

マルチメッセンジャー宇宙物理学と  
X線観測

芹野素子 (青学大)

# マルチメッセンジャーの一部としての X線観測

1. X線が果たす役割
  - 広視野型と詳細観測型の2とおりの貢献
2. これまでのマルチメッセンジャー観測でのX線の実績
3. 広視野型(MAXI)のアーカイブデータから言えること
  - TDE
  - 低輝度BH突発天体
4. 新着情報
  - 重力波イベント S230917af に対応したX線イベント

# X線のミッションが果たす役割は

## 広視野型

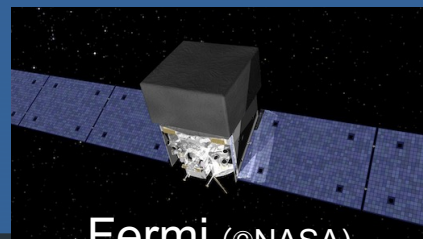
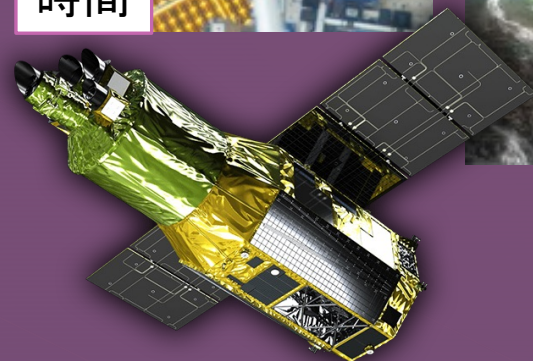
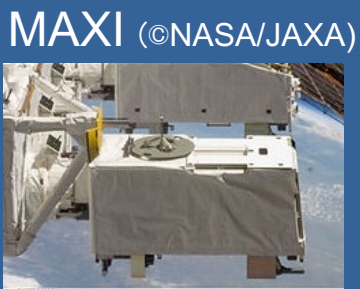
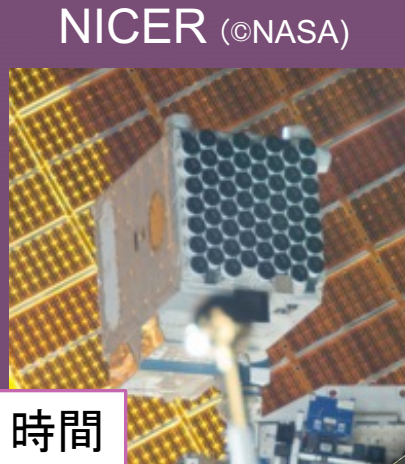
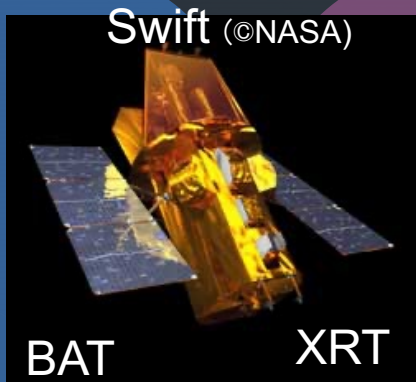
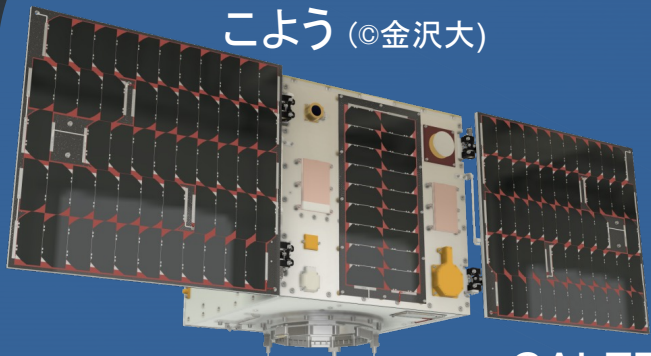
- 重力波/ニュートリノと電磁波をつなぐ
  - 広視野の観測ができるので重力波/ニュートリノと同時観測ができる
  - (重力波よりは)精度良い位置情報を提供でき、その後の追跡観測につながる
  - 背景天体が比較的少なく、新天体をみつけやすい

- 追跡観測で放射源の詳細にせまる
  - イメージ、光度曲線、スペクトルが同時にとれる
  - 高い時間分解能力、高いエネルギー分解能、偏光など、特徴的な性能を持つ装置(衛星)がある

