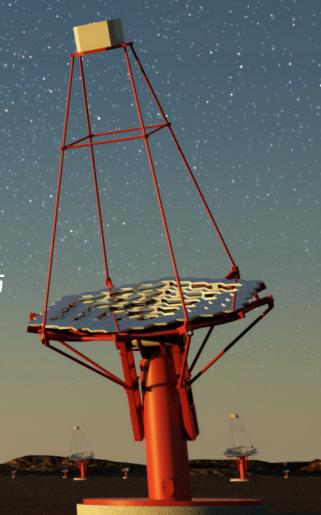
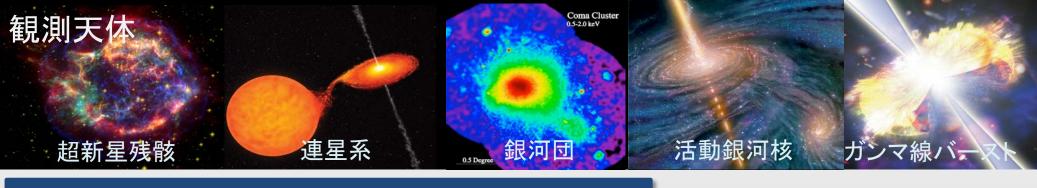
# CTA開発研究



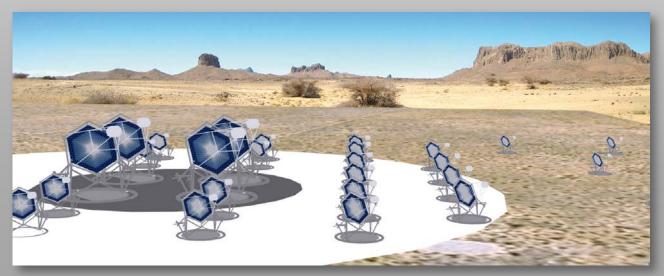
CTA手嶋 研究費170万·旅費85万 計255万 CTA戸谷 研究費 20万·旅費80万 計100万





### Cherenkov Telescope Array 超高エネルギー宇宙ガンマ線の研究

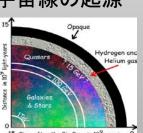
- •宇宙線の起源
- •銀河系内、系外の高エネルギー天体の研究
- ●赤外・可視背景放射(宇宙の星形成史)の研究
- •暗黒物質対消滅からのガンマ線の探索
- •相対論(量子重力理論)の高精度検証



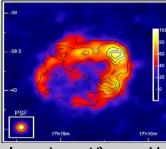
#### 狙うサイエンス



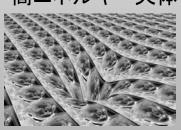
宇宙線の起源



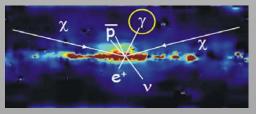
宇宙論 星形成史



高エネルギー天体

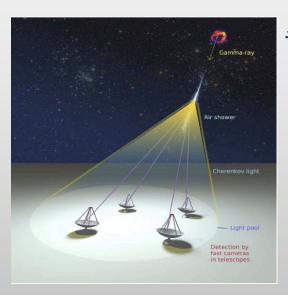


時空の構造



暗黒物質の探索

### VHE Gamma Ray Astronomy の現状 新たな宇宙の窓(VHE 10<sup>12</sup>eV Gamma Ray Astronomy)が開く



#### チェレコフ望遠鏡

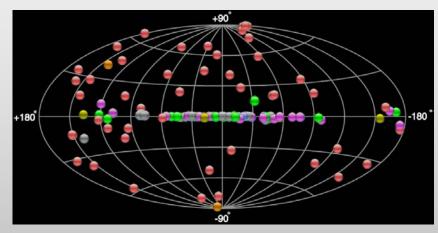
エネルギー領域50GeV ~10TeV宇宙線排除率>99.9%角度分解能~0.1 degrees

エネルギー分解能~20% 検出面積 ~10<sup>5</sup>m<sup>2</sup>

感度 ~1% Crab Flux

 $(10^{-13} \, erg/cm^2 s)$ 

#### ~130 sources >100GeV



#### **HESS Galactic plane survey**



#### **MAGIC**

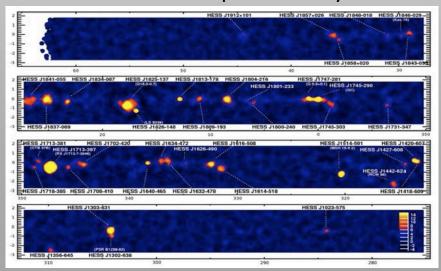
17m x2 Canaries

#### **VERITAS**

12m x 4 Arizona

#### **HESS**

12m x 4 Namibia

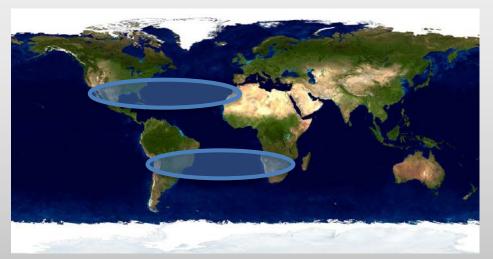


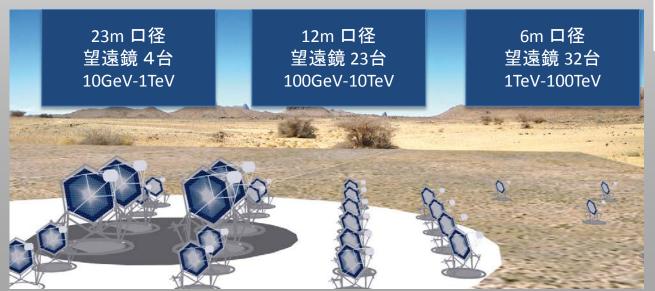
#### CTA 計画(チェレンコフ望遠鏡アレイ計画)

