

Tomo-e Gozenの 高頻度サーベイデータを用いた Fast Optical Transient 探査

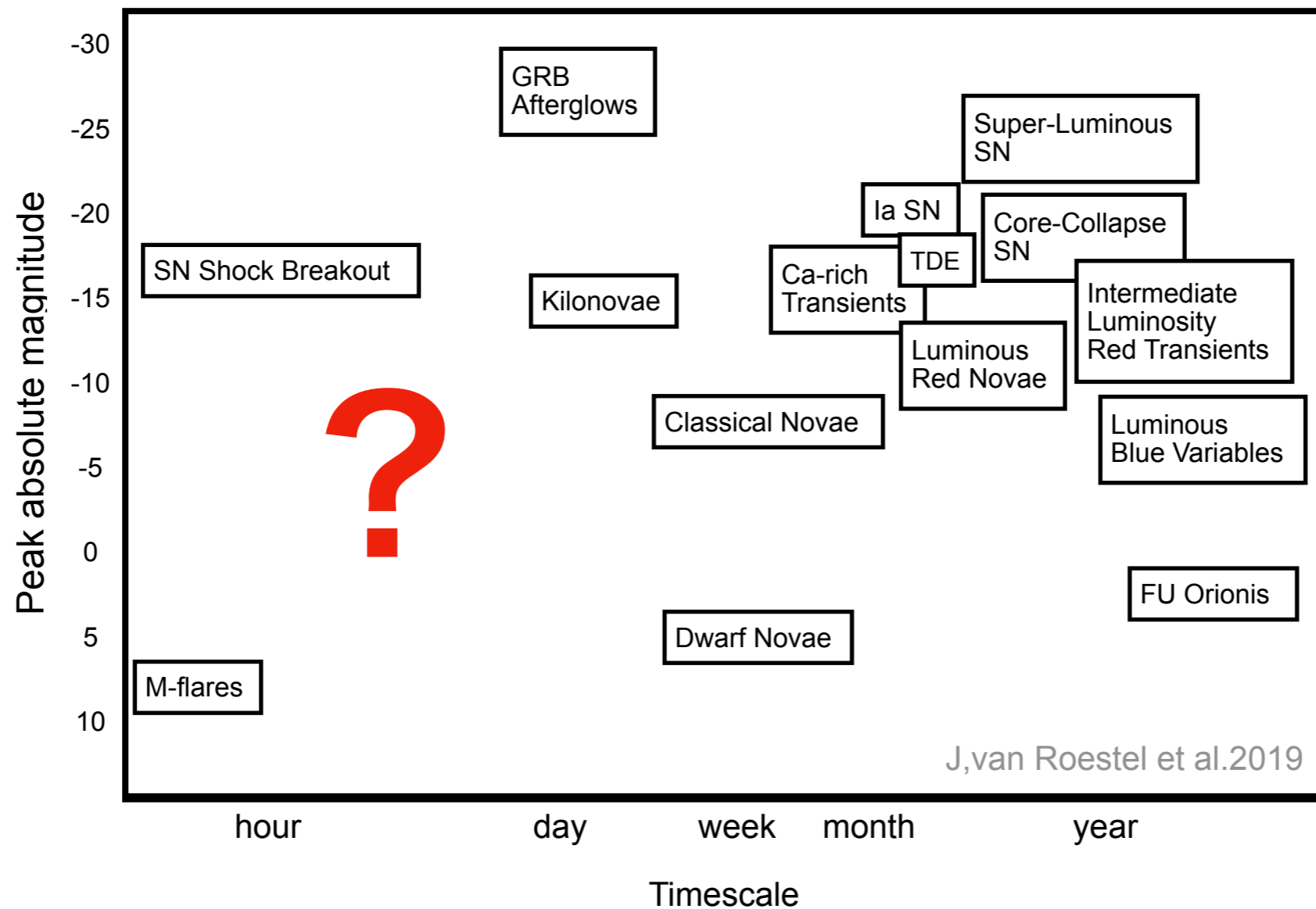
押切 翔 (東北大学)

田中雅臣 (東北大学)、富永望 (国立天文台)、諸隈智貴 (千葉工業大学)、
高橋一郎 (東工大)、反保雄介 (京都大)、Tomo-e Gozenコラボレーション

