


高エネルギーガンマ線グループ 研究紹介



准教授 窪秀利
特定助教 藤井俊博(白眉センター)
博士課程 野崎誠也 岡知彦
修士課程 寺内健太 Yoo Seokhyun

巨大ブラックホール



ガンマ線バースト

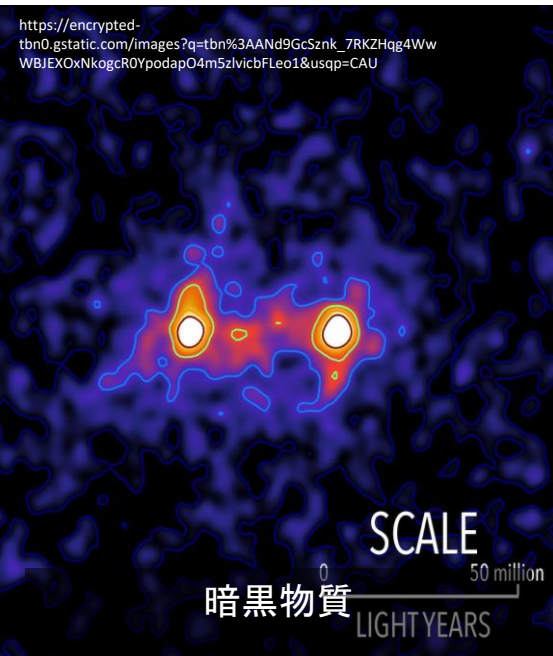


高エネルギー ガンマ線源

<https://i.ytimg.com/vi/GCkkF...dS4/maxresdefault.jpg>

https://nykdaily.com/wp-content/uploads/2019/10/img_7007-696x391.jpg

https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn%3AANd9GcSznk_7RKZHgg4WwWBJEXOxNkogcR0YpodapO4m5zlvicbFLeo1&usqp=CAU



SCALE
0 50 million
LIGHT YEARS
暗黒物質

<https://sora.info/wp-content/uploads/2020/01/STSCI-H-p2003a-m-2000x2000-1.jpg>



<https://livedoor.sp.blogimg.jp/tos8u-jin-versatile/imgs/6/b/6b9df903.jpg> パルサー



超新星残骸

なぜ高エネルギーガンマ線を観測するのか

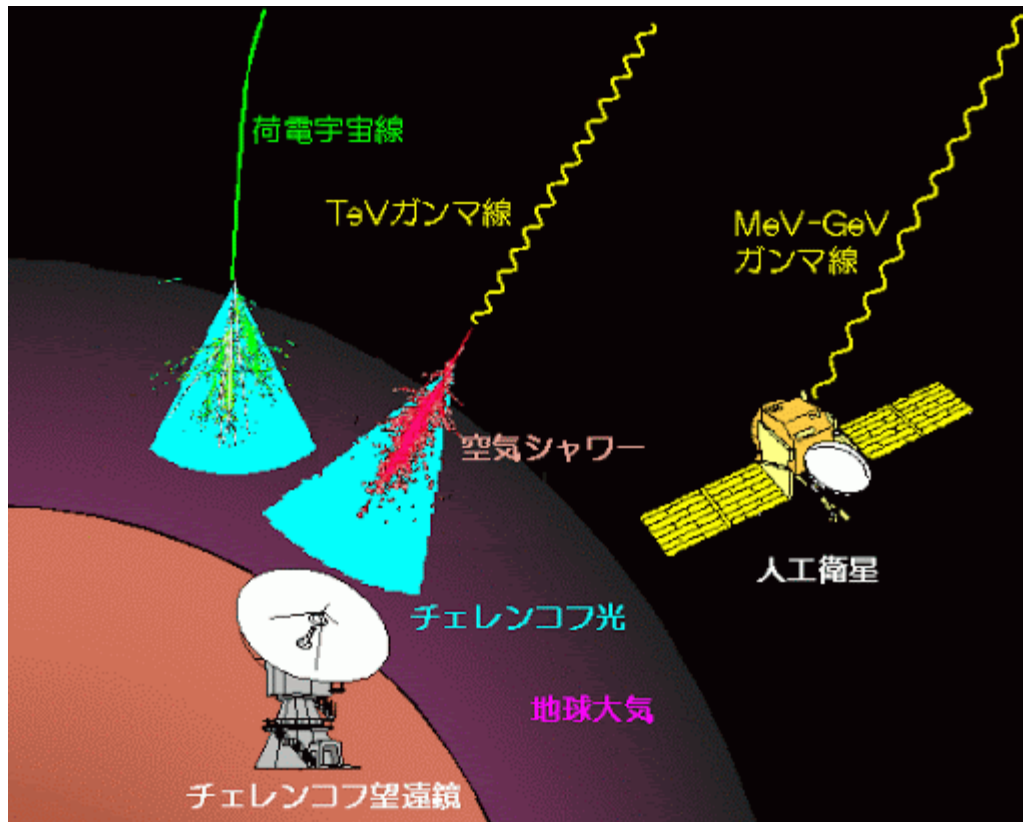
- ◆ 宇宙線起源の研究
- ◆ 高エネルギー天体の仕組みを解明
- ◆ 暗黒物質の探索

 **宇宙物理学の謎を解き明かす！**

しかし、高エネルギーガンマ線の観測は一筋縄ではいかない...

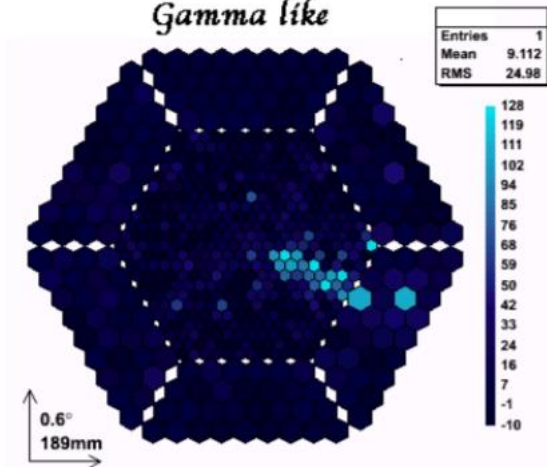
解像型大気チェレンコフ望遠鏡

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



シャワーイメージ

Gamma like



↑機械学習を用いてガンマ線イベントをピックアップ

京大チームが携わる観測装置

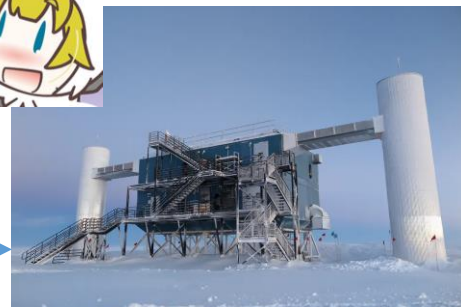


20 MeV – 300 GeV

Fermi



連携

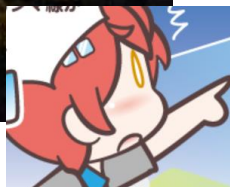


IceCube ニュートリノ観測所



30 GeV – 100 TeV

MAGIC 望遠鏡



京大が主に関わる

20 GeV – 300 TeV



???

