チェレンコフ宇宙ガンマ線グループ (CTA)

スペイン・カナリア諸島 ラパルマ島・ ロケ・デ・ロス・ムチャチョス天文台



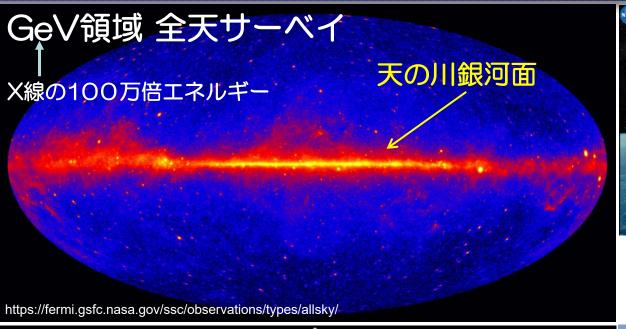
- 高エネルギー天体(ブラックホール天体など)の性質解明
- ●宇宙線の起源(宇宙の巨大加速器)の解明
- 標準理論を超えた物理探求(暗黒物質探索、量子重力理論)

教員8名(うち外国人4名), 研究員3(うち外国人2), 院生4(博士3, 修士1), 技術職員2, 秘書2

A8受入教員:窪秀利、吉越貴紀

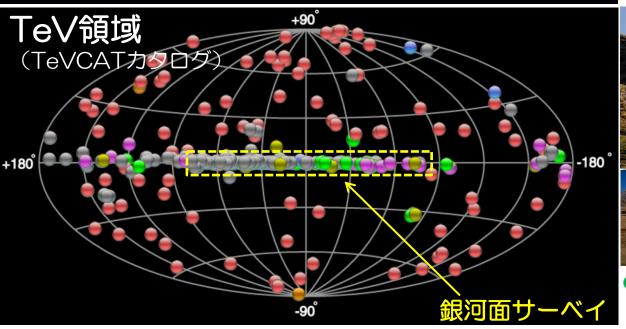
東京大学宇宙線研究所 大学院進学のための交流会 2024年6月1日

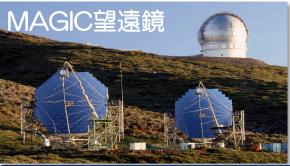
ガンマ線全天画像





- 銀河面からの広がった放射
- 7000個以上の天体検出





Tibet AS γ 実験

約300個の天体検出(赤: 巨大ブラックホール天体 など)

テーマ11高エネルギー天体の性質解明







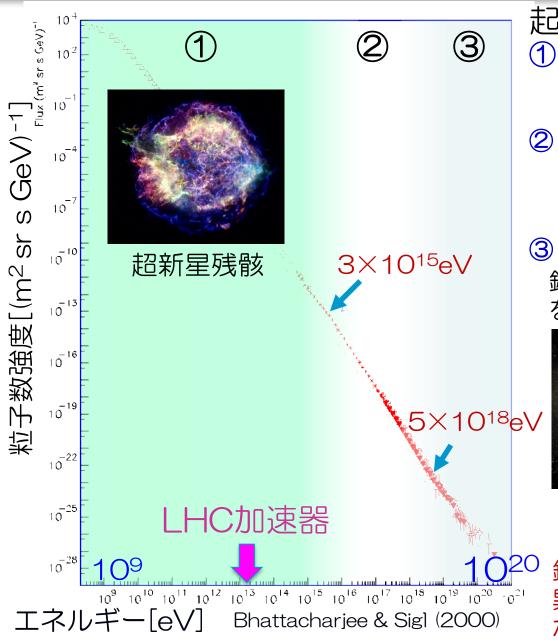






- 人工で作り出せない極限状態を高エネルギーガンマ線で観測し解明する
- GeV-TeV領域ガンマ線が検出⇒粒子がGeV-TeV領域(以上)まで加速 ガンマ線天体=宇宙の巨大粒子加速器⇒宇宙線起源の解明

