

光赤外線天文学大学間連携とTESSによるM型フレア星の測光・分光同時観測

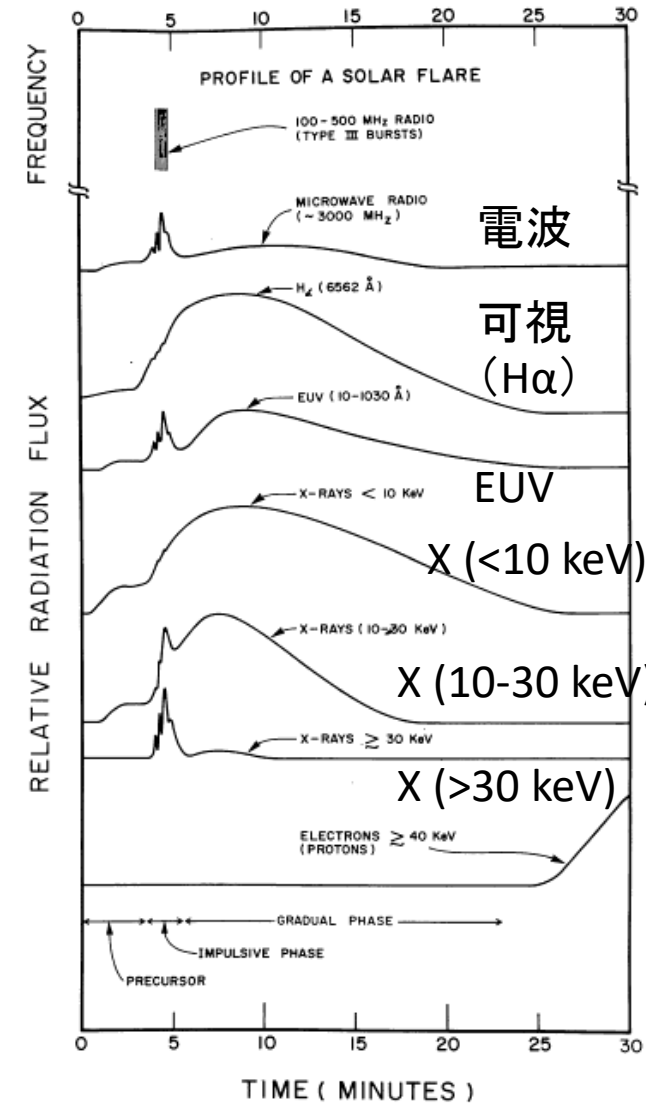
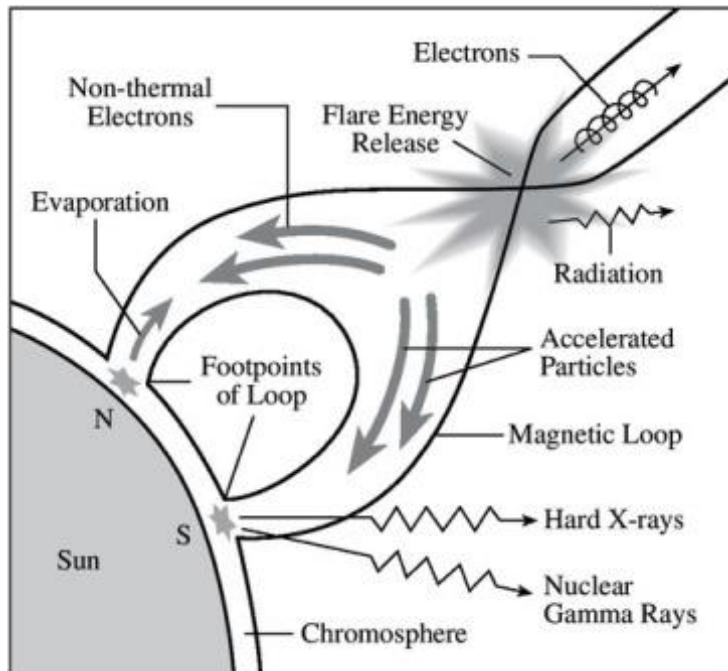


前原裕之(国立天文台),

本田敏志(兵庫県立大学), 野津湧太(University of Colorado), 野津翔太(Leiden Observatory) 行方宏介, 幾田佳, 野上大作, 柴田一成, 山中雅之(京都大学), 加藤則行, 大島誠人(兵庫県立大学), 村田勝寛, 飯田康太, 大枝幹(東京工業大学), 高木健吾, 笹田真人, 秋田谷洋(広島大学), 他 光赤外線大学間連携メンバー

Solar/Stellar flares

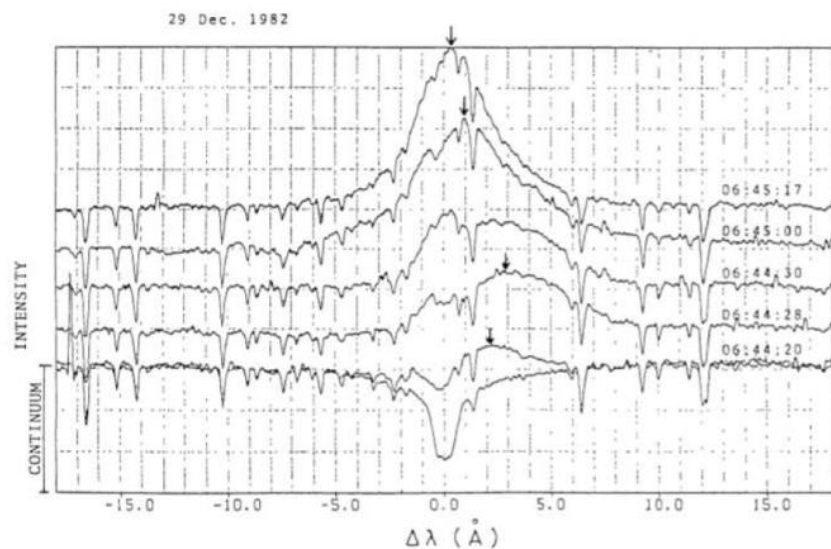
- 太陽/恒星の大気(コロナ)中で起こる爆発現象
 - 電波から硬X線で増光
- 磁気リコネクションで黒点付近の磁場のエネルギーを解放することで起こる



