

OISTER WS 2023 15:20-15:40 Feb 28 (Tue), 2023

OISTERで迫る太陽型星スーパーフレア 研究の現状と今後



行方 宏介/Kosuke Namekata
(NAOJ/ALMA Project, JSPS fellow)



Collaborators: H. Maehara (NAOJ), V. Airapetian (NASA), Pascal Petit (Obs. Midi-Pyrenees), S. Honda (Univ. of Hyogo), Y. Notsu, (CU Boulder), K. Ikuta (Univ. of Tokyo), S. Inoue, D. Nogami, K. Shibata (Kyoto Univ.), and solar/stellar team in Japan&US.

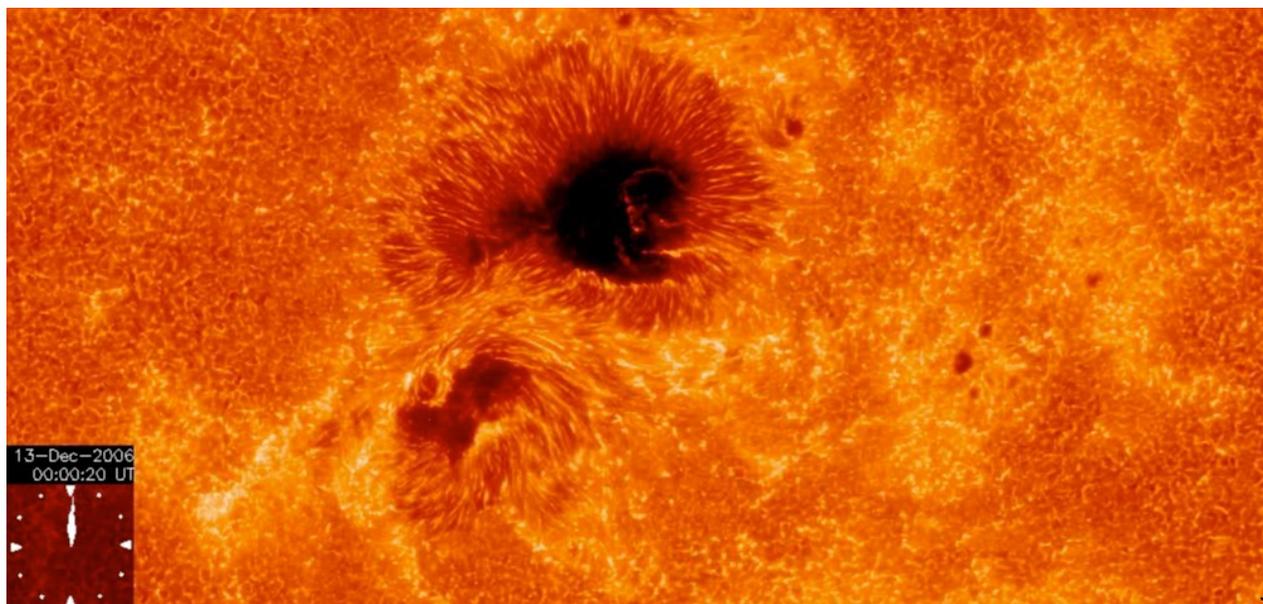
Outline of This Talk

- 太陽型星のスーパーフレアの面白さ
- せいめい望遠鏡/OISTERでの最近の研究成果
- 今後のOISTERの活用方針

太陽・恒星フレア

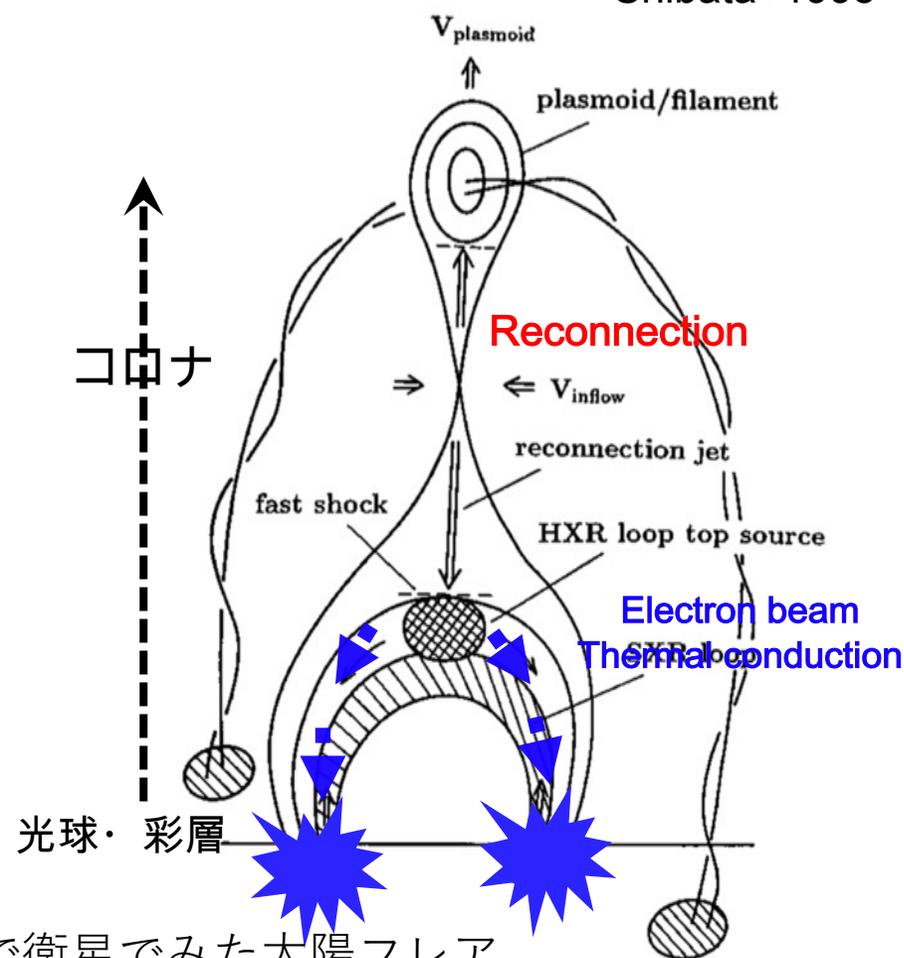
表面で**突発的に爆発・増光する現象**

- ・ X線～UV～可視光～電波まで
全ての波長で観測される
- ・ 「黒点」周辺の磁気エネルギーを解放



太陽フレアの模式図(横から見た場合)

