

高エネルギーガンマ線グループ の研究紹介

准教授
特定助教
博士課程
修士課程

窪秀利
藤井俊博
野崎誠也
寺内健太
岩崎啓

岡知彦
Yoo Seokhyun
長澤広武

高エネルギーガンマ線の観測対象

巨大ブラックホール

https://www.gizmodo.jp/2016/08/post_664929.html

ガンマ線ジェット

https://natgeo.nikkeibp.co.jp/nng/article/news/14/1879/?s_cid=bpn_Sch

パルサー

<https://blog.goo.ne.jp/mobarider/e/1e6b4d438ae8160bfd64df5284d8fc>

ダークマター探索

<https://wired.jp/2017/05/16/visible-dark-matter/>

SCALE

50 million

LIGHTYEARS

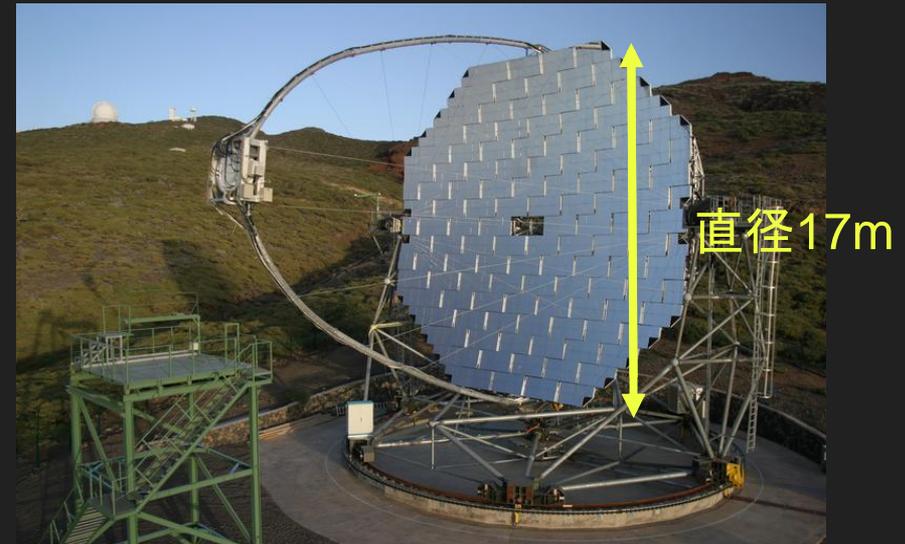
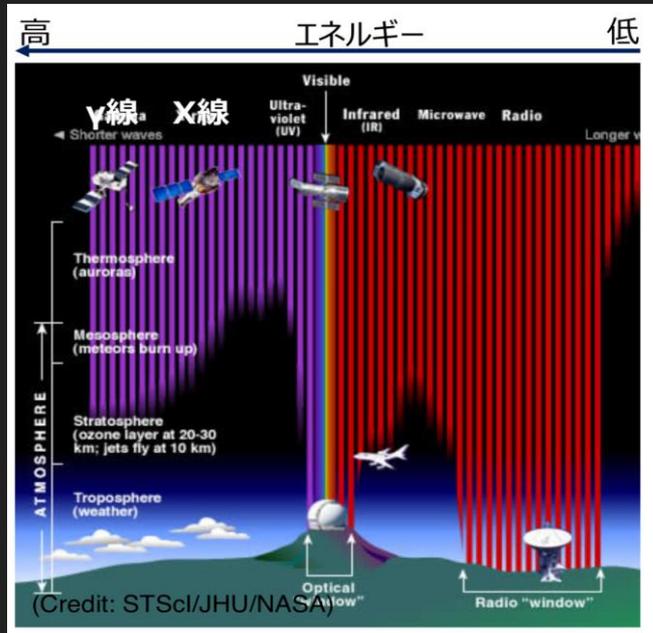
超新星残骸

<https://astropics.bookbright.co.jp/a-supernova-remnant-w49b>

高エネルギーガンマ線観測

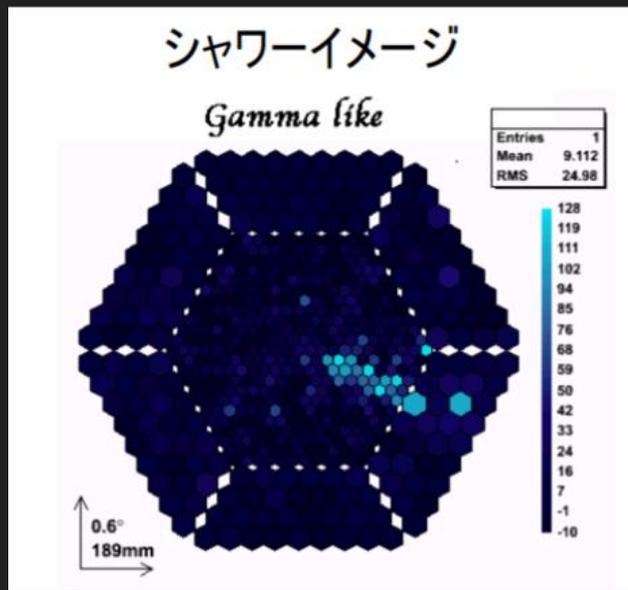
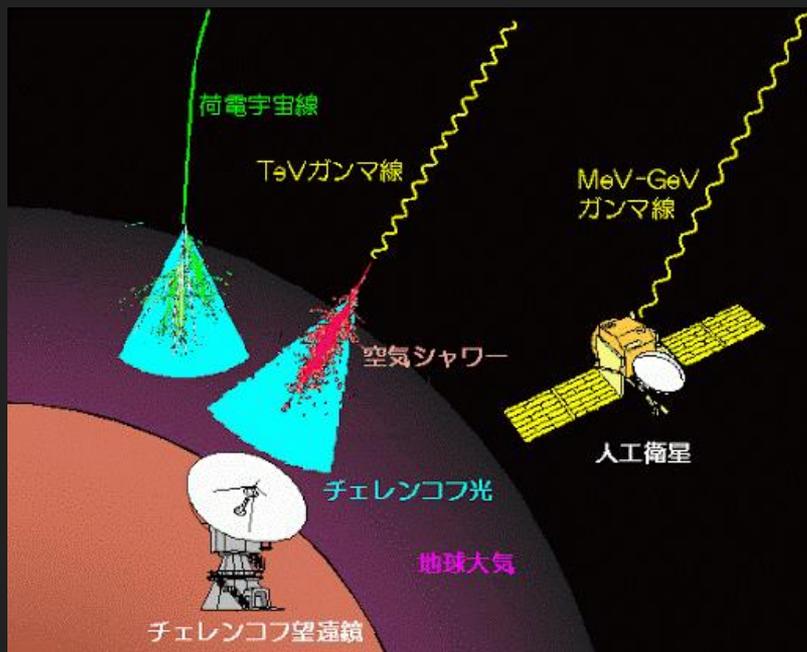
- ・ X線やガンマ線は大気に吸収されて、地上まで届かない
 - ・ 高エネルギーガンマ線は衛星で飛ばせるほど小さい検出器では捉えられない
- 地上に大きな検出器 (大気チェレンコフ望遠鏡)

MAGIC望遠鏡
(スペイン・ラパルマ島)

