

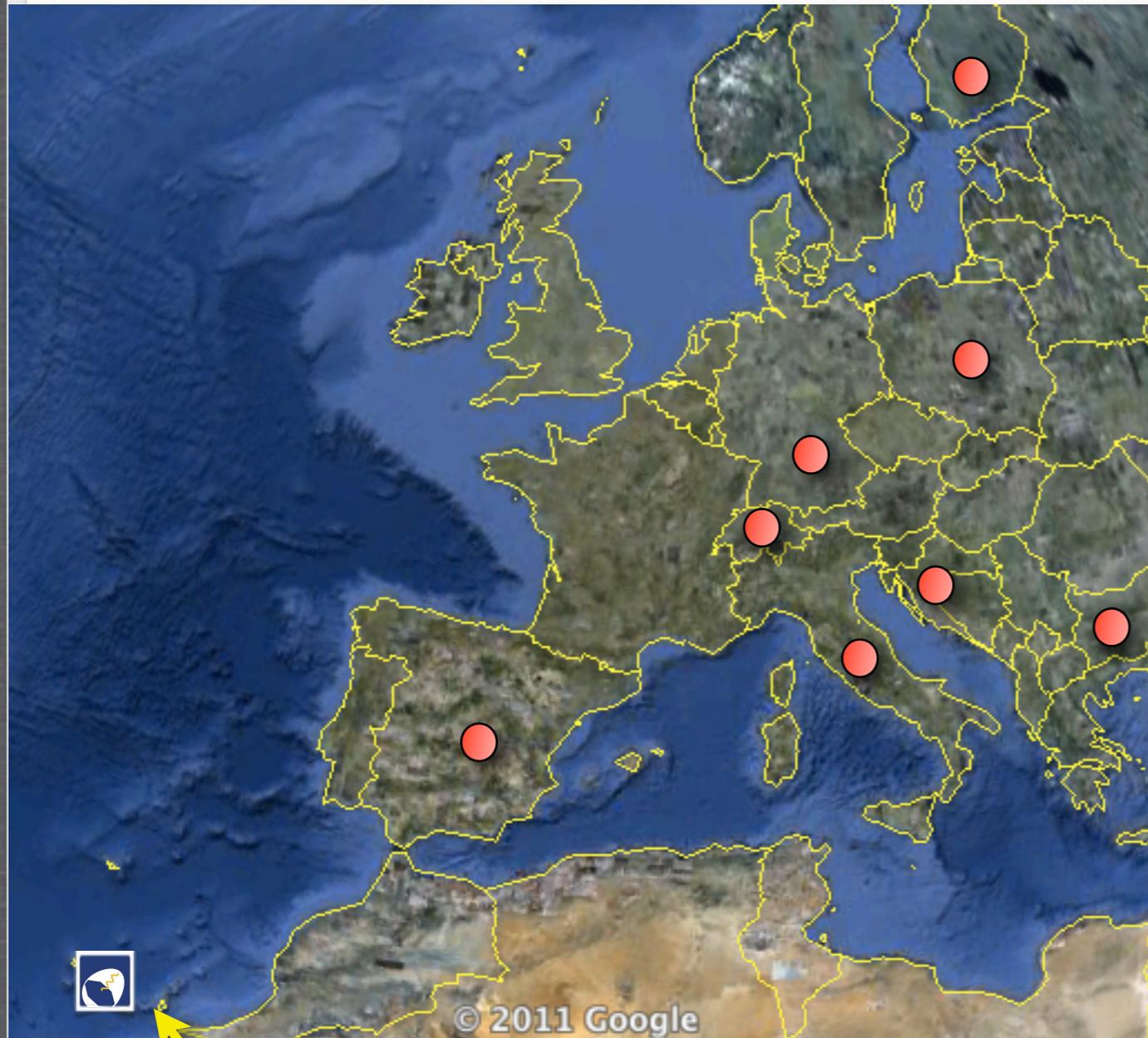
# MAGIC望遠鏡による 遠方ブレーザー天体の観測

齋藤浩二

ICRR, チェレンコフ宇宙ガンマグループ

22 April 2013

# MAGIC望遠鏡



MAGIC(Major Atmospheric Gamma-ray Imaging Cherenkov) Collaboration:

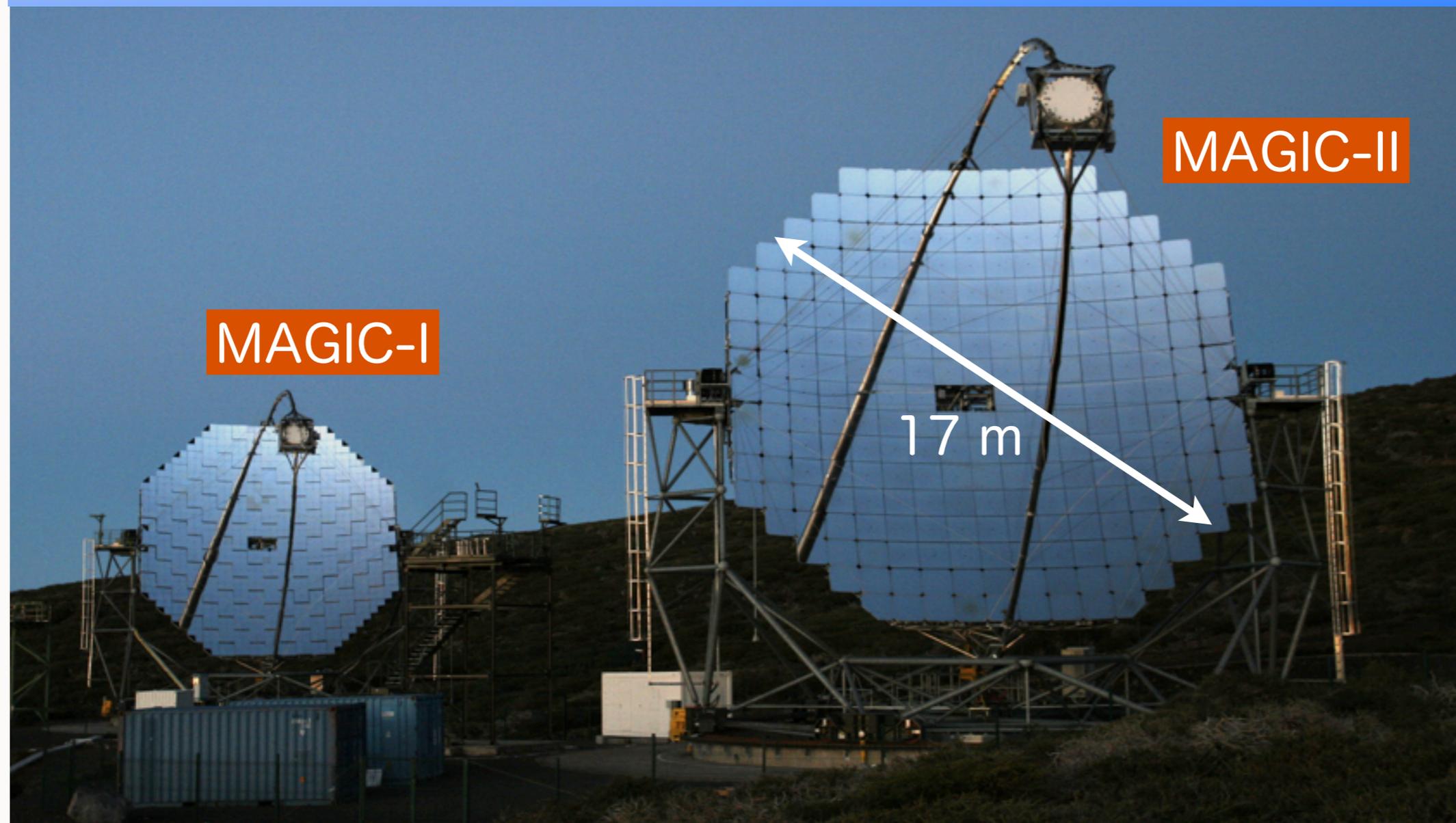
- **Bulgaria:** Sofia
- **Croatia:** Consortium
- **Finland:** Tuorla Observatory
- **Germany:** DESY Zeuthen, Dortmund, MPI München, Univ. Würzburg
- **Italy:** INFN Padova, INFN Siena/Pisa, Univ. Siena, INFN Udine, INAF consortium, Univ. Insubria
- **Japan:** Consortium
- **Poland:** Univ. Łódź
- **Spain:** Univ. Barcelona, UAB Barcelona, IEEC-CSIC Barcelona, IFAE Barcelona, IAA Granada, IAC Tenerife, Univ. Complutense Madrid
- **Switzerland:** ETH Zurich

MAGIC望遠鏡: スペイン・ラパルマ島

(28°46N, 17°53W, 2231 m a.s.l.)

