

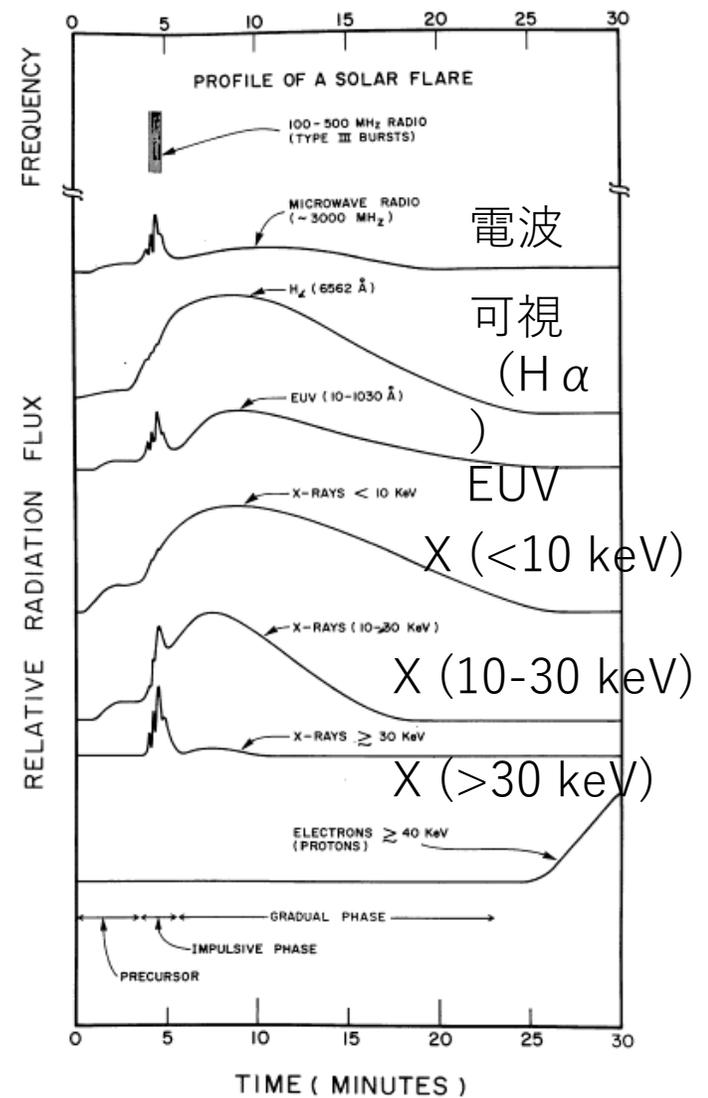
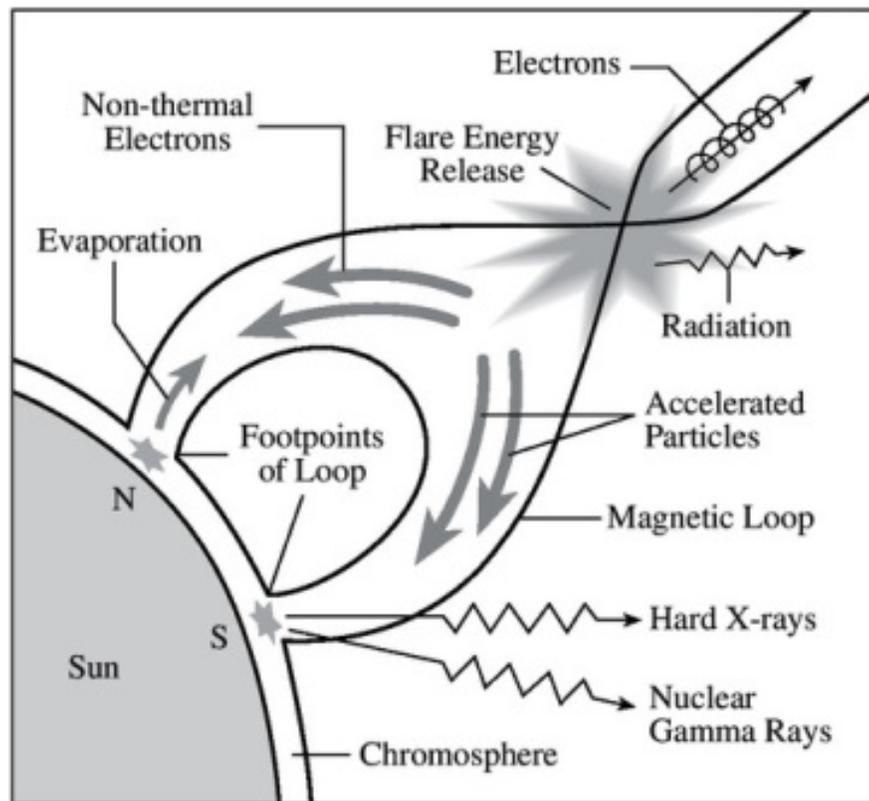
# K型主系列星LQ Hyaの スーパーフレアの連続分光観測

前原裕之 (NAOJ)

行方宏介 (京都大→NAOJ), 岡本壮師 (京都大→気象庁), 野津湧太 (コロラド大/NSO/東工大), 本田敏志 (兵庫県立大), 幾田佳, 野上大作, 柴田一成 (京都大)

# Solar/Stellar flares

- 太陽/恒星の大気（コロナ）中で起こる爆発現象
  - 電波から硬X線で増光
- 磁気リコネクションで黒点付近の磁場のエネルギーを解放することで起こる

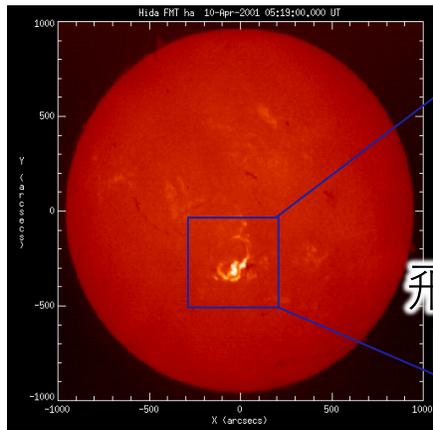


Kane (1974)

# 太陽/恒星フレア

## ○ 太陽/恒星表面での増光現象

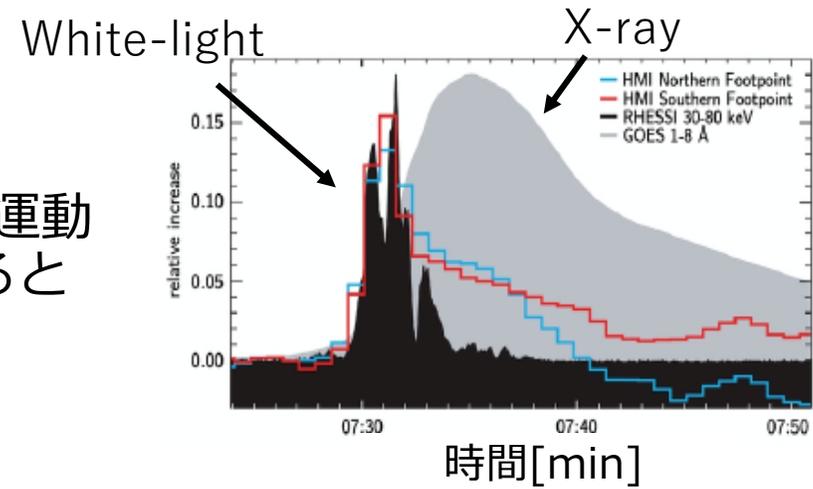
- 様々な波長での増光 (電波、可視、X線)
- 数分～数時間
- 太陽/恒星フレアは、磁場のエネルギーが、熱・運動エネルギーに変換する過程で統一的に説明できると考えられている。
- フレアに伴う放射線の照射・プラズマ噴出  
⇒ **地球・社会へも大きな影響**



