



Ashraプロジェクト

2005年12月6日
宇宙線将来計画シンポジウム

Ashra共同研究者

佐々木真人
(東京大学宇宙線研究所)



Ashraコンセプト

光学

VHE γ

高精度広角望遠鏡を利用した
光学・VHE γ ・VHE ν ・EHECRの同時観測

VHE ν

EHECR

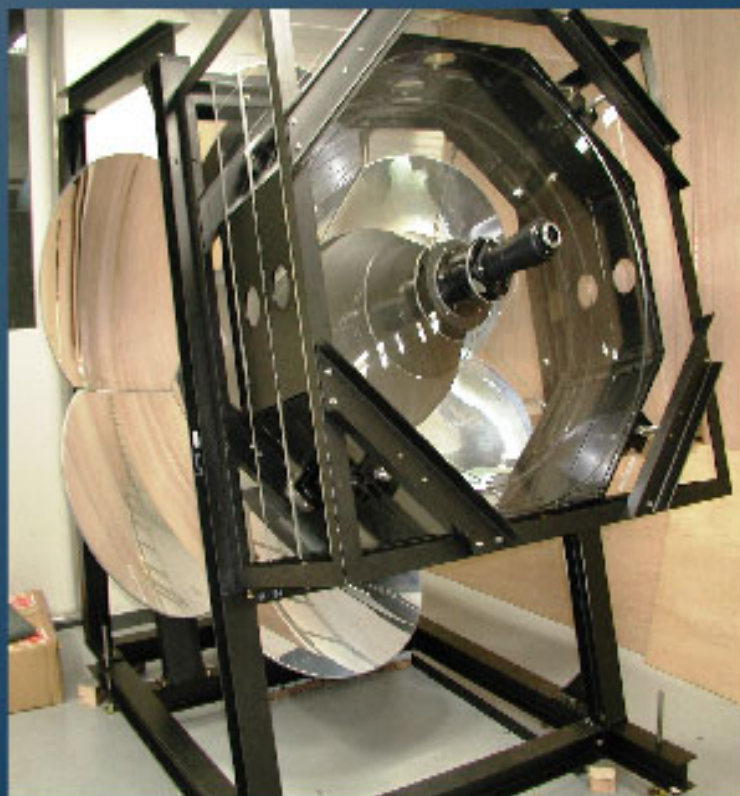


光と素粒子による
全天モニター天文学
創成



光学系

Ashra望遠鏡



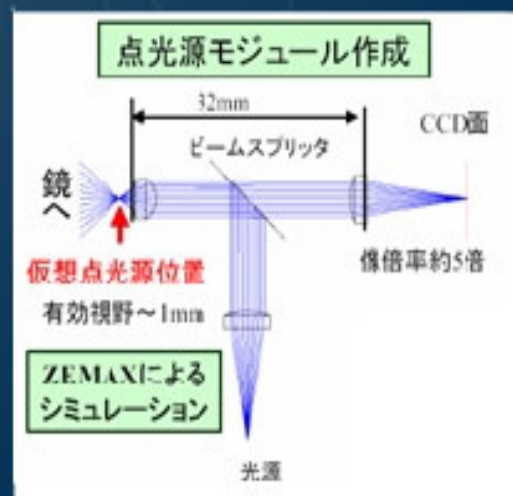
- 修正ベーカーナン光学系
- 3アクリル補正レンズ
- 7部分鏡=> ϕ 2.2m球面鏡
- ϕ 50cm光電レンズ撮像管
- 光電撮像パイプライン
(トリガ&読み出し)

光学鏡レンズ+静電レンズ
=> 視野42度・分角精度を実現
=> 固体撮像素子を駆使
=> 圧倒的な画素コスト効率



光学系

仮想点光源モジュール

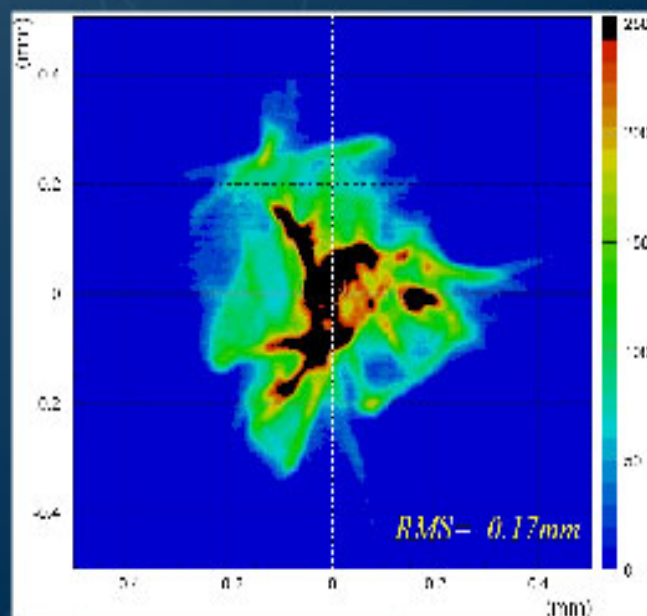
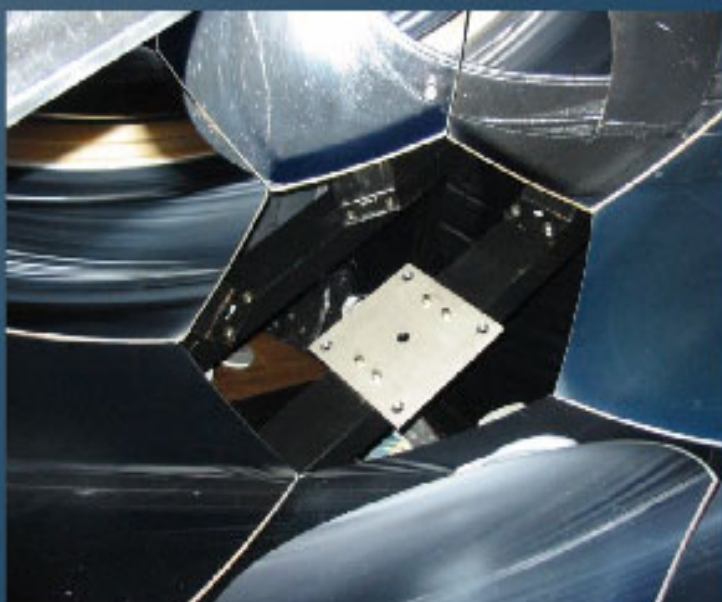


- 現場で簡便で正確な光学原点の定義
- 焦点位置調整とスポット評価



光学系

反射鏡（サイト設置後）

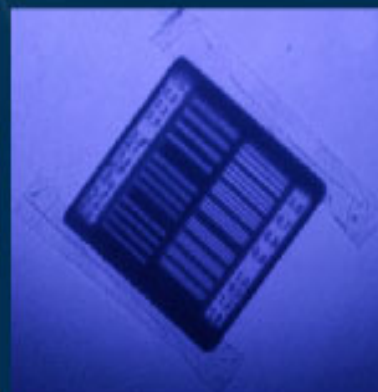


- ϕ 850mm板ガラス⇒曲げ⇒研削研磨⇒成膜⇒高コスト効率
- 仮想点光源による設置・調整 ⇒0.4分のスポット精度



光学系

φ500mm光電レンズ撮像管



- Ashra光学系の鍵: 光電レンズ撮像管の開発成功
- 試作評価 => 3.4ラインペア/mm < 0.2mm(1分角)のPSF要求精度



光学系

光電レンズ撮像管の耐圧試験



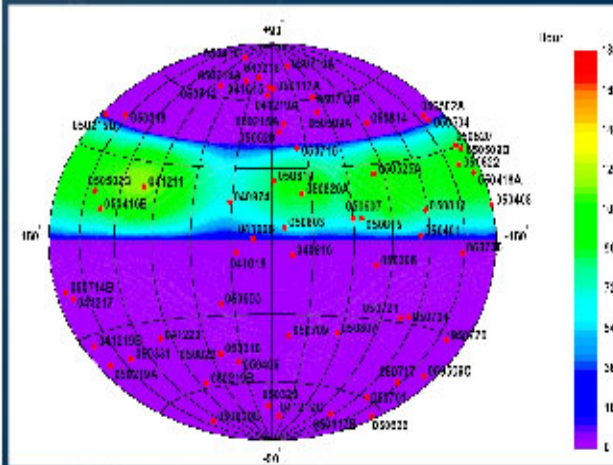
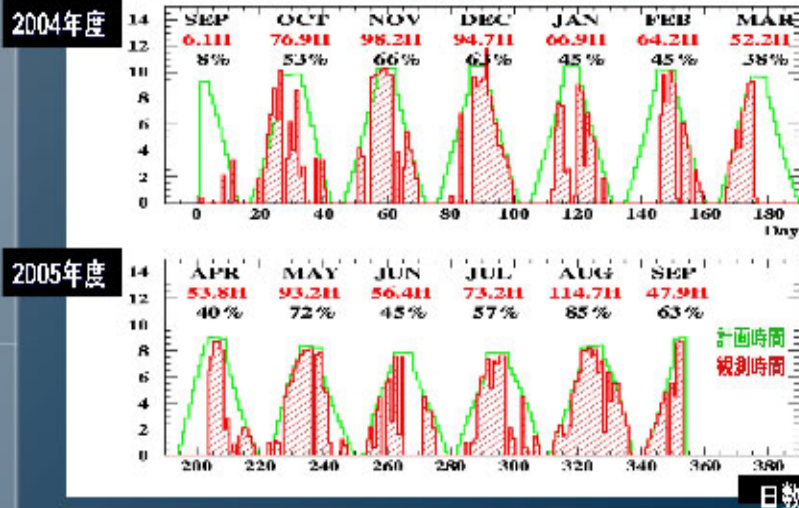
● ブラウン管のEIAJ規格より

