

# CTA計画

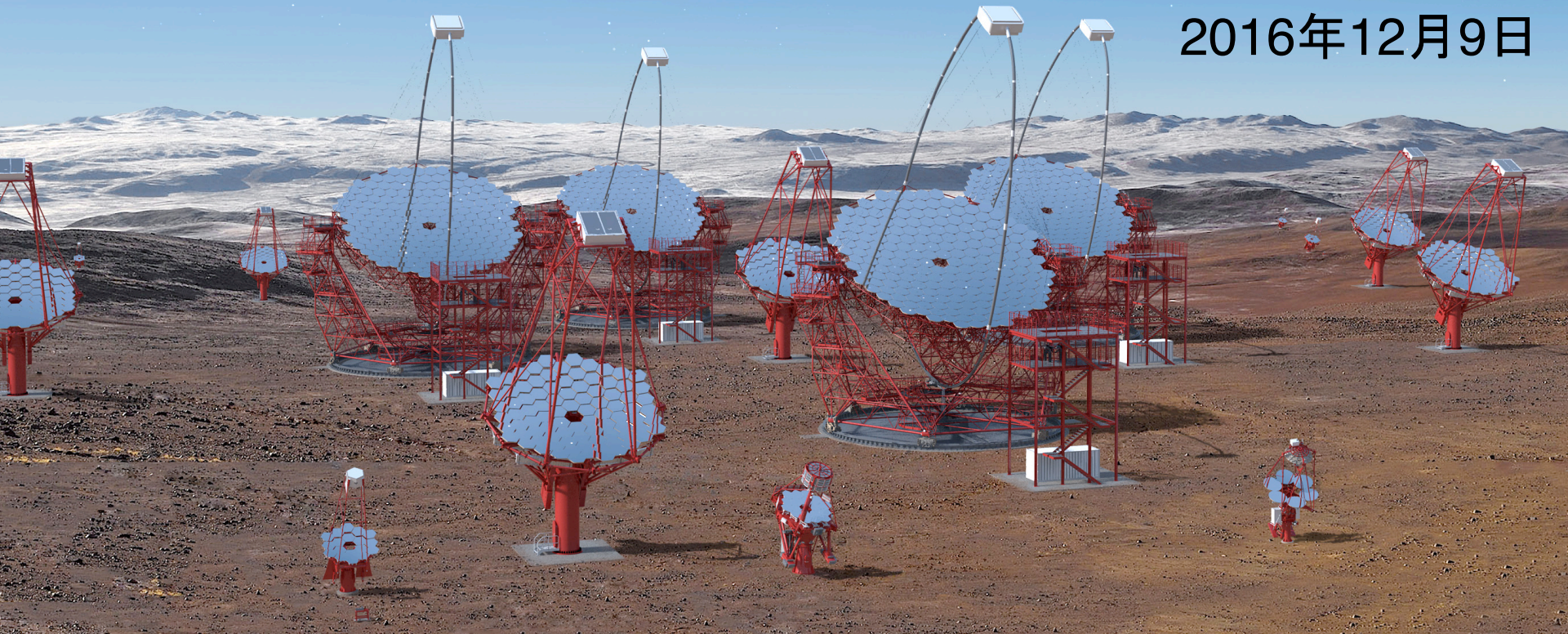
-高エネルギーガンマ線宇宙物理学-



cherenkov  
telescope  
array

林田将明 (東大宇宙線研)  
for the CTA Consortium

平成28年度東京大学宇宙線研共同利用研究成果発表会  
2016年12月9日



# CTA関連共同利用研究

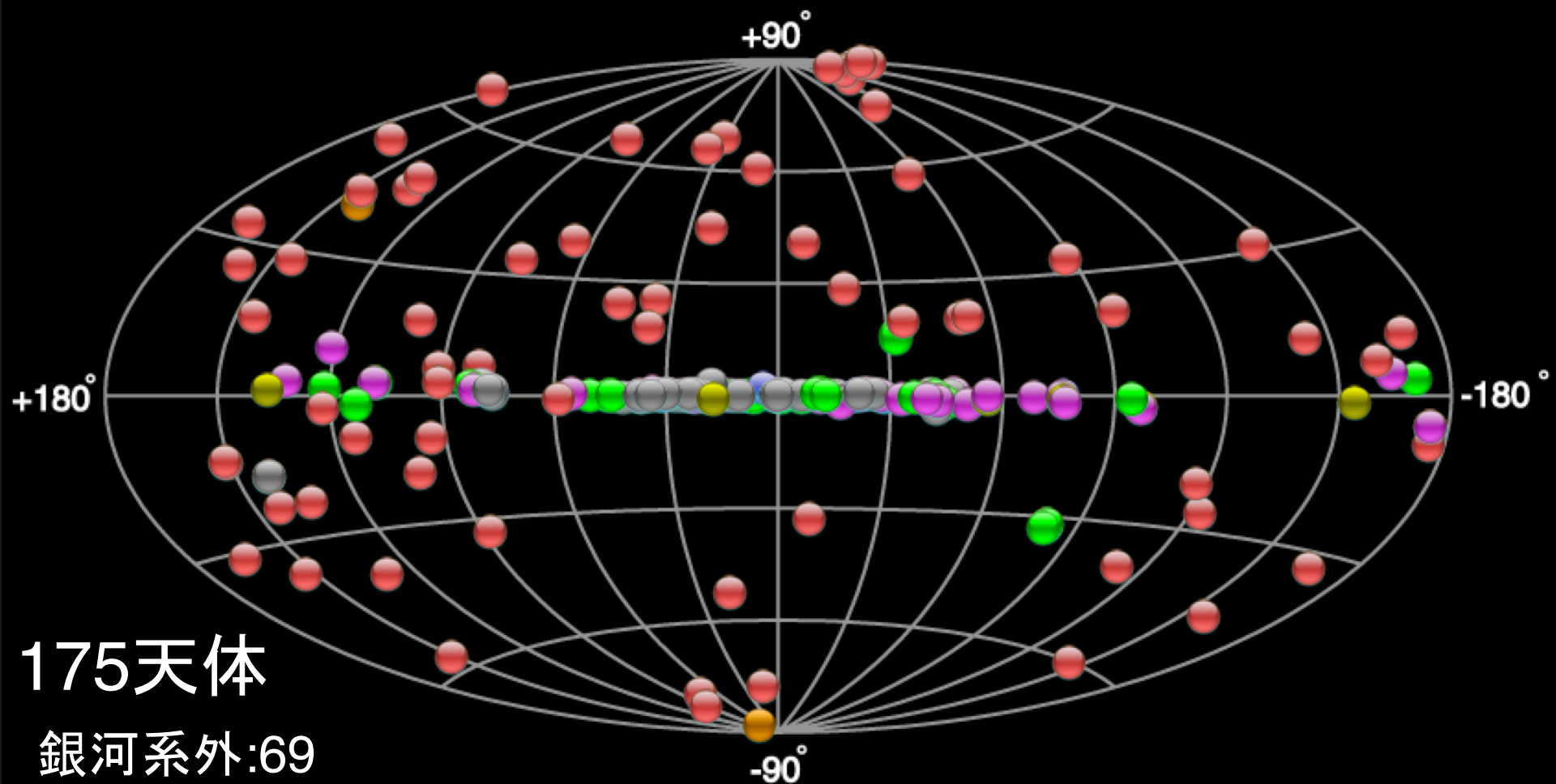
---

- E01 ICRR 手嶋政廣「CTA 計画開発研究」
- E02 KEK(現YITP) 井岡邦仁「CTA-Japan 物理研究」
- E03 甲南大学 山本常夏「CTA大口径望遠鏡の焦点面検出器開発」
- E04 京都大学 窪秀利「CTA大口径望遠鏡用読み出し回路の開発」
- E05 東海大学 西嶋恭司「p次世代大気チェレンコフ望遠鏡のための新しいフォトン検出器の開発」
- E06 ICRR DANIEL MAZIN「CTA大口径望遠鏡一号機設置運用」
- E07 ICRR DANIELA HADASCH「CTA大口径望遠鏡一号機スローコントロール統合運用」
- E08 ICRR 林田将明「CTA大口径望遠鏡光学系の開発」
- E09 ICRR 中嶋大輔「CTA大口径望遠鏡のための超広帯域データ収集システム開発研究」
- E10 名古屋大学 田島宏康「CTA小型望遠鏡用カメラの開発」
- E11 ICRR 大石理子「CTAモンテカルロシミュレーション」
- E12 京都大学 窪秀利「MAGIC望遠鏡を用いた高エネルギーガンマ線天体の研究」
- E39 茨城大学 吉田龍生「高エネルギーガンマ線でみる極限宇宙 2016」

**計13件、総査定額732万円**

ありがとうございます。

# TeV ( $>100$ GeV) gamma-ray sky



175天体

銀河系外:69

MAGIC (41), VERITAS (32), H.E.S.S.(24)

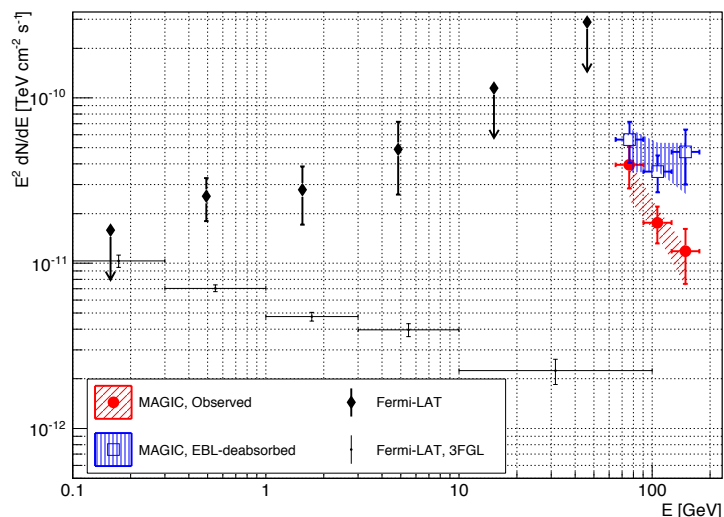
E12: 京都大学 窪秀利 「MAGIC望遠鏡を用いた高エネルギーガンマ線天体の研究」  
最近のMAGICの結果を簡単に紹介します。

# MAGIC results: AGNs-1

## QSO 0218+35 ( $z=0.944$ )

S3 0218+35	02 21 05.5	+35 56 14	$z = 0.944$
PKS 1441+25	14 43 56.9	+25 01 44	$z = 0.939$
3C 279	12 56 11.1	-05 47 22	$z = 0.5362$
4C +21.35	12 24 54.4	+21 22 46	$z = 0.432$

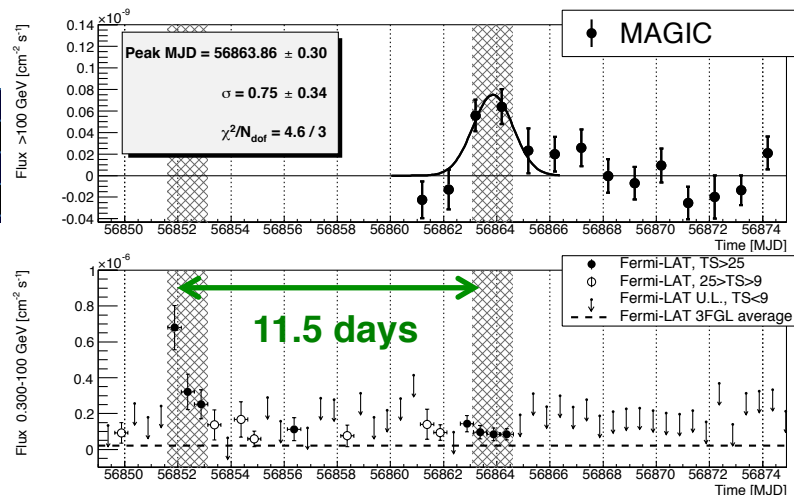
### Fermi-LAT + MAGIC spectra



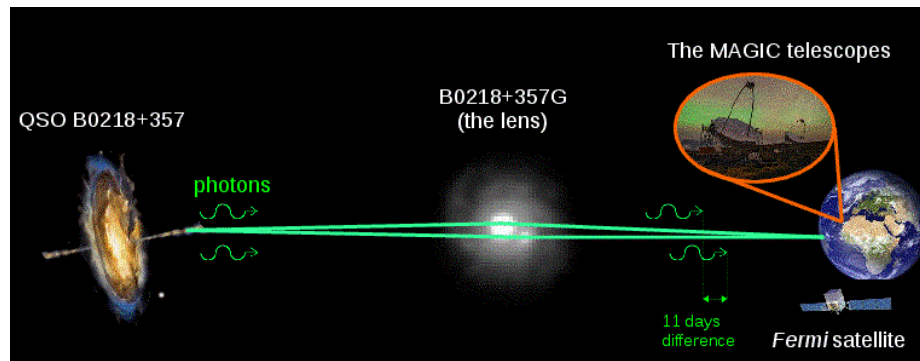
MAGIC: (65-175 GeV)

$\Gamma_{\text{VHE}}$ : (観測)  $3.80 \pm 0.61_{\text{stat}} \pm 0.20_{\text{sys}}$   
 (EBL吸収補正後)  $2.35 \pm 0.75_{\text{stat}} \pm 0.20_{\text{sys}}$

(Ahnen+2016, A&A)



### Gravitational lensing effect



Delay:  $11.46 \pm 0.16$  day  
 (LAT: Cheugn+14, ApJ)

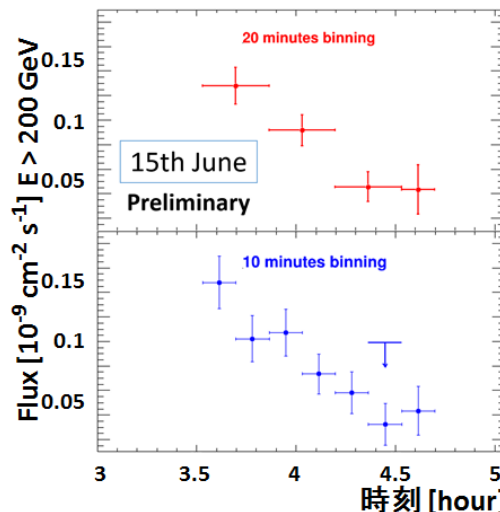
# MAGIC results: AGNs-2

**BL Lacertae (z=0.069)**

約30分の速い変動性

(東海大:辻本)