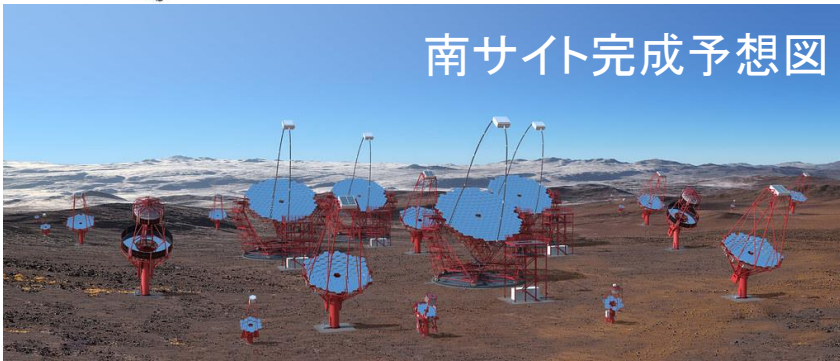
Cherenkov Telescope Array (CTA) 計画



↑先月に行われた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！

南サイト完成予想図



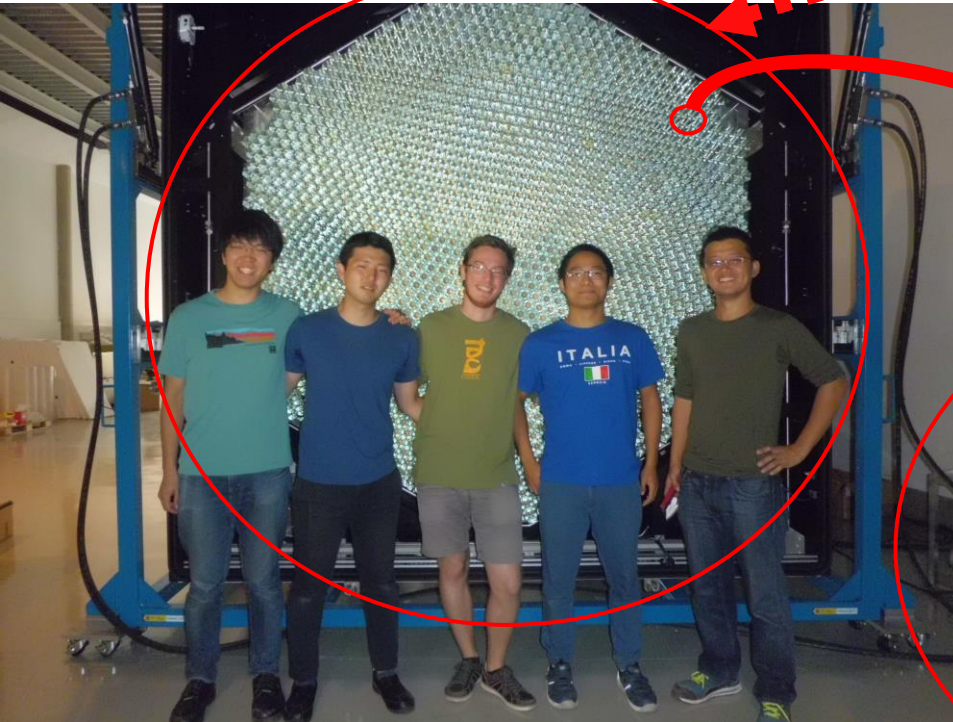
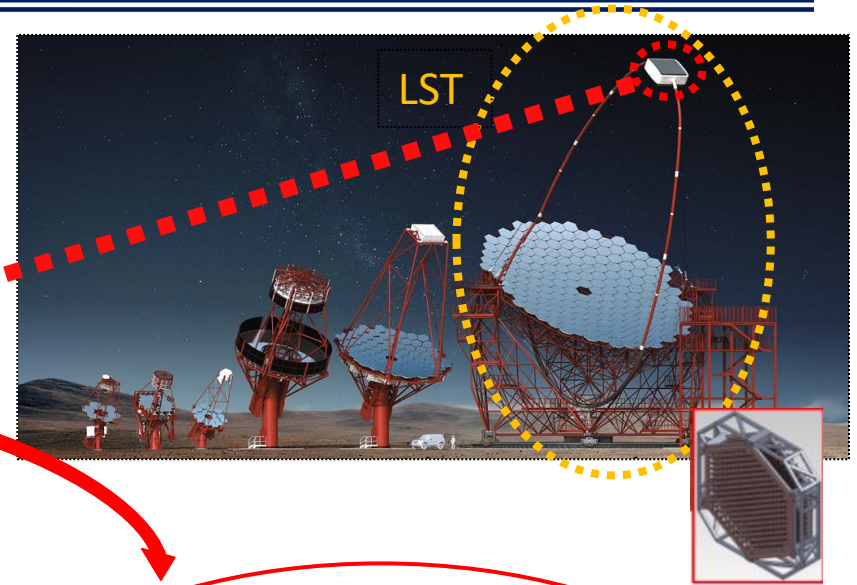
＜CTA計画スケジュール＞

2023年 北サイト大口径望遠鏡アレイ完成
2025年 CTA南北118基フルアレイ完成

2019年12月に大口径望遠鏡初号機(LST1)のかに星雲の観測開始

光検出器モジュール

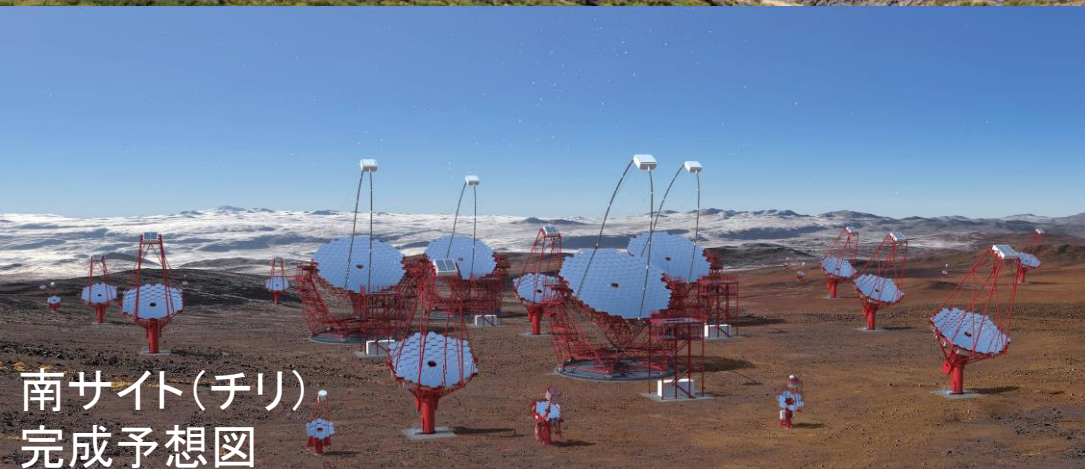
京大チームは大型望遠鏡(LST)の心臓
とも言える光検出器モジュールの開発を
担当
⇒世界の第一線で活躍中！



