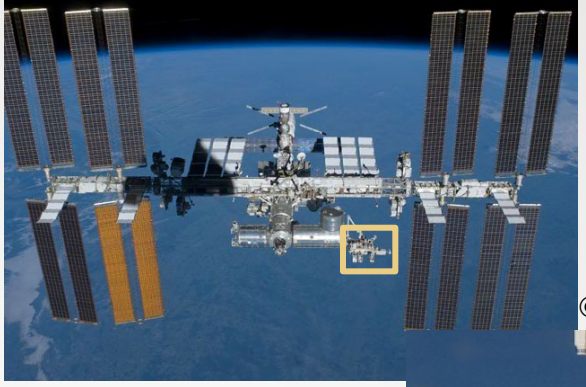
X線トランジェント天体のMAXIによる観測から即時フォローアップへの連携

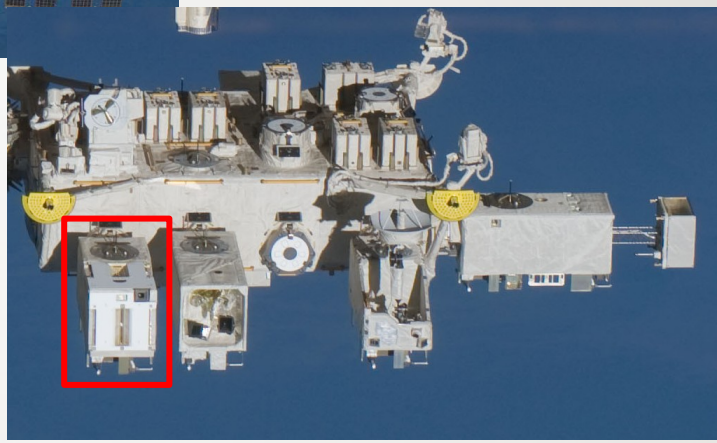
芹野素子 (理研 MAXIチーム)

2

動機



©NASA



- 全天X線監視装置MAXI
  - 国際宇宙ステーションに搭載
  - 3度×160度の視野でスキャン観測
    (全天の2%に相当)
  - 90分間隔でモニタ 突発天体も観測
- MAXIだけでできるサイエンスは限られる
  - 有効面積が小さい
  - 位置決定精度が悪いので、視野の狭い望遠鏡での追跡観測につなげられない
- フォローアップ観測との連携は欠かせない

目次

- MAXIの紹介
  - MAXIの突発天体の紹介
  - 突発天体の追跡観測の現状
- MAXIと可視光サーベイ観測との連携
  - (連携1) MAXIのアラートによる突発天体フォローアップ
  - (連携2) 多波長モニタ
- X線フォローアップ観測の今後(NICER)

MAXIとは

- 90分ごとに全天の85%をカバー
  - 視野内に滞在する時間は40秒
- 突発天体の自動検出と速報が可能(明るければ30秒以内)
- 位置決定精度は30分角程度
- 4時間-1日ごとにデータ公開
  - 約400天体の光度曲線 →
  - 指定の時間帯、座標のスペクトルを提供(オンデマンド)
- 7年半の観測実績

source name	R.A., Dec	standard	v4l	v3rkn	v3
Mrk 335	1.581, 20.203	↙	--	--	↙
WW Cet	2.853, -11.479	↙	--	--	↙
Tycho SNR	6.308, 64.144	↙	--	--	↙
V709 Cas with IGR J00291+5934	7.203, 59.289	↙	--	--	↙
IGR J00291+5934 with V709 Cas	7.263, 59.572	↙	--	↙	--
2MASX J00341665-7905204	8.569, -79.089	↙	--	--	↙
1ES 0033+595	8.969, 59.835	↙	--	--	↙
BD +62 70	9.290, 61.380	↙	--	--	↙
Abell 85	10.407, -9.342	↙	--	--	↙
M 31	10.645, 41.162	↙	--	--	↙
Mrk 348	12.196, 31.957	↙	--	--	↙
Mrk 1148	12.978, 17.433	↙	--	--	↙
SMC X-3	13.024, -72.434	↙	--	↙	--
SMC X-2	13.650, -73.676	↙	--	↙	--

