

せいめい望遠鏡と188cm 望遠鏡および TESS に よる恒星スーパーフレアの測光分光同時観測

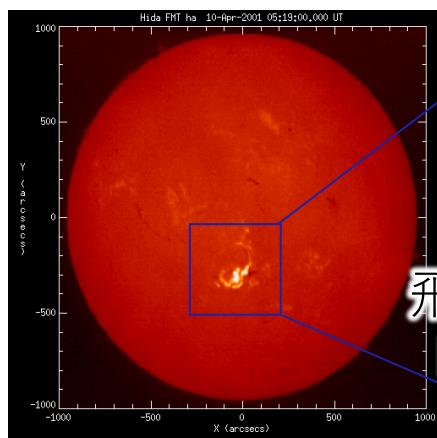
前原裕之 (NAOJ)

行方宏介 (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)

太陽/恒星フレア

○ 太陽/恒星表面での増光現象

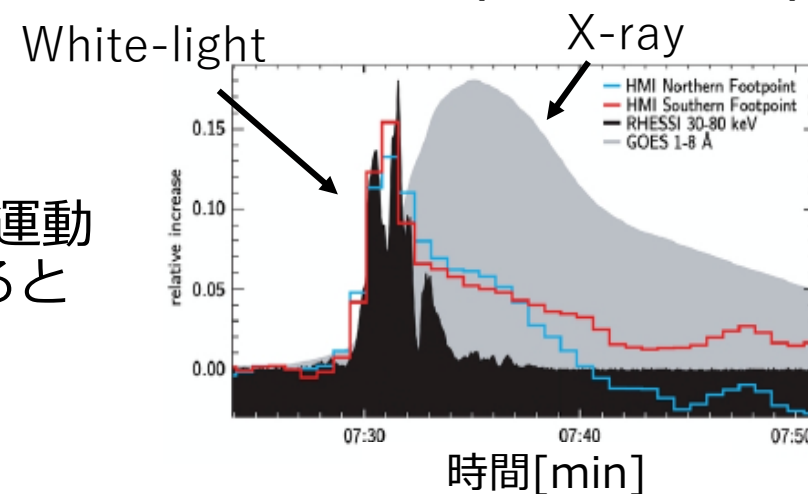
- 様々な波長での増光 (電波、可視、X線)
- 数分～数時間
- 太陽/恒星フレアは、磁場のエネルギーが、熱・運動エネルギーに変換する過程で統一的に説明できると考えられている。
- フレアに伴う放射線の照射・プラズマ噴出
⇒ **地球・社会へも大きな影響**



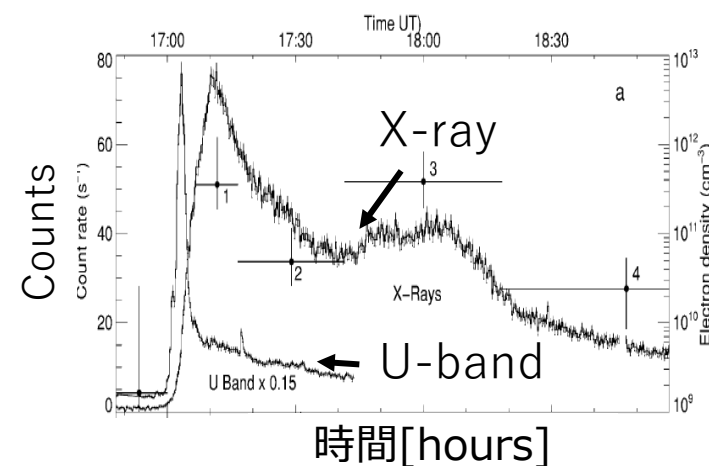
飛騨天文台
Ha観測->



太陽フレア(Martinez+12)



恒星フレア (Guedel+02)

