

# 超小型衛星群 CAMELOT による ガンマ線バースト観測

浦田岬, 深沢泰司, 高橋弘充, 水野恒史, 大野雅功 (広島大学),

NORBERT WERNER, JAKUB RIPA (MASARYK 大学),

ANDRAS PAL, LASZIO MESZAROS (KONKOLY 天文台),

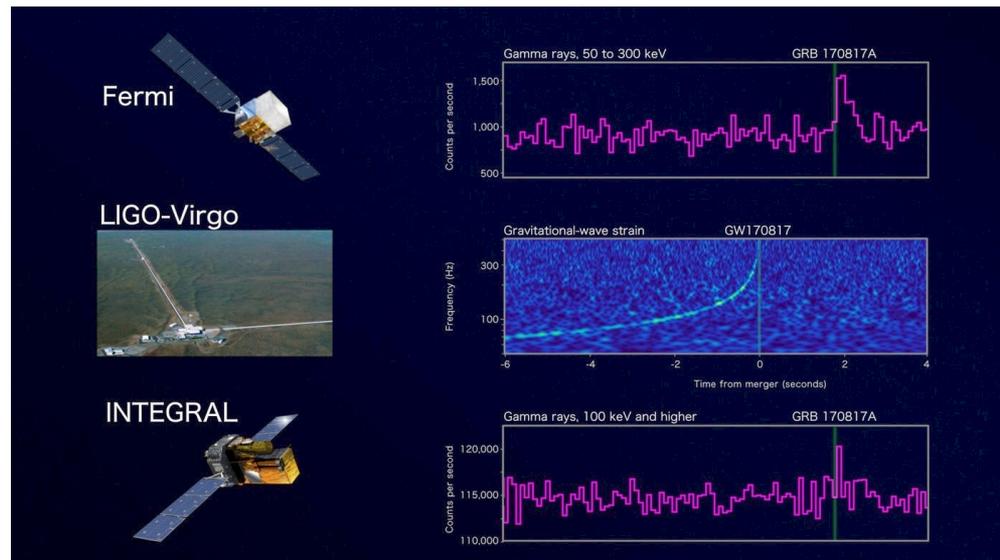
CAMELOT チーム

# ガンマ線サーベイ：意義

**GW170817**：重力波の信号に対応したガンマ線放射が検出された

- 中性子星同士の合体に際し、重力波信号を初検出
- その2秒後に**ガンマ線信号**が検出

大規模なフォローアップ観測の切っ掛け⇒**天体の方向が決定**