● 耐用年数: 7年@1気圧、940年@0.7気圧 (海拔3300m)



光学系

ハレアカラでの試験観測実績



観測計画時間:

太陽・・・高度-18度以下(夕方、朝方の天文薄明の間)

月・・・水平線以下、または輝いている面積が10%以下(新月)

天候条件:

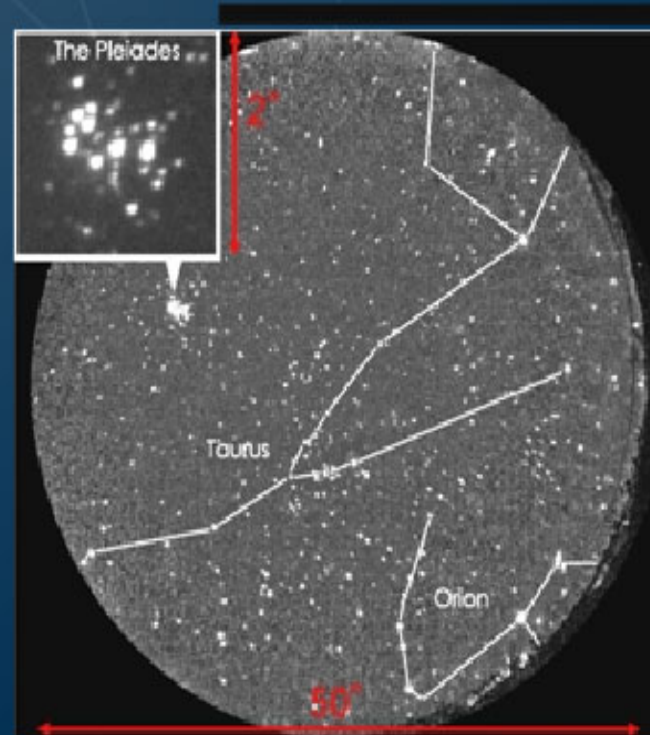
湿度70%以下(観測開始時。湿度80%で観測中止)、天頂に雲ない

稼働率は観測計画時間の55% = 844h/1526h (2004.10~2005.08)
全時間の11%



光学系

試験光学観測

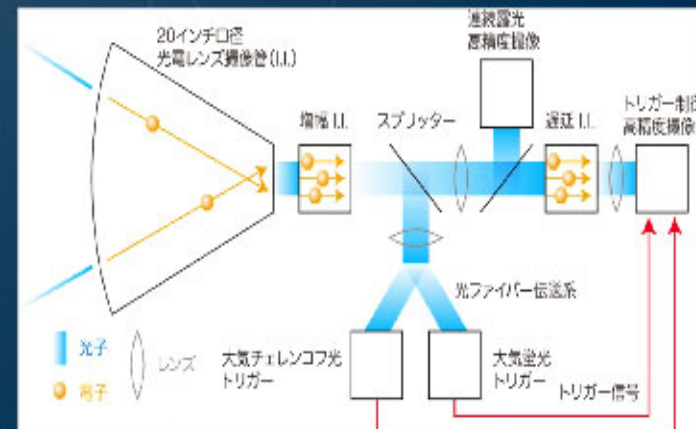
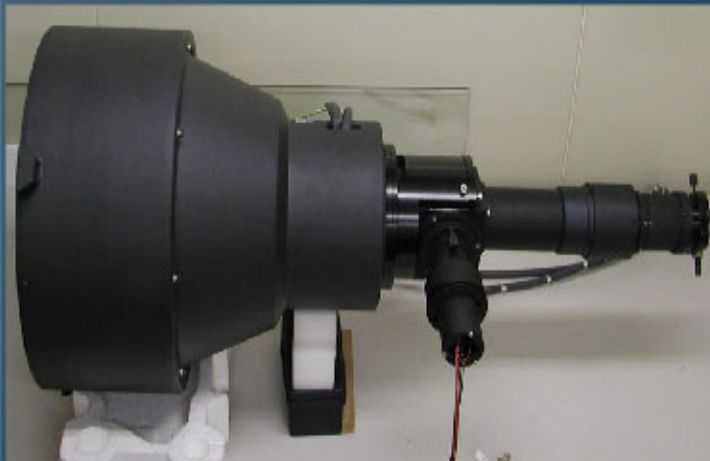


- 2/3スケール試作望遠鏡による星空(4秒露光)
- おうし座(Taurus)全貌 => 視野50度の実証
- すばる(Pleades)各星像 => 分角精度が実証



読み出し系

光電撮像パイプライン

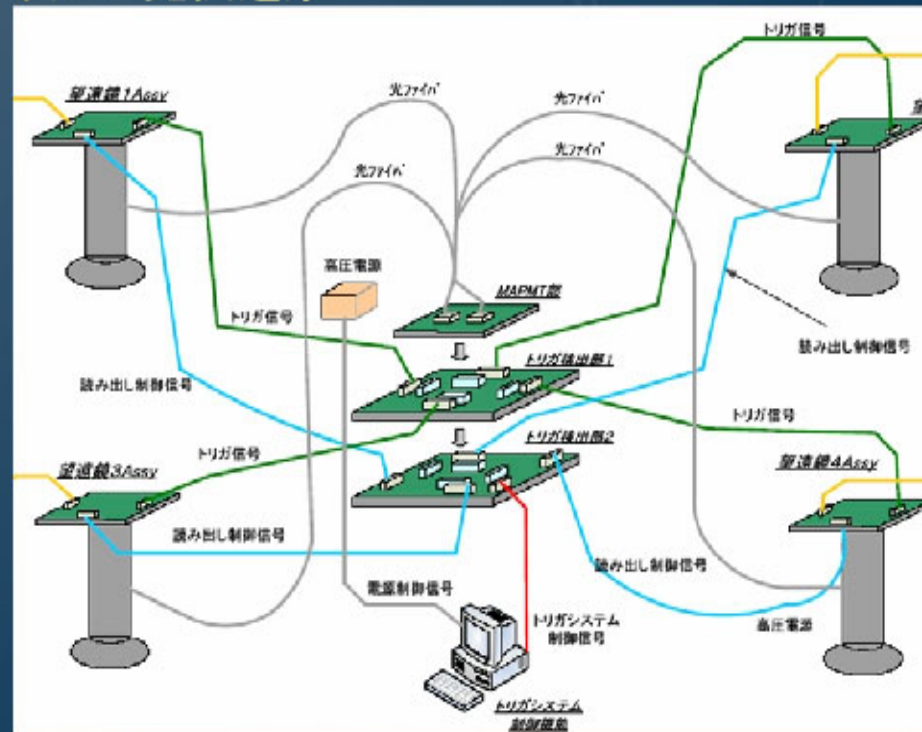


- 撮像管出力像をカメラとトリガーに高精度・高感度に伝送
遅延近接型IIのP46残光特性を利用したトリガ判定時間
- 2種のカメラ：
トリガー制御カスタムCMOSセンサ => 空気シャワー撮像
インターバル制御(4秒露光)デジカメ => 光学天体撮像と校正
- 2種の自律的トリガ：
大気蛍光と大気チェレンコフ光



