Cherenkov Telescope Array (CTA) 計画: 全体報告18

齋藤隆之(東大宇宙線研)
他CTA-Japan Consortium

2020年秋季年会　9月9日　オンライン開催

CTA Consortium

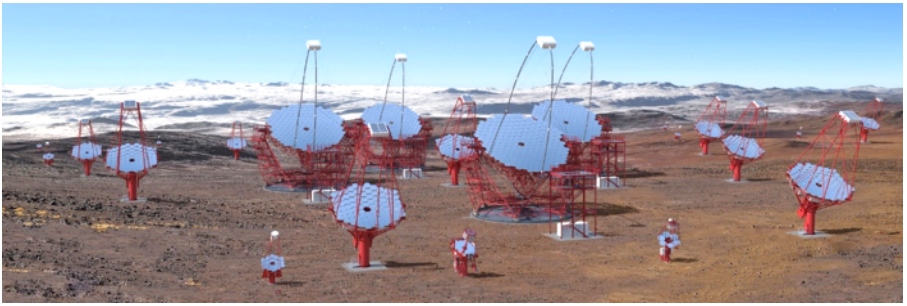
31か国, >1500名

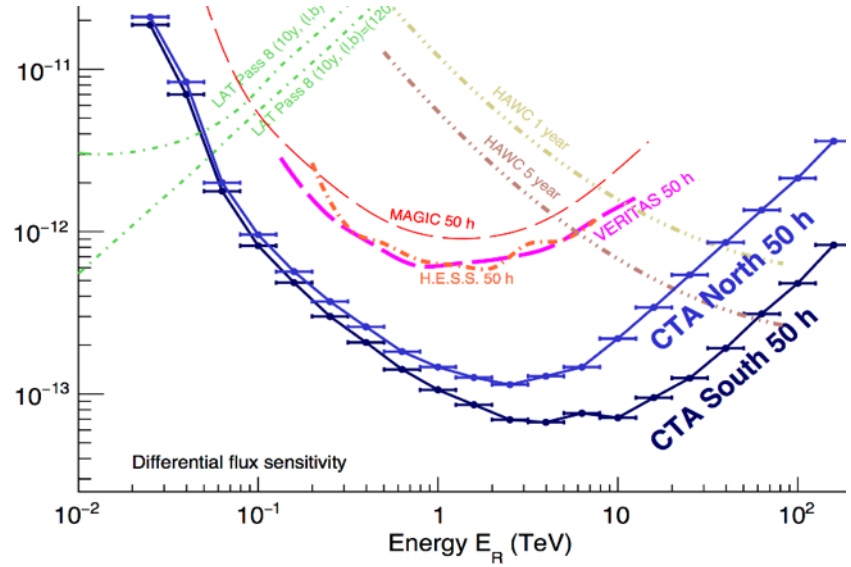
CTA-Japan 約120名

青山大　柴田徹, 田中周太, 山崎了,
吉田篤正
茨城大　小原光太郎, 片桐秀明,
野上優人, 柳田昭平, 吉田龍生
大阪大　藤田裕, 松本浩典
北里大　村石浩
京大基研 井岡邦仁, 石崎渉
京大理　岡知彦,
川中宣太, 窪秀利, 田中孝明,
鶴剛, 野崎誠也, 李兆衡
熊本大　高橋慶太郎
KEK素核研　郡和範, 田中真伸
甲南大　川島翔太郎, 川村孔明,
塚本友祐, 山本常夏
埼玉大　勝田哲, 佐々木寅旭,
砂田裕志, 立石大, 寺田幸功
東海大　櫛田淳子,
生天目康之, 西嶋恭司,
原田善規

東大
宇宙線研　浅野勝晃, 阿部日向, 粟井恭輔, 石尾一馬, 稲田知大, 猪目祐介,
岩村由樹, 大石理子, 大岡秀行, 大谷恵生, 岡崎奈緒,
加賀谷美佳, 小林志鳳, 齋藤隆之, 榊直人, 櫻井駿介, 澤田真理,
須田祐介, 高橋満里, 高橋光成, 千川道幸, 手嶋政廣,
野田浩司, 野村亮介, 林航平, 広谷幸一, 深見哲志, 村瀬孔大,
吉越貴紀, K.S.Cheng, Xiaohong Cui, Timur Dzhatdoev,
Daniela Hadasch, David C.Y.Hui, Emil Khalikov, Albert K.H.
Kong, Pratik Majumdar, Daniel Mazin, Marcel Strzys,
Jumpei Takata, Thomas P. H. Tam, Wenwu Tian, Ievgen Vovk
東大理　大平豊, 鈴木寛大, 戸谷友則, 中山和則, 馬場彩
東北大　木坂将大, 當真賢二,林航平,
徳島大　折戸玲子
名大理　井上剛志, 佐野栄俊, 立原研悟, 早川貴敬, 林克洋
福井康雄, 山根悠望子, 山本宏昭
名大ISEE　黒田裕介, 田島宏康, 藤川由衣, Anatolii Zenin
名大KMI　奥村曉
広大理　高橋弘充, 深沢泰司
広大宇宙科学センター　水野恒史
宮崎大　森浩二
山形大　郡司修一, 門叶冬樹, 中森健之
山梨学院大　内藤統也, 原敏
理研　井上進, 井上芳幸, 長瀧重博, 廣島渚, Maxim Barkov,
Gilles Ferrand, Haoning He, Donald Warren
立教大　内山泰伸, 林田将明
早稲田大　片岡淳

