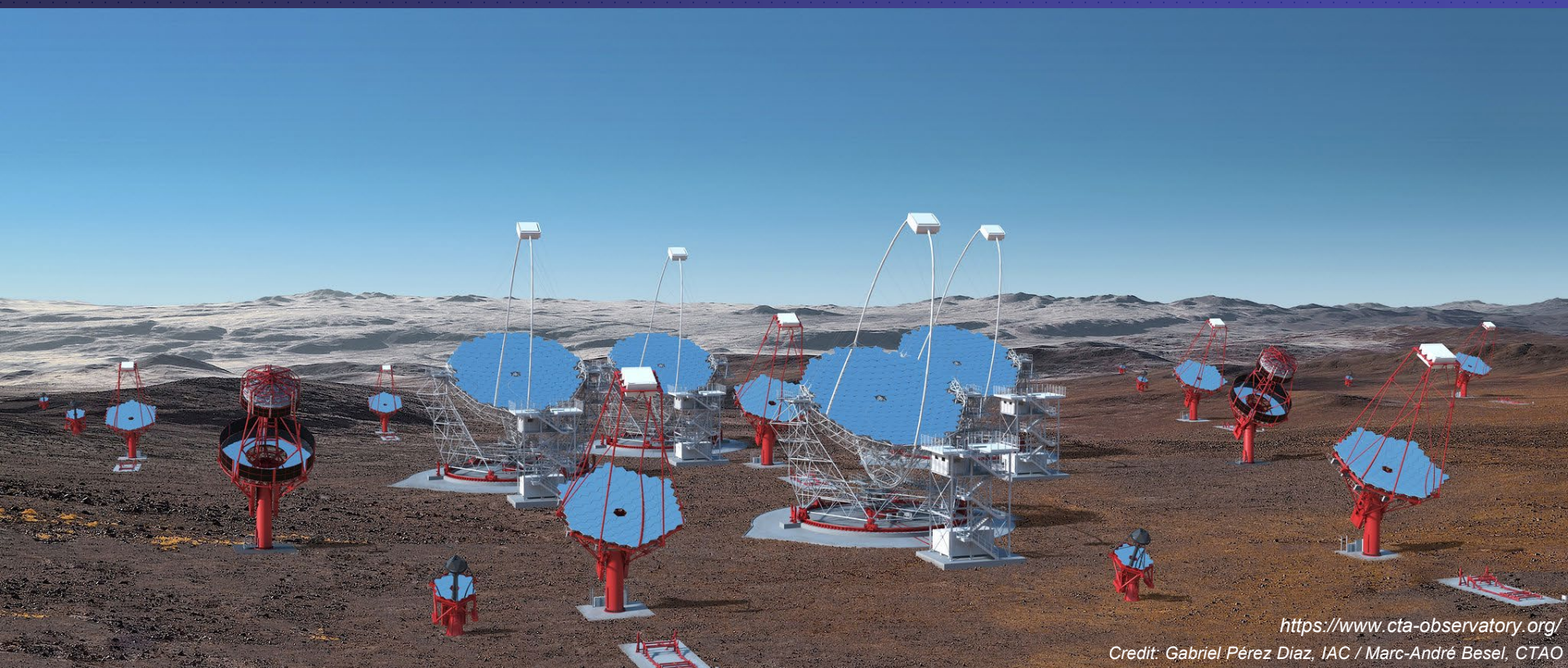


# 超高エネルギーガンマ線天文台CTA計画

窪 秀利 (東大宇宙線研) 他CTA Consortium



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

Credit: Gabriel Pérez Díaz, IAC / Marc-André Besel, CTAO

- E01 手嶋政廣 (ICRR) 「CTA 計画」
- E02 山本常夏 (甲南大理) 「CTA大口径望遠鏡の焦点面検出器開発」
- E03 窪秀利 (ICRR) 「CTA大口径望遠鏡用読み出し回路の開発」
- E04 Daniel Mazin (ICRR) 「CTA大口径望遠鏡LST-1運用, LST2-4建設」
- E05 Daniela Hadasch (ICRR) 「CTA北サイトのオンサイトデータセンター運用とアップグレード」
- E06 西嶋恭司 (東海大理) 「活動銀河核における超高エネルギーガンマ線放射領域の特定」
- E07 齋藤隆之 (ICRR) 「CTA大口径望遠鏡のためのSiPMモジュール開発2」
- E08 levgen Vovk (ICRR) 「CTA-LST制御システム開発」
- E09 野田浩司 (千葉大) 「CTA大口径望遠鏡 光学系と電源系の保守・運用」
- E10 井岡邦仁 (京大基研) 「CTA-Japan 物理研究」
- E11 武石隆治 (ICRR) 「CTA大口径望遠鏡のデータ解析手法の確立と初期観測」
- E12 田島宏康 (名大ISEE) 「CTA小型望遠鏡用カメラの開発」
- E13 大石理子 (ICRR) 「CTAモンテカルロシミュレーション」
- E14 櫛田淳子 (東海大理) 「大口径大気チェレンコフ望遠鏡を用いたニュートリノ放射源天体の探索」
- F03 Ellis Owen (National Tsing Hua U.)  
国際枠 「Understanding the GeV-TeV signatures of star-forming galaxies in the extragalactic gamma-ray background with CTA」
- E16 窪秀利 (ICRR) 「MAGIC望遠鏡を用いた高エネルギーガンマ線天体の研究」

CTA

MAGIC

研究会のE15(吉田龍生)とE17(Moritz Huetten)を除き、

計16件 査定額894万円(研究費258万円+旅費636万円)

ラパルマ+柏 旅費

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, 加賀谷美佳, 金森翔太郎, 窪秀利, Emil Khalikov, Xiaohong Cui, 小林志鳳, Albert K. H. Kong, 齋藤隆之, 櫻井駿介, 佐野栄俊, Timur Dzhatdoev, 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, levgen Vovk, Pratik Majumdar, Daniel Mazin, 三輪柁喬, 村瀬孔大, 吉越貴紀

東大理

大平豊, 戸谷友則, 馬場彩

東北大

當真賢二

徳島大

折戸玲子

名大理

立原研悟, 早川貴敬, 福井康雄, 山本宏昭

名大ISEE

奥村暁, 高橋光成, 田島宏康, バン・ソンヒョン

広大先理工

今澤遼, 榎木大修, 木坂将大, 須田祐介, 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, 坂本貴太, 門叶冬樹, 中森健之

山梨学院大

内藤統也, 原敏

理研

井上進, Donald Warren, 榎直人, 澤田真理, 辻直美, Maxim Barkov, Gilles Ferrand, Haoning He, 長瀧重博

立教大

内山泰伸, 林田将明

早稲田大

片岡淳

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, 服部勇大, 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 岩崎啓, 岡知彦, 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 郡和範, 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

