

MAGIC望遠鏡による 高エネルギーガンマ線天体観測



窪秀利^A, 井上進^B, 折戸玲子^C, 櫛田淳子^D, 小谷一仁^D,
今野裕介^A, 齋藤浩二^E, 齋藤隆之^A, 高見一^F, 手嶋政廣^{B, E},
遠山健^B, 中嶋大輔^E, 西嶋恭司^D, 野田浩司^B, 花畑義隆^E,
林田将明^E, MAGIC collaboration

京大^A, Max-Planck-Inst. fuer Phys.^B, 徳島大^C, 東海大^D, 東大宇宙線研^E, KEK^F

MAGIC望遠鏡

MAGIC (Major Atmospheric Gamma-ray Imaging Cherenkov telescope)

- 2台の口径**17 m**解像型大気チェレンコフ望遠鏡
- カナリア諸島ラパルマ島～2200 m a.s.l.
- エネルギー閾値: **～50 GeV**
- 2004年から MAGIC-I、
2009年から 2台の望遠鏡によるステレオ観測
- 2012年カメラアップグレード
(昨年度報告)

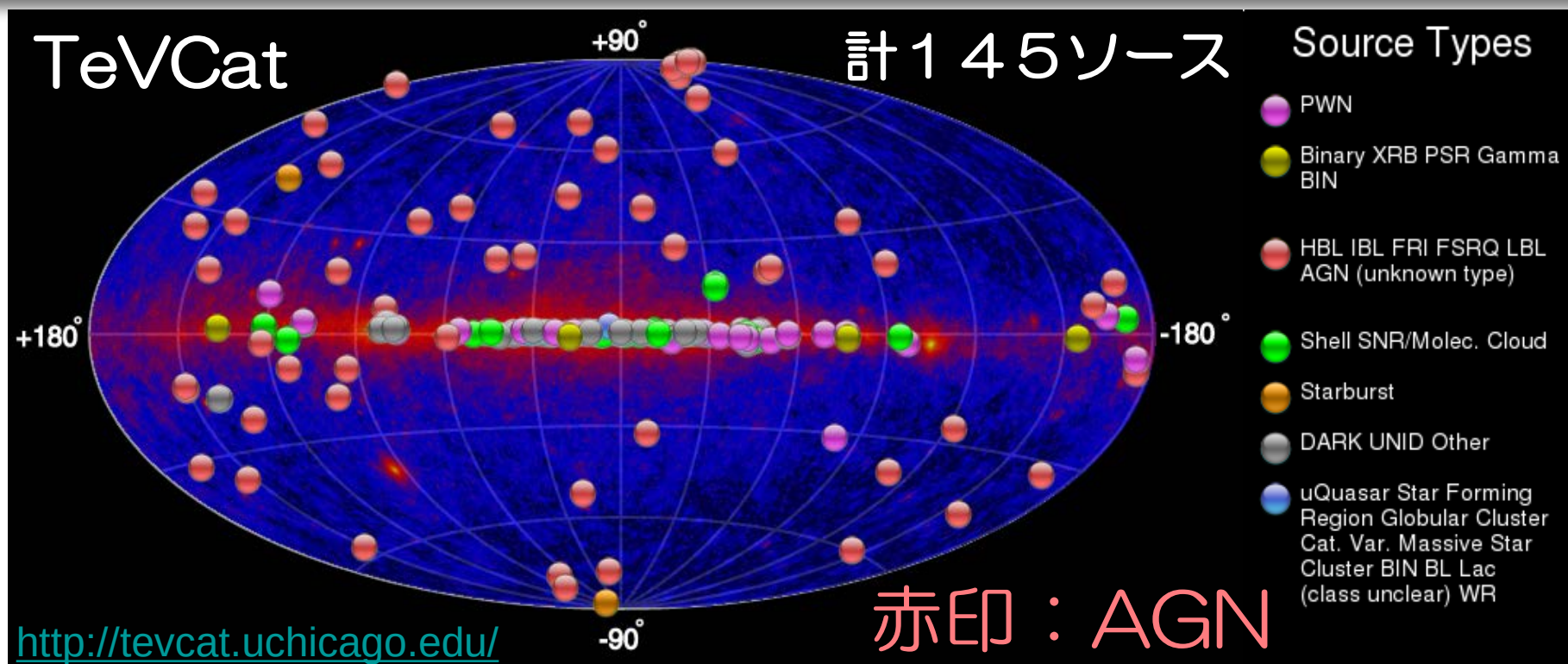
	> 300 GeV	> 1TeV
感度(50h 5 σ)	～0.8% Crab	～0.9% Crab
角度分解能	～0.07度	～0.05度



日本グループ（**MAGIC-Japan**代表窪）2011年～試用期間、2012年11月正式加入
宇宙線研H25年度 共同利用研究

- 査定額**旅費20万円→解析打合せ**
- 観測データ解析に宇宙線研の計算機使用

活動銀河核 (AGN)

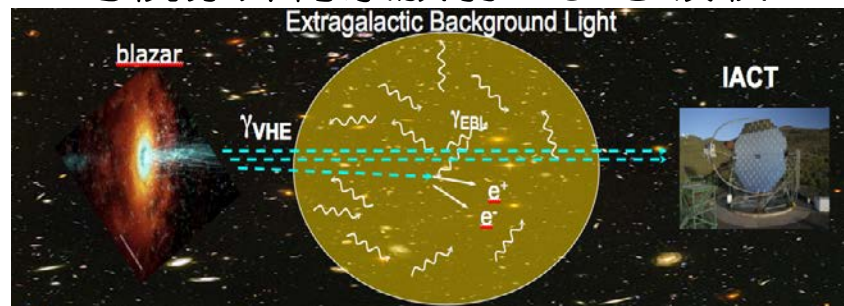


MAGICによる第一発見: 18/AGN 55天体
(cf. HESS:19, VERITAS:9)

- Blazar (ジェット方向～視線方向)
 - FSRQ
(Flat Spectrum Radio Quasar)
 - BL Lac型
(スペクトル強度ピーク周波数 $\text{HBL} > \text{IBL} > \text{LBL}$)

- 電波銀河 (ジェットを横から見ている)

