

13aW3-8



Latest Results from Observation of High-energy Gamma-rays with 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<sup>A</sup>, 早大理工総研<sup>B</sup>,  
NASA/GSFC<sup>C</sup>, Louisiana State Univ.<sup>D</sup>,

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

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

日本物理学会第76回年次大会（オンライン開催）2021年3月12～15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

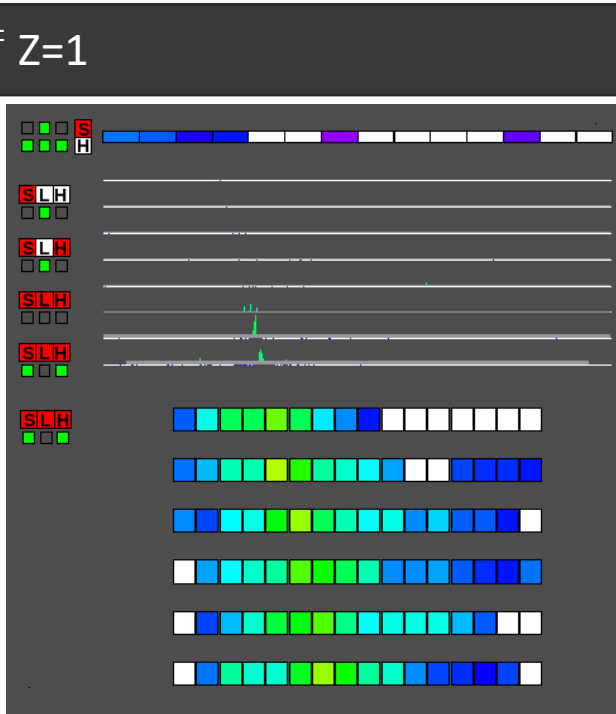
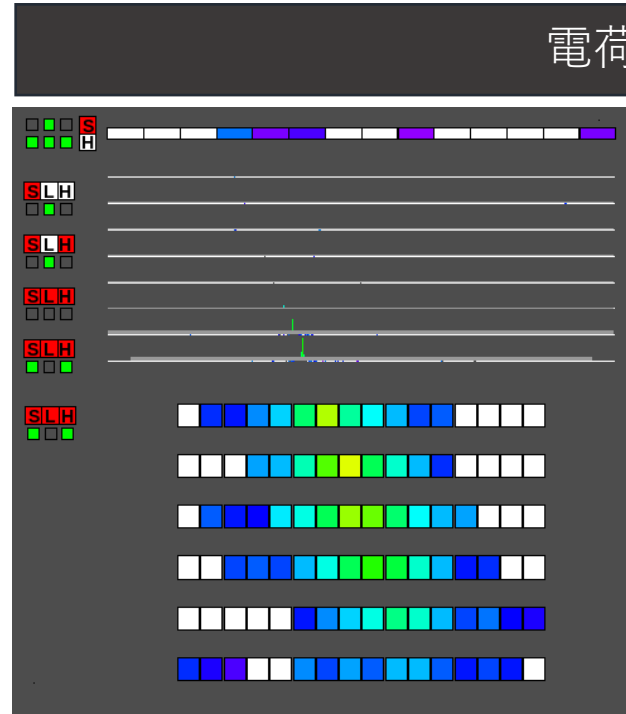
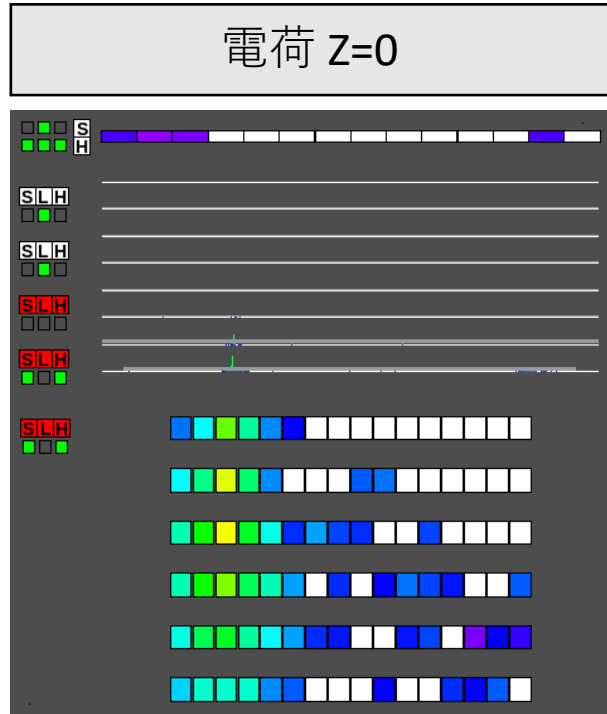
ガンマ線

