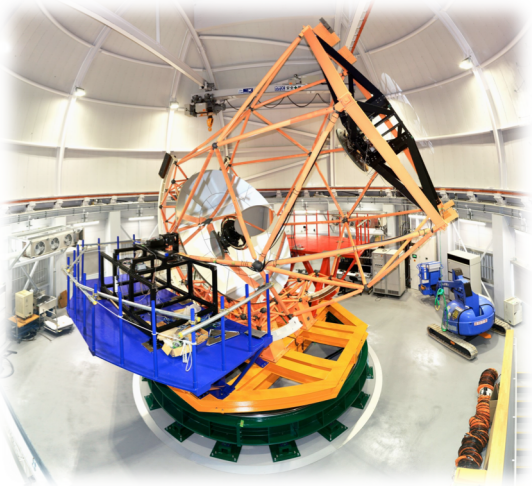
連星・変光星研究会@中京大学
2019/11/30 10:10-10:30(16+4分)

せいめい望遠鏡初期観測成果: M型星AD Leoの恒星フレアの連続測光・分光観測



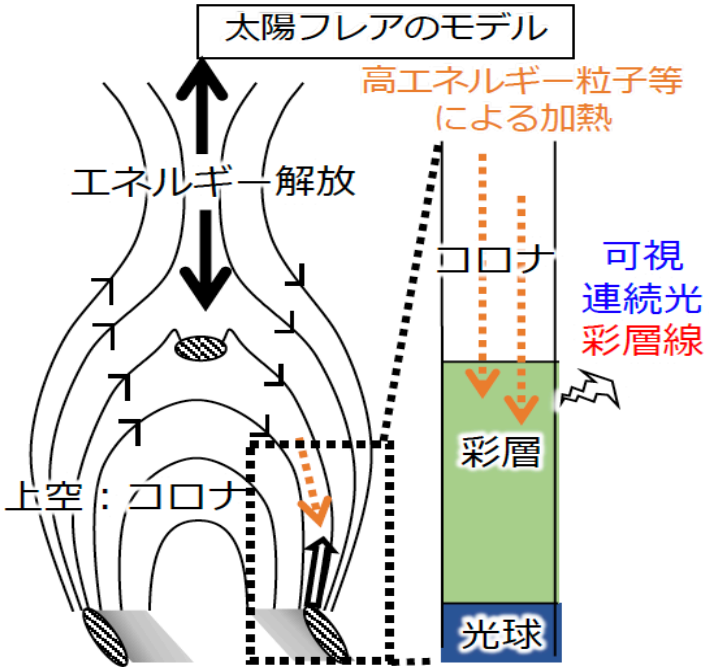
Okayama Observatory, Kyoto University
SEIMEI TELESCOPE

行方宏介
(京都大学D2)

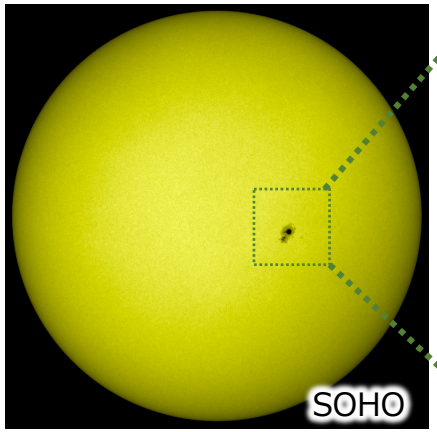
[共同研究者]
前原裕之(NAOJ)、河合広樹、佐々木亮、岩切渉、坪井陽子(中央大学)、
野津湧太、A. Kowalski(University of Colorado)、本田敏志(兵庫県立大)、
岡本壮師、野上大作、柴田一成(京大)、OISTER team collaborations

太陽フレア

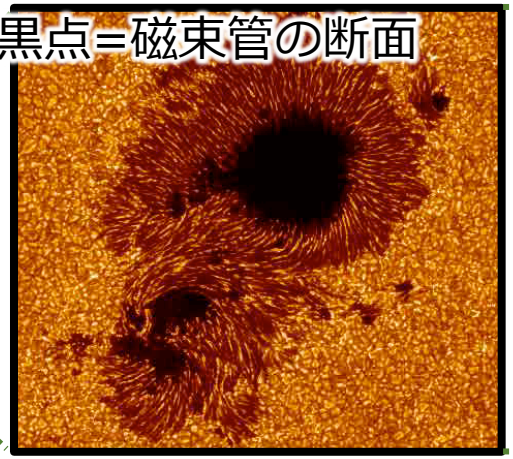
- 様々な波長での突発的増光現象
  - 黒点の磁気エネルギーを磁気リコネクションを介して解放
  - 継続時間：数分~数時間
  - 磁気嵐・放射線の照射という形で、地球環境に大きな影響を与える



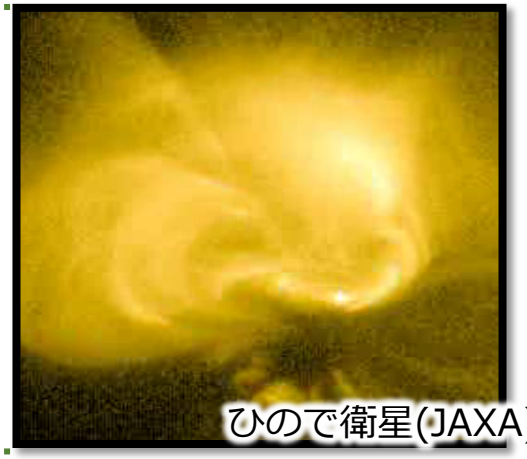
可視光全面像



光球：可視光(G-band)