2023/05/31

木曾シュミットシンポジウム2023

Fast Optical Transient

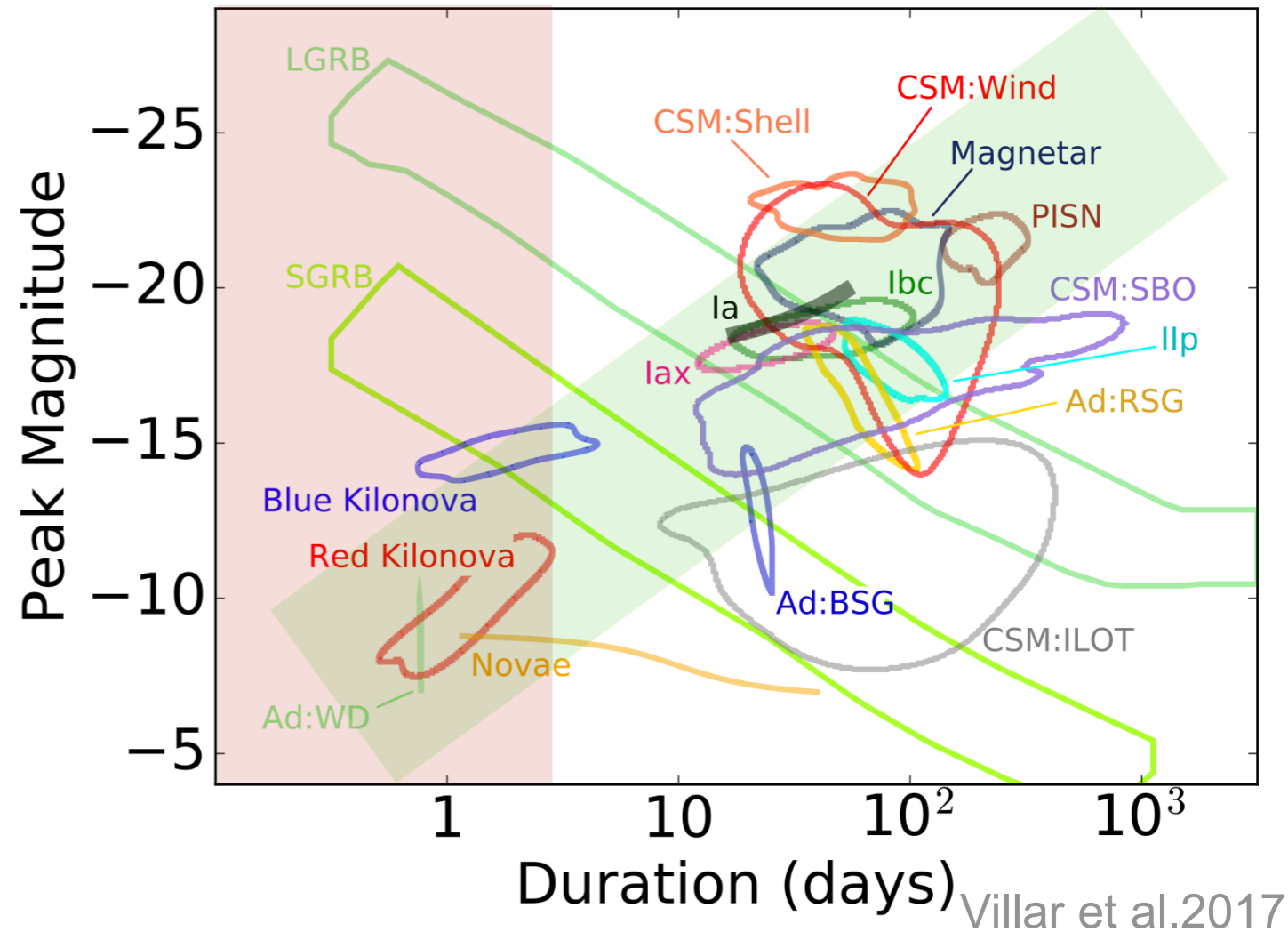


数時間から数日のタイムスケール、光学的に見える天体
→ **Fast Optical Transient**

先行研究

理論

- 相対論的ジェット
→ 短時間で明るい
- それ以外
放射性崩壊、非相対論的加熱
→ 明るいほど、長く輝く

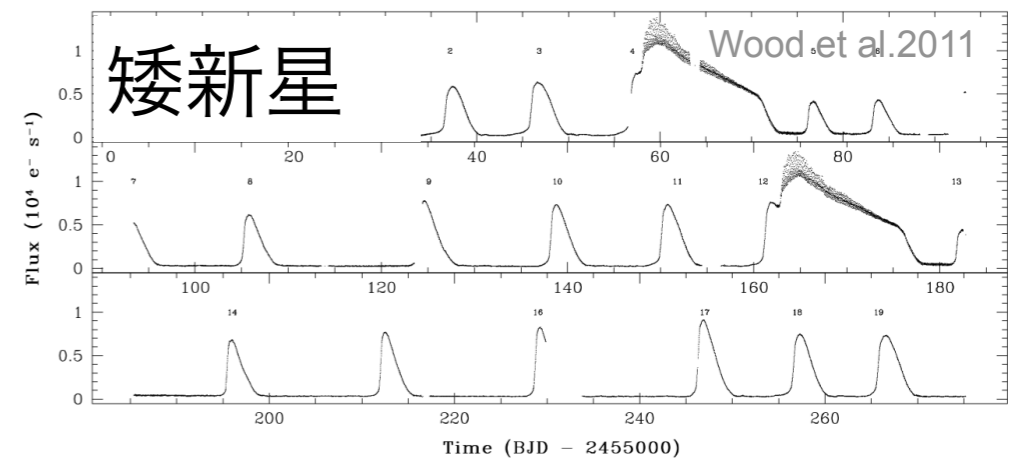


FOT候補

- 明るい：ガンマ線バースト残光？
- 暗い：質量の小さい爆発の熱的放射？

先行研究

観測



- 新星や超新星爆発：～日、月の長いタイムスケール
歴史が古く、観測数も多い

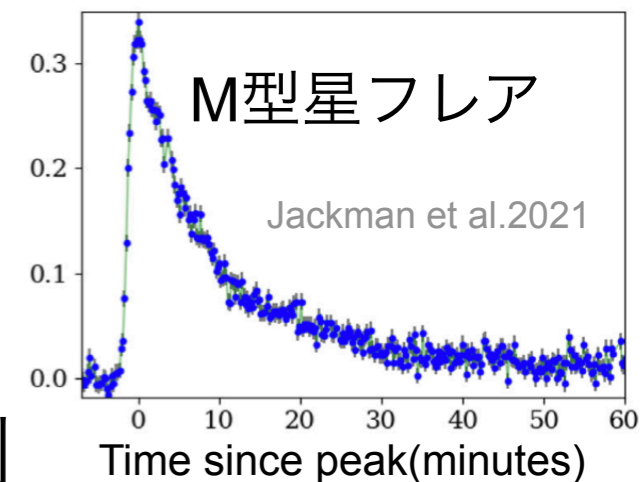
- 近年、～分、時間の短いタイムスケールで広視野の観測が可能に
the Deep Lensing Survey (DLS) Becker et al.2004

