



Latest Results from Observation of High-energy Gamma-rays by CALET

CALETによる高エネルギー ガンマ線観測の最新結果

立命館大理工, 東大宇宙線研^A, 早大理工総研^B,
Louisiana State Univ.^C, NASA/GSFC^D

森正樹, 銭田大亮, 浅岡陽一^A, 鳥居祥二^B,
川久保雄太^C, N. Cannady^D, M.L. Cherry^C,
他CALETチーム

M. Mori, D. Zenita, Y. Asaoka, S. Torii, Y. Kawakubo, N. Cannady, M.L. Cherry for the CALET collaboration

第21回宇宙科学シンポジウム（オンライン開催）2021年1月6～7日

ガンマ線の識別

= 電子と同様の電磁シャワー + 電荷ゼロ

100 GeV イベント例

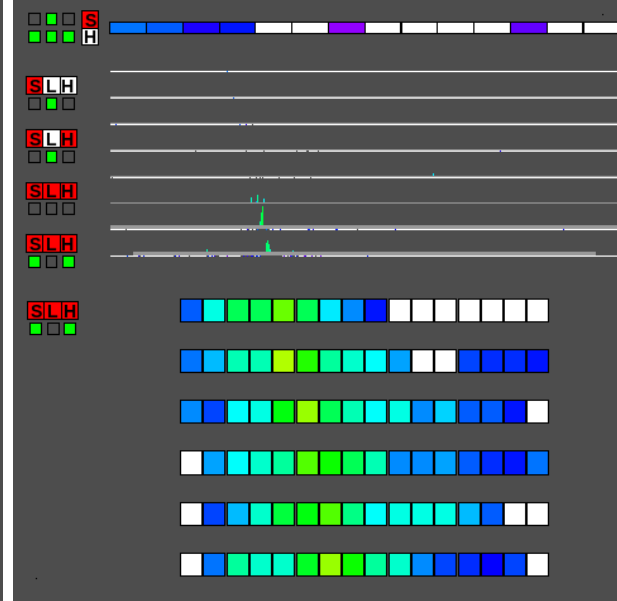
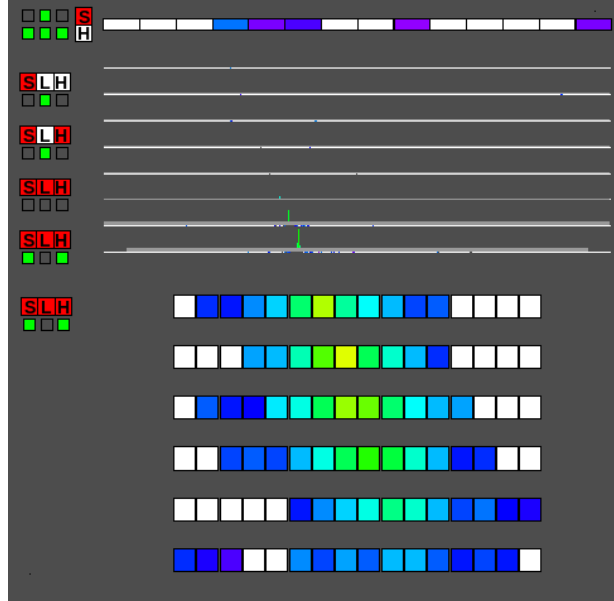
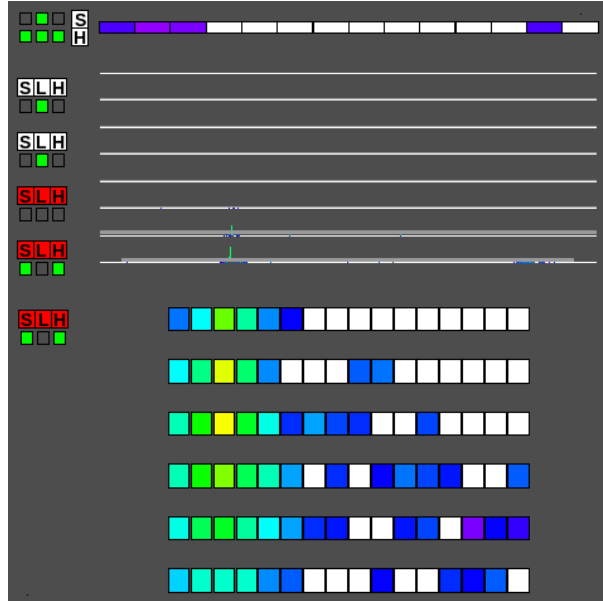
ガンマ線

電子

陽子

電荷 $Z=0$

電荷 $Z=1$



電磁シャワー

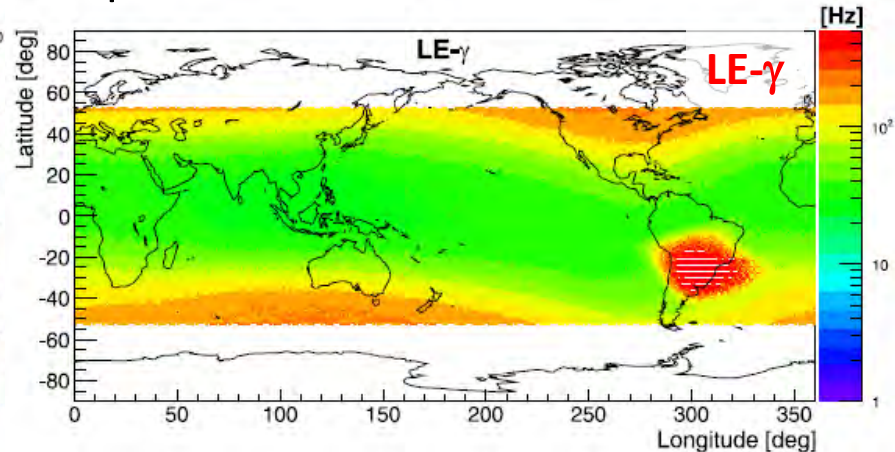
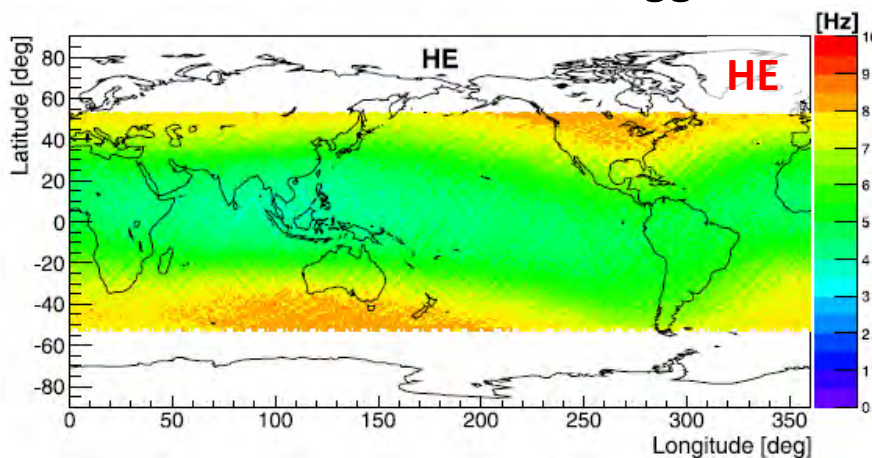
ハドロンシャワー

