

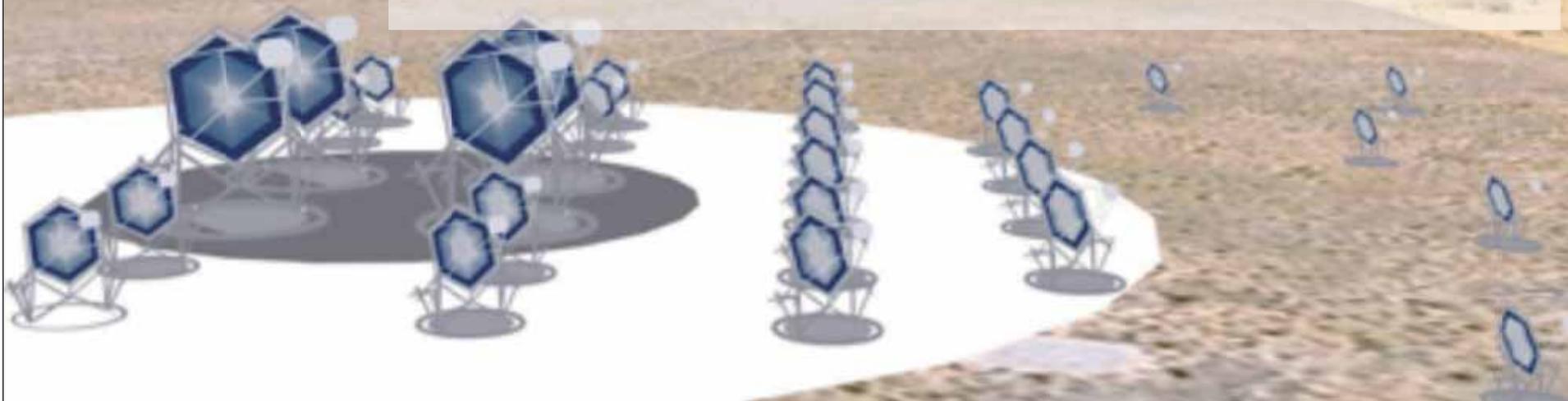
Cherenkov Telescope Array (CTA) Project

戸谷 友則 for the CTA Japan Consortium

(京都大学 宇宙物理学教室)

C R C 将来計画シンポジウム

平成 2 2 年 9 月 1 6 - 1 7 日 宇宙科学研究所



Outline

- CTA 計画の概要と現状
- 日本チームの取り組みの現状と目標

CTA

CTA: 次世代 高エネルギーガンマ線観測施設

MAGIC Phase II (MAGIC-I + MAGIC-II) in 2009



HESS Phase II (HESS + 28m Telescope) in 2010



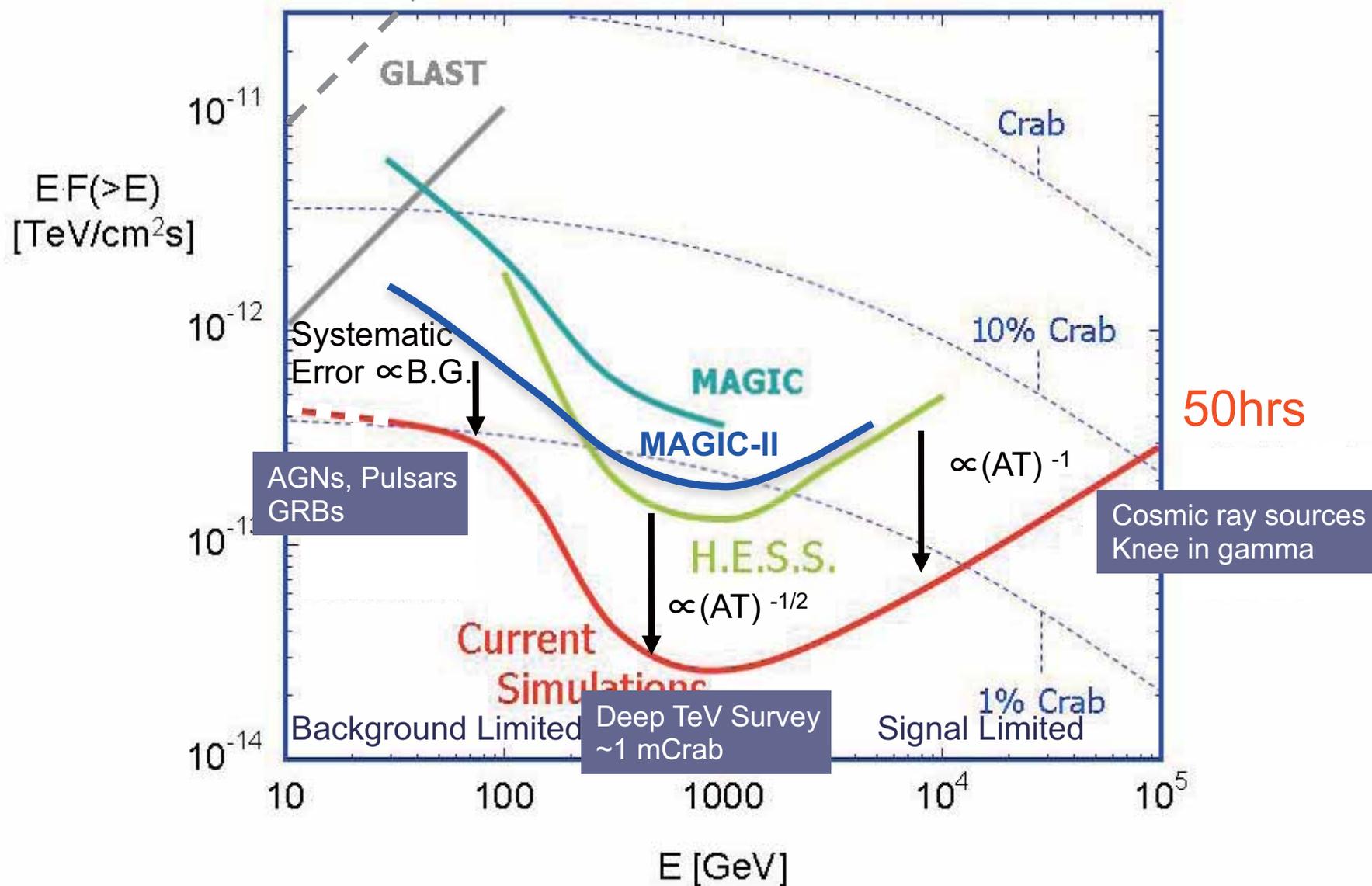
Astronomers in EU

JAPAN, US

>1000 sources will be discovered



目標達成感度



CTA 仕様・パラメーター

- 観測エネルギー領域: 20–30GeV ~ 100TeV
 - 20–30GeV → 遠方の活動銀河核($z < 2$)の研究、系外宇宙線起源、EBL 背景放射光密度の測定(星形成史)
 - 100TeV → 銀河宇宙線源の研究
- 10倍の感度向上 (HESS, MAGICから)
 - 観測される天体数30倍(1000–2000)
 - 感度 ~1mCrab
- 3倍の角度分解能
 - Better morphological study
- 全天観測
 - 北半球: 20–30GeV ~ 1TeV (mainly extragalactic science)
 - Several 23m class telescopes + some 12m class telescopes
 - 南半球: 20–30GeV ~ 100TeV (galactic + extragalactic science)
 - Several 23m class telescopes + many 12m class telescopes + some 6m telescopes

The logo for the Cherenkov Telescope Array (CTA) project, featuring the letters 'CTA' in a bold, white, sans-serif font against a dark blue background with a grid pattern.

A possible option:
Mixture of telescope types

Some central big telescopes

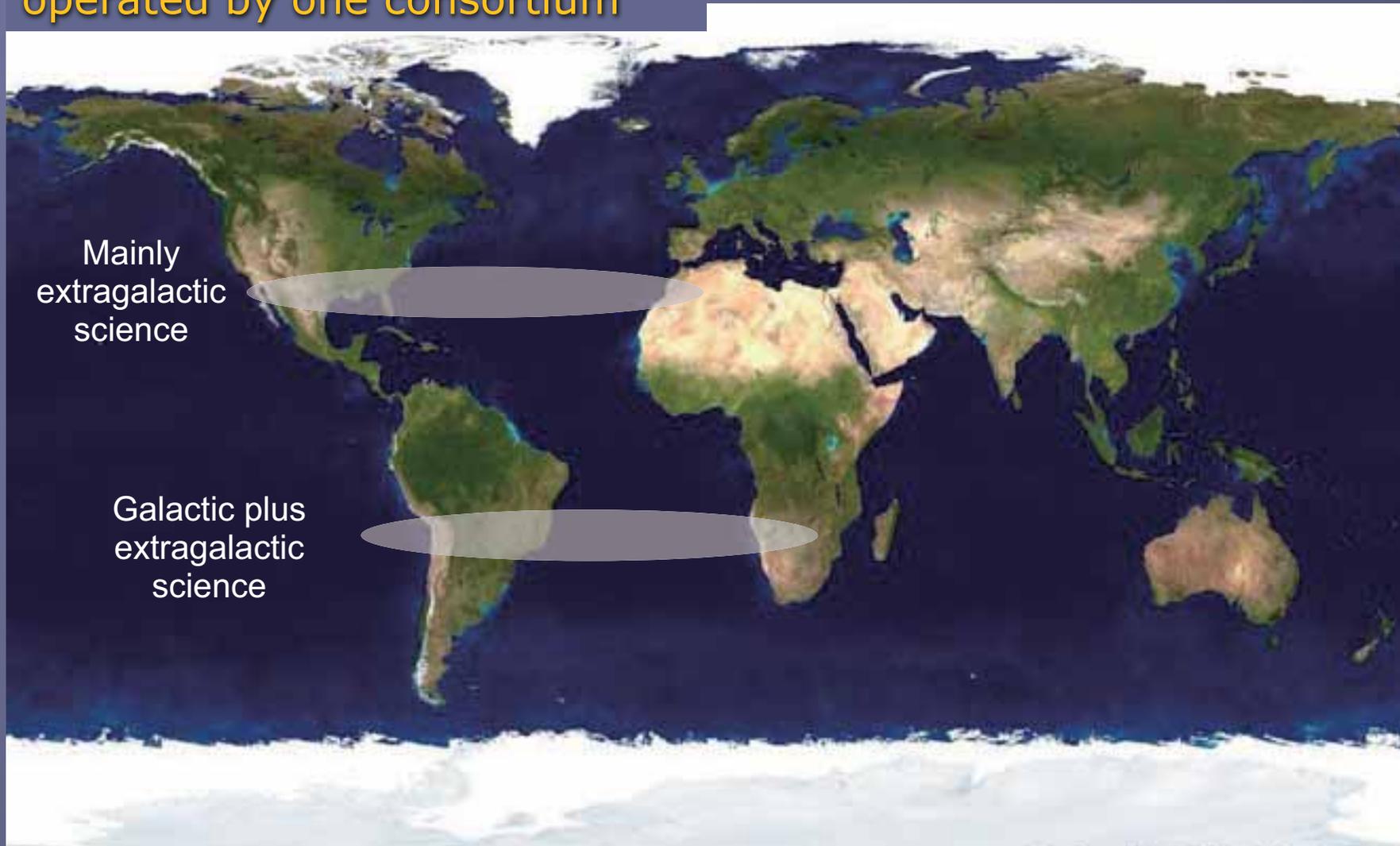
Many Medium + Small Telescopes



CTA

CTA候補地（北、南 2 stations）

One observatory with two sites
operated by one consortium



The logo for the Cherenkov Telescope Array (CTA) project, featuring the letters 'CTA' in a bold, white, sans-serif font. The letters are set against a dark blue background that shows a close-up, slightly blurred view of a large, circular, metallic structure, likely a telescope dish or antenna array, with a grid-like pattern of panels.

