

# 太陽型星スーパーフレアに伴う質量噴出現象



行方宏介 / Kosuke Namekata  
京都大学 D3 (来年からNAOJ)

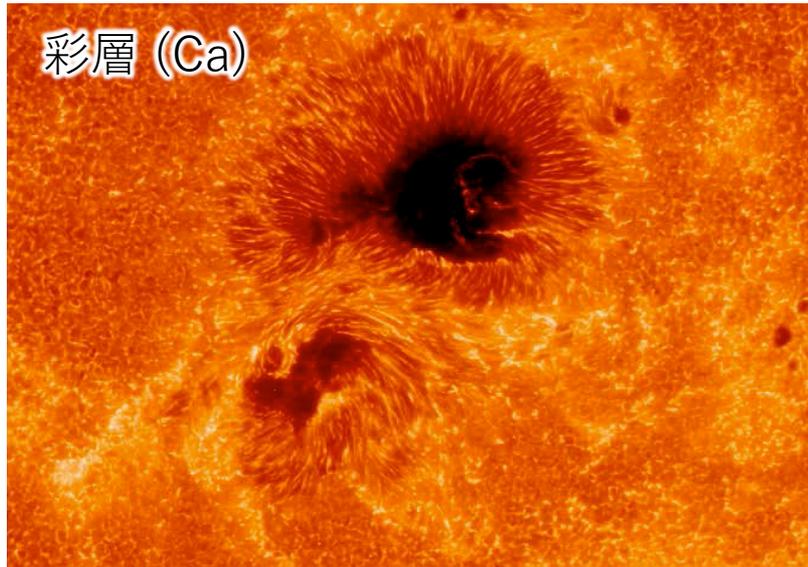
前原裕之 (NAOJ), 本田敏志 (兵庫県立大),  
野津湧太 (CU Boulder), 岡本壮師, 野上大作, 柴田一成 (京大),  
OISTER and SMART team collaborations

# 太陽フレア

- フレア：黒点周辺の**磁気エネルギーの解放・増光現象** ( $10^{29-32}$  erg)
  - 磁気リコネクションを介して発生[cf. 柴田さんtalk]

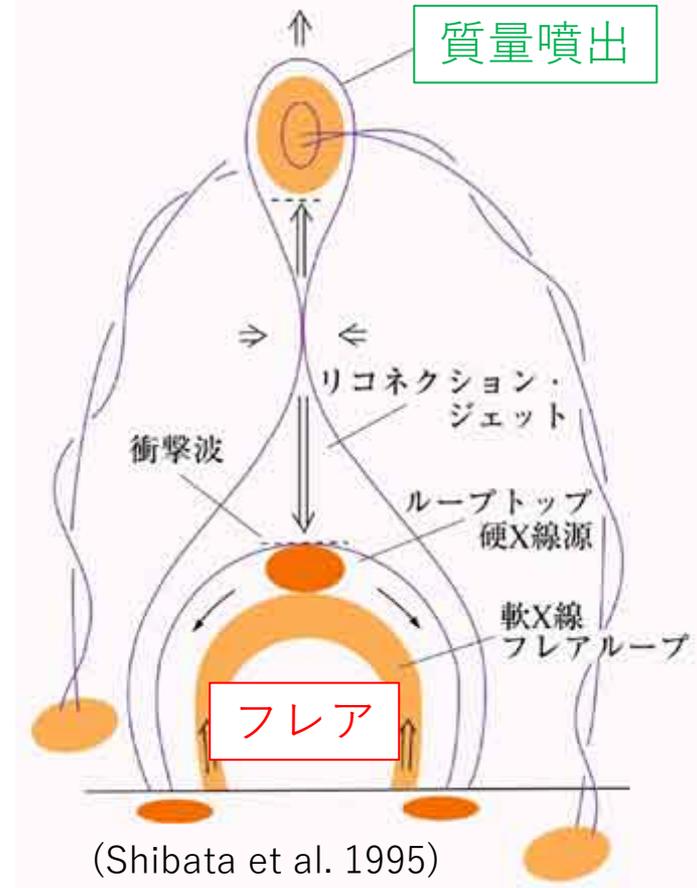
黒点近傍でフレア(増光現象)発生

彩層 (Ca)