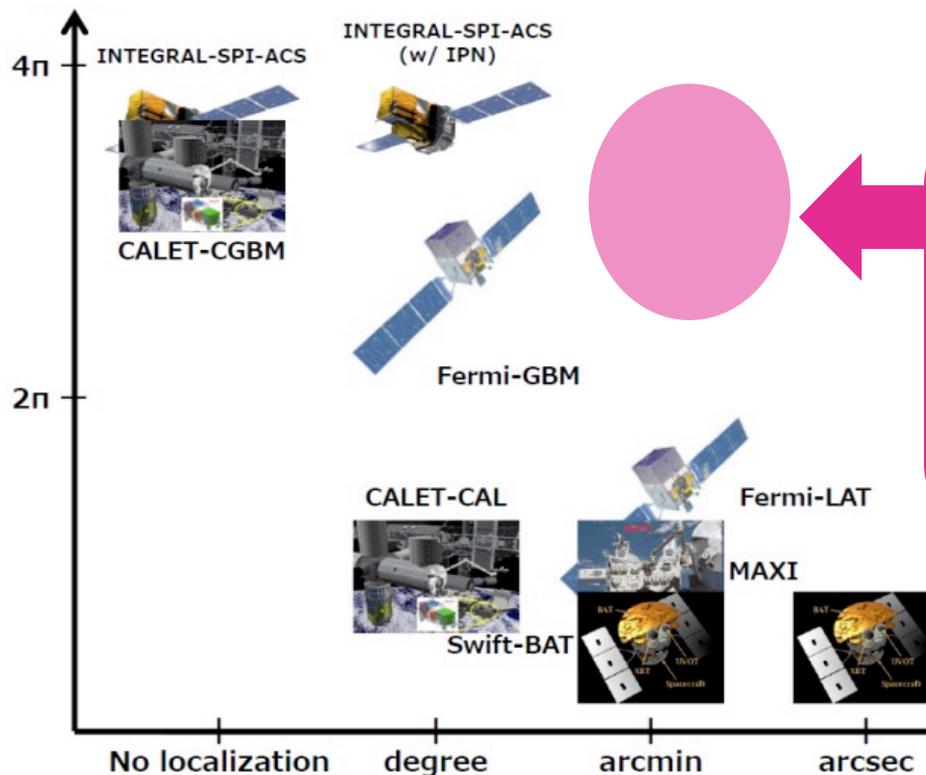


© NASA's Goddard SFC,  
Caltech/MIT/LIGO Lab and ESA

重力波対応天体の発見において**ガンマ線全天サーベイ**は極めて重要!

# ガンマ線サーベイ：状況

## 観測視野



Cubesats Applied for MEasuring and LOcalising Transients

## ➤ CAMELOT計画

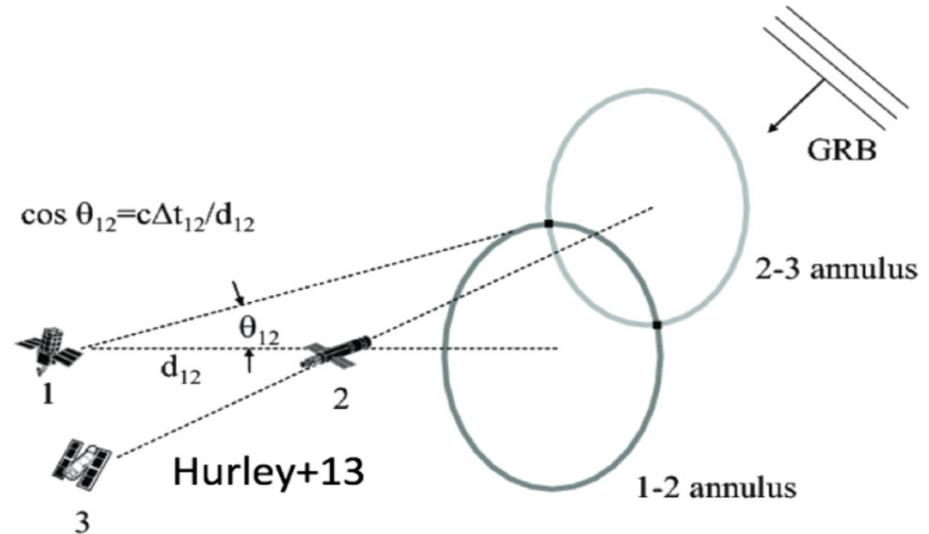
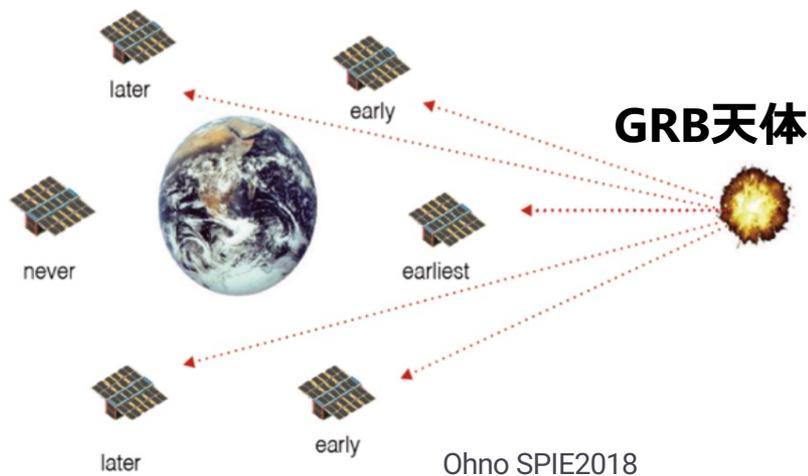
- ◆  $> 2\pi$ の広視野
- ◆ arcminスケールの位置分解能

