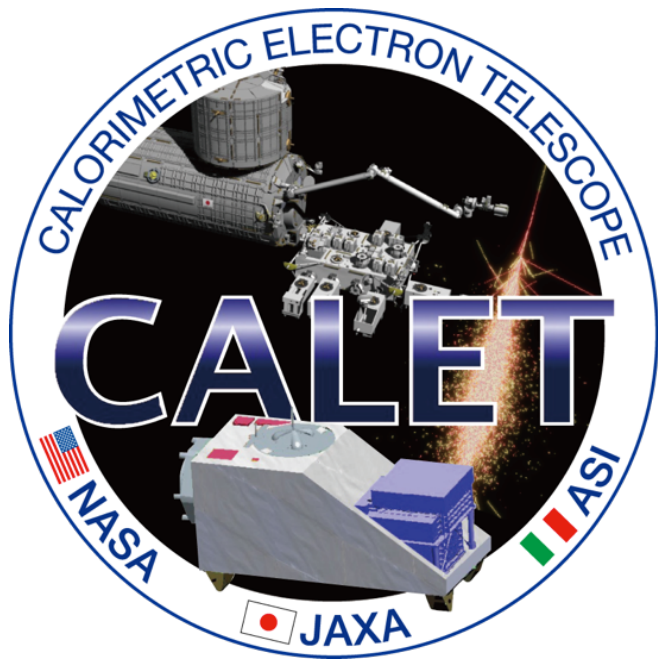


CALETによるガンマ線バーストの観測



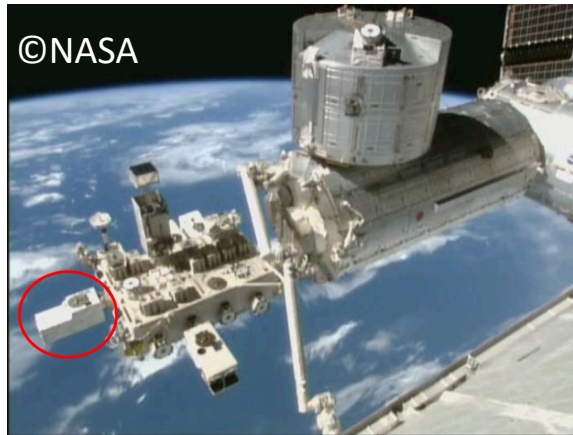
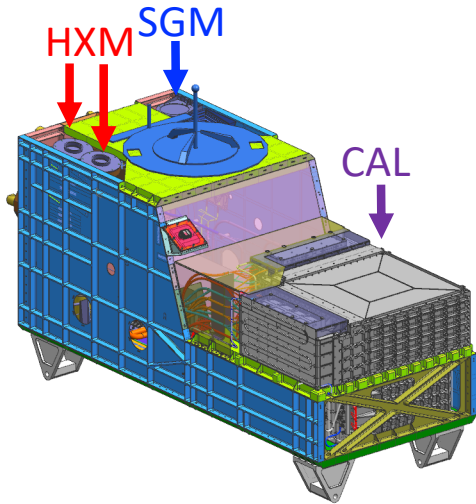
川久保雄太(Louisiana State Univ.),
浅岡陽一(東大宇宙線研),
鳥居祥二(早大理工総研),
森正樹(立命館大理工),
吉田篤正, 坂本貴紀(青学大理工),
Nick Cannady (NASA GSFC/UMBC),
Mike Cherry (Louisiana State Univ.),
他CALET team

Outline

- CALET
- CALETのガンマ線観測性能
- CGBMのデータ取得と速報
- CAL のガンマ線観測と地上即時解析
- CGBMがこれまでに観測した**GRB**
- **GRB**からの高エネルギーガンマ線の探査
- 重力波電磁波対応天体の探査
- まとめ

CALorimetric Electron Telescope (CALET)

- ・ 高エネルギー宇宙線とガンマ線の直接観測
- ・ 国際宇宙ステーション(ISS)にて2015年10月から観測を開始
- ・ 2020年9月現在も正常に観測を継続中



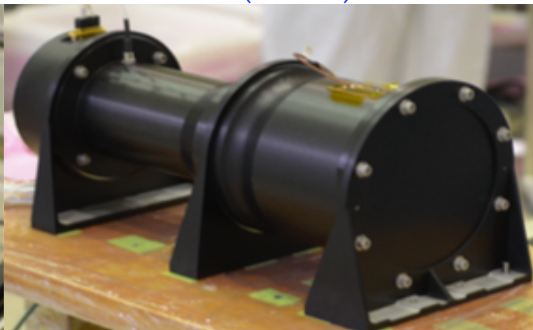
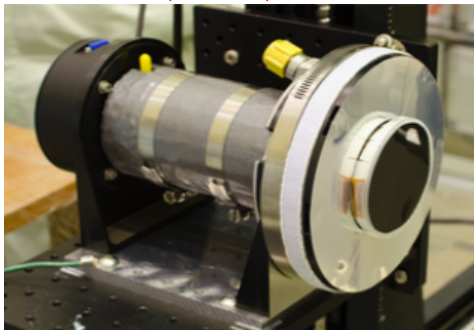
©NASA

