

CTA報告182: 全体報告

齋藤隆之(東大宇宙線研)
他CTA-Japan Consortium

2021年秋季年会 9月14日 オンライン開催

CTA Consortium



31か国
>1500名



CTA-Japan 122名 (本講演著者)

青山大 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
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,
鶴剛, 寺内健太, 野崎誠也,
ユ・ソクヒョン, 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, 溝手雅也,
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, 西嶋恭司,
原田善規, 平松明秀

東大 宇宙線研

浅野勝晃, 阿部正太郎, 阿部日向, 栗井恭輔, 石尾一馬, 稲田知大,
猪目祐介, 岩村由樹, 大石理子, Ellis R. Owen, 大岡秀行,
大谷恵生, 岡崎奈緒, 加賀谷美佳, Emil Khalikov, Xiaohong Cui,
小林志鳳, Albert K. H. Kong, 齋藤隆之, 櫻井駿介, 佐野栄俊,
澤田真理, Timur Dzhatdov, Marcel Strzys, 高田順平,
高橋光成, 武石隆治, Thomas P. H. Tam, K. S. Cheng, 千川道幸,
Wenwu Tian, 手嶋政廣, 野田浩司, バクスター・ジョシュア・稜,
橋山和明, 林克洋, 林航平, Daniela Hadasch, 廣島渚, 広谷幸一,
David C. Y. Hui, 深見哲志, 藤田裕, levgen Vovk,
Pratik Majumdar, Daniel Mazin, 村瀬孔大, 吉越貴紀
大平豊, 戸谷友則, 中山和則, 馬場彩

東大理

東北大

徳島大

名大理

名大ISEE

広大先理工

広大宇宙科学センター 水野恒史

宮崎大

山形大

山梨学院大

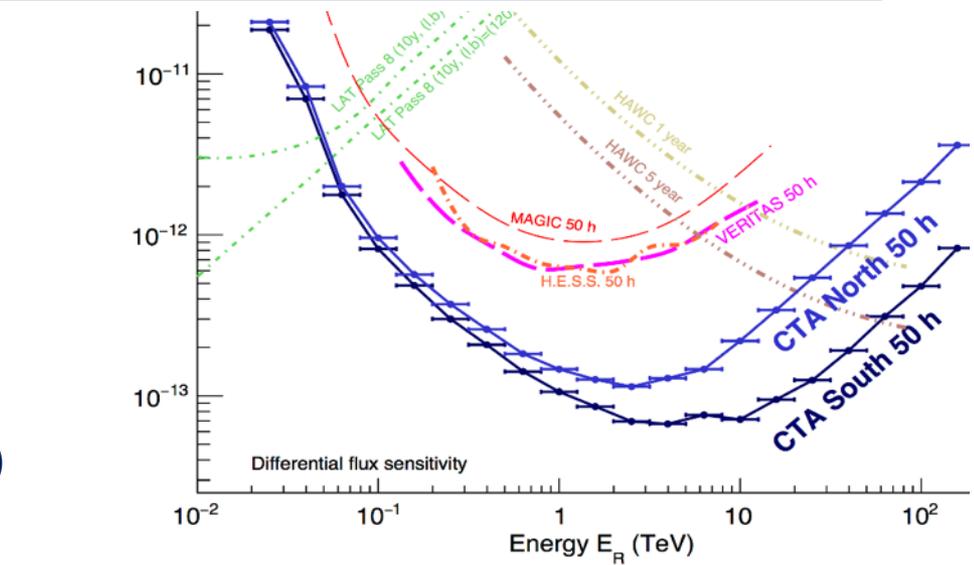
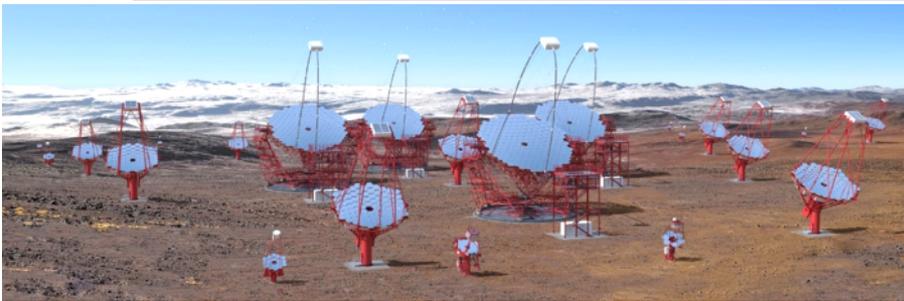
理研

立教大

早稲田大

當真賢二
折戸玲子
立原研悟, 早川貴敬, 福井康雄, 山根悠望子, 山本宏昭
奥村暁, 田島宏康, 芳賀純也, 若園佳緒里
今澤遼, 木坂将大, 須田祐介, 高橋弘充, 深沢泰司
森浩二
郡司修一, 門叶冬樹, 中森健之
内藤統也, 原敏
井上進, Donald Warren, 榊直人, Maxim Barkov, Gilles Ferrand,
Haoning He, 長瀧重博
内山泰伸, 林田将明
片岡淳