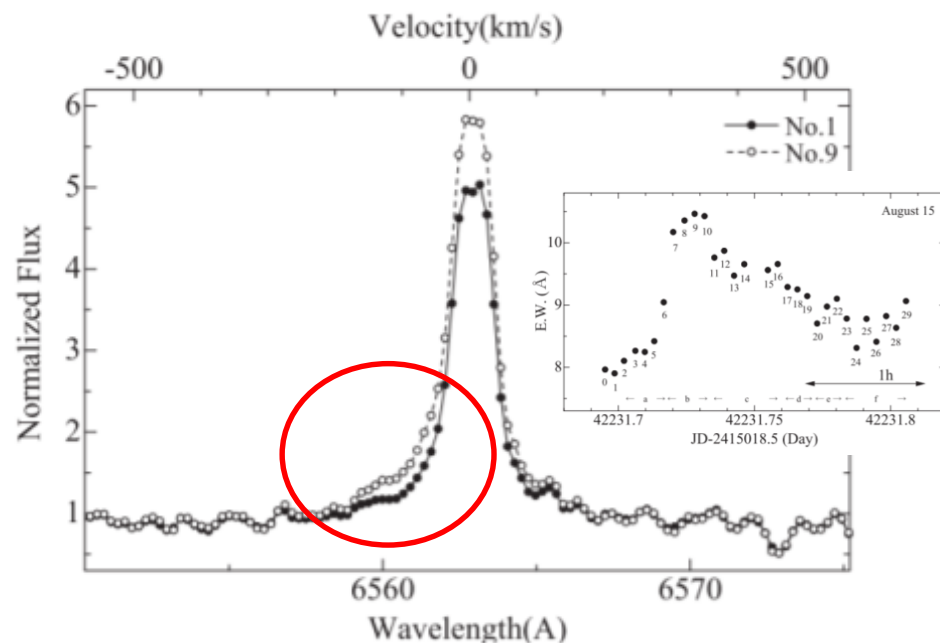
Kane (1974)

Red/blue asymmetry

- フレア中にH α 輝線などの彩層線に赤方/青方偏移した超過成分がみられることがある



太陽フレアで観測されたH α 線のred asymmetryの例 (Ichimoto & Kurokawa 1984)



恒星フレアで観測されたH α 線のblue asymmetryの例 (Honda et al. 2018)

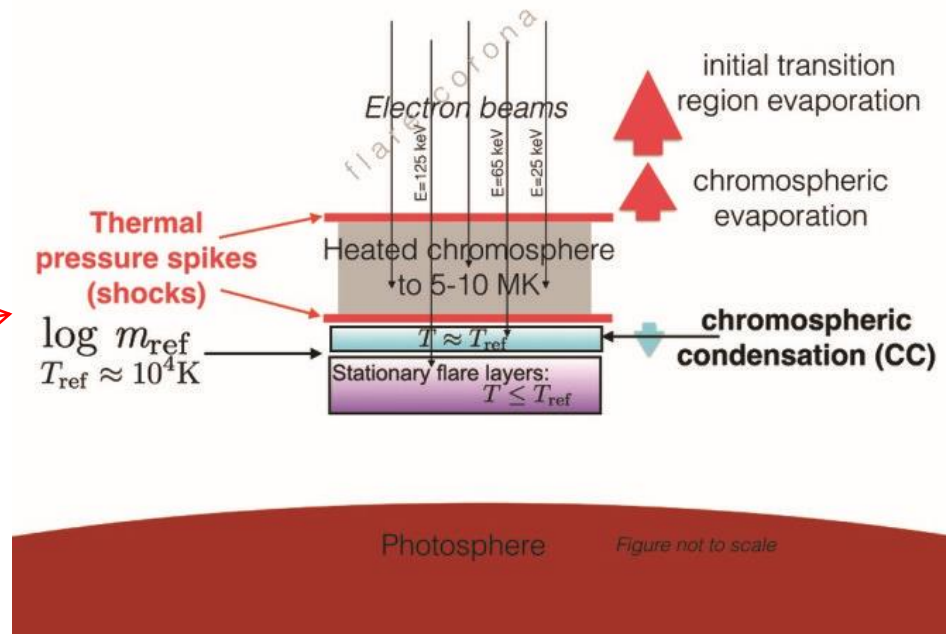
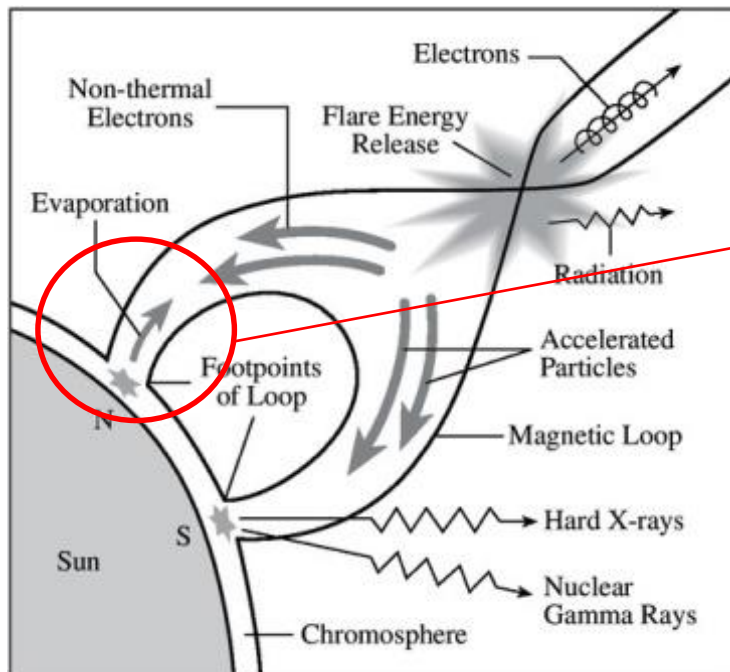
Red/blue asymmetry

- Red asymmetry

- 磁気リコネクションによって生じた高エネルギーの電子ビームが彩層を加熱・圧縮することで生じる下降流?