CALET Gamma-ray Burst Monitor (CGBM)

X線 & ガンマ線: 7 keV - 20 MeV

Hard X-ray Monitor
(HXM)

Soft Gamma-ray Monitor
(SGM)

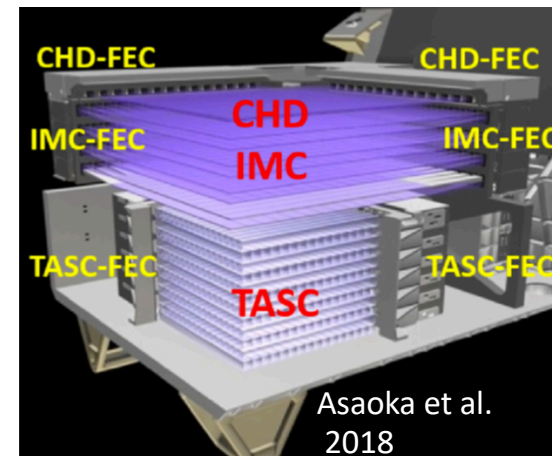


Calorimeter (CAL)

電子: 1 GeV - 20 TeV

ガンマ線: 1 GeV - 10 TeV

陽子 & 原子核: 10 GeV - 1000 TeV



CHD

- 電荷測定

IMC

- 電荷測定

- 粒子識別

TASC

- エネルギー測定

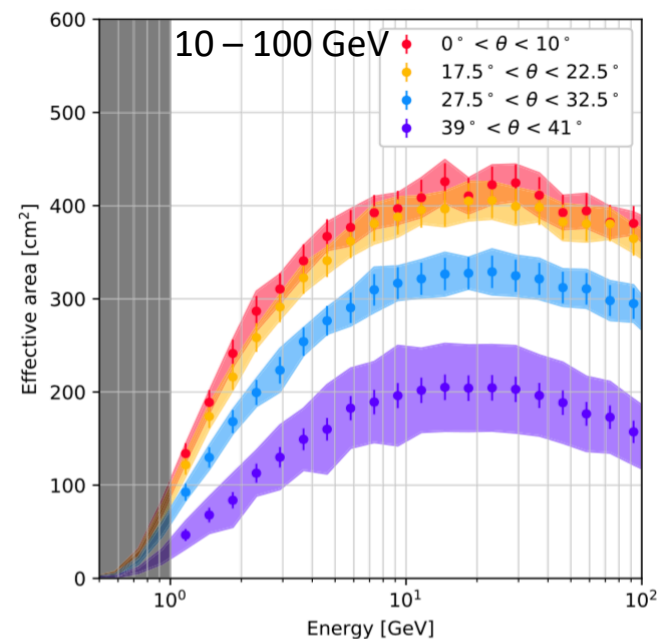
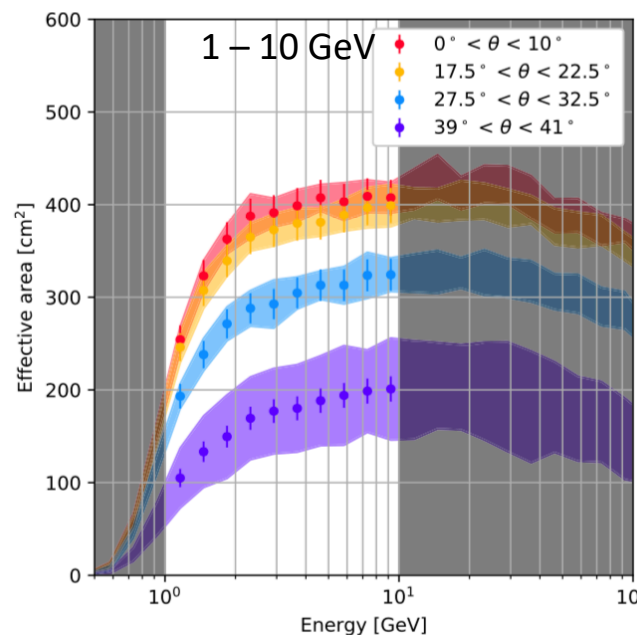
- 粒子識別