光検出器モジュール



北サイト(カナリー諸島ラパルマ島)
完成予想図



南サイト(チリ)
完成予想図

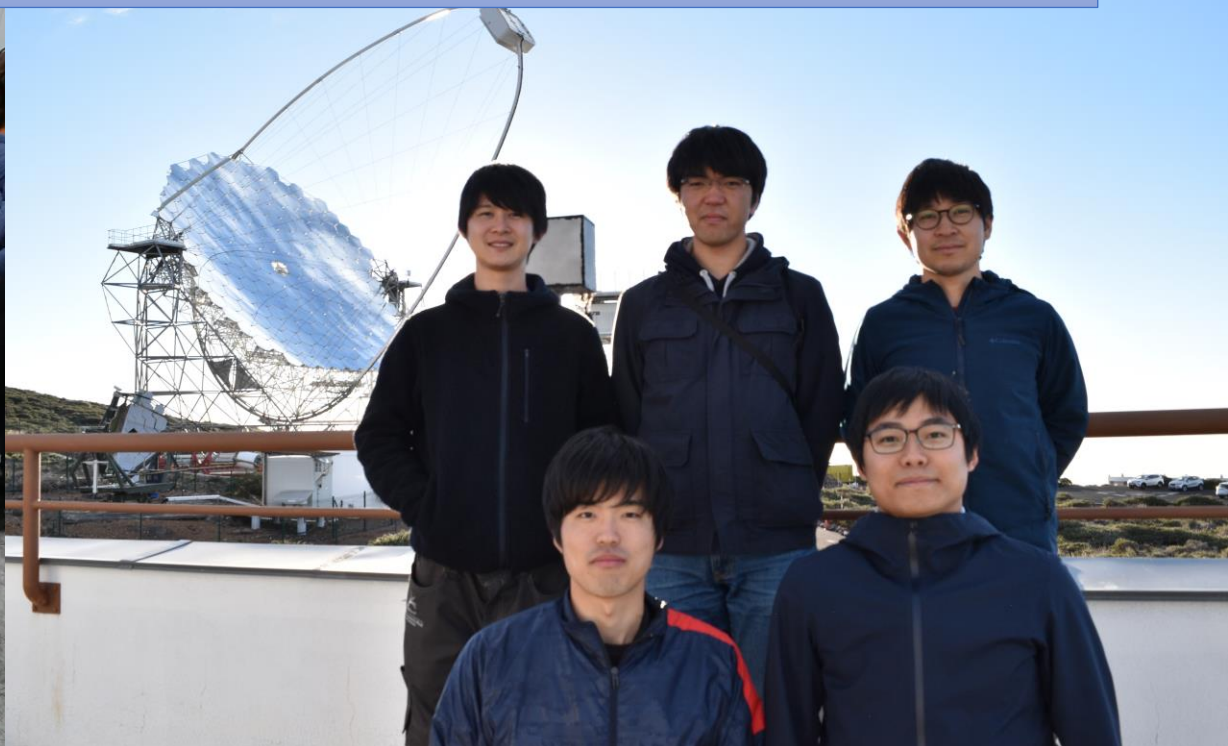


CTAプロジェクト
進行中！！





高エネルギー天文学の第一線で活躍できる！



最高エネルギー宇宙線観測実験

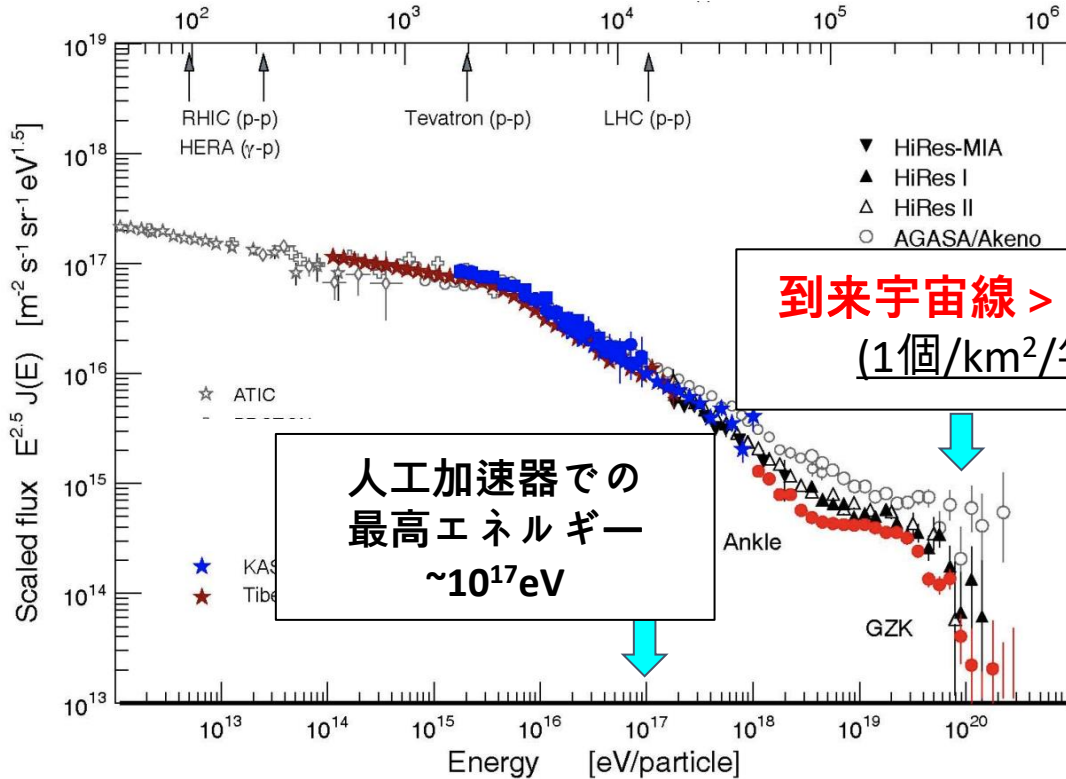
— *FAST project* —

Fluorescence detector Array of Single-pixel Telescope

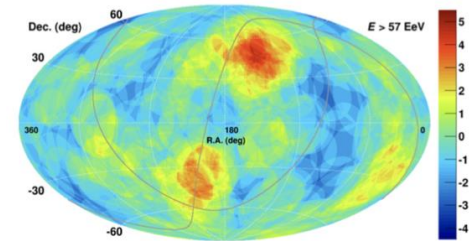


最高エネルギー宇宙線

宇宙線エネルギースペクトル

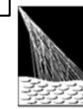


>5.7×10¹⁹ eV ホットスポット？

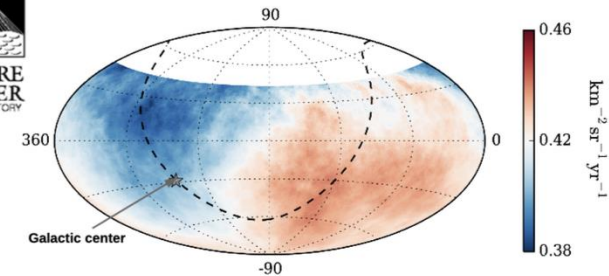


K. Kawata et al., Proc. of ICRC 2015

統計量不足により起源を特定できていない



>8×10¹⁸ 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

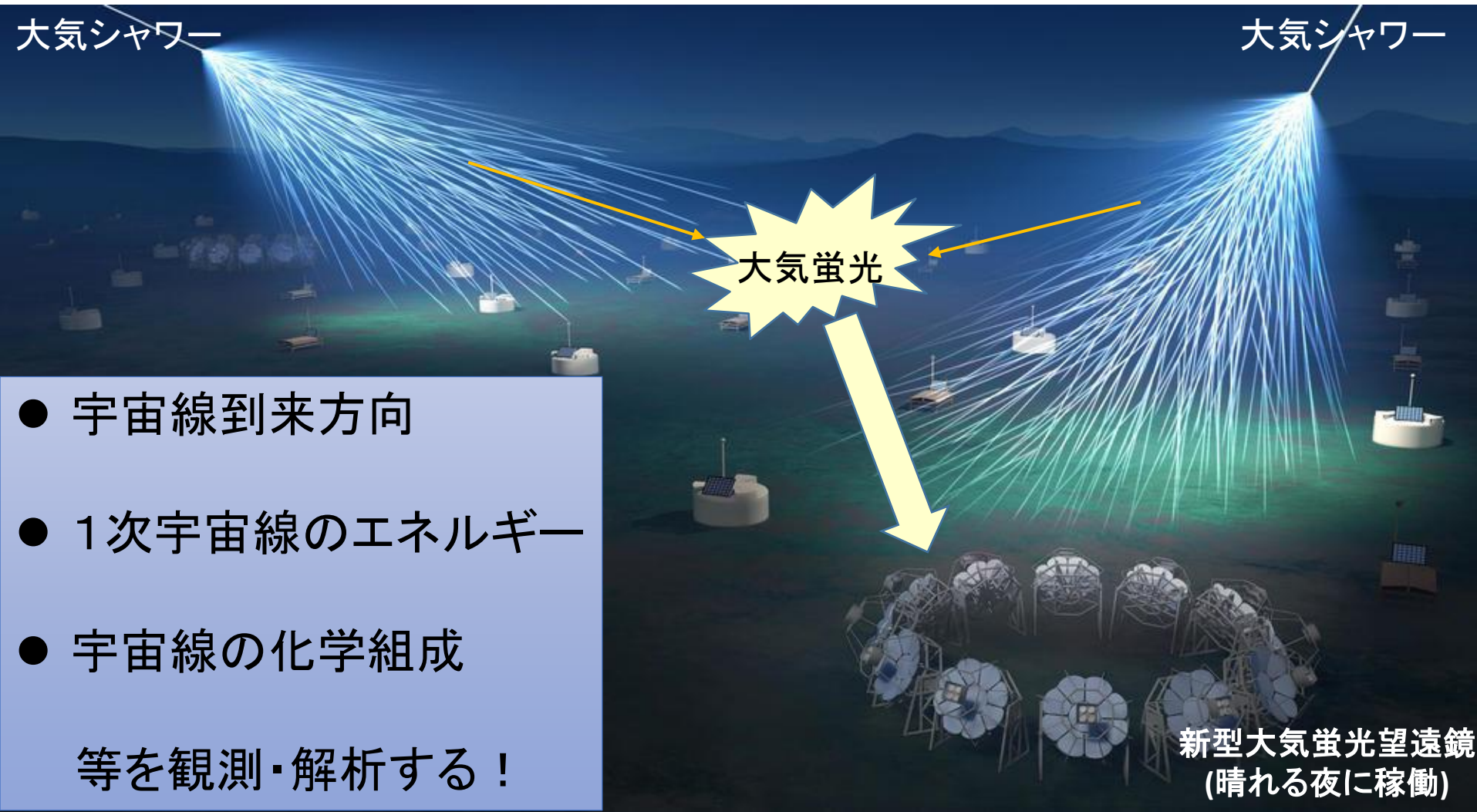
最高エネルギー宇宙線研究

- 加速器未到達領域で、標準モデルは成り立つのか？
