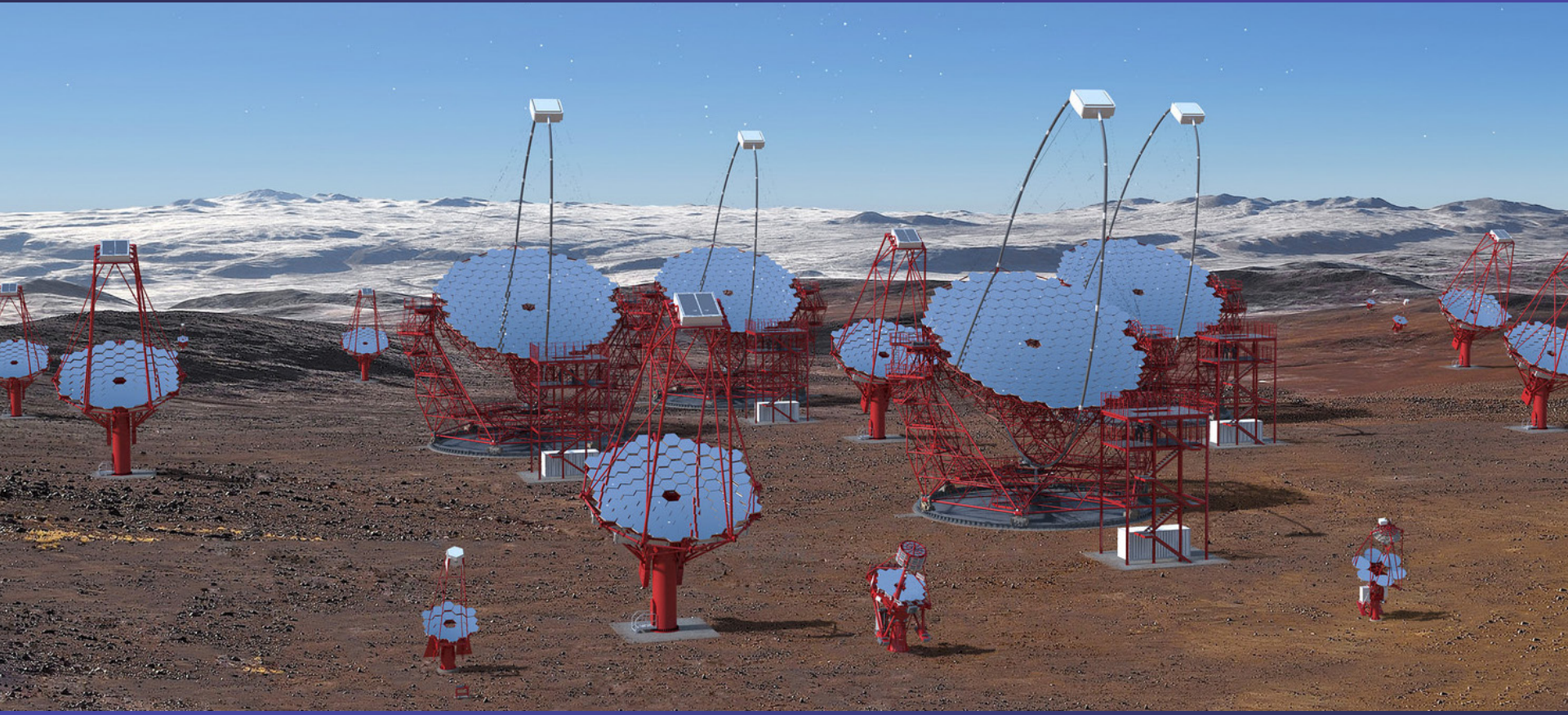
Cherenkov Telescope Array (CTA) 計画：全体報告(12)

窪 秀利（京都大学） 他 CTA Consortium



日本天文学会2017年春季年会　九州大学　2017/3/16

CTA Consortium

３２か国
>1300名

CTA-Japan 119名

青山大　大平豊, 木坂将大, 澤田真理, 柴田徹, 山崎了, 吉田篤正

茨城大　加賀谷美佳, 片桐秀明, 重中茜, DANG VIET TAN, 本橋大輔, 柳田昭平, 吉田龍生

JAXA/ISAS　井上芳幸, 小山志勇, 李兆衡

大阪大　藤田裕

北里大　村石浩

京大基研　井岡邦仁

京大理　川中宣太, 窪秀利, 今野裕介, 齋藤隆之, 田中孝明, 谷川俊介, 鶴剛, 野崎誠也, 増田周

近畿大　千川道幸

熊本大　高橋慶太郎

KEK素核研　郡和範, 田中真伸, 廣島渚

甲南大　猪目祐介, 岸田柊, 高見将太, 田中周太, 山本常夏

国立天文台　井上剛志

埼玉大　寺田幸功, 永吉勤, 西山楽

東海大　池野祐平,木村颯一朗, 櫛田淳子, 辻本晋平, 西嶋恭司, 吉田麻佑

東大宇宙線研　浅野勝晃, 石尾一馬, 稲田知大, 岩村由樹, 大石理子,大岡秀行, 岡崎奈緒, 加藤翔, 黒田隼人, 榊直人, 櫻井駿介, 高橋光成, 手嶋政廣, 中嶋大輔, 野田浩司, 林田将明, 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, Albert K.H. Kong, Pratik Majumdar, Daniel Mazin, Jumpei Takata, Thomas P. H. Tam, Wenwu Tian

東大天文　戸谷友則

東大物理　中山和則, 馬場彩

東北大　格和純, 當真賢二

徳島大　折戸玲子

名大KMI　松本浩典

名大理　佐野栄俊, 立原研悟, 早川貴敬, 林克洋, 福井康雄, 山本宏昭, 吉池智史

名大ISEE　朝野彰, 奥村曉, 佐藤雄太, 田島宏康,中村裕樹, 日高直哉, 山根暢仁

広大理　高橋弘充, 深沢泰司

広大宇宙科学センター　田中康之, 水野恒史

宮崎大　森浩二

山形大　郡司修一, 武田淳希, 門叶冬樹, 中森健之

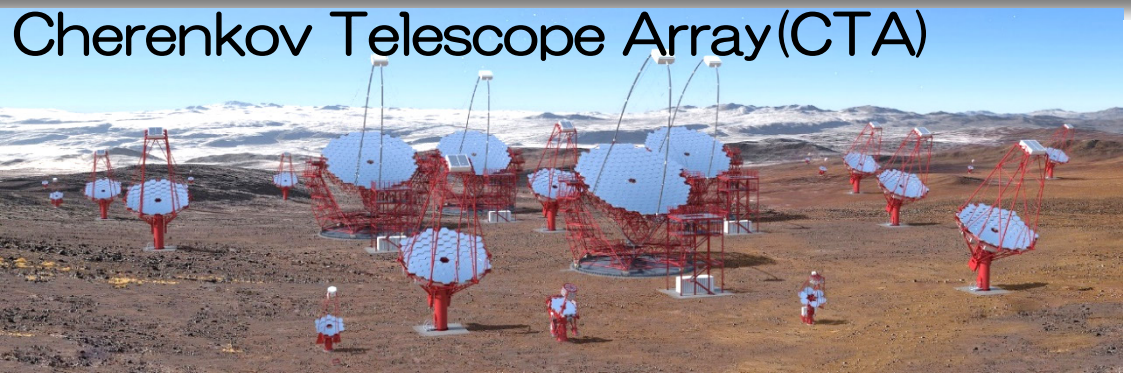
山梨学院大　内藤統也, 原敏

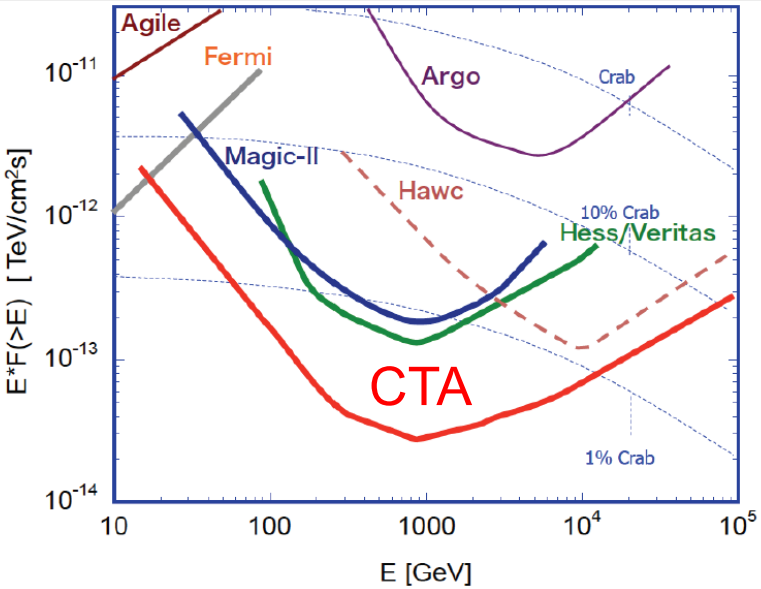
理研　井上進, 長瀧重博, Maxim Barkov, Gilles Ferrand, Haoning He, Donald Warren