CTAの性能、狙うサイエンス

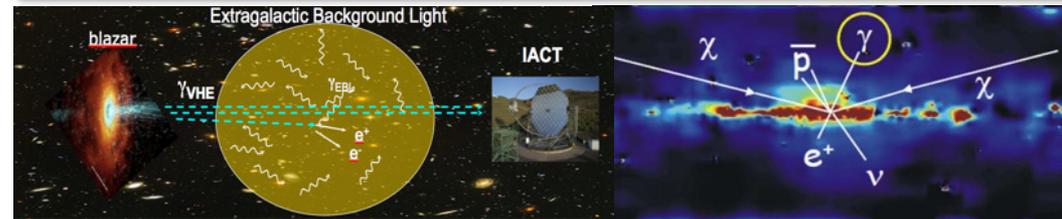
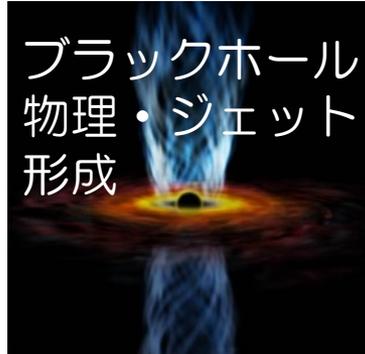
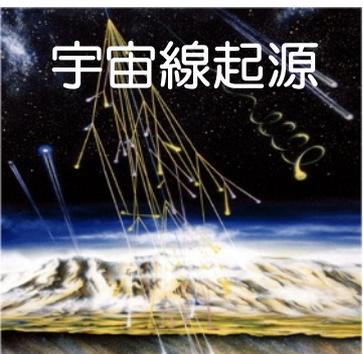
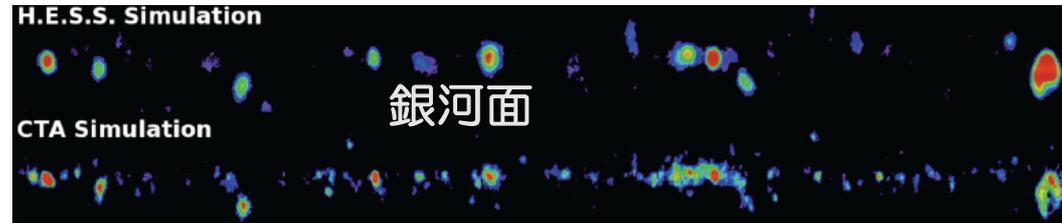


従来の望遠鏡より

- ◆ 桁高い感度
- ◆ 桁広い帯域 (20 GeV-300 TeV)
- ◆ 角度分解能 ~ 2倍 (2分角 @ 10 TeV)



- 検出天体 約230個(現行)
⇒ 1000個以上
- 最遠方 $z \sim 1.1$ (GRB201216C)
⇒ $z \sim 4$ GRB等



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

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

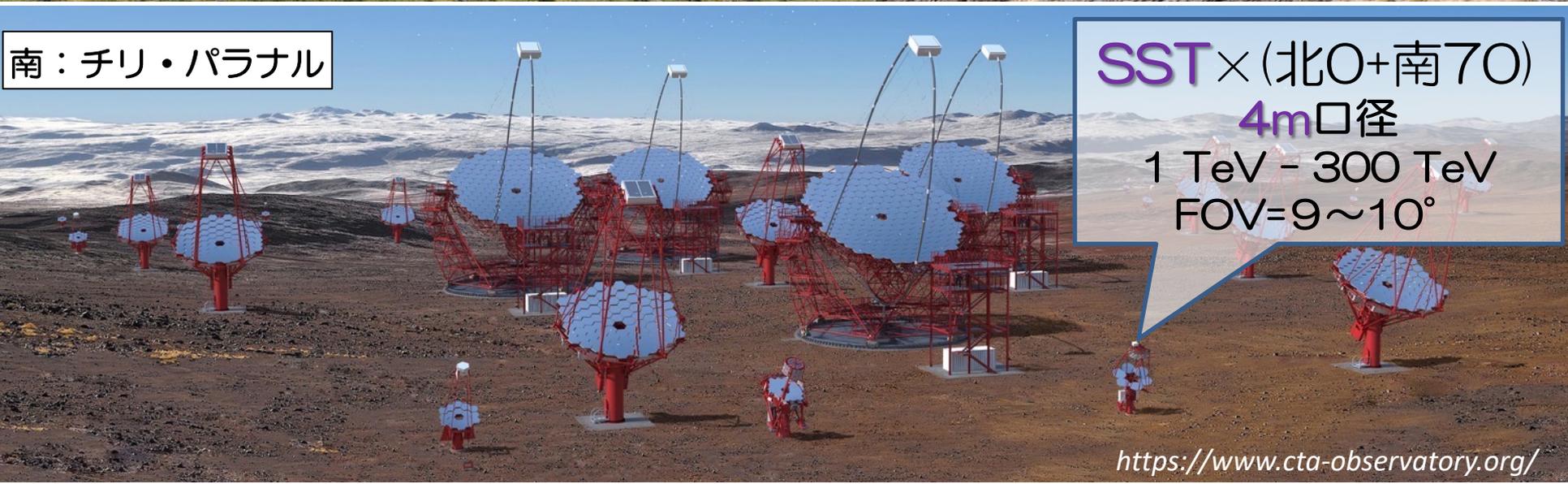
完成予想図

北：スペイン・ラパルマ島



MAGIC望遠鏡

南：チリ・パラナル



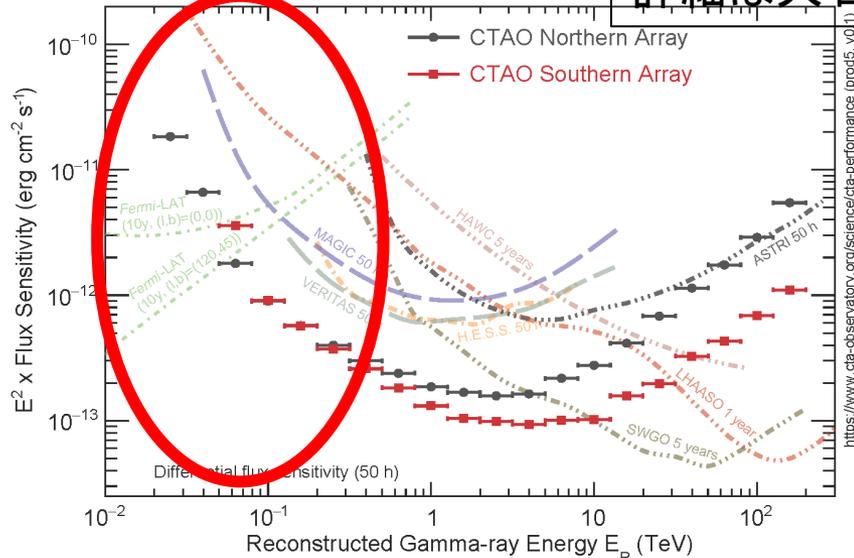
SST × (北0+南70)
4m口径
1 TeV - 300 TeV
FOV=9~10°

