

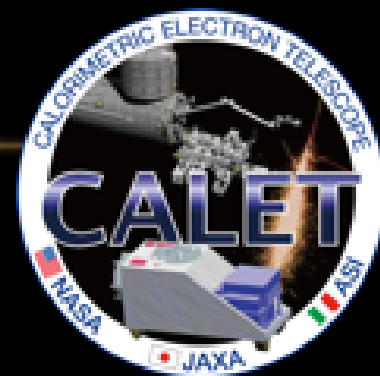
# CALET ガンマ線バーストモニタ (CGBM)の初期成果

2017年3月19日(日)

山岡 和貴

(名古屋大学 理学研究科/宇宙地球環境研究所)

他 CALET コラボレーション



# CGBM チーム

## 日本

- 青山学院大学  
吉田 篤正、坂本 貴紀、川久保 雄太
- ISAS/JAXA  
中平 聡志
- ICRR  
石崎 渉
- 名古屋大学  
山岡 和貴
- 早稲田大学  
鳥居 祥二、浅岡 陽一、小澤 俊介
- 神奈川大学  
田村 忠久、清水 雄輝

## 米国

- ルイジアナ州立大学  
Mike Cherry

## イタリア

- シェーナ大学  
Pier Marrocchesi, Ana Penacchioni
- フローレンス大学  
Sergio Ricciarini

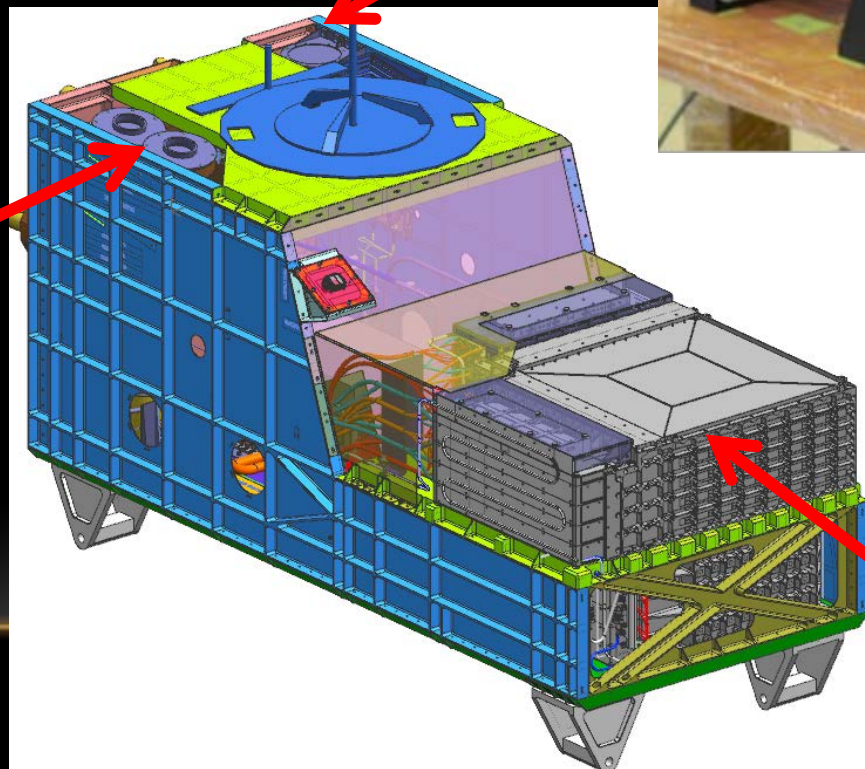
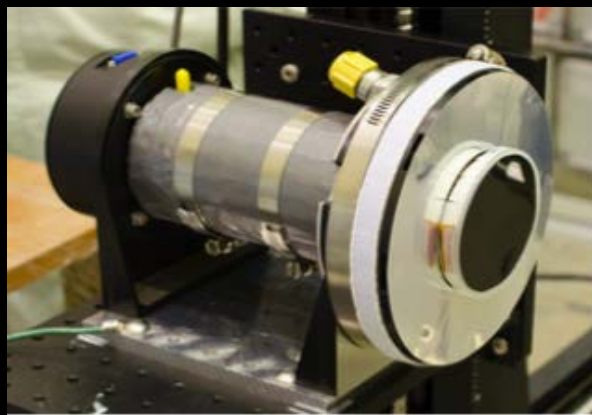
# CALETガンマ線バーストモニタ (CGBM)

- CALETの第2の科学観測装置
- 主検出器カロリメータのガンマ線観測 (1 GeV-10 TeV) をサポートするために付加

軟ガンマ線モニタ (SGM)  
40 keV -20 MeV



硬X線モニタ (HXM) 2台  
7-1000 keV

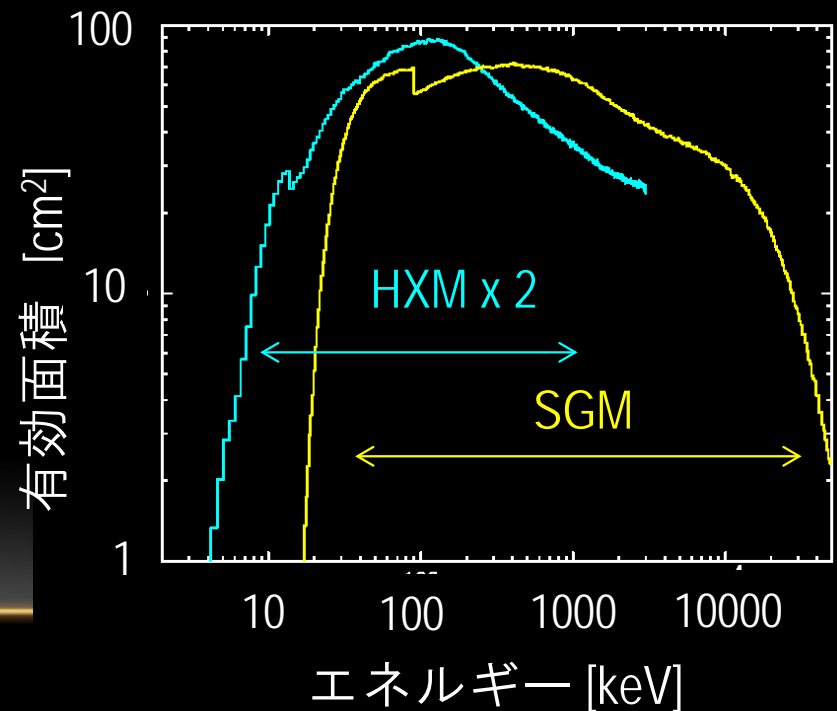


カロリメータ (CAL)  
10 GeV -10 TeV  
(1 GeV-10 TeV @GRB観測時)

# CGBMの特徴

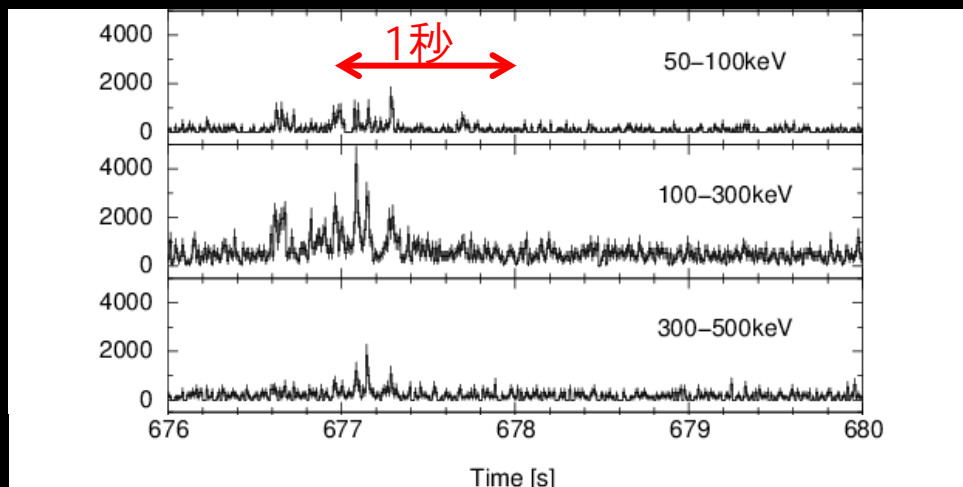
- 小型ながらも10 keV以下から10 MeV以上までの広帯域観測  
(ノミナルなガンマ線バースト観測レンジ)を実現
- シンチレータLaBr<sub>3</sub>(Ce)を宇宙科学観測で初めて使用
- CAL(~2 str.)とともに広い視野を実現 (ただし、位置決定能力はなし)

	HXM	SGM
検出器 (結晶+光電子増倍管)	LaBr <sub>3</sub> (Ce)	BGO
検出器数	2	1
直径 (cm)	6.1	10.2
厚さ (cm)	1.27	7.6
エネルギー範囲 (keV)	7-1000	40-20000
エネルギー分解能	~18 % @32 keV	~12 % @662 keV
視野	~3 sr	~2π sr