電子

陽子

電荷  $Z=0$

電荷  $Z=1$



電磁シャワー

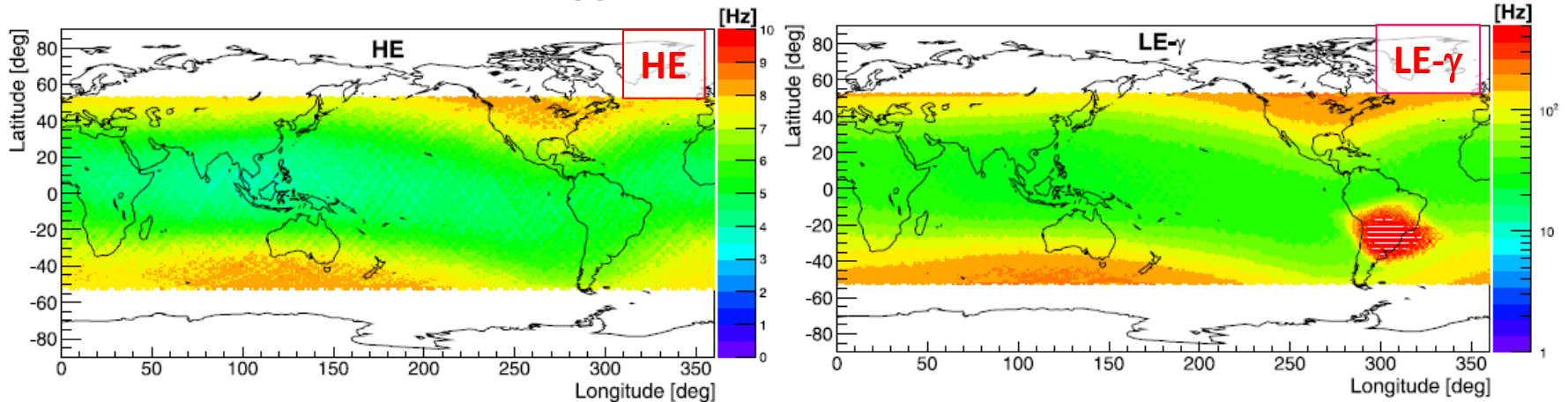
ハドロンシャワー

コンパクトなシャワー

広がったシャワー<sub>2</sub>

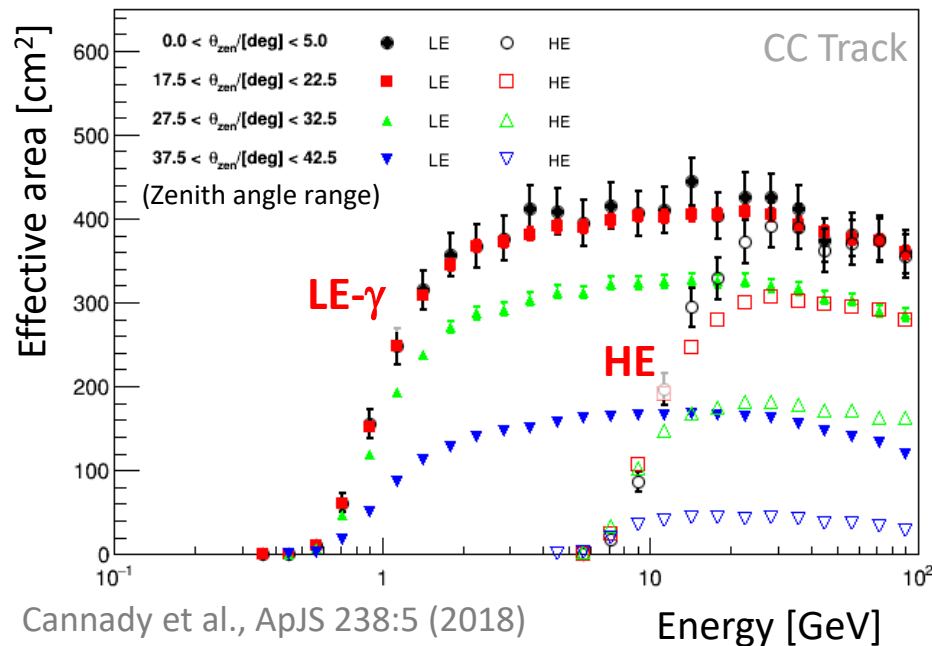
# CALETのトリガーとガンマ線観測

## Trigger rate vs ISS location



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

## 有効面積

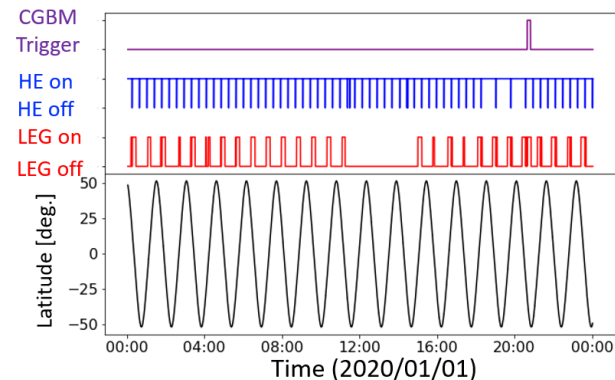


Cannady et al., ApJS 238:5 (2018)

HE trigger:  $E_\gamma > 10$  GeV

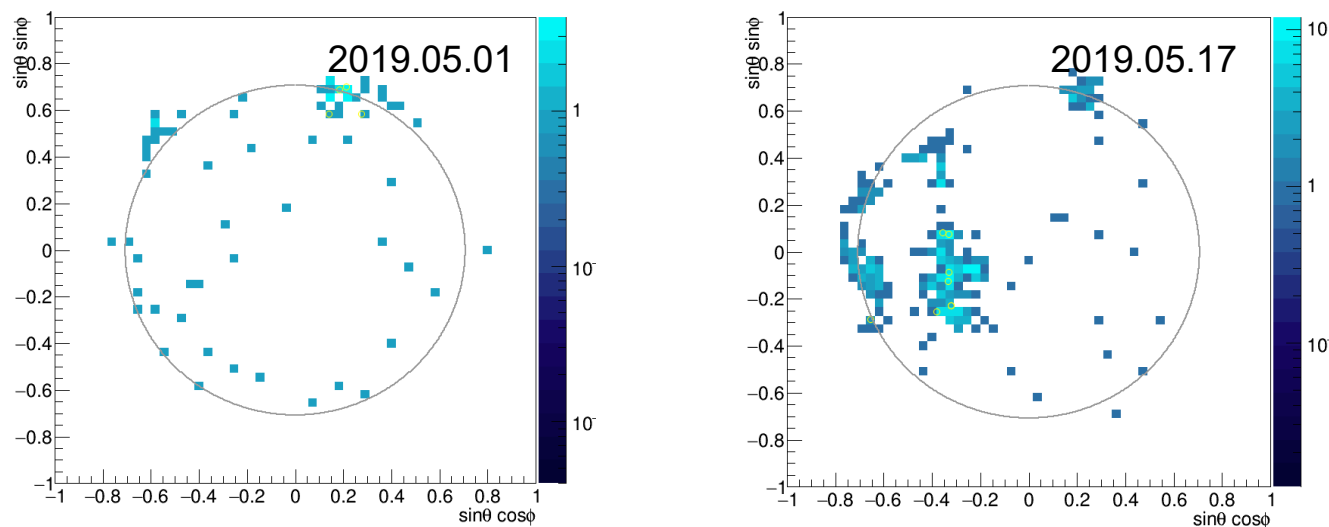
LE-γ trigger:  $E_\gamma > 1$  GeV

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



# ガンマ線解析手法の改良

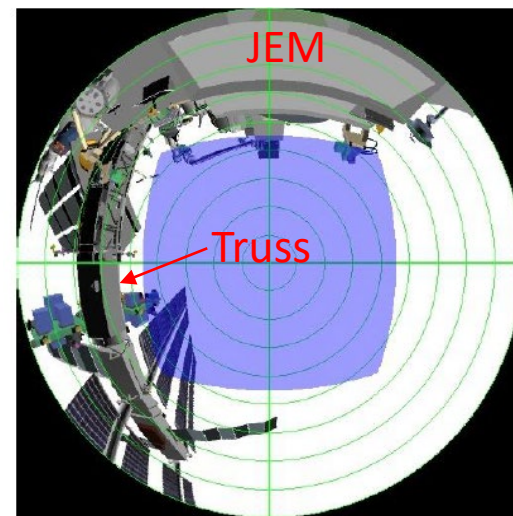
- ISSの構造体（固定部および可動部）による2次的なガンマ線バックグラウンドを除去するため、このような遮蔽物の影響がある領域を、日毎にマスクすることにより、以前(Cannady et al., ApJS 238:5, 2018)に比べ低エネルギー領域で4.0倍、高エネルギー領域で3.1倍まで有効面積を増やすことに成功した。