## 詳細観測型

# X線のミッションが果たす役割は

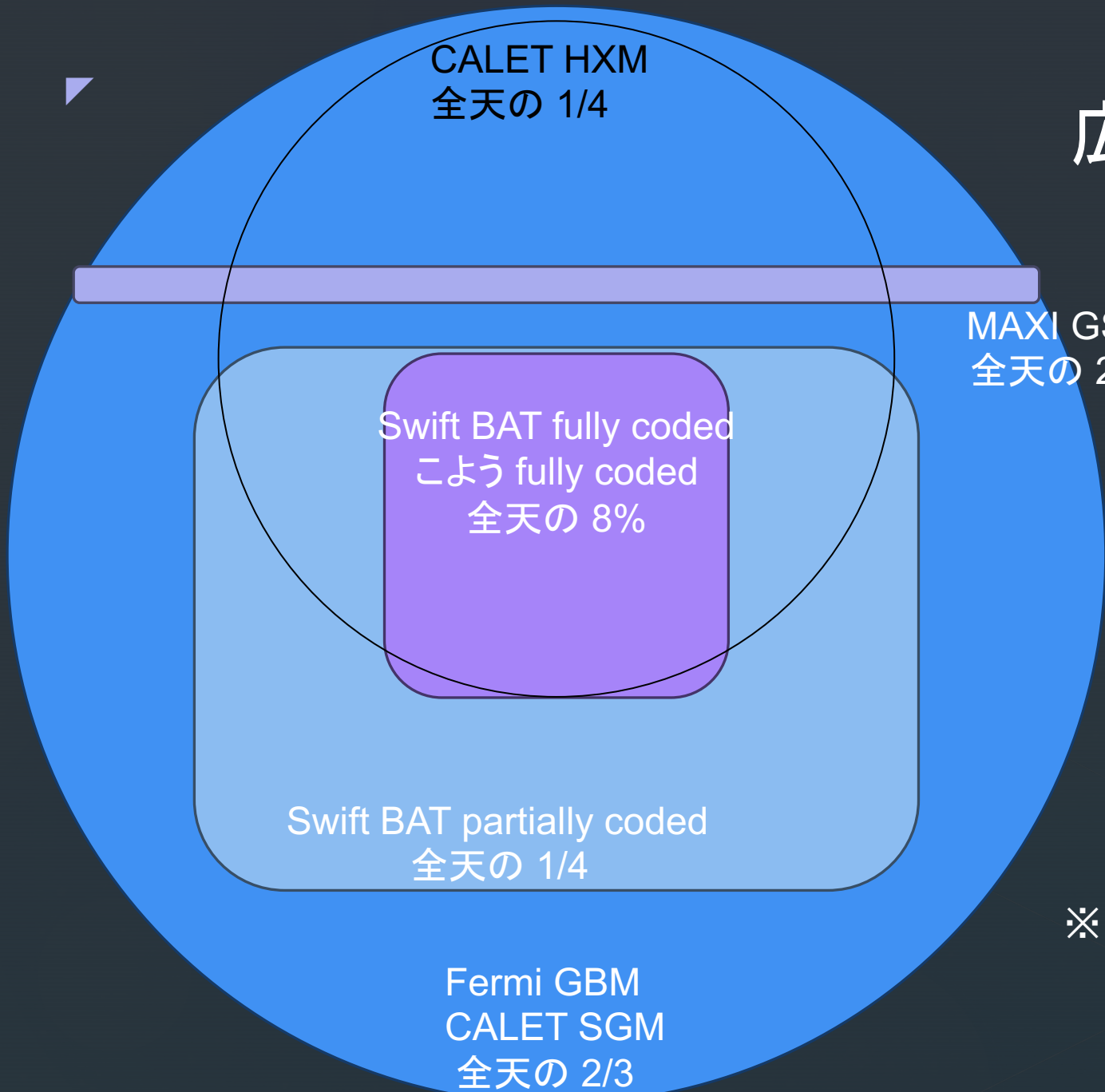
## 広視野型



XRISM (©JAXA)

IXPE (©NASA)

## 詳細観測型



CALET HXM  
全天の 1/4

# 広視野型の 視野比較

MAXI GSC  
全天の 2%

Swift BAT fully coded  
こよう fully coded  
全天の 8%

一般的なX線望遠鏡の  
視野



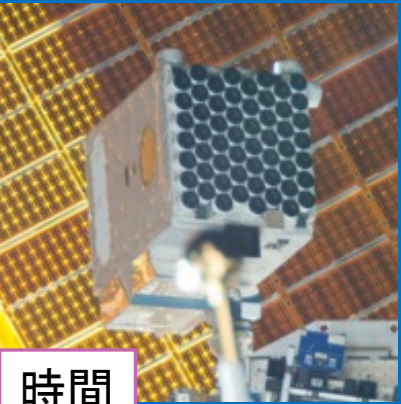
Swift BAT partially coded  
全天の 1/4

Fermi GBM  
CALET SGM  
全天の 2/3

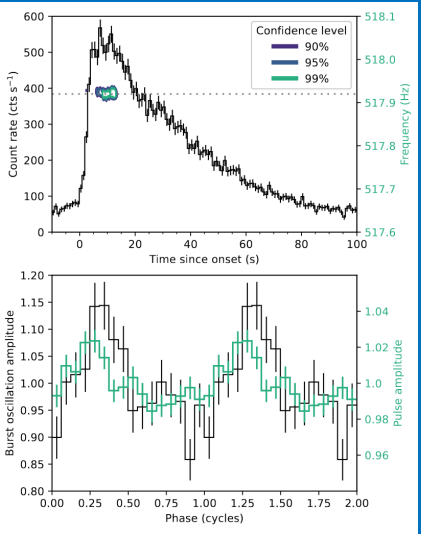
※ ある時刻の瞬間的な視野

# swift J1749.4-2807の burst oscillation

NICER (©NASA)



時間

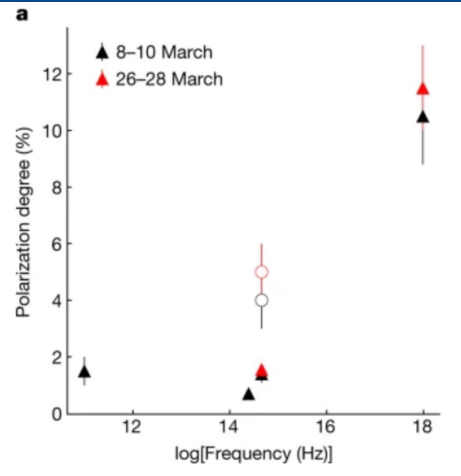


Albayati+ (2023) より

大きな有効面積と時間分解能  
BH、中性子星の変動(周期)解析で活躍

# 詳細観測型の性能・成果

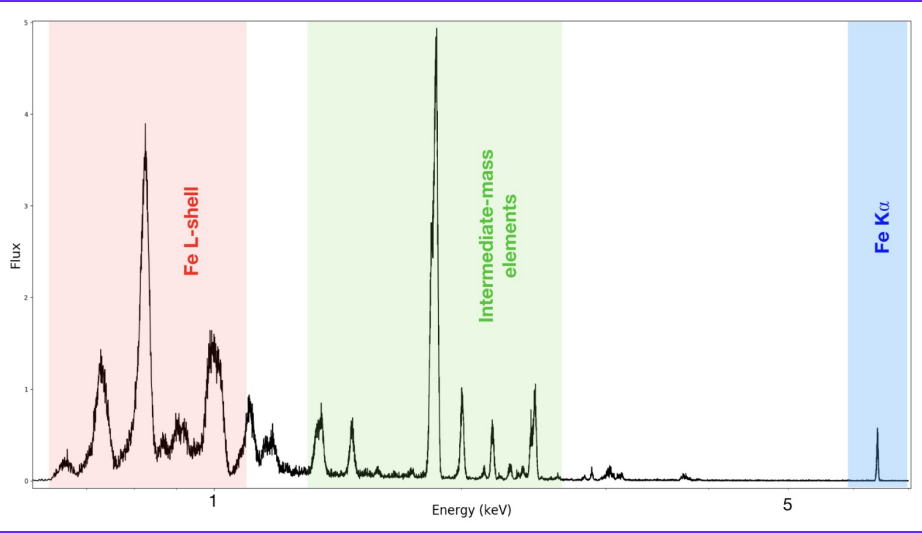
## Mrk 501 の多波長偏光観測



Liodakis+ (2022) より

X線での偏光観測がさまざまな天体で可能に

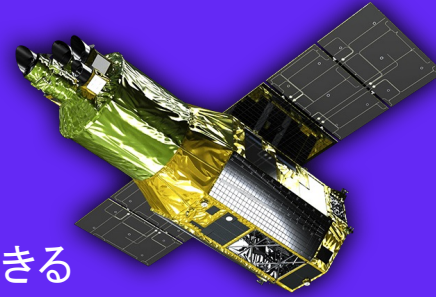
IXPE (©NASA)