Preparatory Phase Study started

Design study started in Jan. 2008

Preparatory phase study started in 2010
(budget 5.2M Euro, 1M for hardware)

Milestones, tasks are defined in each WP

WP1	MNG	Management of the design study
WP2	PHYS	Astrophysics and astroparticle physics
WP3	MC	Optimization of array layout, performance studies and analysis algorithms
WP4	SITE	Site evaluation and site infrastructure
WP5	MIR	Telescope optics and mirror
WP6	TEL	Telescope structure, drive, control
WP7	FPI	Focal plane instrumentation, mechanics and photo detectors
WP8	ELEC	Readout electronics and trigger
WP9	ATAC	Atmospheric monitoring, associated science & instrument calib.
WP10	OBS	Observatory operation and access
WP11	DATA	Data handling, data processing, data management and access
WP12	QA	Risk assessment and quality assurance, production planning

タイムスケジュール

	06	07	08	09	10	11	12	13	14
Array layout									
Telescope design									
Component prototypes									
Telescope prototype									
Array construction									
Partial operation									

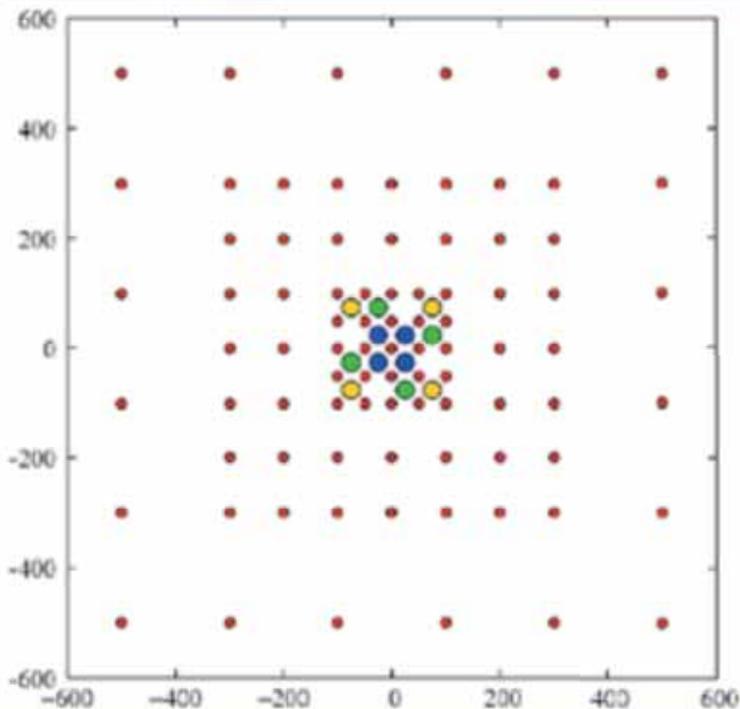
The Gantt chart illustrates the project schedule with three overlapping phases:

- Design:** A blue oval spanning from the start of 07 to the end of 10.
- Prototype:** A blue oval spanning from the start of 10 to the end of 13.
- Array:** A blue oval spanning from the start of 13 to the end of 14.

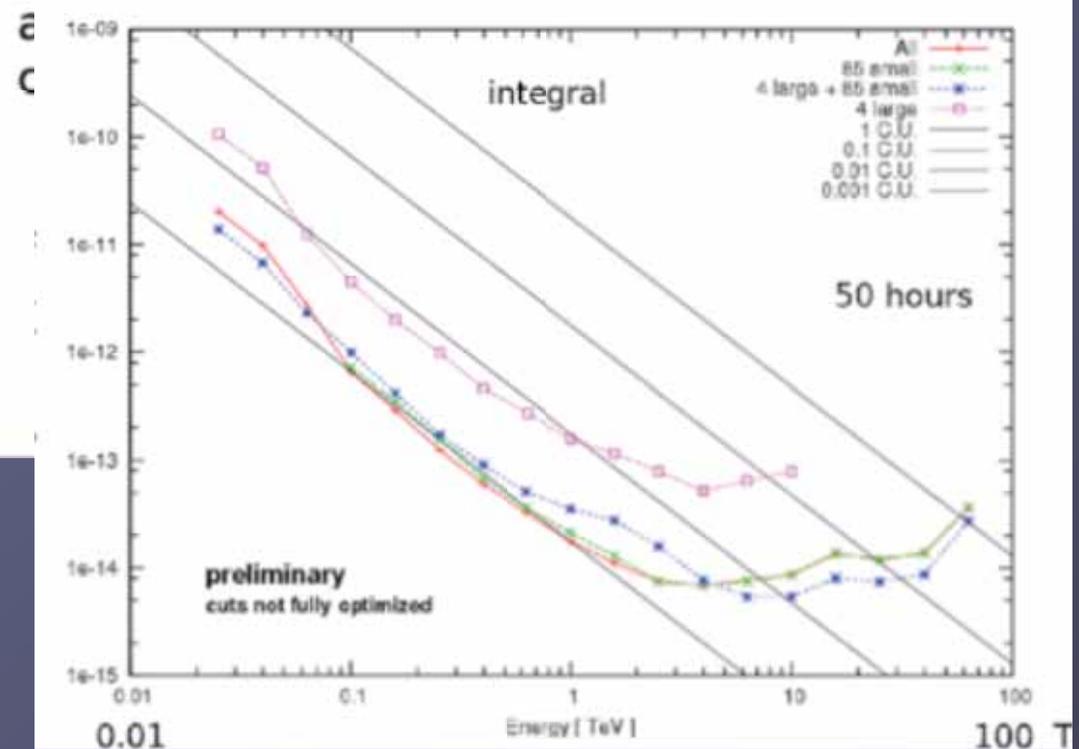
 CTA

CTA preliminary M.C. Study

Configurations: 97 tel. hybrid system

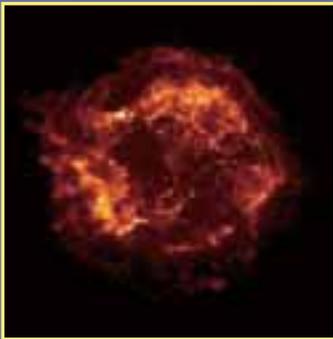


Hybrid system of
- 12 600 m² class tel.
- 85 100 m² class tel.
with 1.4* larger f.o.v.



CTA

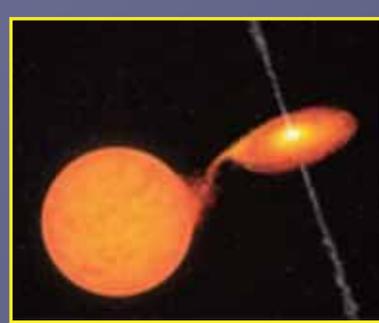
観測対象 & サイエンス



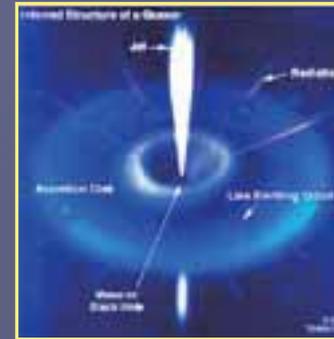
SNRs



Pulsars
and PWNe



Micro quasars
X-ray binaries



AGNs



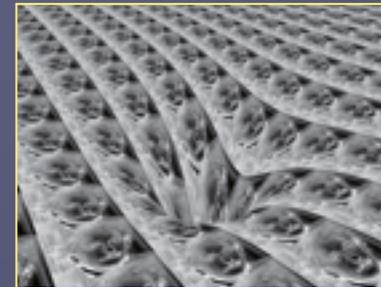
GRBs



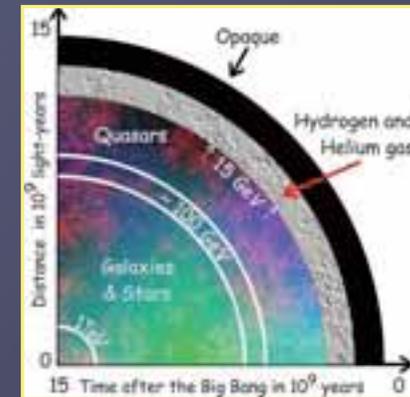
Origin of
cosmic rays



Dark matter



Space-time
& relativity



Cosmology

Top-10 Cited Observatories

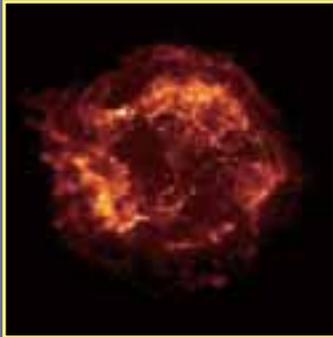
HIGH-IMPACT OBSERVATORIES

Rank	Facility	Citations	Participation
1	SDSS	1892	14.3%
2	Swift	1523	11.5%
3	HST	1078	8.2%
4	ESO	813	6.1%
5	Keck	572	4.3%
6	CFHT	521	3.9%
7	Spitzer	469	3.5%
8	Chandra	381	2.9%
9	Boomerang	376	2.8%
10	HESS	297	2.2%

