

MAGIC望遠鏡を用いた 高エネルギーガンマ線天体の研究



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, Daniela Hadasch^E, Daniel Mazin^{B, 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



- 口径17 m 解像型
大気チェレンコフ望遠鏡 2台
 - 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
- MAGIC collaboration 約160名

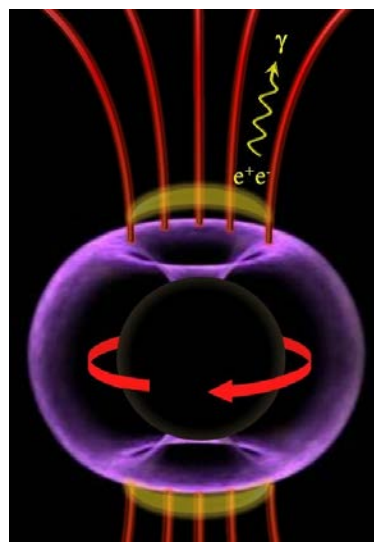
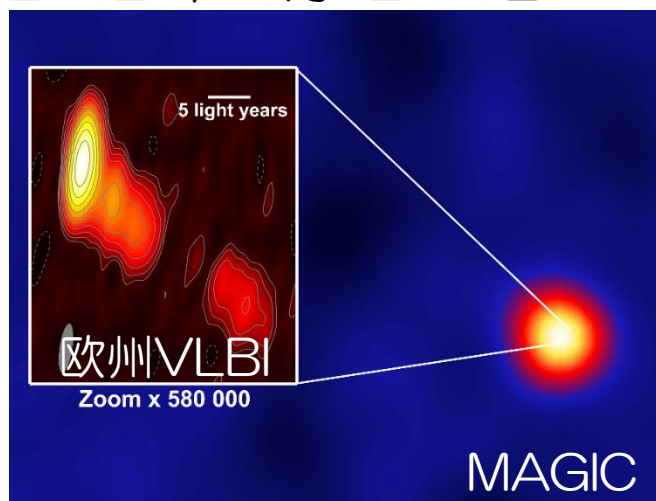
- 査読付論文 2014年1月～（刊行または印刷中）
19編(活動銀河核14, パルサー・星雲2, 矮小銀河 1, 白色矮星連星1, 未同定天体1)
- 宇宙線研H26年度共同利用研究
 - 査定額 旅費20万円→打合せ
 - 観測データ解析に宇宙線研の計算機使用
- 共同利用研究参加メンバーの今年度活動
 - データ解析+Physics WG(coordinator:手嶋, convener:[パルサー] 齋藤, [AGN] Mazin),
Publication Board(高見,林田), Software WG(折戸)
 - 観測シフト(今野,西嶋,花畑,林田)、観測データdaily check(櫛田,小谷)
 - 望遠鏡アップグレード(Mazin, 中嶋, 野田)

活動銀河核 IC310

- 電波銀河 ($z=0.019$)
- VHE γ 線発見 MAGIC 2008-2010年観測
- 2012 年11月12-13日 MAGIC観測→フレア検出

