

Cherenkov Telescope Array (CTA) 計画： 全体報告 (24)

齋藤隆之 (東大宇宙線研)

他CTA-Japan Consortium

2023年秋季年会 9月21日 名古屋大学

CTA Consortium

25か国, >1500名



 CTA-Japan 122名

21機関

東大
宇宙線研

浅野勝晃, 阿部正太郎, 栗井恭輔, 稲田知大, 猪目祐介, 笛吹一樹, 大石理子, 大岡秀行, 大谷恵生, 岡知彦, 加賀谷美佳, 金森翔太郎, 窪秀利, Xiaohong Cui, 小林志鳳, Albert K. H. Kong, 齋藤隆之, 櫻井駿介, 佐野栄俊, Timur Dzhathdoev, Marcel Strzys, 高田順平, 武石隆治, Thomas P. H. Tam, K. S. Cheng,, Wenwu Tian, 手嶋政廣, 野崎誠也, 野田浩司, バクスター・ジョシュア・稜, 橋山和明, Daniela Hadasch, 林克洋, 林航平, 廣島渚, 広谷幸一, David C. Y. Hui, 深見哲志, 藤田裕, Ievgen Vovk, Pratik Majumdar, Daniel Mazin, 村瀬孔大, 吉越貴紀

東大理
東北大
徳島大
名大理

大平豊, 戸谷友則, 馬場彩
當真賢二
折戸玲子
立原研悟, 早川貴敬, 福井康雄, 山本宏昭
奥村暁, 高橋光成, 田島宏康, バン・ソンヒョン
今澤遼, 榎木大修, 木坂将大, 須田祐介, 高橋弘充, 深沢泰司
水野恒史

宮崎大
山形大
山梨学院大
理研

森浩二
郡司修一, 坂本貴太, 門叶冬樹, 中森健之
内藤統也, 原敏
井上進, Donald Warren, 榊直人, 澤田真理, 辻直美,
Maxim Barkov, Gilles Ferrand, Haoning He, 長瀧重博
内山泰伸, 林田将明
片岡淳

立教大
早稲田大

青山大 大林花織, 佐藤優理, 田中周太, 山崎了, 吉田篤正
茨城大 片桐秀明, 柳田昭平, 吉田龍生
大阪大 井上芳幸, 松本浩典, Ellis Owen,
北里大 村石浩
京大基研 井岡邦仁, 石崎涉
京大理 川中宣太, 鶴剛, 寺内健太, 李兆衡
熊本大 高橋慶太郎
KEK素核研 田中真伸
甲南大 井上剛志, 鈴木寛大, 田中孝明, 千川道幸, 溝手雅也, 山本常夏
国立天文台 郡和範
埼玉大 勝田哲, 立石大, 寺田幸功
東海大 阿部和希, 櫛田淳子, 佐々誠司, 高橋菜月, 西嶋恭司