XRISMで期待される  
Type Ia SNR のX線のスペクトル

XRISM white paper より

これまで分解が難しかった輝線が分解できる  
輝線の幅から速度の測定が可能



エネルギー XRISM (©JAXA)

# X線のミッションの特徴

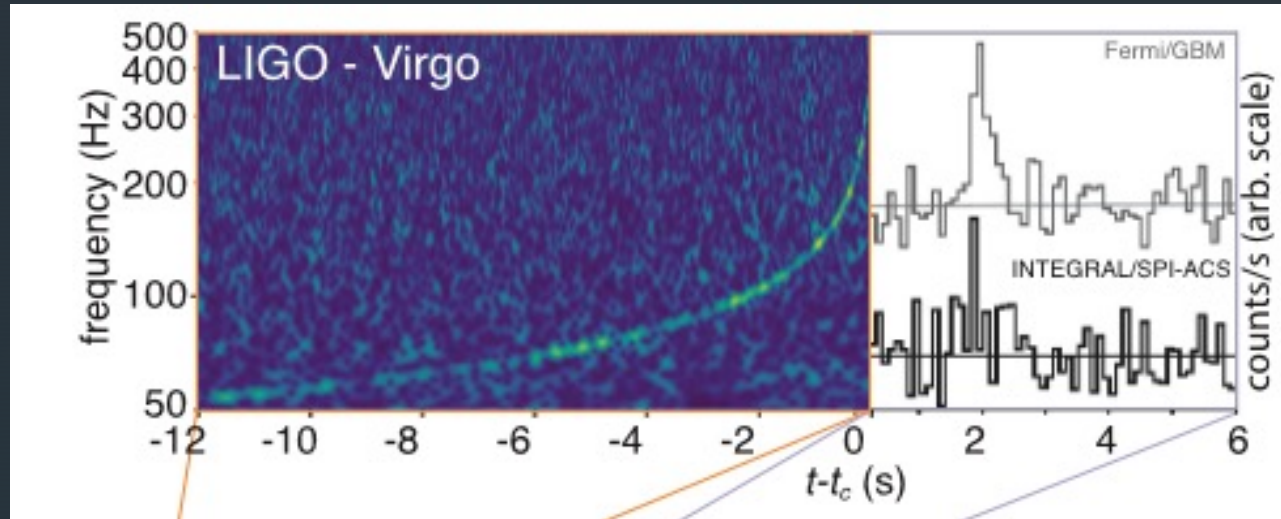
- X線のミッションに共通する点として
  - 多くのミッションでデータが公開、アーカイブが充実
  - 解析ソフトウェアも公開、チーム外でも解析しやすくする努力

→過去のデータにさかのぼった調査も容易

(自分のものだと思っていたデータを知らない間に誰かが論文にしてしまう緊張感)

# これまでのマルチメッセンジャーイベント GW170817 とX線

- 初めて、重力波イベントに電磁波の対応天体が確認された例
- Fermi GBM と INTEGRAL でのShort GRBの 検出で GRBとの関連が決定的となった
- 位置の制限にも貢献

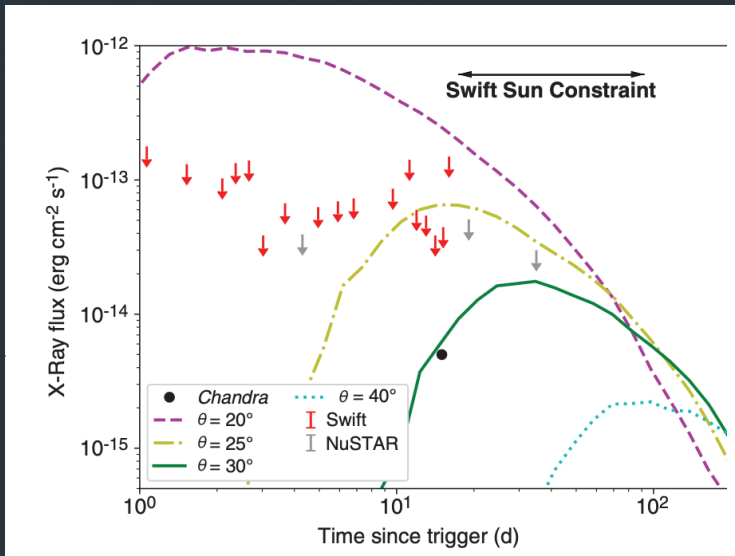


Abbott+ (2017) より

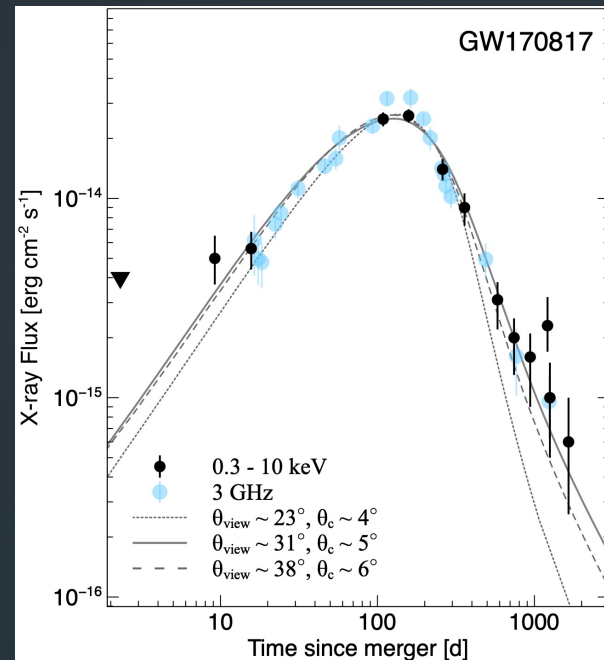


# これまでのマルチメッセンジャーイベント GW170817 とX線

- Fermi GBM でのShort GRBの 検出でGRBとの関連が決定的となった
- Swift XRT や Chandra などの追跡観測によって、遅れてX線の増光が確認された  
→ jet の見込み角に関する理解