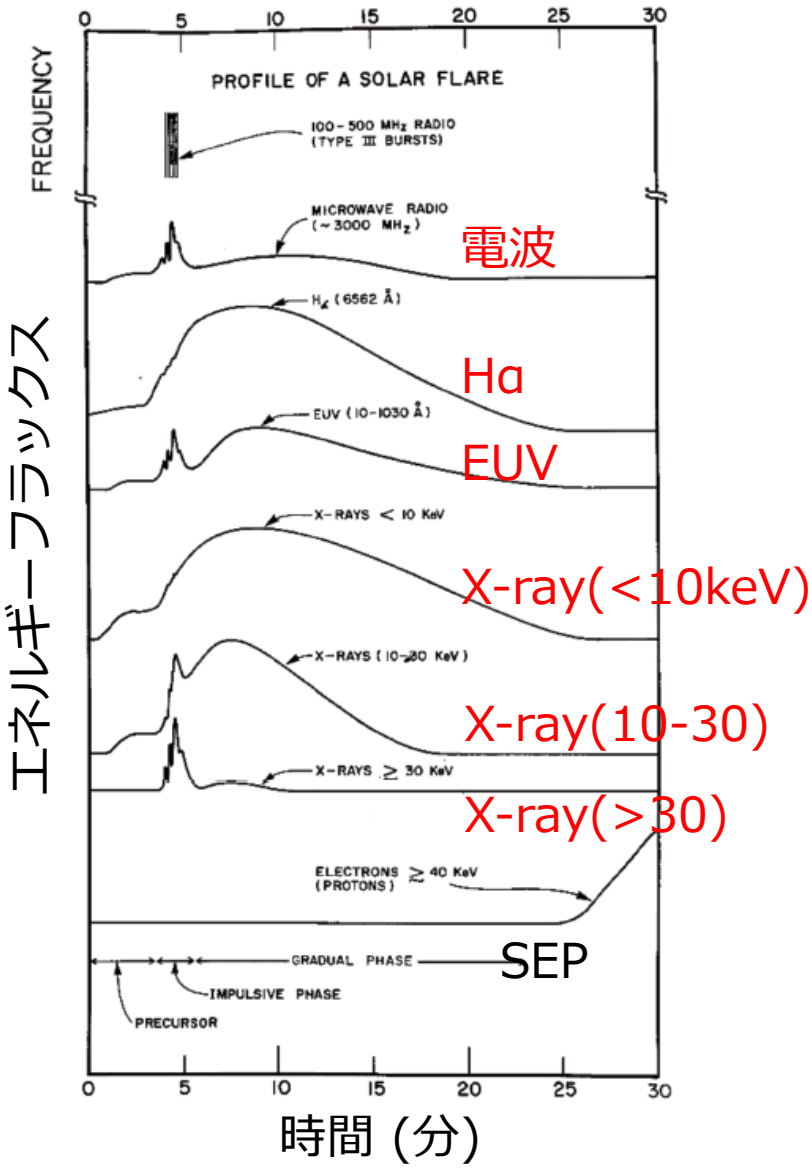


コロナ：軟X線



太陽フレア

- 様々な波長での突発的増光現象

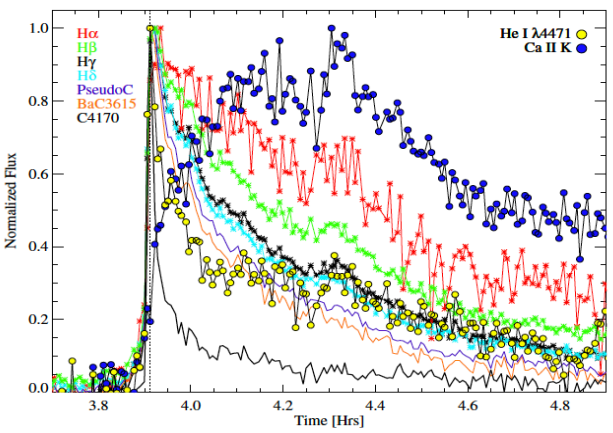


太陽フレアの多波長観測(Kane+74)

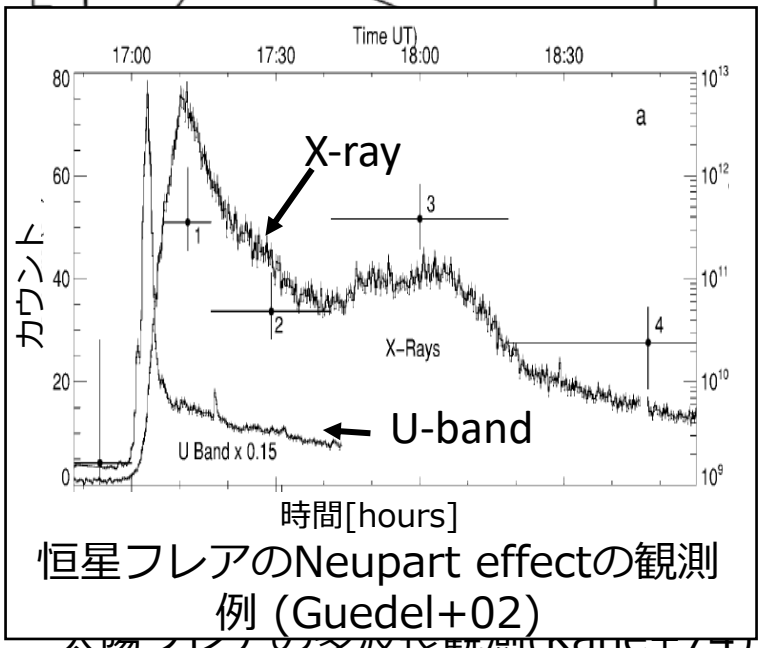
恒星フレア

- 恒星フレア：様々な波長で観測あり
- 特徴：
- ライトカーブは似ている
- エネルギーが、最大級の太陽フレアの10-1万倍大きい場合も
- 継続時間 = 数分 ~ 数日

- 極端現象としての興味・系外惑星に与える影響という観点で、注目 (Maehara+12, Notsu+19, Yamashiki+19, 他多数)



恒星フレアの「可視」分光測光観測(Kowalski+13)



恒星フレアのNeupart effectの観測例 (Guedel+02)