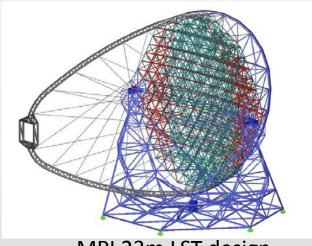
#### 全天観測装置(南北に2ステーション)

北候補:カナリー諸島/メキシコ

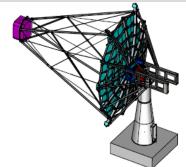
南候補:ナミビア/アルゼンチン/チリ







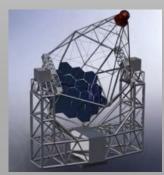
MPI 23m LST design



DESY 12m MST



US 12m MST



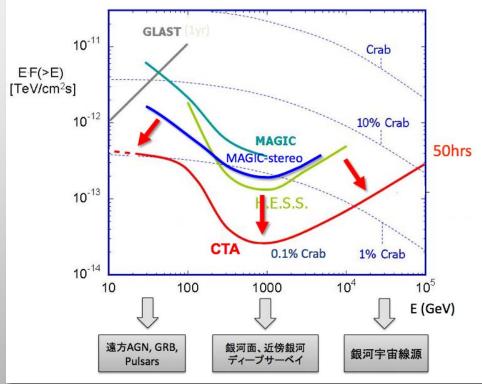
DC SST



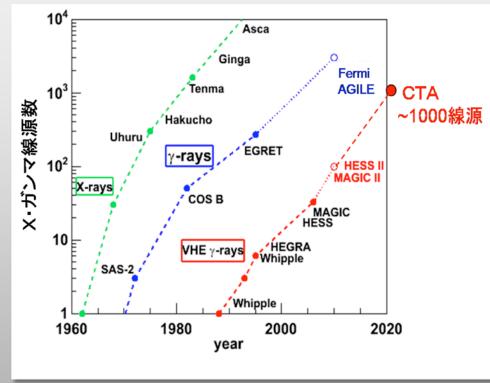
**UK SST** 

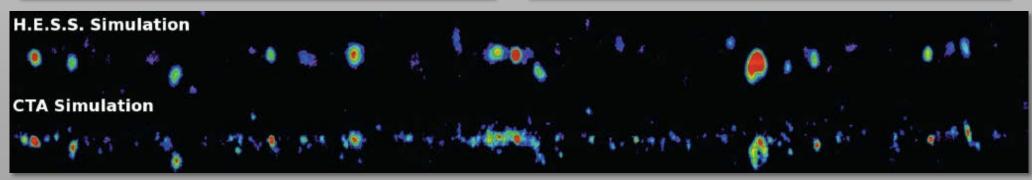
#### CTA 計画(チェレンコフ望遠鏡アレイ計画)

従来より一桁高い感度 広いエネルギー領域

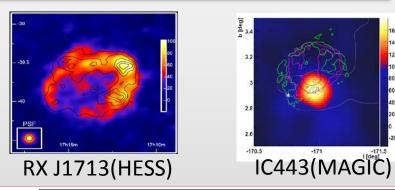


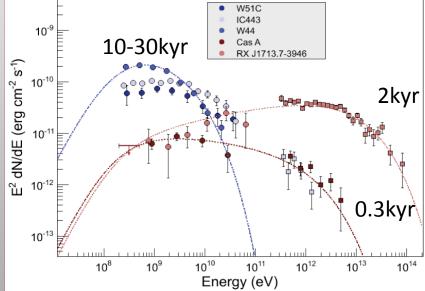
1000を超えるガンマ線源が 銀河系内・系外に発見されると予想される





#### 超新星残骸は銀河宇宙線の源か? 超新星残骸の進化

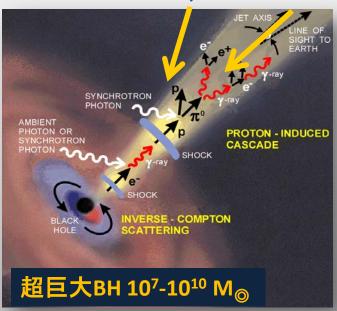




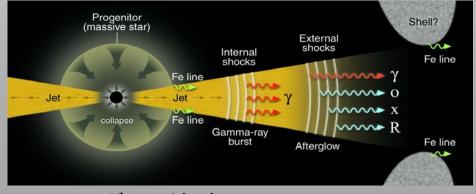
	Cas A	RX J1713.7 -3946	IC443	W44	W51C
Age (kyears)	0.3	2	10	20	30
N <sub>average</sub> (cm-3)	10	0.1	10	100	10

### 銀河系外の天体・相対論的ジェットの研究 最高エネルギー宇宙線の起源?

FRI, FRII Blazars



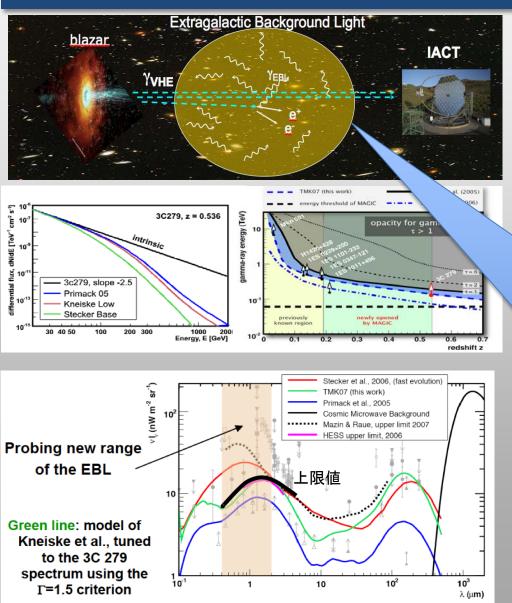
活動銀河核(赤方偏移 z<3)



ガンマ線バースト (z<10)

#### ガンマ線で吸収する宇宙赤外線背景放射

- → 宇宙の星・銀河形成史
- 宇宙論的な距離を飛来する高エネルギーガンマ線



Observations of High redshift AGNs and GRBs will allow us to study the star formation history. EBL represents integrated redshifted star light.

