Tomo-e Gozenによる
T Tauri型星の短時間変動の検出

木曽観測所50周年

東京大学大学院　理学系研究科天文学専攻　修士1年

根津正大

2024/05/15　木曽シュミットシンポジウム2024

1. イントロダクション

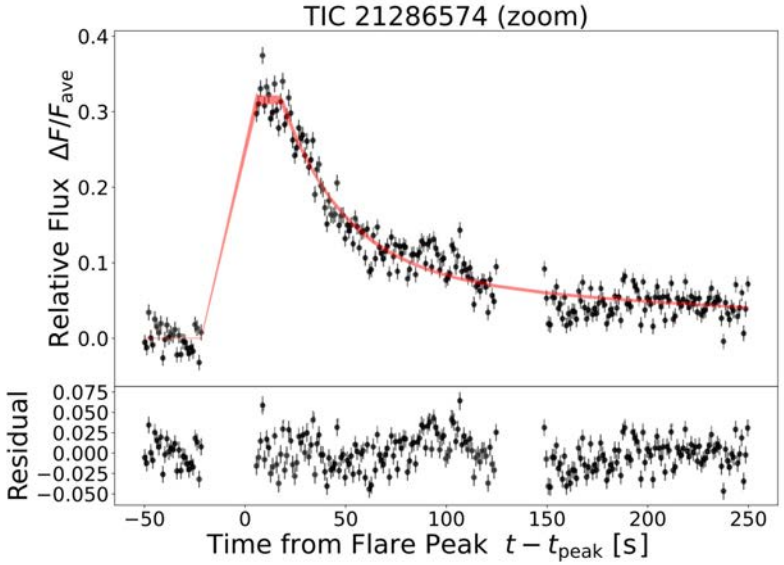
- 動機： Tomo-e GozenによるM型星の短時間フレア検出
- T Tauri型星（TTS）の時間変動の種類
- T Tauri型星（TTS）の時間変動に関する先行研究