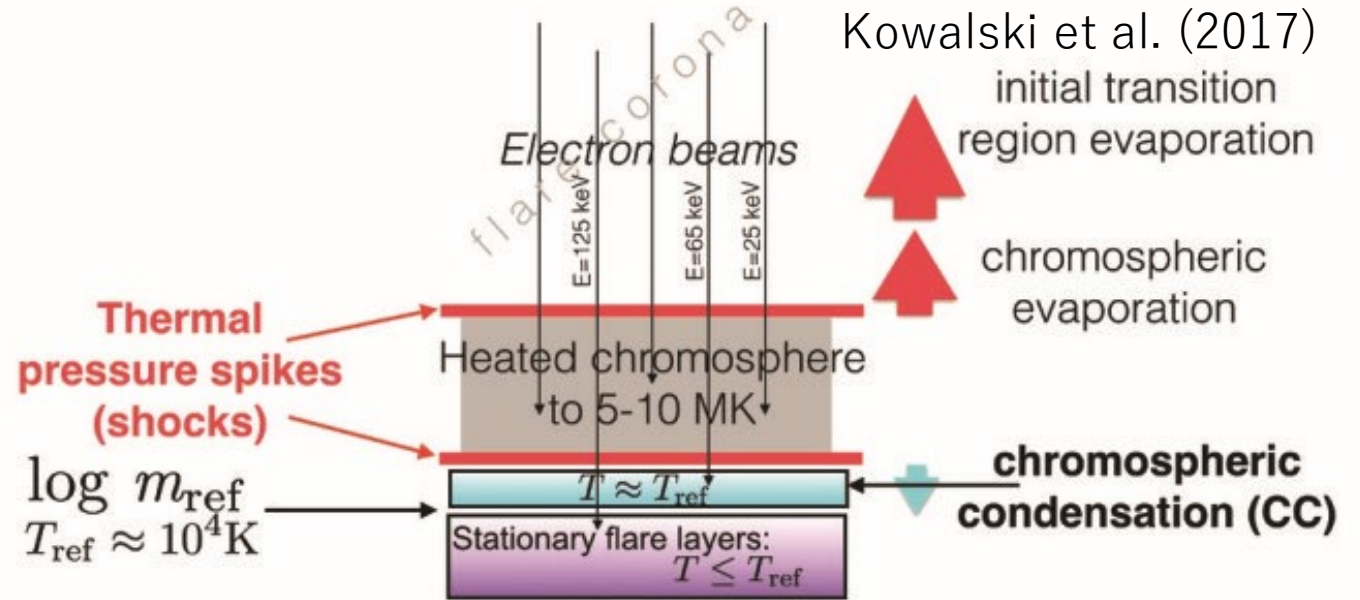


フレアに伴う彩層lineの変化

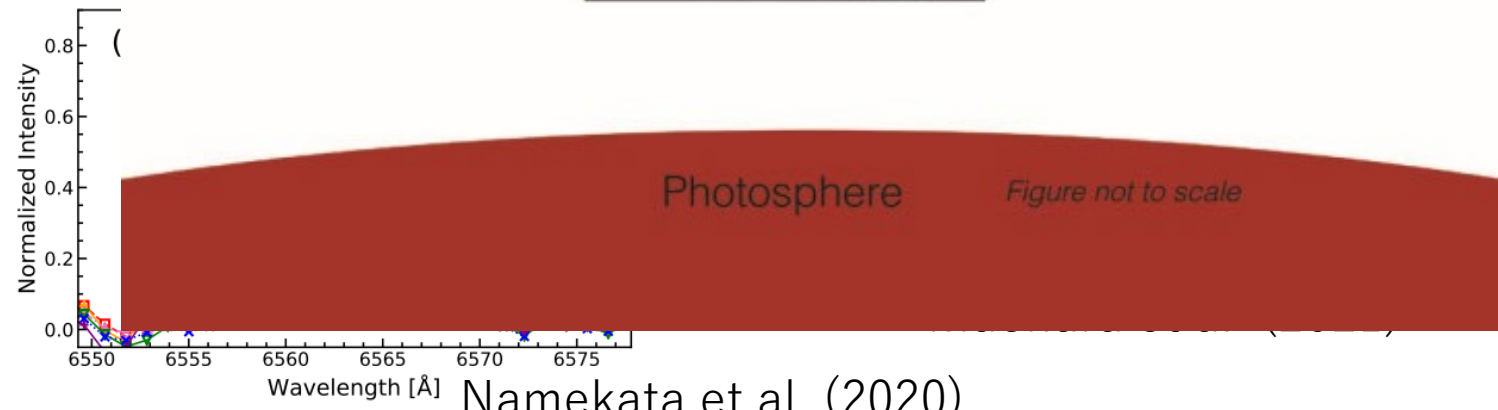
29 Dec. 1982

1

- Red asymmetry
 - Chromospheric condensation
- Blue asymmetry
 - Chromospheric evaporation
 - Prominence eruption?
 - for stellar flares on M-type stars
- Line broadening
 - Stark effect?
 - opacity effect?



Kowalski et al. (2017)



Namekata et al. (2020)

彩層～光球でのエネルギー解放やプラズマの運動を解明するうえで重要

LQ Hya

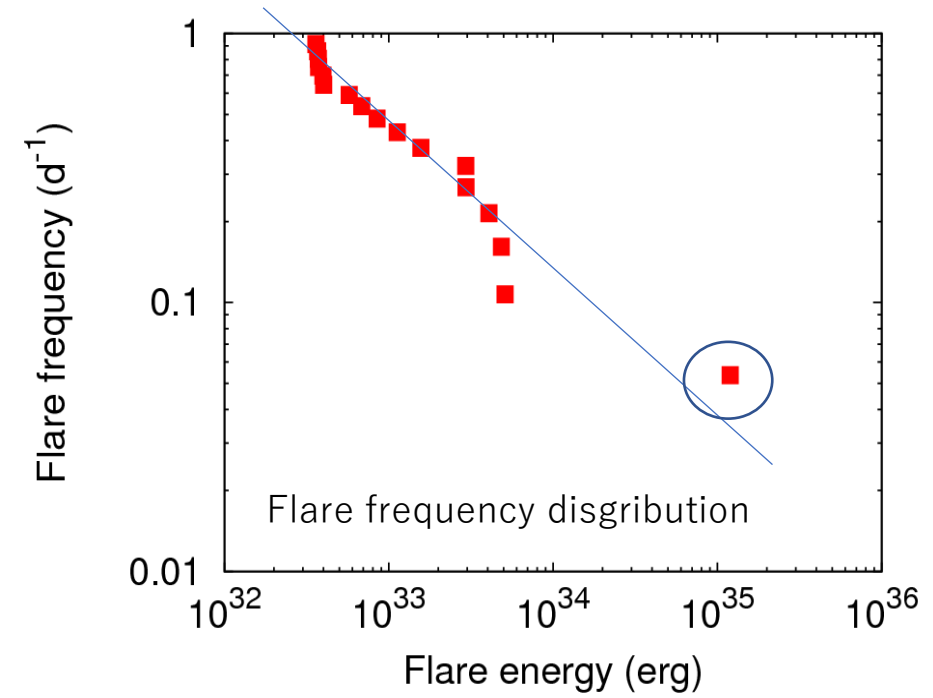
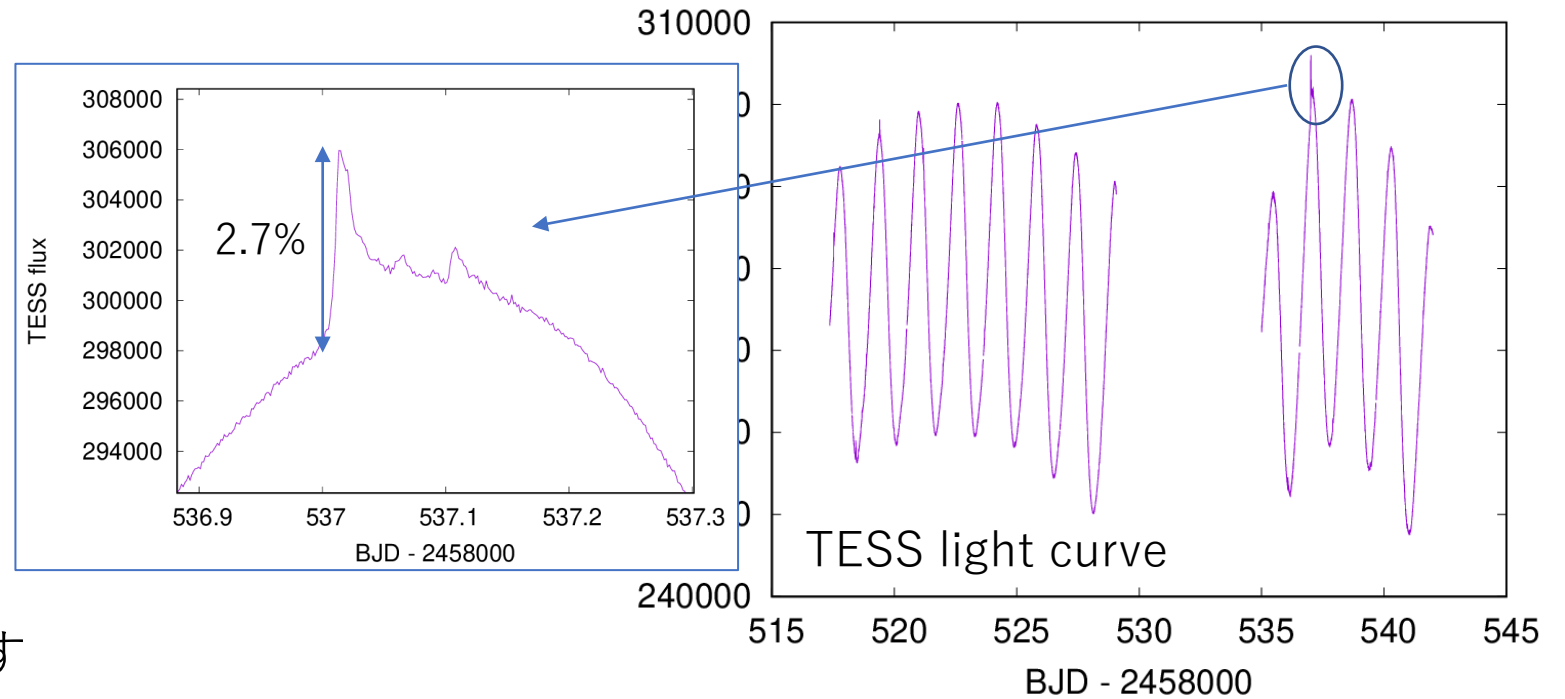
- 若いK型主系列星 (K1Vp)