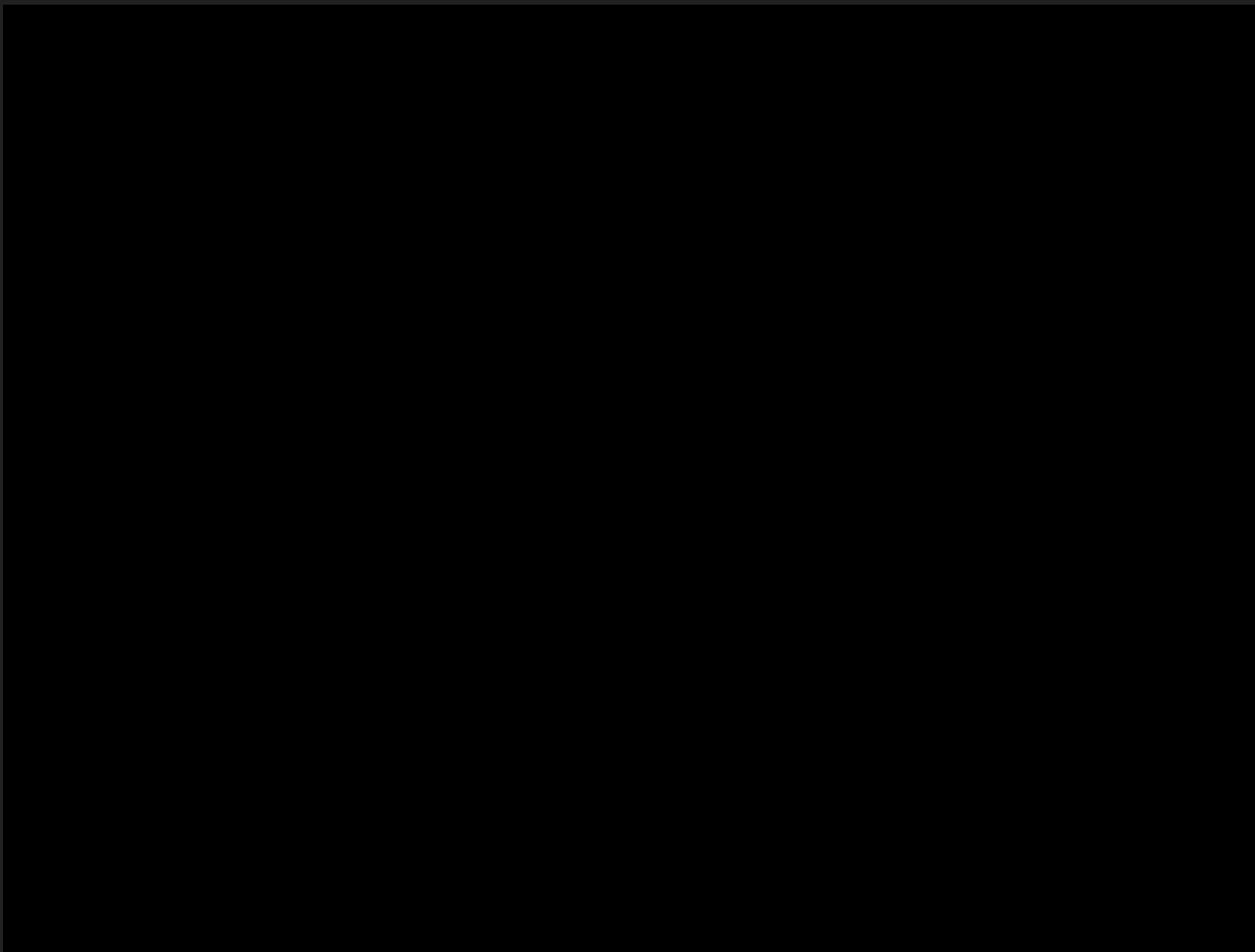


解像型大気チェレンコフ望遠鏡

地球大気との反応を経て放出される二次的な光（チェレンコフ光）を検出し、
ガンマ線のエネルギーと到来方向を再構成



空気シャワー



MAGIC望遠鏡

(Major Atmospheric Gamma-ray Imaging Cherenkov Telescope)



- ・ラパルマ島（スペイン）に口径17m望遠鏡を2台設置
- ・30GeVから100TeVのガンマ線を観測
- ・11カ国が参加



人工光が届かないように標高～2000mに設置



- ・日本からは東大、京大、東海大などが参加（隔週でミーティング）

Cherenkov Telescope Array (CTA) 計画

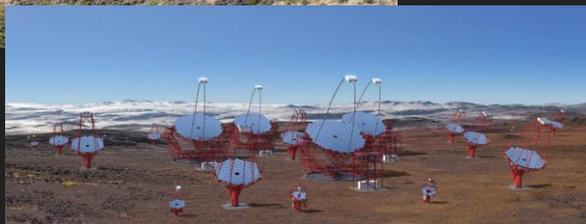


CTA 計画



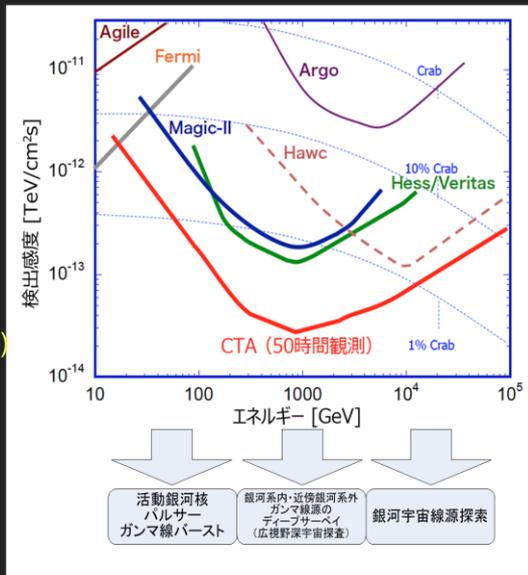
←北サイト
(スペイン・
ラパルマ島)

南サイト →
(チリ・
ナミビア砂漠)



←去年5月に行われた
CTA国際会議の
グループ写真

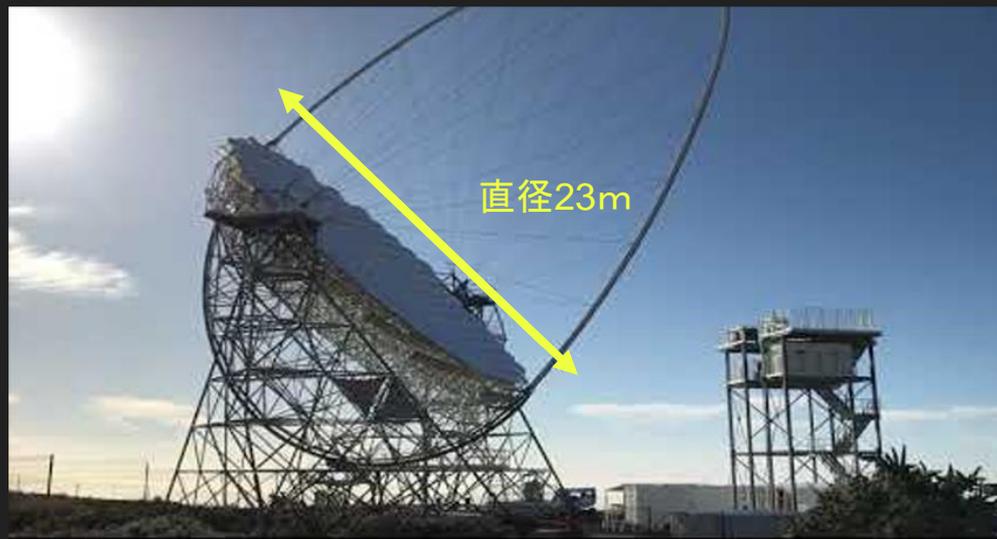
・世界31ヶ国約1500人
(日本120名)が参加する
超巨大プロジェクト



・大中小のチェレンコフ
望遠鏡を計 118基設置
(従来4~5基)

➤ 有効面積を拡大し、
従来より感度10倍
を達成!