2015年6月15日  
のフレア (Atel#7760)



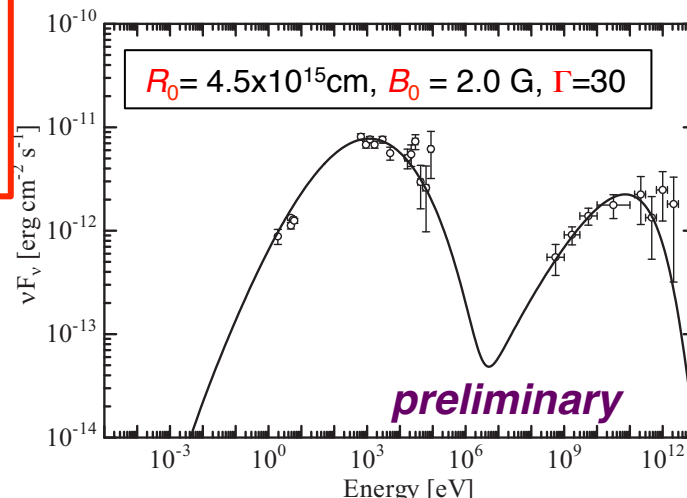
**RX J1136.5+6737**  
(z=0.1342)

約30時間の観測から  
VHEガンマ線放射を  
2014年に初めて検出  
(Atel#6062)

ハードな電子の幕 ( $\Gamma_e < 2$ )  
物質優勢 ( $u_B/u_e \ll 1$ )  
→ 乱流加速モデル

$\Gamma_{\text{VHE}}$ : (0.15-3 TeV): (観測)  $2.74 \pm 0.33$   
(EBL吸収補正後)  $1.94 \pm 0.35$

(林田、今野 [+浅野])



# MAGIC results: Galactic source

## Gamma-ray binary

(ICRR: Daniela Hadasch)

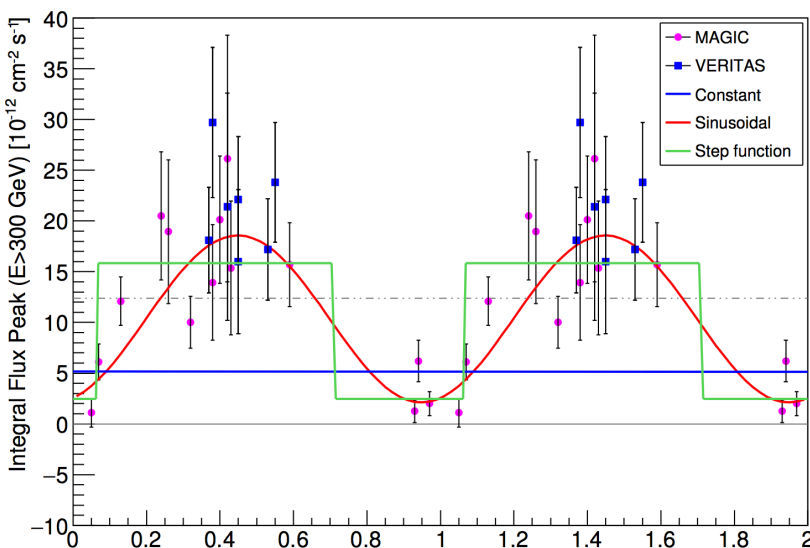
### LS I +61° 303

(Compact object + Be star)

Orbital Period:  $26.496 \pm 0.0028$  日

Superorbital period:  $(1667 \pm 8)$  日

(Gregory et al. 2002)



Published (corr. author: D. Hadasch)

MAGIC Coll., 2016, A&A, 591, A76

## SNRs

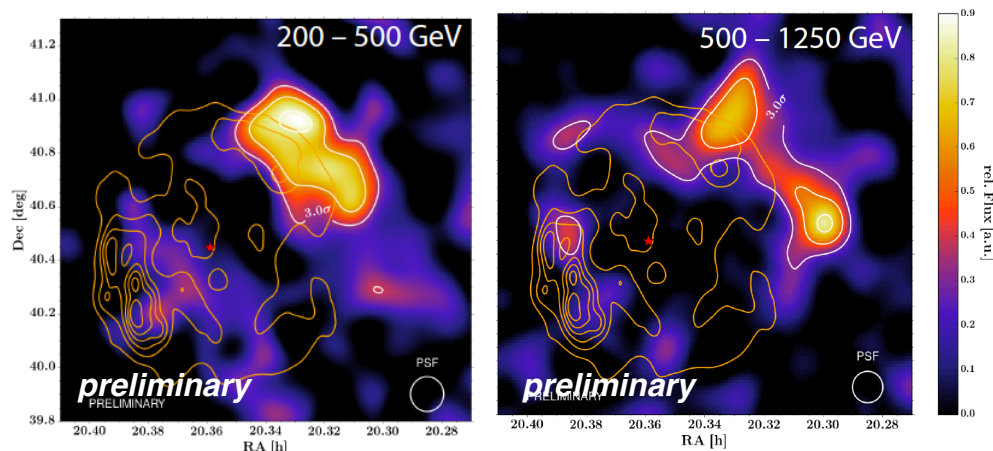
(京大: 増田、齋藤)

### G078.2+02.1 ( $\gamma$ -Cygni):

the shell type SNR in the Cygnus region

距離: 1.7-2.6 kpc,

年齡: 5000-10000 years



MAGIC: 48.3h

extended SNR studies

(埼大: 永吉、ICRR: 岩村)

# この10年、IACTで何が新しく見えたのか？

---

(my view)

- Gamma-ray horizon:  $z \sim 1$ まで広がる
- 短時間変動性(分スケール) → 小さな放射領域 (BH size)
- ハードな電子、ジェットのエネルギー → 加速機構・ジェット環境
- Galactic variable sources, VHE pulsar emission
- 超新星残骸: 宇宙線起源, PeVatron?
- 暗黒物質探査

# これから何が見たいのか？

(my view)

- Gamma-ray horizon:  $z \sim 1$ まで広がる
  - ✓ より遠方( $z > 2$ へ) → 銀河の進化との関わり
- 短時間変動性(分スケール) → 小さな放射領域 (BH size)
- ハードな電子、ジェットのエネルギー → 加速機構・ジェット環境
  - ✓ ジェットの形成(磁気駆動ジェット)、BHの物理(スピン)
- Galactic variable sources, VHE pulsar emission
  - ✓ まだ、5天体/2天体 → 中性子星、強磁場の物理
- 超新星残骸: 宇宙線起源, PeVatron?
  - ✓ 銀河系内宇宙線源の解明！！
- 暗黒物質探査
  - ✓  $\sigma v < 3 \times 10^{-26} \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$  for  $m_{\text{DM}} < 10 \text{ TeV}$ へ！！  
WIMP DM論に対して、何らかの強い示唆を与える。





大口径

low energy threshold  
(~20 GeV)

→ high-z, pulsar

few large telescopes  
(~400 m<sup>2</sup> mirror area)  
for lowest energies

中口径

deep observations

~km<sup>2</sup> array of  
medium-sized  
telescopes  
(~100 m<sup>2</sup> mirror area)

小口径

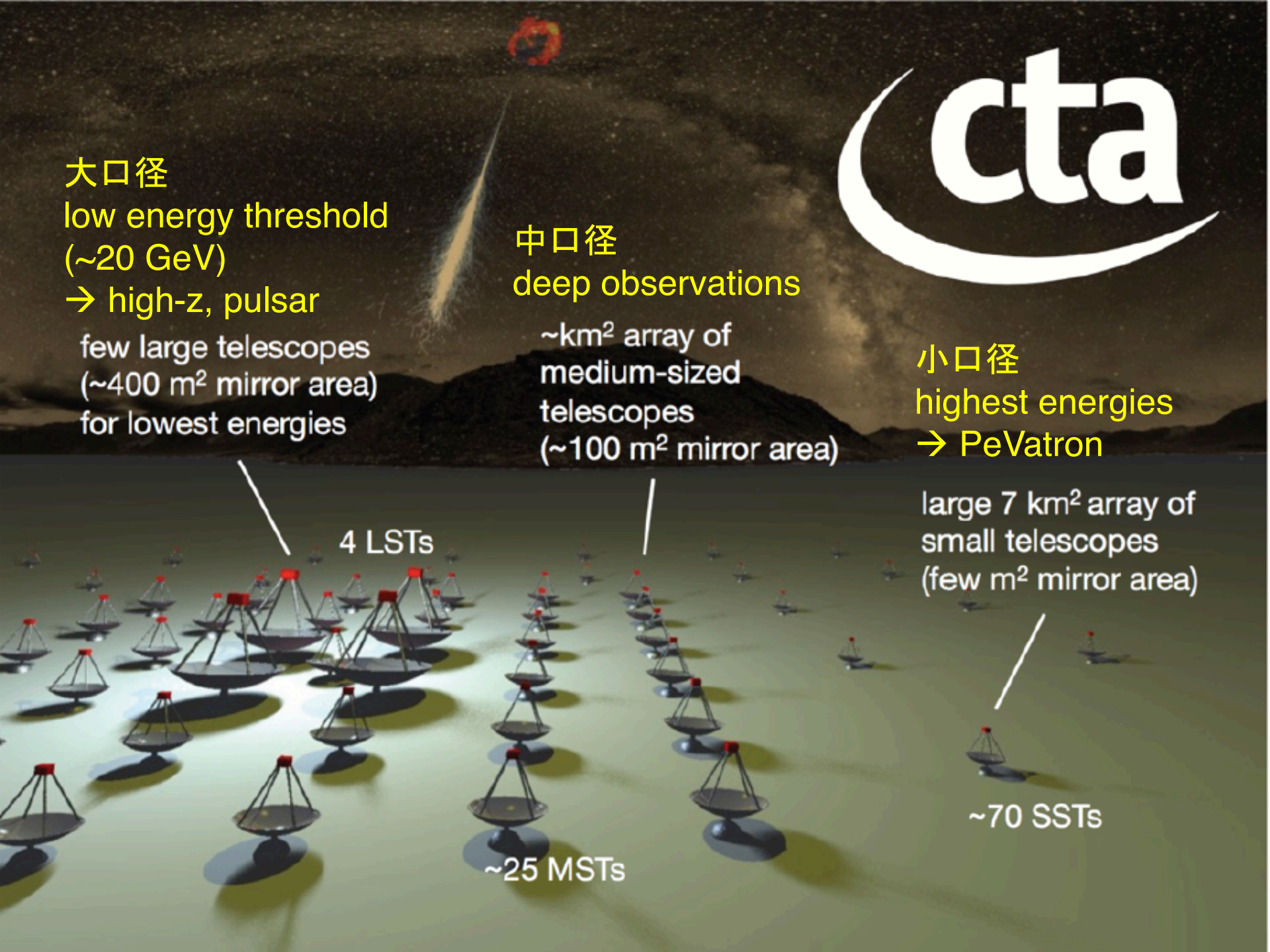
highest energies  
→ PeVatron

large 7 km<sup>2</sup> array of  
small telescopes  
(few m<sup>2</sup> mirror area)

4 LSTs

~25 MSTs

~70 SSTs



# CTA Consortium

---



**CTA-Japan**  
**30機関、118名**

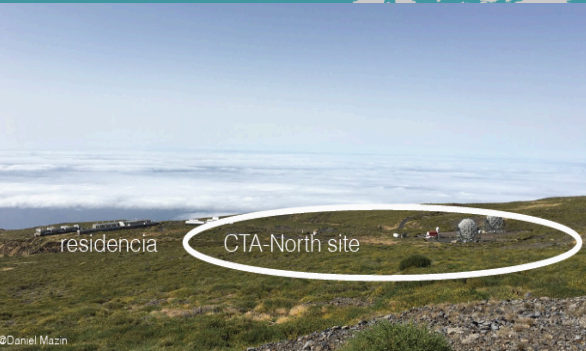
**全体:**  
**32 countries**  
**209 institutes**  
**1346 members (456 FTE)**

# CTA Consortium meeting@柏の葉 (2016年5月16-20日)

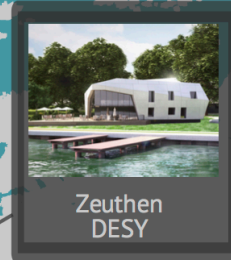


21カ国から170名参加

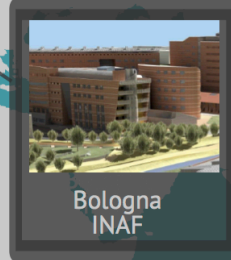
# CTA : Two Array Sites



North (IAC):  
agreement signed



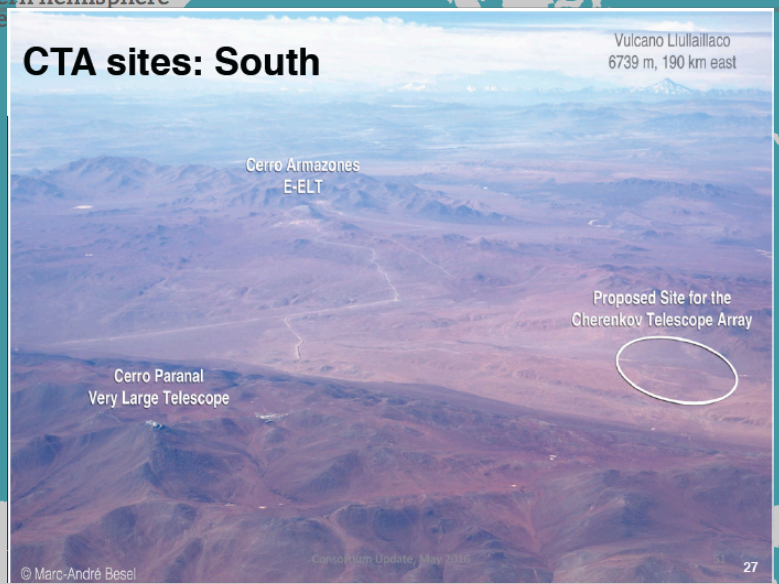
Science Management  
Center



Headquarters



South (ESO):  
Negotiation processing



# 大口径望遠鏡(LST: Large Size Telescope)

## 開発参加国 9か国:

日本, ドイツ, スペイン,  
イタリア, フランス, ブラジル,  
スイス, インド, スウェーデン

## 望遠鏡の主な仕様:

- 直径 : 23 m、面積: 368 m<sup>2</sup>
- 焦点距離 : 28 m (f/D ~ 1.2)
- 主鏡面 : 放物面 (<0.6nsec)
- 分割鏡(球面鏡)198枚
- カメラ視野 : 4.5°
- 1855 pixel (0.1° or 50mm/pix)
- 総重量 : ~120トン
- どこでも20秒以内に向く

