

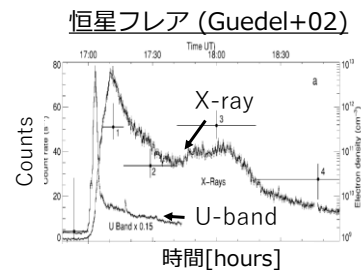
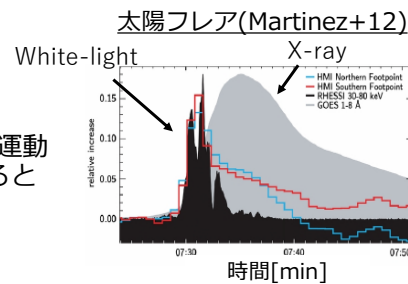
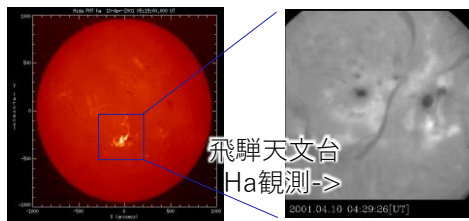
せいめい望遠鏡による 恒星フレアの連続分光観測

行方宏介（京都大学）、前原裕之（国立天文台）、本田敏志（兵庫県立大学）、野津湧太（コロラド大/NSO）、野津翔太（ライデン大）、岡本壮師、幾田佳、坂上峻仁、關 嵩覚、野上大作、柴田一成（京都大学）、他

太陽/恒星フレア

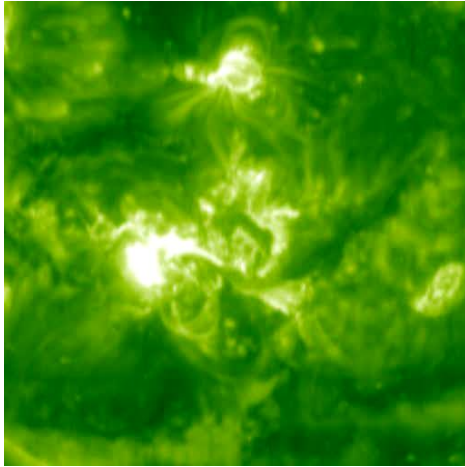
○ 太陽/恒星表面での増光現象

- 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**



観測の目的

- スーパーフレアに伴うプラズマ噴出の検出



https://www.eurekaalert.org/public_releases/2015-11/uow-rbl111715.php

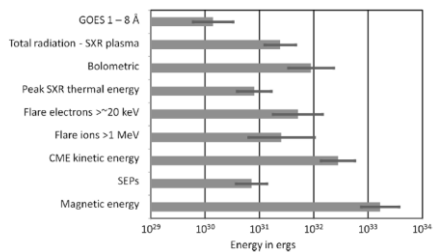
スーパーフレアに伴う噴出現象

- 磁場エネルギー → 熱エネルギー（可視、X線放射）

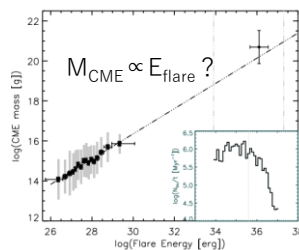


運動エネルギー（filament eruption, CME, etc.）

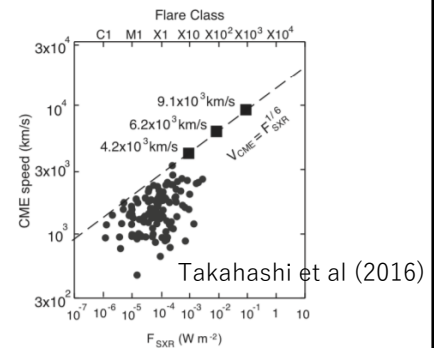
- どの程度が運動エネルギーに分配されるか？
 - CME mass, velocityなどがスーパーフレアの場合はどうなるか？
 - 極端宇宙天気現象の影響評価



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

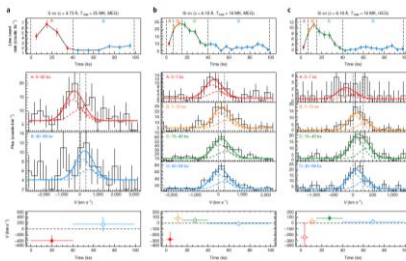
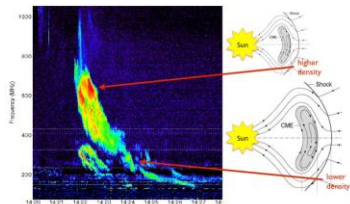