この分野の開拓を目指す

ハンガリー・チェコの研究機関との共同研究

# CAMELOT計画：概要

PI : Norbert Werner(チェコ Masaryk大学)



超小型サイズ (3U Cubesat) の衛星を低軌道へ打ち上げる  
 ⇨複数(目標9機)の衛星で**全天をカバー**

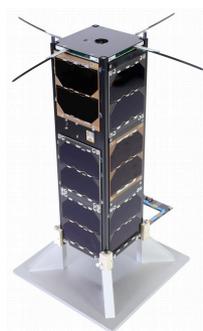
ガンマ線到来時間差から**ガンマ線の到来方向を制限**

# CAMELOT計画：検出器・衛星

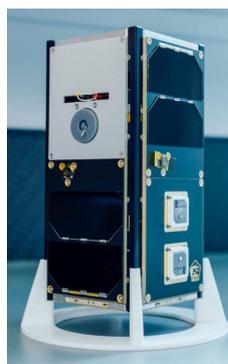
- **CsIシンチレータ + MPPC光検出器**を各衛星に搭載
- CsIは**平面型**を採用  
限られた重量&サイズでガンマ線(10~300keV)への感度を高めている



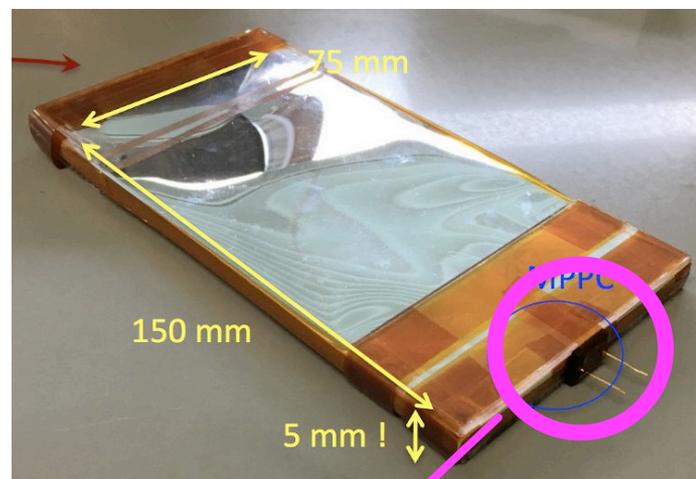
GRBAlpha  
2021/3~  