LST × (北4+南4)
23 m口径
20 GeV - 3 TeV
FOV=4.5°

MST × (北15+南25)
11.5 m/9.7 m口径
80 GeV - 50 TeV
FOV=7.5~7.7°

2016年~北サイト建設
2022年~南サイト建設
2028年 北アレイ完成
2028年 南アレイ完成
運用期間 >20年間

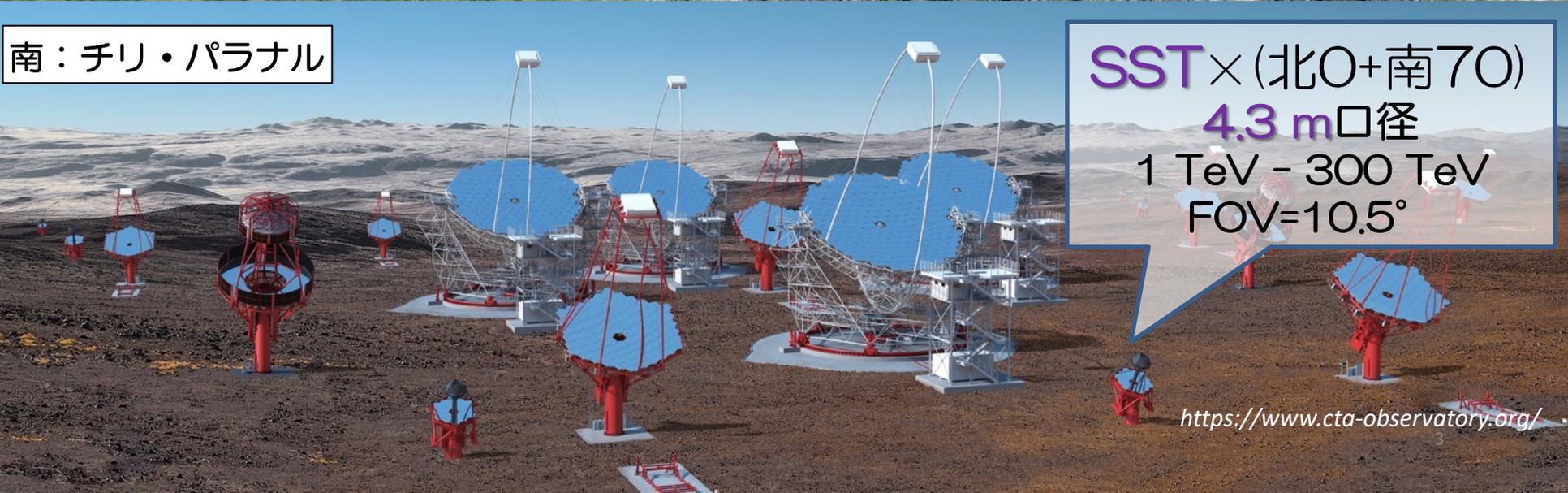
完成予想図

北：スペイン・ラパルマ島



MAGIC望遠鏡

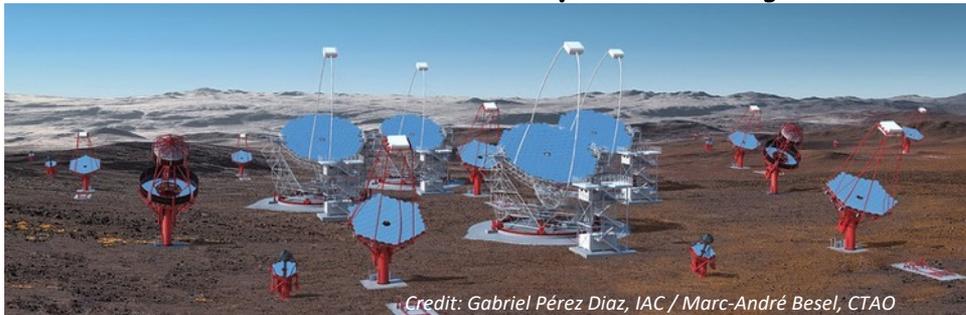
南：チリ・パラナル



SST × (北0+南70)
4.3 m口径
1 TeV - 300 TeV
FOV=10.5°

CTAの性能、狙うサイエンス

Cherenkov Telescope Array (CTA)



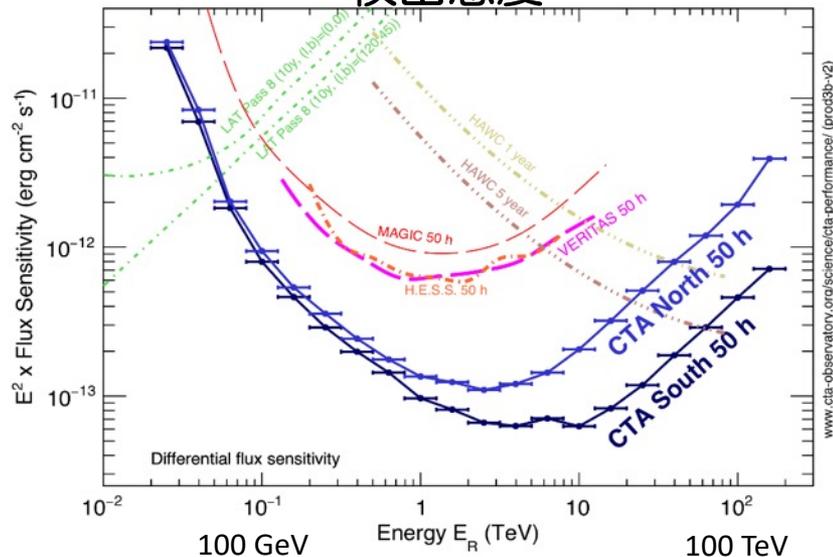
従来の望遠鏡より

- ◆ **一桁高い感度**
短時間**4-5桁**高い感度 (対Fermi-LAT)
- ◆ **一桁広い帯域** (20 GeV-300 TeV)
- ◆ **角度分解能~2倍** (2分角@10TeV)

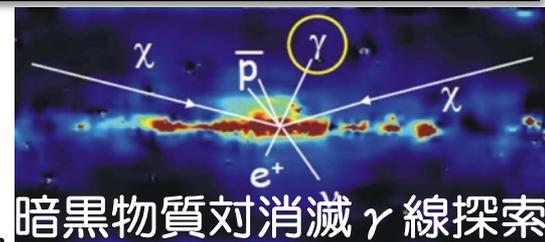
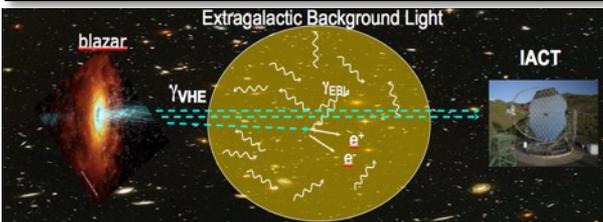
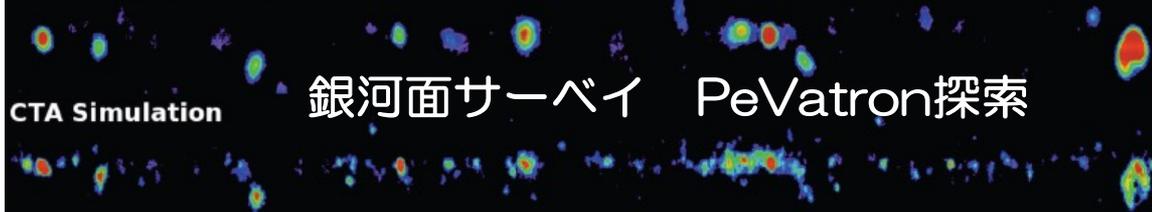