埼玉大 勝田哲, 立石大, 寺田幸功

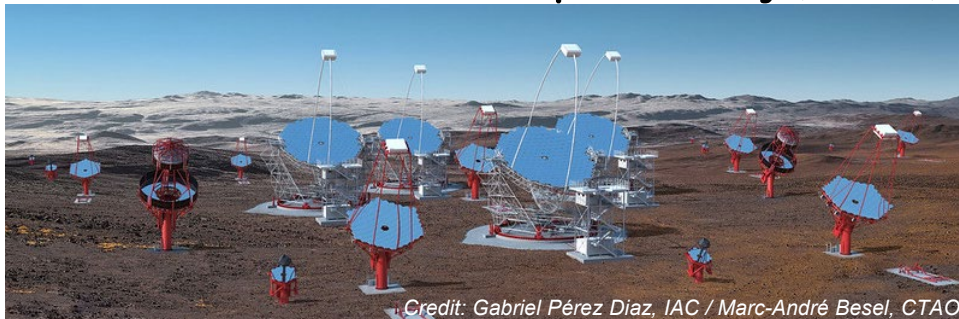
東海大 阿部和希, 櫛田淳子, 佐々誠司, 高橋菜月, 西嶋恭司



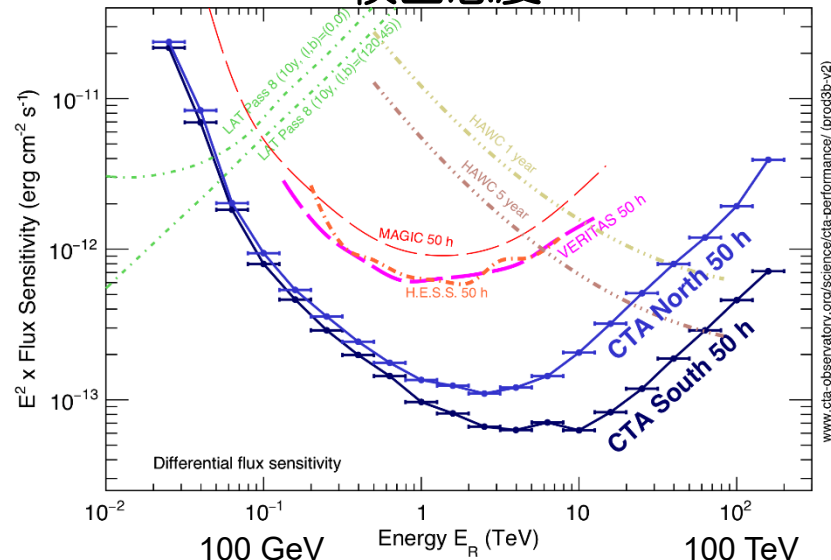
# CTAの性能、狙うサイエンス



## Cherenkov Telescope Array (CTA)



## 検出感度

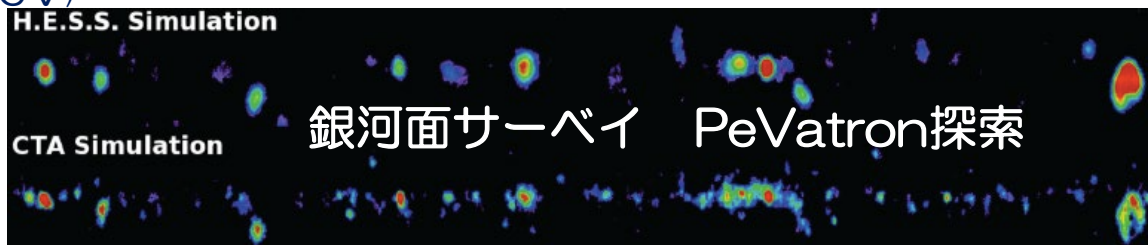


従来の望遠鏡より

- ◆ **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)

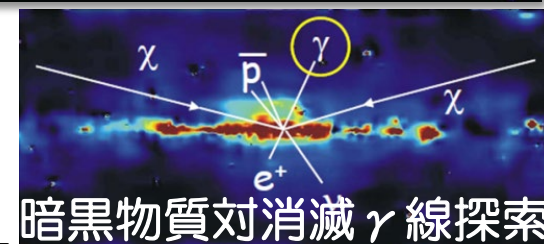
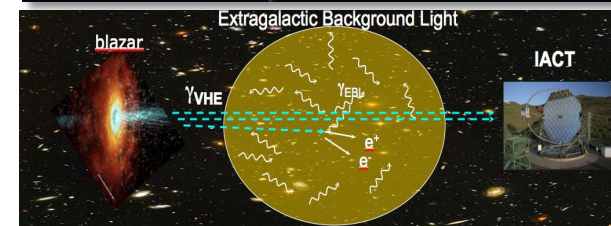


- 検出天体 252個 (現在)  
TeV Catカタログ  
⇒ 1000個以上
- 最遠方  $z=1.1$  (GRB201216C)  
⇒  $z \sim 4$