ソユーズ



VZLUSAT-2  
2022/1~  
ファルコン9



GRBBeta  
2024/7~  
アリアン6



Werner SPIE2018

**MPPC光検出器**  
(省スペース & 低消費電力)

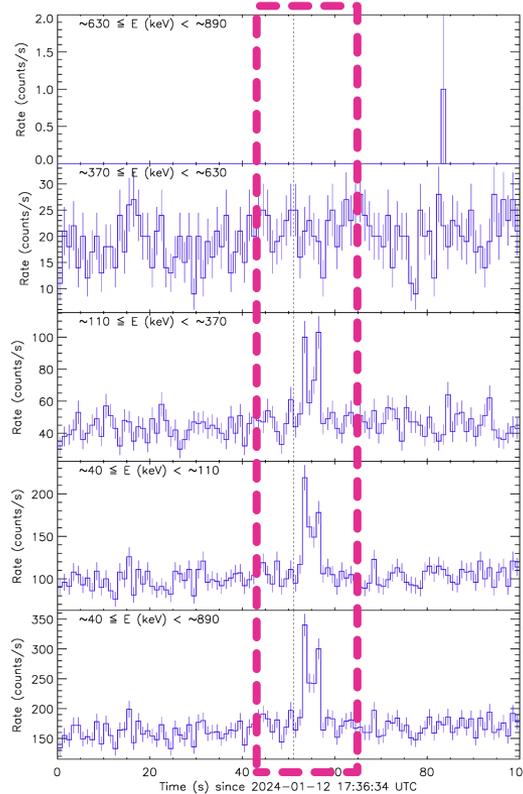
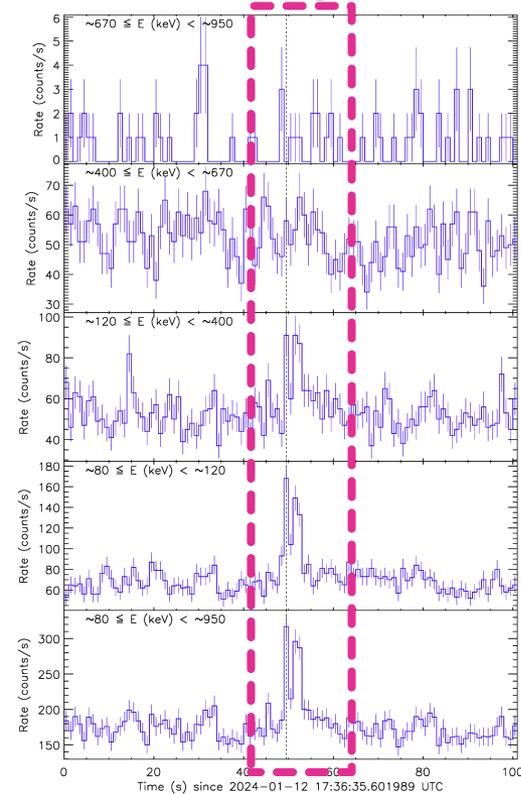
現在 3 機のガンマ線Cubesatが  
LEOに打ち上げられている

# 検出例：GRB 240112C

エネルギー毎の光度変動(GRB 240112C)

## GRBAlpha

## VZLUSAT-2



ガンマ線の突発イベントは数日に一度の頻度で検出

**GRBは月に3回程度検出**

# CAMELOT計画：現状

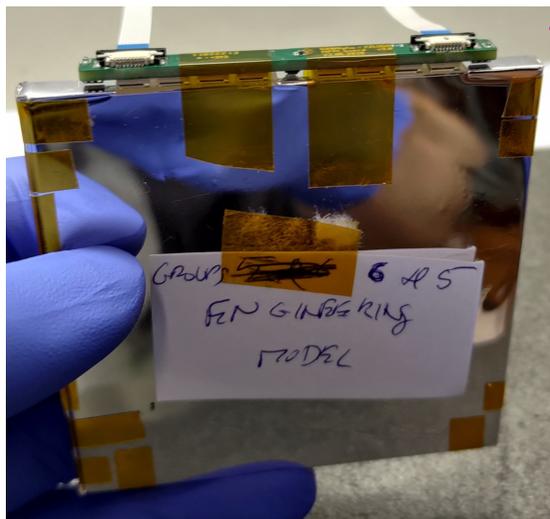
**GRBBeta**： 2024年6月に打ち上げ(アリアン6)