- 銀河系内のM型星フレアや矮新星

e.g., Berger et al.2013, van Roestel et al.2019

- ガンマ線バースト残光が可視光だけで見つかった例

e.g., Cenko et al.2015, Stalder et al.2017,



**FOTの検出 → 観測の条件(時間間隔や限界等級)に依存
多くの探査で制限をつけることが必要**

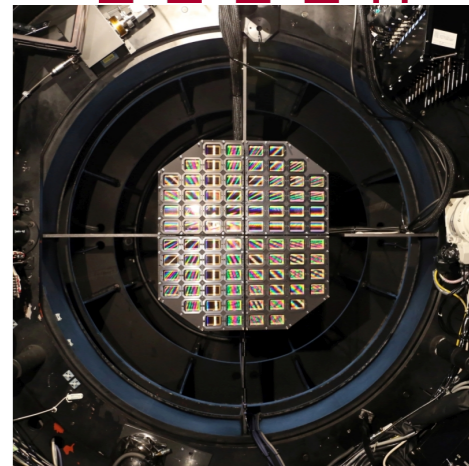
Tomo-e Gozen

木曾観測所 広視野高頻度サーベイプロジェクト



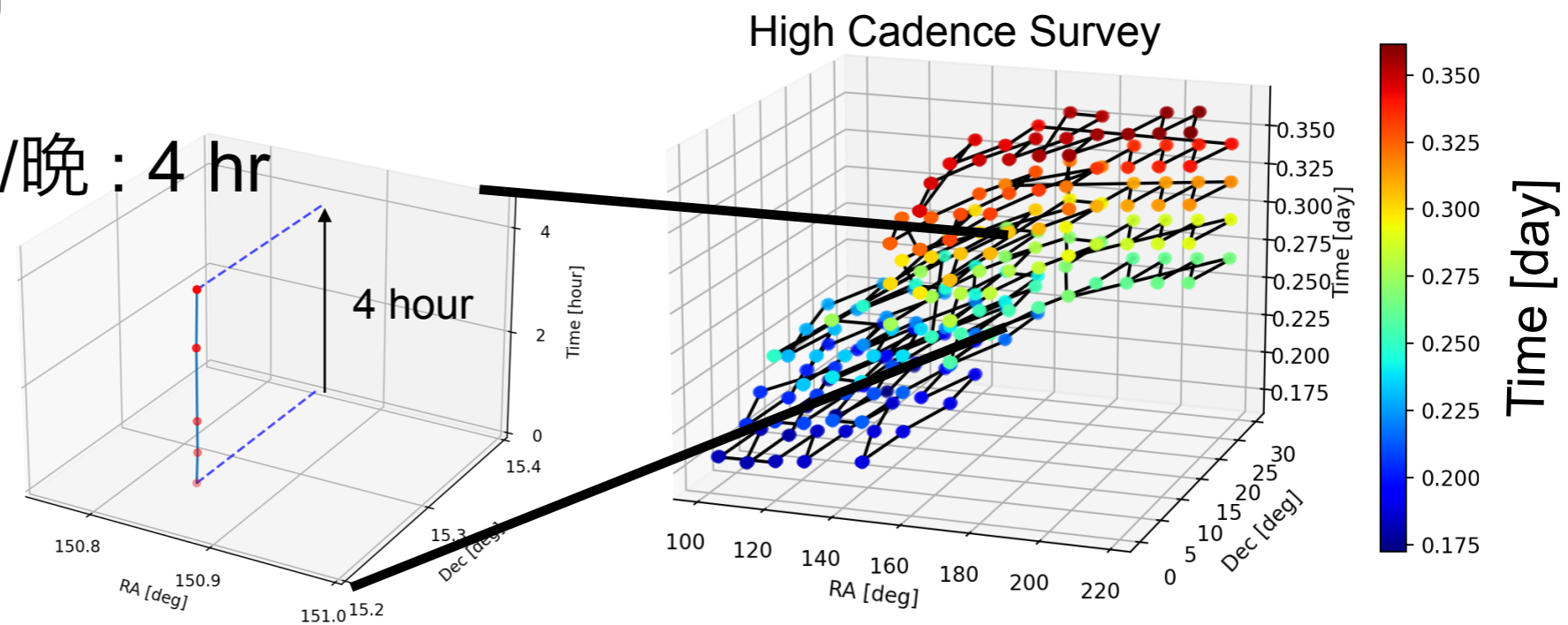
T O M O - e
G O Z E N

高頻度サーベイ：一晩で3000 deg²を複数回観測



© Tomo-e Gozen

- 平均限界等級：17.9 mag
- 有効視野：20 deg²
- 時間ベースライン/晩：4 hr



本研究のターゲット：

数時間から数日程度の変動を示す、銀河系外FOT

Selection

Tomo-eのパイプライン

- ・ 撮影した画像(Tomo-e)と、PanSTARRS-1(PS1)の参照画像から差分画像(sub)を作成
- ・ CNN (Convolutional Neural Network)で自動判定 Takahashi et al.2022
- ・ 3.1×10^6 個(2022年5月時点)の天体が登録済

1. 条件 (2022年5月末まで)

検出期間：**5日未満**

検出回数：**2回以上**

4.1×10^5

2. Gaia EDR3で**星を除去**

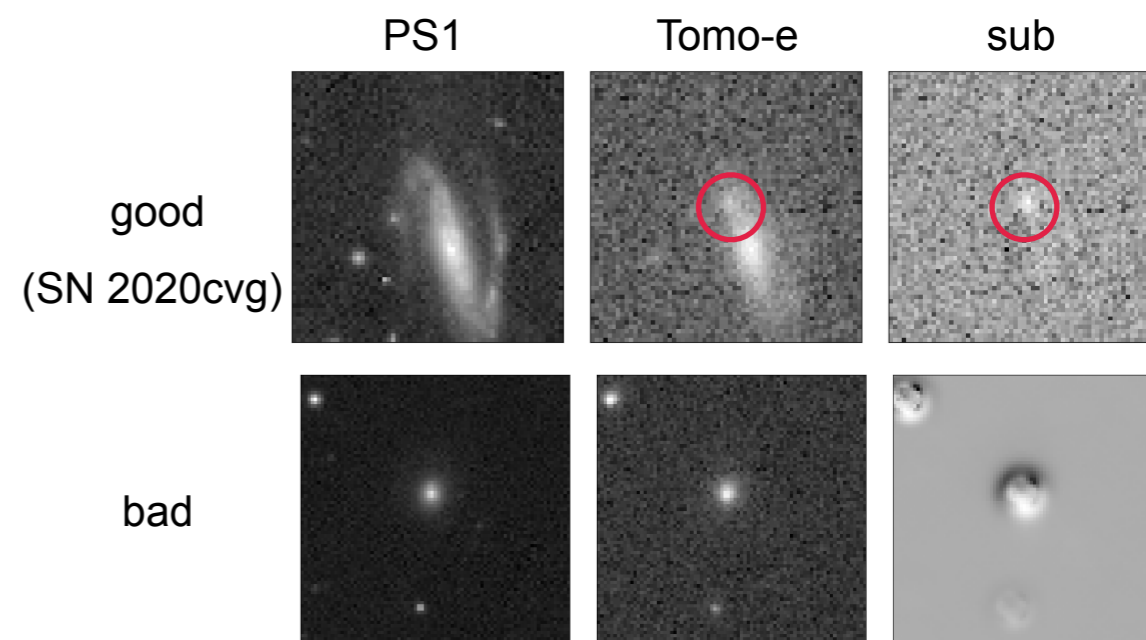
1.4×10^5

3. CNNによる再判定

6870

4. 目視で最終候補を選択

188



FOT candidate

- Transient Name Server (TNS)

超新星爆発：75 未分類：113 (AT：55)