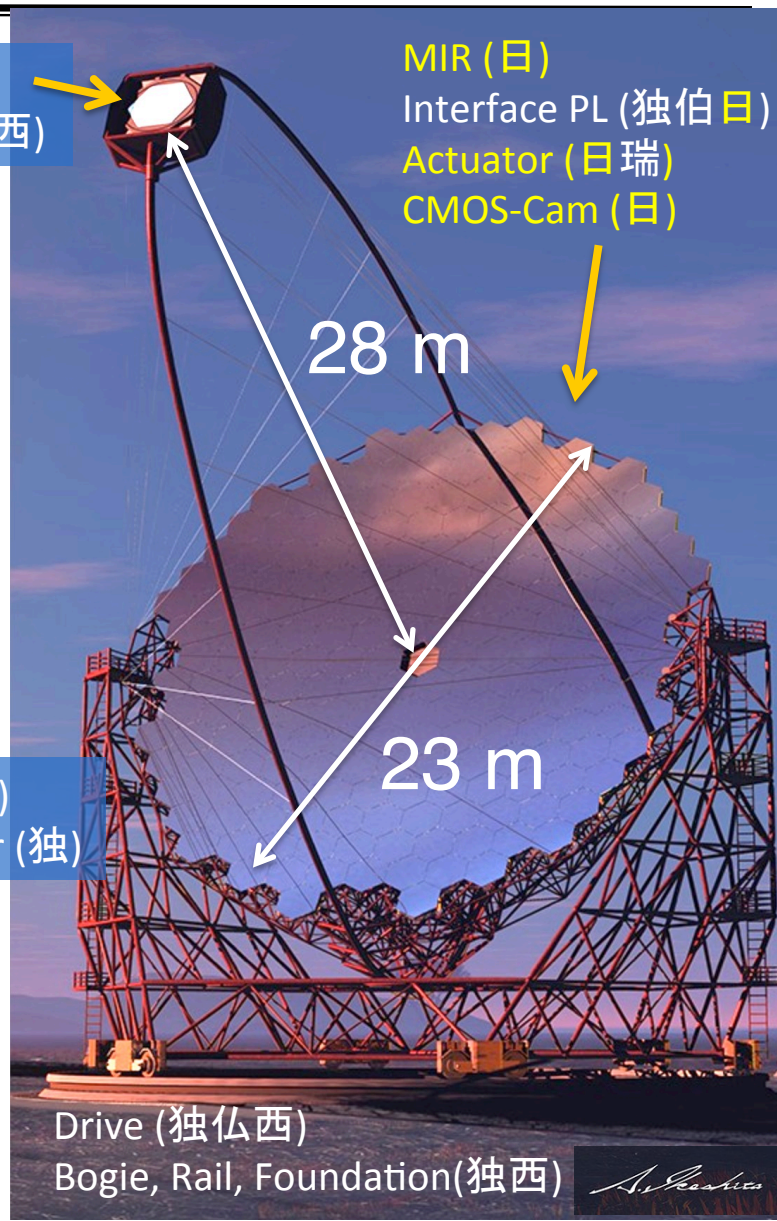
FPI/Elec (日伊)  
Camera body (西)

MIR (日)  
Interface PL (独伯日)  
Actuator (日瑞)  
CMOS-Cam (日)

Structure (独)  
Access Tower (独)

Drive (独仏西)  
Bogie, Rail, Foundation(独西)

*Asashiro*



# 大口径望遠鏡(LST: Large Size Telescope)

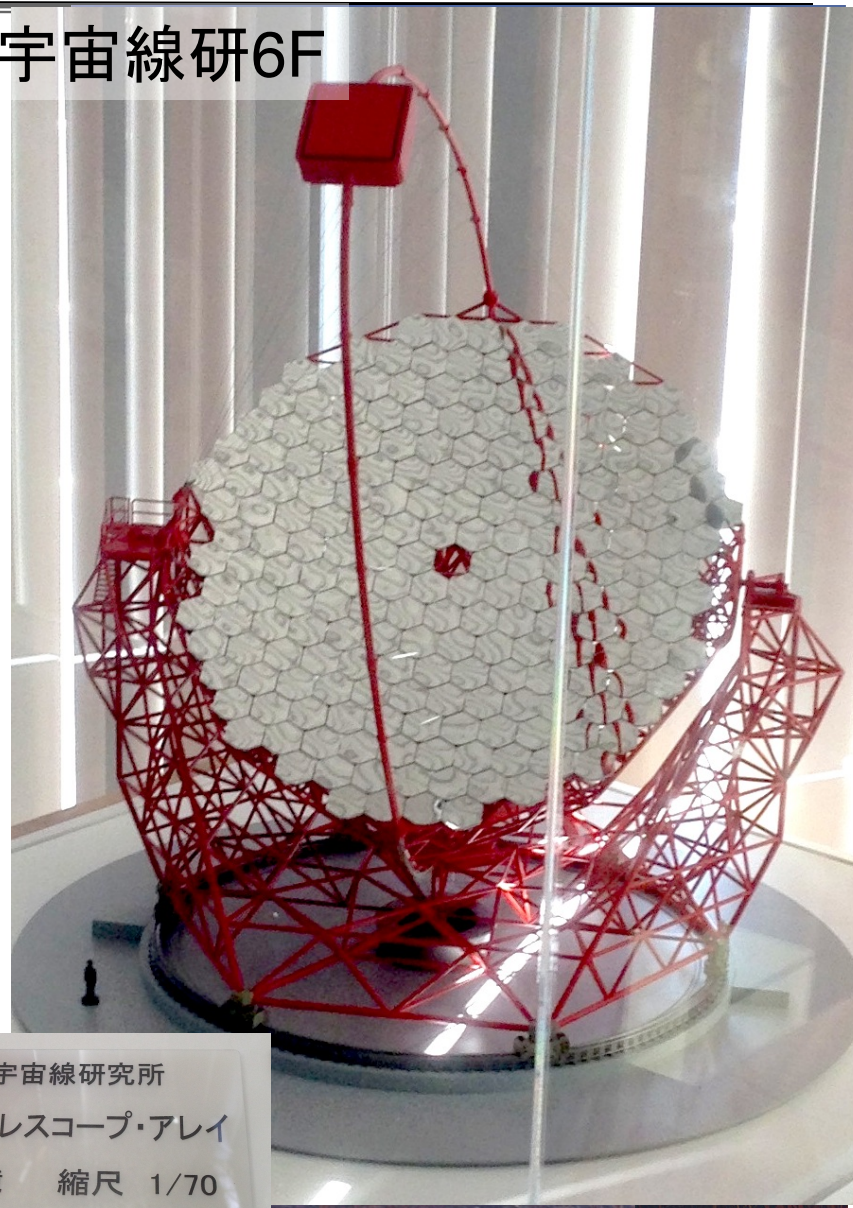
## 開発参加国 9か国:

日本, ドイツ, スペイン,  
イタリア, フランス, ブラジル,  
スイス, インド, スウェーデン

## 望遠鏡の主な仕様:

- 直径 : 23 m、面積: 368 m<sup>2</sup>
- 焦点距離 : 28 m (f/D ~ 1.2)
- 主鏡面 : 放物面 (<0.6nsec)
- 分割鏡(球面鏡)198枚
- カメラ視野 : 4.5°
- 1855 pixel (0.1° or 50mm/pix)
- 総重量 : ~120トン
- どこでも20秒以内に向く

宇宙線研6F



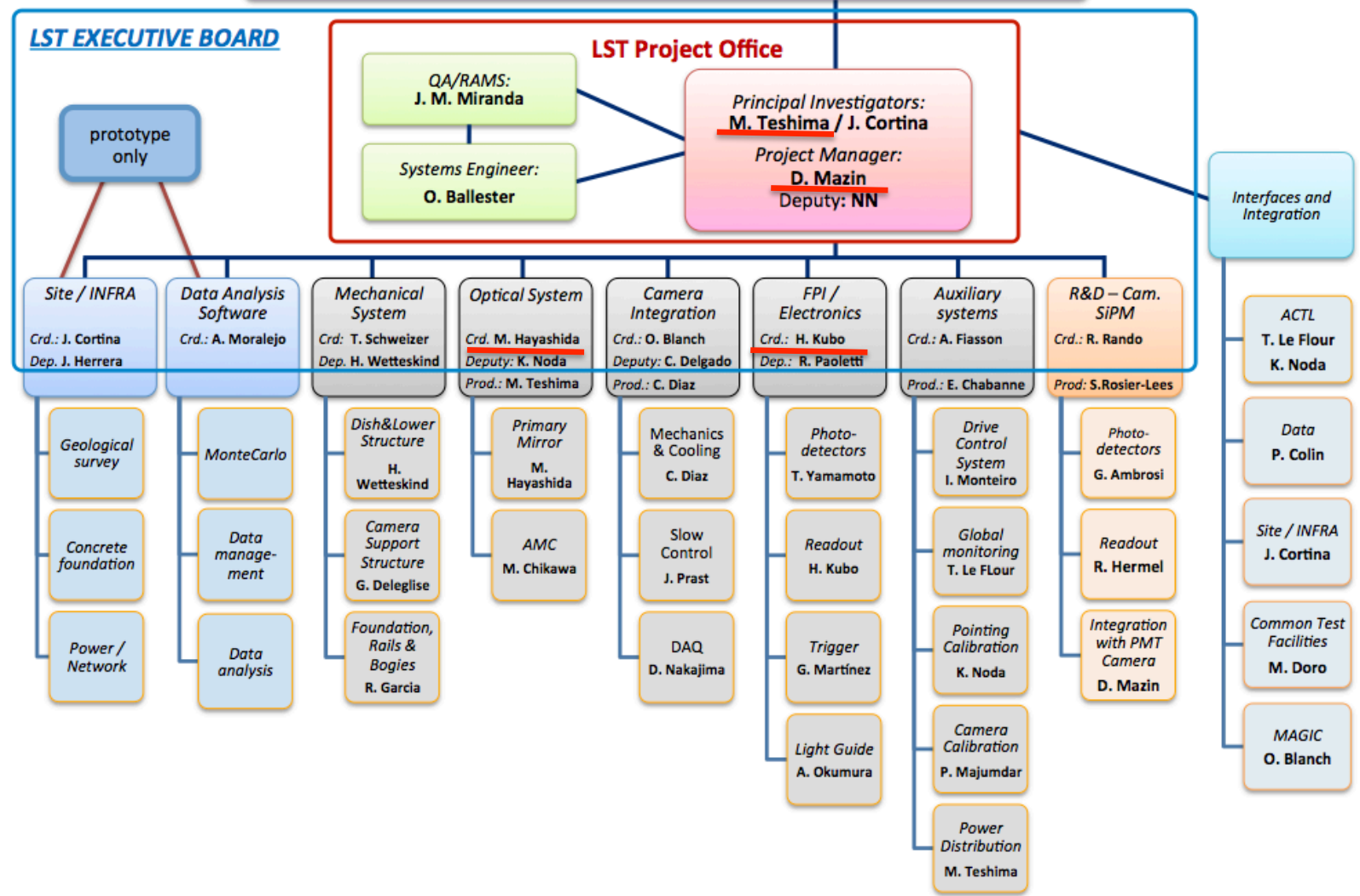
東京大学宇宙線研究所  
チェレンコフ・テレスコープ・アレイ  
大口径望遠鏡 縮尺 1/70

# LST 組織図

**Steering Committee:**

DE: T. Schweizer	IT: N. Giglietto
ES: M. Martinez (chair)	Ex Officio: M. Teshima
FR: J.-P. Lees	Ex Officio: J. Cortina
JP: H. Kubo	Ex Officio: D. Mazin

Version 6.92

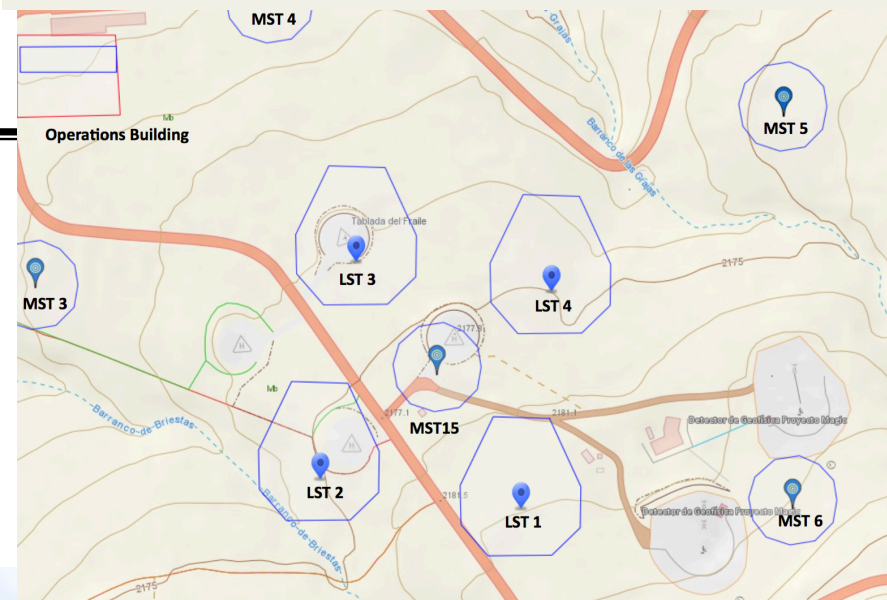


# E06: ICRR DANIEL MAZIN

## 「CTA大口径望遠鏡一号機設置運用」

- 2016 May: Permission for LST1 foundation granted
- 2016 Jun: Contract with foundation company signed
- 2016 Aug: Civil works started
- 2016 Dec 14: Foundation will be ready