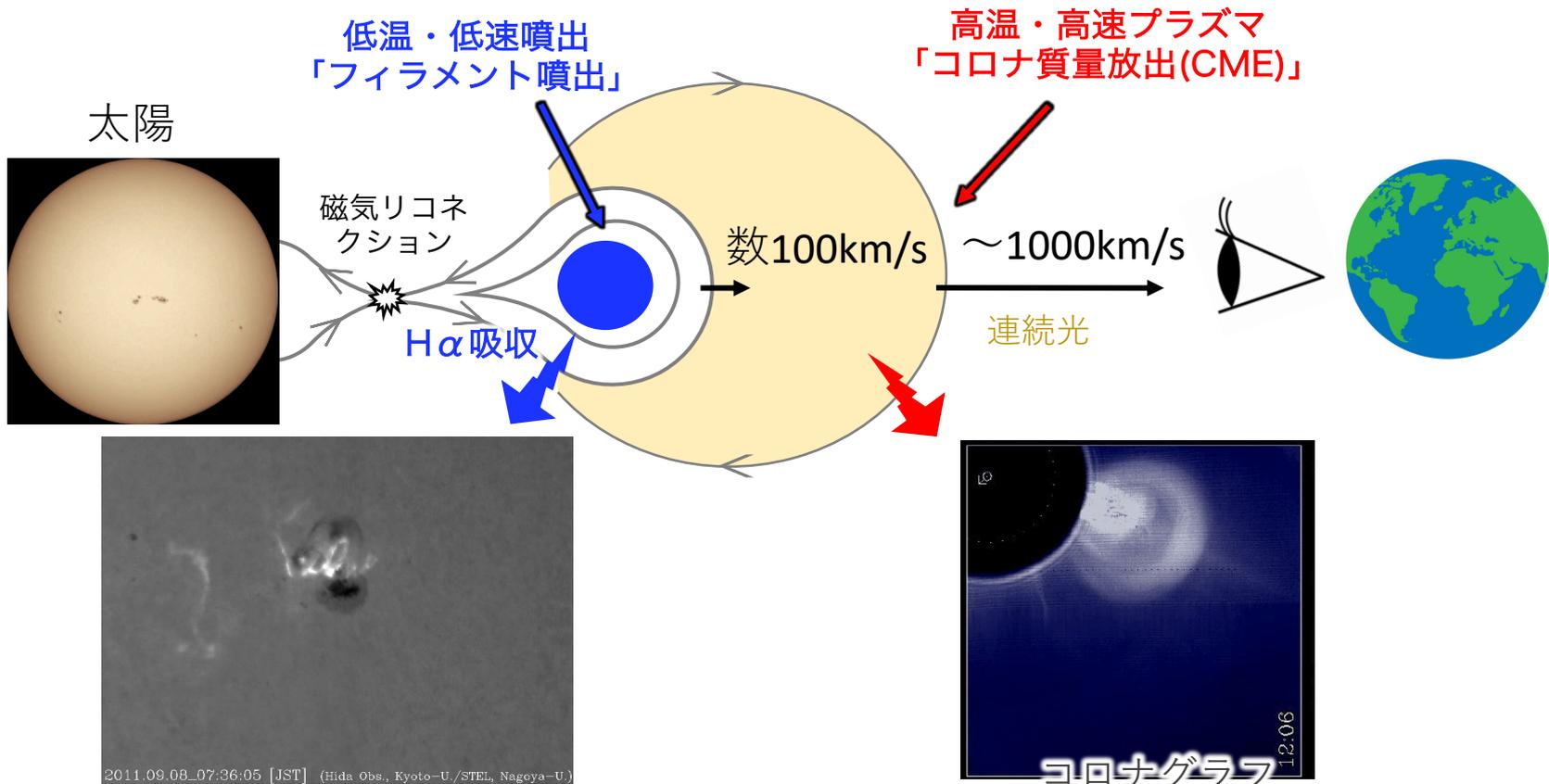
©JAXA/Hinode(Ca) movie

太陽フレアの磁力線のモデル



# 太陽の質量噴出

- フレアに伴い、質量噴出現象が発生(磁気エネルギー ⇒ 運動エネルギー)  
⇒ 地球磁気圏に衝突し、磁気嵐を発生させる [cf. 柴田さんtalk]
- ✓ 低温・低速成分(~数100 km/s)と高温・高速成分(数100-数1000 km/s)
- ✓ 低温成分は「フィラメント噴出」と呼ばれ、青方偏移するH $\alpha$ 吸収として見える