コンパクトなシャワー

広がったシャワー

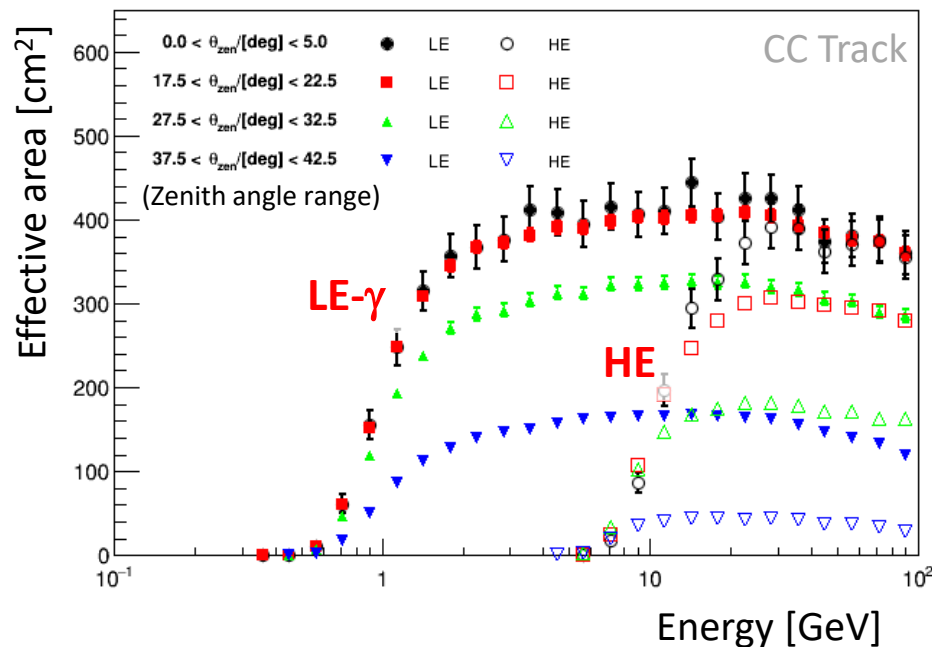
CALETのトリガーとガンマ線観測

Trigger rate vs ISS position



有効面積

Asaoka et al., Astropart.Phys. 100, 29 (2018)



HE trigger: $E_\gamma > 10$ GeV

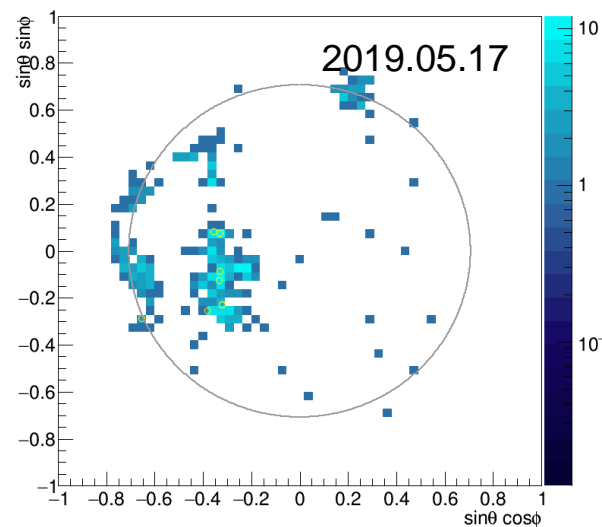
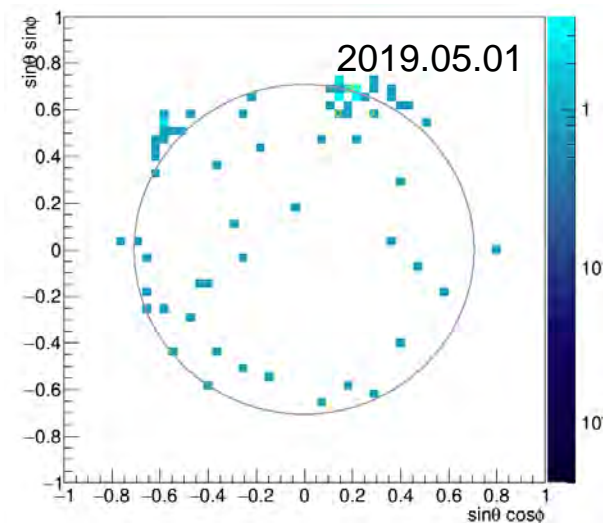
LE-γ trigger: $E_\gamma > 1$ GeV

- HE trigger mode: 常にON
- LE-γ mode: 地磁気緯度が 20° 以下か、CALET Gamma-ray Burst Monitor (CGBM) トリガー時のみON

Cannady et al., ApJS 238:5 (2018)

ガンマ線解析手法の改良

- ISSの構造体（固定部および可動部）による2次的なガンマ線バックグラウンドを除去するため、このような遮蔽物の影響がある領域を、日毎にマスクすることにより、以前(Cannady et al., ApJS 238:5, 2018)に比べ低エネルギー領域で4.0倍、高エネルギー領域で3.1倍まで有効面積を増やすことに成功した。