Large Sized Telescope 大口径望遠鏡

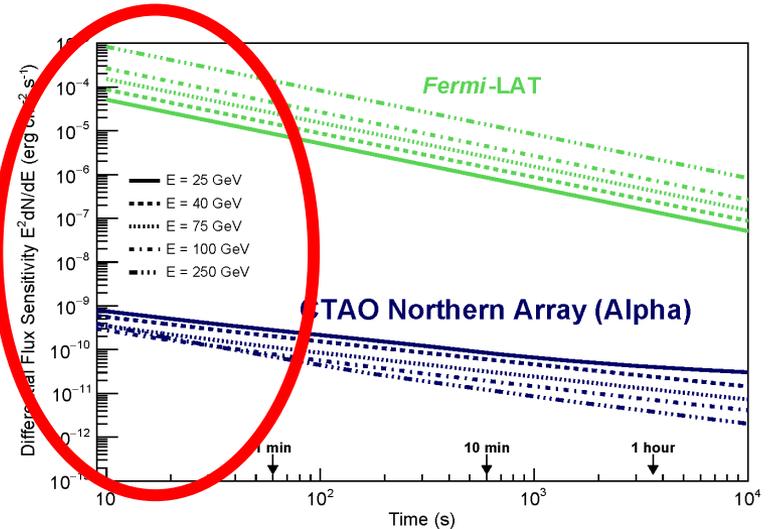
- 300 GeVの以下の低E領域を担当
- Fermi-LATと相補的
- 短時間ではLATの4-5桁高い感度
- 180度 / 20秒で高速回転できるのはLSTだけ
- 日本チームは主としてLSTに貢献
 - MST, SSTにも重要な貢献
 - シミュレーションにも貢献



詳細は大石講演

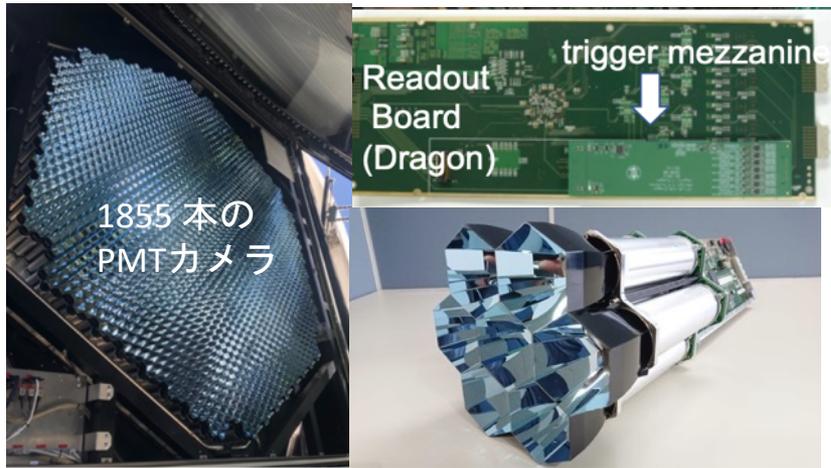


感度 vs エネルギー



感度 vs 積分時間

LST1 カメラとDAQ



1. 読み出しノイズ:

- 0.2 p.e. かつ1%の精度で安定
- NSBに対してsqrtの依存性

2. ADC – 光電子数 変換係数

- 2%の精度で一様
- 10倍までの夜光に対し1%の安定性

3. トリガシステム:

- 閾値はカメラ上で10%の精度で一様
- トリガ分配のタイミングも100psの精度で一様

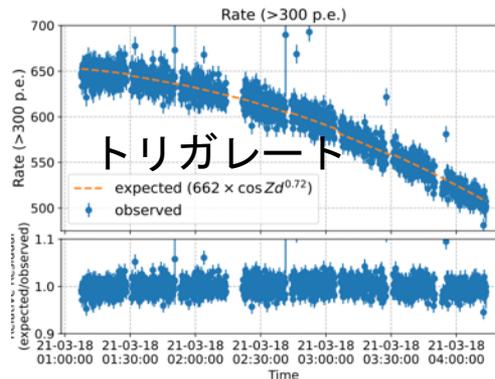
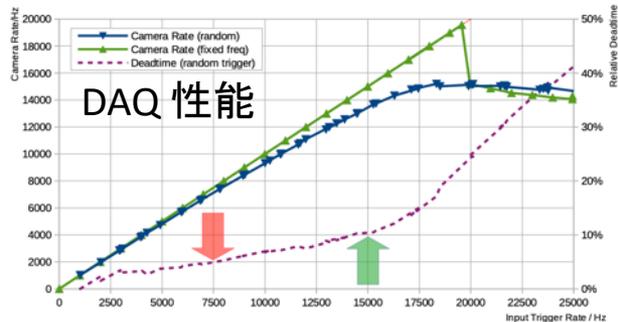
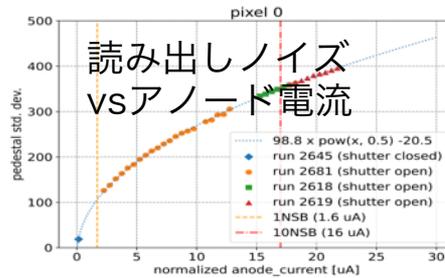
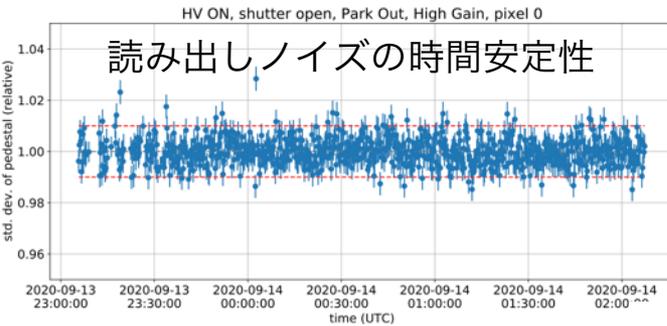
4. DAQ:

- オンラインでゲイン選択や、ペDESTAL引き
- 15 kHz まで取得可能
- 7.5 kHz トリガで、5%のdead time

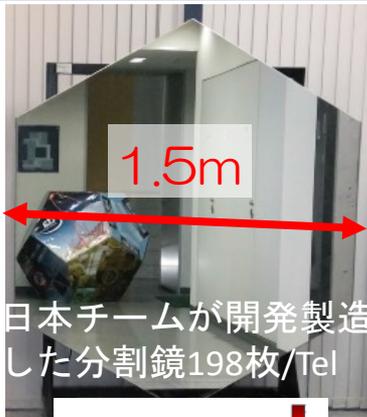
5. 安定観測:

- 星などの影響を避ける、自動閾値調整
- トリガレートは1.5%の精度で安定
- $\cos(Zd)$ に依存してレートは変わる

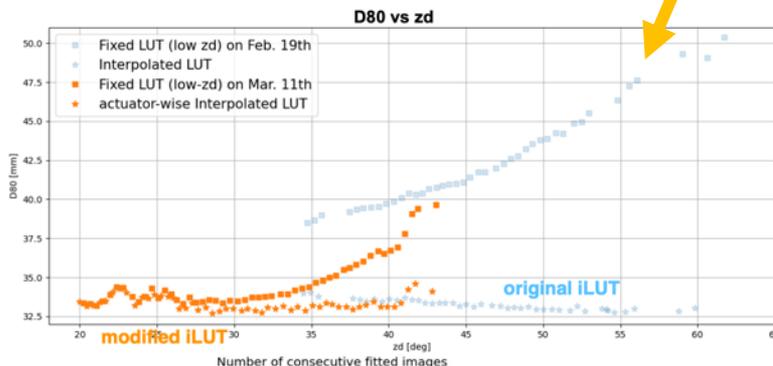
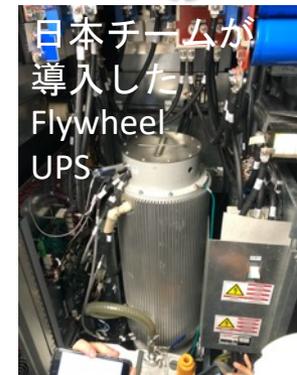
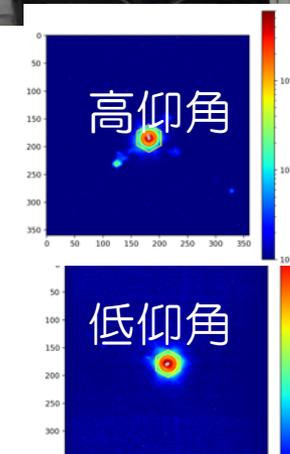
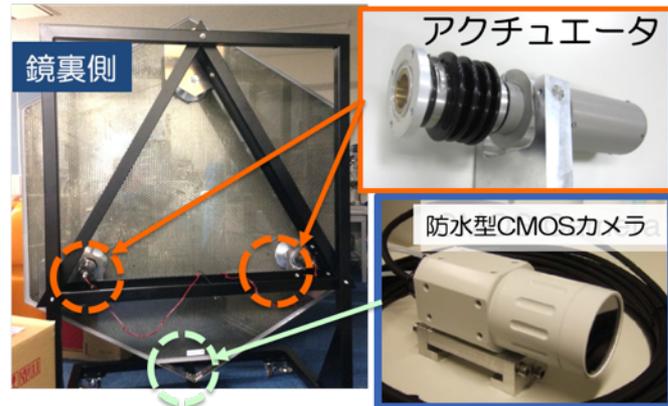
校正の精度については
小林講演参照



LST1 光学系 & 駆動系

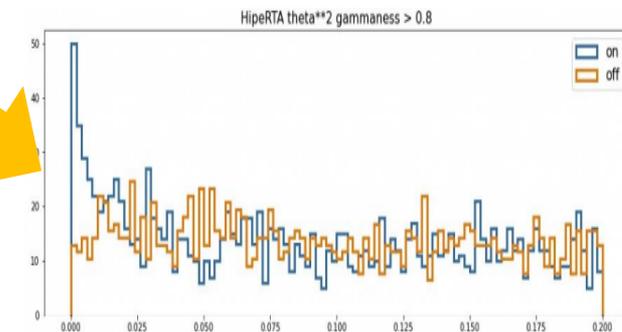
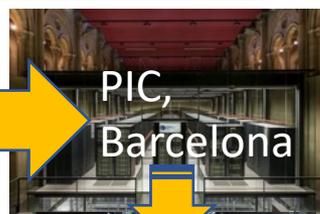
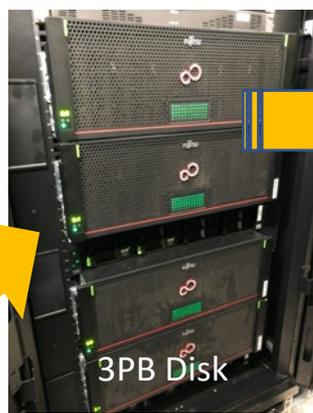
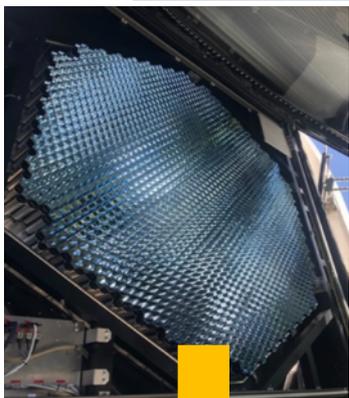