②宇宙からの高エネルギー粒子(宇宙線)の起源解明



起源は100年来の謎

① E<10¹⁵⁻¹⁶ eV

天の川銀河内超新星残骸など

- 2 10¹⁵⁻¹⁶ < E < 10¹⁸⁻¹⁹ eV
 - ➤ 天の川銀河内?外?
 - ▶ 大規模構造?
- $3E > 10^{18-19} eV$

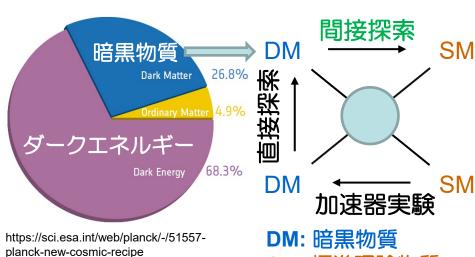
銀河系内閉じ込めできるエネルギー を越えている⇒天の川銀河外起源



銀河磁場で曲げられてしまう粒子と 異なり、ガンマ線の到来方向に起源 がある。

③標準理論を超えた物理探求

(A)暗黒物質探索



Axion like particle(ALP)の探索



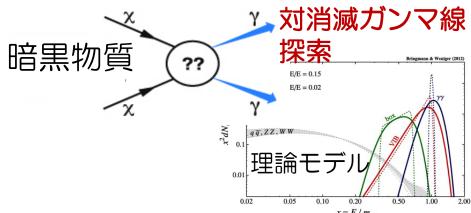
(Image credit: Aurore Simonnet/Sonoma State University/NASA/NOAA/GSFC/Suomi NPP/VIIRS/Norman Kuring)

光子が地球へ 飛来する間 に、 ALP ←→ 光子 変換 → パクラン の変化から ALP探索。

SM: 標準理論物質

ガンマ線観測による間接探索法

超対称性理論で予言されるWIMP粒子の場合



B)ローレンツ不変性検証

量子重力理論によると 非常に高いエネルギーでは、真空中の 光速が波長に依存する可能性がある。

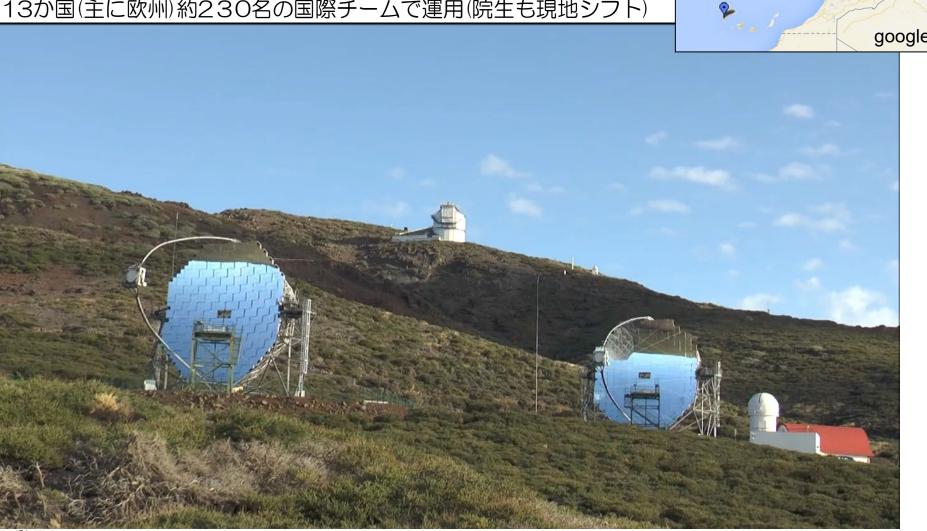
光の伝搬時間のずれが大きく ガンマ線エネルギー 高いほど 天体までの距離 遠いほど

遠方天体からのガンマ線到来時間差 を測定し検証

大気チェレンコフ望遠鏡 MAGIC

口径17m 2台@高度2200m ORM天文台(10以上の観測施設)

- > 50 GeV-50 TeV γ線観測
- 約40名の日本グループ(東大、京大、東海大、名大他)を含む 13か国(主に欧州)約230名の国際チームで運用(院生も現地シフト)



スペイン領

ラパルマ島

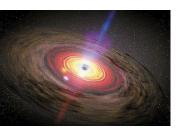
カナリア諸島

動画 <u>http://magic.scphys.kyoto-u.ac.jp/video/20170101-magicbreve.mp4</u>

重要な発見①活動銀河核ブラックホール極冠からのガンマ線放射

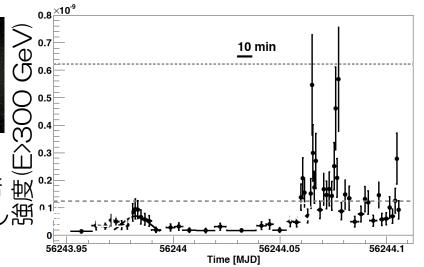
- 活動銀河核 IC310(2.6億光年先)
- E>300 GeVで、強度変動く5分を検出

