

# M型星YZ CMi/EV Lacのフレアの連続測光・分光観測 ~質量噴出現象の調査~

行方宏介/Kosuke Namekata

(Kyoto Univ. ⇒ NAOJ/ALMA Project, JSPS fellow)

S. Okamoto (Kyoto Univ. ⇒卒業), H. Maehara (NAOJ), Y. Notsu, (CU Boulder), S. Honda (Univ. of Hyogo), K. Namizaki, K. Ikuta, D. Nogami, K. Shibata (Kyoto Univ.), and OISTER team collaborations



# M型星の磁気活動性

M型星 (= M-type main sequence stars)

- $T_{\text{eff}} = \sim 3800\text{K (M0)} - \sim 2300\text{K (M9)}$
- **Luminosity =  $(0.2 - 5 \times 10^{-4}) L_{\odot}$**
- Radius =  $(0.6 - 0.1) R_{\odot}$
- Mass =  $(0.6 - 0.1) M_{\odot}$
- **高い磁気活動 (彩層・コロナ放射, フレア)**

## Background (1)

M型星周りの惑星探査が盛ん

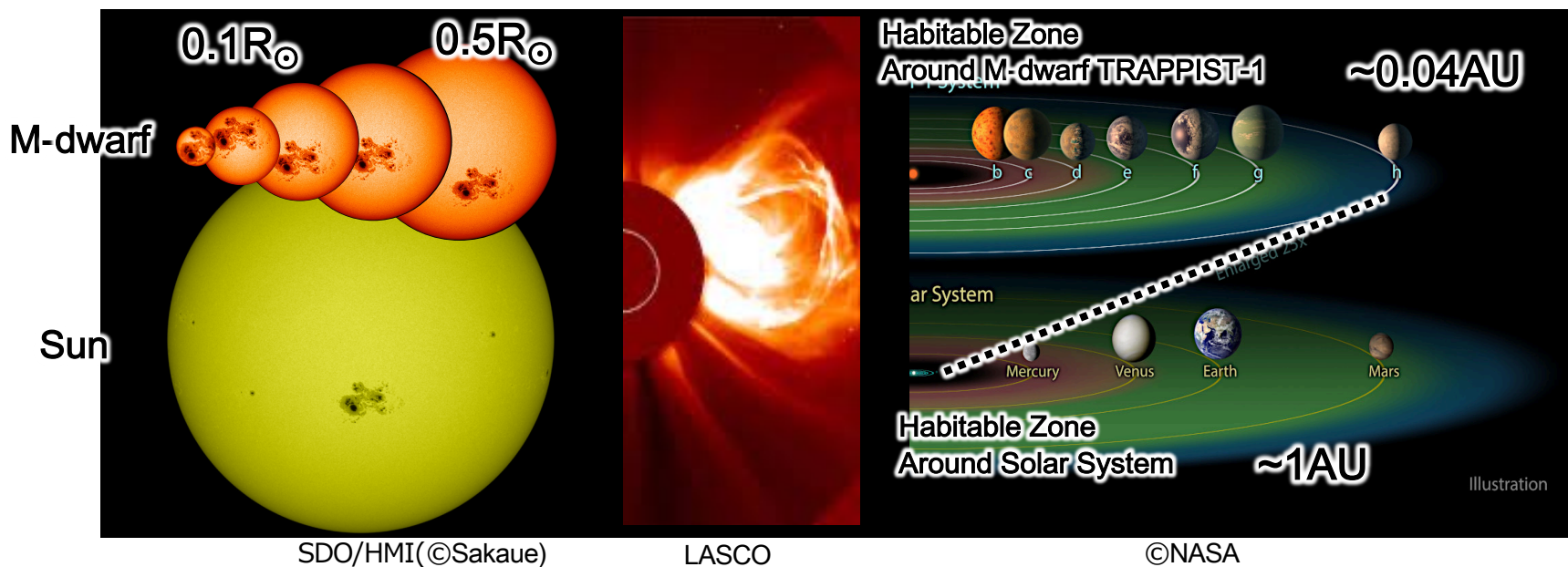
一方で、**ハビタブル惑星は主星に近く、主星の磁気活動に多大な影響を受けうる**