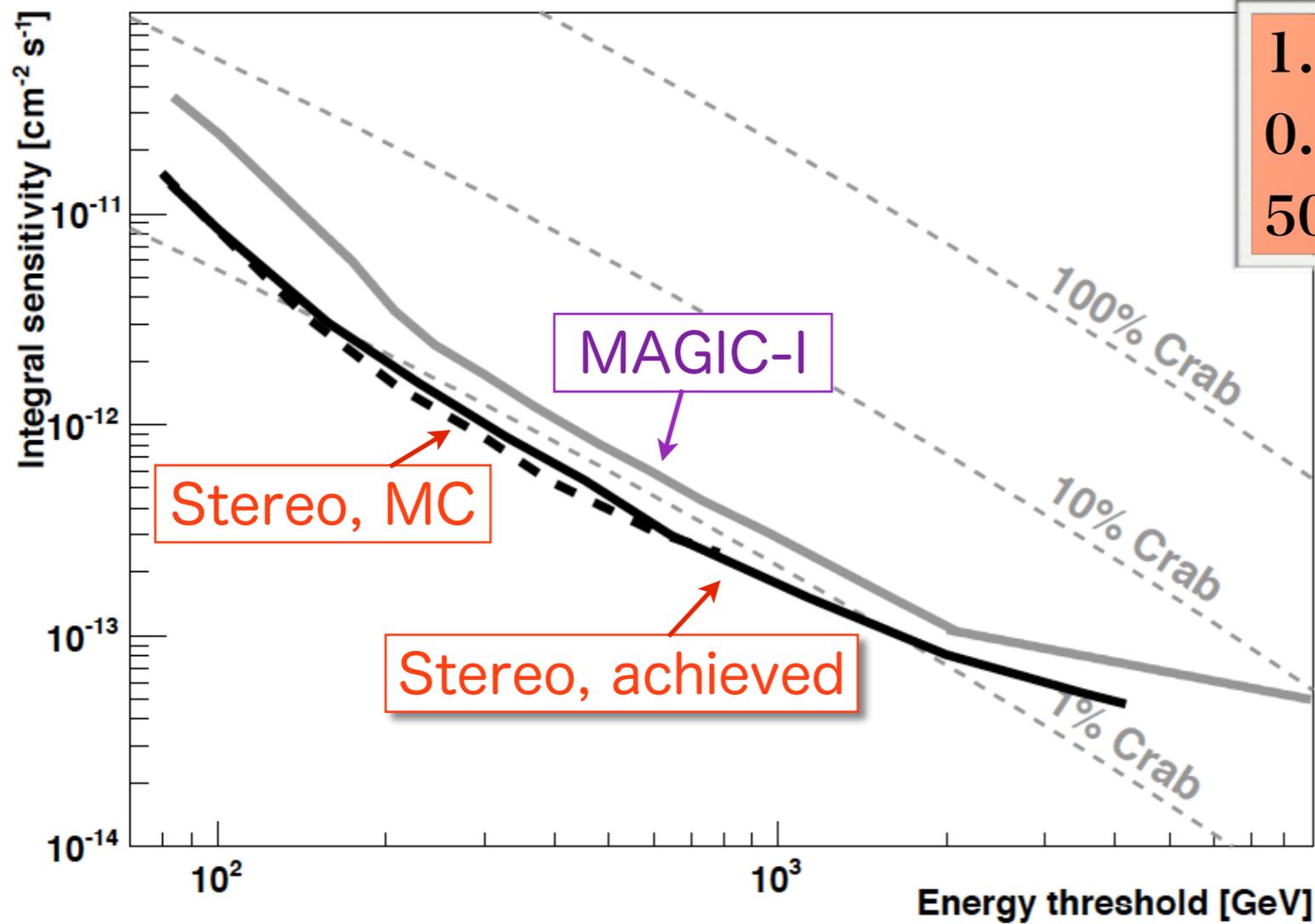
# MAGIC望遠鏡

- \* 17 m鏡面を持つ大気チェレンコフ望遠鏡
- \* エネルギー閾値: 50 GeV
- \* 2004年～ MAGIC-I、2009年～2台の望遠鏡によるステレオ観測
- \* 2011-2012年 望遠鏡アップグレード



# MAGIC望遠鏡

Stereo Performance(アップグレード前)



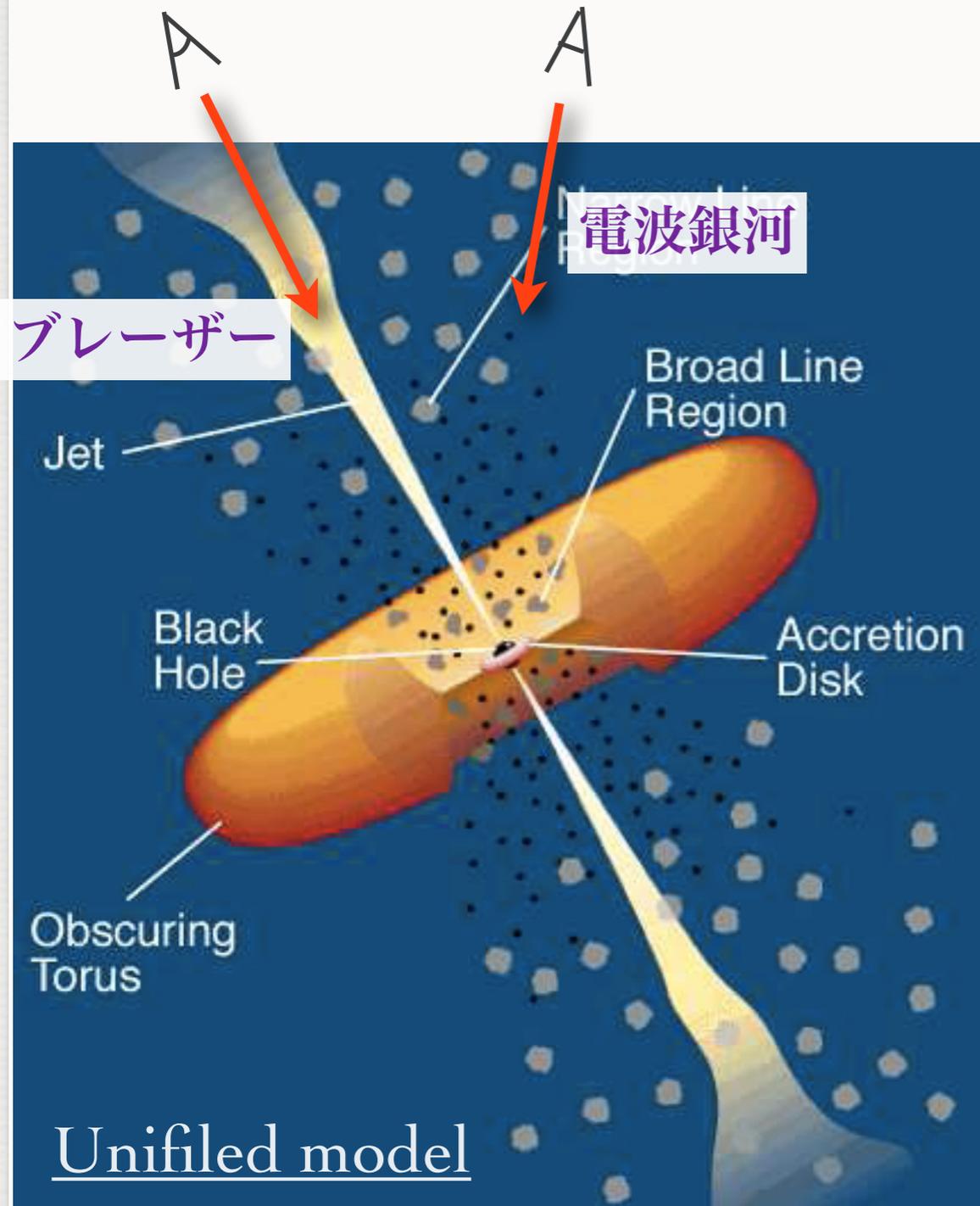
感度

1.6 % Crab Unit (>100 GeV)  
0.8 % Crab Unit (>250 GeV)  
50 GeV - 200 GeVで世界最高感度