- 検出天体 **252個** (現在)
TeVCatカタログ
⇒ **1000個以上**
- 最遠方 $z=1.1$ (GRB201216C)
⇒ $z \sim 4$

検出感度



H.E.S.S. Simulation

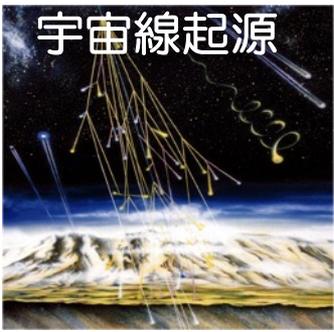


赤外・可視背景放射→宇宙の星形成史

暗黒物質対消滅 γ 線探索
ローレンツ不変性検証

- 特集号 Astroparticle Physics, 43 (2013) 1-356
- Key Science Project (開始10年の4割) 検討書 arXiv:1709.07997

宇宙線起源



ブラックホール
物理・ジェット
形成



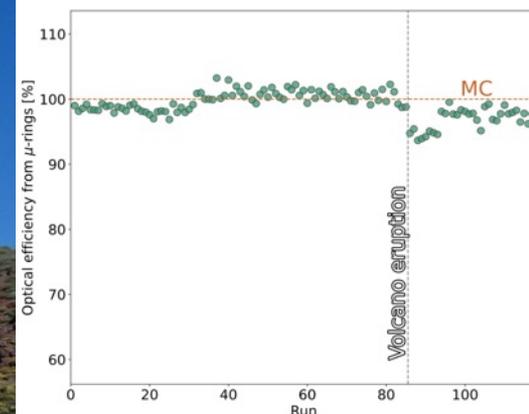
大口径望遠鏡(LST)初号機@スペイン・ラパルマ島

ロケ・ムチャチョス 天文台(ORM) @2200m



MAGIC
口径 17 m

LST初号機(LST-1)
口径 23 m



チェレンコフ光収集効率

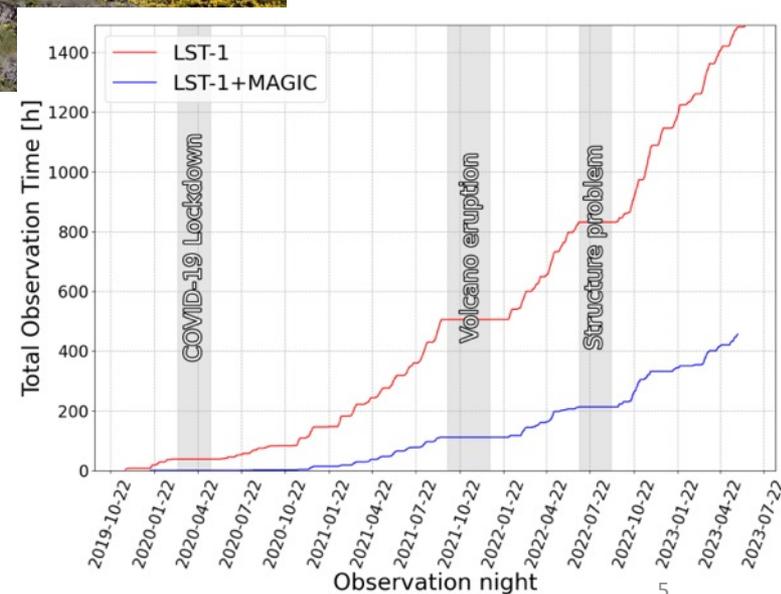
科学観測 2020年1月から1400時間以上

➤ 運用休止

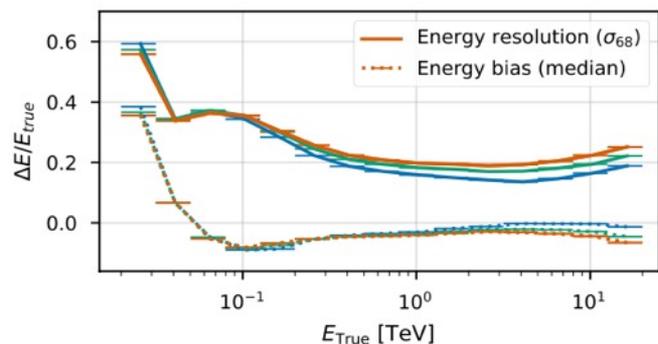
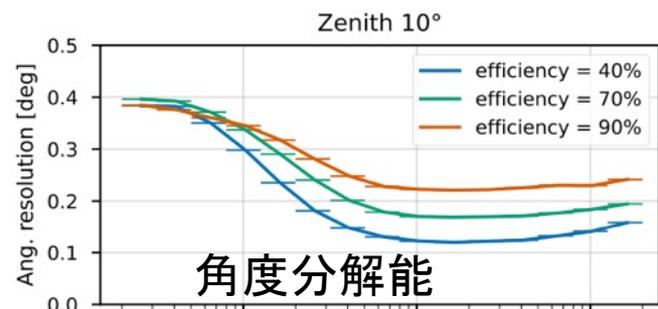
- 2020年3-6月(COVID-19渡航制限)
- 2021年9月-2022年1月(火山噴火)
- 昨年7-8月(ストレージ障害)