**⇒ M型星の活動性は惑星業界からの注目度が高い**

## Background (2)

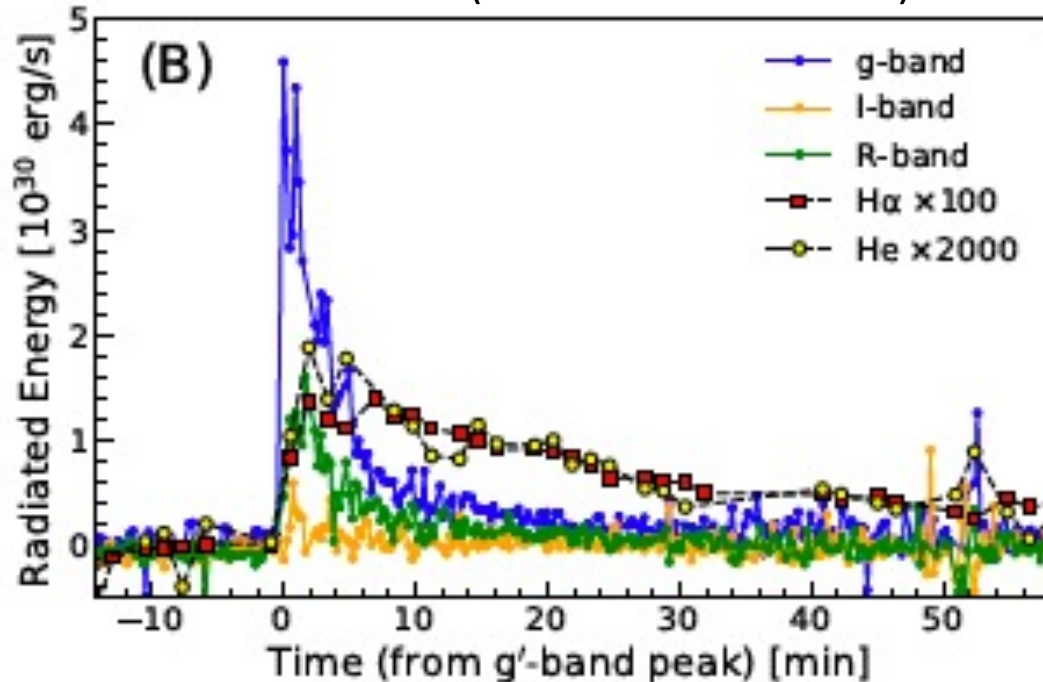
M型星は暗いので、フレア放射が検出しやすい

⇒ これまで比較的多くの観測がなされてきた



# M型星フレア

せいめい望遠鏡で観測されたM型星AD Leoでの  
スーパーフレア(Namekata et al. 2020)



**PASJ** Publications of the  
Astronomical Society of Japan

Issues Advance articles Subject  $\nabla$  Submit  $\nabla$  Purchase About  $\nabla$

COLLECTION

## High Impact Articles From PASJ

MOST DISCUSSED

### The First VERA Astrometry Catalog

VERA collaboration et al.

*Publications of the Astronomical Society of Japan*, Volume 72, Issue 4, August 2020, 50,  
<https://doi.org/10.1093/pasj/psaa018>

We present the first astrometry catalog from the Japanese VLBI (very long baseline interferometer) project VERA (VLBI Exploration of Radio Astrometry). We have compiled all the astrometry results from VERA, providing accurate trigonometric-annual-parallax and proper-motion measurements. In total, 99 maser sources are listed in the VERA catalog. Among them, 21 maser sources are newly...

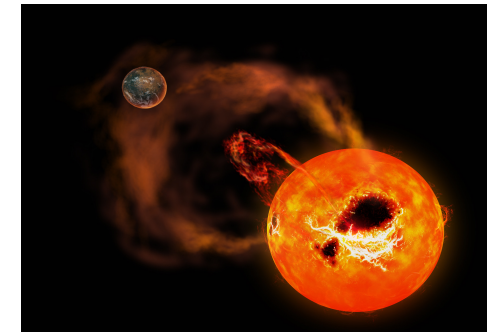


### Optical and X-ray observations of stellar flares on an active M dwarf AD Leonis with the Seimei Telescope, SCAT, NICER, and OISTER

Kosuke Namekata et al.

*Publications of the Astronomical Society of Japan*, Volume 72, Issue 4, August 2020, 68,  
<https://doi.org/10.1093/pasj/psaa051>

We report on multi-wavelength monitoring observations of an M-dwarf flare star AD Leonis with the Seimei Telescope (6150–7930 Å), SCAT (Spectroscopic Chuo-university Astronomical Telescope; 3700–7500 Å), and NICER (Neutron Star Interior Composition Explorer; 0.2–12.0 keV), with the collaboration of the OISTER (Optical and Infrared Synergetic Telescopes for Education and Research) program...



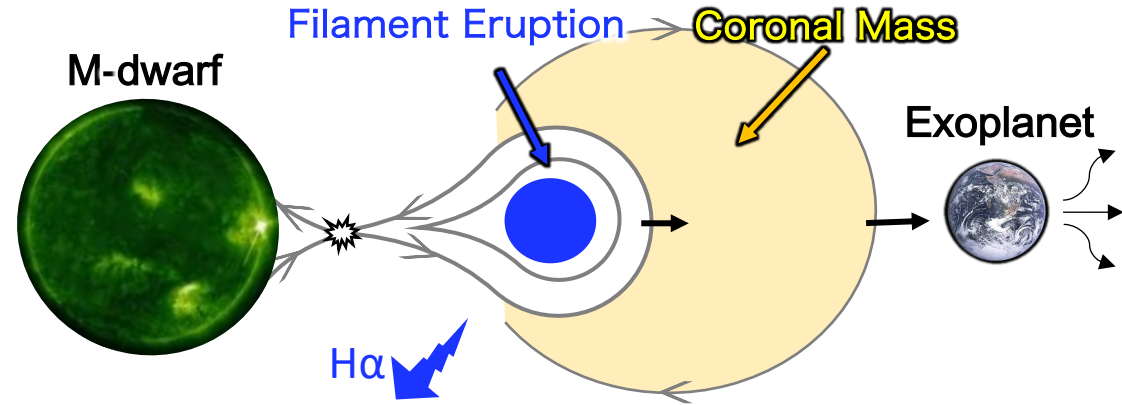
19-20年のPASJ/Most Discussed 2位に  
⇒ 世間からの注目度も高い