動機： Tomo-e GozenによるM型星の短時間フレア検出

- トモエゴゼンカメラ（Sako et al. 2018）

  ・・・広視野（~ 20 deg^2）、高速（最大 2 fps）

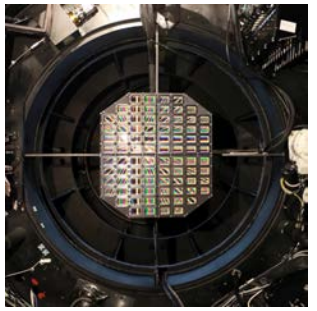
- M型星の短時間フレア（Aizawa et al. 2022）

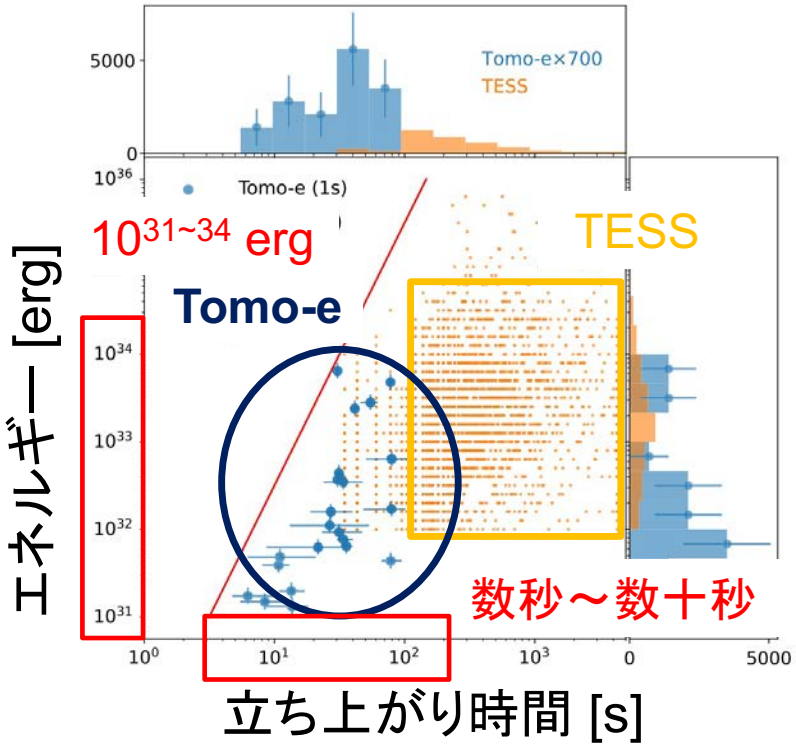


→ **T Tauri型星でも見つけたい**

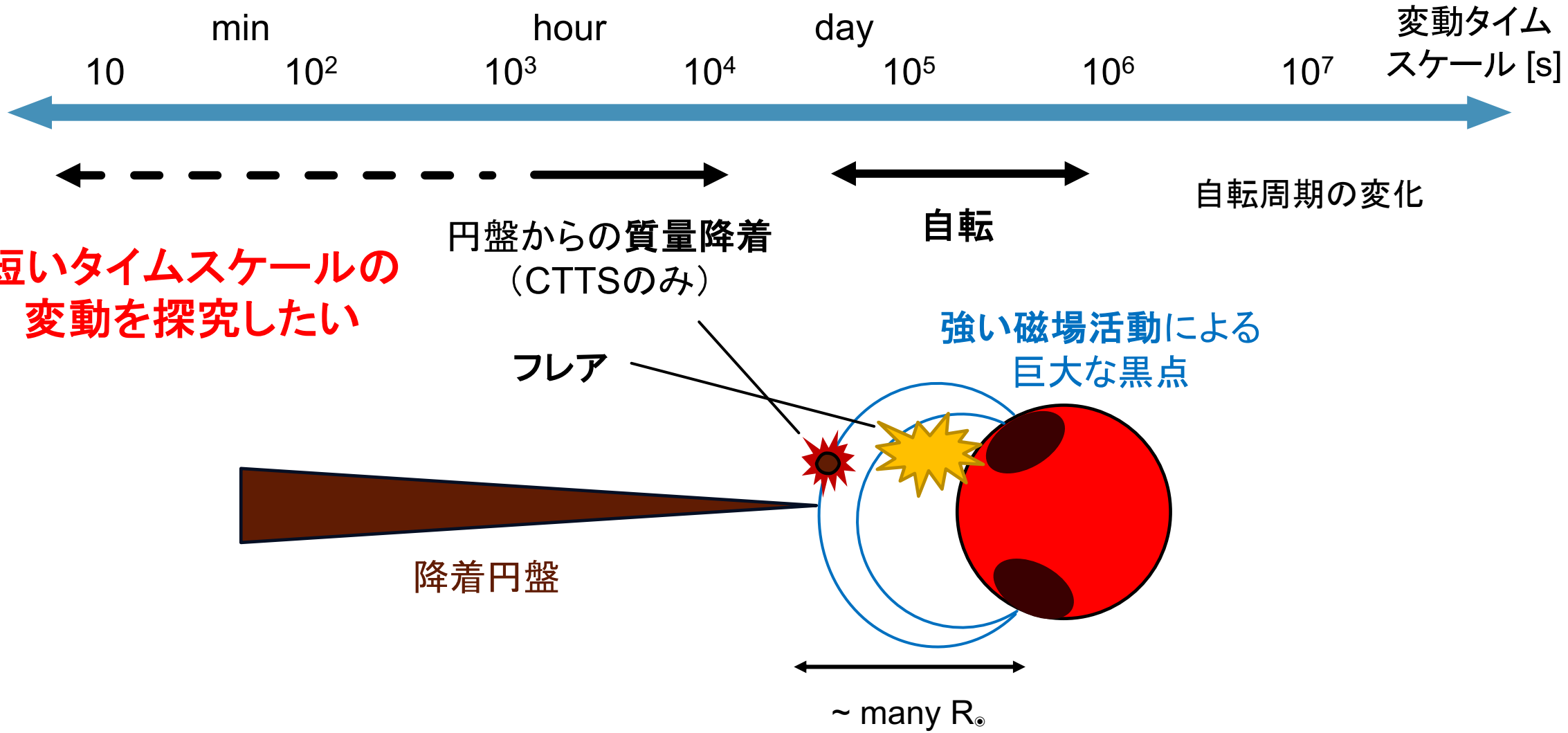
木曽シュミット望遠鏡

トモエゴゼンカメラ





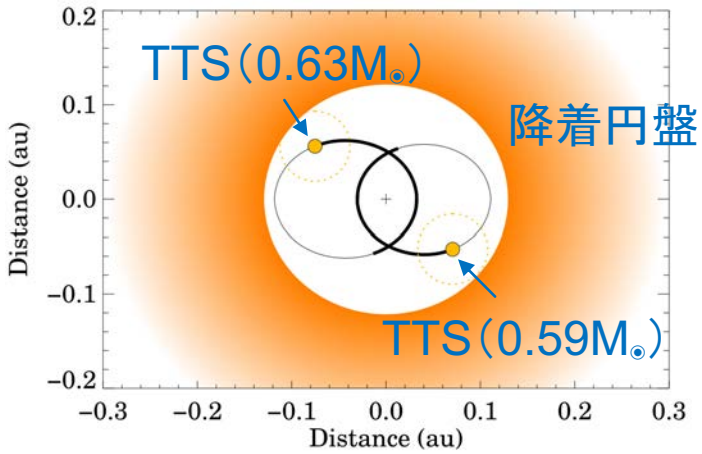
T Tauri型星（TTS）の時間変動の種類

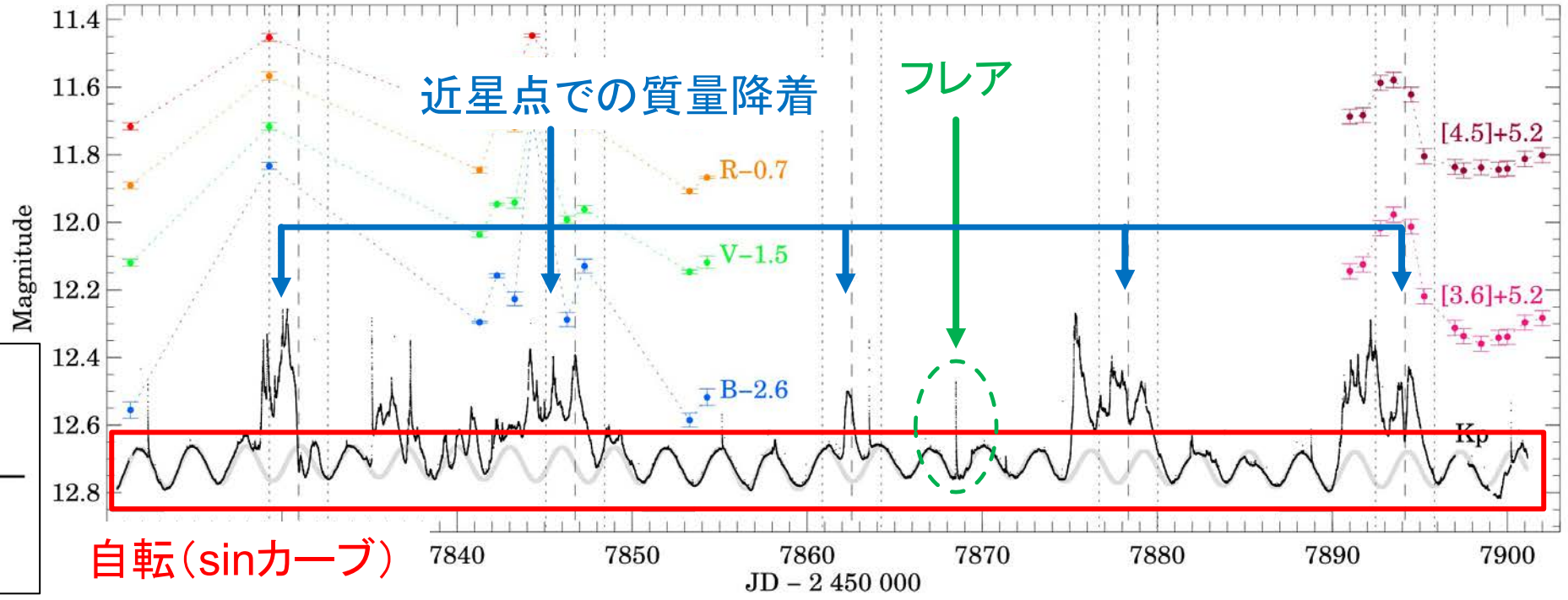


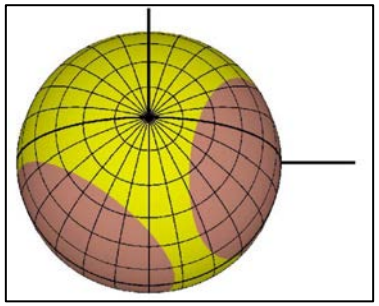
TTSの時間変動に関する先行研究

DQ Tau（Kóspál et al. 2018）

- TTS 2つからなる連星
- Kepler K2（1min ケーデンス）







自転（sinカーブ）

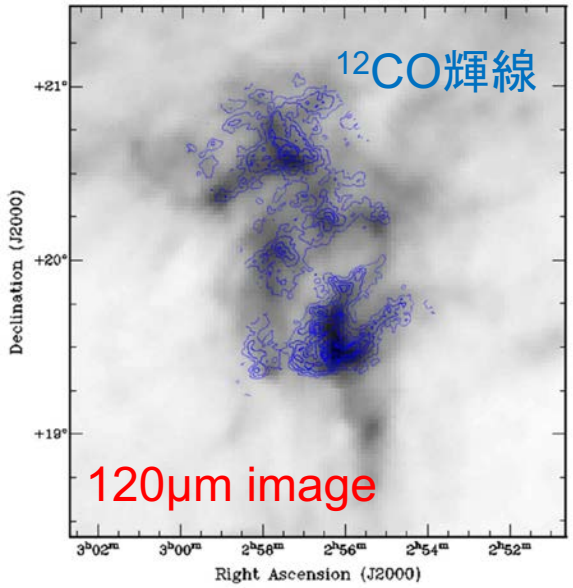
2. 観測

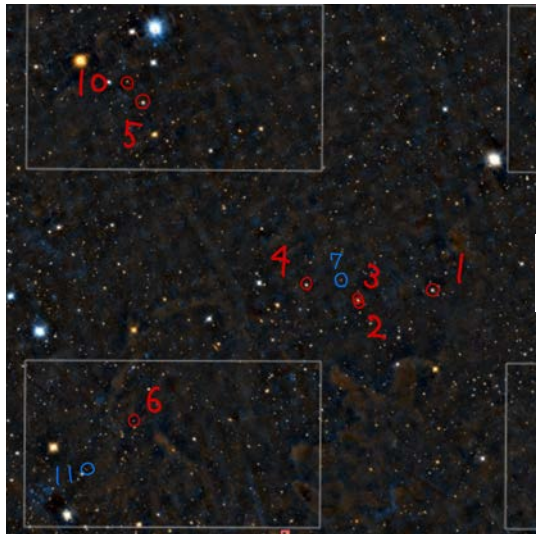
- 観測天体・観測時間

観測天体・観測時間

MBM12 Association

- 距離　275 - 500 pc　:太陽近傍の代表的星形成領域の1つ
- 高銀緯分子雲としても有名
- ターゲットは**7個のTTS**
- 観測日：　2023年11月11～15日
- **0.5sケーデンス（2 fps）**、連続2h×3回の計6時間
- 活発なM型星のフレアレート 0.7 / star*days を仮定すると、比較的大きな**フレアイベントの期待値は~1.2程度**
- 悪天候込みで、総観測時間は **36 star*hours**
- シーイング：　~ 4 arcsec 程度