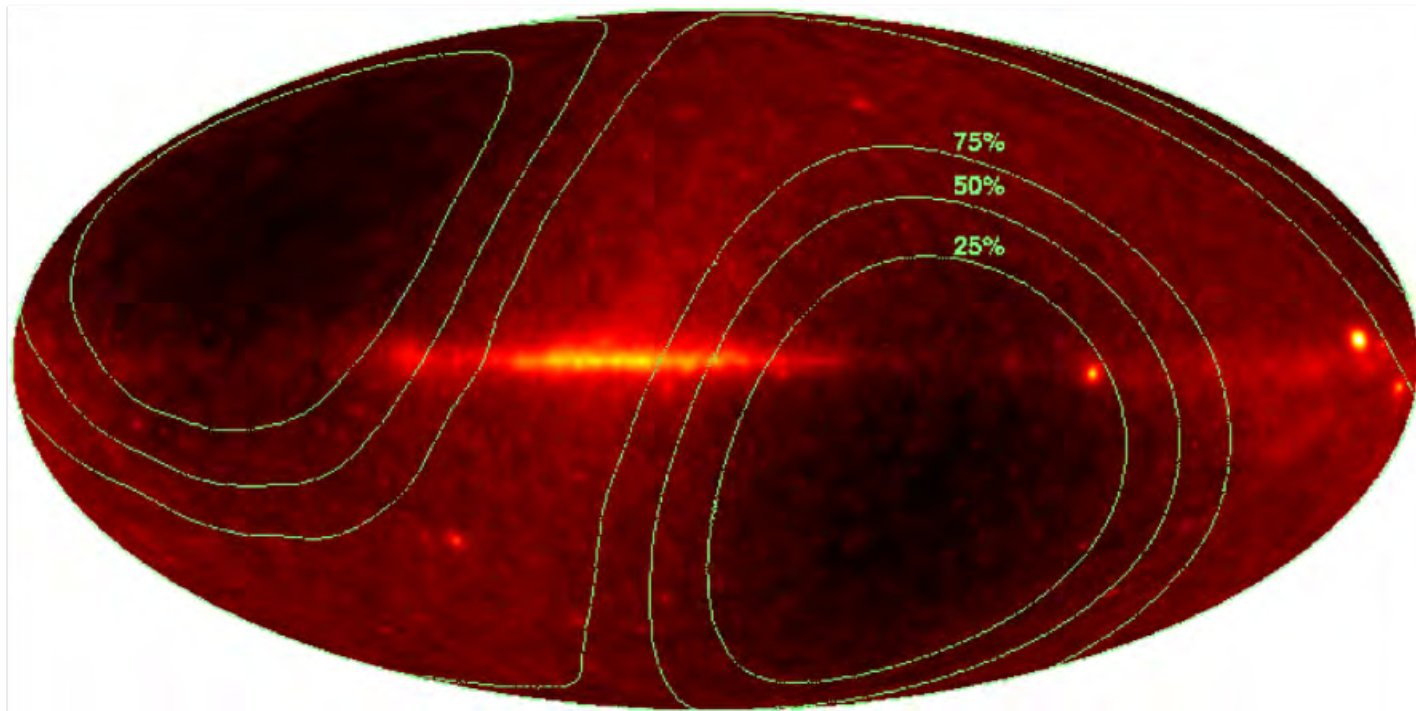


CALETの視野内におけるガンマ線方向分布。円は天頂角45度を示す。右図では遮蔽物で生成される二次ガンマ線のクラスターが顕著に見られる。

Gamma-ray skymap (4.75 yr)

Preliminary

LE- γ モード($E_\gamma > 1$ GeV), 20151101-20200731



(等高線は露出量=有効面積×観測時間)

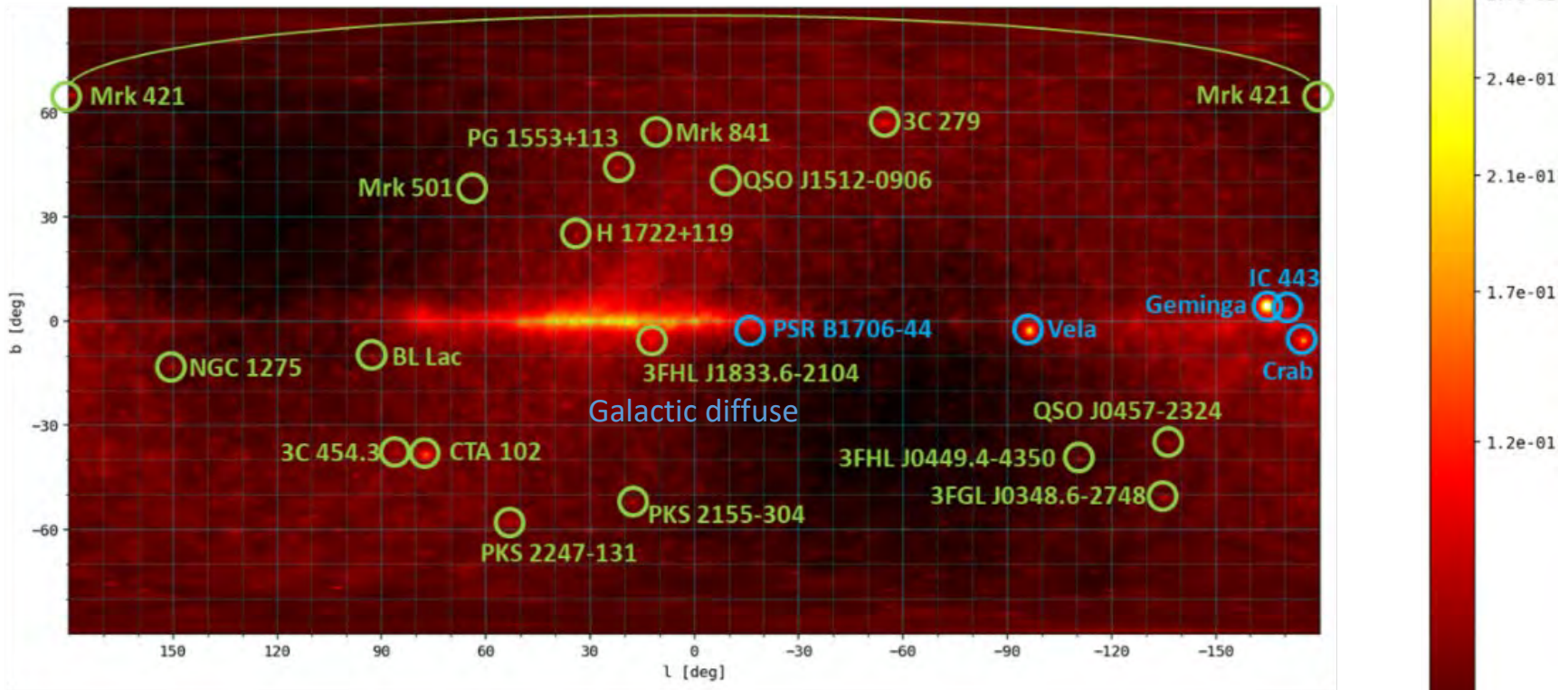
(銀河座標系)