CGBM によるプロンプト放射の観測
CALによる高エネルギー放射の観測
によりGRBの放射過程の解明を目指す

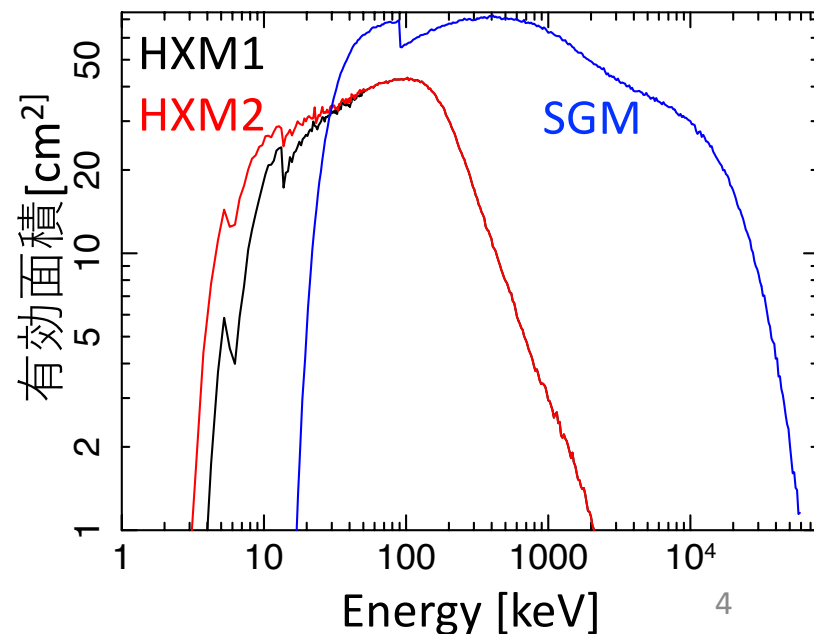
CALETのガンマ線観測性能

	CAL
エネルギー分解能	~3 % @ 10 GeV
エネルギー範囲	1 GeV - 10 TeV
視野	~2 sr
角度分解能	~0.5° @ 10 GeV

※エネルギー分解能と角度分解能は典型的な値。詳細はCannady et al., ApJS 238:5,2018 を参照

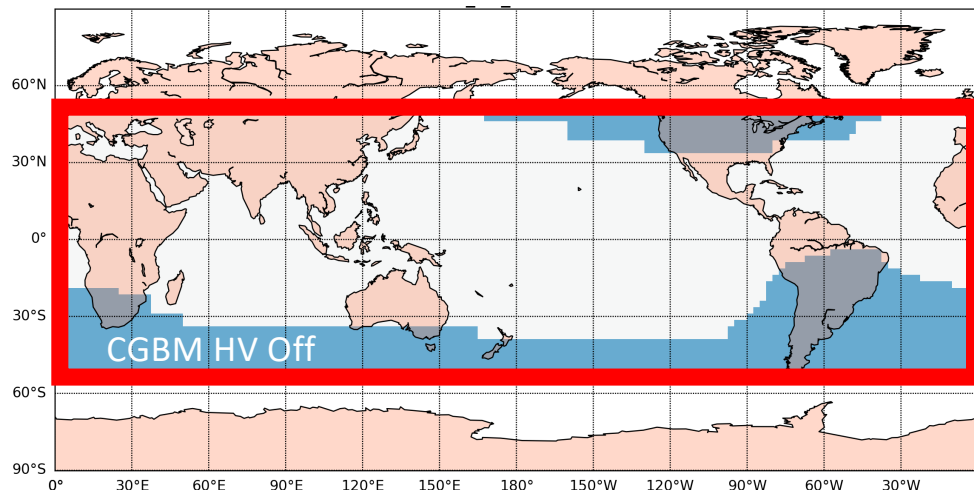


	HXM	SGM
シンチレータ	LaBr ₃ (Ce)	BGO
搭載数	2	1
エネルギー分解能	8 % @ 511 keV	11 % @ 511 keV
エネルギー範囲 [keV]	7-1000	40-20000
視野	~3 sr	~8 sr