- T_{eff} : ~ 4900 K
- R_* : $0.74 R_{\text{Sun}}$
- M_* : $0.8 M_{\text{Sun}}$
- Age : 84 Myr
- 自転周期 : 1.60日
- 強いX線放射/彩層輝線を示す

- TESSによる観測 (2019年)

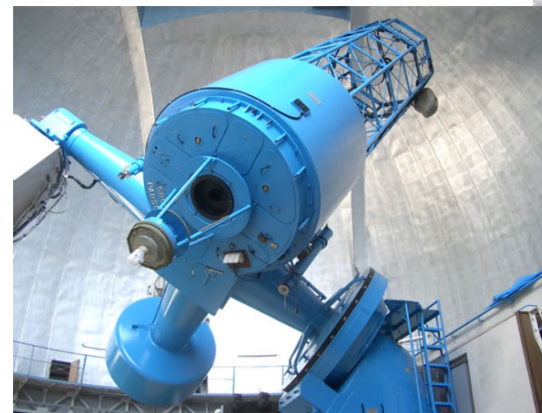
- 10^{35} ergクラスのスーパーフレアを起こしていた

- 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

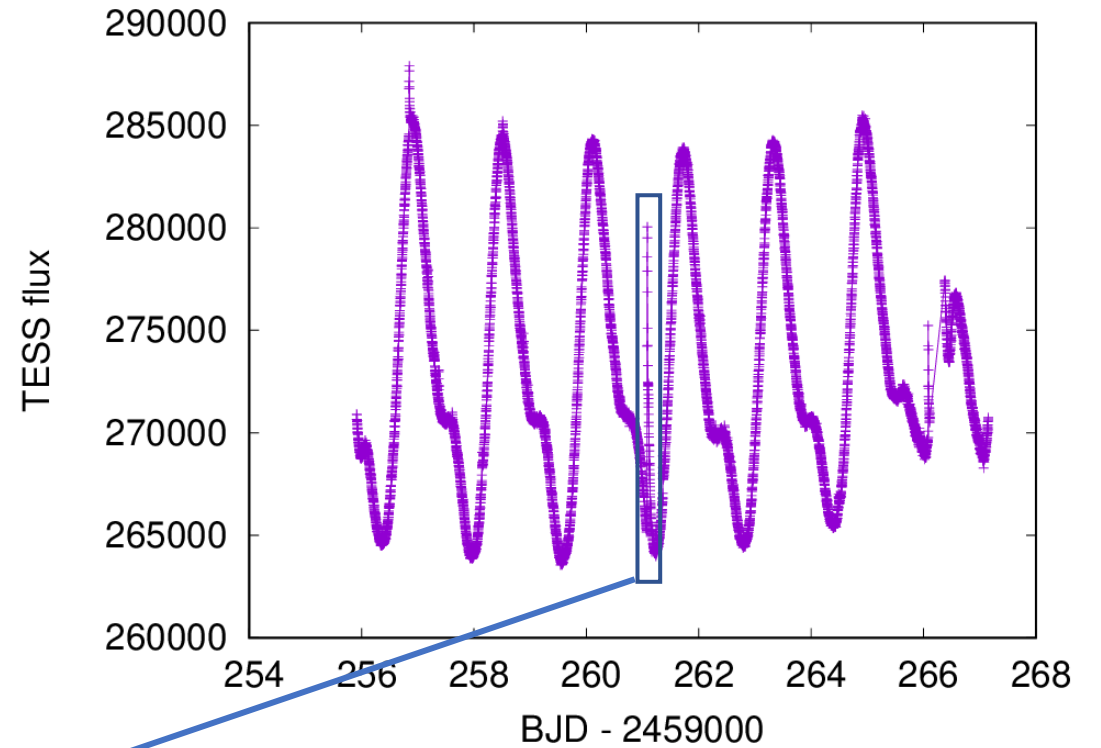
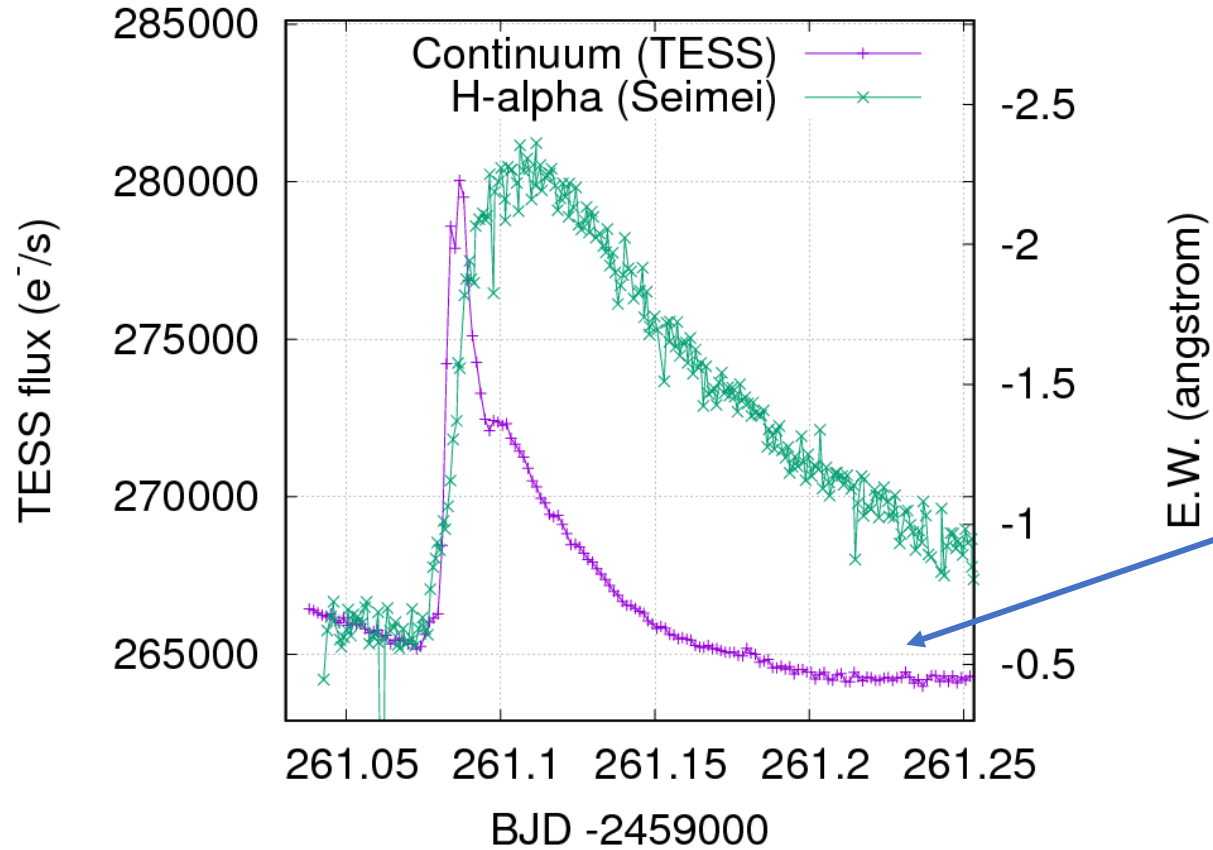