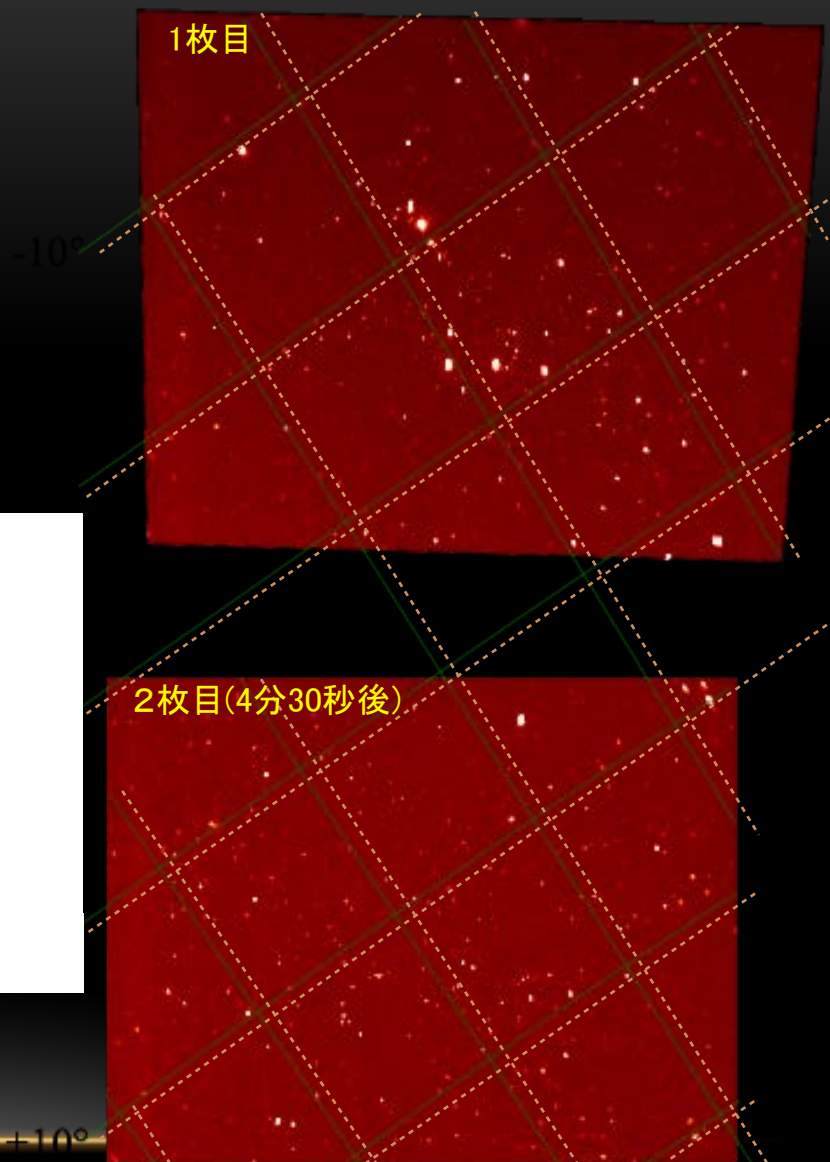


# CGBM機上トリガー

- 機上でガンマ線バーストを自動判定  
統計ゆらぎの何倍で判定する
  - イベントデータ(62.5マイクロ秒  
時間分解能)を取得 → 短いGRB解析に威力



- CAL 低エネルギーモードへ移行  
(10 GeV → 1 GeV)
- ASC(スターセンサ)による可視光画像取得  
→ 可視光フラッシュの検出を狙う。



# CGBM運用のこれまで

2015/8/19 H-IIBロケットによるCALET打ち上げ

2015/8/25 「きぼう」JEMモジュールへ付加

2015/9/22 CGBM 初期チェックアウト

2015/10/5-7 CGBM 72時間長期ラン

2015/10/8 CGBM 通常運用開始

高圧: HXM1:720 V, HXM2: 828 V, SGM:867 V

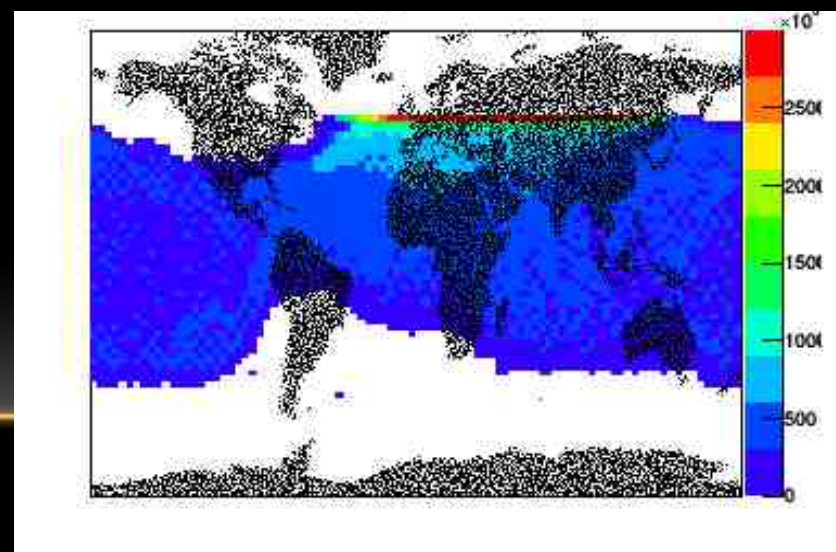
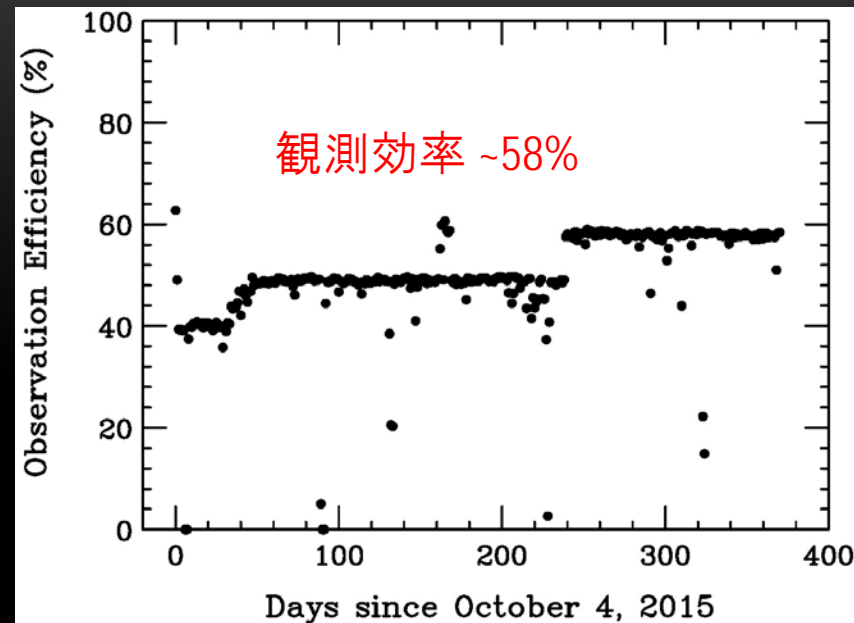
2015/11/9 HXM 高圧微調整