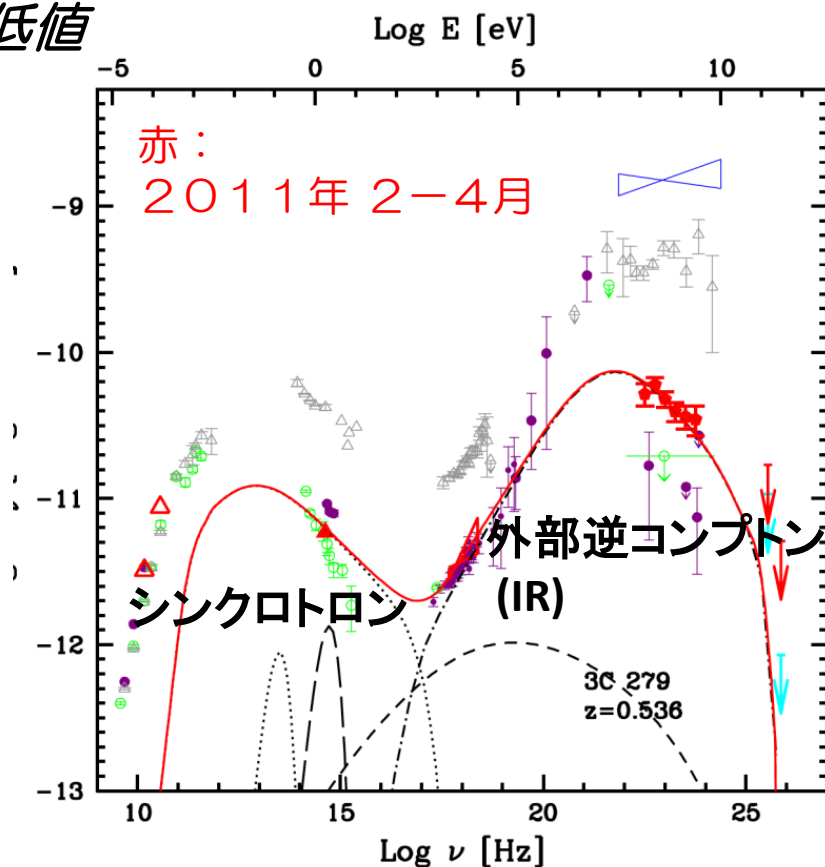
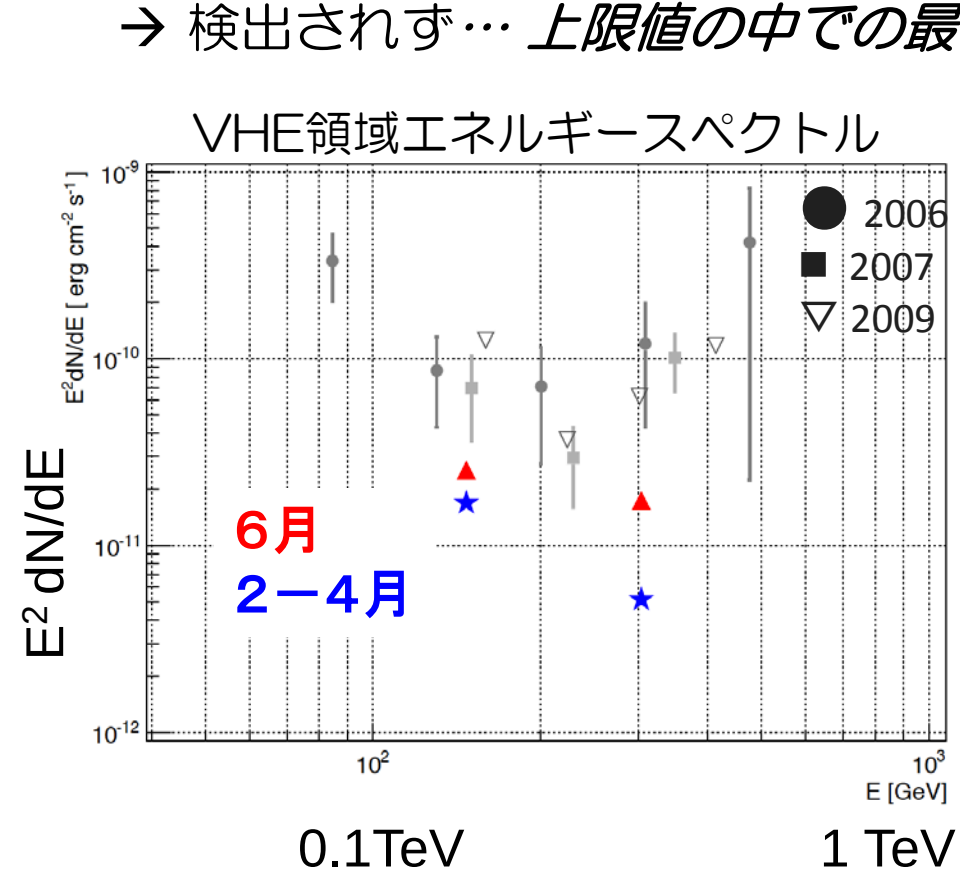
可視赤外背景放射による吸収



[FSRQ] 3C 279 2011年

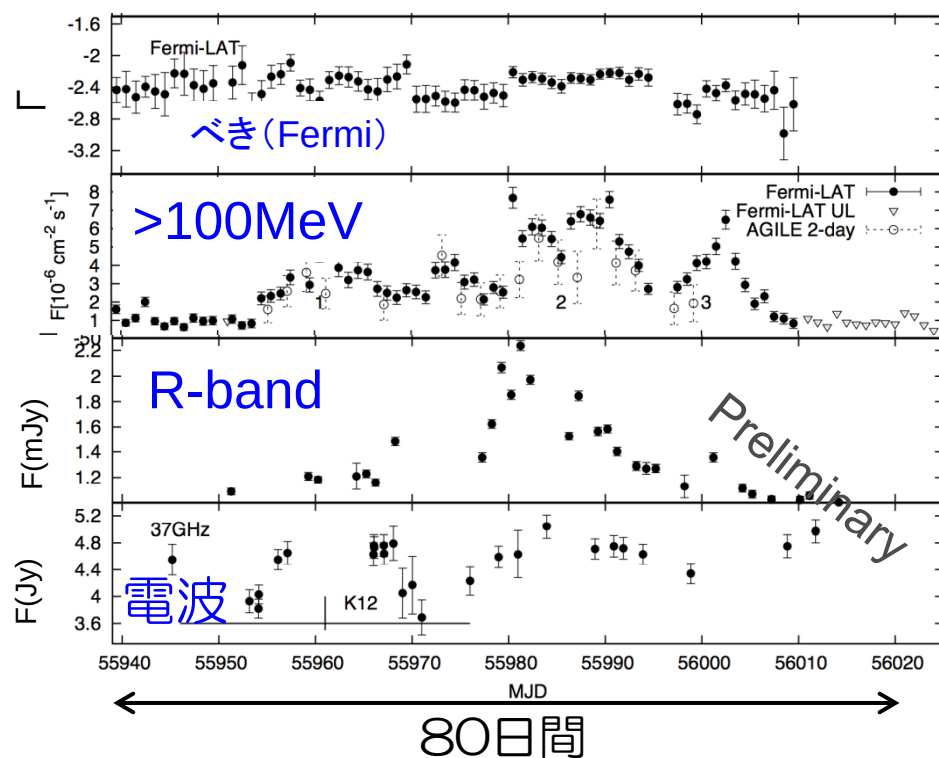
arXiv:1311.2833(submitted to A&A)

- $z=0.536$ 。>200 GeV検出天体で最遠方。MAGICで2006年と2007年に検出
- MAGICで、2011年2期間観測
① 2-4月: 11.6 時間 ② 6月: 6.2 時間
→ 検出されず… 上限値の中での最低値



[FSRQ] PKS 1510-089

- $z = 0.361$
- 2009年 H.E.S.S.による観測でVHEガンマ線検出(Abramowski+ 2013)
- 2012年2月 AGILE、Fermiによりガンマ線フレア検出
- MAGIC望遠鏡による2012年2月～4月の観測でVHEガンマ線信号検出