Aarnio et al. 2012, ApJ, 760, 9

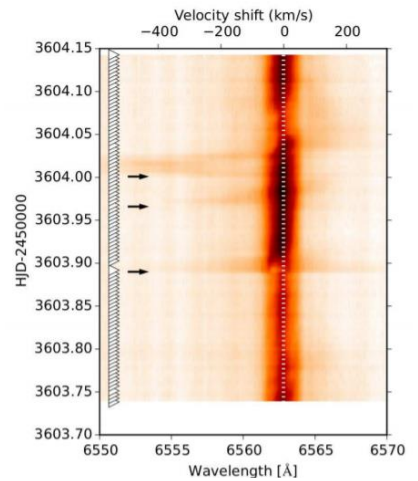


スーパーフレアに伴う噴出現象

- フレアの可視分光
 - Prominence eruption?
- X線分光
 - X-ray plasma ejection?
- 電波
 - Type II burst?



Argiroffi et al. (2019)



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

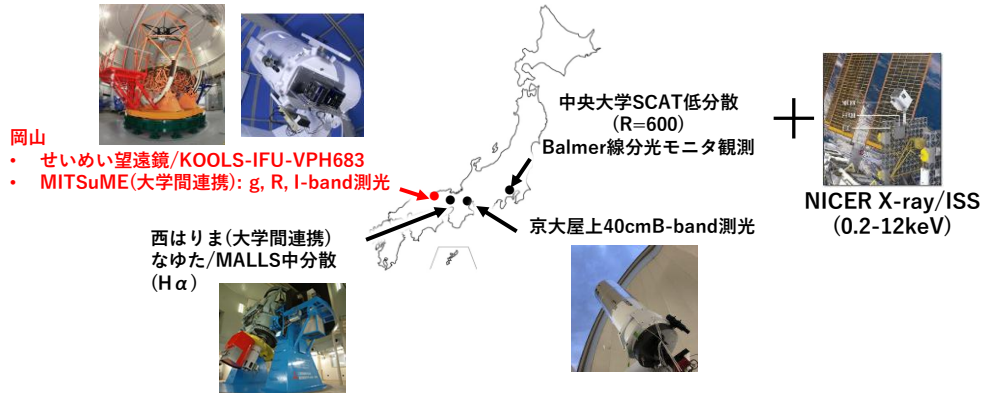
<http://www.tauceti.caltech.edu/starburst/Background.html>

M型星での恒星フレア

- 近年、M型星周りの惑星探査が盛ん
 - **M型星フレアの惑星への影響**が世界的に注目
- 解決すべき点
 - **フレアそのものの性質(解放・輸送・放射機構)**は？
 - **プラズマ噴出現象**は起きているのか？
- <今回の観測>
 - 目的：せいめい/KOOLS-IFUの大口径を生かした、高時間分解能+適度な低分散分光で、以下を検出
 - **H α 線の強度・ライン幅の時間変化**
 - **H α 線のline asymmetry**
 - 観測天体：AD Leo (dMe3.5, Vmag=9.5)
 - 近傍の活動的なフレア星として有名。

観測の概要

- せいめい望遠鏡での観測
 - ✓ 3月22-28日, 4月11-13日
 - ✓ 観測可能時間: 8時-2時半 (晴天率50%程度、稼働率80%程度)
- 本観測に合わせ、多くの他観測所でADLeoのキャンペーン観測



観測結果の概要

- せいめい望遠鏡での観測のデータ取得率は40%程度($\sim 50\% \times 80\%$)
 - ✓ 3月の観測は指向誤差、追尾誤差が大き
く観測効率が良くなかった。
 - 指向誤差: 2-3'
 - 追尾誤差: 3"/分
 - 最初は手で追尾誤差を補正していたが、あまりに大変だったので、IFU視野の2D画像からセルフガイドするようなプログラムを作った。
- せいめい望遠鏡で検出されたフレア
→10個
 - 10^{33} erg級のスーパーフレアが1個(A)
 - 全観測装置で観測があるフレアが1個(B)