- PS1画像による分類 113

a. PS1の点源に付随した天体：81

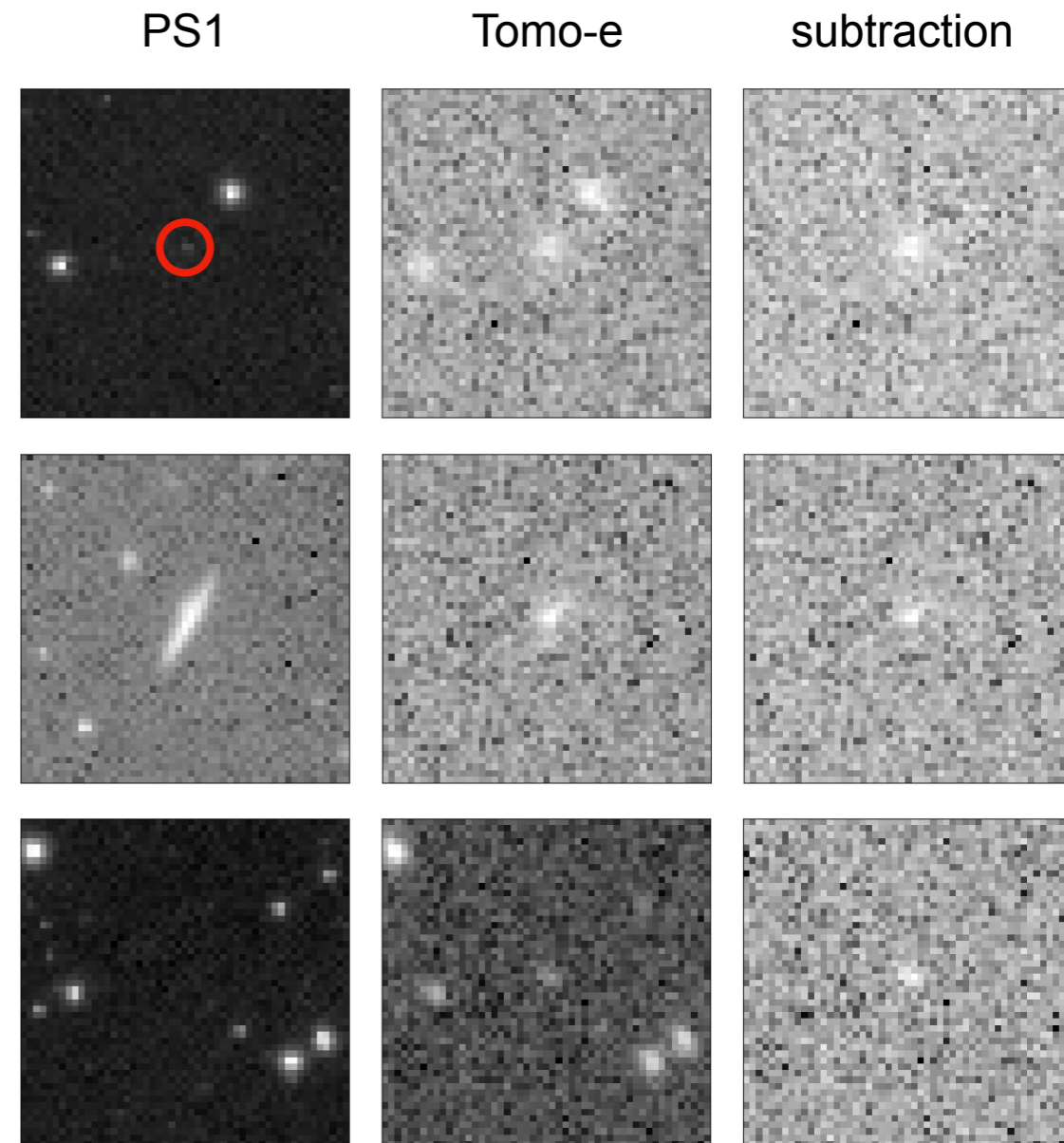
→ 銀河系内の矮新星？恒星フレア？

b. 銀河に付随した天体：10

→ 超新星爆発？ rapid transient？

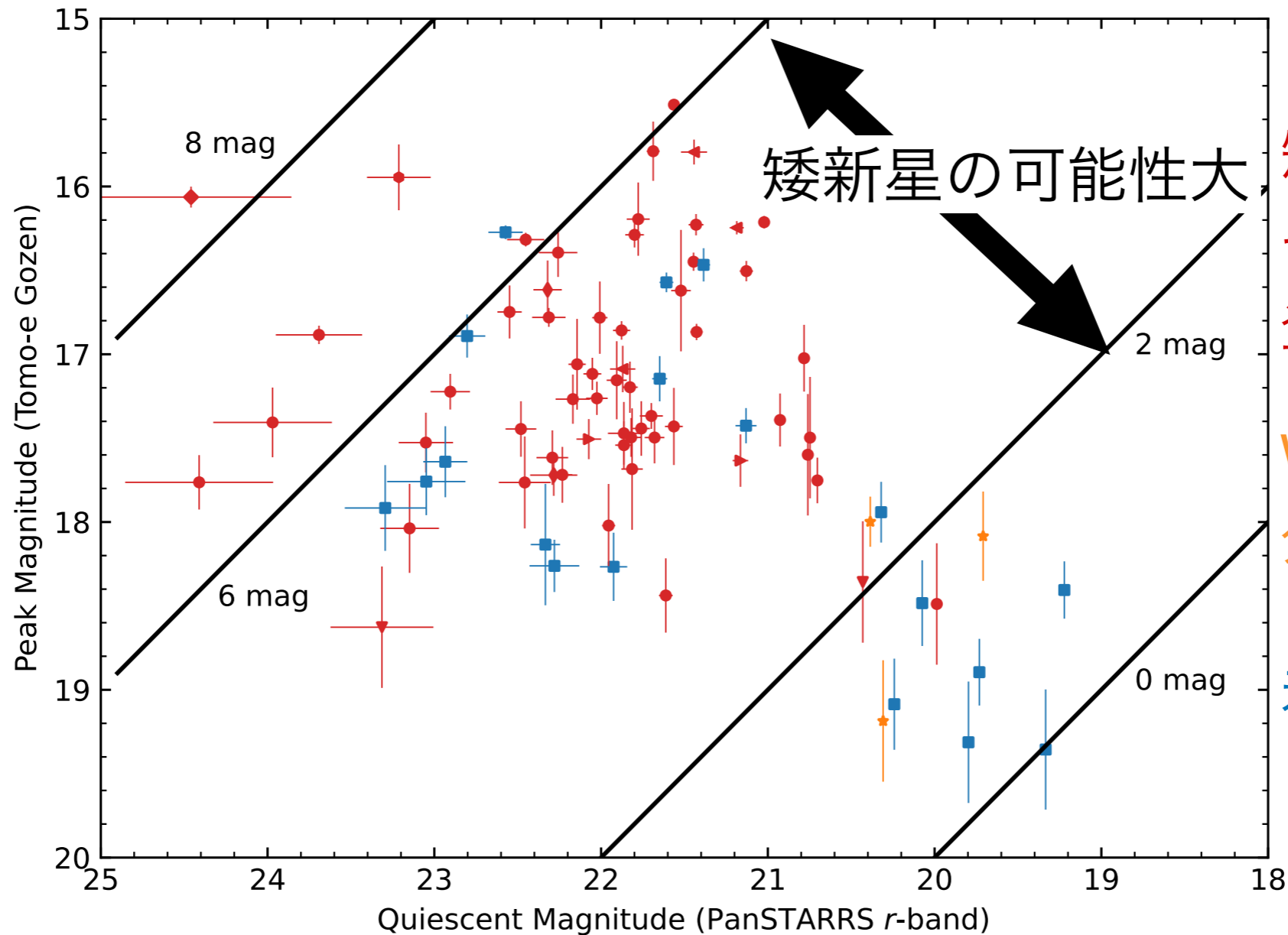
c. 既知の天体に付随しない天体：22

→ 銀河系外？系内の暗い星？