- Blue asymmetry

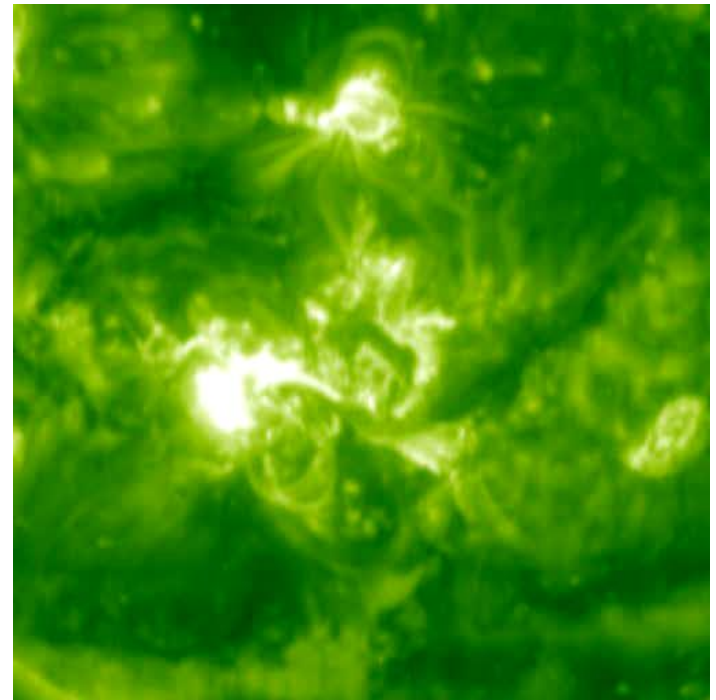
- 彩層蒸発による上昇流?



Kowalski et al. (2017)

Stellar CME

- Blue asymmetry: フレアに伴うプラズマ噴出と関連？
 - M型星周りの惑星大気への影響を考える上でも重要



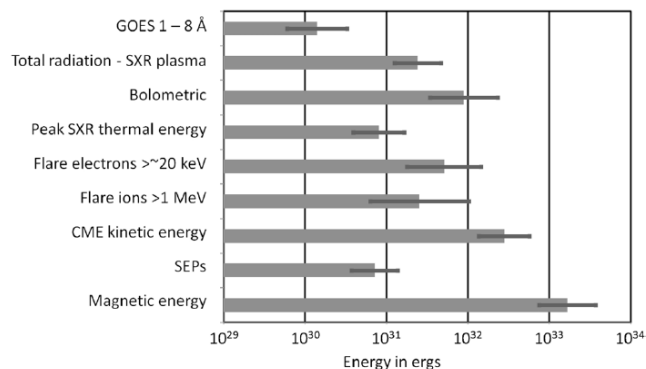
恒星フレアに伴う噴出現象

- 磁場エネルギー → 熱エネルギー(可視、X線放射)

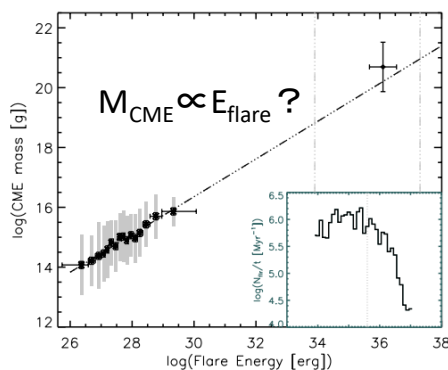


運動エネルギー(filament eruption, CME, etc.)

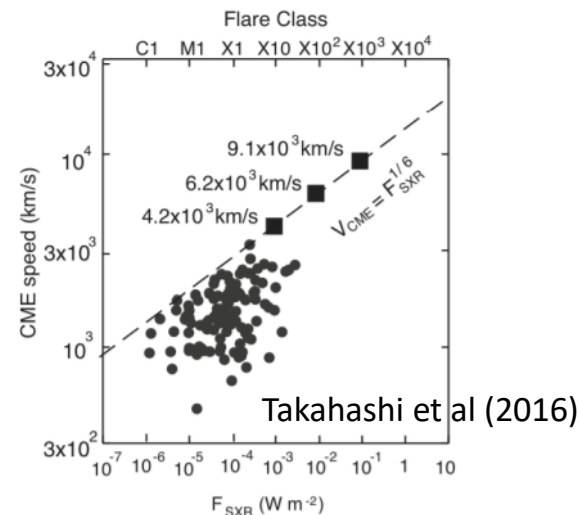
- どの程度が運動エネルギーに分配されるか？
 - 太陽フレアでは調べられているが、恒星フレアの場合はCMEの確実な直接観測がなくよく分かっていない
 - CME mass, velocityなどがスーパーフレアの場合はどうなるか？
 - 極端宇宙天気現象の影響評価



Emslie et al., ApJ, 759, 71 (2012)