CTAの性能、狙うサイエンス





従来の望遠鏡より

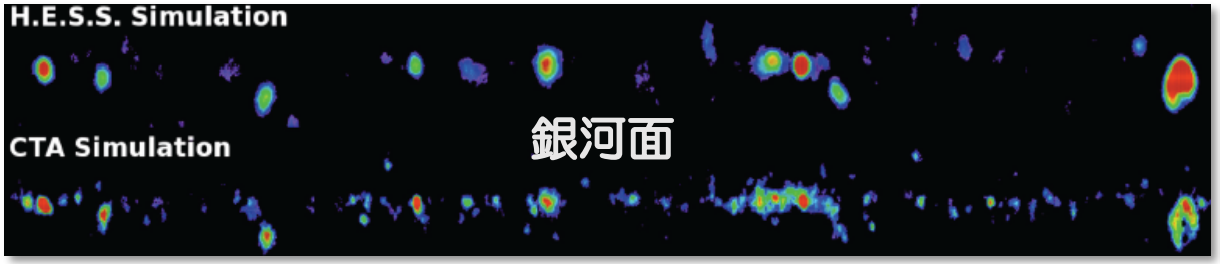
◆一桁高い感度

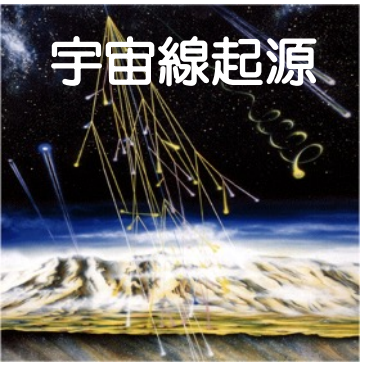
◆一桁広い帯域(20 GeV-300 TeV)

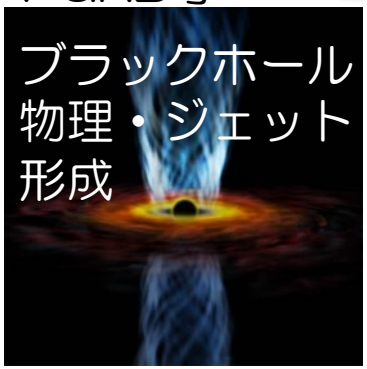
◆角度分解能～2倍(2分角@10TeV)