宇宙線起源

ブラックホール  
物理・ジェット  
形成



赤外・可視背景放射 → 宇宙の星形成史

暗黒物質対消滅  $\gamma$  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



**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

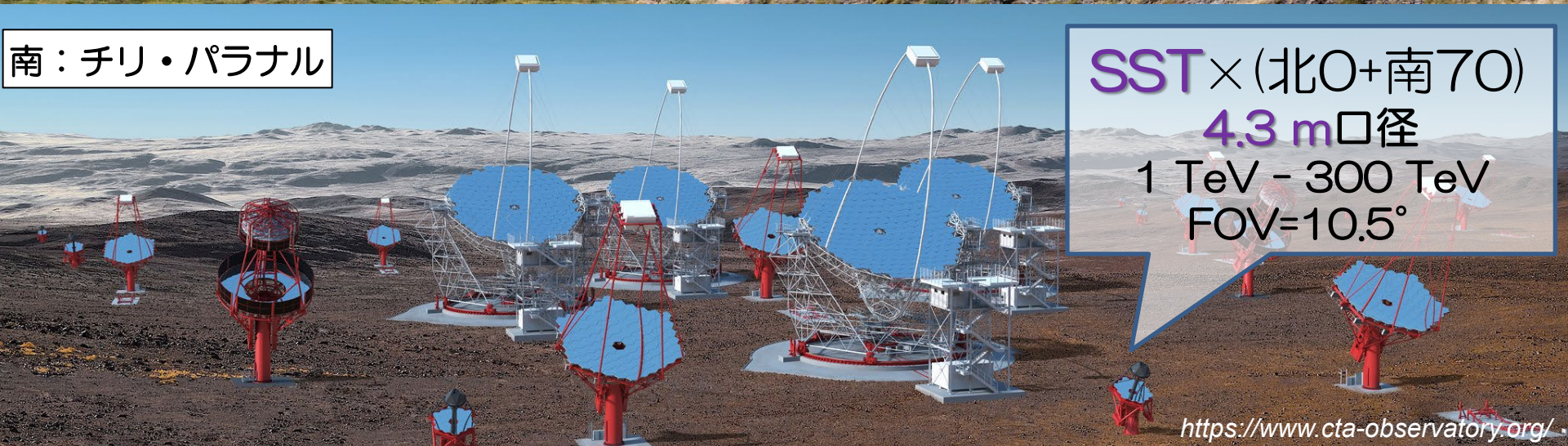
完成予想図

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°

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

欧州連合EUで法人格を持つ研究基盤機構(略称ERIC)が今年設立予定

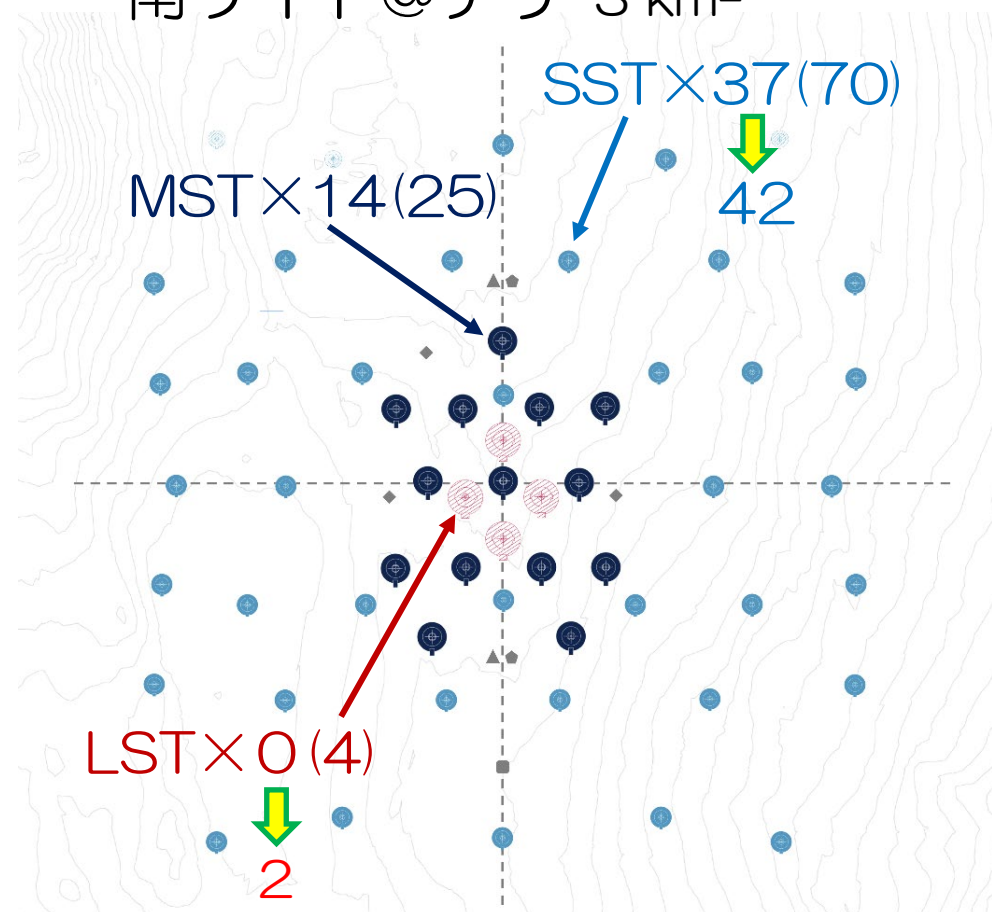
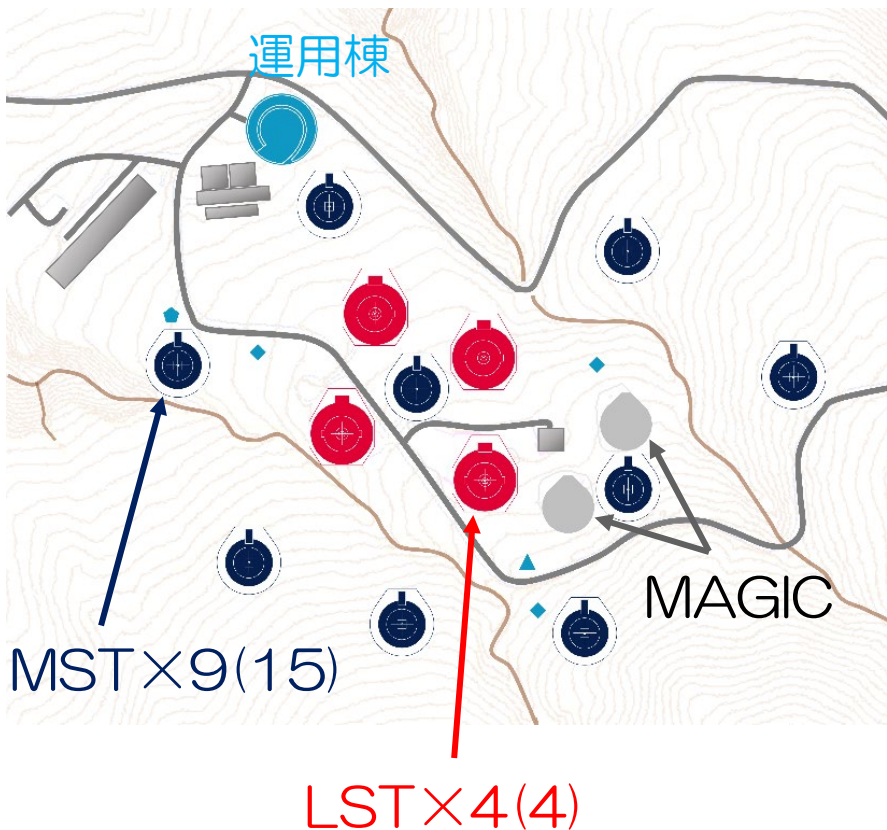


# 望遠鏡配置(第1期)

( )は、最終目標台数

北サイト@スペイン 0.5 km<sup>2</sup>

南サイト@チリ 3 km<sup>2</sup>



昨年6月 イタリアが大型予算獲得(再興・回復のための国家計画PNRRの一部)  
【南サイトLST×2 + SST×5】2025年末までに要素製作完了  
⇒日本グループ技術協力(LST 1-4号機カメラ・鏡ノウハウ)