H $\alpha$  で見た低温質量噴出(©飛騨天文台)

(van Driel-Gesztelyi & Culhane, 2009)

# 恒星スーパーフレアに伴う大質量噴出？

- **スーパーフレア**：エネルギーが最大級の太陽フレアの10倍( $10^{33}$  erg)以上
  - ✓ M型星や連星, T Tauri星だけでなく、**太陽型星(G型主系列星)**でも発生 (Maehara et al. 2012, Nature, cf. この後岡本さんtalk)
  - ⇒ **近年の話題**：太陽でも発生しうる？系外惑星にどのような影響？

研究の動機：スーパーフレアに伴ってどのような質量噴出が発生？  
系外惑星のハビタビリティ(及び地球環境)に影響を与えるのか？

Fig. 太陽型星で発生したスーパーフレア

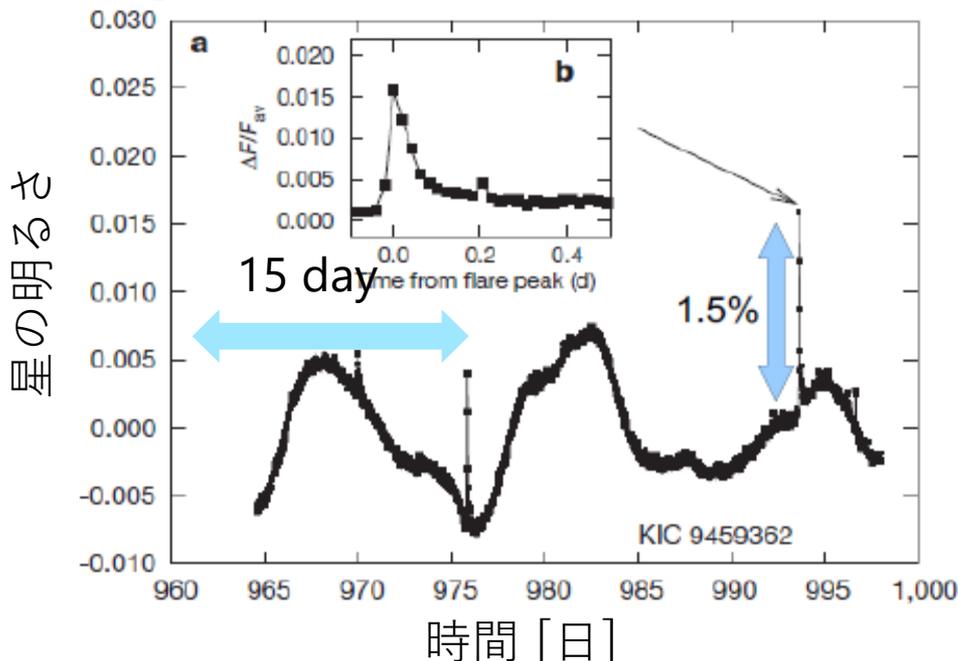
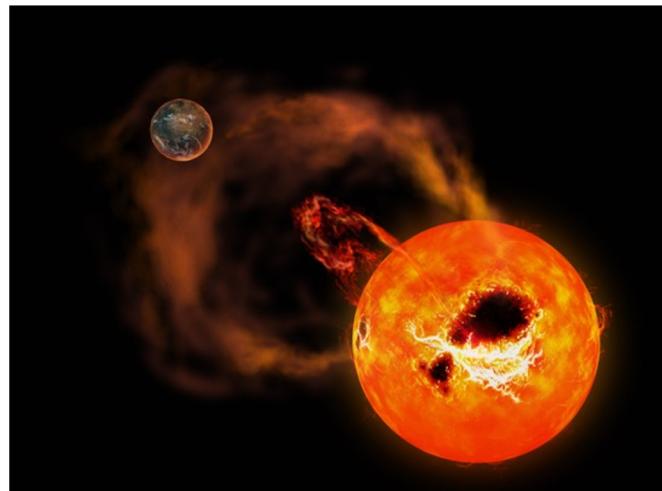