HXM1: 701 V, HXM2: 794 V

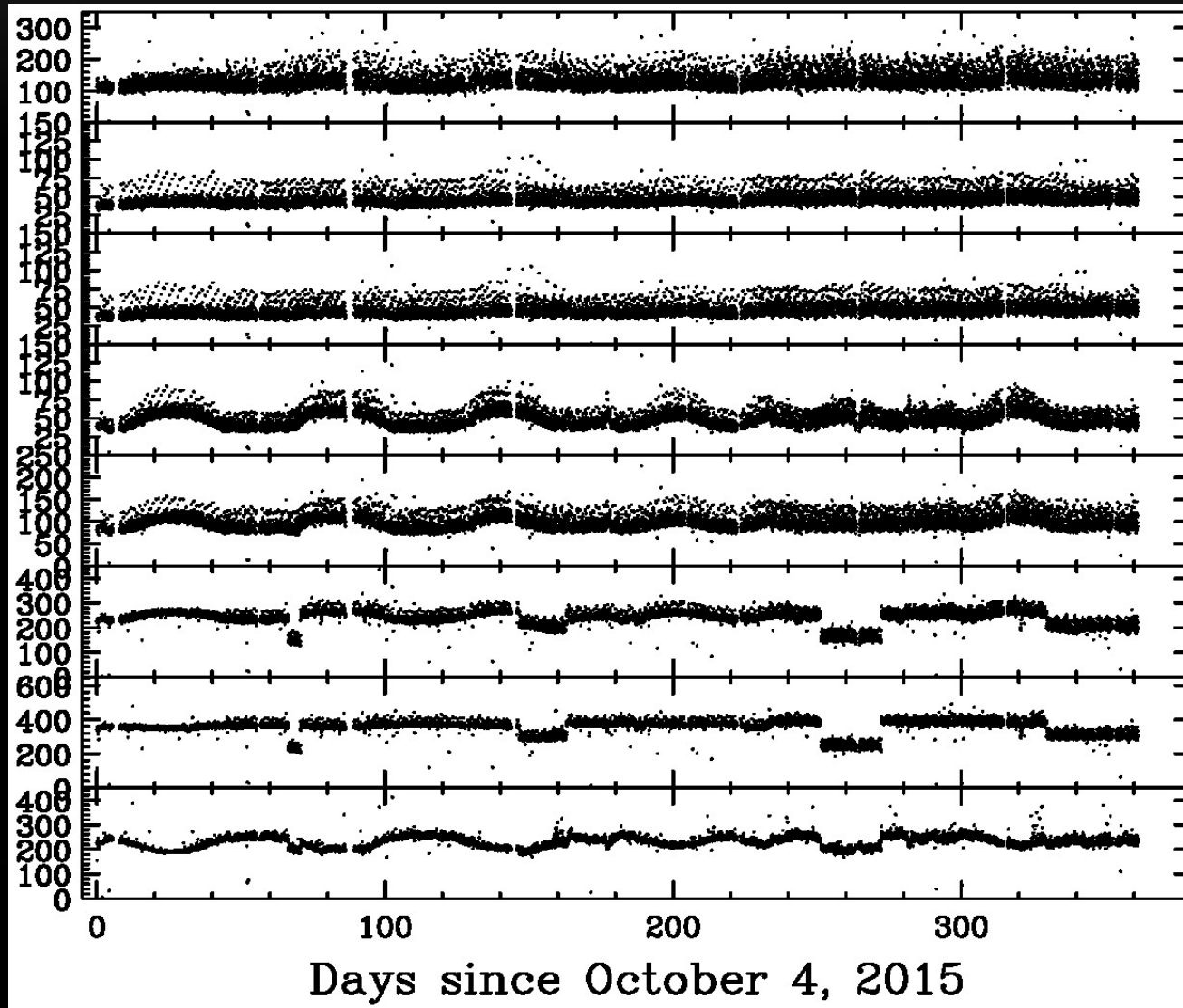
2015/11/6,11/19, 2016/5/9

高圧オフ領域変更

現在まで、CGBM全センサは  
順調に動作



# CGBM SGM ライトカーブ ~ ISSの特殊事情 ~



2.5-26 MeV

1.4-2.5 MeV

0.8-1.4 MeV

0.5-0.8 MeV

430-860 keV

210-430 keV

88-210 keV

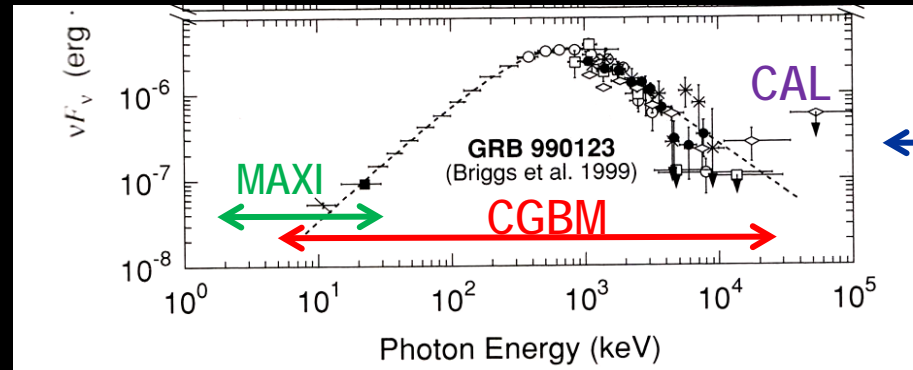
33-88 keV

# CGBMサイエンス

- CGBMのエネルギー帯(~10 keVから~10 MeV)は突発天体の宝庫  
地球起源のTGFから宇宙論的な距離にあるGRBまで一度に観測

- ガンマ線バースト(GRB)の広帯域観測 (keV-MeV-GeV)