CALETの視野内におけるガンマ線の方法分布。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。

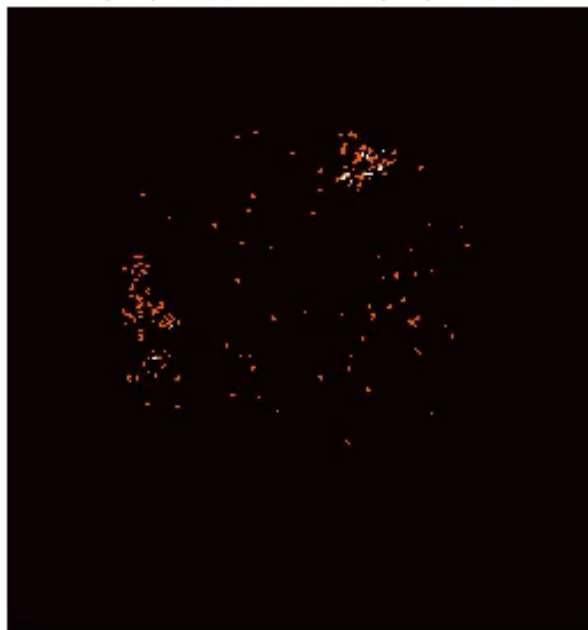
# CALET視野内の方向分布

データから遮蔽物の存在が識別可能



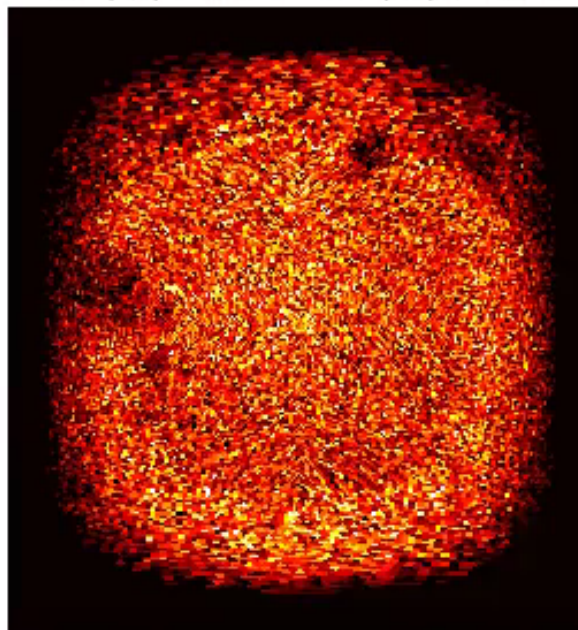
## ガンマ線候補

2015/12/31 00:00 - 2016/01/01 00:00



## Ultraheavyトリガー

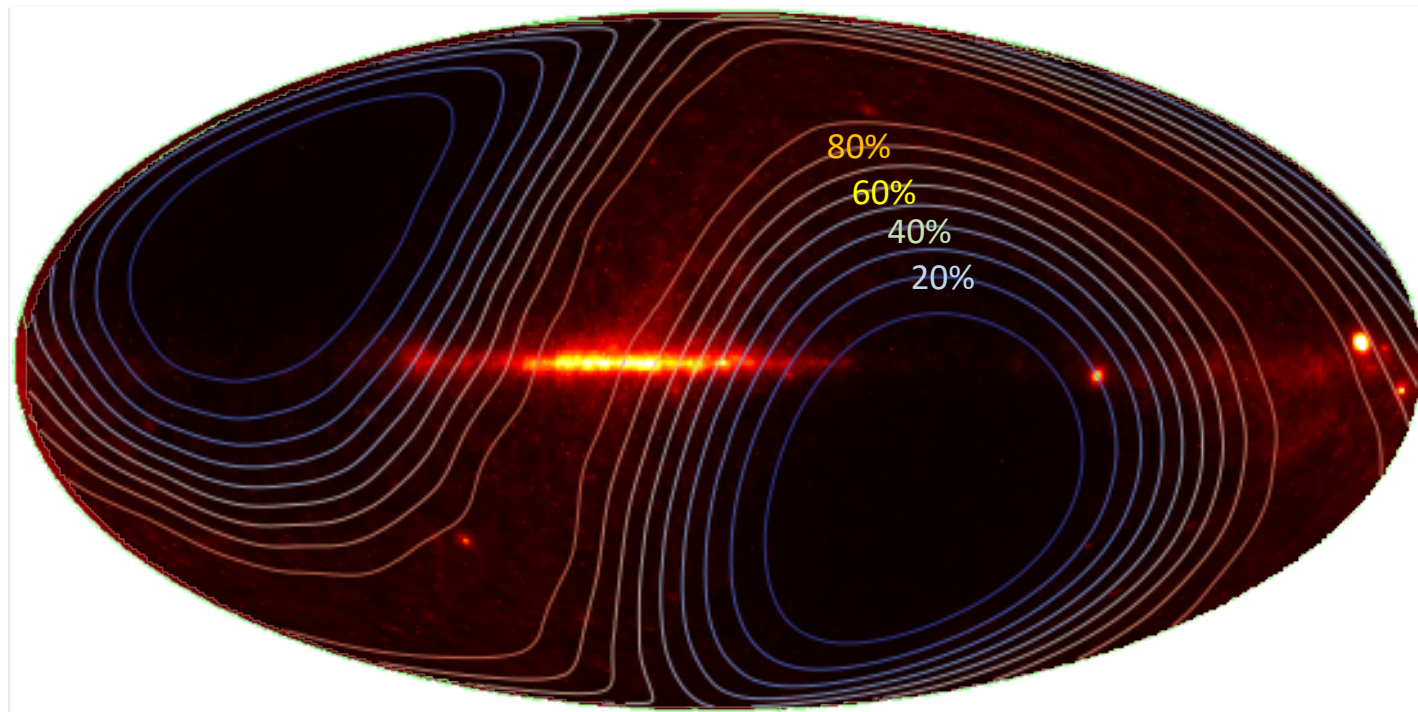
2015/12/31 00:00 - 2016/01/01 00:00



# Gamma-ray skymap (4.75 yr)

Preliminary

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



(等高線は露出量＝有効面積×観測時間)