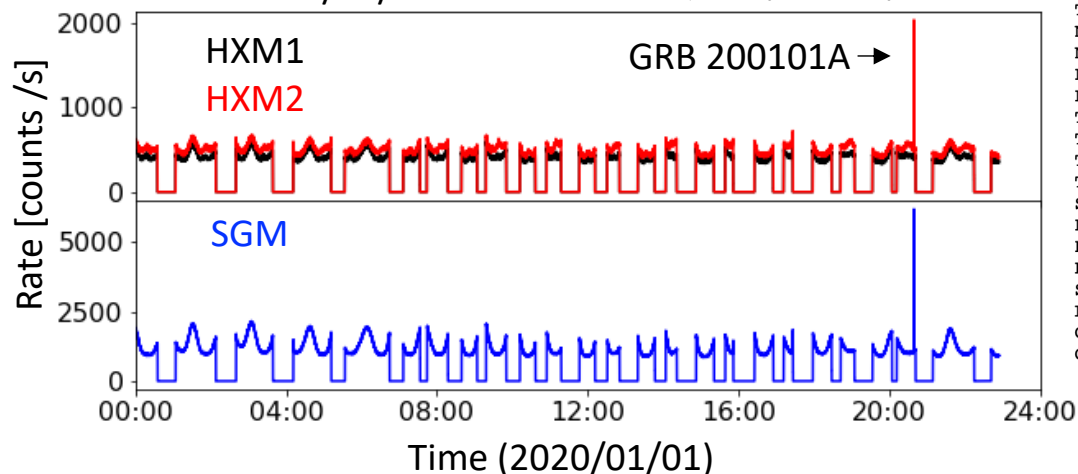
CGBMのデータ取得と速報

赤枠: ISSの軌道範囲



- モニターデータを常時取得
 - ライトカーブデータ (1/8秒毎, 8 channel)
 - スペクトルデータ (4秒毎, 512 channel)
 - SAA付近と高緯度帯では高圧電源をoff

20/01/01 の CGBMのカウントレート



- 1/4 秒毎に機上トリガー判定
 - イベントデータ (62.5us, 4096 channel x 2)
 - イベントデータは機上に3つまで蓄積可能
 - 週3回のダウンリンク

トリガー設定値	HXM	SGM
検出閾値	8.5 σ	7.0 σ
エネルギー帯域	25 - 100 keV	50 - 300 keV

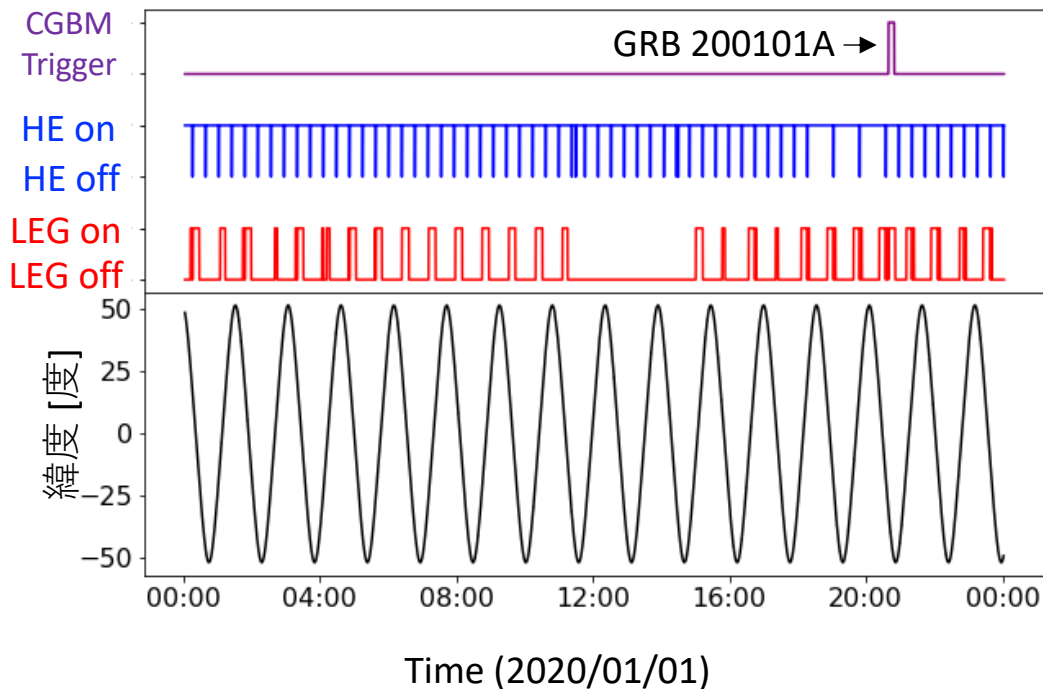
- 機上トリガーイベントの速報
 - リアルタイムデータを地上で即時解析
 - GCN notice へ速報 (約1分)
 - ライトカーブを公開 (約15分)

```

TITLE: GCN/CALET NOTICE
NOTICE_DATE: Thu 03 Sep 20 02:34:02 UT
NOTICE_TYPE: CALET GBM Flight Lightcurve
POINT_RA: 166.01d {+11h 04m 03s} (J2000),
POINT_DEC: -26.51d {-26d 30' 53"} (J2000),
TRIGGER_NUM: 1283135531
TRIGGER_DATE: 19095 TJD; 247 DOY; 20/09/03
TRIGGER_TIME: 9183.56 SOD {02:33:03.56} UT
TRIGGER_DET: 1 1 1 (HXM1 HXM2 SGM)
SIGNIFICANCE: 13.40 [sigma]
FOREGND_DUR: 4.00 [sec]
BACKGND_DUR1: 16.00 [sec]
ENERGY_BAND: 40-230 [keV]
SC_LON_LAT: 145.27,-26.62 [deg]
LC_URL: http://cgbm.calet.jp/cgbm_trigger/flight//1283135531/index.html
COMMENTS: CALET-GBM Flight Lightcurve.
COMMENTS: The LC_URL file will not be created until ~15 min after the trigger.
    
```