ISSの軌道傾斜角と地磁気緯度を限定した観測であるため、露出量(最大値に対する比率を等高線で示す)は一様でないことに注意。

Gamma-ray skymap (4.75 yr)

Preliminary

LE- γ π ν ν ($E_\gamma > 1$ GeV), 20151101-20200731 [Close-up]

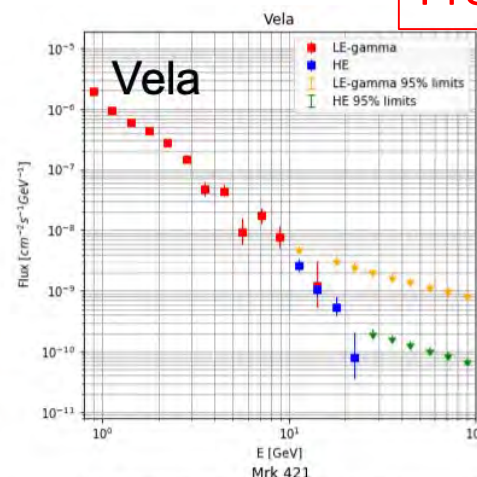
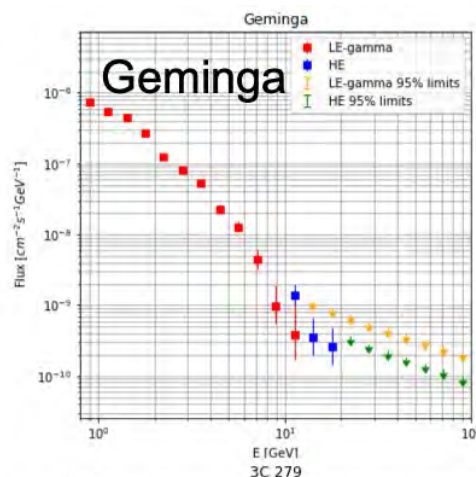
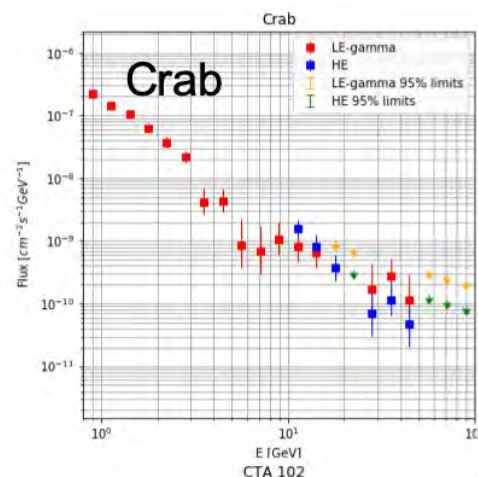


(銀河座標系)

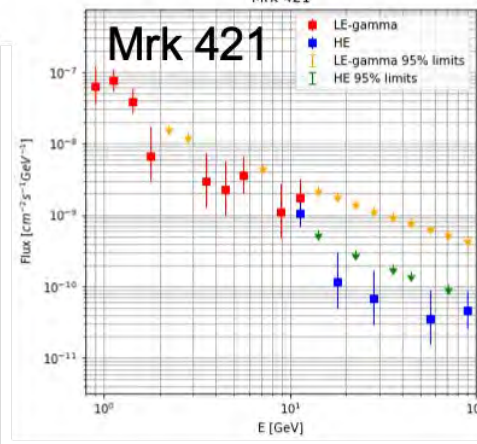
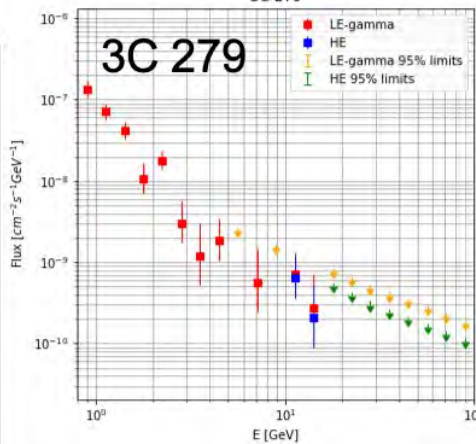
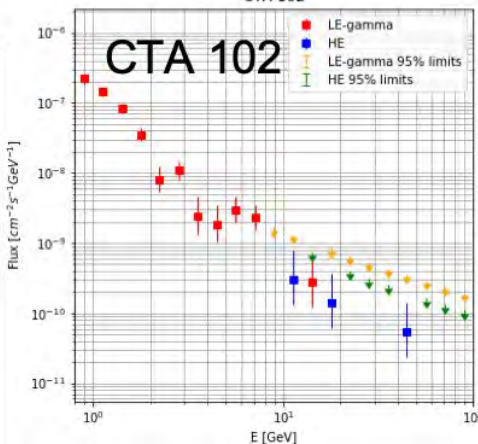
Fermi-LATなどで報告されているガンマ線点源が多数検出されている。

主な点源に対するエネルギースペクトル

Preliminary



(銀河系内天体)



(銀河系外天体)

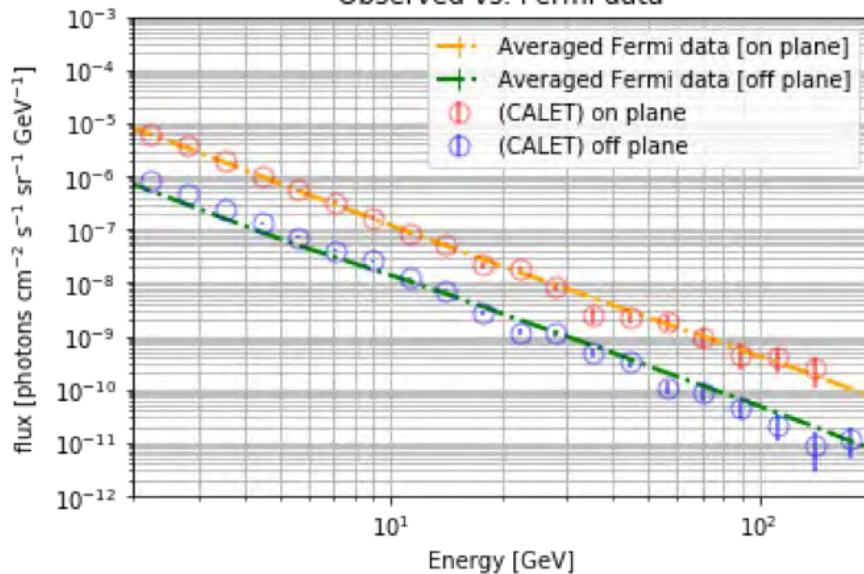
10 GeVを超える領域まで、Fermi-LATと矛盾しないエネルギースペクトルが得られている。