# 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

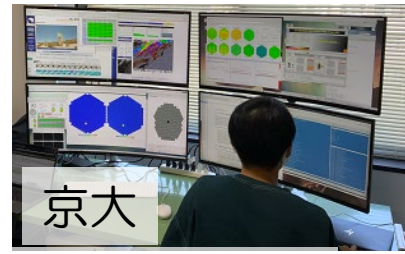
LST初号機(LST-1)  
口径 23 m

Credit: S.Nozaki

リモート運用併用



ICRR



京大

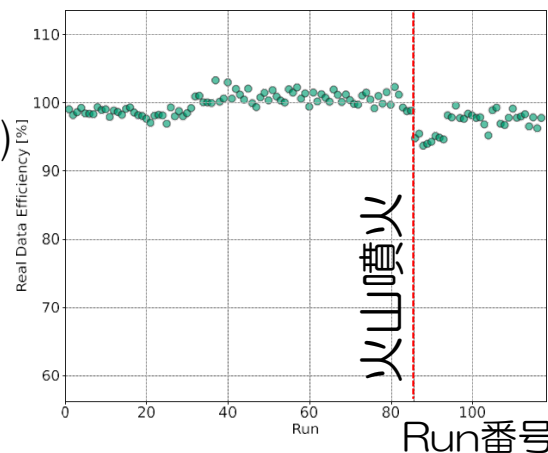
+名大(昨年~)  
フランス, イタリア,  
クロアチア, ブルガリア

## 【観測結果は、次の武石講演】

科学観測 2020年1月から1200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
  - 銀河中心
  - 活動銀河核 他

## チェレンコフ光収集効率



2020年11月  
-2022年3月

火山噴火直後  
を除き安定

ばらつき(最大±4%)  
は測定誤差と  
ダスト量変化に起因



# オンサイト計算機システム



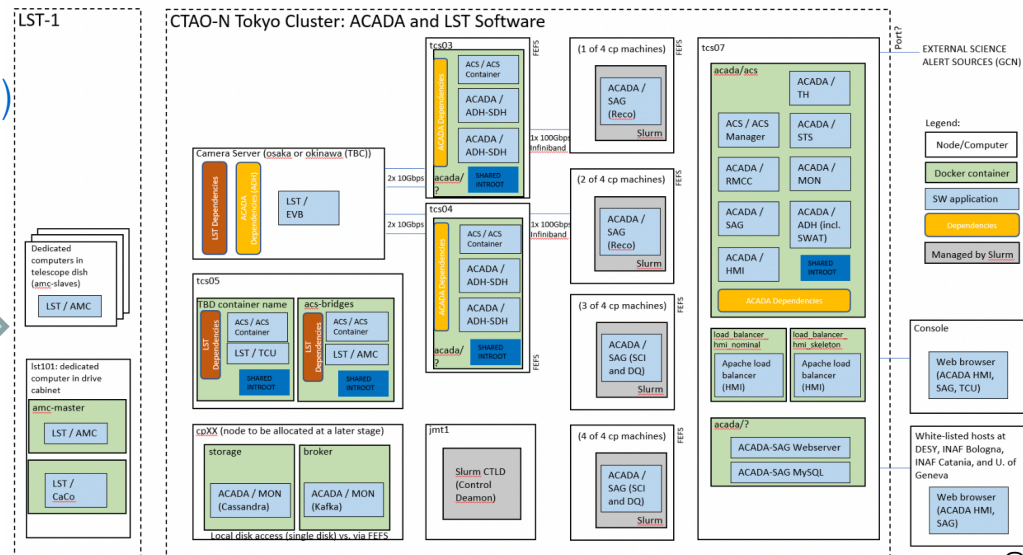
コンテナは一時的なもので、建設予定の北サイト運用棟に移される



## 3.1.1 Deployment Overview

The following diagram shows the proposed deployment schema for the ACADA-LST software integration and tests:

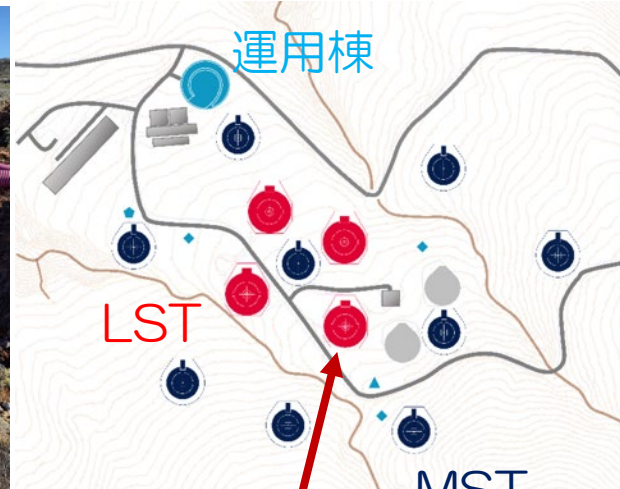
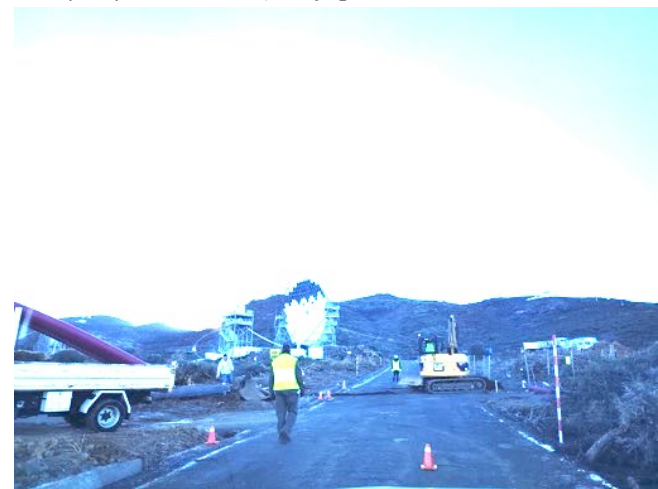
- 北サイト全体の観測データの記録・解析と望遠鏡制御用
- 計 2000 Core, 16TB メモリ
- ストレージ 3.4 PB ⇒ 5.7 PB (昨年) をコンテナ内に設置
- 北サイト全体の望遠鏡制御・データ収集システムに LST を統合作業中(昨年～)