立教大　内山泰伸

早稲田大　片岡淳

CTAの性能、狙うサイエンス





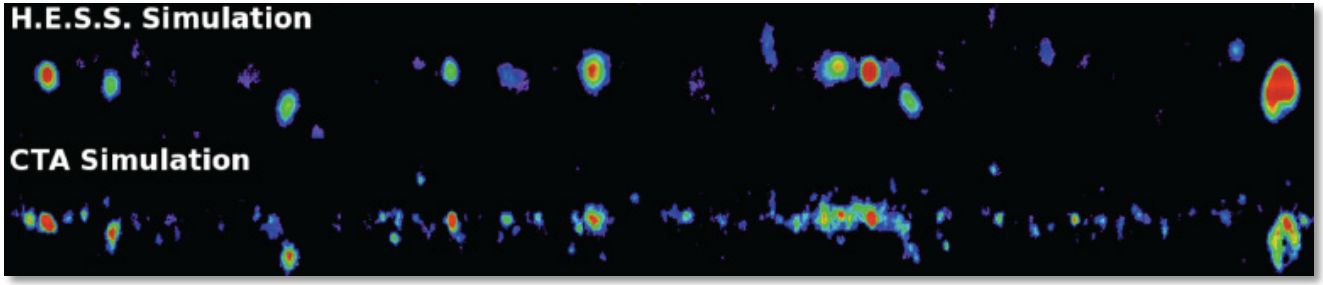
従来の望遠鏡より

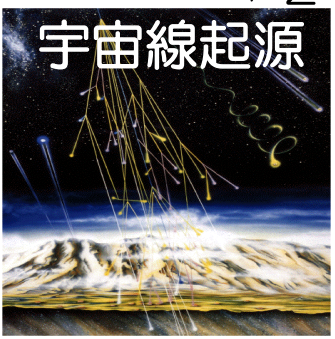
◆一桁高い感度

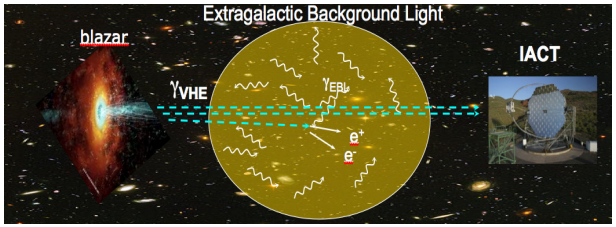
◆一桁広い帯域(20 GeV-300 TeV)

◆角度分解能～2倍(2分角@10TeV)

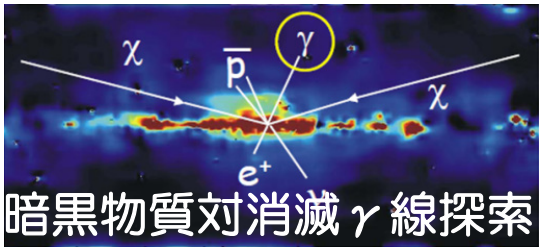
- 検出　198個(現行)
  ⇒1000個以上
- 最遠方 z～1(現行)
  ⇒ z～4