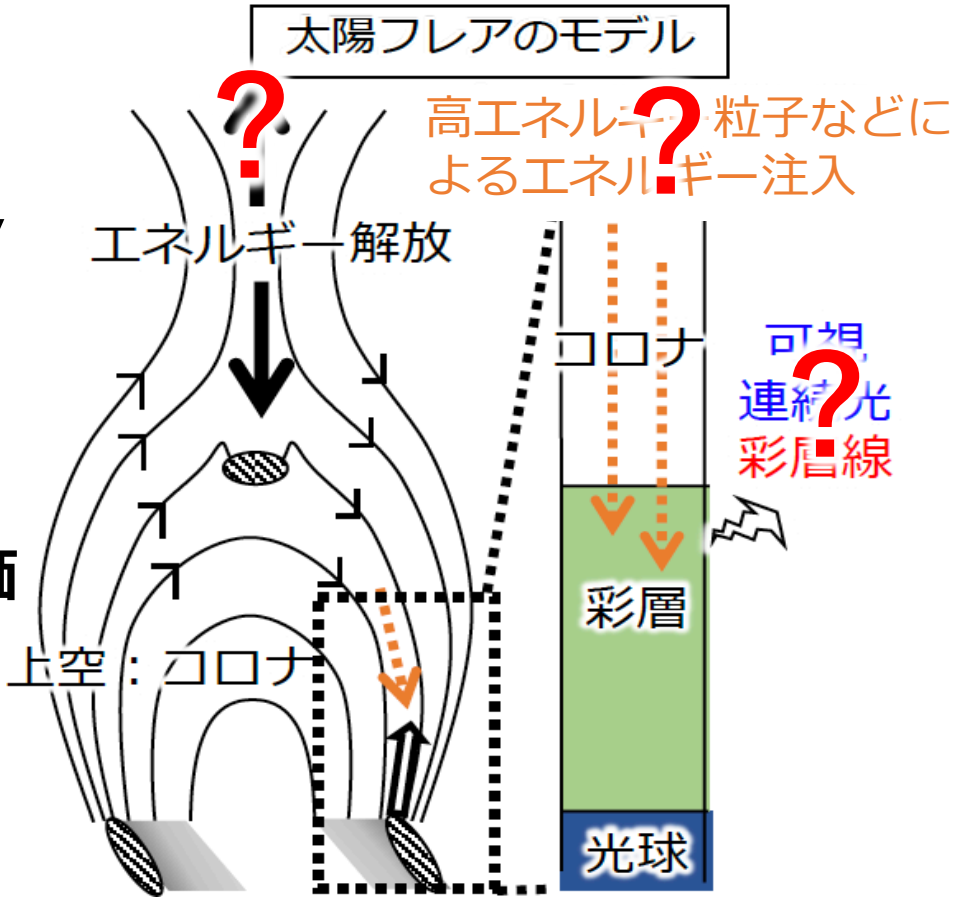
太陽フレアの多波長観測(Kane+74)

恒星フレア研究の現状・問題点

- 恒星フレアは、多波長(~多温度)・短時間現象
  - 多波長同時+数分以下の時間分解能のモニタ観測が必須!
    → **難しく、数・質共に不十分**

- わかっている点：
- リコネクションモデル (Shibata & Yokoyama+99, Namekata+17)
- 定性的類似性

- 特にわかっていない点：
- **エネルギー分配の定量的評価**
- **エネルギー輸送・放射機構**
- **質量放出の有無**
- **Etc.**

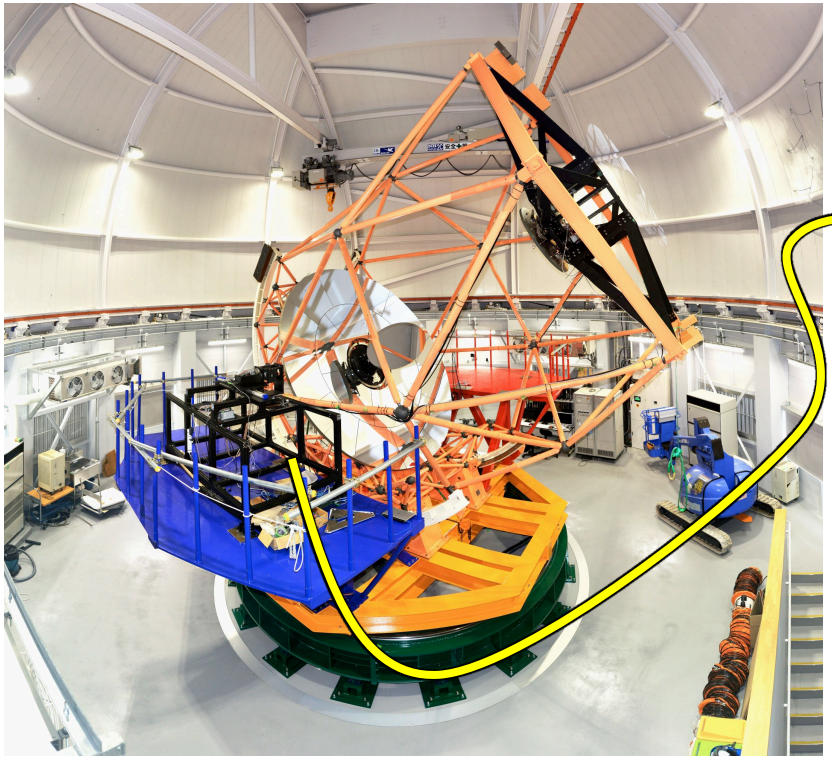


せいめい望遠鏡でのフレア観測計画

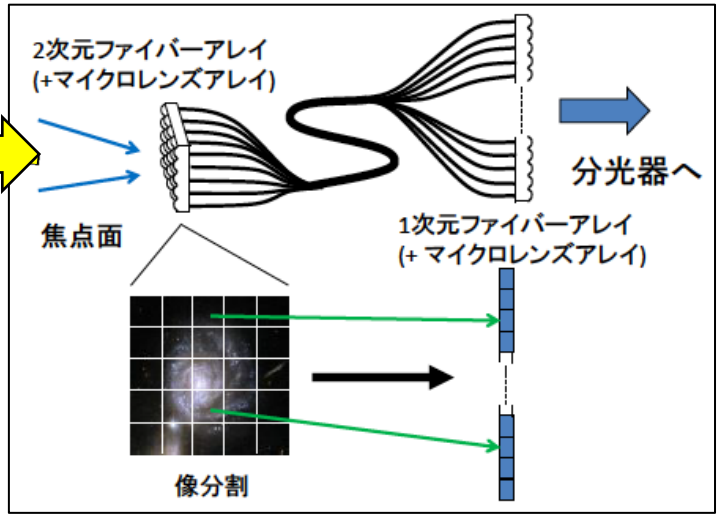
- 2019年2月、京都大学岡山せいめい望遠鏡がついに観測開始
  - 主鏡：口径3.8mの分割鏡(東アジア最大)
  - 装置：KOOLS-IFU(可視光低分散面分光器)