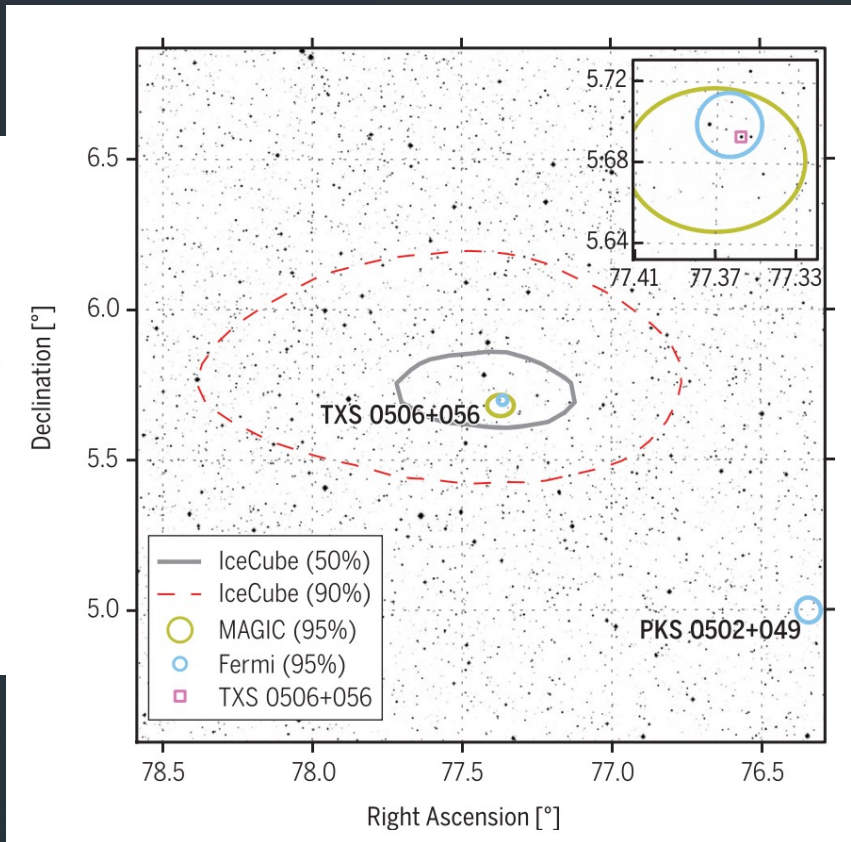
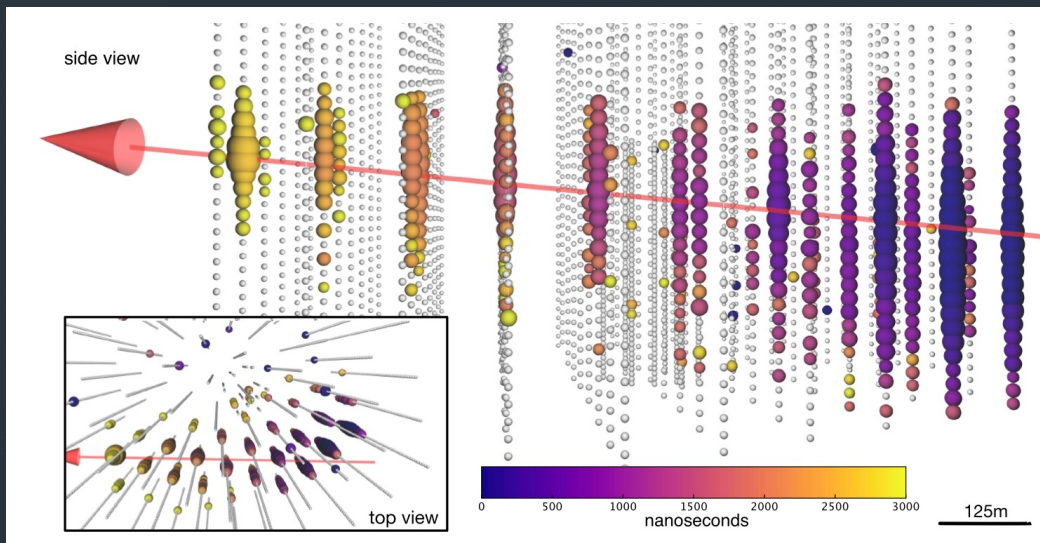
Evans+ (2017)



[https://nora.users.roma2.infn.it/GW170817\\_May2022.jpg](https://nora.users.roma2.infn.it/GW170817_May2022.jpg)  
(O'Connor+ GCN #32065)

# これまでのマルチメッセンジャーイベント IceCube-170922A

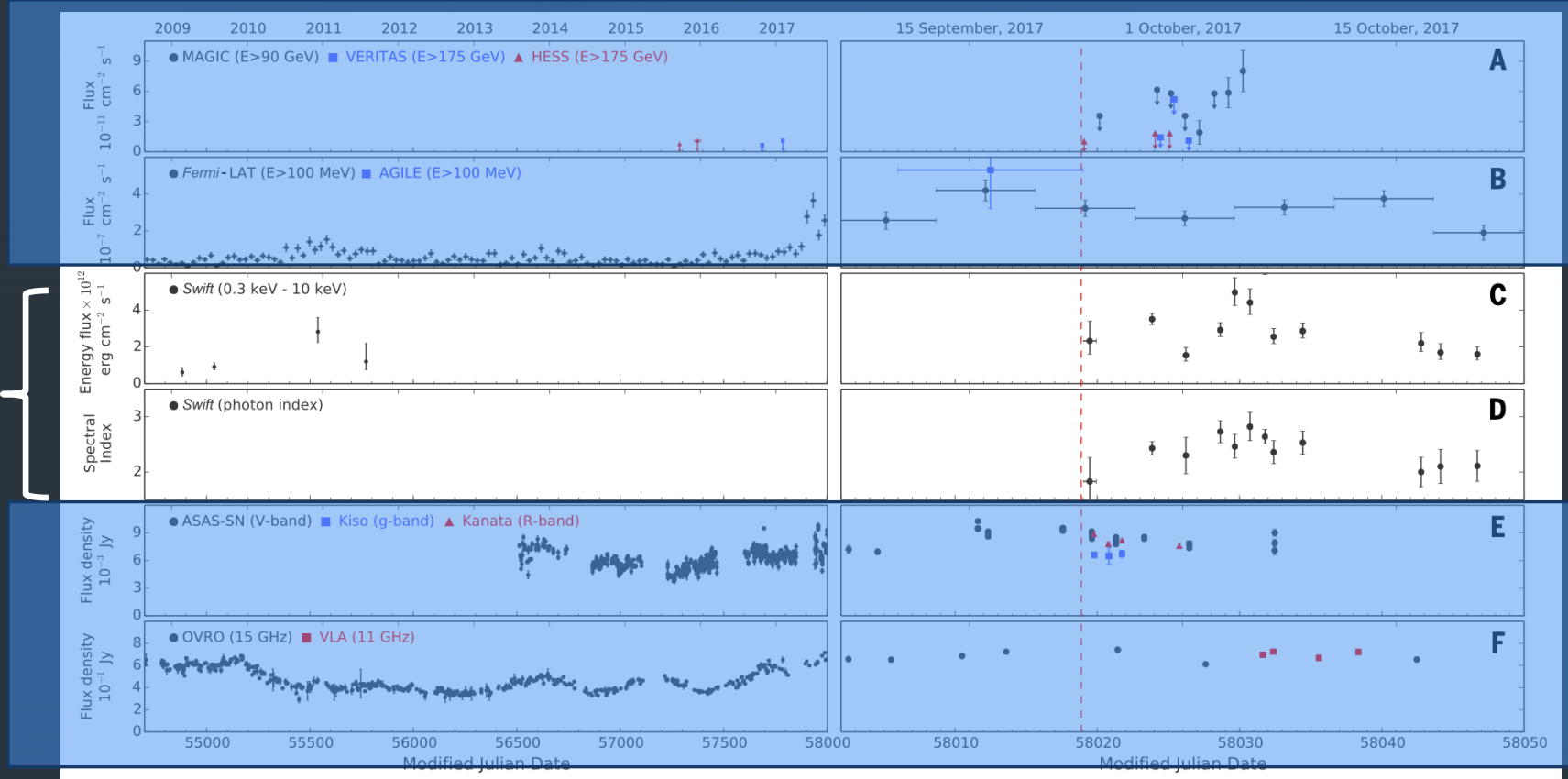
- IceCubeで検出したニュートリノイベントと既知の天体(AGN)との位置が一致した初めての例