角度分解能

0.10° (100 GeV)  
0.07° (250 GeV)  
シングル時より20 %向上

# 活動銀河核 (AGN)



## ブレーザー:

ジェットが観測者方向を向く → ビーミング効果により観測フラックスが高くなる

❖ **BL Lac**: ほぼジェット成分のみ

❖ **Flat Spectrum Radio-loud Quasar (FSRQ)**:

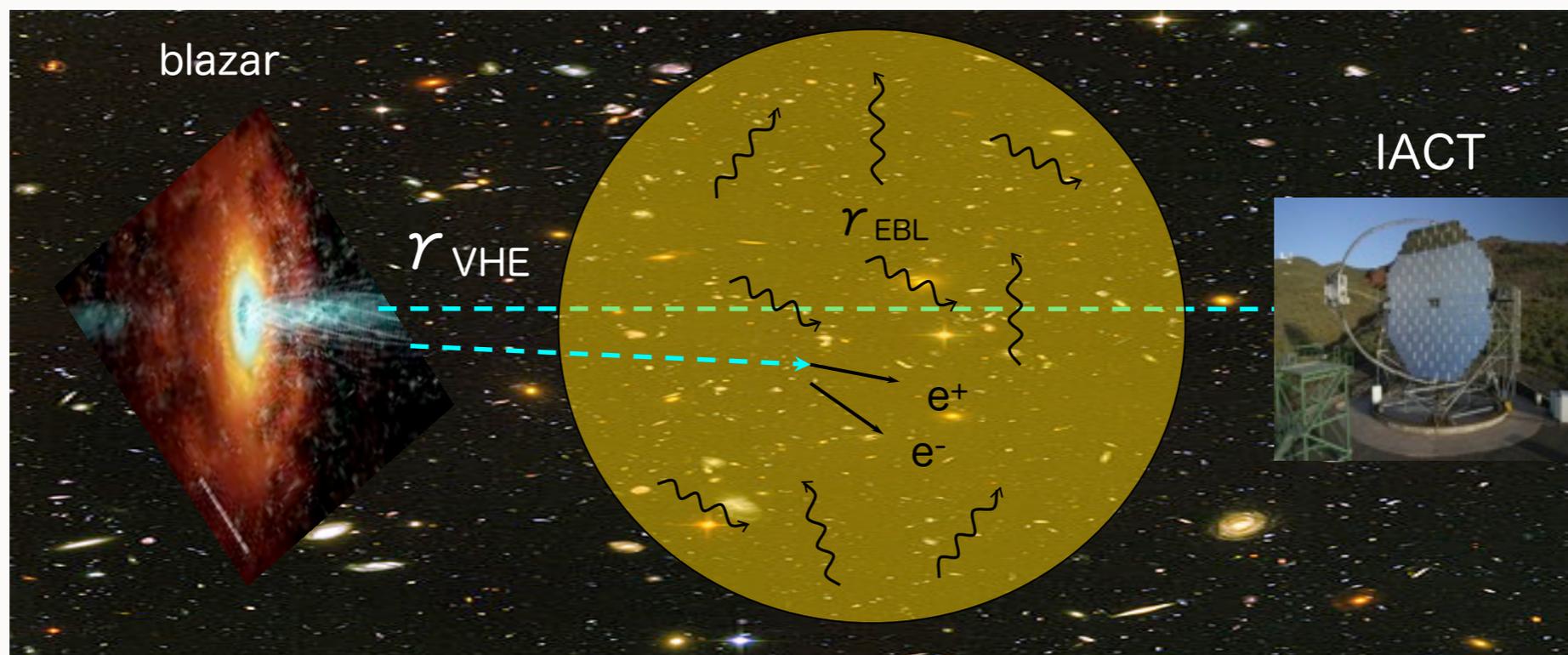
ジェット + BLR等からの放射

## 電波銀河:

ジェットが観測者の視線方向から $30^\circ$ 以上傾いている

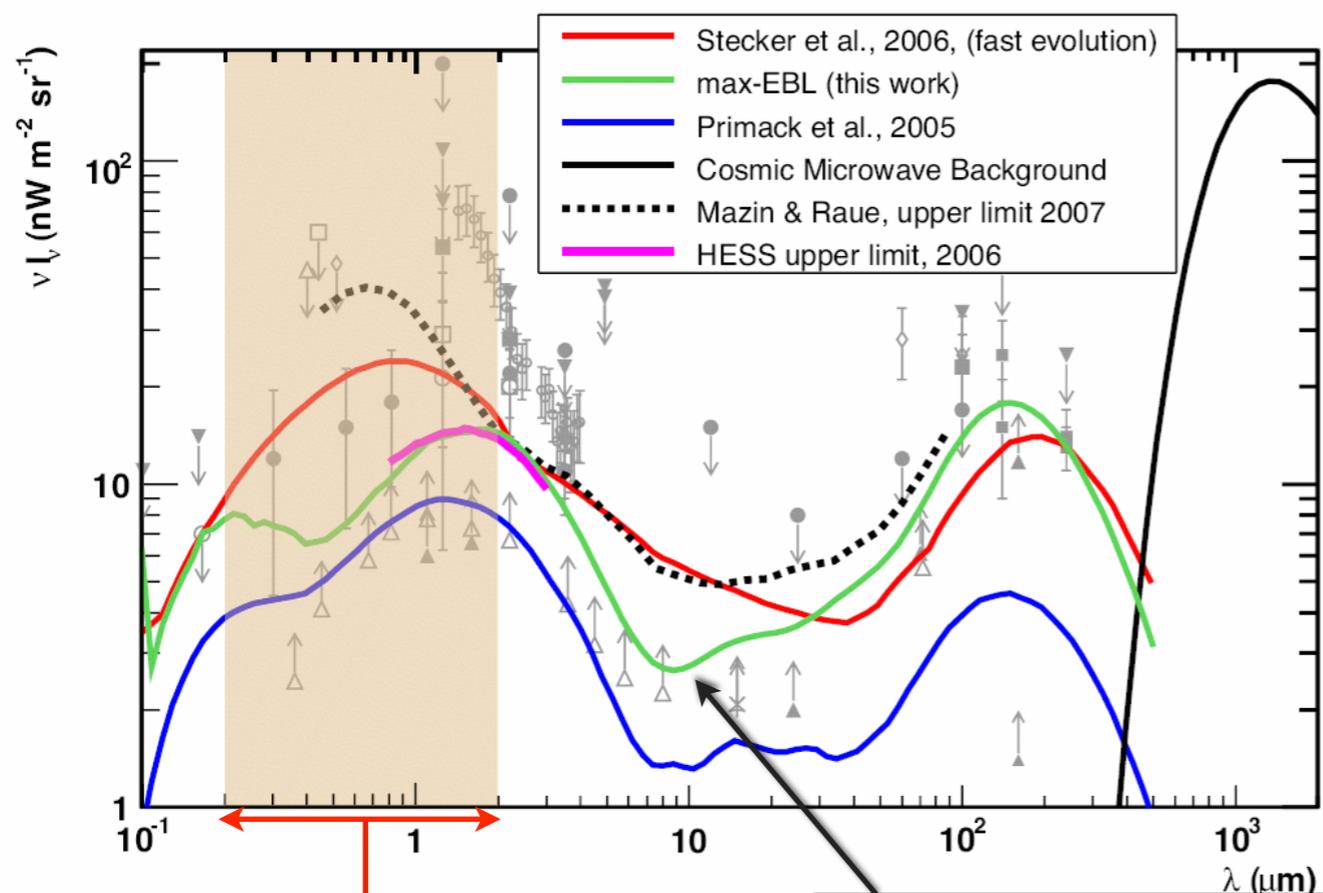
# EBL

- 宇宙は銀河系外背景光(Extragalactic Background Light, EBL - 全ての宇宙史における系外天体からの光の積み重ね)で充満されている
- EBLの直接観測は銀河面放射、太陽光などにより困難
- 遠方天体からのVHEガンマ線はEBL光子の強い吸収を受ける
$$\gamma_{\text{VHE}} + \gamma_{\text{EBL}} \rightarrow e^+ + e^-$$
- EBL吸収量を見積もることで、間接的にEBL強度に制限を付けることが可能