5

MAXIの突発天体 -1スキャン~1日のタイムスケール

- GRB/XRF – 1回/月
  - 継続時間が短いと位置の不定性が大きくなる
- MUSST – 1回/年
  - Swift で追跡観測したが対応天体がみつからない
- X線バースト
  - Low-mass X-ray binary の中性子星表面での核爆発
- 恒星フレア
  - RS CVn や dMe

MAXIの突発天体：明暗を分けるのは追跡観測

MAXI J0158-744

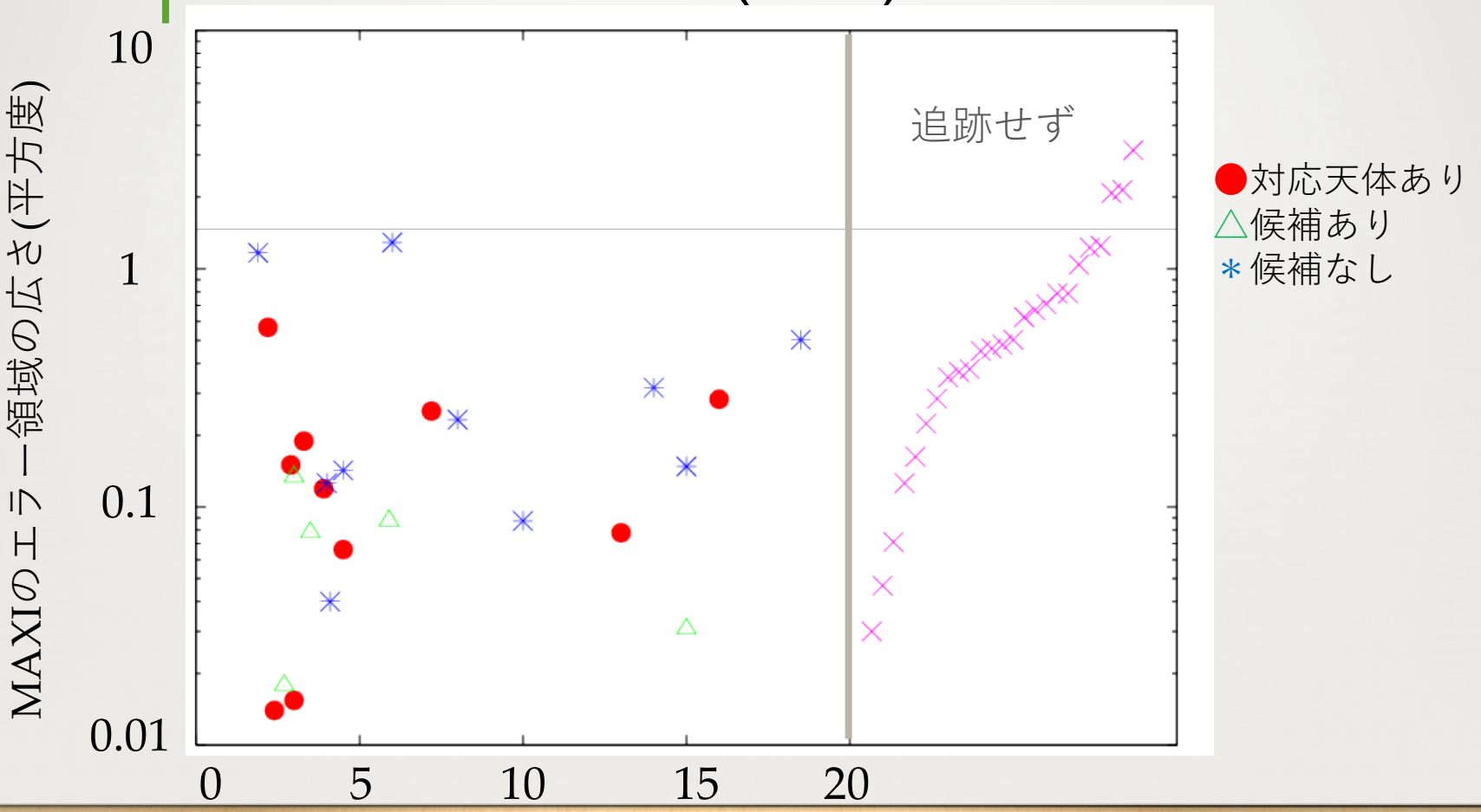
- GSCで1スキャンのみ検出
- 2-4keVのみ
- 自動検出/自動アラート送信
- Swift で追跡観測 10.4h 後
- 対応天体検出
  - 新種の天体(新星爆発の瞬間)
- 論文複数本出版