→ この二つを主に紹介する。

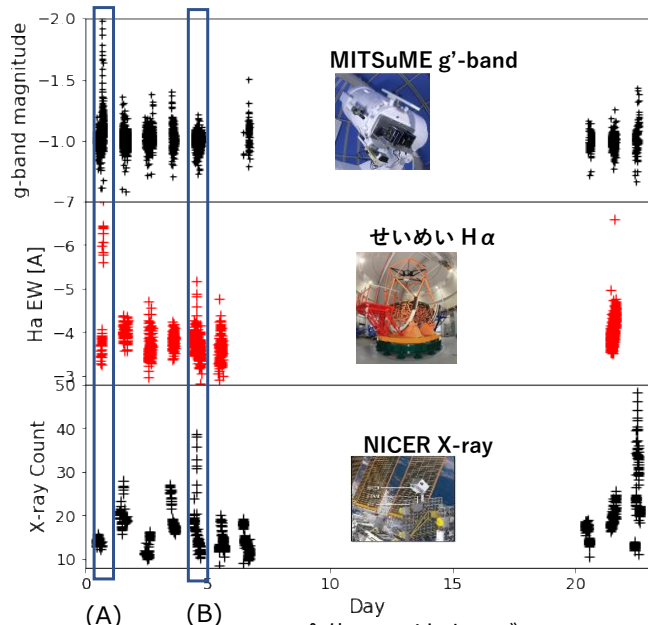
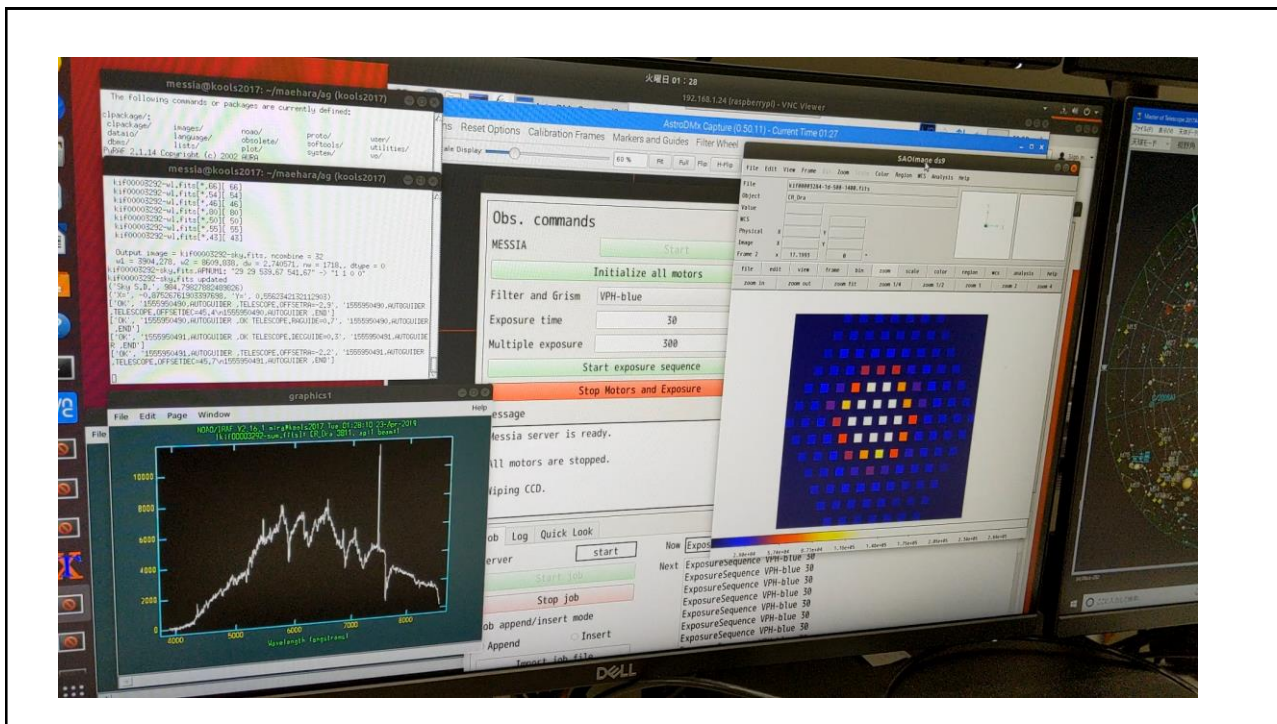


Fig. 全体のライトカーブ



Flare A (2019/03/22)

