

MAGIC・CTA実験による γ線追尾観測の展望

野田浩司(東大宇宙線研)



2021年9月17日 物理学会(オンライン)シンポジウム

「ニュートリノ・重力波時代のマルチメッセンジャー天文学の展望」



大気チェレンコフ望遠鏡(



cherenkov telescope array



Credit: https://www.cta-observatory.org/about/how-cta-works/



MAGIC · CTA LST (ta

- MAGIC望遠鏡
 - 17m口径2台、視野3.5度、1039画素(0.1度)
 - 2004年から1台、2009年から2台観測開始
 2012年カメラアップグレード、2013年から
 ほぼ現在と同じ感度で観測中



• Cherenkov Telescope Array (CTA) 大口径望遠鏡 (LST)



- CTA実験の一部(詳細は14日の講演参照)
- 23m口径、視野4.5度、1855画素(0.1度)
- 北半球サイト: 2018年1号基完成、観測中
 2024年にLST4台完成、アレイ観測開始予定
 The MAGIC Collaboration

• 共にスペイン・カナリア諸島ラパルマ島 同じ天体を追尾可能^{yjj}

cherenkov telescope arrav

MAGIC特長 → LST改善点(Cta cherenkov telescope arrav

x Flux Sensitivity (erg cm⁻² s⁻¹)

Я

- エネルギー閾値: 30-50 GeV (MAGIC) \rightarrow 20 GeV (LST) 宇宙赤外放射の吸収が減り より遠くの天体が観測可
- 感度: <0.7% Crab @ 220 GeV in 50 h → 1桁改善
- E分解能: 15% → <10%@TeV 角度分解能: 0.06度 → 0.05度 @TeV
- 重量: 70 t → 100 t 高速回転: 7度/秒 → 9度/秒(180度/20秒) GRBなどの突発天体を発生1分以内に観測開始

両方とも設計時から(遠方の)突発天体を重要視





- 専用のアラート受信、フィルタ、観測開始・制御システムが必要 MAGIC: Automatic Alert System (AAS)、LST: Transient Handler
- MAGIC AAS開発者がLST THにも主体的に貢献。既に運用中





ニュートリノ追尾観測



- Gamma Follow Up (GFU) : 数秒~180日間で来た複数事象 (multiplet)、ガンマ線点源(TeVCat、Fermiカタログ)と相関 && z<1 && 変動 && IACTごとの観測可能性と外挿flux > 100GeV
- 2012~(MAGIC & VERITAS) · 2019~(HESS)。<u>MAGICでは</u> 現在までに10天体以上観測。メールでのprivate alertをTarget of Opportunityで通常観測。詳細はK. Satalecka+, PoS(ICRC2021)960



- HESE/EHE:単一(singlet)、2015~、相関条件なし、公開
 - MAGICでは2015年以前のHESEとTrack 3事象を2016年初頭に観測
 - その後<u>GCN/AMONの自動受信・観測システム</u>を整備(GRB同様)
 2016年後半からonline alertを継続的に観測(6事象/3年)
- GOLD/BRONZE: 2019年HESE/EHEを再編、信号確率だけで分類
- <u>2年弱で10事象を観測</u>。Bronzeは南極で上向きが多い=北半球が有利





TXS 0506+056



- Online alert EHE 170922A (Singlet、290 TeV、~1 deg error)の方向
 0.1 degにあるブレーザーTXS 0506+056が可視、Fermi/LATで増光
 - MAGIC:直後は悪天候、数日後にToO観測 → >100GeV γ線検出
 - 詳細は2018年春の学会@理科大のシンポ(Bernardini / Foffano)
- しかし、、、この天体のv放射は単純なモデルで説明できない。同様の ガンマ線フレア検出はまだ1例。このようなv放射を足し上げても IceCubeのv全ては説明できなさそう <u>まだあまりはっきりしない</u>

cherenkov

telescope arrav



Non-blazar v?