- 最高エネルギー宇宙線による新物理、天文学を期待

問題点は？ 非常に少ない統計量を増やす必要がある

FAST実験

- 蛍光望遠鏡の低コスト化、最高エネルギー側での感度最適化をして、Auger(3000km^2), TA (700km^2)より広い範囲で一桁上の観測事象数を狙う



- 宇宙線到来方向
- 1次宇宙線のエネルギー
- 宇宙線の化学組成

等を観測・解析する！

新型大気蛍光望遠鏡
(晴れる夜に稼働)

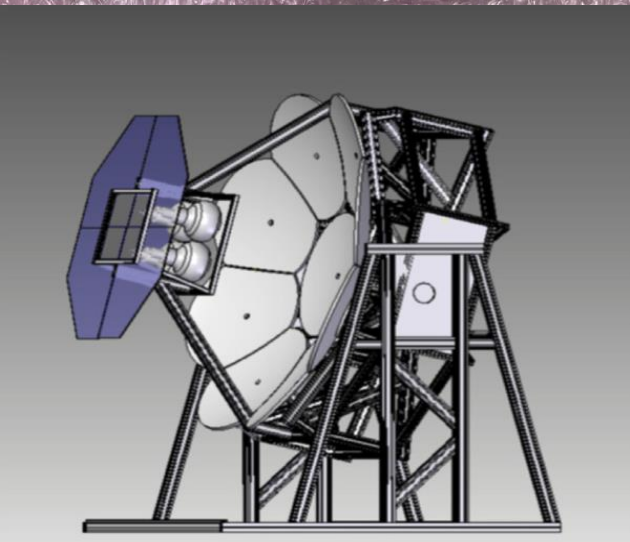
現在のFAST実験

FAST実験では、TAとAugerのサイトで大気蛍光望遠鏡を用いて1.加速器未到達領域での高エネルギー粒子物理学研究、2.最高エネルギー宇宙線起源の研究、3.観測機器の能力改良などをおこなっている。



今年、実験の新型蛍光望遠鏡
試作ボードが完成

改良を加えながら実験が可能



新型大気蛍光望遠鏡

- 低コスト化
- 感度向上

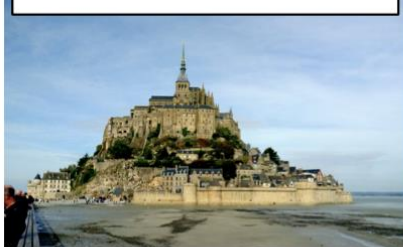
観測事象の数増加

観測事象を増やし、最高エネルギー宇宙線の謎に近づく

高エネルギーガンマ線グループまとめ

- ◆ 大気シャワーの再構成技術を使い
 - 高エネルギーガンマ線
 - 最高エネルギー宇宙線の観測と研究をおこなっている
- ◆ 次世代プロジェクトを主導し新たな宇宙物理の解明へ
海外出張のチャンスも多い
(今年はCOVID-19でキャンセル)