# Motivation: M型星での質量噴出を知りたい

## 質量噴出の報告例

太陽型星よりは情報量が多いが、依然として有力な観測例は少ない

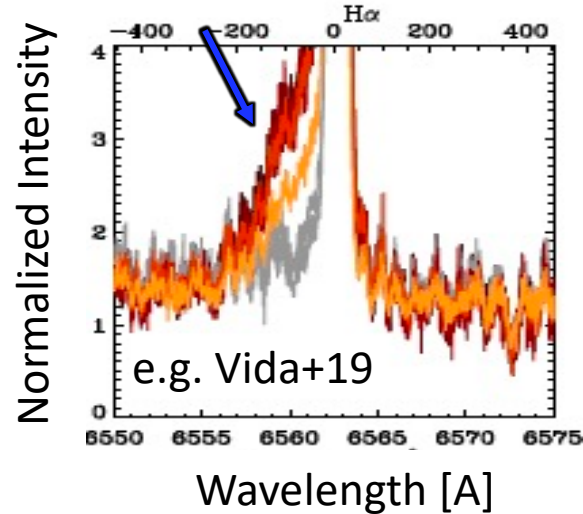
⇒ 時間分解した&多波長の  
サンプル増加が必要



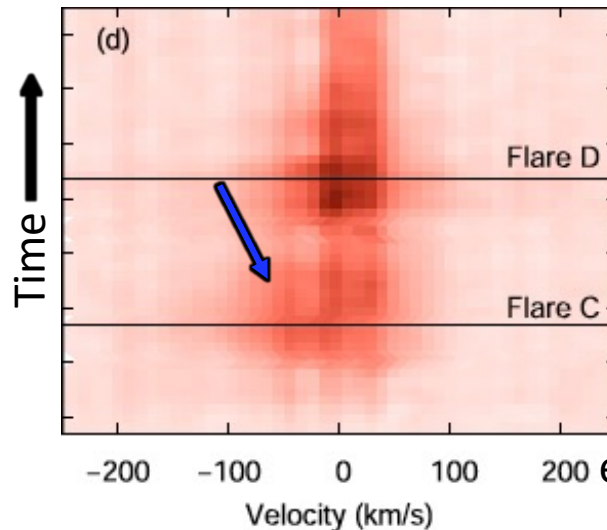
## H $\alpha$ Blue-shift “輝線” = フィラメント噴出？

(cf. G型星は“吸収”として検出)

Snap shot (~100 events?)

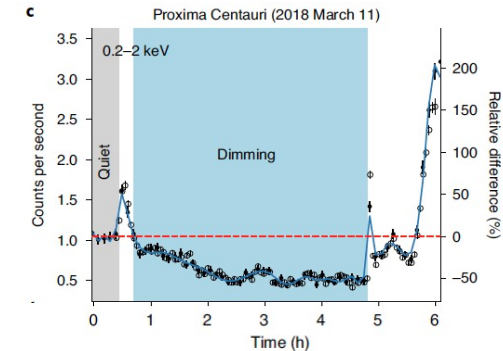


Time resolved (~<10 events?)



X線での間接的な証拠も？

Veronig et al. 2021, Nat. Astron.





# M型星Blue Shift研究の課題: G型星と何が違う？

## 課題1) $H\alpha$ Blue-shift “輝線” ⇒ 解釈が難しい

⚠ 問題点:  $H\alpha$ だけではフレアと噴出現象の縮退が解けない

1. 噴出現象 (M型星は暗いから？ リムで発生？)
2. 彩層蒸発に伴う上昇流(cf. Tei+18)
3. ポストフレアループによる赤側吸収 (e.g. Honda+18)

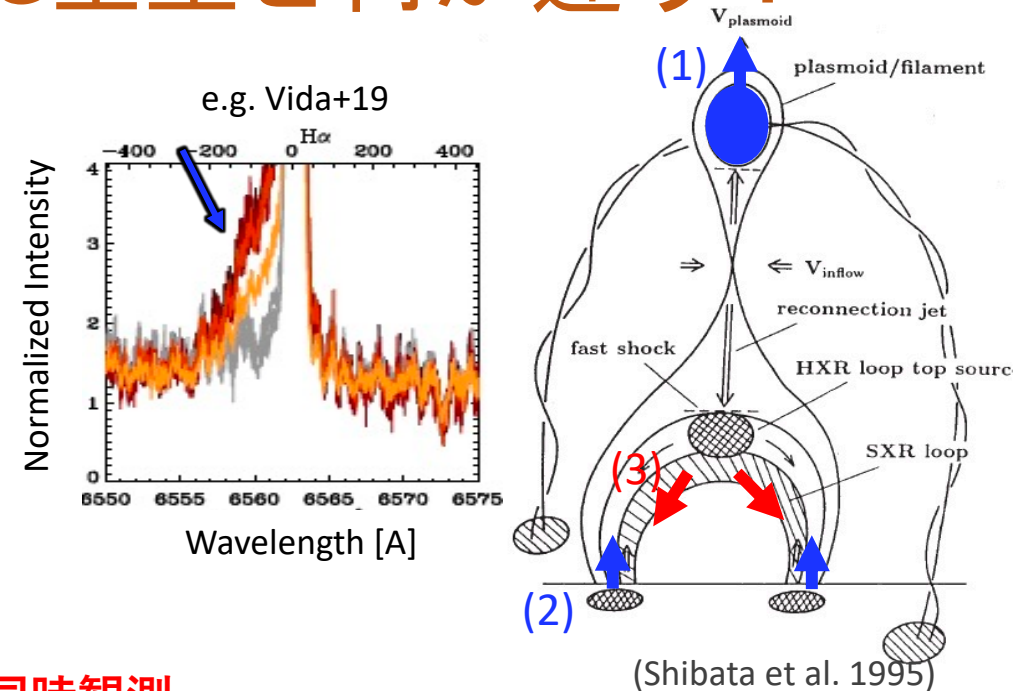
💡 解決策:

A) 噴出現象の放射を含まない波長(例: 白色光)と **多波長同時観測**

B) 速度・プロファイルの時間変化で切り分け

⇒ 噴出現象の速度変化のタイムスケール~**5 min**を**区別できる時間分解能での分光**

Note) 先行研究では、せいぜい5分の分解能



## 課題2) $Blue\text{-}shift$ の発生頻度・統計的性質の解明 ⇒ **長期間モニタ観測**

⇒ **せいめいの大口径・潤沢な時間を使って、これらを解決したい**

# Our Observation Summary

## Target stars

YZCMi(M4.5V), EVLac(M4V), ADLeo(M3.5V)

- well-known nearby active M-dwarfs

[**Optical Spectroscopy** ( $\lambda/\Delta\lambda \sim 2000$ )]

Japan) Seimei 3.8m (KOOLS-IFU)

[**Photometry (Ground & Space)**]

Japan) MITSuME 0.5m (g,R&I-band)

Japan) 前原11.5 cm望遠鏡 (V-band)

Space) TESS衛星 (1-band: 6000-10000Å)

## 我々の観測の強み

- せいめい望遠鏡の潤沢な観測時間
- 大口径による高いS/N・高い時間分解能(1-2分)
- 同時白色光観測



## Result summary

~30 night observations

(2019March – 2021Feb)

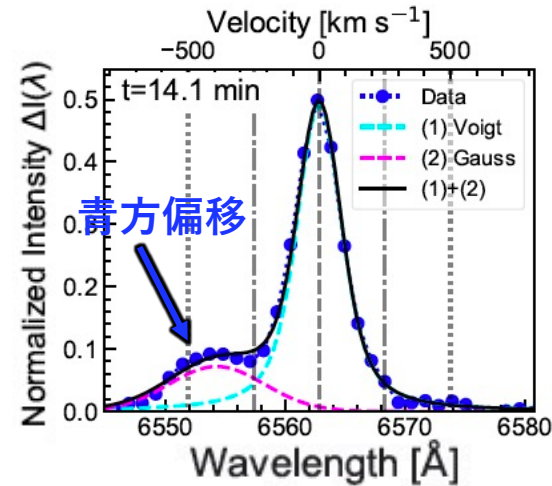
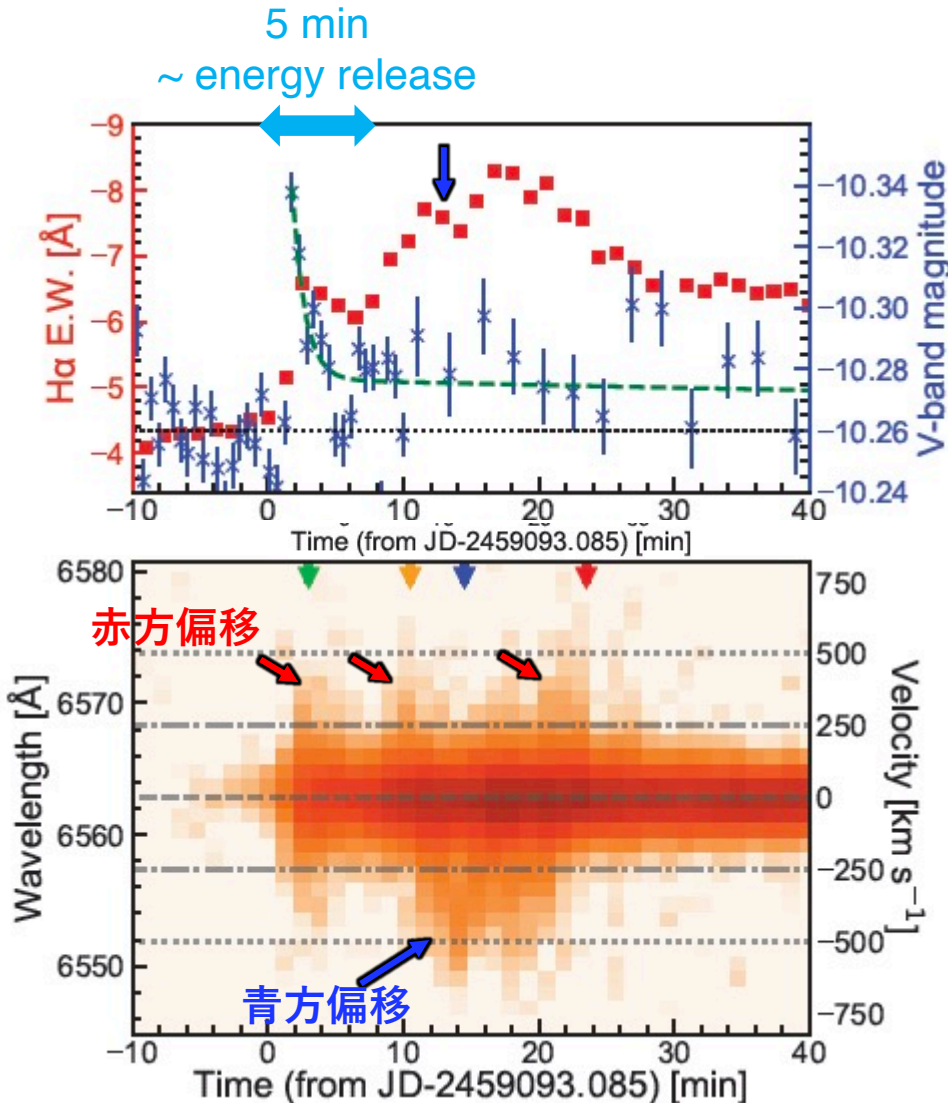
**およそ計画通り~ 50件のH $\alpha$ フレアを検出  
(一部出版済みNamekata et al. 2020, PASJ)**