- IceCube点源探索:2015年まで7年のデータ γ線源リスト中で最高の有意度はブレーザー
 1ES1959+650、それでもBG確率54%
- 10年データで<u>γ線源に依らない</u>探索
 2.9σのhotspotから0.35 degにNGC 1068
 - **TeV未検出**(2,3番目はTeV検出済)の 近傍Sayfert2銀河。LATでは検出済
 - MAGICはGFUではないプロポーザルで <u>2016~2019年まで計125時間観測</u> AGN wind モデルを強く制限(?)
 既知TeVγ線源かどうかにかかわらず 手広く観測した方がよさそう



cherenkov









- GOLD/BRONZE(singlet)を継続「>11事象/年が宇宙から」
 MAGIC 5事象/年(実績)、LSTでも~2ヶ月ごとの観測が期待
- γ線源追尾:multiplet GFUをLSTでも
 - MAGIC実績~2/年 → LST用にリスト改変
 <~100GeV、より遠方、アラート数増
 - private alert、<u>IceCubeとのMoU</u>(進行中)
- TeV γ線にバイアスしない観測がより重要
 - non-blazar AGNをより重視(上記リスト改変)
 - その他:近傍超新星(進行中)、中性子星連星(重力波&GRBでカバー)
- NEW (2020.8~) カスケード事象アラート:~8事象/年、エラー大(3-30 deg、typ. 10 deg) ソース選定かタイル観測が必要 → 重力波観測と共通







重力波追尾観測

13



GW追尾TeVy線観測 (ta

Elux density [µJy] 10⁻¹ 10⁻²

10

- No TeVγ from BBH/BHNS/BNS ?
- BNS: GRB170817A/GW170817は未検出 (HESS & MAGIC)、ただし>5時間後
- Short GRB 160821B @ z=0.16
 24秒後からMAGICで観測、悪条件ながら 検出兆候(3.1 sigma) >0.5 TeV
 - 2019年にキロノバ報告
 BNS/GRBからTeVガンマ線?
 - 詳細モデル、SSCのTeV放射は 1桁下。External Compton?
- BNSはTeVガンマ線でもhot topic



cherenkov

telescope array



MAGIC GW追尾観測 (た)

- 2014年から追尾プログラムに参加
 - 01 : <u>GW151226</u>
 - O2:GW170817(解析中)
- アラート受信まではGRBやvと同じ しかしGWアラートはエラーが大



• 「面白い天体/方向」の選定が必要

- MAGICでは電話番シフトでO3に対応
 2事象を観測(解析中)
- 半自動ツールが必要?
- あるいは、タイル観測 →



cherenkov telescope arrav



- 発生 2015-12-26 03:38:54 UT アラート 12-27 17:40:00 UT
- False Alarm Rate: 1/100年
- 90% 1337, 50% 430 平方度 MAGIC視野3.5度~= 10 平方度
- MAGICでは4方向(≠天体)選定 12-28 21:00 UTから観測
 - ガンマ線検出なし、上限値 の2次元マップを作成
 - もう少し自動化したい



De Lotto et al., Proc. New Frontiers in Black Hole Astrophysics, IAU Symposium 324 (2016)





GWアラートをsimulate、 誤差円内のFermi(4FGL)天体





場所情報だけを使うと、絞りきれずに結果が無意味 似たツールも既に世の中にたくさんある





cherenkov

telescope arrav

• LST(視野~16平方度) 0.00 0.1 タイル観測で半数以上をカバー LSTが複数になる2024年にはLSTに最適なタイル観測が必要

MAGIC • ~30%は1回で追尾可能 ~2-3 BNS/年?

O4(2023年~?) KAGRAが 高感度で参加。エラーが小さい アラートが増える=本質的改善



LVKとのMoU



GW観測:CTA/LST展望(Cta



まとめ

- cherenkov telescope array
- 現行チェレンコフ望遠鏡MAGICと建設中のCTA LSTは、数十GeV~TeV
 ガンマ線での突発天体追尾観測に最適。LST1号基の準備も整っている
- ニュートリノ観測:AGN追尾を継続、LST用に改善しブレーザーν理解
 CTA LSTでは「既知(TeV)γ線源以外」も狙う。~10事象/年
- 重力波観測:Short GRB / GW物理は今後のhot topic。アラートエラーの大きさを克服するにはO4 KAGRA参加が本質的。数事象/年
- LSTでは観測数が増え、今後数年での検出が十分に期待できる
- "The CTA transient and MM program" Carosi+, PoS(ICRC2021) 736





Search for τ -neutrino induced showers

- MAGIC can observe towards the horizon
- τ neutrinos can interact with Earth's crust or with ocean
- τ leptons produced can induce an air shower
- Feasibility study presented in Ahnen et al. Astroparticle Physics (accepted for publication, arXiv 1805.02750)
 - **10⁻¹⁽**

10⁻³

- Such technique can probe ν_{τ} from 1 PeV to 3 EeV
- 30 h of "Sea data" obtained
- UL = 2×10^{-4} GeV cm⁻¹ s⁻² (90% C.L., $\gamma = 2$)
- If 300 h and strong flare, the upper limit can be improved of almost 2 orders of magnitude



MAGIC 30 hrs and Flux-5