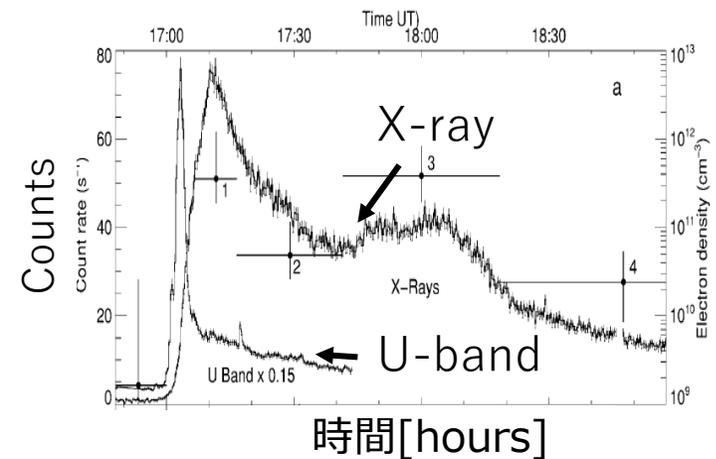
飛騨天文台  
Ha観測->



### 太陽フレア(Martinez+12)

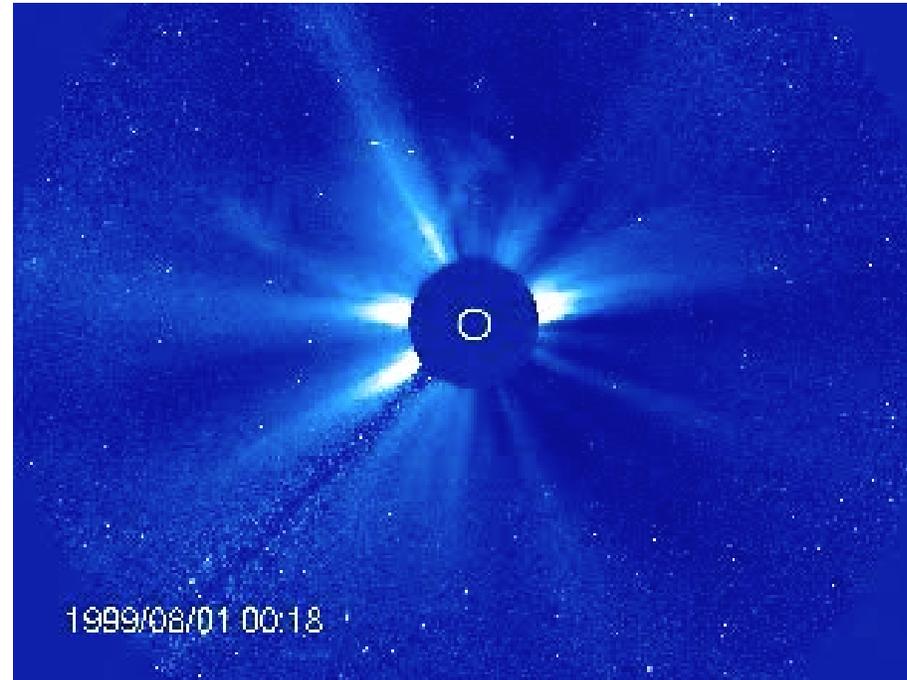


### 恒星フレア (Guedel+02)



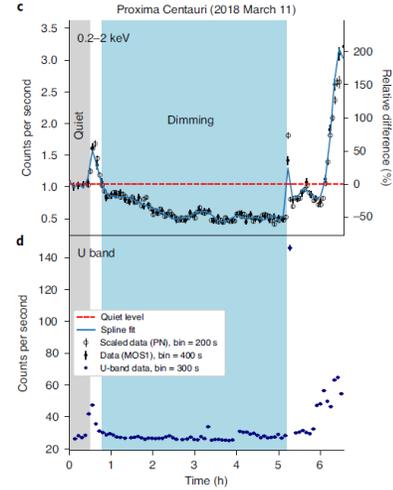
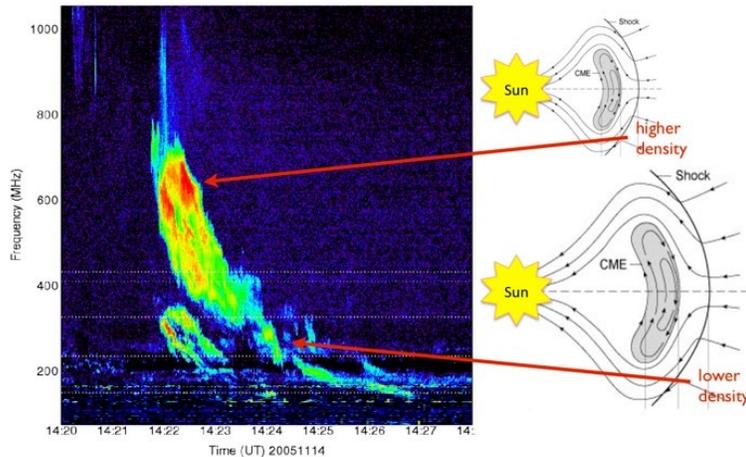
# Solar/Stellar CME

- フレアに伴う惑星間空間へのプラズマ噴出現象
  - 太陽の場合
    - 磁気嵐、SEPs (solar energetic particles)などの原因となり、我々の文明社会に大きな影響を及ぼす
  - (特にM型星周りの) 系外惑星の大気への影響を考える上で注目されている
    - 大気の流出や化学組成の変化などに影響を与える