- GRBAlphaの後継機：2Uサイズ
- **姿勢制御システムが搭載**  
撮像や応答関数の作成が可能に
- 技術実証として**CMOSカメラ**も搭載

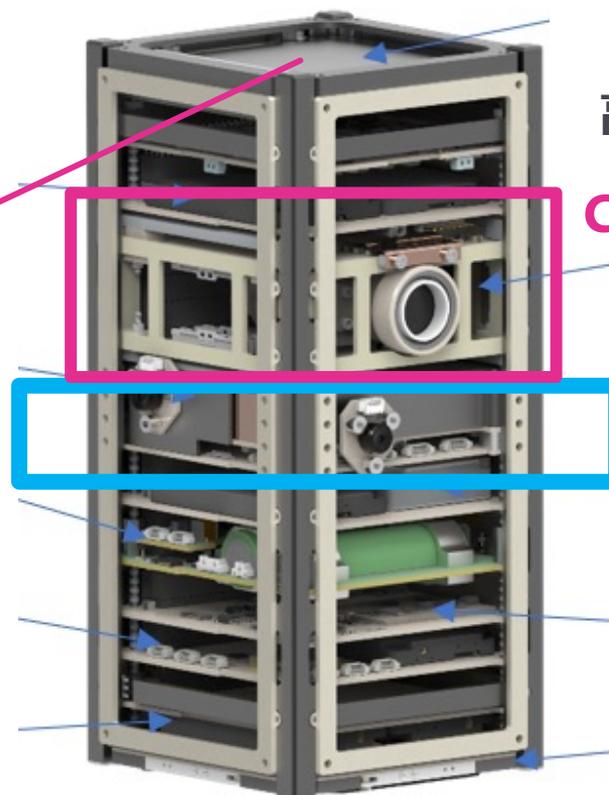
縦10cm  
×  
横10cm  
×  
高さ20cm

CMOSカメラ

姿勢制御  
システム

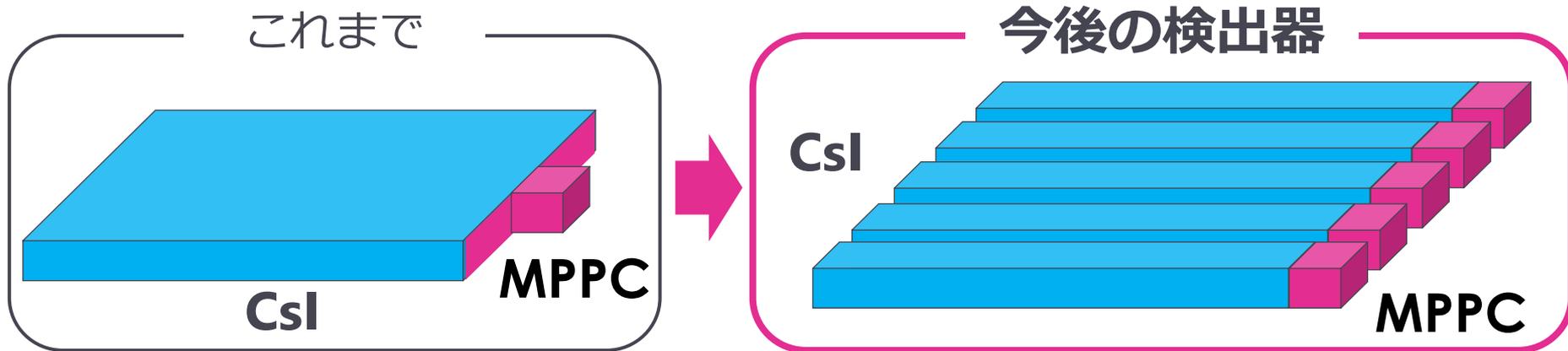


GRB検出器



# CAMELOT計画：今後

## GRB検出器の構造を改良



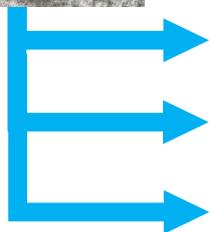
平面型のCsIシンチレータを分割 & 分割したCsIにそれぞれMPPCを取付

- シンチレーション光のロスが減少
  - スレッシュホールドが下がり、低エネルギーのガンマ線も検出可能に
- MPPCの破損があっても、残りの検出器を利用可能
- 各MPPCの検出の有無で、ガンマ線イベントについての詳しい情報が得られる