→ 大口径・潤沢な観測時間で、
高時間分解能(30-60s)で連続分光が可能に

京都大学岡山3.8mせいめい望遠鏡



装置：KOOLS-IFU



- 波長分解能 ~ 2000(最大)
- 4000-10000A程度までカバー

本研究の背景・目的

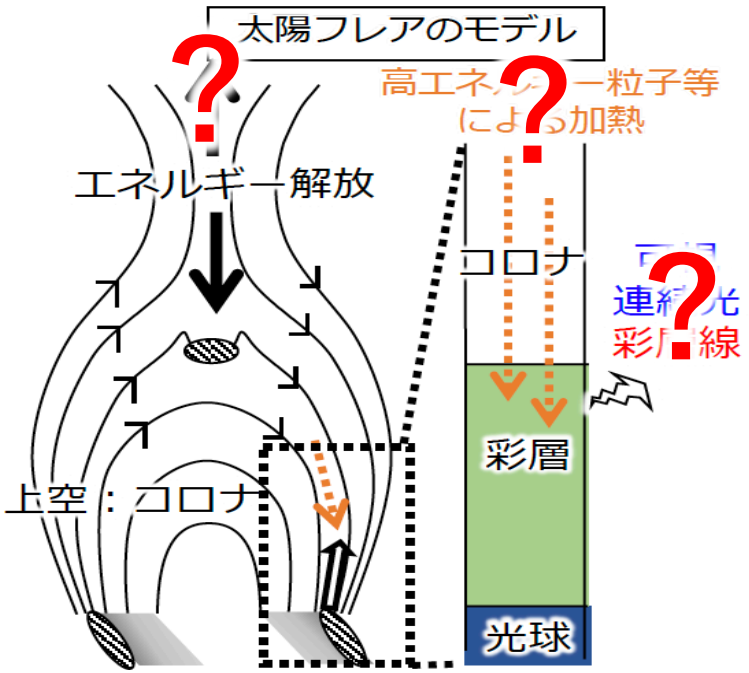
背景：近年M型星周りの惑星探査が盛ん

→ **M型星フレアが世界的に注目**

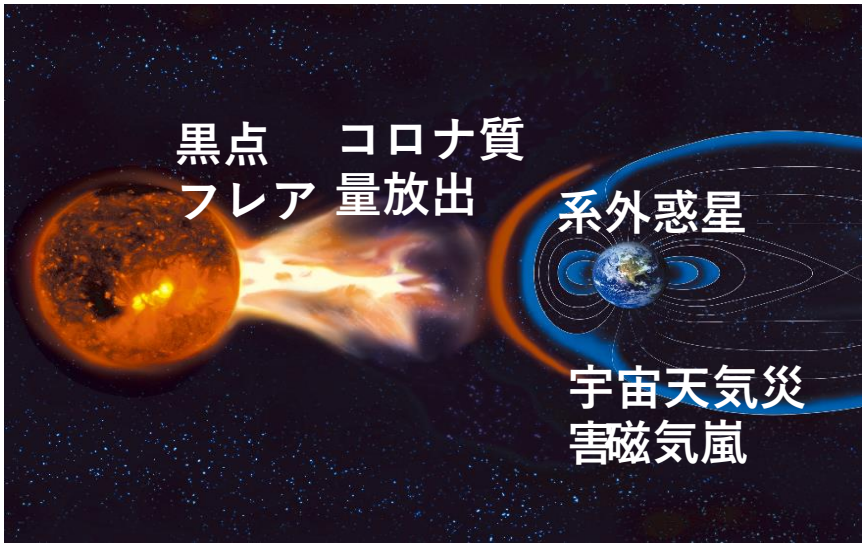
目的：

- せいめい望遠鏡/KOOLS-IFU(Hα分光)を中心に大学間連携でM型星の多波長同時観測を行い、フレアを検出する

Q. M型星フレア時の彩層放射の基本的性質が、太陽フレアの知見を用いてどのよう説明できるのか？



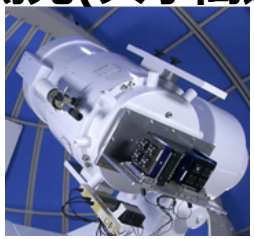
e.g.放射機構、彩層への
エネルギー注入、質量放出の有無



観測の概要

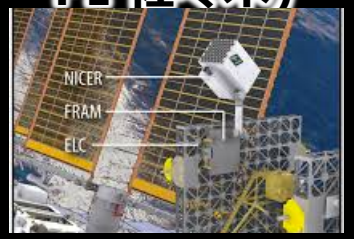
- 観測天体：AD Leo (dMe3.5, 温度~3500K, Vmag=9.5)
  - 近傍の活動的なフレア星として有名 (e.g. Hawley+97)。
- 2019年3-4月の8.5夜で、せいめい望遠鏡+大学間連携で観測
  → **多波長同時観測を実現**

岡山
- **せいめい望遠鏡/KOOLS-IFU**
- **MITSuME測光(大学間連携; PI 前原)**



西はりま(大学間連携)
なゆた/MALLS中分散(Hα)

NICER X-ray (ISS; 0.2-12keV; PI 佐々木)