Science Express, 2014年11月6日号

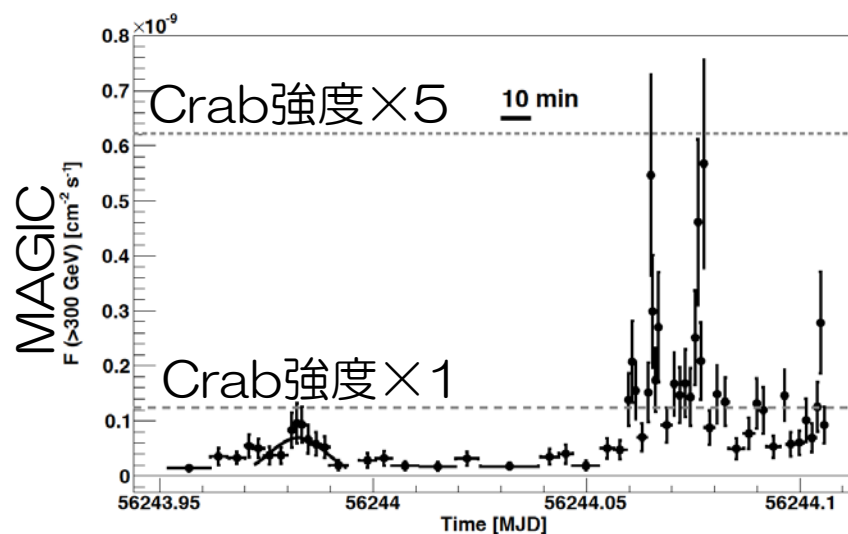
Science, 346, 6213, 1080, Nov 2014



放射機構

回転ブラックホール極軸付近の磁気圏に、電位ギャップが生成

→電子・陽電子（降着トラス・コロナからの光子・光子衝突で対生成）が加速
→逆コンプトン散乱によりガンマ線が放射



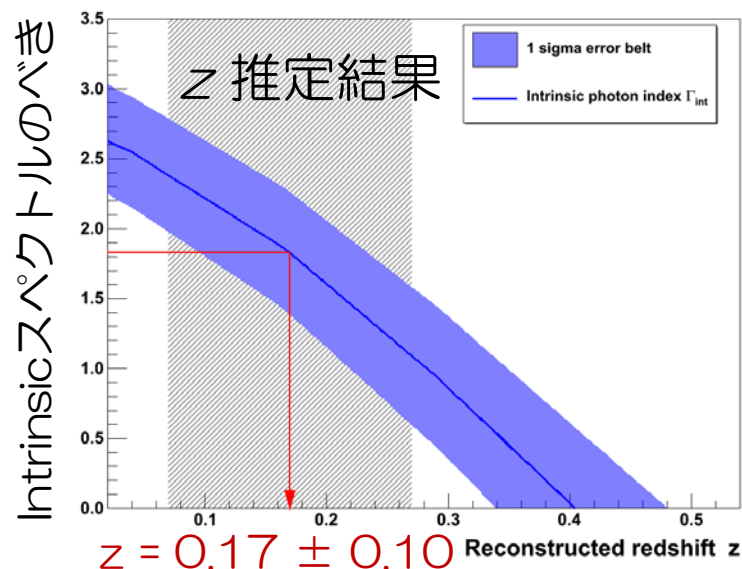
- 強度変動 < 4.8分 (doubling time scale)
- もし、放射領域サイズ=ブラックホールサイズ ($3 \times 10^8 M_{\odot} \rightarrow \sim 3 \text{ AU}$) ならば、ジェットによる相対論的時間短縮効果を考慮しても 20分相当

⇒ ガンマ線放射がブラックホールサイズより狭い領域で起きていることを発見。

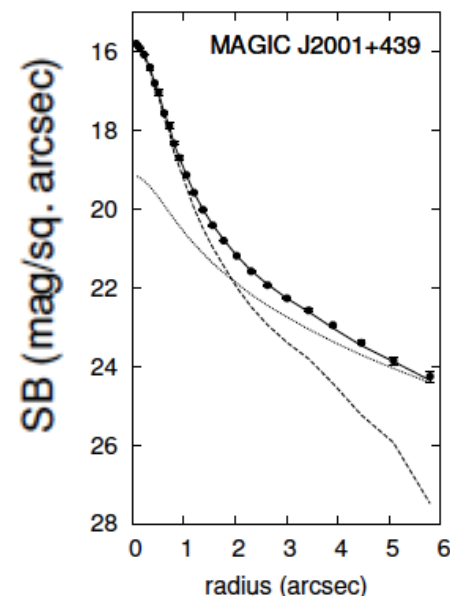
活動銀河核 MAGIC J2001+439

Astronomy & Astrophysics, 572, A121, Dec 2014、小谷D論

- *Fermi* bright source: 2FGL J2001.1+4352
- 未知赤方偏移 HBL 天体: $z > 0.11$ (Shaw et al. 2013)
- 2010 年7月~9月: MAGIC 主導で多波長キャンペーンを実施
→ 7月16日に、VHEフレア検出に成功
- 距離推定 ①MAGIC-*Fermi*スペクトル + 可視赤外背景放射(EBL)吸収補正
→ $z = 0.17 \pm 0.10$
②MAGIC共同研究者らで行った、ホスト銀河観測とも一致し、 z 確立