LST 1 (Large - Sized Telescope)



- ・ 2018年10月から試験運転
 - ・ CTAでは最速20秒で180°回転可能
- ⇒ 突発天体をとらえる

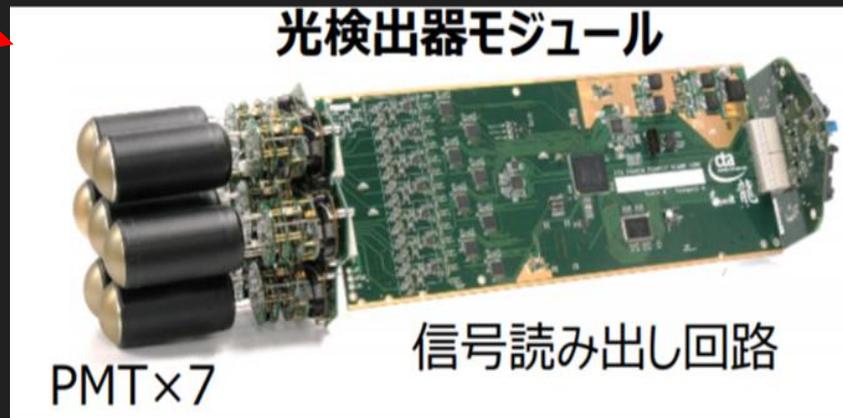
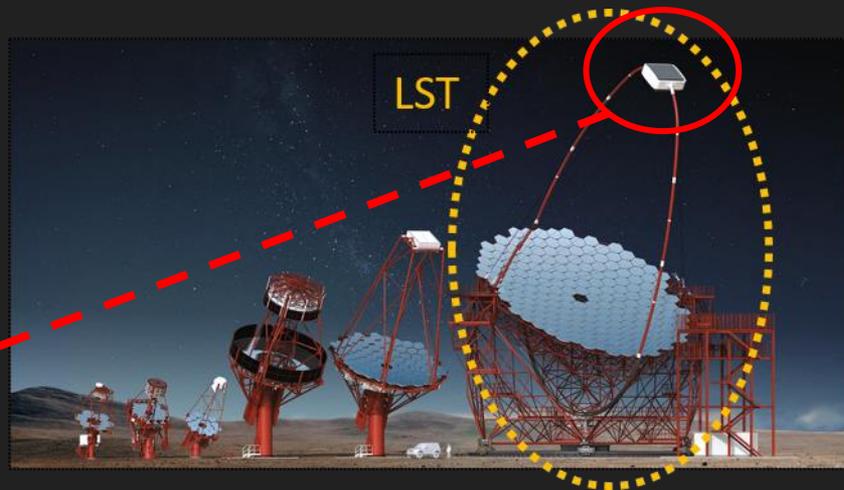
リモート運用の様子

注：現在はコロナの影響で、研究室からリモート観測をしています。



光検出器モジュール

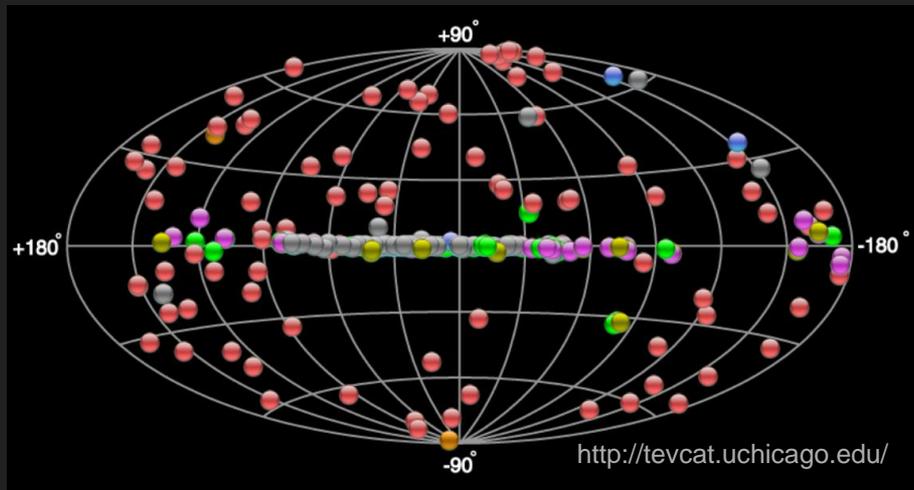
京大チームは大型望遠鏡(LST)の心臓とも言える光検出器モジュールの開発を担当
⇒世界の第一線で活躍中！



CTA: 今後の展望

< 建設・観測スケジュール >

- ・ 2010-2020年 プロトタイプ望遠鏡
開発・建設
- ・ 2016年 北サイト建設開始
(2021年からLST2-4建設)
- ・ 2018年 LST1試験運転
- ・ 2021年 南サイト建設開始
(2023年から望遠鏡建設)
- ・ 2024年 北サイト・アレイ観測
- ・ 2026年 南サイト・アレイ観測



CTAの研究対象

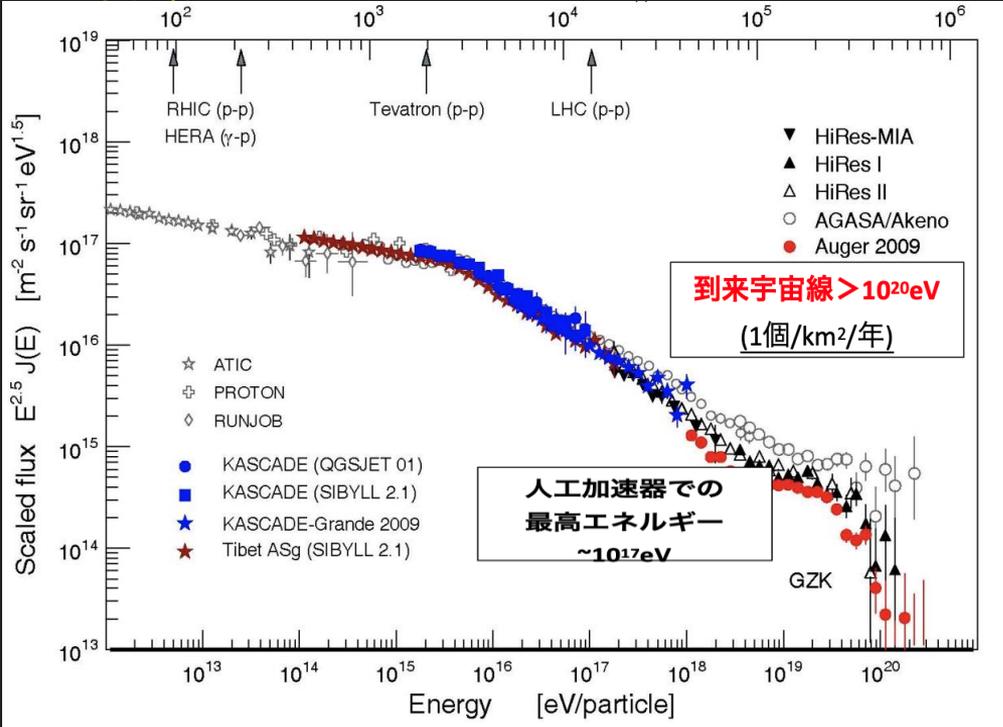
- ①宇宙線の起源・加速・伝搬
- ②高エネルギー天体の性質解明
- ③活動銀河、ガンマ線バーストからの
ガンマ線を使った宇宙論的研究
- ④銀河中心、矮小銀河からの暗黒物質の
対消滅、崩壊ガンマ線の探索