# LST 2-4号基 準備状況@ラパルマ島

昨年10月、現地行政の建設許可が下り、基礎工事中






LST初号機のカメラアクセスタワーから、先月25日に撮影



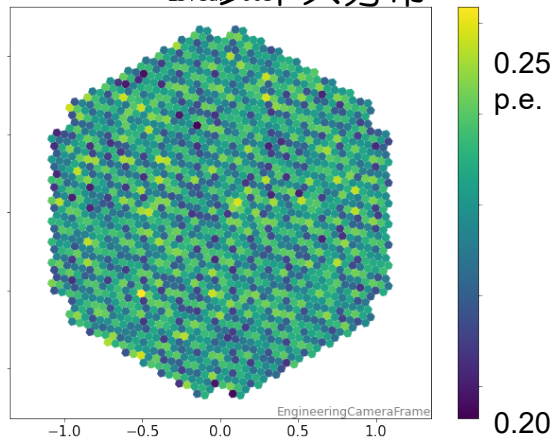


# LST 2-4号基 準備状況：カメラ・光学系

LST-2@テネリフェ島


全系試験中   

ノイズ分布



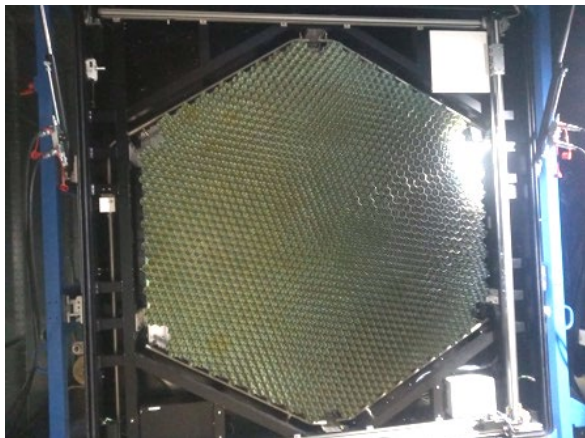
PMT 7本+GHz波形記録回路



分割鏡 3台分630枚  
を昨年追加補修 

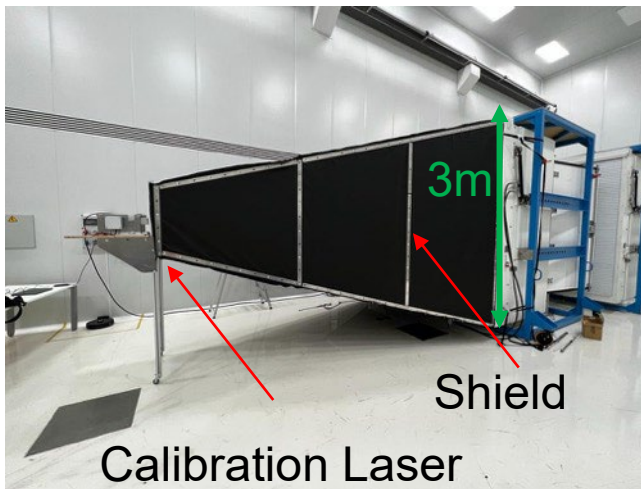
LST-3@バルセロナ

組上げ中



LST-4@テネリフェ島

全系試験中





# LST 2-4号基 準備状況：外国グループ担当



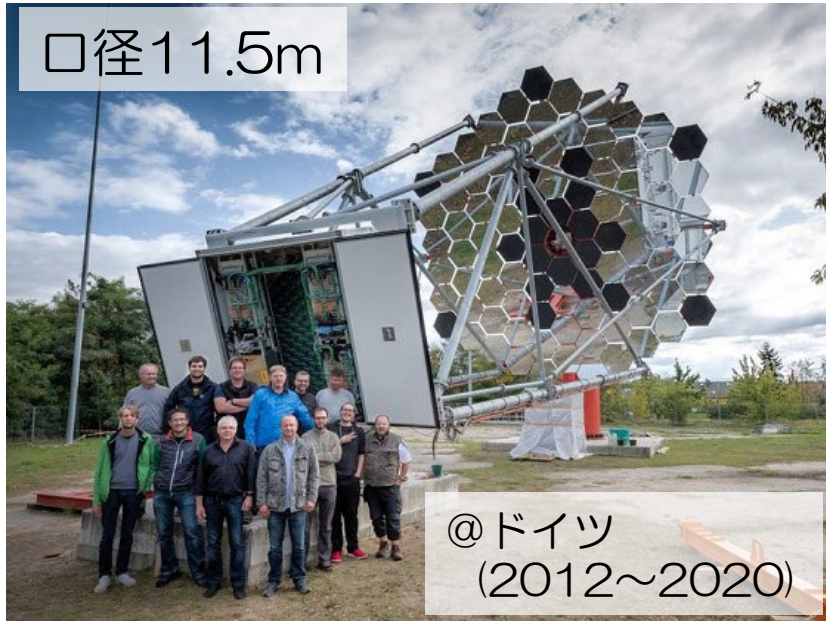
2-4号基 建設並行⇒2025年完成⇒LST 4基アレイによる観測



# 中口径望遠鏡(MST)プロトタイプ

## ● Davies-Cotton型 MST (欧州)

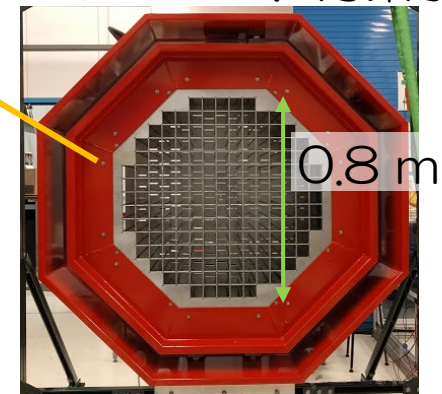
## ● Schwarzschild-Couder型 SCT



主鏡9.7m+副鏡5.4m

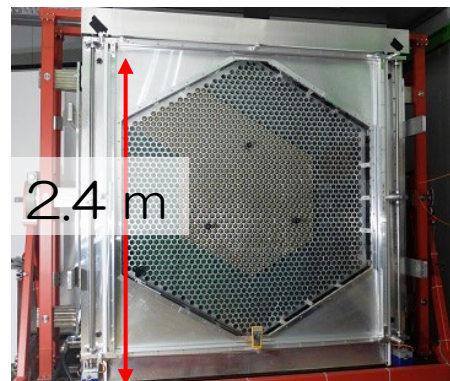
■ カメラ

SiPM~1.1万素子



(SiPM1536素子)

カメラ PMT~1800本

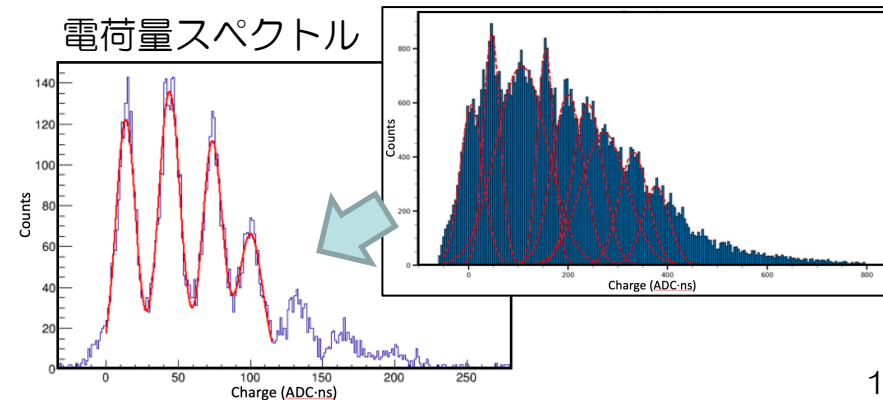


➤ 北サイトへ1台輸送  
(2024年)  
⇒MST初号機建設

➤ 南サイト近くに  
pathfinder建設  
(2024年)