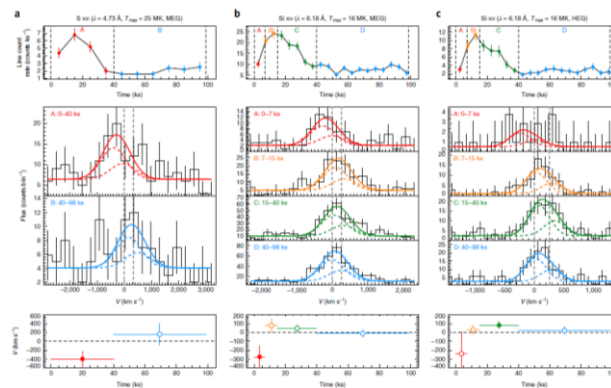
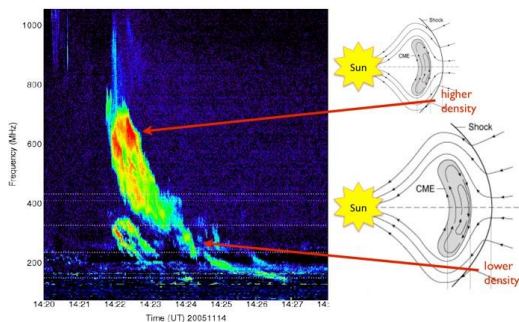


Aarnio et al. 2012, ApJ, 760, 9

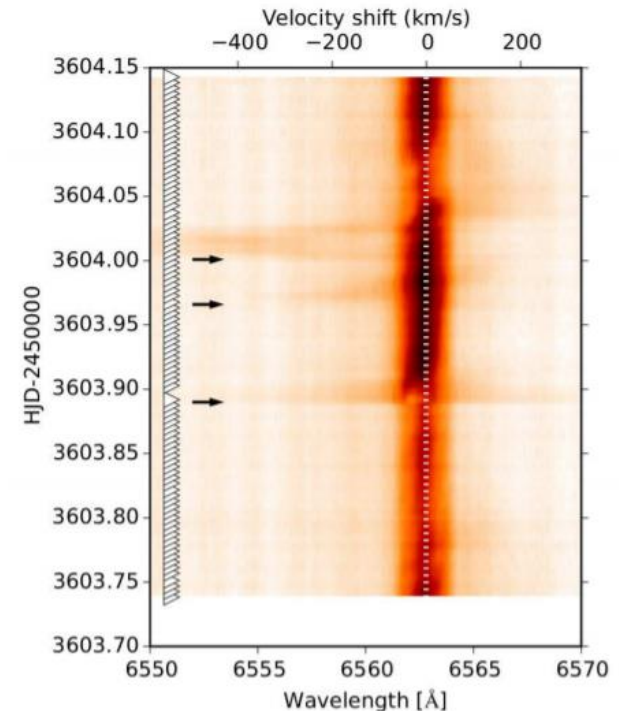


恒星フレアに伴う噴出現象

- フレアの可視分光
 - Prominence eruption?
- X線分光
 - X-ray plasma ejection?
- 電波
 - Type II burst?
 - 恒星フレアでは
未検出



Argiroffi et al. (2019)



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

観測の概要

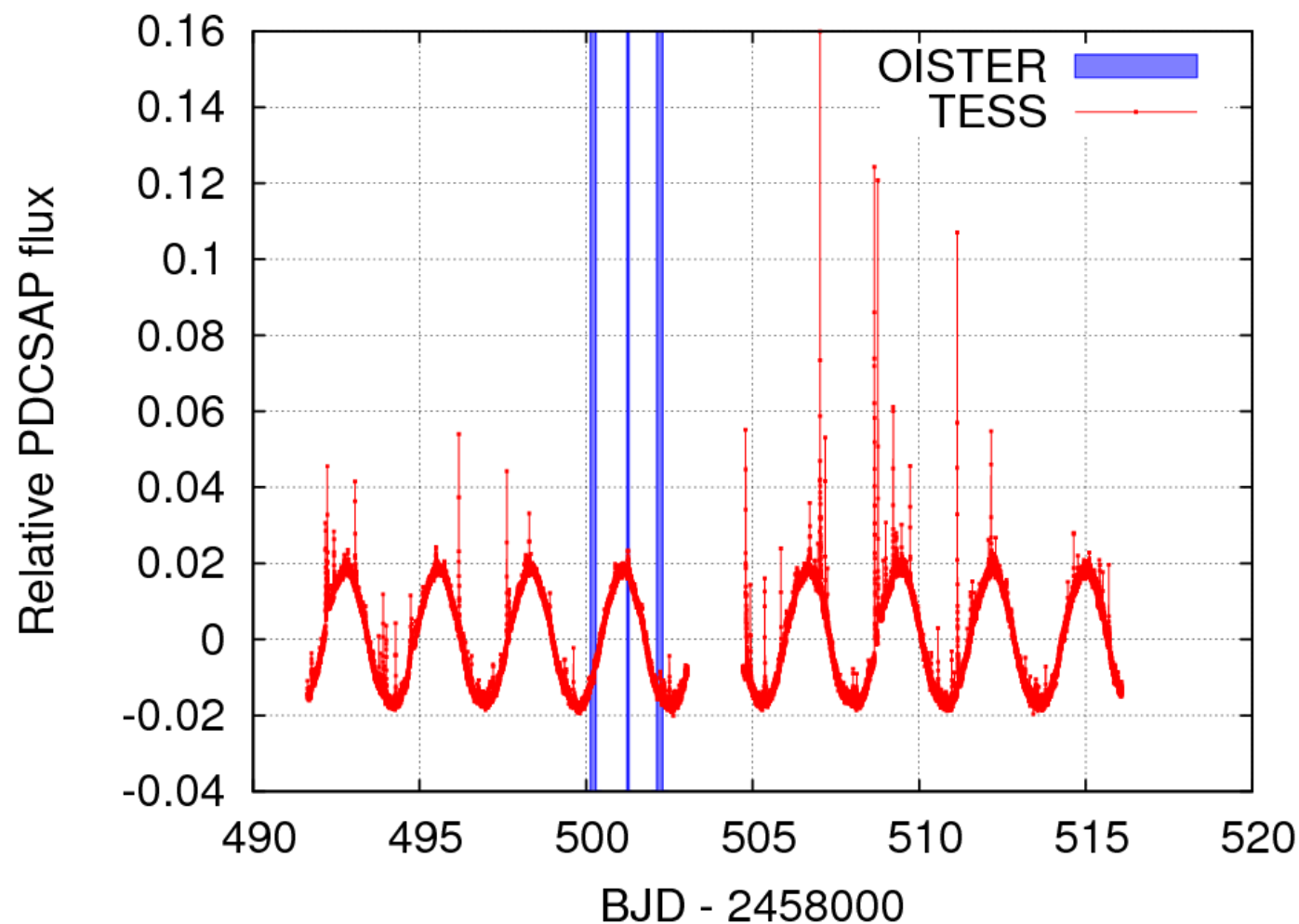
- YZ CMi (M4V, $d=6.0\text{pc}$ $V_{\text{mag}}=11.2$)を測光・分光同時に連続観測