Positions of LST2-4 will be fixed in Jan 2017



10 October 2016



1 December 2016



live streaming, <http://webcam.lst1.iac.es/stream2view.htm>



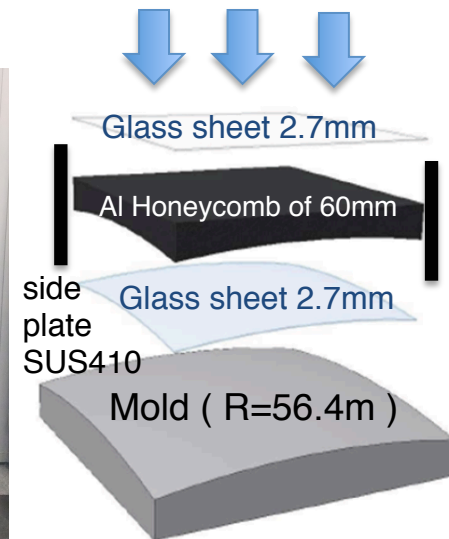
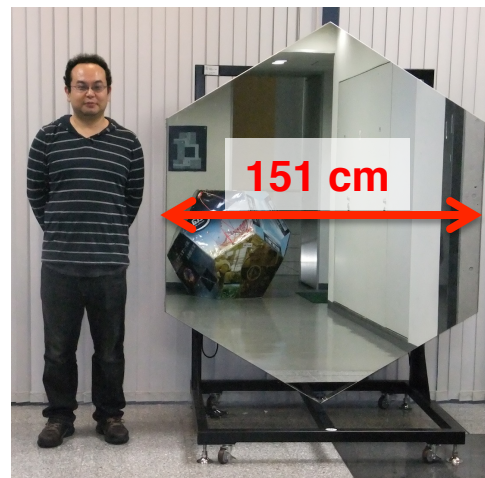
# LST光学系:

E08: ICRR 林田将明「CTA大口徑望遠鏡光学系の開発」



## LST光学系仕様

- 直径 : 23 m、面積: 368 m<sup>2</sup>
- 焦点距離 : 28 m (f/D ~ 1.2)
- 主鏡面 : 放物面 (<0.6nsec)
- 分割鏡(球面鏡)198枚
- Active Mirror Control system (光学アライメント補正)
- 総重量: ~120トン



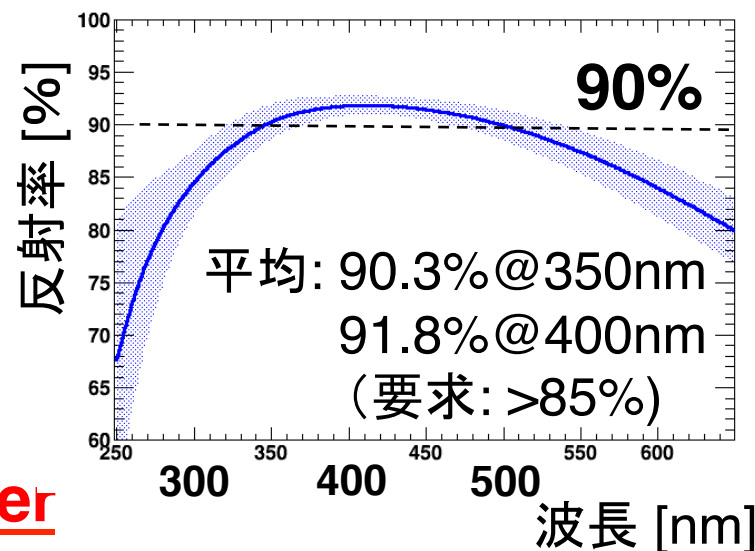
製法: Cold Slump

## 分割鏡仕様

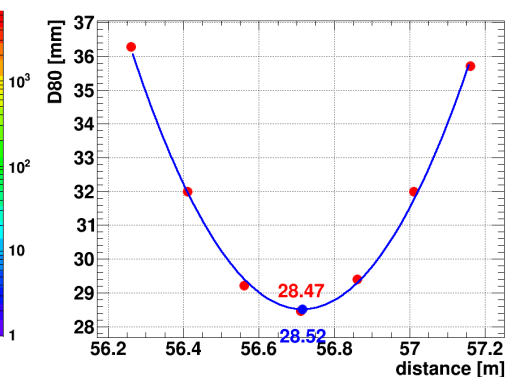
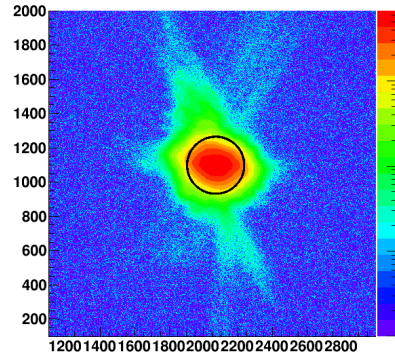
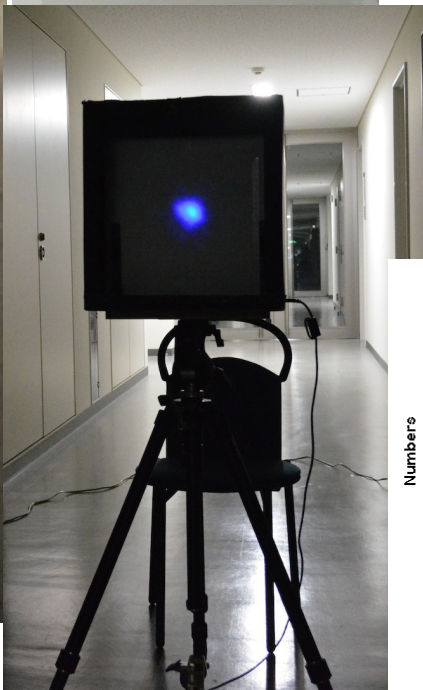
「三光精衡所」との共同開発

- 曲率半径: 56.0 – 58.4 m
- spot size : 16.6 mm (1/3 pixel)
- 重量: 約44kg
- 表面: 5層スパッタリング (Cr+Al+SiO<sub>2</sub>+HfO<sub>2</sub>+SiO<sub>2</sub>)

**日本がLST分割鏡の唯一のsupplier**



# 分割鏡：品質(性能)管理測定@ICRR

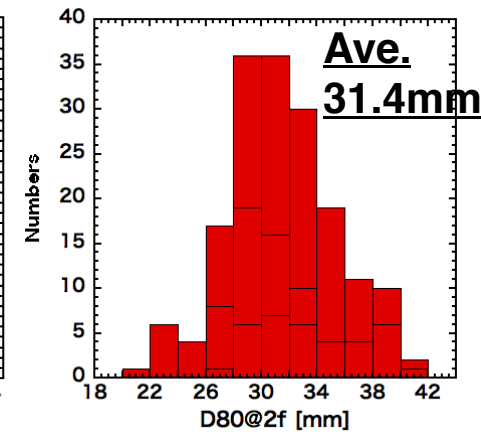
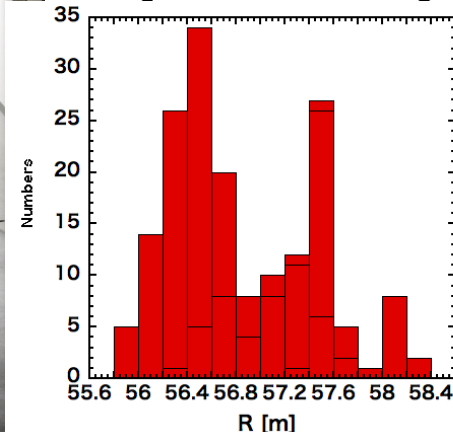


D80: 反射光の80%が入る円の直径

## 172枚の測定結果

<曲率半径 (R)>  
56.0-58.4m

<結像性能(D80)>  
仕様: 33.3mm  
(=16.6mm@1f)



# Mirror shipping to the site!

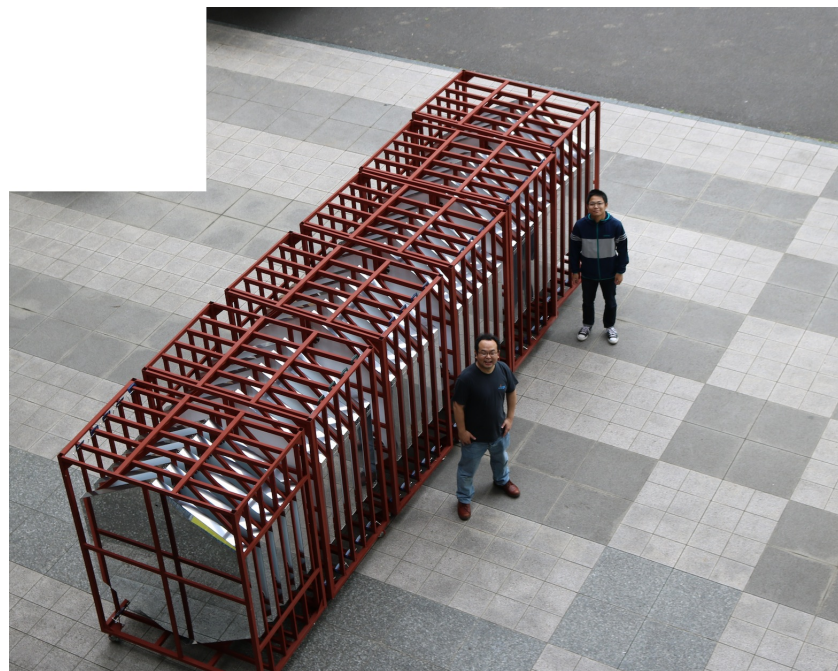
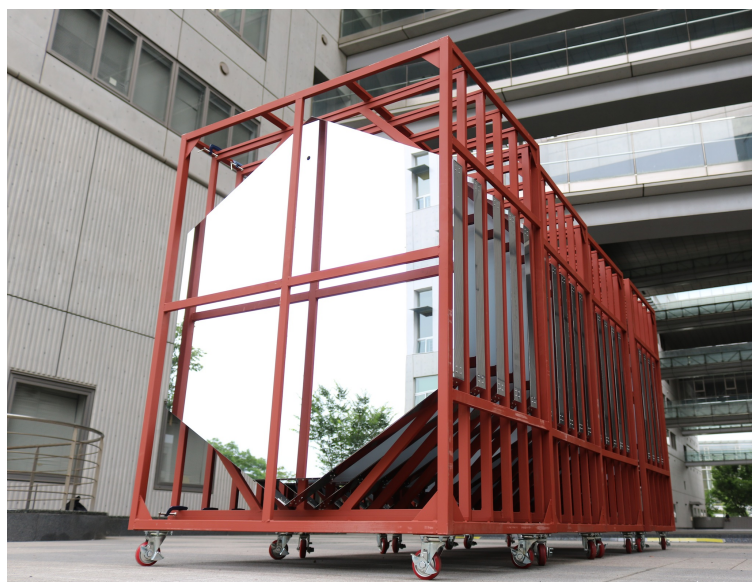
今年度:

- 2016年12月: 150枚
- 2017年 1月: 150枚
- 2017年 3月: 100枚

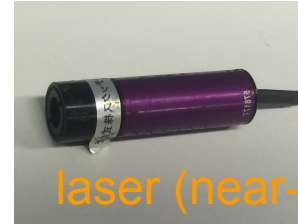
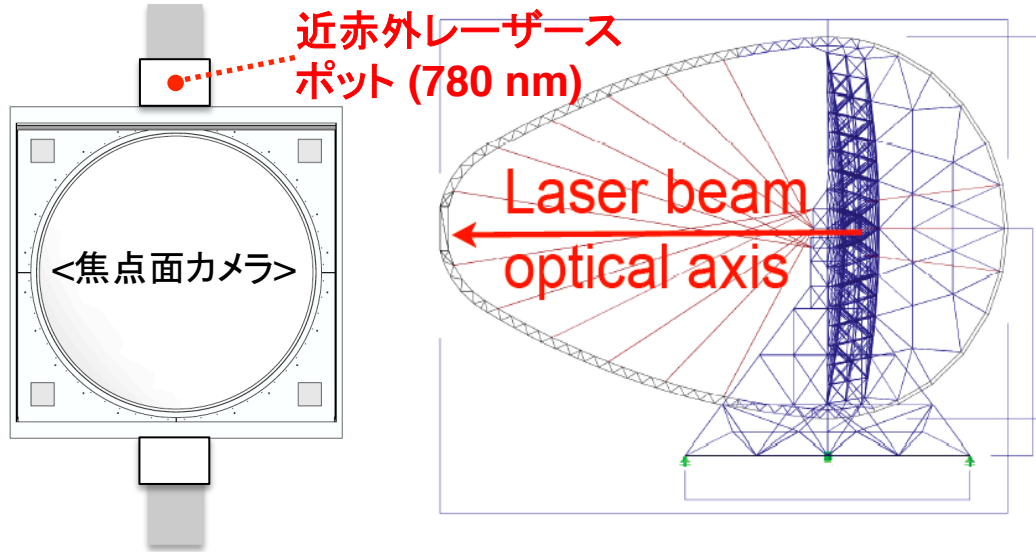
来年度:

- 計600枚(予定)

40ft (12m) containers (50枚)



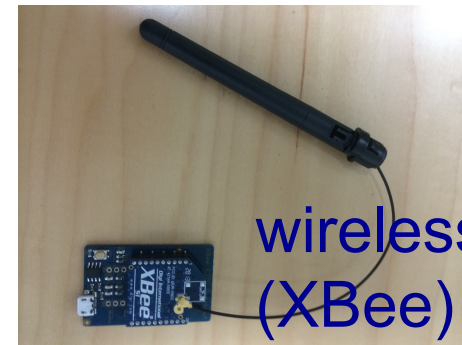
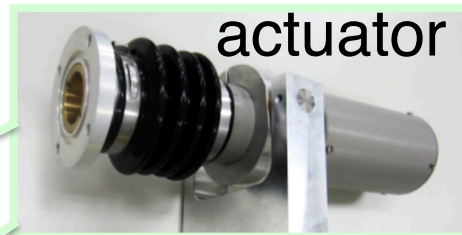
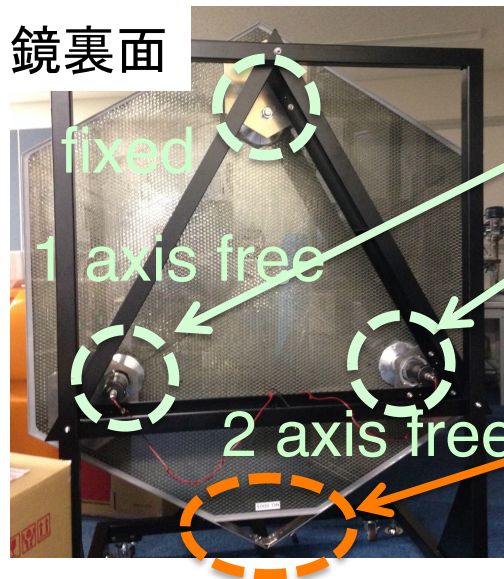
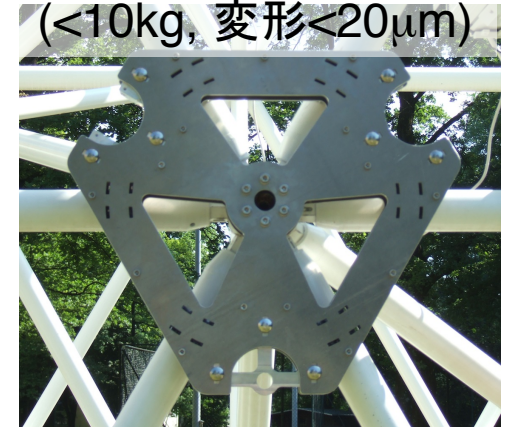
# Active Mirror Control (AMC) system



laser (near-infrared)