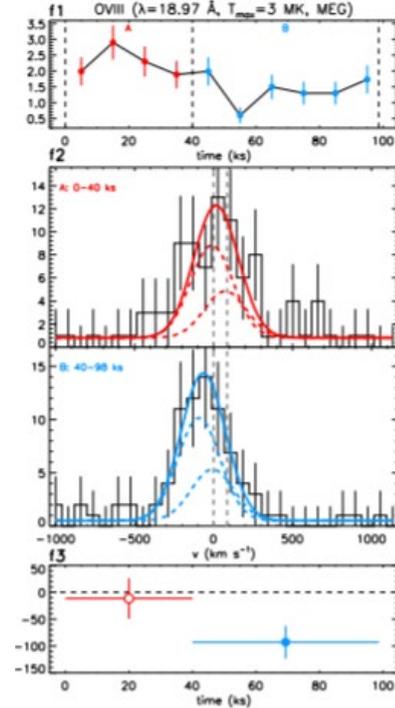


# 恒星フレアに伴う噴出現象検出の試み

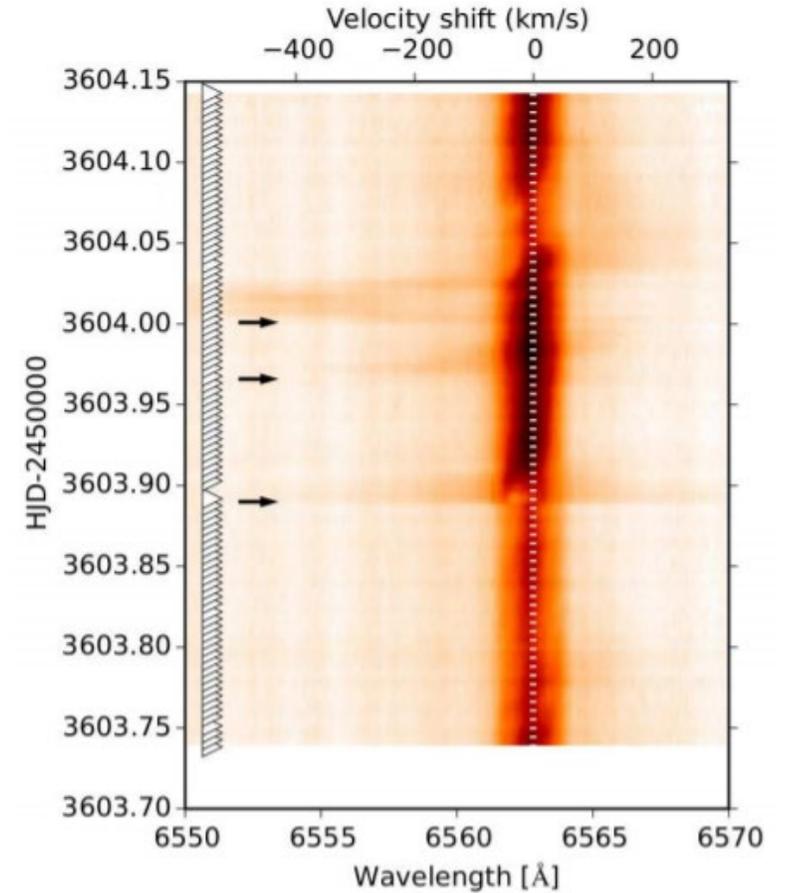
- 可視分光
  - Prominence eruption?
- X線分光
  - X-ray plasma ejection?
- X線測光
  - Coronal dimming?
- 電波(100-1000MHz)
  - Type II burst?
  - ※恒星フレアでは未検出



Veronig et al. (2021)



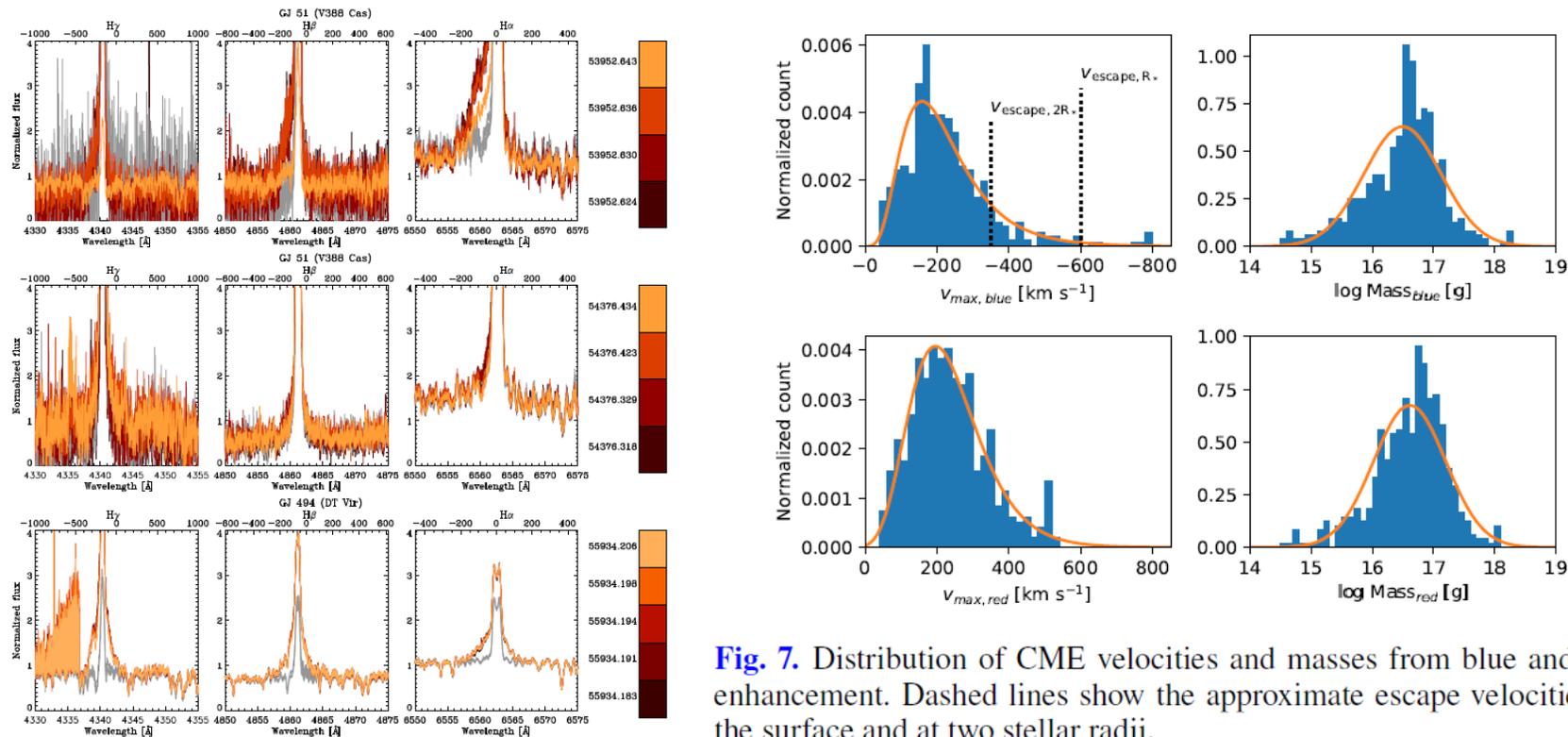
Argiroffi et al. (2019)



V374 Peg (M4); Vida et al. (2016)

# Blue asymmetry

- Stellar CMEに関する現象として近年注目されている
  - ただし、測光観測と同時に行われた高時間分解能の観測はまだほとんどない



**Fig. 7.** Distribution of CME velocities and masses from blue and red enhancement. Dashed lines show the approximate escape velocities at the surface and at two stellar radii.