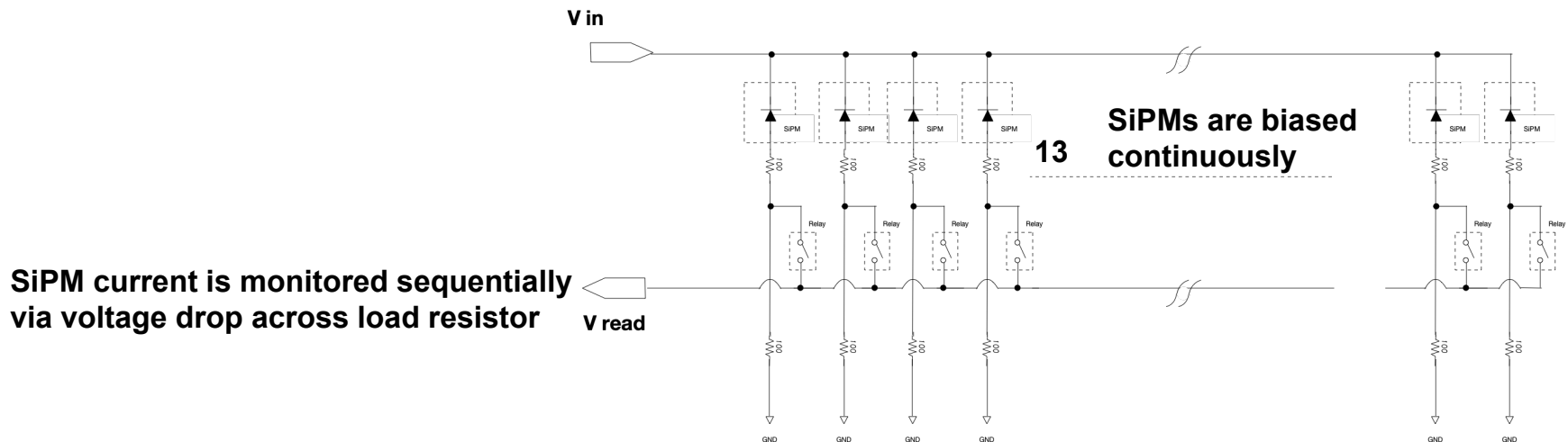
➤ 読出回路2種類  
(1つはHESS-IIIに搭載し観測2019年~)

- 2020年 かに星雲を検出
- カメラ (SiPMと読出回路) 改良



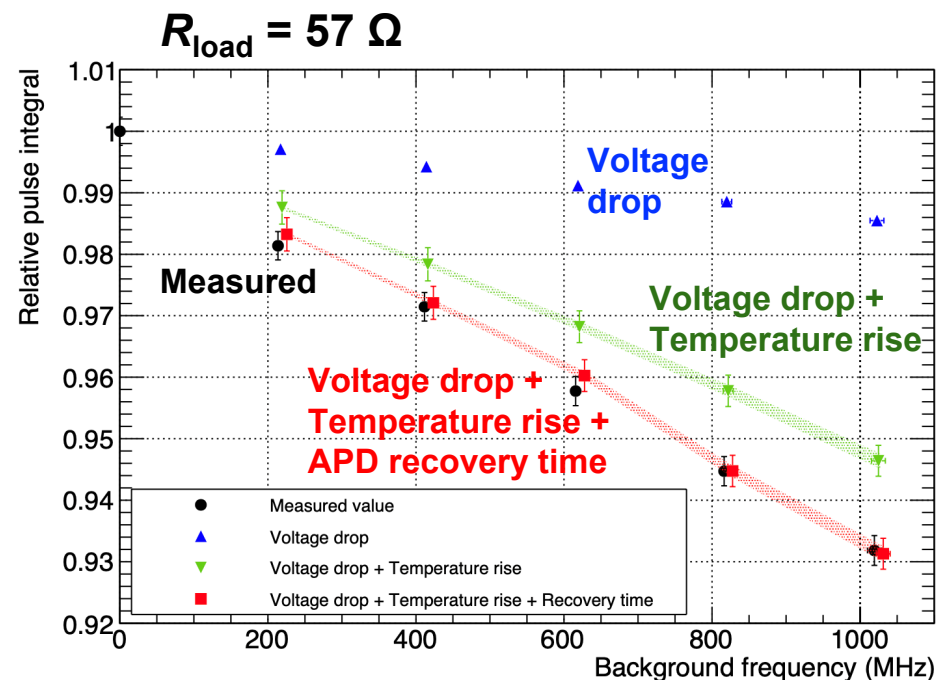


- ❖ Small-sized telescope started production of the first telescope
  - ❖ Nagoya group is in charge of SiPM for SST camera.
    - ◆ 25 SiPM modules (1600 channels) are delivered to Nagoya
    - ◆ Another batch of 25 modules will be delivered in one month
  - ❖ Nagoya group prepared accelerated lifetime measurements
    - ◆ Thermal cycle ( $-20$  to  $+80$  °C, 30 min, 100 cycles)
    - ◆ High temperature + high humidity ( $+60$  °C, RH 90%, 1000 hours)
    - ◆ High current (by bright background light)

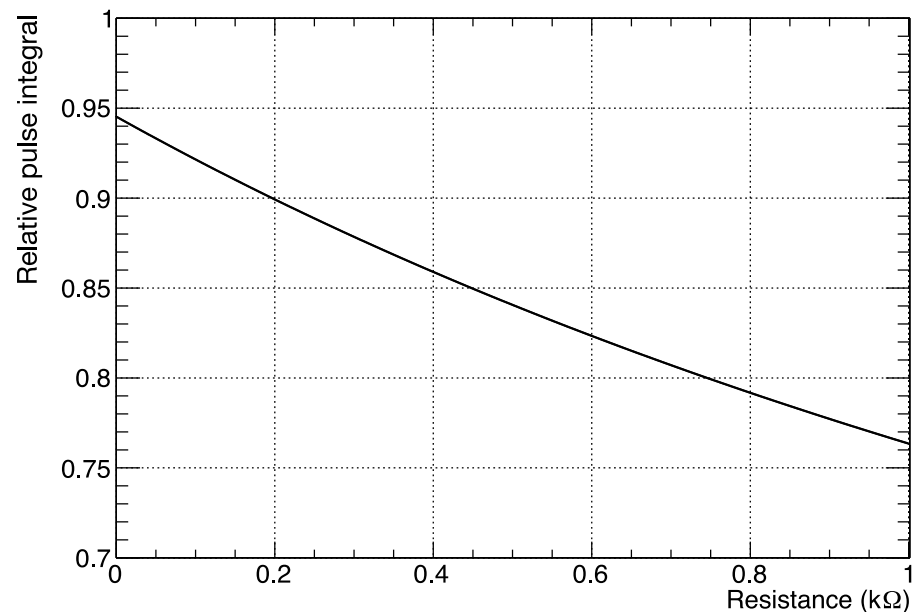


❖ Gain drop of SiPM is measured as a function of background light intensity

❖ Measurements are performed with small load resistor (57  $\Omega$ ) to measure the effects other than voltage drop across load resistor due to higher current