読み出し系

トリガ・光伝送系

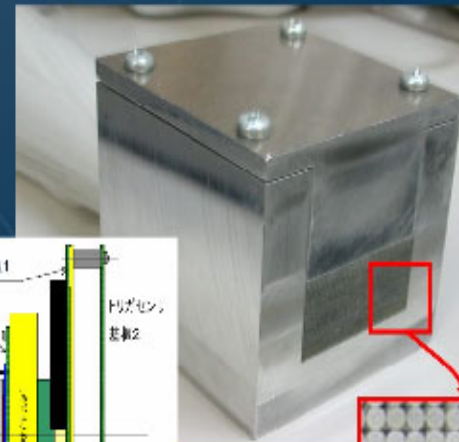
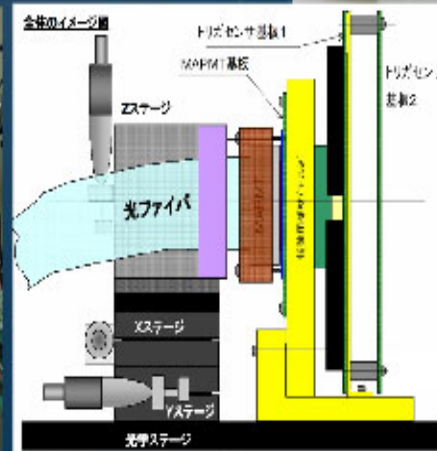
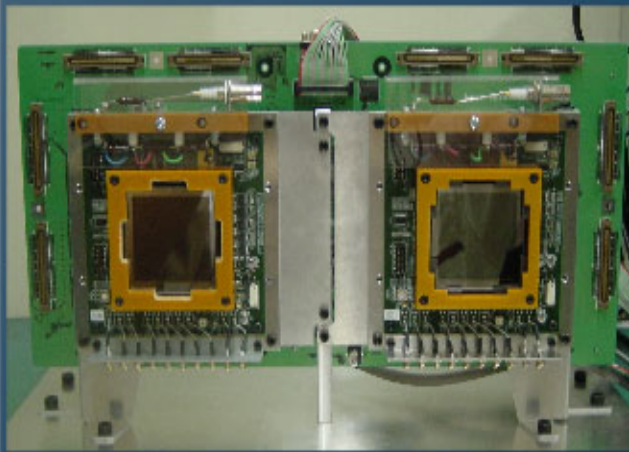


- 各望遠鏡から64×64画素のトリガセンサに光伝送
- 複数の集光器による高感度撮像を低コストで実現



読み出し系

トリガーセンサ



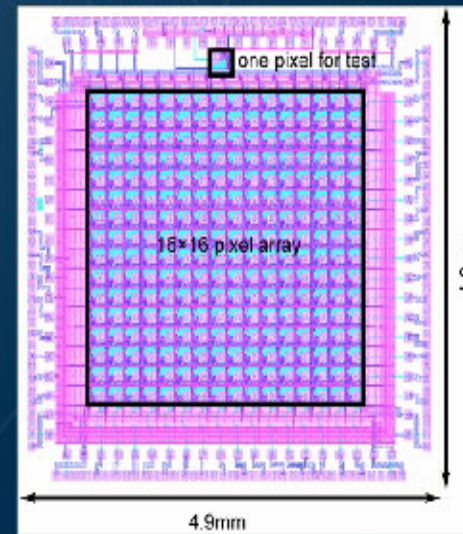
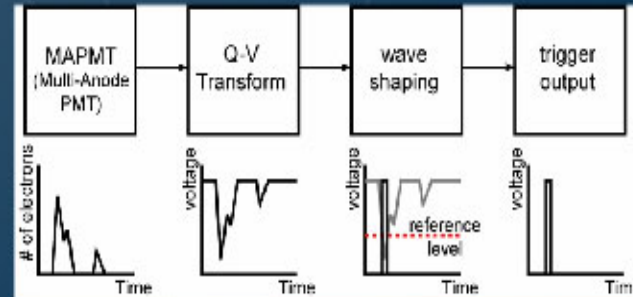
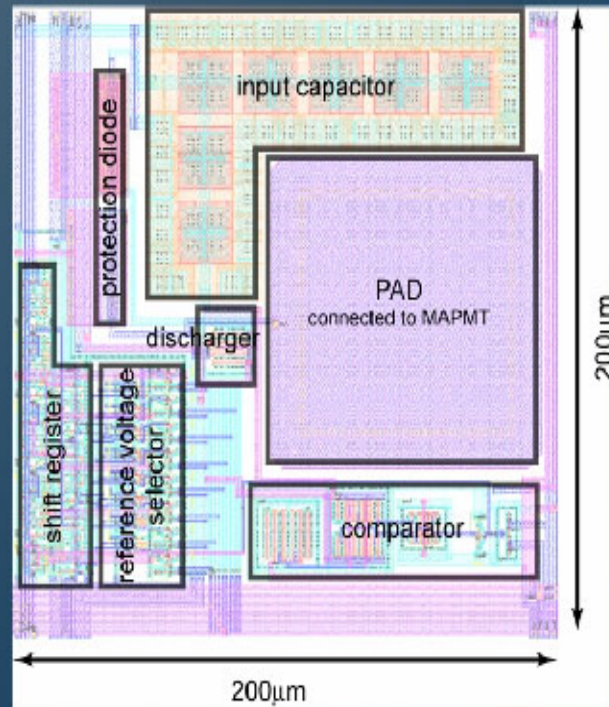
8本(4mm)

- 2種の自律的トリガ：蛍光とチェレンコフ光の回路系が独立
- 光ファイバーによる祖画像の伝達(0.66度/ファイバー)
- L1トリガ：カスタムLSIによる画素ごとの波高弁別
L2トリガ：FPGA+DSP基板による飛跡パターン認識



読み出し系

トリガLSI

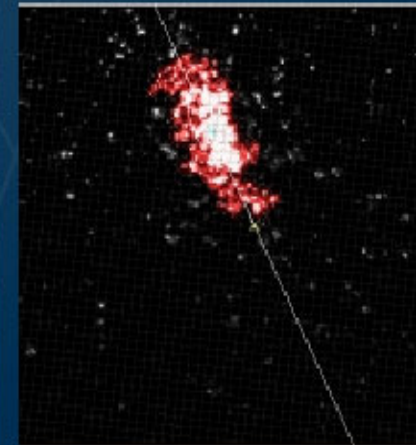


- CMOS標準プロセス0.35 μ m 2-poly, 3-metal (ROHM社)
- 外部から供給する7段階の閾値レベルを画素ごとに選択設定



読み出し系

自律トリガ試験観測

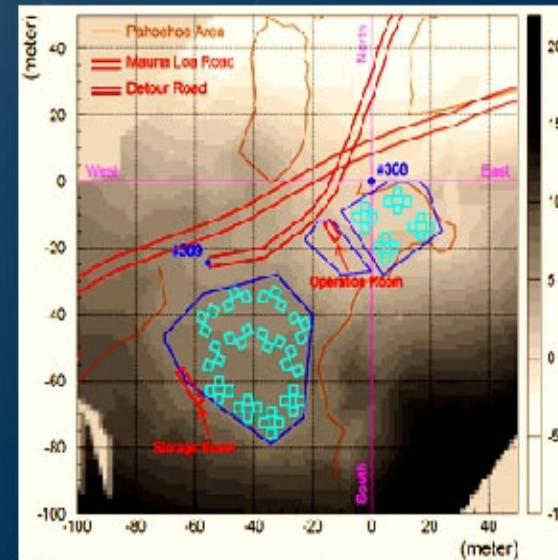


- $\phi 3\text{m}$ 経緯台に光電レンズ撮像管+撮像パイプライン+トリガを装着
- 大気チェレンコフ光の自律トリガ+CMOSセンサによるAS撮像に成功
- IIや固体撮像素子による大気チェレンコフ像は初めて



計画

第1期計画 (Ashra-1)



- 主検出器(Main): 全天監視(×充填率80%)
- 高高度副検出器(SubH): 天頂角 <42 度のみ。Mainから距離100m。
- 低高度副検出器(SubL): 天頂角 >42 度のみ。Mainから距離32km。
⇒ ハイブリッド・ステレオ観測



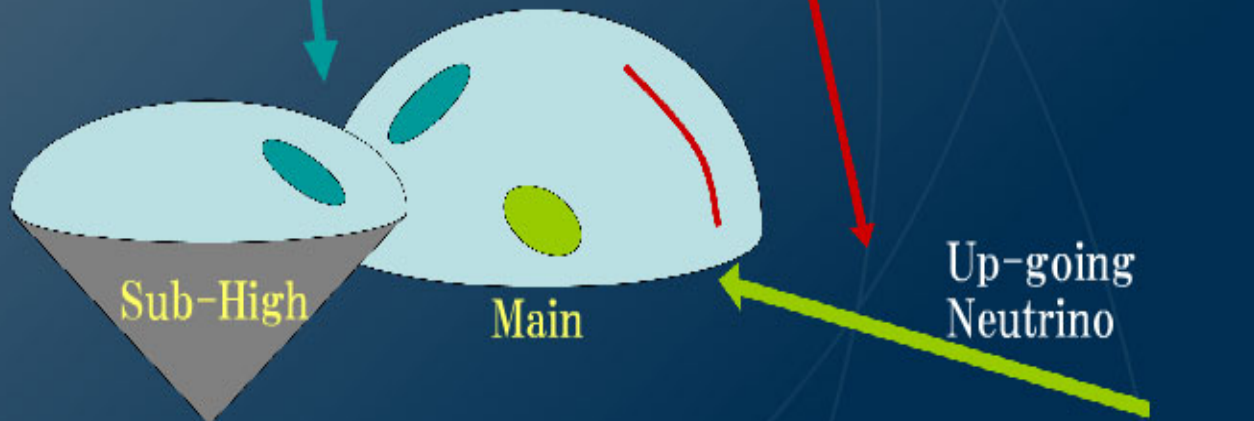
計画

ハイブリッド・ステレオ観測

Down-going
VHE-gamma

Down-going
EHECR

Sub-Low



- VHE ν : Main \times SubL ステレオ観測 (蛍光+チェレンコフ)
- VHE γ : Main \times SubH ステレオ観測 (チェレンコフ)
- EHECR: Main \times SubL ステレオ観測 (蛍光)



