

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, 池野祐平^B, 石尾一馬^C, 井上進^D, 岩村由樹^D, 折戸玲子^E, 加藤翔^D,
櫛田淳子^B, 今野裕介^A, 齋藤隆之^A, 高橋光成^D, 谷川俊介^A, 辻本晋平^B,
手嶋政廣^{C,D}, 遠山健^C, 中嶋大輔^D, 永吉勤^D, 西嶋恭司^B, 野田浩司^C,
Daniela Hadasch^D, 林田将明^D, 平井亘^B, 深見哲志^D, Daniel Mazin^{C,D},
増田周^A, 吉田麻佑^B, MAGIC collaboration

今年度新メンバー12名 (院生)

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

MAGIC望遠鏡



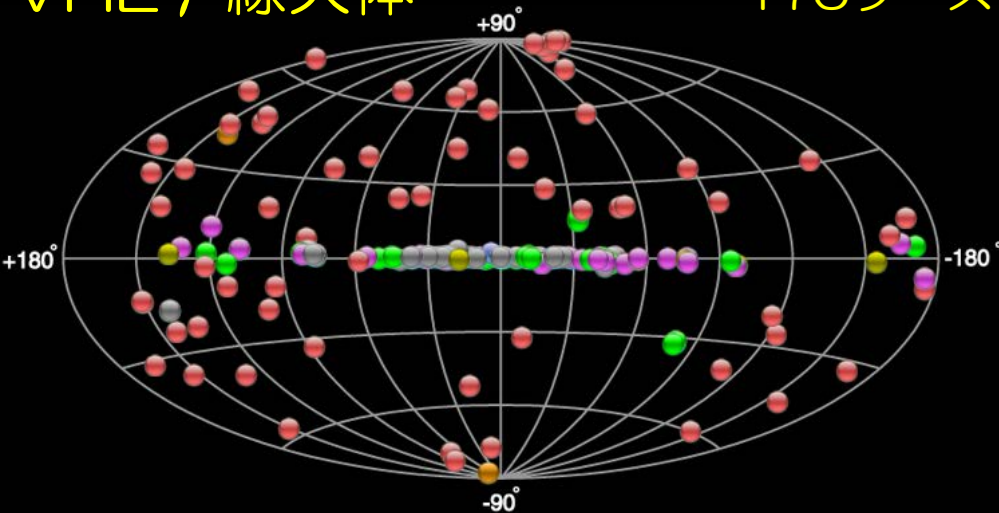
- 口径17 m 解像型
大気チェレンコフ望遠鏡 2台
 - カナリア諸島ラパルマ島
~2200 m a.s.l.
 - エネルギー閾値 ~50 GeV
 - 感度 0.66% Crab nebula (50h)
- MAGIC collaboration
10か国 ~170名

- 査読付論文 2015年1月~ (刊行または印刷中)
15編(活動銀河核9, パルサー・星雲2, 古典・矮新星1, BH/Be連星1, 望遠鏡2)
- 宇宙線研H27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
- 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: [系内] 齋藤, [AGN] Mazin), Publication Board (林田)
 - 観測シフト (高橋, 辻本, 永吉, Hadasch, 増田)、観測データ daily check (高橋, 辻本)

遠方VHEガンマ線天体の発見

VHE γ 線天体

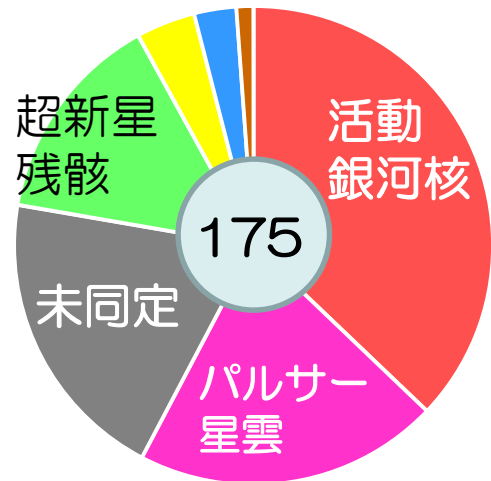
175ソース



TeVCATカタログ

Source Types

- PWN
- Binary XRB PSR Gamma BIN
- HBL IBL FRI FSRQ Blazar LBL AGN (unknown type)
- Shell SNR/Molec. Cloud Composite SNR Superbubble
- Starburst
- DARK UNID Other
- uQuasar Star Forming Region Globular Cluster Cat. Var. Massive Star Cluster BIN BL Lac (class unclear) WR



活動銀河核 計65

HBL	46	Blazar
IBL	8	
LBL	1	
FSRQ	5+1	
FRI	4	

Flat Spectrum Radio Quasar (FSRQ)

Source	redshift	Discoverer	Year
3C 279	0.536	MAGIC	2006
PKS 1510-089	0.361	HESS	2009
PKS 1222+216	0.432	MAGIC	2010
B0218+357	0.944	MAGIC	2014
PKS 1441+25	0.940	MAGIC	2015
S4 0954+65	0.368	MAGIC	2015

現時点で最遠方のVHE γ 線天体

← BL Lac型、 $z \geq 0.45$ の報告あり

最遠方VHEガンマ線天体の発見—PKS 1441+25 ($z=0.940$)