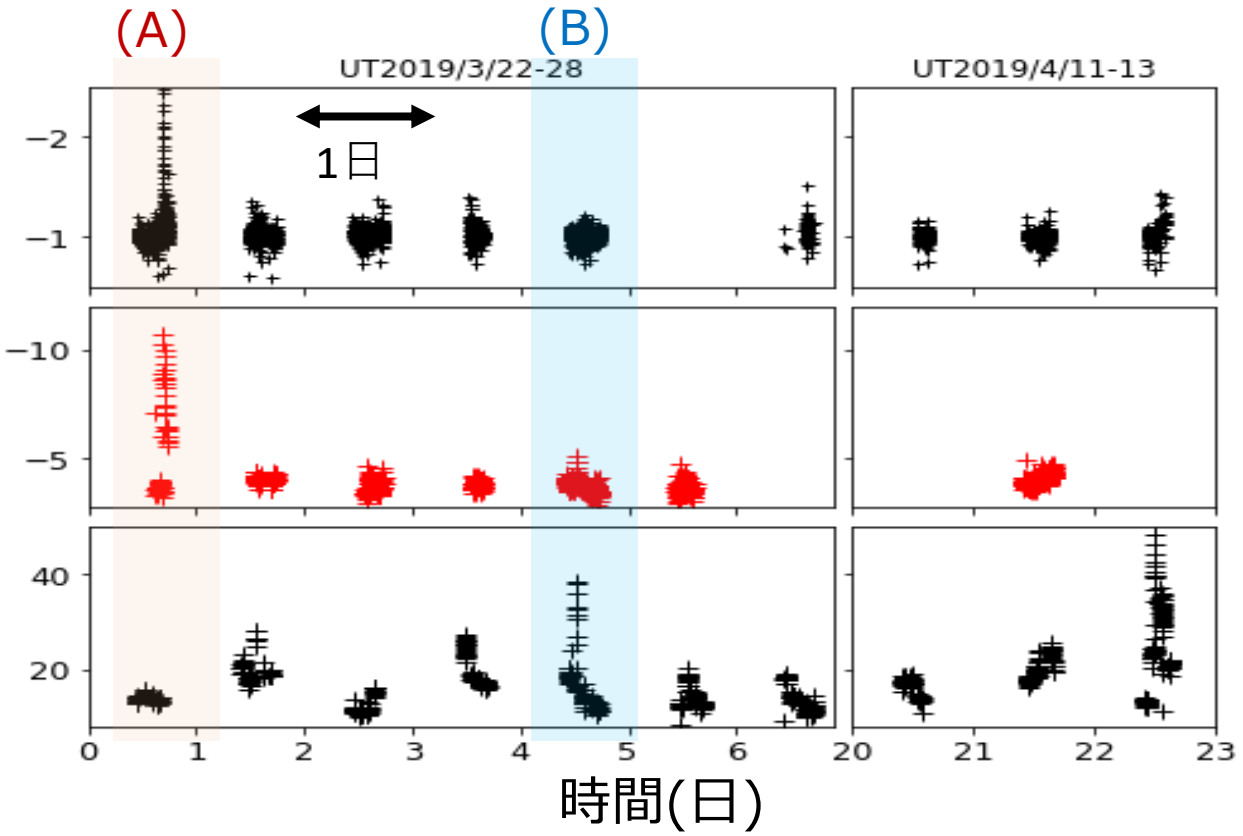


中央大学SCAT低分散
Balmer線分光モニタ観測

観測の概要

- 8.5夜で観測で12個のフレアを検出に成功
- この発表で注目する現象3つ
  1) **フレアA**：10^{33} erg級のスーパーフレア
  2) **フレアB**：全観測装置で観測があるフレア
  3) **星の自転に伴った変動**

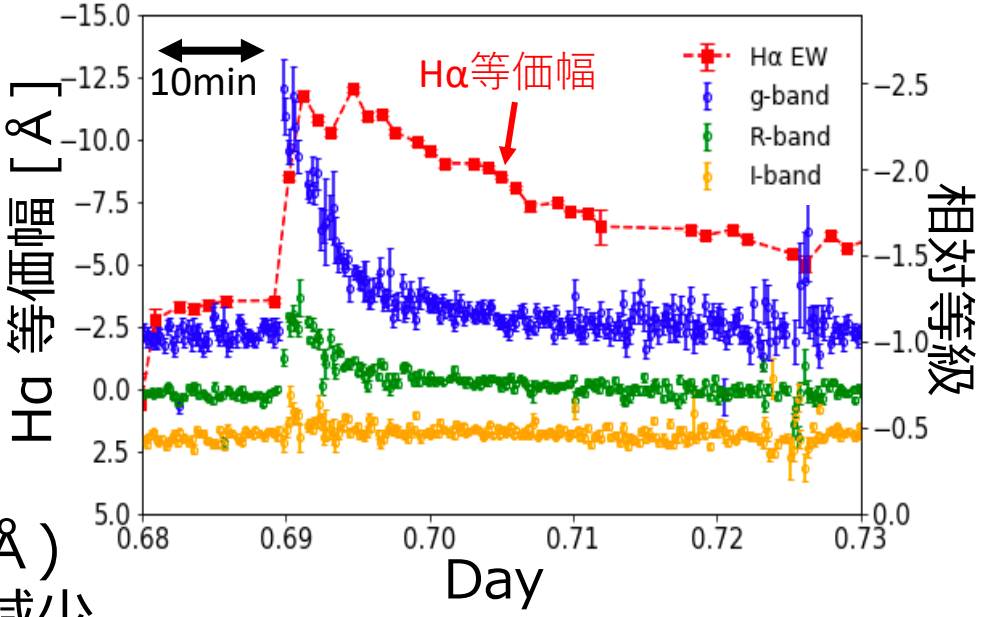
全体のライトカーブ



1) フレアAの特徴：ライン幅の時間変化

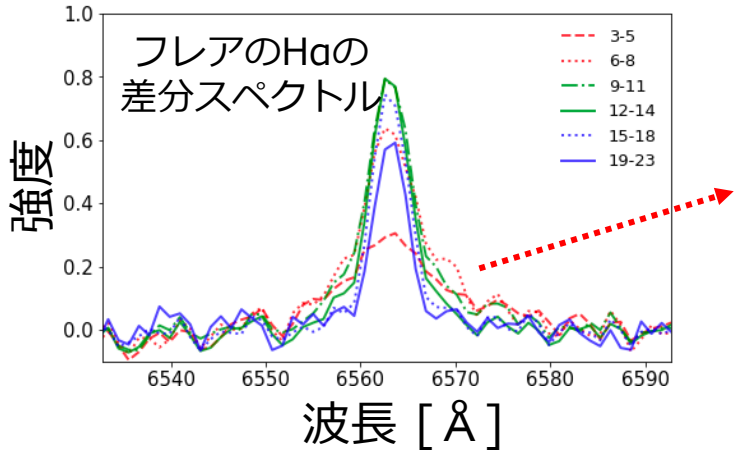
- 10^{33} erg級の巨大フレア
(~最大級の太陽フレアの10倍)