銀河系内外ガンマ線拡散成分のエネルギーースペクトル

Preliminary

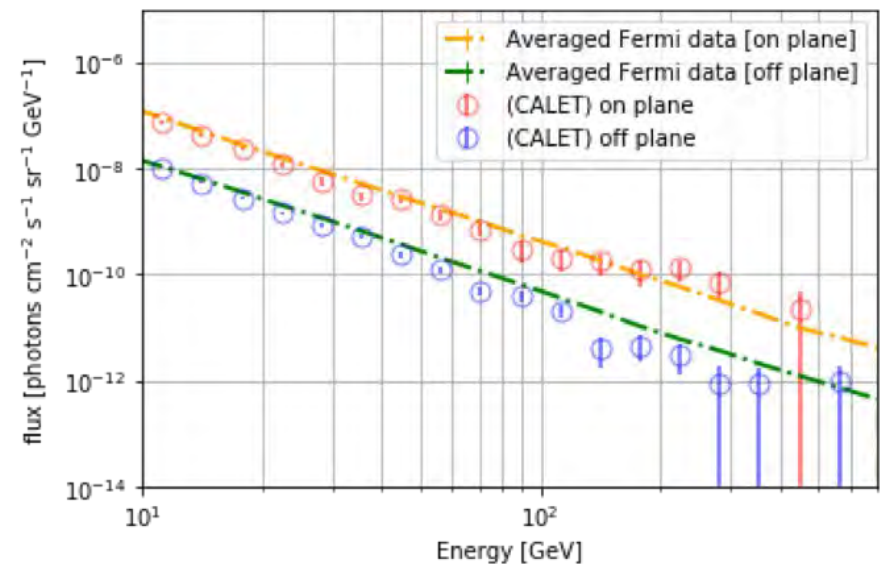
LE ($E > 1$ GeV)

Observed vs. Fermi data



HE ($E > 10$ GeV)

Observed vs. Fermi data



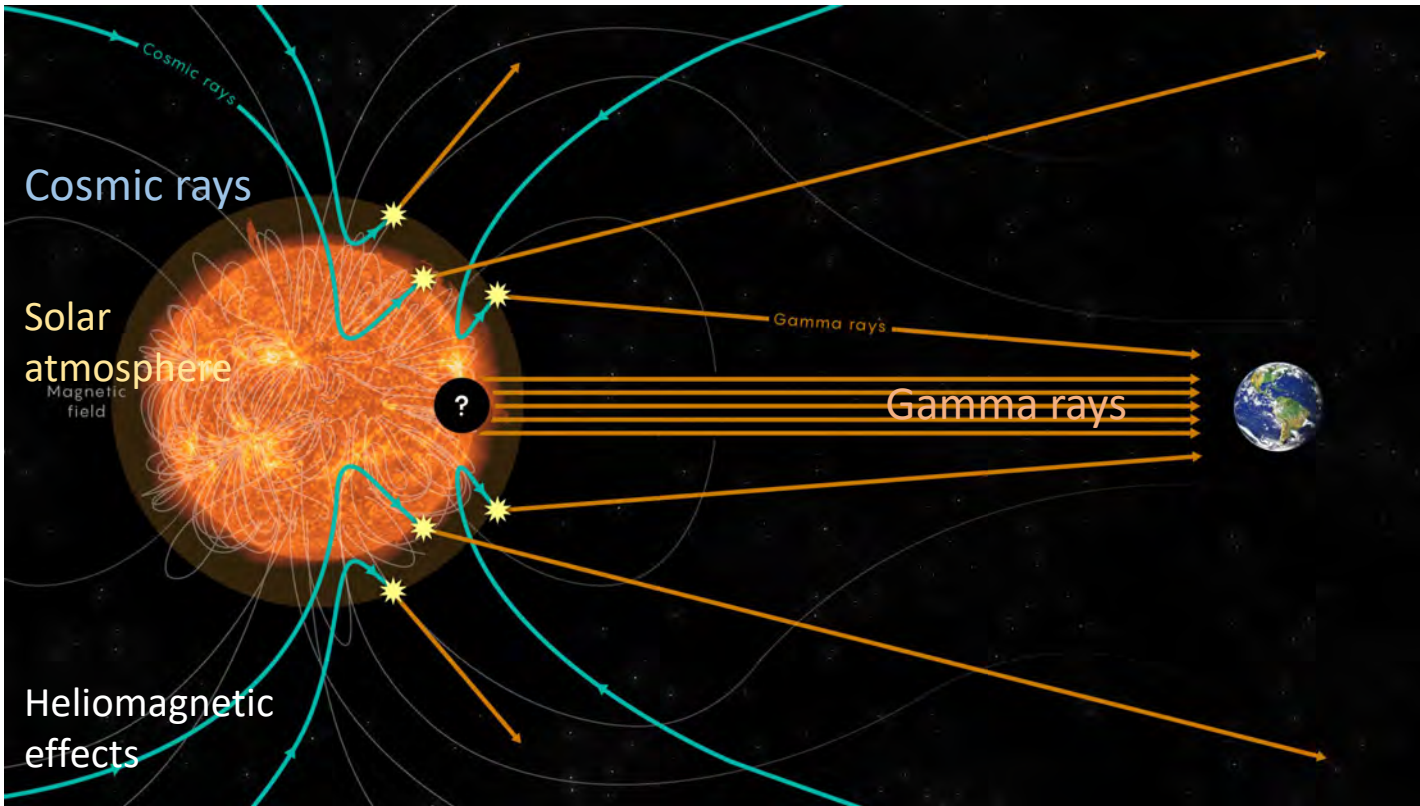
“On-plane”: $|l| < 80^\circ$ & $|b| < 8^\circ$

“Off-plane”: $|b| > 10^\circ$

1 GeV～600 GeVまでの領域にわたり、Fermi-LATと矛盾しないエネルギーースペクトルが得られている。

太陽方向からの二次ガンマ線

<https://www.quantamagazine.org/gamma-ray-data-reveal-surprises-about-the-sun-20190501/>



