

---

# Tomo-e Gozenによる前主系列星フレア探査の 現状と展望

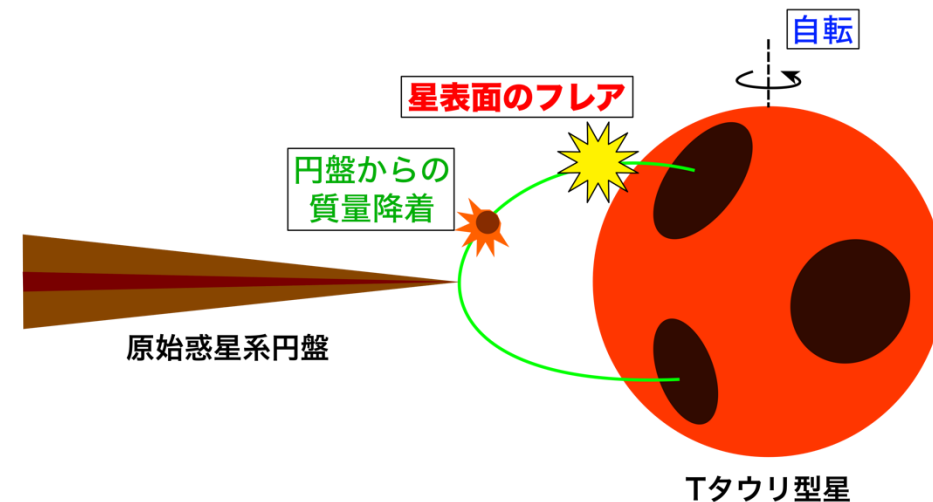
根津正大(東京大学)

小林尚人、新納悠(東京大学)