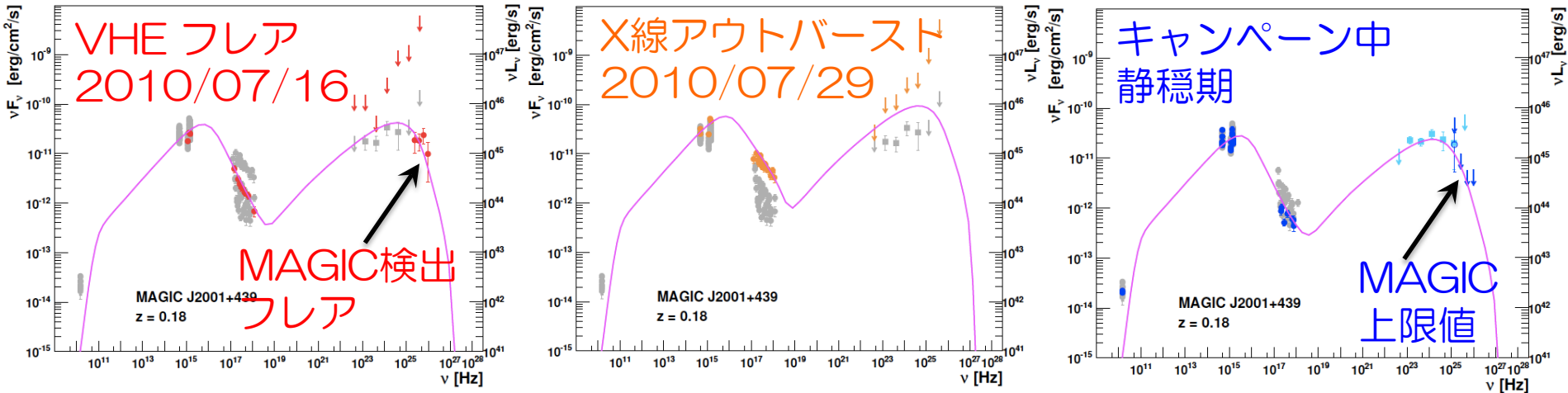
Prandini et al. (2011) 経験則,
Franceschini et al. (2008) EBL 適用



小谷、西嶋、櫛田 (東海大)+

活動銀河核 MAGIC J2001+439 (続)