> ←The Big Bang The Universe filled

 The Universe becomes neutral and opaque The Dark Ages start

Galaxies and Quasars begin to form The Reionization starts

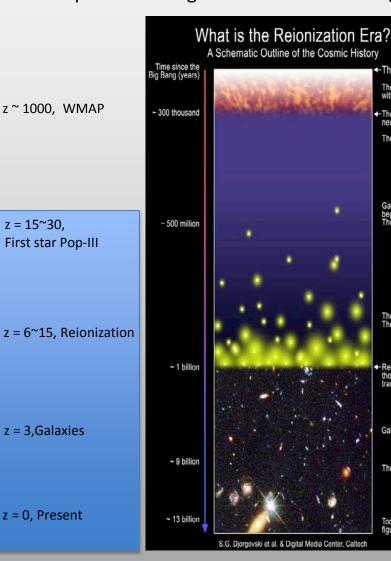
The Cosmic Renaissance The Dark Ages end

Reionization complete the Universe becomes

Galaxies evolve

The Solar System forms

Today: Astronomers figure it all out!



z ~ 1000, WMAP

 $z = 15^{30}$ 

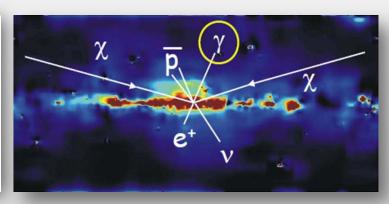
First star Pop-III

z = 3, Galaxies

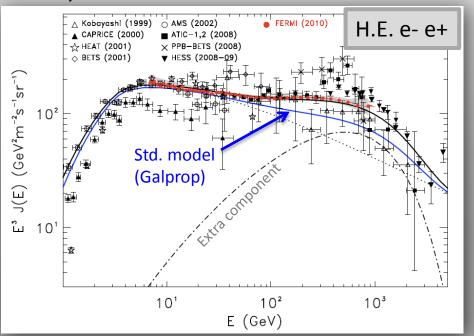
z = 0, Present

#### 暗黒物質の探索 対消滅からのガンマ線を探る

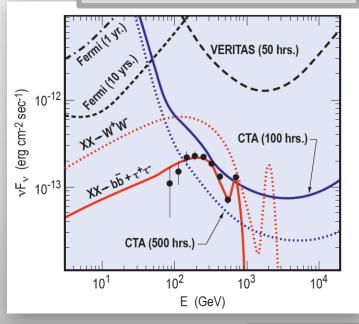
Dark Energy 73% Cold Aloms 15 Dark Matter 25°

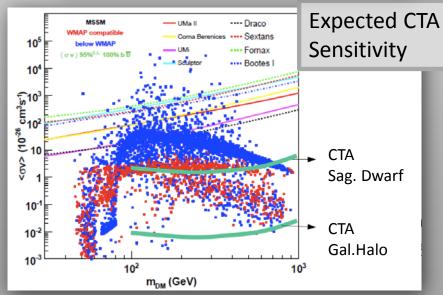


There is an extra bump in electron energy spectrum Nearby Pulsars or DM?