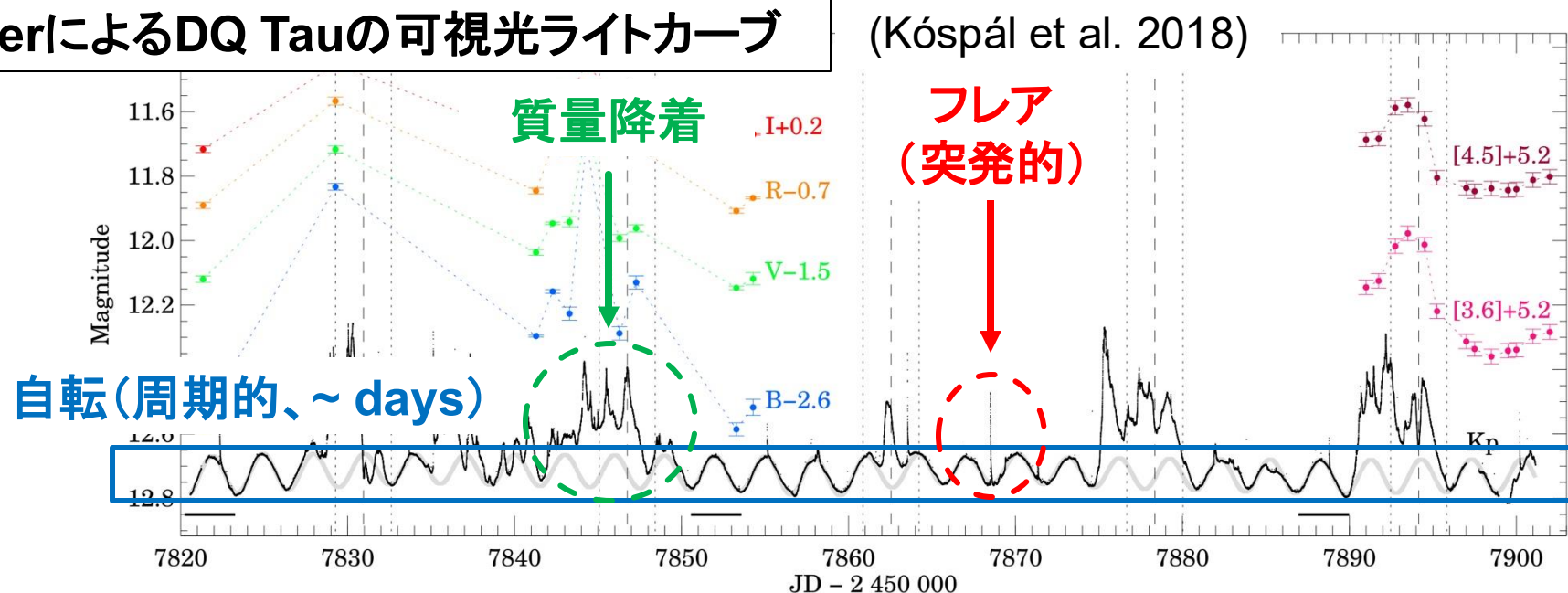
2025/05/27 木曽シュミットシンポジウム2025

## Tタウリ型星(TTS)・・・低質量の前主系列星

- 可視光で多様な変光
  - 星表面の黒点の自転による移動
  - 原始惑星系円盤から星表面への質量降着
  - フレア

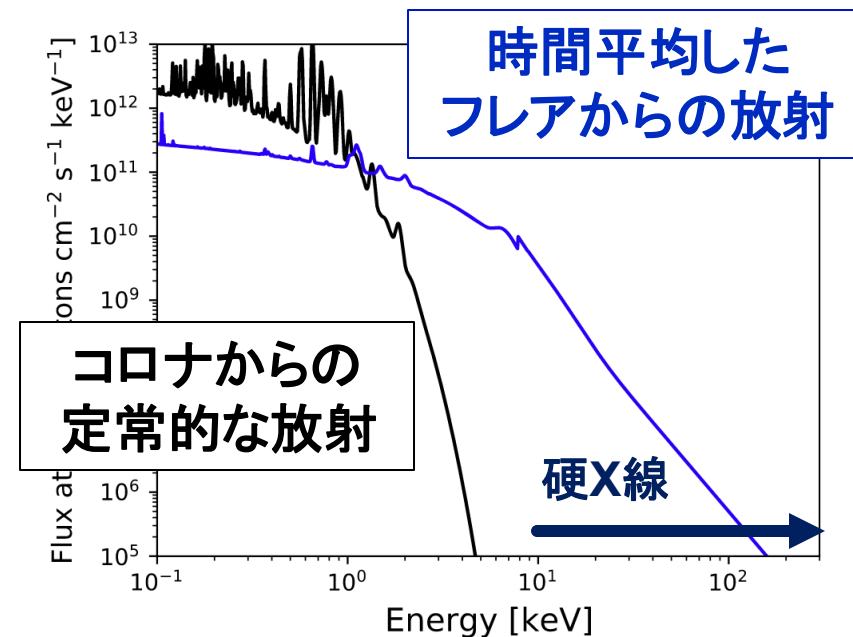
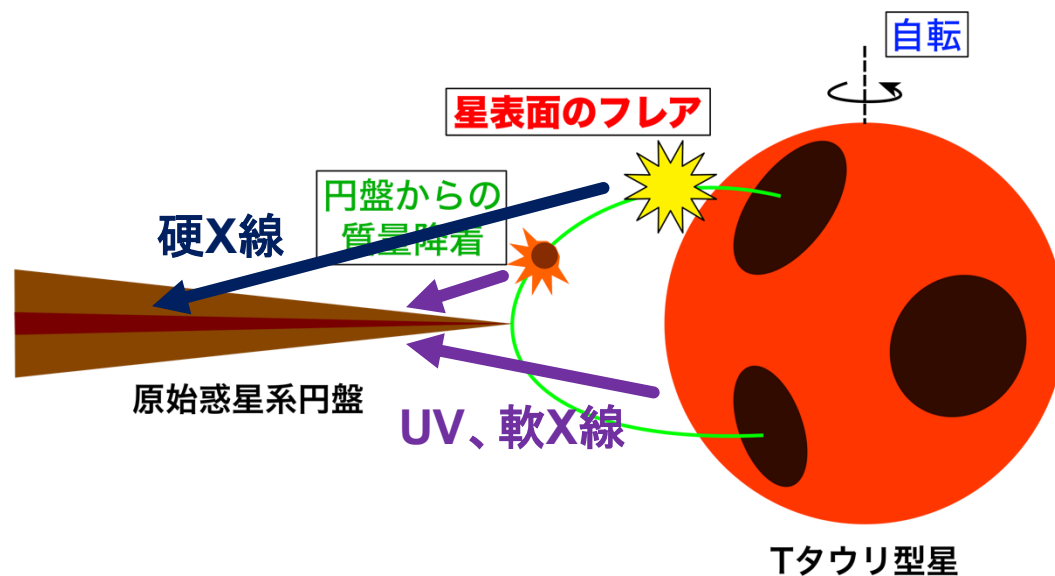


### KeplerによるDQ Tauの可視光ライトカーブ



## Tタウリ型星で起こるフレアの影響

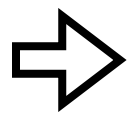
- Tタウリ型星・原始惑星系円盤系における  
**唯一の硬X線源**
  - ▶ 吸収されず円盤の中央まで到達
  - ▶ 円盤のイオン化を促進
  - ▶ **質量降着率・化学組成**へ影響



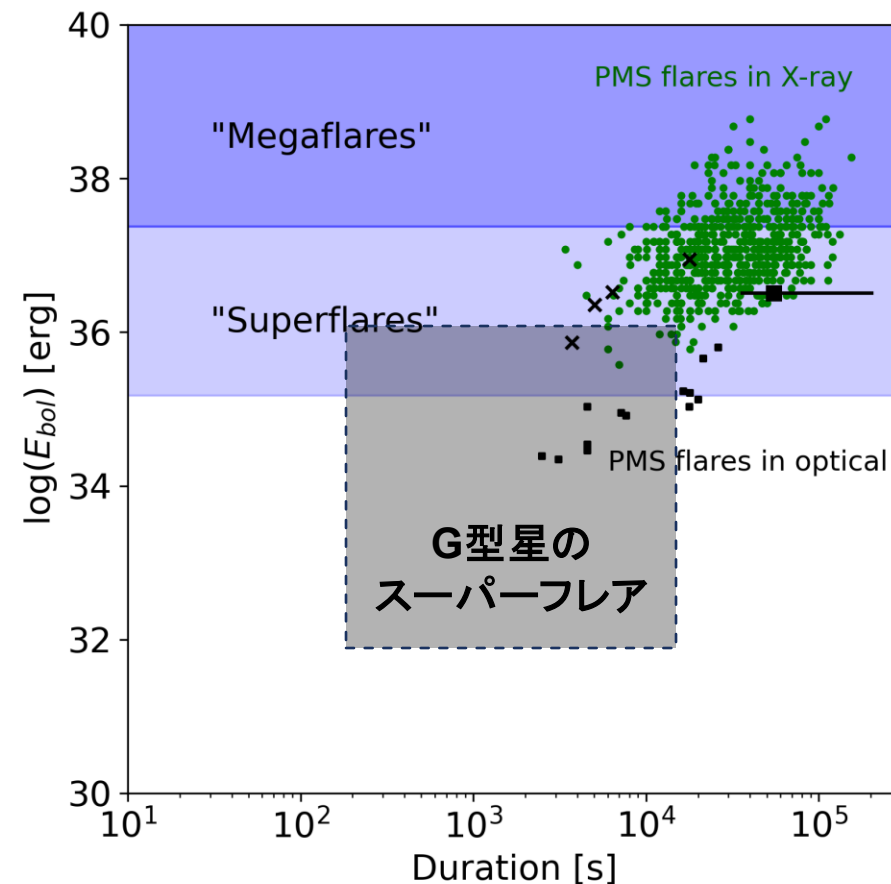
(Washinoue et al. 2024)

## これまでのTタウリ型星のフレア観測

- 主系列星のスーパーフレアよりも大規模な巨大フレア(メガフレア)が起きている
- 可視光ではより小さいエネルギーのフレアまで捉えられるが、観測例は少ない
  - ごく限られたTタウリ型星だけをターゲットにしているものが多い