The IceCube Collaboration+ (2018) より

# これまでのマルチメッセンジャーイベント IceCube-170922A

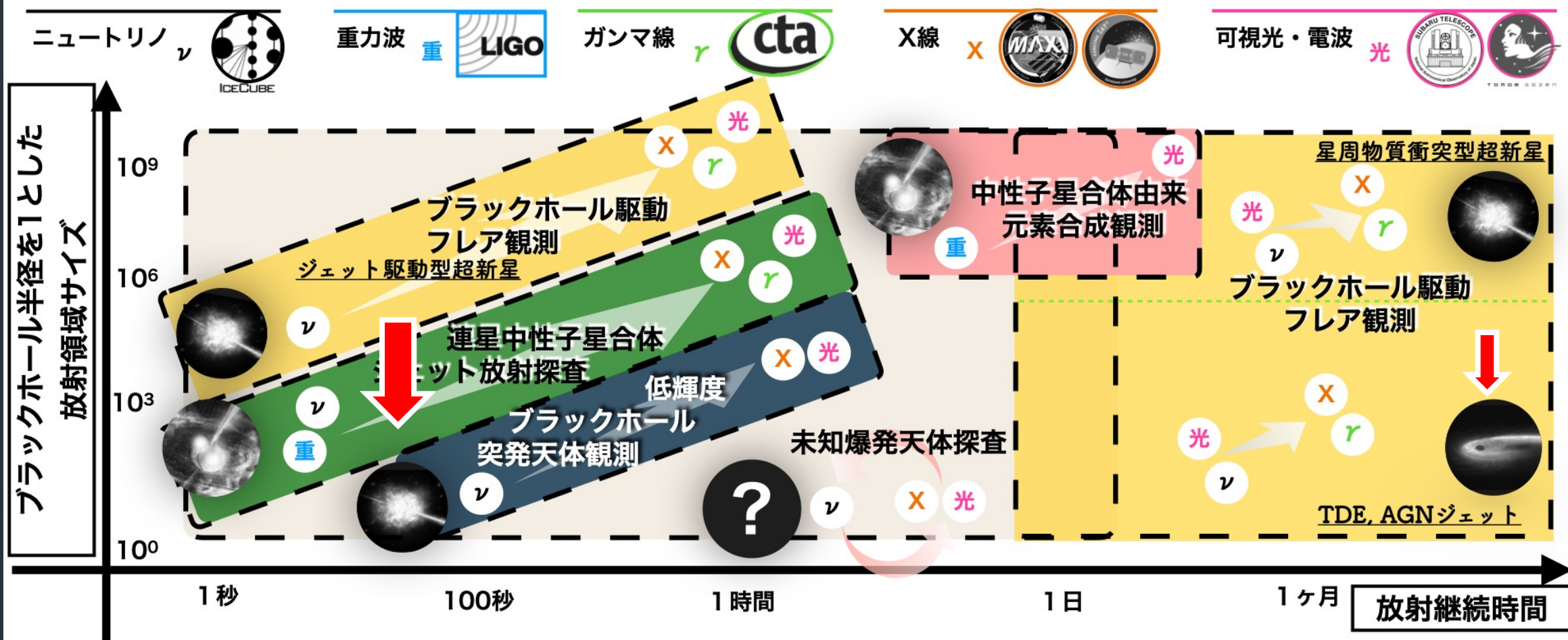
Swift XRT



The IceCube Collaboration+ (2018) より

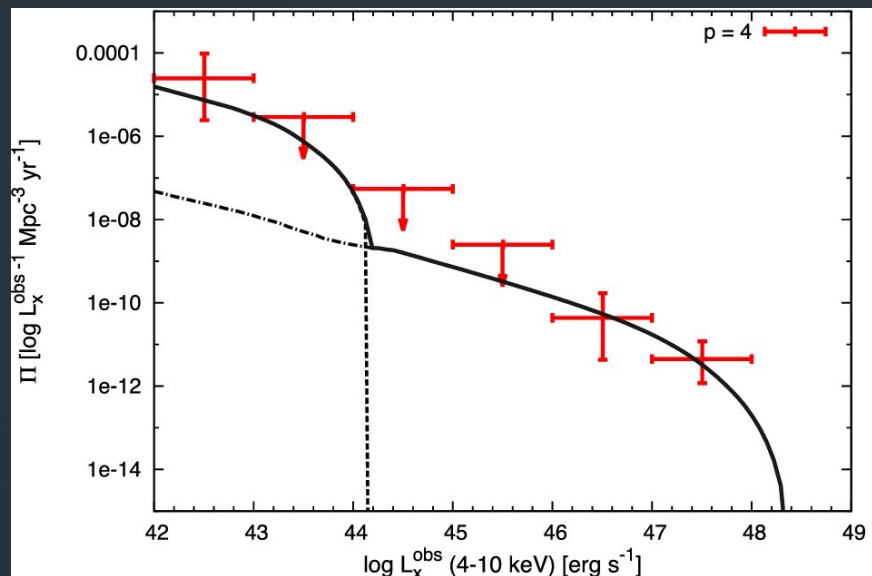
X線でもこの時期明るい状態であったことがわかった

# マルチメッセンジャーのイベント



# ニュートリノイベントの対応天体候補 TDE

- MAXIはモニタ観測継続して行っているため、TDEのようなタイムスケールの長いイベントに対しては効率よく観測できる
- 初期の約3年分の 3-10 keV のデータを用いて TDE 4イベントを検出
- 年間~1イベント程度を期待
  - ただし、MAXIだけが検出したイベントではないことに注意
- luminosity function を調べた
  - 最近のデータも含めた update は必要
  - 普段見ていない長いタイムスケールなので、系統的に調査したい