# CAMELOT計画：今後

分割シンチレータ & MPPCの情報を同時に複数読み出す必要がある  
32chの読み出しが可能なチップを搭載したデジタイザCAEN A1702を使用

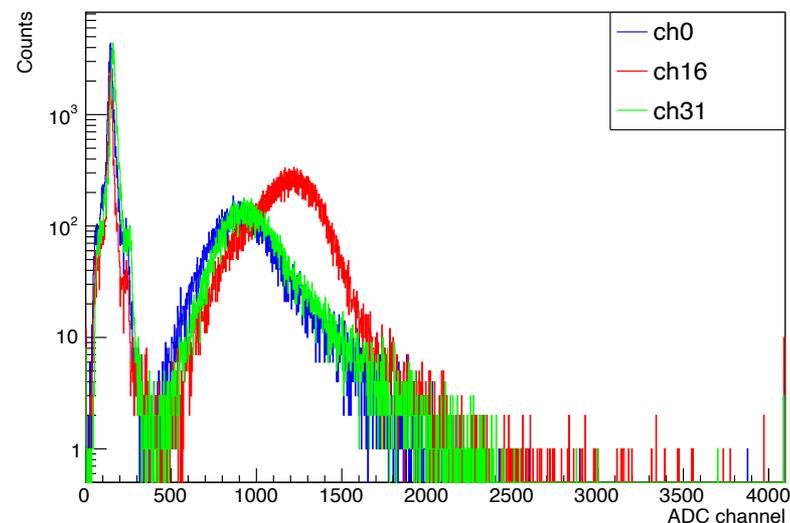
CsI & MPPC



PC  
ROOTベースで  
読み出し

ASICチップ