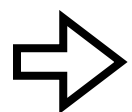
無バイアスにターゲットを選んだ  
可視光観測が必要



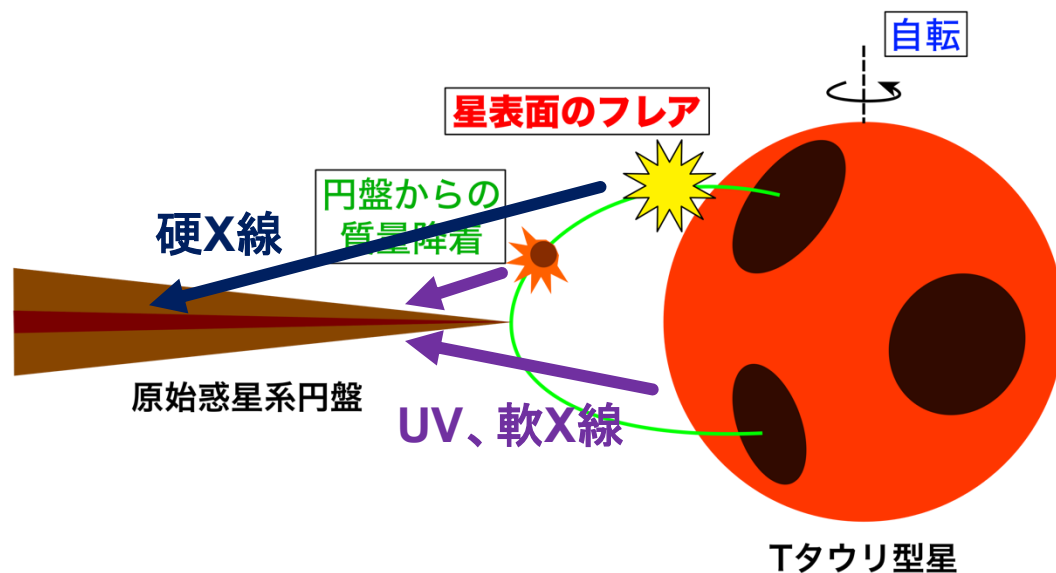
※  $E_{bol} = 15E_X$  (Flaccomio+18)を仮定

## 小エネルギーフレア観測の意義

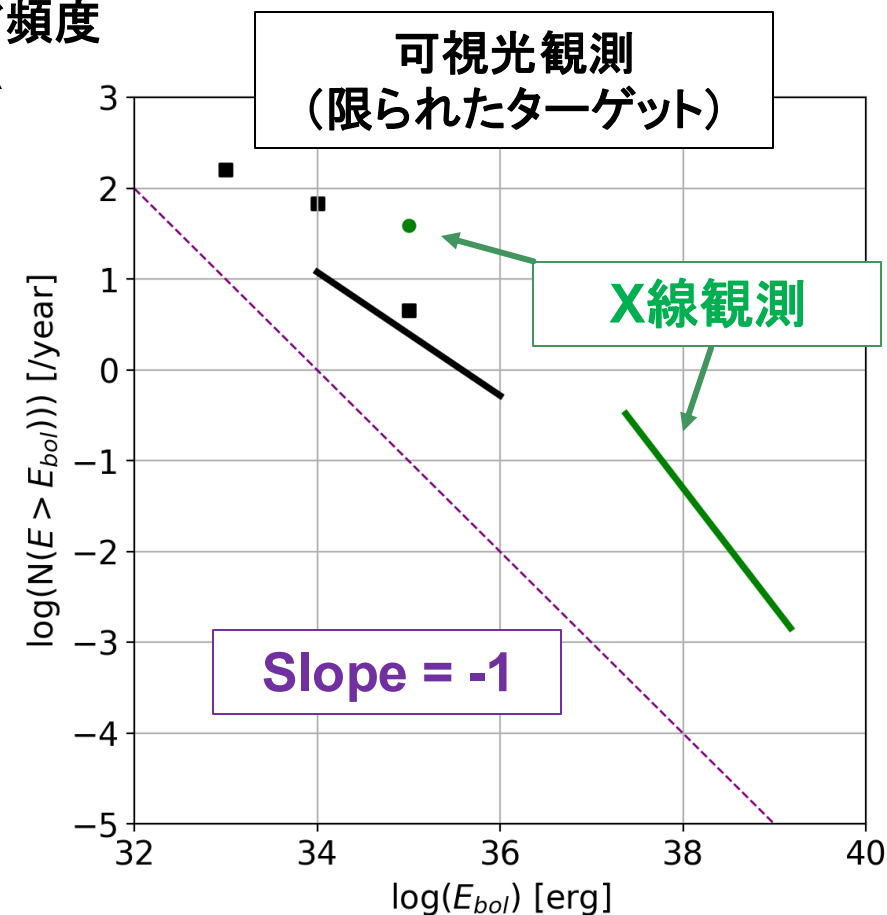
- 一発のエネルギーが小さなフレアであっても、頻度が高ければ円盤に無視できない影響を及ぼす可能性がある