- ✦ Madrid+Macchetto 09
- ✦ Nature news Feb. 5, 09

CTA

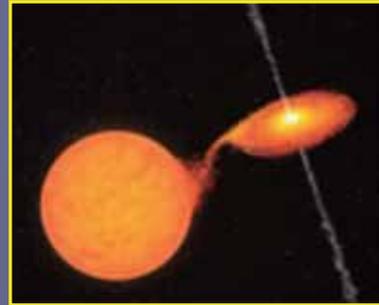
Guaranteed Galactic sources



SNRs



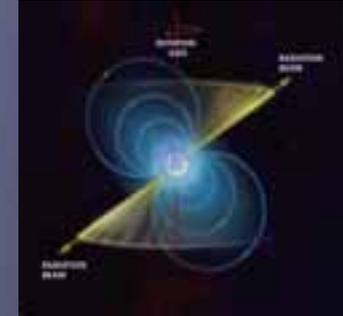
PWNe



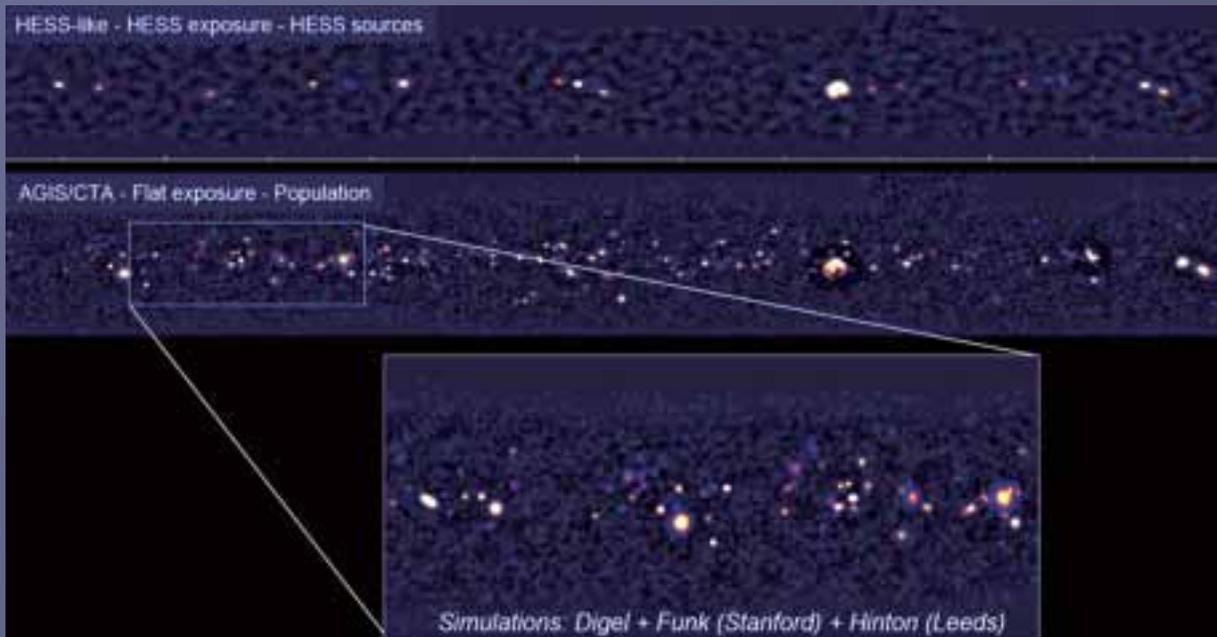
Micro quasars
X-ray binaries



Un-ID sources
Dark Sources



Pulsars



Galactic sources
200~400 sources with CTA

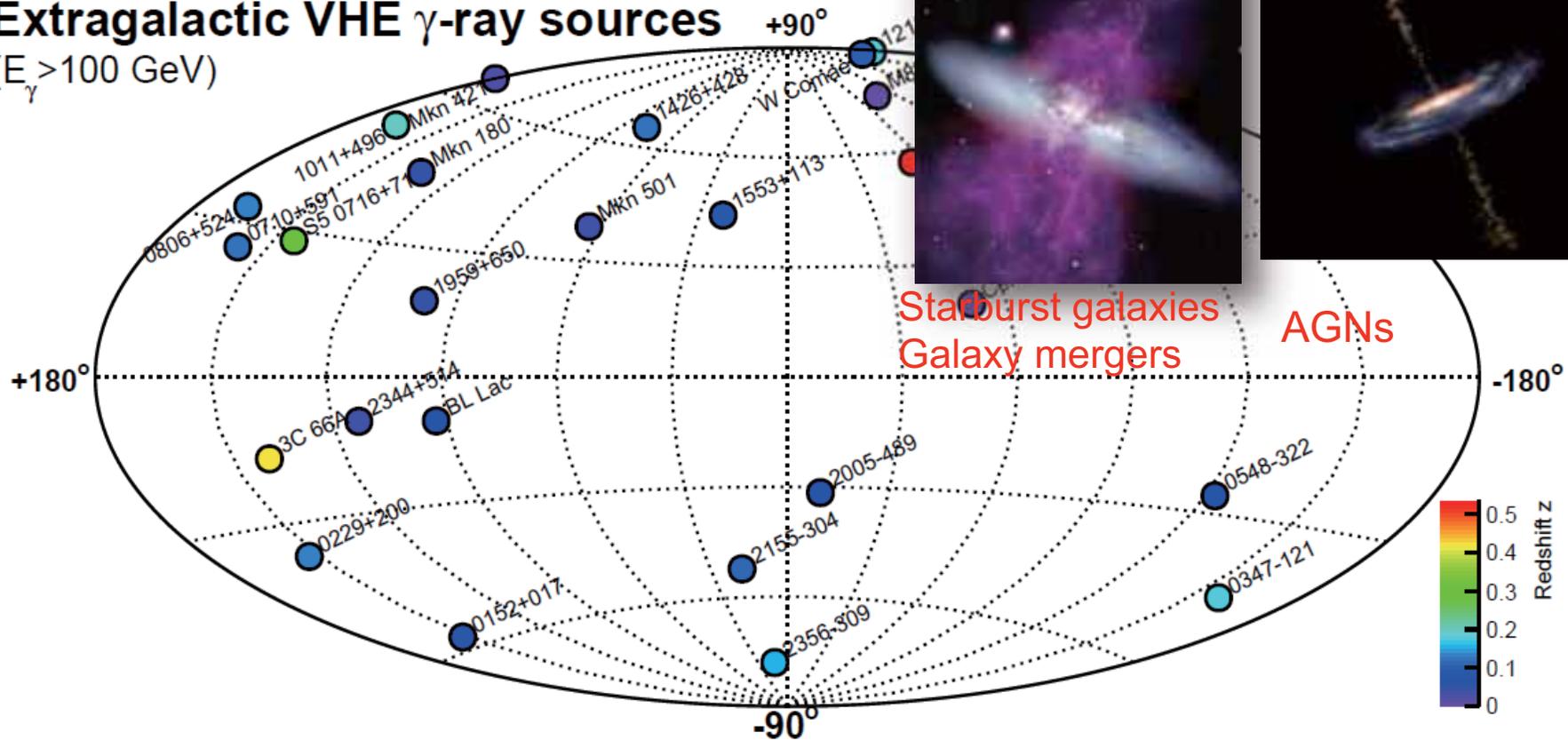
Where is PEVATRON???



Guaranteed Extragalactic Sources

Extragalactic VHE γ -ray sources

($E_{\gamma} > 100$ GeV)



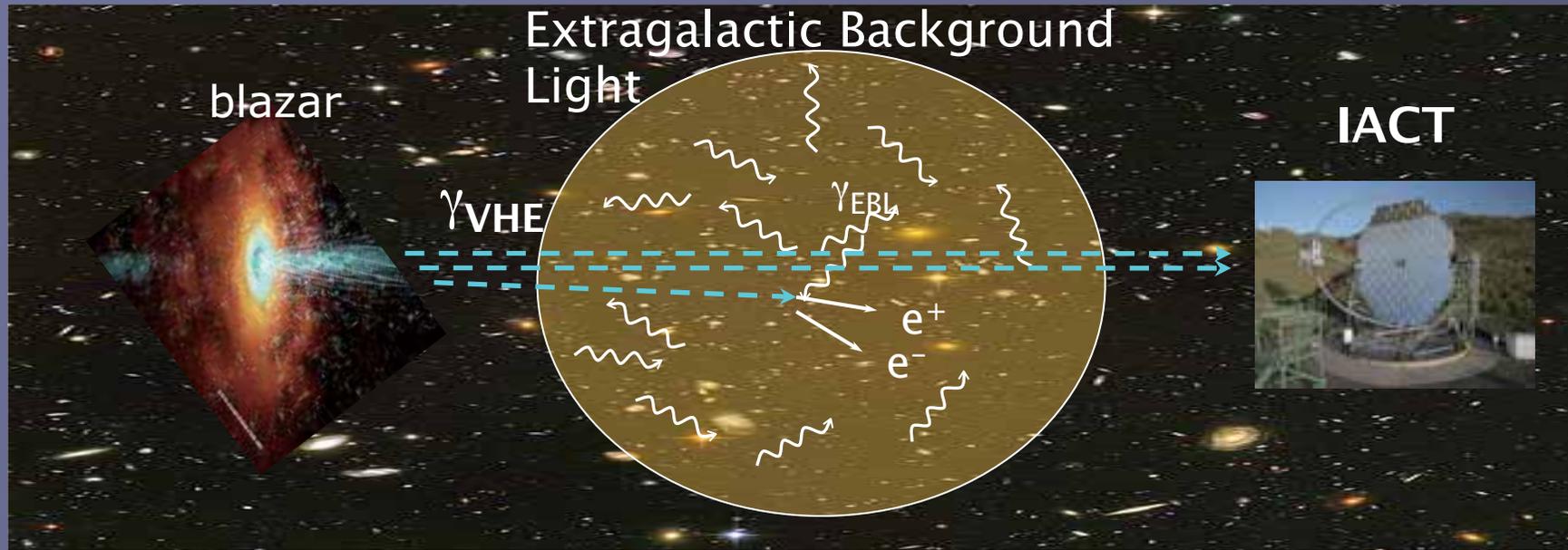
2009-02-25 - Up-to-date plot available at <http://www.mppmu.mpg.de/~rwagner/sources/>

27 sources (2 x FR-I, 24 BL Lac(HBL, IBL, LBL), 1 x FSRQ)

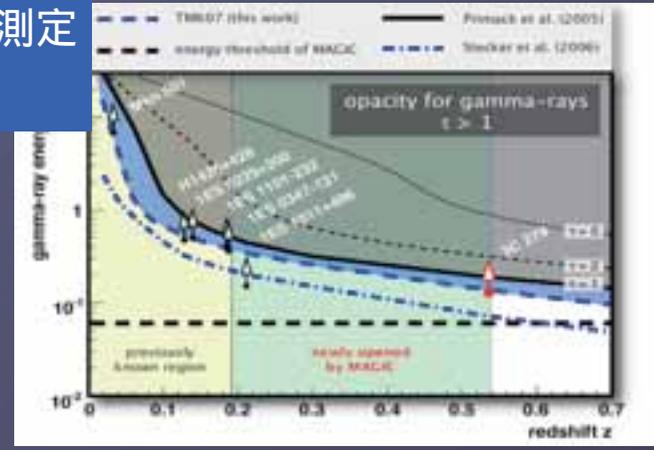
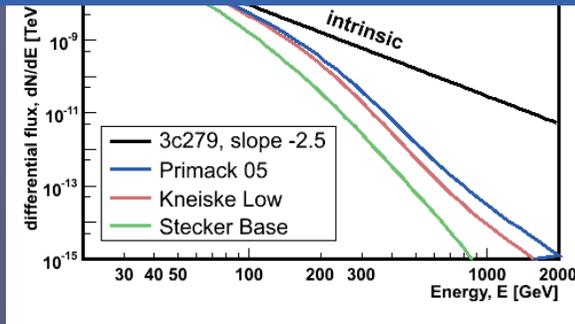
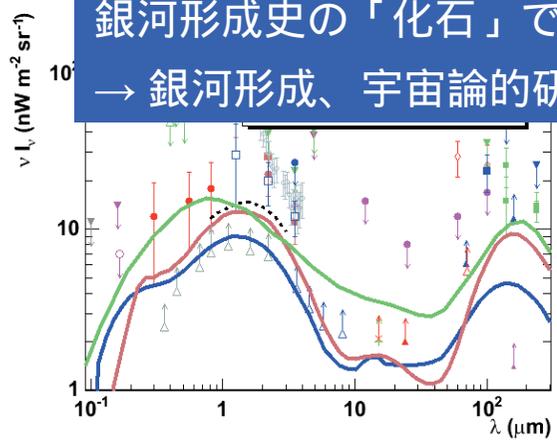
~800 sources with CTA

