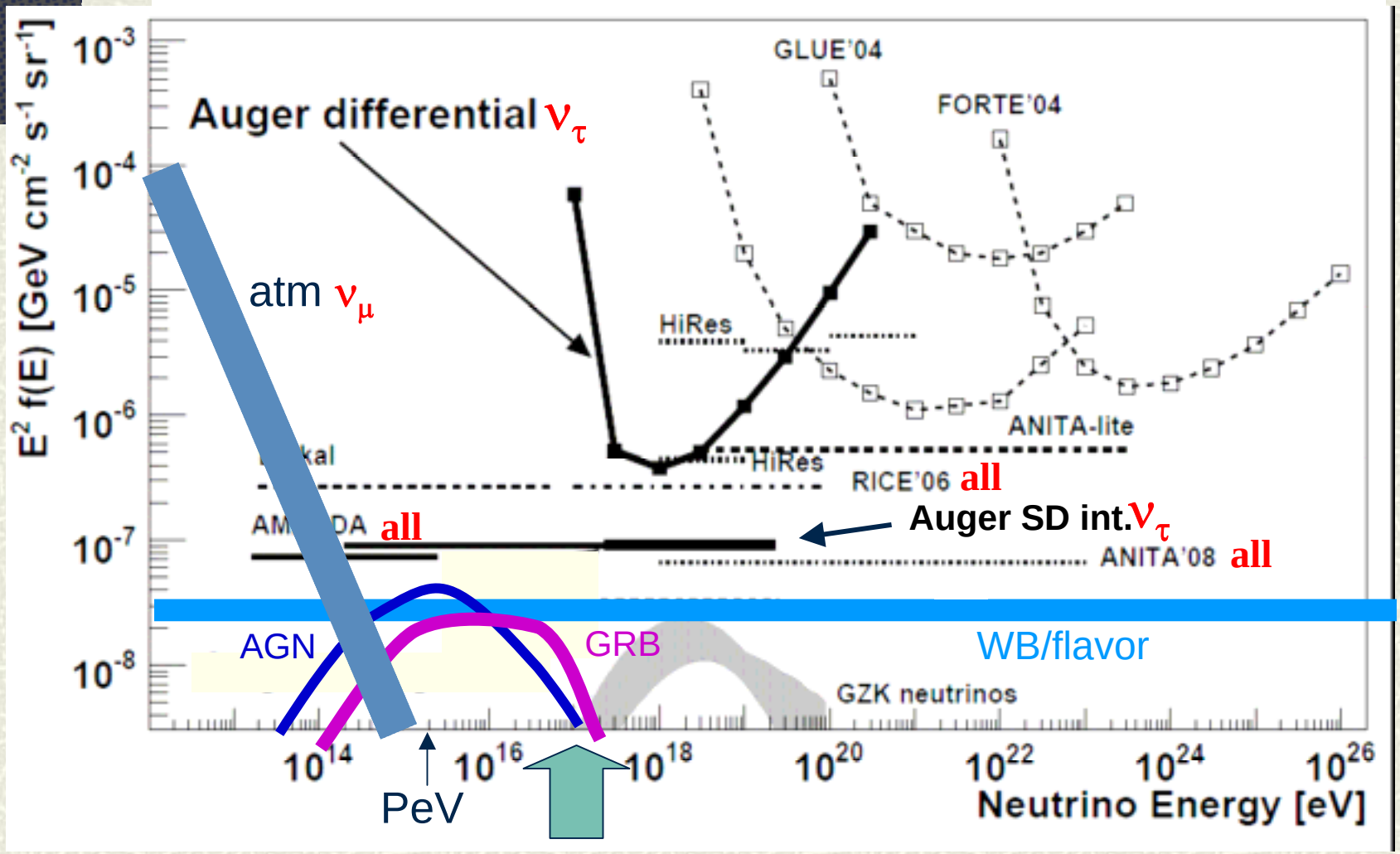
【マウナケアの利点】

- 水、氷よりも大きなターゲット質量
- 宇宙線バックグラウンドのフィルターとして機能
- ν_τ を選択的に検出可能
  → 大気νがない。水・氷によるν_μ観測（＜100PeV）と相補的