多波長キャンペーン中の多波長スペクトル(SED)の時間発展と、
シンクロトロン自己コンプトン(SSC)モデリング結果



1-zone SSC放射モデルでよく記述でき、フレア状態の異なる
SEDの時間発展を、1つの放射モデル内で一貫して再現可能

活動銀河核 Mrk421

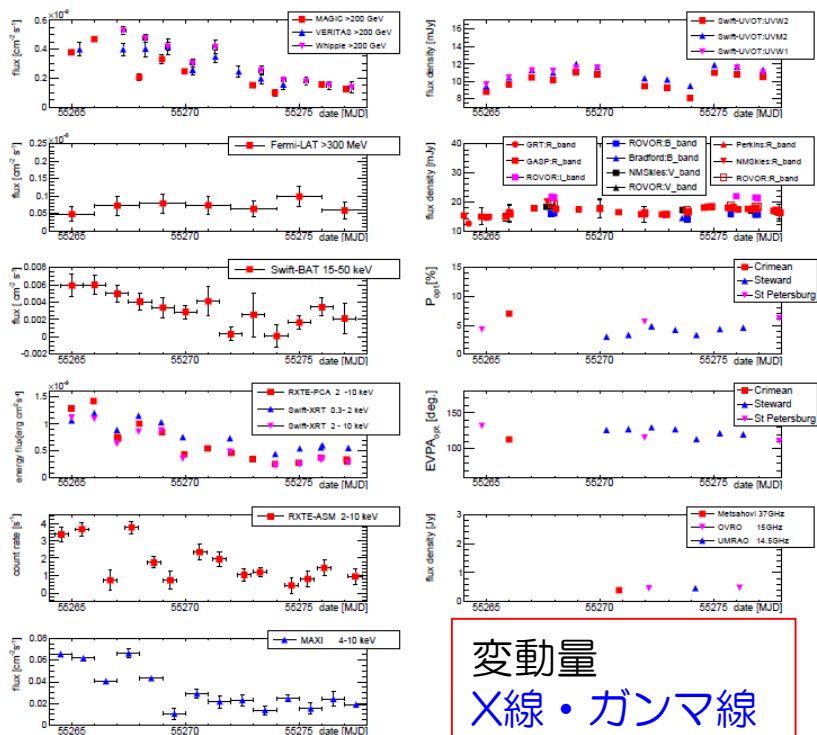
Accepted for A&A

- HBL天体 ($z=0.03$)
- 2010年3月 13日間連続多波長観測→Blazarの放射領域の時間発展を詳しく探る

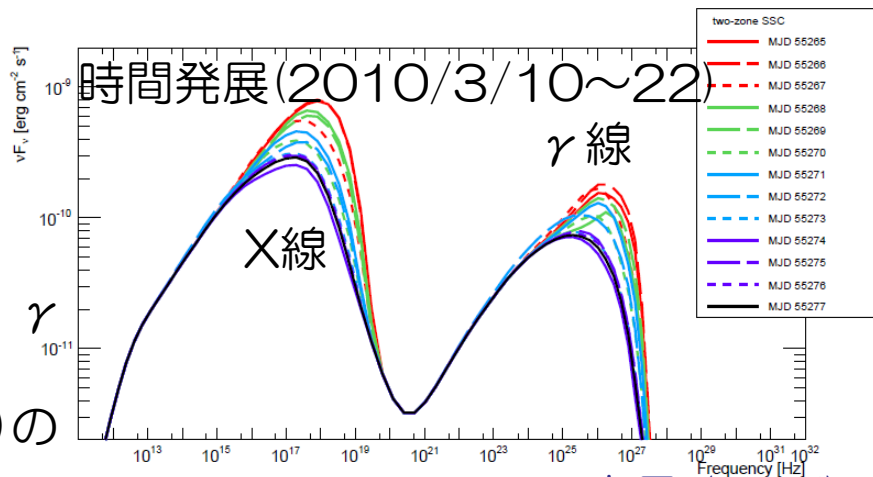
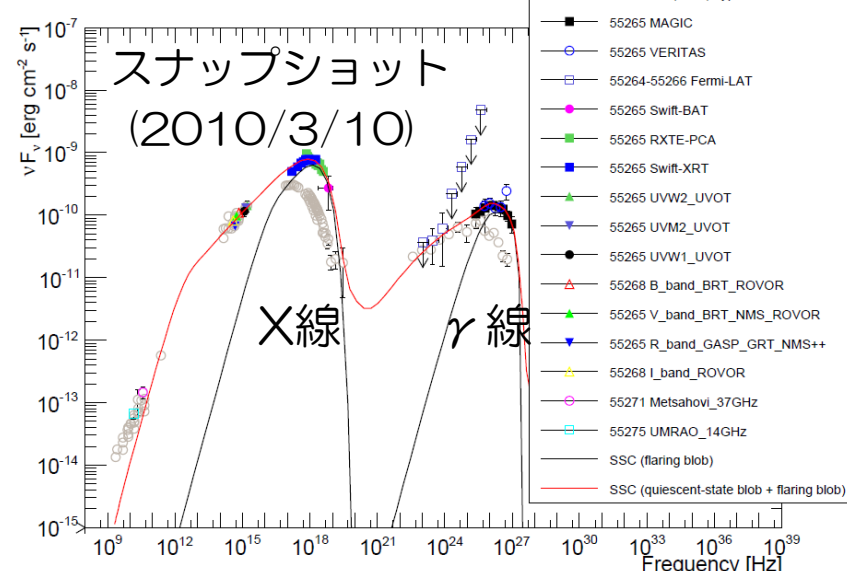
X線・ガンマ線

電波・可視・UV

2-Zone SSCモデリング



変動量
X線・ガンマ線
≫ 電波・可視



高見 (KEK) +

- 準静的+フレアの2成分
- 2-zoneモデルは、狭いSEDピークとX線・ γ 線だけの変動、1日以内の変動を説明可。
- SEDの時間発展は、電子分布(個数、 E_{break})の変化でよく再現できる。

活動銀河核 Mrk501、RXJ 1136.5+6737

- Mrk501 野田 (MPI)+
 - HBL天体 ($z=0.03$)
- 2013年 多波長観測 フレア検出

MAGIC
VERITAS

Fermi-LAT

NuSTAR X線

Swift XRT X線

UV

公開版では図削除

Optical

電波

- RXJ1136.5+6737 林田 (ICRR)+
 - HBL天体 ($z=0.13$)
 - MAXI 3年観測カタログの中から、X線で明るいHBLで、VHE γ 線未検出天体をMAGICで観測
 - 2014年2月～5月観測

VHE γ 線放射 発見 ($>5\sigma$)
~1.5 % Crab (>200 GeV)

速報 Atel #6062

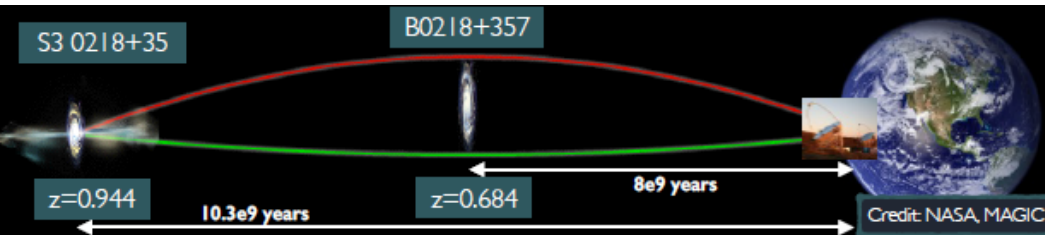
公開版では図削除

フレアの前後とも、1-zone SSCモデルで説明可

遠方の活動銀河核

■ S3 0218+35

重力レンズBlazar ($z=0.944 \pm 0.002$)



到来時間遅れ 11.46 ± 0.16 日 (Fermi, 2012年)