MAGIC collaboration, Science誌, 346 (2014) 1080



NASA / Dana Berry, SkyWorks Digital

太陽質量3億倍 桝ブラックホール網



磁力線 ② は。3 ・・・3 ・・・3 ・・・3 降着円盤 ブラックホール

⇒ガンマ線放射が ブラックホールサイズ (太陽地球間距離の3倍) より狭い領域で起こっている ことを発見。

粒子加速 • 放射機構

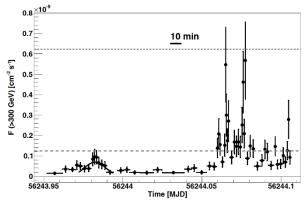
- ①ブラックホールの回転
- ②ブラックホール極冠で 電位差が発生
- ③降着円盤からの光子 から生成された 電子・陽電子が加速
- ④ガンマ線放射

重要な発見①活動銀河核ブラックホール極冠からのガンマ線放射

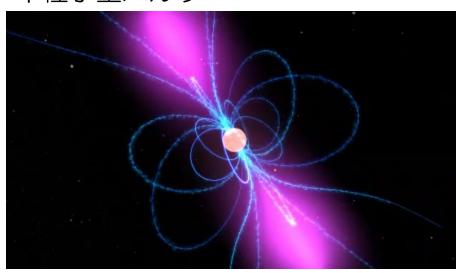
- 活動銀河核 IC310(2.6億光年先)
- E>300 GeVで、強度変動く5分を検出



NASA / Dana Berry, SkyWorks Digital



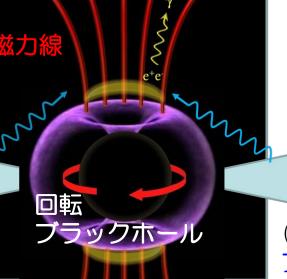
中性子星パルサー



動画

https://fermi.gsfc.nasa.gov/science/eteu/pulsars/

https://fermi.gsfc.nasa.gov/science/eteu/pulsars/a010205_pulsar 720p.mp4



降着円盤

(今後)

ブラックホール物理・ジェット形成の解明へ

重要な発見②宇宙ニュートリノとガンマ線観測による ニュートリノ源天体同定に史上初成功

IceCube, Fermi, MAGIC+, 2018年, Science 誌掲載 2017年9月22日 この発見以前、我々の銀河系外の天体で、ニュートリノが 検出されたのは、SN1987Aだけであった。 50% IceCube 90% 約38億光年先 巨大ブラックホール を持つ活動銀河核 ガンマ線検出有意度 MAGIC ガンマ線 ニュートリノ 約0.3 PeV (=3×10¹⁴ eV) ©IceCube Collaboration 南極 IceCube

重要な発見②宇宙ニュートリノとガンマ線観測による ニュートリノ源天体同定に史上初成功

約38億光年先 巨大ブラックホール を持つ活動銀河核

π中間子生成

光子

μο

IceCube, Fermi, MAGIC+, 2018年, Science誌掲載

ガンマ線検出有意度

MAGIC

ガンマ線

相対論的ジェットで加速された高エネルギー陽子

ニュートリノ 約0.3 PeV (=3×10¹⁴ eV)

- ◆ 活動銀河核は超高エネルギー宇宙線 の起源(の一つ)
- ◆ 観測2例のみで今後増やす必要あり。
- ◆ ガンマ線観測は、マルチメッセンジャー天文学

南極 IceCube

©IceCube Collaboration

(ニュートリノ、重力波、電磁波、粒子線)の大きな柱の一つ

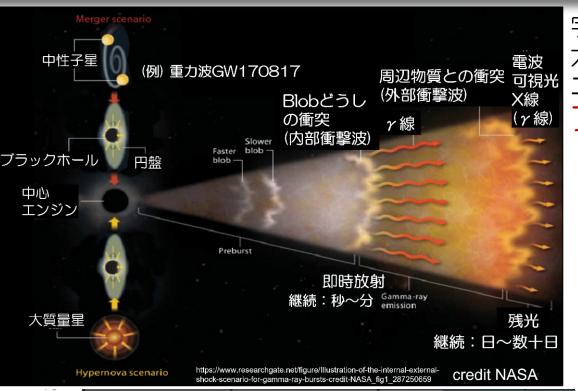
重要な発見③ガンマ線バーストからのTeVガンマ線検出に 史上初成功

我々の

未検出

発見以前は

10¹² TeV



Fermi衛星

GeV

 10^{9}

Energy (eV)