PeV-EeV νの初の大気チェレンコフ観測
ν検出器で最高の解像度＝ν点源の物理への可能性

VHE ν 観測現状

Abraham+ 09, AGN: Stecker 05, GRB: Murase+ 06　※モデルは不定性大



～100PeV ν_τの空気シャワー観測は将来性あり

検出器

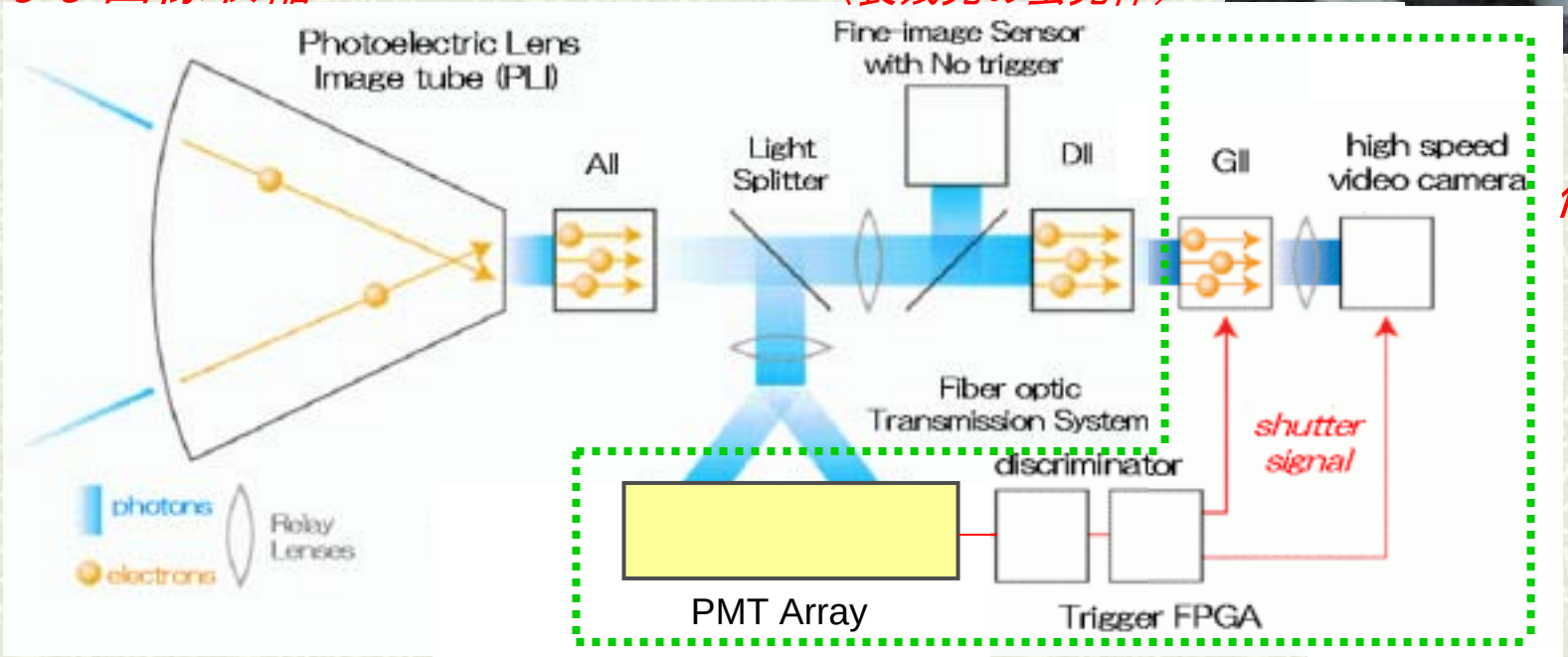
マウナケア向きの集光装置1つ
本設計の光学系（alt=11.7°、azi=22.1°）