3. 解析手法

- フォトメトリ・ライトカーブ導出
- ライトカーブの例
- 増光イベントの検出

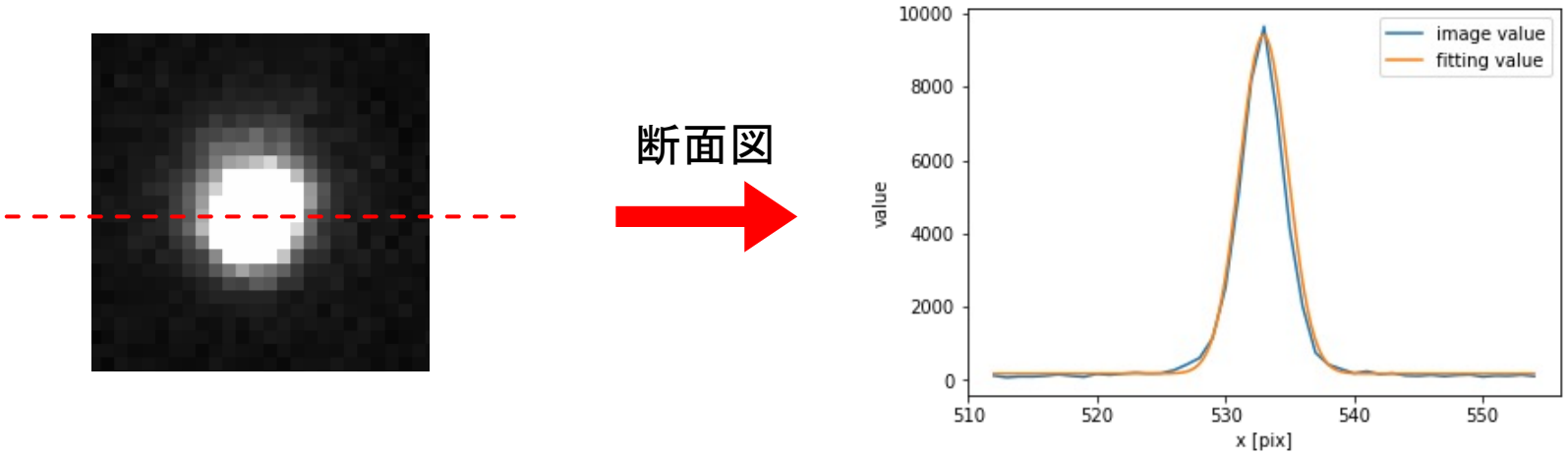
フォトメトリ・ライトカーブ導出

- フォトメトリ手法として、**2D Gaussian フィッティング**を採用

  → 大量のフレームに対するフォトメトリに、手間がかからない

- ターゲットおよび同視野にある参照星について、星像を2D Gaussianフィッティングし、その積分値を測光値とする

フィッティング例

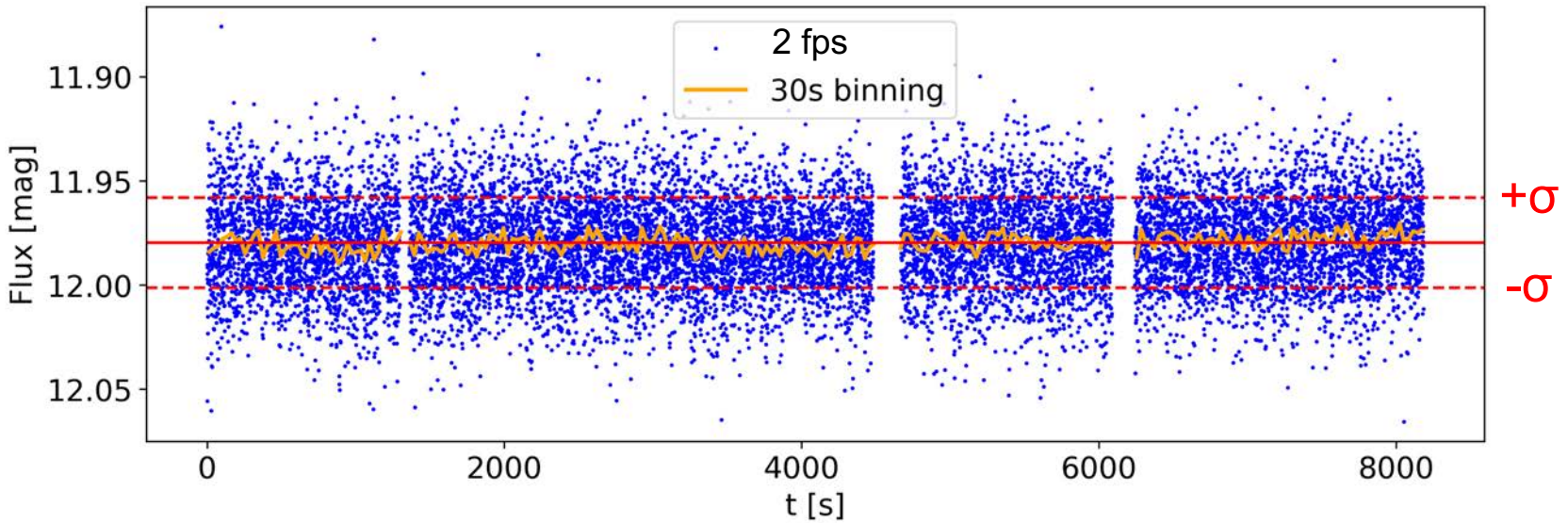


ライトカーブの例

他の参照星の測光値と
そのGaia等級からmagに換算

0.03magほどのばらつき
（S/N ~ 30）

参照星のライトカーブ