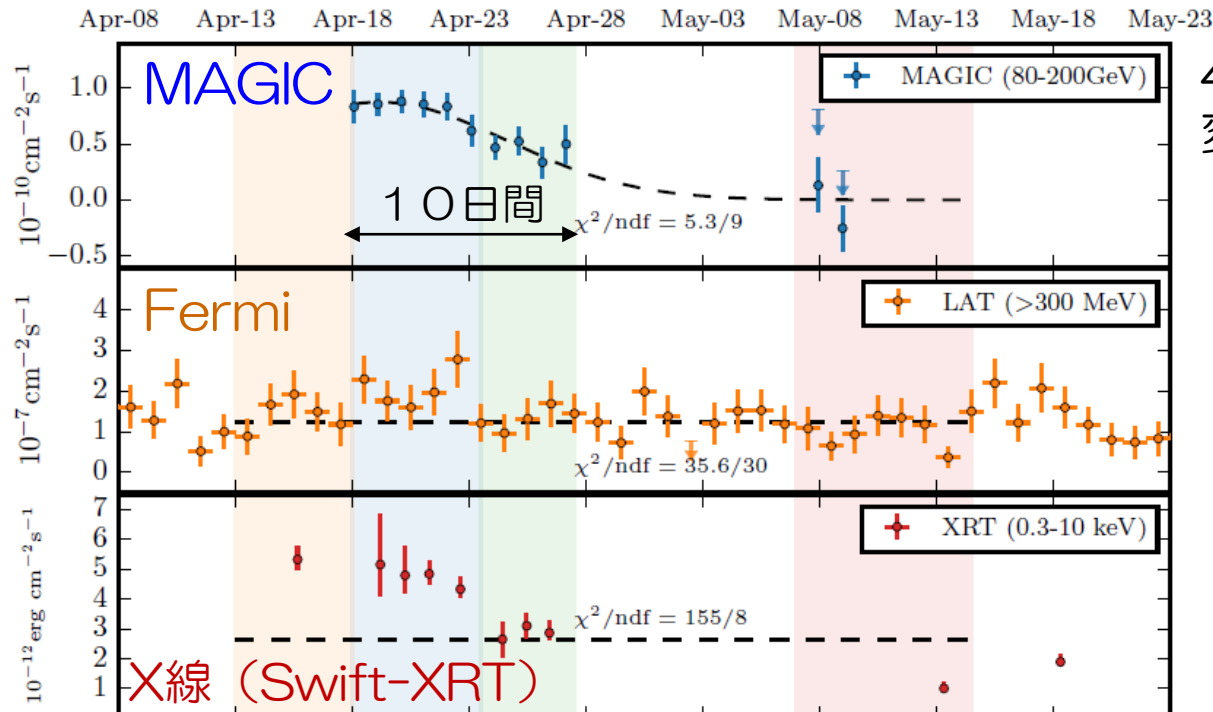
PKS 1441+25

- Flat Spectrum Radio Quasar
- $z=0.9397 \pm 0.0003 \Rightarrow 75$ 億光年

MAGIC, Fermi collaboration+
ApJL, in press

ICRR, NASAなどから
12/16に、プレスリリース

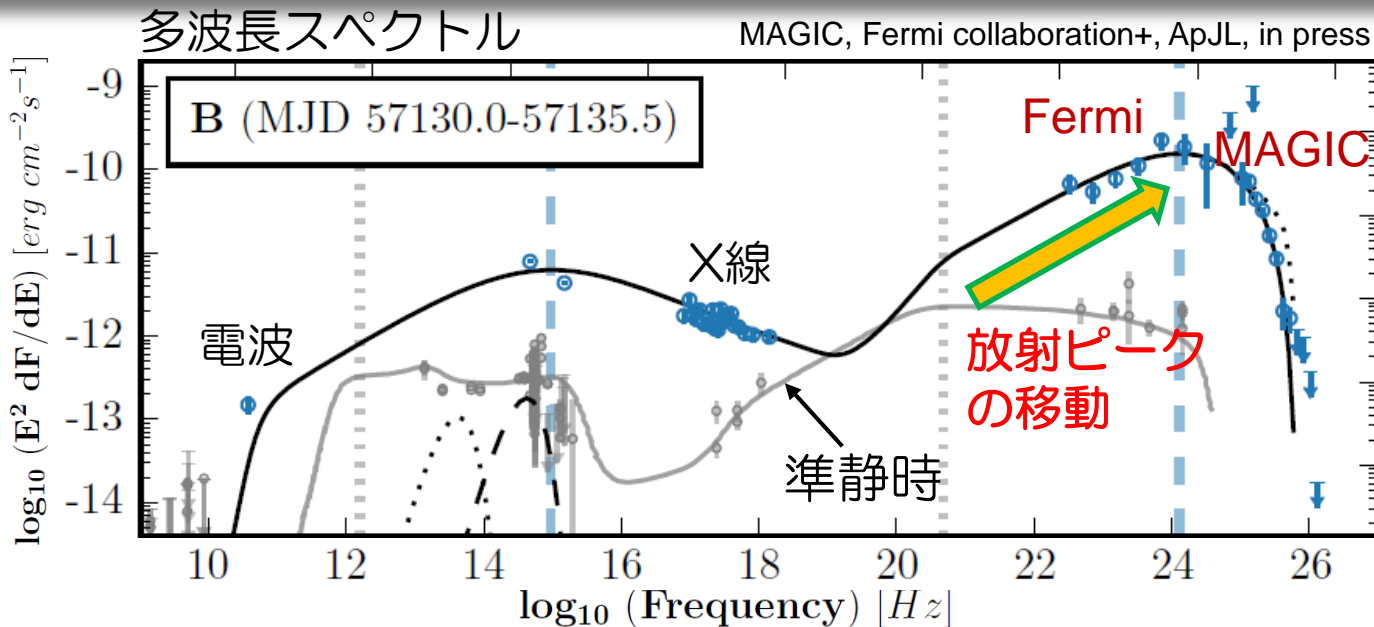
- Fermi-LAT、Optical、X線のフレアアラートを受けて、
2015/4/17-18に、MAGIC観測開始
- 4/17-18(2h) + 4/18-19(4h)のMAGIC観測で、 $>11\sigma$ 検出
VHE γ 線放射発見(\Rightarrow 最遠方VHE γ 線天体) \Rightarrow 速報 *Atel* #7416
- MAGICの結果を受けて、VERITASが4/21にVHE γ 線放射を確認($>5\sigma$)