CTA

EBL(背景輻射)との衝突によるガンマ線吸収

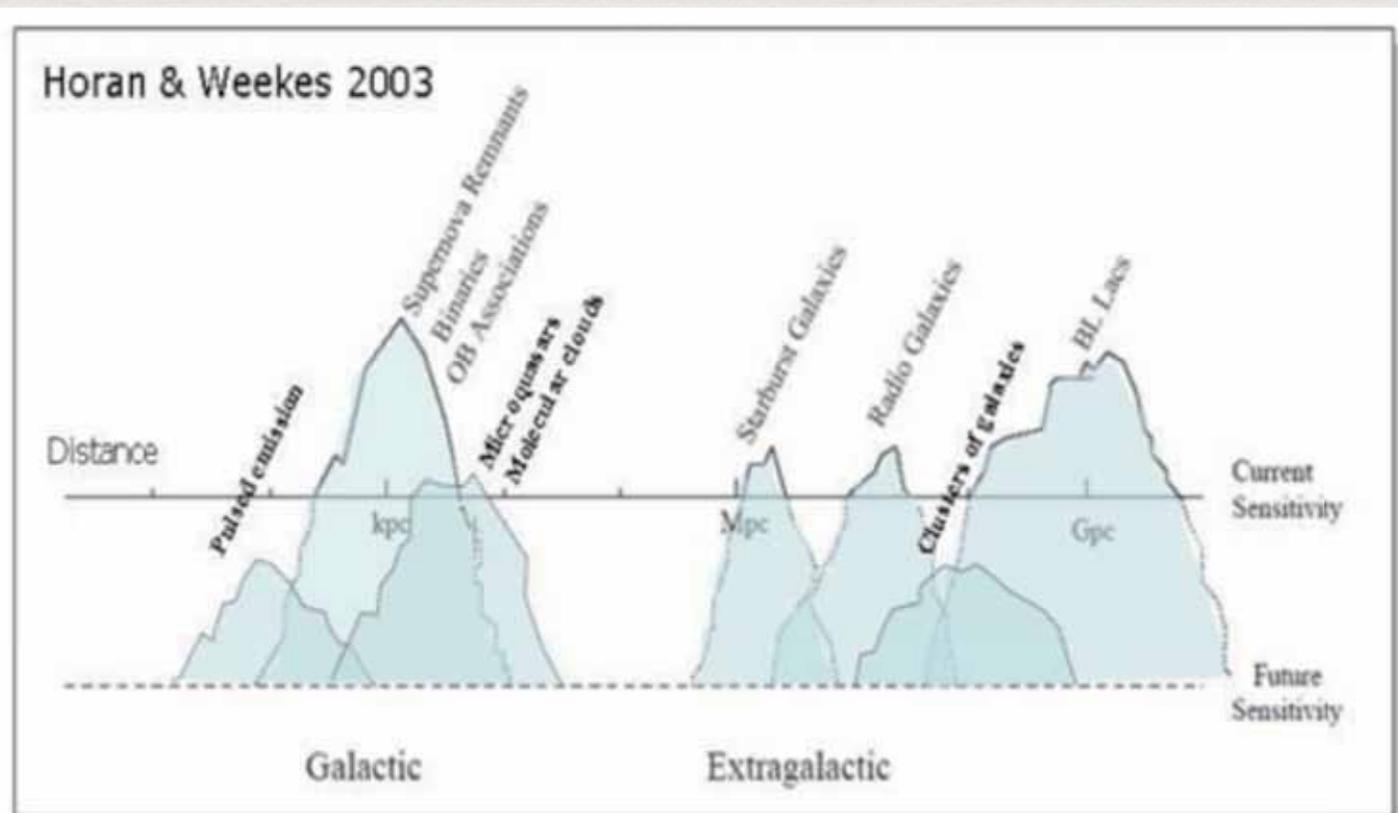


銀河形成史の「化石」である、可視・赤外宇宙背景放射を測定
→ 銀河形成、宇宙論的研究に重要な貢献！



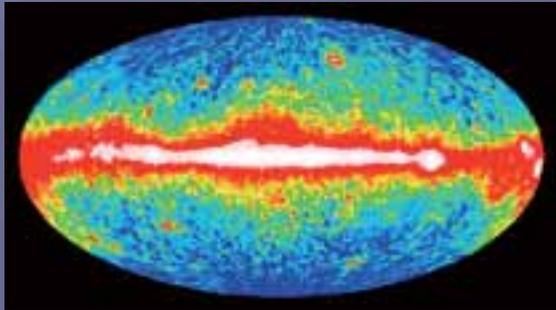
サイエンスが手堅すぎて面白くない！？

- ◆ 全く予想外のエキサイティングな結果が出てくるかどうかは、new parameter space にどれだけ切り込むかどうか
 - ◆ guaranteed source の数は関係ない
 - ◆ CTA は大幅な(x10)感度向上で new parameter space へ



CTA

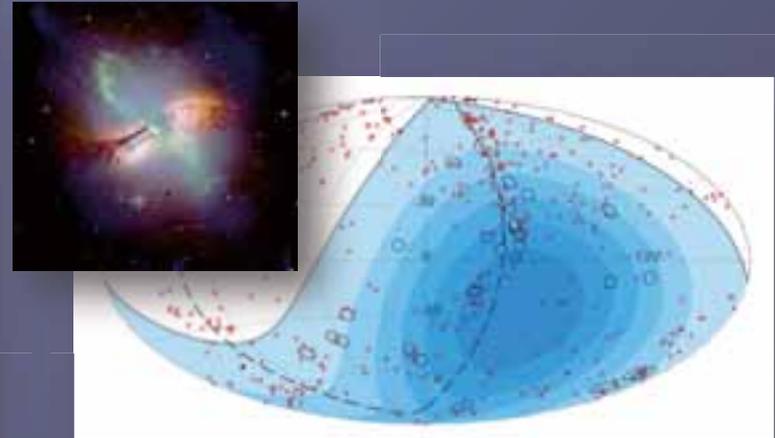
Possible New Classes of Sources



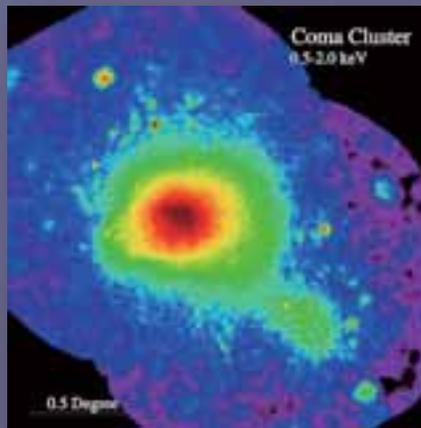
Galactic Diffuse



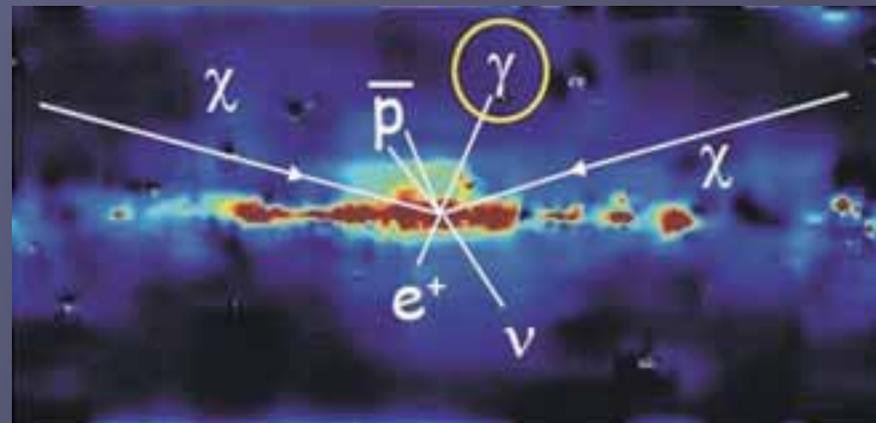
GRBs



UHECR Sources



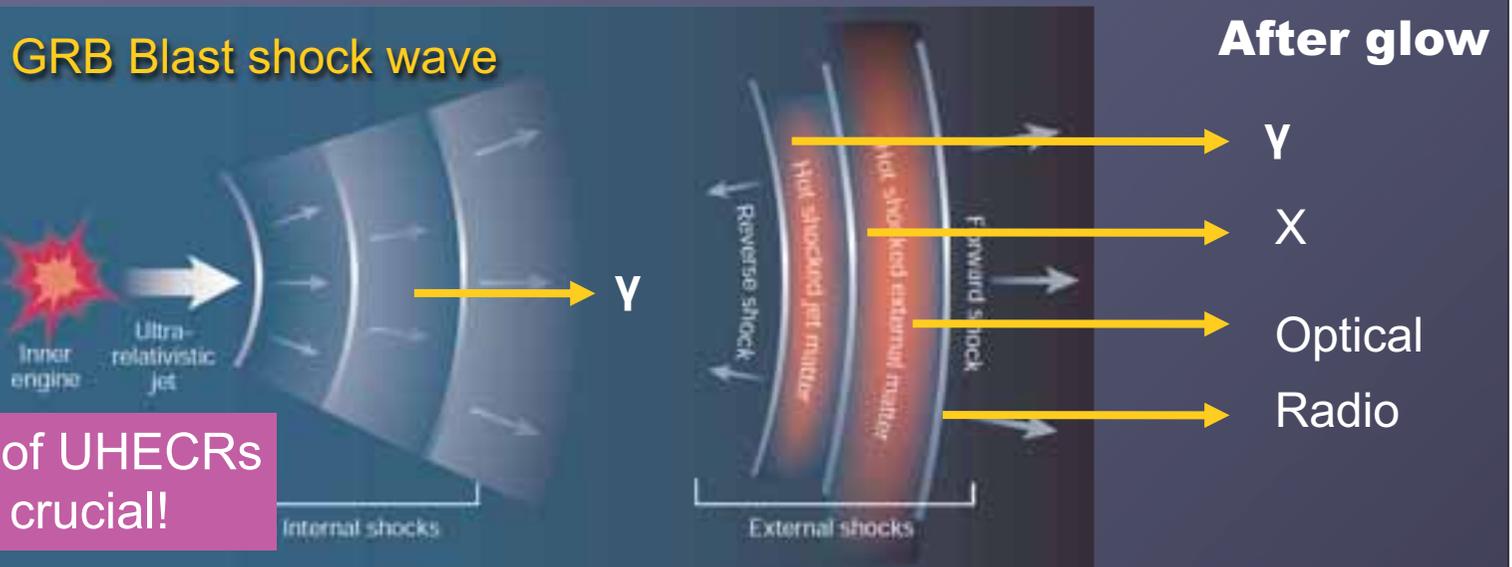
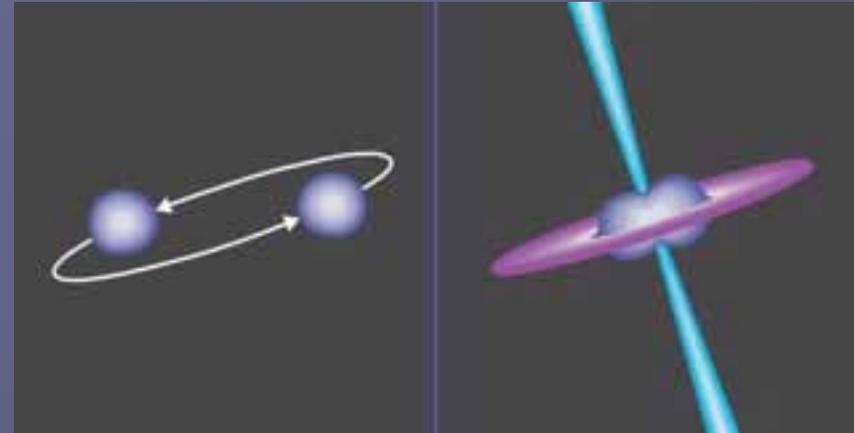
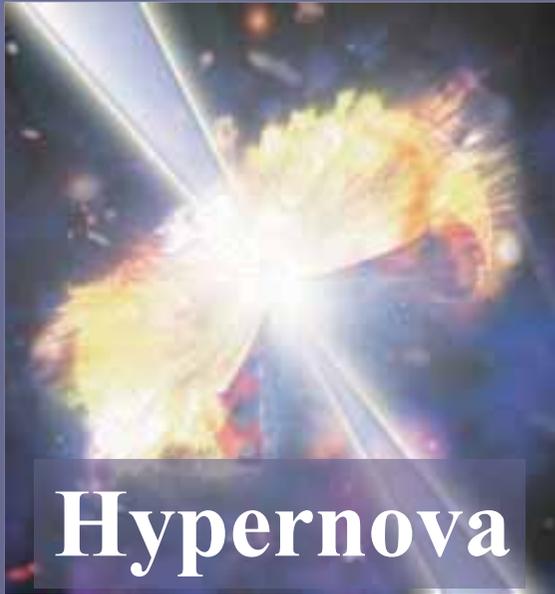
Clusters of galaxies