Expected gamma ray spectra from Sagittarius Dwarf galaxy

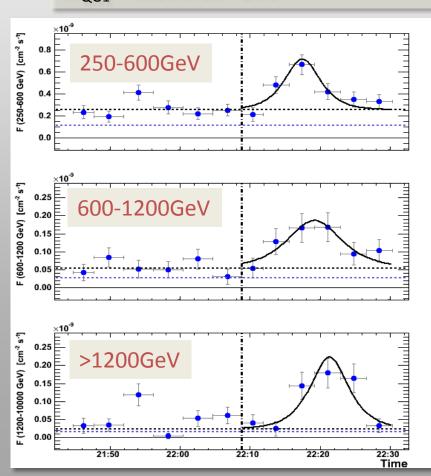




# Test for Lorentz Invariance Fast time variation of VHE gammas from AGN Mrk501 by MAGIC, PKS 2155 by HESS

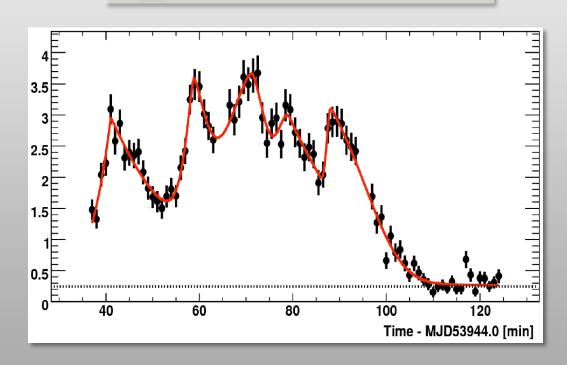
Mrk501(z=0.03) MAGIC observation

 $M_{OG1} > 0.26 \times 10^{18} GeV$ 



PKS2155(z=0.116) HESS observation

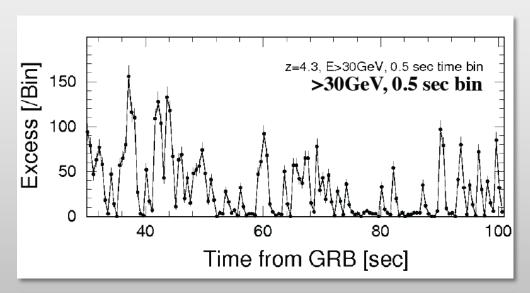
 $M_{OG1} > 0.72 \times 10^{18} GeV$ 

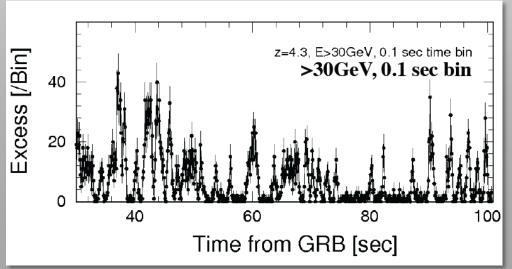


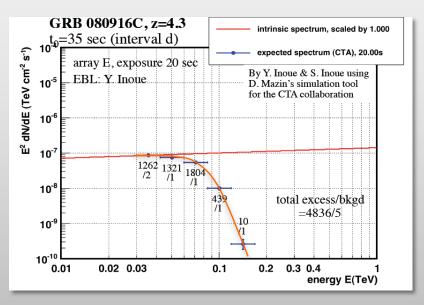
With CTA, we can have ~10sec time resolution for the fast variation

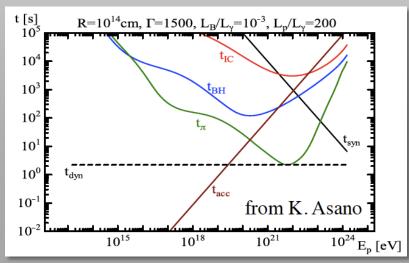
### CTA Monte Carlo: Expected Light curve for GRB at z=4.3

CTA performance study by S.Inoue, Y.Inoue, T.Yamamoto, et al

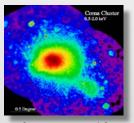








### CTA の高い性能と広がるサイエンス



新しい天体

源の形状 宇宙線の分布

宇宙線の起源



TeV 全天マップ 未知天体・拡散成分

高感度 x10 (10<sup>-14</sup>erg cm<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>)

高角度分解能 x3 (2 arcmin @1TeV)

大検出面積 x30 (3x 10<sup>6</sup>m<sup>2</sup> >1TeV)

高 S/N x 30 >99.99%

全天観測

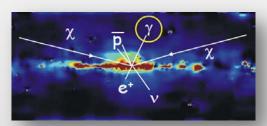
高エネルギー分解能 x2 (10% @ 1TeV)

低エネルギー閾値 x2 (20GeV)

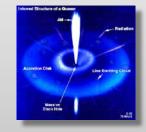
高速回転 20 sec/180°

高時間分解能 x10 (~1sec)

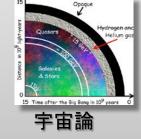
運転 Scan / Monitor



暗黒物質探索

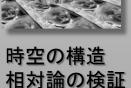


遠方活動銀河核





ガンマ線バースト



### 研究組織 (CTA-Japan Member 75名)

サイエンス PHYS WG 責任者: 井岡(KEK) KEK, 京大、青学、茨城、他

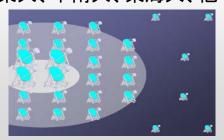


CTA 計画推進責任者 手嶋政廣(東京大学·宇宙線研究所)

マネージメント

TA Japan PI 手嶋(東京大)
CTA Japan Co-PI 窪(京都大)
CTA Japan Chair 戸谷(京都大)
CTA Japan SBO 吉田(茨城大)

シミュレーション MC WG 責任者: 吉越(東大) 東大、甲南大、東海大、他

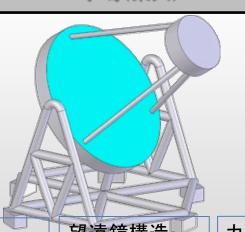


ミラー MIR WG

責任者:手嶋(東大) 東大、近畿大、甲南大

茨城大、三光精衡所、他

較正 Dual Mirror Cam 責任者:田島(名古屋) CTA LST(大口径望遠鏡) Prototyping
Project Coordinator
手嶋(東大)



光検出器 FPI /CAL WG 責任者: 折戸(徳島大)

東大、茨城大、広大、甲南、埼玉、青学、浜松ホトニクス、他

アンプ、スロー制御 東大、徳島、京大、茨城大、他

読み出し電子回路 ELEC WG 責任者:窪(京都大) 京大、KEK、山形大、他

望遠鏡ドライブ スペインバルセロナ IFAE 望遠鏡構造 ドイツミュンヘン MPI カメラサポート構造 フランスアネシー LAPP

## タイムスケジュール、予算

• デザインスタディー

準備研究段階

建設

• 部分的稼働

フル稼働







**ASTRONET** 



2015 - 2020

2017 -

2020 - 2040



**ESFRI** 



RI De

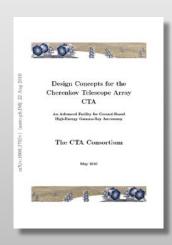
**Decadal Survey** 

- 総予算 (計算2010年): 190MEuro ~ 200 億円
  - 準備研究予算 ~ 20MEuro
- 日本の貢献全体の20%を目指す(40億円)
  - 準備研究予算~5億円