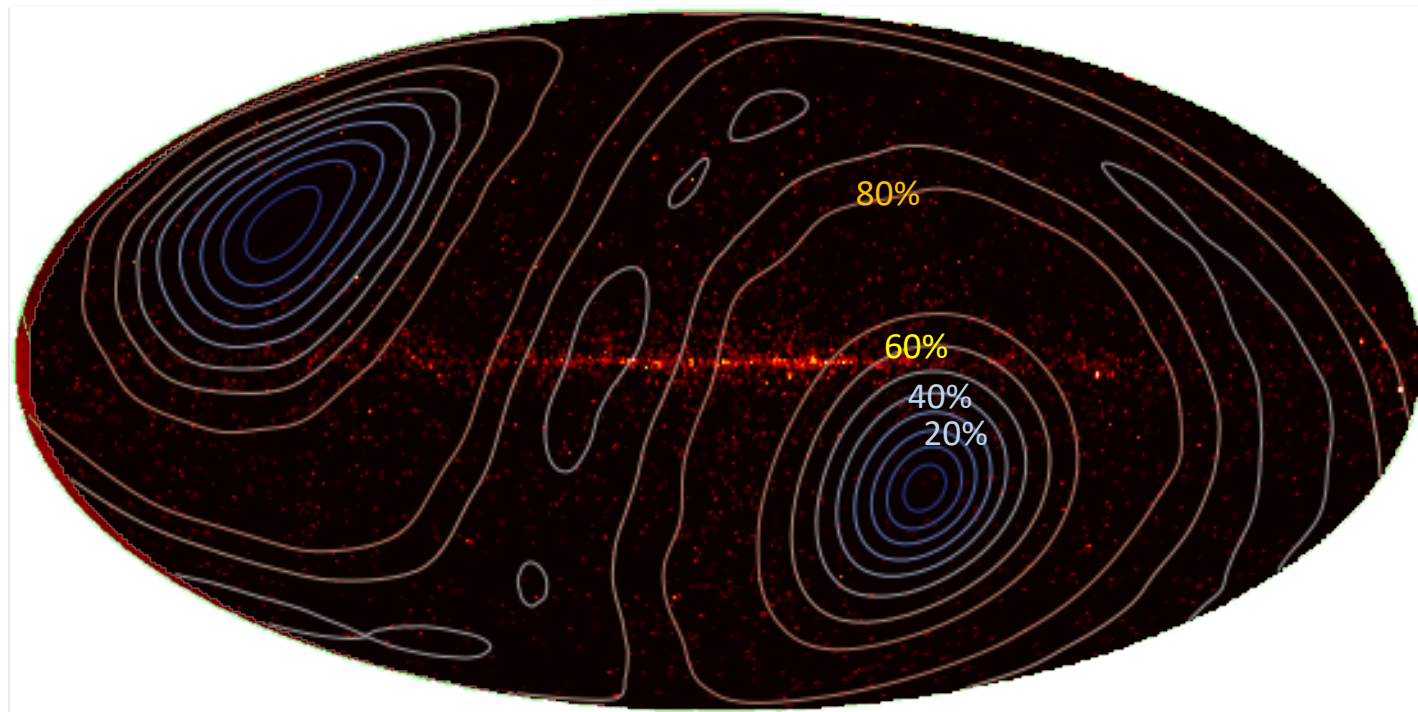
(銀河座標系)

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

HEモード ( $E_\gamma > 10$  GeV), 20151101-20200731



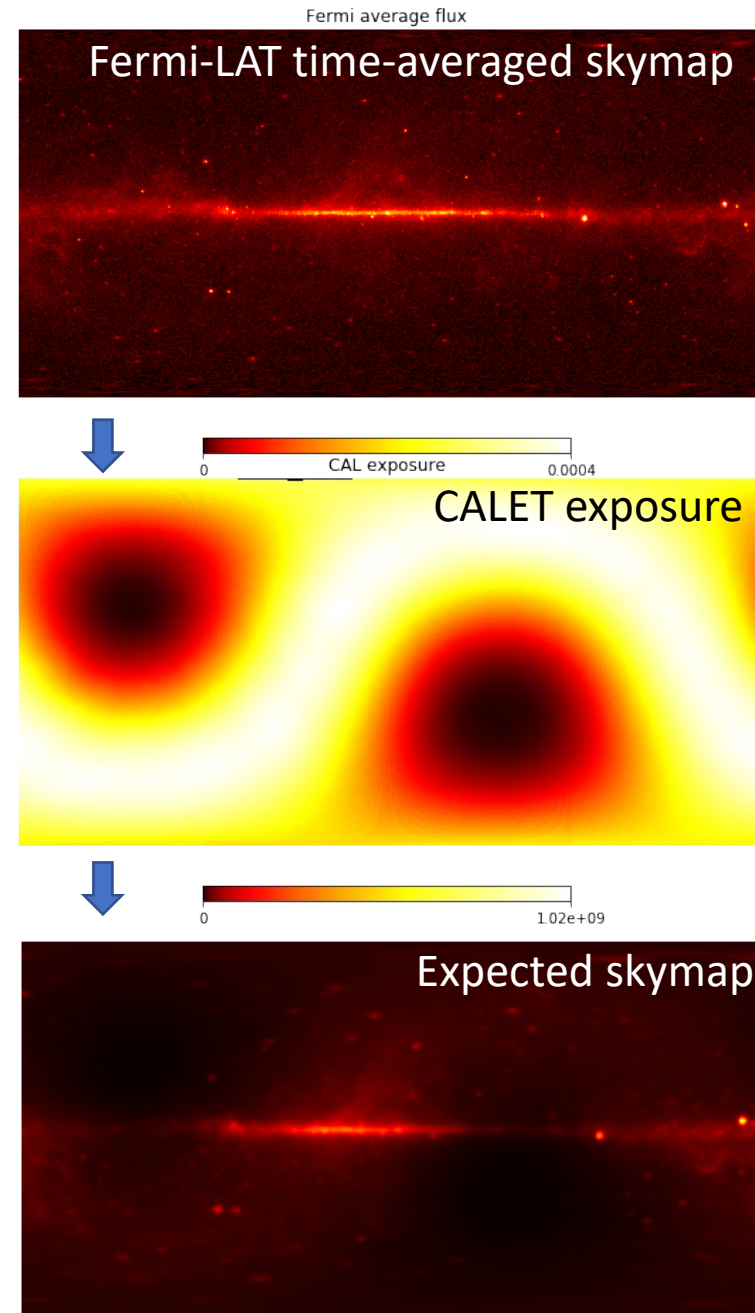
(等高線は露出量＝有効面積×観測時間)

(銀河座標系)

ISSの軌道により、露出量（最大値に対する比率を等高線で示す）は一樣でないことに注意。[HEモードはLE- $\gamma$ モードよりは差異が少ない]