可視光でしか観測できないフレアを  
多数検出、頻度を正確に評価する必要

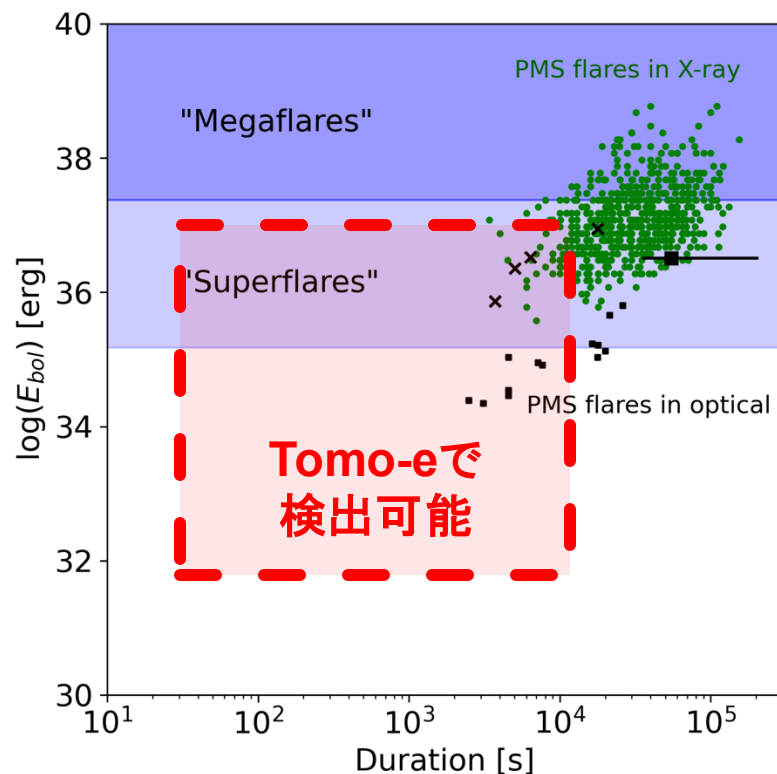


フレア頻度

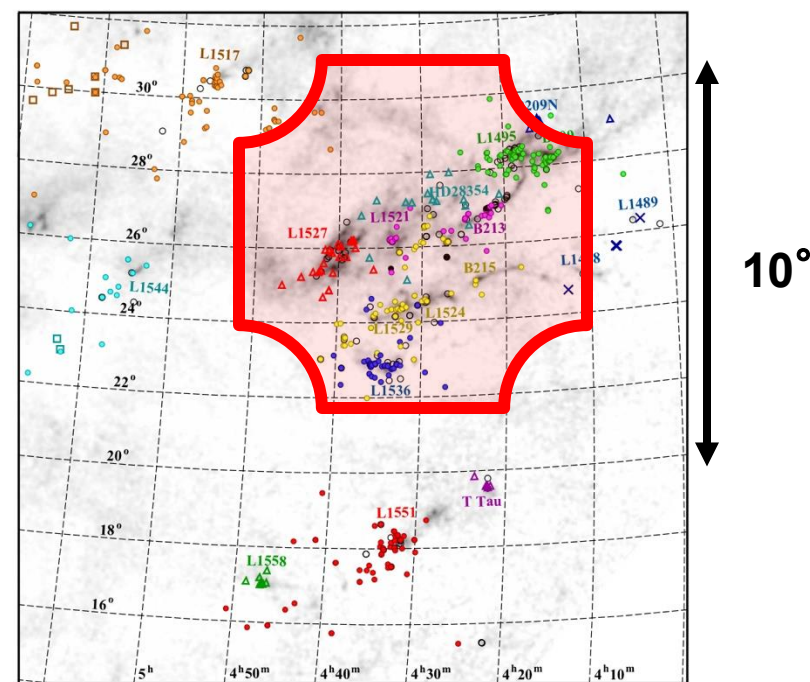


## フレア観測におけるTomo-e Gozenの優位性

- 高い時間分解能で同時に広い領域を観測できる



Tomo-eの視野



おうし座分子雲

- 広いパラメータ空間で多数のフレアを捉え、統計的な性質を調査できる

## おうし座分子雲（ $d \sim 140\text{pc}$ ）

- 最も有名な近傍の星形成領域の1つ
- 視野内に**数十～数百個ほどのTTS ( $V = 12 - 17\text{ mag}$ )**

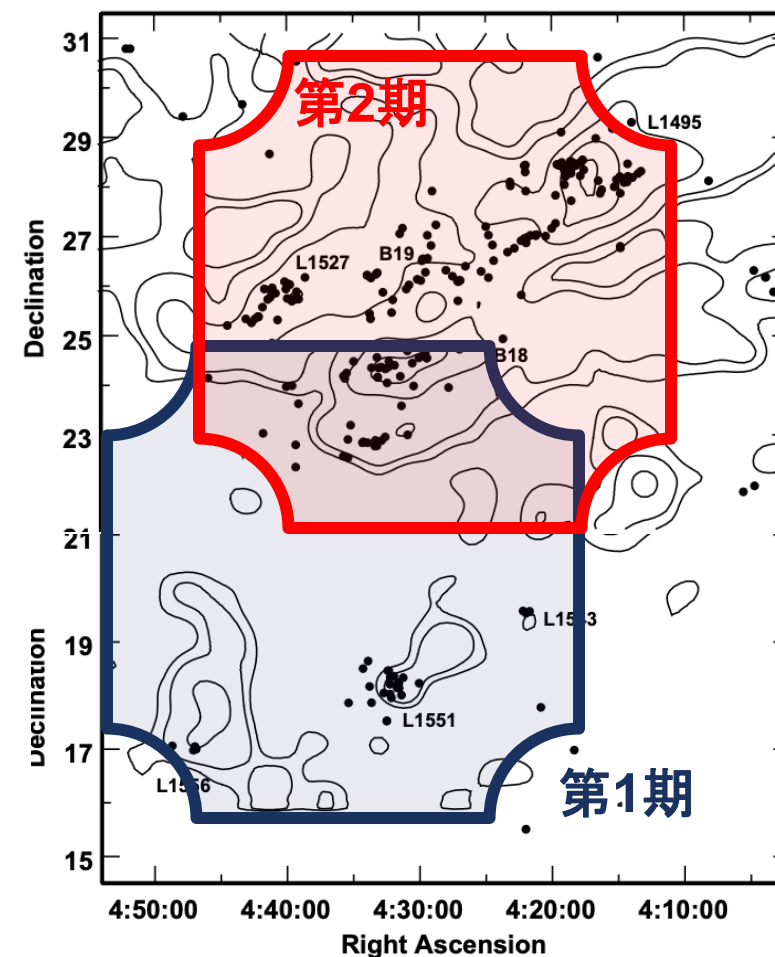
### 第1期観測

- 観測日：2023年11月～2024年1月
- 2hrs or 4hrs連続で7セッション、計15hrs