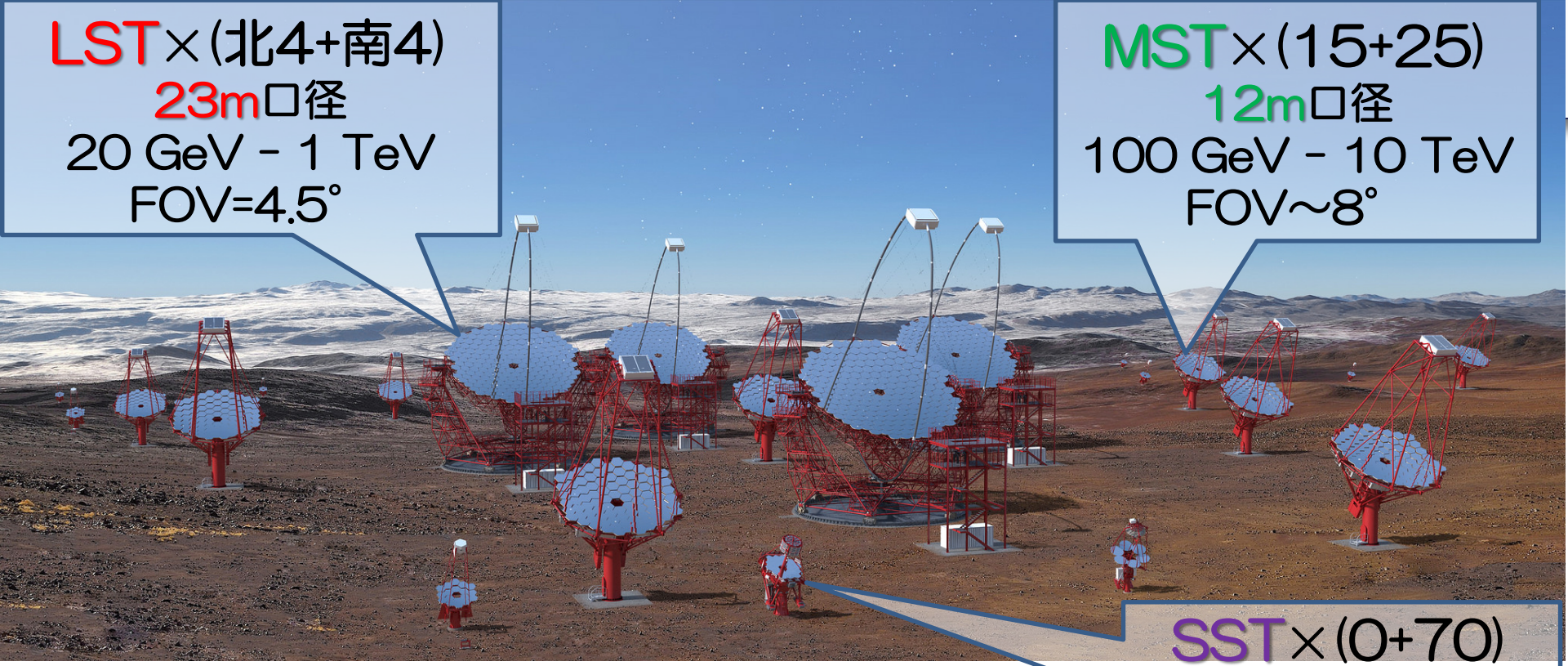


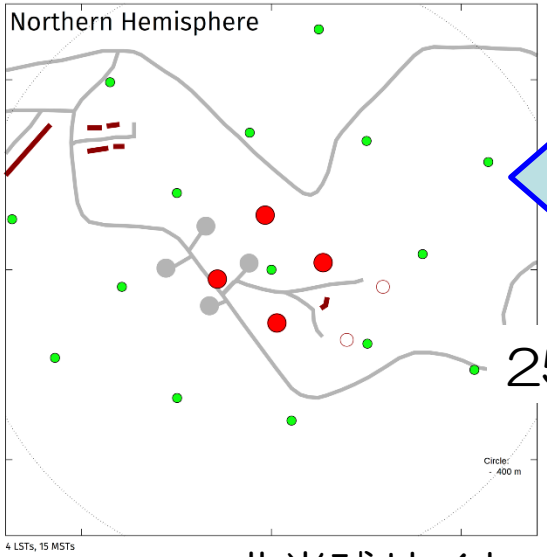
赤外・可視背景放射
→宇宙の星形成史



ローレンツ不変性検証

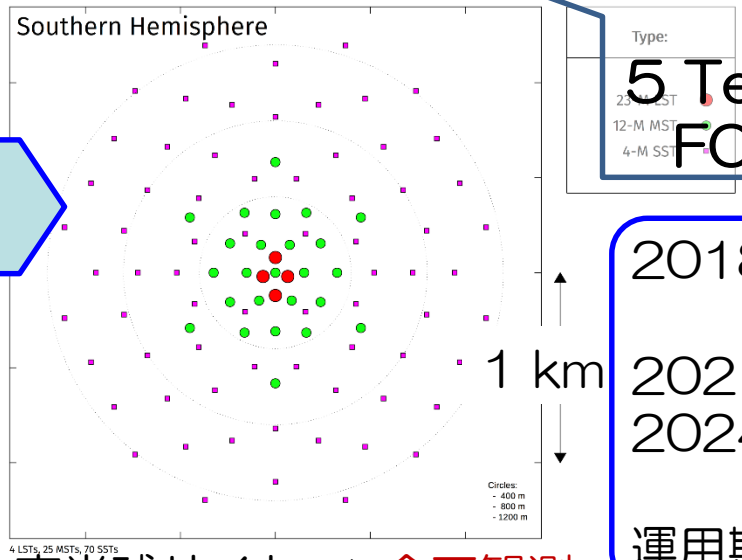
詳細は、特集号 Astroparticle Physics, 43 (2013) 1-356





LST
MST
SST

250 m



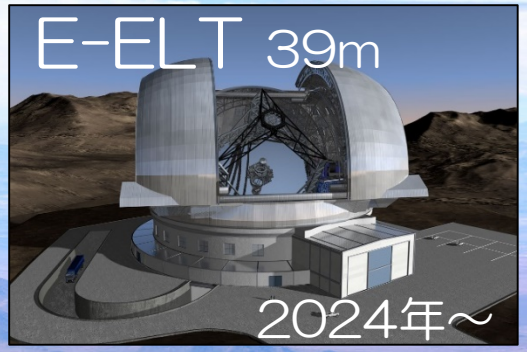
1 km

北半球サイト ＋ 南半球サイト ⇒ 全天観測

2018年～部分アレイによる観測
2021年～天文台運用
2024年～フルアレイによる観測
運用期間 20-30年間

CTA 南サイト@チリ

アタカマ砂漠



Vulcano Llullaillaco
6739 m, 190 km east

Cerro Armazones
E-ELT

Proposed Site for the
Cherenkov Telescope Array

CTA南サイト
標高～2km

Cerro Paranal
Very Large Telescope

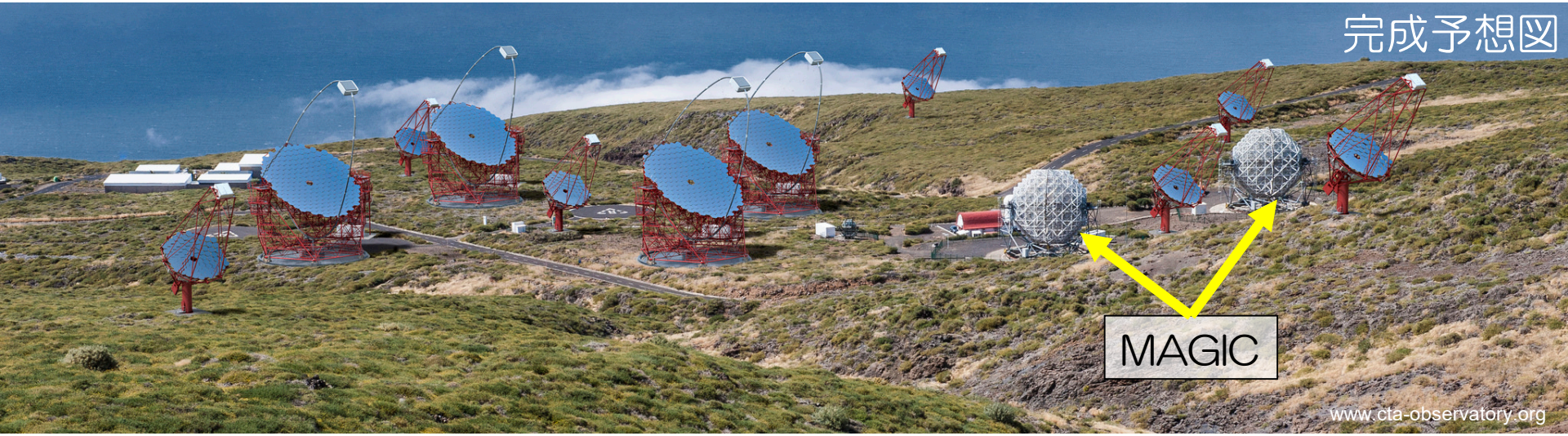
１０ km以下

ESOと協力し建設・運用
2018年～　望遠鏡建設

© Marc-André Besel

ＣＴＡ 北サイト@スペイン・ラパルマ

NEWS 昨年10月
スペインカナリア天体物理研究所(IAC)とCTA評議会間で、CTA北サイト建設・運用に関する協定締結



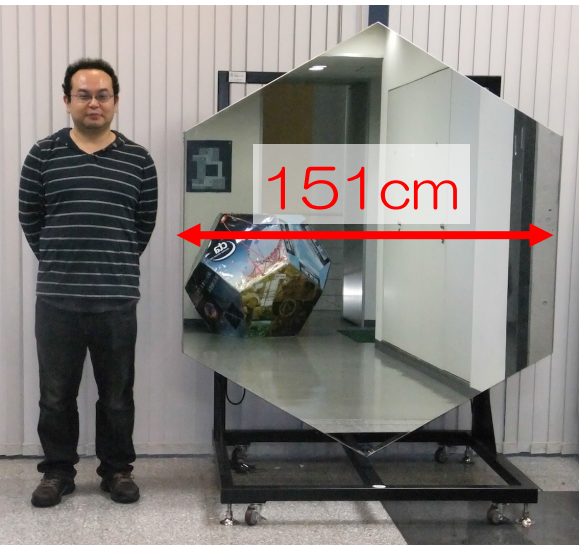
標高2200 m　MAGIC 望遠鏡に隣接してLST 4台＋MST 15台建設予定