40-250 GeV (25.5σ)
変動タイムスケール
 6.4 ± 1.9 日

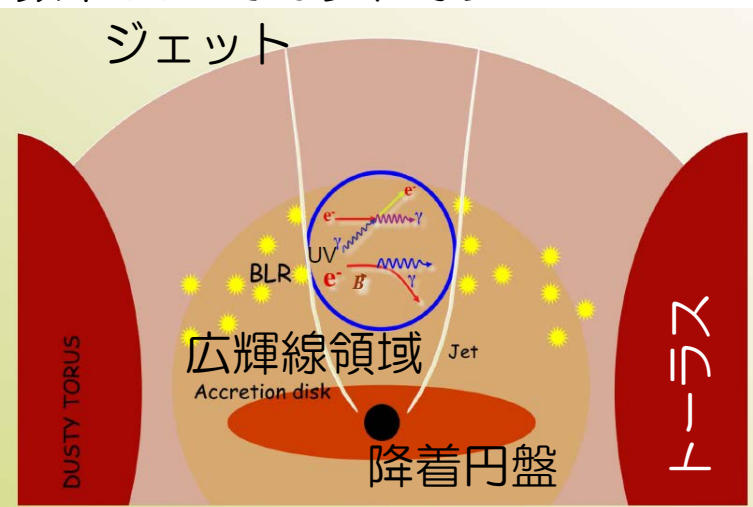
- γ 線観測結果から
- ① γ 線放射領域
 - ② 銀河間可視赤外線放射
に対する制限を得た
 \Rightarrow 次頁へ