- 観測期間中で最も大きなフレア
 - 岡山 (せいめい+MITsuME) でのみ観測
 - g -bandのエネルギー = 1.4×10^{33} erg ($H\alpha = 2.5 \times 10^{31}$ erg)
 ※最大級の太陽フレア 10^{32} erg; Emslie+2012
- 増光は大きかったが、有意なline asymmetryは検出できていない。
 わずかに line wingがred shiftしている？

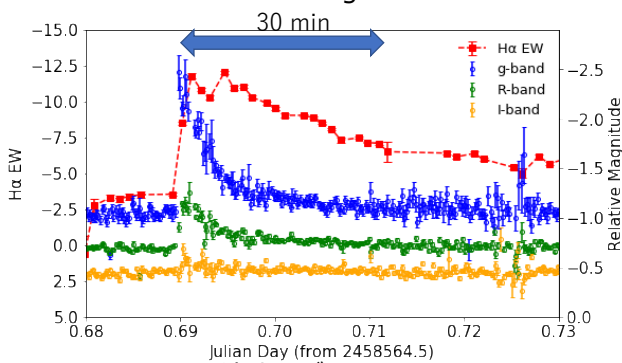


Fig. ライトカーブ

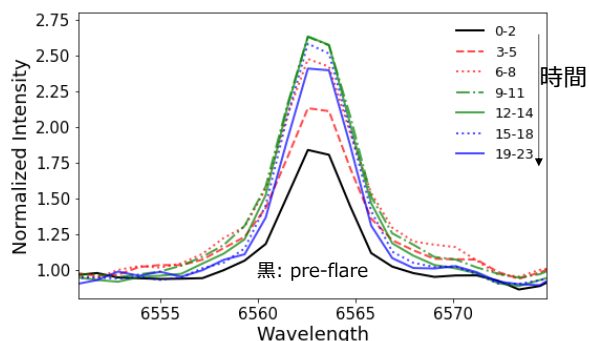


Fig. フレア中のH α スペクトル

Flare A (2019/03/22)

- 可視連続光の方が、H α よりrise/decayが早い → 太陽フレアと同様
- フレア初期にH α 輝線幅が増大し、強度も上昇
→後期には輝線幅が強度よりも早く減衰する
 - ✓ このような時間変化が、恒星フレアで観測されたのは初めて。
 - ✓ H α ライン幅 = Stark broadening (+ Self absorption effect)
→フレア彩層大気電子密度、エネルギー注入量を推定できる。

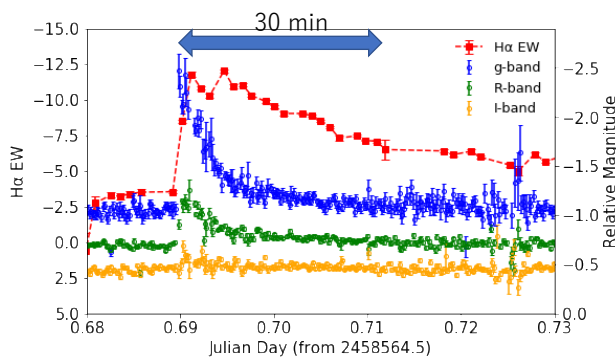
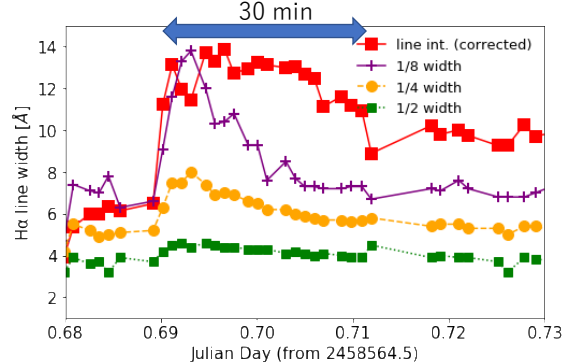


Fig. ライトカーブ

Fig. H α 輝線幅と強度の時間変化

Flare B (2019/03/26)

- H α (せいめい, なゆた, SCAT), H β , H δ , 可視連続光, X線で同時観測が行われたフレア
 - ✓ H α 、X線ではフレアが検出されたが、可視連続光では増光がない
 - flare Aよりも1桁程度エネルギー低い
 - ✓ H α 線の線輪郭：せいめい+なゆたでは、わずかなblue asymmetry?