Dark Matter Annihilation

CTA

Gamma ray bursts

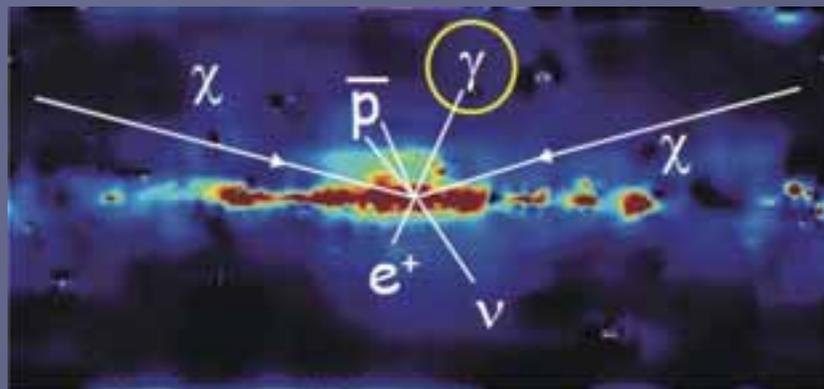
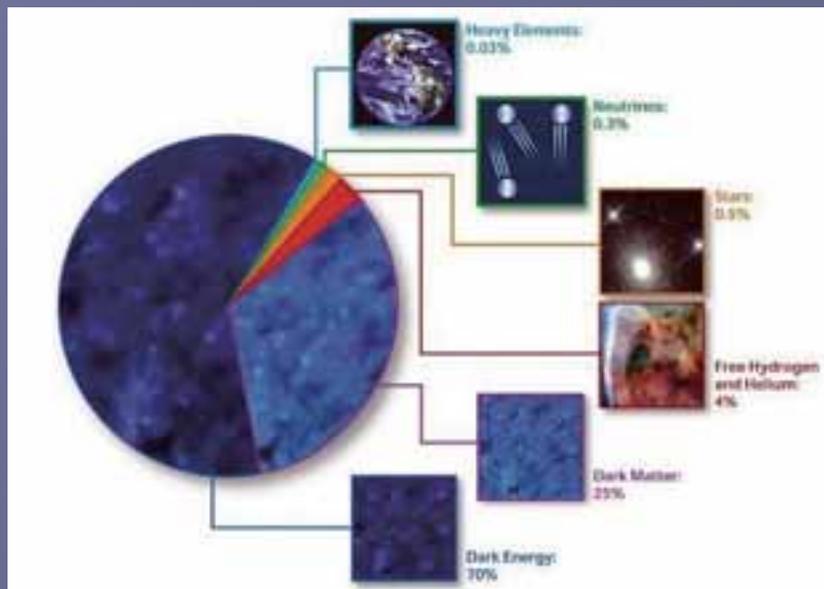


Potential Source of UHECRs
VHE observation crucial!

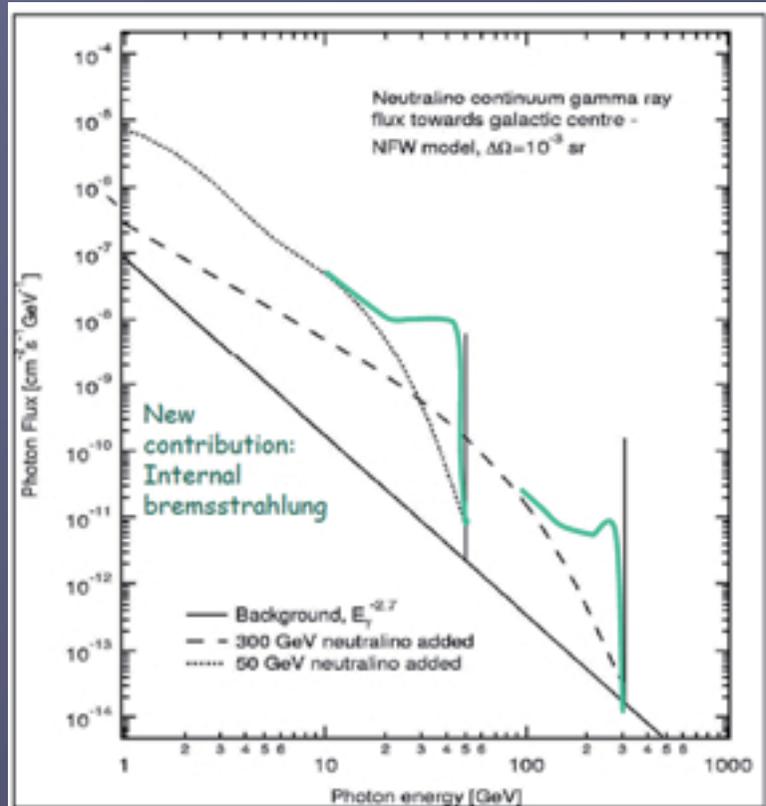
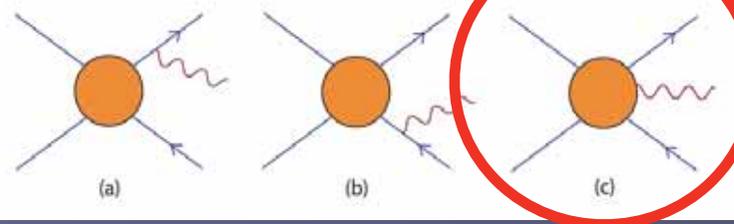
CTA

Gamma ray emission process from DM Annihilation

Dark Matter Annihilations



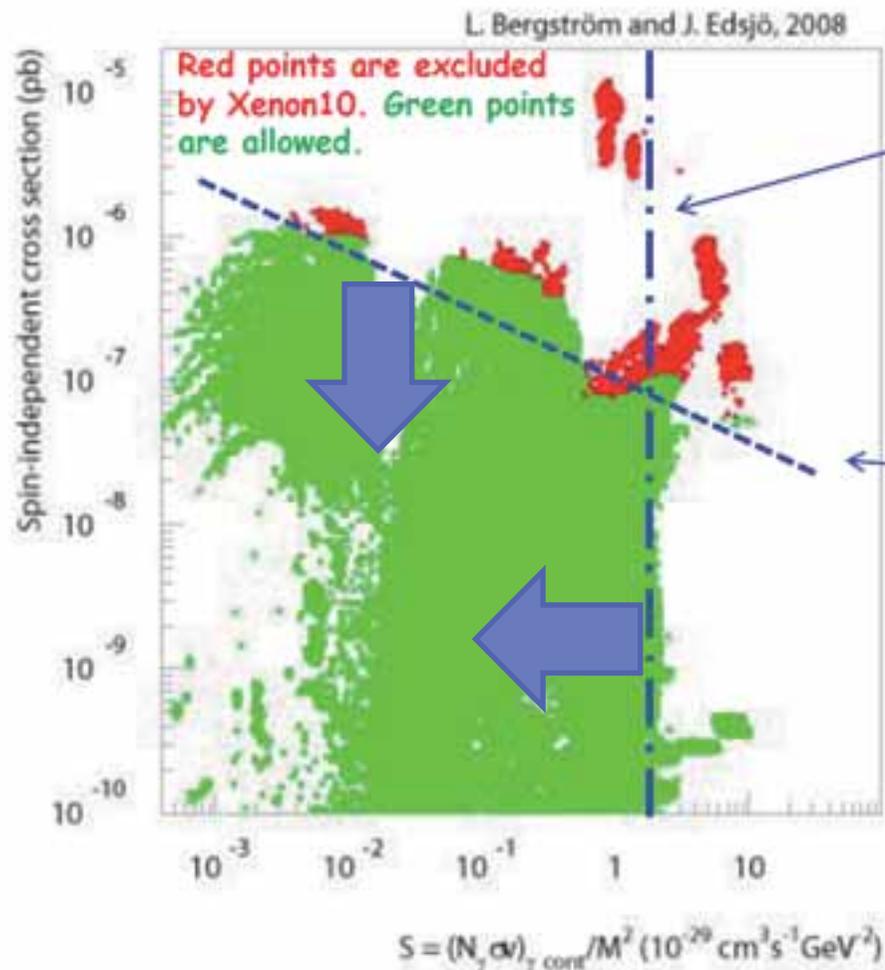
Bergstrom et al.



L.B., P.Ullio & J. Buckley 1998

T. Bringmann, L.B., J. Edsjö, 2007

Complimentarity with the direct search experiment

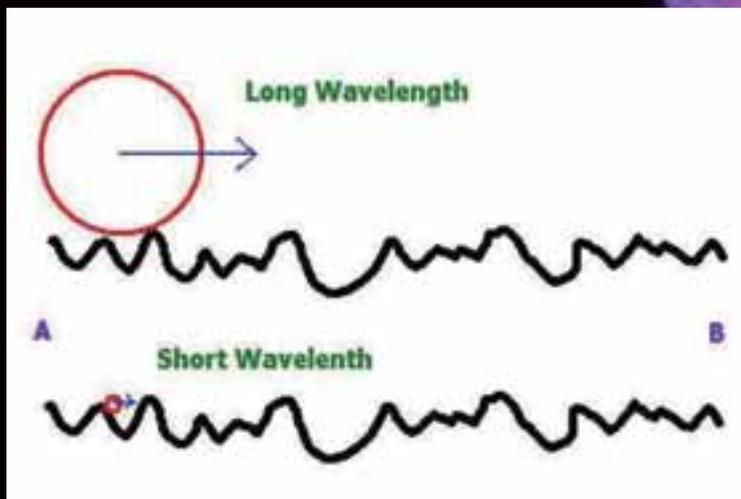


Expected sensitivity by Fermi

Present approximate limit from direct searches (Xenon10 experiment)

相対論・量子重力理論の検証

高エネルギー光子 × 長い伝搬距離



If Gravity is a Quantum theory, at a very short distance it may show a very complex “foamy” structure due to quantum fluctuation.