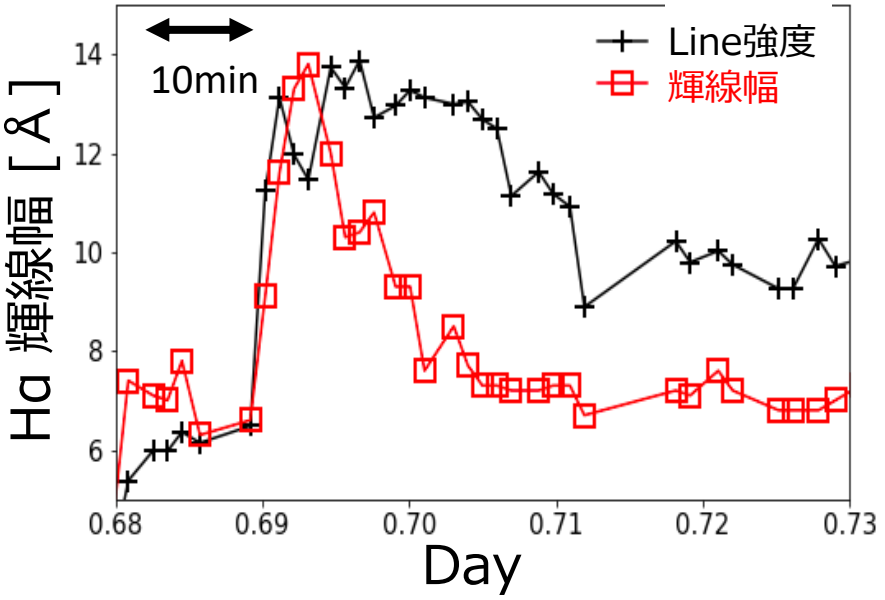
  Hα= 3×10^{31} erg
  << g-band = 1×10^{33} erg



特徴

- 連続光増光 + 輝線幅増大(14 Å)
  → フレア後期: なし + 輝線幅減少
  → **今まで報告例のない現象**



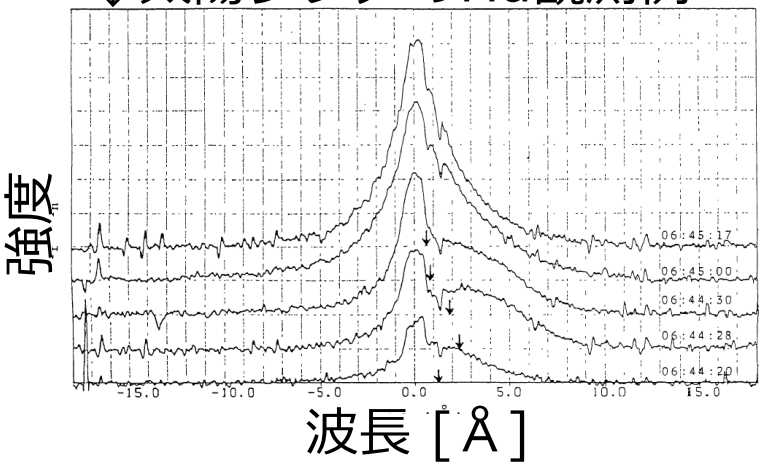


1) 太陽との比較・解釈

太陽フレアの場合

- Hα線の幅も増大(~10A)
(例：Ichimoto & Kurokawa 84 →右図)