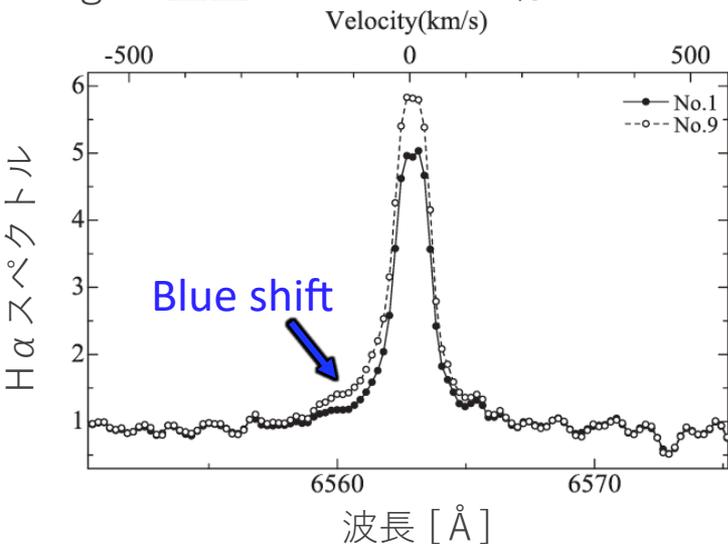
Fig. スーパーフレアに伴う質量噴出現象の想像図(©国立天文台)



# 先行研究：恒星フレアに伴う質量噴出は発生するのか？

- M型星や巨星では、その証拠らしきものが発見されてきた  
⇒ ただし、足元で起きるフレア増光との区別できておらず、確たる証拠に欠ける

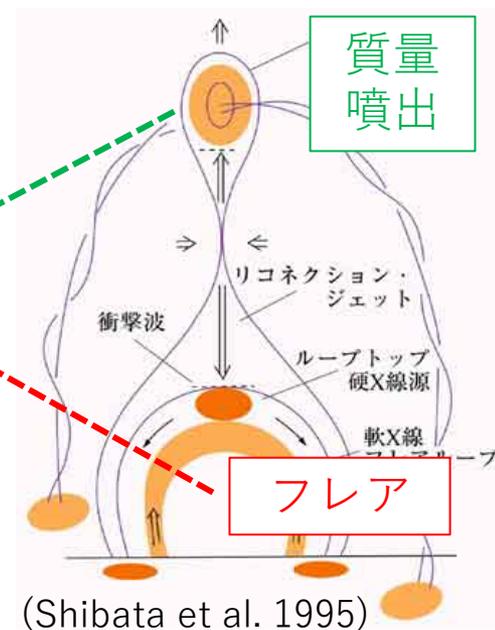
Fig. M型星でのバルマー線blue-shift現象



青方偏移「輝線」

- 質量噴出
- フレア中の運動

Honda+ 2018 (including K. Namekata)  
Cf. Argiroffi+2019, Nature astronomy



- 特に注目度が高い「太陽型星」での先行研究は??