日本チームが開発製造した分割鏡198枚/Tel



- 200枚の分割鏡をアクチュエータで姿勢制御。
- 天頂角ごとに向きを調整する。(Look-Up-Table+内挿)
 - 天頂角20度-60度まで、0.066度(2/3 pixel)で変わらないPSF
- 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。
- 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



- 望遠鏡の横に望遠鏡制御とデータ解析のための暫定的な計算機センターを設置
 - 計 2000 Core, 16TB メモリ
 - 3PiB のデータ保存ディスク
- データは即日バルセロナのPICにコピーされ、その後イタリアのINFN-CNAFにコピーされる。
- Real Time Analysis**のパイプラインも試験中
 - ディスクに書く前にクイック解析
 - システムのチェック
 - フレア時のスケジュールの修正
 - フレア時のアラート
- 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。

Real Time Analysis

LST1 最近の観測

既知のAGNの観測



かにパルサーの観測 (>50 GeV)



詳細は武石講演参照

GRBおよびニュートリノの追尾観測

GRB 201216C

GRB 210217A

GRB 210511B

IC 210210A

- detected by MAGIC pointing in $< 1'$
- $z = 1.1$
- LST-1 pointed at it 22 hr after the GRB event



Atel by LST1

[[Previous](#) | [Next](#) | [ADS](#)]

Detection of very-high-energy gamma-ray emission from BL Lac with the LST-1

ATel #14783; *Juan Cortina for the CTA LST collaboration*

on 13 Jul 2021; 21:03 UT

Credential Certification: *Juan Cortina (Juan.Cortina@ciemat.es)*

Subjects: TeV, VHE, Request for Observations, AGN, Blazar, Transient

Referred to by ATel #: [14820](#), [14826](#), [14839](#)

 [Tweet](#)

The LST-1 telescope has observed an increase in the very-high-energy (VHE; >100 GeV) gamma-ray flux from BL Lacertae (RA=22:02:43.3, DEC=+42:16:40, J2000.0). The preliminary offline analysis of the LST-1 data taken on 2021/07/11 (MJD 59406), triggered by an increase of the optical flux (see ATEL #[14773](#) and references therein), has been detected with a significance of 8 sigma with a differential flux of $1.3 \pm 0.2 \cdot 10^{-9} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ TeV}^{-1}$ (25% of the Crab Nebula) at 100 GeV. Note though that this is the result of a quick-look analysis and the data were taken under non-optimal weather conditions (atmospheric transmission at 9km of ~50-60%), hence this flux measurement is a lower bound on the true flux. The LST-1 observations were performed during commissioning which began in 2018. LST-1 is a prototype of the Large-Sized Telescope for the Cherenkov Telescope Array, and is located on the Canary island of La Palma, Spain. The LST-1 is designed to perform gamma-ray astronomy in the energy range from 20 GeV to 3 TeV. LST-1 observations on BL Lacertae will continue during the next few nights, multi-wavelength observations are encouraged. The preliminary offline analysis has been performed by Daniel Morcuende (dmorcuen@ucm.es) and Ruben Lopez-Coto (ruben.lopezcoto@pd.infn.it). The LST-1 contact persons for these observations are Masahiro Teshima (mteshima@mpp.mpg.de) and Juan Cortina (juan.cortina@ciemat.es).

Related

- [14854](#) BL Lac still in optical high state
- [14839](#) AGILE detection of enhanced gamma-ray activity from the blazar BL Lac
- [14826](#) Detection of flaring very-high-energy gamma-ray emission from BL Lacertae with the MAGIC telescopes
- [14820](#) BL Lac reaches a new optical all-time maximum
- [14783](#) Detection of very-high-energy gamma-ray emission from BL Lac with the LST-1
- [14782](#) AGILE confirmation of the gamma-ray flaring activity from the blazar BL Lac
- [14777](#) Fermi-LAT detection of continued enhanced gamma-ray activity from BL Lac
- [14774](#) Swift XRT/UVOT follow-up of the recent optical activity of blazar BL Lacertae
- [14773](#) Continued Optical Activity in the Blazar BL Lacertae
- [14751](#) BL Lac again in optical high state
- [14583](#) Fermi-LAT detection of enhanced gamma-ray activity from BL Lac
- [14548](#) Strong increase of the optical brightness of BL Lac observed at the Hans-Haffner-Sternwarte
- [14467](#) New peak of brightness of BL Lacertae
- [14356](#) The optical and near-infrared follow-up observations of flaring blazar BL Lacertae using Kanata Telescope
- [14343](#) Optical follow-up observations of the flaring blazar BL Lacertae
- [14334](#) Multicolor-optical observation of the flaring blazar BL Lacertae
- [14330](#) Fermi-LAT gamma-ray flare in BL Lacertae contemporaneous with optical flaring activity
- [14329](#) Erratum to ATel #14328
- [14328](#) The flaring blazar BL Lacertae observed below $R=11.5$, a new record for its optical brightness
- [14318](#) The optical state of the flaring blazar BL Lacertae approaches again the historical brightness of the 2020 outburst

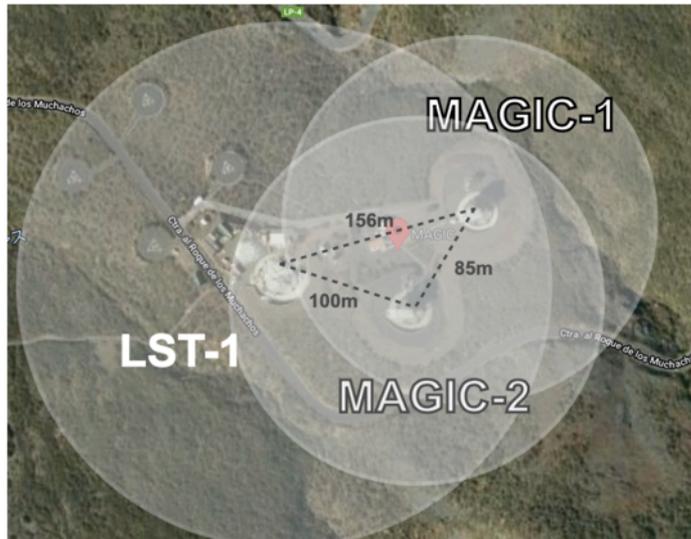
はじめてのAtel

BL Lacertaeの
可視光での増光の知
らせを受けて観測。

同期してTeVガンマ線
放射も増大している
ことを報告

25% Crab @100GeV.