↓太陽フレアのHα観測例



Hα線幅の解釈

- Stark効果
($\propto ne^{2/3}$;ne=電子密度)
- Opacity broadening

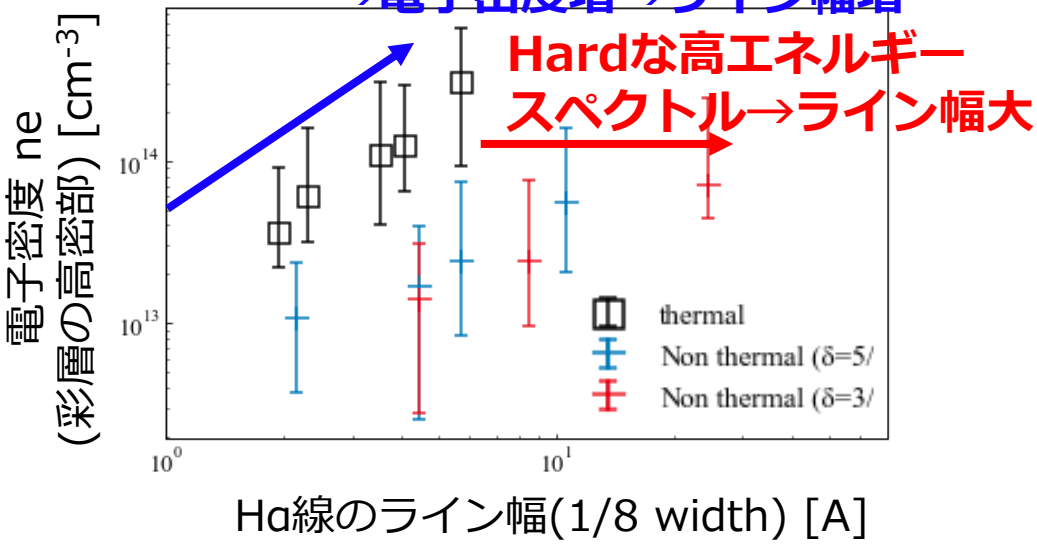
考察

- 少なくとも、Hardなスペクトルのエネルギー注入が行われたことが示唆される

↓1次元フレア大気数値計算の結果

Input エネルギー増
→電子密度増→ライン幅増

Hardな高エネルギースペクトル→ライン幅大



2) フレアBの特徴：可視光の増光が非常に弱い

- 観測: 複数のBalmer線, 可視連続光, X線で同時観測
  ~ 10^{30} erg　　~ 3 x 10^{31} erg

特徴

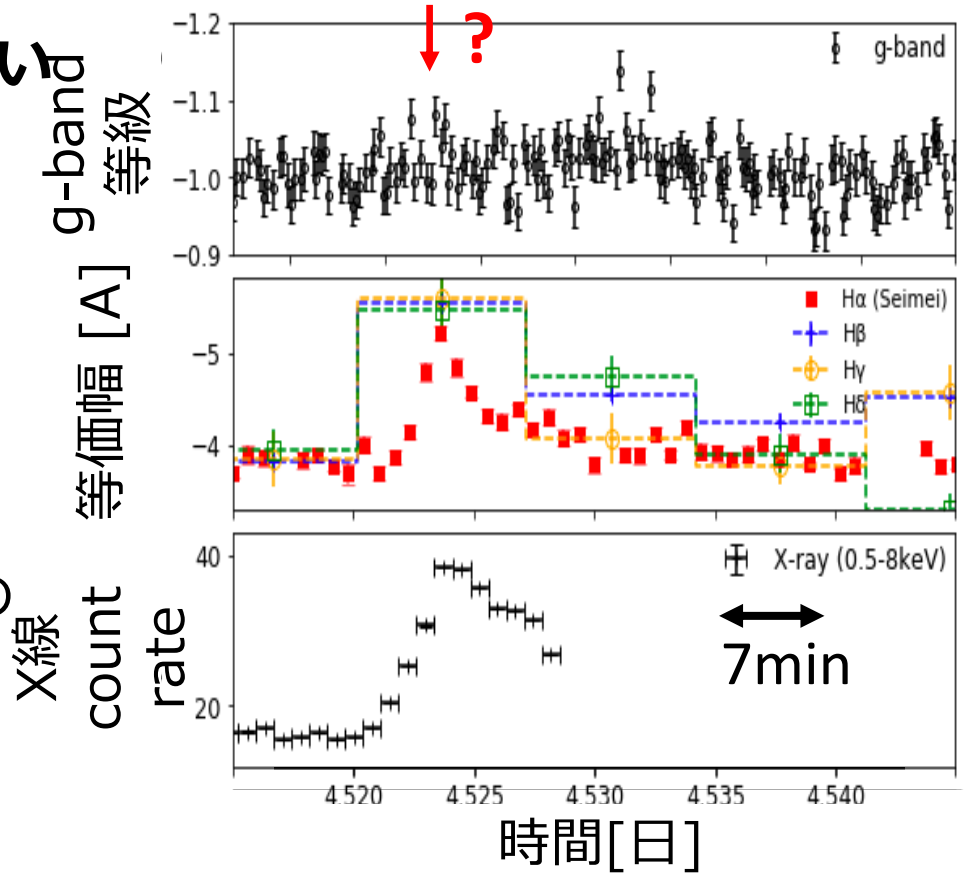
- **連続光の増光が非常に弱い**

  連続光/Hα強度
  フレアB:　< 0.014以下
  フレアA:　~0.25

  - 連続光の増光が弱いフレアは、特に最近報告されつつある(この後の前原さんの話等)

→ **原因は何か？**

フレアBの多波長観測の結果

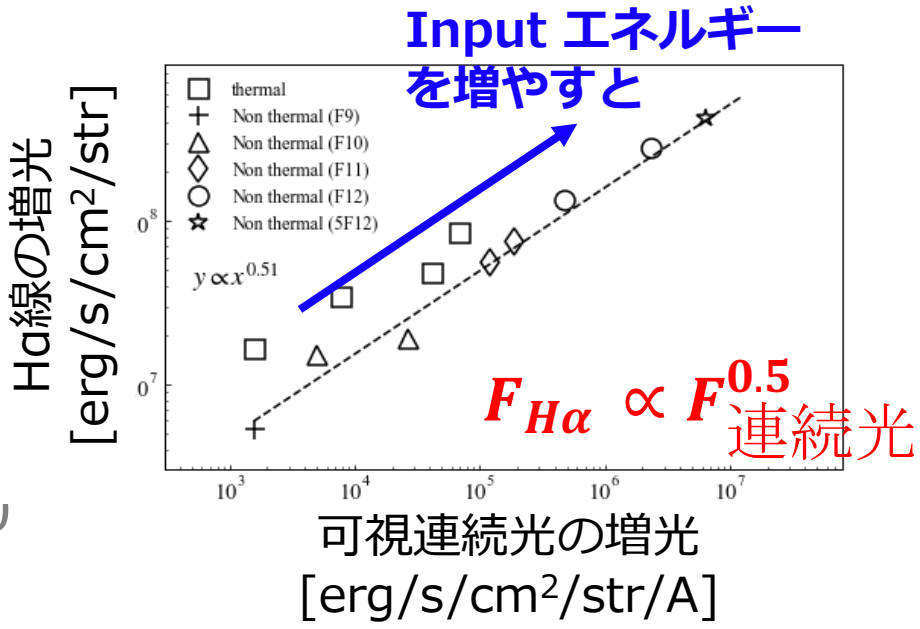


2) なぜ可視連続光の増光がないのか?

- 太陽フレアでも同様の現象の観測 (Watanabe+18)

- 数値計算：**Hαと連続光は非線形** (1次元計算;Namekata in prep.)