構造体 ↔ アクチュエーター  
(分割鏡) を繋ぐプレート

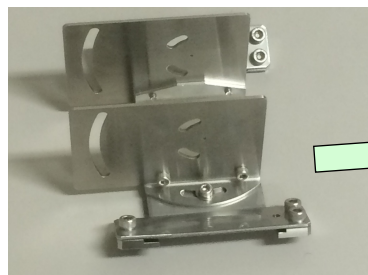
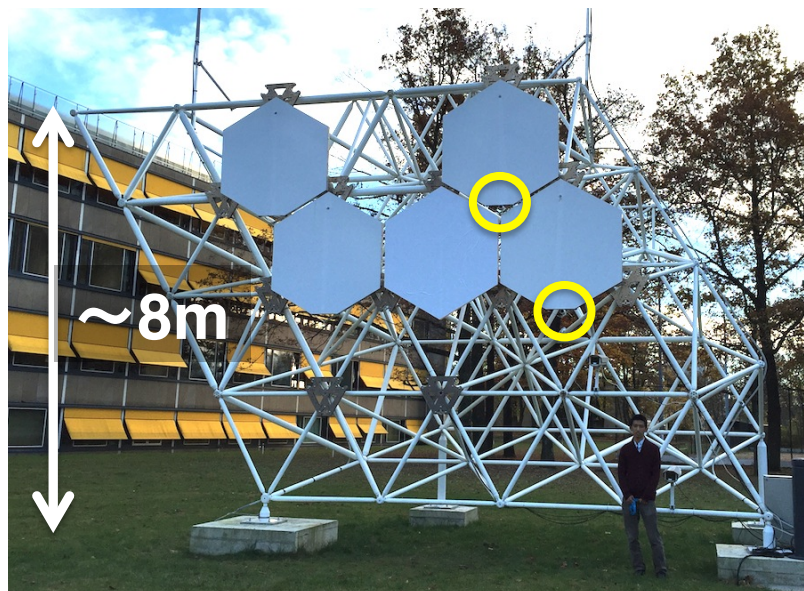
(<10kg, 変形<20μm)



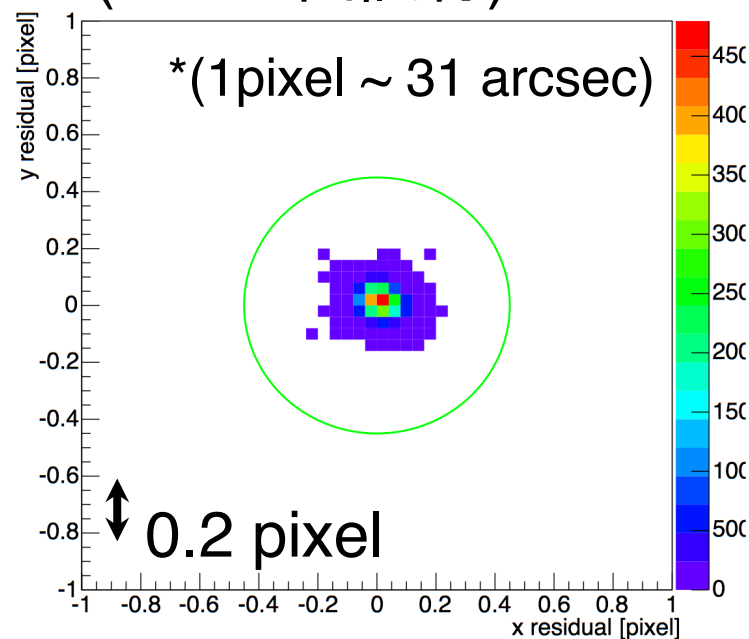
wireless module  
(XBee)

# AMC屋外性能評価

MPI、MunichにLSTの1/8相当部の構造体を用いた屋外試験



AMC補正後のspot位置  
(~5000回試行)



緑丸: 目標性能 (14秒角)

# 焦点面カメラ

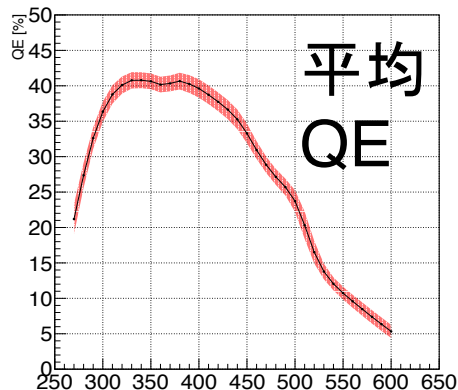
- E03 甲南大学 山本常夏 「CTA大口径望遠鏡の焦点面検出器開発」
- E04 京都大学 窪秀利 「CTA大口径望遠鏡用読み出し回路の開発」
- E07 ICRR DANIELA HADASCH 「CTA大口径望遠鏡一号機スローコントロール統合運用」
- E09 ICRR 中嶋大輔 「CTA大口径望遠鏡のための超広帯域データ収集システム開発研究」

## PMTモジュール (7ch)

Slow control(E07)

PMT (E03):  
Hamamatsu:  
R11920-10-20  
(φ30mm)

DAQ (E04)  
"Dragon"



1GHz/Sampling  
(アナログメモリ+ADC)  
低消費電力  
3 W/ ch  
低コスト

265 cluster  
1855 pixels  
総電力: 7 kW

Ethernet Switch (E09)



camera sever(E09)

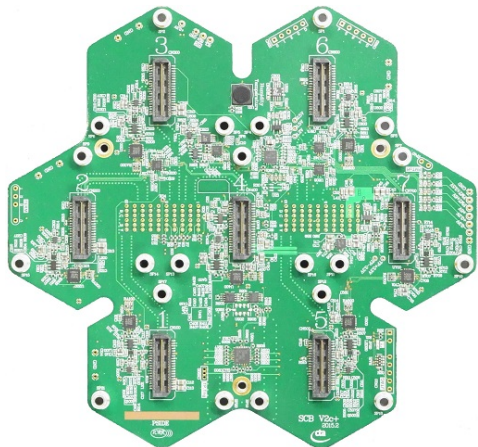


要求値  
15 kHz  
42.7 Gbps  
(~100 TB  
一晩/LST)

3m

# 300枚のSCBの量産、性能試験が終了

E07: ICRR Daniela Hadasch, 「CTA大口径望遠鏡一号機スローコントロール統合運用」



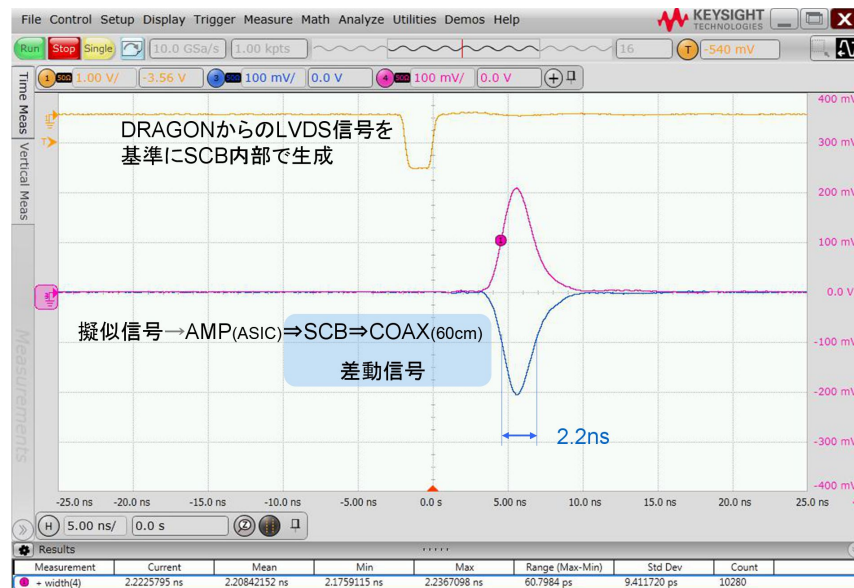
## SCBの機能

- テストパルス生成
- 7本のPMTに印加する電圧の制御
- PMT印加電圧、アノード電流のモニター
- PMT、SCBボードの温湿度のモニター
- PMTやSCBのシリアルIDの読みだし

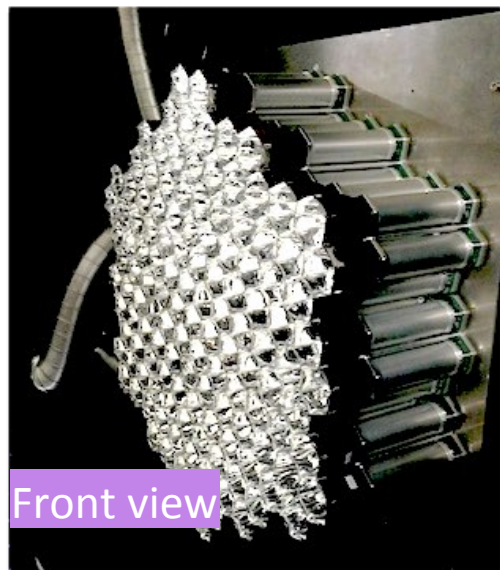
## SCBで生成されたテストパルス



ロックレバー



# Mini-cameraを用いた『統合試験』



Front view



Back view



Ethernet switch



電源



レーザー光装置

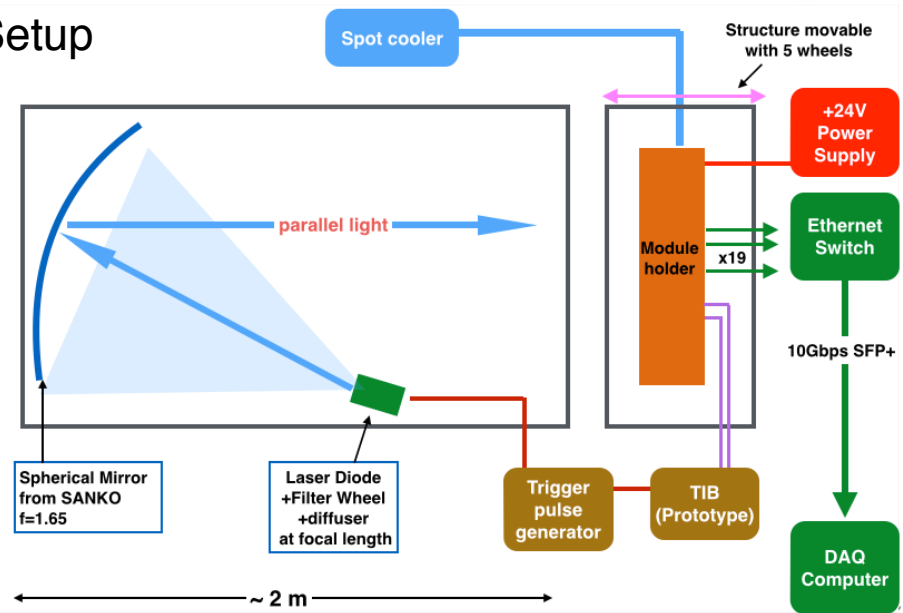
## MiniCamera

1/14スケール (19モジュール/133ch)x2  
のカメラを用いた統合試験

目的:

- PMT-Moduleの性能評価
- データ収集システムの構築・評価
- スローコントロール用プログラムの構築・評価
- 機械的な構造の試験、etc.

## Setup

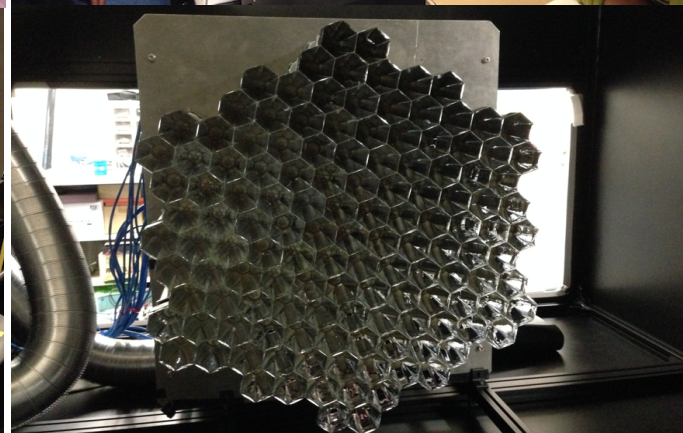
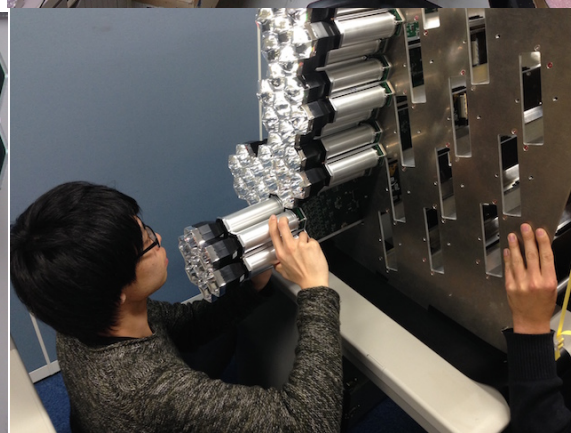
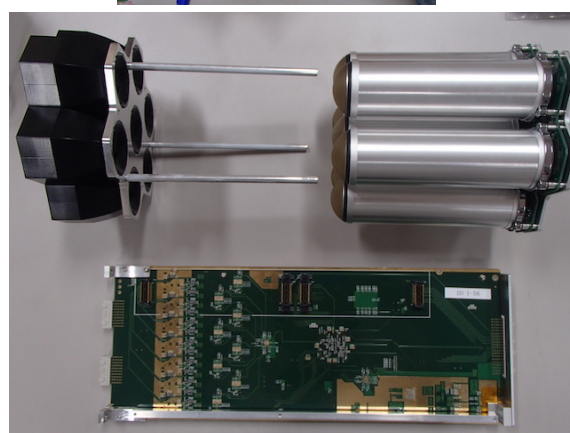
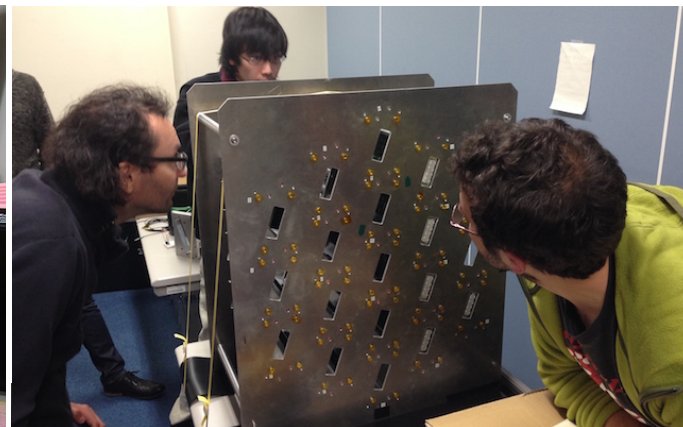