Use gamma ray beam from AGNs/GRBs to study the space-time structure

Energy $1000\text{GeV} \sim 10^{-16}E_{Pl}$

Distance $100\sim 1000\text{Mpc}$ (10^{16-17}sec)

Visible time delay $\sim 1 - 10 \text{ sec}$

$$E_{Pl} = \sqrt{\frac{\hbar c^5}{G}} \approx 1.22 \times 10^{19} \text{ GeV}$$

Linear deviation:

$$\xi_1 < 0; \quad v = c\left(1 - \frac{E}{M_{QG1}}\right); \quad n(E) = 1 + \frac{E}{M_{QG1}}$$

Quadratic deviation:

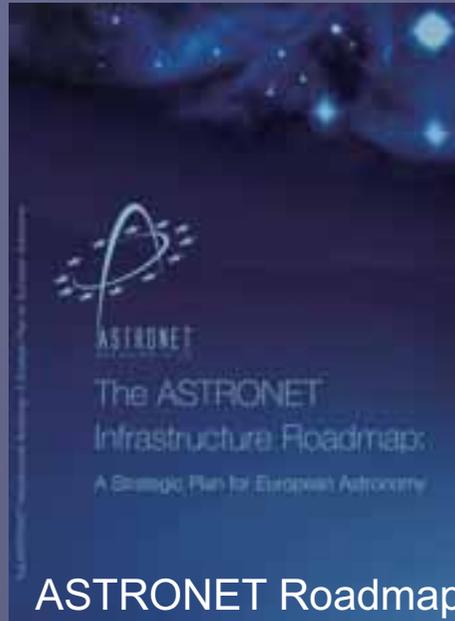
$$\xi_1 = 0; \quad \xi_2 < 0; \quad v = c\left(1 - \frac{E^2}{M_{QG2}^2}\right); \quad n(E) = 1 + \frac{E^2}{M_{QG2}^2}$$

CTA

Recommendations and supports



ASPERA Roadmap
Magnificent Seven

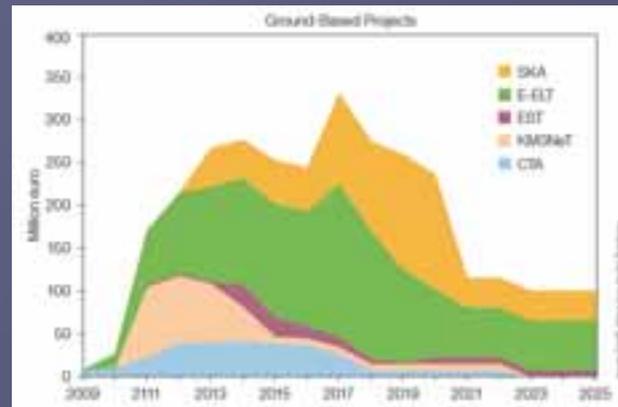
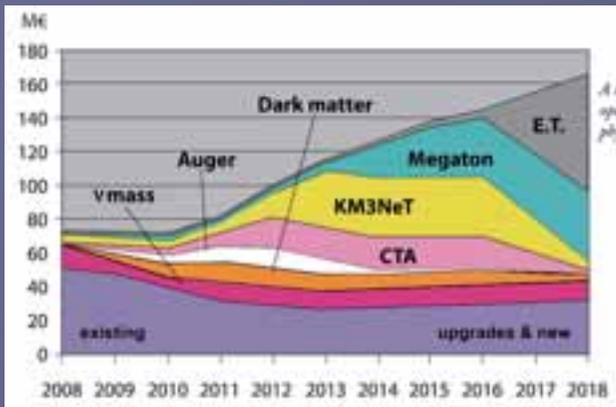


ASTRONET Roadmap

High Priority project
Ground based projects



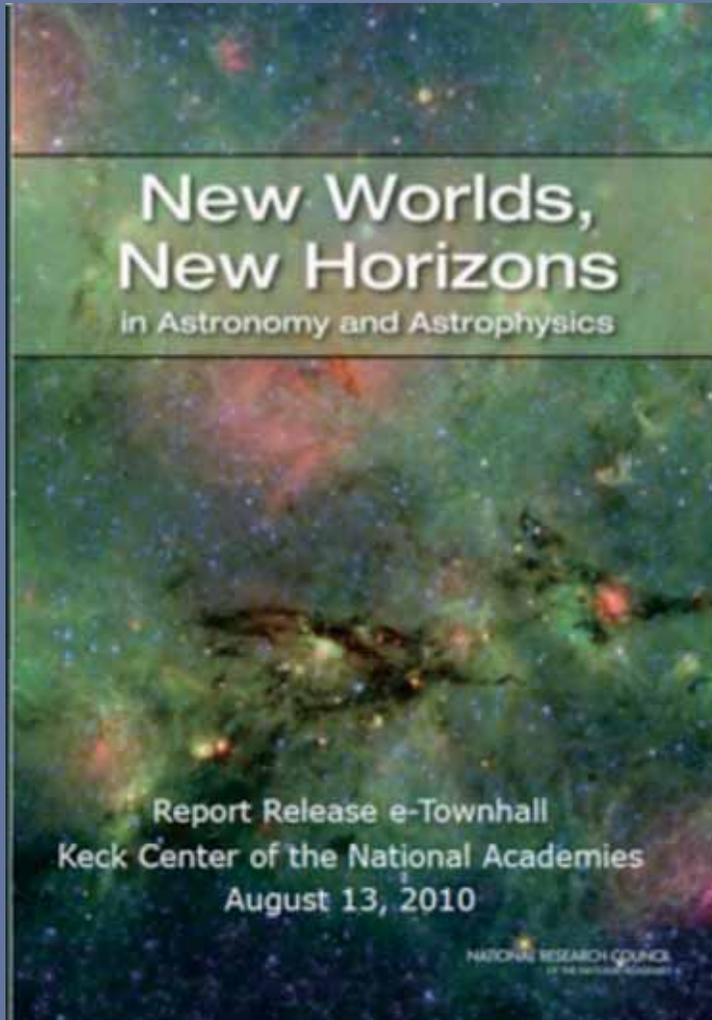
日本で言うと学術会議
Phys & Technology の中
で、5プロジェクトのみ
支援。CTAはその一つ



総予算規模：150 MEuro



Decadal Survey in Astronomy and Astrophysics in US



Ground-based projects ranked in order:
Large-scale

- Large Synoptic Survey Telescope (LSST)
- Innovations Program
- Giant Segmented Mirror Telescope (GSMT)
- **Atmospheric Čerenkov Telescope Array (ACTA)**

• US group (AGIS) is recommended to join CTA as a minor partner with 100M US\$ (40-50MEuro equiv.)
→ 世界で一つの大プロジェクトとして実現へ

日本の取り組み

なぜ、CTA Japan か？

- ◆ CTA の特徴：「确实」に期待される「多様」な成果
 - ◆ 現在、高エネルギー宇宙物理はフェルミを中心に回転
 - ◆ 次の時代は CTA が中心に
 - ◆ “General Purpose Observatory”

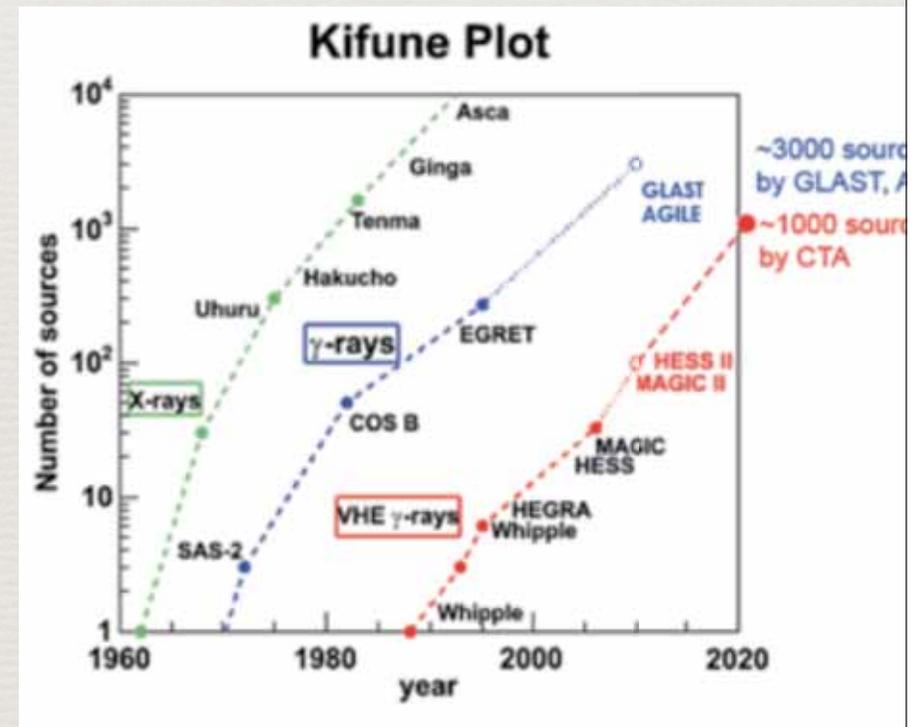
- ◆ 様々な関連コミュニティ、分野とのシナジー

- ◆ 宇宙物理

- ◆ X線
- ◆ 電波
- ◆ 可視・赤外
- ◆ 理論

- ◆ 素粒子

- ◆ 暗黒物質
- ◆ 量子重力



- ◆ 日本が参加しなければ、高エネルギー宇宙物理全般において世界から取り残される

関連コミュニティからの期待

- ✦ CTA Japan に新たに参加した若手理論研究者 (FTE > 0.1)
 - ✦ 井岡 邦仁
 - ✦ 当真 賢二
 - ✦ 村瀬 孔大
 - ✦ 高橋 慶太郎
 - ✦ 大平 豊
 - ✦ 川中 宣太
 - ✦ 郡 和範
 - ✦ 長滝 重博
 - ✦ 井上 進
 - ✦ 山崎 了
 - ✦ 戸谷友則
 - ✦ (見落としてたらごめんなさい)
- ✦ X線、Fermi チームからも多数参加

CTA Japan が目指すもの

- ✦ ヨーロッパ全体に対して10-20% 程度の貢献
 - ✦ 予算規模 20-40 億円
 - ✦ 人的貢献 >50 人 c.f. ヨーロッパでは500人規模
 - ✦ 単に予算だけでなく、Science, Mirror, Camera, Electronics で本質的に重要な人的貢献を目指す
 - ✦ 装置開発、建設
 - ✦ 層の厚い理論グループ (すでに work package で存在感)

CTA Japan 組織体制

- ✦ PI 戸谷 友則 (京都大学)
- ✦ Co-PI 手嶋 政廣 (Max Planck Institute 東京大学)
- ✦ Chair of Institutional Panel 柳田 昭平 (茨城大学)
- ✦ 各 work package coordinators
 - ✦ ELEC (電子回路) 窪 秀利 (京都大学)
 - ✦ CAL (calibration) 田島 宏康 (SLAC 名古屋大学)
 - ✦ FPI (焦点面検出器) 折戸 玲子 (徳島大学)
 - ✦ MIR (Mirror) 手嶋 政廣
 - ✦ MC (Monte Carlo) 吉越 貴紀 (ICRR)
 - ✦ PHYS (Physics) 井岡 邦仁 (KEK)
 - ✦ SBO (speakers bureau & outreach) 吉田龍生 (茨城大学)
- ✦ 総メンバー数約 50 名 (minimum FTE > 0.1 (学生は 0.2))
 - ✦ (CTA Japan ホームページをご覧ください <http://cta.scphys.kyoto-u.ac.jp/>)

これまでの主な活動

- ◆ Design Study に関する覚書 (MoU) 締結に参加 (2009年11月)
 - ◆ CTA Japan Consortium として正式に参加
- ◆ 2010 年度、実体研究スタート
 - ◆ 科研費基盤 A , 宇宙線研共同利用研究費
 - ◆ 各WP に配分し、コーディネーターの責任で研究・開発を推進
- ◆ 日本語版「CTA計画書」完成
- ◆ 研究会開催
 - ◆ 10 年 1月
 - ◆ 10 年 11月 (予定)