- 1.0 s間隔

### 第2期観測

- 観測日：2024年11月～2024年12月
- 4hrs連続で6セッション、計24hrs
- 1.0 s間隔

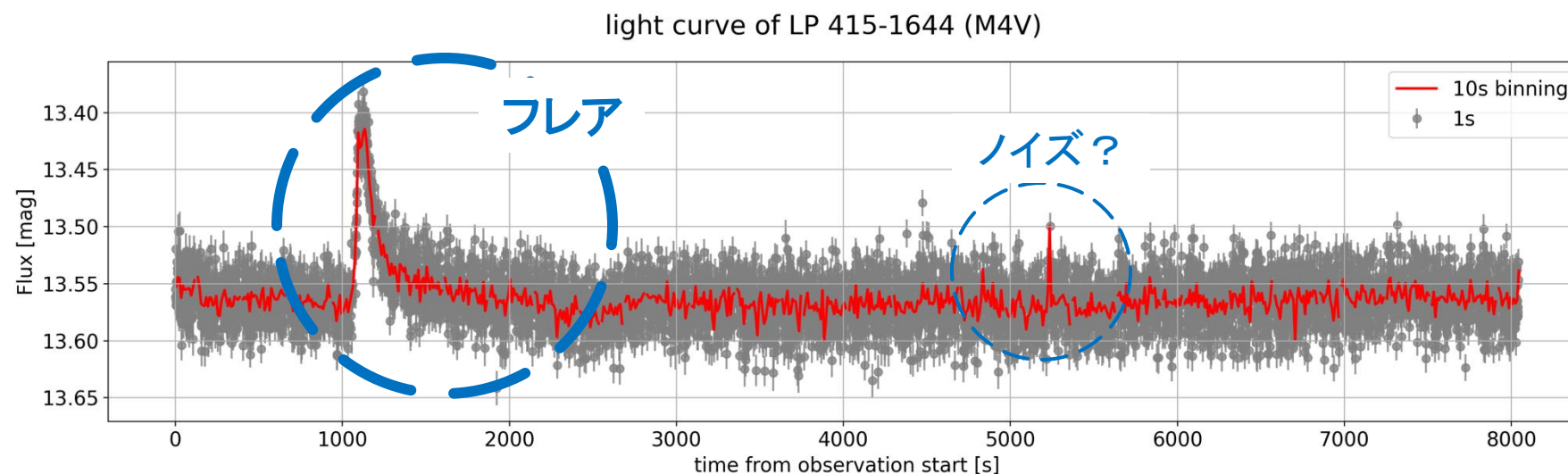
合計約100TB



Kenyon+08  
コントア: CO柱密度、ドット: TTS

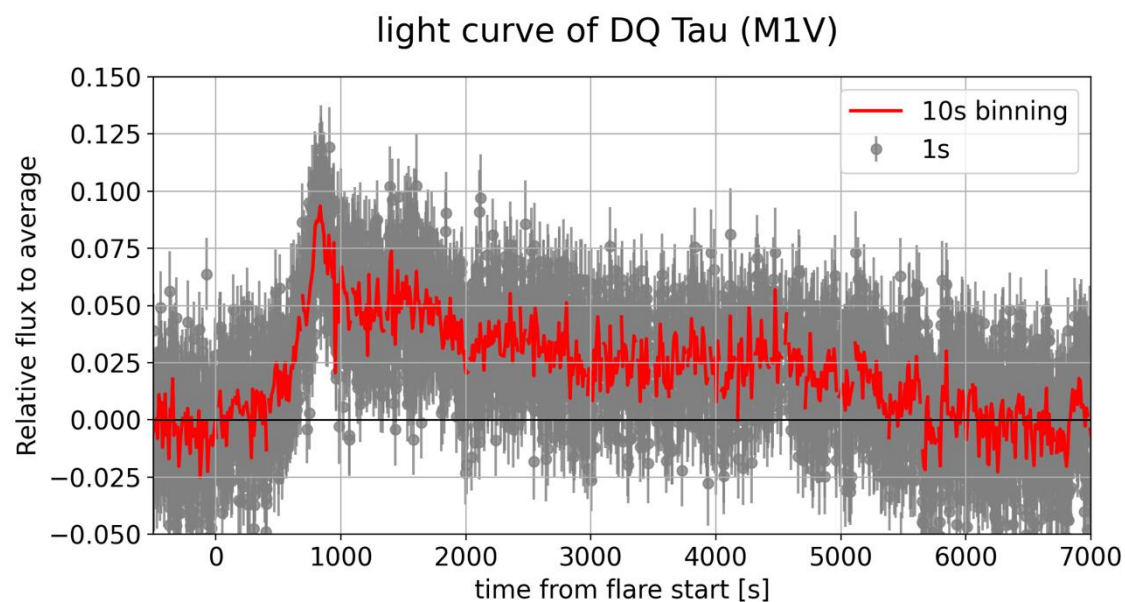
## フレア検出方法

- 測光し、光度曲線を作成
- 目視によるフレア(鋭い立ち上がり + 緩やかな減衰)の検出
  - 5%程度以上の増光であれば検出可能



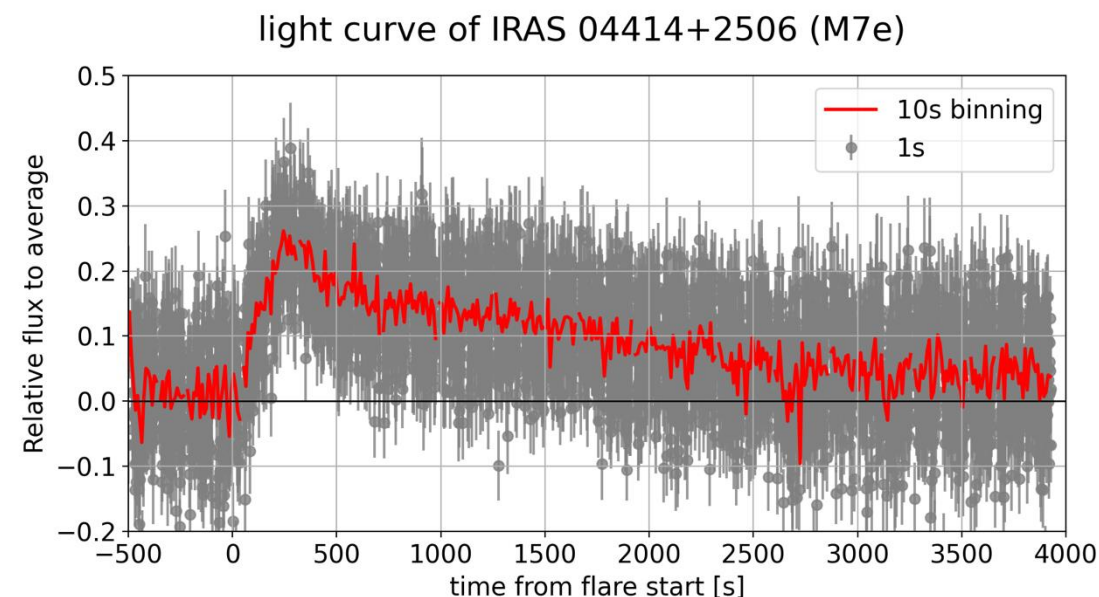
- 元データを参照し、本当に星の増光であるかどうかを確認

- 解析が終了した33個のTタウリ型星のライトカーブから2イベントを検出
  - フレア温度を $\sim 10000\text{K}$ と仮定し、エネルギーを概算