最遠方VHEガンマ線天体 PKS 1441+25 ($z=0.940$) ① γ 線放射領域



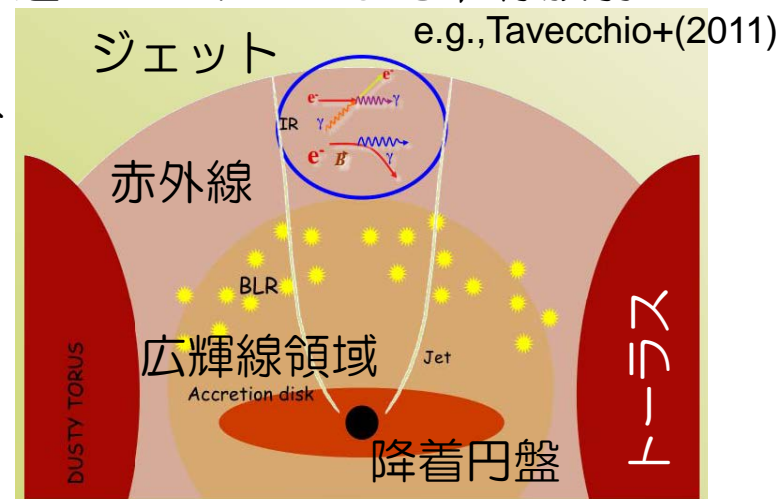
広輝線領域 (BLR) からのUVでガンマ線吸収
数十GeVでカットオフ

広輝線領域 (BLR) 外側での
逆コンプトンによる γ 線放射



準静時

光子密度 内 > 外
電子冷却 >
電子 γ max <



フレア時

Stamerra's presentation



②銀河間可視赤外背景放射(EBL)によるガンマ線吸収

遠方天体
blazar

Extragalactic Background Light

地球
IACT

γ_{VHE}

γ_{EBL}

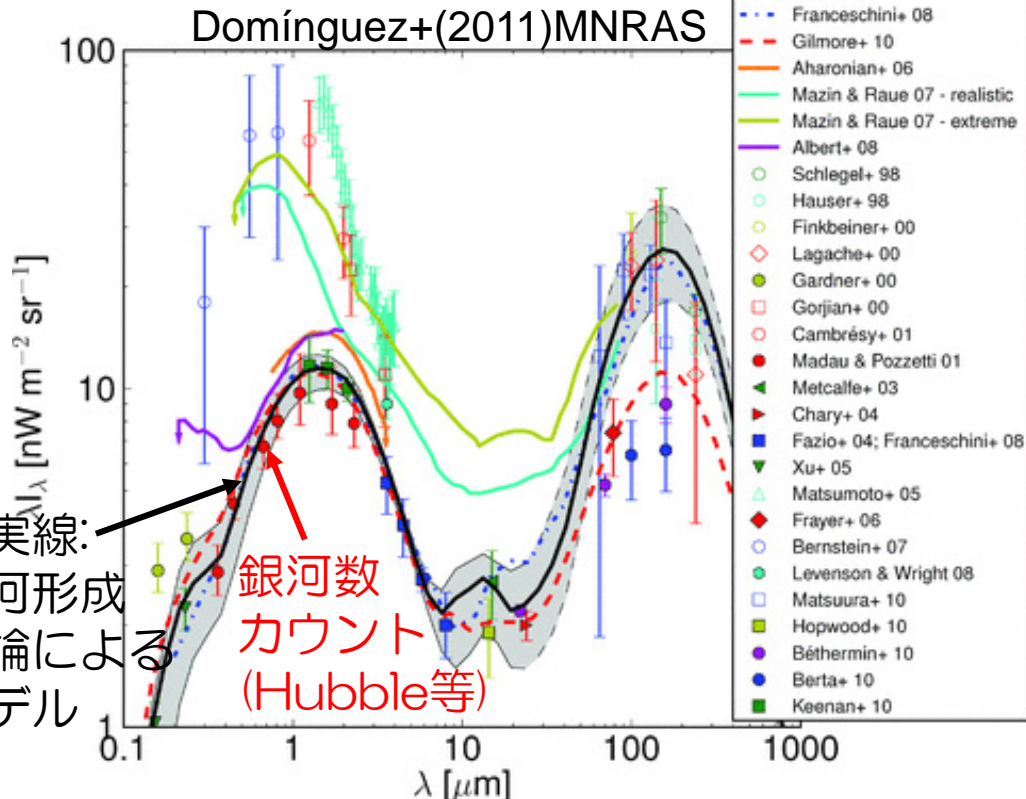
e^+

e^-

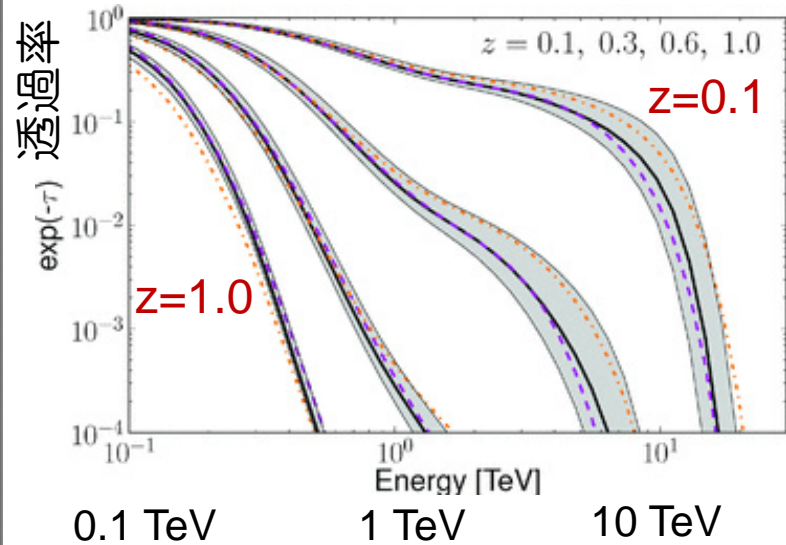
ガンマ線+可視赤外線→電子+陽電子

◆宇宙の星・銀河形成史のトレーサー

◆可視赤外観測では1桁の不定性あり

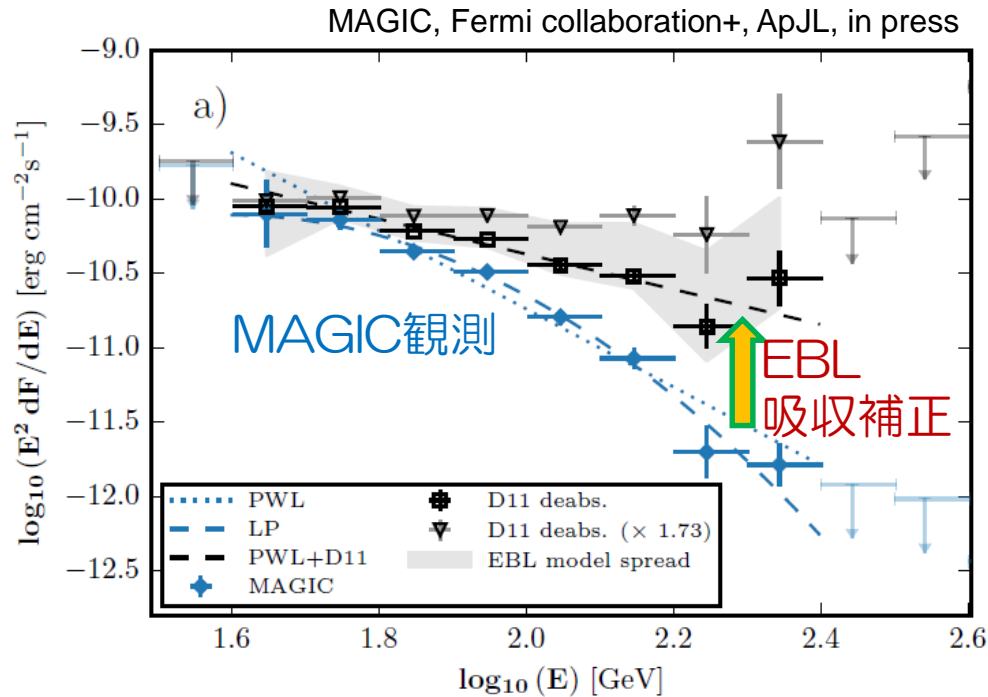


EBLによる γ 線吸収(左図モデル)