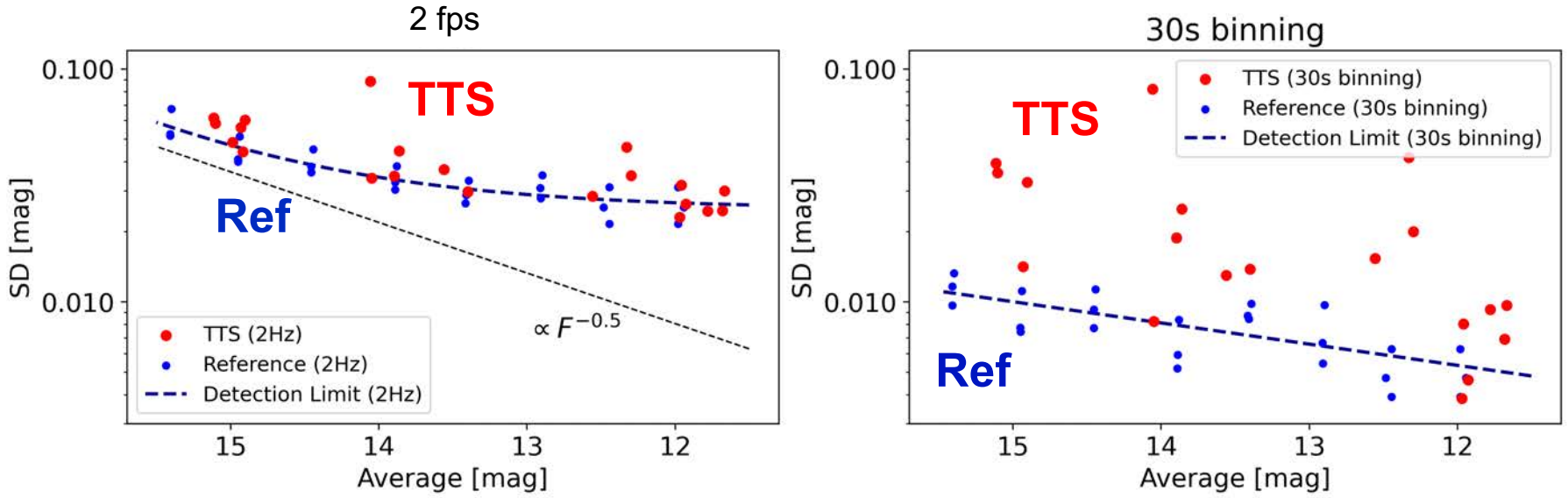


- フォトンノイズなどによる測光値のばらつき

  → 定量的に評価し、**微小な変動に対する検出限界**を調べる

この観測における検出限界

- 測光値の平均値とばらつき（標準偏差）の関係



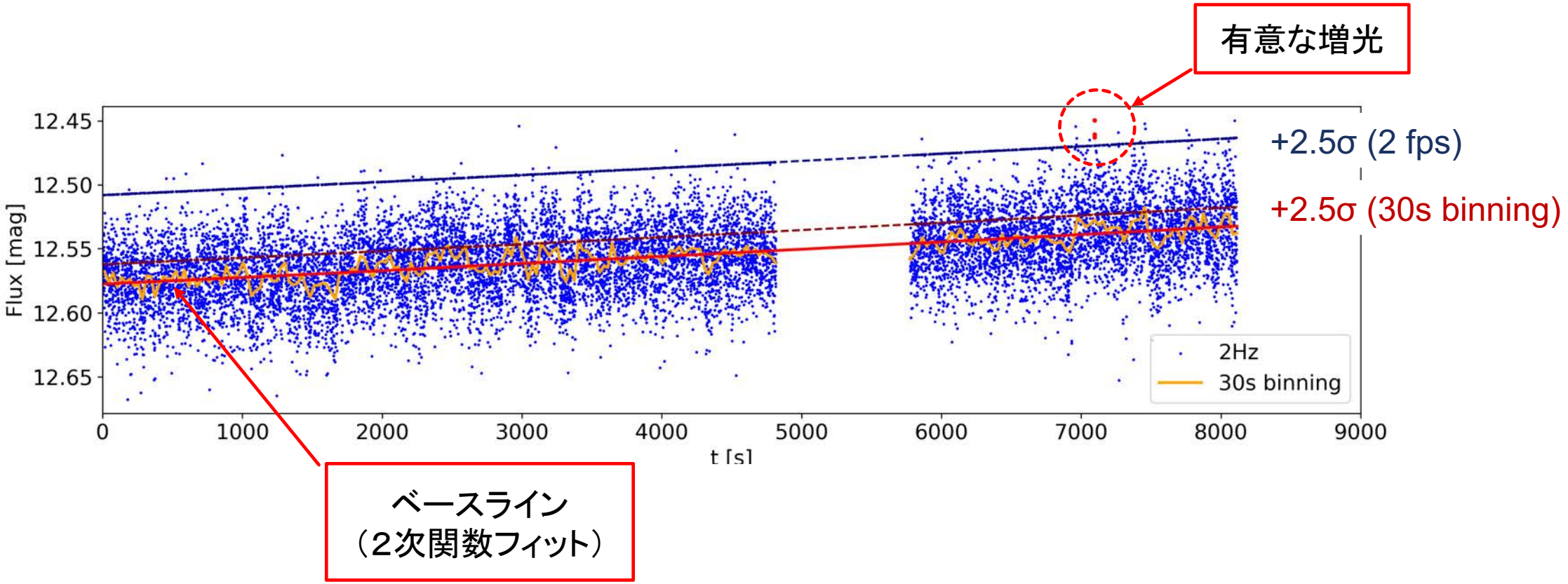
- 同程度の明るさの参照星よりも、**TTSの変動が大きい**
- **同じ明るさの参照星の測光値のばらつきを、その等級における検出限界(σ)**

  と見なし、これより大きい有意な増光を検出する

この観測における検出限界

- 有意な増光イベントの検出方法

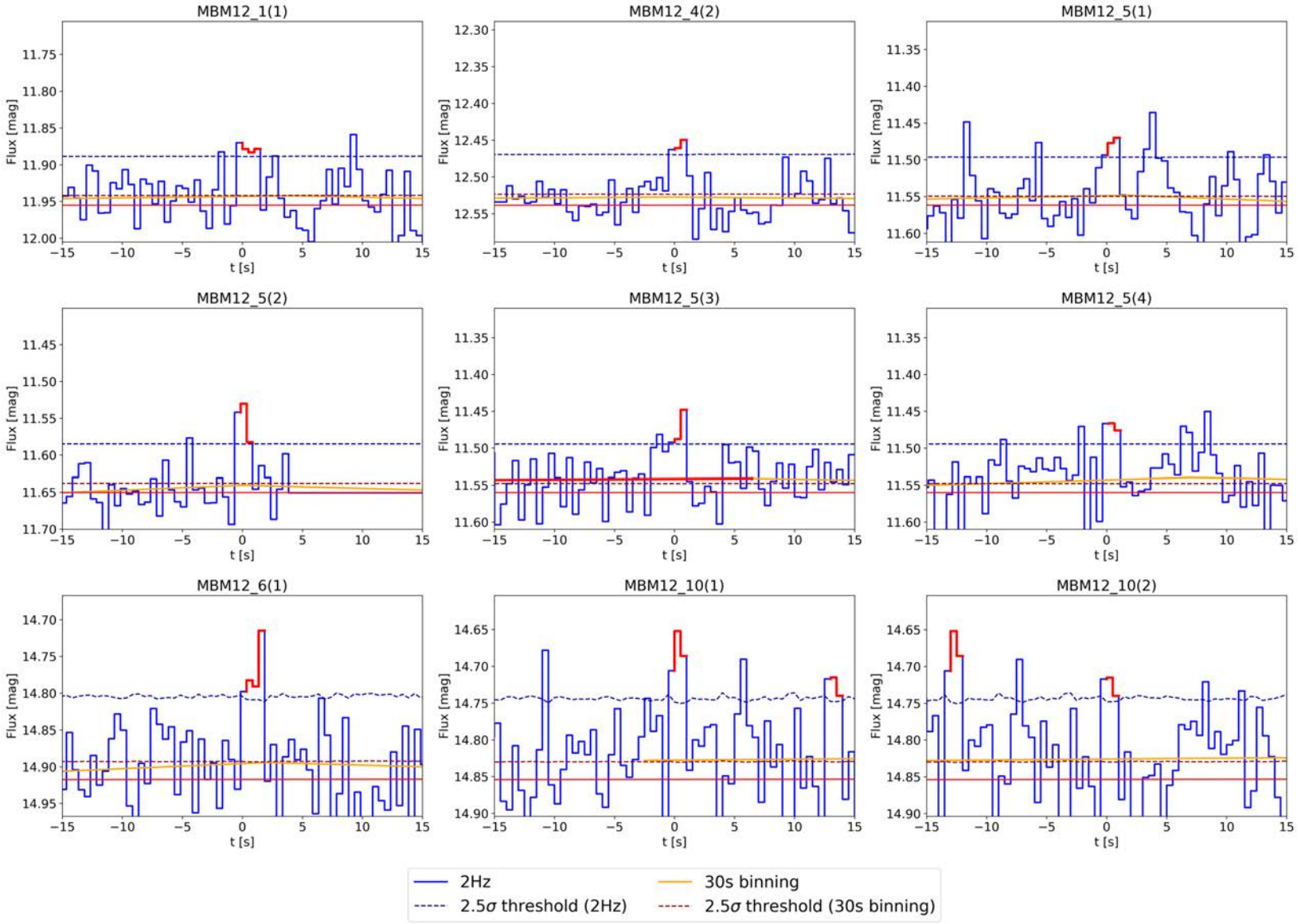
  ベースラインを**2次関数でフィット**し、**(残差) > 2.5σ** を満たす点が**3連続以上**