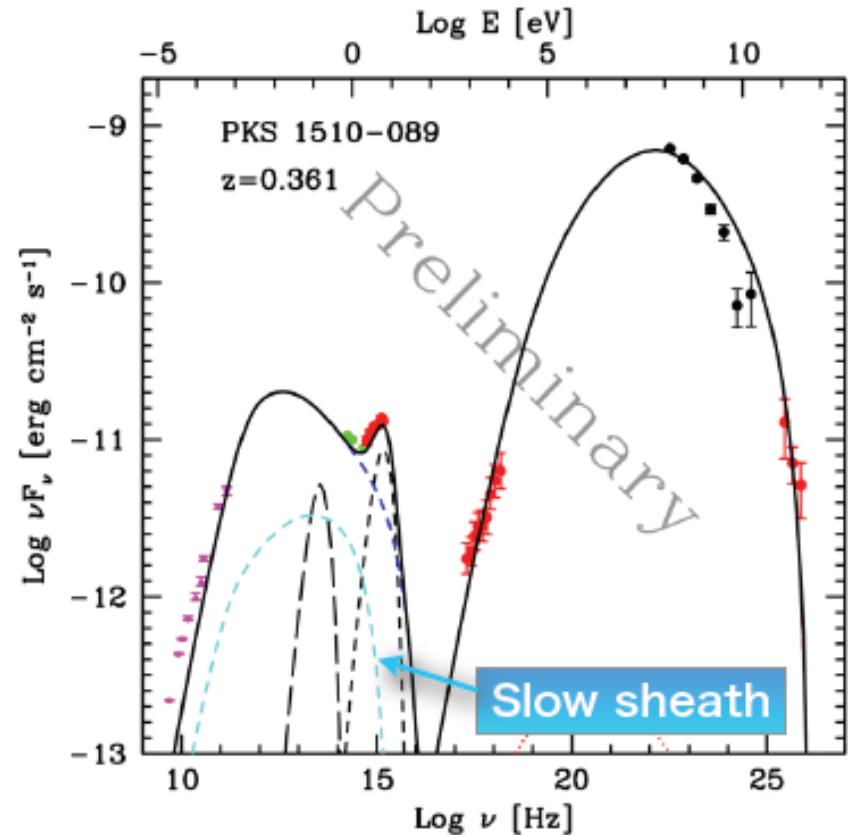
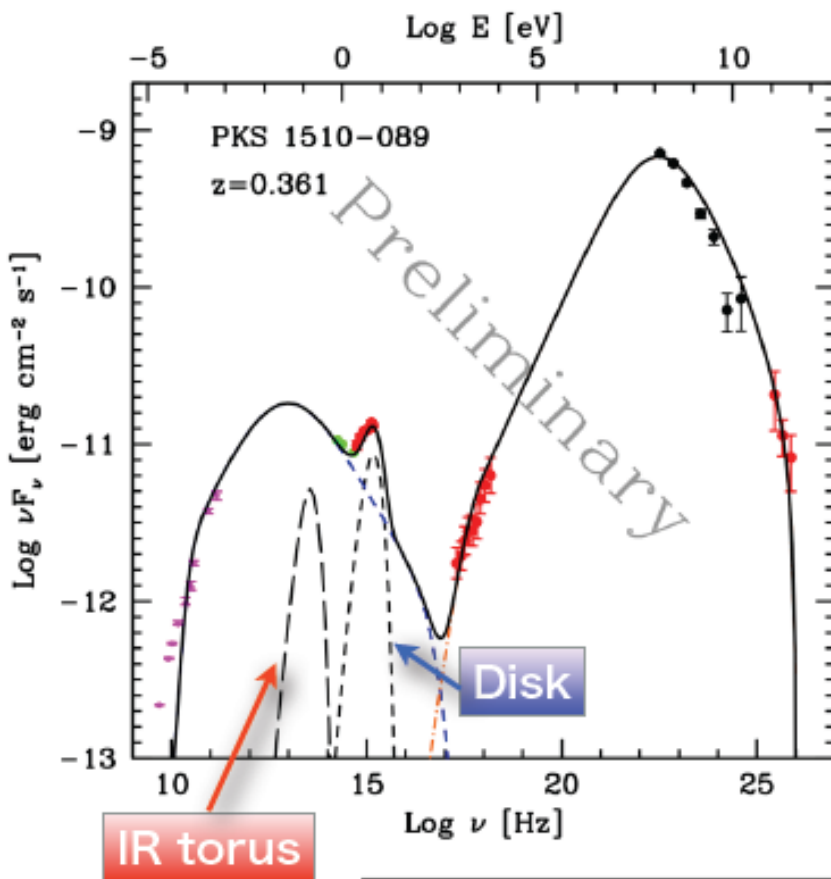
VLBA電波

Web掲載版では図を削除

- HEガンマ線と電波フラックスは同様のパターンで変動、またガンマ線フレアとVLBA電波コア(中心BHから ~ 10 pc)の放出が同期
→ガンマ線と電波放射領域は同一空間である可能性

齋藤浩二 (ICRR)

[FSRQ] PKS 1510-089 (続)