**→ At least 5 events show clear Blue Asymmetries**

**⇒ その中の3例を紹介**



# Result: Blue-shift event (A) on EV Lac

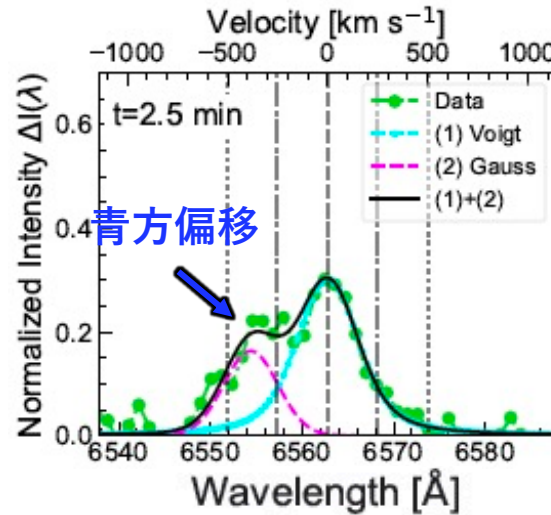
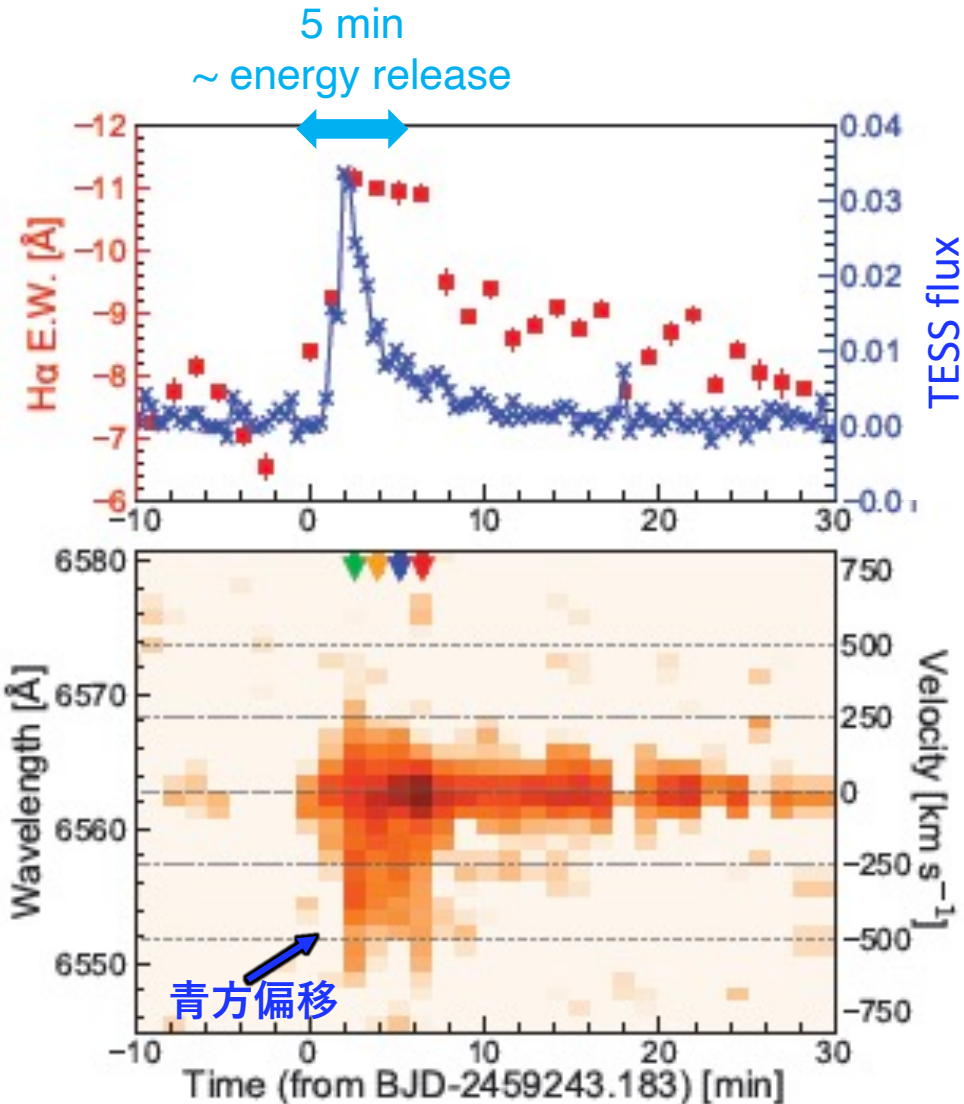