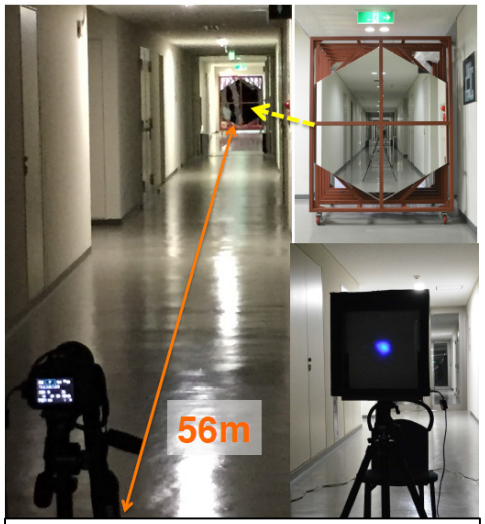
日本グループ　LSTの鏡・カメラ 開発の中心的役割

現在：LST 1号機建設中 ⇒ 2018年～ 2-4号機建設⇒2019年～ LST 4機による運用

LST 日本の分担ー分割鏡

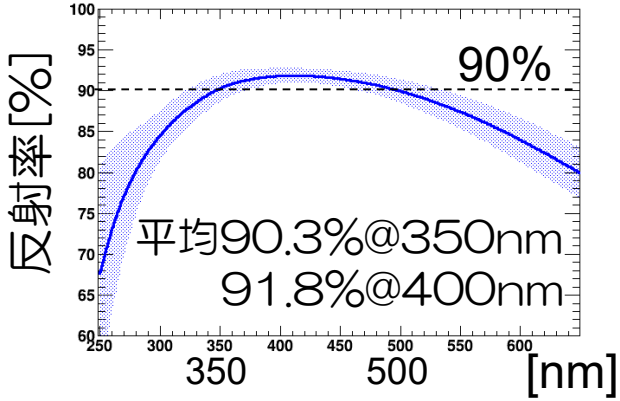
23m口径主鏡は198枚の分割鏡からなる





全数の品質管理測定

- 軽量化　44 kg
- 高耐候性　>10年以上
- 表面：5層スパッタリング

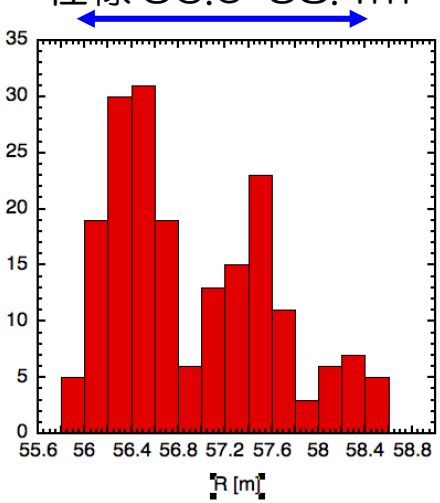


1号機用鏡の品質管理測定@東大宇宙線研を行い、北サイトへ発送

✓ 計200枚(今年1月～2月)

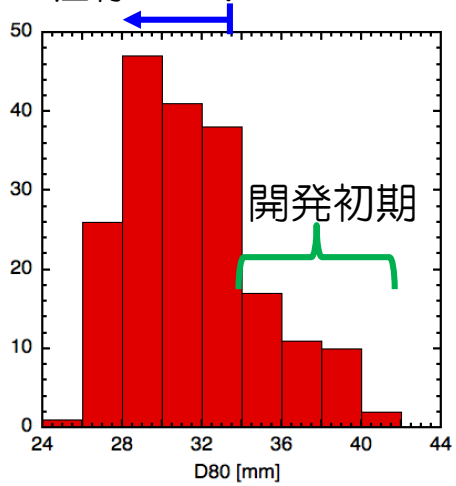
曲率半径

仕様:56.0-58.4m



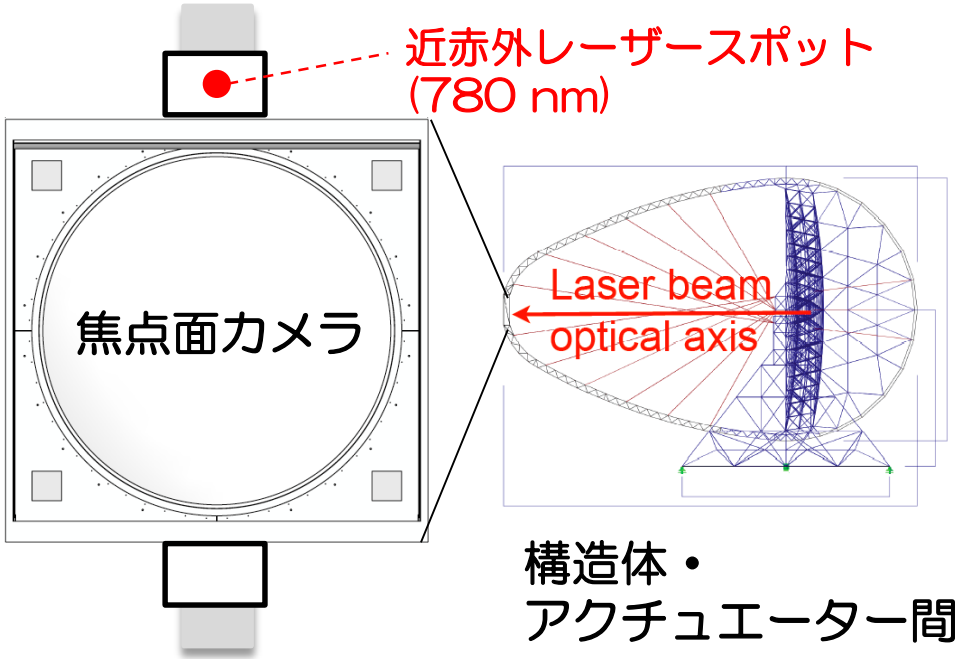
結像性能(D80)

仕様:<33.3mm@2f

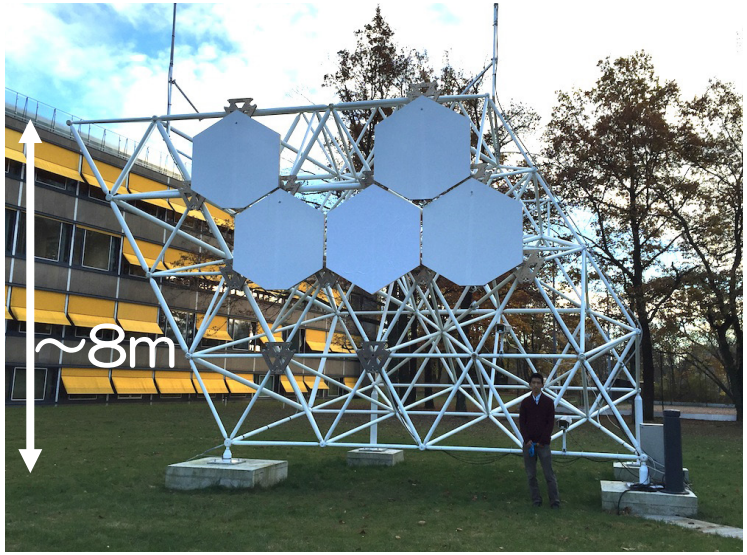


- 2号機以降用
  今年5月までに300枚を製作

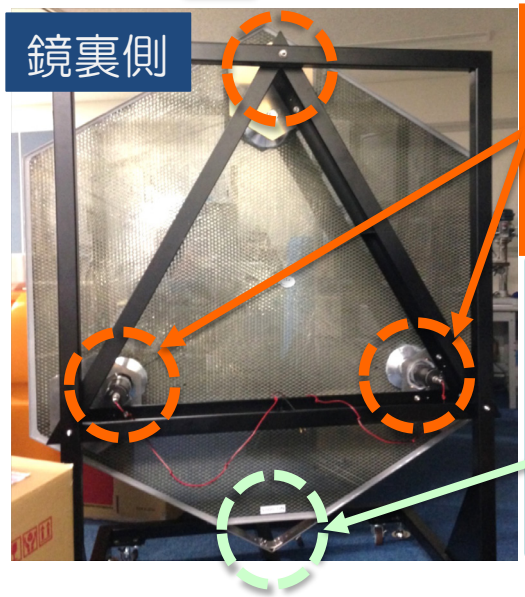
LST 日本の分担ー能動的光学補償



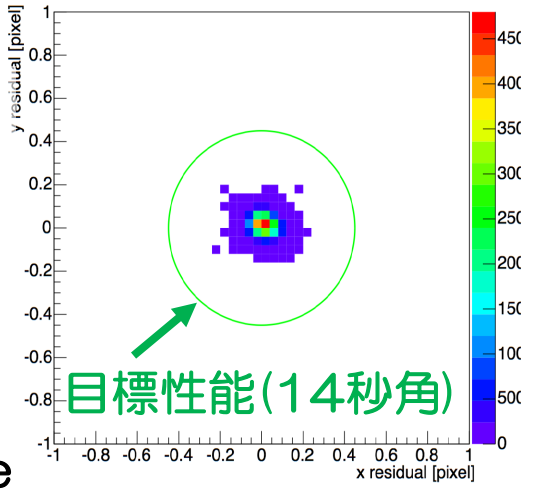
MPIミュンヘンに設置した、
LST 1/8相当の構造体を用いた試験



構造体・
アクチュエーター間接続部



AMC補正後のspot位置



LST 日本の分担ー光センサ、読み出し回路

LST(視野4.5度) 1台あたり、1.5インチ径PMT 1855本

詳細は次の野崎講演

×265 モジュール

GHz波形サンプリング回路
（７系統並列、Gbitデータ転送）

PMT
7本

CW-HV・ スローコントロール回路基板
プリアンプ (HV制御、テストパルス生成等)