計画

マウナロア観測地

2005.07.01 ハワイ州使用認可



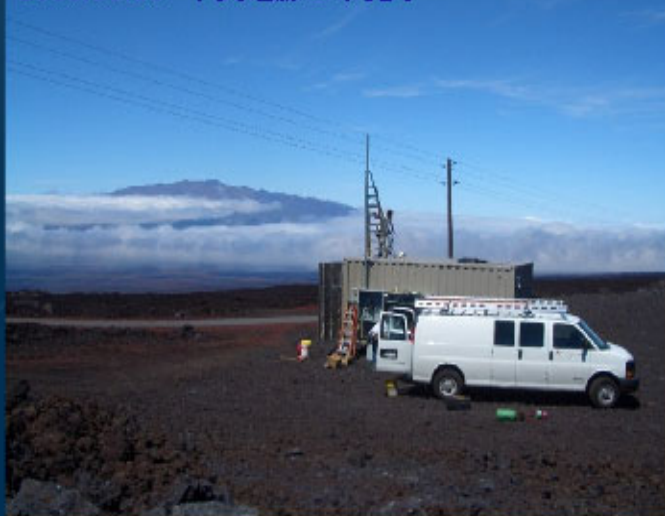
2005.07.27 平坦化工事開始



2005.08.02 平坦化工事終了



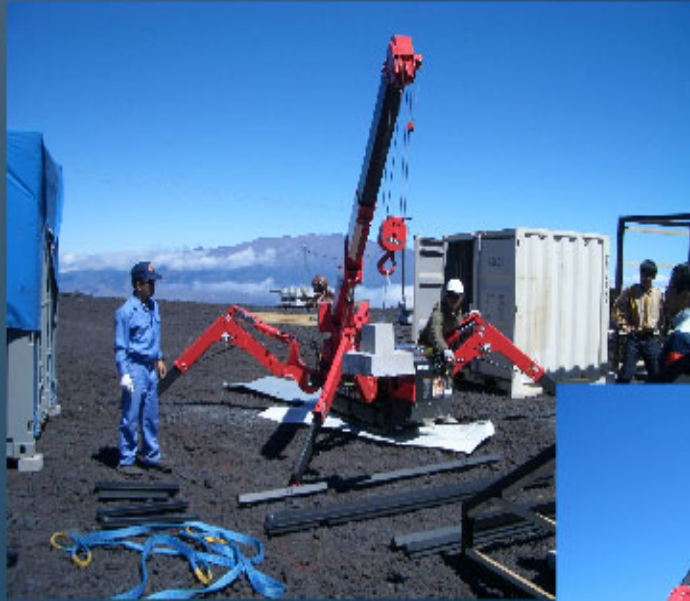
2005.09.08 中央電源工事完了





計画

マウナロア現場作業





研究対象

発展的な研究計画

- 2005-2006: 実機光学系の調整・評価と並行して可視光観測
- 2006-2007: 順次、トリガを実装しつつ、
大気チェレンコフ光撮像ステレオ観測の実現
- 2007-2008: 順次、トリガを実装しつつ、
大気蛍光撮像ステレオ観測の実現

=> GRB, AGN, SGR, SNなど高エネルギー天体の
ガンマ線・可視光観測とニュートリノ事象の相関



研究対象

発展的な研究計画

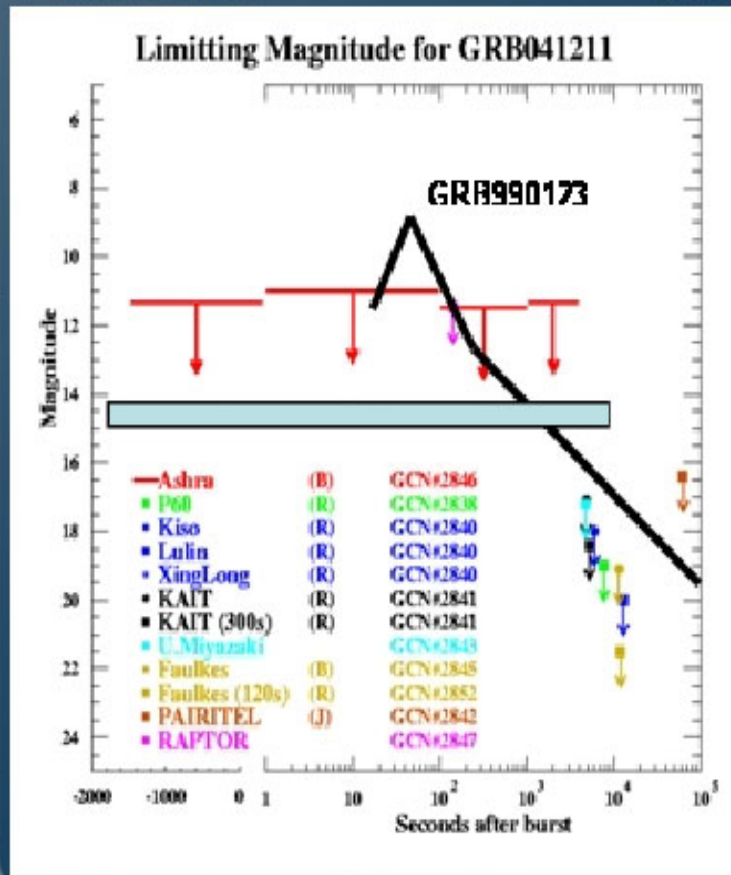
- 2005-2006: 実機光学系の調整・評価と並行して可視光観測
- 2006-2007: 順次、トリガを実装しつつ、
大気チェレンコフ光撮像ステレオ観測の実現
- 2007-2008: 順次、トリガを実装しつつ、
大気蛍光撮像ステレオ観測の実現

=> GRB, AGN, SGR, SNなど高エネルギー天体の
ガンマ線・可視光観測とニュートリノ事象の相関



研究対象

試験観測機によるGRB041211の観測



γ線放射の瞬間に唯一の観測

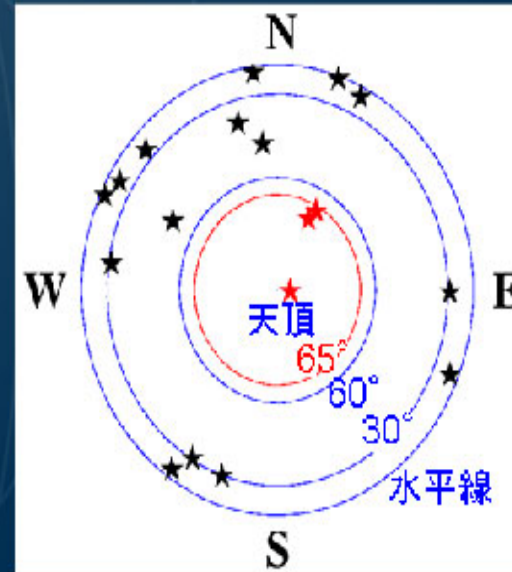
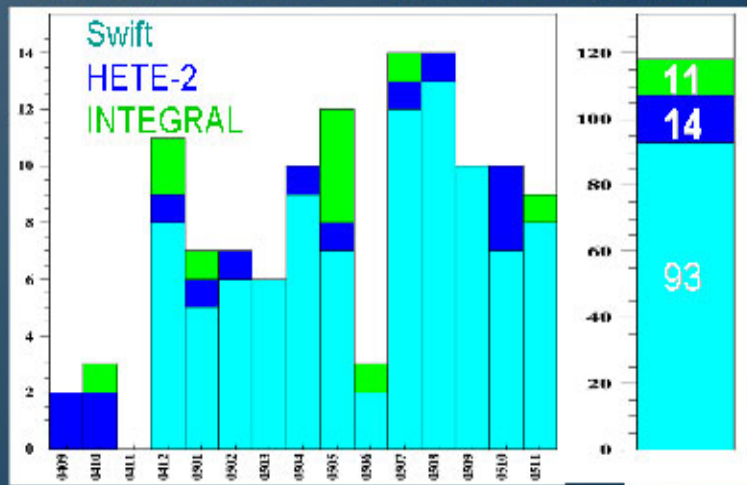
光度曲線に制限(~11等)
GCN報告