# LQ Hya

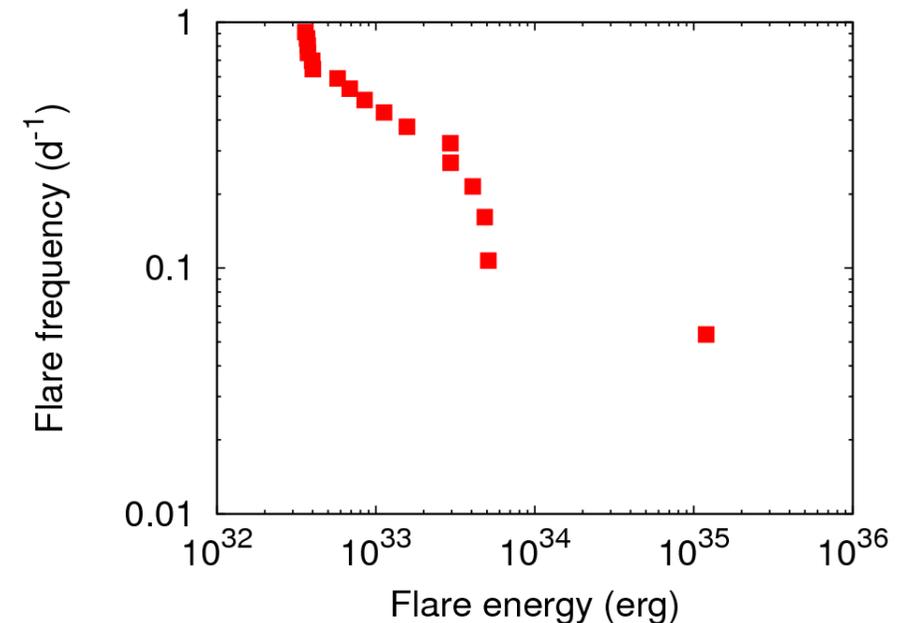
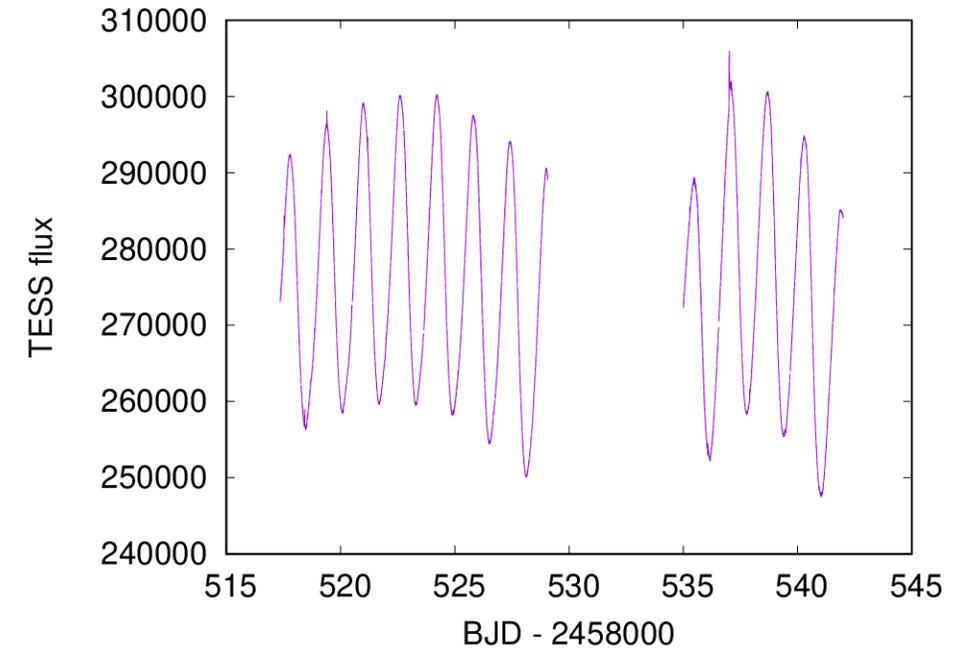
- 若いK型主系列星 (K2V)

- 自転周期：1.6日
- 強いX線放射
- 強い彩層線

- TESS Cycle 0での観測

- $10^{35}$  ergクラスのスーパーフレアを示していた

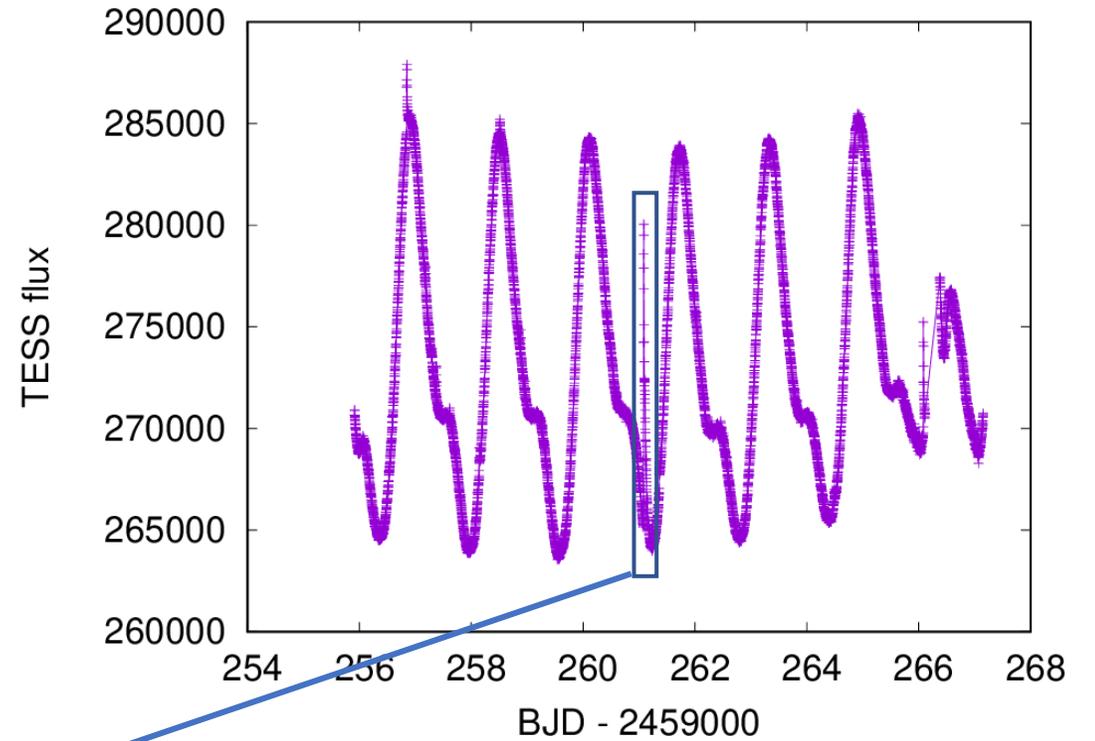
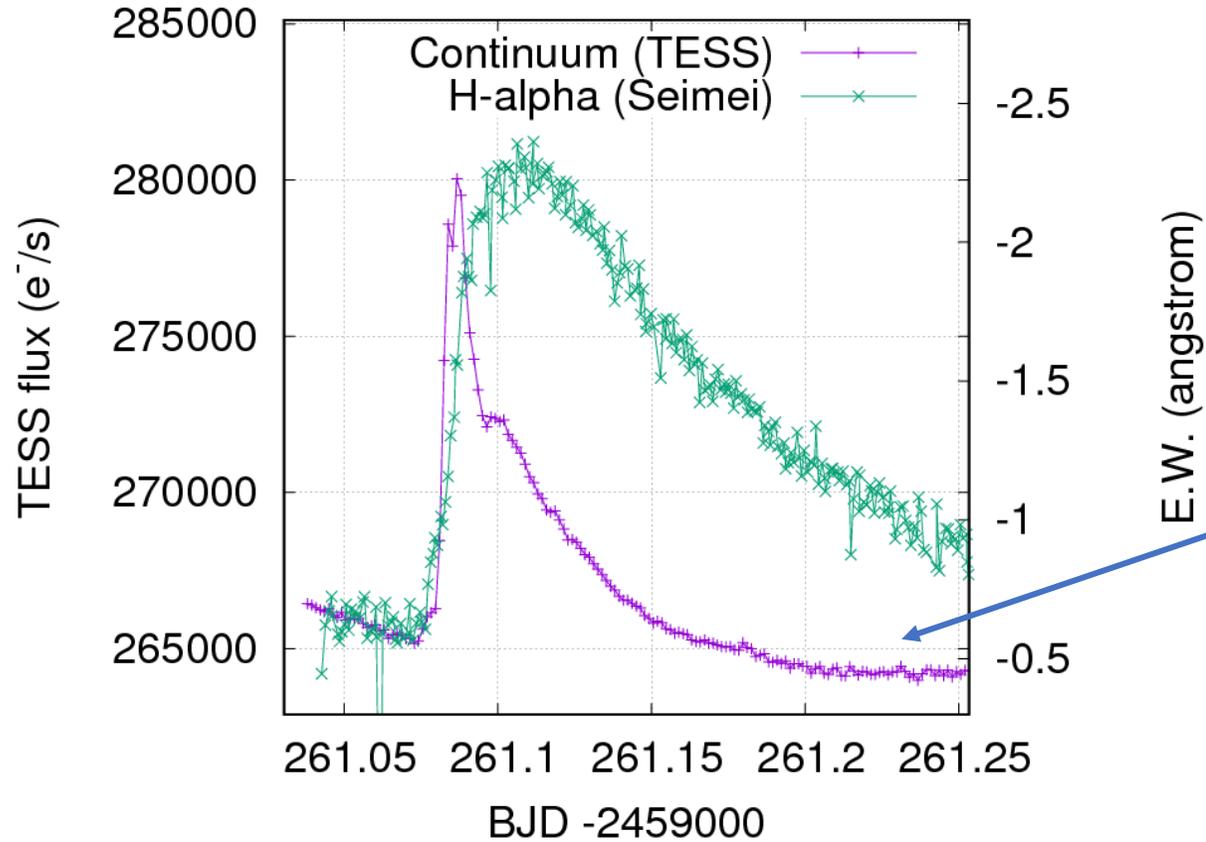
- 過去には分光でのフレア観測例はあるが、測光と同時に高時間分解能で観測した例はない