PMT+プリアンプ

- 1号機用2千台組立・較正完了 @日本
  ⇒昨年11月スペインに発送
- 2-3号機用PMT
  今年度内4千本生産

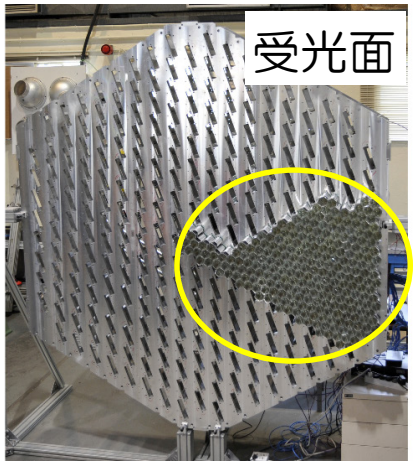
読み出し回路

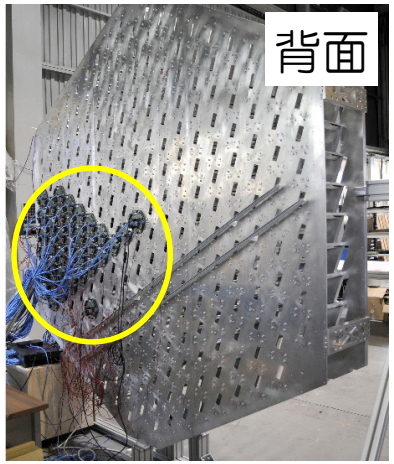
- 2号機用回路試作

今年1月～　日本グループ
スペインIAC研究所にて、
クラスタ組立て＋品質管理

昨年8月～　35モジュール(245ピクセル)を
1号機筐体に取付けて動作試験中@スペインCIEMAT

2.2m

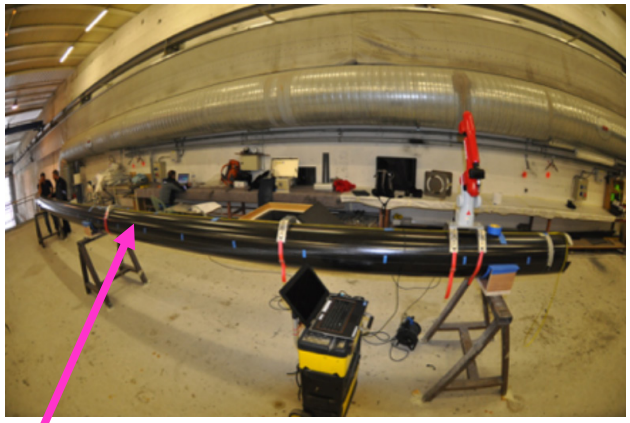


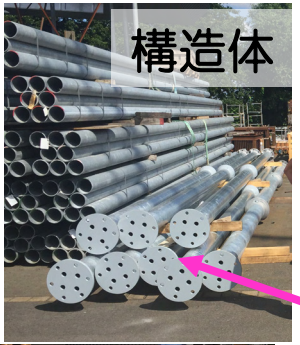


LST 1号機@ラパルマ島の建設

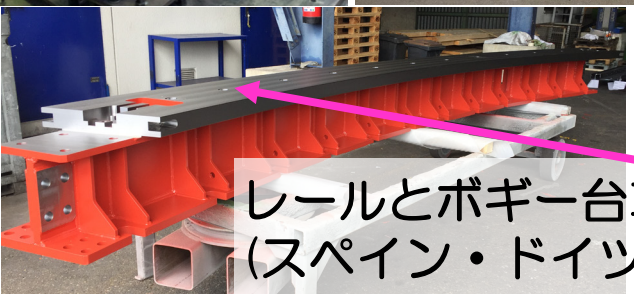
昨年7月 基礎工事開始

カメラ支持構造
（フランス・イタリア担当）

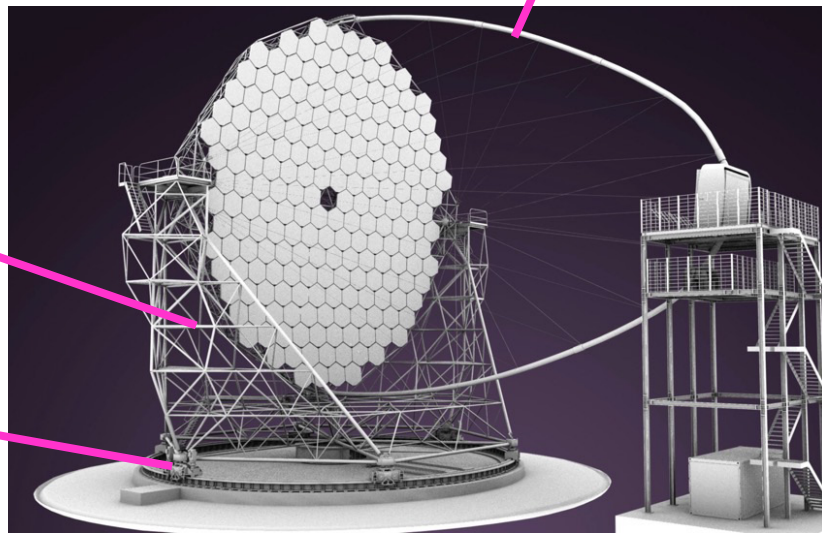




構造体（ドイツ担当）



レールとボギー台車
(スペイン・ドイツ担当)



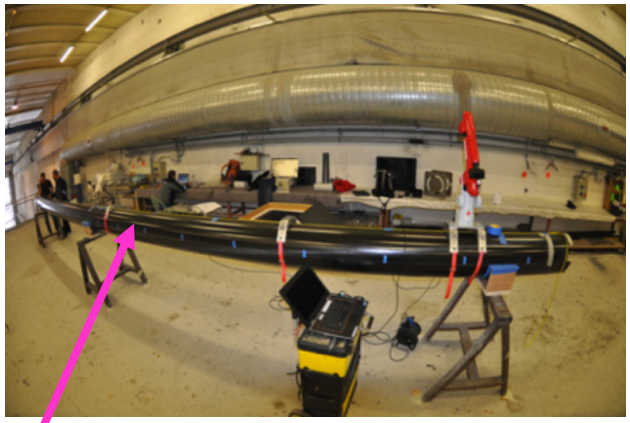
北サイト
- 計算機
  (3kコア)
- 記録装置
  (3PiB)
- Network
- UPS

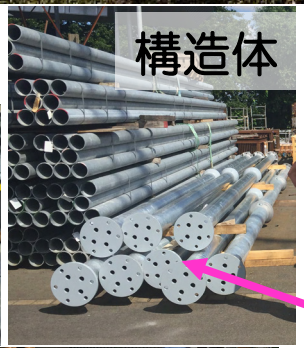
導入予定
(日本担当)