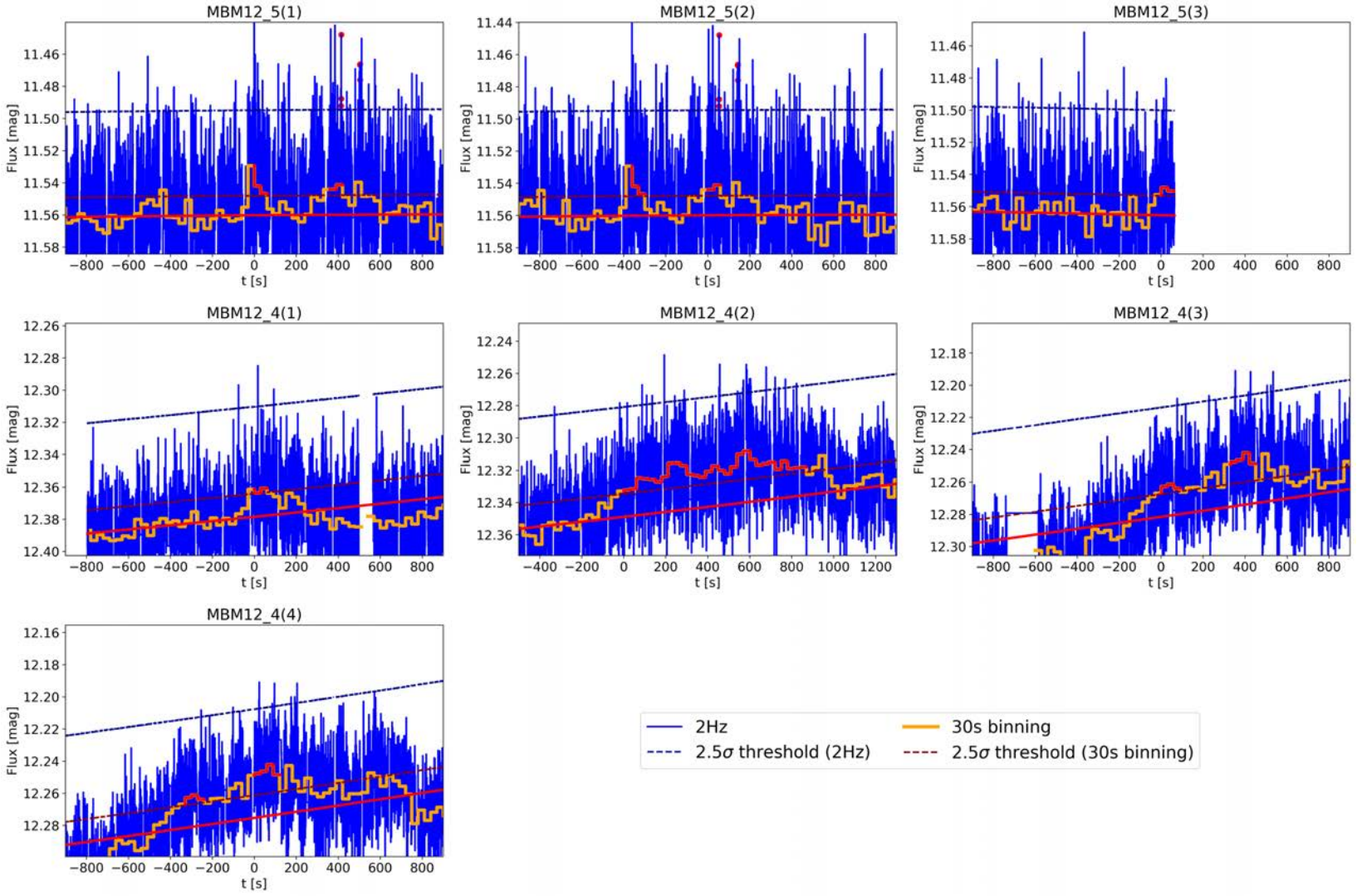
4. 結果

- 検出された増光イベント
- TTS・参照星の増光イベントレート比較

検出された増光イベント(2 fps: 9イベント)

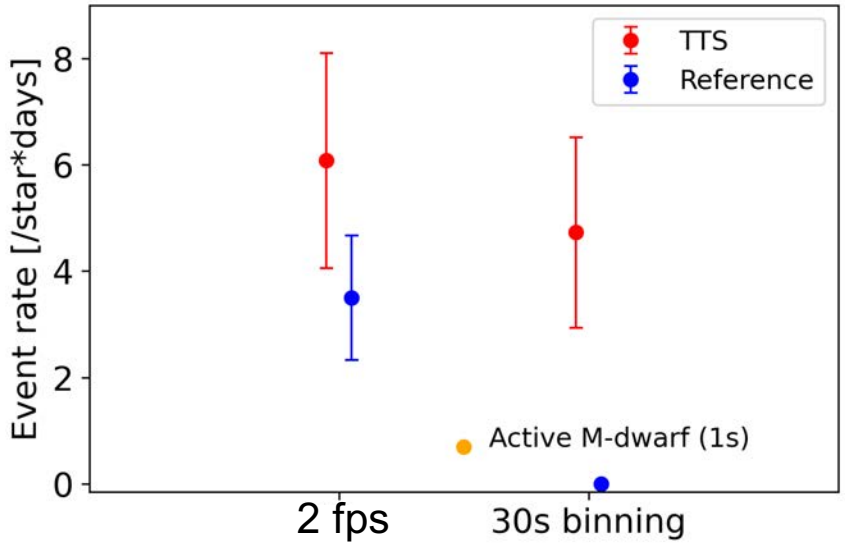


検出された増光イベント（30s binning：7イベント）



TTS・参照星での増光イベントレート比較

	2 fps	30s binning
TTS	**6.1 / star*days**	**4.7 / star*days**
参照星	**3.5 / star*days**	**0 / star*days**