トリガー制御精細撮像

解像度を保ったまま画像収縮

増幅してから分ける

一方が待つ間に
（長残光の蛍光体）



像を撮る
（CCD）

もう一方で判断し（FPGA）

検出器組み上げ

集光装置近くに運搬　→　レンズ･撮像管、パイプラインを設置

← Trigger & Readout用
シェルター（トリガーハット）

光ファイバー束設置の様子

検出器性能評価

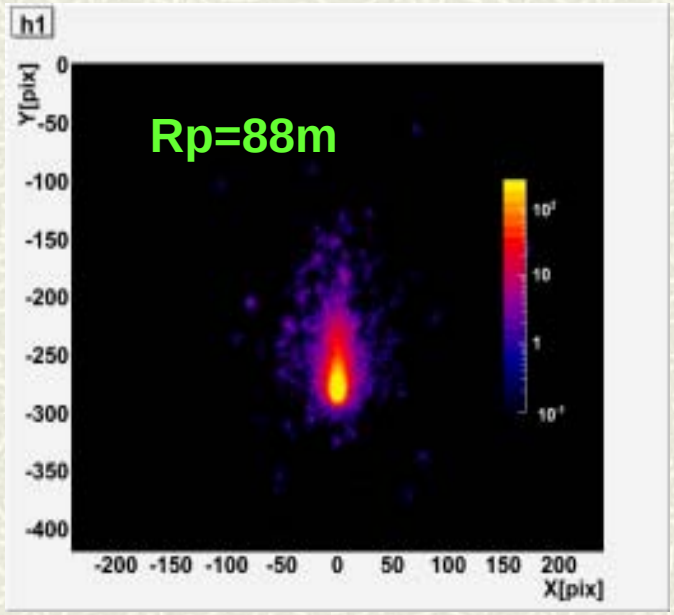
人工光源での較正の後、
性能評価のための宇宙線観測を実施

視野以外はν観測と同じ条件（天頂角は65°）

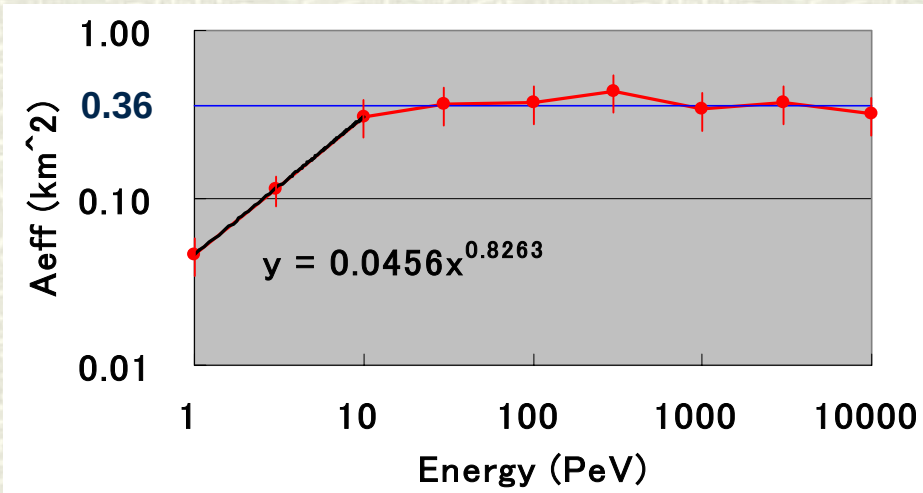
＜シミュレーション＞

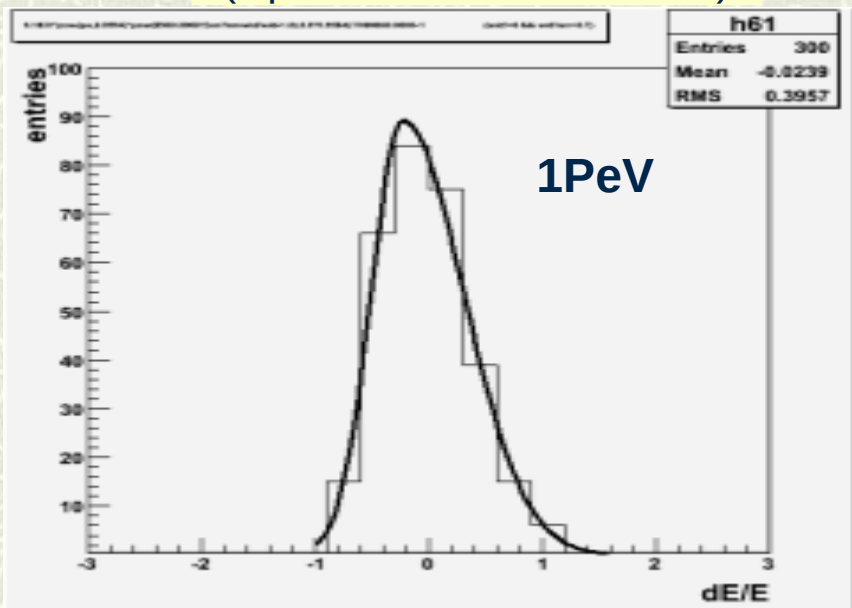
CORSIKAシャワー + 検出器 シミュレーション

1. シミュレーション発生面積 × 検出効率
   → 実効検出面積 (Aeff)
2. シャワー像からのエネルギー推定
   → エネルギー分解能分布



シミュレーション：1EeV 陽子
(Rp: シャワー軸までの距離)