モン・サン・ミッシェル



赤の広場ロシア



バチカン市国



スペインの王宮



質問はいつも歓迎です！

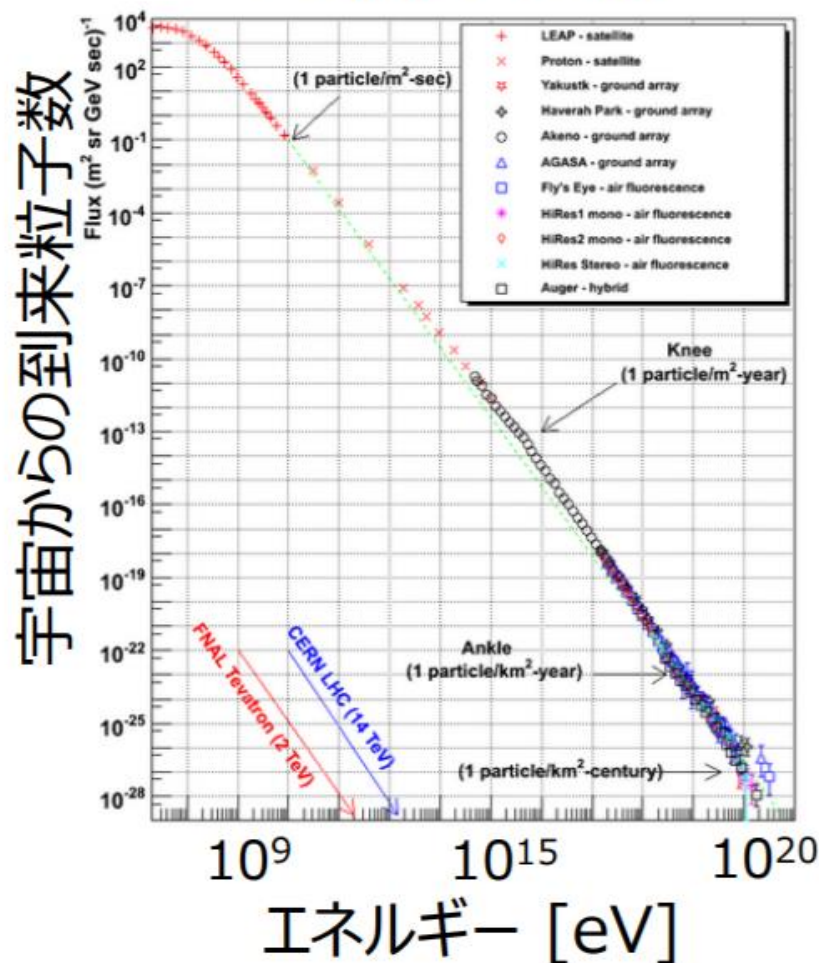


Backup

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

宇宙線スペクトル



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)



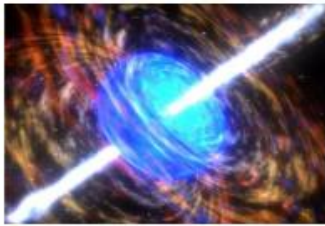
宇宙線から放射された高エネルギー
ガンマ線は曲げられずに地球に到来する

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

2. 高エネルギー天体の性質の解明

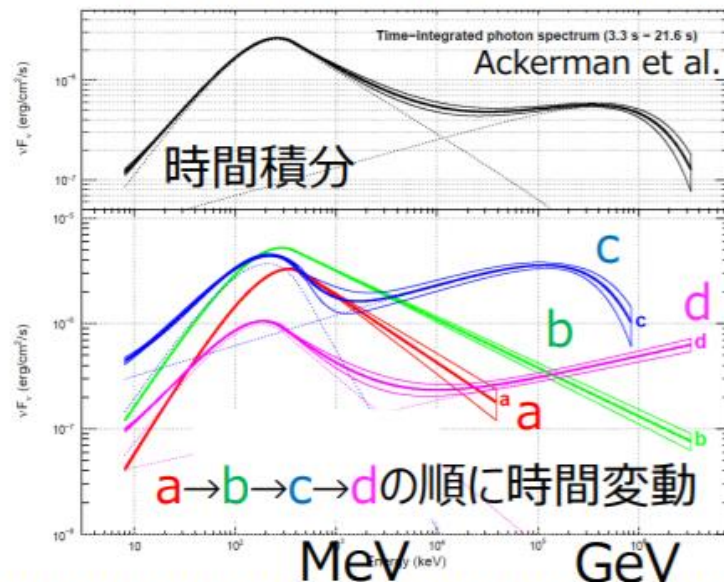
ガンマ線バースト (GRB)

宇宙最大の爆発現象
中心からは高速のジェットを放出



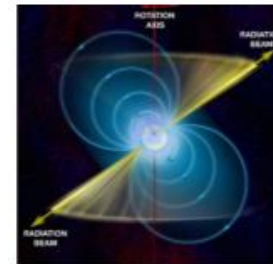
- ・中心駆動天体
- ・放射機構
- ・ジェットの形成機構
などが未解明

あるGRBのエネルギースペクトル



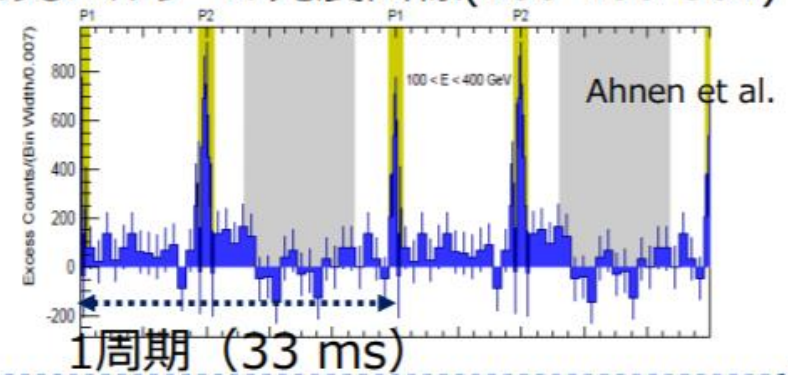
パルサー

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)