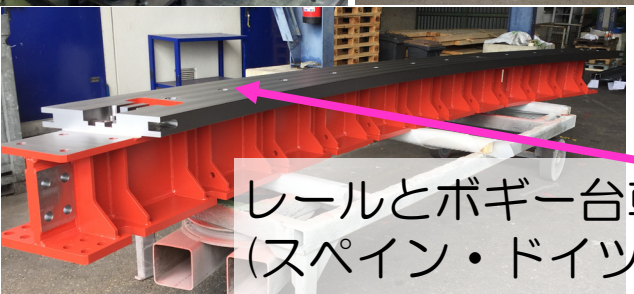
LST 1号機@ラパルマ島の建設

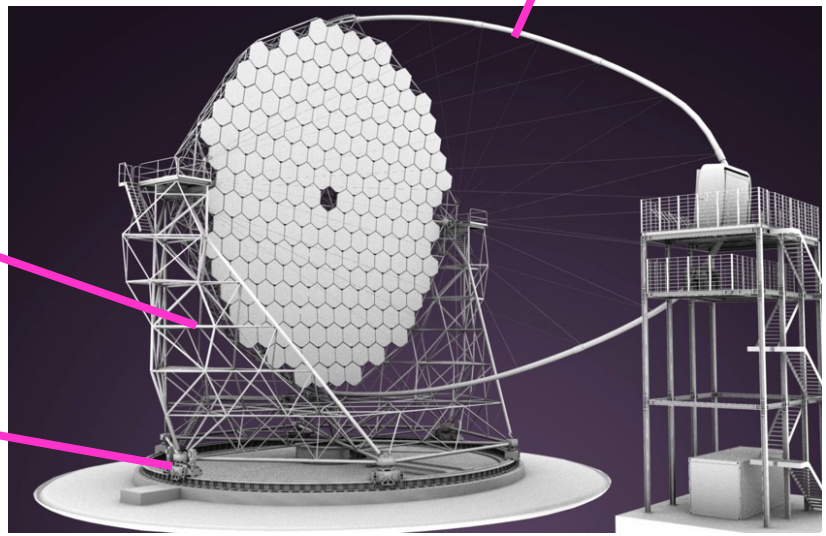
今年11月
ファーストライト予定

カメラ支持構造
（フランス・イタリア担当）







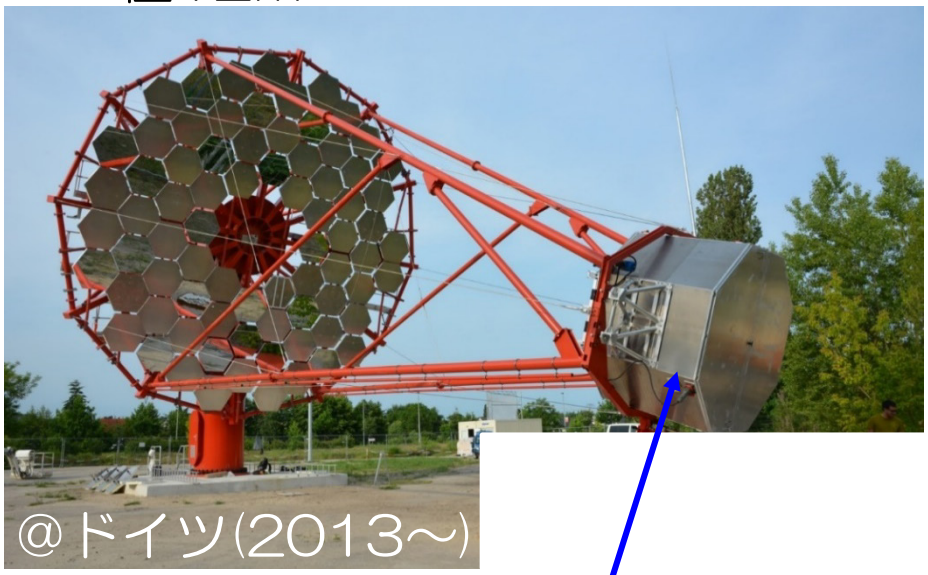


北サイト
- 計算機
  (3kコア)
- 記録装置
  (3PiB)
- Network
- UPS

導入予定
(日本担当)

中口径望遠鏡プロトタイプ

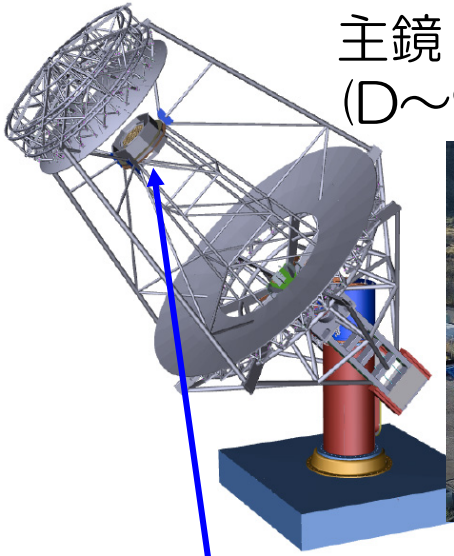
- Davies-Cotton型 MST(欧州)
  口径12m

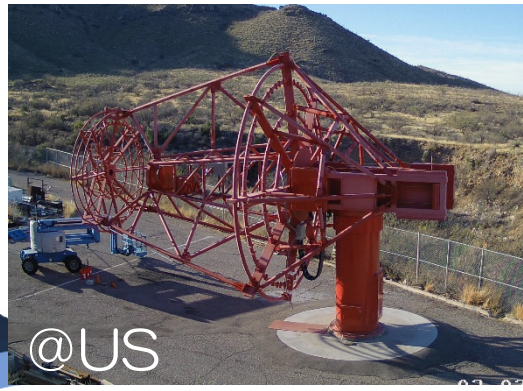


- Schwarzschild-Couder型 SCT
  (USA+日+独)

副鏡 (D～5.4m)

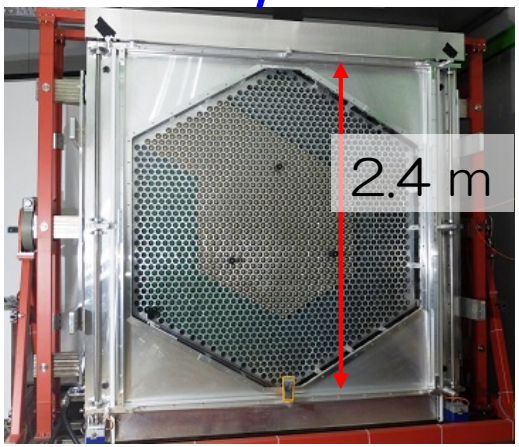
主鏡
(D～9.7m)

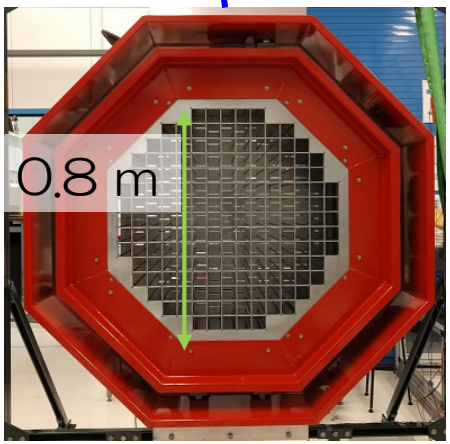




構造体組上完了・
駆動試験中

カメラ
- 視野～8度
- PMT
  ～1800本





カメラ
- 視野８度
- SiPM～1.1万素子

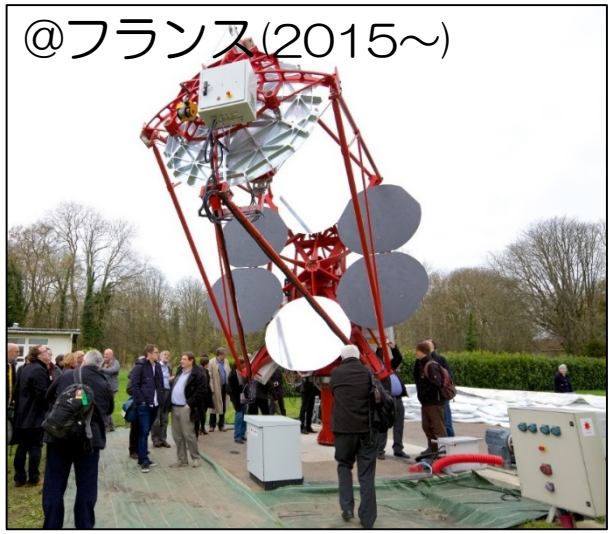
- 鏡・カメラ取付
  2017Q1～
- 竣工式 2017年6月

小口径(SST)プロトタイプ－3タイプ－

- Schwarzschild-Couder型(欧+米+豪+日)