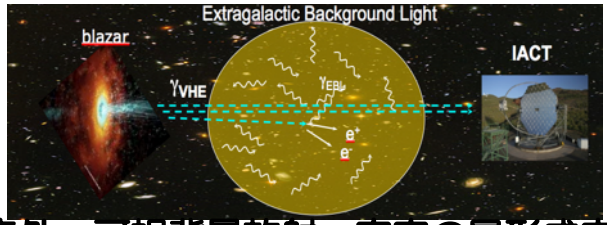
⇩

- 検出天体 約230個(現行)
  ⇒1000個以上
- 最遠方 z～1(現行)
  ⇒ z～4 GRB等

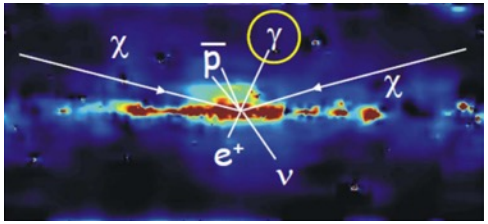








赤外・可視背景放射→宇宙の星形成史



ローレンツ不変性検証

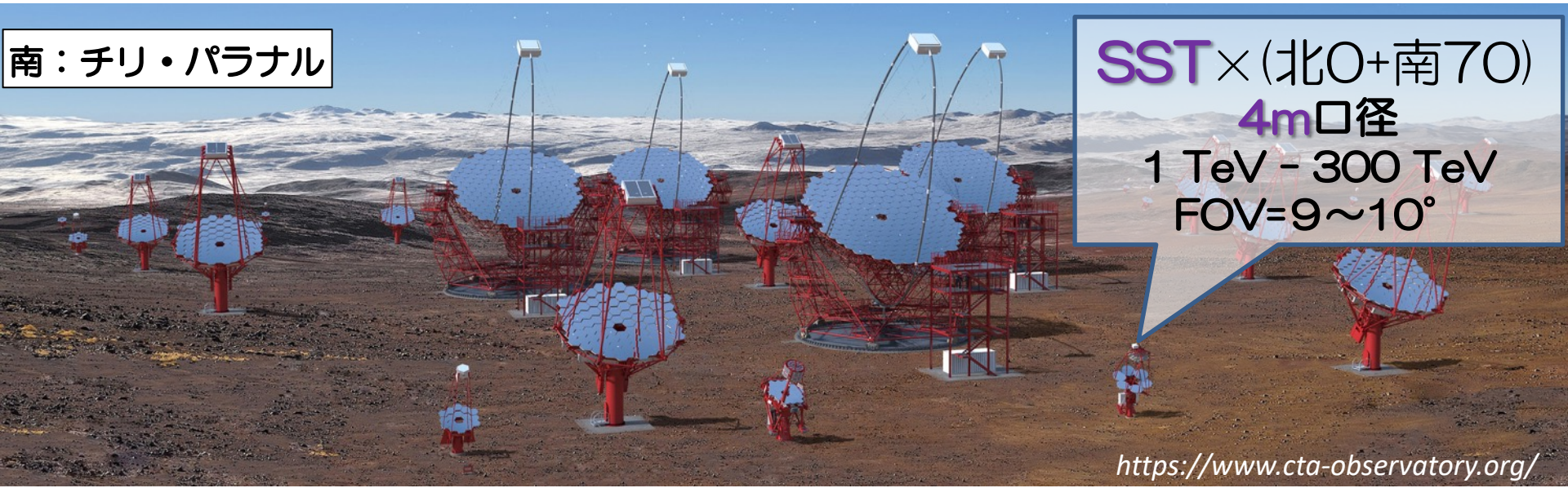
- 特集号 Astroparticle Physics, 43 (2013) 1-356
- Key Science Project(開始10年の4割)検討書 "Science with the Cherenkov Telescope Array", World Scientific刊行, https://doi.org/10.1142/10986

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

MST×(北15+南25)
12m口径
80 GeV - 50 TeV
FOV～8°

2016年～北サイト建設
2020年～南サイト建設
2022年～天文台運用
2025年～フルアレイ観測
運用期間 ＞20年間

完成予想図

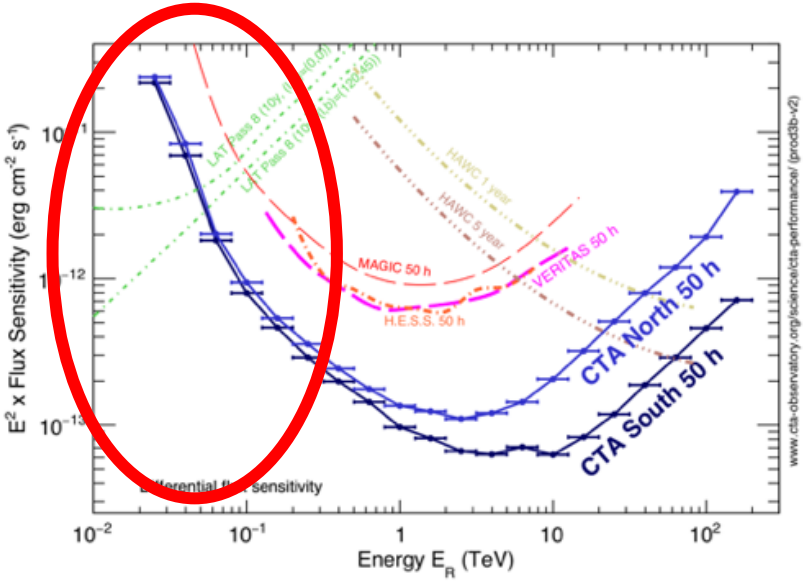


https://www.cta-observatory.org/

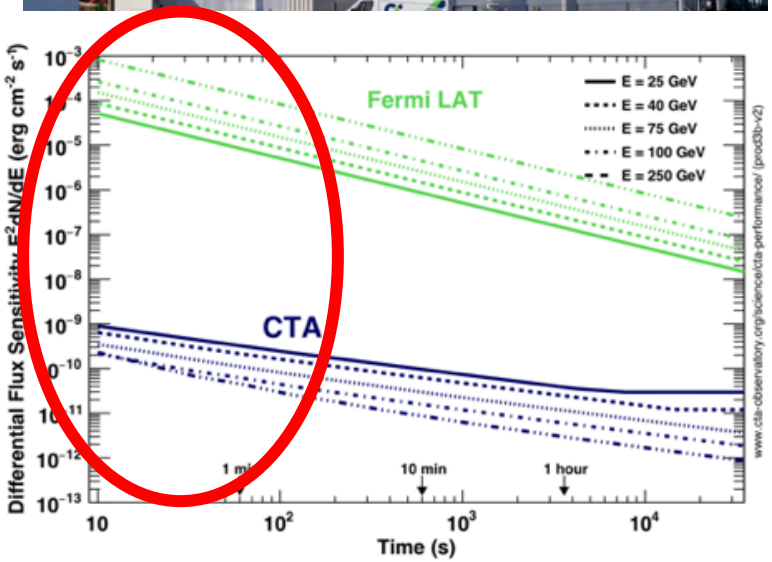
Large Sized Telescope
大口径望遠鏡

- 300 GeVの以下の低E領域を担当
- Fermi-LATと相補的。
- 短時間ではLATの4-5桁高い感度。
- 180度 / 20秒で高速回転できるのはLSTだけ