# 観測

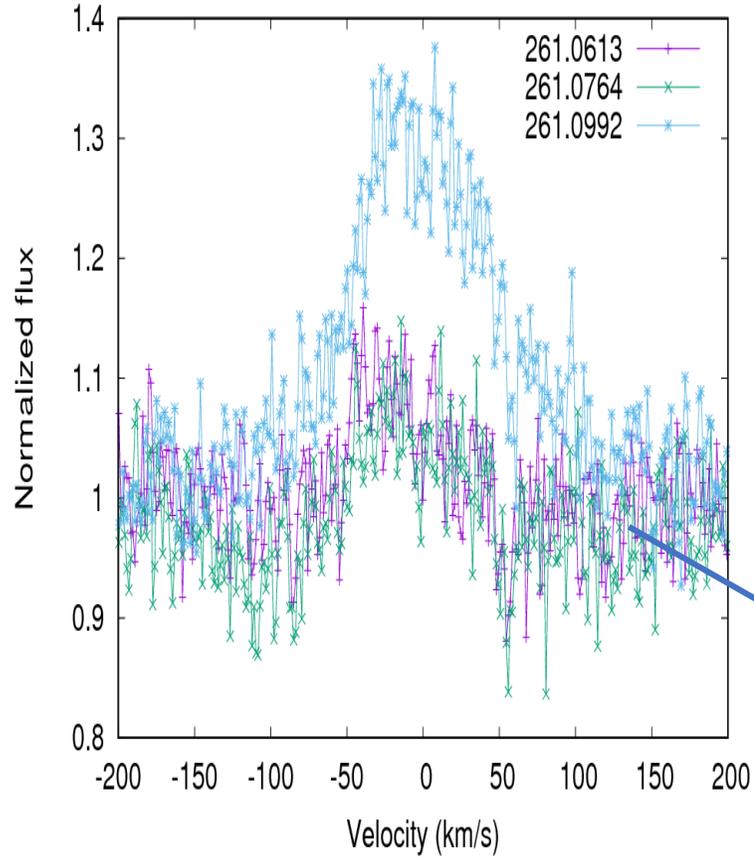
- TESS Cycle 2に合わせた観測
  - 高精度の測光観測と同時に分光観測
- せいめい望遠鏡（共同利用＋京大時間）：14.5夜
  - 2月13日－3月7日
  - 高S/N(>300)、高時間分解能(~70sec)
- 188cm望遠鏡＋HIDES：3夜
  - 2月15－17日
  - S/N~30-40、時間分解能~10 min.