← 5000 s →

$$E_{\text{flare}} \sim 10^{34} \text{ erg}$$

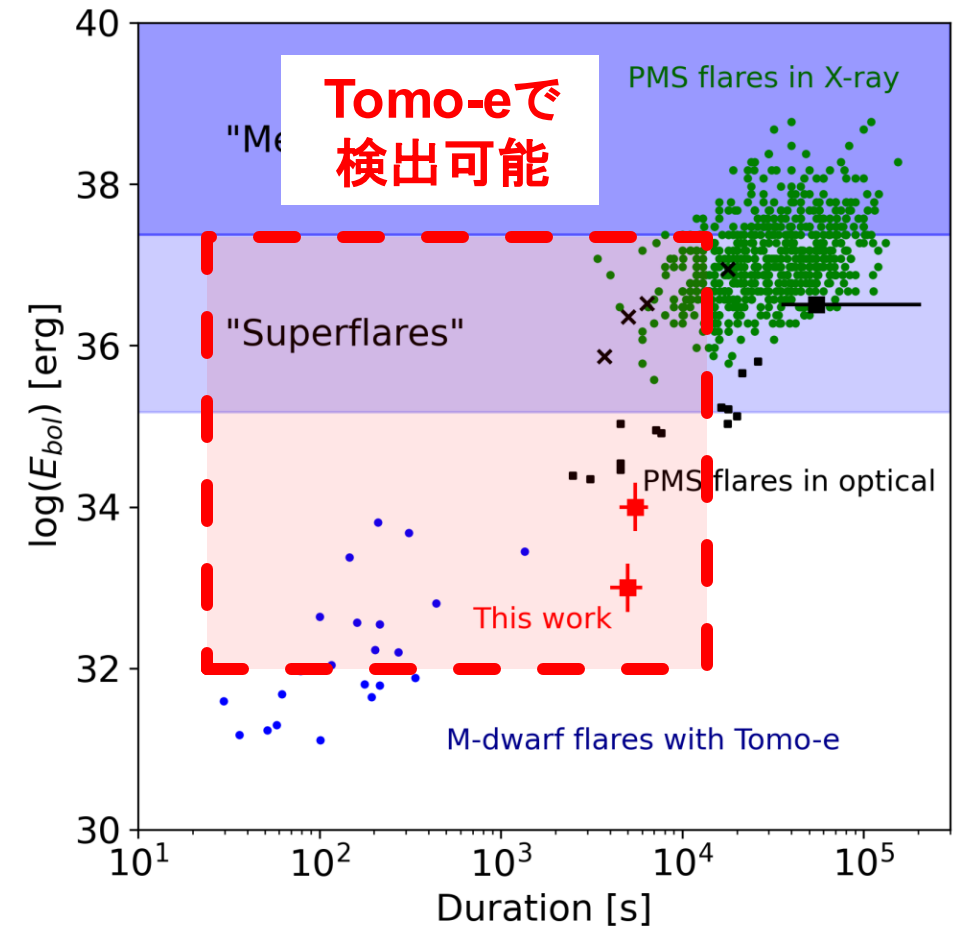


← 3000 s →

$$E_{\text{flare}} \sim 10^{33} \text{ erg}$$

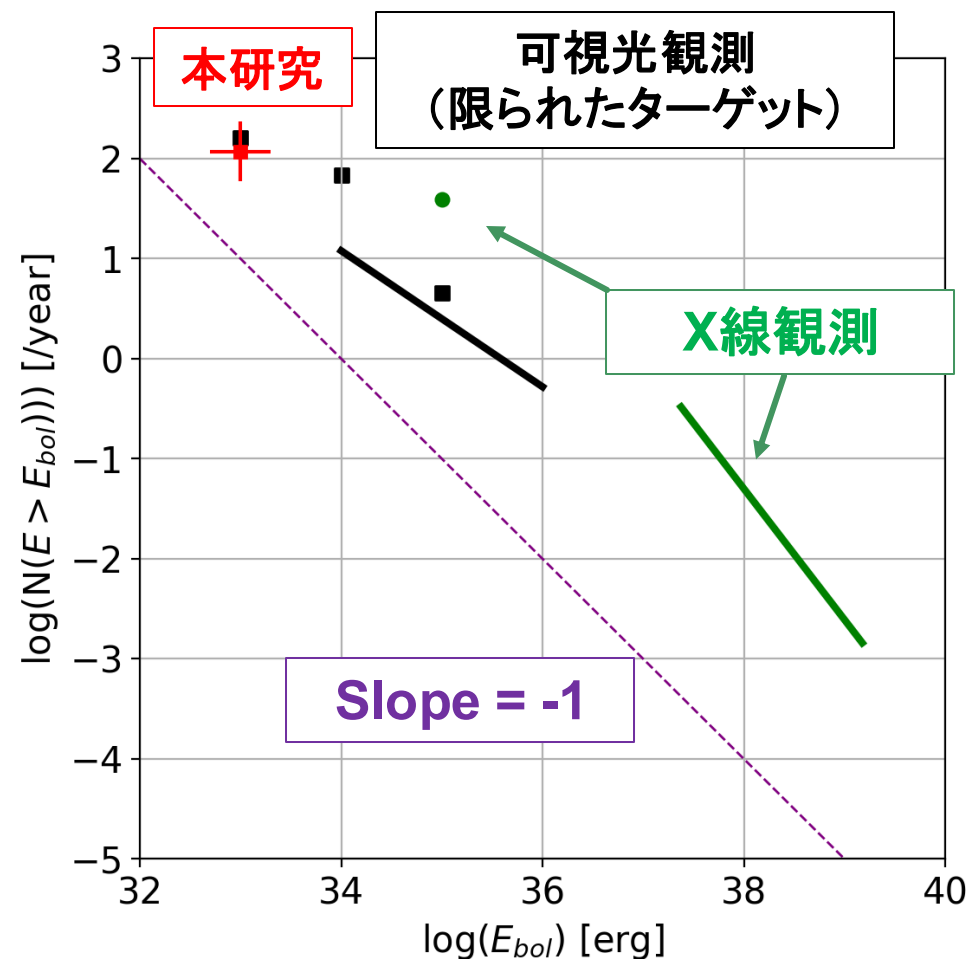
## エネルギー-時間プロット

- スーパーフレアやメガフレアには分類されない規模の「**普通の**」フレア
- Tomo-e Gozenにユニークな時間領域ではないが、X線観測では検出できない領域にある
- Tomo-e Gozenでは実際に持続時間 $10^{1-3}$  sのM型主系列星フレアも捉えられているため、この時間領域のフレアが起これば捉えられるはず

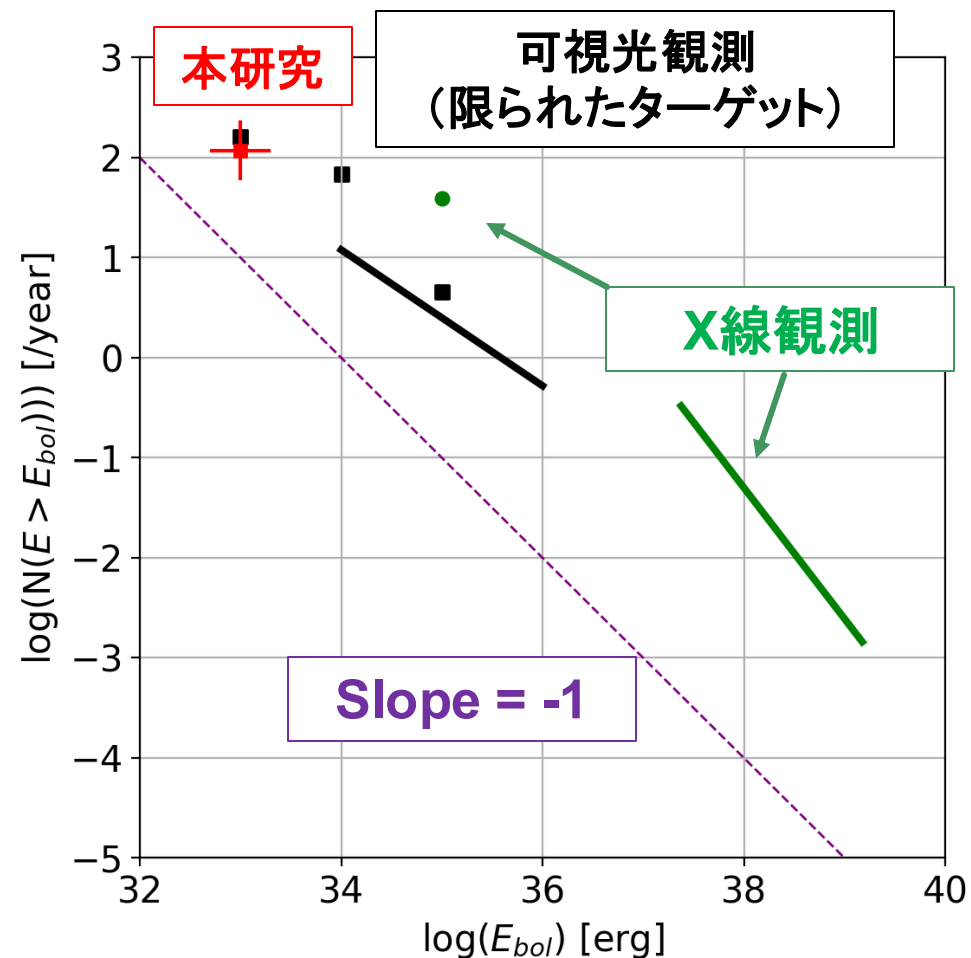
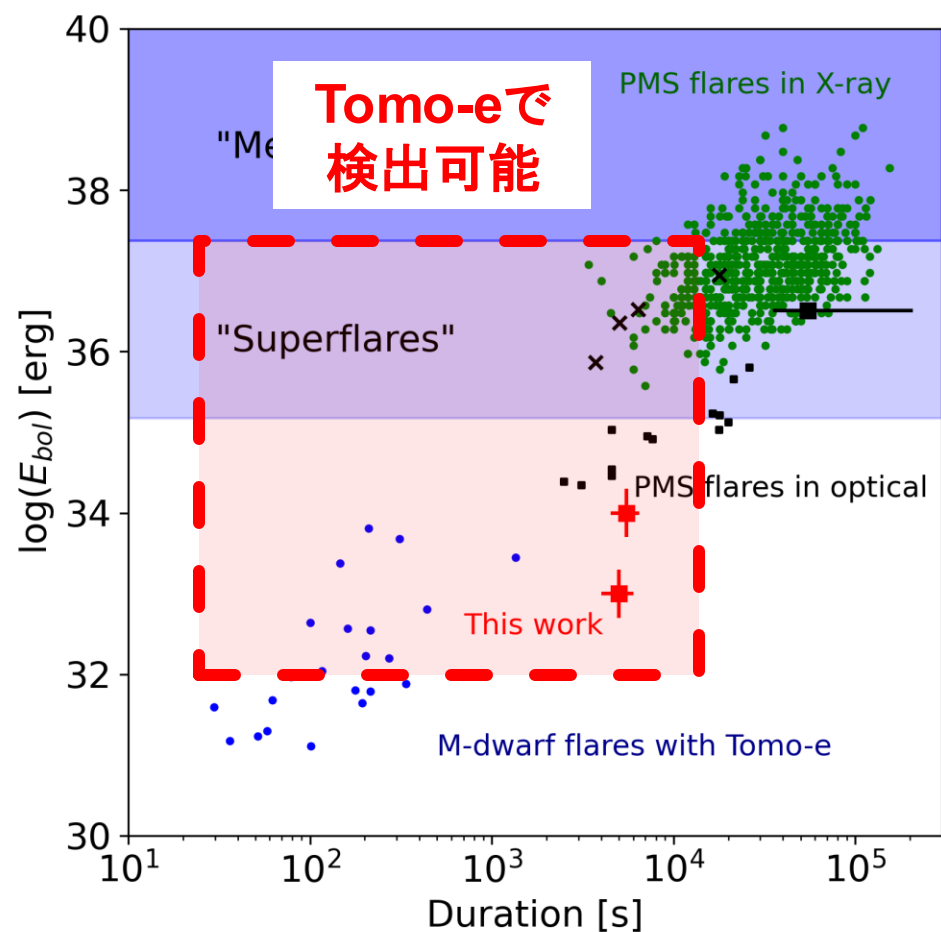