多波長スペクトルモデル: 逆コンプトン散乱の種光子起源

降着円盤外側トーラスからの赤外線

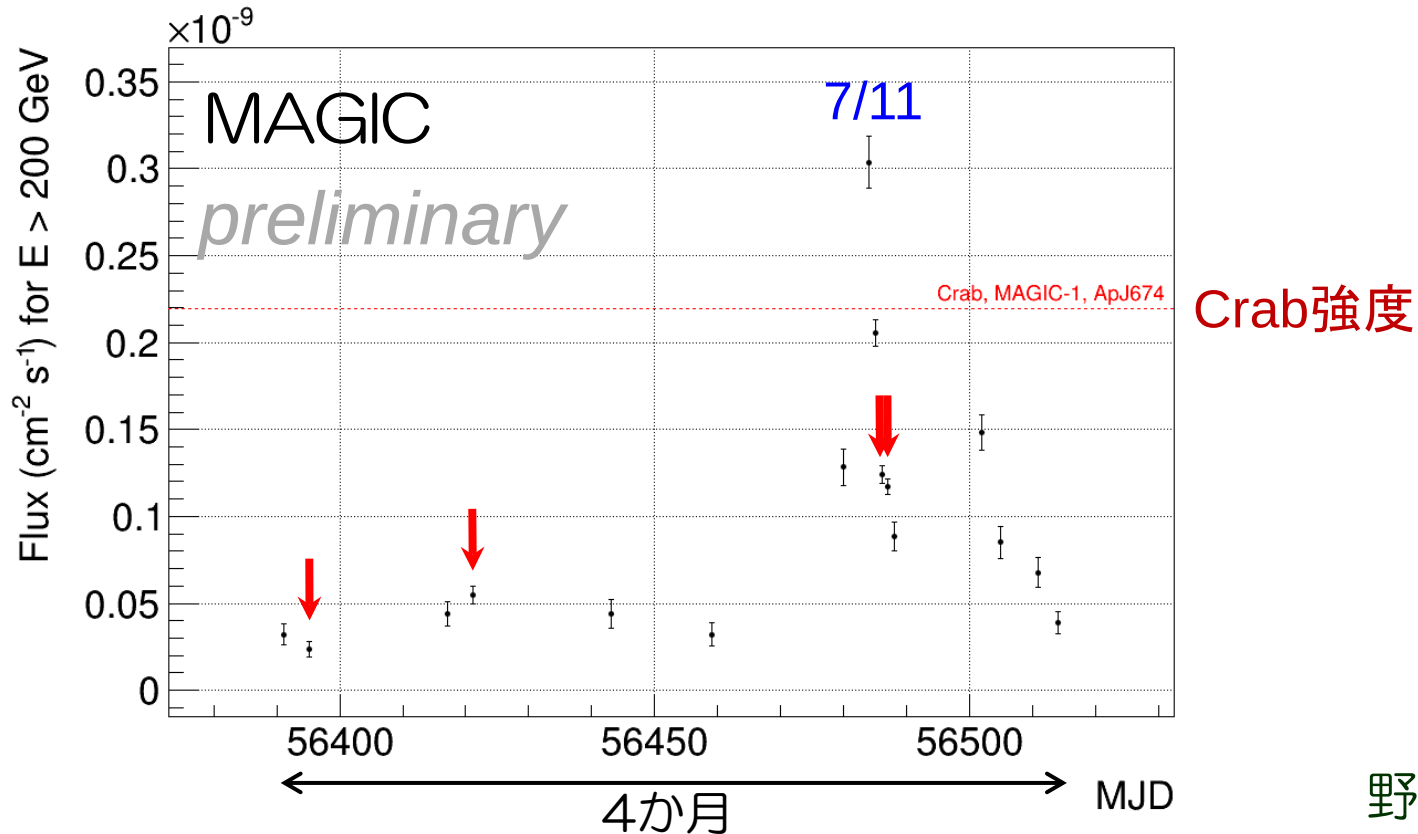
ジェット外縁

両起源とも観測データを再現できるが、HEガンマ線と電波コア放出が同期していることから、ジェット外縁 (右図) か?

齋藤浩二 (ICRR)

[HBL]Mrk501 多波長観測 2013年

- X線NuSTAR 衛星(2012年6月打上げ: 5-80 keV)との同時観測でシンクロトロン成分の詳細が理解可能に。
- 7/11にX線Swift/XRT(0.3-10 keV)で、この天体過去最高のfluxを記録。MAGICではToOで5日連続観測を行った。SwiftとNuSTARの同時観測により、シンクロトロンピークをフレア前後で押さえた(赤矢印の4日間)。多波長スペクトルの詳細解析進行中。

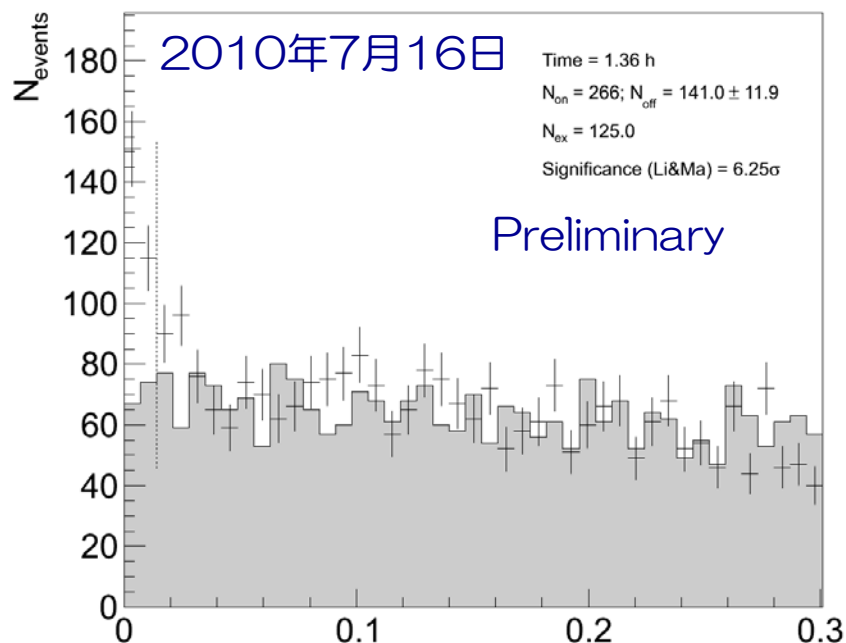


[HBL] MAGIC J2001+435

- 2FGL J2001.1+4352。Fermi未同定天体の一つだった。
- 未知赤方偏移 BL Lac 天体, $z > 0.11$ (Shaw et al. 2013)

MAGIC 観測:

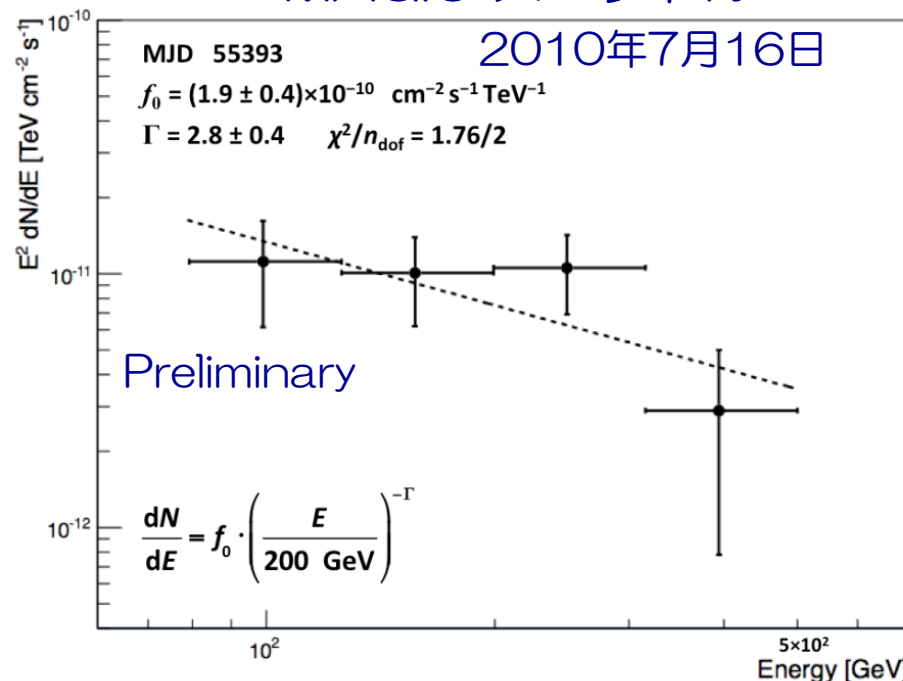
- 2009年11月; 単独観測 ~ 9.0 時間
- 2010年7月 $\sim$ 9月; 多波長同時観測 ~ 14.4 時間



6.3 sigma ($E > 70$ GeV) θ^2 [deg 2]