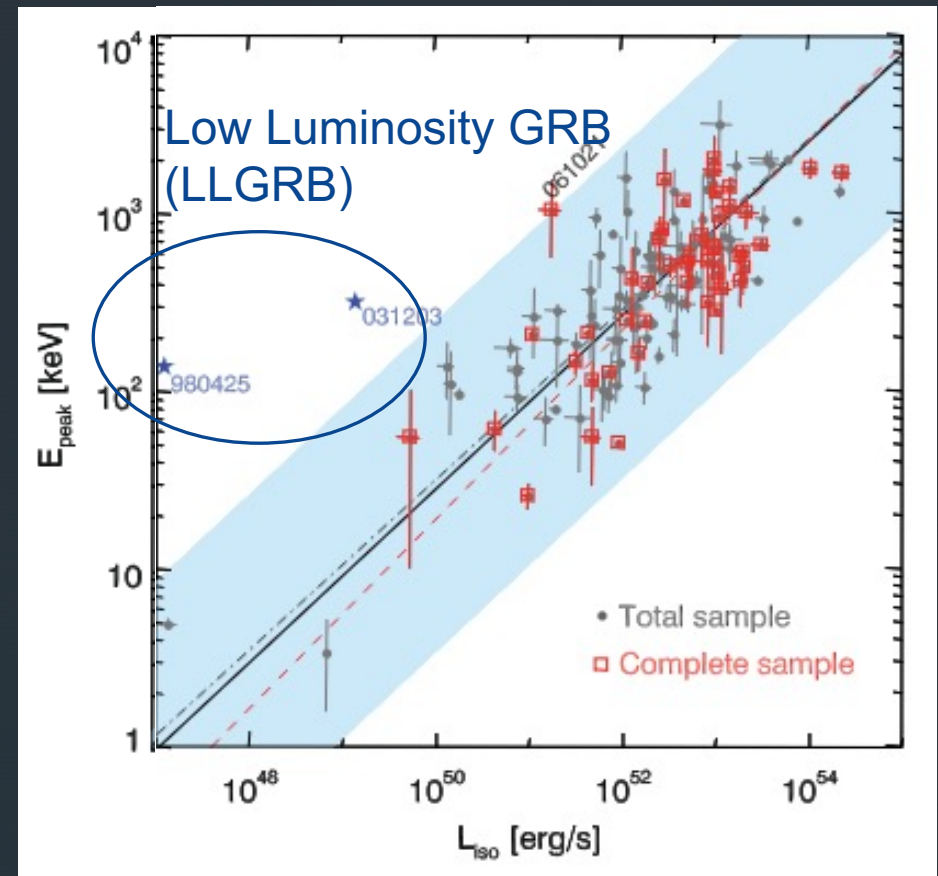


Kawamuro+ (2016) より

# ニュートリノイベントの対応天体としての LLGRB

Z104a 岩切

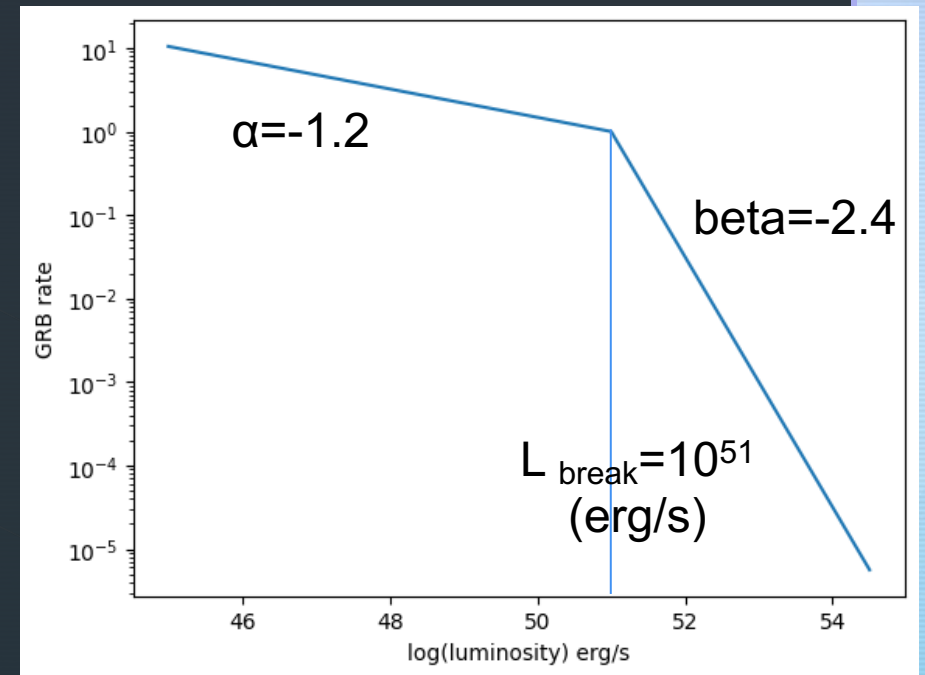
- GRB/LLGRBの場合のシミュレーション
  - $E_{\text{peak}}$ - $L_{\text{iso}}$  関係は仮定する (右図)  
Low luminosity のサンプルは関係式を修正して、  
同じ $L_{\text{iso}}$ に対して2桁高い  $E_{\text{peak}}$  とする
  - GRB発生率を適当に仮定( $z$ 依存性あり)