a.PS1の点源に付随した天体：81

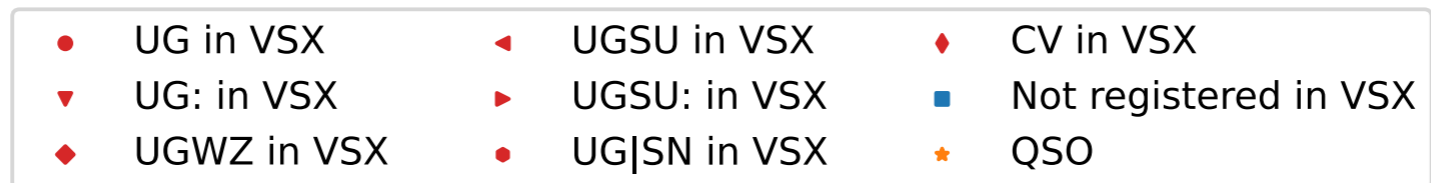
静穏期と増光期の比較



矮新星及び
その候補として
登録された天体

WISE等でQSOと
分類された天体

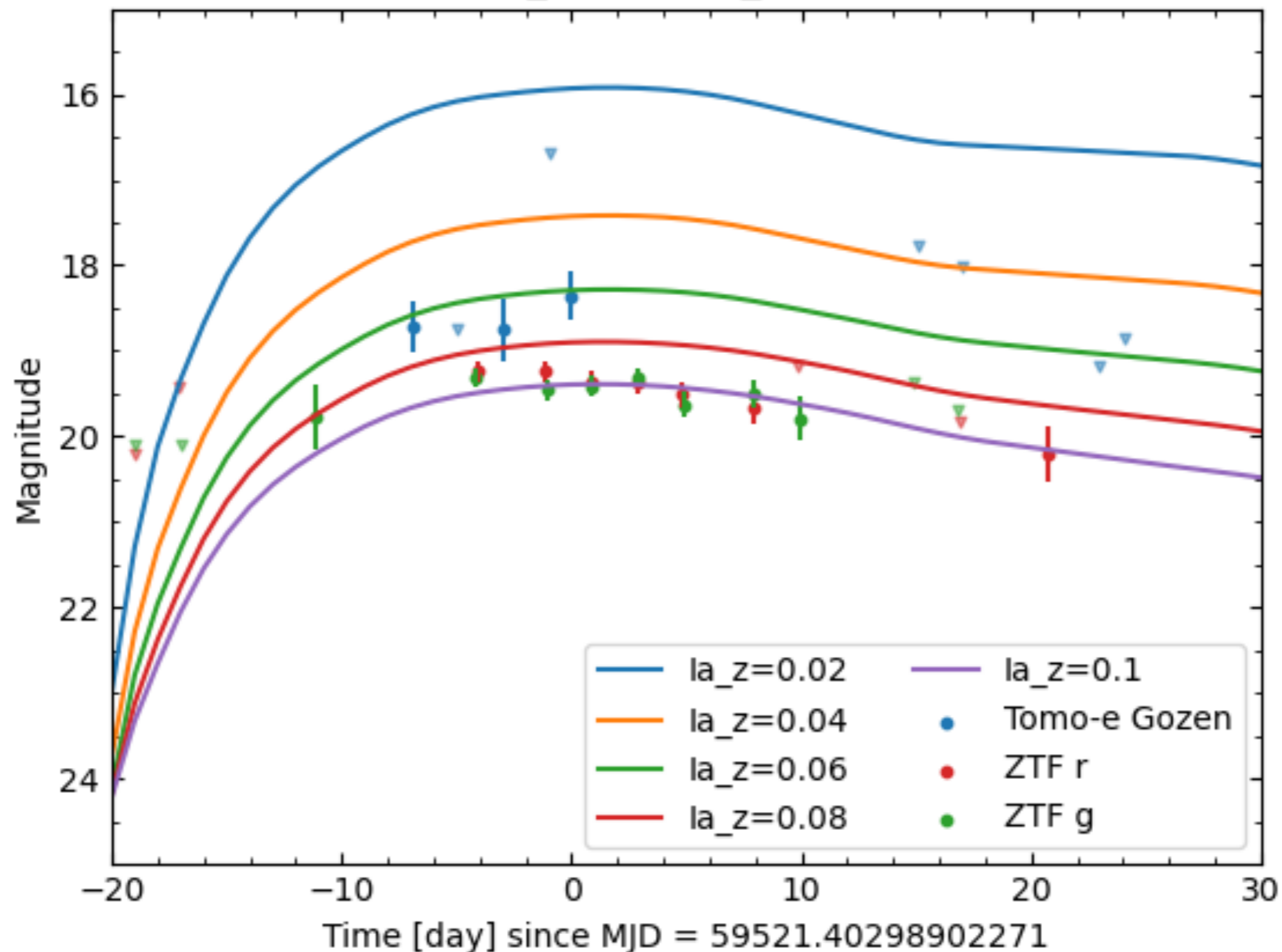
未分類天体



2 - 8 mag の増光、検出期間が数日 → 矮新星アウトバースト