観測

- 測光：TESS Cycle 2に合わせた観測
 - 2021年2 - 3月
 - 高精度の測光観測と同時に分光観測
 - 測光精度： $<10^{-3}$ (太陽型星なら>X100クラスフレアなら検出できる)
 - 時間分解能：120 sec
- 分光(R~2000)：せいめい望遠鏡 + KOOLS-IFU (14.5夜)
 - 2021年2月13日 - 3月7日
 - 高S/N(>300)、高時間分解能(~70sec)
- 分光(R~55000)：188cm望遠鏡 + HIDES-F (3夜)
 - 2021年2月15 - 17日
 - S/N~30-40、時間分解能~10 min.

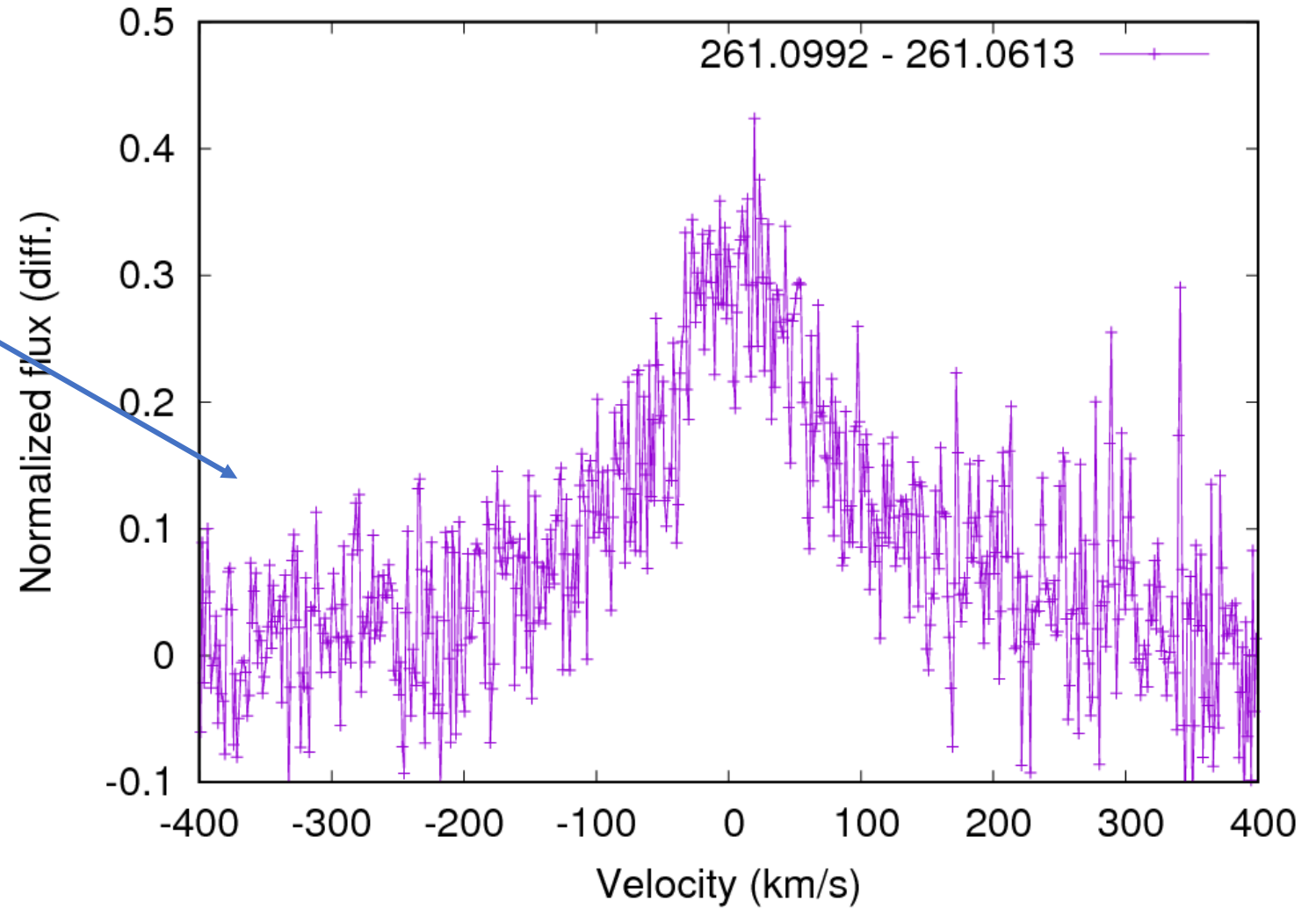
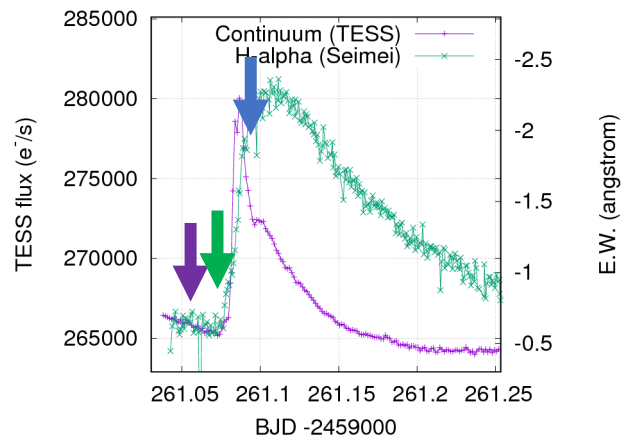
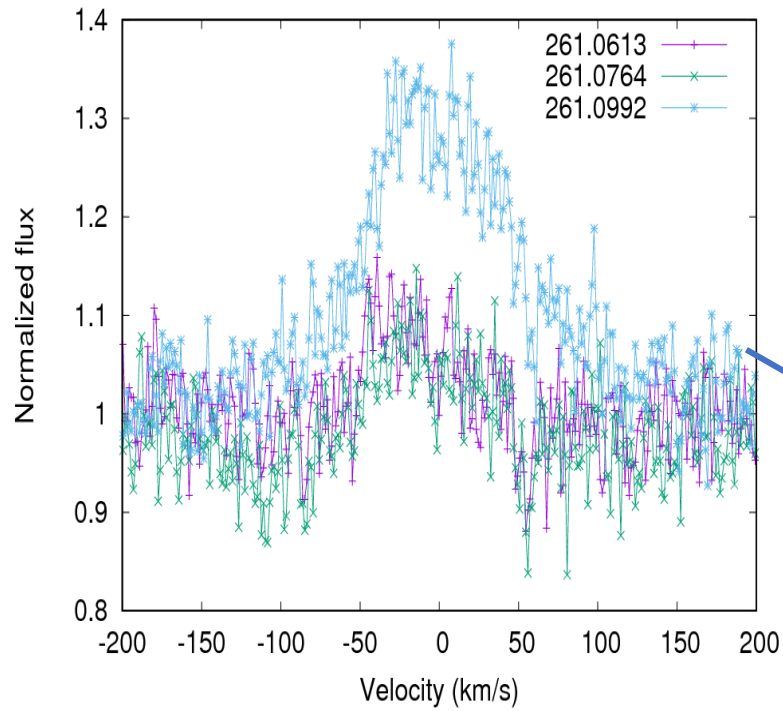