“Disk” (cascade) emission: Galactic CR + solar surface → gamma rays

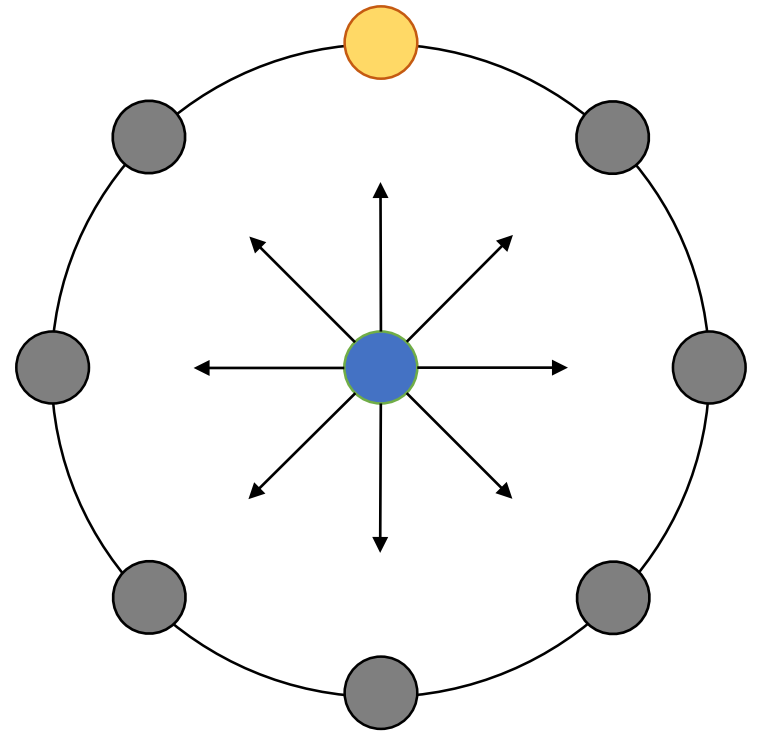
“Extended” (IC) emission : CR electrons + solar photon halo → gamma rays

Fermi-LAT, ApJ 734:116, 2011

→ 高エネルギー宇宙線・電子の変調と太陽活動を反映

“False Sun”解析

- 銀河拡散ガンマ線モデルを用いるより確実にバックグラウンドの推定が可能
- 太陽の位置から黄経をずらした方向をバックグラウンドとする
 - N 個中 i 番目の“false Sun”の観測時刻は
 $T_0 + (i * 365.25 \text{ days} / N)$
- 太陽方向と同じ解析をそれぞれの“false Sun”に対して行う



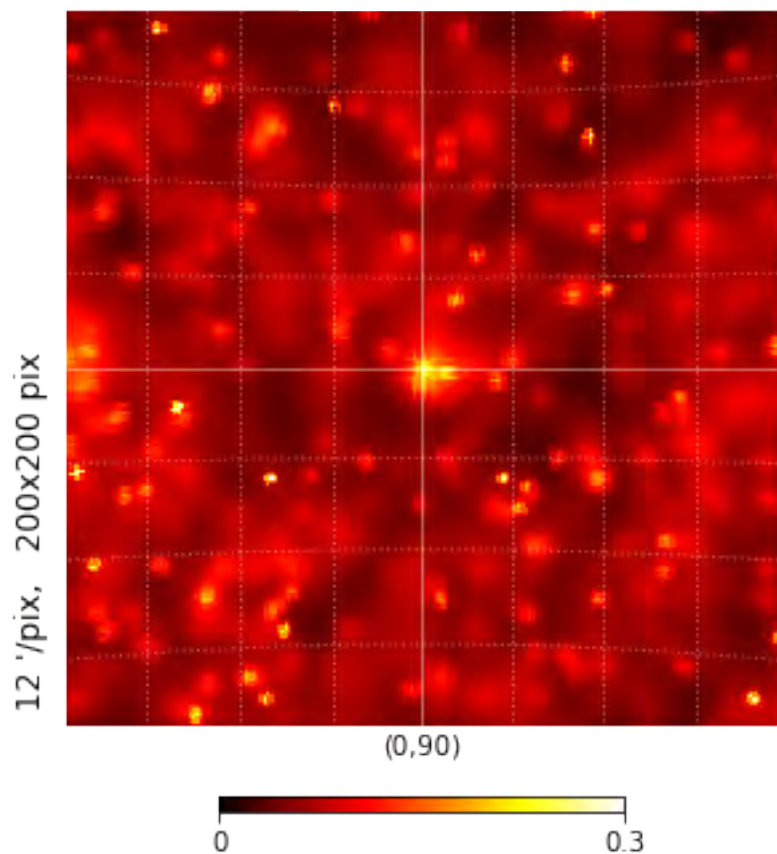
Currently using 7 false Sun trials, each shifted by 45° along the ecliptic, well outside of a 20° region of interest.

太陽方向と“false Sun”方向のカウントマップ

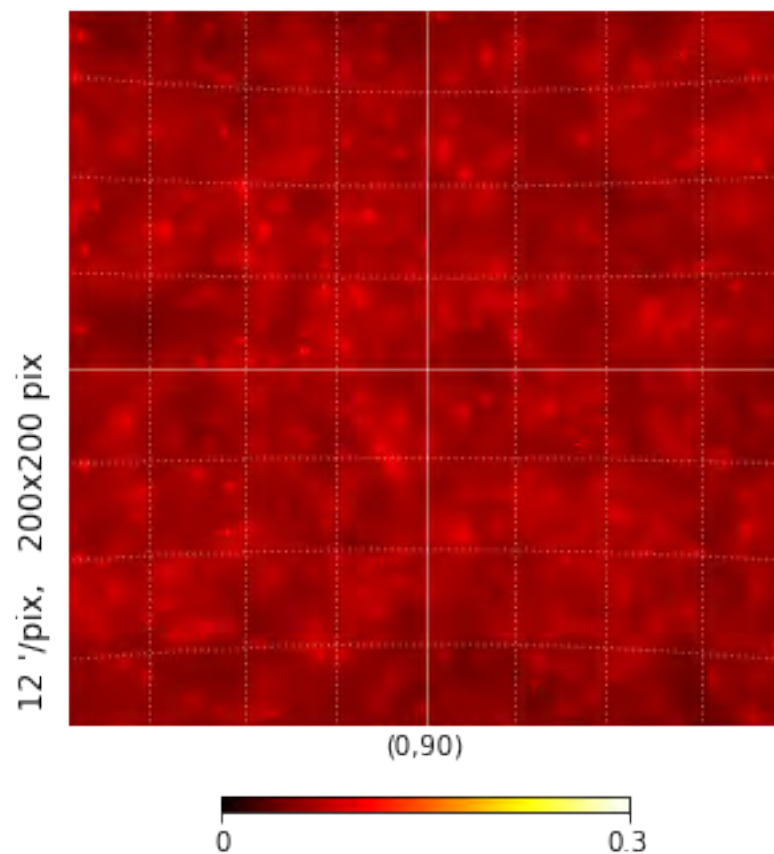
2015/11 – 2019/10 (48 months)