- 日本チームは主としてLSTに貢献
  - MST, SSTにも重要な貢献
    (詳細は奥村講演)

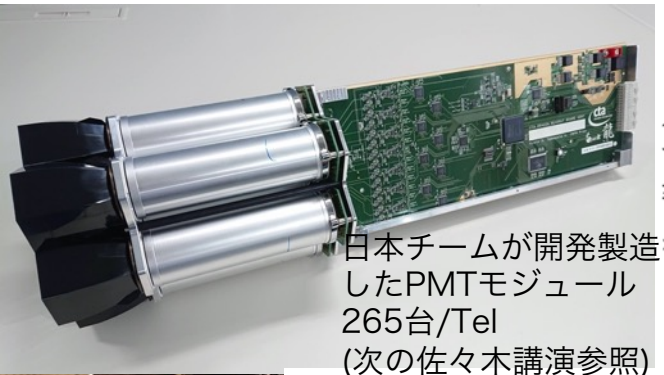


感度　vs エネルギー

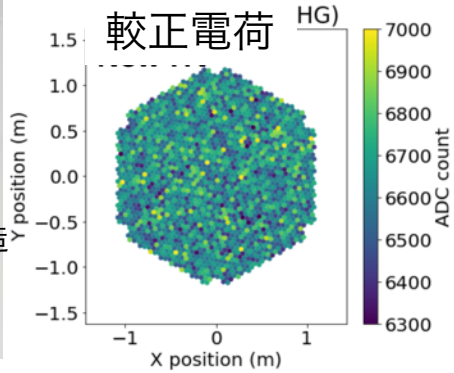


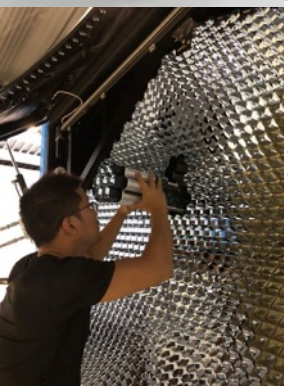
感度　vs 積分時間

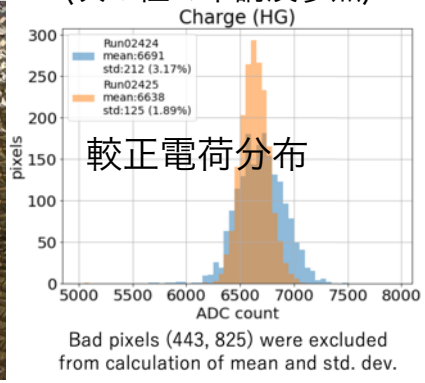
LST1 カメラ & DAQ

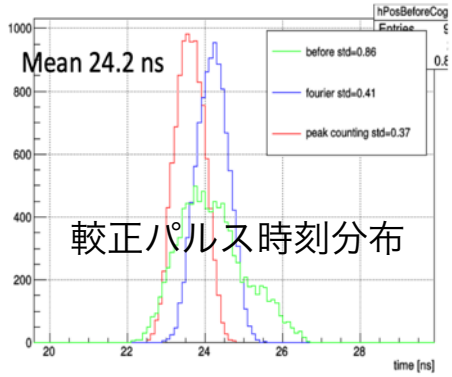


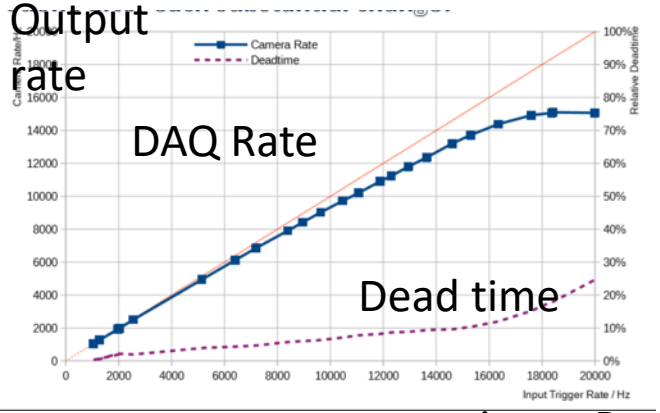
日本チームが開発製造したPMTモジュール
265台/Tel
(次の佐々木講演参照)