日本語版研究計画書完成

- ◆ 総ページ数 120
- ◆ CTA で狙うサイエンス
- ◆ 日本の狙う貢献



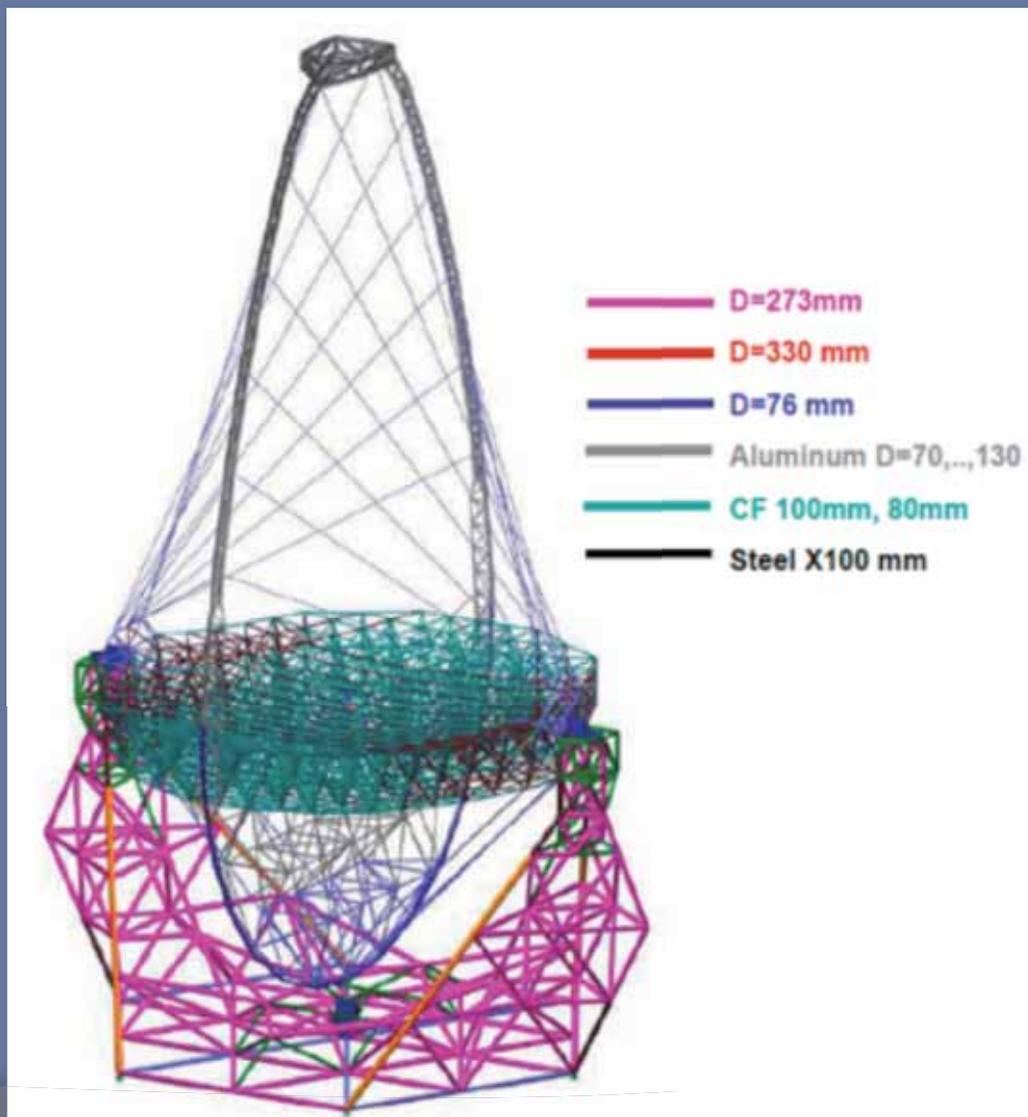
各W Pの目標と活動状況



MIR WP 目標： LST Prototyping 用のミラー 400m² を日本で生産、供給する。

coordinator: 手嶋

MAGIC の経験を生かして CTA-Japan で



MERO beams connections

We need 200 units of
1.5m Hex mirrors / Telescope

1600 Units in total

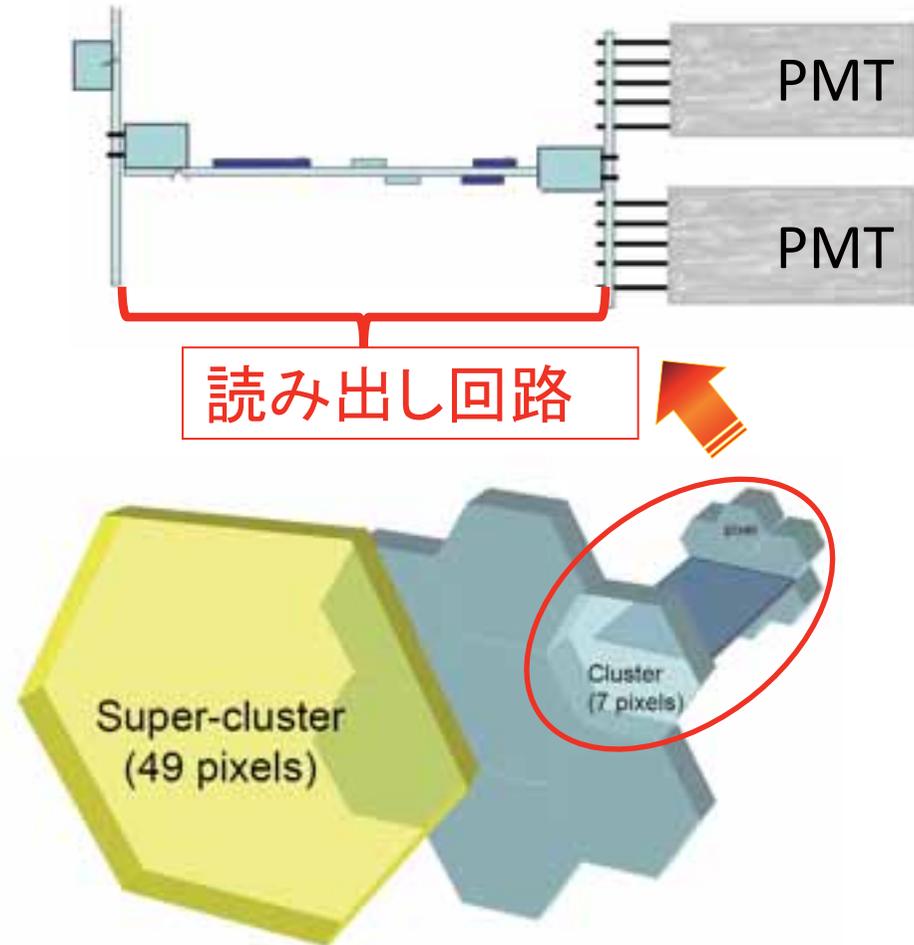
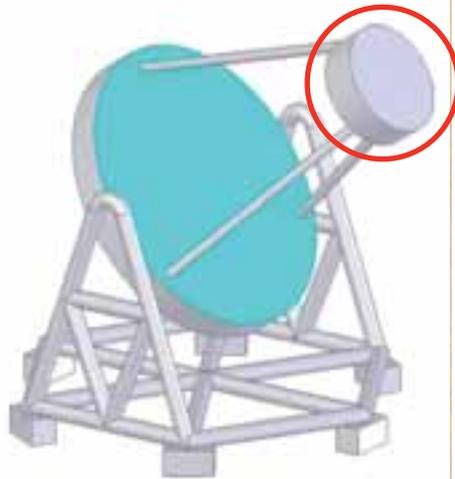
エレクトロニクス (coordinator: 窪)

目標

アナログメモリASICを用いた
光電子増倍管(PMT)の
高速サンプリング回路を開発
(2ギガサンプル/秒)



PMTクラスターと接続した
モジュールを量産

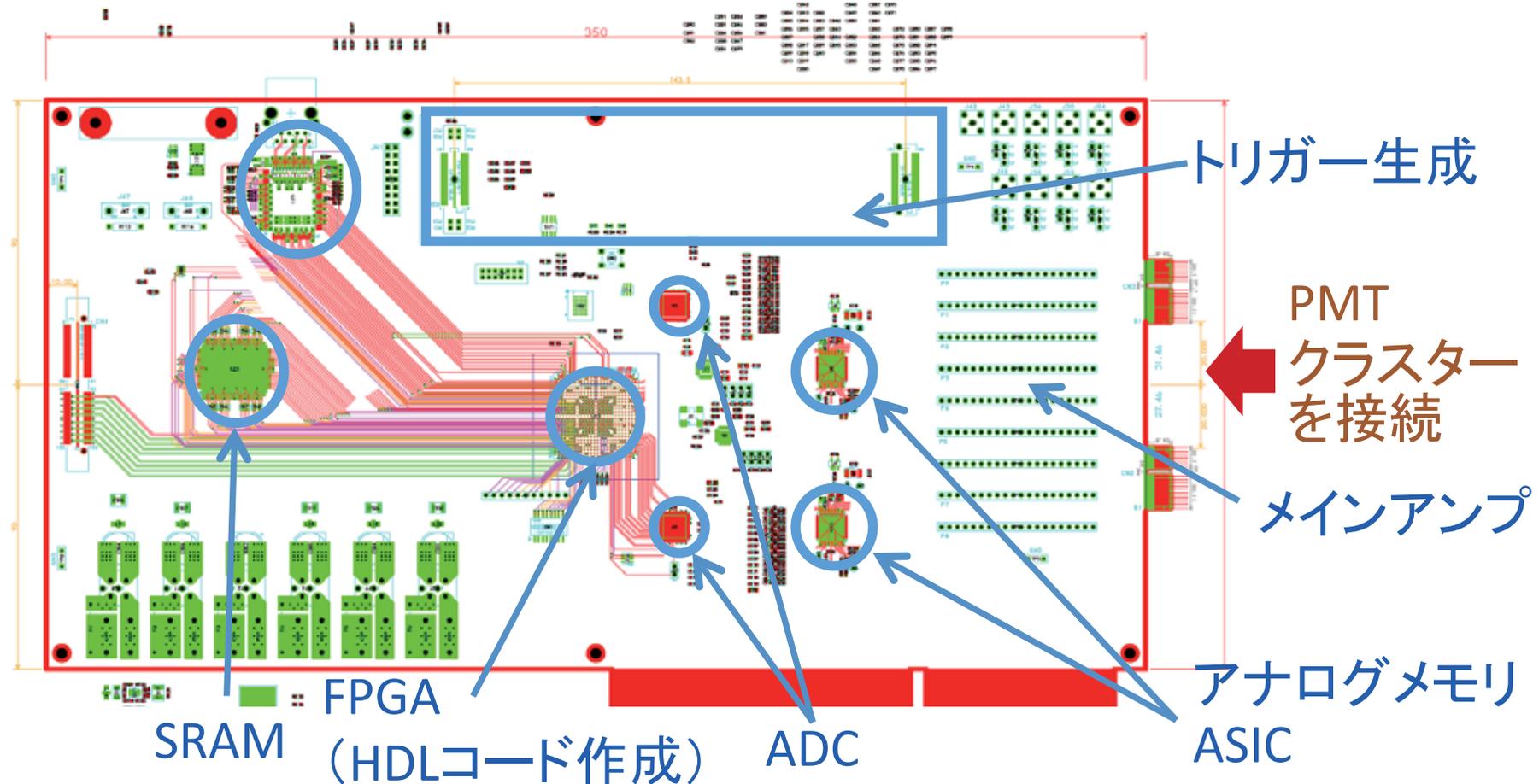


CTA全体の開発状況

- 複数の読み出し方式が並行に開発中
- PMTから波形データ出力まで完成されたシステムができていない

日本での開発状況

PMTアンプ、波形サンプリング、イーサネット転送回路を設計中



基板完成次第(10月)⇒動作・性能試験

⇒PMTから波形データ出力回路まで繋げたシステムを
CTA全体の中で最初に完成させる(年内)

⇒今後、CTA全体の要求仕様が確定するに従い、次バージョンを設計・製作

FPI (coordinator: 折戸)