CTA Small-sized Telescope

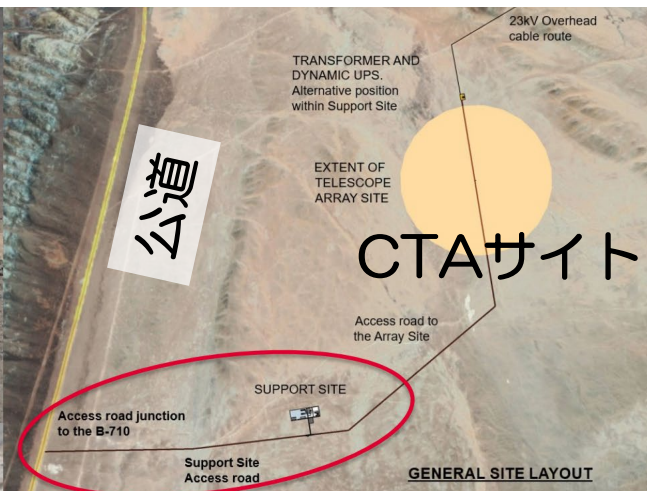




# CTA南サイト@チリ・パラナル

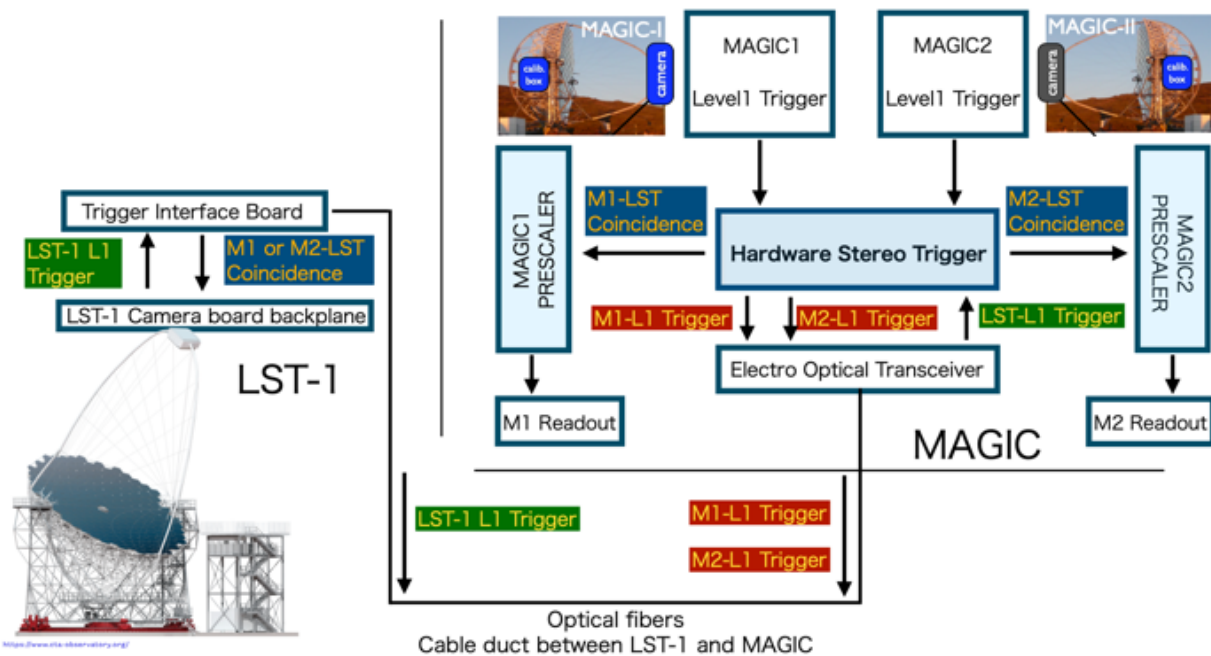


Credit: Marc-André Besel, CTAO / ESO



昨年、公道からCTAサイトへの道路建設

# LST初号機とMAGICのステレオトリガー開発



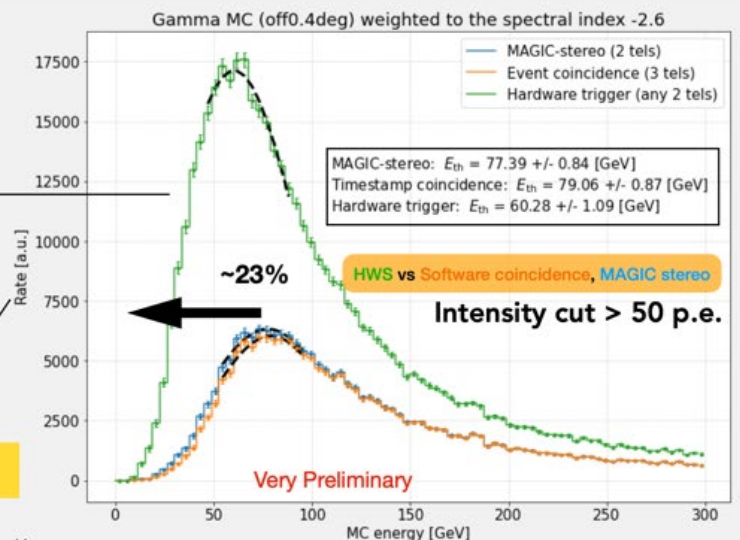
- MAGICとLST-1間を光ファイバーで結び、トリガー信号をやりとり
- 現状のオフラインでのコインシデンス解析と比較すると、特に低エネルギーで改善
- LST4台でのステレオ観測の準備



MAGIC stereo: (M1, M2)  
 Timestamp coincidence: (M1, M2, LST1)  
 HWS: (M1, M2) or (M1, LST1) or (M2, LST1) or (M1, M2, LST1)