ガンマ線検出

MAGIC スペクトル



小谷、櫛田、西嶋（東海大）

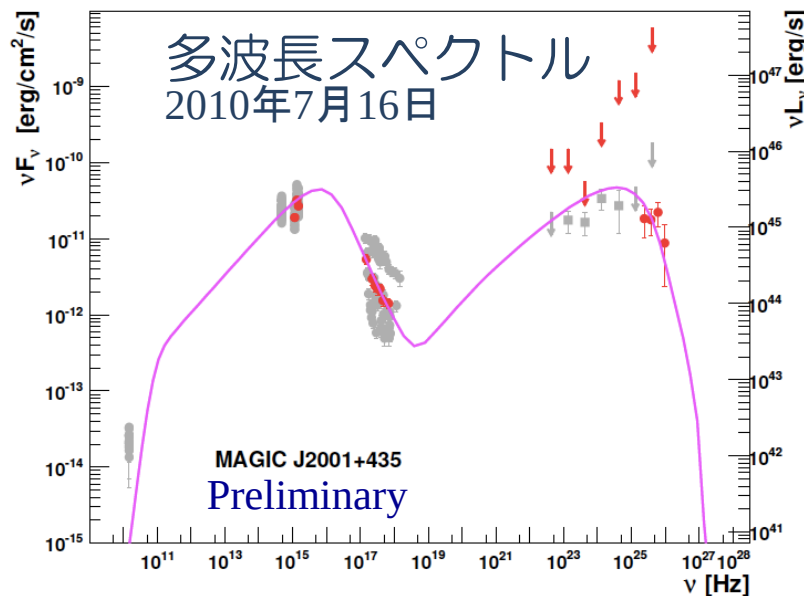
[HBL] MAGIC J2001+435 (続)

Intrinsic photon index vs redshift

Web掲載版では図を削除

Fermi-LAT & MAGIC スペクトルからの推定:
Franceschini et al., 2008 EBL モデルを仮定、フラックス吸収量を補正したMAGICスペクトルは power-law を仮定

Prandini et al., 2011 (経験則; $z^* = A + B \times z_{\text{true}}$) を適用し、 Γ_{int} が *Fermi* photon index と等しくなるときの z^* の値から $z_{\text{rec}} = 0.165 \pm 0.10$ を推定した



- *Fermi*-LAT と MAGIC スペクトルを用いて推定した赤方偏移は可視光観測で報告されている下限値 ($z > 0.11$) と矛盾のない値を得た。
- 7月16日の多波長同時SEDはone-zone SSCモデルで説明できる (from Takami, 2011)

SSC parameters:								
$\gamma_{\min}$	γ_{bk}	$\gamma_{\max}$	n_1	n_2	$K [\text{cm}^{-3}]$	$B [\text{mG}]$	$R [\text{cm}]$	δ
1.0	3.9e4	6.0e5	2.0	5.0	5.7e3	60	18.8e15	28

小谷、櫛田、
西嶋
(東海大)

[HBL]Mrk421、[電波銀河] IC310

Mrk 421 ($z=0.031$)

- 2013年、X線NuSTAR衛星含む多波長観測キャンペーン
- Low state(2013年1-2月)における多波長SEDの時間変化
- 2013年4月 巨大フレア; >11 Crab Unit at VHE (ATel #4976)

多波長スペクトル

Web掲載版では図を削除

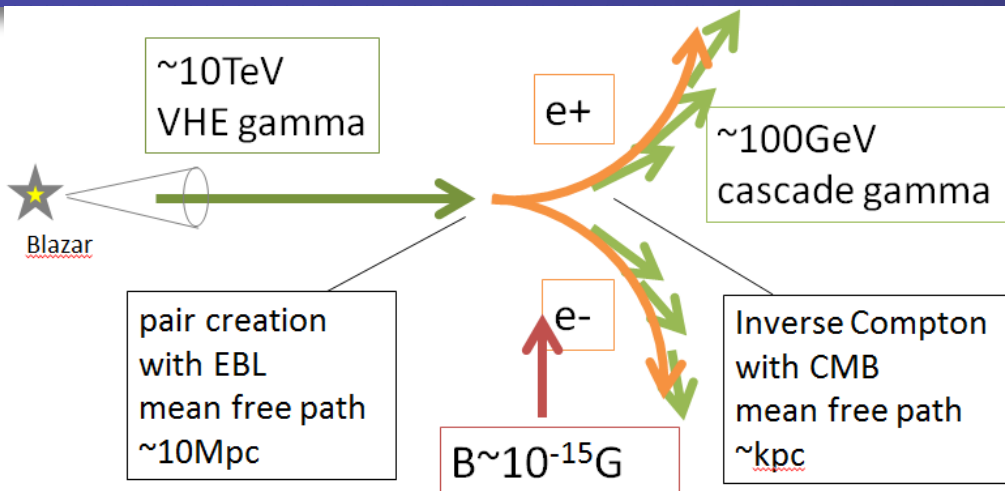
IC 310 ($z=0.019$)

- ペルセウス銀河団中の電波銀河
 - 最近の電波観測からはブレーザー型の特徴を示す (Kadler+2012)
 - MAGIC、Fermiで検出 (Neronov+ 2010, Aleksić+ 2010)
 - 2012年11月 VHEフレア; 28.5σ in 3.5 hr (ATel #4583)
 - フラックスレベルに依らない、ハード（微分べき ~ 2 ）なエネルギースペクトル
- Eisenacher(uni-wuerzburg)+

エネルギースペクトル

Web掲載版では図を削除

[HBL] 1ES0229+200



Web掲載版では図を削除

MAGICによる
2012年~2013年の観測で
ガンマ線を検出

10TeVまで伸びるハードなスペクトル, $z=0.14$
EBLによる吸収と銀河間磁場による散乱の
効果から銀河間磁場の測定が期待できる

Neronov, Semikoz 2009

MAGIC

H.E.S.S.