- M型星で白色光フレアに伴う Blue-shift イベントを検出  
⇒ **白色光フレア放射と同時観測できたのはこれが初めて**
- $E_{WL} \sim 1.8 \times 10^{32} \text{ erg}$   
(~最大級の太陽フレア)

## 青方偏移の性質

- 速度 400 km/s と比較的高速だが、脱出速度より小
- 数分のタイムスケール以内で  
ダイナミックに青方/赤方偏移が出現・速度変化  
⇒ せいめい/KOOLSの時間分解能だからこそ検出
- 青方偏移は白色光に対して10分程度遅れて出現

# Result: Blue-shift event (B) on YZ CMi



- $E_{WL} \sim 6.4 \times 10^{31} \text{ erg}$   
(~60% x 最大級の太陽フレア)

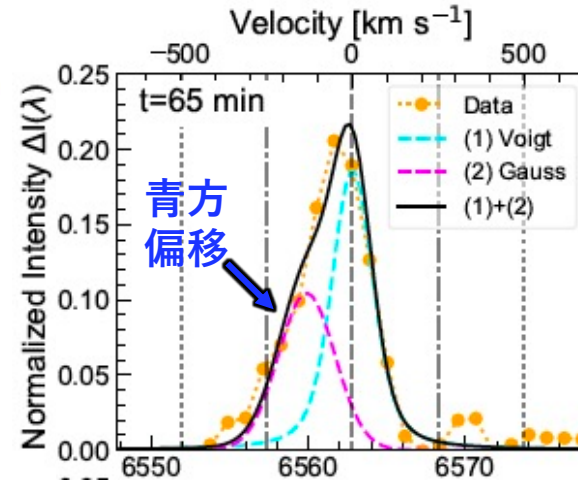
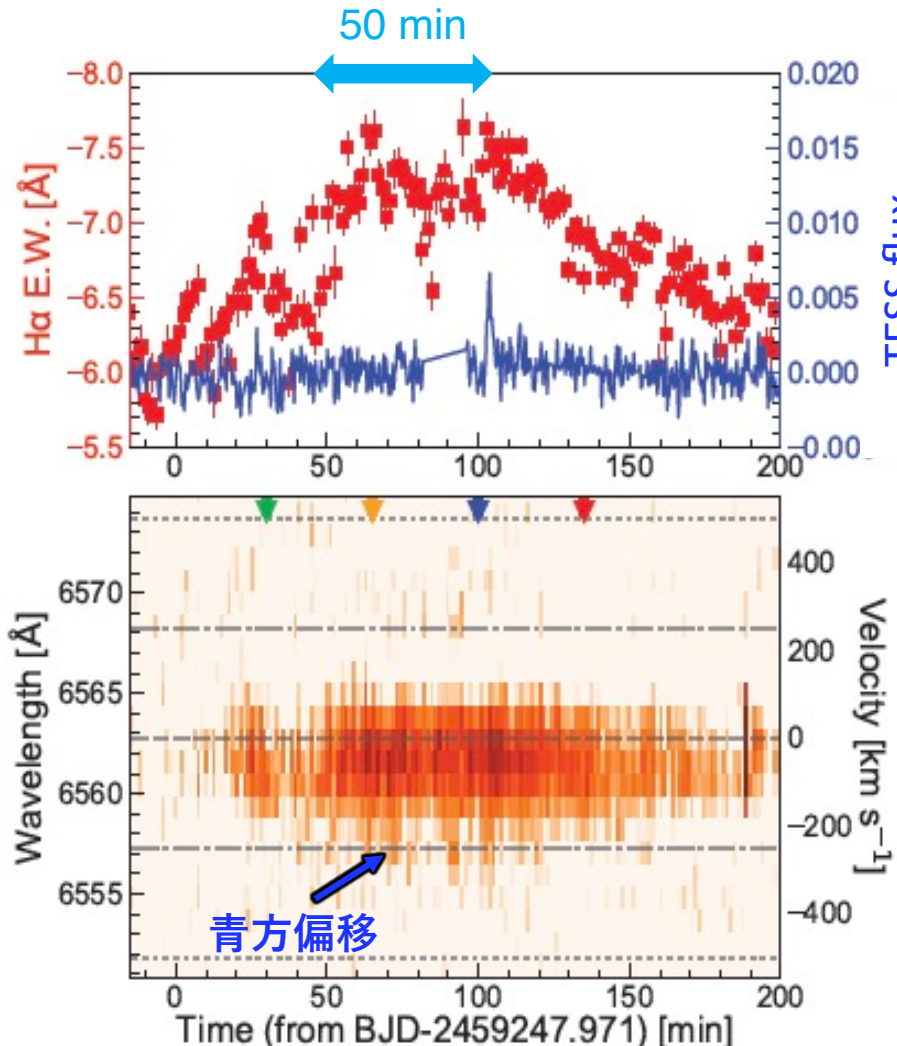
## 青方偏移の性質

- 最大速度400 km/sと、event (A)と同じくらい
- 一方、青方偏移だけ出現 (継続時間 ~ 5 min)
- 青方偏移成分は白色光に同期して出現

⇒ Event (A)とは異なる性質!