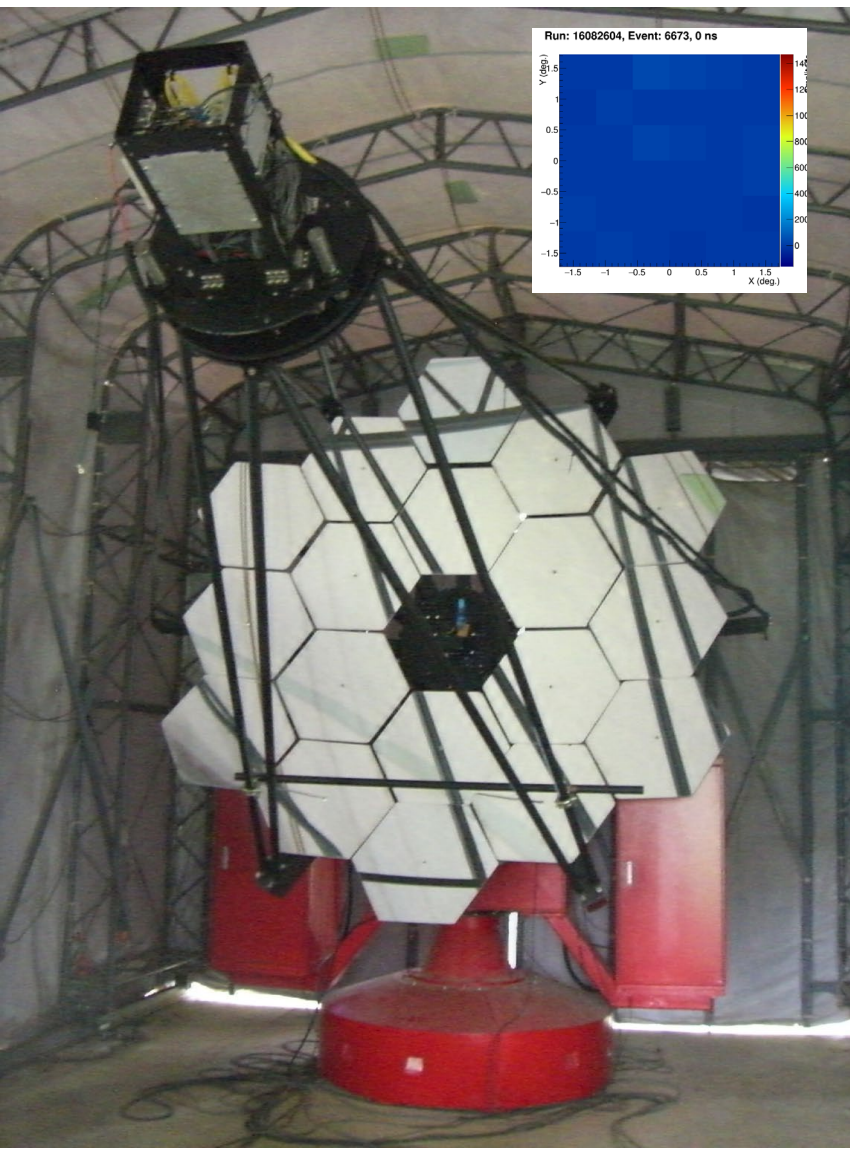


Event rate of HWS is higher because you have any 2 combination  
 In this figure, the rates from different combination are simply added

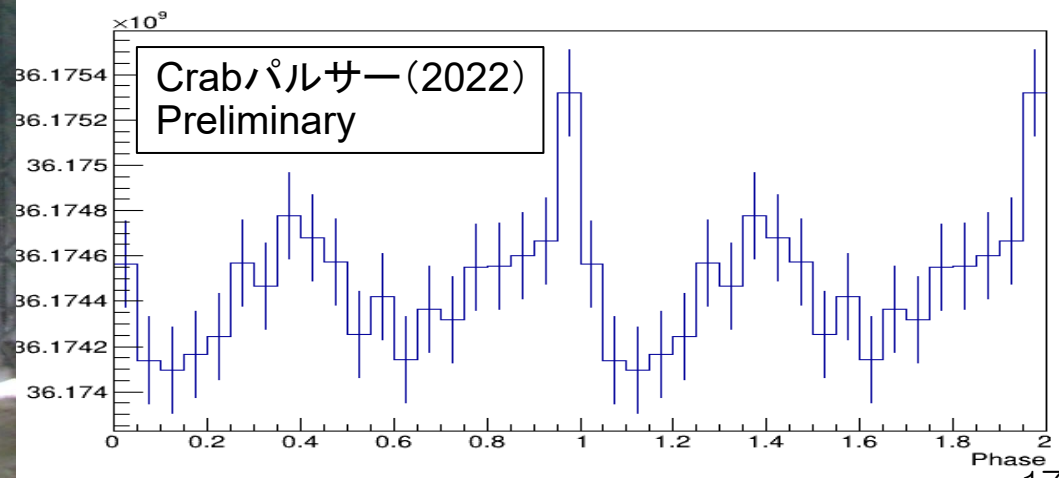




# 明野観測所における 小型大気チェレンコフ望遠鏡R&D



- 明野観測所施設利用(C1)
  - 代表者:吉越貴紀(東大宇宙線研)
  - 2022年度査定額:13万円
- 国内唯一の大気チェレンコフ望遠鏡(口径3 m)。各種R & Dを支援。
- 最近の活動:
  - Crabパルサーの可視光観測を実施(2022年1月、約12時間)。予備的な解析でパルスを検出。

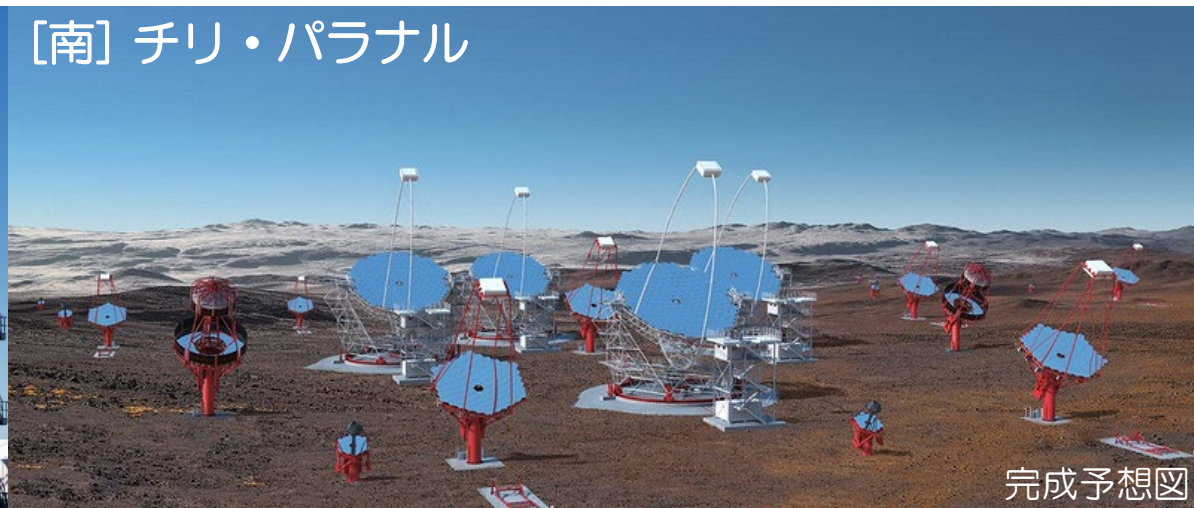


- CTA北サイトの大口径望遠鏡LST初号機
  - 2020年から科学観測中、観測論文投稿段階（次の武石講演）
- CTA北サイトLST 2-4号機
  - 昨年10月、建設許可下りる⇒現在 基礎工事中
  - 要素製作ほぼ完了 ⇒2025年に完成、4基アレイによる観測
- CTA南サイト
  - LST 2基建設予算確保(イタリアグループ)
    - 日本グループ技術協力(LST 1-4カメラ・鏡ノウハウ)
  - 昨年、サイトへのアクセス道路建設
- SST初号機カメラ製作中 SiPM試験
- 欧州連合EUで法人格を持つ研究基盤機構が今年設立予定

[北] スペイン・ラパルマ島



[南] チリ・パラナル



Credit: A. Okumura

完成予想図