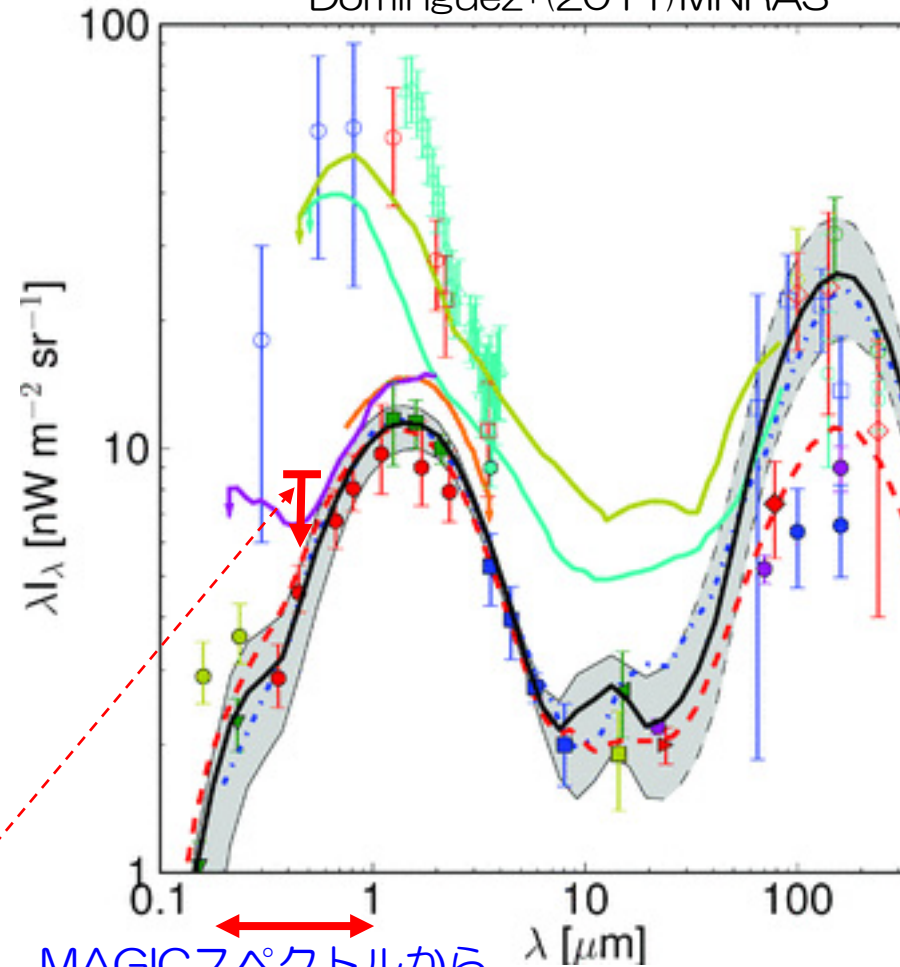
② γ 線吸収からの銀河間可視赤外背景放射(EBL)強度推定

PKS 1441+25 ($z=0.940$) のMAGIC観測から



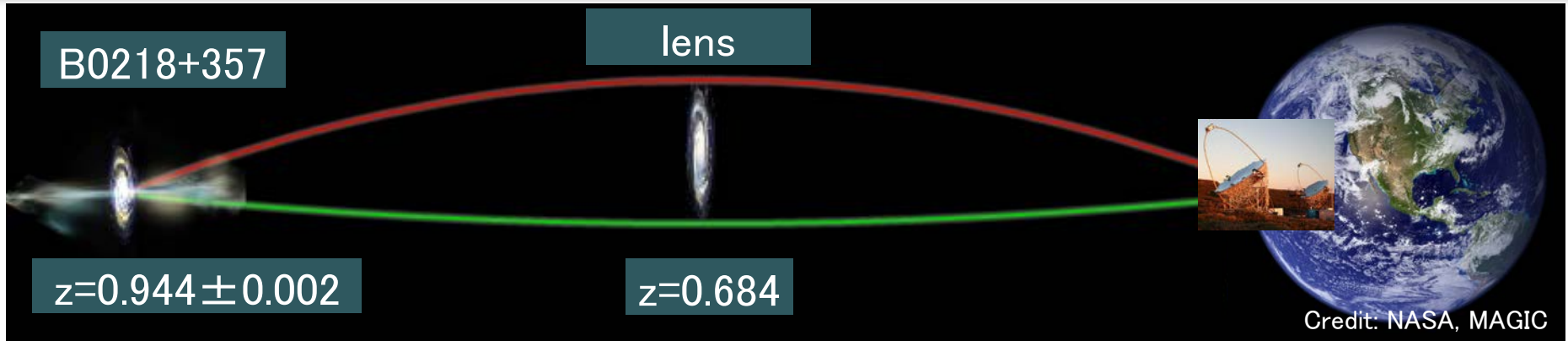
⇒EBLモデル(の光学的厚み τ)に対する
Scaling factor < 1.73 (95% C.L.)
Dominguezモデルの場合

前頁の
Dominguez+(2011)MNRAS



MAGICスペクトルから
制限が付けられる波長範囲
($0.21 < \lambda < 1.13 \mu\text{m}$)