# Result: Blue-shift event (C) on YZ CMi



- $E_{H\alpha} \sim 5 \times 10^{30} \text{ erg}$

## 性質

- 速度  $\sim 200 \text{ km/s}$
- 青方偏移の継続時間  $\sim 200 \text{ min}$
- トリガーの白色光の放射は無し

⇒ Event (A), (B) と全然違う！

### 今回わかった知見

Blue-shiftの、白色光との対応/スペクトル時間変化は想像以上に多様性が大きい

⇒ 方針：イベント毎のケーススタディを行い、その発生原因の特定をする

# Discussion I: Case of Event (A)

## Blue-shiftの原因は？

1. ○ 噴出現象
2. △ 彩層蒸発に伴う上昇流(cf. Tei+18)
3. × ポストフレアループによる赤側吸収

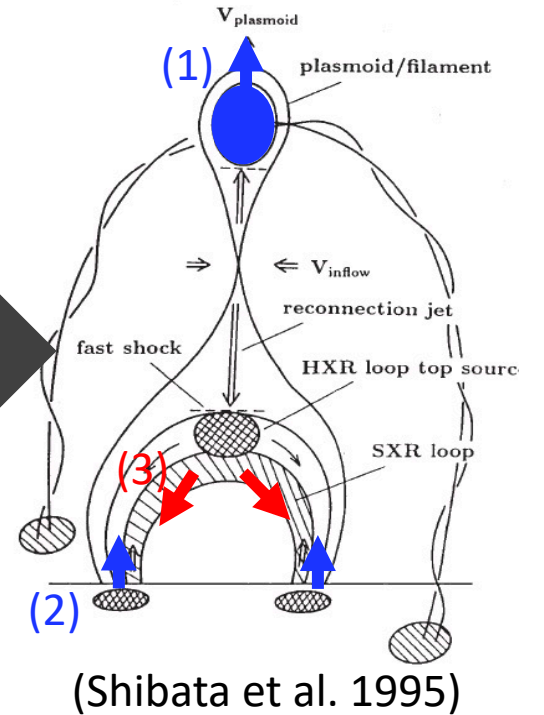
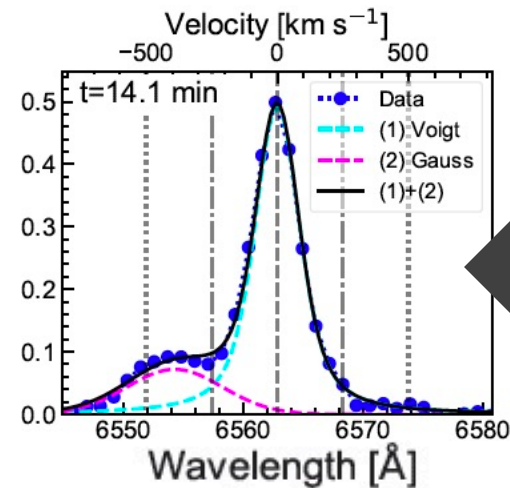
### 可能性 2 ? ⇒ No?

- 太陽フレアの場合、シフトは数10km/s
- Tei et al. による説明では、非熱的粒子加熱が必要だが、Blue-shiftと同期した白色光は検出されていない

### 可能性 3 ? ⇒ No

- 赤方偏移吸収では、青方偏移した「こぶ」構造は説明できない

⇒ 消去法的には、イベントAは噴出現象が最もらしい





# Discussion II: 太陽プロミネンス噴出との比較

- 太陽のフィラメント噴出の空間積分(Sun-as-a-star)データとの比較
  - 2021年5月5日のイベント：プロミネンスの成分が、フレアに対して遅れてくる  
⇒ 噴出してから拡大し、表面積が大きくなるから