## エネルギー-頻度プロット

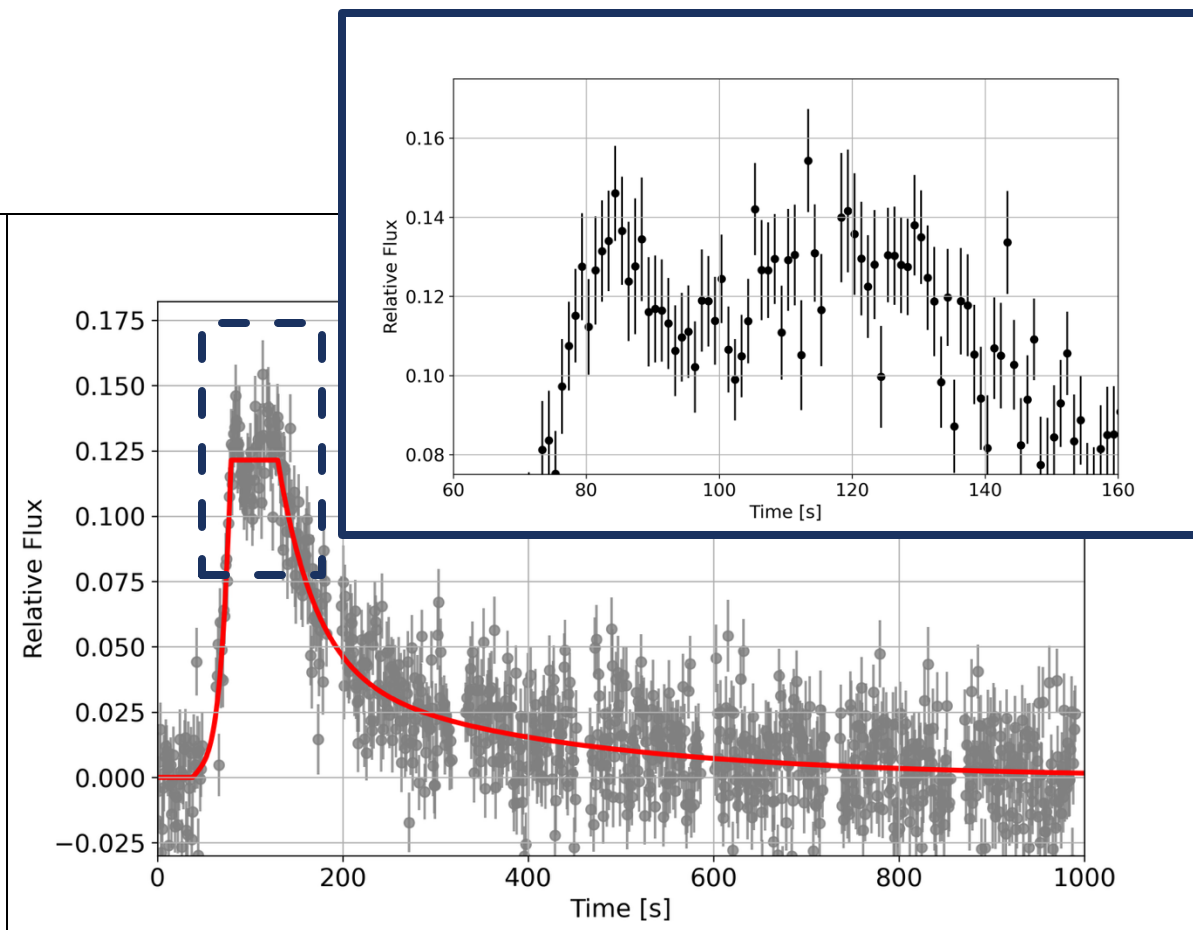
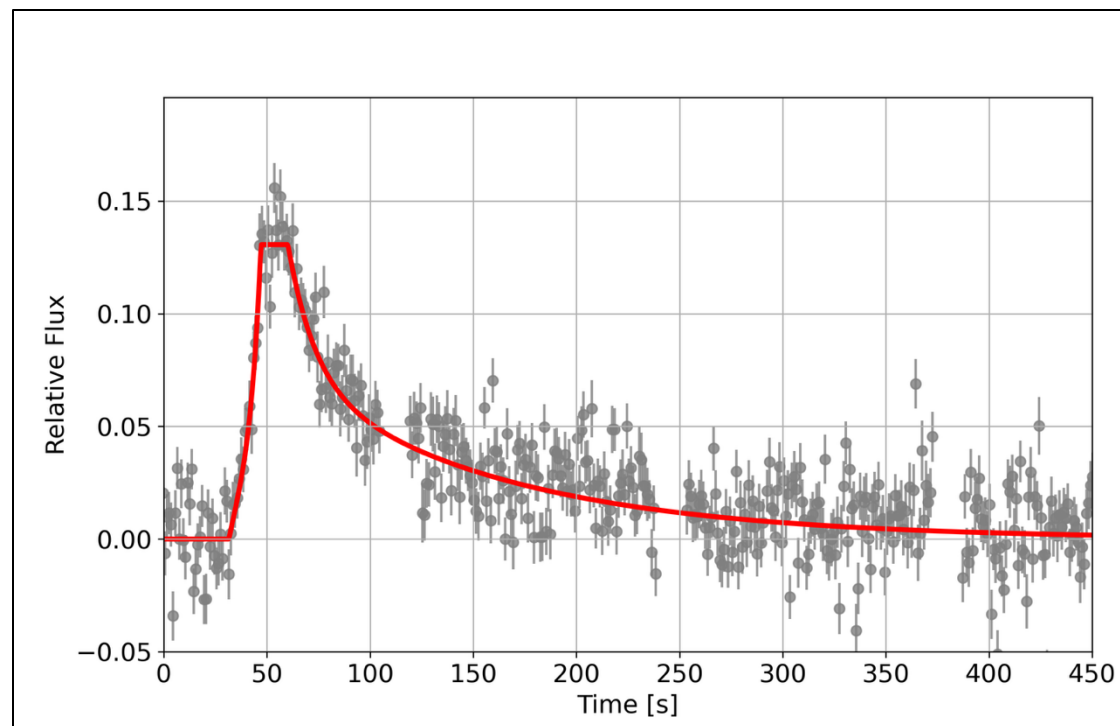
- 無バイアスに選ばれた33個のTタウリ型星を対象にしたフレア発生レートは、**数個のTタウリ型星のみを対象にしたフレア発生レートと矛盾しない値**が得られた
- 未だ2件のフレアしか検出できておらず、統計的な有意さは不十分



