

CTA 大口径望遠鏡アレイによる極限宇宙の研究

Study of the Extreme Universe with the CTA Large Size
Telescopes

課題番号：17H06131

手嶋 政廣 (TESHIMA, MASAHIRO)

東京大学・宇宙線研究所・教授



研究の概要（4行以内）

高エネルギーガンマ線による極限宇宙の研究、特に、ガンマ線バースト、遠方活動銀河核、暗黒物質探索の研究を飛躍的に発展させる。CTA 大口径望遠鏡をスペイン・ラパルマに建設すると同時に、既に稼働中の MAGIC 望遠鏡と連動し、20GeV-10TeV 領域で世界最高感度を達成し、CTA の初期サイエンスを推進する。

研究分野：高エネルギー宇宙物理学、宇宙線物理学

キーワード：ガンマ線、宇宙線、ブラックホール、暗黒物質

1. 研究開始当初の背景

高エネルギーガンマ線による宇宙の研究は、過去20年にわたり、現在稼働中のチェレンコフ望遠鏡により大きく進展してきた。さらに、次世代の世界で唯一となる高性能チェレンコフ望遠鏡CTAにより飛躍的な発展が期待される。我々日本グループは、CTA北サイトであるスペイン・ラパルマに、23m口径チェレンコフ望遠鏡(CTA大口径望遠鏡)4基を特別推進研究、概算要求施設整備費で建設を進めている。

2. 研究の目的

地上ガンマ線望遠鏡でのガンマ線バーストの高統計観測。超大質量ブラックホール周辺での高エネルギー現象の解明。銀河中心領域、矮小銀河に暗黒物質の探索。

3. 研究の方法

本研究計画では、建設中のCTA大口径チェレンコフ望遠鏡(20GeV-10TeV)、MAGIC望遠鏡(50GeV-10TeV)、さらにFermiガンマ線衛星(100MeV-100GeV)を使い、5桁にわたる広帯域(100MeV-10TeV)で、銀河系内外の多くの極限的な天体を観測し、宇宙線加速、ガンマ線放射の現場を今までに無い精度で捉え、宇宙線起源のグローバルピクチャーを得る。現在、日本グループは、CTA 23m大口径チェレンコフ望遠鏡4基を欧州グループと共同で建設中であり、順次稼

働を開始する。この大口径望遠鏡アレイは高エネルギーガンマ線による観測領域を宇宙初期($z < 4$)まで拡げ、活動銀河核(巨大ブラックホール)、ガンマ線バースト(宇宙で一番明るい電磁波爆発)等のより多くの高エネルギー天体を広いエネルギー帯域で観測し、これら天体でおこる高エネルギー物理過程を解明する。また、今までにない最高感度で暗黒物質探索を行う。

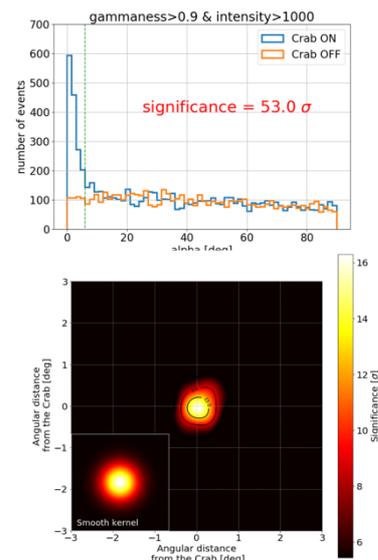


図1 LST1によるカニ星雲のモノ観測。Alpha分布とSkymap。2時間弱の観測で53 σ の統計的有意度で観測された。

建設中の 23m 口径 CTA 大口径望遠鏡、および既に存在する MAGIC 望遠鏡を利用し、大口径望遠鏡アレイとして運用し、20GeV から 10TeV 領域で、ガンマ線バースト、活動銀河核の観測を行う。望遠鏡の高感度化、低エネルギー閾値により、高エネルギーガンマ線による観測を宇宙初期 $z < 4$ まで延ばし、高エネルギーガンマ線天文学を飛躍的に進める。

4. これまでの成果

2019年11月にLST1により、初めてカニ星雲のモノ観測をおこない、2時間弱の観測で統計的有意度 53 シグマでカニ星雲からのガンマ線を観測した。ガンマ線の頻度はおよそ0.5Hzで、ガンマ線に対するエネルギー閾値としてはおよそ50GeVであり、1台の望遠鏡でも50GeV以上積分感度として10-20mCrabの感度を達成している。これらの結果は、望遠鏡が設計値をほぼ満たしており、多くのパラメーターが設計値を満たしていることがわかる。さらに、ステレオ化により、エネルギー閾値の低減化、さらなる感度の向上が期待できる。