#### デザインスタディーの成果



LOI CTA-Japan

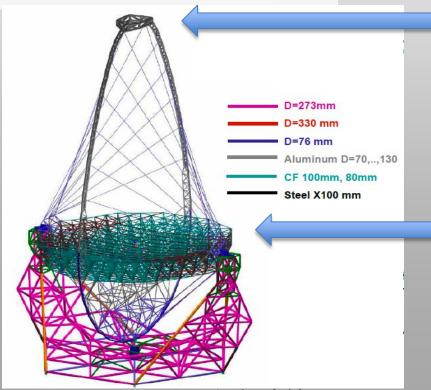


Design Concept CTA-Consortium

CTA-Japan web site より入手可 http://www.cta-observatory.jp/

#### CTA Japan 活動 大口径望遠鏡プロトタイピング

- ✓CTAは日米欧の国際共同実験
- ✓日本は主にCTA-LST大口径望遠鏡に貢献
- ✓最終的には全体の20%の貢献をめざす
  - ✓大口径望遠鏡カメラ
  - ✓超高速データ読み出し回路
  - ✓高精度分割鏡
  - ✓ Dual Mirror 望遠鏡読み出し回路
  - ✓ソフト:物理、シミュレーション、データ解析



CTA LST(23m 大口径望遠鏡)

#### 日本グループによる技術開発・技術貢献



高分解能カメラ(MAGIC)



PMT、高圧、アンプ、スロー制御、読み出し回路



7ch 1GHz 超高速波形読み出し回路



1.5m サイズ 高精度分割鏡



大型スパッタリングチェンバー Cr + Al + SiO2 + HfO2 による マルチコート(長寿命、増反射)

### CTA LST Mirror の開発状況

#### • 成果と現状

- CTA LST mirror のプロトタイプをCTA Consortium で最初に行う
- スパッタリングにより多層膜コートを1.5m サイズの鏡に行うことを実現 → 高反射率、 長寿命
- 加速試験によりスパッタリング多層膜のコートの寿命を調査中
- CTA MST mirror のプロトタイプも開始し、Italy, France との開発競争に入る
- PMD (Phase Measure Deflectometry) 法による鏡表面測定装置(1μm精度)をドイツ Erlangen大学, MPI Munich との共同で製作し宇宙線研に設置する予定

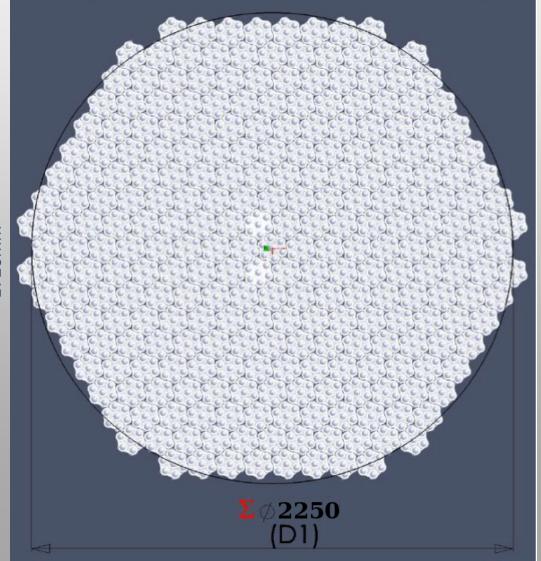
#### 展望

- 2012年度: LST Mirror 10枚、MST Mirror 10枚の連続した製造を予定。
- LST Mirror に関してはCTA Consortium においてスタンダードとしていく。
- 2012-2015: 大型科研費により LST 1台分のMirror (200 枚)を製作し、日本グループの貢献としたい

# LST-Camera 265 clusters/1855 pixels (0.1°ピクセル、視野 4.4°、重量 < 2 ton)



W = 68kg



Clusters 1.33kg x 265 <400kg Two cooling plates <500kg

Plex glass < 70kg Cables, Switching hub < 100kg Power module <150kg

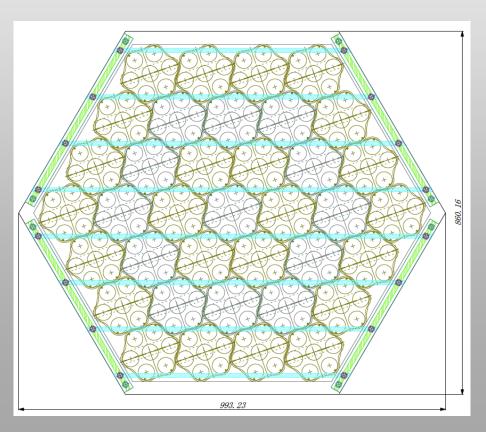
Supporting frame < 100kg Skin of Camera < 200kg Interface with Arch < 100kg Garage door < 200kg

Total < 1820 kg

< 2 tons

### 水冷クーリングプレート試作 (1/8 スケール)

Prototype cooling plate which accommodate 37 clusters (259PMTs)

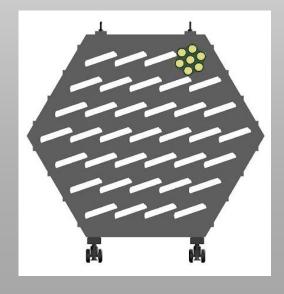


FOV = 2.90 degrees in FTF (in MST) Pixel pitch = 50 mm (0.098 deg in LST)

Dimension 0.64m<sup>2</sup> x 20mm
Weight = 34kg → 25kg (after machining)

Weight / cluster = 670g/cluster





### 1510mm 大口径望遠鏡用ミラーの試作 2.7mm ガラス+60mmアルミハニカム+2.7mmガラス





Measurement at 2f (R = 55.4m) (Target:  $23 \times 1.2 \times 2 = 55.2$ m)