本番ではパイプラインと集光率の
改善から、限界等級=>14~15等



研究対象

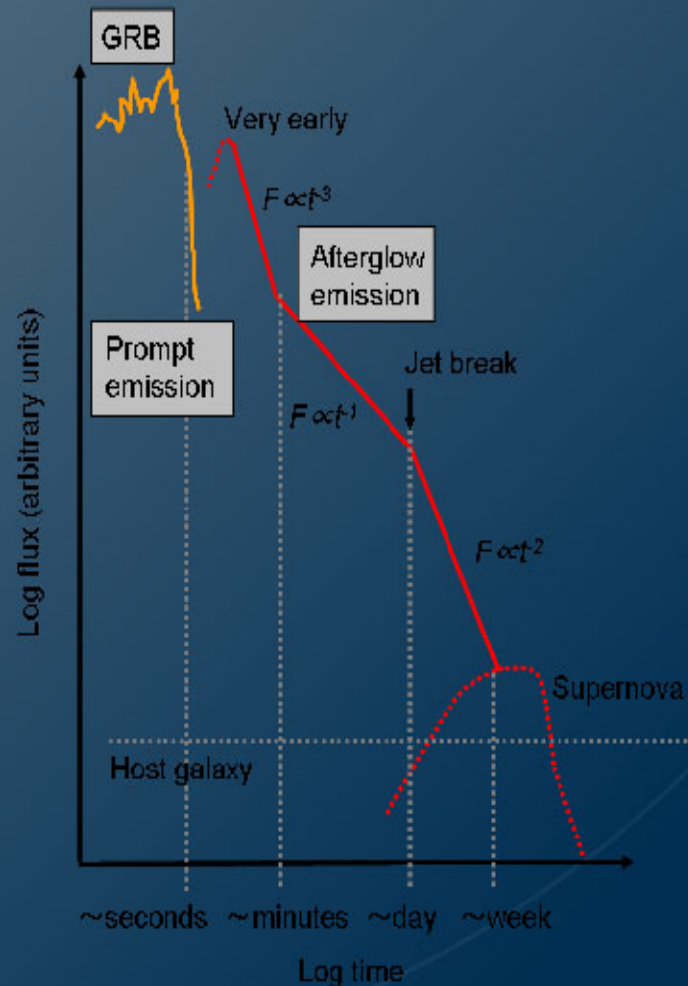
衛星によるGRB検出数 (2004年9月14日～2005年12月01日)



- 118個のGRB検出中、観測計画時間にハワイ上空は18個
- うち、3個のGRBをAshra試作望遠鏡1台でクロス観測
- Ashraにて年10個程度のクロス観測を期待



研究対象



Ashra GRBキャンペーン

- Ashra-Main:
 - 自律的光学アラート
 - 孤児GRBの発見
 - VHE γ ・VHE ν との相関
 - Short-GRBの閃光観測
- Ashra-AFT: (距離32km)
 - 視差観測によるBGの除去
 - 位置の高精度化
- ハワイの中・大型望遠鏡他
 - Jet Breakの有無
 - 多波長観測
 - 分光 => 距離、母銀河



研究対象

Ashra光学観測による自律的アラート

Ashra検出器@マウナロア



アラート

(1) クロス観測による
感度チェック

光学閃光発見のため
独自の4秒露光撮像

(4) 独自のアラート
配信
 $t \sim 1 \text{min}$

(2) 内部トリガー
 $t \sim 0$

GRB Satellite

HETE-II, Swift...

アラート
追跡観測



大型望遠鏡
(Hawaii, East Asia, ...)

(5) 詳細情報(z, 分光)

(3) 残光追跡・確認

Ashra-AFT
(Meade LX200 30
+ SBIG ST-2000XM)



衛星と独立な光学閃光アラート => 孤児GRBの発見



研究対象

GRB閃光残光検出器の比較

	Swift 衛星	ROTSE-I	ROTSE-III	RAPTOR	π -sky	AFT	Ashra
視野(sr)	1.4 (BAT)	0.06	(1.85°)	0.36	0.26	(20')	5.0
集光口径(m)	0.3(UVOT)	0.2	0.45	0.085	0.036	3	1.2
解像度(分角)	2" (UVOT)	0.2	0.05	0.6	1.0	0.7	1.0
露光時間(秒)	1000(UVOT)	80	5	30	10	10	4
検出限界(等星)	24 (UVOT)	15.7	17	13	10-11	18	15

<== ロボティック追尾望遠鏡 ==>

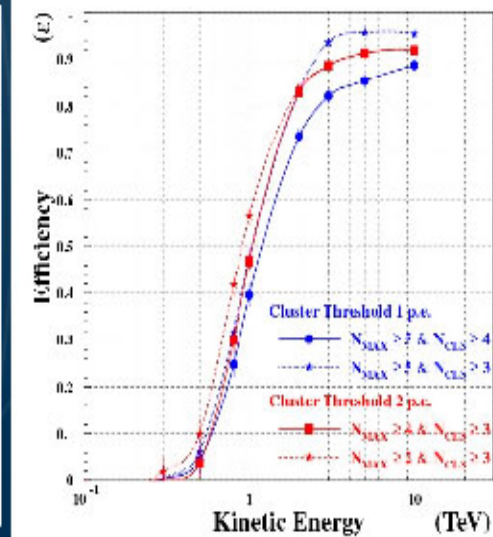
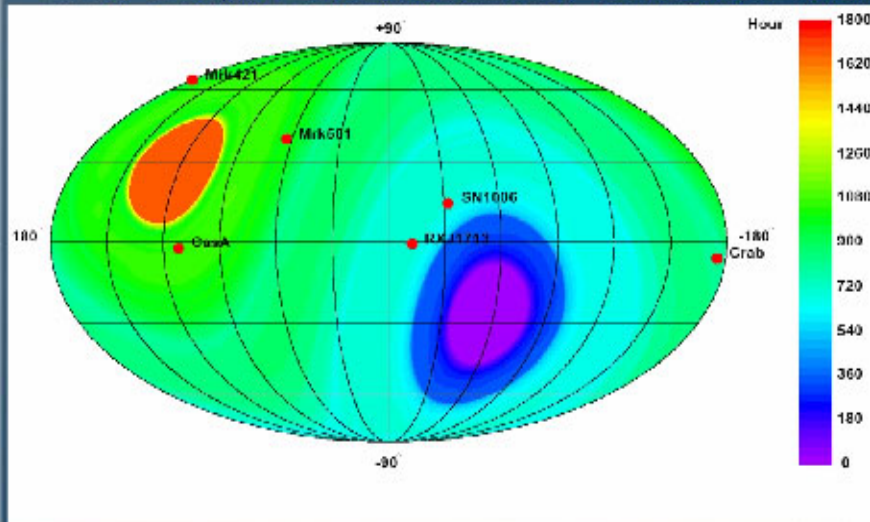
- Short-GRB ($t < 2$ 秒)の正体がこれからの重要なテーマ
=> ロボット望遠鏡より、全天モニターの優位性



研究対象

AshraによるTeVガンマモニター

2年間での観測可能時間の全天分布(稼働効率考慮)



● Mkr501で500時間/年の期待観測時間

● MC閾値: 1TeV

=> 試験観測の実績をスケールすると2~3TeV



研究対象

Tseng et al., 03

Effective aperture $(A\Omega)_{\text{eff}}$
required for 1 event/yr, assuming a 10% duty cycle.

Energy & Aperture (km ² sr)	AGN	GRB	GZK
10 ¹⁵ -10 ¹⁶ eV	4.5	1000	
10 ¹⁶ -10 ¹⁷ eV	2.0	1400	910
10 ¹⁷ -10 ¹⁸ eV	50	19000	120
10 ¹⁸ -10 ¹⁹ eV			290

確実なニュートリノ
起源

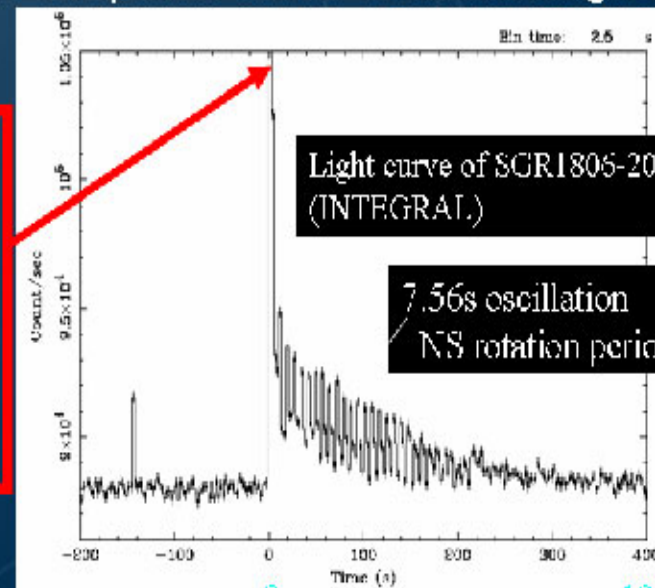


研究对象

Giant Flare on 27 December 2004

- First reported by INTEGRAL
- Detected by >20 spacecrafts
- The peak intensities of hard X/g-ray photons are even stronger (by a factor of ~ 100) than those from the largest solar flares!

All known X/ γ -ray detectors on astronomical satellites (RHESSI, INTEGRAL, SWIFT, WIND, ...) were saturated for ~ 0.5 s around the peak.