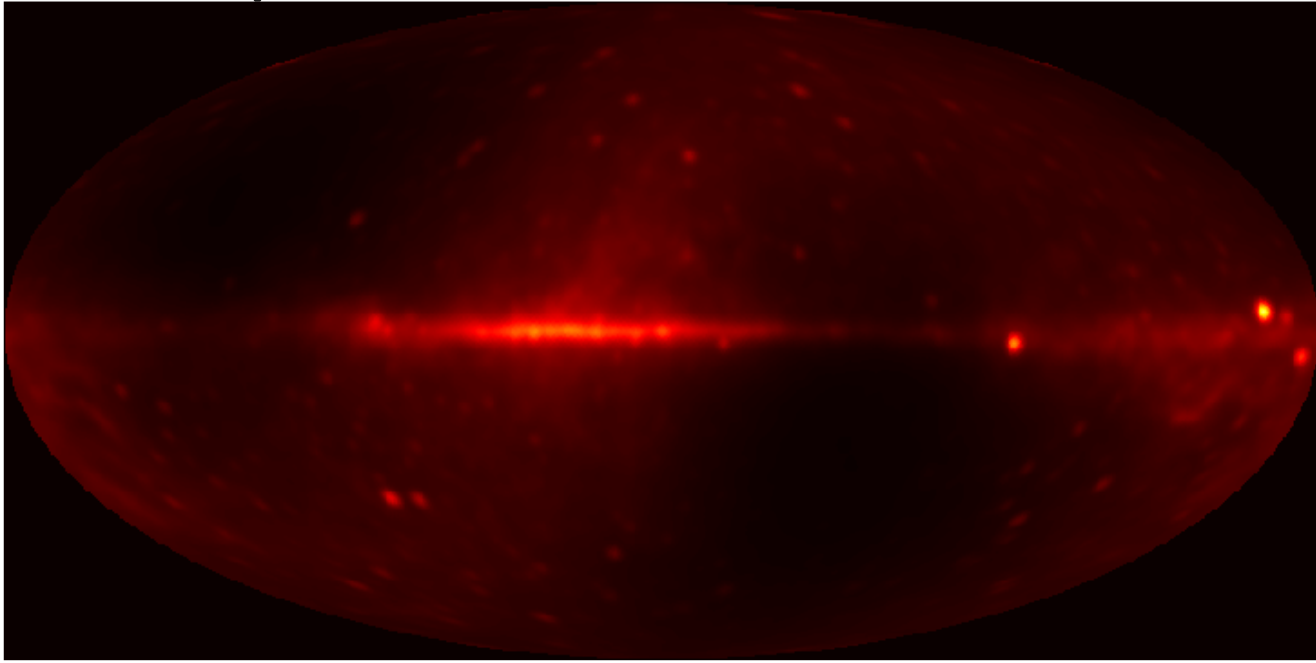
# “Expected skymap”

- Fermi-LATの時間平均Skymap
- 空間binをHealpixに補間
- Energy binを補間
- CALETのExposure（エネルギー依存）を乗算
- 角度分解能（エネルギー依存）でスムージング
- “Observed skymap”も同様に角度分解能でスムージング
- LE- $\gamma$ およびHEそれぞれに適用

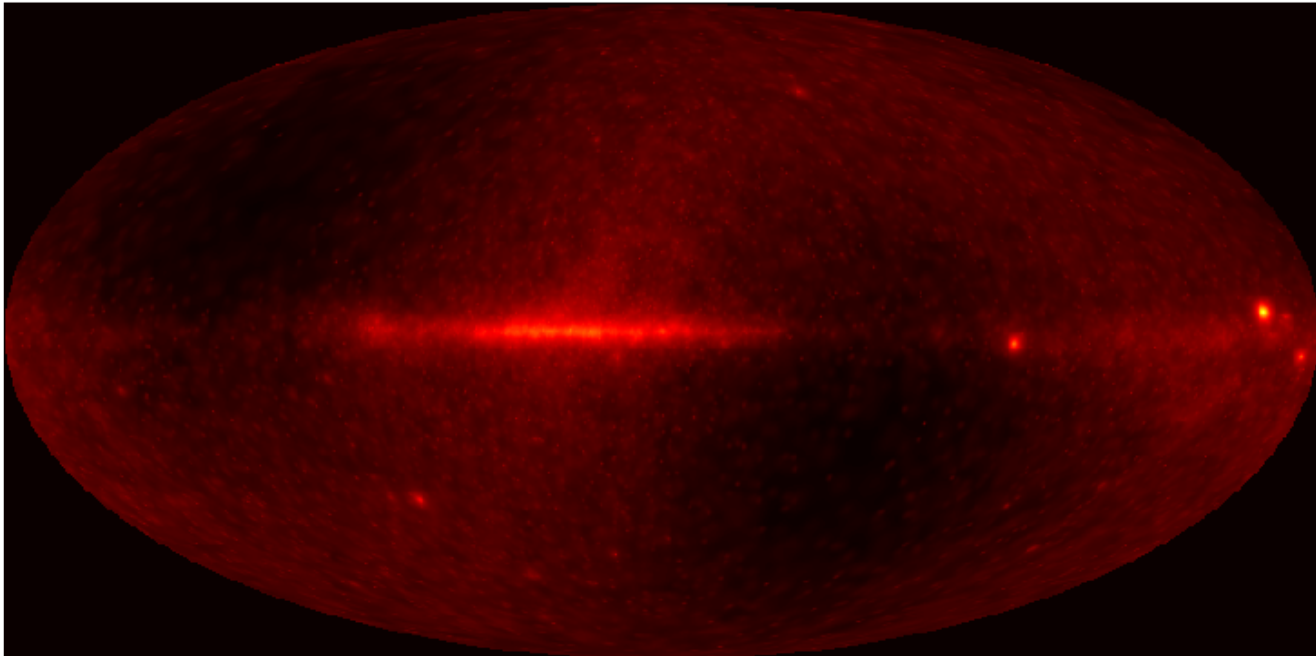


LE- $\gamma$  ( $1 \text{ GeV} < E < 10 \text{ GeV}$ )