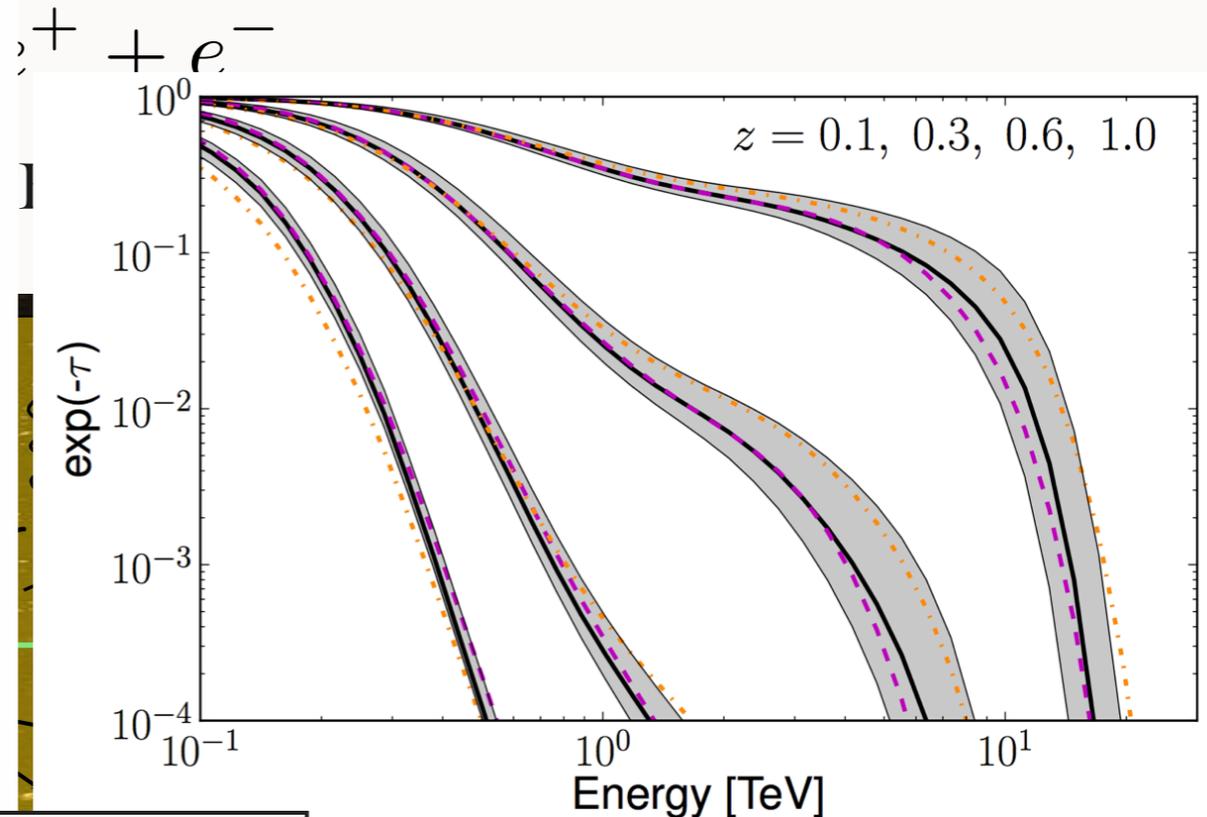


# EBL

- 宇宙は銀河系外背景光(Extragalactic Background Light, EBL - 全ての宇宙史における系外天体からの光の積み重ね)で充満されている
- EBLの直接観測は銀河面放射、太陽光などにより困難