# Superflare on Feb. 15

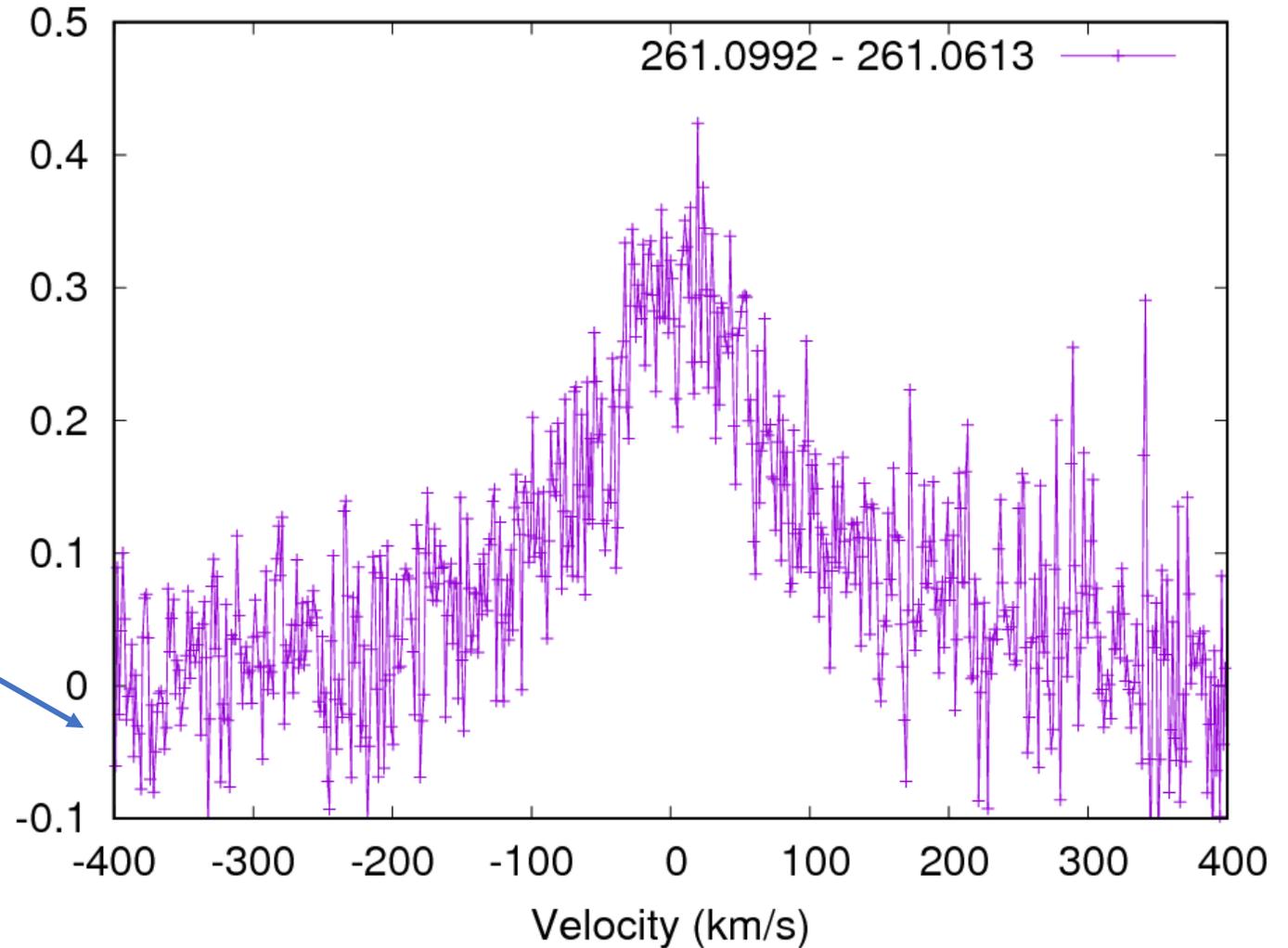


- スーパーフレアの観測に成功
  - $E_{\text{bol}} = 1.0 \times 10^{35}$  erg
- H $\alpha$ 線でフレアの発生前から終了近くまで全経過を観測できた。

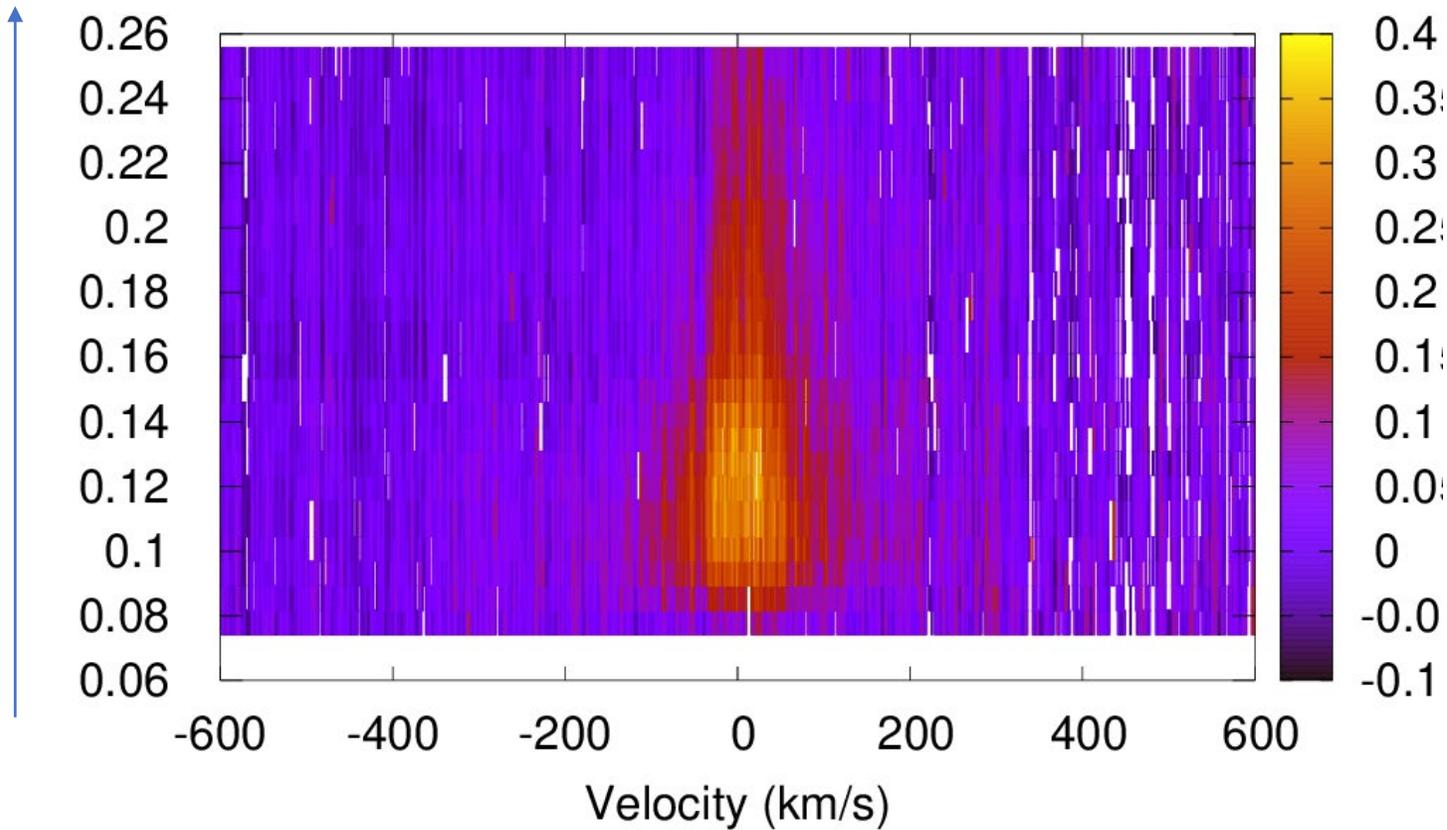
# Line profile observed with HIDES-F



Normalized flux (diff.)