CALのガンマ線観測と即時解析

- 高エネルギー観測モード(HE)
 - ほぼ常時
 - ガンマ線 > 10 GeV
- 低エネルギーガンマ線モード(LEG)
 - 低緯度帯とCGBMの機上トリガー時
 - ガンマ線 > 1 GeV



- CALの観測データの即時解析システム

観測データを受信

1時間毎に受信
(~1時間)

高次データの生成

ガンマ線データ選別

1時間のデータを分割
60 core で並列処理

$T_0 \pm 60 \text{ s}$ 以内のガンマ線イベントを探索

T_0 : CGBMのトリガー時刻
CGBMがトリガーしている場合のみ

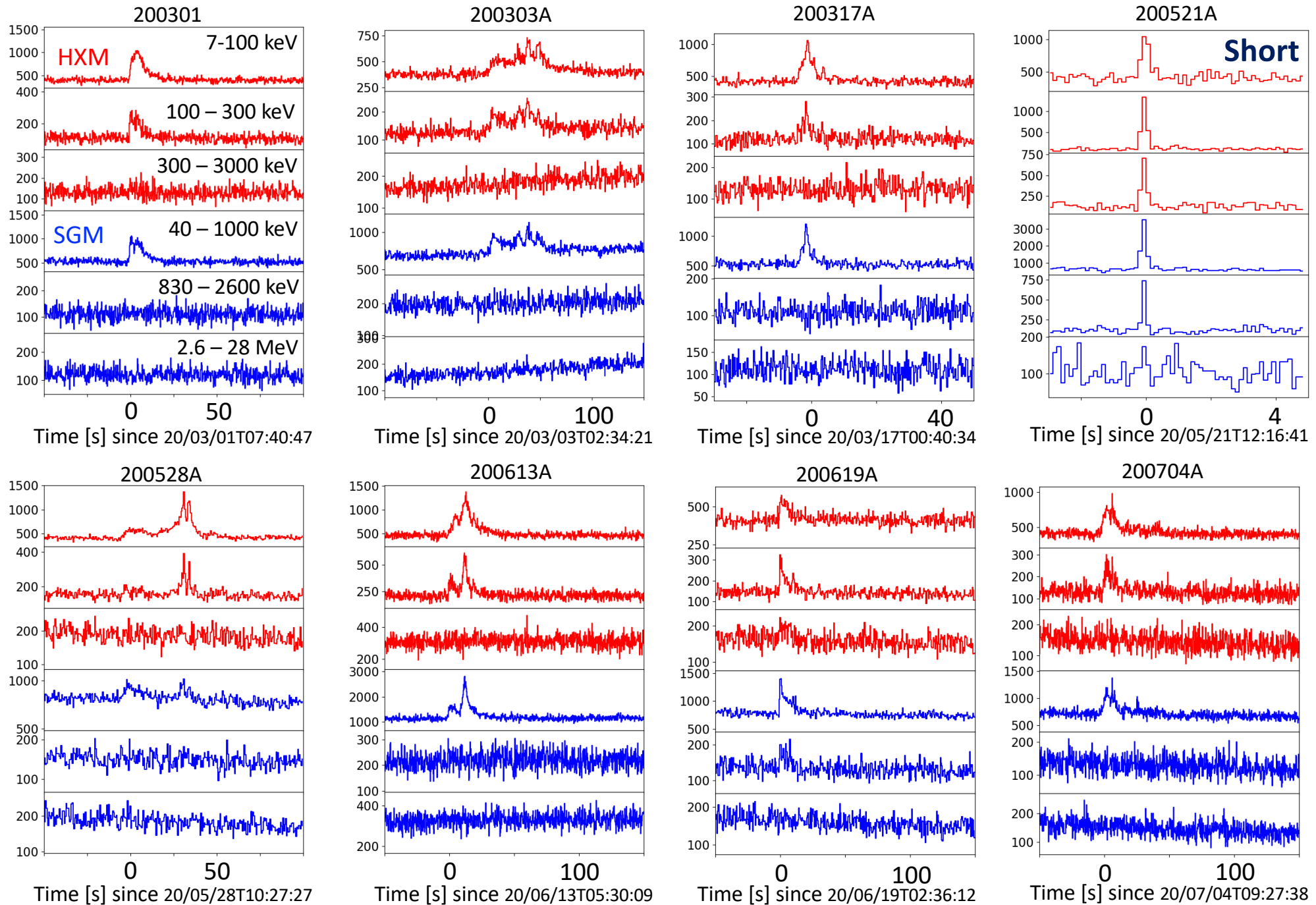
同方向から来たガンマ線のペアを探索