Superflare on Feb. 15

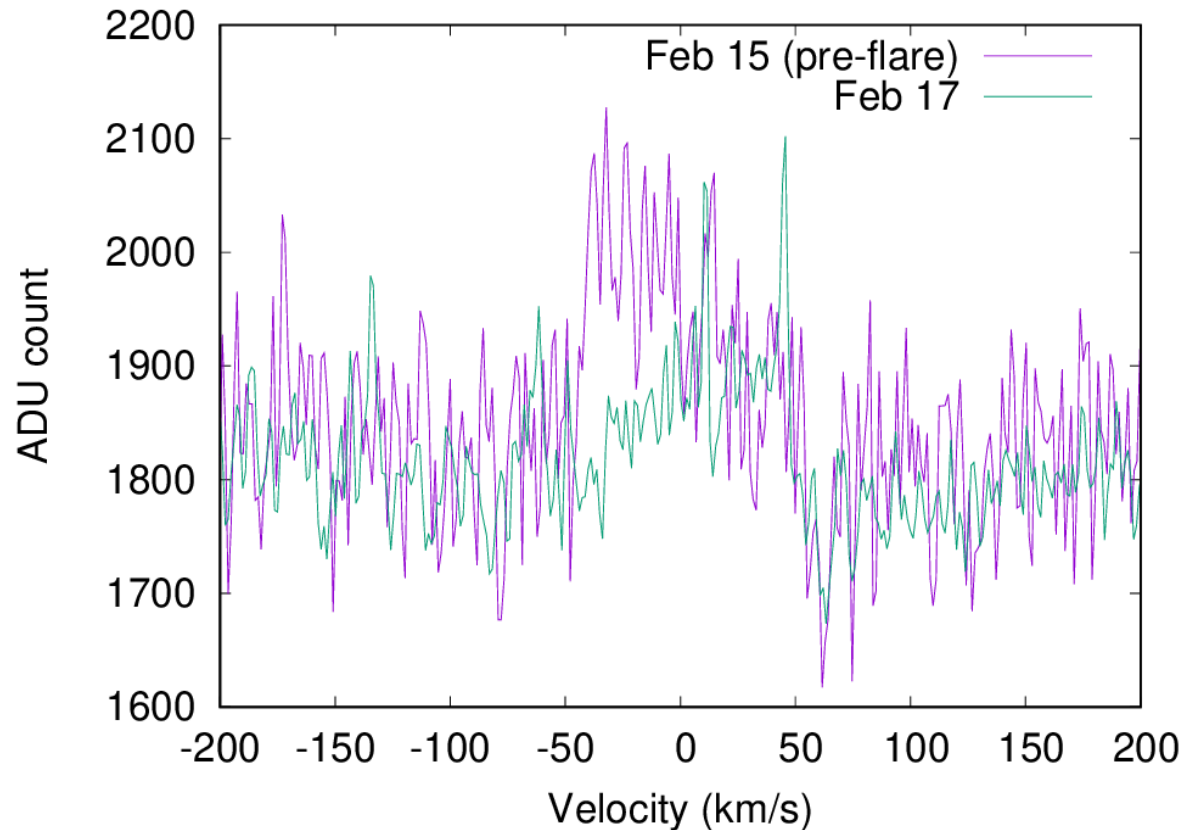


- スーパーフレアの観測に成功
 - $E_{\text{bol}} = 1.0 \times 10^{35}$ erg
- H α 線でフレアの発生前から終了近くまで全経過を観測できた。