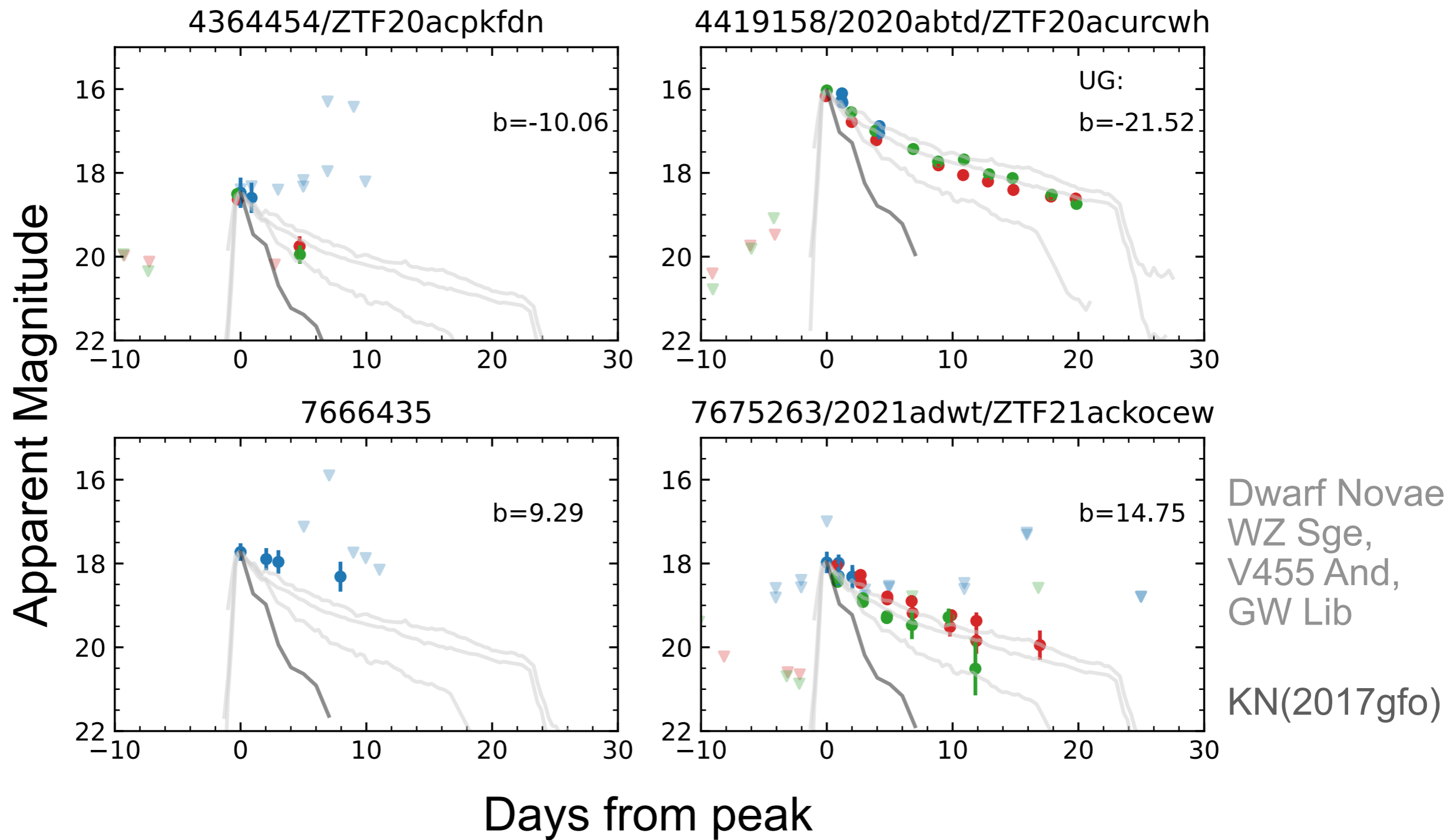
b. 銀河に付随した天体：10

超新星爆発との比較



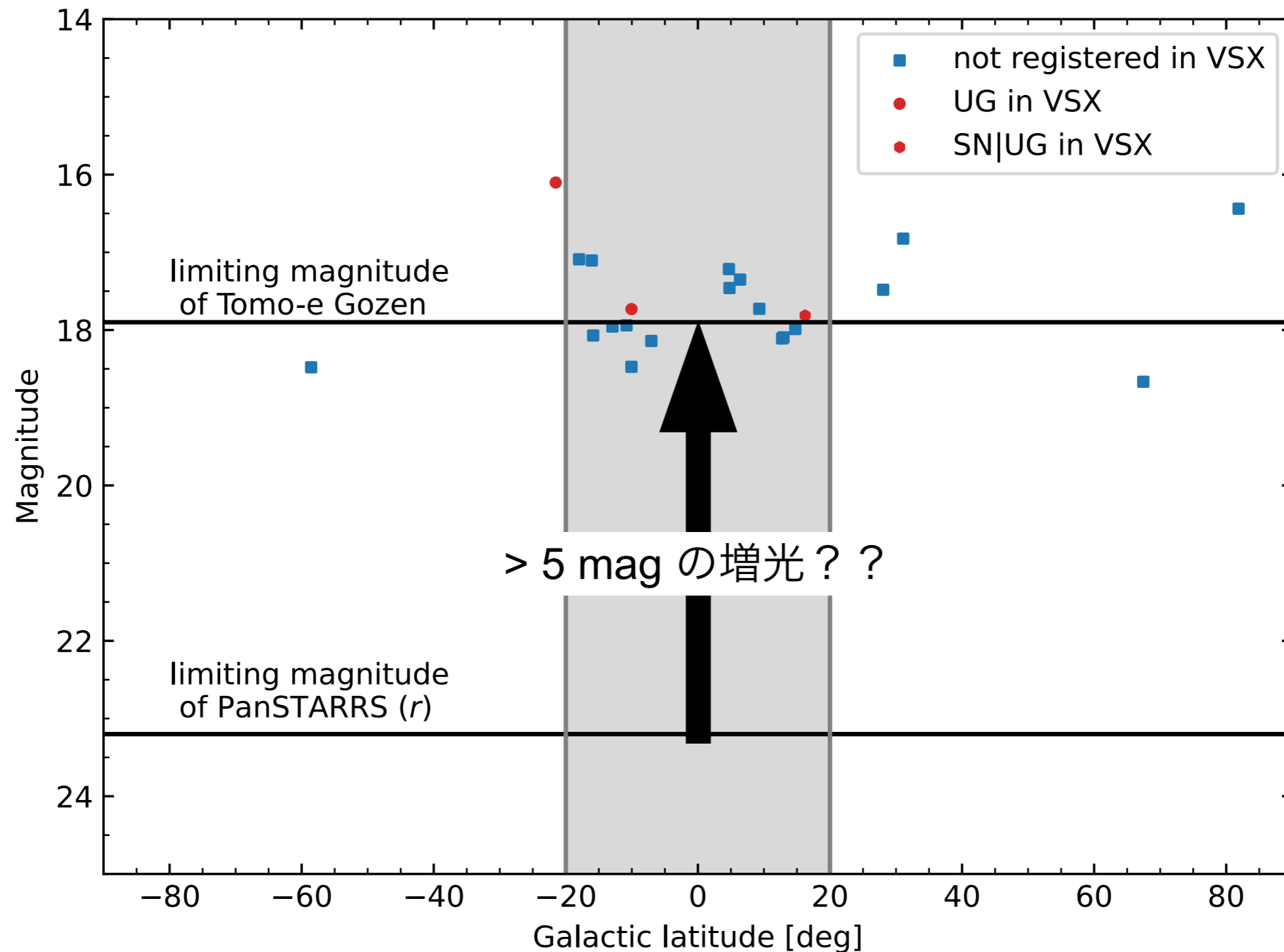
10天体全て超新星爆発の一部

c. 既知の天体に付随しない天体：22



増光幅の大きい矮新星アウトバースト

c. 既知の天体に付随しない天体：22



銀河面付近に集中→

静穏期が暗く、増光幅の大きい矮新星アウトバースト??