① 2014/7/13-14 Fermi フレア検出

→ MAGIC 満月で観測できず

② 2014/7/23-26 MAGIC 観測

VHE γ 線放射 **発見**

0.15 Crab (100-200 GeV)

速報 Atel#6349

→ VHE γ 線 **最遠方** 天体

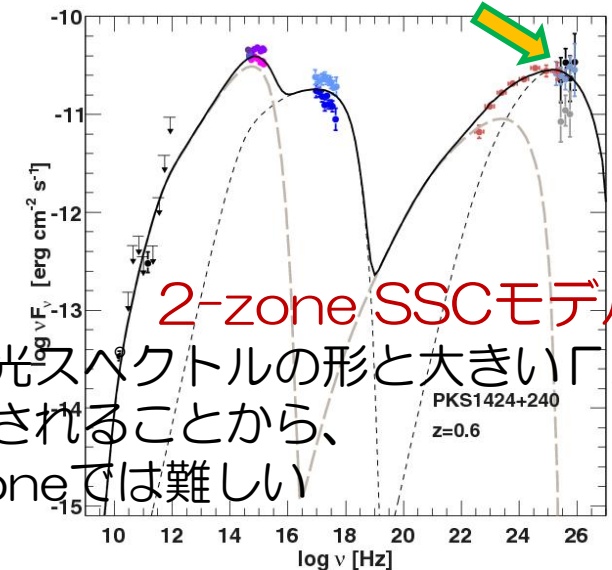
⇒ 可視赤外背景放射に対する強い制限 (算出中)

■ PKS1424+240 多波長観測

A&A 567 (2014) 135

- BL Lac 天体 ($z \geq 0.60$, VHE で 2 番目)