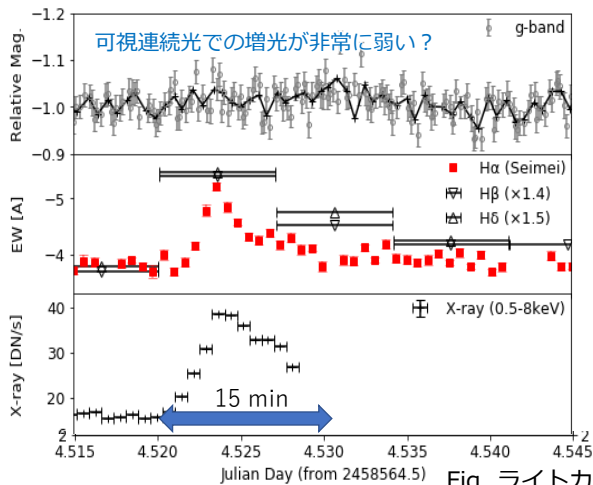
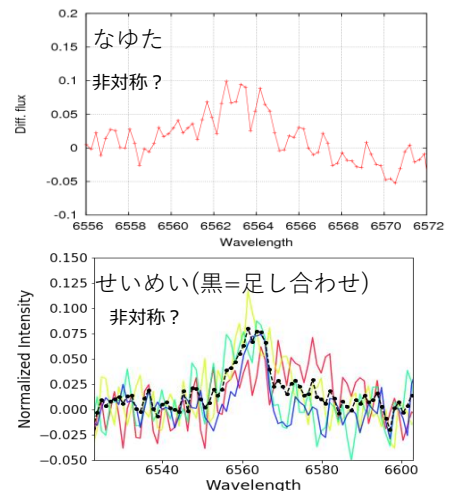
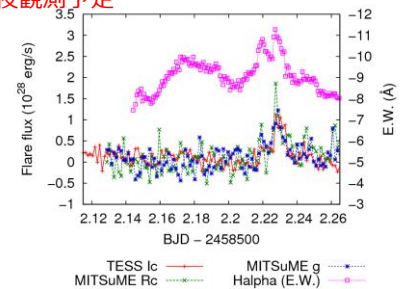
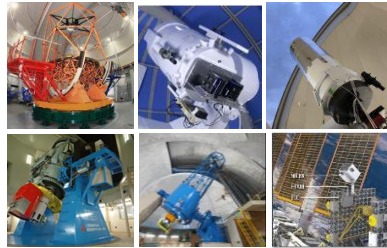


Fig. ライトカーブ

Fig. フレア中のH α 差分スペクトル

まとめ

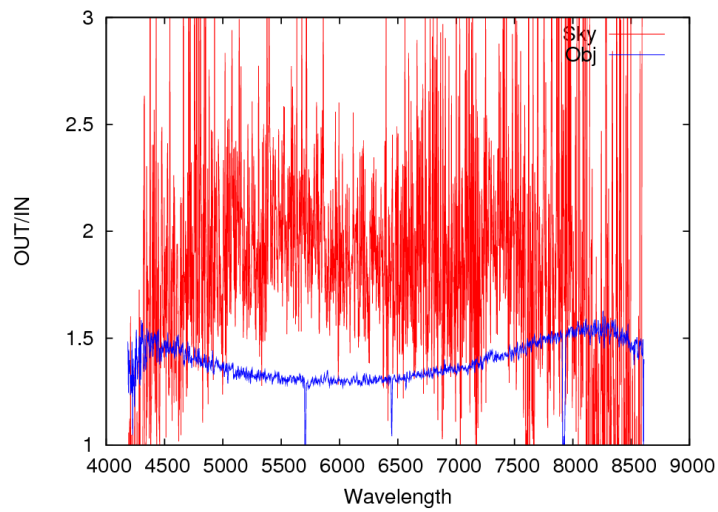
- 10例のH α フレアを検出。
- 検出されたフレアの特徴は、太陽フレアの知見で説明できる可能性が高い。
 - Flare A: H α 輝線幅と強度の時間発展の違いを恒星フレアでも検出
→今後：定量的に恒星フレアの物理的性質を検討。1次元輻射流体計算の結果などとの比較も予定。
 - Flare B: blue asymmetry?
→今後：どのようなプラズマの運動で説明できるか検討。
- 疑問点：H α で検出できたフレアが10個に対して、可視光では4個だけ
 - ✓ 精度が足りない？ H α と可視光の増光は線形対応にない？
 - YZ CMiのフレアでも同様の可視連続光の増光のないH α フレアを複数検出 (by 前原・野津)
 - ✓ 可視光の高精度観測 + 彩層線の観測が必要！
 - ✓ TESS(可視測光衛星)との同時観測 → 2019BではEV Lacを15夜観測予定