➤ MAGICとの共同観測

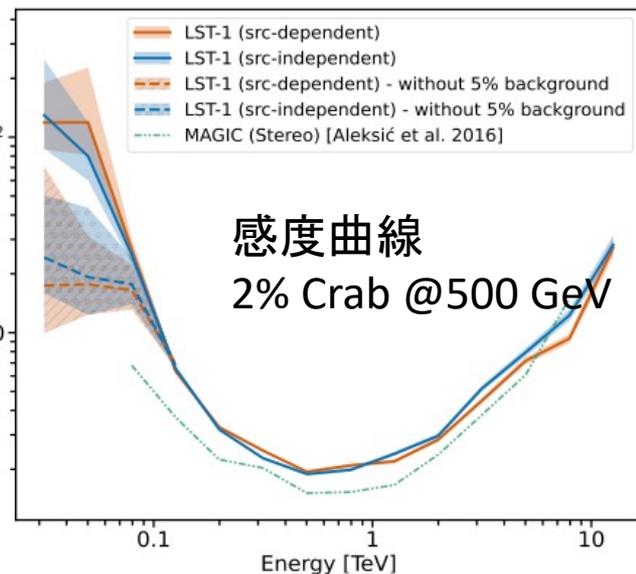
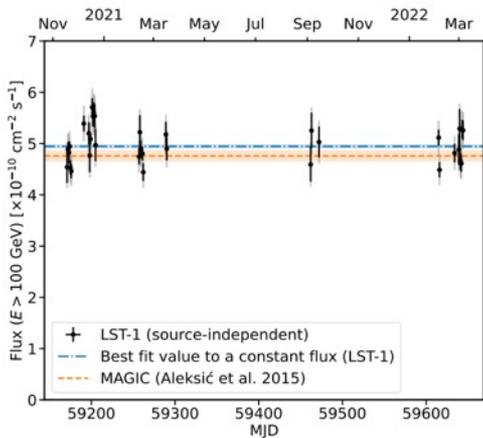
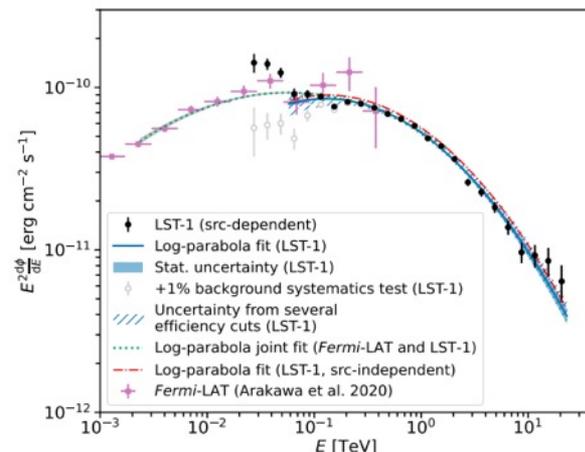
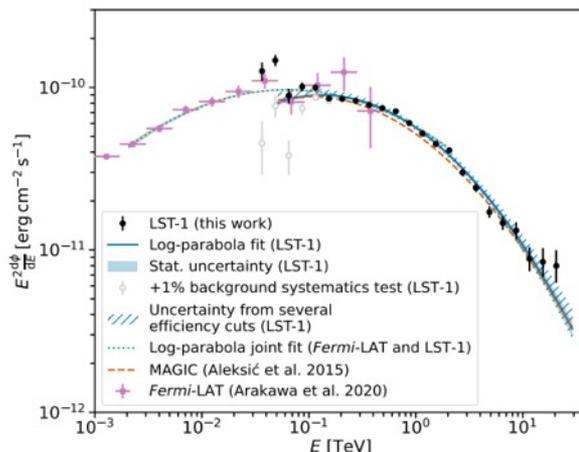
- 活動銀河核
- 銀河中心領域 他