高エネルギーガンマ線
突発天体の探索が目的

観測から約2時間で

- ガンマ線解析用の高次データの生成
- Quick look用の自動解析

CGBMで観測したGRBのライトカーブ



CGBMがこれまでに観測したGRB

2015/10/05 ~ 2020/07/07

217 GRBs を機上検出

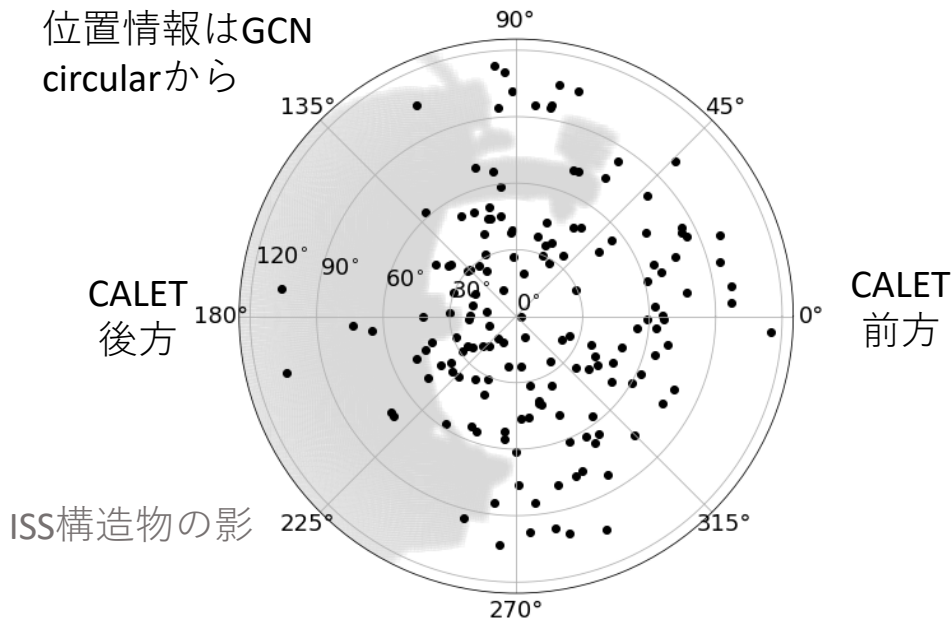
$T_{90} \geq 1.75$ s: 183 + 4 (86.2 %)

$T_{90} < 1.75$ s: 30 (13.8%)

- +4はSGMによる計測が出来なかったもの
- Fermi-GBM の short burst の割合は 22.5 %
(von Kienlin et al. 2020)