- 非常に活発なフレア星
 - 小規模なフレアであればほぼ毎晩起こる
- 時間分解能: ~分
- 高分散分光(なゆた+MALLS: $R\sim 7500$)
 - 5分程度時間分解能で $H\alpha$ 線付近の連続観測
 - フレアに伴うline profileの変化
- 低分散分光(かなた+HOWPol: $R\sim 400$)
 - フレアに伴うBalmer線のE.W.比の変化
- 測光(TESS+MITSuME他)
 - 連続光の変化(+色の変化)

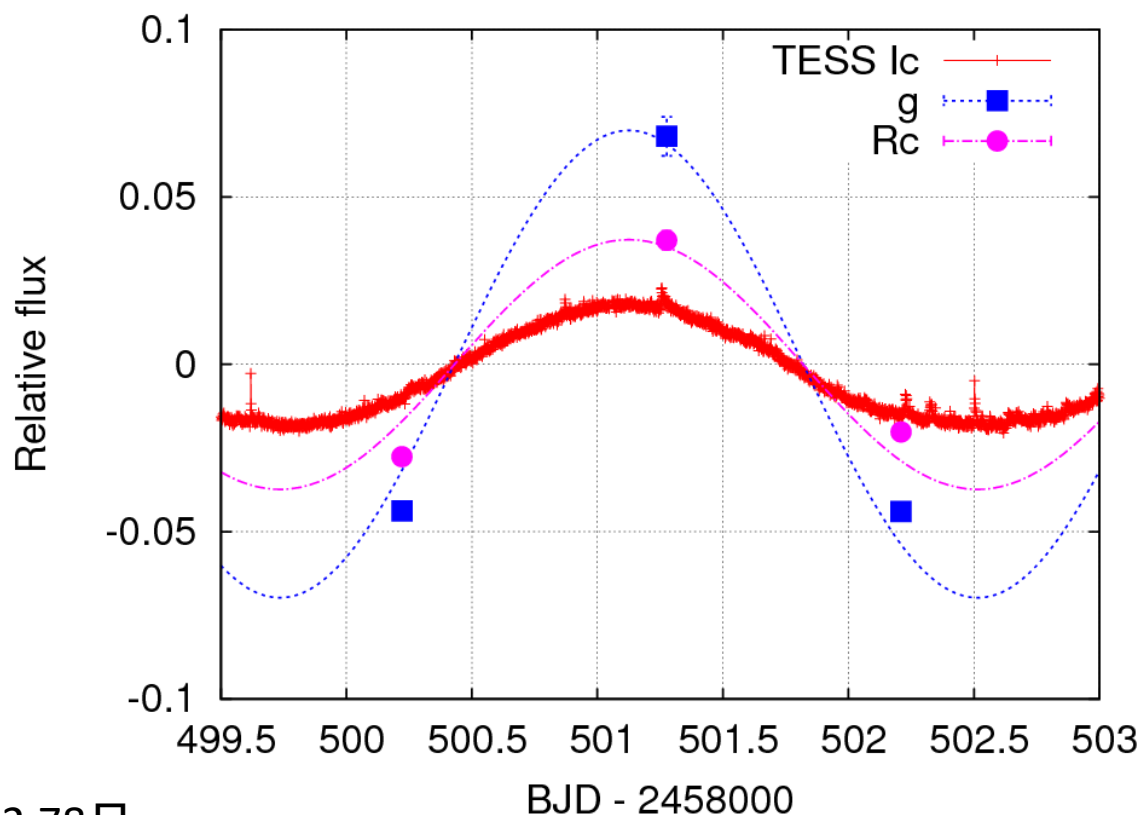


- $H\alpha$ 線の非対称が可視連続光の増光のどのタイミングで生じるかを調べる