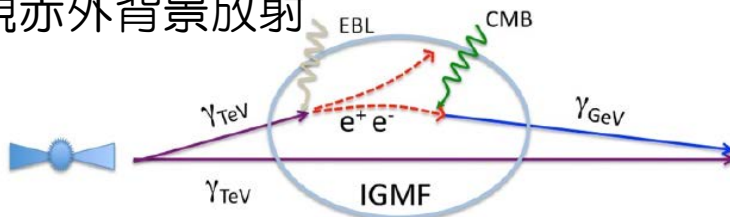
- MAGIC 観測 2009-2011 年



可視光スペクトルの形と大きい Γ が要求されることから、1-zone では難しい

■ 銀河間磁場による活動銀河核ハロー探索 今野 (京大)+

可視赤外背景放射



- reprocessしたガンマ線放射の広がりから微弱な銀河間磁場強度を測定する
- 銀河や銀河団磁場の種磁場を探る
- 磁場 vs 広がりのシミュレーション

遠方AGNのMAGIC観測—**有意な広がり未検出**

パルサー、パルサー星雲

■ Crab Pulsarの追加観測

Nebula

Pulsar P2

公開版では図削除

Pulsar P1

➤ 400 GeVまでは報告済。

■ Geminga Pulsar 齋藤(京大)+

Fermi

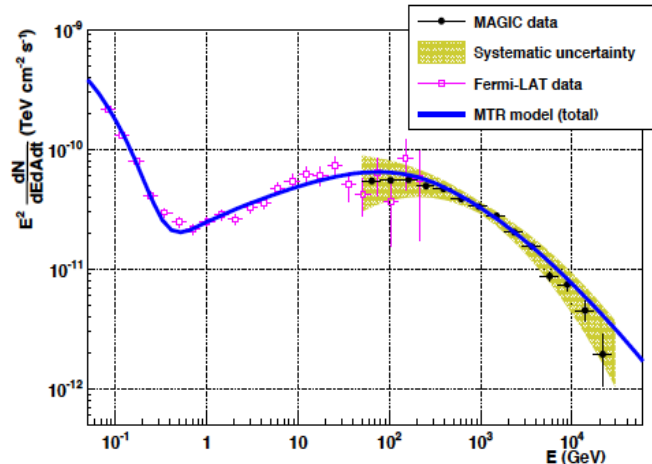
MAGIC

公開版では図削除

■ Crab nebula

Submitted to JHEAp arXiv:1406.6892

Mazin(ICRR)+



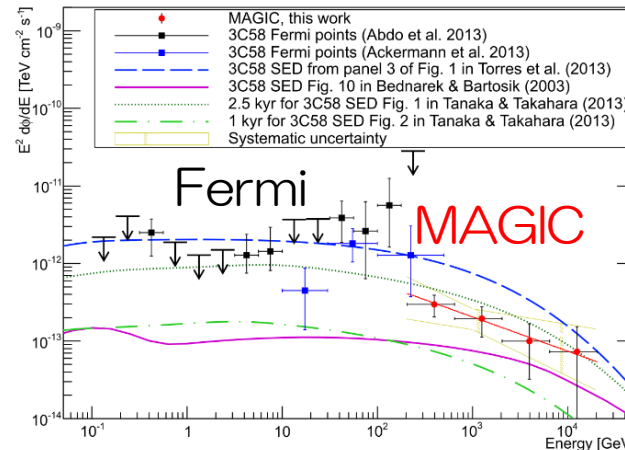
MAGIC観測

- エネルギー帯域 >3桁
- Fermi結果と一致
- 時間依存one-zone逆コンプトンモデルで説明可

■ PWN 3C58からのVHE放射の発見

A&A 567 (2014) 8

PSR 特性年齢2.5千年

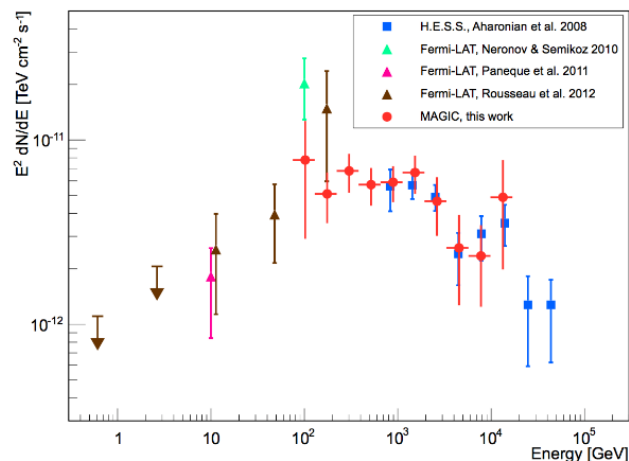
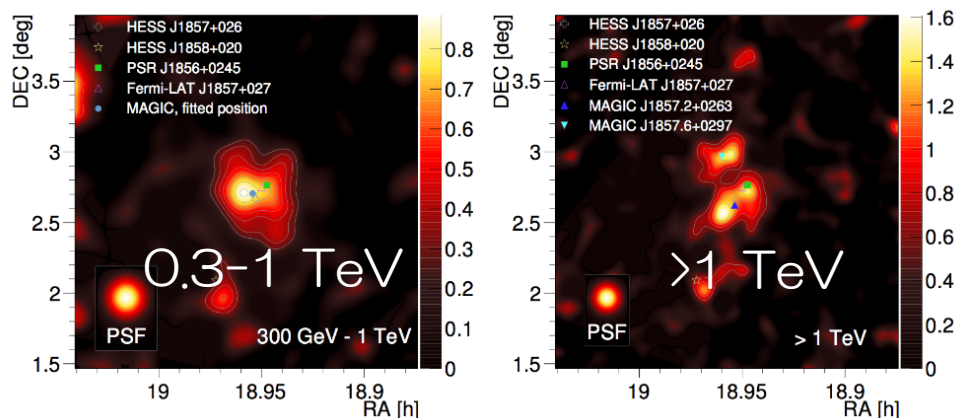


- 最もVHE光度の低いPWNの発見。0.65% Crab
- 放射を説明するには、銀河平均の10倍の赤外線フラックスか、距離の修正が必要(3.2 kpc → 2.0 kpc)