全天X線監視装置MAXI (2-20 keV)とも  
共同観測し、GRB放射機構の解明



- 重力波天体のX・ガンマ線対応天体サーチ

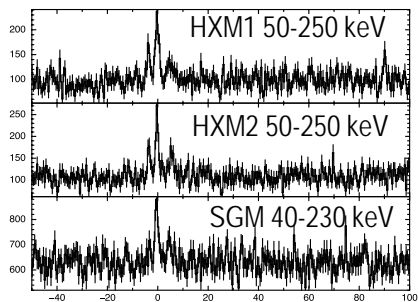
★短いガンマ線バーストの起源が本当にNS-NSマージャーなのか？

我が国では数少ない広視野X・ガンマ線観測装置

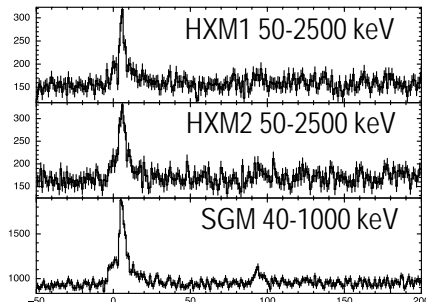


# CGBMで受けたガンマ線バースト(GRB)例

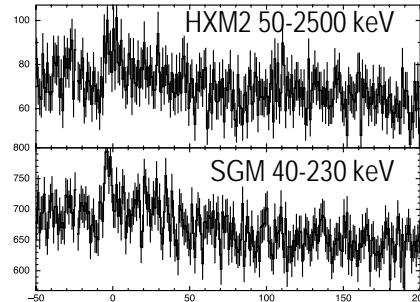
GRB151015A



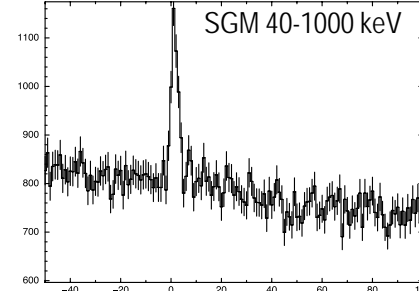
GRB151107B



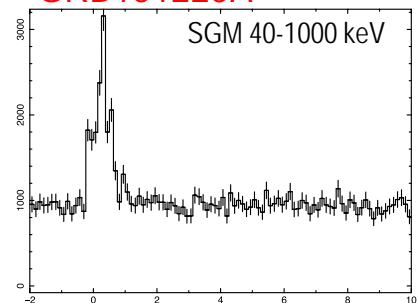
GRB151210B



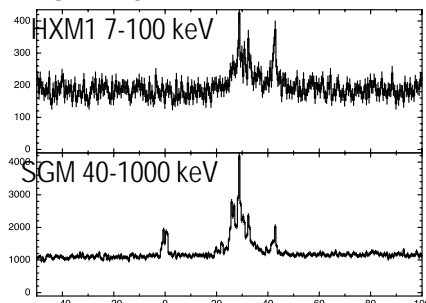
GRB151212B



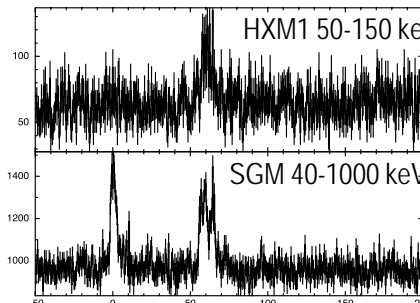
GRB151225A



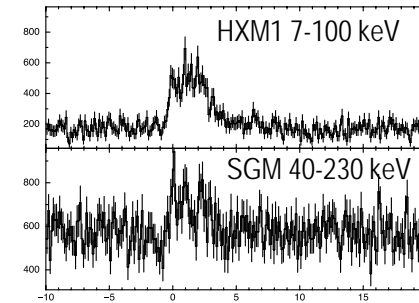
GRB151227B



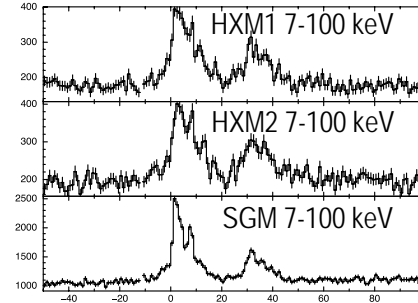
GRB151231A



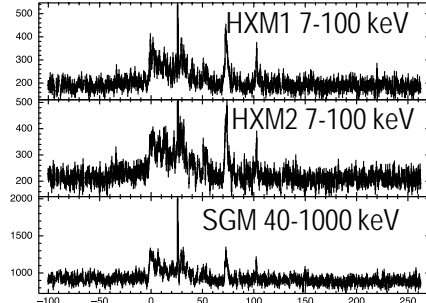
GRB160101A



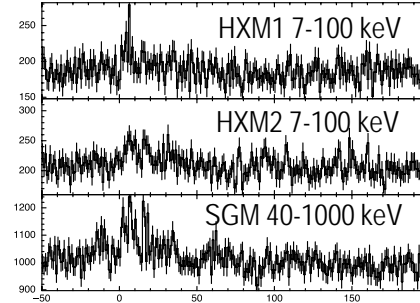
GRB160106A



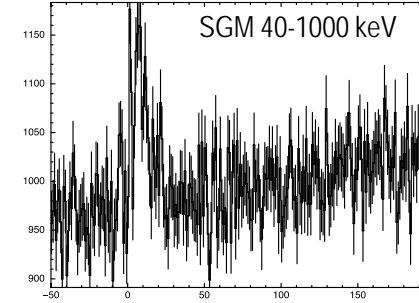
GRB160107A



GRB160118A



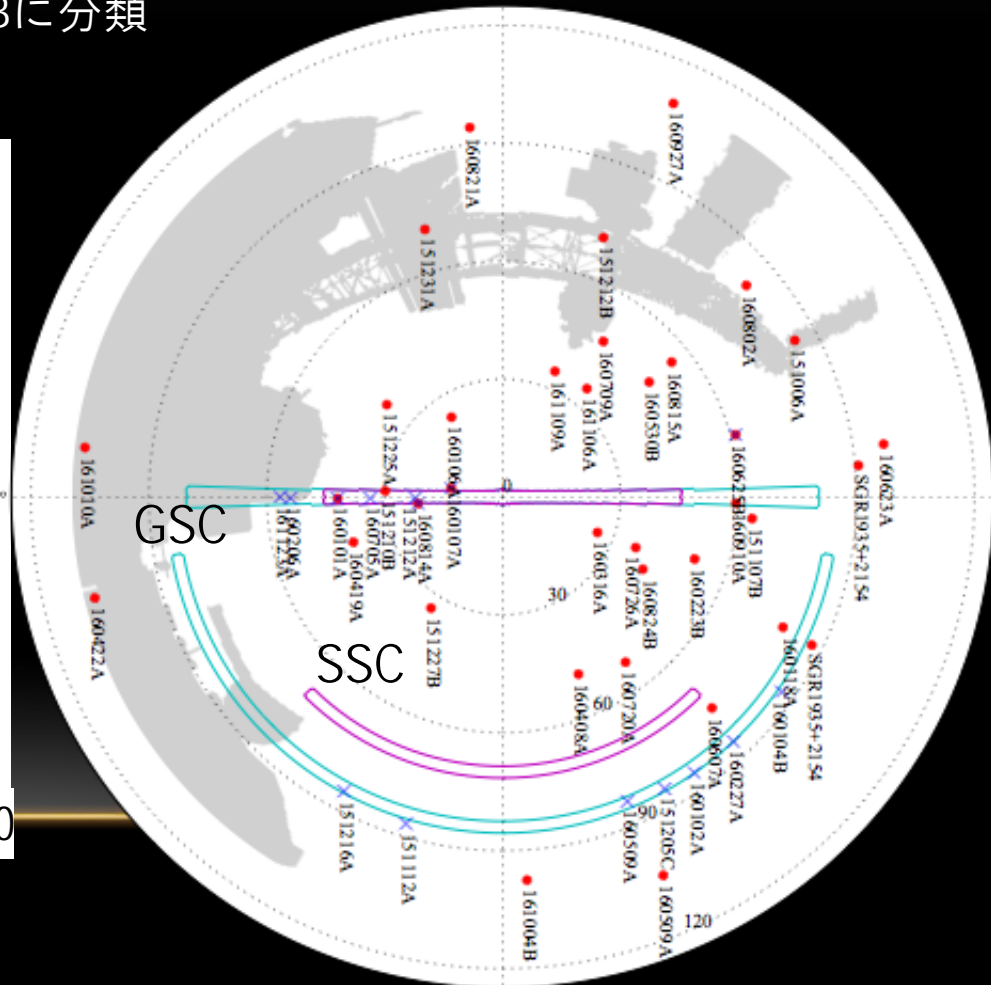
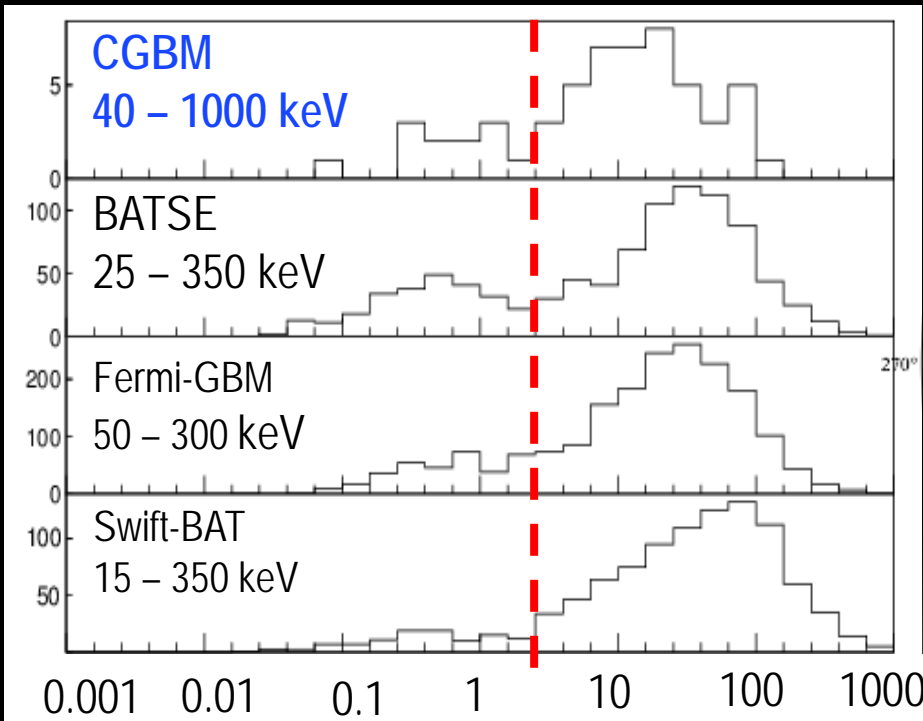
GRB160223B



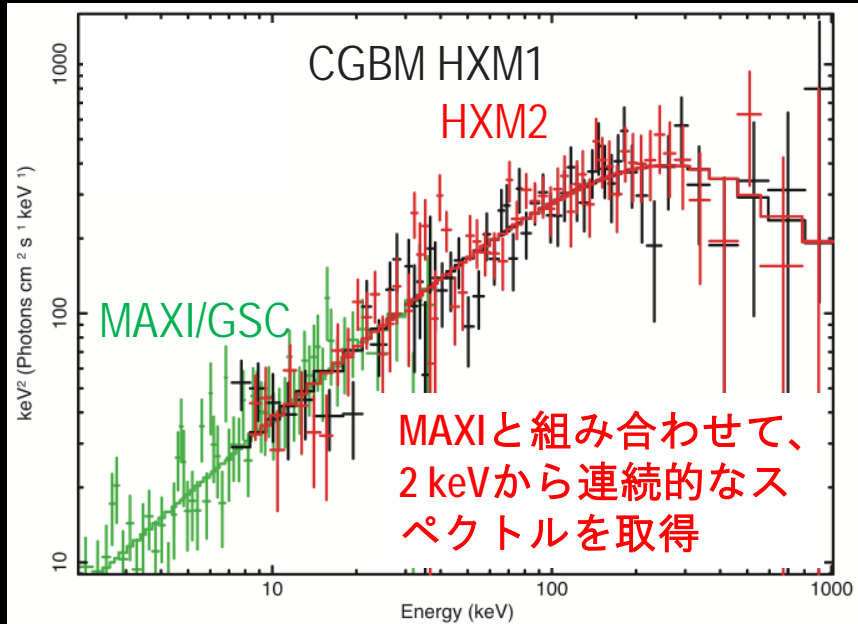
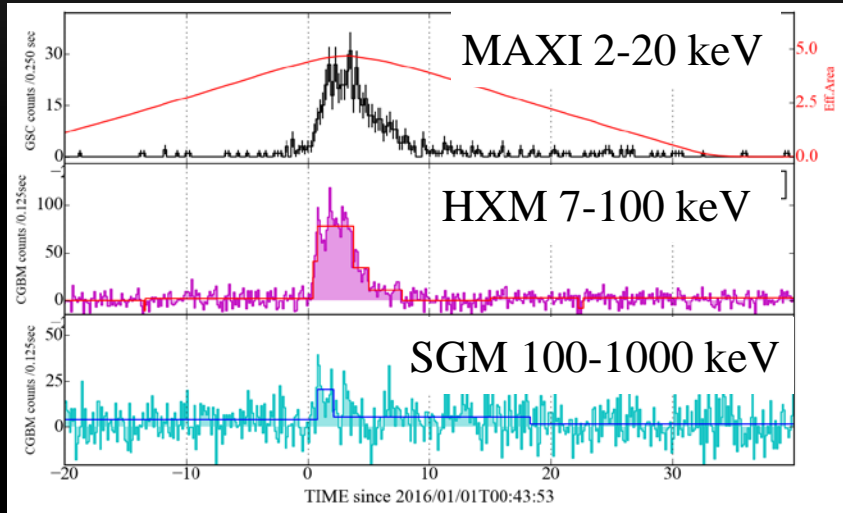
# ガンマ線バースト(GRB)検出数