TESS light curve

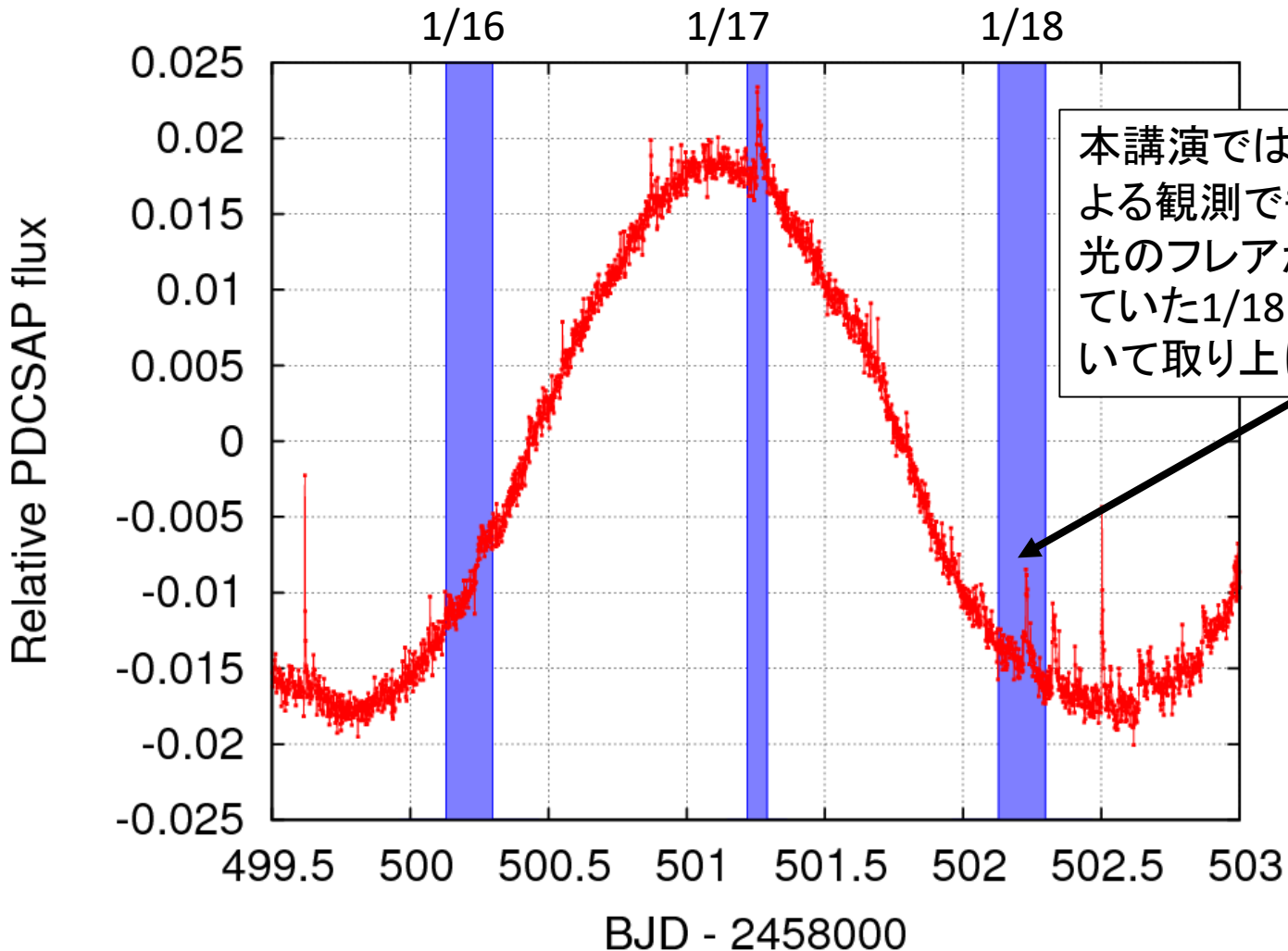


Rotational modulations (MITSuME g, Rc, TESS Ic)



- 自転周期: 2.78日
- 短波長側ほど振幅が大きい
 - g' : 14%, Rc: 7.5%, Ic: 3.9%
 - 明るい時に青くなる
- 単純に黒点を置いただけでは振幅の比が説明できない→白斑も変動に寄与していることを示唆？

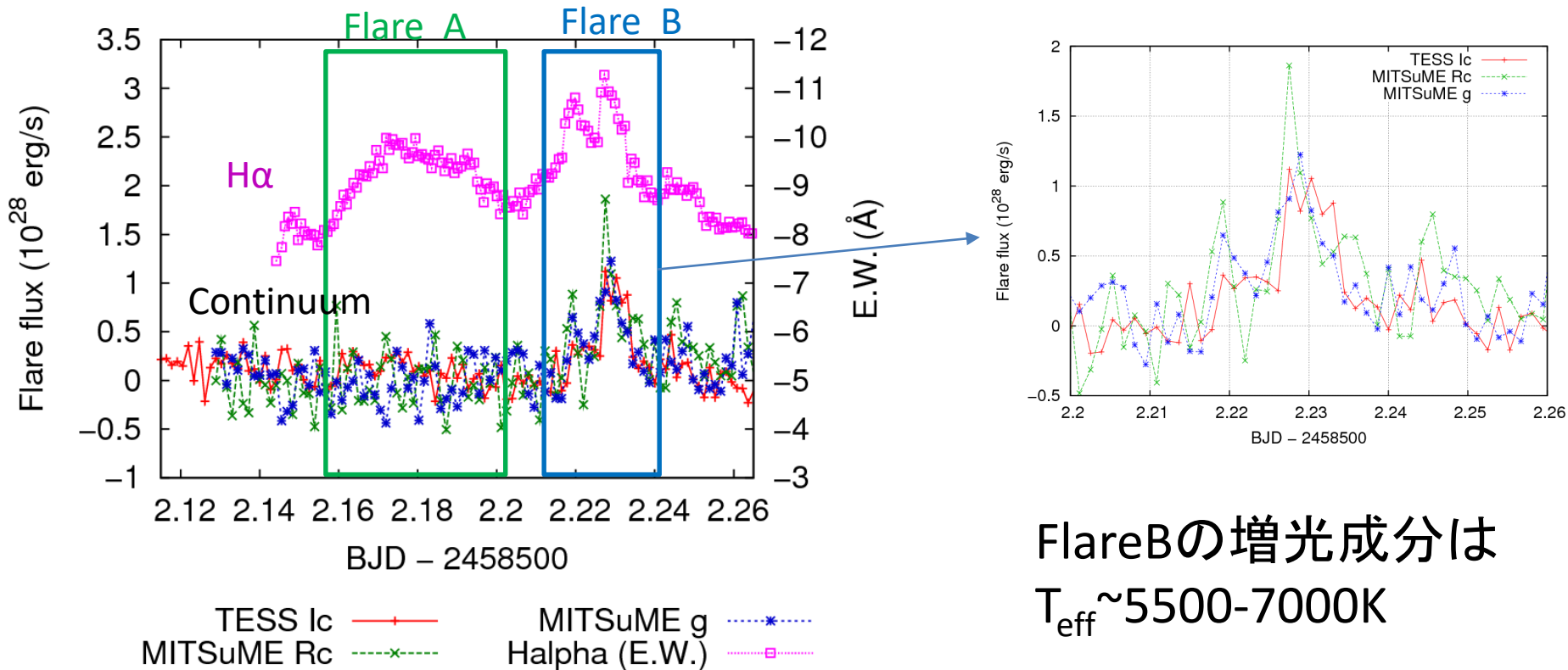
TESS light curve



たくさんフレアが起きていたが、OISTERの観測の時はフレアが少なかった...