MAXI J1501-026

- GSCで1スキャンのみ検出
- 2-4keVのみ
- 自動検出
- Swift で追跡観測 1.7h 後
- 対応天体未検出
  - 正体不明
- …成果につながらない

7

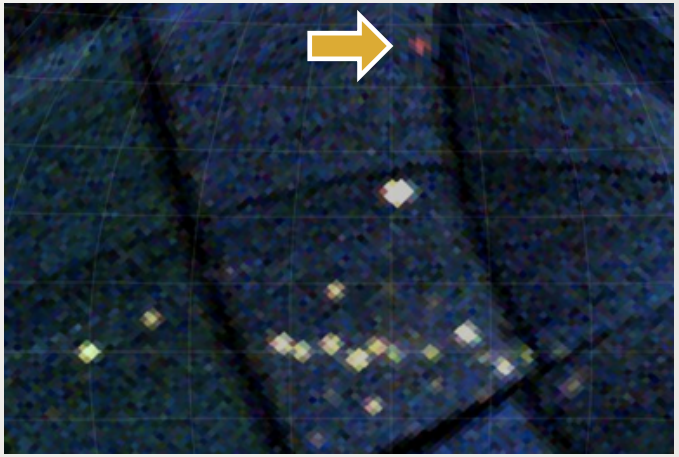
追跡観測の現状(X線)


MAXIのエラー領域の広さ(平方度)
10
1
0.1
0.01
0
5
10
15
20
追跡せず
●対応天体あり
△候補あり
＊候補なし
バーストから観測開始までの時間(時間)

MUSST : “対応天体がみつからない” というカテゴリ

- **M**AXI **U**nidentified **S**hort **S**oft **T**ransient
- Unid: Swift で追跡観測したが対応天体なし
- Short : 1スキャン(約40秒)のみ
  (スキャン間隔は92分
  次までに消えている)
- Soft: 10keV以下だけで光る
  (BAT,GBMなどでは見えない)

MAXI J1501-026



9

問題点のまとめ

- X線での追跡観測は Swift でかなりできるようになってきている
  - 対応天体があればサイエンス(論文化)への道がひらける
- 中途半端な覆い方では、暗くて見えなかったのか視野外にあったのかもわからない -> 科学的な価値が損なわれる
- 位置がよく決まり、十分早い時間帯に見ても対応天体が見つからない場合がある