MAGICとの同時観測



Application to real data
(Crab Nebula, Galactic Center)

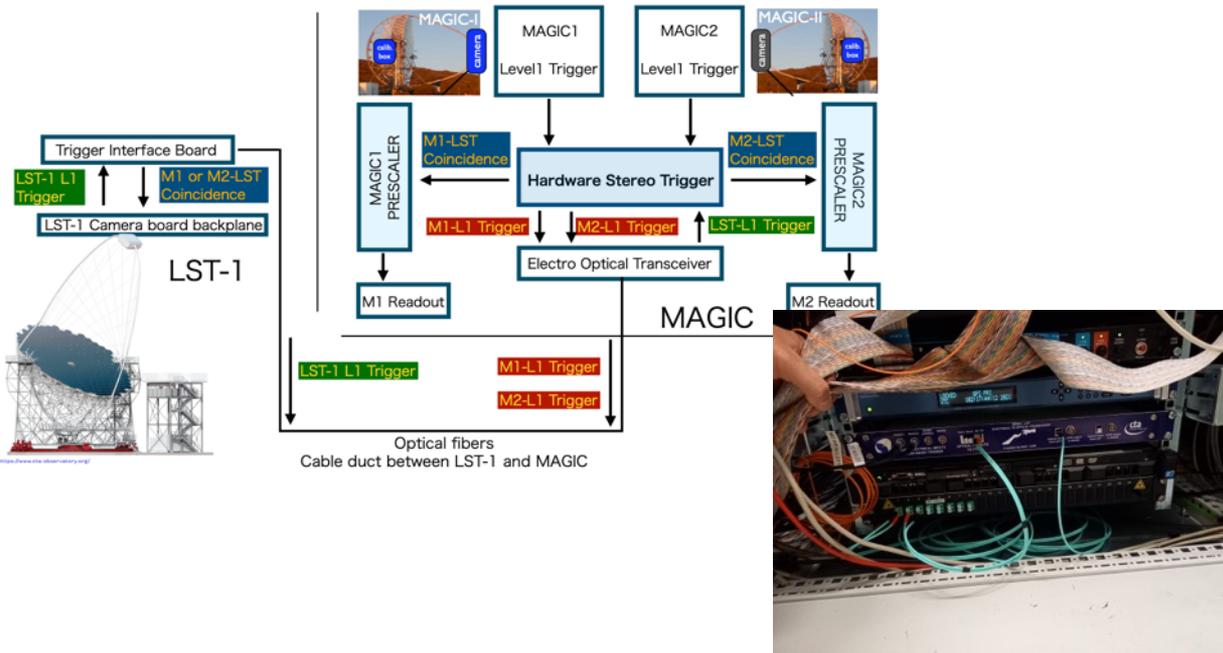


- MAGIC2台とLST1は同じ空気シャワー事象を観測可能
- ただし、ハードウェアレベルでのトリガの交換は行われていない

- 同じ天体を同時に観測することで、時刻情報をもとにコインシデンス同定し、ステレオ解析が可能

詳細は大谷講演参照

- ハードウェアレベルでのトリガの交換も開発中

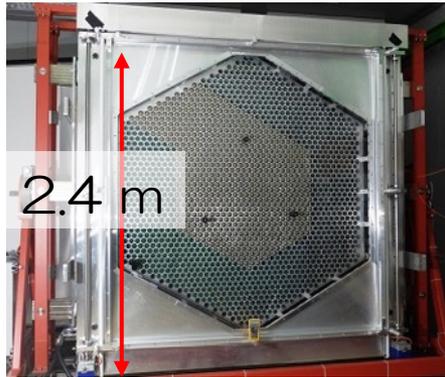


MST

- Davies-Cotton型 MST (欧州)



口径11.5m
カメラ PMT~1800本



- アナログカメラ

- 多数のLSTと共通要素
- analog trigger
- capacitor array + ADC
- 来年度北サイト初号機

- デジタルカメラ

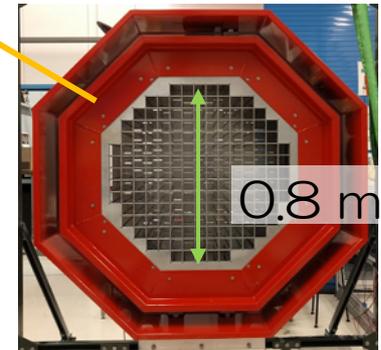
- トリガ前にdigitize
- 250 MHz sampling
- HESS-IIIに搭載し、かに星雲検出 (2019年10月)