LST初号機性能とCrab Nebula 観測



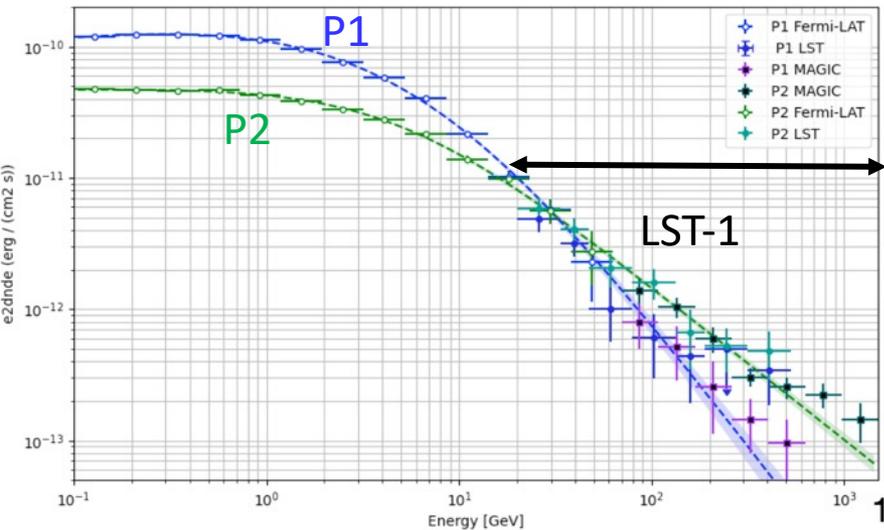
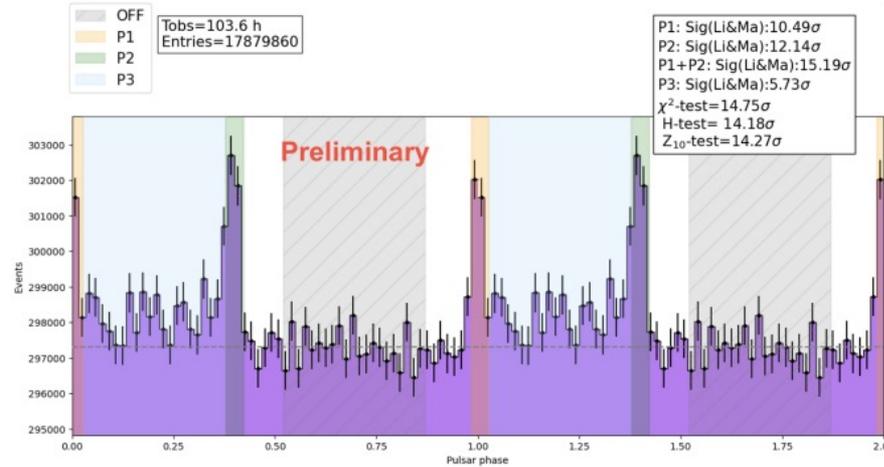
	30 GeV	300GeV	3 TeV
角度分解能	0.4度	0.25度	0.18度
エネルギー分解能(68%)	40%	20%	20%



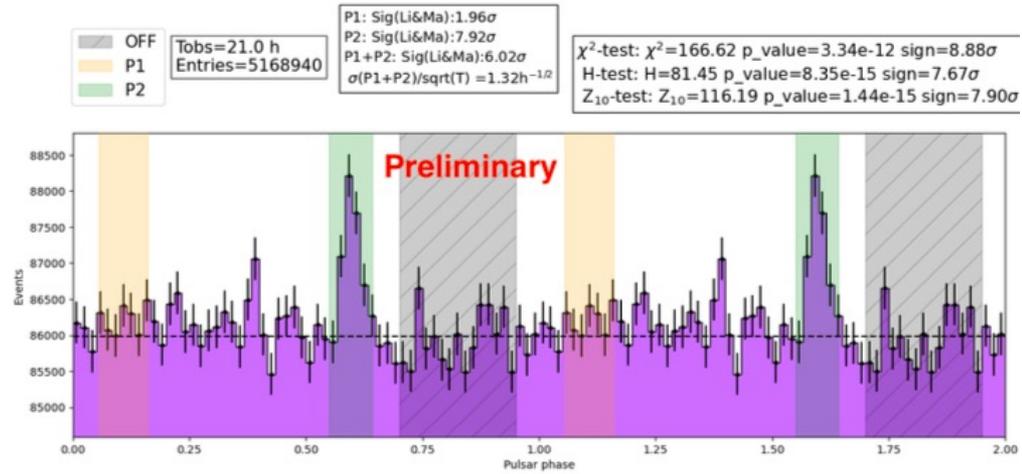
論文はApJに受理済。 <https://arxiv.org/abs/2306.12960>

Crab and Geminga パルサー

Crab パルサー



Geminga パルサー

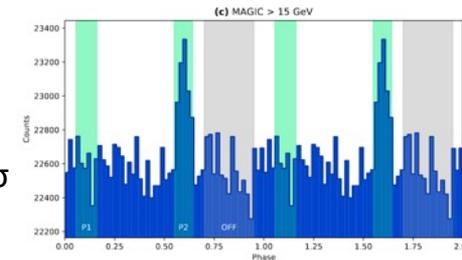


Crab:

- 103時間:
- P1, P2, ブリッジ放射を有意に検出
- P1, P2のスペクトラムも過去の測定と一致

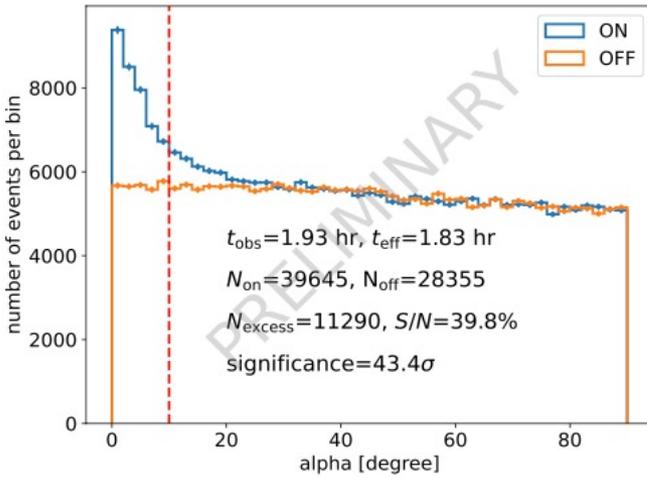
Geminga:

- 21時間, 8σ
- P2のみ
- MAGICは80時間, 6σ

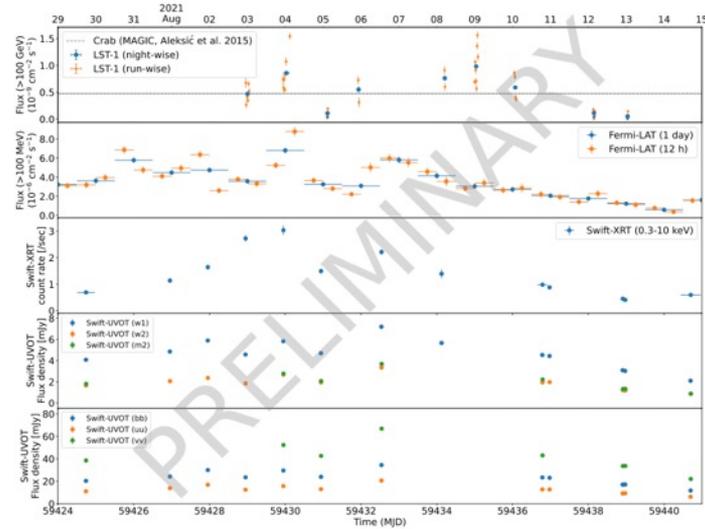


MAGIC, 80時間

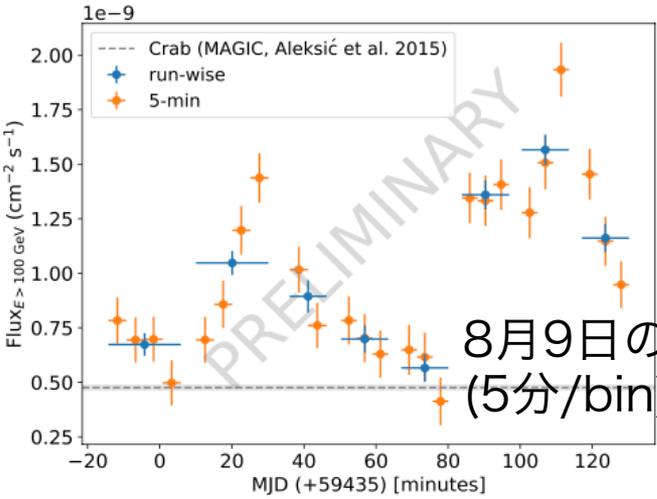
BL Lac, 2021年8月のフレア



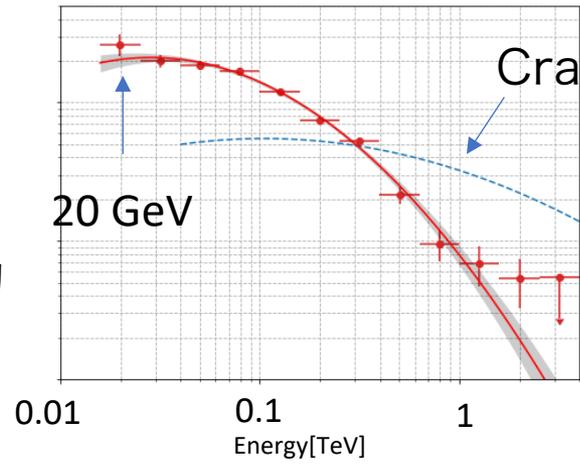
LST
Fermi-LAT
Swift-XRT
Swift-UVOT
Swift-UVOT



波長ごとに異なる日変動が見られる。



8月9日の変動
(5分/bin)



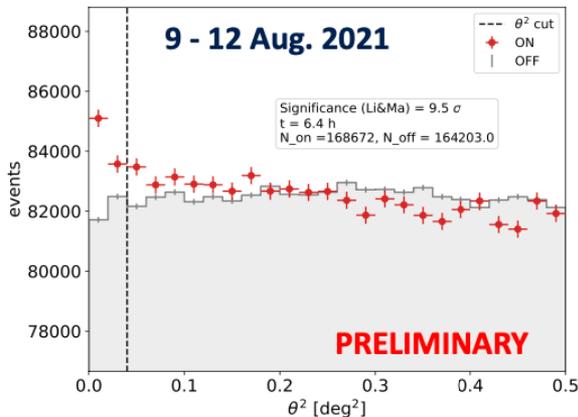
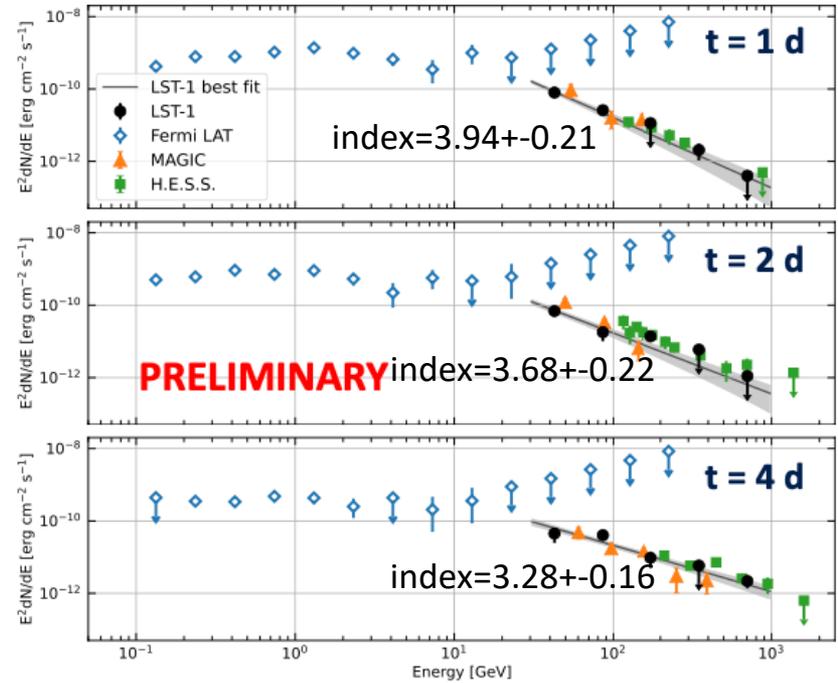
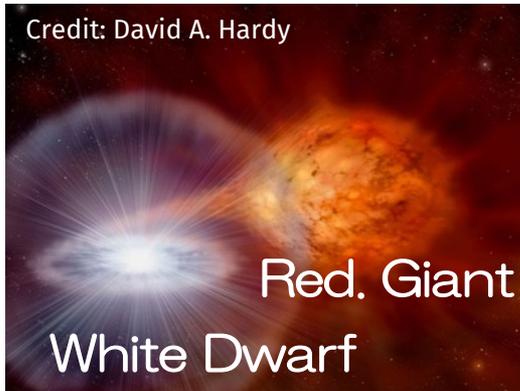
Crab Nebula