Expected

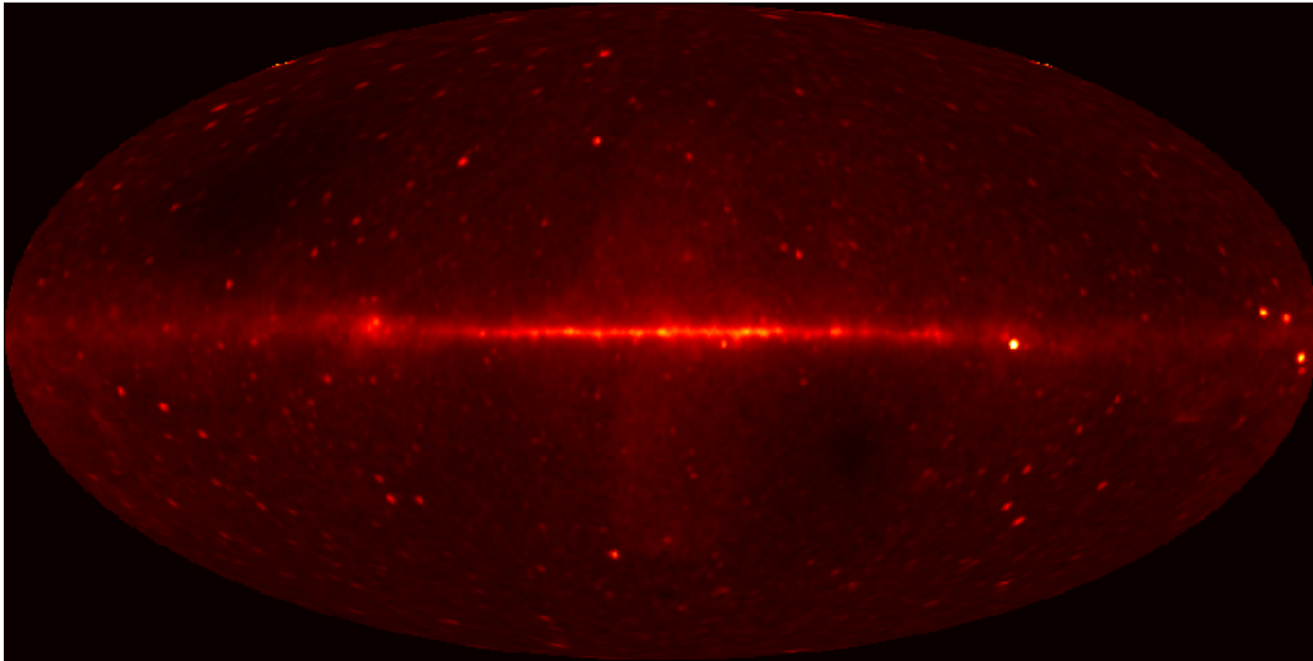


Observed

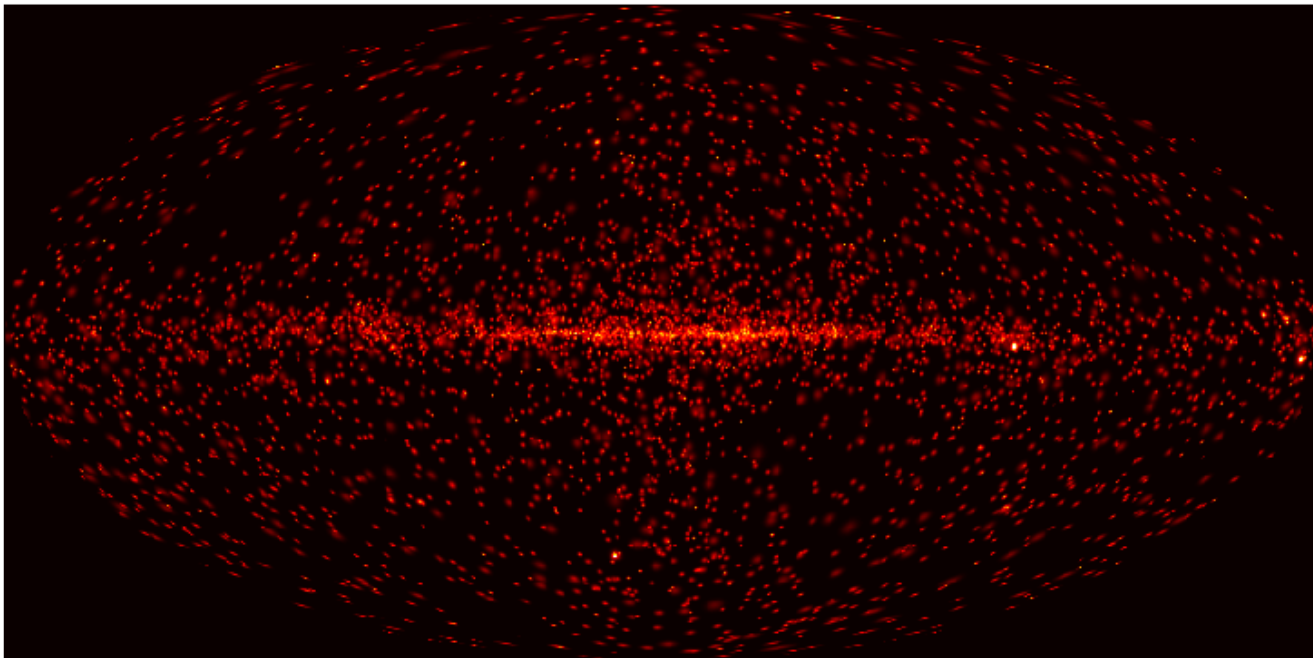


HE ( $10 \text{ GeV} < E < 100 \text{ GeV}$ )