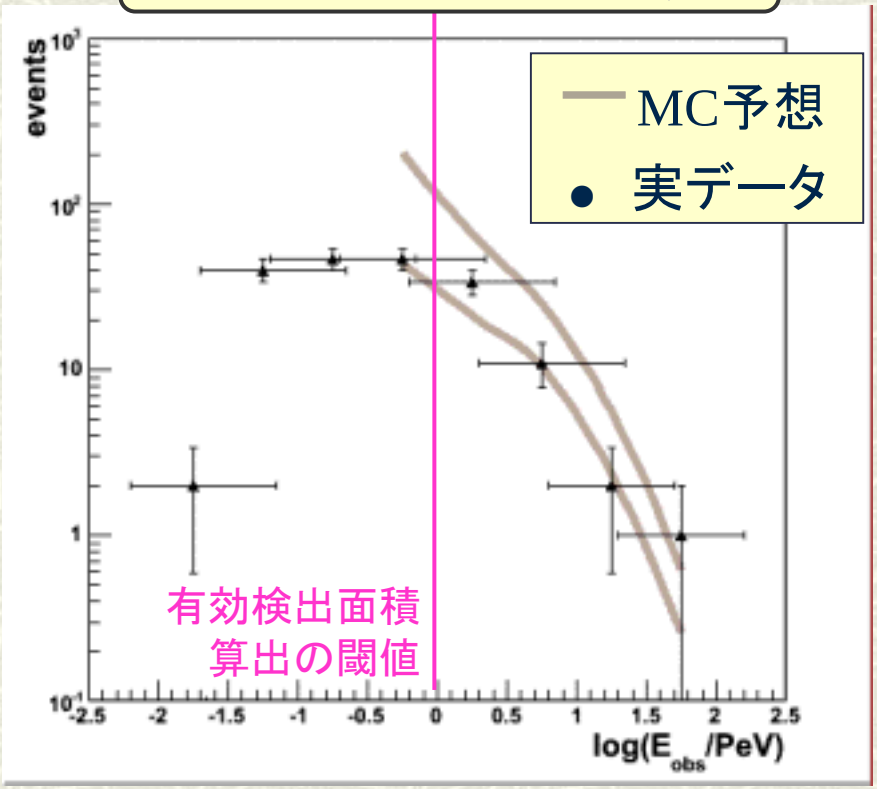


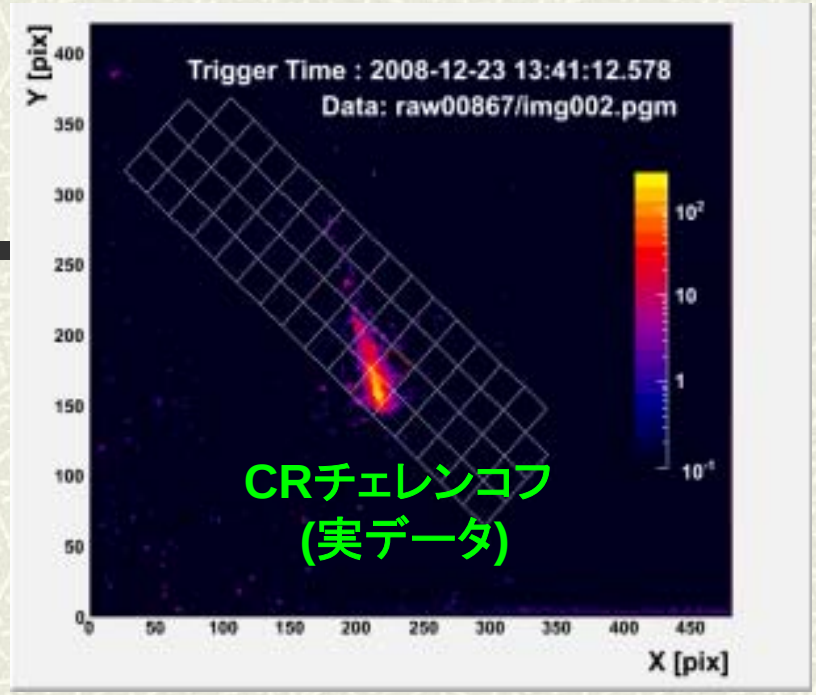


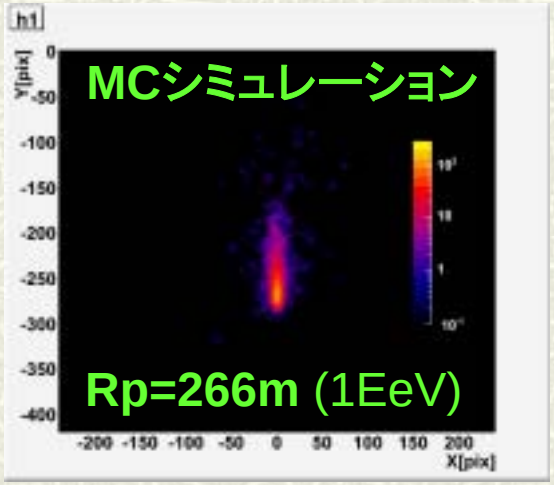
チェレンコフ撮像

宇宙線空気シャワーの
大気チェレンコフ観測: 計51.3時間

エネルギースペクトラム







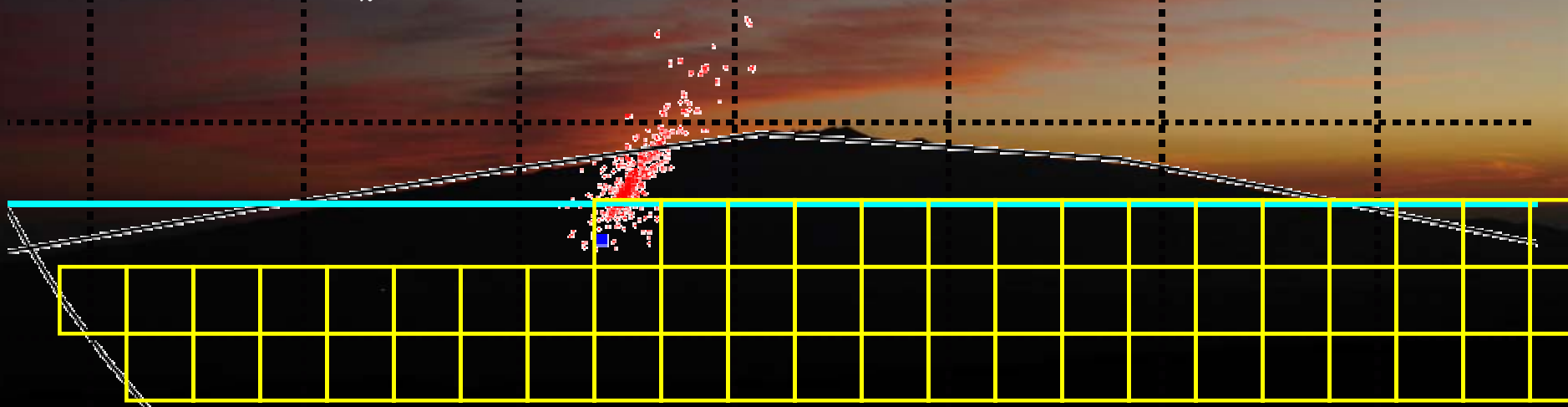
スペクトラム、高解像度　ともに期待通り

ν 事象シミュレーション

“ν→τ” + 伝播 + τ 崩壊 + 検出器シミュレーション

シミュレートされた、チェレンコフ空気シャワーのイメージ