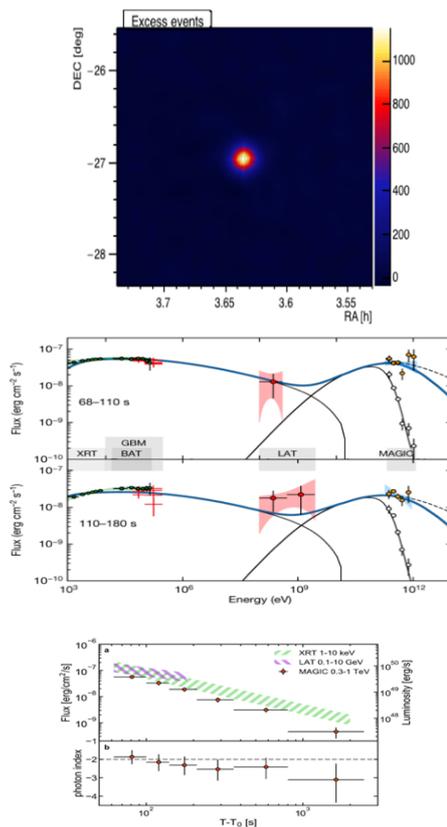


図2 MAGICによるガンマ線バーストGRB190114Cの地上望遠鏡による初観測。上図: Skymap。中央: エネルギースペクトル分布。Open, Closed Circlesは、それぞれ観測値、EBL吸収補正を行ったフラックス。下図: 光度曲線とスペクトルインデックス。

MAGIC望遠鏡によるガンマ線バーストGRB190114Cの初観測により、多くの知見を得ることができた。EBL吸収補正を行ったエネルギースペクトルは1TeVまで伸びており、シンクロトロン放射ではこのエネルギー帯の放射は説明できない。逆コンプトン成分と思える新しい成分が必要となる。また、光度曲線は、X線の光度曲線と並行でベキ関数で減衰する。TeV領域では10KeV領域とほぼ同等のエネルギーが放出されていることがわかる。この観測は、ガンマ線バーストの新しい時代を切り開く、極めて重要な観測結果といえる。

5. 今後の計画

CTA大口径望遠鏡2-4号基の建設を進める。また、大口径望遠鏡1号基とMAGIC望遠鏡2台との連動し、世界最高感度で北半球にて、ガンマ線バースト、活動銀河核、暗黒物質の研究をすすめる。特にガンマ線バースト観測は、大口径望遠鏡では、MAGICの10倍以上の観測効率となり、その結果が大いに期待される。また、銀河中心領域を高効率の大天頂角法を用い観測し、ホットビッグバン宇宙論から期待されるWIMPsの対消滅の衝突断面積に迫る感度で暗黒物質探索をすすめる。

6. これまでの発表論文等 (受賞等も含む)

Observation of inverse Compton emission from a long γ -ray burst, MAGIC Collaboration (V.A. Acciari, [H.Kubo](#), K.Noda, [M.Teshima](#) et al.), Nature 575 (2019) no.7783, 459-463.

Teraelectronvolt emission from the γ -ray burst GRB 190114C, MAGIC Collaboration (V.A. Acciari, [H.Kubo](#), K.Noda, [M.Teshima](#) et al.), Nature 575 (2019) no.7783, 455-458,

Multimessenger observations of a flaring blazar coincident with high-energy neutrino, IceCube-170922A, IceCube and Fermi-LAT and MAGIC,, Collaborations (M.G. Aartsen, [H.Kubo](#), K.Noda, [M.Teshima](#) et al.), Science 361 (2018) no.6398, eaat1378,

Science with the Cherenkov Telescope Array, CTA Consortium (B.S. Acharya, K.Ioka, [H.Kubo](#), [M.Teshima](#), K.Noda, [T.Yamamoto](#) et al.), World Scientific, DOI: 10.3204/PUBDB-2020-00341, 10.1142/10986.

21st Century Technology Award 2019, Madrid, February 2019, [M.Teshima](#), M.Martinez and R.G.Lopez.

7. ホームページ等

<http://www.cta-observatory.jp/>
<http://www.icrr.u-tokyo.ac.jp/~cta/index.html>
<http://magic.scphys.kyoto-u.ac.jp/>