~0.04 x 0.1 degress (in Diameter) (target: 0.03 x 0.03 degrees)

Weight = 45kg (requirement 40kg)

### 1200mm 中口径望遠鏡用ミラーの試作 Core Material -- Aluminum foam





30mm thick closed Aluminum foam

2.7mm thick glass mirrors

Focal length: 16125mm (Target:16000mm)

PSF: ~20mm in diameter (cf. PMT 50mm)

Reflectivity at 350nm: 94%

Weight: 29kg

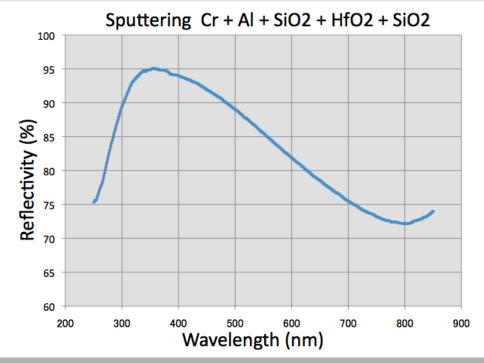
Good PSF (Point Spread Function)
Satisfy requirements



### スパッタリングによる多層保護膜の生成 成 強固 長寿命 高反射率



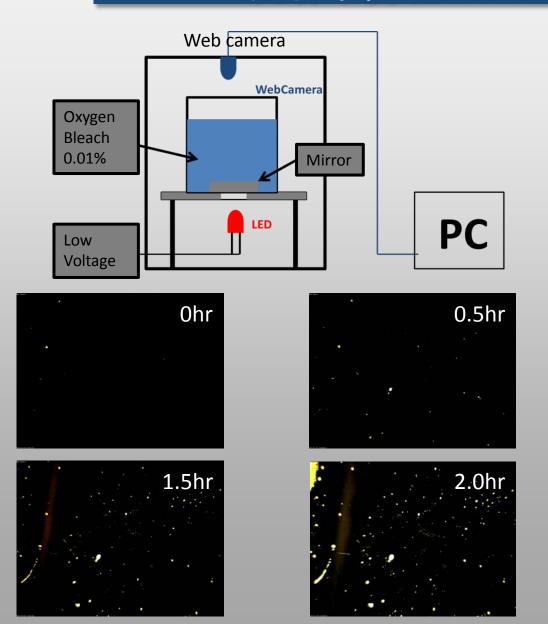
350nm で95% 反射率 空気チェレンコフ光検出に最適化

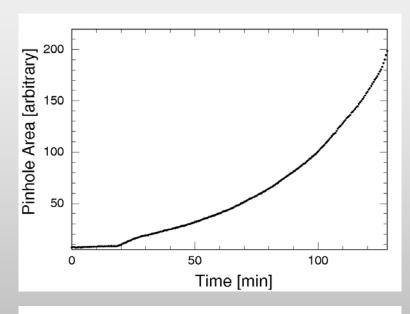


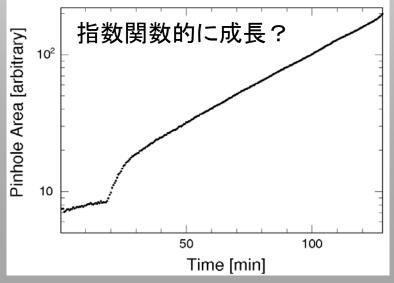
4 Target materials: Cr, Al, SiO2, HfO2 – multi layer coat can be done in one process

Mirror Moving stage for uniform coating

### 保護膜劣化 加速試験(酸素系漂白剤) 反射率劣化のメカニズムを探る







### CTA 光検出器・超高速読み出し回路の開発状況

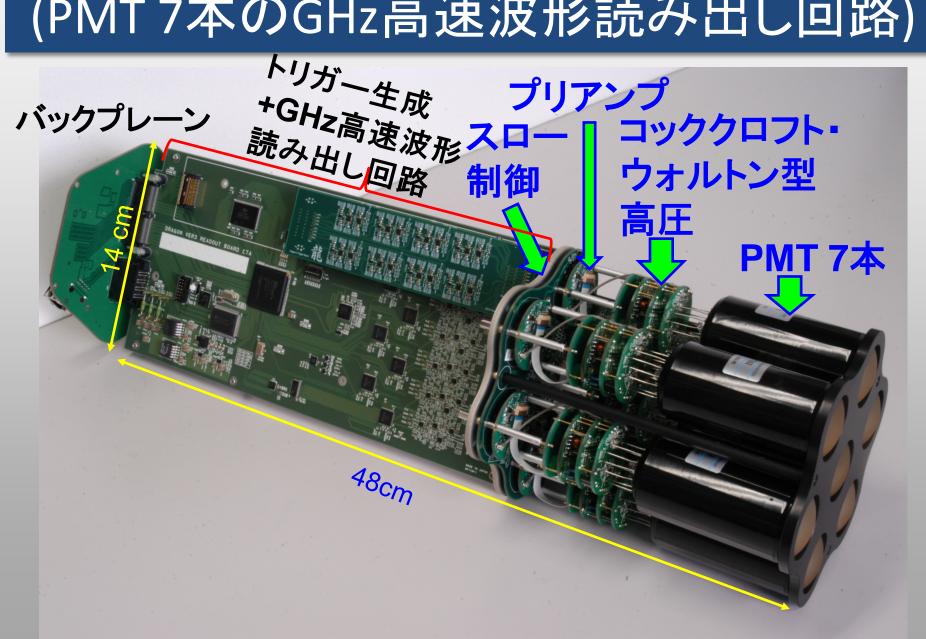
#### • 成果と現状

- 光検出器: 浜松ホトニクス製PMT(R11920-100)が標準化、コッククロフト・ウォルトン型高圧およびスロー制御が標準候補
- 超高速読み出し回路: 日本グループによる開発品が、CTA LSTおよびMSTで、ほぼ標準となりつつある
- PMTクラスタと超高速読み出し回路を組み合わせたカメラプロトタイプの動作実証を、日本グループがCTA Consortium で最初に行う