↔ M型星フレアEvent (A)で、白色光に対してBlue-shiftが遅れて現れることとよく対応  
⇒ イベントAが噴出したプロミネンスであることを支持

Fig. 太陽のプロミネンス噴出のライトカーブ

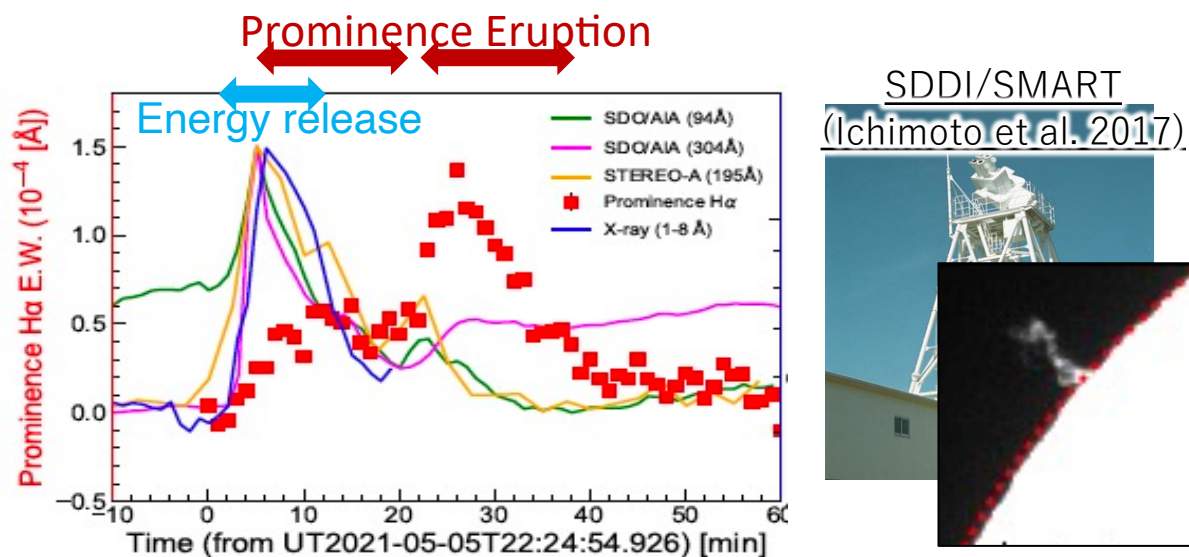
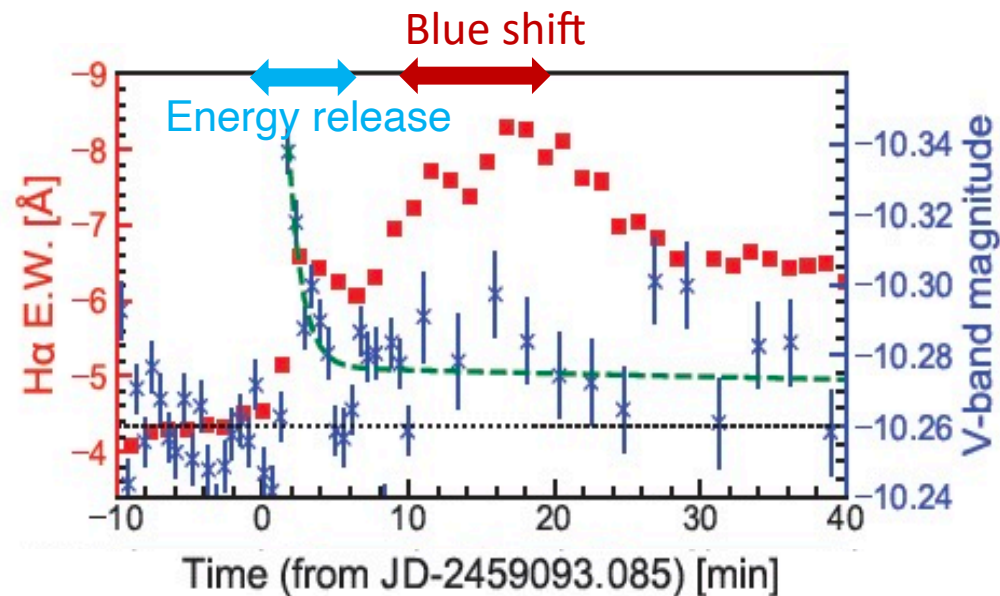
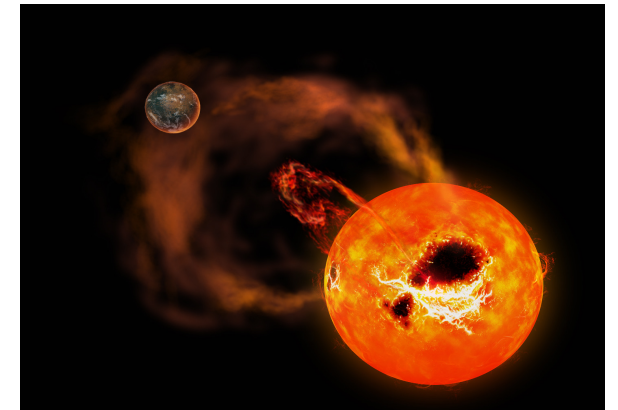


Fig. M型星フレア(Event A)のライトカーブ



# Summary & Future Work

- M型星の質量噴出の性質は、惑星環境を決める上で解き明かすべき重要な現象
- M型星フレアに伴うH $\alpha$ 線の青方偏移非対称性を高時間分解能で・可視測光と同時に調査
- せいめい/KOOLS-IFUの強みを活かした新たな成果：
  - 数分単位での青方・赤方偏移の出現・消滅
  - 青方偏移と白色光フレアの同時検出
  - 青方偏移の出現頻度： $\Rightarrow$  本研究では、**出現率は ~13% (5 in 40)**
  - 5イベントに一貫した共通点はないが、噴出現象に関連している可能性



## Future Works

- 5イベント/先行研究の多様性の理解を深める  
 $\Rightarrow$  実際に、質量噴出と思われるものの発生頻度は？
- 赤方偏移の理解  $\Rightarrow$  M1学生の浪崎さんが研究中
- 将来：X線・UV・電波により、多角的な噴出現象調査  
 $\Rightarrow$  本研究をベースに、他計画と連携を深めたい