-FAST project-
最高エネルギー宇宙線観測実験



最高エネルギー宇宙線

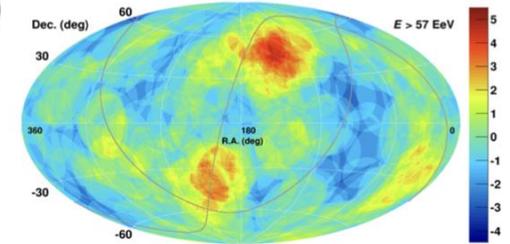
宇宙線のエネルギースペクトル



- 加速器未到達のエネルギー領域で、標準モデルは成り立つのか
- 宇宙磁場で曲がりにくく、宇宙線起源との相関が期待→新たな物理、次世代天文学

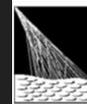


$> 5.7 \times 10^{19}$ eV ホットスポット？

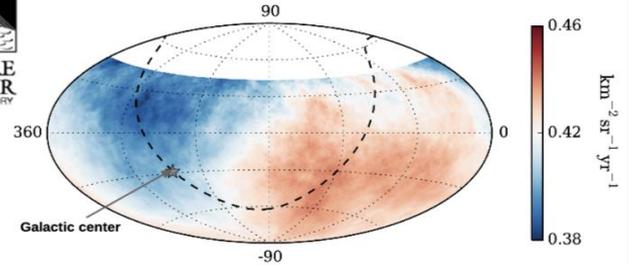


K. Kawata et al., Proc. of ICRC 2015

統計量不足により起源を特定できていない



$> 8 \times 10^{18}$ eV ダイポール型異方性



Pierre Auger Collab. Science 357, 1266 (2017)

銀河系外起源を支持

FAST project

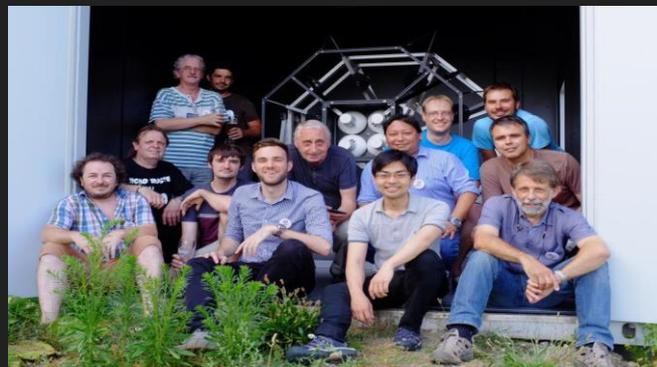
Fluorescence detector Array of Single-pixel Telescopes

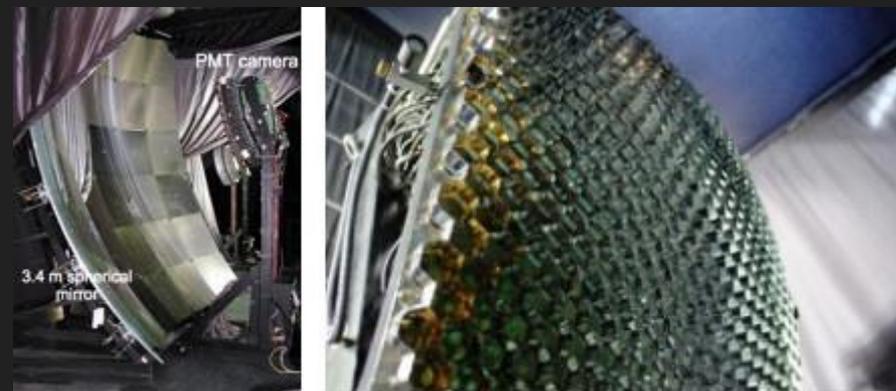
現在行われている観測手法では
予算などの面から有効面積を
大きくすることは難しい



大気蛍光望遠鏡の低コスト化
アレイ状に配置し観測

現在行われている実験の有効面積
より一桁大きい面積をめざす





現在の大気蛍光望遠鏡



新型の大気蛍光望遠鏡

観測事象を増やし最高エネルギー宇宙線に近づく！！！！！！

高エネルギーガンマ線グループまとめ

大気シャワーを再構成する技術を用い

- 高エネルギーガンマ線
- 最高エネルギー宇宙線の観測を行っている。

大気シャワーによるチェレンコフ光
Cherenkov light by air showers



次世代プロジェクトを主導し
新たな宇宙物理を開拓する

とても楽しい
研究室です
ぜひ一緒に
研究しましょう

左 寺内さん 右 YOOさん



長澤(1週間前)



窪准教授



藤井特定助教



岡さん

野崎さん

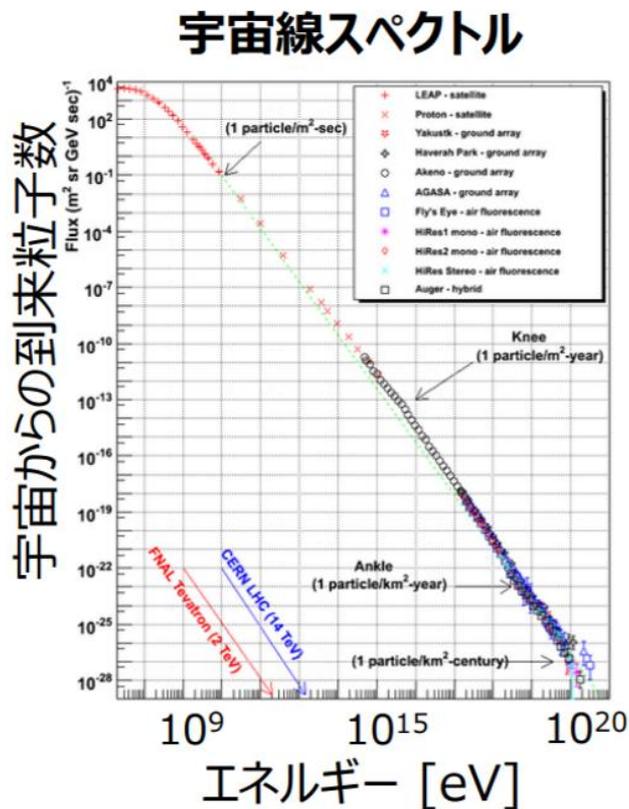
岩崎(高2)



Back up

1. 宇宙線の起源（宇宙の巨大加速器）の探索

宇宙では 10^{20} eVに及ぶ高エネルギー粒子(=宇宙線)が飛び交う



宇宙線がどこで生まれるのか
どのように加速されているのかは未解明

超新星残骸



活動銀河核
(巨大ブラックホール)