- ✓ **実は、これまで何一つ検出例がない** [cf. no detection by Koller+20]
- ✓ そもそもフレアのスペクトル観測例さえが希少(可視0例, UVで1例)

⇒ **なぜ何も検出できないのか？**

# 本研究の課題・目的

- 太陽型星でのフレア/噴出現象の検出における課題:
  1. フレア/噴出現象の星に対する コントラストが低い
  2. 他の種類の星に比べて フレア頻度が極端に低い⇒ 高S/Nで、長期間(数10日)の、分スケールでの連続分光モニタが必要！
- 本研究：京大せいめい望遠鏡による挑戦 [2019年に観測開始]



- 口径3.8 m(東アジア最大)の光赤外望遠鏡  
⇒ 高い時間分解能で 高いS/Nで連続分光
- 大学の専有時間により、長期間モニタが可能  
⇒ 発生頻度が低いスーパーフレアも複数観測可能

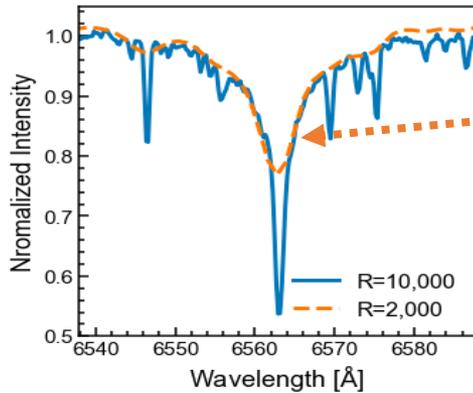
## 本研究の目的:

太陽型星フレア分光データの初検出/質量噴出の有無・物理の解明

# 本研究の手法

- フレアの発生は予測不可能：  
⇒ せいめい/KOOLS-IFUで、太陽型星のH $\alpha$ 線の連続分光モニタ観測  
⇒ 太陽のような青方偏移するH $\alpha$ 成分(低温質量噴出)を探す!

太陽型星 EK DraのH $\alpha$ 線 (吸収線)



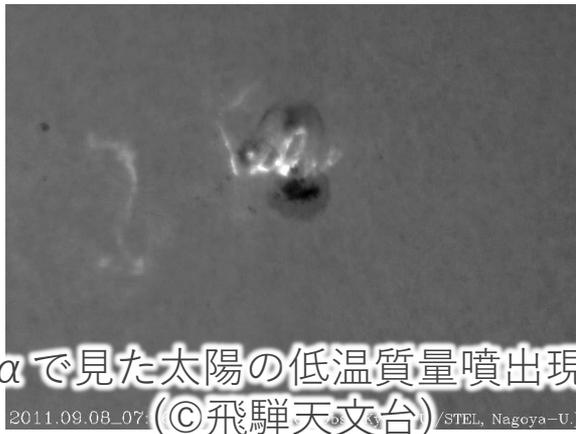
KOOLS-IFU

- 速度分解能  
~ 150 km/s

- 太陽フレアから外挿すると、H $\alpha$ 線の変化は数%程度  
➤ 高いS/N=200、時間分解能1分で連続分光モニタ観測を実施



- ✓ もし、太陽のような低温噴出現象 (~数100km/s)が発生していれば、H $\alpha$ の青方偏移成分が検出可能!



H $\alpha$ で見た太陽の低温質量噴出現象

2011.09.08\_07: (©飛騨天文台) /STEL, Nagoya-U.)



恒星スーパーフレアに伴う質量噴出現象

の想像図(©国立天文台)

# 観測の概要

- Target星: 活動的な若い太陽型星 EK Dra
  - 年齢約100 Myrの零歳主系列のG型星 ('Young solar analog')
- 観測の概要
  - 2020年に約20夜の連続分光モニタ観測(PI:行方) ⇒ 前例のない長期連続モニタ
  - せいめい望遠鏡を中心に、なゆた望遠鏡(H $\alpha$ 分光)・TESS衛星と同時観測
    - ⇒ フレアの分光データが検出できたことを補強
  - TESS観測：巨大黒点、約20夜で平均1.5個のフレア可能(?)