の強い吸収を受ける



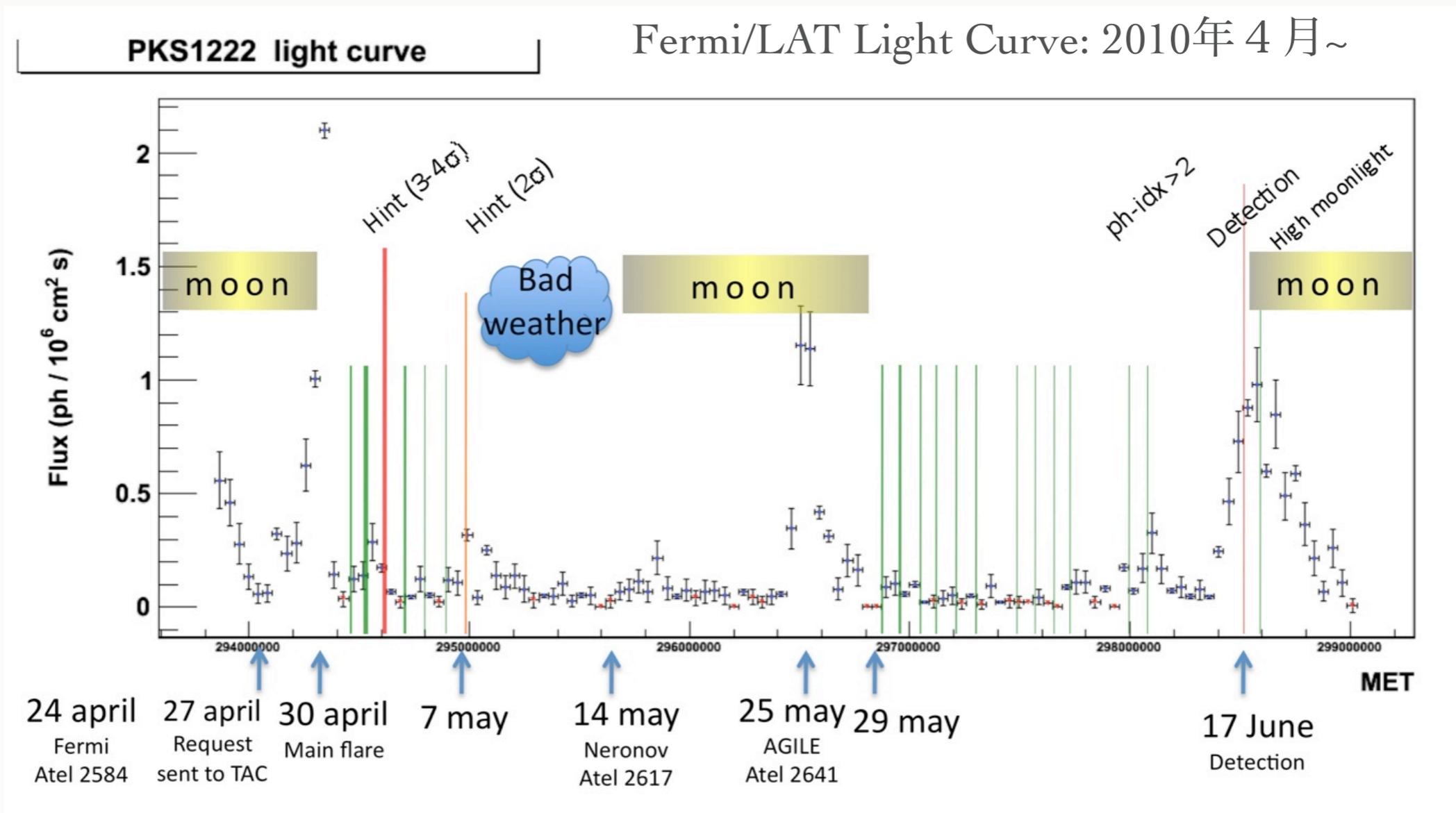
**MAGIC sensitive**

**From MAGIC observation  
on 3C279 (z=0.54)**



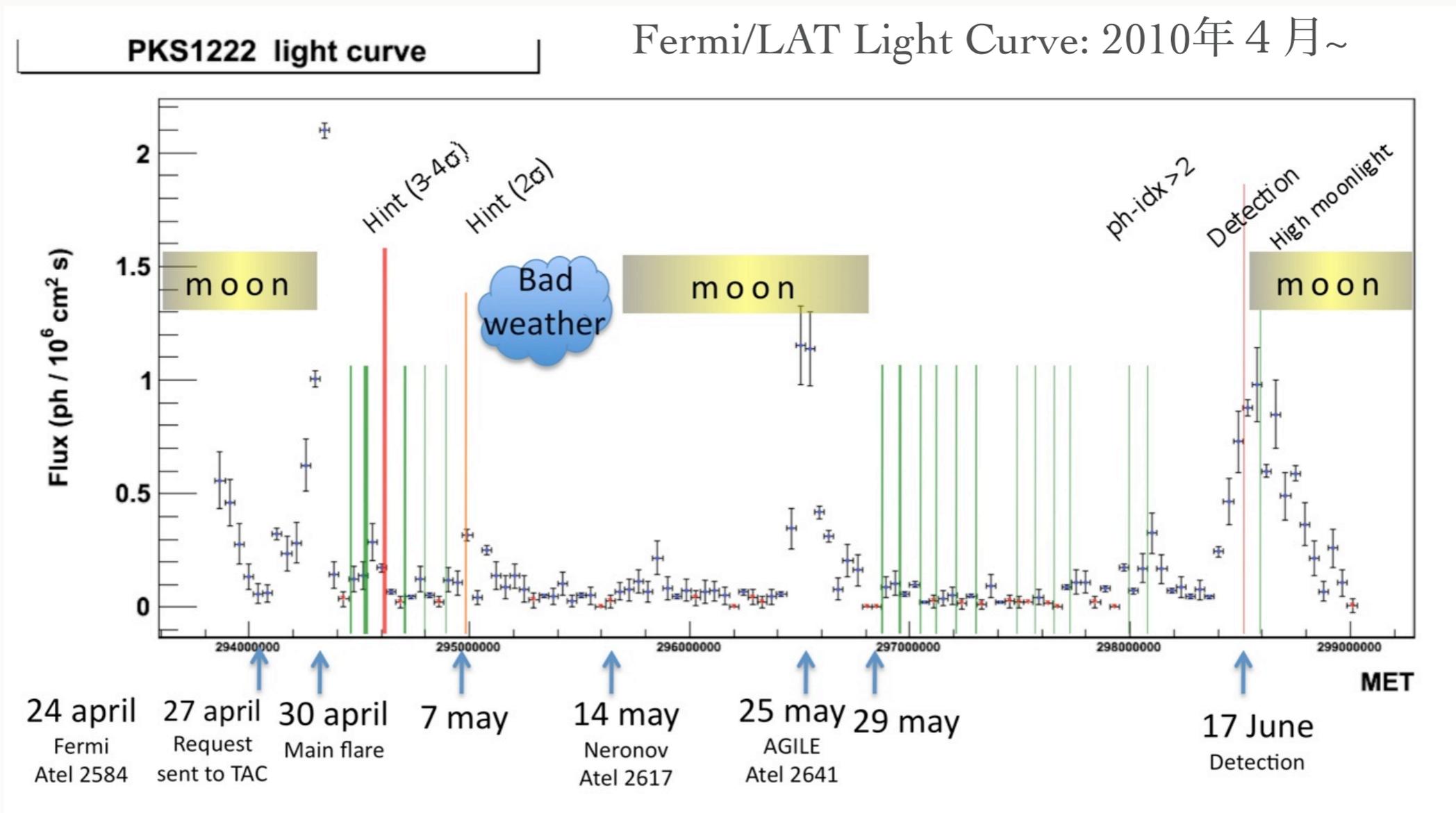
# PKS 1222+216

- Flat-Spectrum Radio Quasar, 赤方偏移 $z=0.432$  (~47億光年)
- 2010年 MAGIC 30分観測、 $>10\sigma$ でVHEガンマ線検出



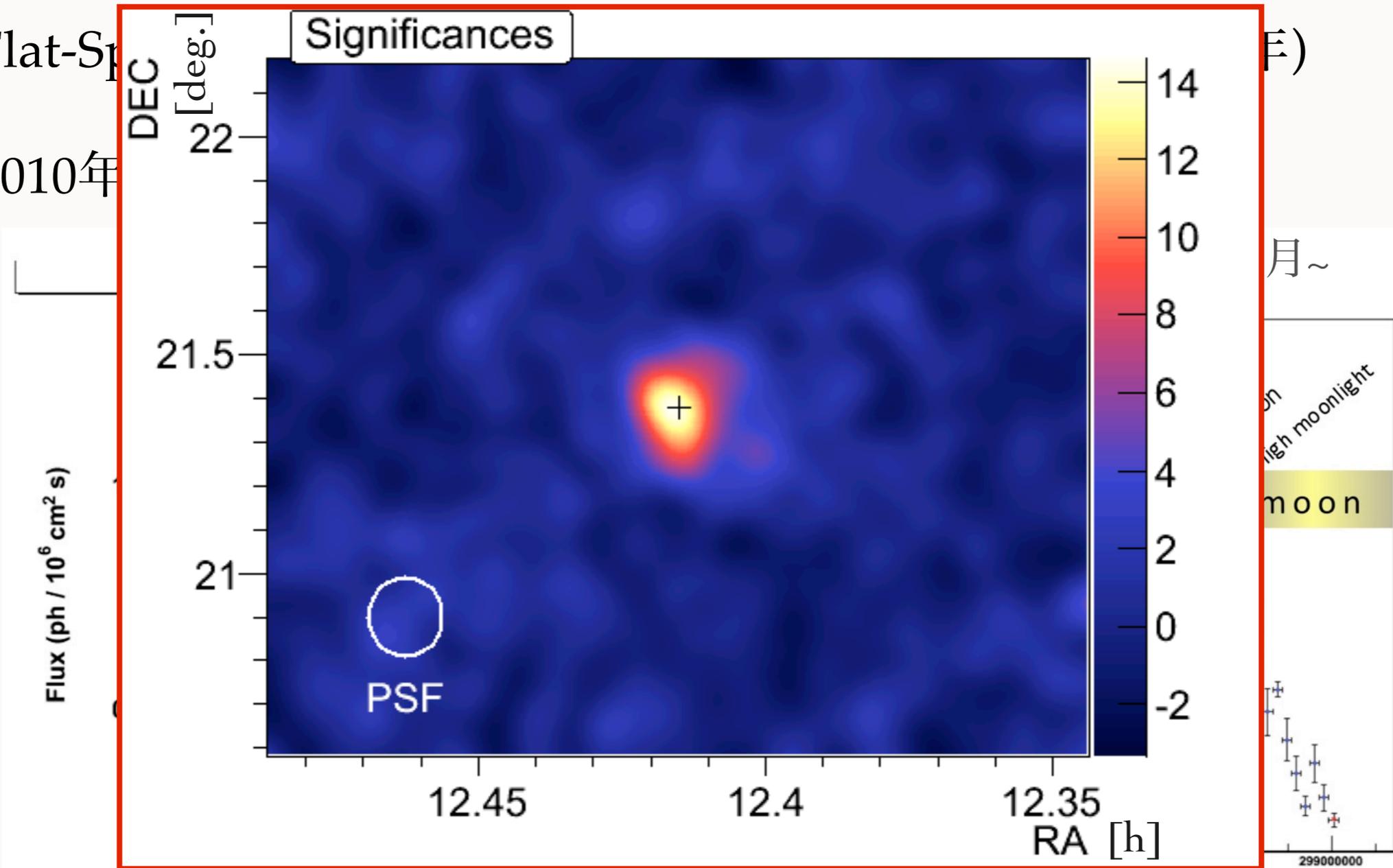
# PKS 1222+216

- Flat-Spectrum Radio Quasar, 赤方偏移 $z=0.432$  (~47億光年)
- 2010年 MAGIC 30分観測、 $>10\sigma$ でVHEガンマ線検出