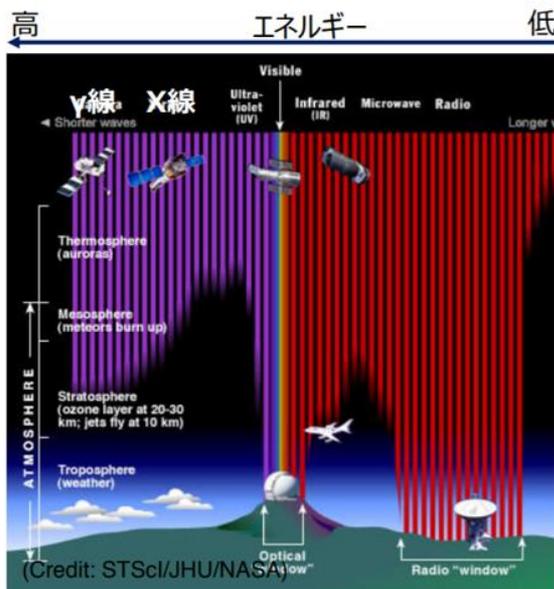


宇宙線から放射された高エネルギー
ガンマ線は曲げられずに地球に到来する

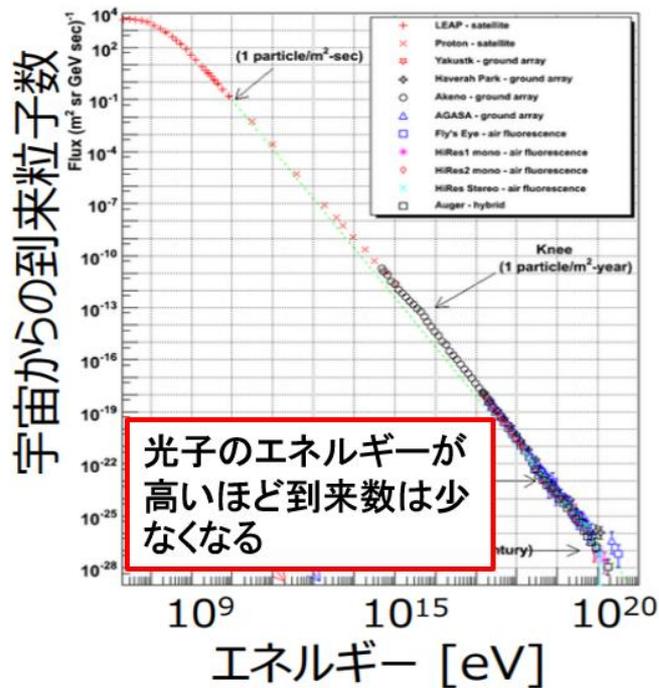
ガンマ線の到来方向、スペクトルから
宇宙線起源、加速機構の謎に迫る

高エネルギーガンマ線観測

- X線やガンマ線は大気に吸収されて、地上まで届かない
- 高エネルギーガンマ線(>数十GeV)は衛星で飛ばせるほど小さい検出器では検出できない



宇宙線スペクトル



2. 高エネルギー天体の性質の解明

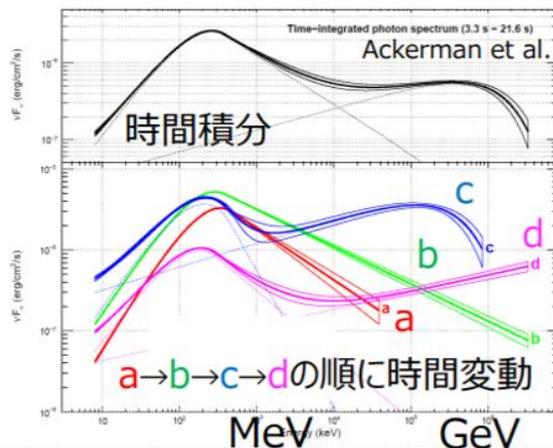
ガンマ線バースト (GRB)

宇宙最大の爆発現象
中心からは高速のジェットを放出



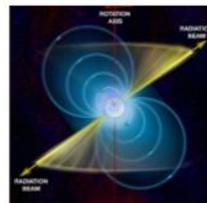
- ・中心駆動天体
- ・放射機構
- ・ジェットの形成機構
などが未解明

あるGRBのエネルギースペクトル



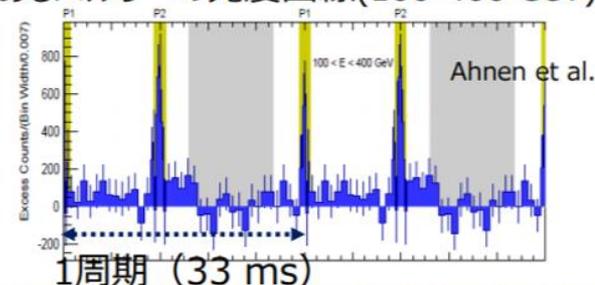
パルサー

高速回転する中性子星
周期的な電磁放射



- ・放射領域
- ・放射機構
などが未解明

あるパルサーの光度曲線(100-400 GeV)

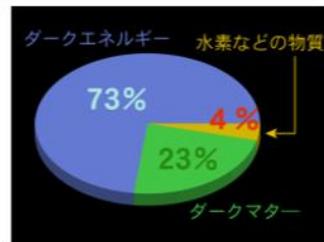


激しい高エネルギー天体現象の
謎に迫る

3. 暗黒物質の間接探索

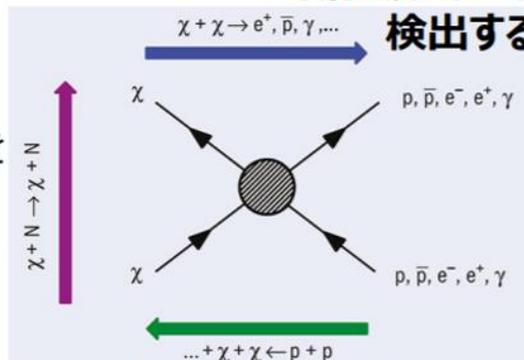
- 宇宙のエネルギー組成のうち23%はダークマター

ダークマターの正体は謎であり、未知の素粒子の候補として挙げられ、様々な手法で探索されている

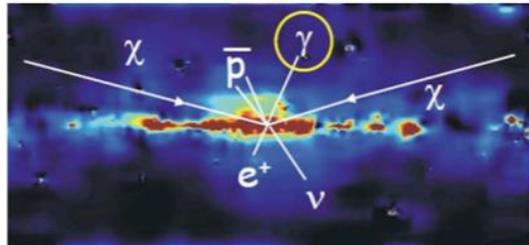


対消滅して生じたガンマ線などを
検出する間接探索

散乱事象を
検出する
直接探索



加速器を用いた
ダークマター対生成



100 GeV-数10 TeVのガンマ線の
線スペクトルが存在するかが
大きなカギとなる

宇宙という“巨大実験場”を用いた基礎物理探求ができる

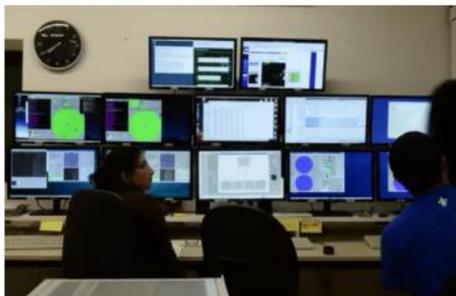
MAGIC望遠鏡



- ラパルマ島（スペイン）に口径17m望遠鏡を2台設置
- 30 GeVから100 TeVのガンマ線を観測
- 11か国が参加

日本からは
東大、京大、東海大などが参加
(隔週でネットミーティング)