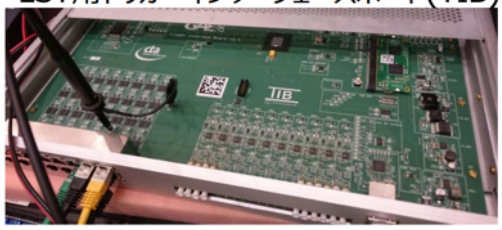








LST用トリガーインターフェースボード(TIB)



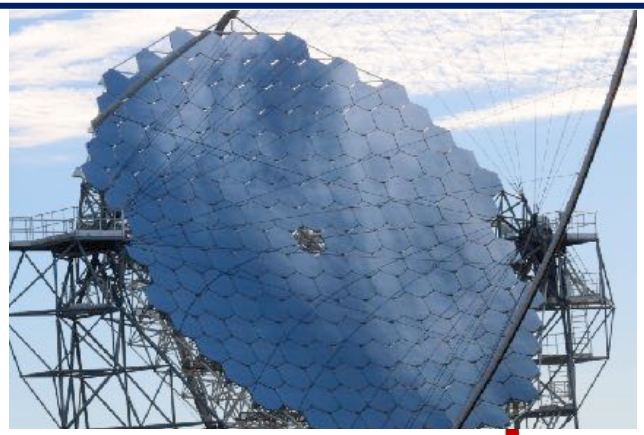
- 全モジュールが問題なく稼働
- PMT Gainは2%の精度で均一化
- 各ピクセルのタイミングも0.4nsの精度で較正

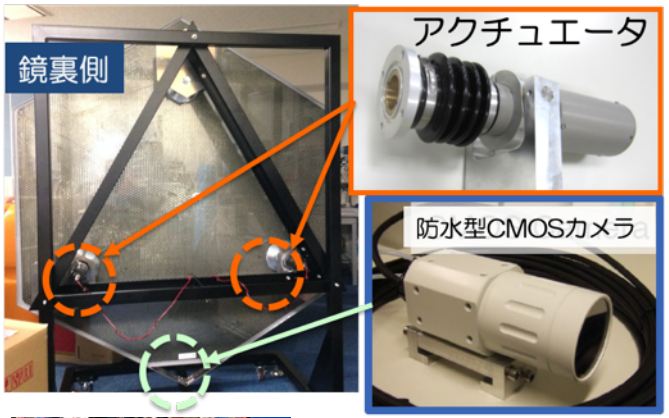
- 10 kHz のレートに対し7.5 %のdead time
- 15 kHzまでデータ取得可能

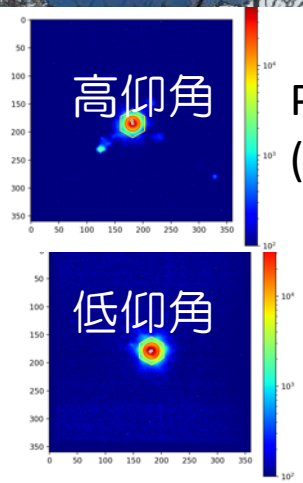
- イベントの時刻付も問題なし

- <u>トリガーのタグづけに不具合</u>
  - 現在は解析で判別
  - 今月Firmwareのupdateで治る予定。

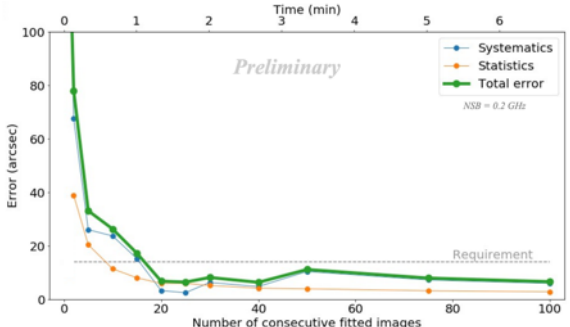
LST1 光学系　＆ 駆動系







PSF
(星像)



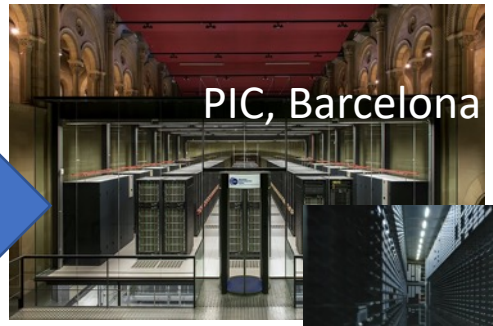
- 200枚の分割鏡をアクチュエーターで姿勢制御。
- 仰角ごとに向きを調整する
- 1 pixel(0.1度)を下回るPSFを達成
  - 0.055度@高仰角
  - 0.066度@低仰角