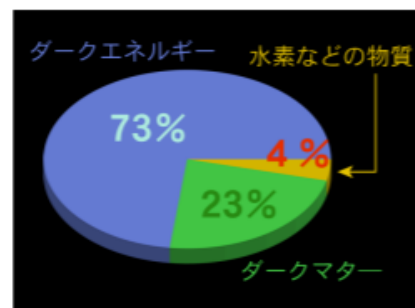


激しい高エネルギー天体現象の
謎に迫る

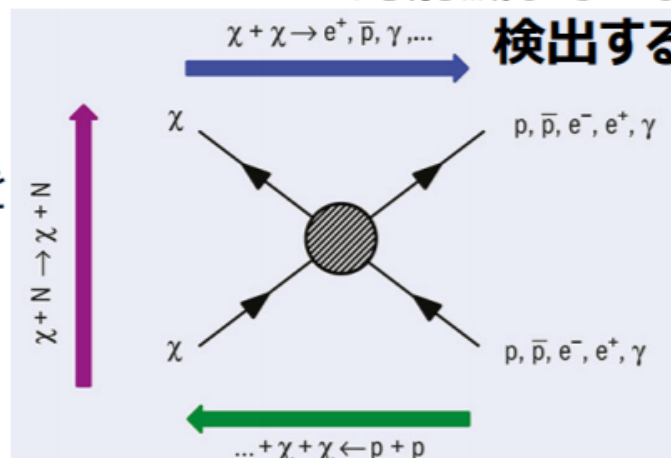
3. 暗黒物質の間接探索

- 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

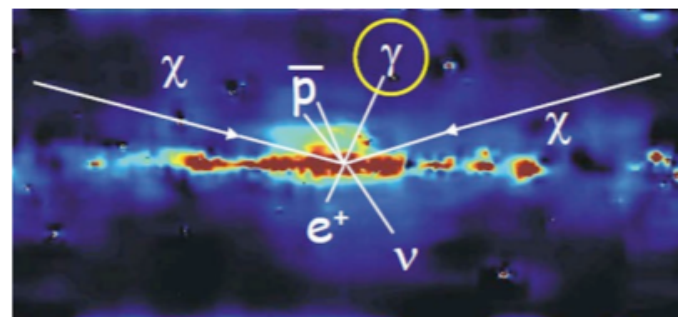


対消滅して生じたガンマ線などを
検出する間接探索



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



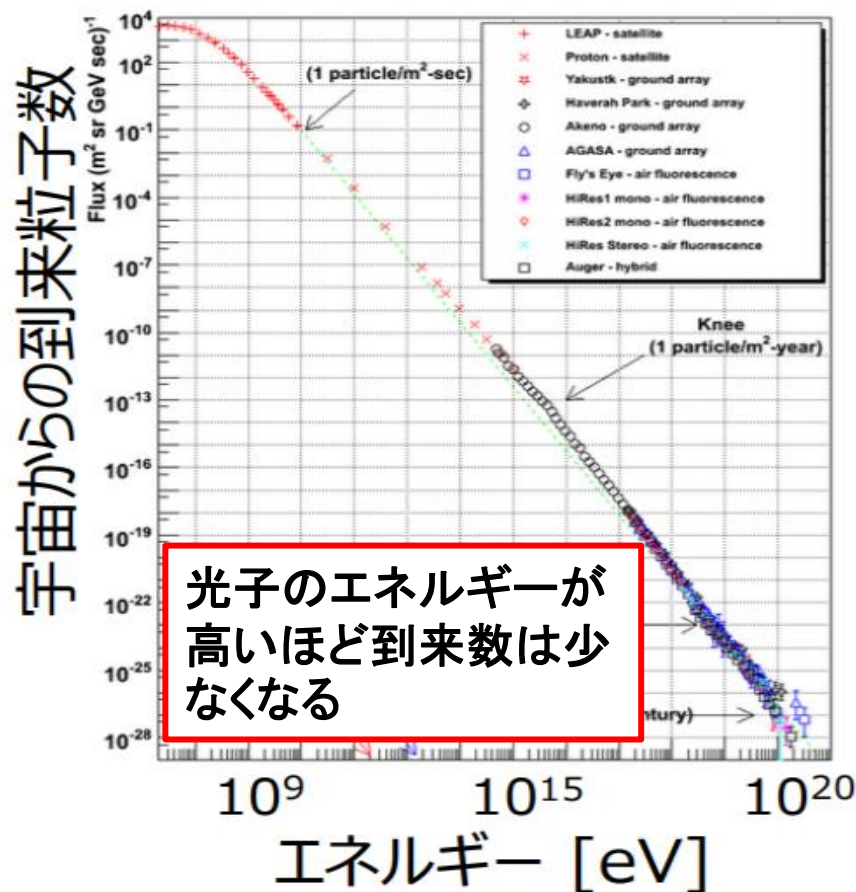
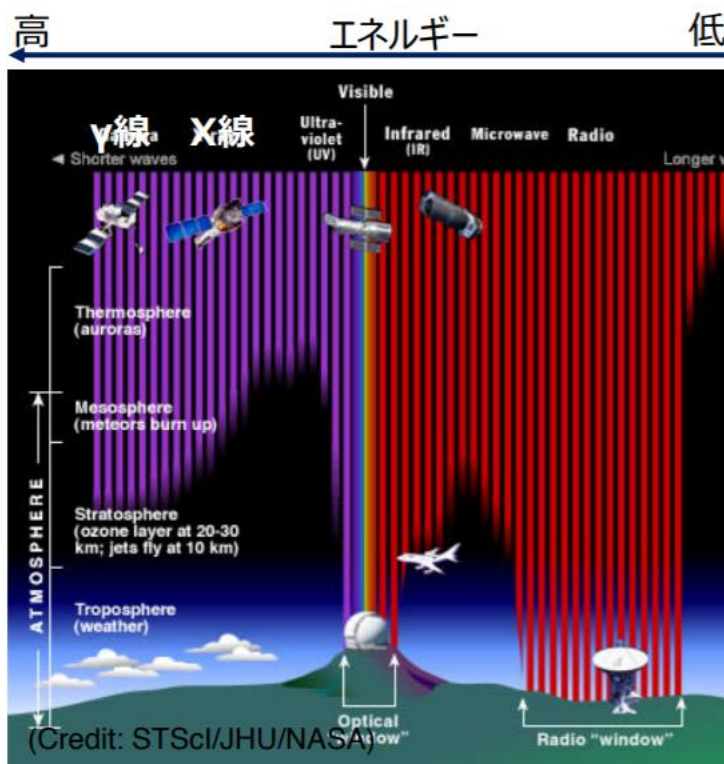
100 GeV-数10 TeVのガンマ線の
線スペクトルが存在するかが
大きなカギとなる