Nava+ (2012) より

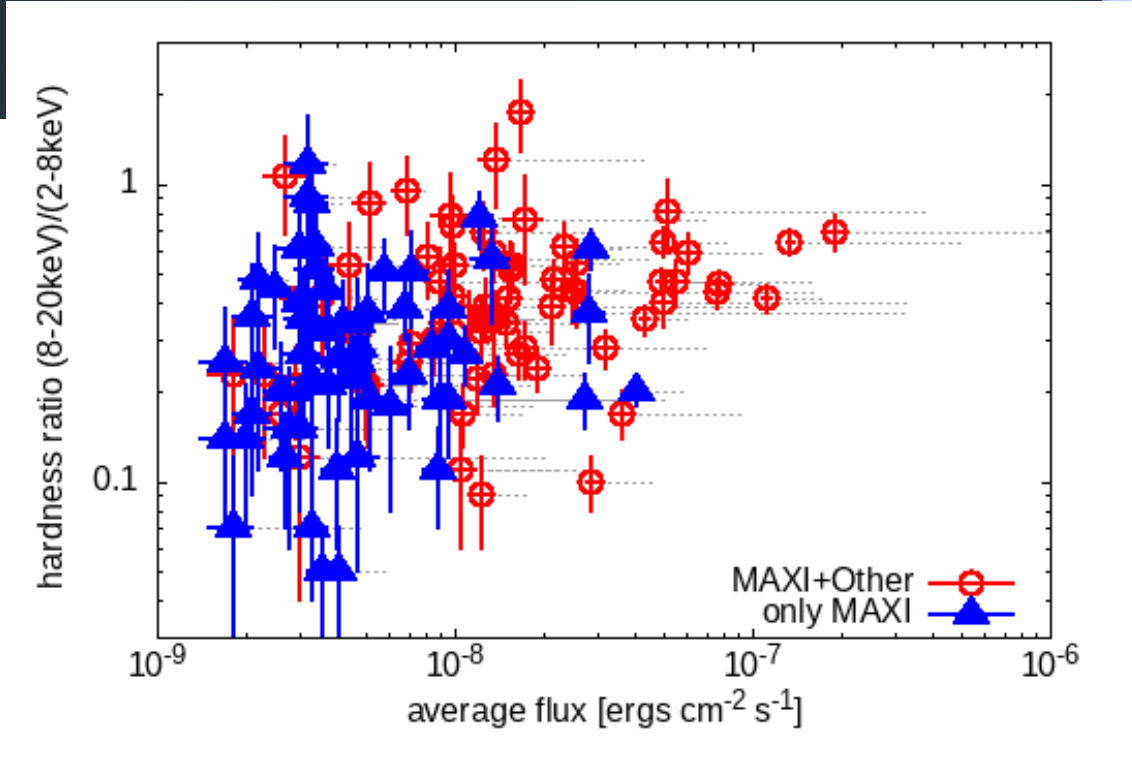
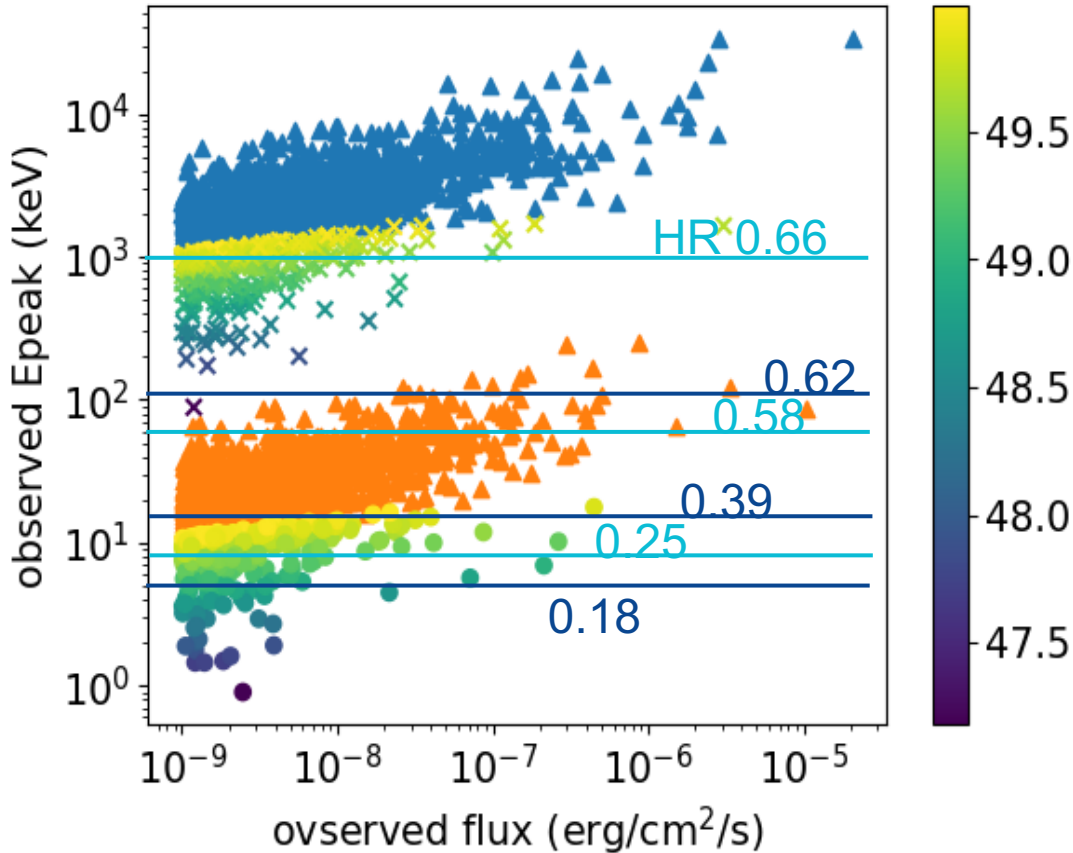
# シミュレーションで 検出できるイベントの特徴を調査

- GRB/LLGRBの場合 のシミュレーション
  - Epeak-Liso 関係は仮定する  
Low luminosity のサンプルは関係式を修正して、  
同じLisoに対して2桁高い Epeak とする
  - GRB発生率を適当に仮定(z依存性あり)
  - luminosity functionは broken power law とする(右図)
  - 乱数をふって z, luminosity を選ぶ
  - luminosity から Epeak を計算
  - スペクトルと距離から観測される flux を計算