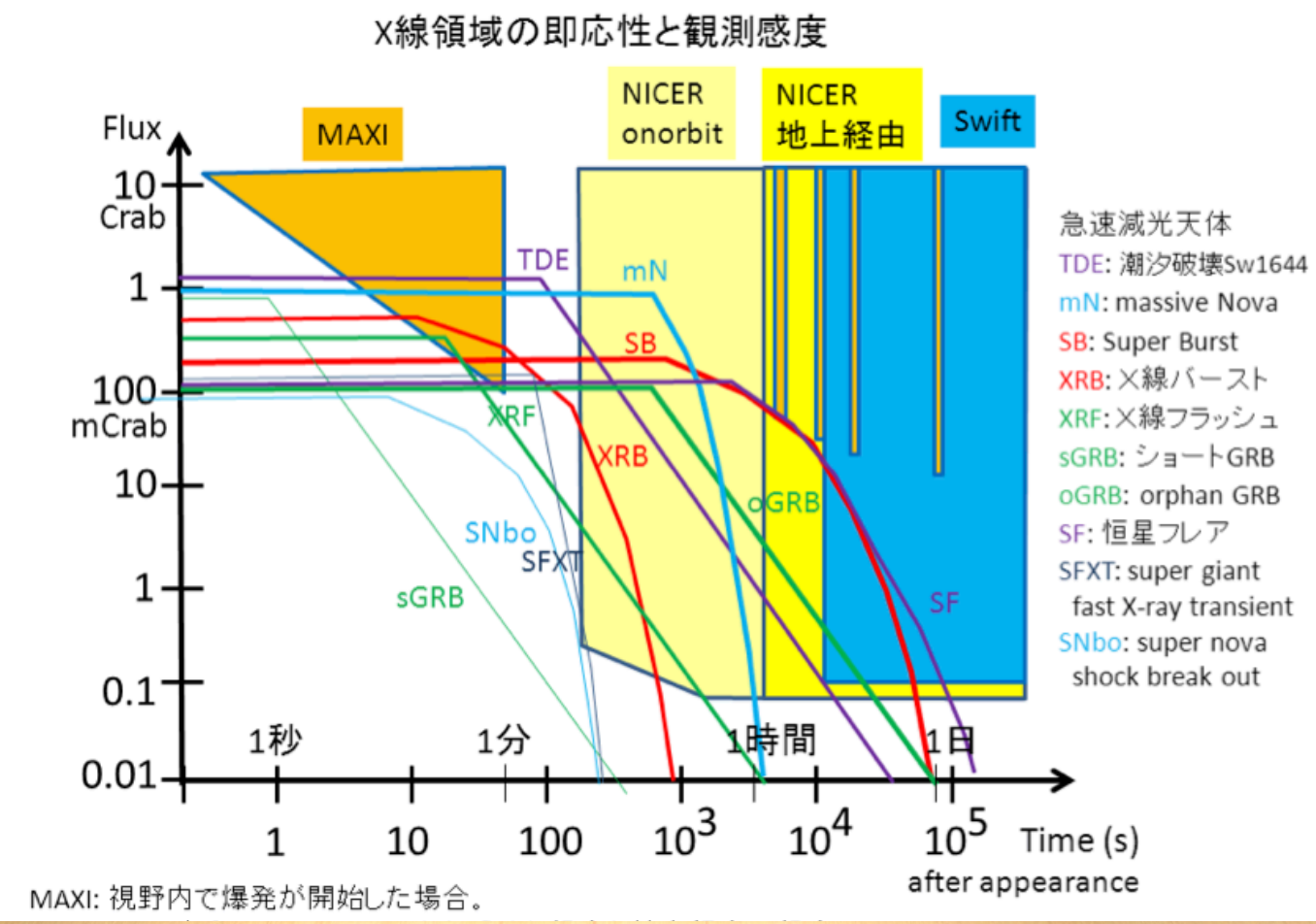
MAXIと可視光サーベイ観測との連携

- 考えられるパターンは二通り 「フォローアップ」 と 「多波長モニタ」
- 「フォローアップ」:
  MAXIが突発天体を検出し、それに応じて追跡観測を行う
  - どのくらい早く反応できるかが鍵
  - さらに深い観測のためには早い解析も必要
- 「多波長モニタ」:
  それぞれ独立に(サーベイ)観測を行い、
  興味ある天体の変動について相関を調べる
  - 連携するには、MAXIと可視両方で見える天体が必要
  - どこをどのくらい見るかが重要