Expected



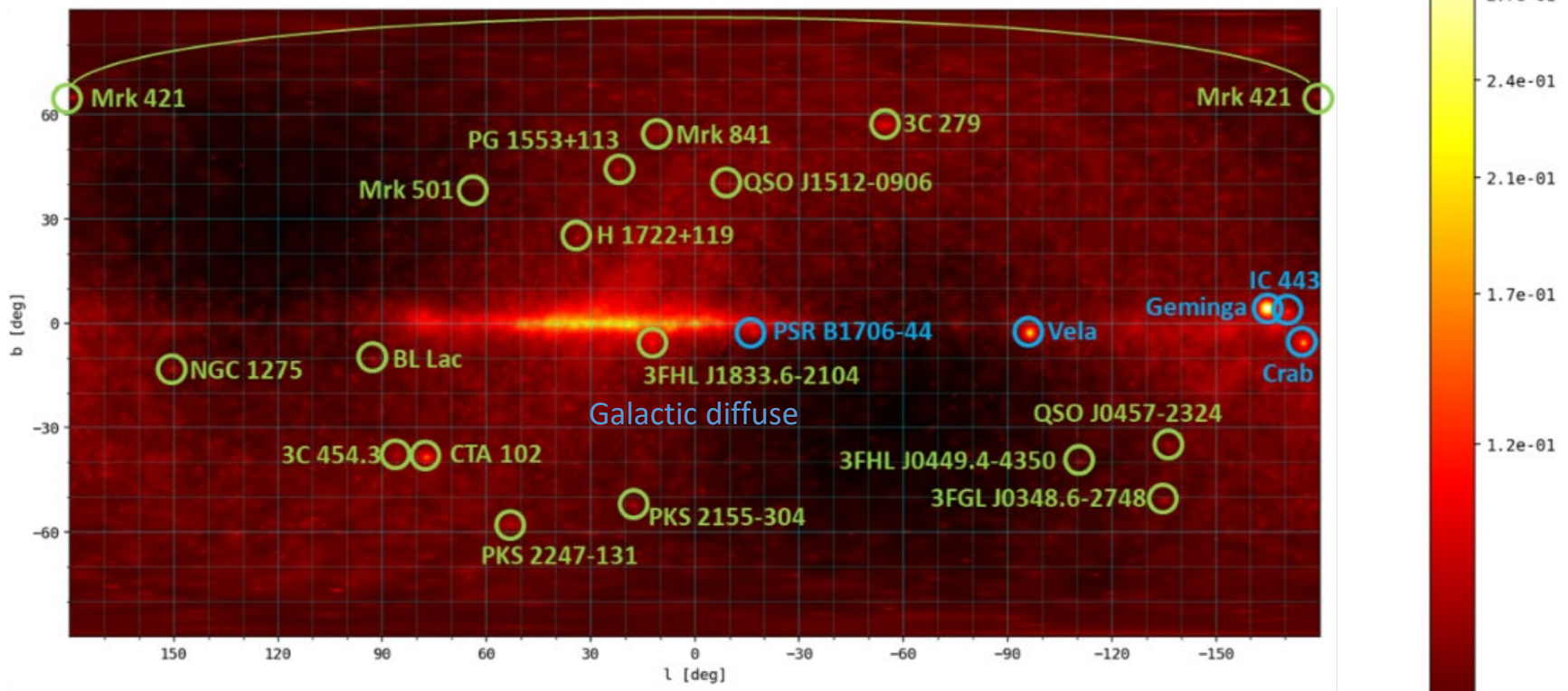
Observed



# Point sources (4.75 yr)

Preliminary

LE- $\gamma$ モード( $E_\gamma > 1$  GeV), 20151101-20200731 [Close-up]

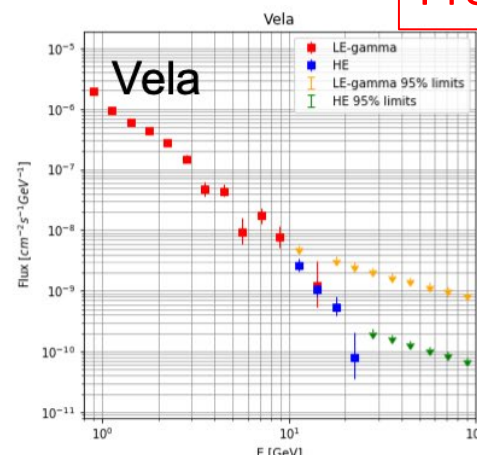
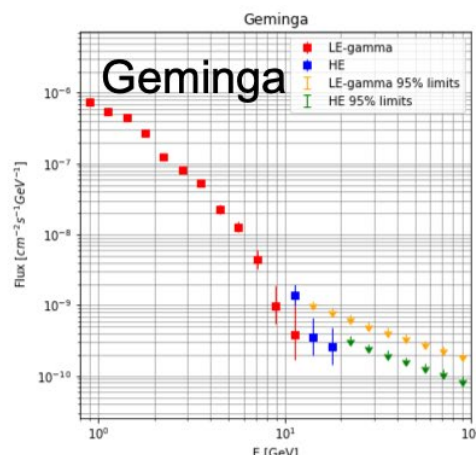
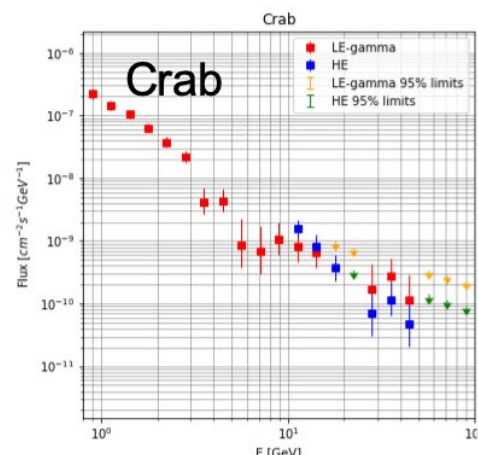


(銀河座標系)

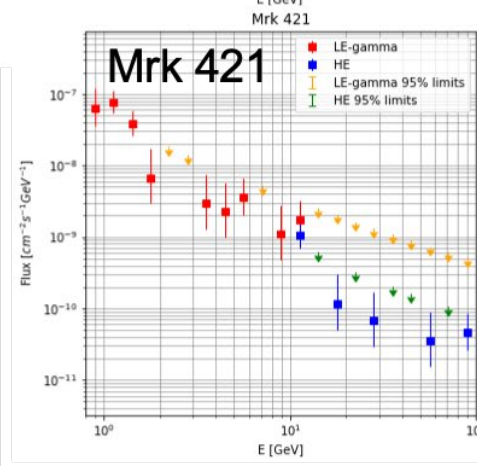
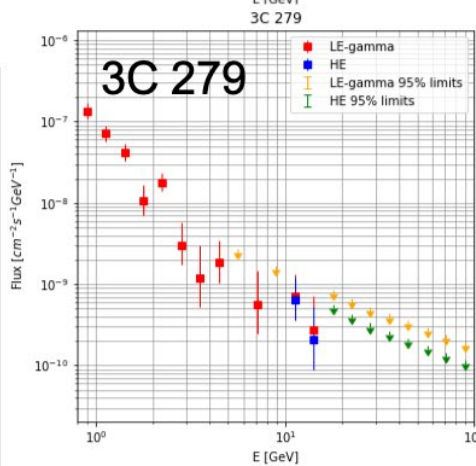
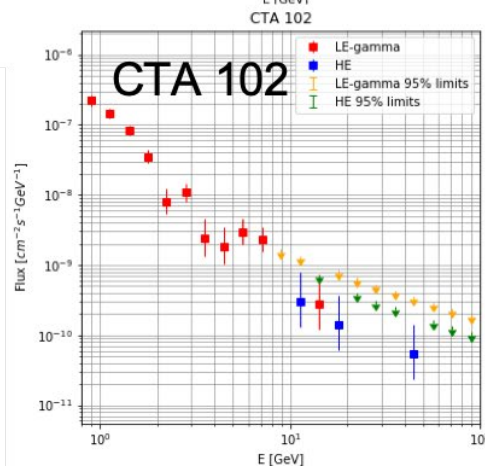
Fermi-LATなどで報告されているガンマ線点源が多数検出されている。