↑
磁場の効果

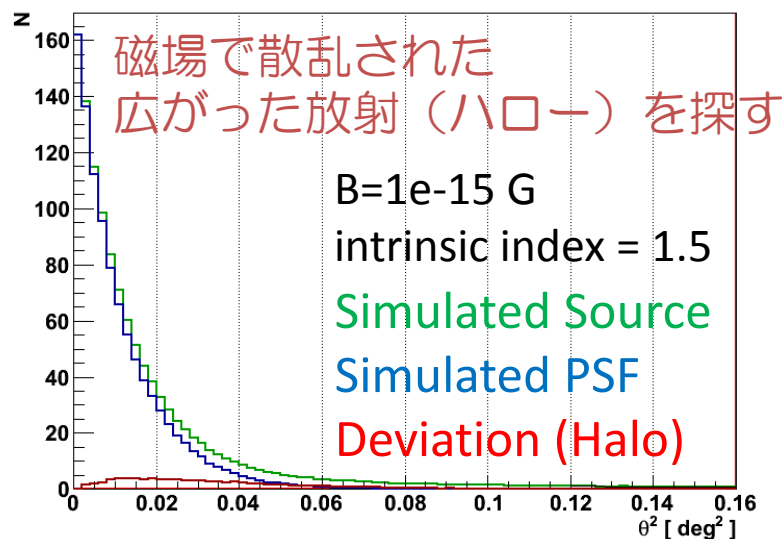
Intrinsic

$B=1e-16 \text{ G}$

$B=1e-15 \text{ G}$

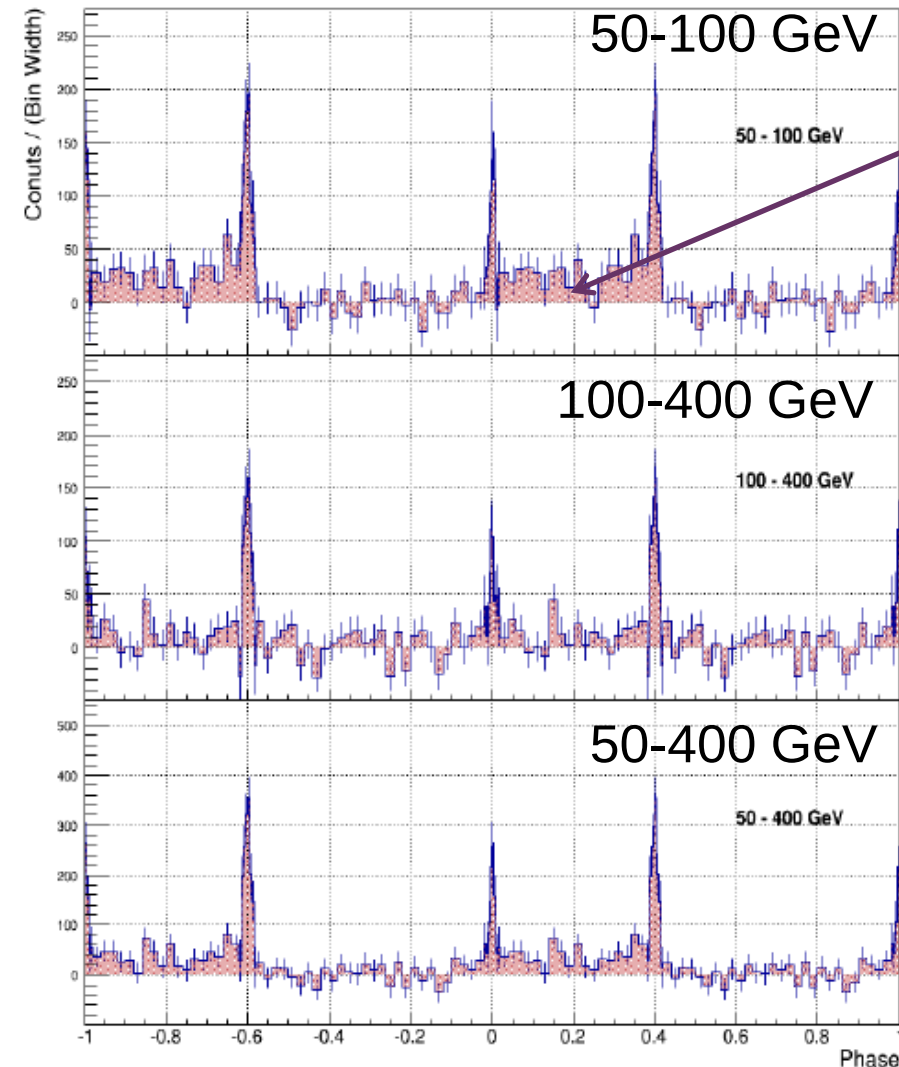
EBLによる吸収

Web掲載版では図を削除



今野 (京大)

Crab パルサーBridge放射の発見



50GeV以上でBridge放射を発見
放射領域の磁場構造に制限

Crab Pulsar, 135h (2009-2013)

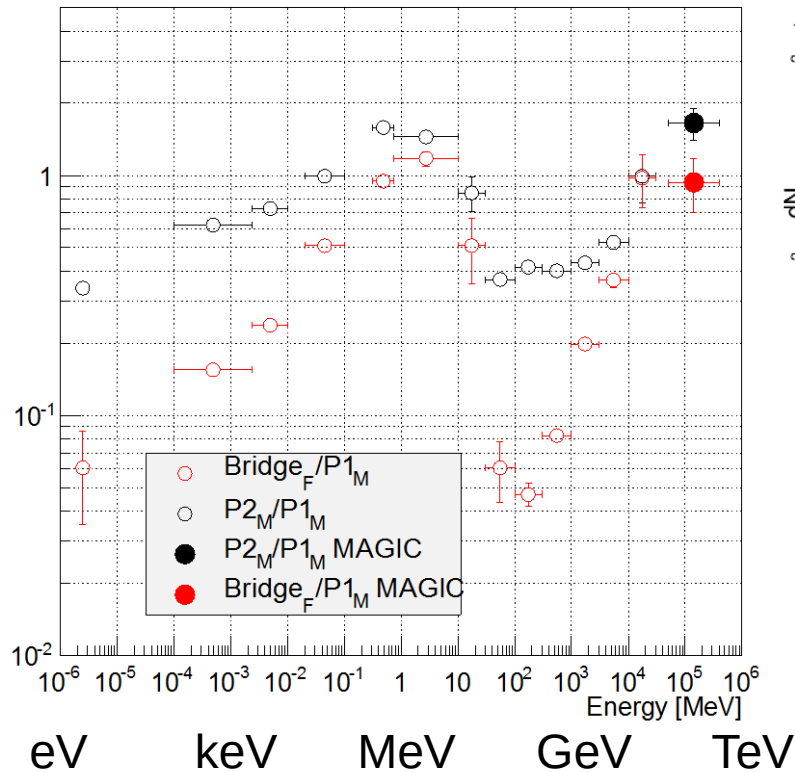
	P1	P2	Bridge
Phase	0.983- 1.026	0.377-0.422	0.026-0.377
Excess	932+-118	1511+-124	2722+-439
Significance	8.0 σ	12.6 σ	6.2 σ