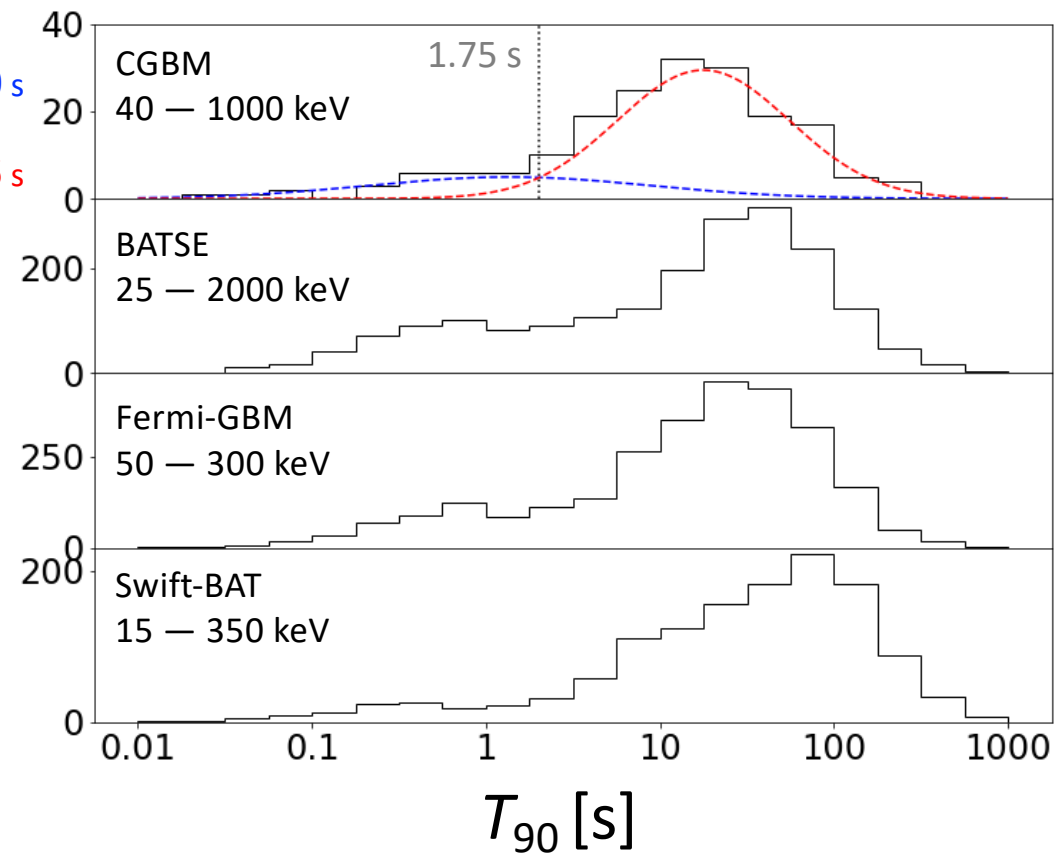
Long と Shortのどちらも観測

位置情報はGCN
circularから



ISS構造物に視野が遮られているが
年間 44.7 GRBを検出

Short
平均値: 0.60 s
Long
平均値: 32.5 s



他の検出器との同期

Swift-BAT: 40 (18.4 %)

Fermi-GBM: 125 (57.6 %)

MAXI-GSC: 10 (4.6 %)

**Fermi-GBMとの同期が最多だが
Fermi-GBMが検出していないGRBも検出**

GRBからの高エネルギーガンマ線の探査

CGBMが検出したGRBについて高エネルギーガンマ線がCALで検出されていないか調べた。

解析手法

- CGBMが検出した217個のうち93個について解析
 - *Swift*, MAXI, IPN, *Fermi*-LATによって位置が報告されているもの
- $T_0 - 60 \text{ s} \sim T_0 + 7200 \text{ s}$ のLEGデータを使用 ※ T_0 はCGBMのトリガー時刻
- 報告されたGRBの中心位置から2度以内のガンマ線を探査

解析結果

- 視野外 or LEGデータなし: 33
- 探査可能 -> ガンマ線イベントなし: 57
- 探査可能 -> ガンマ線イベントあり: 3
 - GRB 180526A
 - GRB 200101A
 - GRB 200613A
 - 移動構造物が視野内にあり構造物からの二次ガンマ線

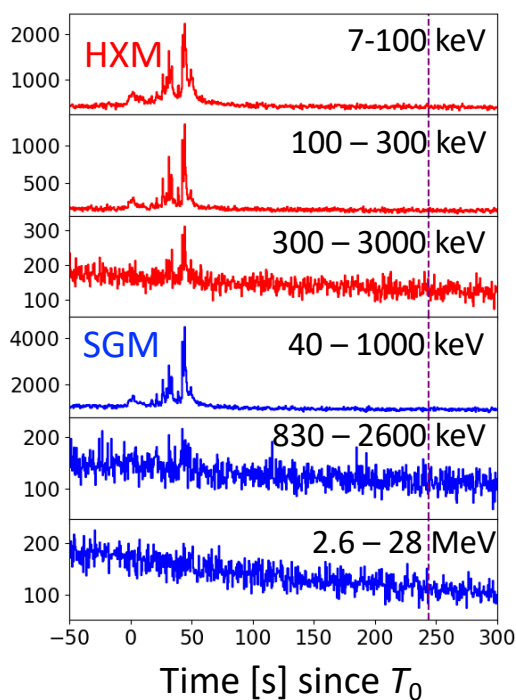
GRB 180526A と GRB 200101A (preliminary)