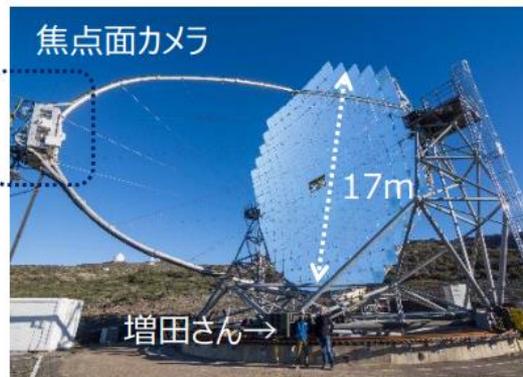
年に~1回
運用シフト(約1か月)に参加



運用シフト中の様子



人工光が
届かないように
標高~2000m
に設置

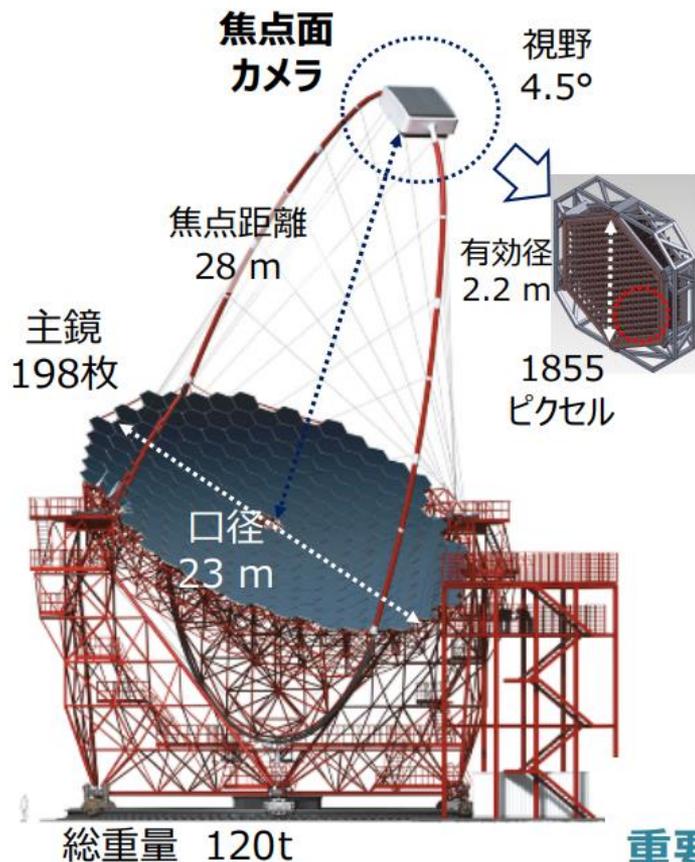


焦点面カメラ

17m

増田さん→

大口径望遠鏡 (Large-Sized Telescope; LST)



主な特徴

- ・口径23 mの望遠鏡
- ・20秒で180度回転可能
- 突発天体**の観測に適している(ガンマ線バーストetc.)



光検出器モジュール



日本チームは主に大口径望遠鏡の焦点面カメラと主鏡の開発を担当

京大チーム (少人数ながら) も重要な仕事を担い、第一線で奮闘中!

CTA大口徑望遠鏡の作動



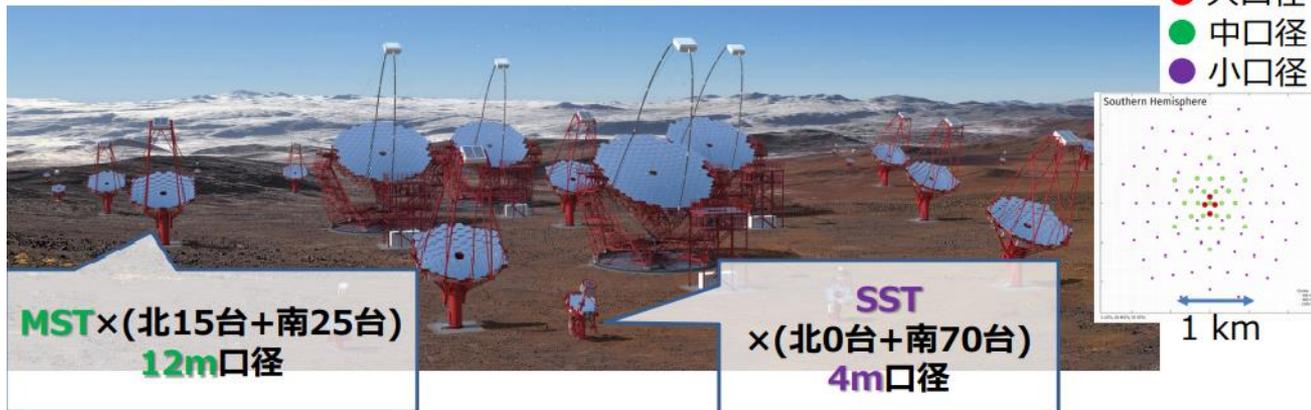
CTAでは最速20秒で 180° 回転可能 \Rightarrow 突発天体を捉える

完成予想図

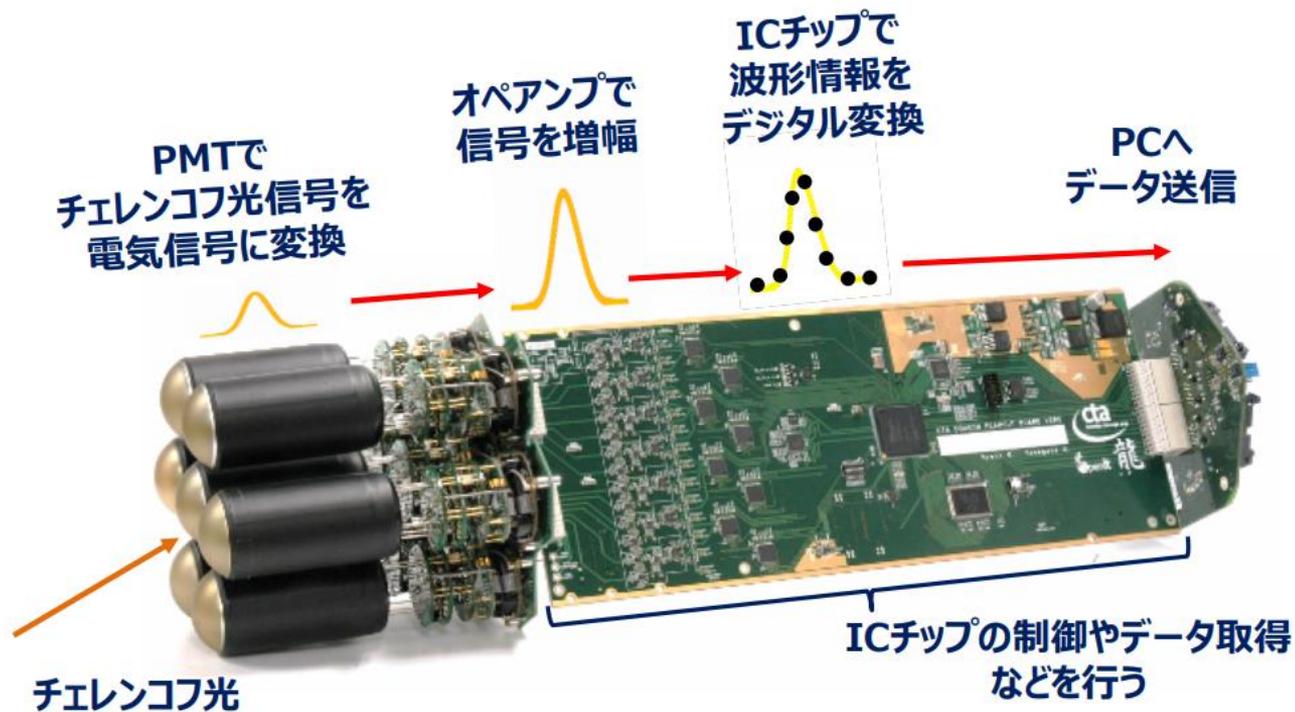
・北サイト (スペイン・ラパルマ島)



・南サイト (チリ・パラナル)