H α line profile observed with HIDES-F

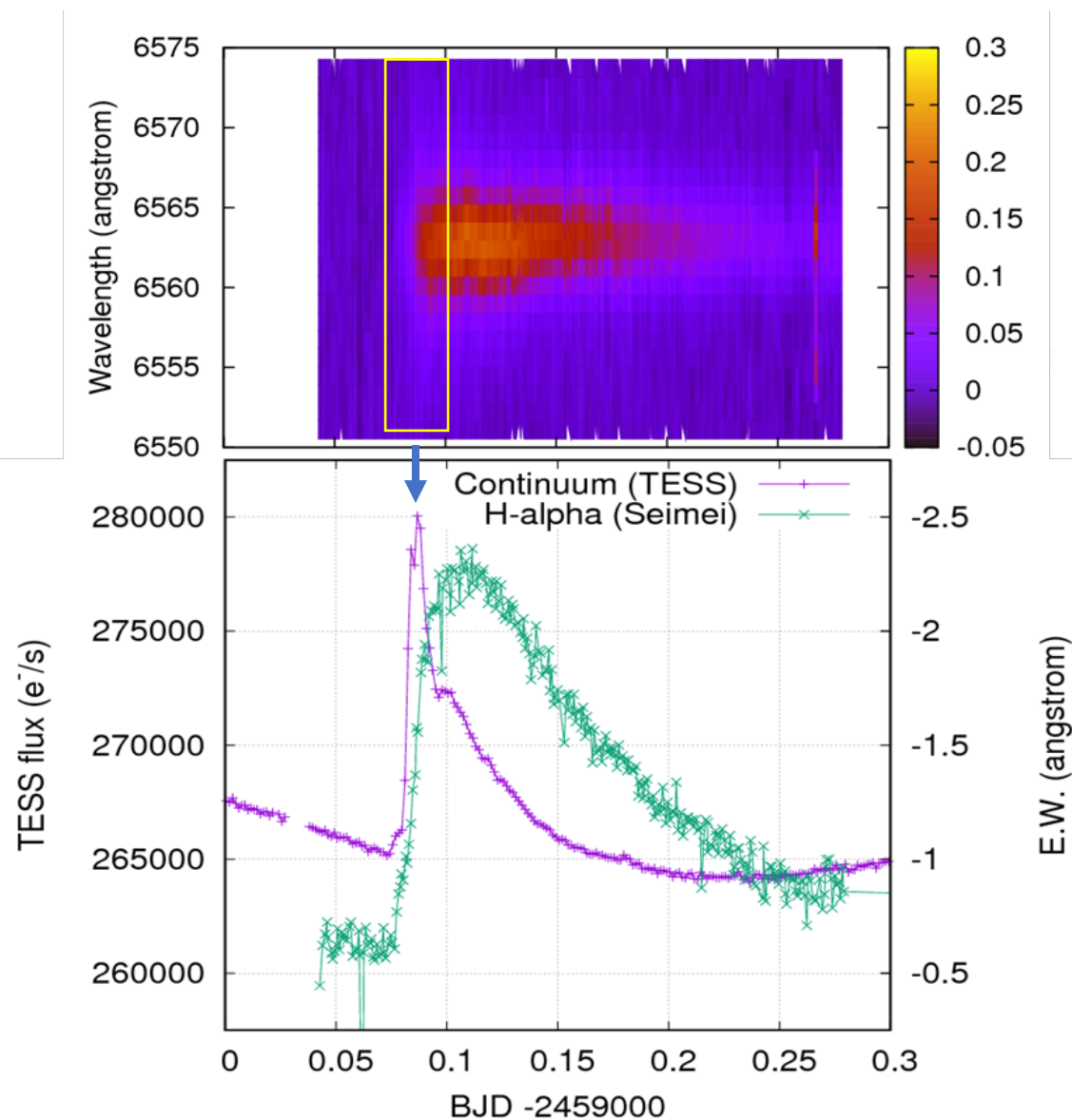


静穏成分の変動 (with HIDES-F)

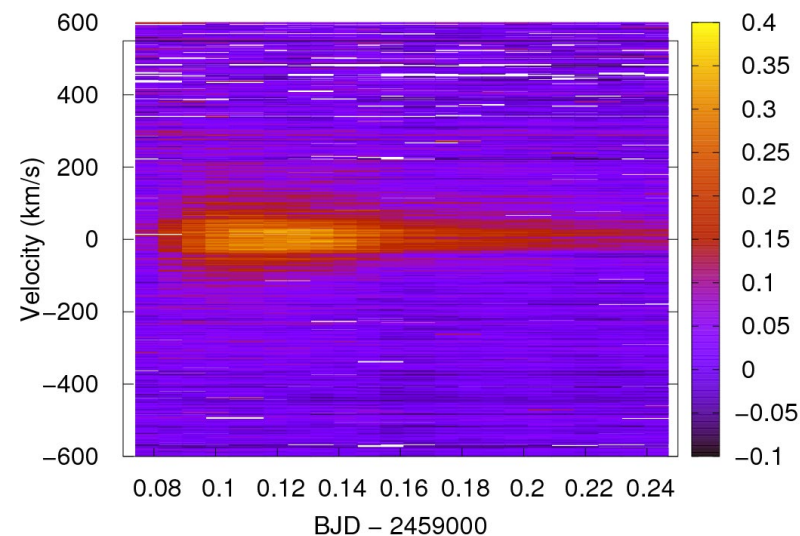


- 2/15のフレア前の弱いH α 輝線が30km/s青方偏移していた。
- 2/17には輝線のfluxは下がり、10km/sほどの赤方偏移
- 自転速度と同程度
 - $v \sin I = 28.0 \text{ km/s}$ (Kovari and Weber 2004)
- 星表面の活動領域？
- Stellar prominence?
- フレア成分は視線速度 $\sim 0\text{km/s}$
 - フレア前のemission成分とは異なる場所で発生したことを示唆

Time variation of H α line



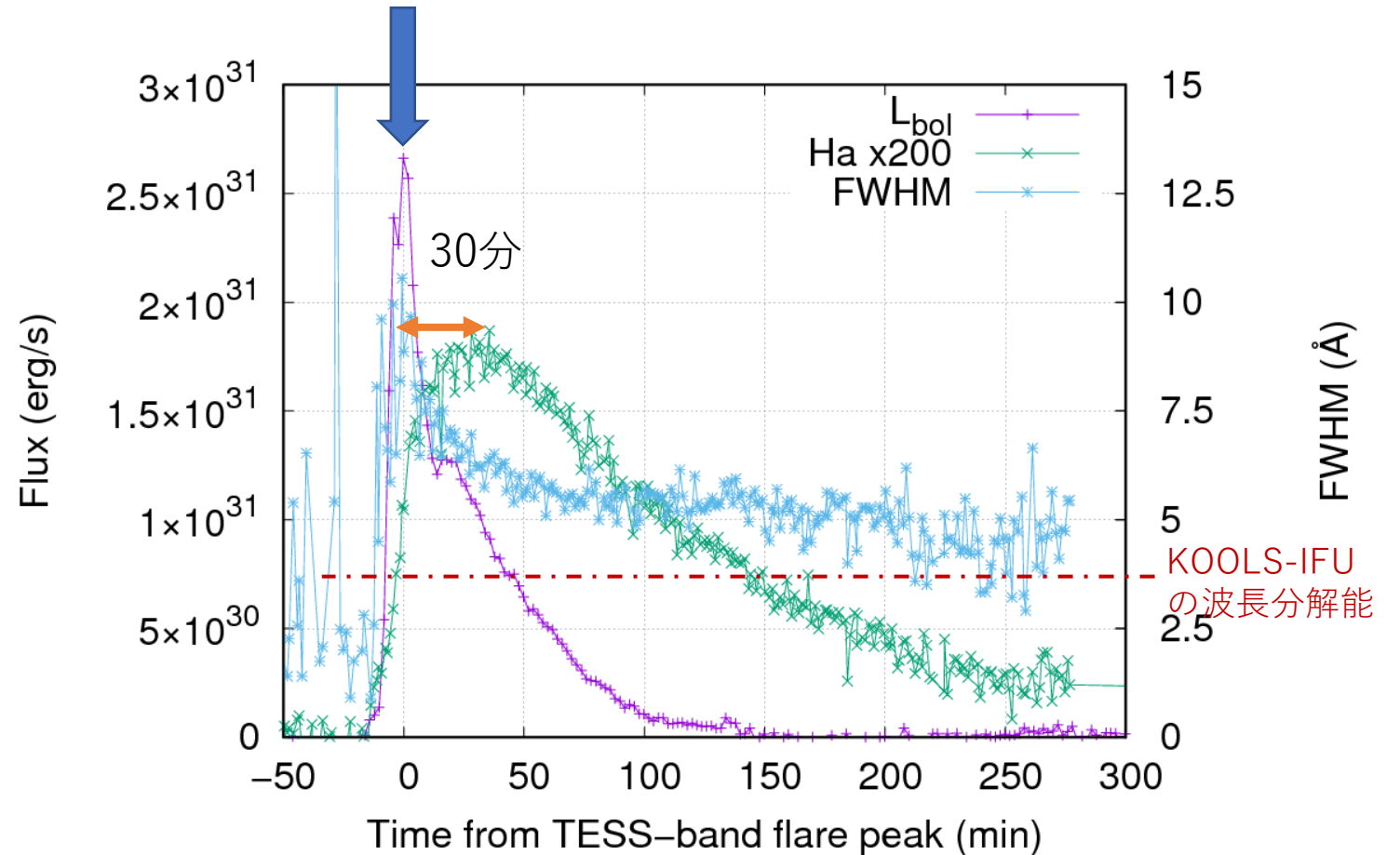
- フレアに伴うH α 線のblue / red asymmetryはなかった
 - HIDES-Fによる高分散データでも同様の結果