望遠鏡・装置への要望

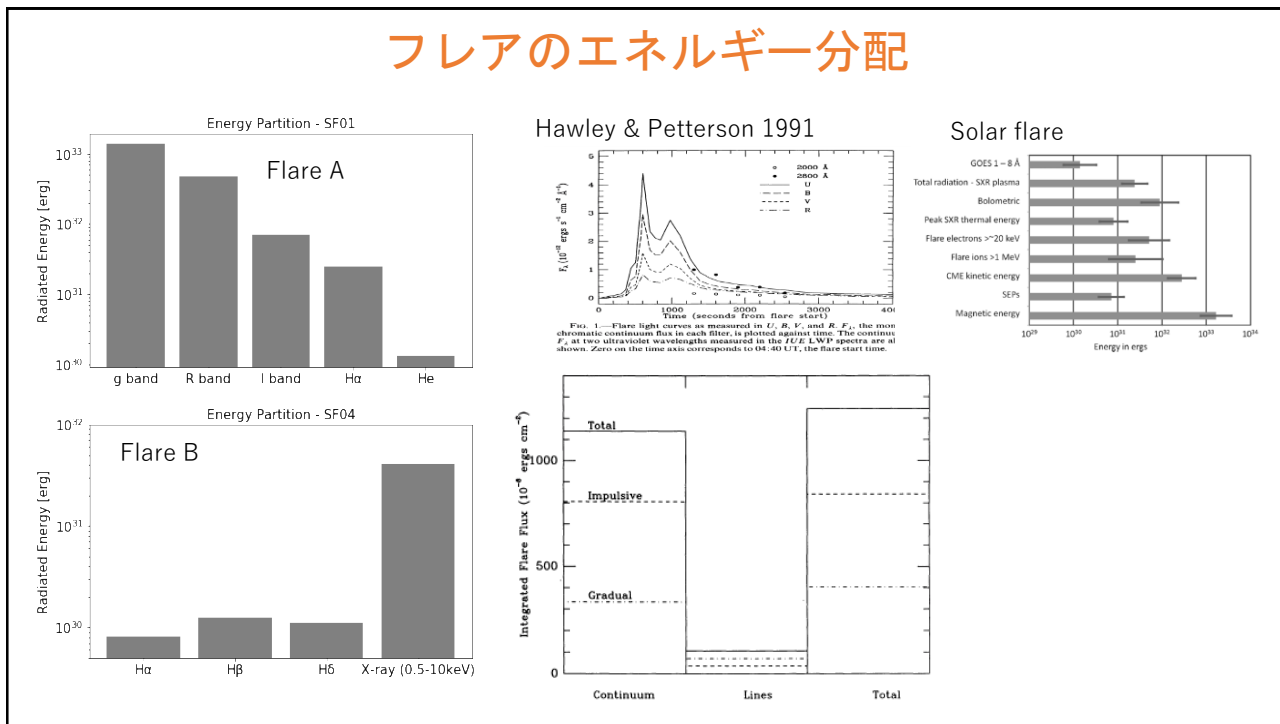
- 望遠鏡
 - 指向精度・追尾精度の向上
→ IFU視野に確実に入ってくれば自動観測が実現しやすい (RMS~2-3"?)。
※明るいフレア星の場合は撮ったスペクトルでガイドできるので追尾精度には (実は3月時点のレベルでも) それほど不満はない。そもそも暗いフレア星は時間分解能が上げられないので本研究には向かない
- 分割鏡制御
 - 2019Aの我々の観測期間中は予想以上にうまく制御できていた。
 - 大きな高度変化があった際にも星像を維持できると長時間の連続観測ができる。←7月の改修で改善
- 装置
 - 総合効率の向上。
→2019Aは予想の半分だった。2019Bでは簡易イメージローターなしで観測を行い効率の向上 (+40%程度) を図る予定。
 - フレアのより高時間分解能 (<10秒) の観測にはもっと読み出しの早い検出器が欲しい。。。

簡易イメージローテーターの有無による効率の差



backup

フレアのエネルギー分配



自転について