Preliminary

Sun frame

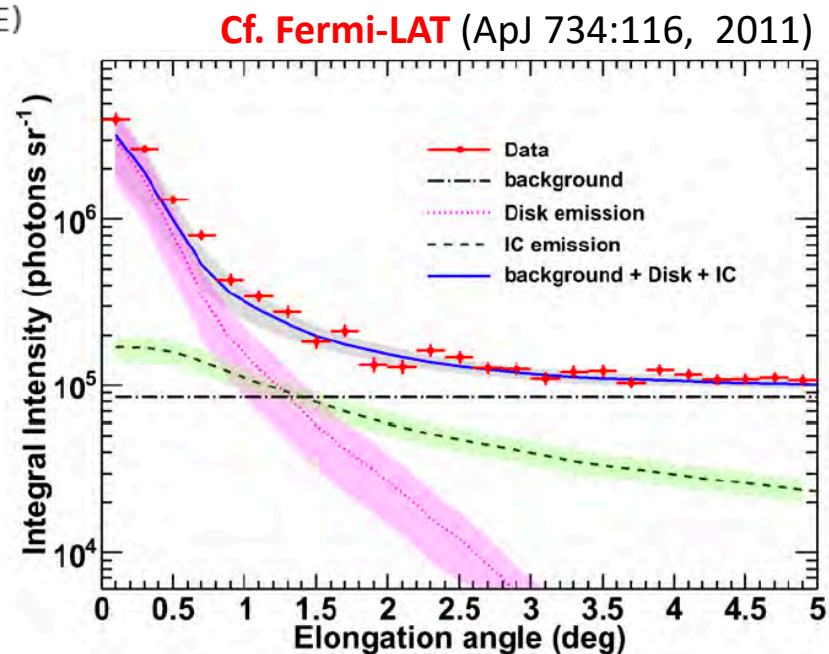
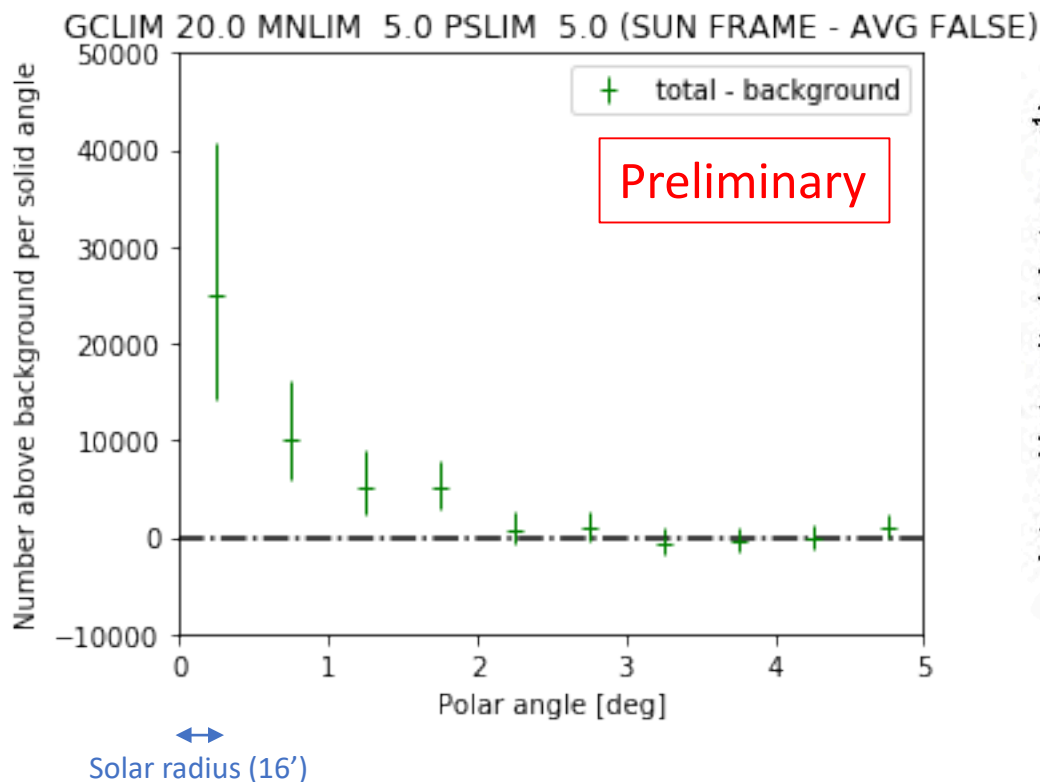