# PKS 1222+216

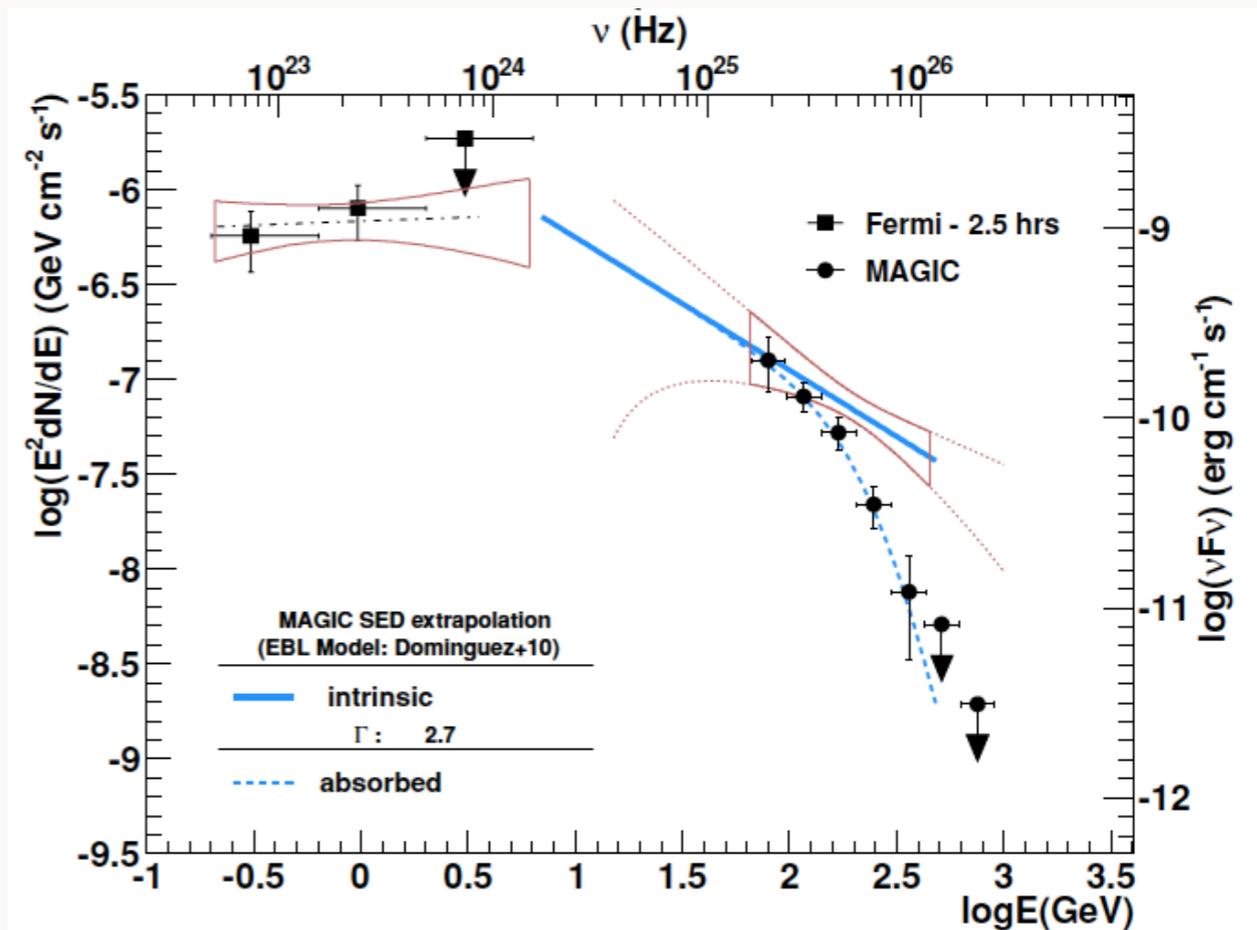
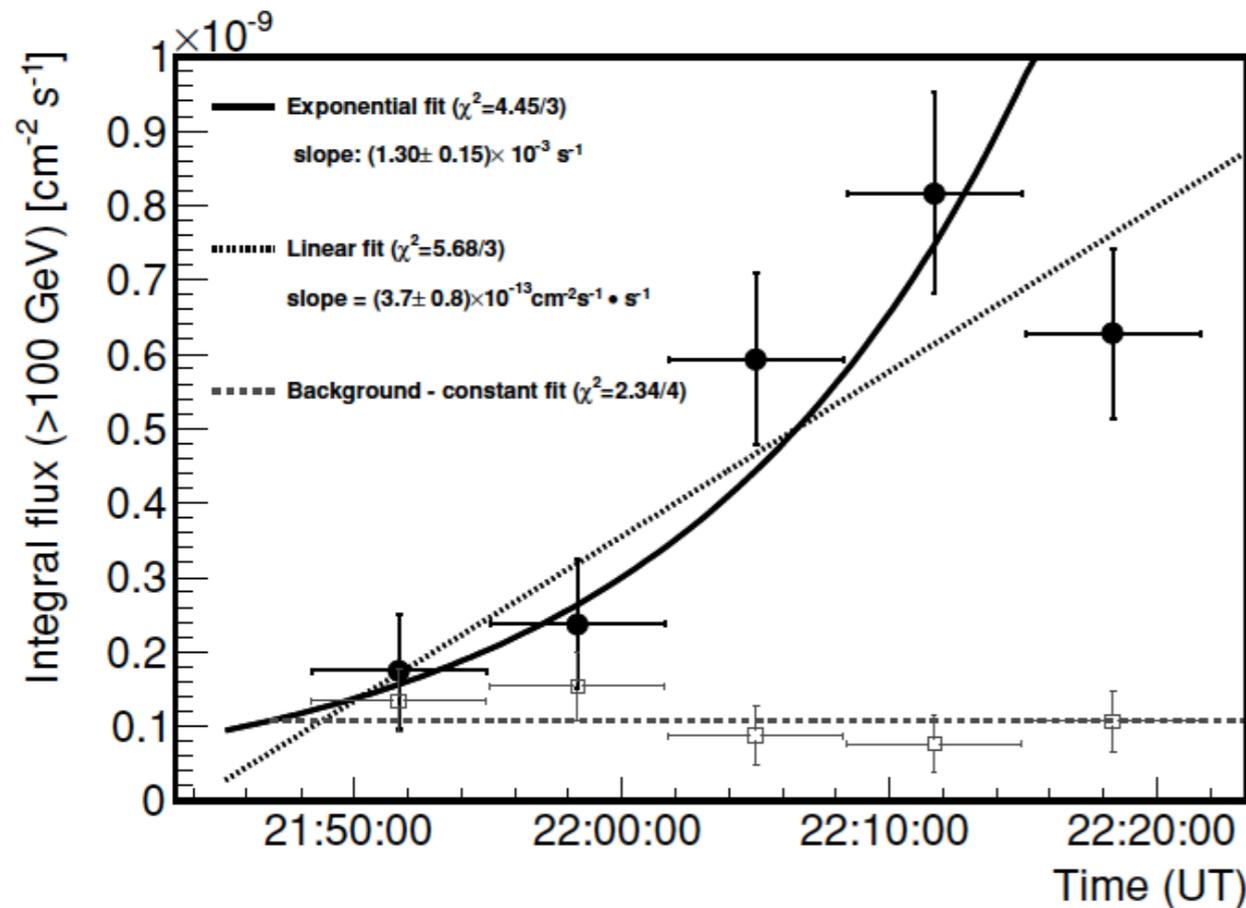
- Flat-Sp
- 2010年



これまでで2番目に遠い天体( $z=0.432$ )からのVHEガンマ線検出  
(最遠方: 3C 279 with  $z=0.536$ )