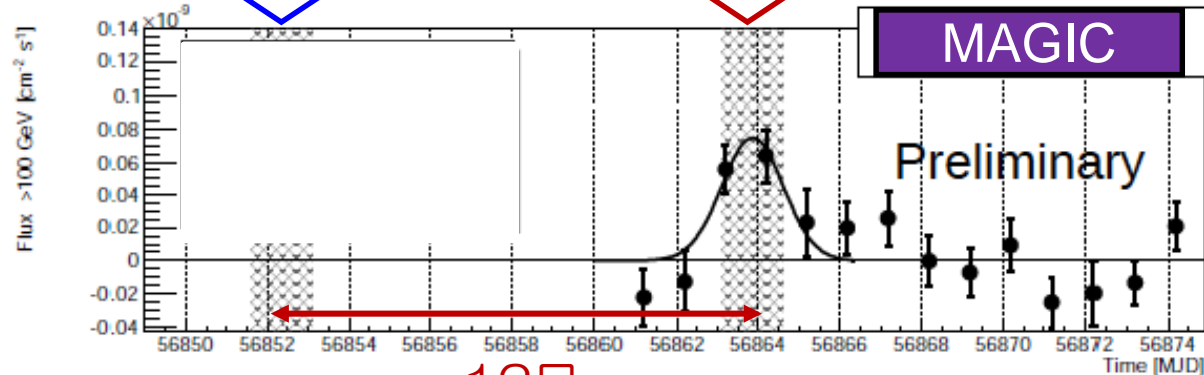
重カレンズBlazar B0218+357 (z=0.944) のフレア遅延



Mazin+

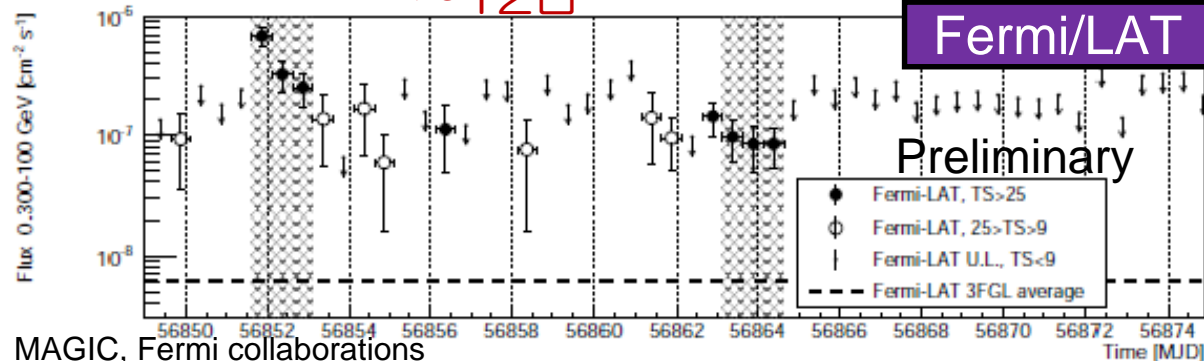
①先行フレア

②遅れたフレア



①2014/7/13-14
Fermi フレア検出
→MAGIC 満月で観測できず

②2014/7/23-26
MAGIC 観測で
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



MAGIC, Fermi collaborations

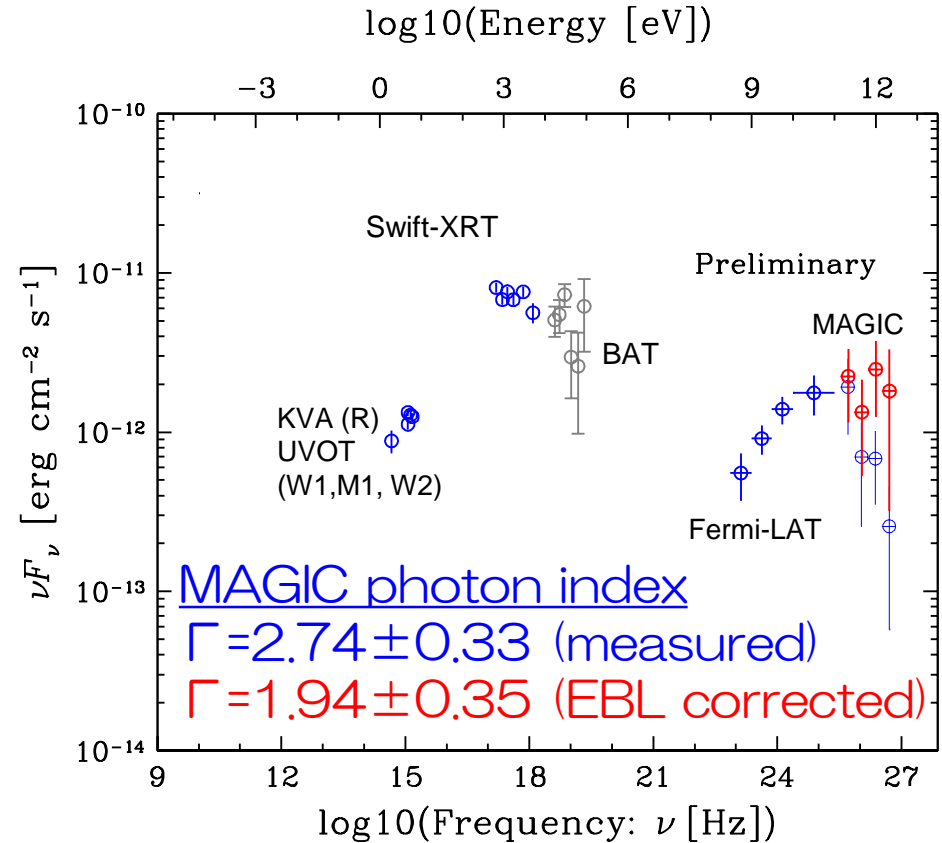
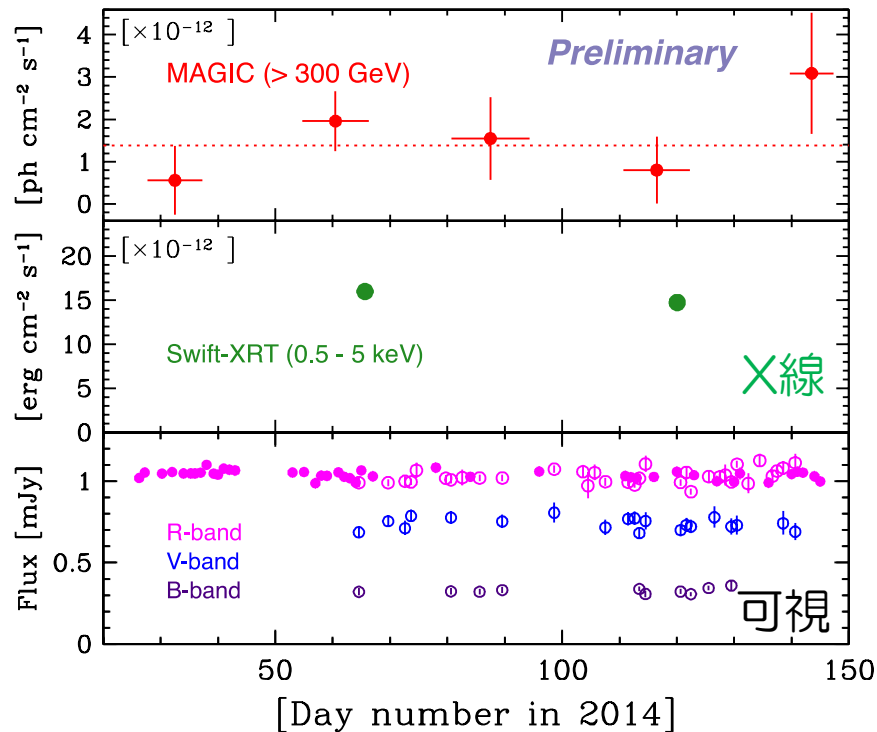
活動銀河核 RX J1136.5+6737 (z=0.134)

林田, 今野+, ICRC2015,
MAGIC coll. in prep.

- High-frequency peaked BL Lac 天体 (HBL)
- MAXI/GSC (4-10 keV) カタログで7番目に明るいBL Lac天体
- MAGIC観測: 2014年 1/29-5/28 (35日間), 32.8 hr

⇒ VHE γ 線放射を発見

1.3 ± 0.3 % Crab Nebula flux
(有意な変動無し)



2 TeVまでハード ($\Gamma < 2$) で伸びるスペクトル。
⇒ 電子が TeV 以上の高エネルギーまで
効率よく加速

他の活動銀河核

- IBL天体 S2 0109+22
(赤方偏移 未知)
辻本、西嶋、櫛田+
Fermi-LAT HE (E>50 GeV)
フレア情報によりMAGICで観測
(2015年7月22-28日)
⇒7月25日 VHE γ 線放射を発見
速報 Atel #7844

- LBL天体 BL Lacertae(z=0.07)
辻本、西嶋、櫛田+
Fermi-LAT とKVA(Optical)の
フレア情報によりMAGICで観測
(2015年6月15-28日)
⇒6月15日 VHE γ 線フレアを検出
速報 Atel #7660

- 他のVHE γ 線フレア検出速報

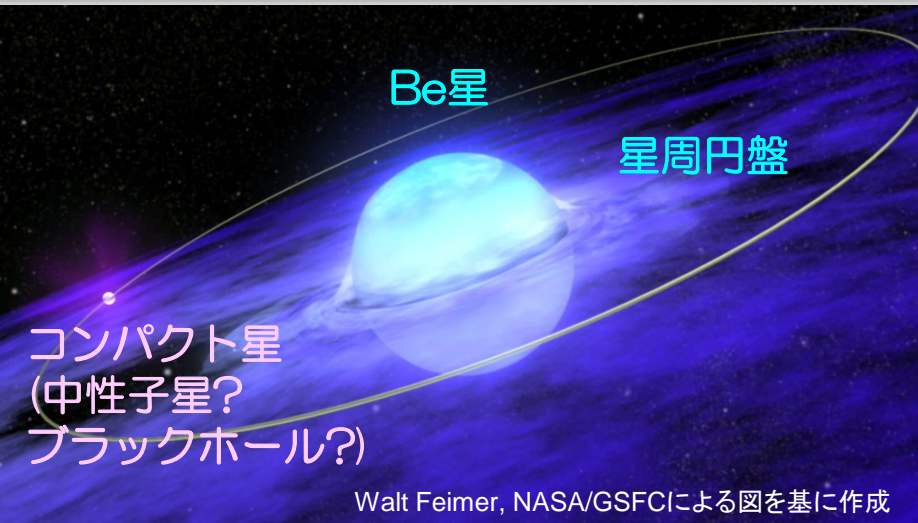
(2015)
Atel
#6999 IBL S5 0716+71 (z=0.31)
#7542 FSRQ PKS1510-089 (z=0.36)