False Sun average



太陽方向にはマップの中心部に明らかなイベントの超過が見られる。

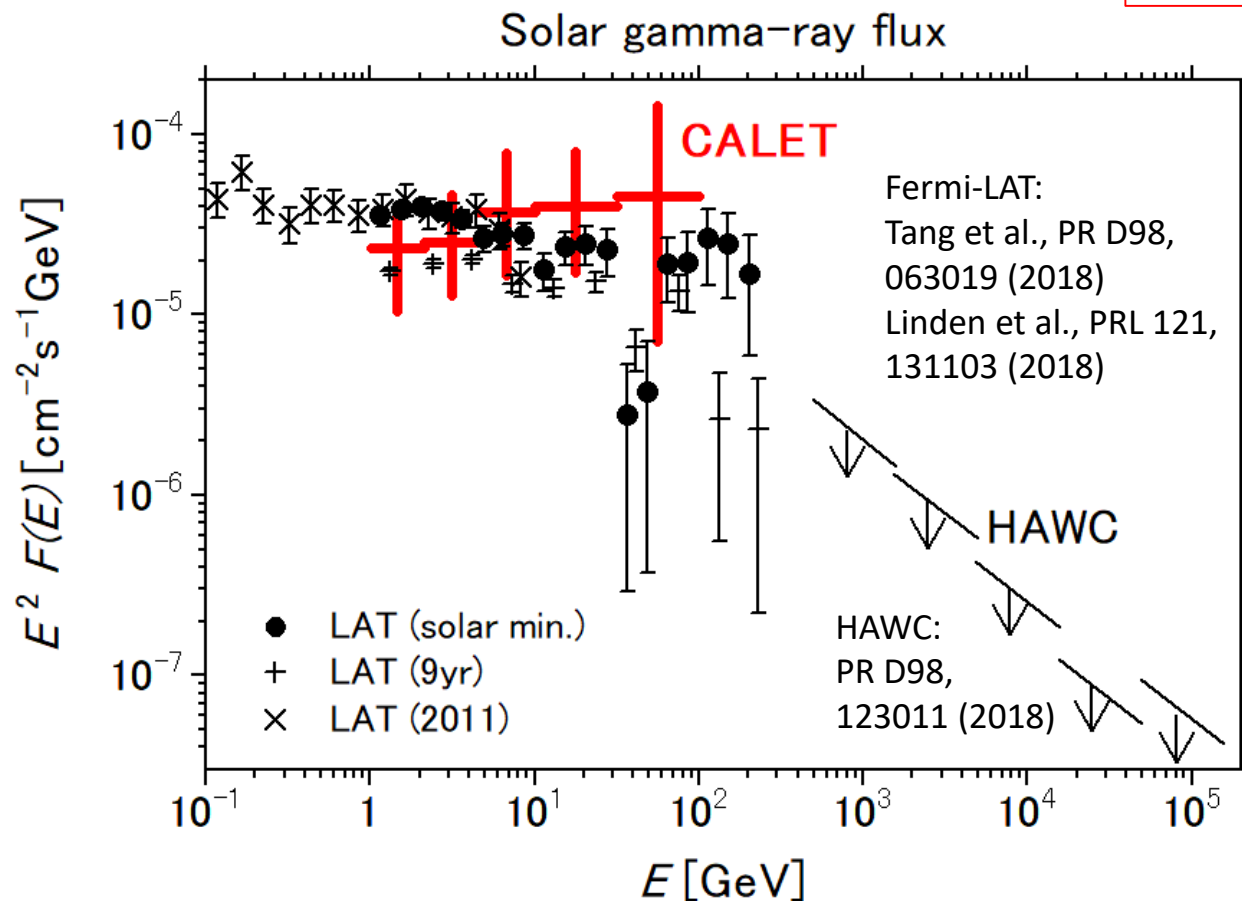
太陽方向からの角分布



太陽方向からイベントの超過が見られる。Disk成分に加えてIC成分があるようにも見えるが、統計的にはまた十分有意であるとは言えない。

太陽方向からの超過のエネルギースペクトル

Preliminary



Fermi-LATでは解釈が困難な40 GeV付近に欠損が報告されているが、CALETの統計精度では確認できなかった。

CGBMで検出されたガンマ線バーストからの高エネルギーガンマ線の探索

- 探索条件

- Swift/Fermi-LAT/MAXI/IPNにより精度良く位置が決定されたGRB 99例（全234例中）
- LE- γ trigger data (>1 GeV)
- $[T_0-60s, T_0+7200s]$ (T_0 : CGBMトリガー時刻)
- GRB位置から2度以内のCALガンマ線イベント

- 結果

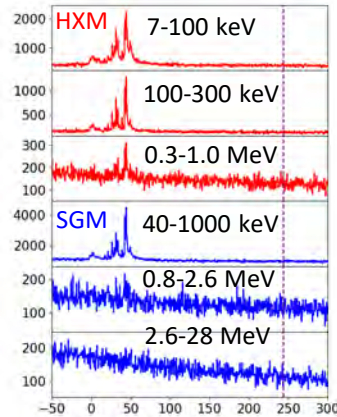
- 36個：視野外
- 59個：ガンマ線イベント候補なし
- 3個：ガンマ線イベント候補1例ずつ
 - うち1例はロボットアーム由来の二次ガンマ線
 - 詳細解析は継続中

GRBからのGeVガンマ線候補

Preliminary

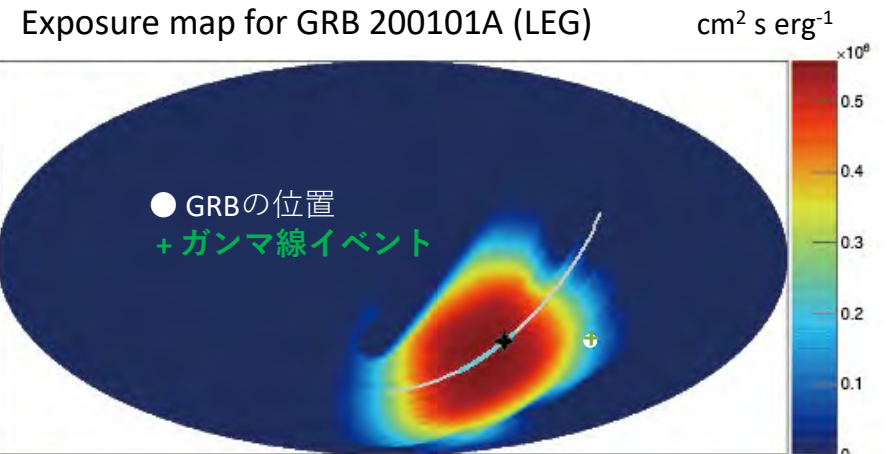
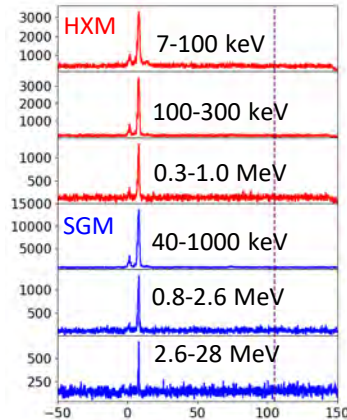
$T_0 = 2018/05/26\ 11:03:36$
GRB位置 = (108.48, 3.64)
(Fermi-LAT, Ajello et al. 2019)

ガンマ線候補
離角: 1.34 度
(PSF 99% 以内)
到来時刻: $T_0 + 244\text{ s}$
エネルギー: 3.46 GeV



$T_0 = 2020/01/01\ 20:39:30.40$
GRB位置 = (258.995, -32.304)
(IPN, GCN circular #26635)

ガンマ線候補
離角: 0.59 度
(PSF 90%以内)
到来時刻: $T_0 + 105\text{ s}$
エネルギー: 4.92 GeV



Summary

- CALETは2015年の打ち上げ以来5年間にわたり、 >1 GeV領域の天体ガンマ線を順調に継続して観測している。視野の広さ(~ 2 sr)を活かし、突発天体の監視も行っている。
- 5年間の観測データから、22個の点源が検出されており、銀河系内外の拡散ガンマ線も含め、Fermi-LATと矛盾のないエネルギースペクトルが得られている。
- 太陽方向からの二次ガンマ線の信号がとらえられており、これは太陽活動サイクルを通じて変調が見られることが期待される。
- GRBからのGeVガンマ線候補が2例得られている(詳細解析は継続中)。