 10^{-7}

 10^{-8}

 10^{-9}

 10^{-10}

 10^{3}

シンクロトロン放射

MeV

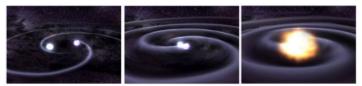
106

 $^{-}$ lux (erg cm $^{-2}$ s $^{-1}$)

宇宙最大の爆発現象 太陽の一生の間に放出する エネルギー(以上)を~秒で放出 ブラックホール誕生の瞬間

起源候補:

①中性子連星合体⇒重力波源



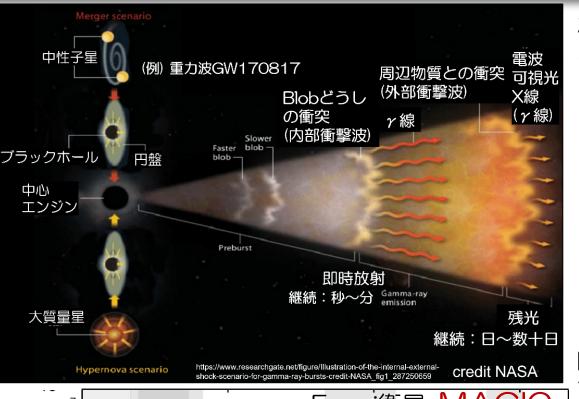
http://www.ligo.org/science/Publication-S6CBCLowMass/

②極超新星爆発

X線・ガンマ線放射スペクトル

高エネルギー側(GeV以上)のスペクトルに、別の成分があるかも(起源は?)

重要な発見③ガンマ線バーストからのTeVガンマ線検出に 史上初成功



Fermi衛星 10^{-7} -lux (erg cm⁻² 10^{-8} 逆二 111 放射 10^{-9} シンクロトロン放射 MeV GeV 10^{-10} 10^{9} 10^{12} 10^{3} 10^{6} TeV Energy (eV)

2019年1月14日発生 GRB 190114C(45億光年先)



MAGICは、バースト発生アラート 受信後27秒で追尾開始。

宇宙線研研究員が、 ラパルマ島現地で観測当番中に起こった!