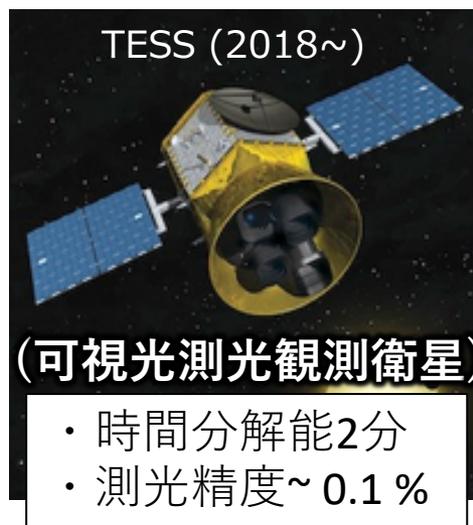
せいめい/KOOLS

- 波長分解能 2,000
- 時間分解能 ~ 1分



なゆた/MALLS

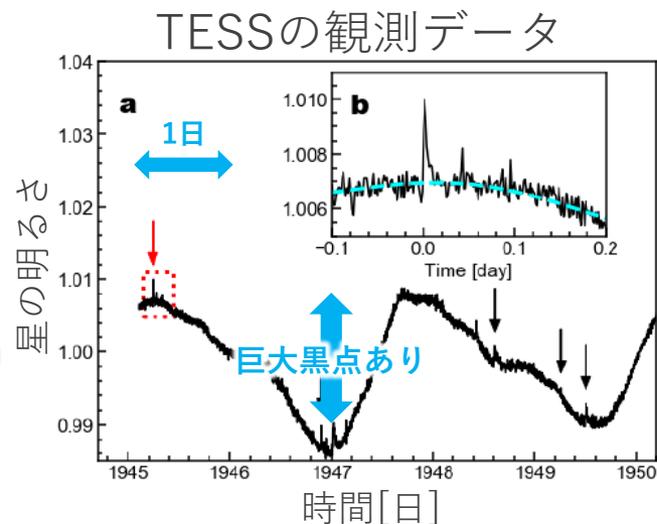
- 波長分解能10,000
- 時間分解能 ~ 3分



TESS (2018~)

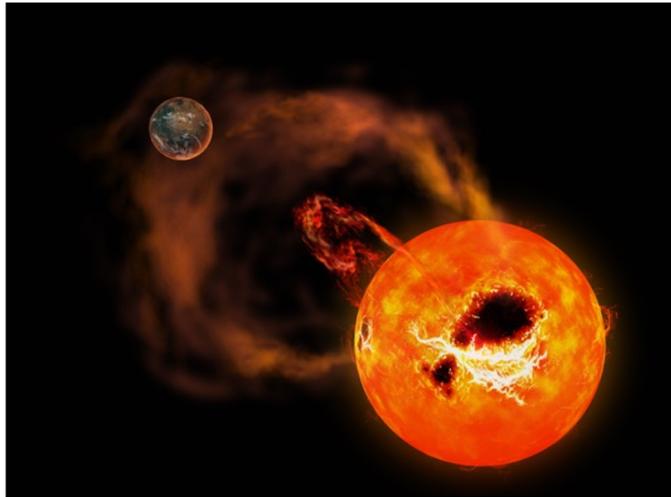
(可視光測光観測衛星)

- 時間分解能2分
- 測光精度 ~ 0.1 %



# 学術的意義

- 若い太陽型星(及び若い太陽)での質量噴出現象が、**周りの系外惑星(及び原始地球)大気に与える影響**を観測的に評価しうる唯一の観測例を得た。
- 現在の太陽でも発生しうるスーパーフレア/質量噴出現象のプロキシ  
⇒ 人類文明にとっても無視できない現象に対して、観測的示唆
- 実は、若い太陽での質量噴出によるmass loss(最大 $10^{-12} M_{\text{sun}}/\text{yr}$ )は、当時の太陽風よりも高い可能性(e.g. Osten et al. 2015)  
⇒ **星の質量進化理論において無視できない寄与**があり  
この可能性をよりサポートする結果を得た。



# 成果まとめ

手法：せいめい望遠鏡・なゆた望遠鏡・TESSで、  
太陽型星EK Draを連続測光・分光モニタ観測を実施

結果：

- ✓ 若い太陽型星のスーパーフレアからの質量噴出( $H\alpha$ 線で510km/s)を(太陽型星で)初検出した
- ✓ 太陽の小規模な噴出現象を拡大した描像に対応
- ✓ フレアと質量噴出の関係性も物理的に理解できる可能性も提案