# 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)

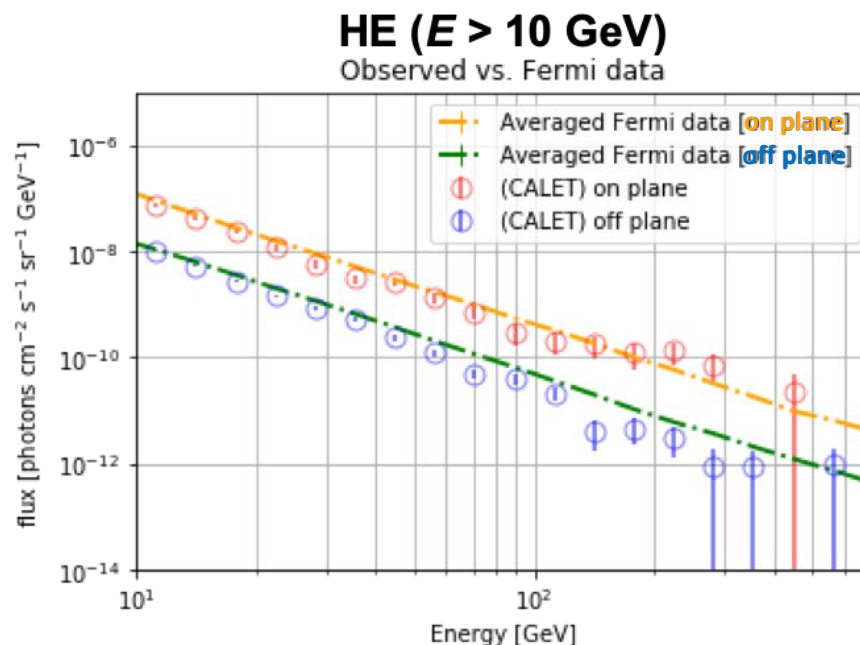
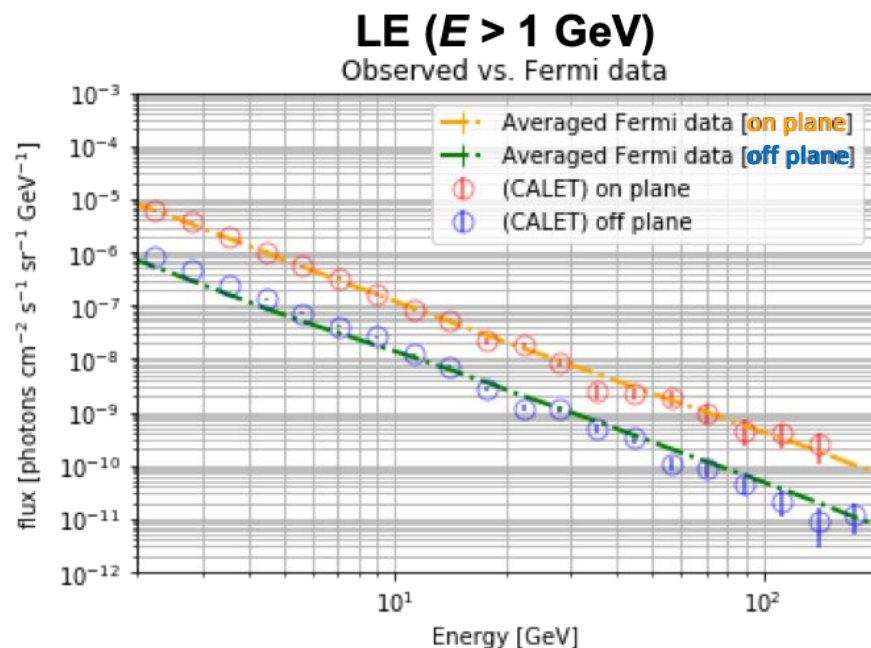


(銀河系外天体)

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。(橙・緑は上限値)

# 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



“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。

# 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（2015/10/05～2020/10/19の全234例中）
  - LE- $\gamma$  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

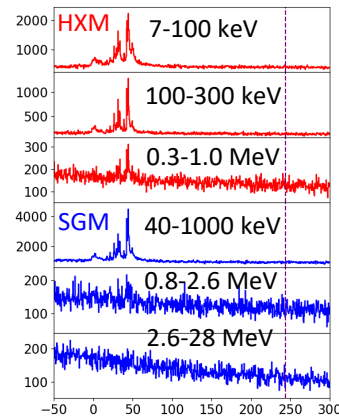
Preliminary

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

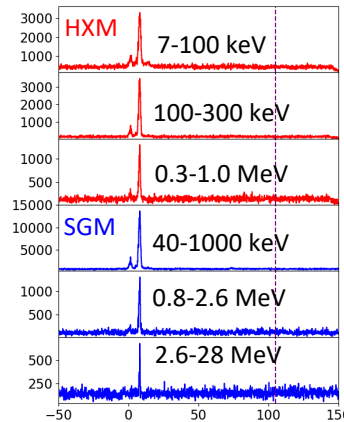
ガンマ線候補  
離角: 1.34 度  
(PSF 99% 以内)  
到来時刻:  $T_0 + 244\text{ s}$   
エネルギー: 3.46 GeV

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

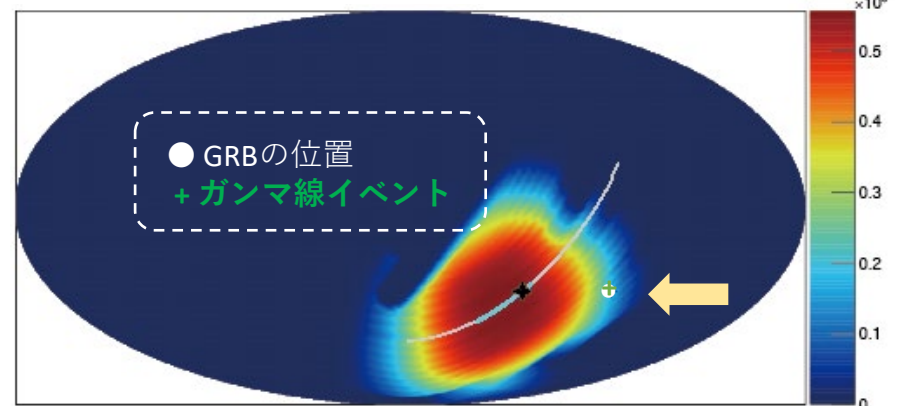
ガンマ線候補  
離角: 0.59 度  
(PSF 90%以内)  
到来時刻:  $T_0 + 105\text{ s}$   
エネルギー: 4.92 GeV



Exposure map for GRB 180526A (LEG)



Exposure map for GRB 200101A (LEG)



# 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( $\sim 2$  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。
- 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）。