133Baスペクトル



CAEN A1702

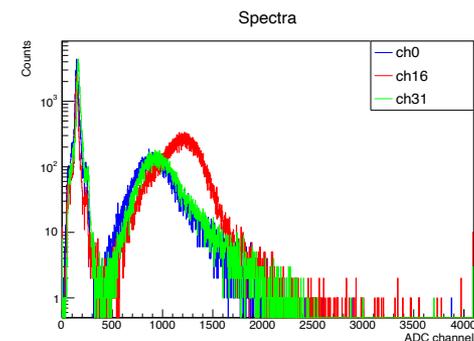
©CAEN SpA.

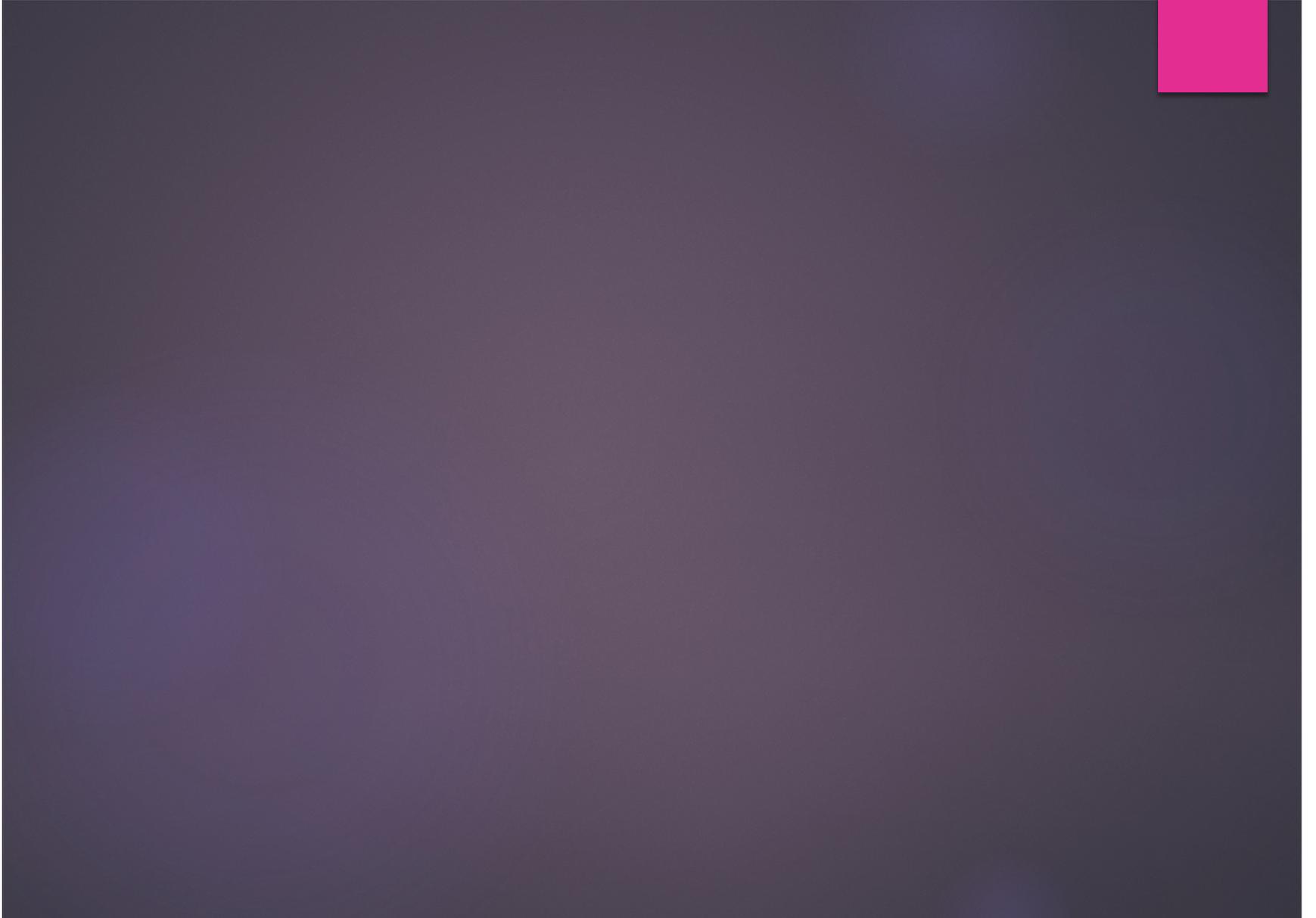
3chの信号を同時読み出し & スペクトル作成に成功  
さらに読み出すchを増やすセットアップ・環境を構築していく