## Setup

暗箱内に設置した球面鏡に、その焦点からパルスレーザー光を照射、鏡で反射された平行光がMiniCameraに入射



# Mini camera 組み立て@ICRR



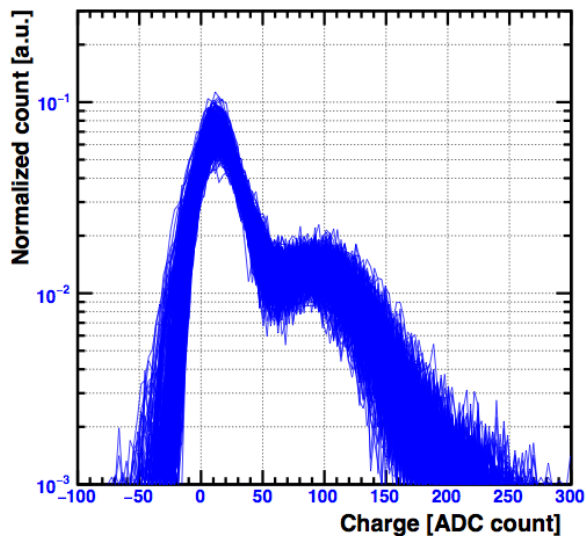
東海・埼玉・甲南・茨城大の学生・教員も参加  
(旅費にも共同利用の援助を活用させて頂いた。)

# 統合試験結果の例

## Single pheの電荷分布(PMT増幅率4万)

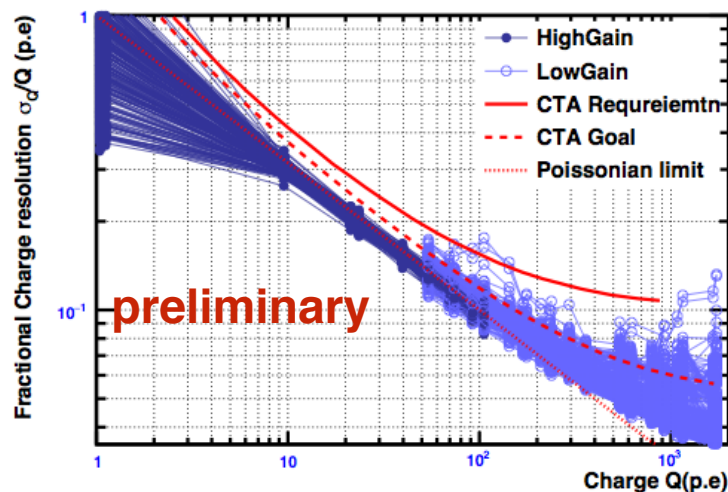
テストした全266 chを重ね書き

平均S/N >4でSingle Pheが見えている

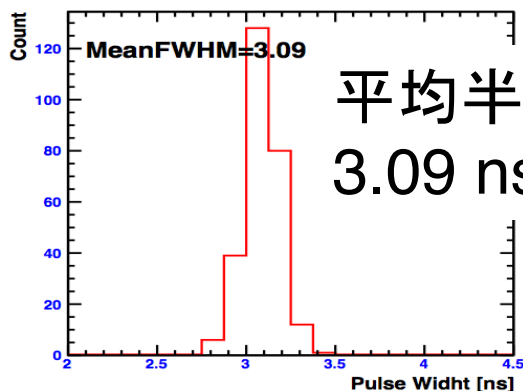
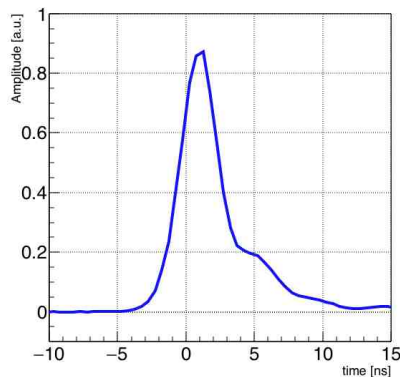


## 観測された電荷量に対する分解能

テストした全266chについてCTAの要求値を満たしていることを確認



## output singleの形状 (パルス幅)

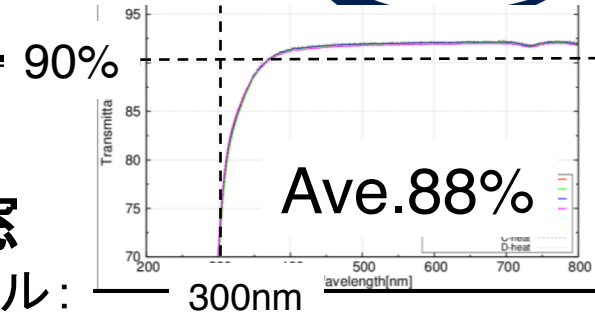


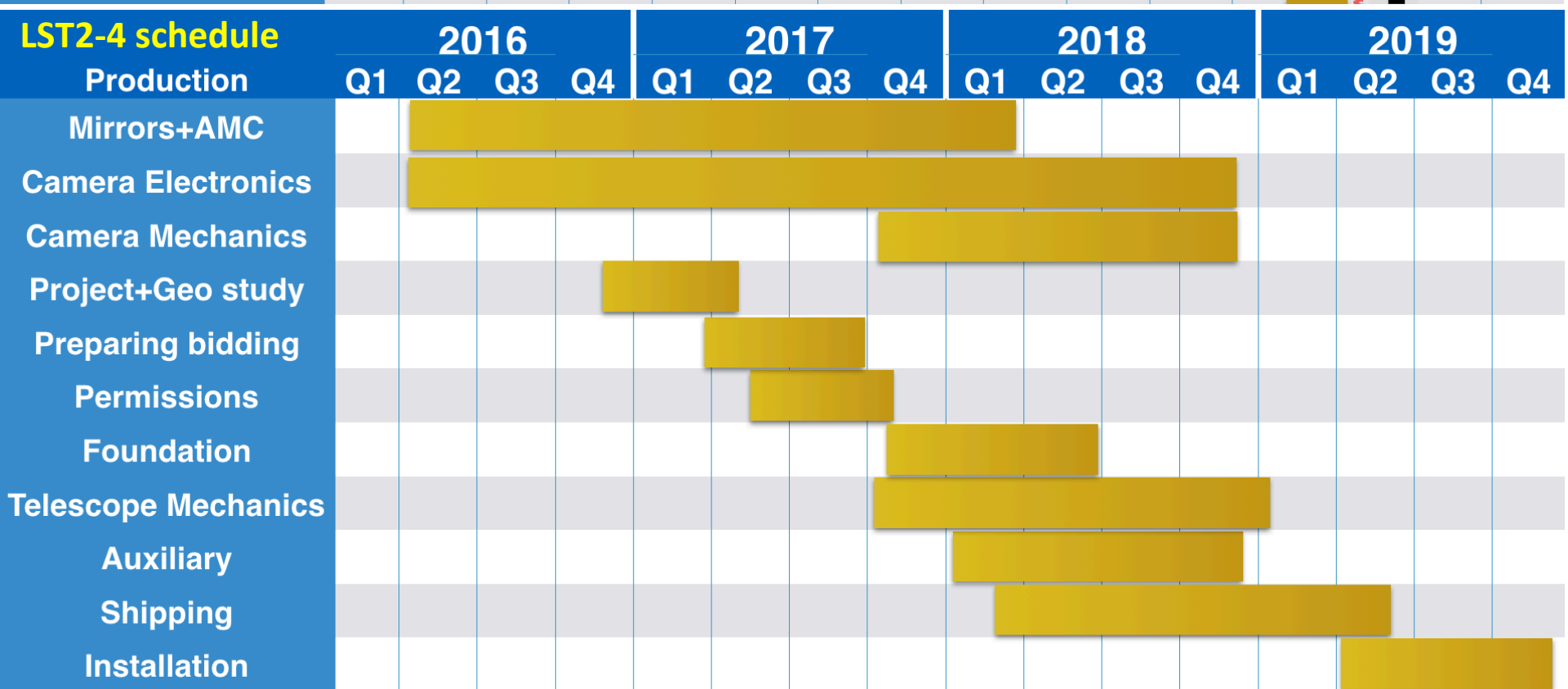
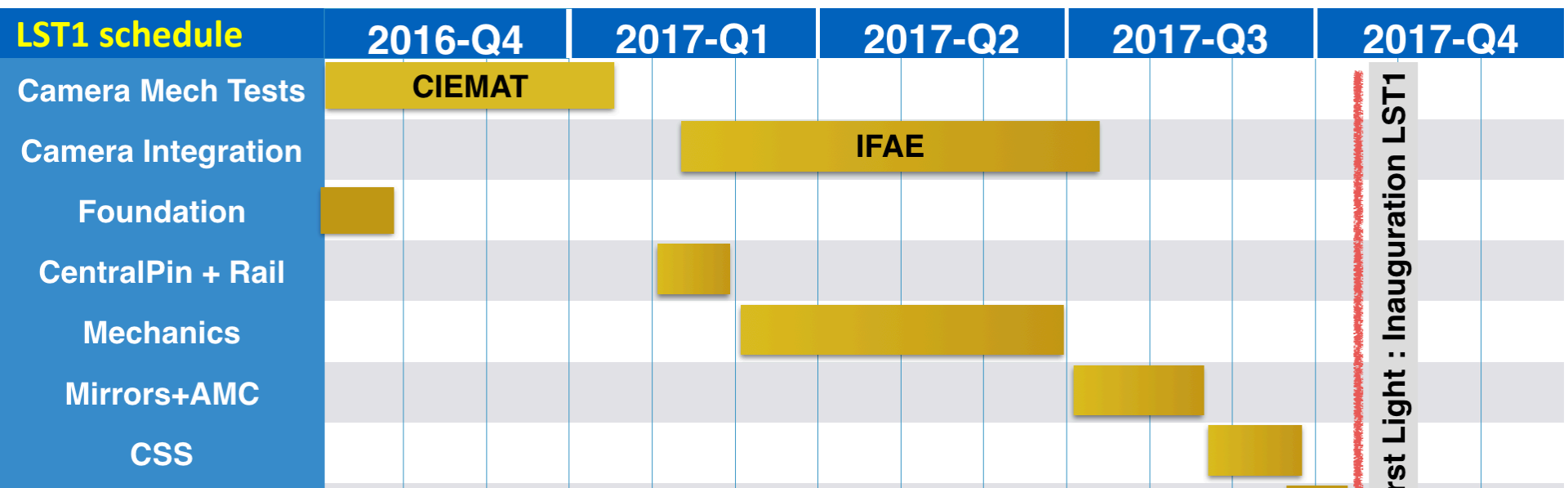
# Full size camera試験

統合試験後、  
35 clustersをマドリッドに送る



カメラの入口窓  
(UV透過型アクリル:  
三菱レイヨン『アクリライト#000』  
「三光精衡所」により”ドーム型”に加工

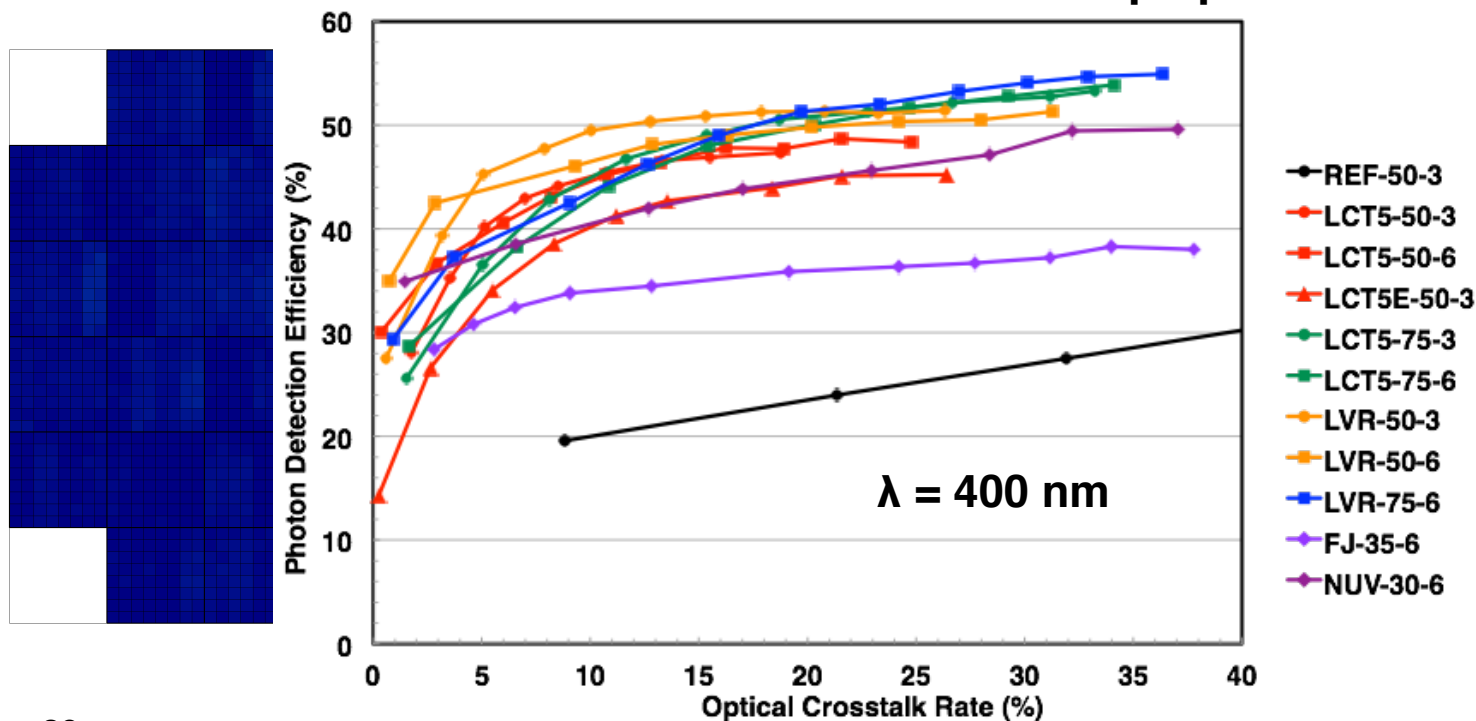




# Gamma-ray Cherenkov Telescope (GCT)

- “First light” of GCT achieved with cosmic-ray showers
  - Contributions from Nagoya group
    - Front-end electronics (Tajima) and Software (Okumura)
- Nagoya group is in charge of characterization and procurement of SiPM photon sensor