# PKS 1222+216

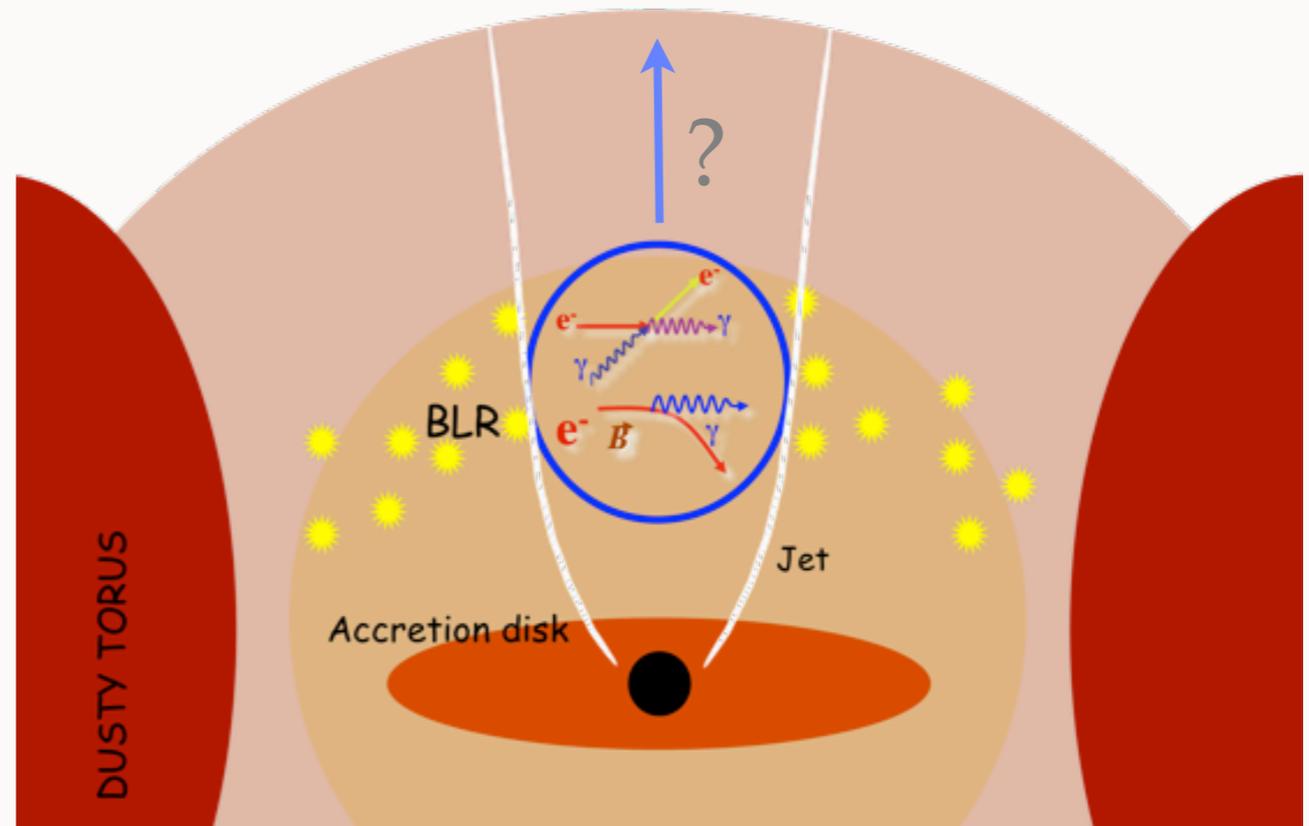
- ☀ MAGIC:  $\Gamma_{\text{int}} = 2.7 \pm 0.3$  (70-400 GeV)
- ☀ Fermi / LAT観測(3日間): broken power-law,  $\Gamma_{\text{LE}} = 2.0$ ,  $\Gamma_{\text{HE}} = 2.4-2.8$
- ☀ 2 GeV - 400 GeV: 単一の冪関数



- ☀ Doubling time: 8.6 min
- ☀ これまで観測されたFSRQ天体の中で最も速い時間変動

# PKS 1222+216

- FSRQで最速の時間変化のスケール 8.6 min →
- ガンマ線放射領域(ジェット全体)  $R < ct\delta/(z+1) \sim 10^{14}$  cm
- ブラックホールからの距離  $d \sim R/\sin\theta \sim 10^{15}$  cm
- BLRのサイズ  $R_{\text{BLR}} \sim 10^{17}$  cm (Ghisellini and Tavecchio 2009)
- BLRの内側は光学的に厚い:  $e^+e^-$  対生成によるガンマ線吸収(e.g., Liu et al. 2008)、KN効果によるIC散乱効率減少(e.g., Albert et al. 2008)
- → 数十GeV付近で鋭いカットオフ



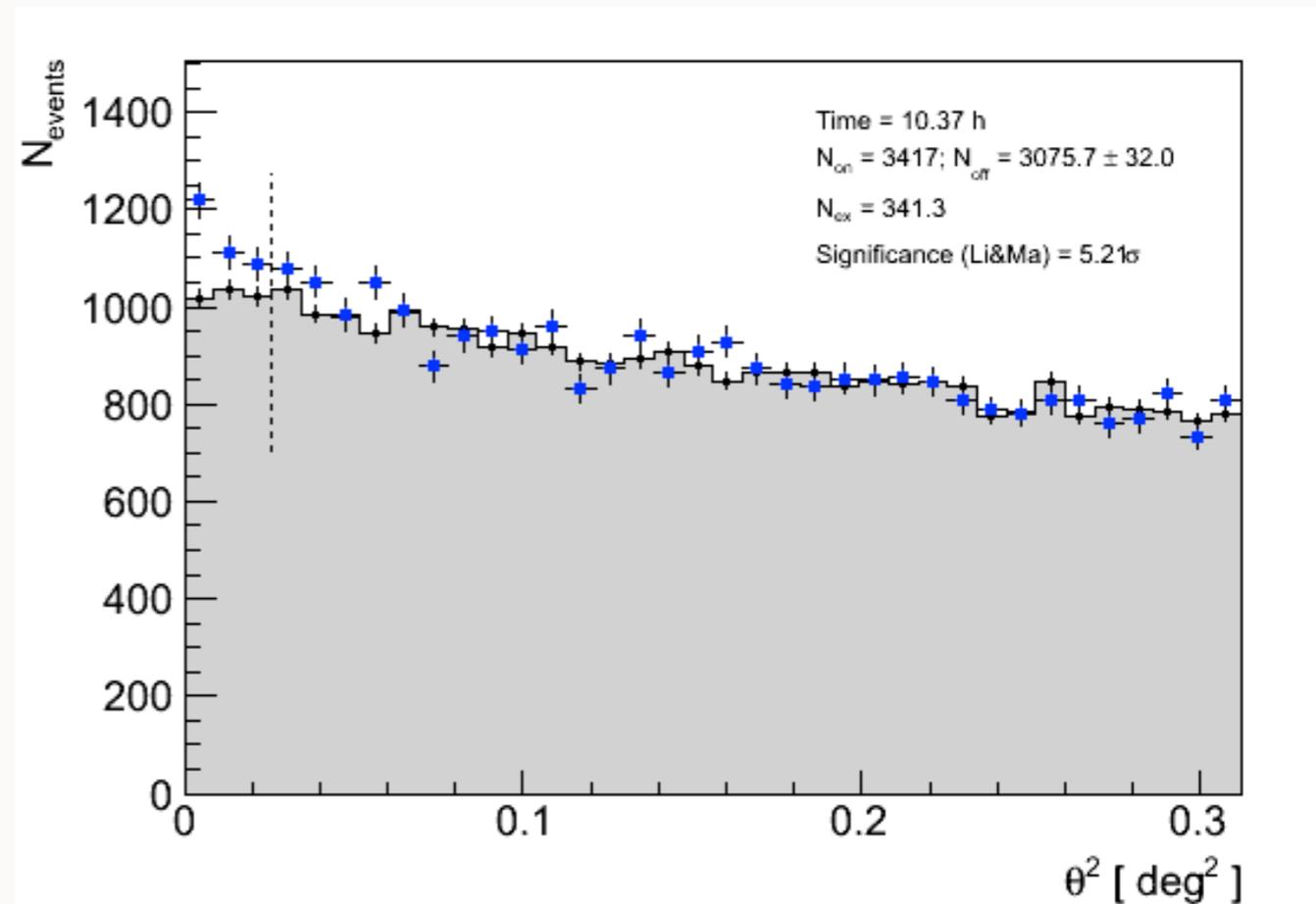
- ✻ 観測結果との矛盾?
- ✻ ジェット中Blob? (e.g., Tavecchio+ 2011)
- ✻ ジェット re-collimation? (e.g., Bromberg&Levinson 2009)

# PKS 1510-089

- ☀ FSRQ
- ☀  $z = 0.361$
- ☀ RA = 15h 12m 50.5s, Dec = -09d 05m 59.8s, J2000
- ☀ ジェットの見かけ上速度  $45c$  (Homan+ 2001, 2002)、ブレーザー天体中最速
- ☀ Fermi打ち上げ以降数回のフレア