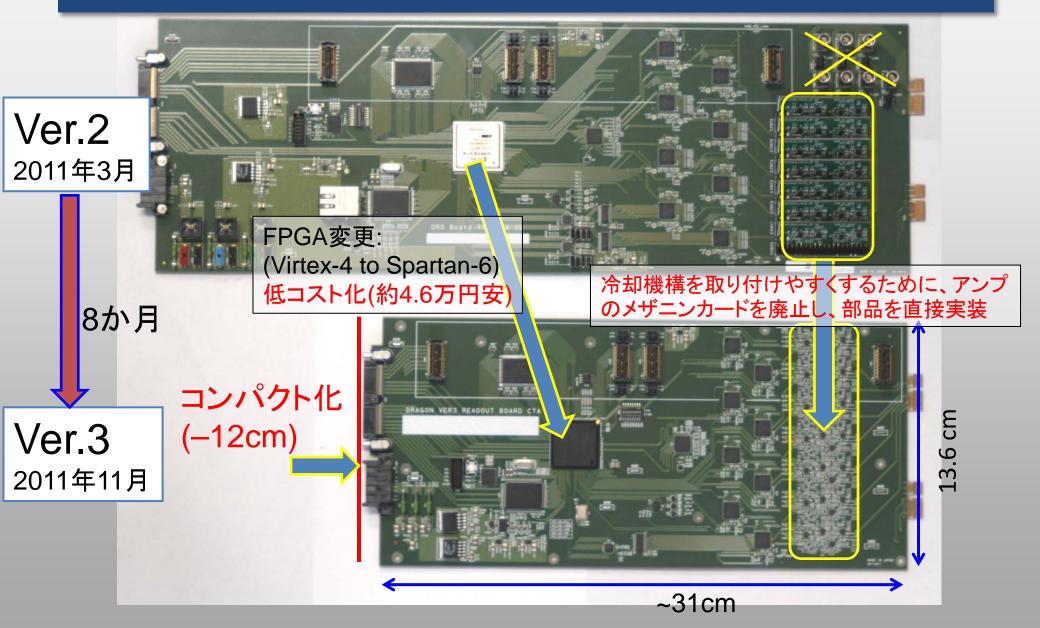
#### 展望

- 2012年度:複数のPMTクラスタによるミニカメラを製作し、クラスタ間トリガーの開発を行う。水冷によるカメラ冷却機構の確立。
- LSTおよびMSTで、CTA Consortium において標準としていく
- 2012-2015: 大型科研費により LST 1台分を製作し、日本グループ の貢献としたい

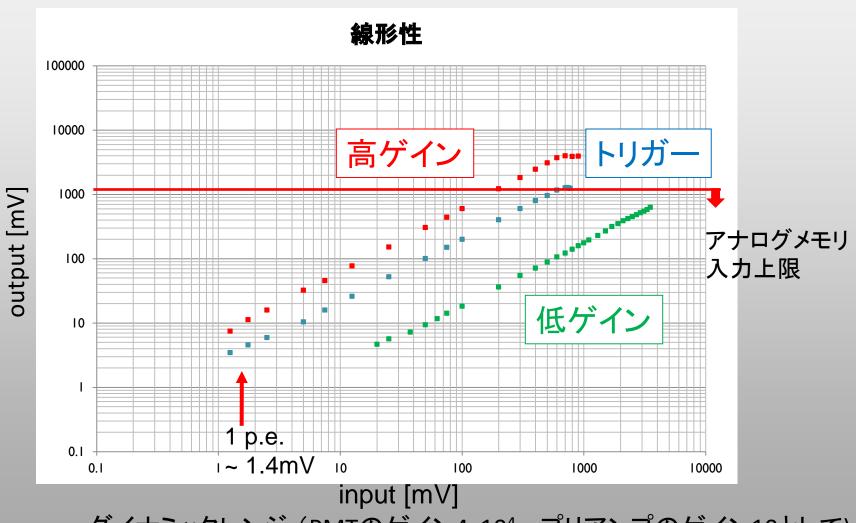
### カメラモジュール ver.3 (PMT 7本のGHz高速波形読み出し回路)