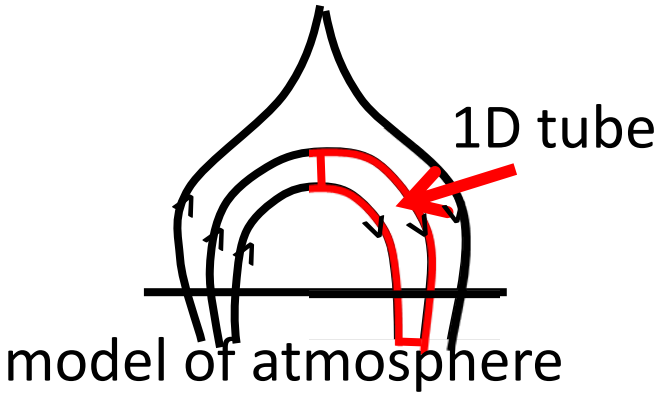
→ 可視光がない原因の可能性
例) Hαが1/10 → 連続光1/100



フレアBまとめ

- 波長ごとのエネルギー分配：

フレアの規模(注入エネルギー)に依存する可能性を観測・理論両面で示した。

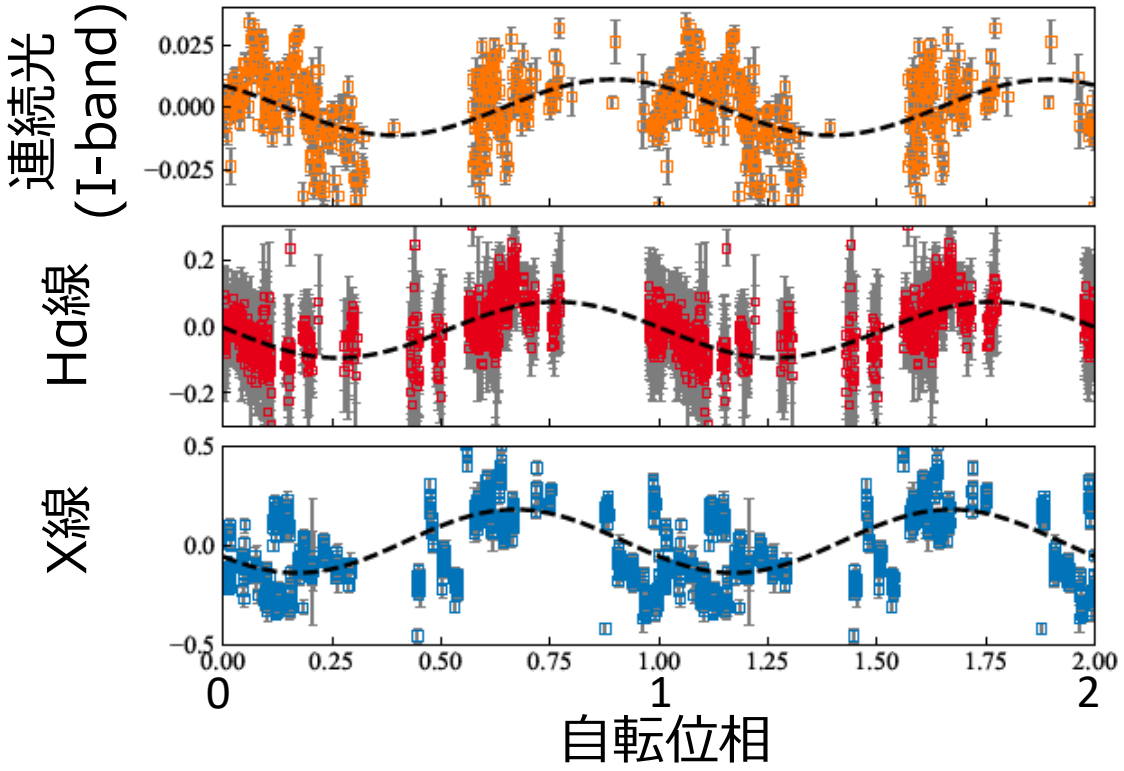


3) 自転による変動

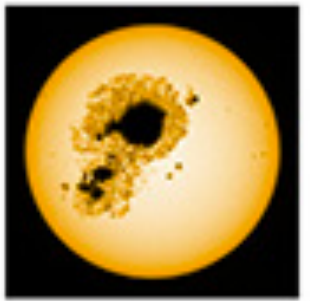
- X線、Hα線、(+連続光)で同時に自転変動(自転周期~2.2日)
  → **恒星観測では稀な、長期モニタの成果**

わかったこと

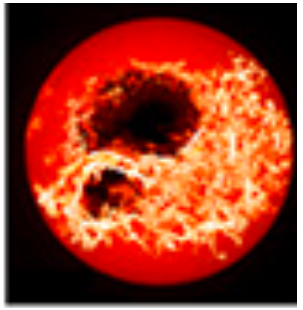
- コロナ放射(X線)の振幅は、光球・彩層放射より大きい
  → filling factor、あるいはcontrastが違う可能性
- 光球と彩層・コロナの位相に大きな違いなし？(<0.25自転)
  → 太陽では逆相関: 太陽の活動領域の空間分布と描像が異なる？



光球(黒点+
プラージュ)
振幅 <~ 3



彩層
振幅~20%



コロナ
振幅~50%

想像図

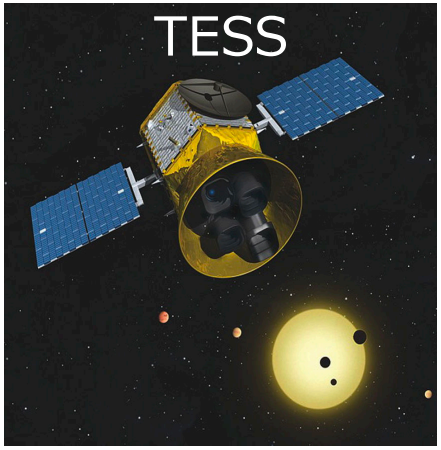
本発表のまとめ

- **せいめい望遠鏡の観測が開始!**
  → 世界最高級の時間分解能でモニタ観測を実現し成果が出始める

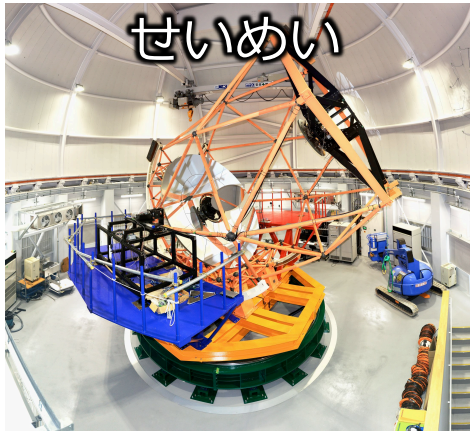
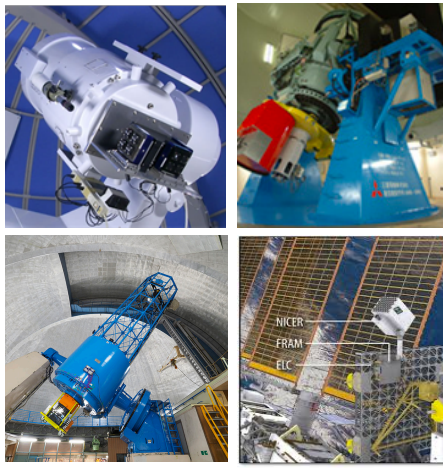
今回の観測でわかったこと

- フレアA：ライン幅の変化
  → エネルギー注入量の変化を示唆
- フレアB：optical/X線の多波長で同時観測
  → フレア毎に、波長毎のエネルギー分配が異なる可能性
- X線・Hα(・可視連続光)に同位相の自転変動が見られること。

課題：均一なフレア観測数の増加・高精度な可視連続光の測光観測等
→ **TESS+せいめい/大学間連携の同時観測**(→この後前原さん)



+



+