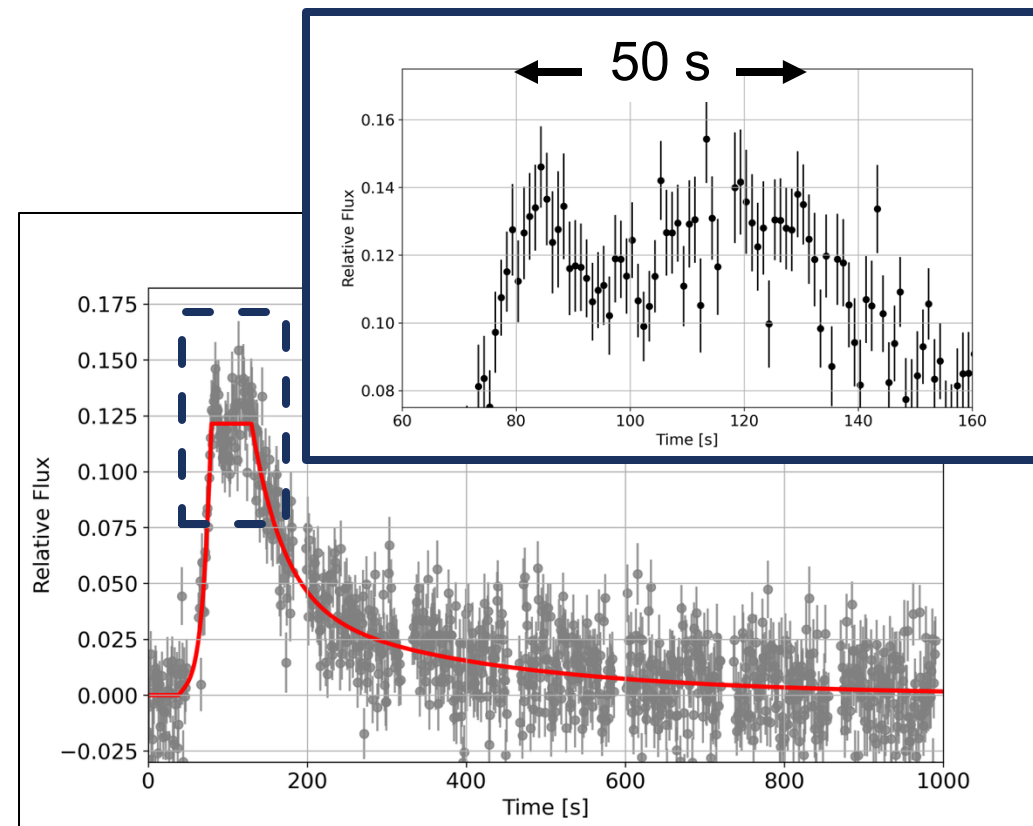
- 解析が終了しているデータは全体の15%ほど
  - 解析がすべて終了すれば、**検出数が6-7倍ほどまで増える**ことが期待できる



- その他、Tタウリ型星ではないM型主系列星のフレアも10件ほど検出



- フレアピーク中に数十秒で振動するような構造を捉えている
- **準周期的振動(quasi-periodic pulsations, QPPs)**を捉えている？
  - ▶ 太陽や恒星のフレアでも見られ、詳しいメカニズムは不明だが、フレア現象の理解につながることが期待されている
- **Tomo-e Gozenの高時間分解能(1s)がないと捉えられない**
  - ▶ TESS衛星の時間分解能は最速20s



- 東京大学木曾シュミット望遠鏡 Tomo-e Gozenの高速(1s)、広視野(20 deg<sup>2</sup>)という特徴を活かし、**Tタウリ型星が起こす小規模なフレアを統計的に調査している**
- おうし座分子雲の観測(第1期・第2期)が完了、全データの15%ほどの解析が終了
  - ▶ 現在までにTタウリ型星のフレアを2つ検出した
  - ▶ **無バイアスに選ばれた33個から求めたフレア発生レートは、少数のTタウリ型星対象とした先行研究と矛盾しない値であった**
  - ▶ さらなる観測・解析を進め、検出数を増やしていく
- 秒スケール観測を活かした光度曲線中の細かい構造にも注目することで、フレア現象の理解につながる手がかりが得られる可能性がある