現在のCTA-Japanの活動

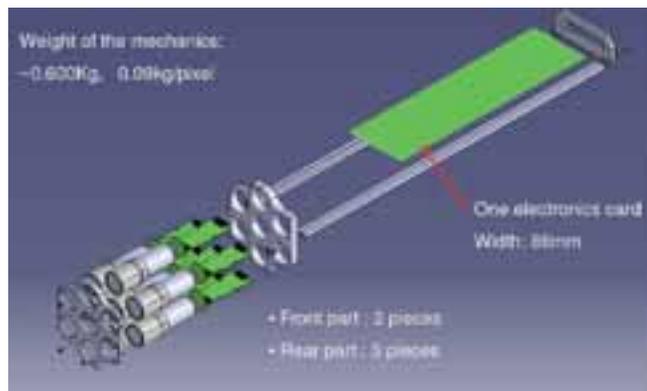
- 光電子増倍管R8619MOD-100(浜松ホトニクス社)の性能評価
- 光電子増倍管7本を束にし、Cockcroft-walton型高圧、プリアンプ、制御・モニタボード、読み出しボードを搭載した、光検出器モジュールの製作を他のグループに先駆けて行っている。

今後の目標

- 光検出器モジュールの性能評価と改良
- 日本における量産ラインの確立
- 量産品の較正
- 望遠鏡サイトでのコミッショニング、較正、アップグレード、

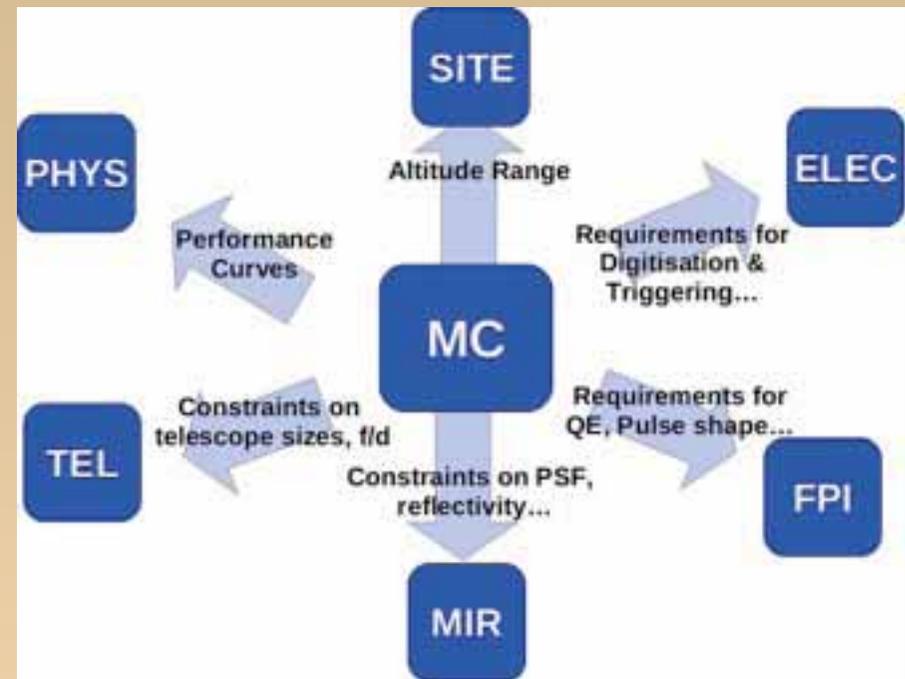
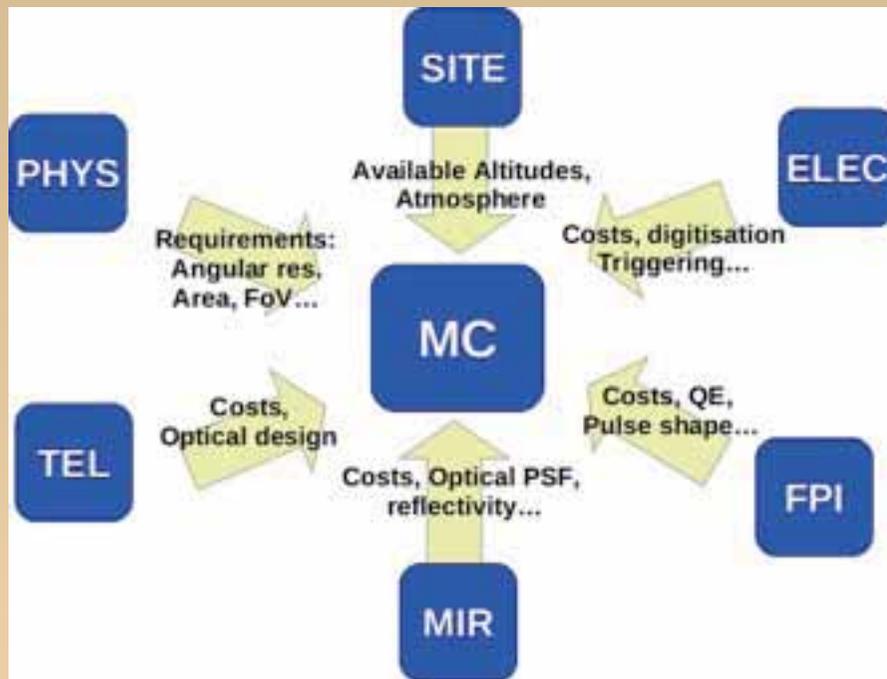


光検出器モジュール(MAGIC-II)



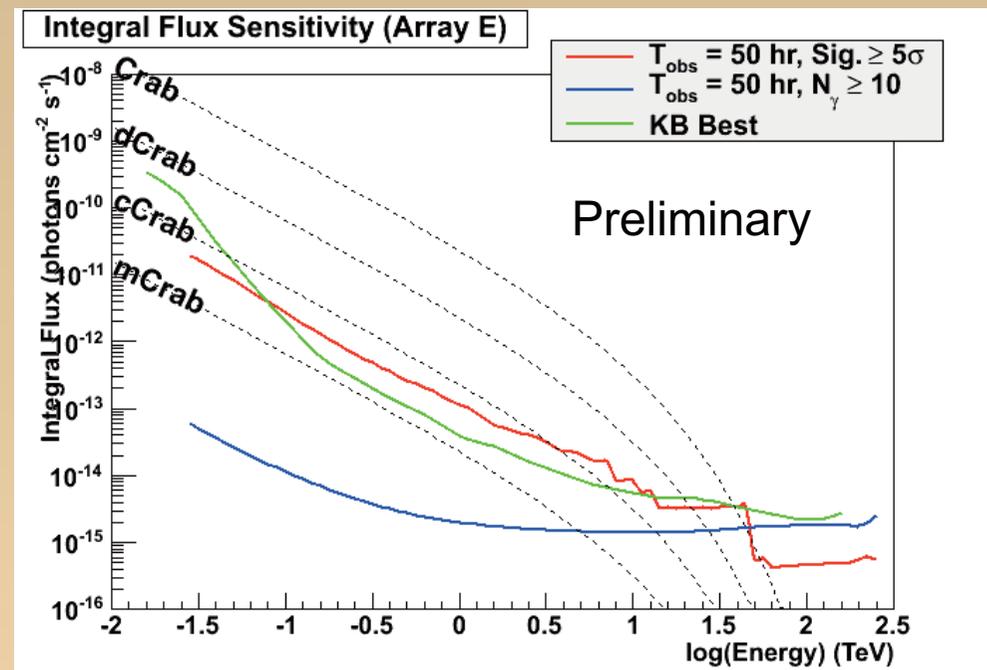
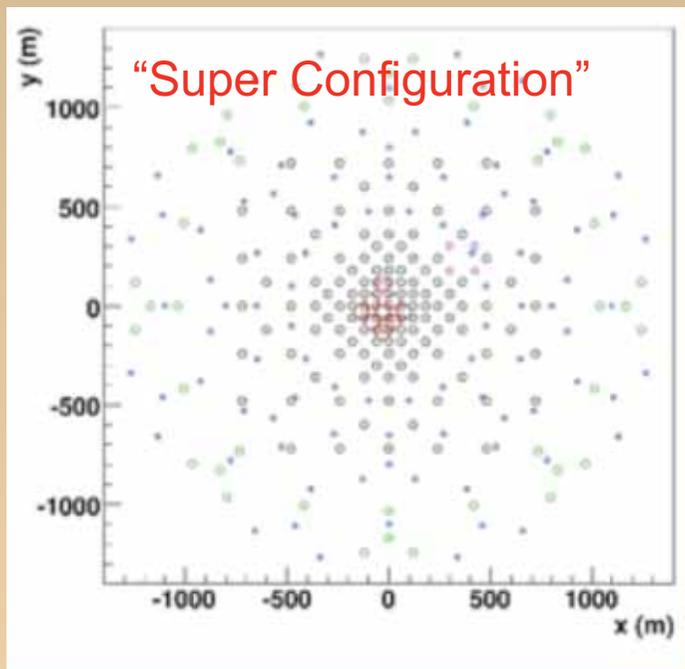
MC-WP

- モンテカルロシミュレーション + 解析手法の開発
 - アレイ配置、望遠鏡パラメータの最適化
- 要のWP（他WPとの連携が必須）



CTA-Japan MCチーム

- これまでの活動: coordinator: 吉越
 - H.E.S.S.スタイルMCコードの習得
 - DSTデータから感度曲線を導出 (習得技術の確認)
- 今後: 日本の理論チームなどと連携しつつ、サイエンスに適したアレイ研究などで CTA 全体の中で独自性を発揮



Calibration (coordinator: 田島)

- ◆ CTA Japan が関わる instrument の較正
 - ◆ PMT, 電子回路ゲイン特性など
- ◆ Science requirementから要求されるcalibration精度を明確化
- ◆ 必要なcalibration精度を達成するためのcalibration方法の検討・試験・確立
- ◆ 上記に必要な装置・softwareの開発
- ◆ 実際のcalibration作業は、STEだけでなく各大学の協力が必要
- ◆ 現在は、Science requirementとcalibration精度の関係を調査中

PHYS-WP活動

coordinator: 井岡

- 報告

- CTA国際会議 @Berlin (井上S,Y,浅野)
- 日本版CTA計画書 2章 (Homepage参照)
- Member (28名) : AGN, GRB, SNR

- 今後

- 2,3 の分野で日本で主導権を握る
- CTA国際会議 @Rutherford Appleton Lab

PHYS Member

中心サイエンス： **AGN, GRB, SNR**

PHYS (理論)	計 28 人 (2010.9.12現在)
Dark Matter / Fund. Physics	7
EBL / Cosmology	7
AGNs	10
CR / Clusters / Starbursts	8
MQ / Binaries	2
CR / SNRs / Mol. Clouds	14
PWNe	5
Pulsars / Glob. Clusters	3
MW / Transients	12
GRBs	12
Surveys / Sub-arrays	1
Extended / Diffuse Srcs.	4
Intensity Interferometry	0
DC Light / CR composition	1

Concluding Remark

- ✦ CTA に日本が加わるべきか、やめるべきか、という議論の段階は過ぎた
 - ✦ この1年で推進態勢の劇的な改善
- ✦ どういう形（規模、予算）で CTA に日本が参加するべきかを議論して頂きたい
 - ✦ CTA は日本が主導するものではないが、世界最先端へのアクセス
 - ✦ 幅広いコミュニティからの期待
 - ✦ CTA に全く参加せず、high-return かもしれないが high-risk なプロジェクトのみに投資するのは滅亡への道