Studies of effect of SiPM properties to telescope performance



# MC groupの活動

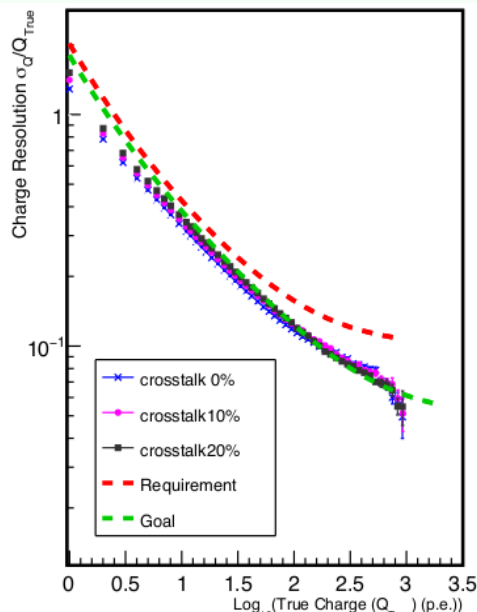
## E11 ICRR 大石理子 「CTAモンテカルロシミュレーション」

CORSIKA6.990 に検出器応答記述部(sim\_telarray)を組み合わせたシミュレーションツールを用いた様々な性能評価

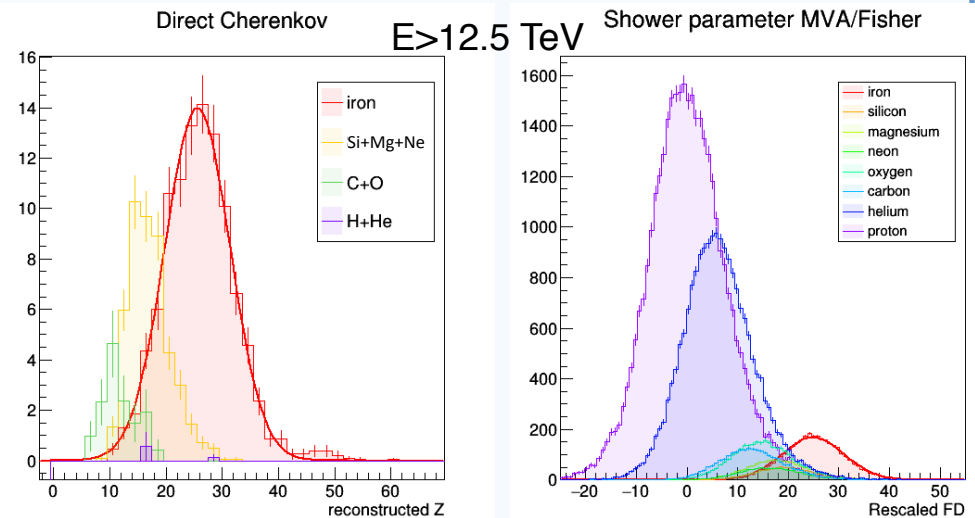
### 個別の物理テーマについてのシミュレーションスタディ

- Direct Cherenkov光等を用いた宇宙線化学組成計測手法の評価(宇宙線研他)
- CTA大口徑望遠鏡による2FHLソースの観測シミュレーション(茨城大他)
- CTAでの超新星残骸の観測シミュレーション(東海大他)

小口径望遠鏡(GCT)焦点面カメラSiPMについて、シミュレーションによって求められた電荷分解能(佐藤、2016年春季物理学会)

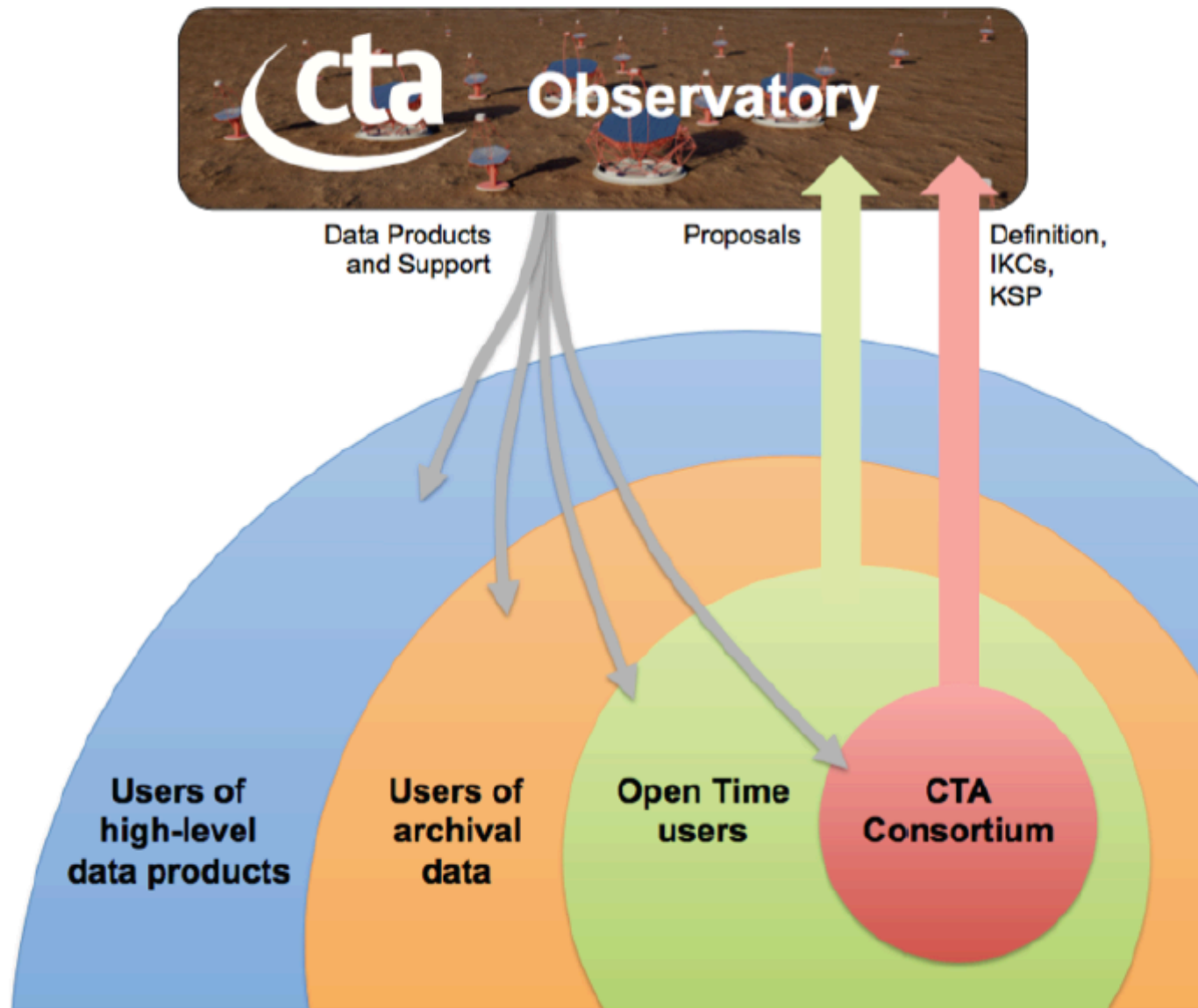


Direct Cherenkov光(左)とshower parameter(右)を用いた核種分離パラメータ分布(大石、2016年秋季物理学会)



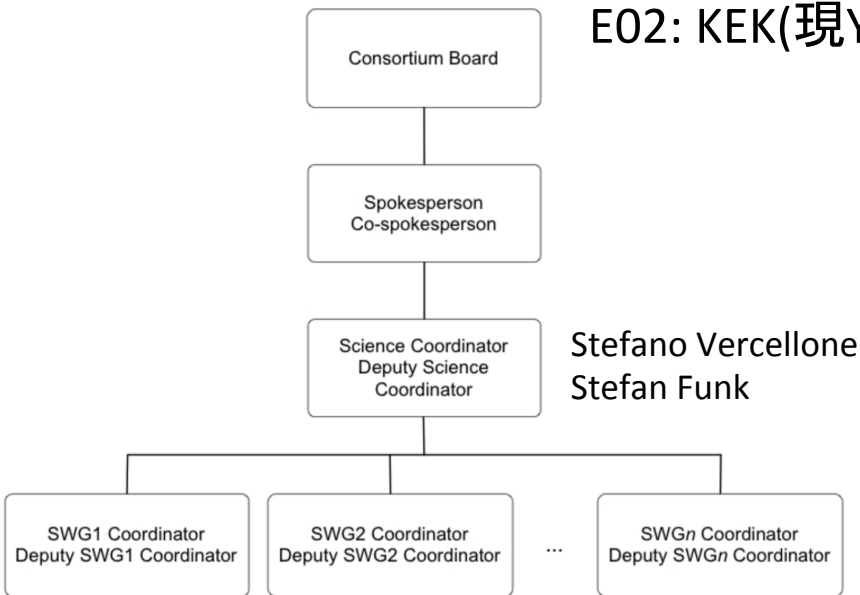
経費(旅費)用途: CTAシミュレーションツールの初心者向け講習会(於宇宙線研、2016年10月開催)参加者への旅費支給

# Organization: observatory



# Science Working Group coordinators

E02: KEK(現YITP) 井岡邦仁 「CTA-Japan 物理研究」



## Six Science WG's

### Galactic SWG

- Jamie Holder (Coordinator)
- Roberta Zanin (Deputy)

### Cosmic-ray SWG

- Stefan Ohm (Coordinator)
- Sabrina Casanova (Deputy)

### Extragalactic SWG

- Elina Lindfors (Coordinator)
- Fabrizio Tavecchio (Deputy)

### Transient SWG

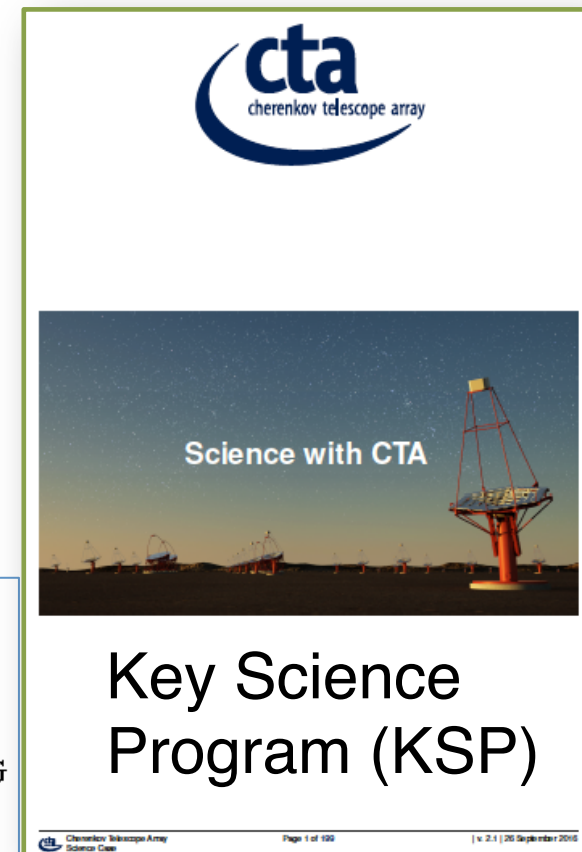
- Susumu Inoue (Coordinator)
- Catherine Boisson (Deputy)

### Dark Matter and exotic physics SWG

- Fabio Zandanel (Coordinator)
- Aldo Morselli (Deputy)

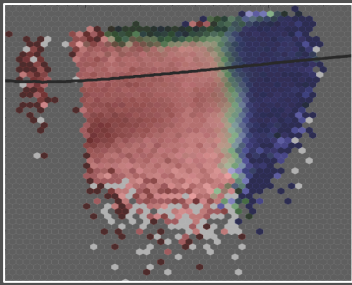
### Intensity interferometry SWG

- Dainis Dravins (Coordinator)
- Michael Daniel (Deputy)

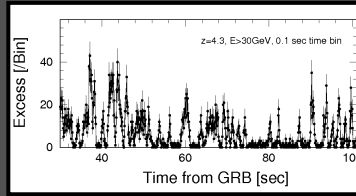




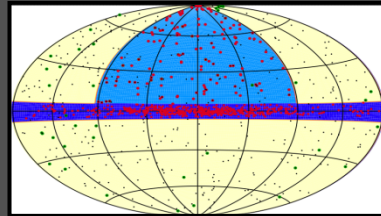
# Key Science Projects (KSPs)



Dark Matter Programme

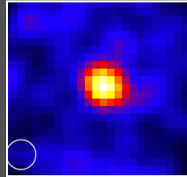


Transients



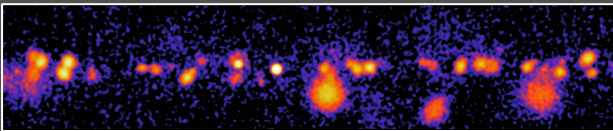
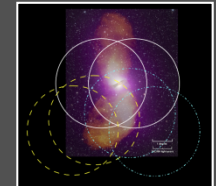
ExGal Survey