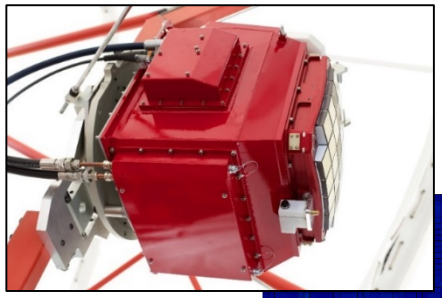
①GCT 口径4.2+1.8m

@フランス(2015～)

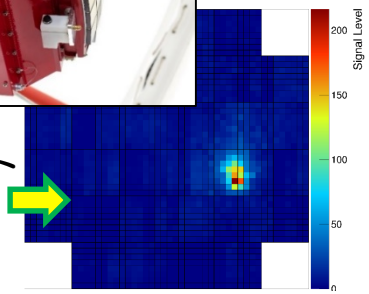


視野 9.2度

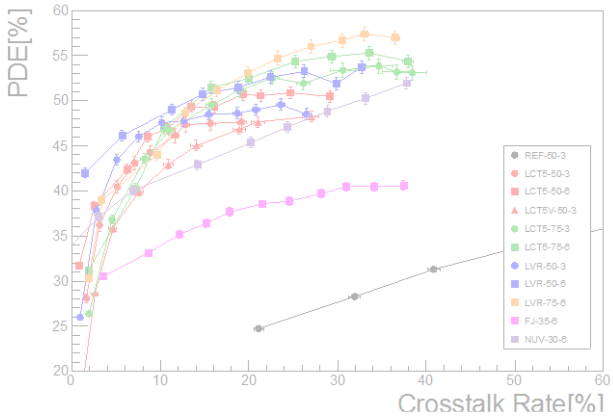
MAPMTカメラ(2048ch)



ファースト
ライト



➢ SiPM性能評価

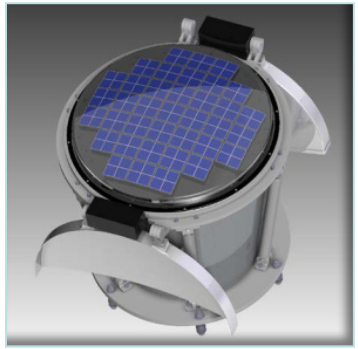


➢ アナログメモリ評価

②ASTRI 口径4.3+1.8m

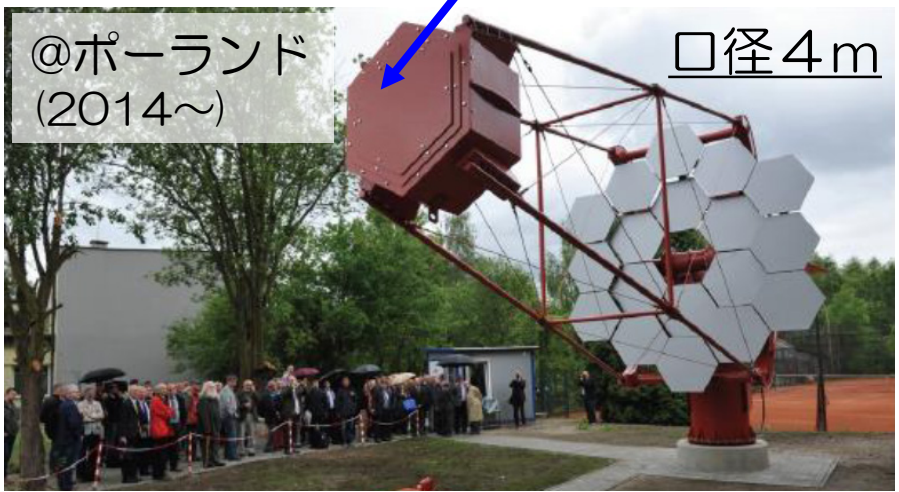
@イタリア(2014～)

SiPM(2368 ch)
視野 9.6度



- Davies-Cotton型(欧)