- 2017年2月までに57個のGRBを検出  
→ 1年間に約40-50個程度のペースで検出中
- そのうち、11個(約19%)がショートGRBに分類
- Fermi-GBM 40 個、MAXI 4個と同期

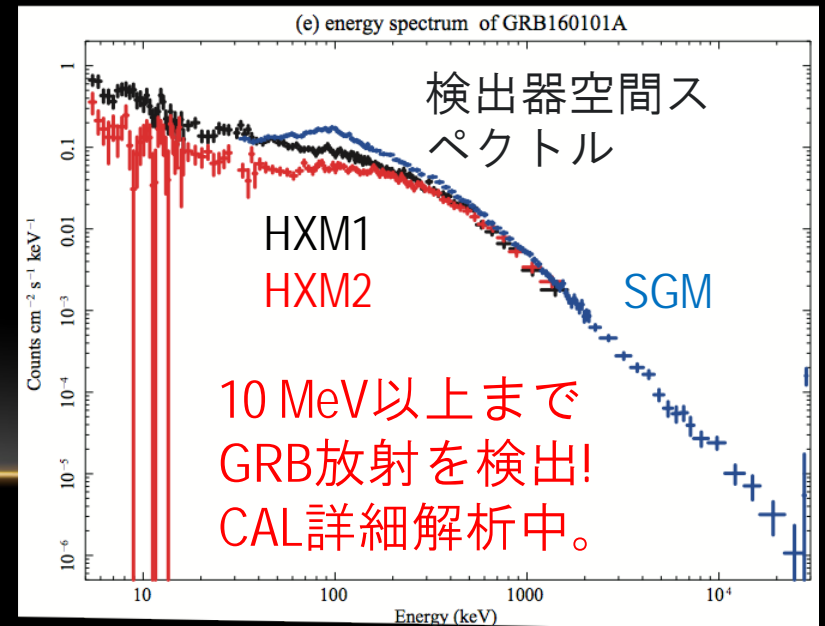
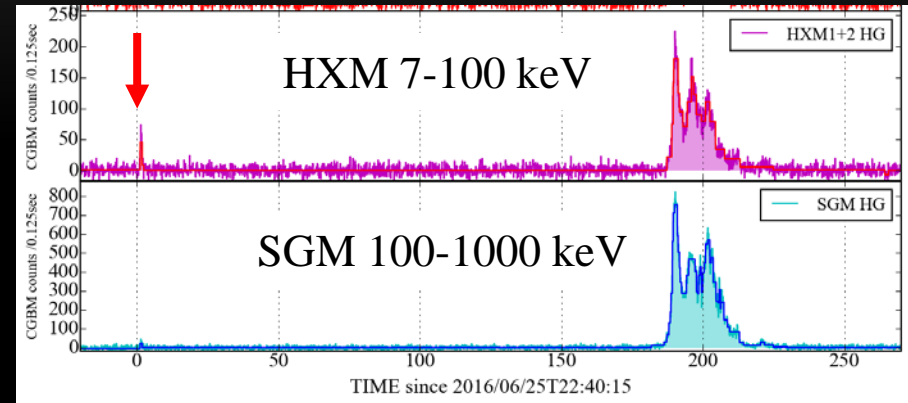
天頂から見た時の視野



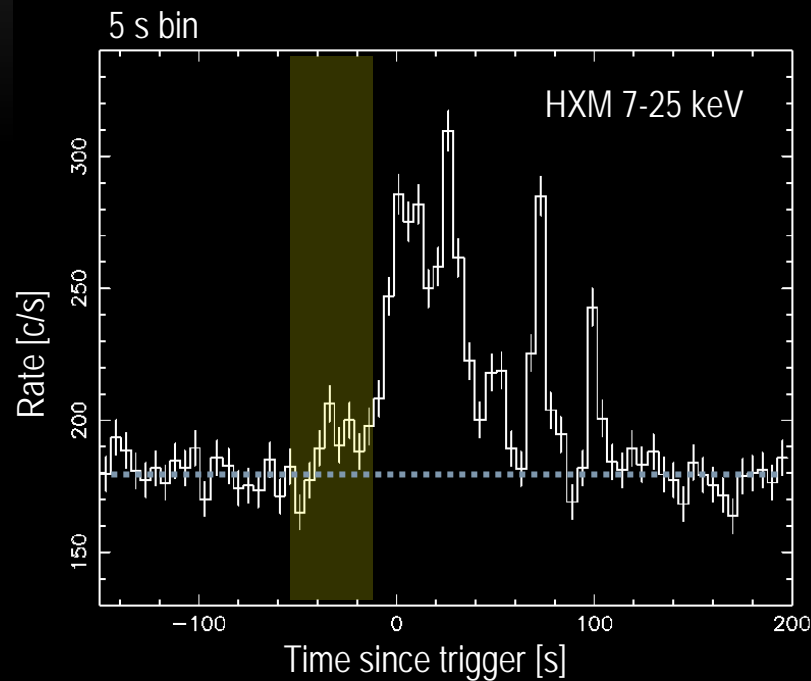
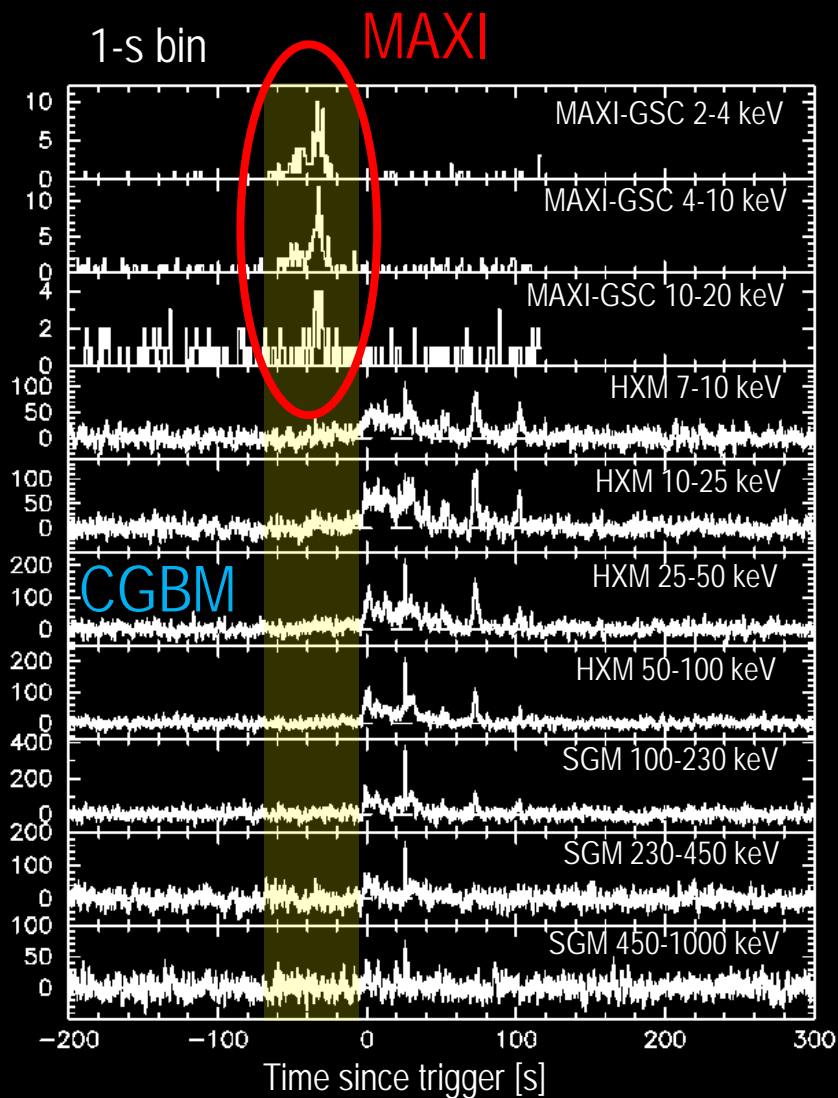
# GRB 160101A