-1

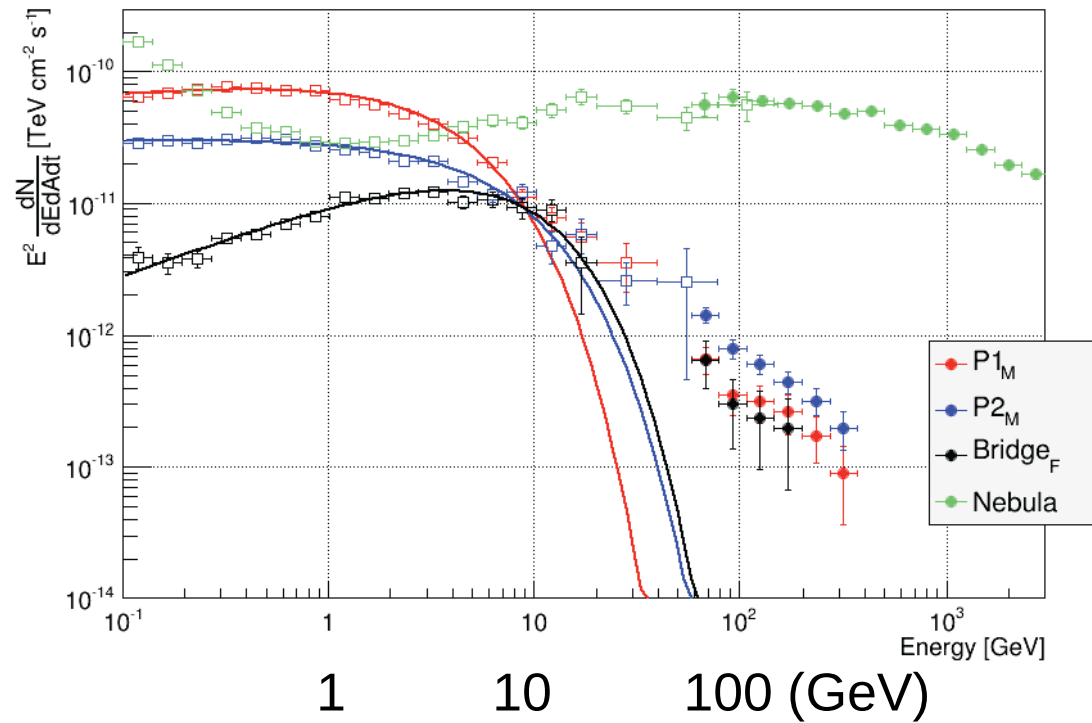
0

1 Phase

Crab パルサーBridge放射の発見（続）



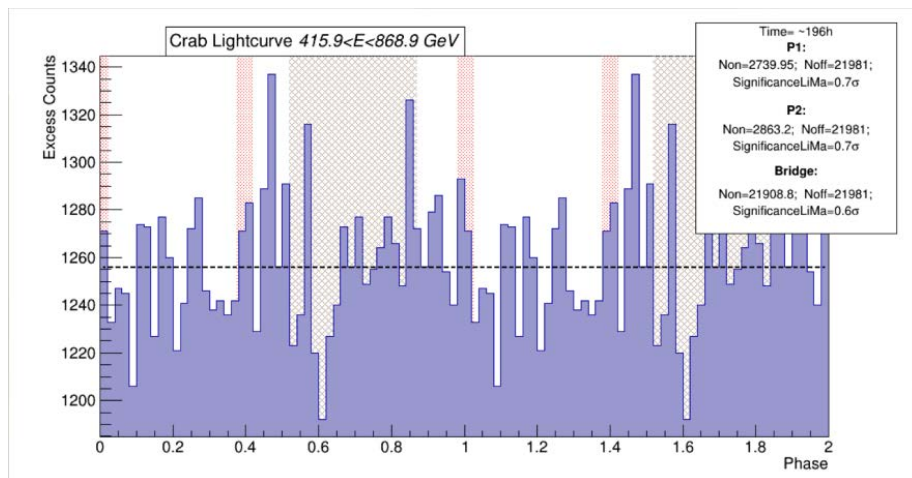
P2/P1 比、**Bridge/P1** 比は
エネルギーとともに大きく
変動



10 GeV以上で**P1**、**P2**、
Bridgeは似たようなベキに

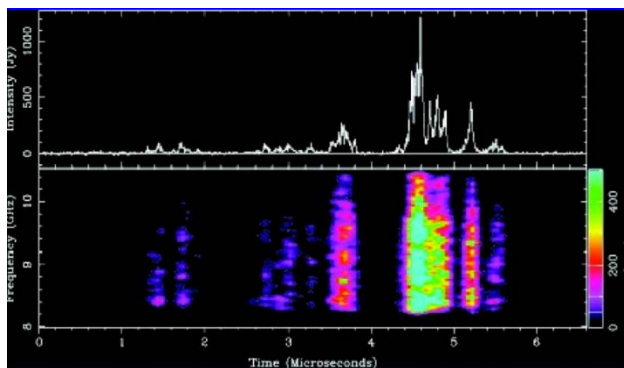
Crab (続)、Geminga/パルサー

1. Crab > 400 GeV 信号の探索



200時間のStereoデータでも、250時間のMonoデータでも有意な信号得られず。系統誤差を含めたU.L. の計算が進行中。Garriid(Barcelona)+

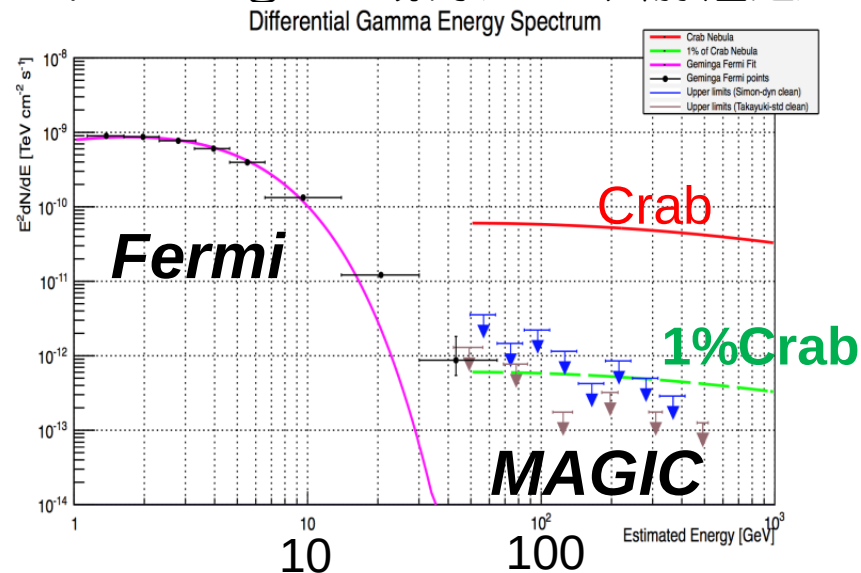
2. Crab のRadio Giant Pulseとの相関



データ解析進行中

Levandowska (Univ. Wuerzburg)+

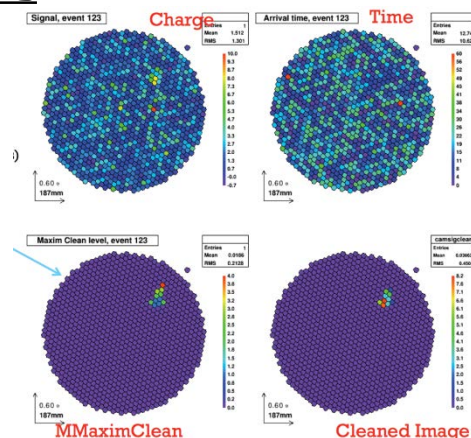
3. Geminga の観測 (Co-I 齋藤隆之)



65時間の観測で検出されず。

U.L.はFermiの測定と同程度@50GeV

4. 50GeV以下解析手法の開発 (PI: 齋藤隆之)