パルサー星雲、超新星残骸

■ HESS J1857+026の観測

A&A 571 (2014) 96

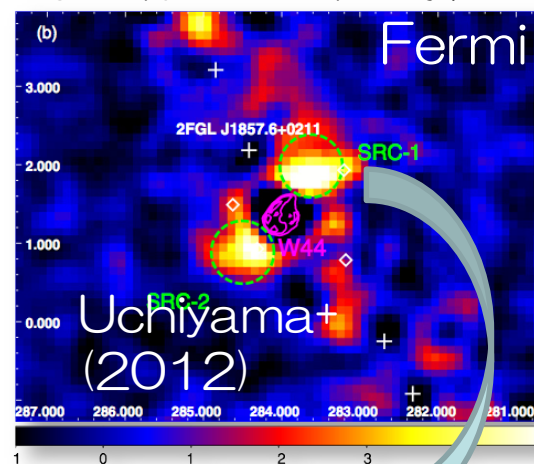


- 広がったHESS ソースを二つのソースに解像。
- 一方はPWN, 他方は分子雲と逆相関があることが判明(電子起源?)。

■ 超新星残骸W44周辺からの

VHE放射の探索 花畑(ICRR)+

宇宙線逃走過程を探る



Fermi

W44
SRC1

MAGIC

公開版では図削除

- MAGIC(100h)で検出されず
- 拡散係数等に制限

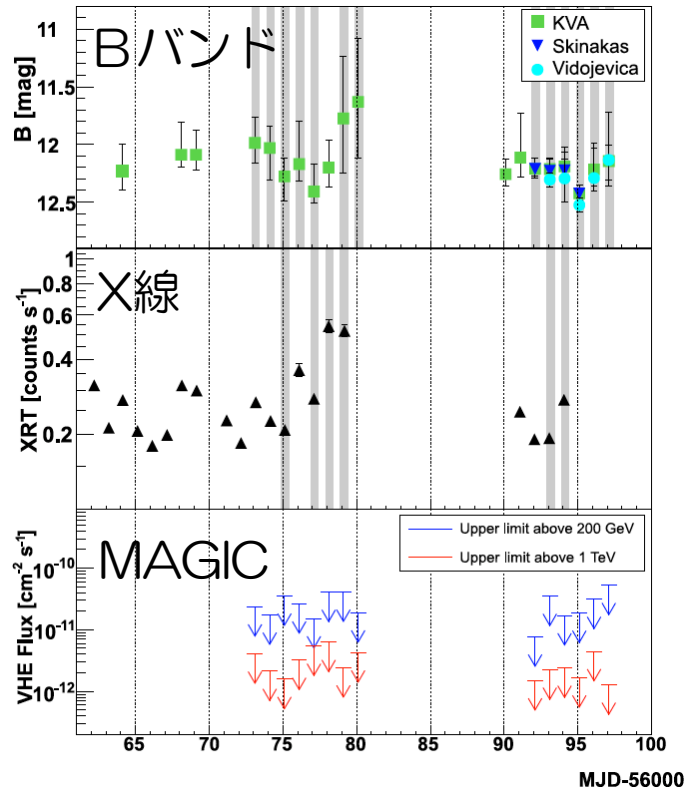
連星系

■ 激変星AE AquariiからのVHE放射の探索

A&A 568 (2014) 109

Hadasch(ICRR)+

➤ 白色矮星+恒星 (DQヘラクレス型)



■ マイクロウェーサー LSI +61 303

Hadasch(ICRR)+

➤ コンパクト星+Be星

質量損失 Be星→星周円盤

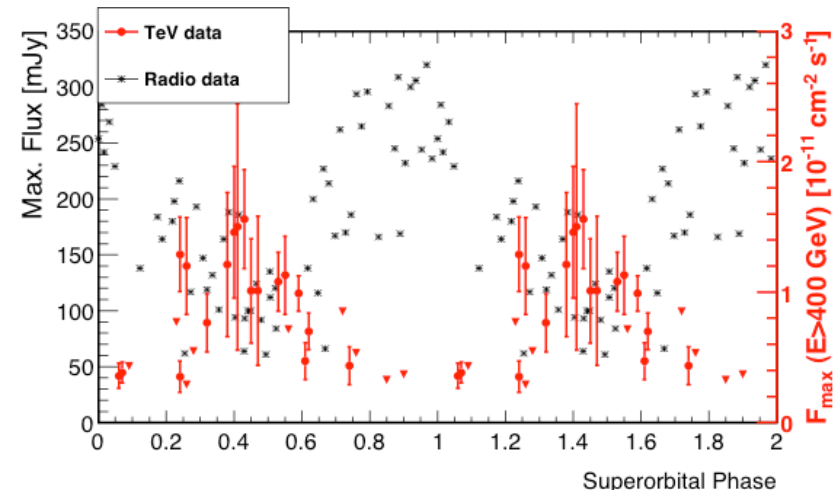
➤ 軌道周期(26.5日)変動に加え、超軌道変動(1667日)が最初に電波で発見