※総観測時間

TTS： 36 star*hours　　参照星： 62 star*hours

→ TTSの増光イベントのうち少なくともいくつかは、**リアルな増光**である可能性

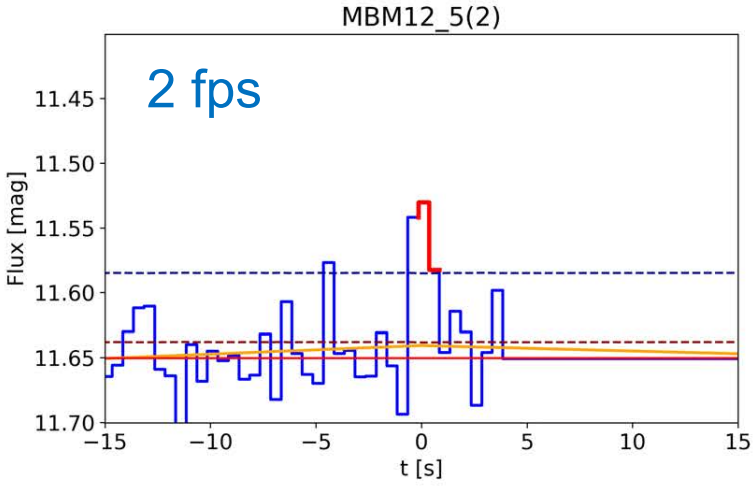
5. 考察・今後の展望

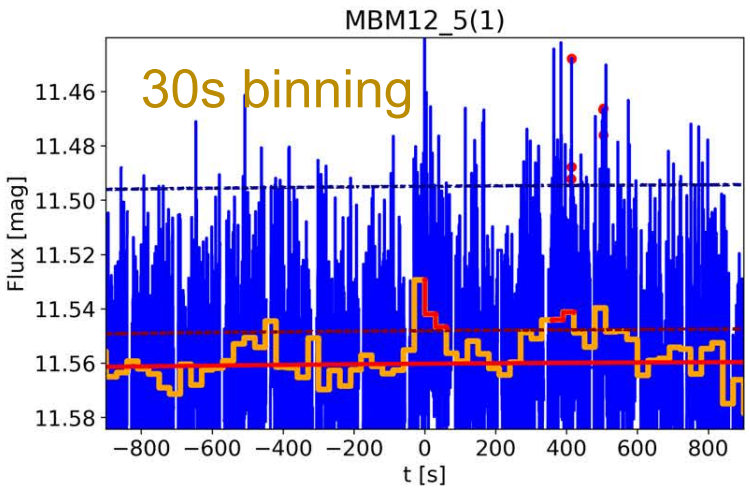
- 増光イベントの起源の検討
- より精密な議論のためには

増光イベントの起源の検討

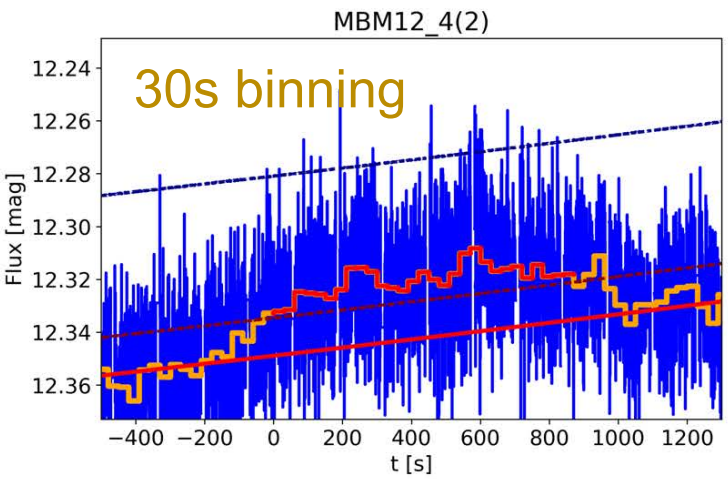
- 見て明らかな、大きな増光イベントは確認できず
- 小規模増光イベントを、ライトカーブの形により分類してみる