# GRB 160625B



# GRB 160107A (Kawakubo et al. in prep.)



- CGBMのトリガー時刻の前から  
MAXIではGRBからの放射を検出  
→ このようなX線放射が見逃されて  
いる可能性がある

# 重力波天体 X · ガンマ線対応天体サーチ

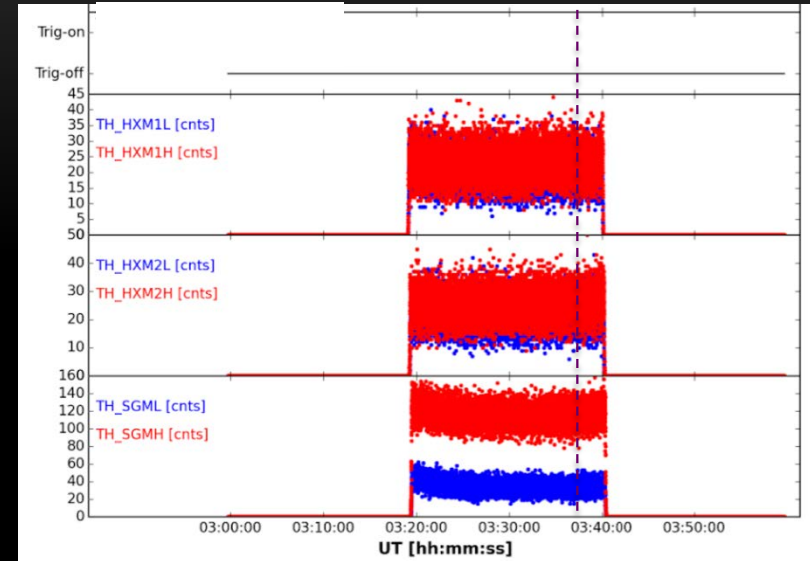
- CALETは、LIGO/Virgo コラボレーションとMOUを締結→GW天体の速報を受信

## 01ラン中のイベント

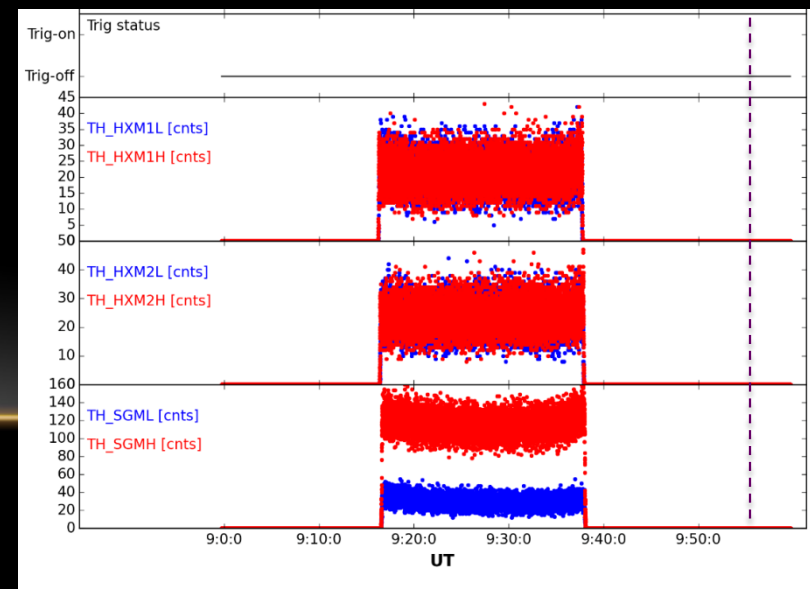
- GW 150914
  - CALとCGBMともにオフ(検出器立ち上げ前).
- GW 151226
  - GW トリガー時刻: 2015/12/26 3:38:53.647 UT
  - CGBM 高圧オン (3:20 – 3:40 UT)
    - 機上トリガーは発生せず
  - CAL: 低エネルギーガンマ線モード (> 1GeV) 3:30-3:43 UT
- LVT 151012
  - CGBM オフ (CAL: 通常観測).

現在02ランでの観測を実行中

2015/12/26 3:00-4:00 UT



2015/10/12 9:00-10:00 UT



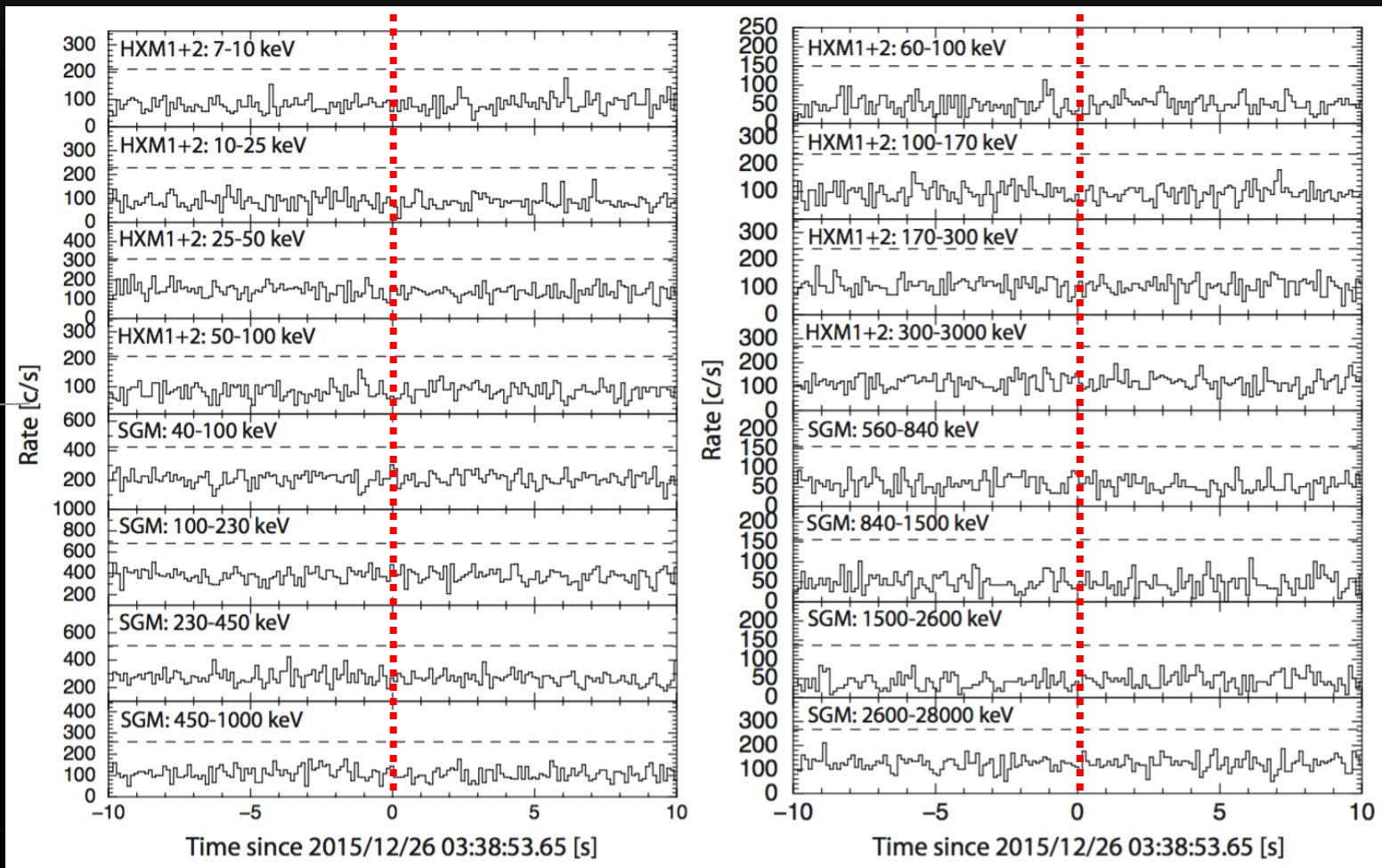
# GW 151226 (Adriani et al. 2016, ApJL) (I)

- GW検出時間にCGBMトリガーはなし → 定時データを確認

0.125 s 時間分解能; HXM/SGM 8 エネルギーチャンネル

HXM  
7keV-  
3MeV

SGM  
40keV  
-28MeV



CGBMライトカーブ(+/-60秒)にクリアな検出は見られない

# GW 151226 (Adriani et al. 2016, ApJL) (II)

- 重力波天体のエラーサークルの  
HXMで32%、SGMで49%程度をカバー  
→  $7\sigma$ 上限値  $1-2 \times 10^{-6} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$   
(ショートGRBの典型的スペクトルを仮定)

距離440 Mpcを仮定すると、

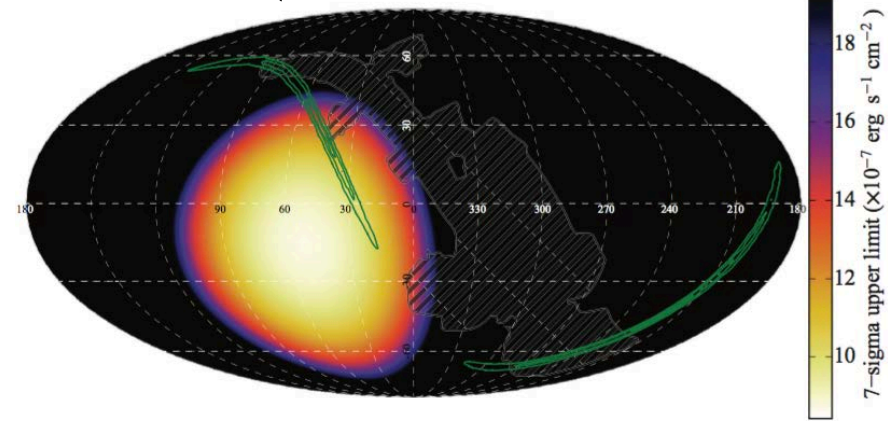
$$\text{光度 } L = 3-5 \times 10^{49} \text{ erg s}^{-1}$$