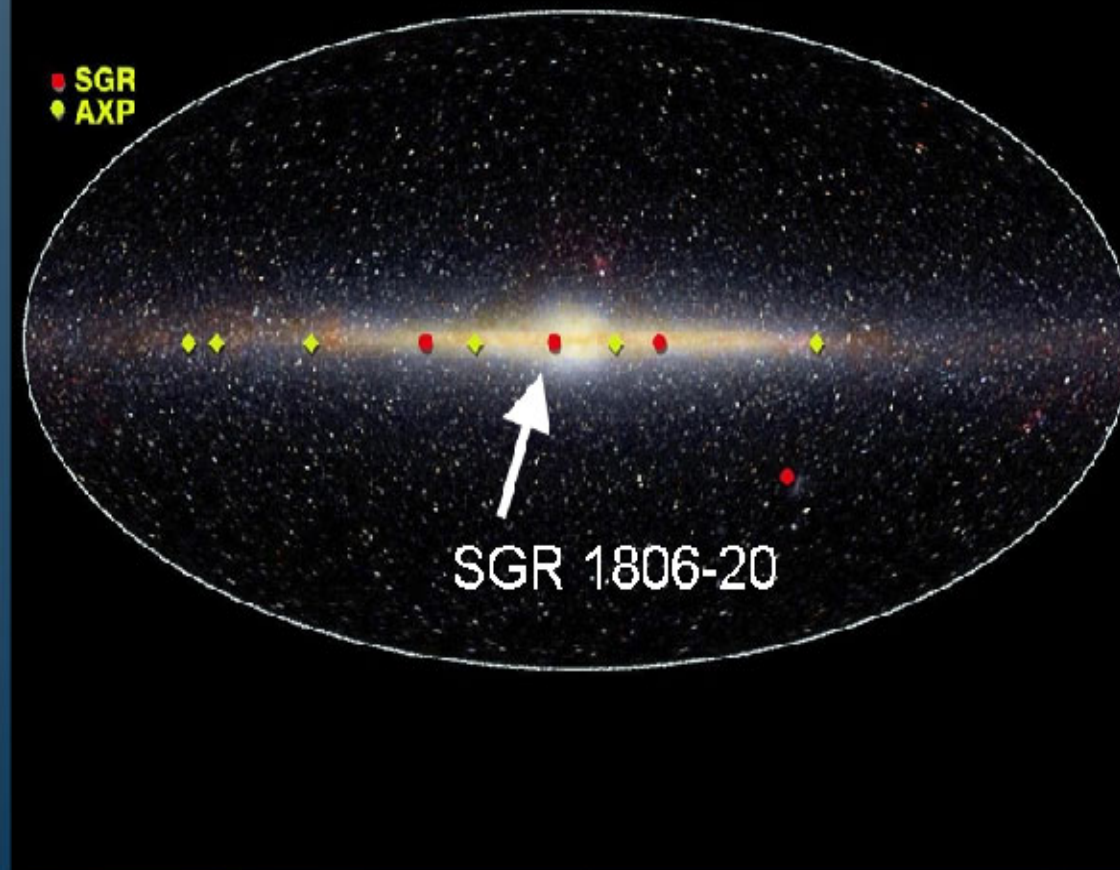
0

400 sec



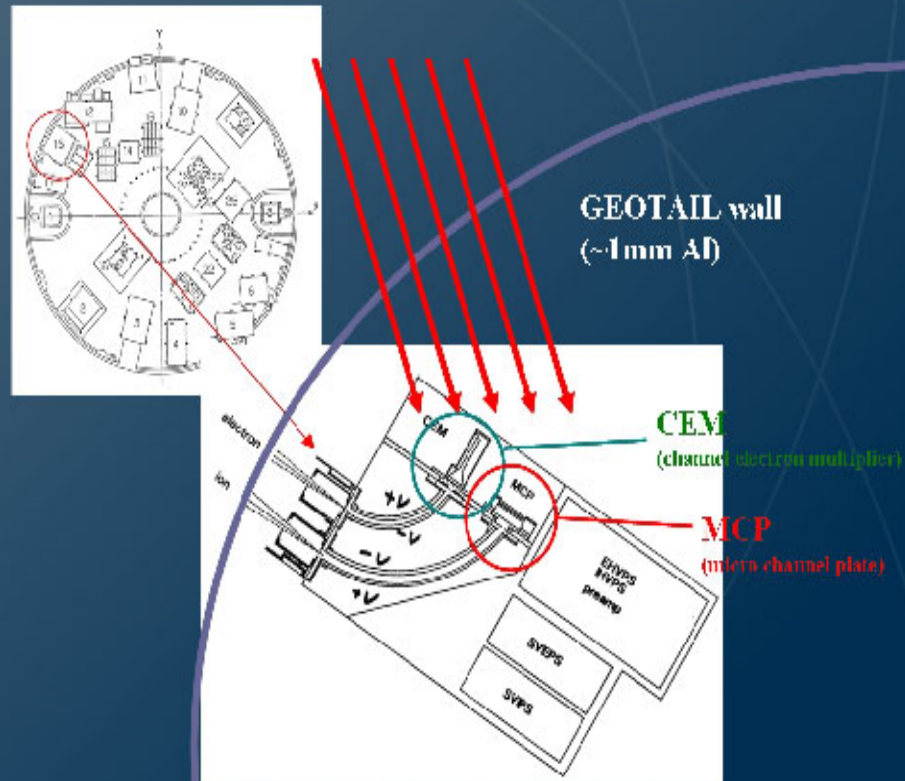
研究对象

Known magnetar candidates





研究対象



- SGR 巨大フレアでVHE ν 、VHE γ 、EHECRが同時に放出される可能性
- Kunihito Ioka, Soebur Razzaque, Shiho Kobayashi, Peter Meszaros, *Astrophys.J.* 633 (2005) 1013-1017