宇宙という“巨大実験場”を用いた基礎物理探求ができる

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



CTA大口徑望遠鏡の作動

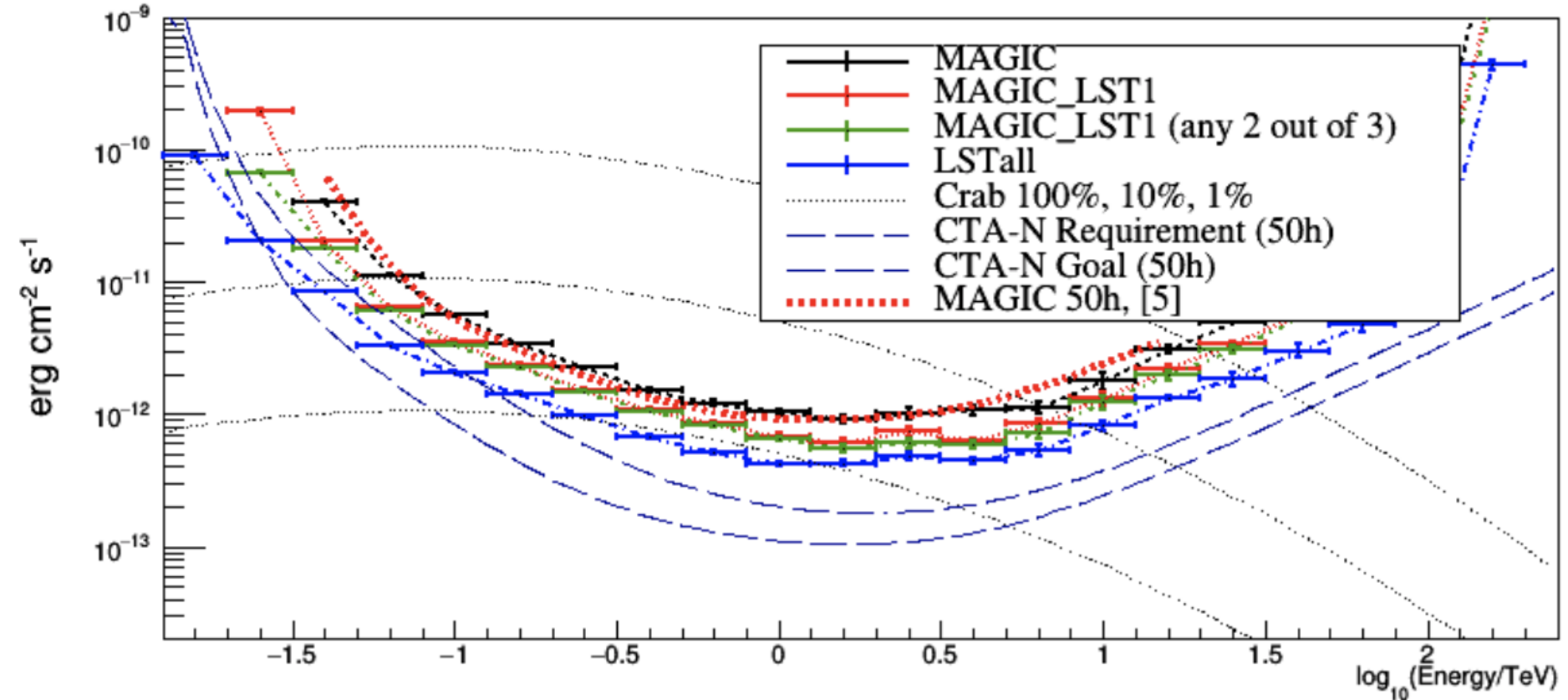


CTAでは最速20秒で 180° 回転可能 \Rightarrow 突発天体を捉える

4. CTA-LSTの感度

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

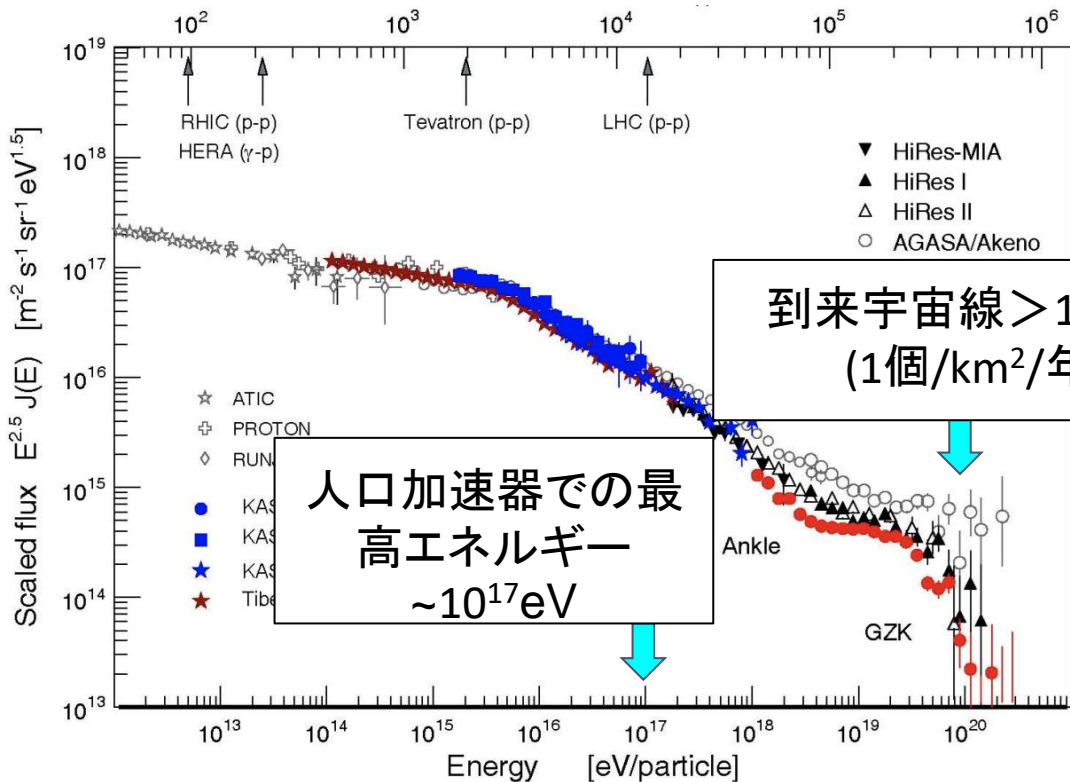
Differential Sensitivity



- ✓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

宇宙線エネルギースペクトル



活動銀河核？
ブラックホール？

ガンマ線バースト？

- 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

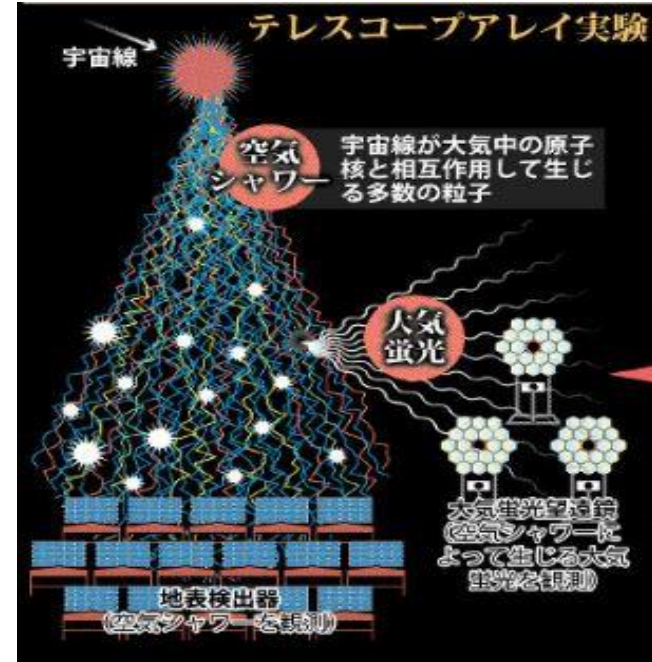
6. 最高エネルギー宇宙線観測



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



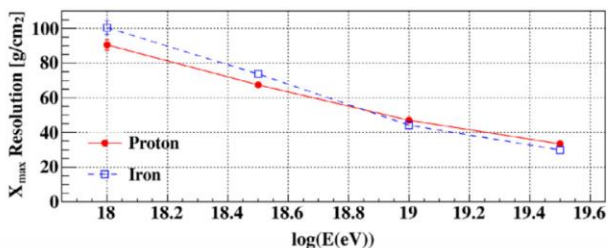
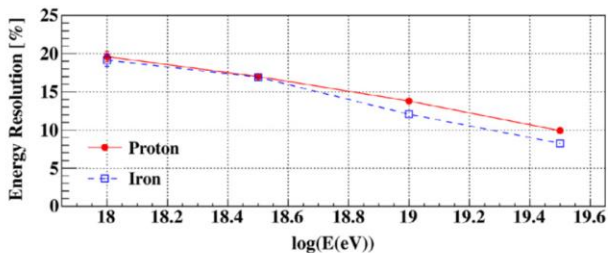
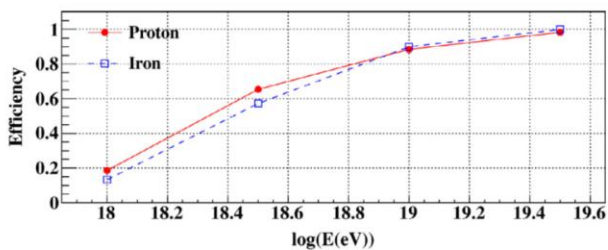
大気蛍光とは？