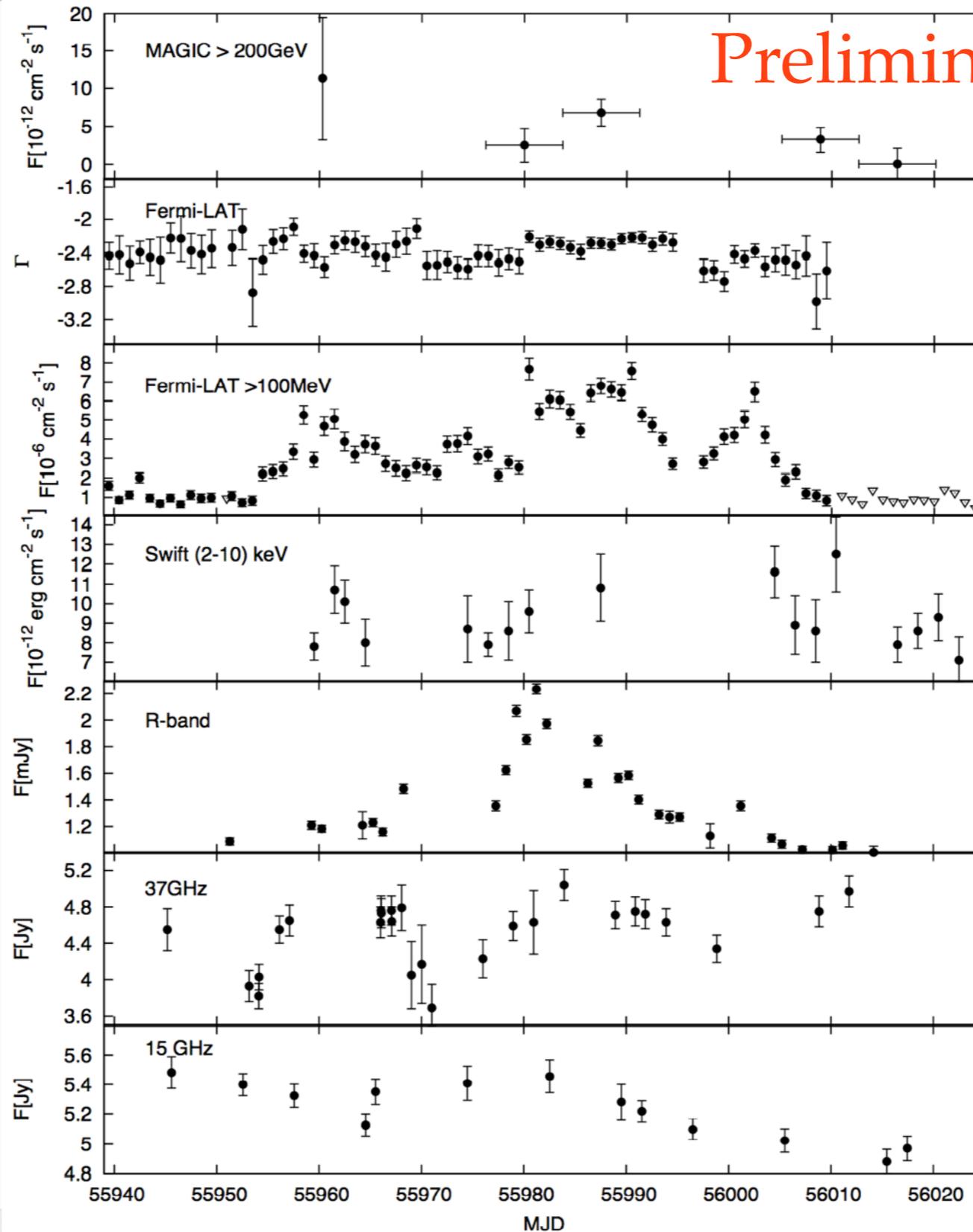
## 2012年観測

- ☀ Fermi-LATによるフラックス上昇、  
spectrum hardening報告
- ☀ MAGICで有意なVHEガンマ線信号  
検出
  - ☀ 全てのVHEガンマ線源FSRQ  
(3C279、PKS 1222+216)



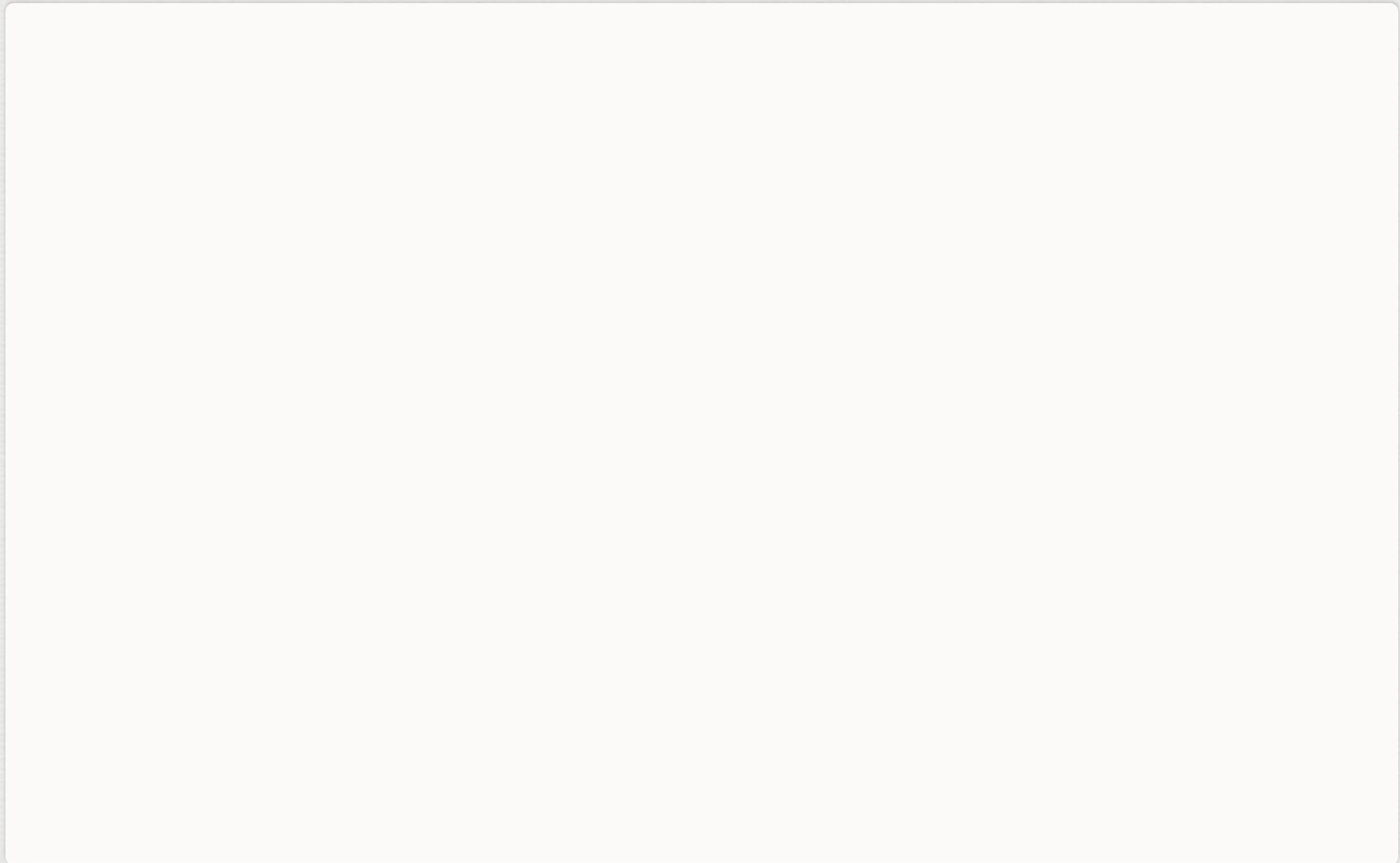
# PKS 1510-089

Preliminary



# SUMMARY

- MAGIC望遠鏡による遠方ブレーザー天体の観測
- FSRQ天体PKS 1222+216 ( $z=0.432$ )からのVHEガンマ線放射の発見
  - FSRQとして最も速い時間変動 (<10 min)
  - 2 GeV -400 GeVは単一の冪関数
  - ジェット中Blobからの放射の可能性
- FSRQ天体PKS 1510-089 ( $z=0.36$ )からのVHEガンマ線検出
  - VHE領域において全てのFSRQ天体(3C279、PKS 1222+216、PKS 1510-089)をMAGICにより検出



# PKS 122+216

## EBL Constraint

- ◆ 70 GeV - 400 GeV: UVのEBL光子による吸収
- ◆ Fermi/LATの $E_{\text{break}}$ 後の冪2.4を天体のEBL吸収前のスペクトルと仮定
- ◆ 得られたEBLの光学的深さの上限値は過去に得られたVHEガンマ線観測からの上限値、現在のEBLモデルの値を裏付ける