結語

予算

第1期計画

Ashra 主検出器： 6億円

ステレオ化

高高度検出器＋低高度検出器＋インフラ＋観測： +6億円

第2期計画

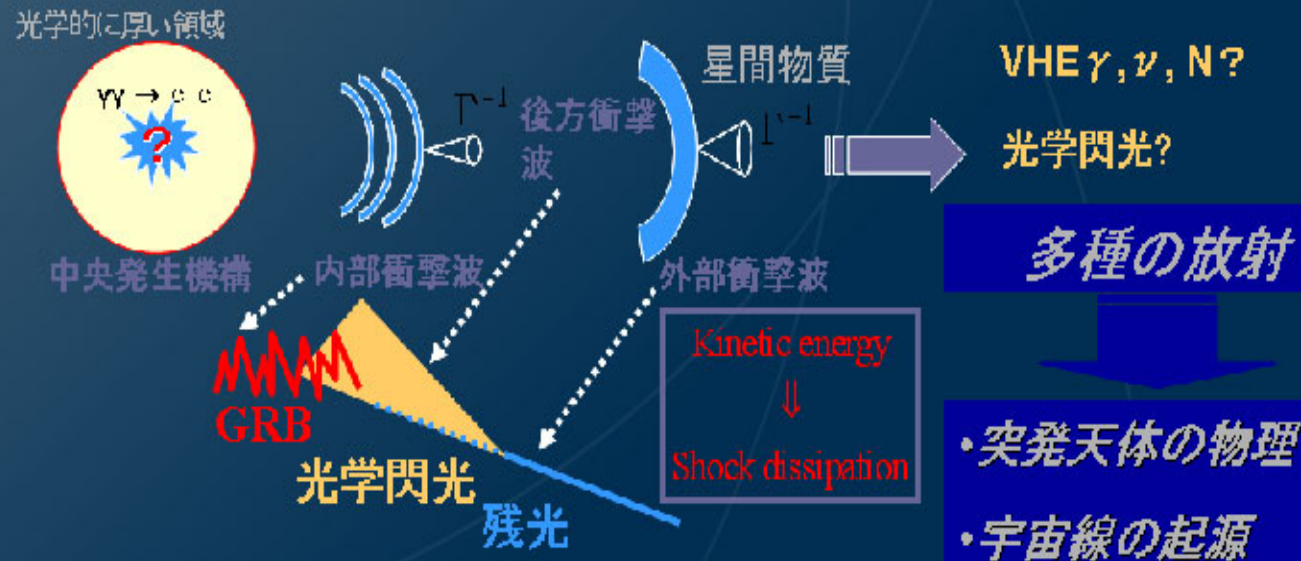
3箇所におけるステレオ全天高精度観測＋観測： +12億円＋ α



結語

Ashraのおもしろさ

ガンマ線バースト等、突発天体から来る紫外光
と粒子の放射の全天監視撮像観測





結語

おもしろきことなき世をおもしろく

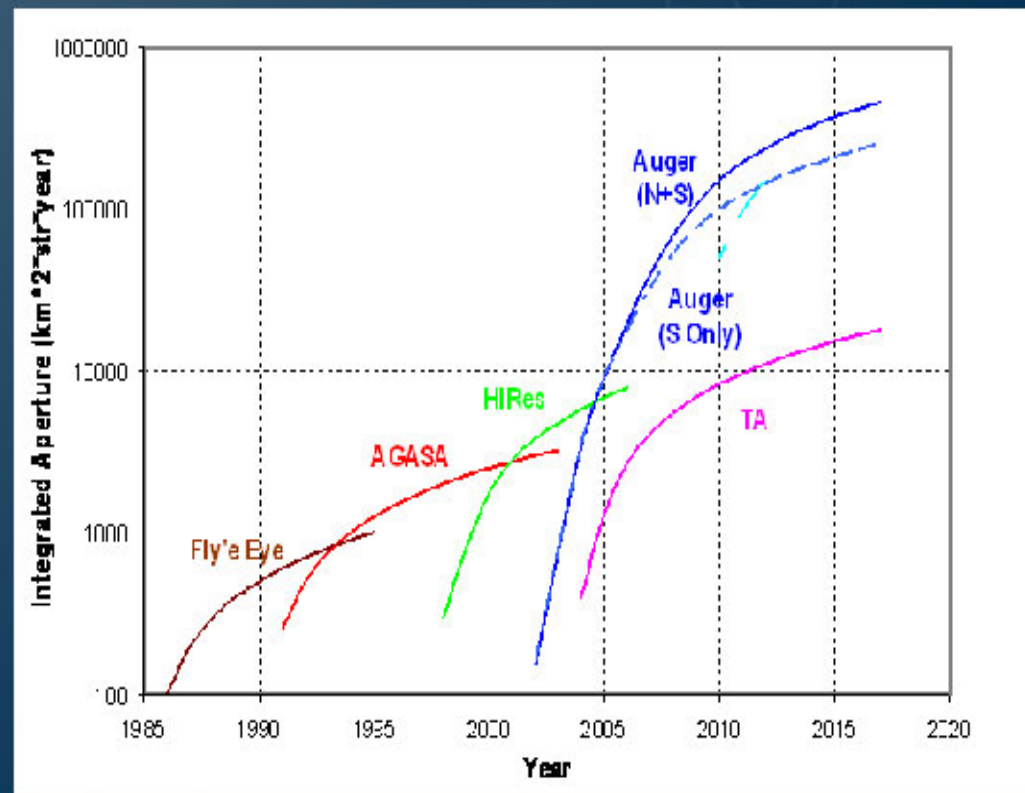




背景 (EHECR)

S.Westerhoff, LP2005, Uppsala, Jul. 4, 2005

Outlook



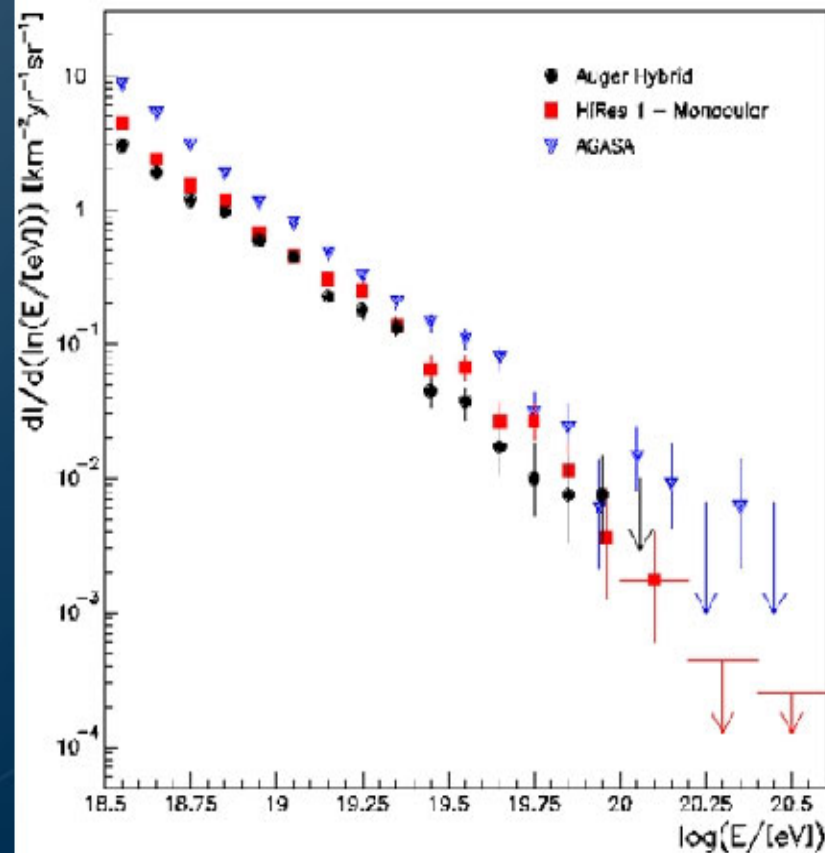


背景 (EHECR)

S.Westerhoff, LP2005, Uppsala, Jul. 4, 2005

Spectrum

- Comparison to AGASA and HiRes 1 monocular spectra
- No events above 10^{20} eV in energy spectrum, but 2σ upper limit is consistent with AGASA flux
- With current systematics and statistics, solid conclusion is not possible *at this time*



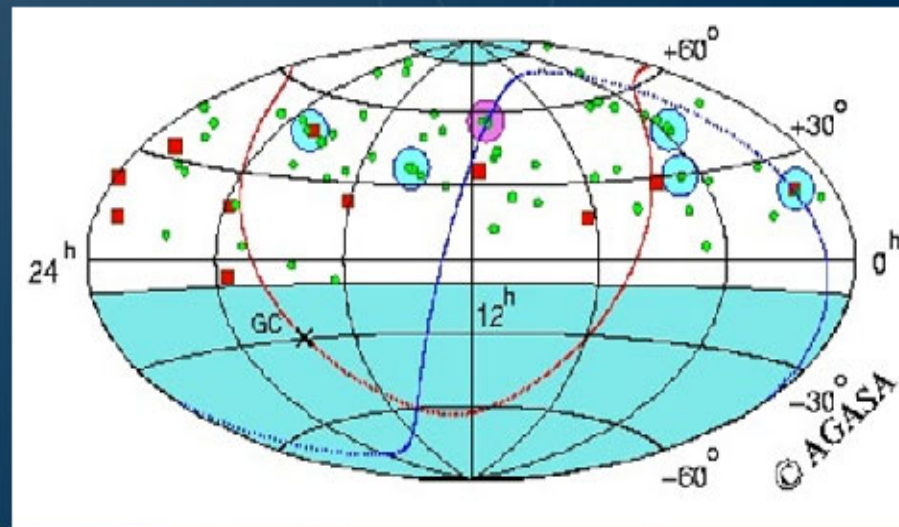


背景 (EHECR)

S.Westerhoff, LP2005, Uppsala, Jul. 4, 2005

“Clusters” of Cosmic Rays ?

- AGASA claims significant small-scale clustering above 4.0×10^{19} eV
- 5 doublets + 1 triplet in 57 events
- Analysis criticized on statistical grounds
C.B. Finley, SW, Astroparticle Physics 21(2004)359
- Lack of a well-defined *a priori* hypothesis (angular scale, energy cut), chance probability > 8%



M. Takeda et al., Astrophys. J. 522 (1999) 225

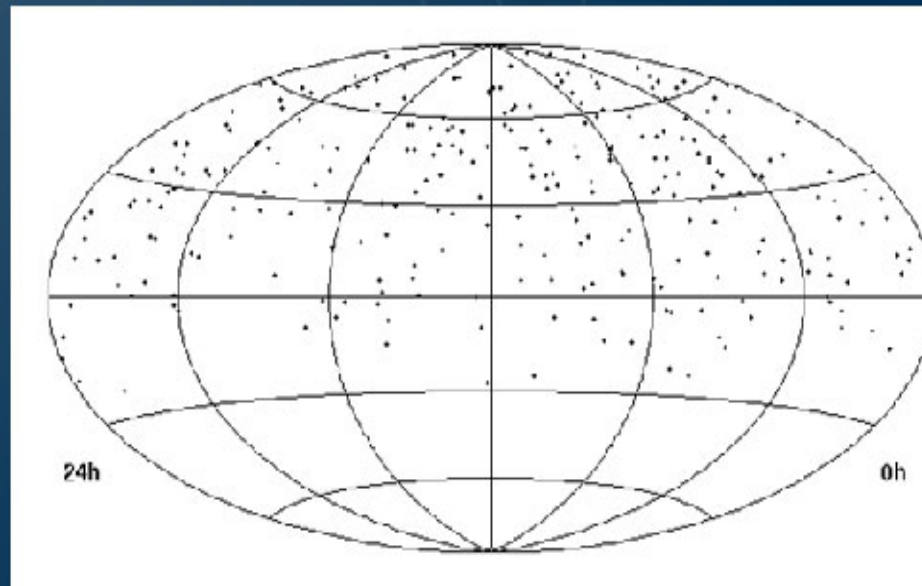


背景 (EHECR)

S.Westerhoff, LP2005, Uppsala, Jul. 4, 2005

HiRes Stereo Data Set

- HiRes stereo events currently provide the **sharpest image** of the northern sky, with 0.6° angular resolution and a systematic error not larger than 0.2° (from star surveys and lasers)