- 多波長SEDのモデリングが完了。
- 論文執筆中

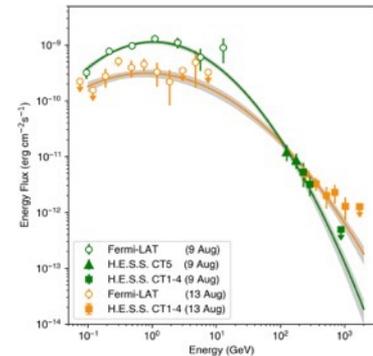
新星RS Ophiuchi

RS Ophiuchi

- 15年周期の再帰新星
- 2021年8月8日Fermi-LATがバースト検出
- その後、HESS, MAGIC, LST1でも検出
- 新星からのVHEガンマ線の初検出



- 最初の数日、スペクトラムの硬化の兆候
- HESSの主張と無矛盾。
- ハドロン加速で説明される

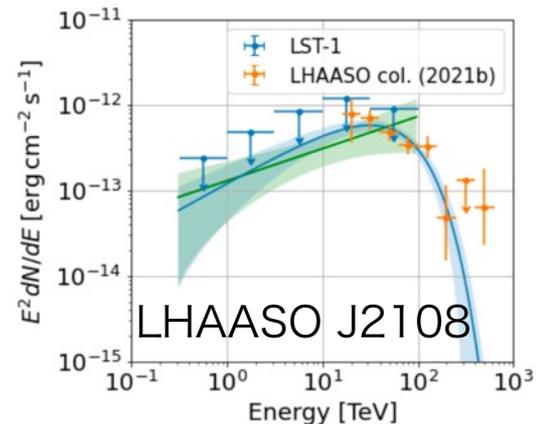


HESS collab. Science 376, (2022)

その他の主な観測, 開発

観測

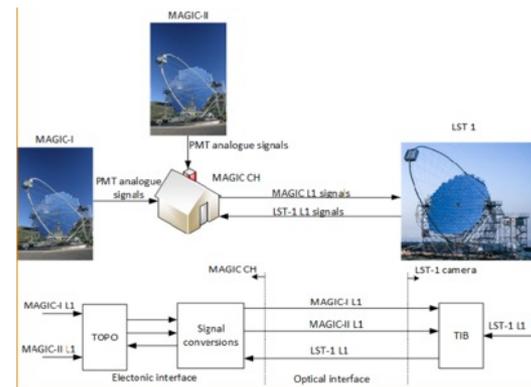
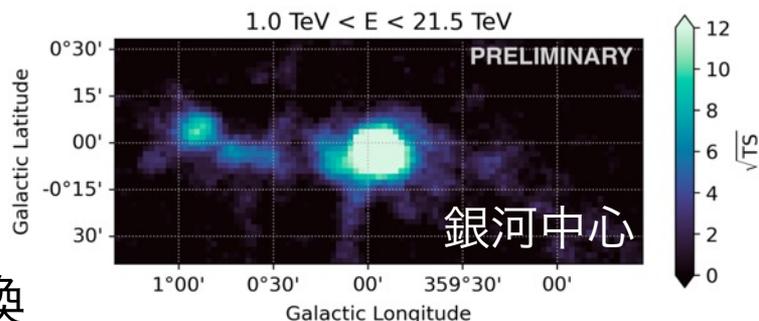
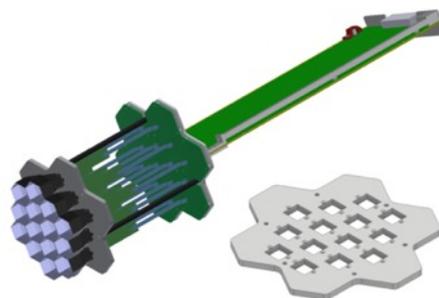
- LHAASO J2108の観測 [A&A 673, (2023)]
- 銀河中心 [阿部講演参照, 20日星間現象]
- ブレーザー [Baxter講演参照、マルチメッセンジャー企画セッション]
- GRB: 221009Aを含む多数を観測。検出なし
- ニュートリノアラート、FRB。検出なし