- H α 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た

FWHM of H α emission line during a superflare

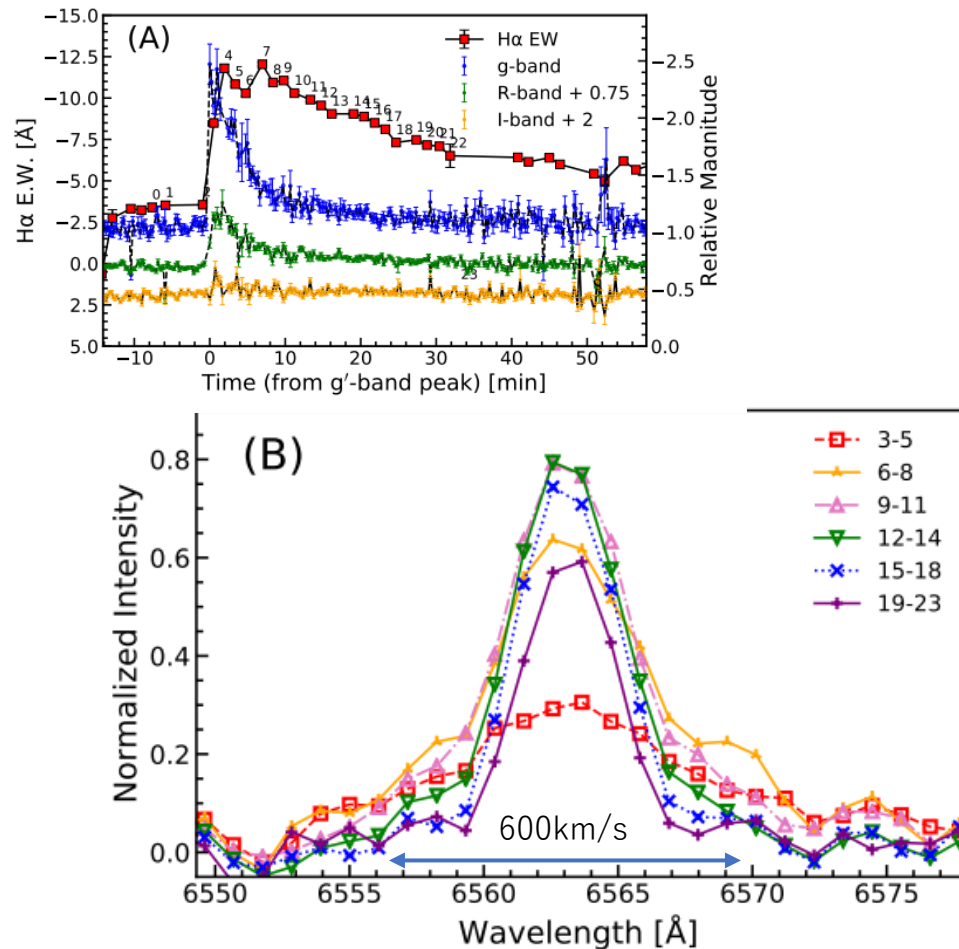
- KOOLS-IFUのデータから、H α 線のFWHMとfluxを求め、TESSの光度曲線と比較
- FWHM：連続光の光度曲線と似た変化を示す。
 - 連続光のピーク付近で最大 (~10 Å)
- H α flux：連続光のピークよりも30分遅れて最も大きくなる



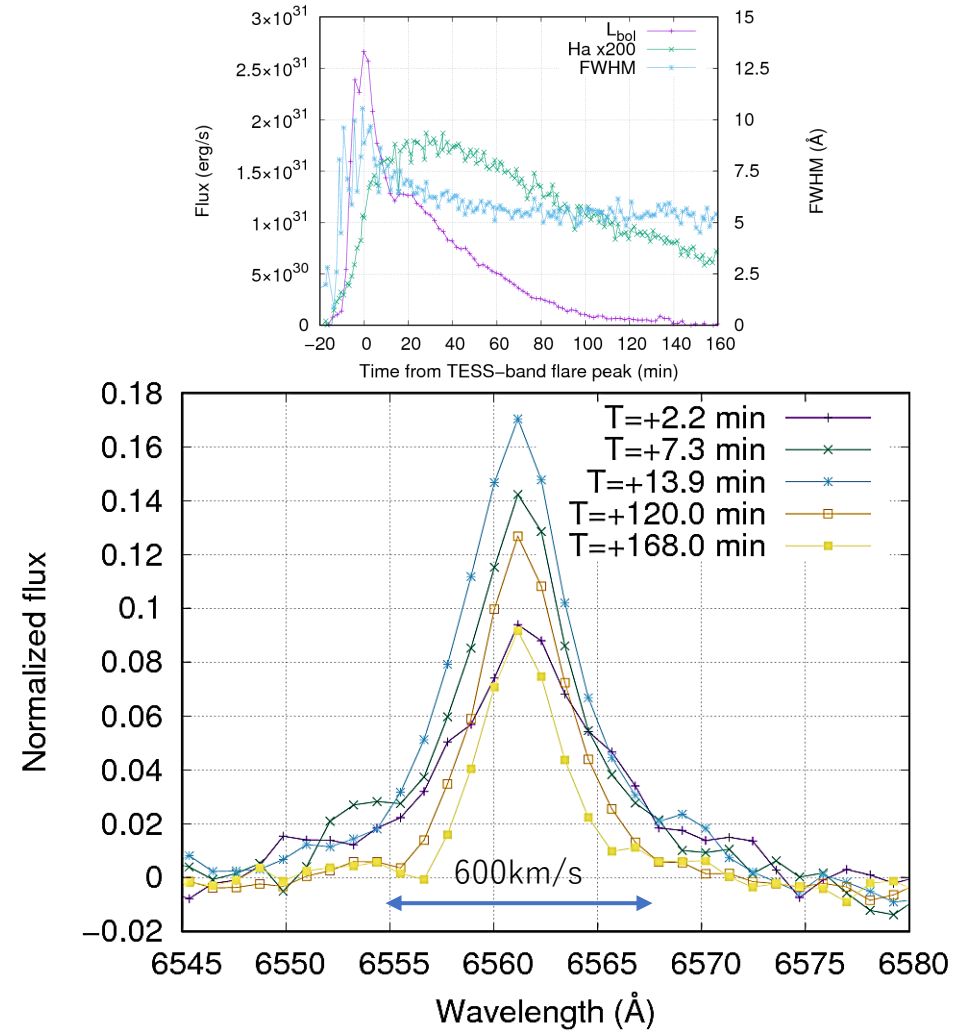
M型星AD Leoのスーパーフレアとの比較

- エネルギーは2桁程度違うがフレアピーク付近の線幅には大きな違いはない

AD Leo : Namekata et al. (2020)
($E_{\text{flare}}=10^{33}$ erg)