鋭い立ち上がり
→ フレア？

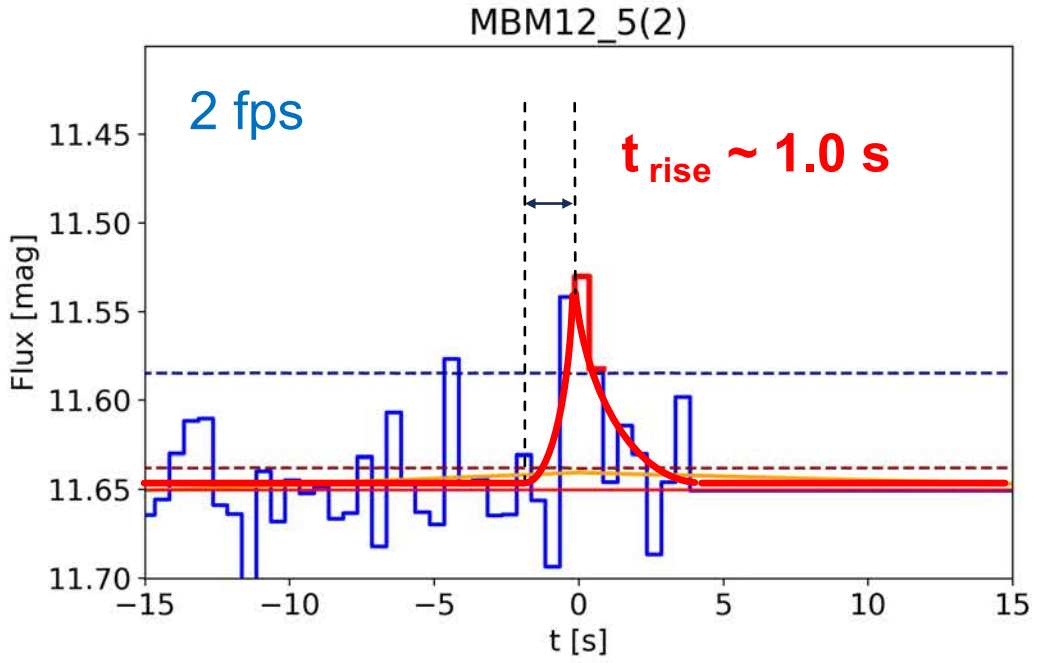




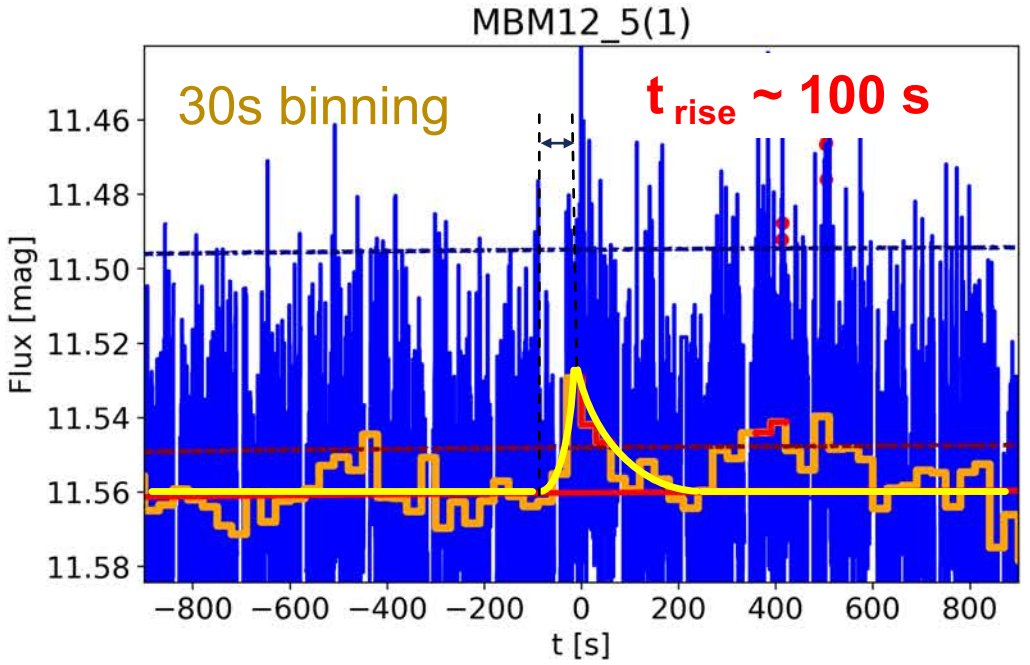
長時間、フラット
→ 質量降着？



リアルなフレアであると仮定すると……



$E_{flare} \sim 10^{32}$ erg



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

※ フレア温度を $T_{flare} \sim 10000$Kと仮定

リアルなフレアであると仮定すると……

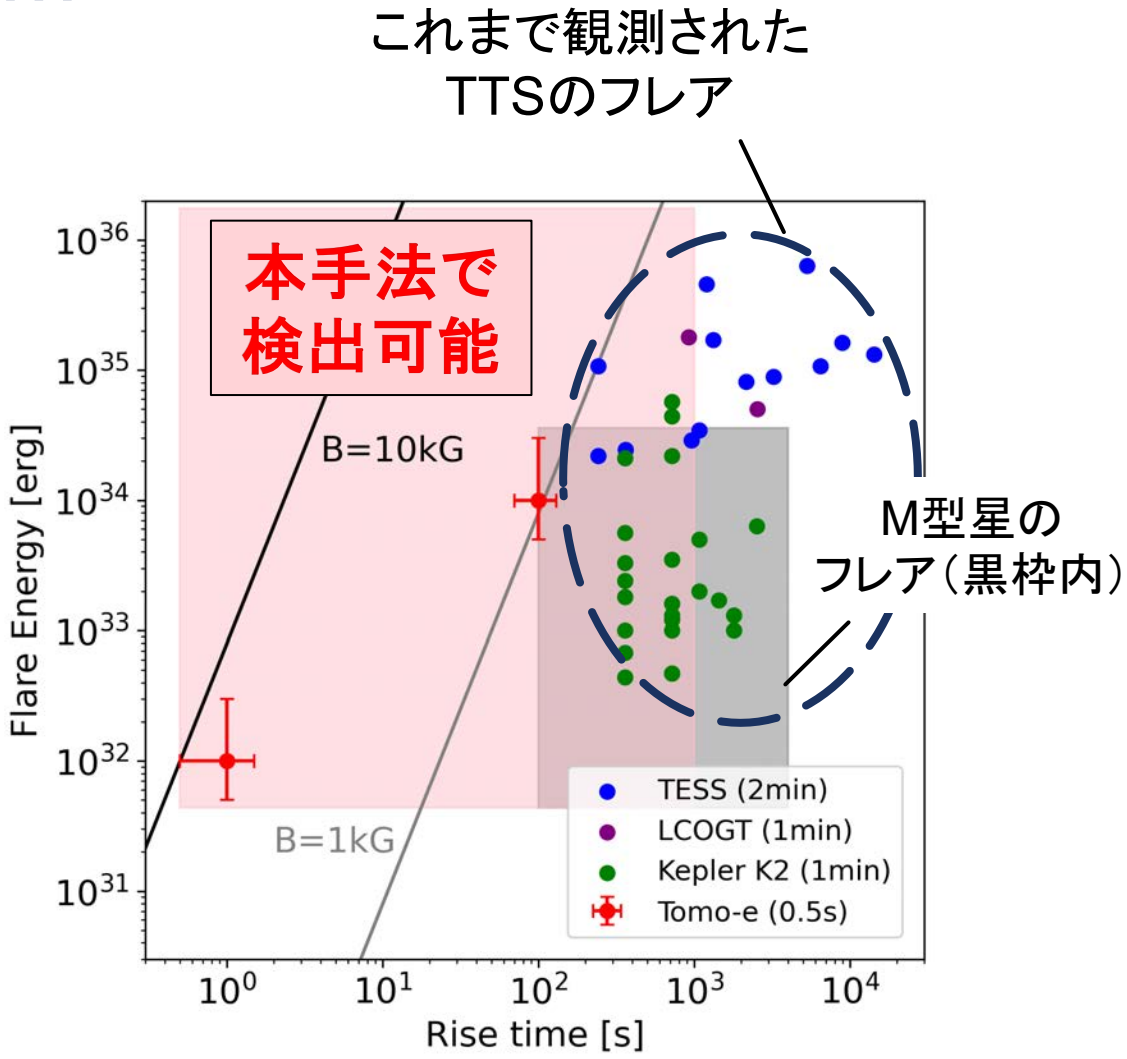
- 同じ時間スケールに対して、M型星より**大きなエネルギースケール**でもフレアが起きている
- フレアのエネルギーは、リコネクションを起こす磁場が持つエネルギーで決まる