Equatorial Coordinates

HiRes stereo data 1999 December to 2004 January

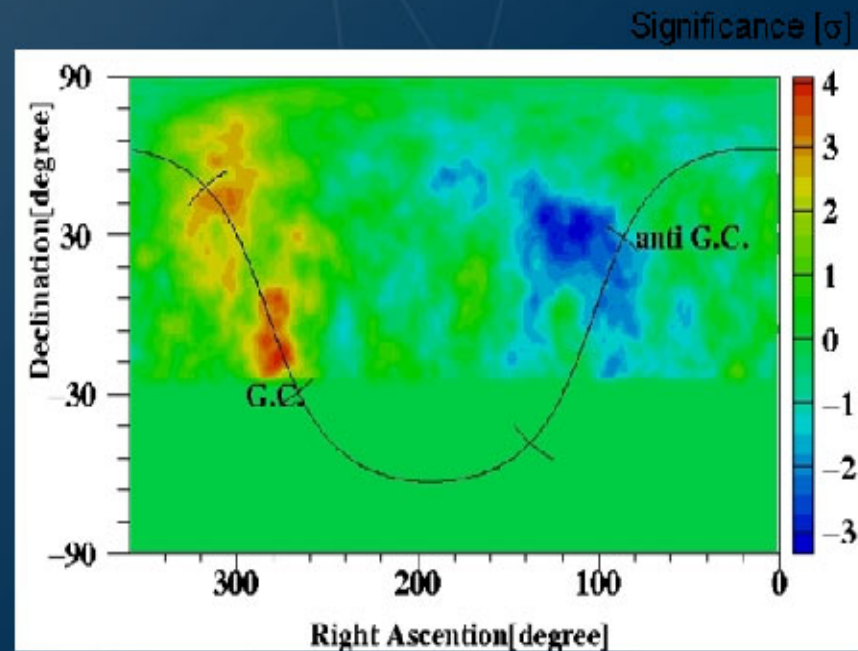


背景 (EHECR)

S.Westerhoff, LP2005, Uppsala, Jul. 4, 2005

Source at the Galactic Center ?

- AGASA: 4σ excess near the Galactic center
- Criticism: cuts are a *posteriori* and chance probability is meaningless
 - Integrated event density over 20° radius
 - Excess is observed in narrow energy band from 0.8 to 3.2 EeV
- However: also excess in archival SUGAR data (1968-1979)



N. Hayashida et al., *Astroparticle Phys.* 10 (1999) 303
J.A. Bellido et al., *Astroparticle Phys.* 15 (2001) 167



背景 (EHECR)

S.Westerhoff, LP2005, Uppsala, Jul. 4, 2005

Auger Galactic Center

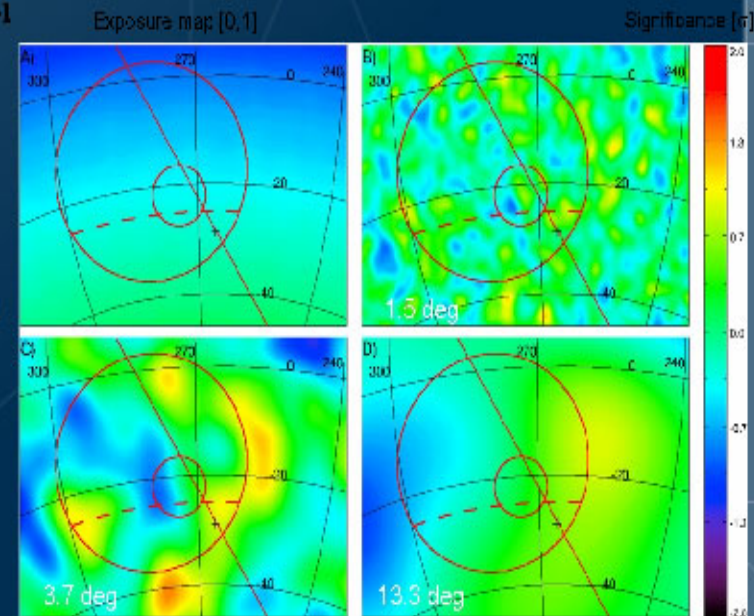
- AGASA excess is not confirmed
- Searches considering a systematic energy shift between AGASA and Auger show no excess
- Upper limit for flux from the Galactic center (95% CL)

$$\Phi_s < 3.1 \xi \varepsilon \times 10^{-15} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

- ξ flux uncertainty (1 for Auger, 2.5 AGASA)
- ε iron/proton detection efficiency ratio (1...1.6)

- SUGAR flux (J.A. Bellido et al.)

$$\Phi_s < (9 \pm 3) \times 10^{-14} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$$



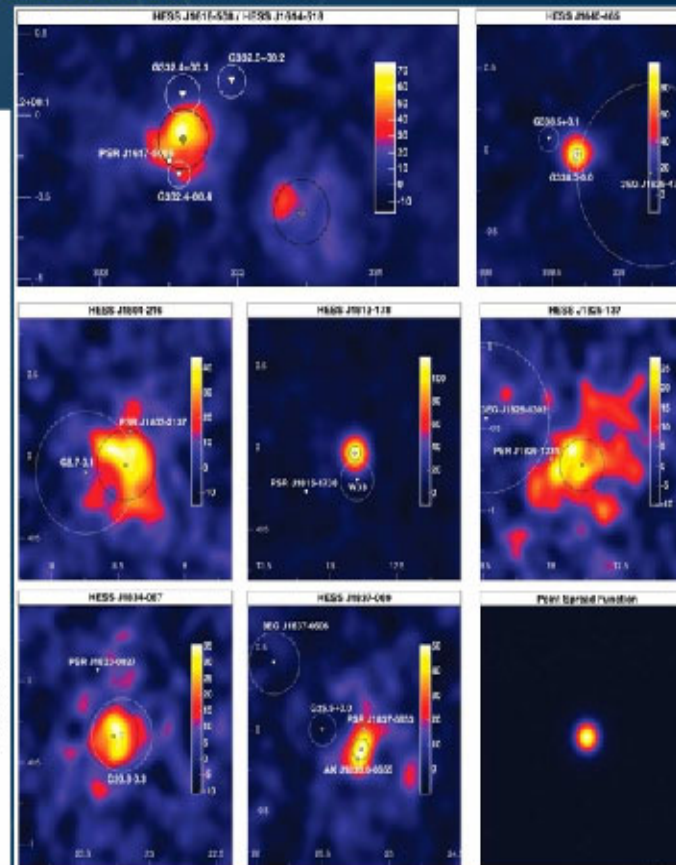
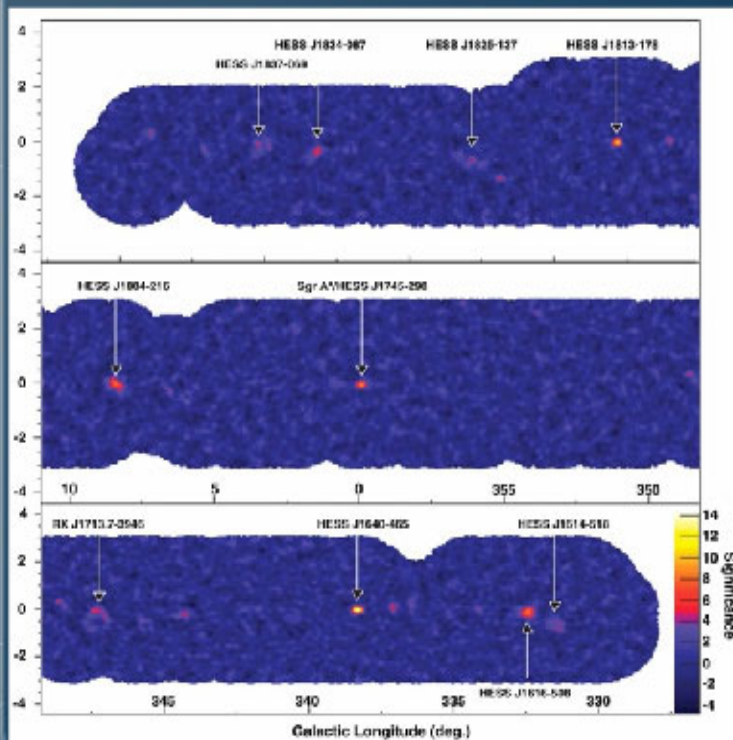


背景 (VHE γ)

H.E.S.S.の台頭

Milky Way Survey

Science 307 (2005) 1938-1942, Astro-ph/0504380





問題提起

今の日本の宇宙線実験に何が必要か？

- 危機的状況への反省 => 独創性と誠実さの回復
- 先導的な開発 => 外国や先人の亜流に堕さない人材育成
- 創成的な観測 => 日本が切り開く宇宙線観測
- 新たなる再生 => 日本が世界に誇れる実験を！

Ashraはそれに応えるプロジェクト