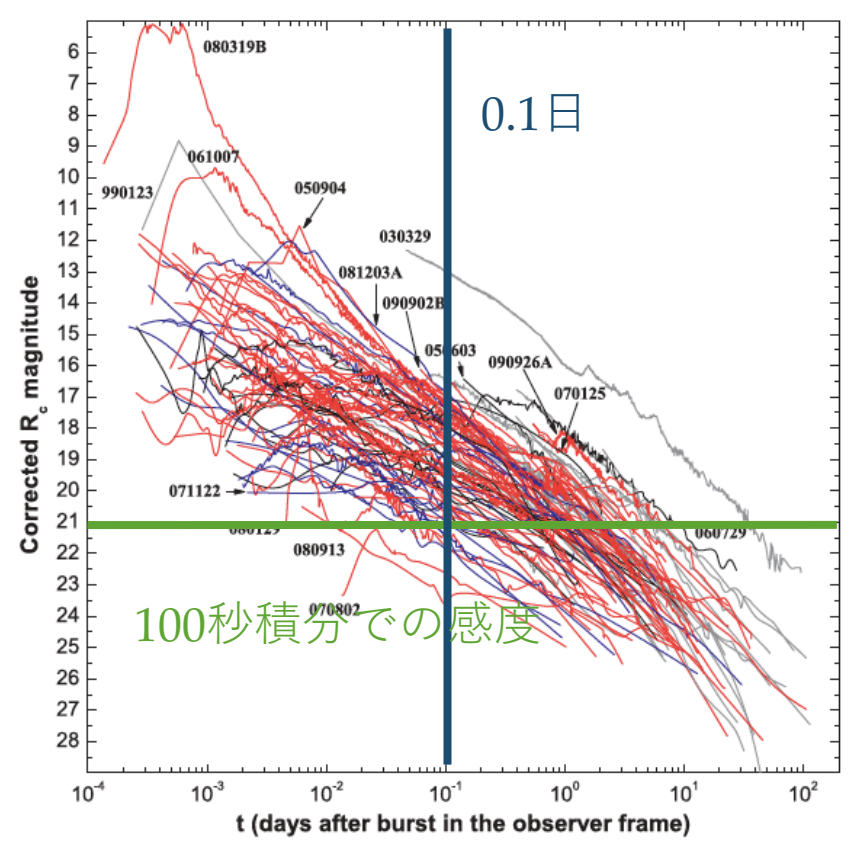
早期フォローアップ

- GRB の仲間 (X線残光はもっと早く広く見れば検出できる)
  - XRF, orphan afterglow ならば可視で見える, z>7だと見えない
- 新星 (MAXI J0158-744と同様、XRTでも見えてほしい)
  - 可視でも見えるはず
- 静穏期のX線バースト(遠ければXRTで見えなくてもよい)
  - 可視光でみえるとは思うがどの天体かわからない可能性大
- 「古いマグネターのバースト」「BHへの小天体(彗星?)の落下」
  - XRTで見えないことと矛盾しないが、可視でも無理
- 重力波に同期????

MAXIの突発天体とX線での時間発展



Tomo-e Gozenによる追跡観測の案: GRB



Kann et al. 2010

過去に検出された程度の明るさのものを検出するには0.1日以内に見たい

残光が暗い可能性もあるので、
100秒程度の積分が必要
- 通常のサーベイとは異なるモード

光度曲線をしっかり追うなら
1point を1夜見る

対応天体があるか調べるだけなら
-可能な限り早く1回撮像
-数時間あけてもう1-2度撮像で良い?

本当は多色で撮りたい (分光?)