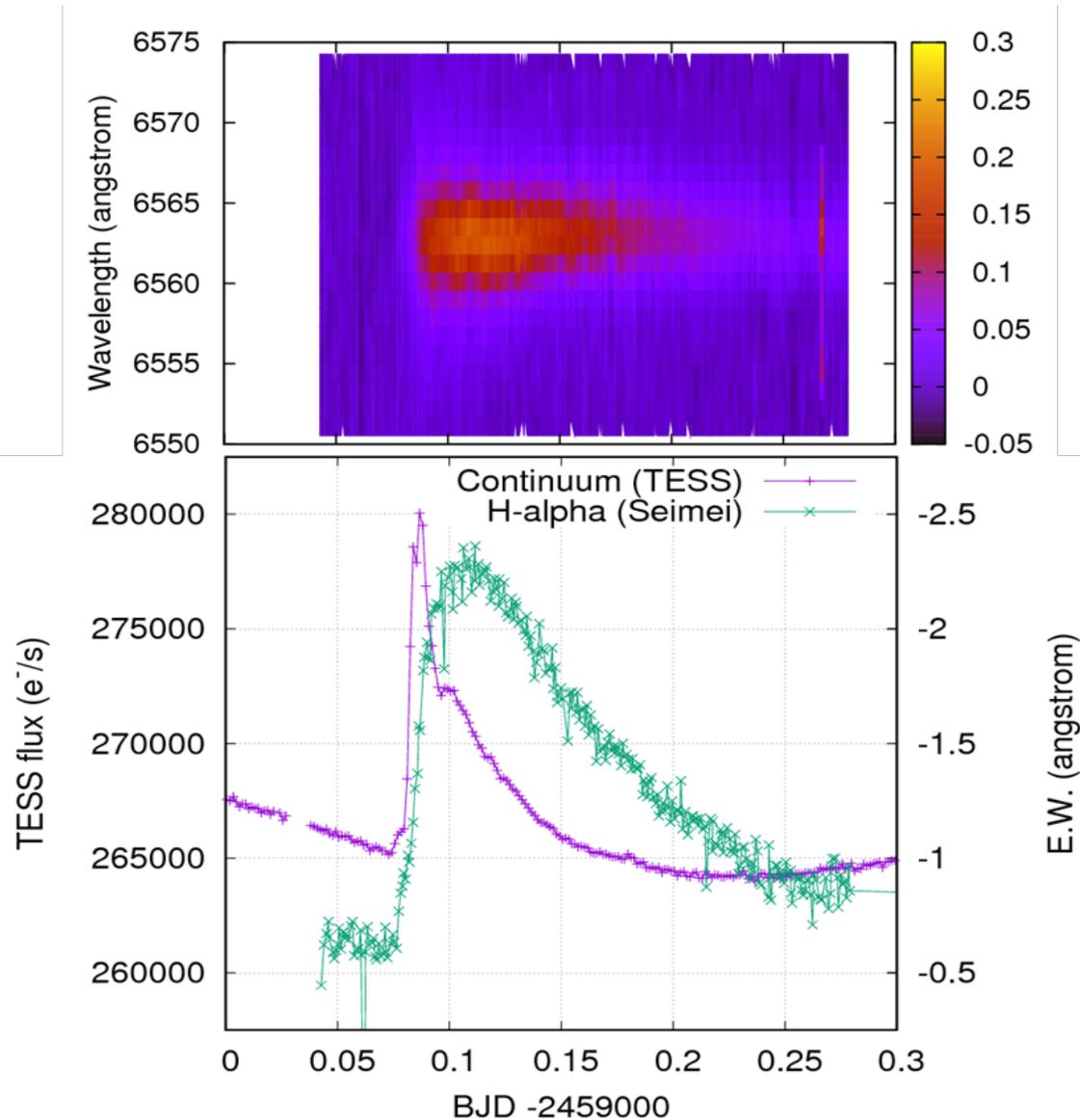


# Time variation of H $\alpha$ line (188cm + HIDES-F)



- Blue/red asymmetryはみられなかった。
- フレアの最初の方はH  $\alpha$ 線の線幅が広がっている？

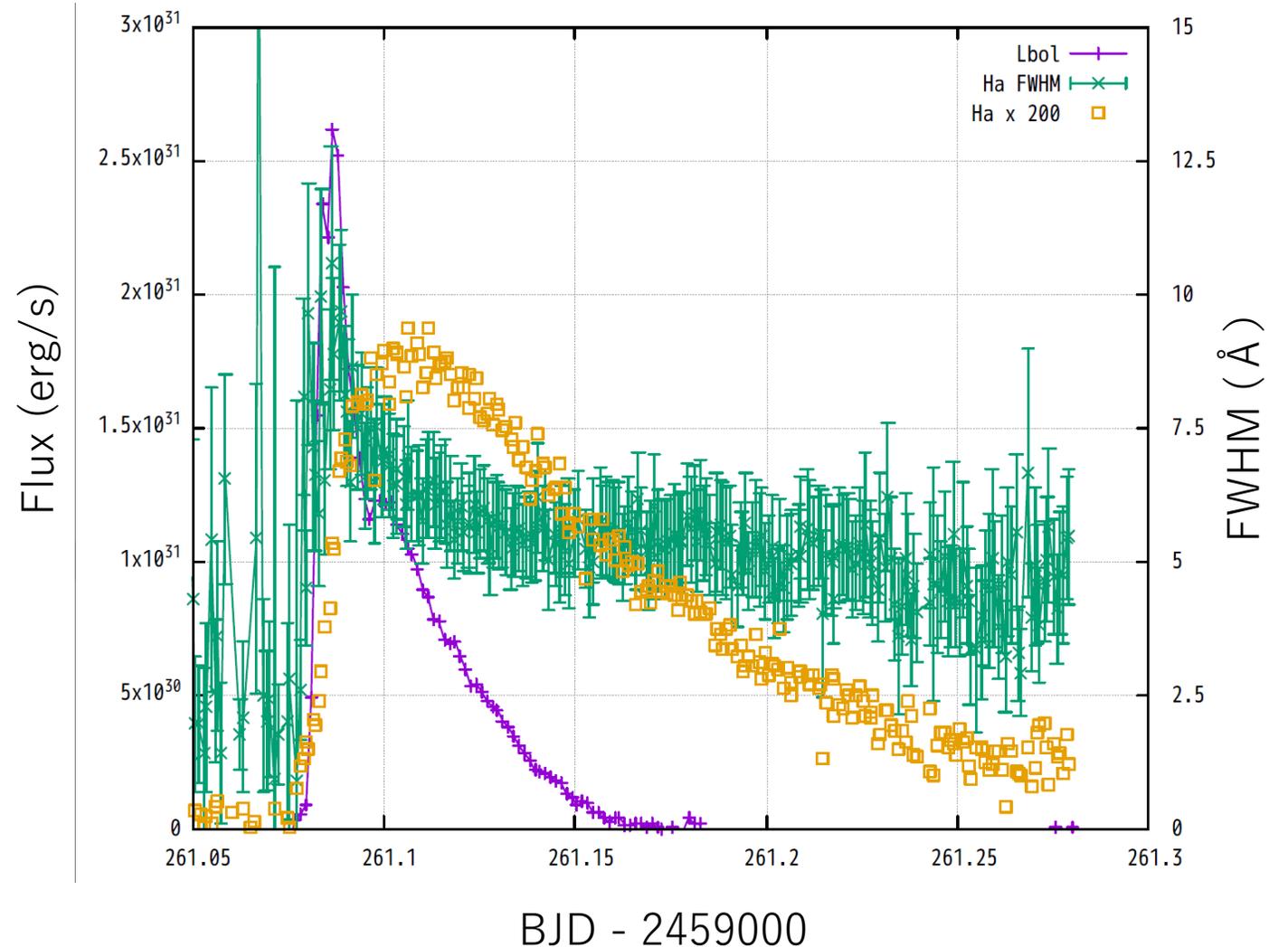
# Time variation of H $\alpha$ line (Seimei+KOOLES-IFU)