MAGICで観測したTeV領域ガンマ線は、→GRB普遍的に存在。

現在5つしかないGRBの検出数を 増やし⇒爆発機構・中心エンジン の解明へ

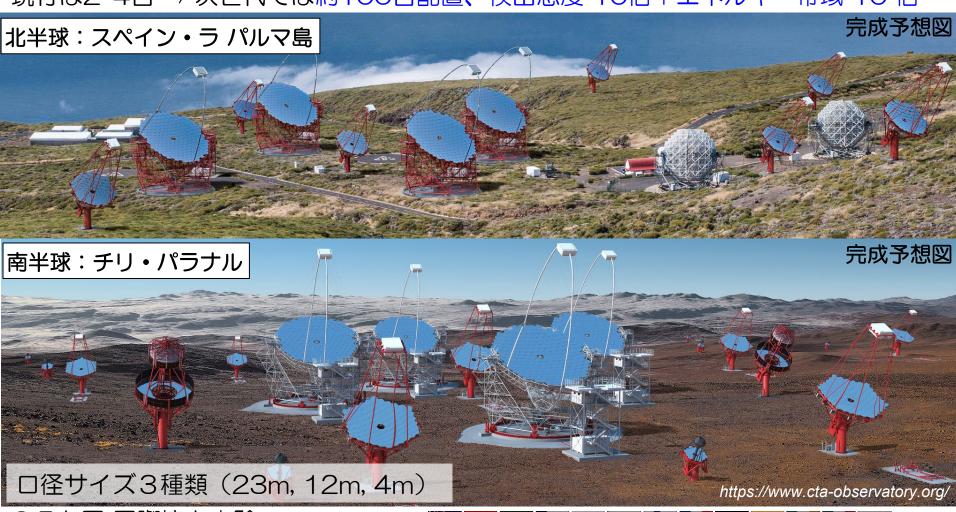
γ線到来時間のエネルギー依存性⇒ローレンツ不変性検証

Nature誌(2019年)掲載 2編ICRR院生博士論文

次世代のTeVガンマ線天文台計画CTA



現行は2-4台 ⇒ 次世代では約100台配置、検出感度 10倍+エネルギー帯域 10 倍





- 数千個の天体の検出期待 (現行 84億光年先⇒123億光年先)
- 暗黒物質対消滅γ線探索、アクシオン様粒子探索、ローレンツ不変性検証など

CTA大口径望遠鏡(LST)の国際チーム





CTA大口径望遠鏡(LST)初号機@スペイン・ラパルマ島



口径 23 m 大口径望遠鏡

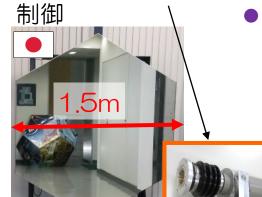
日本グループ 鏡・カメラ 開発の中心的役割

- 20 GeV-20 TeV (CTA口径3種類の望遠鏡で 最も低いエネルギー閾値 ⇒最も遠くまで観測可)
- 高速回転20秒/180度 突発天体を捉える

分割鏡 ~200枚

鏡

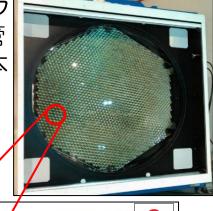
● アクチュエーター

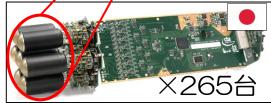


主焦点カメラ

• 光電子増倍管 ~2千本

● 超高速波形 記録回路





CTA望遠鏡の建設@スペイン・カナリア諸島ラパルマ島





LST 2-4号基@ラパルマ島 建設状況(先月)





日本グループ製作の分割鏡とカメラは完成し、現地に輸送済 2-4号基 同時建設中⇒今年度 鏡取付開始⇒来年度 カメラ取付開始⇒来年度末 2-4号基完成

CTA大口径望遠鏡(LST) 一院生の活躍

大学院生が第一線で活躍



観測データ解析

学位論文•投稿論文

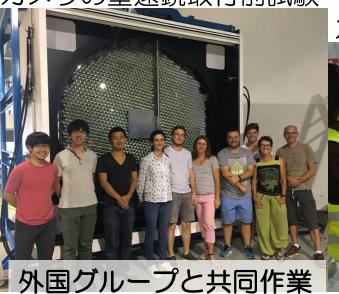
活動銀河核(BL Lac)

20 GeV LSTで初検出

強度変動

公開版ファイルでは図を削除

カメラの望遠鏡取付前試験



カメラの望遠鏡取付直後



新種のガンマ線天体



再帰新星

白色矮星

公開版ファイルでは 図を削除

CTA南サイト@チリ・パラナル



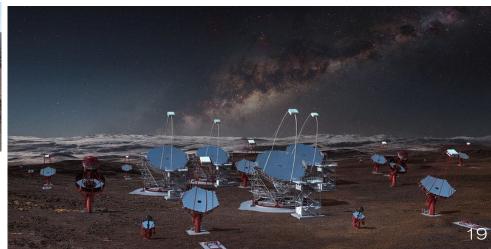




2029年に 全望遠鏡(70台) 完成予定

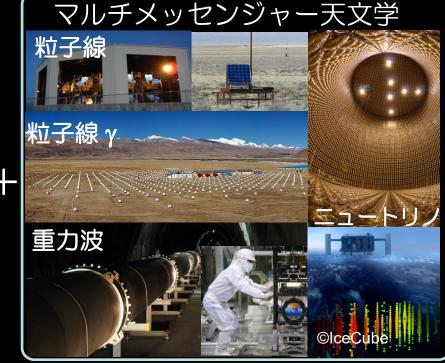


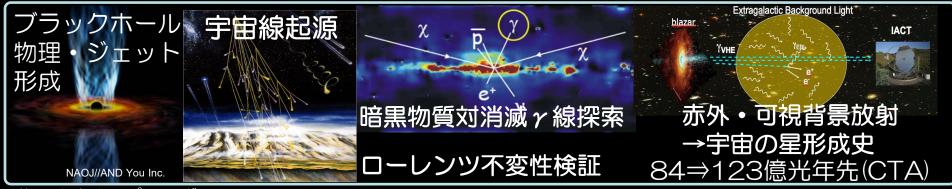










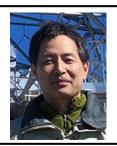


連絡先

東京大学宇宙線研究所 チェレンコフ宇宙ガンマ線グループ (CTA)

https://www.icrr.u-tokyo.ac.jp/~cta/index.html

A8受入教員



教授 窪 秀利 kubo@icrr.u-tokyo.ac.jp https://www.icrr.u-tokyo.ac.jp/~kubo/



准教授 吉越 貴紀
tyoshiko@icrr.u-tokyo.ac.jp
https://www.icrr.u-tokyo.ac.jp/~tyoshiko/

CTA国際グループ CTA日本グループ MAGIC国際グループ MAGIC日本グループ https://www.cta-observatory.org/ http://www.cta-observatory.jp/ https://magic.mpp.mpg.de/ http://magic.scphys.kyoto-u.ac.jp/