典型的なショートGRBの光度L

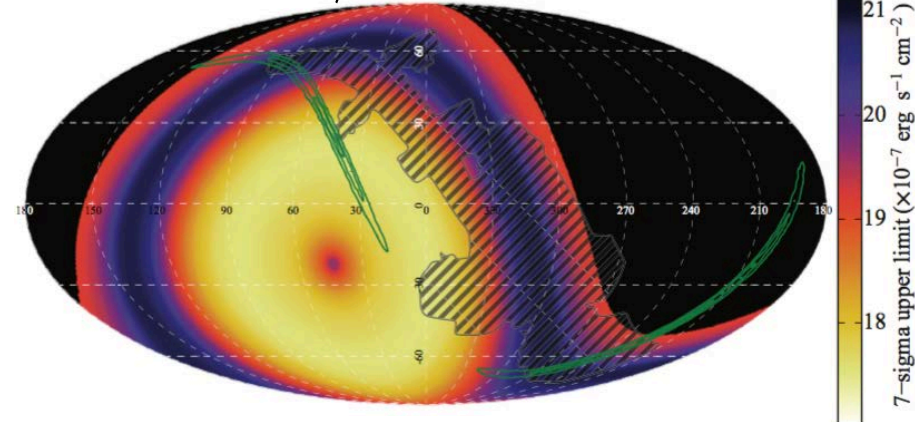
$1-2 \times 10^{51} \text{ erg s}^{-1}$ に比べると1桁以上暗い

- CALでも18%をカバー  
→ ガンマ線候補イベントはなし

HXM 7-500 keV; s-GRB



SGM 50-1000 keV; s-GRB



# GRB速報体制

- 観測時間の約70%はリアルタイムでデータを受信
- 機上トリガー情報をもとにガンマ線バースト速報(GCN Notice)を自動発信
  - 検出時刻
  - 有意度
  - 視野中心の座標
  - ライトカーブ情報  
(短いGRBかどうか判断可能)
- GCN Circularを54通発信
- 今後、機上で見逃された弱いイベントなども地上トリガーとして速報する予定

```
////////////////////////////////////  
TITLE: GCN/CALET NOTICE  
NOTICE_DATE: Sat 11 Mar 17 15:00:50 UT  
NOTICE_TYPE: CALET GBM Flight Lightcurve  
POINT_RA: 214.19d {+14h 16m 45s} (J2000),  
POINT_DEC: +44.00d {+44d 00' 14"} (J2000),  
TRIGGER_NUM: 1173279303  
TRIGGER_DATE: 17823 TJD; 70 DOY; 17/03/11  
TRIGGER_TIME: 54022.98 SOD {15:00:22.98} UT  
TRIGGER_DET: 0 0 1 (HXM1 HXM2 SGM)  
SIGNIFICANCE: 12.00 [sigma]  
FOREGND_DUR: 4.00 [sec]  
BACKGND_DUR1: 16.00 [sec]  
ENERGY_BAND: 40-230 [keV]  
SC_LON_LAT: 179.75,43.93 [deg]  
LC_URL:  
http://cgbm.calet.jp/cgbm\_trigger/flight//1173279303/index.html  
COMMENTS: CALET-GBM Flight Lightcurve.  
COMMENTS: The LC_URL file will not be created  
until ~15 min after the trigger.
```



# CALET GBMアーカイブ

- 今年10月頃にCALET GBMデータを公開開始
- 一般ユーザーがWebを通じてCGBMデータを容易に解析できるシステムをJAXAで構築中

The screenshot shows the CALET CGBM Web解析システム (CALET CGBM Web Analysis System) interface. The page title is "CALET CGBM Web解析システム" and the subtitle is "Light curve viewer on demand". The interface is divided into two main sections, "chart -- 1" and "chart -- 2", each with its own set of controls. The "Common options" section at the top includes fields for "Reference time" (2016-06-25 21:11:46.74), "time width" (900), "J2000 Position" (R.A., Dec. [ex. 83.6332, 22.0145]), and "Data type" (Pulse Height, Timming). The "Bin Size" is set to 4 sec. The "Detector" and "Gain" options are shared between the two charts. The "energy level" is set to 50-100 keV. The interface includes "Cancel" and "Submit" buttons, and a "Permalink" button.

CALET Light Curve Viewer Data Search about CALET CALET Project

## CALET CGBM Web解析システム

Light curve viewer on demand

Common options

Reference time: 2016-06-25 21:11:46.74

time width: 900

J2000 Position: R.A., Dec. [ex. 83.6332, 22.0145]

Data type: Pulse Height Timming

Bin Size: 4 sec

chart -- 1

Detector: HXM1 HXM2 HXM12 SGM

Gain: HG LG

energy level: 50-100 keV

Cancel Submit

chart -- 2

Detector: HXM1 HXM2 HXM12 SGM

Gain: HG LG

energy level: 50-100 keV

Permalink

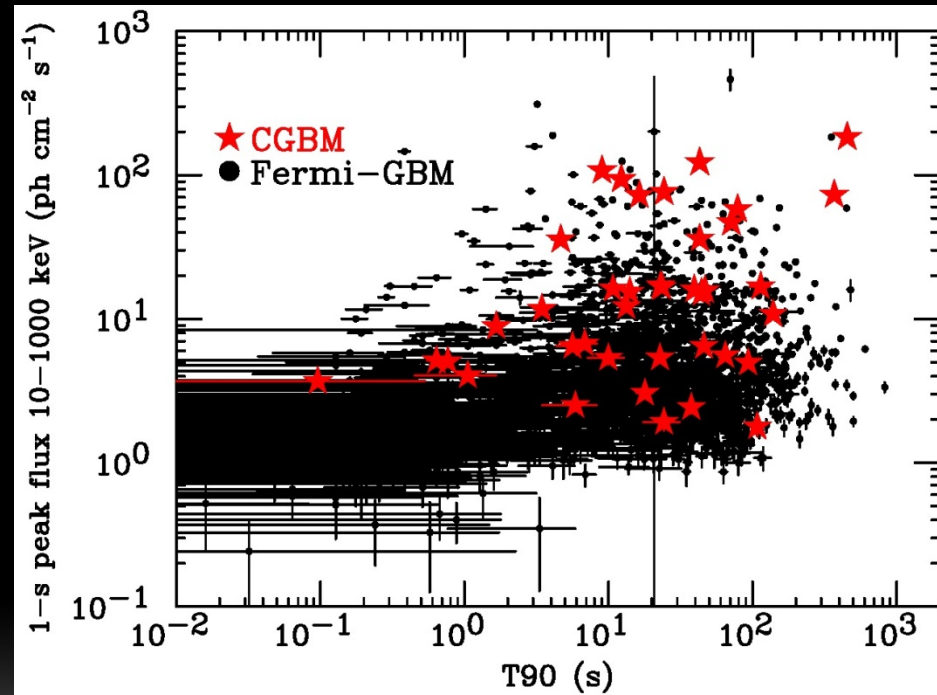
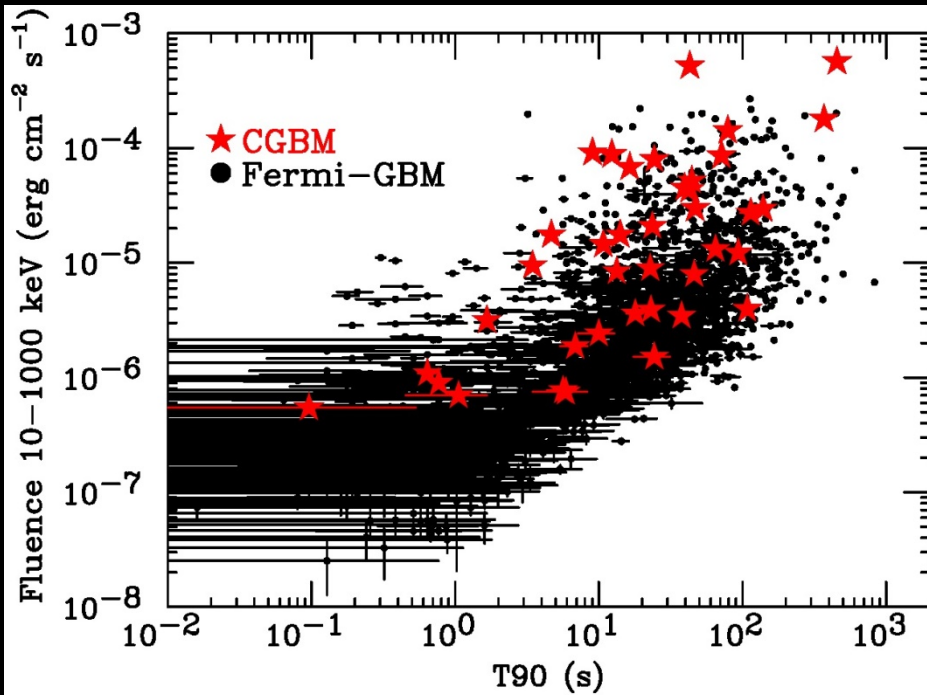
## まとめ