# まとめ・展望

## まとめ

- GRBAAlphaとVZLUSATで、同時にGRBを検出
- 今年7月にGRBBetaが打ち上がり、現在運用中
- CsIを分割し、検出器の性能・信頼性向上
- CAENボードを活用  
複数chでの読み出しを可能にする





# GRBAlpha&VZULSATの取得データ

## GRBAlpha



Event type/name	Dat unit	Peak time (UTC)	T90 [s]	Peak count rate [cnt/s]	Band [keV]	S/N [σ]	Raw LC	Bkg-sub LC	LC res. [s]	GCN circ.	References	Comment
GRB 240720B	no.0	2024-07-20 16:11:22	1	227.5	-70-1960	11.2	PNG, EPS, TXT, FITS	PNG, EPS	1	37089/PDF	AstroSat/CZT eXOSM/GBM INTEGRAL/SP-ACS Wind/Konus GRBAlpha	
	no.1	2024-07-20 16:11:22	1	216.8	-60-1710	11.7	PNG, EPS, TXT, FITS	PNG, EPS	1			
Solar flare	no.0	2024-07-14 02:31:08		702.5	-70-1960		PNG, EPS, TXT, FITS	PNG, EPS	1		Wind/Konus GOES GRBAlpha	
	no.1	2024-07-14 02:31:08		610.4	-60-1710		PNG, EPS, TXT, FITS	PNG, EPS	1			
GRB 240710A	no.1	2024-07-10 17:11:45	2	58.5	-60-1960	4.7	PNG, EPS, TXT, FITS	PNG, EPS	1	37082/PDF	Fermi/GBM	
GRB 240710B	no.1	2024-07-10 15:25:37	5	618.8	-70-1960	26.7	PNG, EPS, TXT, FITS	PNG, EPS	1	37100/PDF	Fermi/GBM GRBAlpha Wind/Konus	
GRB 240628B candidate	no.1	2024-06-28 06:41:03	62	78.4	-60-1710	7.8	PNG, EPS, TXT, FITS	PNG, EPS	1	37068/PDF	INTEGRAL/SP-ACS	
GRB 240624B	no.0	2024-06-24 19:19:46	6	50.7	-70-1960	6.0	PNG, EPS, TXT, FITS	PNG, EPS	1	37067/PDF	Fermi/GBM CALET/GBM Wind/Konus GRBAlpha	
	no.1	2024-06-24 19:19:44	5	111.3	-60-1710	11.9	PNG, EPS, TXT, FITS	PNG, EPS	1			
GRB 240619C	no.0	2024-06-19 23:44:50	25	140.8	-70-1960	17.9	PNG, EPS, TXT, FITS	PNG, EPS	1	37066/PDF	Fermi/GBM AstroSat/CZT INTEGRAL/SP-ACS NuSTAR	
	no.1	2024-06-19 23:44:50	24	194.6	-60-1710	22.4	PNG, EPS, TXT, FITS	PNG, EPS	1			
GRB 240603A	no.0	2024-06-03 02:27:32	1	116.9	-70-1960	5.9	PNG, EPS, TXT, FITS	PNG, EPS	1	36668/PDF	Fermi/GBM INTEGRAL/SP-ACS Konus/Wind	
	no.1	2024-06-03 02:27:32	2	115.9	-60-1710	6.9	PNG, EPS, TXT, FITS	PNG, EPS	1			
Solar flare	no.1	2024-05-19 17:55:16	16	917.0	-60-1710	54.9	PNG, EPS, TXT, FITS	PNG, EPS	1		Fermi/GBM GECAM-B GRBAlpha GOES	
Solar flare	no.0	2024-05-15 08:16:35	109	150.5	-40-890	55.9	PNG, EPS, TXT, FITS	PNG, EPS	1		Fermi/GBM GOES	
	no.1	2024-05-15 08:16:48	105	748.3	-40-890	198.1	PNG, EPS, TXT, FITS	PNG, EPS	1			
GRB 240514B	no.1	2024-05-14 04:03:34	1	201.8	-40-890	10.0	PNG, EPS, TXT, FITS	PNG, EPS	1	36521/PDF	Fermi/GBM INTEGRAL/SP-ACS GRBAlpha	
Solar flare	no.1	2024-05-14 02:05:36	104	3238.0	-40-890	218.3	PNG, EPS, TXT, FITS	PNG, EPS	1		Fermi/GBM Wind/Konus GOES	
Solar flare	no.1	2024-05-12 20:24:56	148	190.6	-40-890	59.4	PNG, EPS, TXT, FITS	PNG, EPS	1		Fermi/GBM GECAM-B	
Solar flare	no.1	2024-05-06 18:21:03	6	352.7	-40-890	27.8	PNG, EPS, TXT, FITS	PNG, EPS	1		Wind/Konus GOES	
Solar flare	no.0	2024-05-05 05:55:18	195	101.7	-40-890	16.5	PNG, EPS, TXT, FITS	PNG, EPS	1		Fermi/GBM GECAM-B GOES GRBAlpha	
	no.1	2024-05-05 05:55:19	73	125.1	-40-890	38.5	PNG, EPS, TXT, FITS	PNG, EPS	1			
Solar flare	no.0	2024-05-05 01:21:19	89	84.3	-40-890	20.2	PNG, EPS, TXT, FITS	PNG, EPS	1		Fermi/GBM GOES	
GRB 240504A	no.0	2024-05-04 05:12:51	15	247.3	-40-890	24.3	PNG, EPS, TXT, FITS	PNG, EPS	1		Fermi/GBM Swift/BurstGRANQ INTEGRAL/SP-ACS Konus/Wind	
	no.1	2024-05-04 05:12:52	13	154.8	-40-890	13.6	PNG, EPS, TXT, FITS	PNG, EPS	1	36520/PDF	GECAM-B Wind/Konus GOES	
Solar flare	no.1	2024-04-30 23:43:48	107	472.3	-40-890	128.2	PNG, EPS, TXT, FITS	PNG, EPS	1			

## VZLUSAT-2



# Triangulation 法

$t_{12}$  : 2つの衛星へのガンマ線到来時間差  
 $d_{12}$  : 2の衛星間の距離

$$\cos\theta_{12} = \frac{c\Delta t_{12}}{d_{12}}$$