SiPM (1296 ch) 視野9度

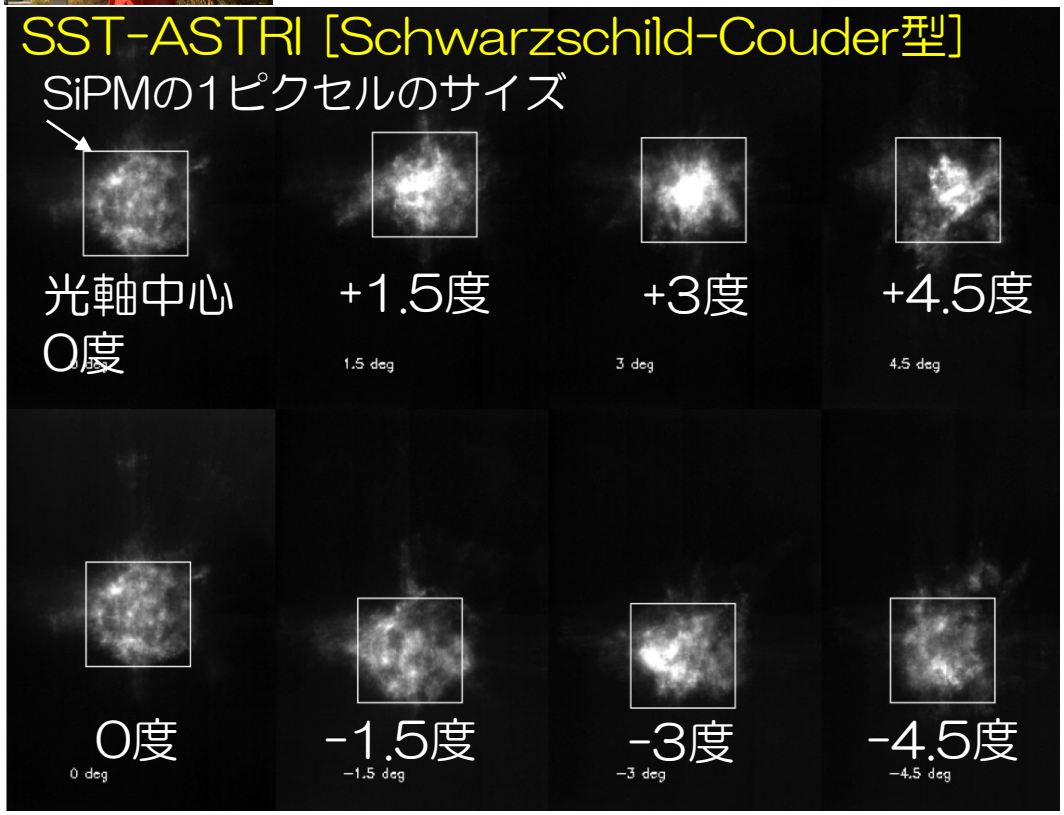


SST-ASTRIの光学性能

2回反射Schwarzschild-Couder光学系を大気チェレンコフ望遠鏡に採用したのは、CTAが初。

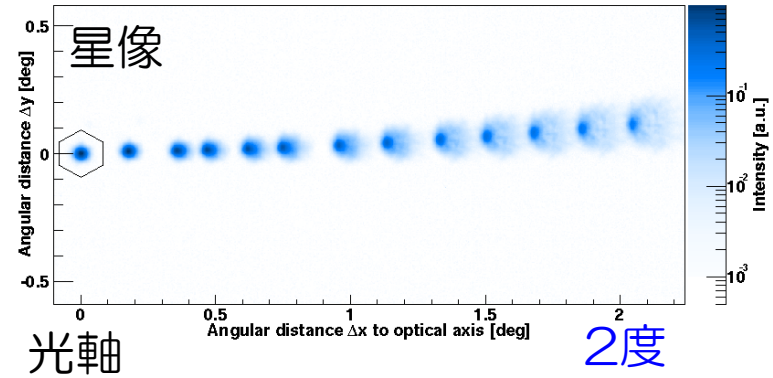
NEWS 昨年10月 視野～9度にわたって、PSFの変化が小さいことを実証

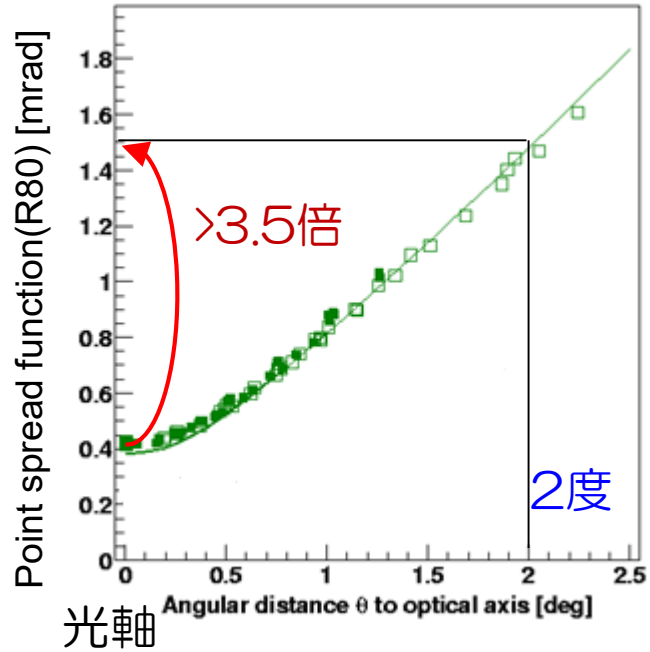
北極星をASTRIで観測し、CCDで撮像



https://www.cta-observatory.org/cta-prototype-telescope-astri-demonstrates-viability-novel-schwarzschild-couder-design/

比較 H.E.S.S. [Davies-Cotton型]





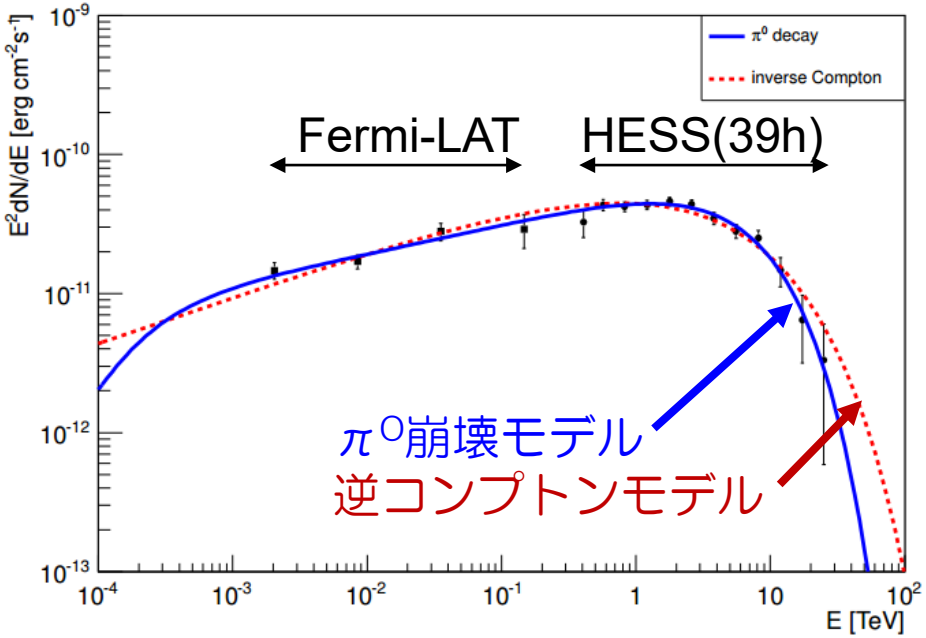
https://www.mpi-hd.mpg.de/hfm/HESS/pages/about/telescopes/

観測シミュレーション

- 日本グループで現在、
  - SNRや2FHLカタログ天体(Fermi-LAT E>50 GeV)等の観測シミュレーション
  - Direct Cherenkov光等を用いた宇宙線化学組成計測手法の評価

池野ポスター(c)講演　　SNR　RX J0852.0-4622

現行望遠鏡の観測結果

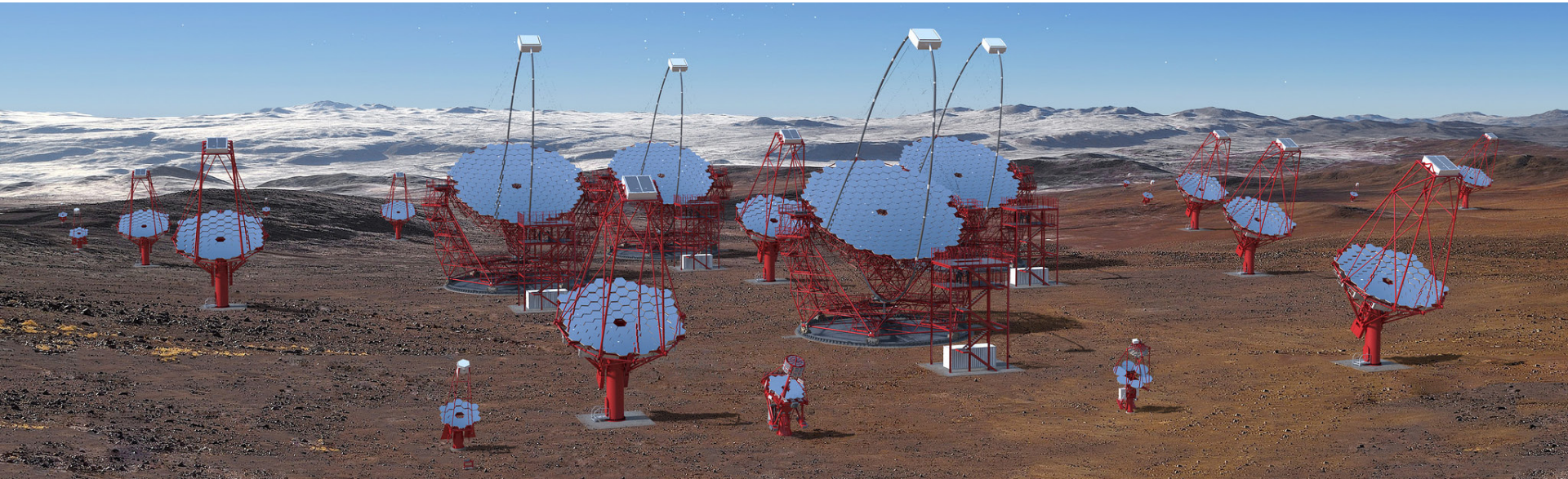


H.E.S.S. collaboration, arXiv:1611.01863

CTA観測(50h)シミュレーション
(π^0崩壊モデルを基に事象生成した場合)

公開版では図を削除

- Consortium全体では、
  Key Science Project(運用開始10年間の観測時間～40%使用)に関する検討書が
  Consortium内部review中⇒arXiv公開予定

まとめ

- CTAで狙うサイエンス
  - 従来の望遠鏡と比べ１０倍の感度・エネルギー帯域を達成
  - 宇宙線の起源、ブラックホールの物理、暗黒物質の探索など。
    ガンマ線で見る地平線をz～4まで広げる
- CTAの建設
  - [北]スペイン・ラパルマ島 + [南] チリ・パラナル
  - 日本グループは大口径望遠鏡LSTの建設を主導的に進めている
    主に主鏡、光センサー、読み出し回路の量産・品質管理
    ＋中小口径Schwarzschild-Couder望遠鏡カメラ開発や観測シミュレーション
  - New LST１号機@北サイト建設中⇒ファーストライト今年11月予定。LST 2-4号機@北サイト用の鏡・カメラの要素製作中(2017年度中に完了予定)。
  - New 広視野2回反射のSchwarzschild-Couder光学系の実証