# X線で検出できる イベントの特徴

Epeak が  
高いグループ : LLGRB  
低いグループ : 通常のEpeak-Luminosity関係

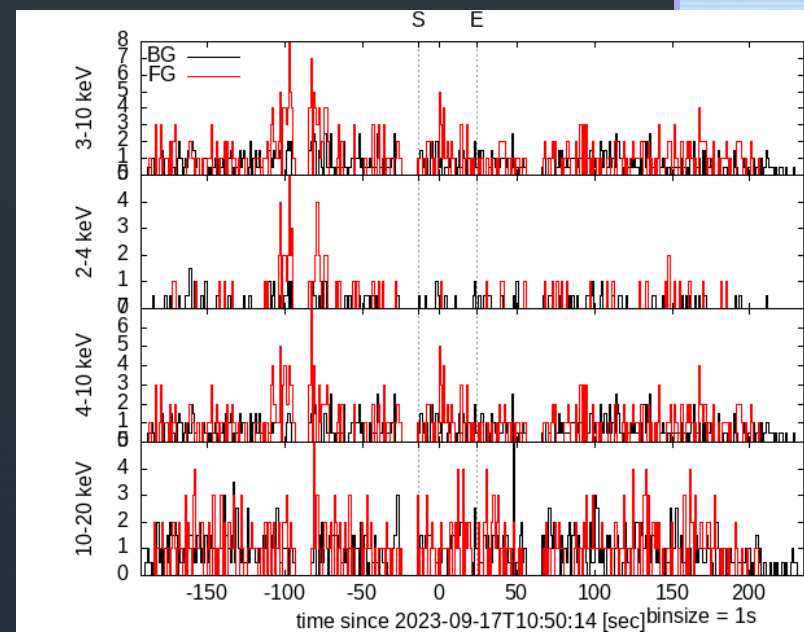
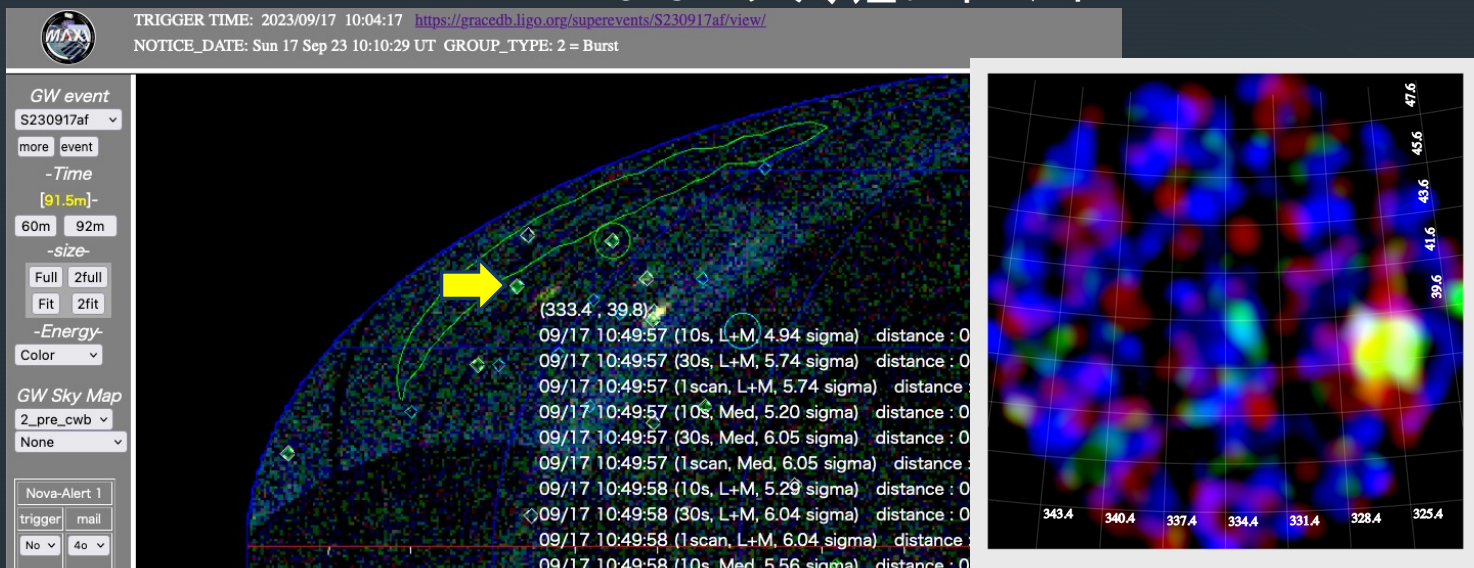


検出感度ぎりぎりのsoftなイベントが面白い  
ただし、Epeak-Luminosity 関係にのらない  
LLGRB的なものはhardに出る可能性もあるので注意



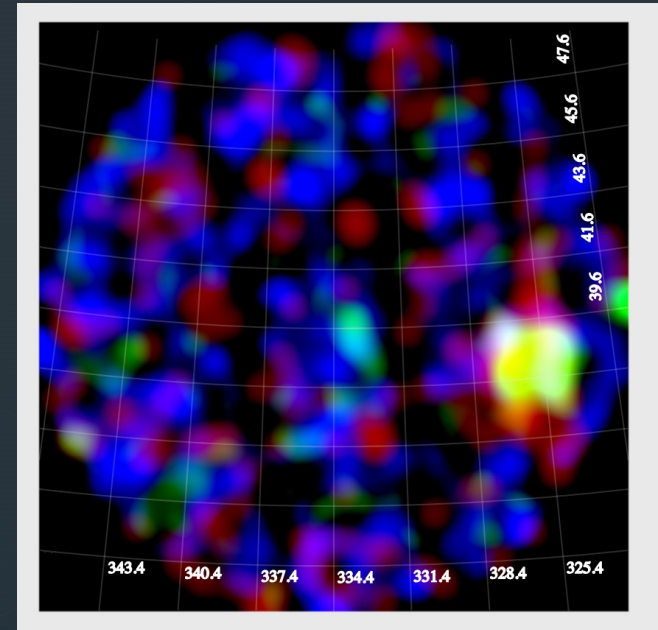
# 新着情報: 重力波イベント S230917af

- MAXIでは、 $FAR < 20$  per year の重力波イベントは当番がチェックすることになっている。(たまたまその日の当番にあっていた)
  - S230917af は 14.53 per year で条件を満たす
  - 有意度は低いものの、重力波のコントア内に何かイベントがある様子
  - 4-10keVのみ、短いイベント



# short X-ray transient 230917

- どのくらい珍しいのか
  - この規模のtransient(候補)は平均すると全天で1日に25イベント程度
  - 重力波イベントから1スキャン以内の時間で(1/16)
  - 重力波のコントア内で(1/150)  
→ 大変大雑把に 4 event/year 程度
  - MAXI でわかるのはここまで
- Swift XRT に ToO を申請 → 18ポイント観測
  - 6天体がMAXIの誤差領域内にみつかる
  - ただし、どれも重力波対応天体らしくはない
- さて、何物でしょうね？



# まとめ

- X線が果たす役割
  - 広視野型で突発天体をつかまえ詳細観測型で調査する
- 広視野型(MAXI)のアーカイブを利用した調査
  - TDEは年間~1イベントを期待  
未解析のデータによるアップデートや今後の系統的な解析が課題
  - LLGRBの候補はMAXIでも暗いところに多い  
ハードな場合でも追跡観測につなげるべき
- 新着情報
  - 重力波イベント S230917af に対応したX線イベントを検出、  
swift XRTで追観測したが、候補天体はみつからず
- XRISM、こようなど新しい装置にもご期待ください