- Blue/red asymmetryはない
- H  $\alpha$  線の線幅がフレアの可視連続光のピーク付近で非常に広がっている？

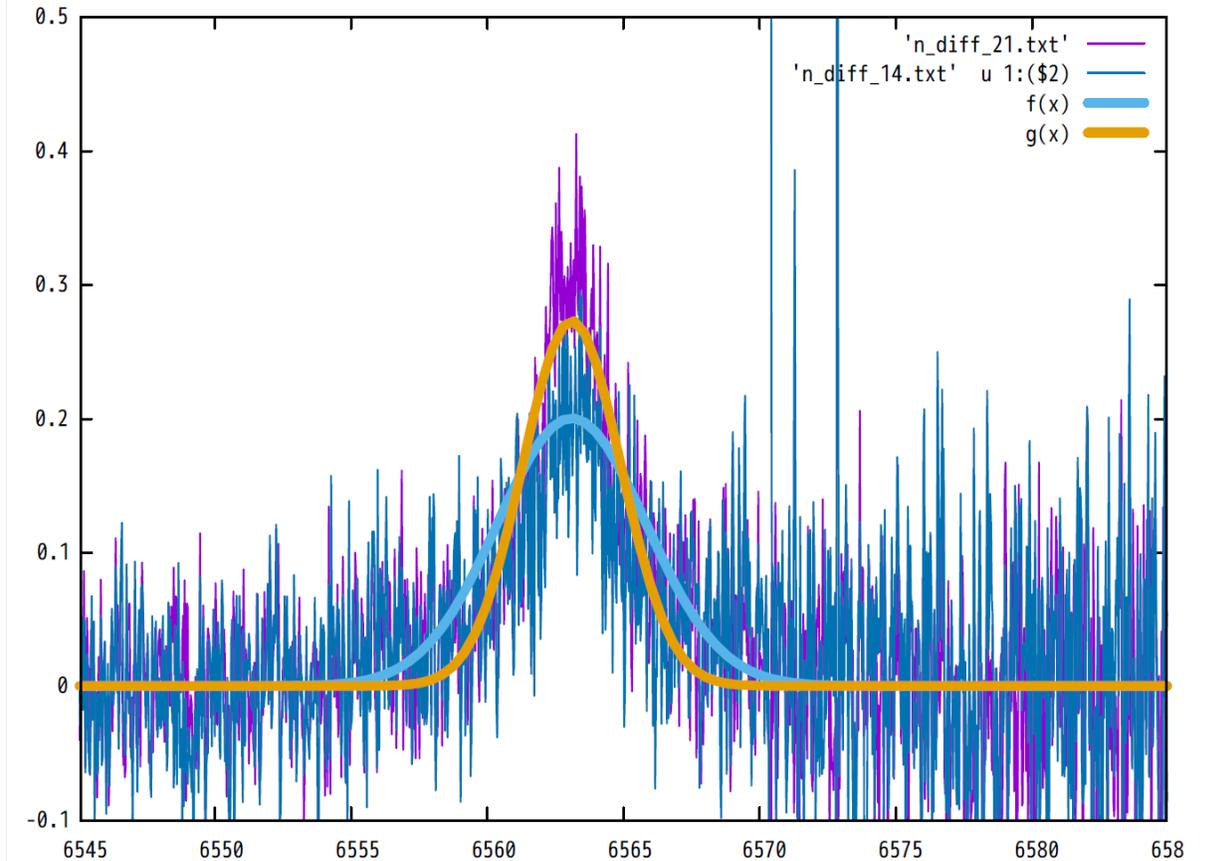
# FWHM of H $\alpha$ emission line

- KOOLS-IFUのデータから、H $\alpha$ 線のFWHMとfluxを求め、TESSの光度曲線と比較
- FWHM：連続光の光度曲線と似た変化を示す。
  - 連続光のピーク付近で最大 (~10 Å)
- H $\alpha$  flux：連続光のピークよりも30分遅れて最も大きくなる
- FWHMが大きくなっていた時間は10分程度
  - TESSのlight curveの最初のピークの幅と同程度

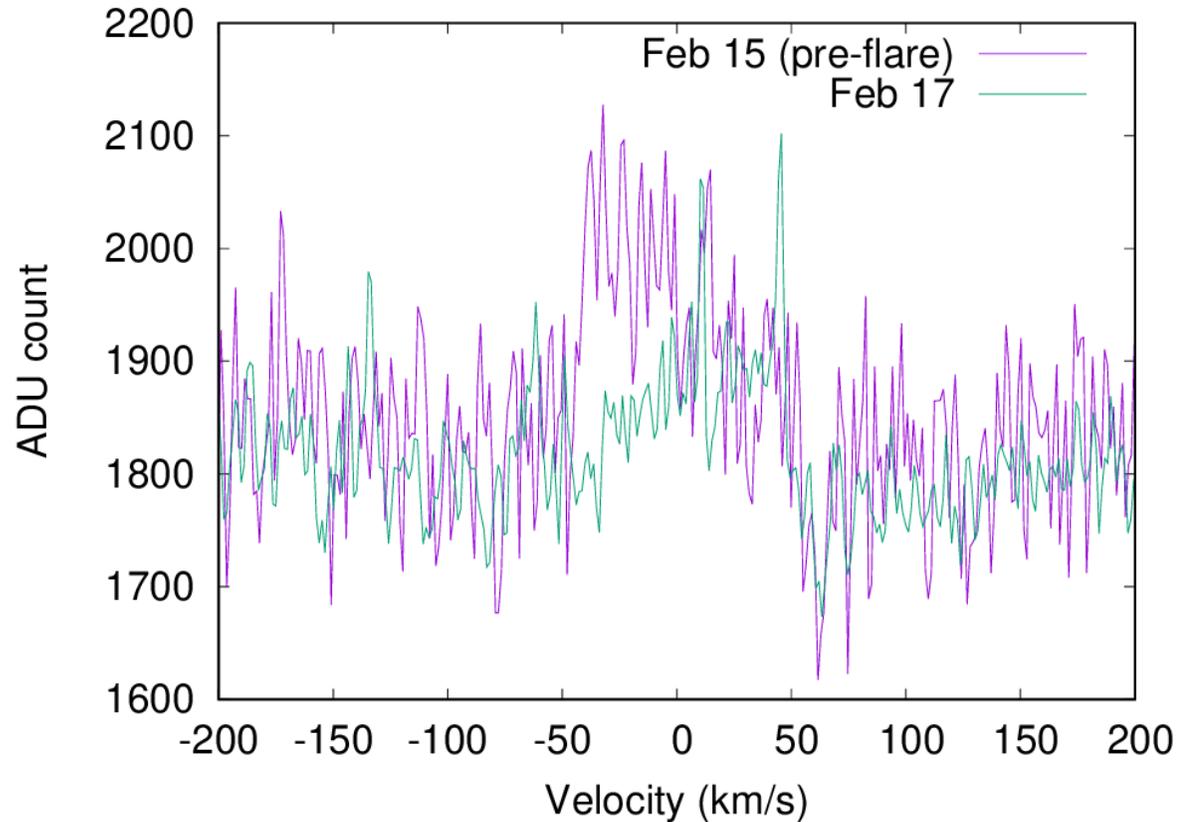


# H $\alpha$ line profile (HIDES)

- HIDESの時間分解能（～10分）では厳しい
- 可視連続光フレアのピークを含む10分積分のフレームと減光後のフレームを比較
  - H  $\alpha$  線のwing部分はあまり変わってない？
  - H  $\alpha$  線のline centerがピークでは暗い？



# 静穏成分の変動



- 2/15のフレア前の弱いH $\alpha$ 輝線が30km/s青方偏移していた。
- 2/17には輝線のfluxは下がり、10km/sほどの赤方偏移
- 自転速度と同程度
  - $v \sin I = 28.0 \text{ km/s}$  (Kovari and Weber 2004)
- 星表面の活動領域？
- Stellar prominence?

# まとめ

- LQ Hyaの $10^{35}$  ergのスーパーフレアの分光観測に成功
- H $\alpha$ 線の線幅の変化が可視連続光のフレアの光度曲線とよく対応していることが分かった。
  - M型星での例：AD Leo (Namekata+2020)と同様の変化
  - 加速された非熱的電子が彩層下部/光球上層まで突入することでH $\alpha$ 線の線幅を増大させると同時に可視連続光放射にも寄与するという描像が、K型星の2桁程度大きいスーパーフレアにも適用できる可能性を示唆
- Line asymmetryは観測されなかった
  - フレア中の顕著な低温(彩層)プラズマの視線方向の運動はなかった？
  - Line asymmetryを示すフレアの頻度や特徴は何か？
- その他
  - 188cm + HIDESでは時間分解能が足りない
  - せいめい + KOOLSは時間分解能は良いが波長分解能がもう少しほしい
    - R~100,000までは必要ない
  - せいめい望遠鏡 + H $\alpha$ 線専用の中分散(R~7000-8000)分光器？