- CALETガンマ線バーストモニタ(CGBM)は、2015年8月の打ち上げ以降、約1年半順調に稼働している。
- 年間40個程度のペースでGRBを検出中。全天X線監視装置MAXIとも共同観測を行い、2 keVからMeVまでに渡る広帯域スペクトルを取得。
- X・ガンマ線広視野観測装置として、重力波源へのX・ガンマ線対応天体サーチを実行中。
  - GW 151226については上限値を報告 (Adriani et al. 2016 ApJL)  
典型的なショートGRBの光度よりも暗いことを示唆。
- その他、ニュートリノイベントについても検出はなし。

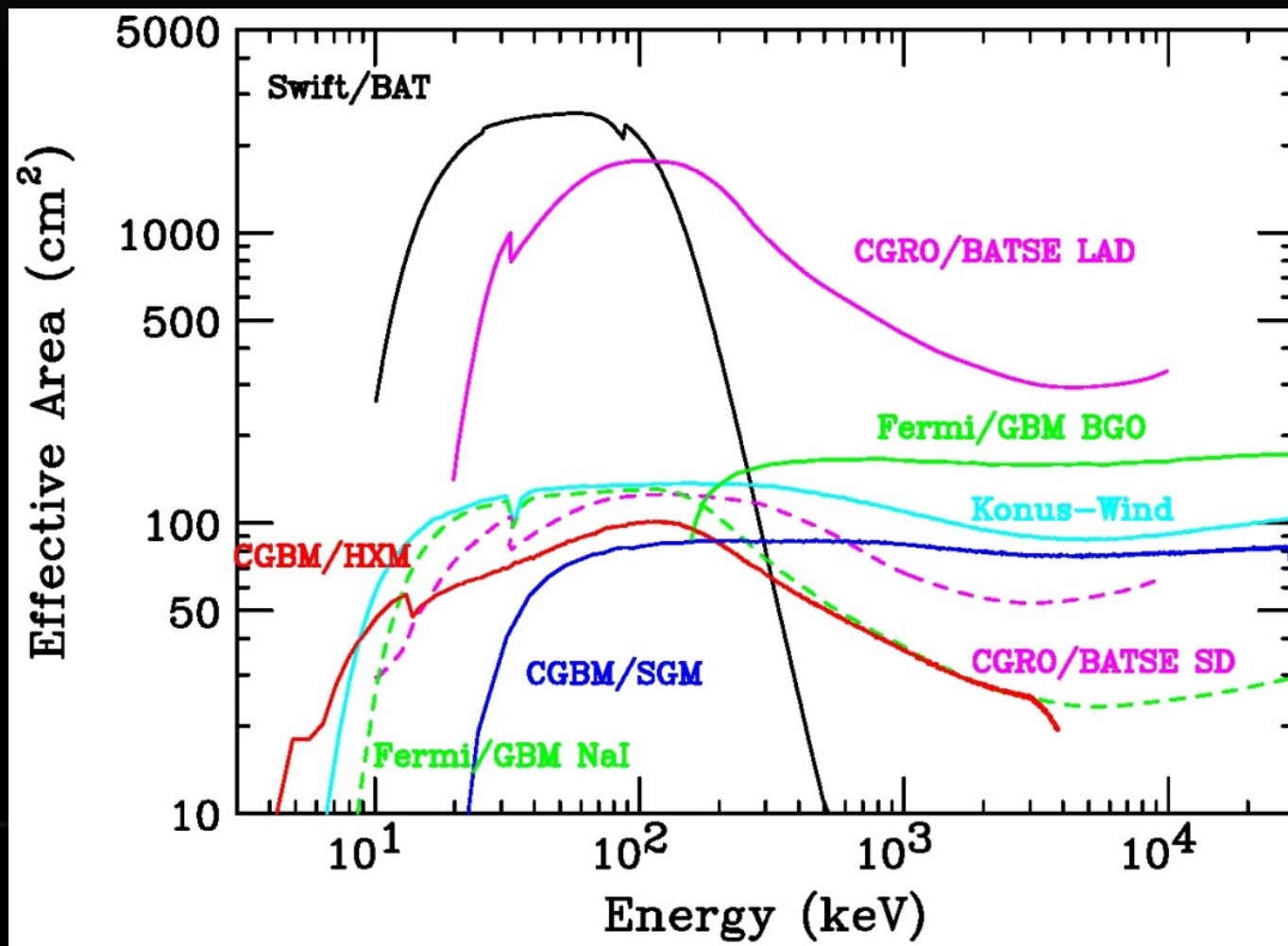
## 今後

- CGBMデータの公開（2017年10月頃を予定）。
- CALのGeVガンマ線解析については現在解析フレームワークの構築中。

# CALETのGRBは、FermiのGRBのどの部分 を見ているか？



# 他の検出器との比較

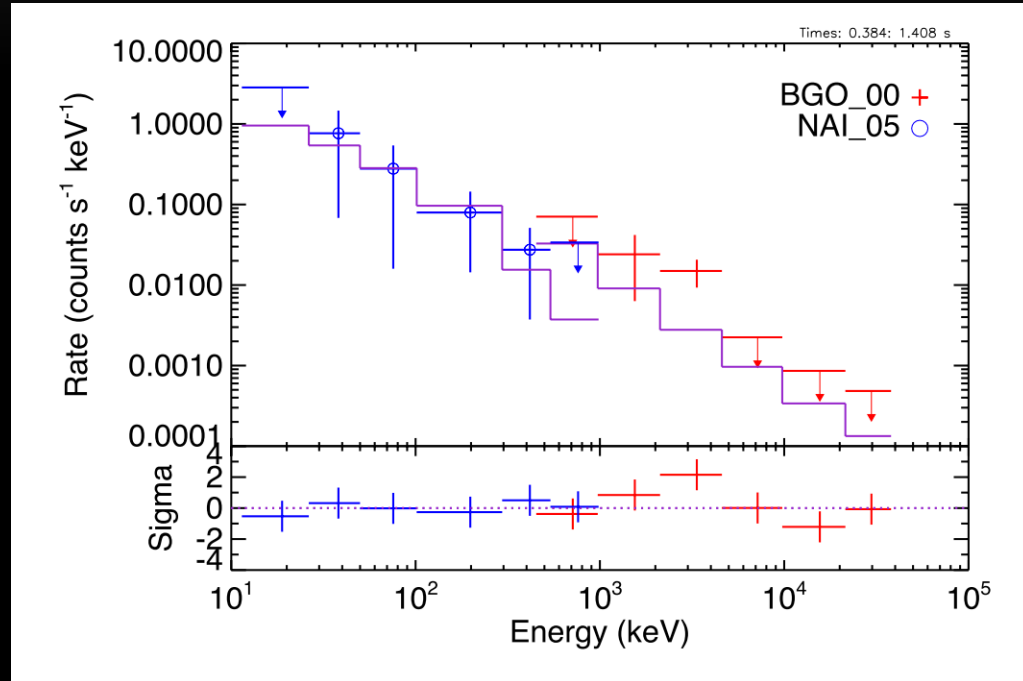
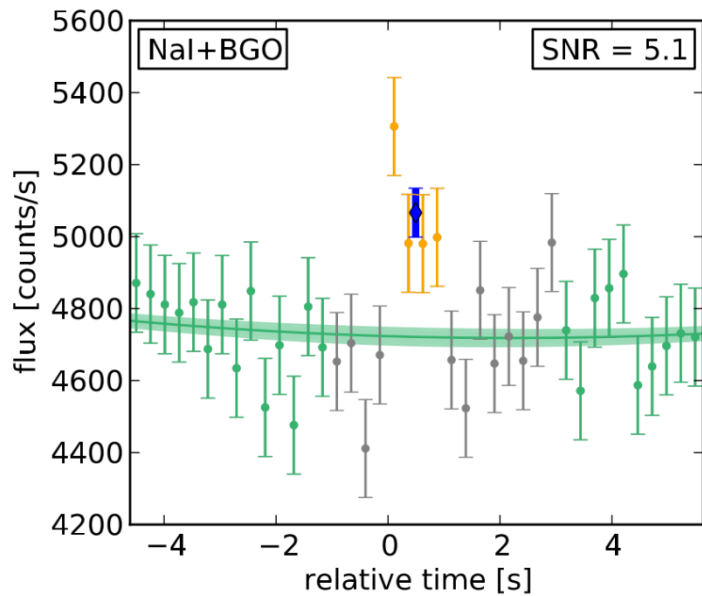


# GW状況

- 01ラン 2015年10月から2016年1月  
2GWイベント、1LVTイベント
- 02ラン 2016年11月30日から2017年後半まで(Virgoも参画?)

# Fermi-GBM Detection of GW 150914

GBM detectors at 150914 09:50:45.797 +1.024s



Fluence (1.024 s):  $2.4 \times 10^{-7}$  erg cm<sup>-2</sup>