LQ Hya : This work ($E_{\text{flare}}=10^{35}$ erg)

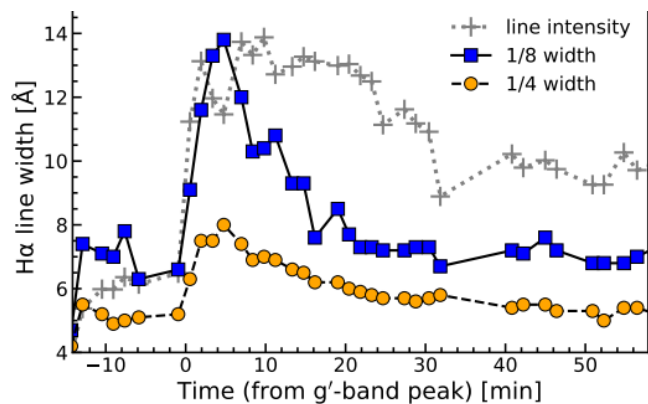
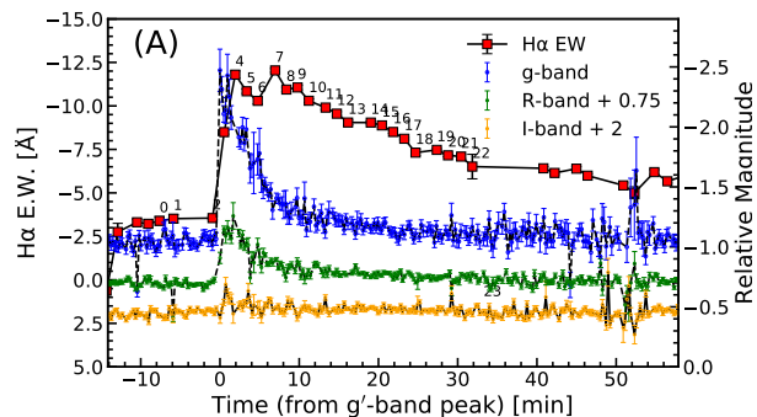


M型星AD Leoのスーパーフレアとの比較

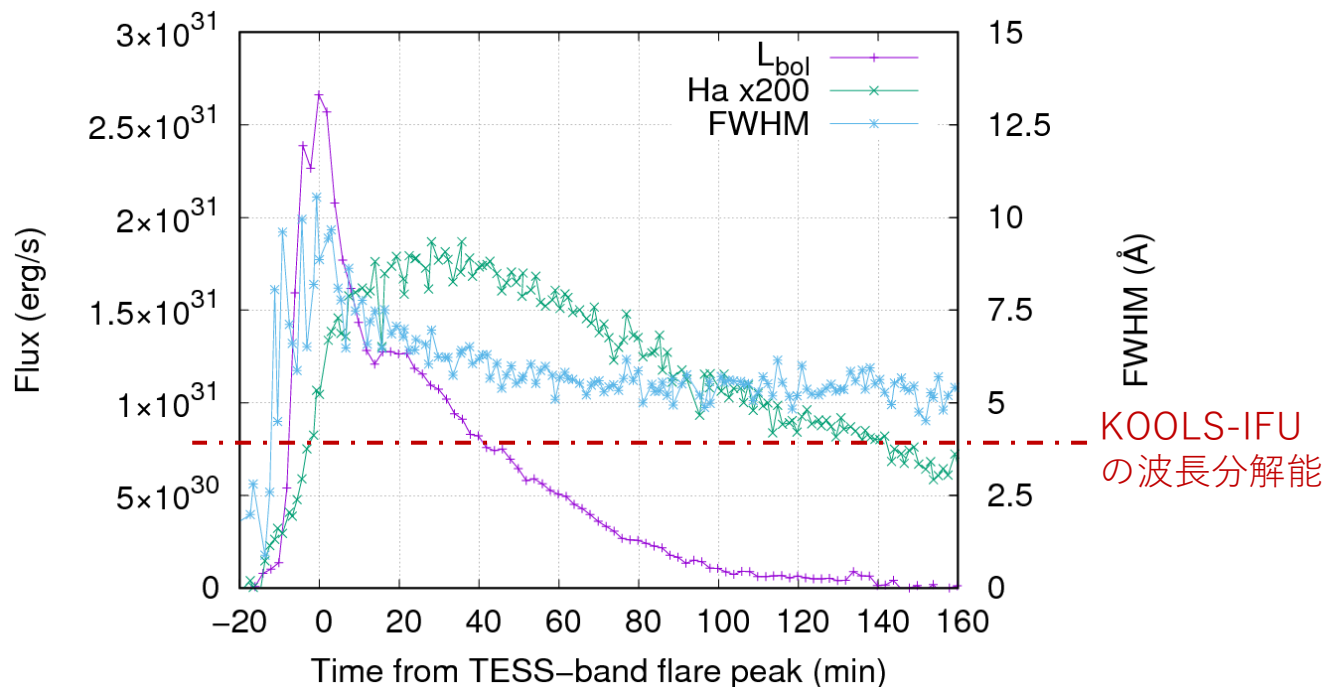
- 線幅の時間変化

- 可視連続光ピークと線幅最大となる時刻の差: ~5 min
- LQ Hyaの方がフレアの継続時間が長い (フレアエネルギーが大きいため)

$$\tau_{\text{flare}} \propto E_{\text{flare}}^{1/3} \text{ (Maehara+2015)}$$



AD Leo : Namekata et al. (2020)



LQ Hya : This work

観測結果のまとめ

- LQ Hyaの 10^{35} ergのスーパーフレアの分光観測に成功
- H α 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
 - 線幅は同程度
 - 線幅の時間変化：エネルギーが大きいLQ Hyaのフレアのほうが継続時間が長い
 - 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 α 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
 - 非熱的電子のエネルギースペクトルは同程度だが、彩層下部/光球上層への非熱的電子の突入が長時間続いた？
 - フレアエネルギーの違い→フレアで光る領域の状態は同じ・面積が大きい
 - 分光観測であっても時間分解能は非常に重要
 - 10分の時間分解能では分からない変化が1分の時間分解能なら(分散が低くても)とらえられた
- Line asymmetryは観測されなかった
 - フレア中の速度の大きい低温(彩層)プラズマの視線方向の運動はなかった？
 - 今後の課題：line asymmetryを示すフレアの頻度や特徴