光検出器モジュール



京大グループは
信号読み出し回路の開発を担当

LST PMT信号読み出し回路 ~Dragon~

ver.1



ver.2



ver.3

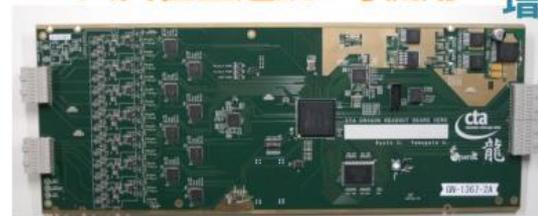


ver.4



大口径望遠鏡1号機用 増田

ver.5



大口径望遠鏡2-4号機用 野崎

ver.7

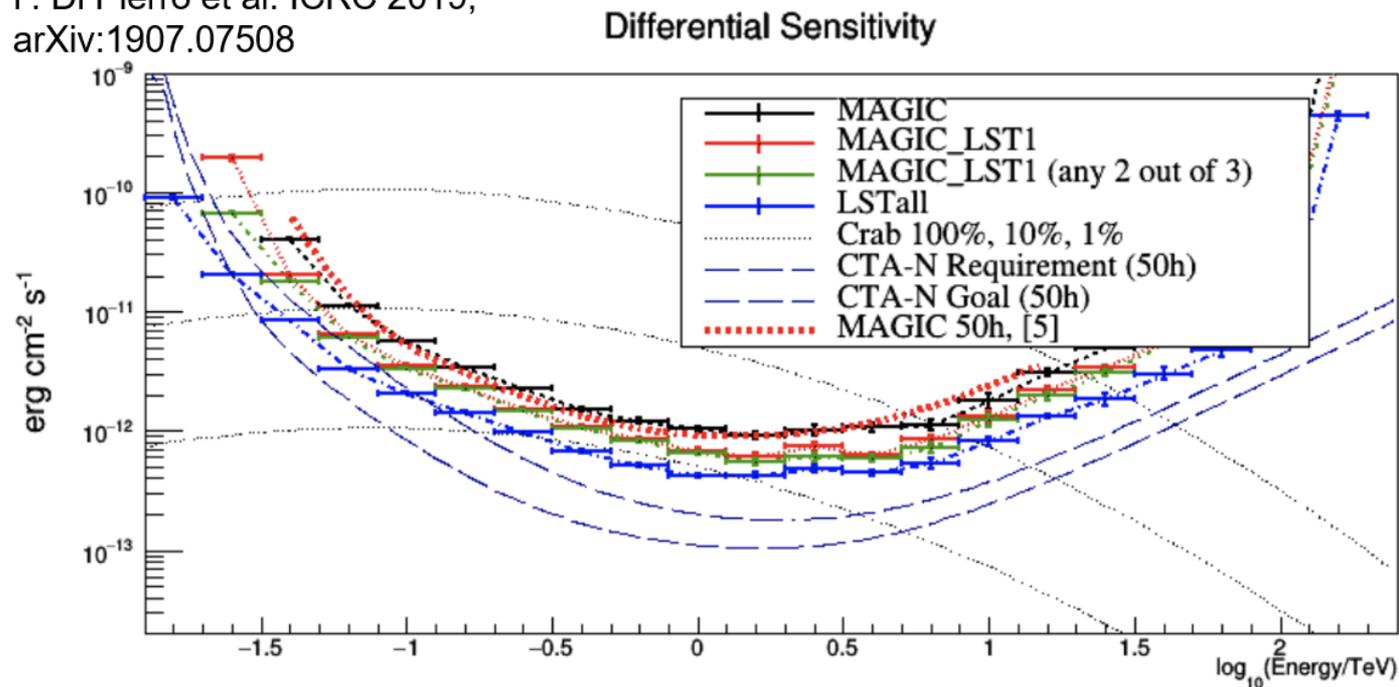


回路図設計、
基板レイアウト、
動作ロジック作製、
動作試験
⇒ 全て自分で作る

最初は
回路の知識がなくても
大丈夫です！
(僕もそうでした)

4. CTA-LSTの感度

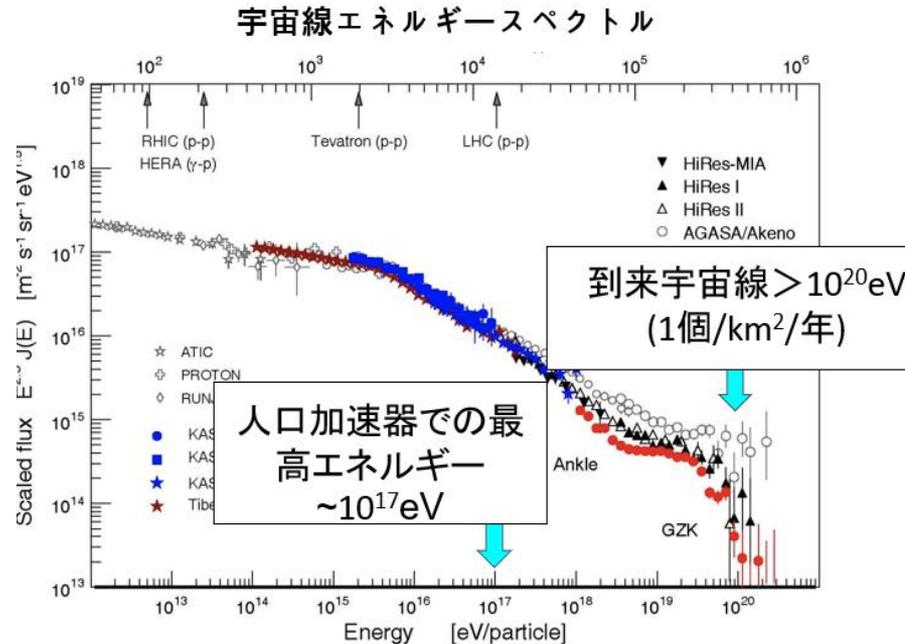
F. Di Pierro et al. ICRC 2019,
arXiv:1907.07508



✓最前線で活躍しているMAGIC望遠鏡より良い感度を目指す

✓今までよりもっと良い感度をもつ大気チェレンコフ望遠鏡で宇宙を探索

5. 最高エネルギー宇宙線の起源を解明



- 最高エネルギー宇宙線はどこでどのような加速をされるのか？
- 加速器未到達領域で、標準モデルは？

より高いエネルギー領域で新物理を探索

活動銀河核？
ブラックホール？

ガンマ線バースト？

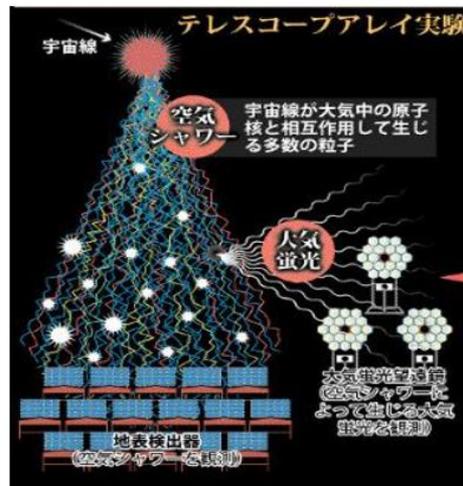
6. 最高エネルギー宇宙線観測



宇宙線が作る大気シャワーを南北半球で2種類の機器で観測

地上水チェレンコフ検出器

新型大気蛍光望遠鏡

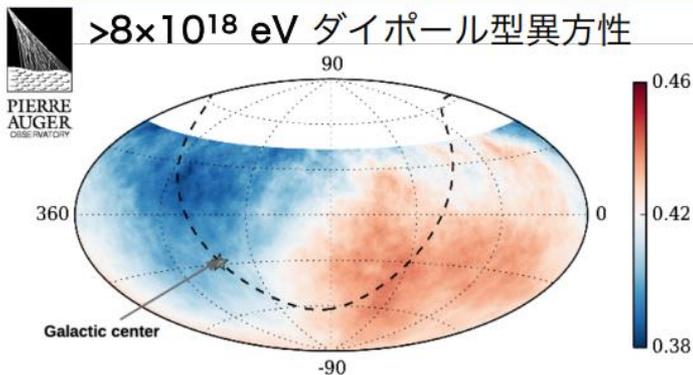


大気蛍光とは？

荷電粒子とぶつかって励起された大気の窒素分子が脱励起するときに放射する光(紫外線)