- HBL天体 Mrk501 (z=0.03) 野田+

公開版から図を削除しました。

ガンマ線連星 LSI +61° 303

Hadasch+

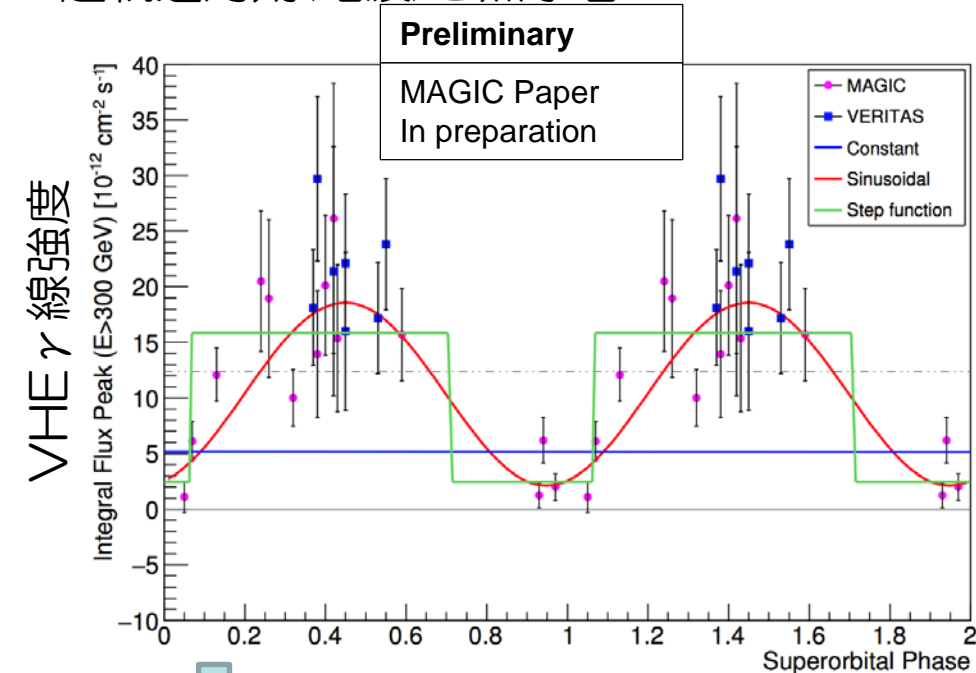


- 2006年、MAGICによるVHE γ 線放射の発見
- MAGICとVERITASを合わせた 2006-2015年のVHE γ 線強度変動周期は、超軌道周期(電波)と無矛盾

軌道周期: 26.496 ± 0.0028 日

超軌道周期(電波): 1667 ± 8 日

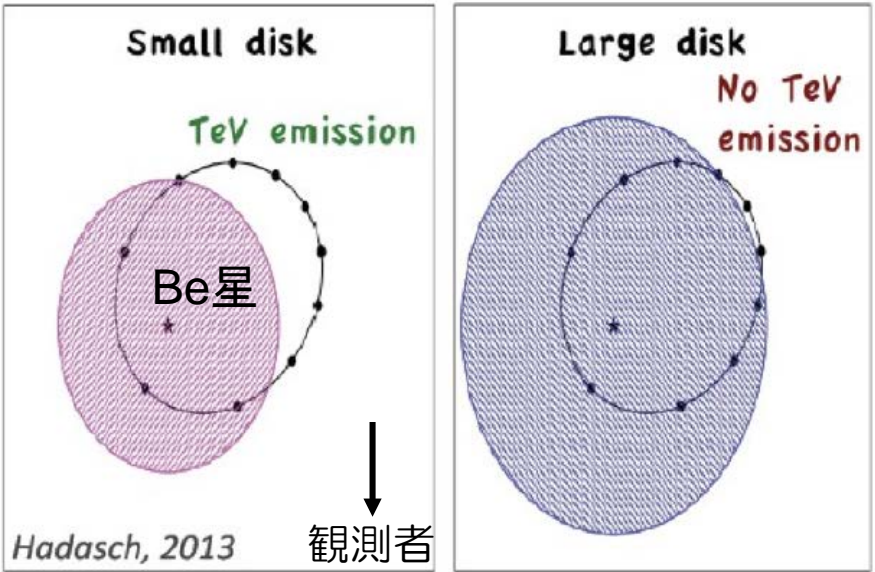
(Gregory+, 2002)



超軌道位相

星周円盤の大きさ(Be星の質量損失率)の変動?

多波長キャンペーン 来年も継続



Crabパルサー・星雲

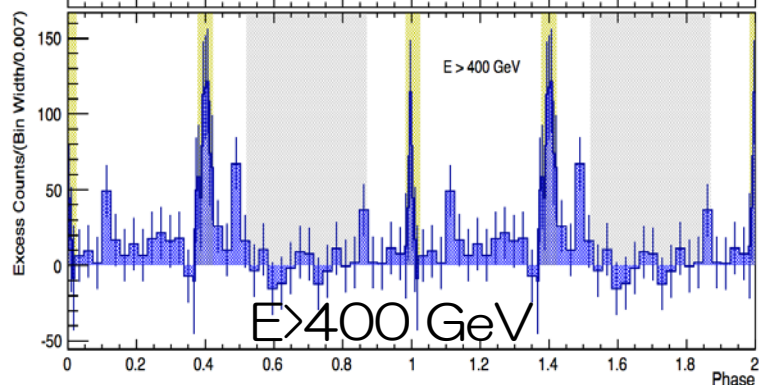
JHEAp(2015)