$E_{\pi}=10^{16}$eV for τ to π



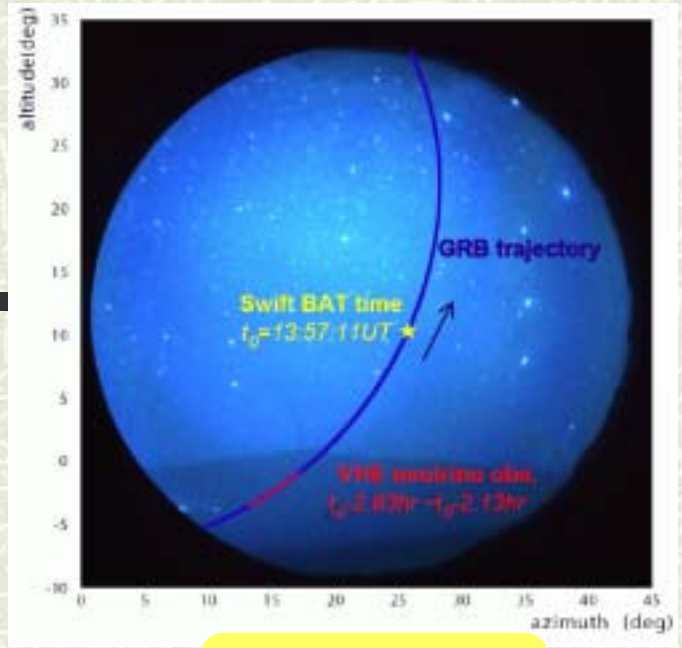
トリガー領域

トリガーロジック: Adj. 2 (隣接する2ピクセルがヒットした時にトリガー生成)

VHE ν_{τ} 事象は検出可能

観測

＜観測時間＞
Season5： **75.3時間**（2008/10/28~11/11）
Season6：**140.5時間**（2008/11/15~12/10）



GRB081203A
視野内の軌跡

- **GRB081203A**
  Swift検出（t_0）：2008/12/03 13:57:11UT
  Ra：233.033°、Dec：63.498°
  t_0−2.83hrから0.7hr観測。24時間後も。
  → ***precursor、late promptとして解析***
- GRBs
  観測中に視野を通過した1年以内のGRBは、081203Aの他に
  080205～081025の13個　→ ***afterglowとして積分解析***
- AGN
  AMANDAによるリスト化（Achterberg+06）を踏襲
  blazar（含候補）、FR-I、FR-II、CSS、QSOの合計32個　→ ***積分解析***

ニュートリノ観測結果（Preliminary）
～GRB081203A～

ν 放射は観測されなかった ⇒ ν のfluenceに上限 (95% C.L.)