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

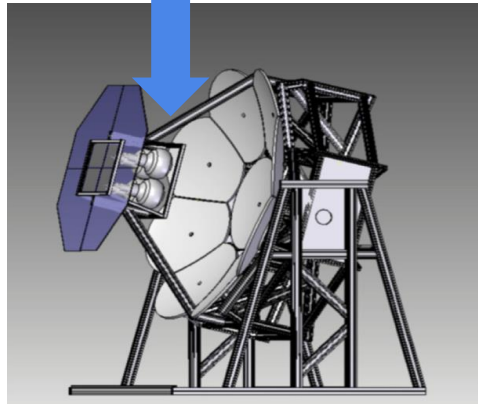


2種類の観測器を南半球(ピエールオージェ、アルゼンチン)と北半球(テレスコープアレイ、ユタ州)の2サイトで展開

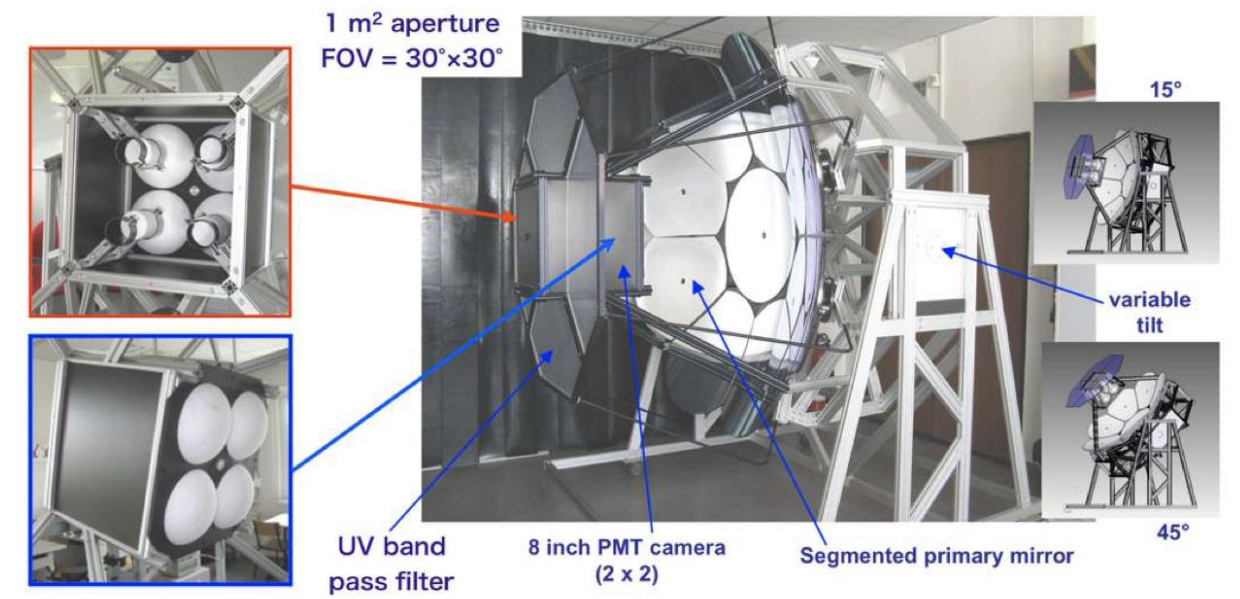
7. 新型大気蛍光望遠鏡



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



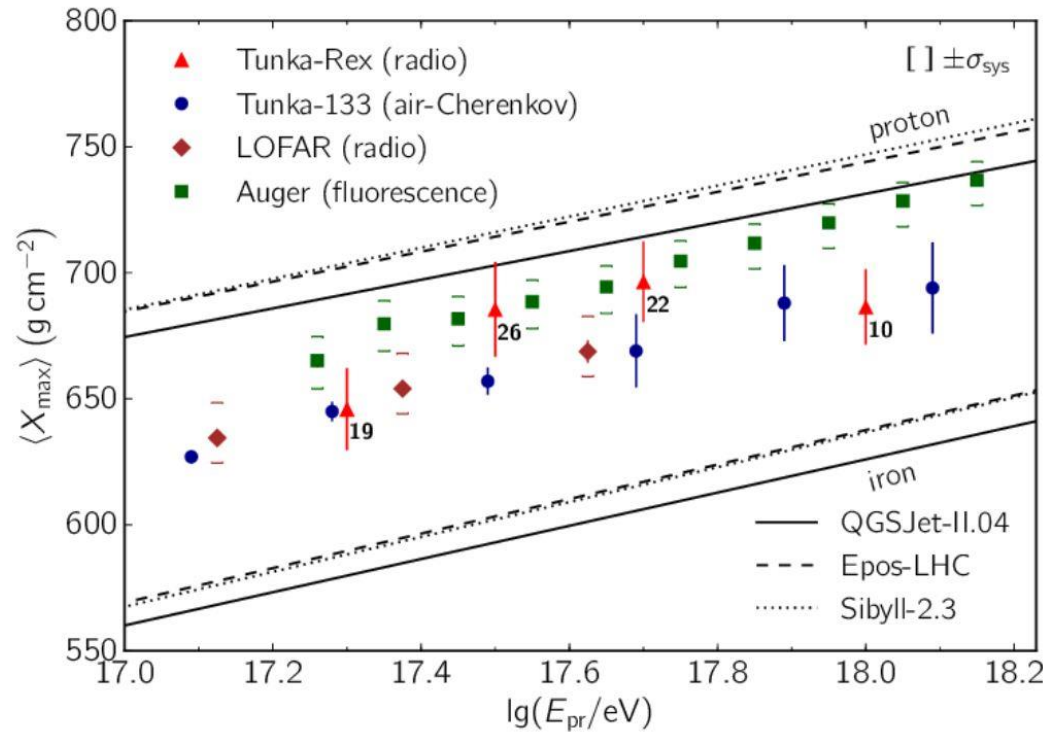
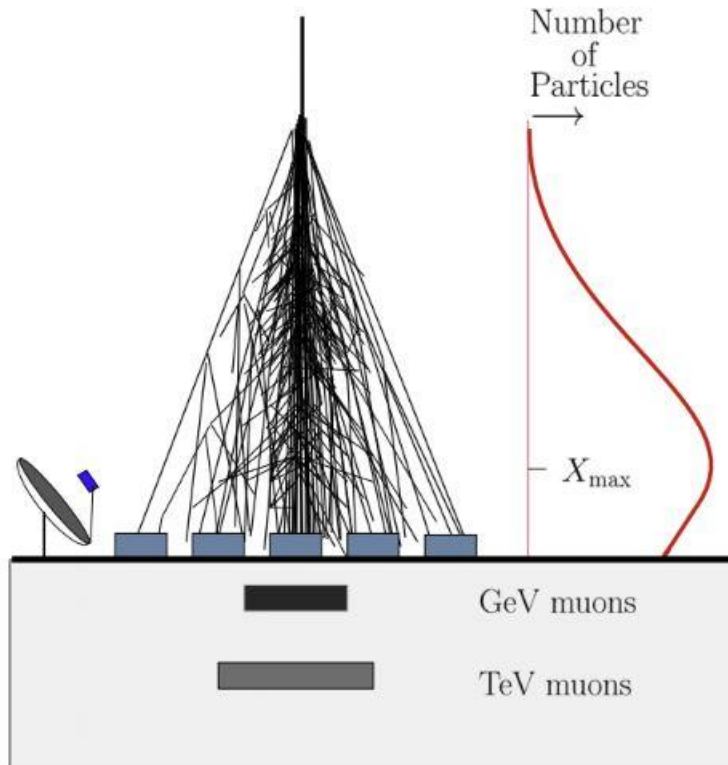
- ✓ より広い場所に多く設置するには低コスト化が必要
- ➡ 1.6m口径の小さい光学系と4本のPMTカメラで低コスト化

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