20GeVでCollection Efficiency が約二倍に。

ステレオSum Triggerと合わせて50GeV以下感度の向上が期待される。

超新星残骸 他

キー観測プログラム: SNR W44

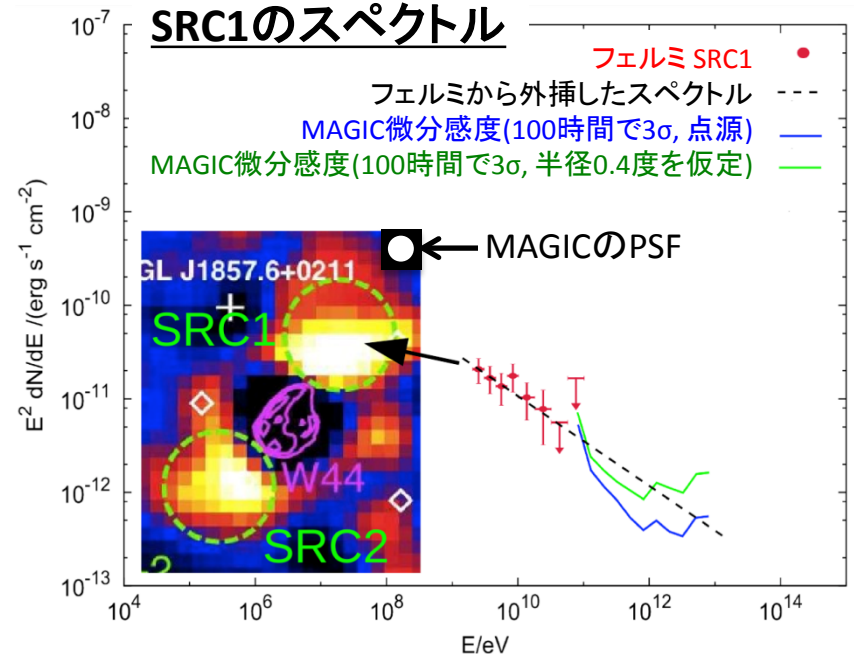
共著者:花畑(ICRR)

- SNRでの宇宙線加速と逃走過程を探るために合計200時間の深い観測
- 古い系(W44は年齢2万年)での宇宙線の最高加速エネルギーを決定
- 周囲にある放射を調べ、拡散の様子(等方or非等方的)を議論

現在観測中で、解析も進められている

その他の観測

- 銀河中心でのフレアのモニター
- パルサー星雲: 3C58, HESS J1857+026
- 連星系: LSI +61 303, Cygnus X-3, Black widow B1957+20, etc.
- 新星爆発: Delphini 2013, etc.



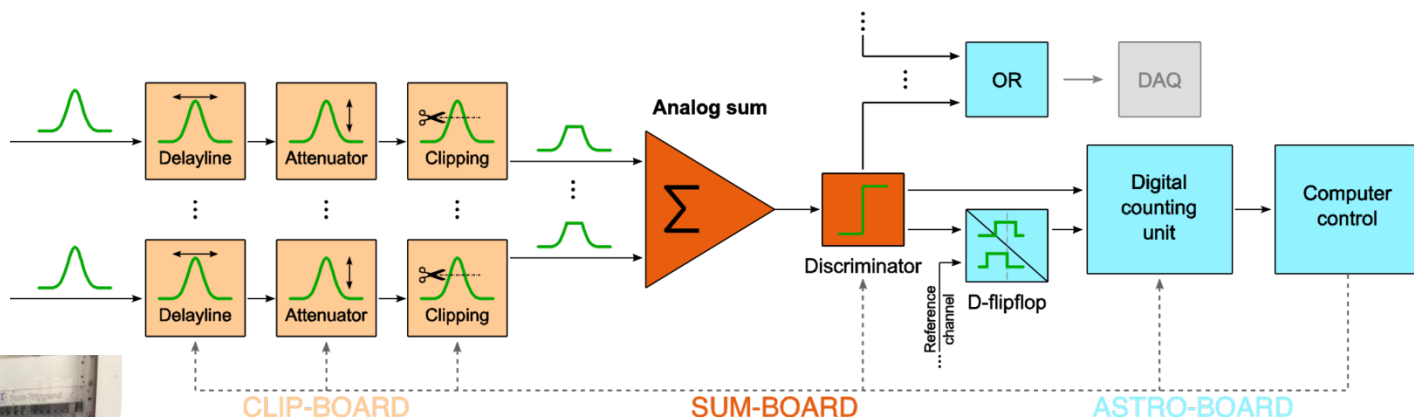
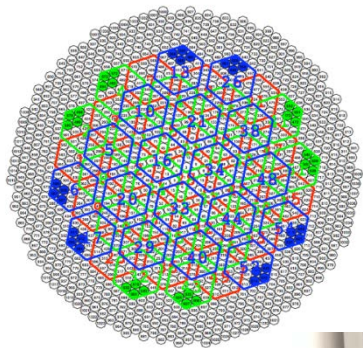
拡散ガンマ線放射

タスクリーダー:花畑

- 銀河面放射、白鳥座コクーン、フェルミバブルなど、大きく広がった天体の観測に向けてチームを結成
- 広がった放射に対する感度評価や特化した解析方法のスタディが進行中
- 次期サイクルで観測提案を行う

SumTrigger II インストール&コミッショニング

隣接する19 台(六角形マクロセル)のPMTのアナログ信号を足し合わせた信号でトリガ生成⇒ エネルギーしきい値 $50\text{GeV} \rightarrow <30\text{GeV}$

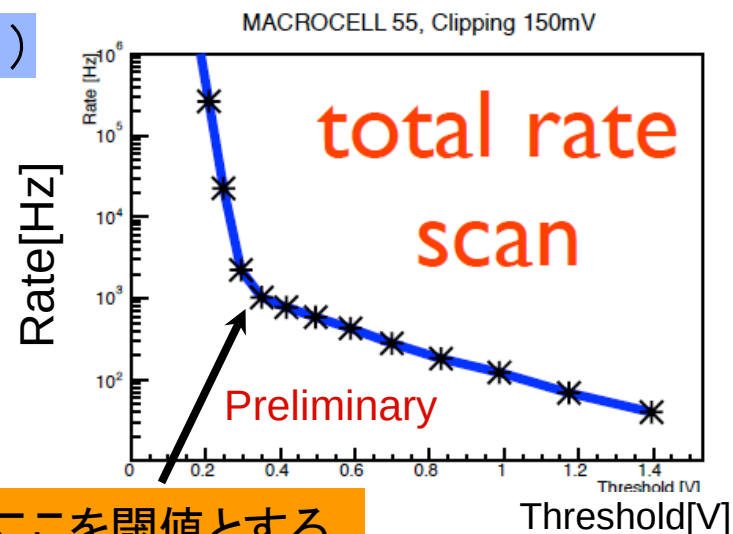


インストール



コミッショニング(～11月)

- クーリング、温度調整テスト
- コミュニケーションテスト
- コントロールソフトウェア開発
- ノイズチェック
- マッピングチェック
- 信号Delay調整
- 信号波高flat-fielding
- レートスキャン(Rate vs Threshold)



現トリガーより
約2倍低く

中嶋
(ICRR)

まとめ

- MAGIC 口径17m望遠鏡2台によるVHE ($E > 50\text{GeV}$) ガンマ線観測
- 日本グループが正式加入し1年経過
- Crabパルサーからbridge放射を検出
- Blazarを多波長観測し、放射機構とEBLに対する制限。
- ガンマ線と可視赤外背景放射による電子陽電子対生成。→銀河間磁場で散乱された広がった放射（ハロー）探索→銀河間磁場を求める。
- 超新星残骸W44の長時間観測進行中。周囲にある放射を調べ、粒子拡散の様子(等方or非等方的)を調べる。
- 銀河面など広がった放射の感度・解析方法の研究
- トリガー回路の改良を行った。エネルギー閾値が、 50GeV から 30GeV に下がることが期待（評価中）。