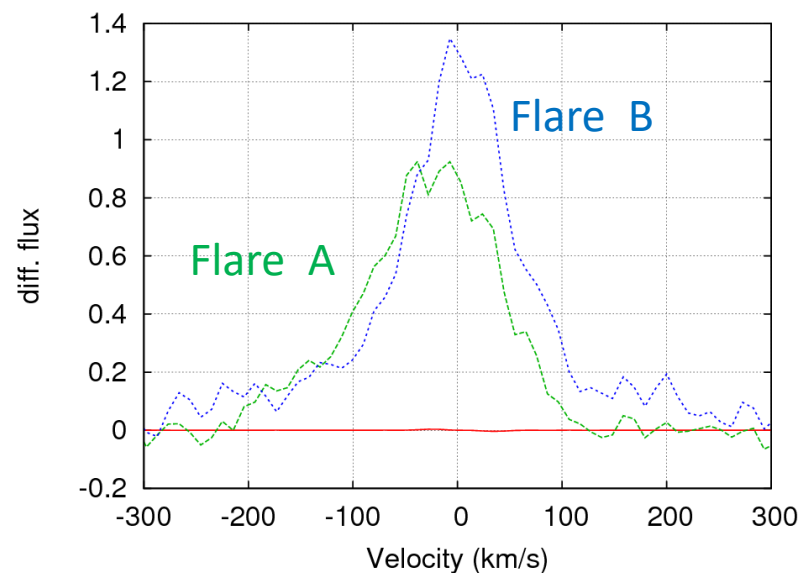
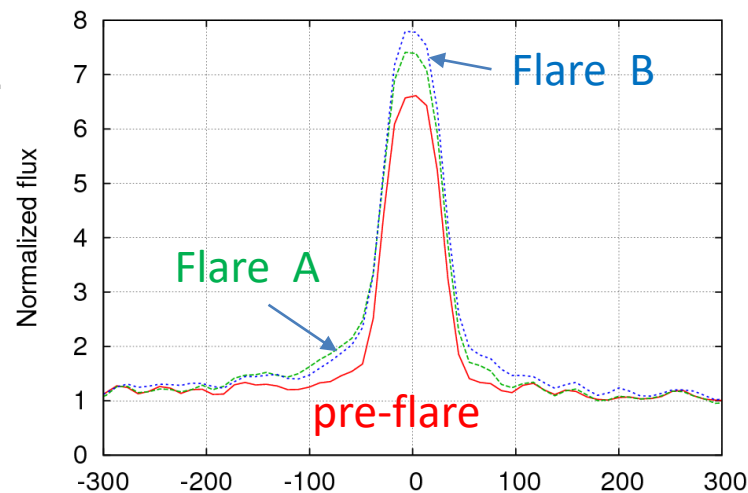
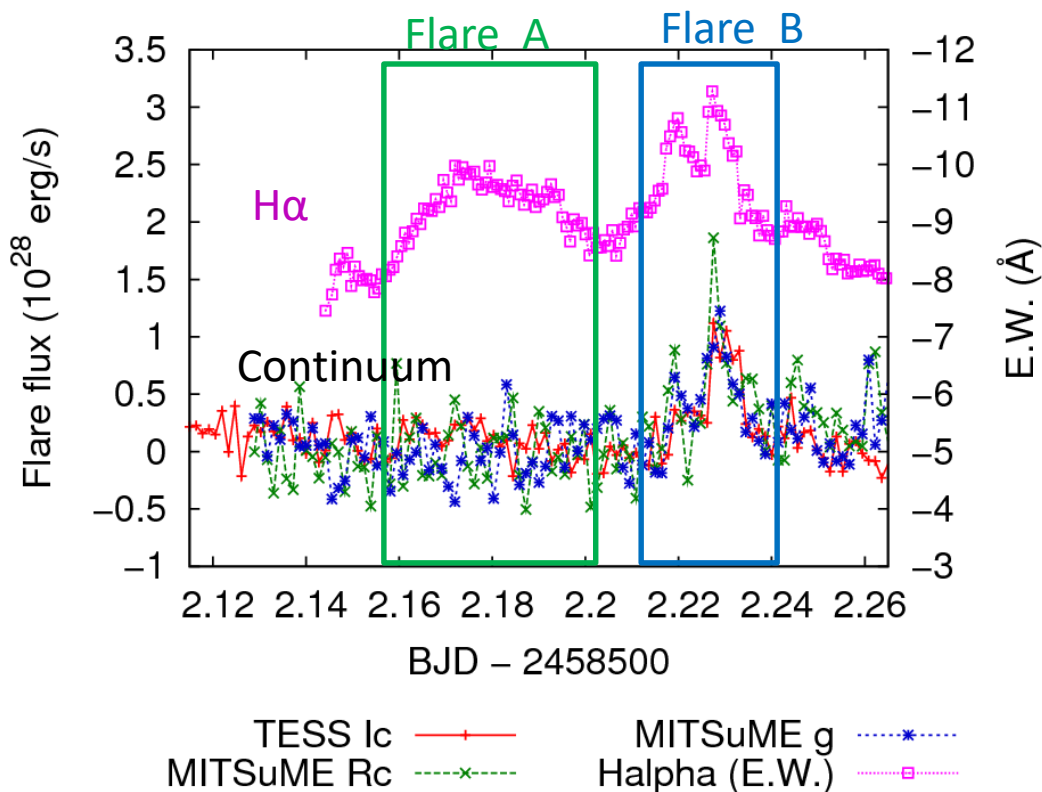
Flare light curve (1/18)