Galaxy Clusters



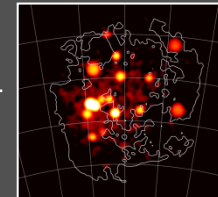
Star Forming Systems

AGN



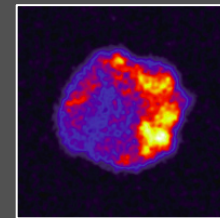
Galactic Plane Survey

LMC Survey

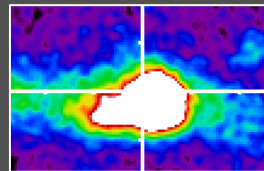


Galactic

PeVatrons



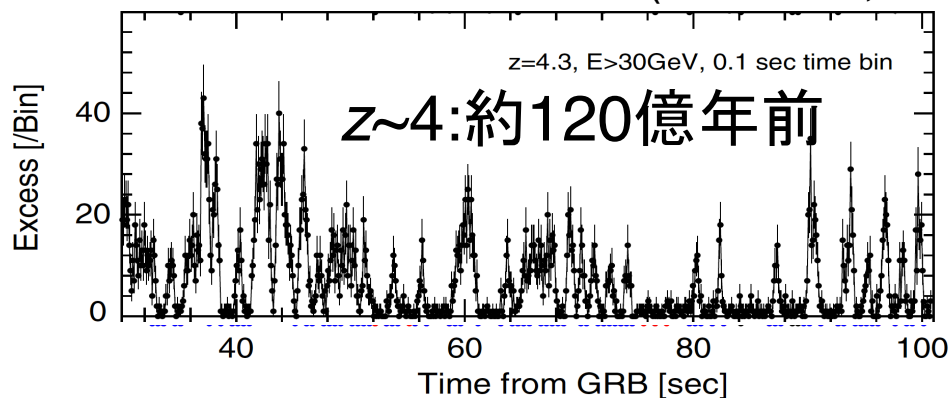
Galactic Centre



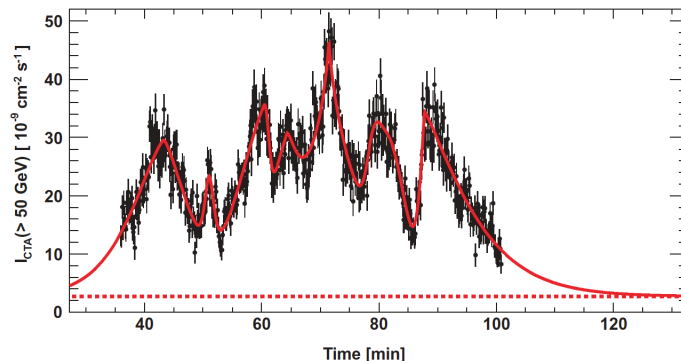
# Science in CTA (KSP)

## Transients (GRB, AGN flare)

GRB080916C-like (Inoue+13, APh)



PKS2155-304-like

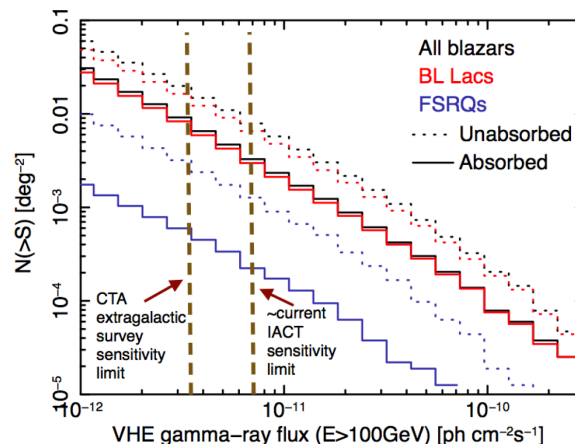
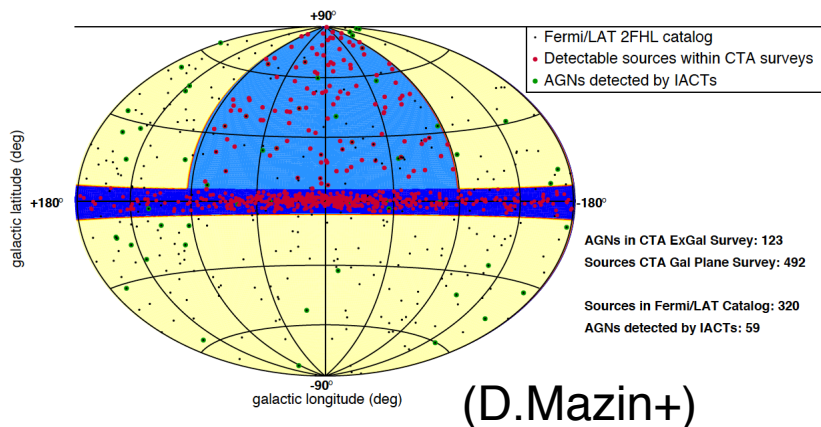


$$\tau = 25 \pm 4 \text{ s} \rightarrow R < 7 \times 10^{11} \delta \text{ cm}$$

$$< 2 \times 10^{-3} R_s \cdot \delta \text{ cm} @ 10^9 M_{\text{solar}}$$

## Extra-galactic survey

25% sky ( $\sim 10,000 \text{ deg}^2$ )  $\rightarrow$  100-150天体  
for 1000 hr in total



+ any new populations?

# Science in CTA (KSP)

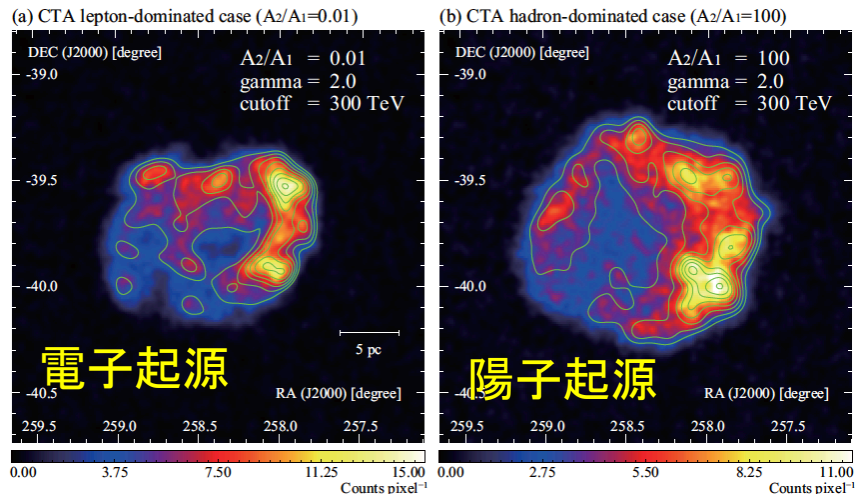
## SNR: RXJ1713.7-3946

(中森、佐野、片桐+)

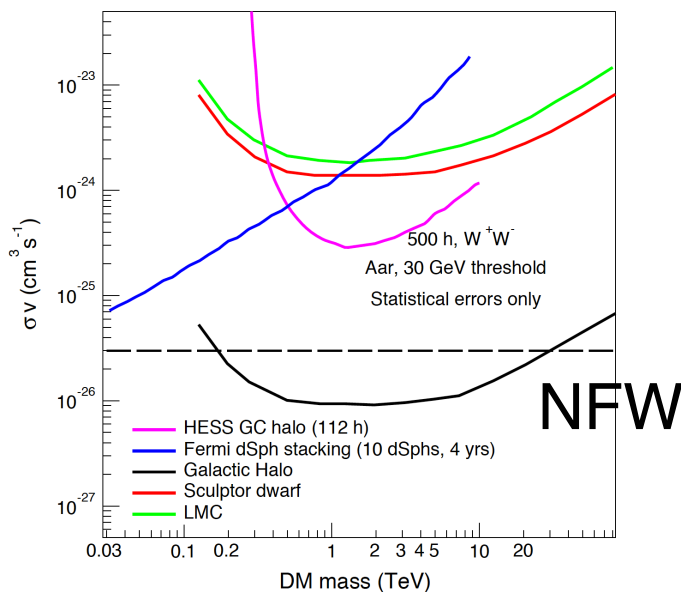
(Nakamori+15, ICRC,  
CTA Consortium, ApJ, submitted)

電子起源: X線(XMM)

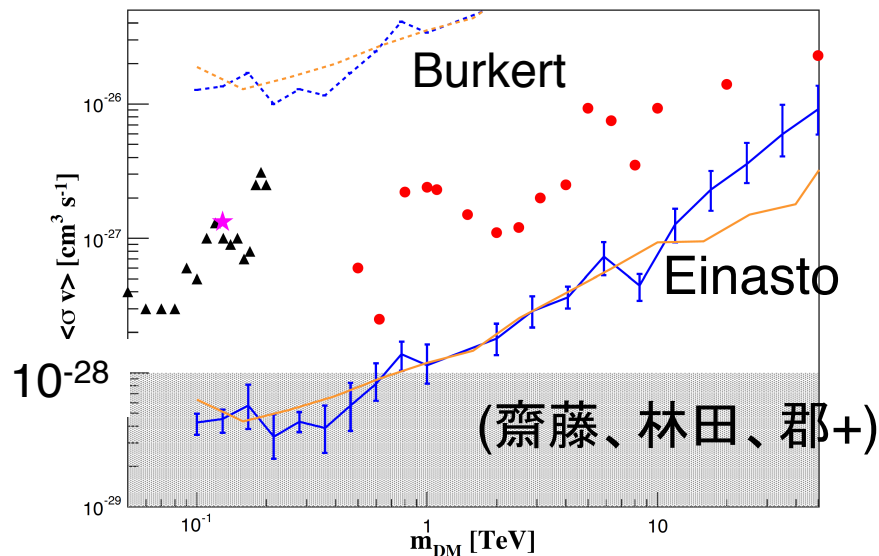
陽子起源: CO(NANTEN)+HI



## Dark matter探査:



## 1° Galactic Center: 500h (line $\gamma$ -ray)



# まとめ

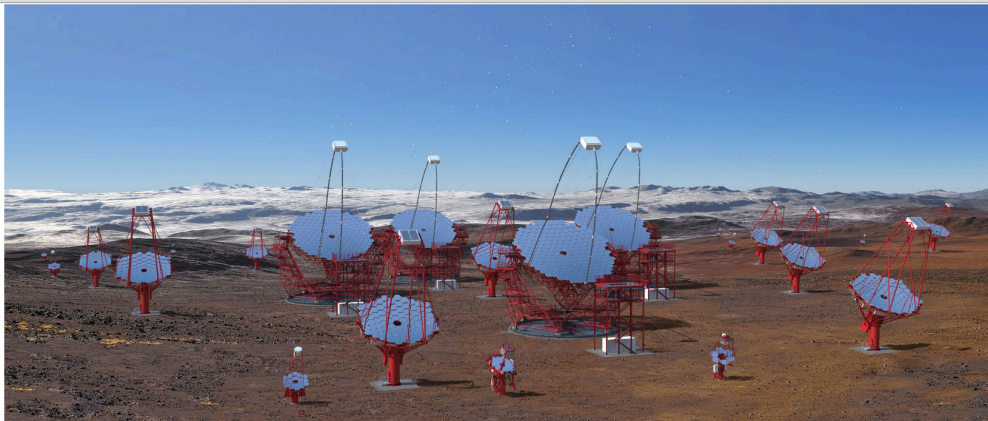
---

- CTAサイト、北:ラパルマ島, 南:チリ<sub>(ほぼ)</sub>に決定
- LST初号機、建設中→2017-4Q first light
  - 光学系:分割鏡は日本が全て担う
    - 大量製造中:QC (2f法) → 16年度:400枚、17年度600枚
    - 鏡方向制御システム:field test完了 (<14”で補正可能)
  - 焦点面カメラ:要素は日本が開発。筐体はスペイン
    - 宇宙線研でのmini-camera統合試験完了
    - 今後はIACにて、組み立て、最終統合試験
- GCTへの開発貢献:FE electronics and Software
- MCによるHardware性能評価、宇宙線核種(Direct Cherenkov光)
- CTAは『observatory』
  - Consortium: KSP (transients, ExGal survey, SNR, DM, etc,,)
  - Open time user: proposals

# 特別推進研究研究会・宇宙線研究所共同利用研究会 「高エネルギーガンマ線でみる極限宇宙2016」



特別推進研究研究会・宇宙線研究所共同利用研究会  
www.cta-observatory.jp/workshop/CTA-J/2016/



E39: 茨城大学 吉田龍生  
「高エネルギーガンマ線でみる  
極限宇宙 2016」

## 特別推進研究研究会・宇宙線研究所共同利用研究会 「高エネルギーガンマ線でみる極限宇宙2016」

12月15日(木)、16日(金)に、特別推進研究研究会・宇宙線研究所共同利用研究会「高エネルギーガンマ線でみる極限宇宙2016」を開催します(講演は英語で行われます)。参加登録されていない方も、ご参加は自由です。CTA-Japan コンソーシアム(<http://www.cta-observatory.jp/>)では、多くの皆様のご参加をお待ちしております。

CTA-Japan一同

来週:  
15(木)、16(金)  
ここです!!!

特別推進研究研究会・宇宙線研究所共同利用研究会

「高エネルギーガンマ線でみる極限宇宙2016」

"The extreme Universe viewed in very-high-energy gamma rays 2016"

開催日時: 2016年12月15日(木) 9:30-18:10 図書館メディアホール

懇親会 18:30-20:00 カフェテリア

12月16日(金) 9:30-17:55 図書館メディアホール

研究会URL:

<http://www.cta-observatory.jp/workshop/CTA-J/2016/>

研究会会場: 東京大学柏キャンパス 図書館メディアホール

[http://www.u-tokyo.ac.jp/campusmap/cam03\\_04\\_04\\_j.html](http://www.u-tokyo.ac.jp/campusmap/cam03_04_04_j.html)

世話人: 井岡 邦仁 (YITP)、窪 秀利 (京都大学)、田島 宏康 (名古屋大学)、  
手嶋 政廣 (ICRR & MPI)、戸谷 友則 (東京大学)、中嶋 大輔 (ICRR)  
林田 将明 (ICRR)、山本 常夏 (甲南大学)、吉越 貴紀 (ICRR)、  
吉田 龍生 (茨城大学)

<http://www.cta-observatory.jp/workshop/CTA-J/2016/>