***Preliminary* (w/o syst.)　論文執筆中**

- **ν precursor**　t_0-2.83hr～t_0-2.13hr

※γ線トリガにかからないprompt放射を考慮し、通常のprecursorモデルではなく、より我々の感度領域に近いprompt放射（wind-like ISM）を仮定

$E\phi(E) < \mathbf{5.4\times10^{-8}[cm^{-2}]}$ (<5EeV)　※モデル予想の3桁上

- **ν afterglow**　t_0+21.2hr～t_0+21.9hr

$E^2\phi(E) < \mathbf{4.3\ [erg\ cm^{-2}]}$ (2400sec)

～100PeVの地球かすりν_τを狙った初めての成果

Ashraトリガー制御によるマウナロアでの初めての成果

意義＆展望

GRB030329 by AMANDA（Stamatikos+ 05）

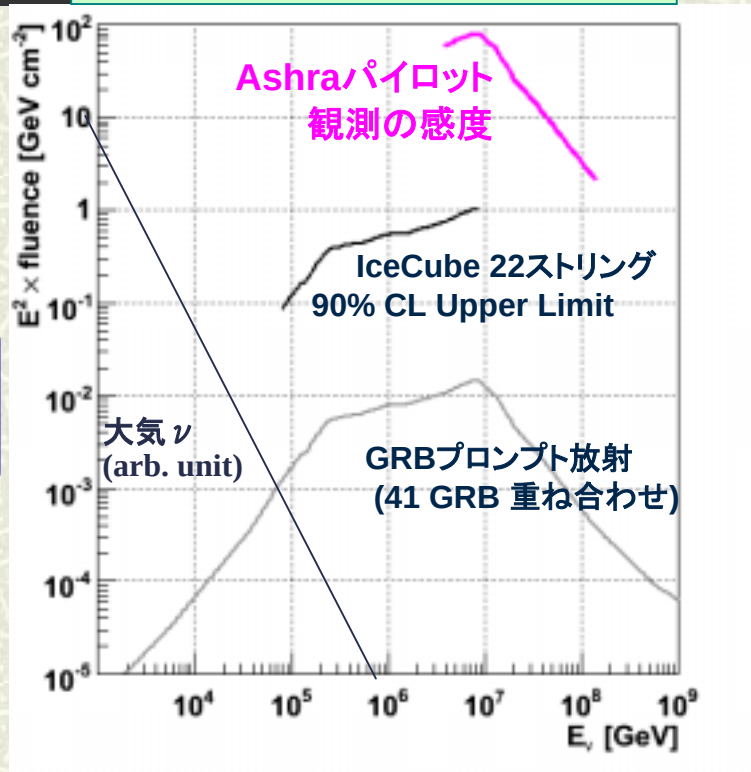
$E^2\phi(E) \leq 0.157$ [GeV cm^{-2} s^{-1}]（時間幅40秒）

→ 0.01 [erg cm^{-2}]　＝我々の～2桁下

～100PeV ν はチェレンコフで競合可
可視光との同時観測も魅力

個々の天体への結果の積み重ねが重要

ν 点源に対する感度比較
（Ref. arXiv:0907.2227図4）



将来的にAshraでは、、、

チェレンコフによるTeV γ 線観測、大気蛍光による ν 天文学

（GRBに限らず）点源からの放射の探査には
Ashraの広視野高解像度が優位に

まとめ

- 約1年間の光学閃光観測を実施
  - GRB衛星トリガーについて、鋭意解析中
- 山かすりタウニュートリノのパイロット観測
  - 宇宙線空気シャワーのトリガー撮像に成功
  - GRB081203Aからのν流量に制限
  - ～100PeV点源νならすぐに競合可能
- Ashraの広視野・高解像度監視による、GRB等からの高エネルギー放射探査へ

backup

概要

- Ashraでは、本格的な高エネルギーニュートリノ天文学の実現を目指し、地球かすりタウニュートリノを狙った大気チェレンコフ光のパイロット観測を2008年度に行った。
  観測中にはGRB081203Aが視野中心で発生し、他にも複数のGRBやAGNが視野を通過した。
  本講演では、検出器較正やデータ解析を概説した後に、GRB081203Aを中心に、突発天体での超高エネルギー粒子加速への観測的な制限・示唆について述べる。