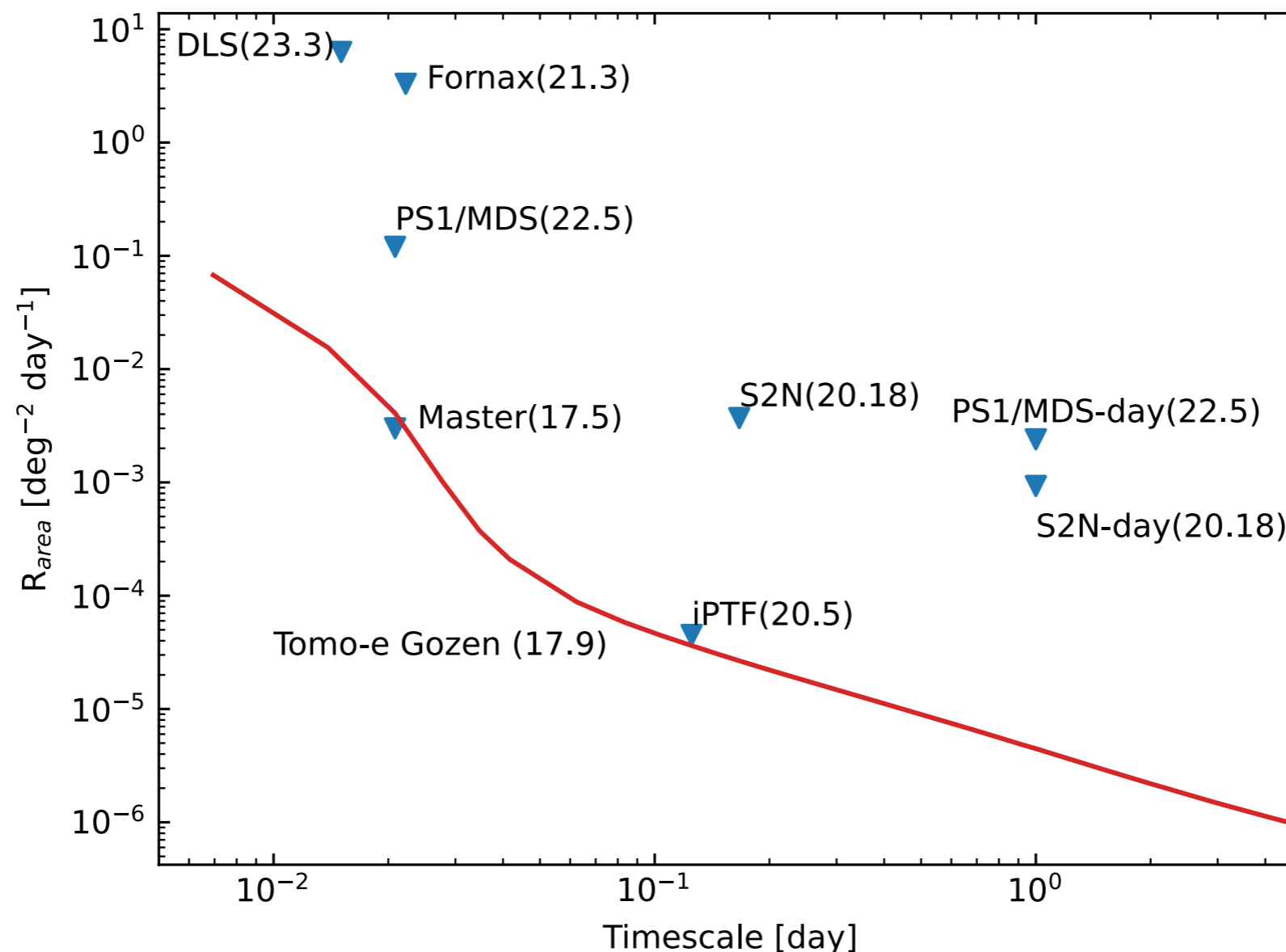
銀河系外FOT発生率のUpper limit

- R_{area} [$\text{deg}^{-2} \text{day}^{-1}$] : 天球面上でどれだけ検出できるか

$$R_{\text{area}} = \frac{N}{E_a} < \frac{3}{E_a} \quad (\text{非検出では } N < 3 : 95\% \text{信頼区間})$$

E_a [$\text{deg}^2 \text{day}$] : 観測した面積と時間

N : 検出したFOTの数



DLS(Becker et al.2004),
DWF(Andreoni et al.2020),
Fornax(Rau et al.2008),
PS1(Berger et al.2013),
Master(lipunov et al.2007),
iPTF(Ho et al.2018),
S2N(Roestel et al.2019),