- H α フレアを2つ検出
 - Flare A: 可視連続光の増光がみられない
 - Flare B: H α の増光と同時に可視連続光も増光
 - フレアエネルギー: 1.2×10^{31} erg

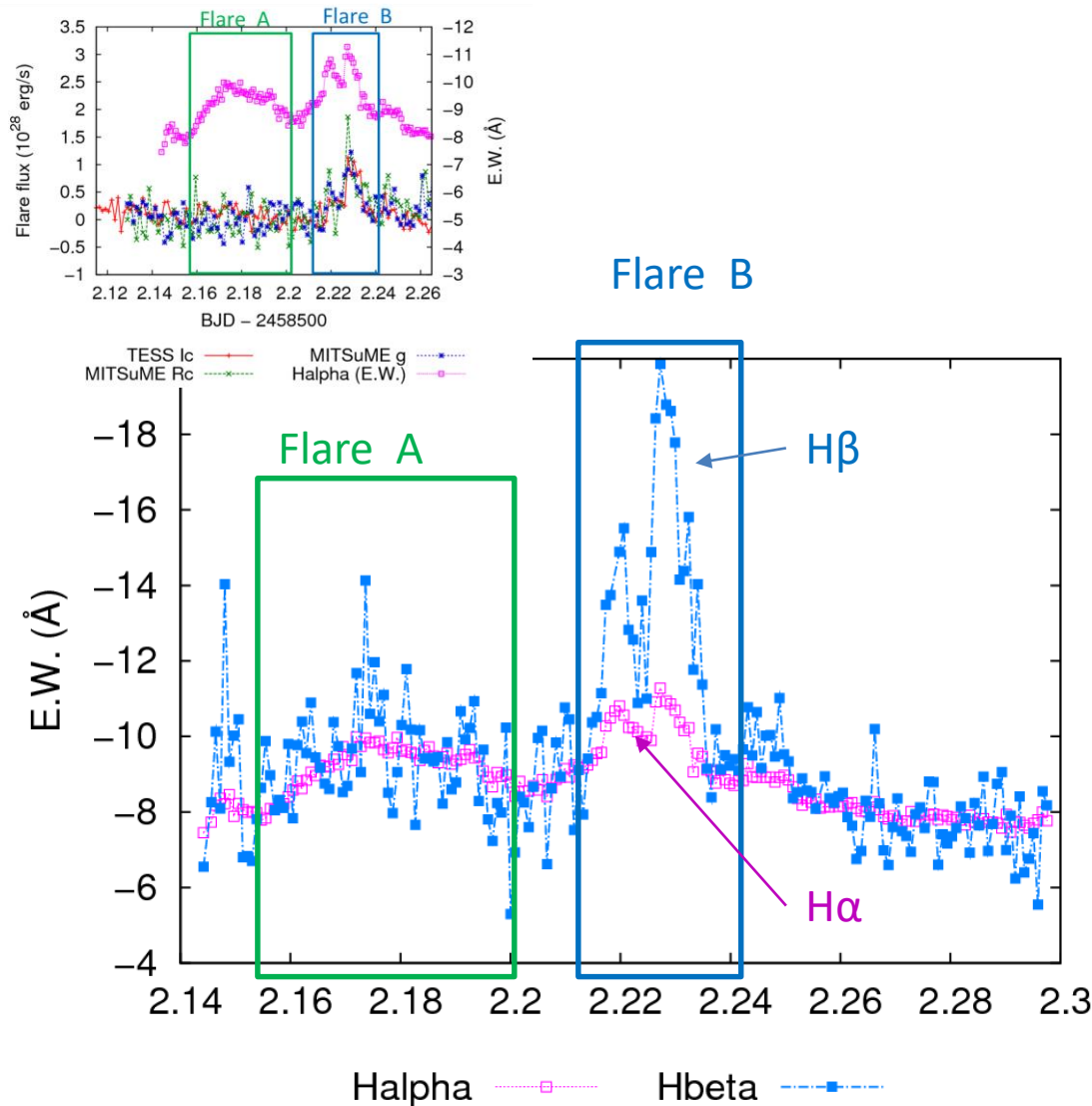


フレアに伴うH α line profileの変化

- Flare A: 青方偏移した超過成分あり
 - フレアのピーク付近で長時間継続して見られた
- Flare B: H α 線輪郭の変化なし



フレアに伴うH α / H β 線の変化



- **Flare A:** 可視連続光の変動を伴わないH α 線等価幅の増加
→H β 線等価幅もH α 線と同程度の変化
- **Flare B:** 可視連続光の増光に対応するH α 線等価幅の増加
→H β 線等価幅はH α 線より大きな変化を示した

YZ CMiまとめ

- 1月18日に2種類のH α フレアが受かっていた
 - 可視連続光の増光に対応するバルマー線の等価幅の変動
 - H α /H β も同時に変動
 - タイムスケール: 短い(～10分)
 - 可視連続光の変動がないバルマー線の等価幅＋線輪郭の変動(青方偏移)
 - H α /H β は変動なし
 - タイムスケール: 長い(～2時間)



タイムスケールの違いにより、可視連続光の振る舞いの異なるフレアになることを示唆

- Watanabe et al. (2017): time-scaleの短い太陽フレアの方がwhite-light flareを伴うことが多いことを報告