Exposure map for GRB 180526A (LEG) $\text{cm}^2 \text{s erg}^{-1}$

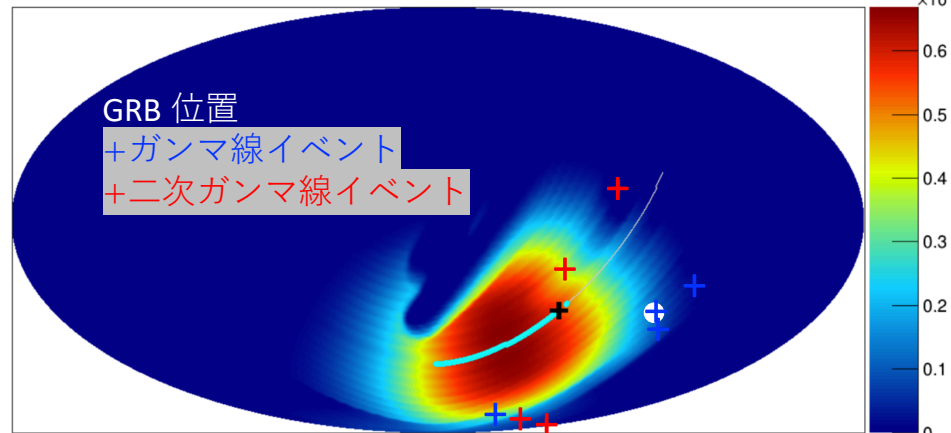


$T_0 = 2018/05/26 \ 11:03:36$
GRB位置 = (108.48, 3.64)
(Fermi-LAT, Ajello et al. 2019)

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

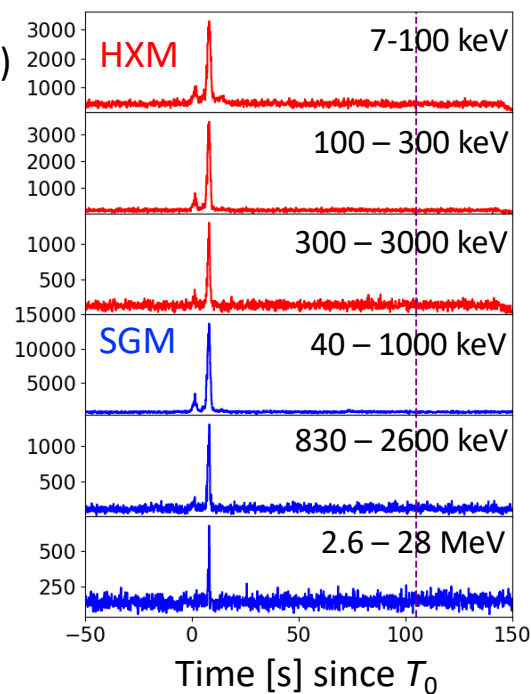


Exposure map for GRB 200101A (LEG) $\text{cm}^2 \text{s erg}^{-1}$



$T_0 = 2020/01/01 \ 20:39:30.40$
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



GRB からの光子であるか詳細解析中

重力波電磁波対応天体の探査

LIGO & Virgo のO3 runの期間に報告された重力波イベントについて電磁波対応天体の探査を行った。

54/57イベントについてGCN circular へ報告

CAL の解析

- 重力波トリガー時刻 ± 60 s のデータを使用 (HE or LEG)。
- 重力波位置の誤差領域からのガンマ線候補を探す。
- ガンマ線候補がない場合にはフラックスの上限値を見積もる。

CGBM の解析

- 重力波位置の誤差領域をCGBMが観測していたか調べる
 - 重力波トリガー時刻にCGBMの高圧電源がON になっているか。
 - 重力波位置の誤差領域とCGBMの視野に重なりがあるか。
- 光度曲線データを用いS/N比を計算し、S/N比 ≥ 7 となる信号を探す。
 - 重力波トリガー時刻 ± 60 s のデータを使用
 - 荷電粒子イベントはS/N比 ≥ 7 でも除外。

CALの観測結果

1 : 高圧電源 off *(装置の不具合ではない)
30 : 視野外
26 : 探査可能 -> ガンマ線候補なし

CGBMの観測結果

20 : 高圧電源 off
3 : 視野外
34 : 探査可能 -> 有意な信号(S/N比 ≥ 7)なし

O3では重力波電磁波対応天体候補は見つからず

まとめ

- CALETは2015年10月から約5年経った現在も正常に観測を継続している。
- CGBMは2020/07/07 までに217 個のGRBを機上検出している。
 - Long: 187, Short 30
 - Fermi-GBMと同期したバーストが57.6%
- CGBMが検出した93個のGRBに対して高エネルギーガンマ線を探索した結果、GRB位置付近からのガンマ線を2例見つけた。
 - GRB 180526A (T0+244 s, 3.46 GeV, LATの中心位置から1.43度)
 - GRB 200101A (T0+105s, 4.92 GeV, IPNの中心位置から0.59度)
GRBからのガンマ線かどうか要調査
- LIGO/VirgoのO3 runで報告された重力波イベントに対して重力波電磁波対応天体の探索を行ったが、CALETのデータに有意な信号は確認出来ず。