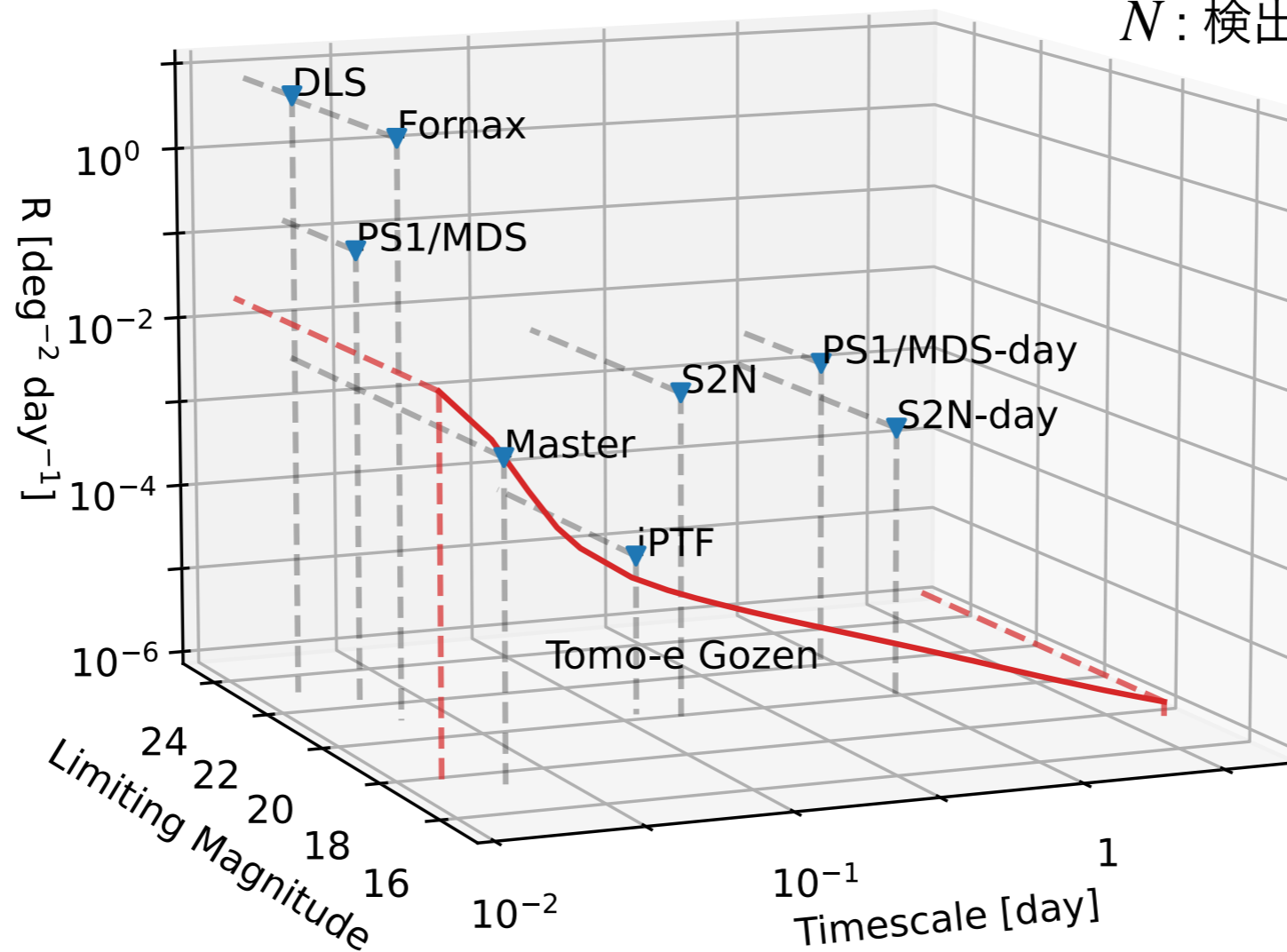
銀河系外FOT発生率のUpper limit

- R_{area} [$\text{deg}^{-2} \text{day}^{-1}$] : 天球面上でどれだけ検出できるか

$$R_{\text{area}} = \frac{N}{E_a} < \frac{3}{E_a} \quad (\text{非検出では } N < 3 : 95\% \text{信頼区間})$$

E_a [$\text{deg}^2 \text{day}$] : 観測した面積と時間

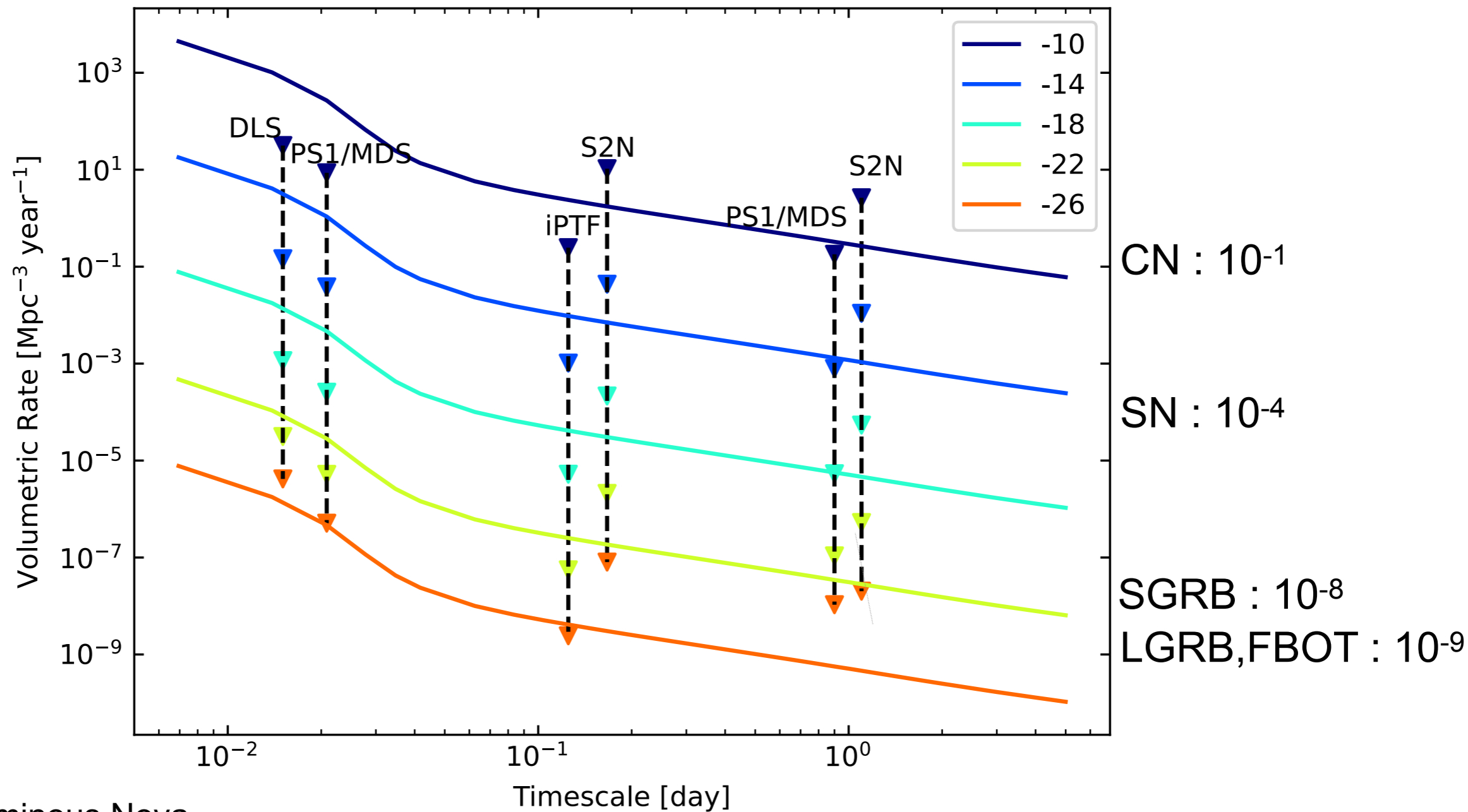
N : 検出したFOTの数



DLS(Becker et al.2004),
DWF(Andreoni et al.2020),
Fornax(Rau et al.2008),
PS1(Berger et al.2013),
Master(lipunov et al.2007),
IPTF(Ho et al.2018),
S2N(Roestel et al.2019),

突発天体の絶対等級を仮定して体積率へ

銀河系外FOT発生率のUpper limit



- 10 mag : luminous Nova
- 14 mag : KiloNova
- 18 mag : SuperNova
- 22 mag : SLSN, rapid transient
- 26 mag : LGRB afterglow

S2N(Roestel et al.2019) ,iPTF(Ho et al.2018),
PS1(Berger et al.2013), DLS(Becker et al.2004),

まとめ

- Tomo-e Gozenによる数日スケールでの突発天体探査
 - FOT候補を113天体選出
 - 多くは銀河系内の矮新星
 - 銀河系外FOTを検出との積極的証拠なし
- 銀河系外FOT発生率のUpper limit
 - タイムスケール毎のイベントレートを制限
 - 他のサーベイより強い制限
 - -22 mag のFOTに対し体積率を
 $1.8 \times 10^{-7} \text{ Mpc}^{-3} \text{ yr}^{-1}$ (4 hr)、 $3.1 \times 10^{-8} \text{ Mpc}^{-3} \text{ yr}^{-1}$ (1 d) に制限