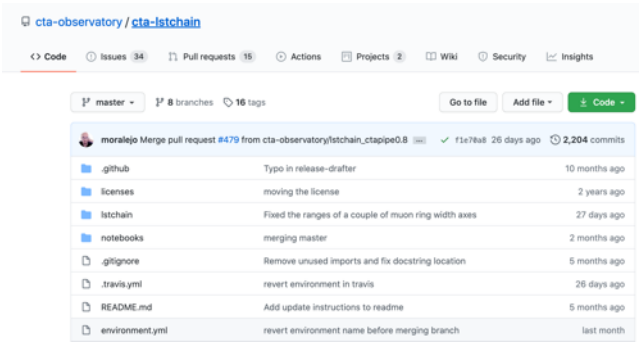
- <u>今後は各分割鏡に設置されたCMOSカメラでリアルタイムでの姿勢制御を試みる。</u>

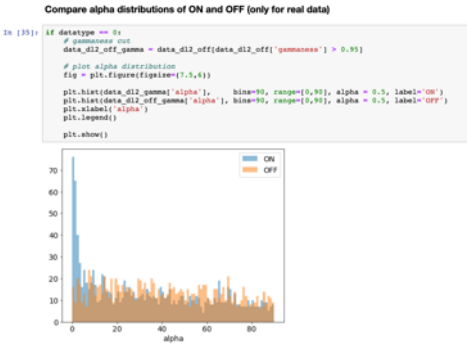
- トラッキングの精度は2分角
- 星の像を使って補正すると１０秒角以下

- 高速回転のためのflywheel UPSも問題なく稼働中

データ管理と解析

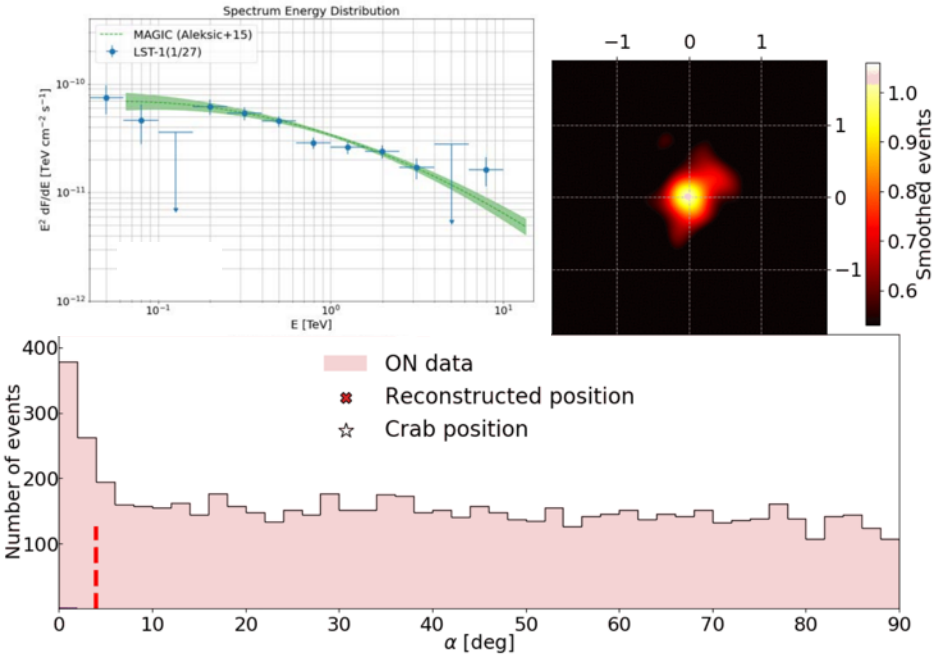






- 望遠鏡onsiteに望遠鏡コントロールとデータ解析のための一時的な計算機センター(IT コンテナ)を設置
- 計 2000 Core, 16TB メモリ
- 3PiB のデータ保存ディスク
- 後日データは バルセロナのPICとイタリアのINFN-CNAFにコピーされる。
- データ解析はpython ベース
- LST1 mono 解析ツールほぼ完成
- ITコンテナは一時的なもので、将来は建設中のOperation Building に移される。