$$E_{\mathrm{flare}} \propto B^2 \, l_{\mathrm{loop}}{}^3$$

磁場の大きさ　　磁力線ループの大きさ

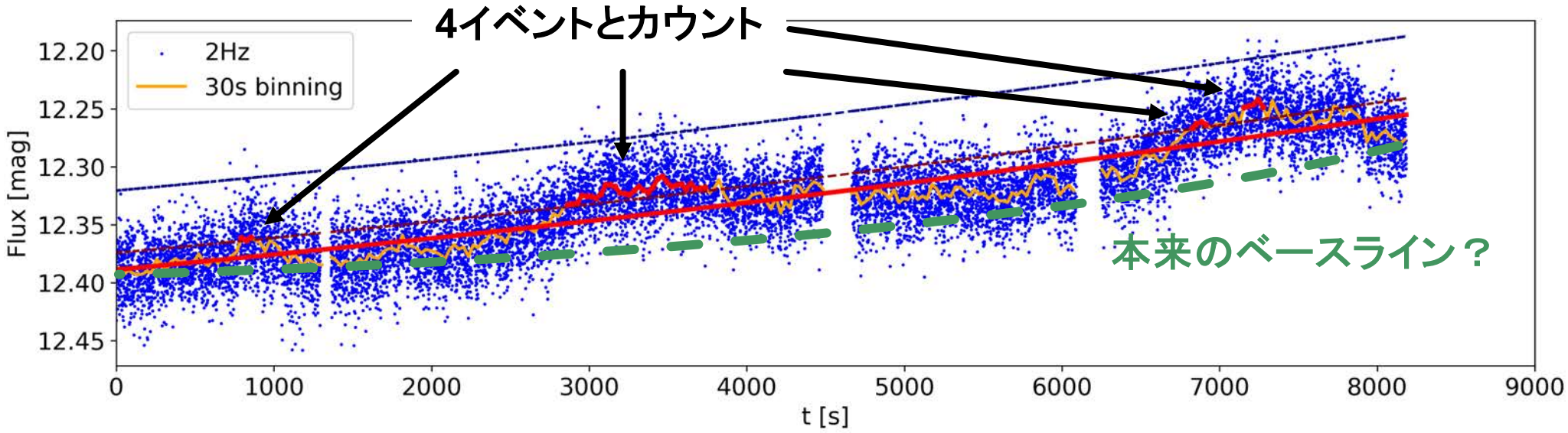
→ TTSの**強い磁場活動**？

大きな空間スケール？



質量降着由来と思われる増光についての検討

- ベースラインの設定次第で、増光とみなす範囲が大きく変わる

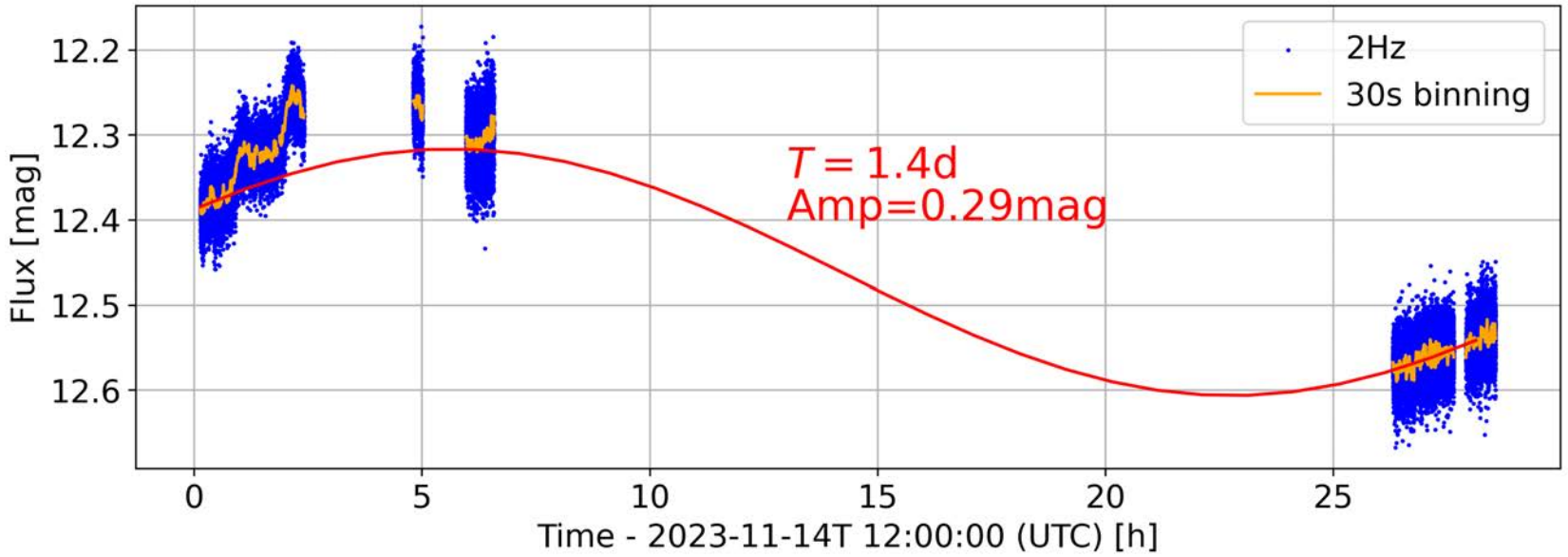


- ~1h程度の大きな変動により、2次関数フィットのベースラインが歪む

→ **ベースライン（自転による変動）を正確に決める**のが重要

より精密な議論のためには

- 今回得たデータだけから自転による変動を決めるのは難しい



→ **日の間隔を短く、時間的に連続**したデータを取ることが重要

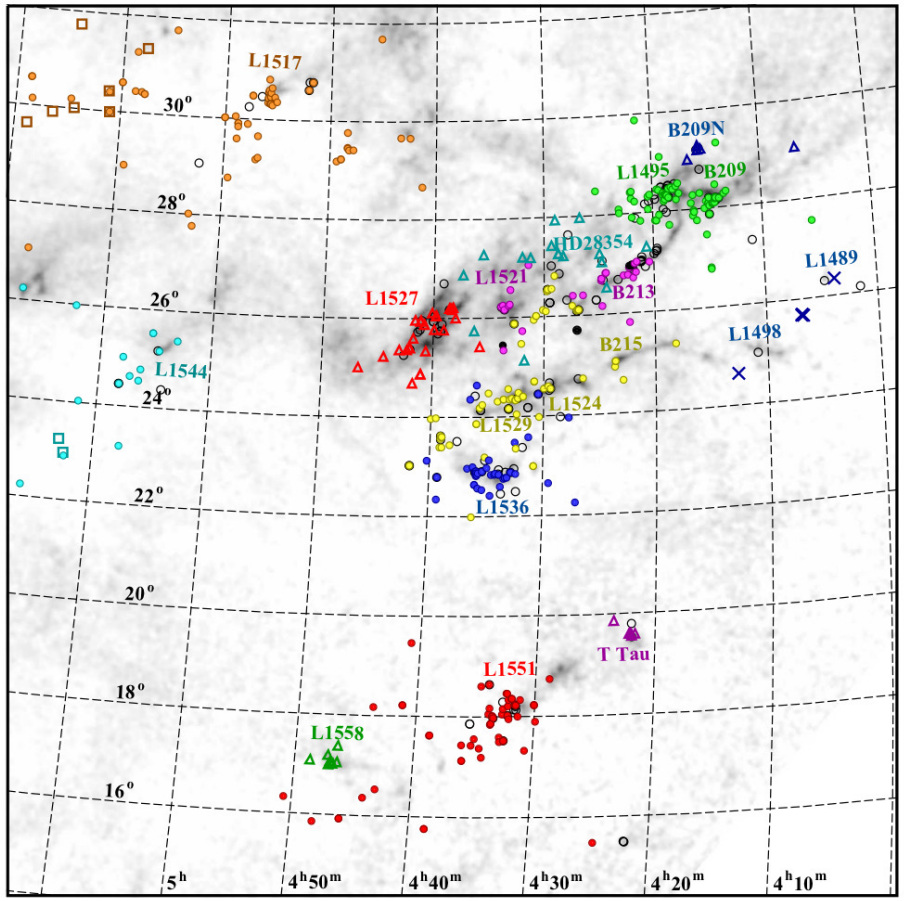
- 今後、**ターゲット数を増やした統計的な研究**をしていきたい

現在やっている解析

- 昨冬シーズンに、**Taurus星形成領域**のデータを取得
  - ・・・ 合計約15hほど、最長連続4h

- わかっているだけで80個近くのT Tauri型星がある（Herbst et al. 1994）

→ より有意な統計的議論ができそう



まとめ

- T Tauri型星の**短時間・微小な変動**を検出できた
- それがフレアであるとすると、**M型星よりも大きなエネルギースケール**で起こっている可能性がある
- より精密な議論を進めるために、**ベースライン（自転による変動）**を正確に割り出し、**ターゲット数を増やした観測**をしていきたい