- Schwarzschild-Couder型

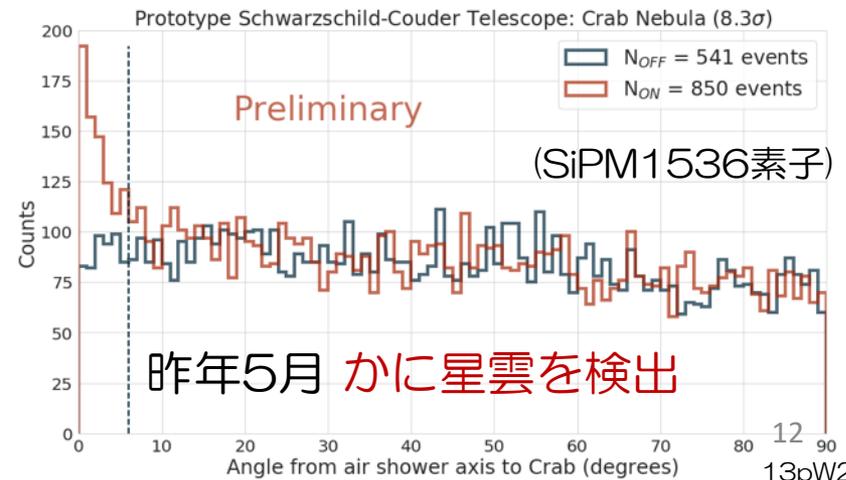


主鏡9.7m+副鏡5.4m
カメラ

SiPM~1.1万素子



@USA(2015~)



SST

- Schwarzschild-Couder型 (主鏡4.3m+副鏡1.8m)
- SiPMカメラ(2048素子)



Fig. 1: The ASTRI-Horn prototype at the Catania Astrophysical Observatory.

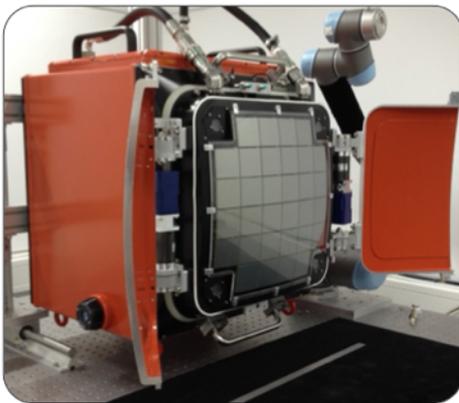


Fig. 2: The CHEC-S camera prototype undergoing laboratory tests.

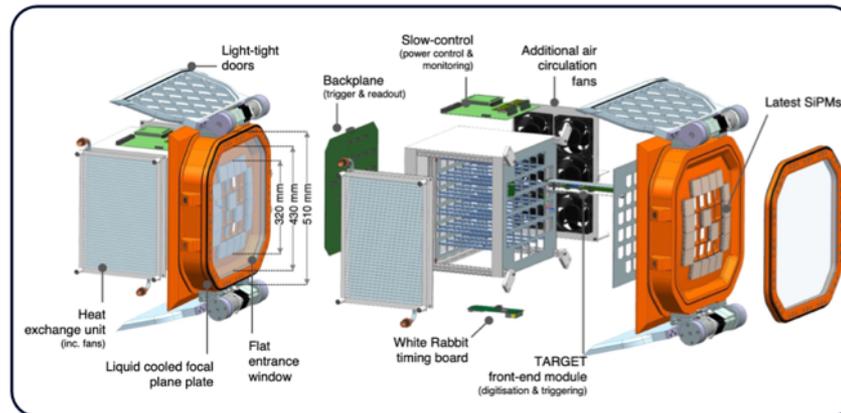


Fig. 5: An overview of the camera CAD indicating the major sub-systems, integrated (left) and exploded (right). Note - the external enclosure is not shown.

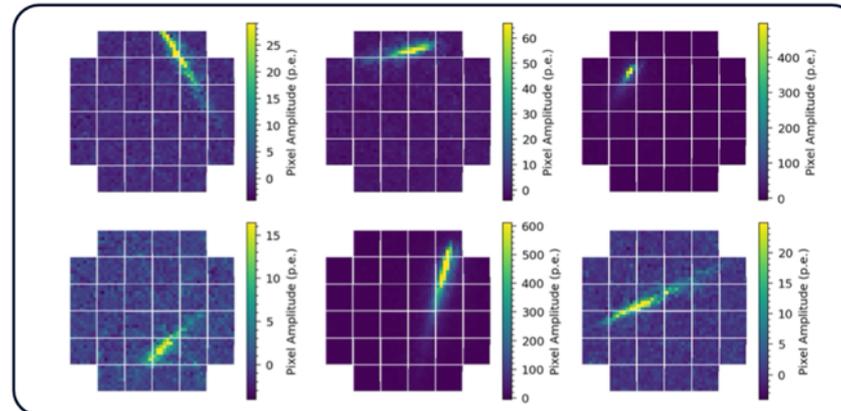


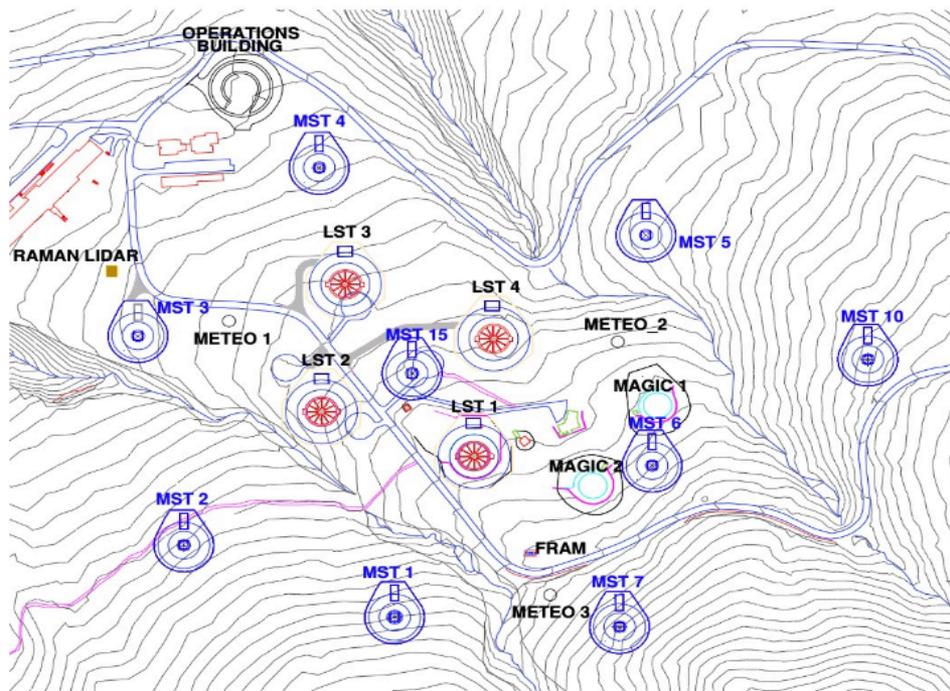
Fig. 6: Examples of Cherenkov images recorded with the CHEC-S camera installed on the ASTRI-Horn telescope.