2種類の観測器を南半球(ピエールオージェ、アルゼンチン)と北半球(望遠鏡アレイ、ユタ州)の2サイトで展開

未だ黎明期にすぎない極高エネルギー宇宙線天文学

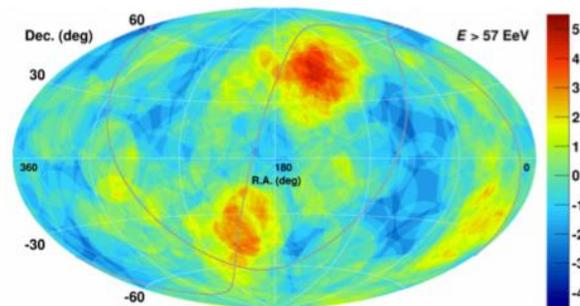


Pierre Auger Collab. Science 357, 1266 (2017)

銀河系外起源を支持



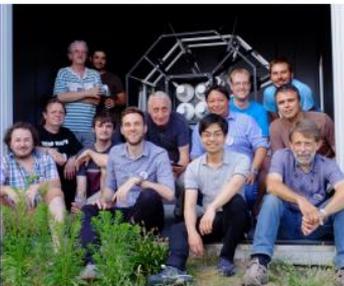
> 5.7×10^{19} eV ホットスポット？



K. Kawata et al., Proc. of ICRC 2015

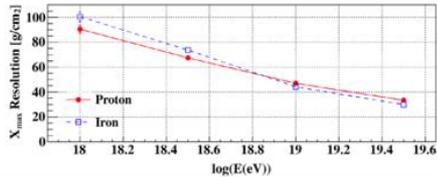
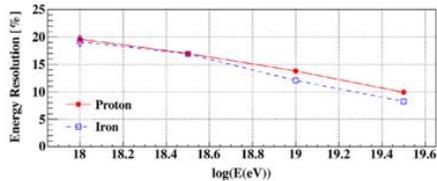
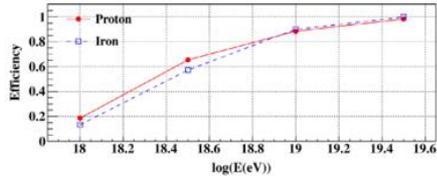
統計量不足により起源を特定できていない

Fluorescence detector Array of Single-pixel Telescopes (FAST)

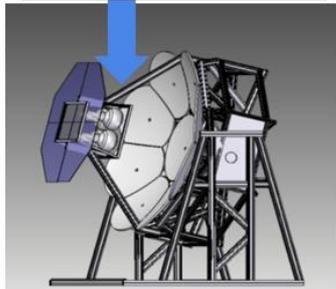


宇宙線の年間観測数を10倍にし、極高エネルギー宇宙線天文学を全盛期へ

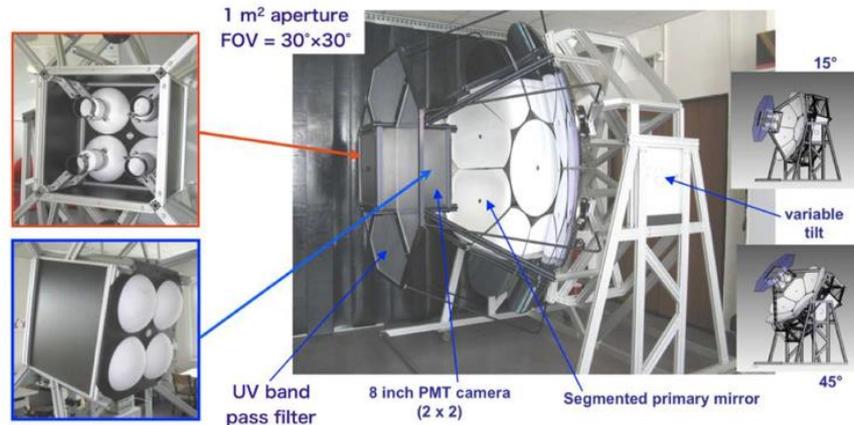
7. 新型大気蛍光望遠鏡



4本のPMTが入る



- 大気蛍光(紫外線)を夜に観測、一次到来宇宙線を再構成
- FOV=30° x 30° => 12基で360° カーバー
- 最高エネルギー側での感度を最適化



✓ より広い場所に多く設置するには低コスト化が必要

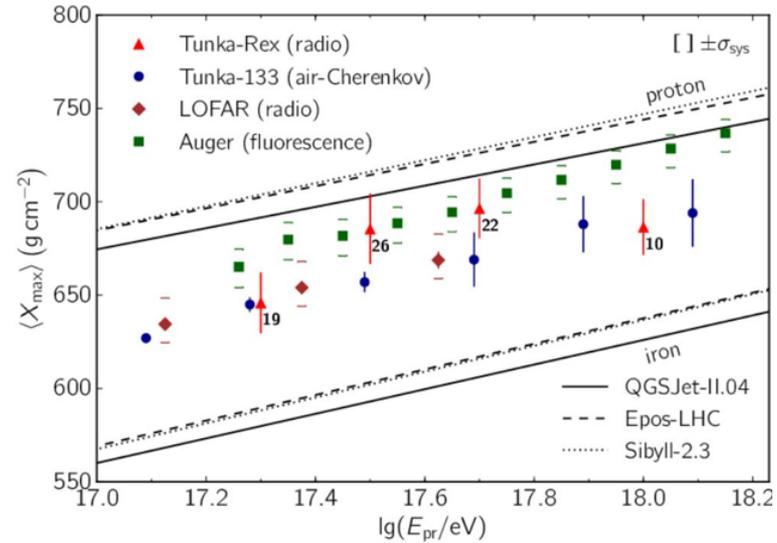
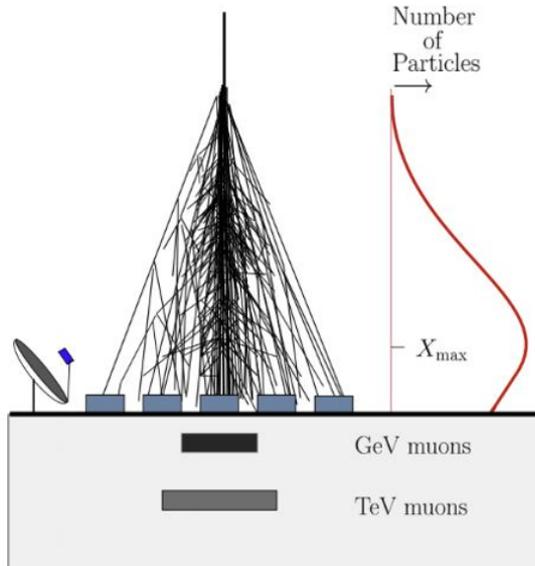
⇒ 1.6m口径の小さい光学系と4本のPMTカメラで低コスト化

8. 化学組成と X_{\max}

X_{\max} とは？

→シャワーが作る粒子の数が一番多い時の大気の深さ

L.A. Anchordoqui / Physics Reports 801 (2019) 1–93



下の方に近づくほど重たい粒子