開発

- MAGIC 2 台とLST-1の間でのトリガー交換 (Baxter, <https://pos.sissa.it/444/700/pdf>)

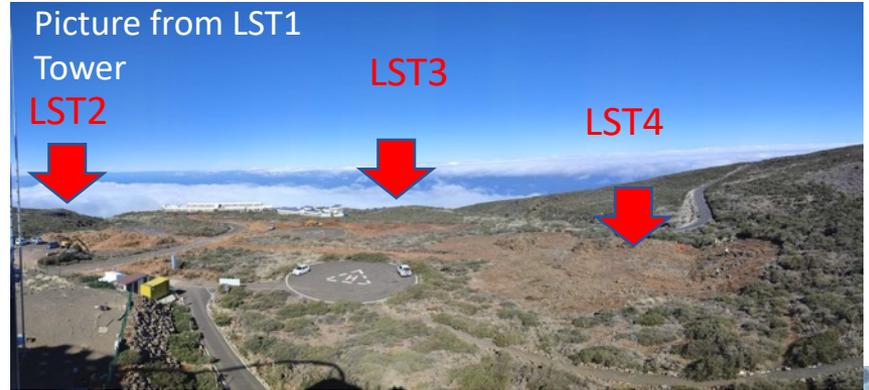
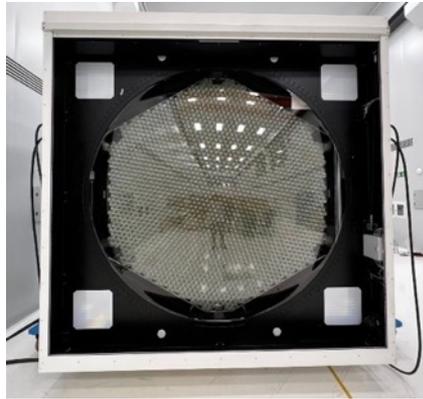
- SiPM モジュールの開発 (次の溝手講演参照)



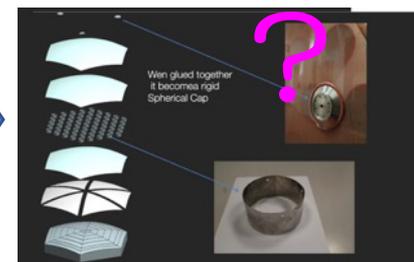
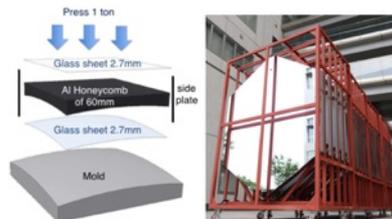
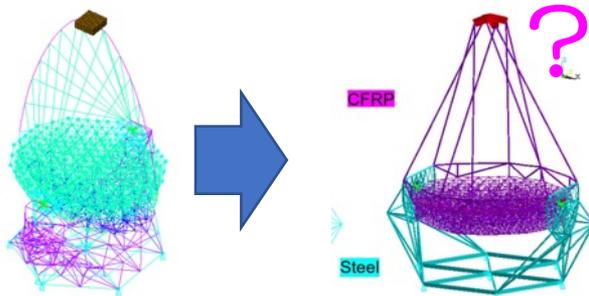
Hardware Stereo Trigger

LST2-4 (North), LST5,6 (South)

LST2-4(North): 要素は全てそろい、昨年建築許可があり、建設が進んでいる。



LST5-6(South): 予算は確保(イタリア)。カメラは北のコピー。躯体や鏡は環境(砂埃、地震)の違いを考慮してR&D中



MST、SST

- Davies-Cotton MST
 - 12m口径
 - 北サイト
 - NectarCam (アナログトリガカメラ)
 - 2024年初号機建設
 - 南サイト
 - FlashCam(デジタルトリガカメラ)
 - 2024年、サイト付近に試作機建設
- Schwarzschild-Couder MST (SCT)
 - 10 m口径、fine pixel 1.1万 SiPM ピクセル
 - 南サイトのみ(拡張計画)
 - アリゾナにプロトタイプ→camera upgrade
- SST
 - 4 m口径(Schwarzschild-Couder)
 - この後の奥村講演参照



まとめ

- LST初号機は北サイトで観測中。
 - 期待通りの性能
 - 多数の重要な観測(Geminga パルサー、BL Lac, RS Ophiuchiなど)
 - MAGICとのトリガー交換やSiPMカメラのR&Dなども進行中
- LST2-4号機（北），5-6号機（南）
 - LST2-4の鏡やカメラなど、各要素の準備は完了。建設許可があり、昨年からの建設が始まった。
 - LST5-6については、イタリアが予算を獲得。カメラは北コピー。鏡や躯体についてはR&Dが進行中
- MST, SST
 - 2024年度に、北サイトにMST初号機が、南サイト近くには南用MSTの試作機が建設される
 - SSTについては奥村講演参照