2018年12月
プロトタイプ機で
かに星雲検出済み

ERICとAlpha Configuration

Telescope design	Northern Site	Southern Site
Large-Sized Telescope	4	
Medium-Sized Telescope	9	14
Small-Sized Telescope		37
Total	13	51

- CTA Observatoryが、来年中にERIC (European Research Infrastructure Consortium)として承認される見通し
- それに向けて、ベンチマーク configurationが再定義された (Alpha Configuration)
- **北サイトに9台のMST**
- いよいよ南サイトのインフラ建設も始まる見通し



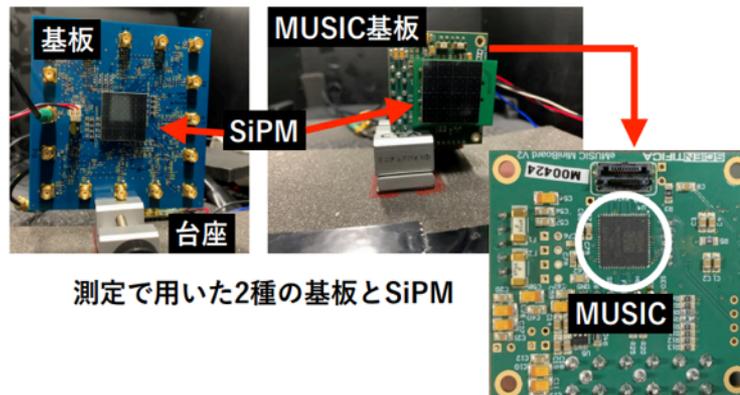
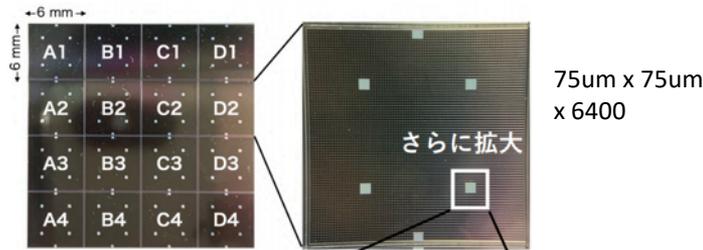
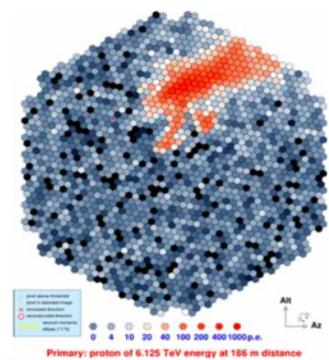
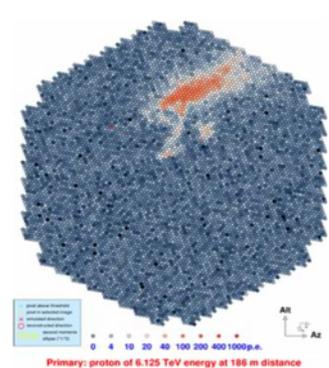
北サイト、ラパルマ

LST2: 2024年1月
 LST3: 2024年3月
 LST4: 2024年6月 完成予定

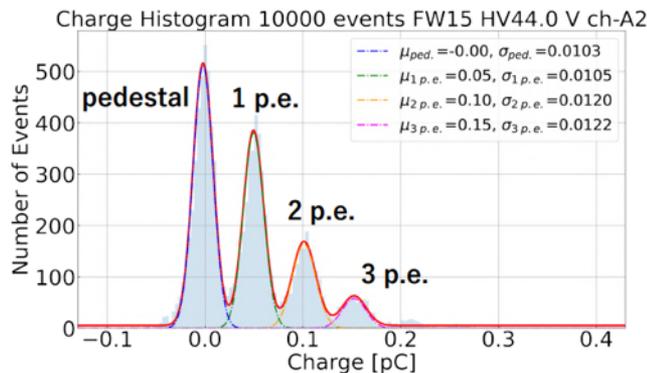
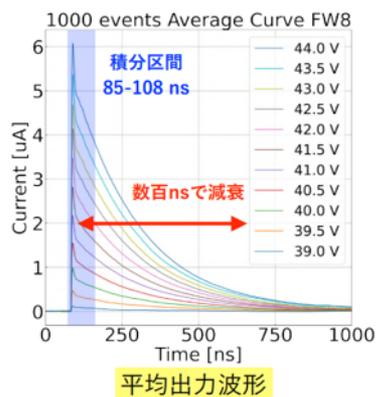


南サイト、パラナル

LST アップグレード



測定で用いた2種の基板とSiPM



- LST1のデザインは15年以上前に決まったもの。アップグレードを考える時期

- 高画素化+SiPM採用を検討中。日本とスイスのチームが主導して開発中

- DeepLearning (CNN)技術の採用と合わせて、高感度化が期待される。

- LST NorthのアップグレードおよびLST Southを視野

詳細は橋山講演参照

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初号機は北サイトで安定観測を継続中。更なる改良も続けている。
 - MAGICとの共同観測
 - Alertをうけての追尾観測
 - Real Time Analysis
- 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。CTA ObservatoryがERICとして承認される見通しで南北両サイトで建設がさらなる加速に期待
- LSTカメラのアップグレードにむけて、SiPMカメラの開発に着手