follow-upの時の要望のまとめ

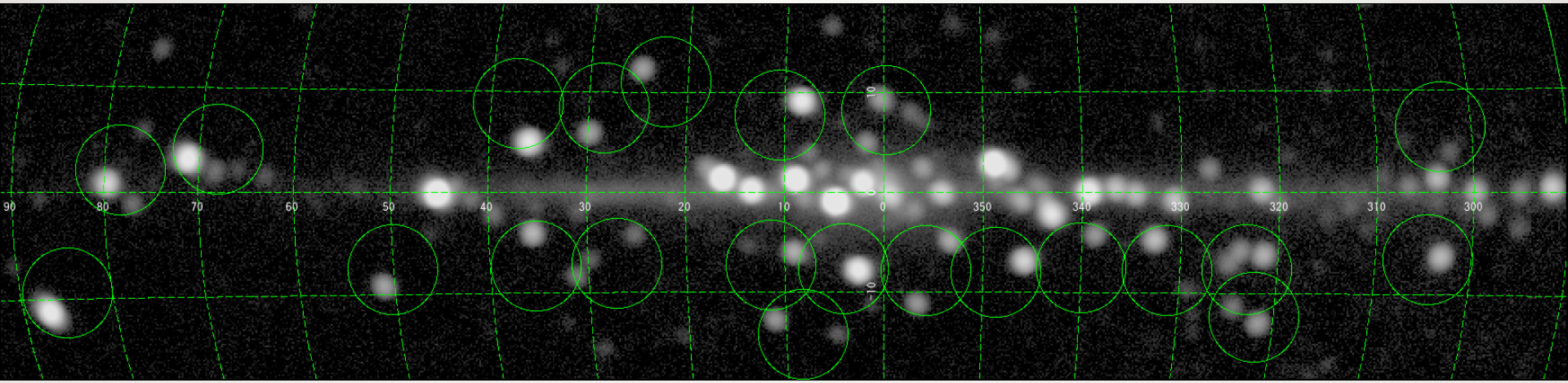
- 1ポイント(2x3 dithering)でエラー領域が覆えるのがありがたい
  - 視野外にあると上限値に意味がなくなる
- とくに、短時間で変動する天体の初期の観測に最適
- とにかく位置を決めたい
  - 分光などさらなる追跡観測につなげたいので解析はその日のうちに
  - 位置が決まれば(翌日以降?)より適切な装置に
- 1ポイントを一晩見続ける
  - 多分変動するので光度曲線がほしい
  - 積分時間も必要

サーベイとMAXIの連携

- Supernova Survey - 2h毎の観測
- MAXI - 1.5h毎の観測
- タイムスケールが近いので、良い連携になるのでは
- ただし、両方で見える天体でないと意味がない
  - 天体数はMAXIの方が少ないので、
    MAXI側から考えるのが易しい
- MAXIで見える天体の多くは銀河面の近く
  - 正体はX線連星 (ブラックホール、中性子星)
  - AGNは1スキャン毎ではほとんど見えない

16

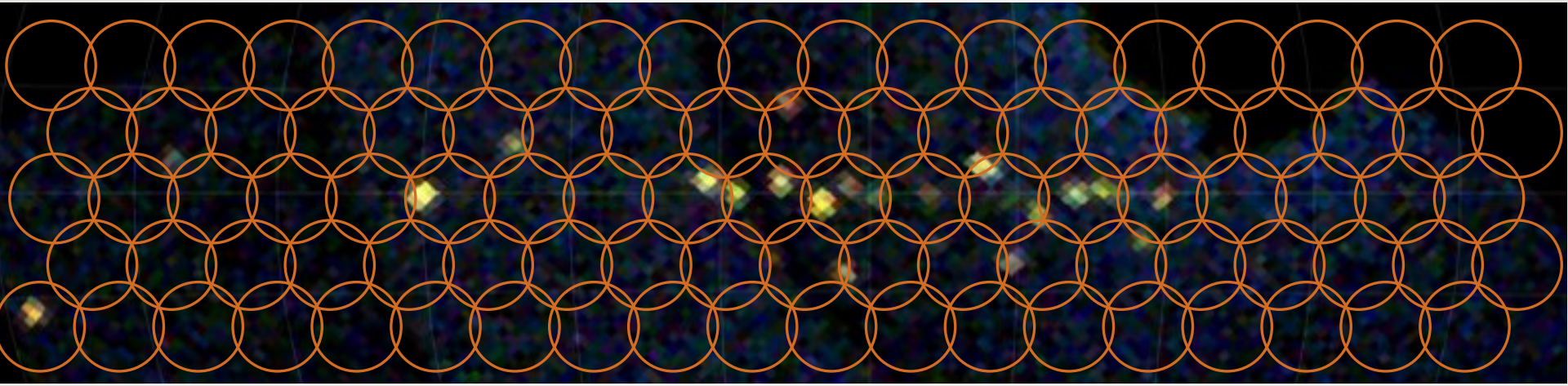
MAXIの銀河面マップを Tomo-e Gozenの視野で覆ってみた (控えめ)



背景: MAXI 4.6年画像 (4-10 keV)　　22ポイント

17

MAXIの銀河面マップを Tomo-e Gozenの視野で覆ってみた (欲張り)