LST1最近の観測



かに星雲, Nov 2019

- First Gamma 線信号。

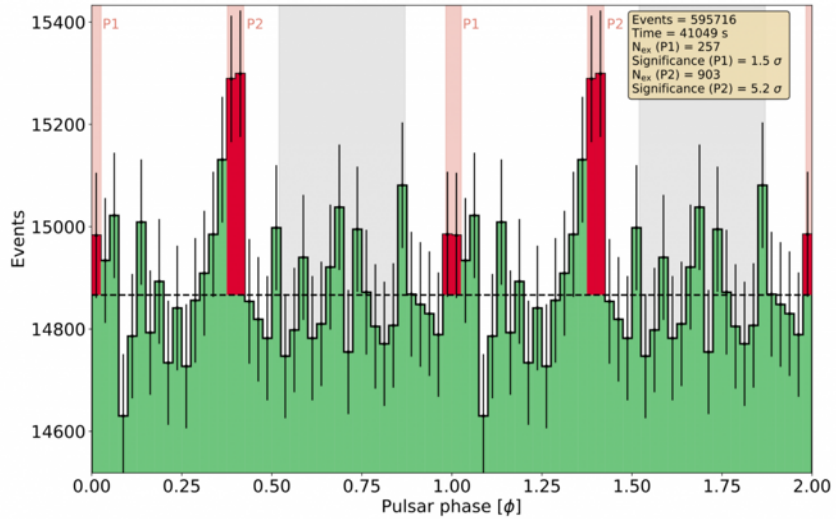
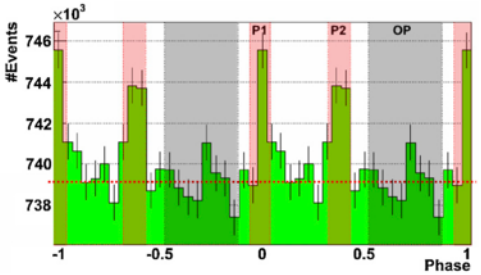


Figure 2: Phasogram of Crab Pulsar as measured by the LST-1. The pulsar is known to emit pulses of gamma rays during phases P1 and P2. The shown significance is calculated considering source emission from those phases (in red) and background events from phases in grey. Credit: LST Collaboration

かにパルサー, Jan-Feb 2020

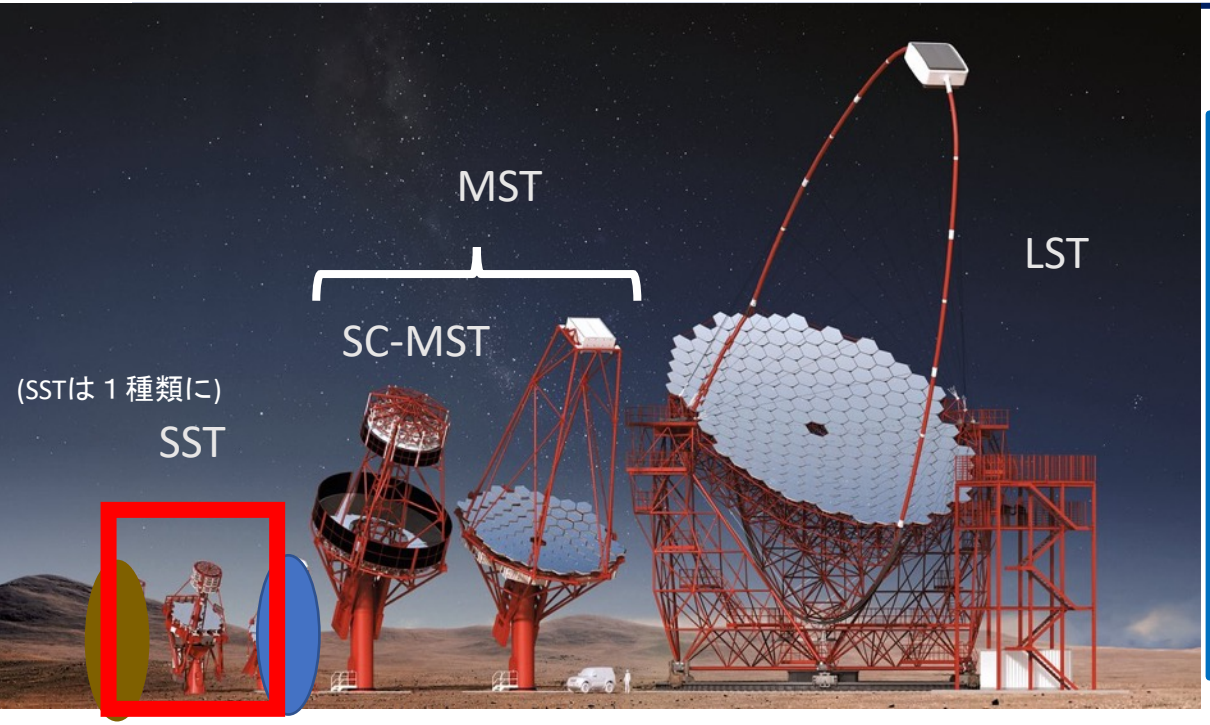
- エネルギー閾値が低いことの証明
- P2の方が高いところをみると、もっと下げられるはず

- その他いくつかのBlazarなど既知の強いガンマ線源からの信号も問題なく検出
- MAGICとの共同ステレオ観測も時折行っている
- Covid-19の影響で3月中旬から6月初旬まで運用停止。現在は稼働中



MAGIC >25 GeV

各種望遠鏡開発状況



LST:

- 2018年10月、一号機竣工
- 2018年12月、ファーストライト
- 2019年11月、かに星雲検出
- 2020年1月、安定観測開始
- 2020年6月、Critical Design Review 合格
- 2020年、 2-4 号機の基礎建設開始

SST:

- 2017年5月、プロトタイプ機@Italyでファーストライト
- 2018年12月、 プロトタイプ機でかに星雲検出
- プロトタイプMini Arrayを開発中

SC-MST:

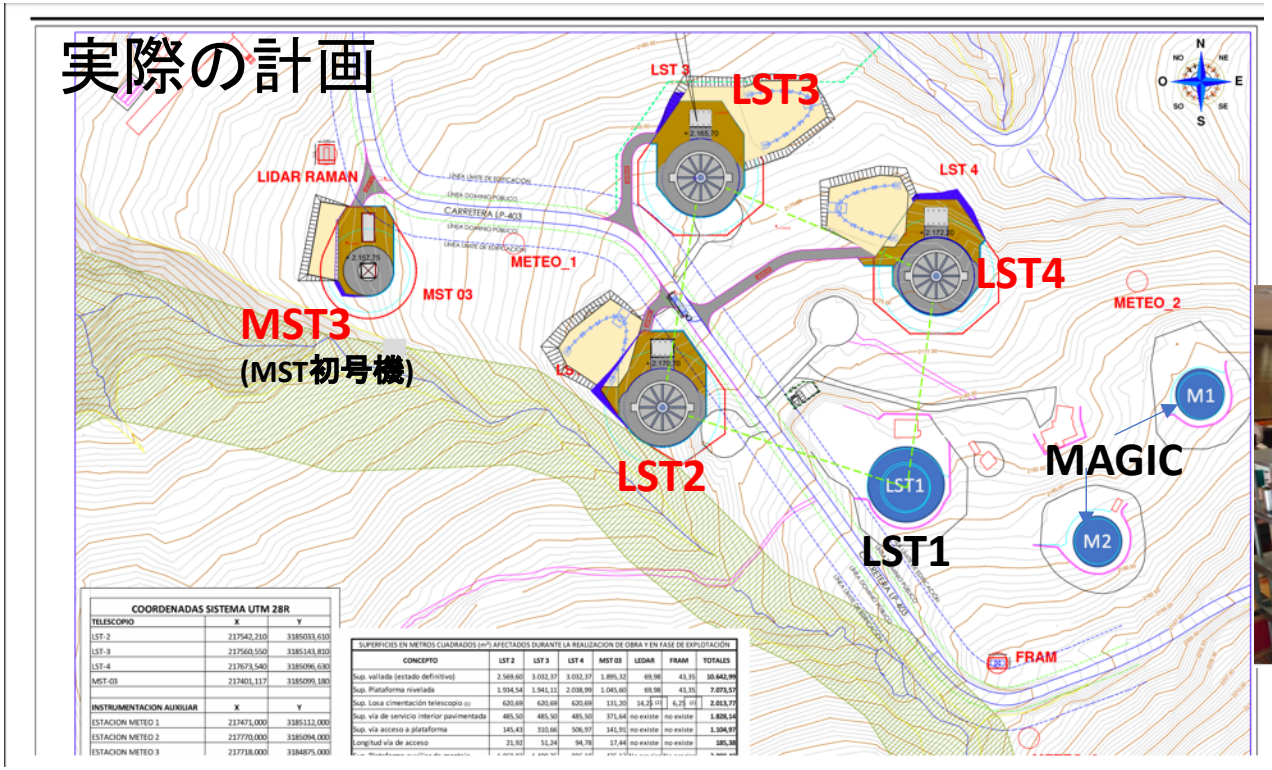
- 2019年1月、プロトタイプ機竣工＆ ファーストライト (@Arizona)
- 2020年6月、プロトタイプ機でかに星雲検出（詳細は奥村講演）

MST:

- 2018年9月 プロトタイプ機@Germanyでファーストライト
- 2019年10月、開発したカメラをHESS望遠鏡に搭載しかに星雲検出
- 2020年　北サイトで基礎工事開始

北サイト今年度

- LST2,3,4 とMST3の位置はすでに決定
- 電源ケーブルやトリガー交換のためのファイバーの経路なども決定
- 基礎工事が開始される
- LST2-4 用の分割鏡はすでにラパルマ島に
- LST2-4用のPMTモジュールは、隣のテネリフェ島で製造、試験中。
(詳細は次の佐々木講演)



まとめ

- 次世代超高エネルギーガンマ線観測装置、CTAの建設は順調に進んでいる。
- LST初号機はCritical Design Review にも合格し、北サイトで安定観測を開始
  - Crab パルサーの検出にも成功(2020年1–2月)
- MST, SC-MST, SSTもそれぞれプロトタイプ機でかに星雲を検出するなど開発が進んでいる。
- 北サイトでは今年度LST2,3,4, MST3（MST初号機)の建設が開始される。