➤ MAGIC VHE γ 線検出

MAGIC複数年観測の目的

➤ 超軌道変動とTeV γ 線の相関

➤ Be星decretion diskサイズ($H\alpha$ 輝線幅から算出) とTeV γ 線の相関



論文準備中+複数年観測継続中

MAGICによる γ 線上限値 $\Rightarrow$ 放射機構制限

□ プロペラモデル(磁気リコネクション) ✗

□ 白色矮星磁気圏で加速された電子

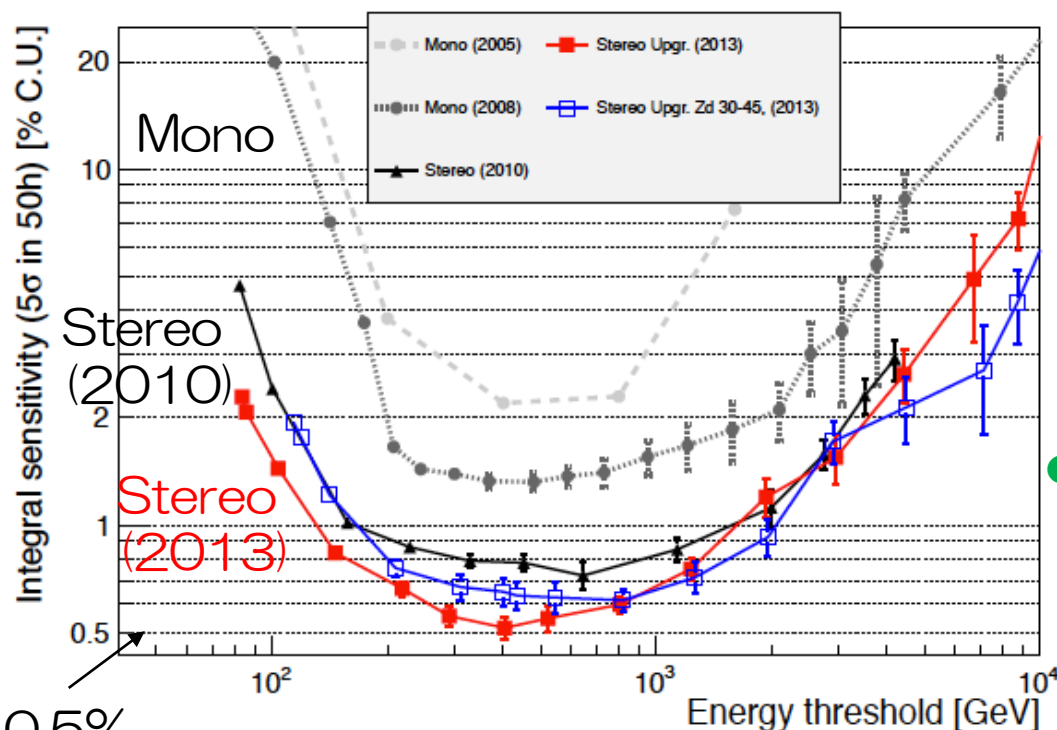
による逆コンプトン 無矛盾

望遠鏡アップグレード

2011-2012年

- カメラ・回路等アップグレード
(2012年本会で報告)

Submitted to *Astropart. Phys.* Mazin (ICRR) +
(arXiv:1409.6073 & 1409.5594)



特に低エネルギー側の感度改善

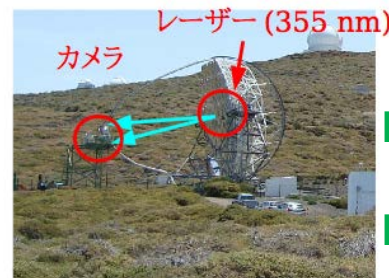
2013年-2014年

- 新トリガー方式導入 中嶋(ICRR) +
エネルギー閾値 50 → ~30 GeV

(調整終了すれば)

2013年、回路インストール
(2013年本会で報告)

全てのPMTの信号のタイミングや波
高が精度よく揃っている必要がある。



今年1-2月調整

- 波高
調整完了11%→4%
- タイミング 調整中

- LIDARによる大気透明度の補正
野田(MPI) +



光子数

公開版では
図削除

高度

まとめ

- MAGIC 口径17m望遠鏡2台によるVHE($E > 50$ GeV)ガンマ線観測
- 2014年査読付論文19編
- 電波銀河IC310から、約5分の強度変動→放射領域サイズ<BHサイズの放射発見。回転ブラックホール極付近の磁気圏に発生した電位ギャップにより電子・陽電子が加速され、逆コンプトンでガンマ線が放射されると説明。
- VHE γ 線天体発見 ①最遠方：重力レンズBlazar S3 0218+35($z=0.94$)、②HBL RXJ1136.5+6737($z=0.13$)、③パルサー星雲3C58 (光度最小PWN)。
- BL Lac天体の放射機構—多波長観測→1-zone SSC: MAGIC J2001+439、Mrk501。2-zone SSC: PKS1424+240($z \gtrsim 0.60$)、Mrk421。
- 銀河間磁場で散乱された広がった放射（ハロー）探索→未検出
- パルサー： 公開版では削除
- HESS J1857+026は、1TeV以上で、パルサー星雲とunIDに解像。
- 連星系：激変星AE Aquarii未検出→白色矮星磁気圏で加速された電子の逆コンプトンモデルと無矛盾。マイクロクェーサー LSI+61 303で、超軌道変動、Be星円盤サイズ、VHE γ 線の相関を調査中。
- 望遠鏡アップグレード：トリガ回路改良。エネルギー閾値 ~ 30 GeVに下がることが期待(回路調整中)。LIDARによる大気透明度の補正。