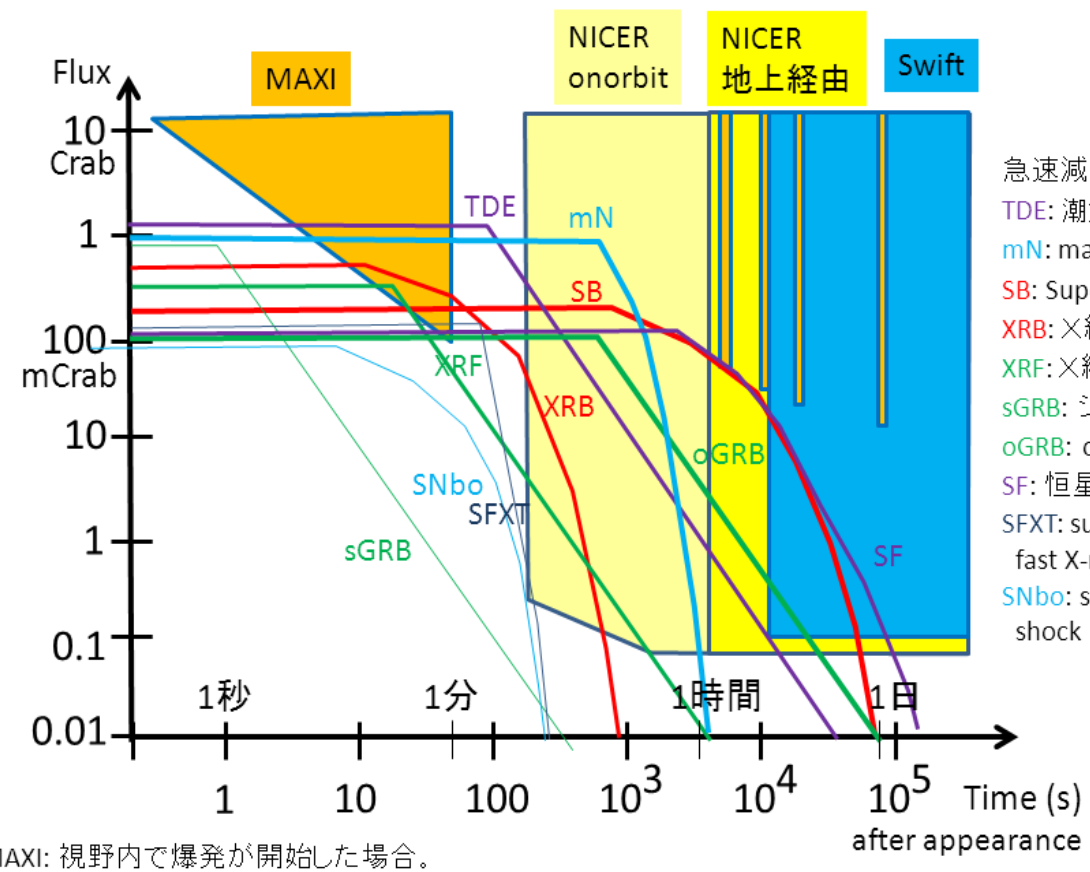
背景: MAXI 1scan画像 (3色合成)　　95ポイント→95分

通常のサーベイパターンでOK

NICER: X線でのフォローアップの今後

- Swift より早いフォローアップをしたい
- 数ヶ月後にNICERがISSに来る
  - 大面積、高い時間分解能、継続観測可能
- ISS上でアラート→追跡観測できれば
  フォローアップまでの時間短縮
  - 地上とのコンタクトの制約がなくなる
- NICER+Tomo-e Gozen の短時間変動の連携も面白い

NICER: X線でのフォローアップの今後



NICER
0.2-12keV

まとめ

- MAXIは月に1度程度GRBのような短時間の突発天体を観測
  - 位置精度が30分-1度程度
    - Tomo-e Gozen ならば十分にでカバー
    - KOOLS-IFUにもつなげられると良い
    - 一晩連続観測で短時間変動を狙う
  - X線での追跡観測はSwift->NICERでより迅速に
- 通常のサーベイ観測でも観測タイムスケールが近いMAXIとの相性は良さそう