### GHz高速波形読み出し回路の改良



### メインアンプのダイナミックレンジ

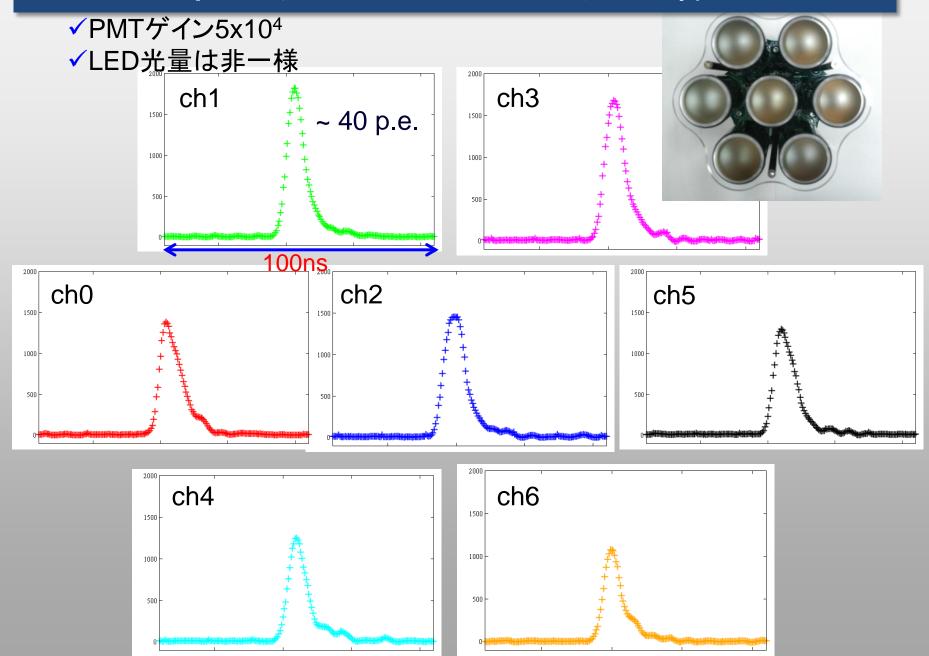


<u>ダイナミックレンジ(PMTのゲイン4x10⁴、プリアンプのゲイン10として)</u>

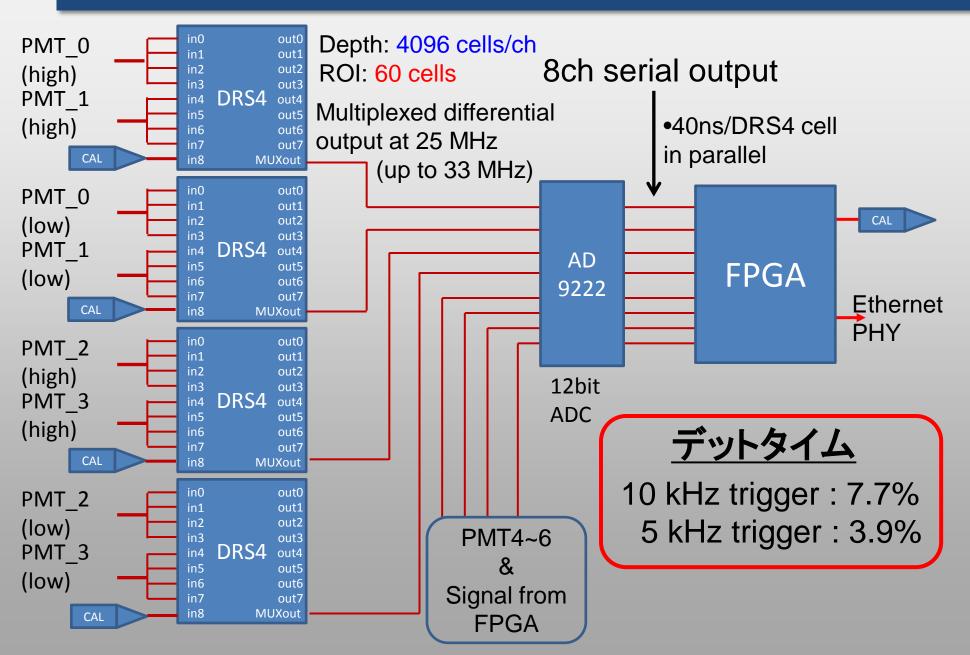


高ゲイン: 160 p.e. 低ゲイン: 3000 p.e.

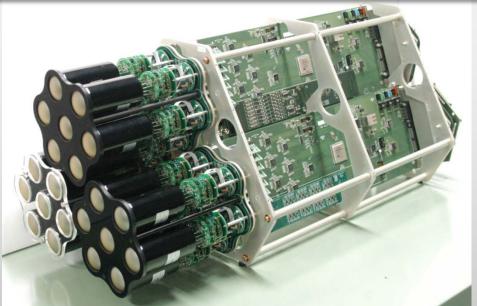
### PMT 7本クラスタの2GHz波形読み出し



### 読み出し回路のデットタイム測定

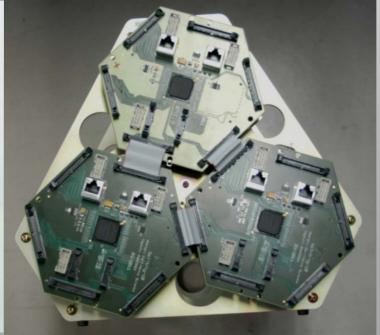


## 3クラスタ(PMT 21本)カメラ



クラスタ間のトリガー試験用





### Summary

- CTA は現在の超高エネルギーガンマ線天文学の成功をさらに飛躍的におしす すめる
  - 高感度感度 10倍(10<sup>-14</sup>erg/cm<sup>2</sup>/s)
  - 高角度分解能 2arcmin at 1TeV
  - 高エネルギー分解能 10% at 1TeV
  - 広いエネルギー領域(20GeV-100TeV)
  - 広い検出面積(3km²)
- 世界で唯一の大規模チェレンコフガンマ線望遠鏡アレイ
  - 国際共同実験: 世界から150の研究機関800名の研究者が参加
  - 日本からは31の研究機関 75名の研究者が参加
  - 日本は、大口径望遠鏡カメラ、エレクトロニクス、鏡のプロトタイプに貢献している
- CTA-Japan の準備研究/CTAへの貢献
  - 超高速読み出し回路: CTA LST, MST でほぼ標準(スタンダード)となりつつある
  - 光検出器開発: Hamamatsu R11920-100 が標準化、CWHV、Slow Control Board 標準候補
  - Camera Cooling: 水冷 Cooling plate デザインが標準となりつつある
  - Mirror: 大口径望遠鏡の標準となりつつある
  - サイエンス:ガンマ線バースト、活動銀河核の研究をおおきくリードしている