Mazin+

Crab PulsarからのTeV ガンマ線パルスの発見

A&A, in press

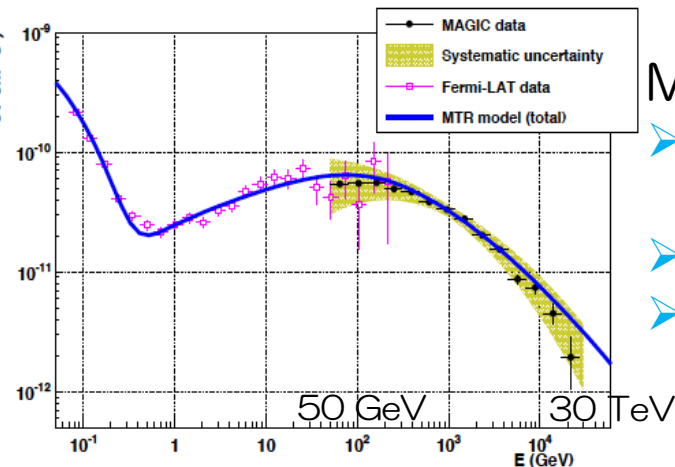
齋藤+



E > 400 GeV

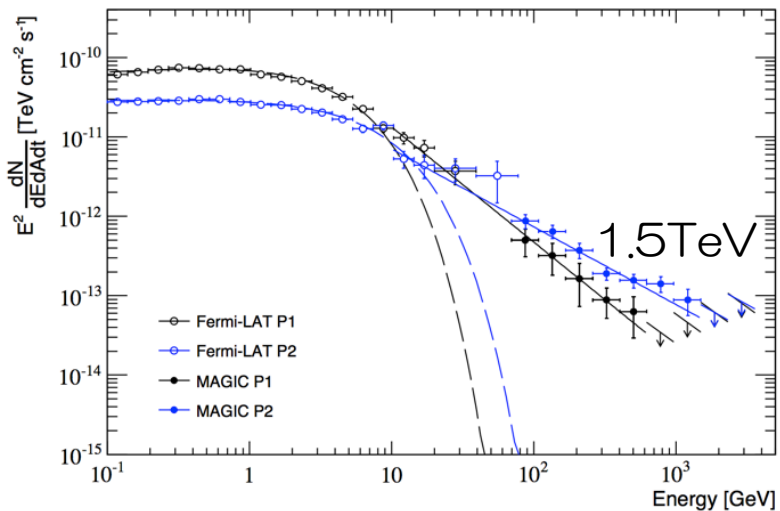
TeV cm⁻² s⁻¹

Crab nebula

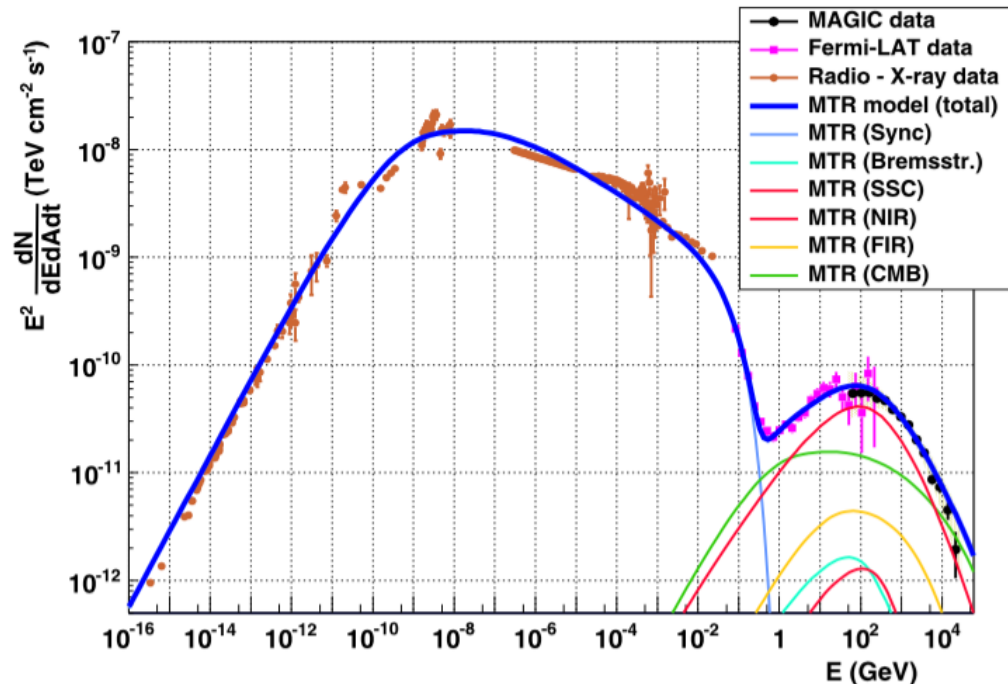


MAGIC観測

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



1.5 TeV



⇒電子ローレンツ因子 $>5 \times 10^6$
 パルサー風中の逆コンプトンモデル
 Aharonian+(2012) は(ほぼ)棄却

まとめ

- MAGIC 口径17m望遠鏡2台によるVHEガンマ線($E > 50$ GeV)観測
- 2015年査読付論文 15編
- MAGICでPKS 1441+25($z=0.940$)からのVHE γ 線放射を発見(今年4月)
 - MAGICでVHE γ 線放射が昨年発見された重力レンズBlazar B0218+357($z=0.944$)とともに、最遠方VHE γ 線天体
 - 銀河間可視赤外背景放射に対して上限値—銀河形成理論によるEBLモデルや、銀河数カウントと無矛盾
 - フレア時のガンマ線放射領域は、広輝線領域(BLR)外側
- VHE γ 線天体の発見: 上記+①IBL天体 S2 0109+22 (z 未知)
+②HBL天体 RX J1136.5+6737 ($z=0.134$)
- HBL天体の放射機構— Mrk501多波長観測→SSC過程による放射
- ガンマ線連星 LSI +61° 303—VHE γ 線の超軌道周期変動の発見(Be星周円盤サイズ変動起源?)
- かにパルサーからのTeV γ 線パルスの発見(パルサー風のICモデルほぼ棄却)
- かに星雲のエネルギー帯域3桁スペクトルの取得