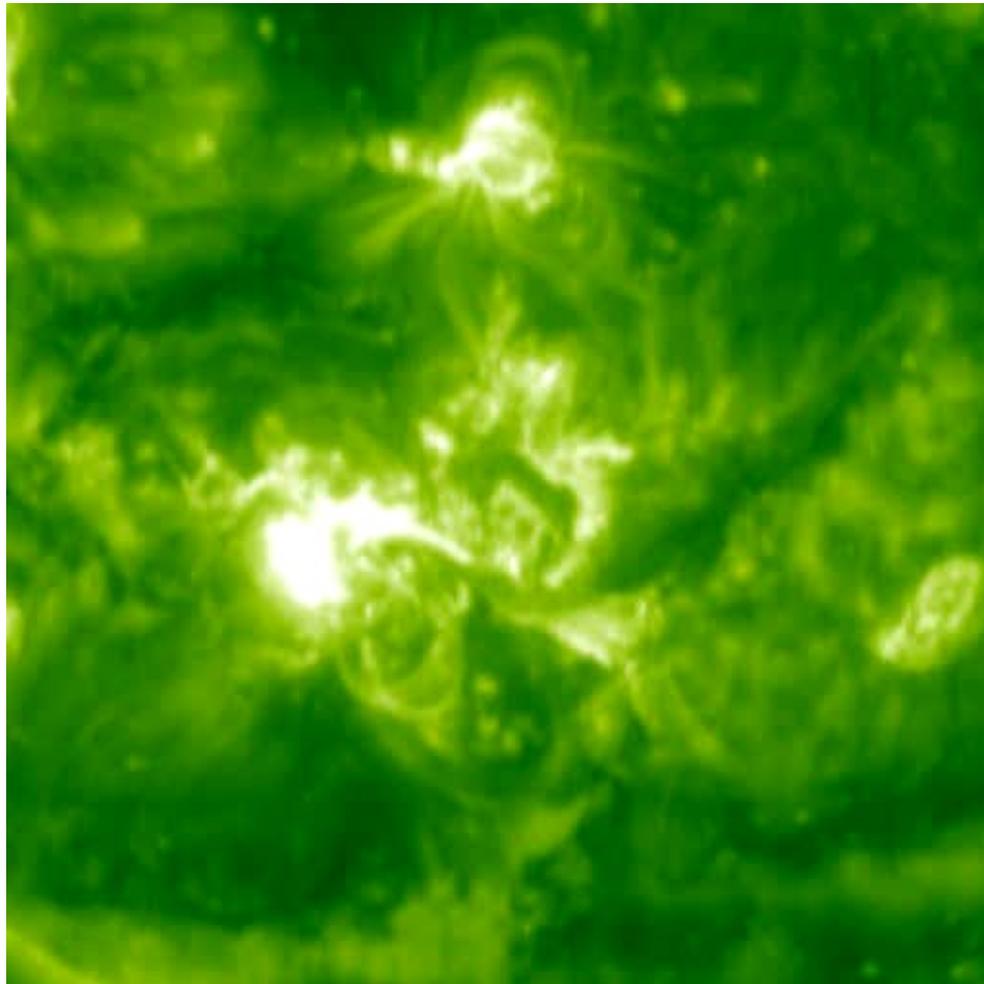
Shibata+1995



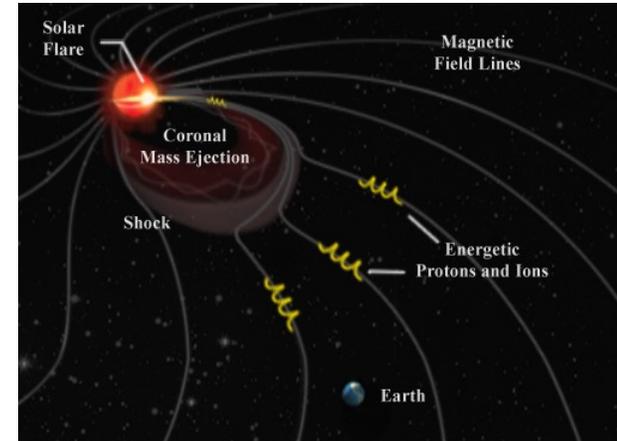
ひので衛星でみた太陽フレア
(カルシウム線)©JAXA/NOAJ

太陽の磁気活動性の地球への影響

コロナ質量放出(以下、CME):
磁気プラズマが宇宙空間に放出



衝撃波面で高エネルギー粒子が生成



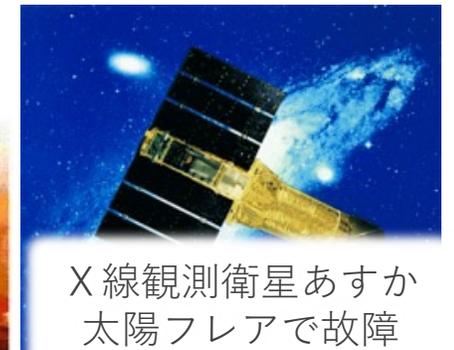
©V. Airapetian

実際の**宇宙災害**につながる

- 地上送電網の故障
- 人工衛星の故障
- 宇宙飛行士や航空機乗客の被曝



1989年3月13日の磁気嵐による
ケベック州の大停電



X線観測衛星あすか
太陽フレアで故障

太陽型(G型主系列)星のスーパーフレアの面白さ

- 近年、Kepler衛星により太陽型星 (10^{33-36} erg) で年齢問わずスーパーフレアが発生していることが話題となった (Maehara et al. 2012, Nature)

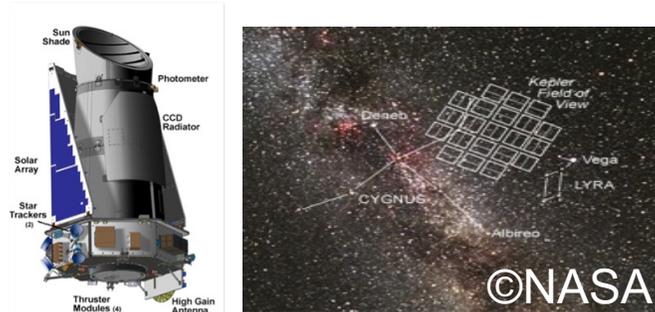
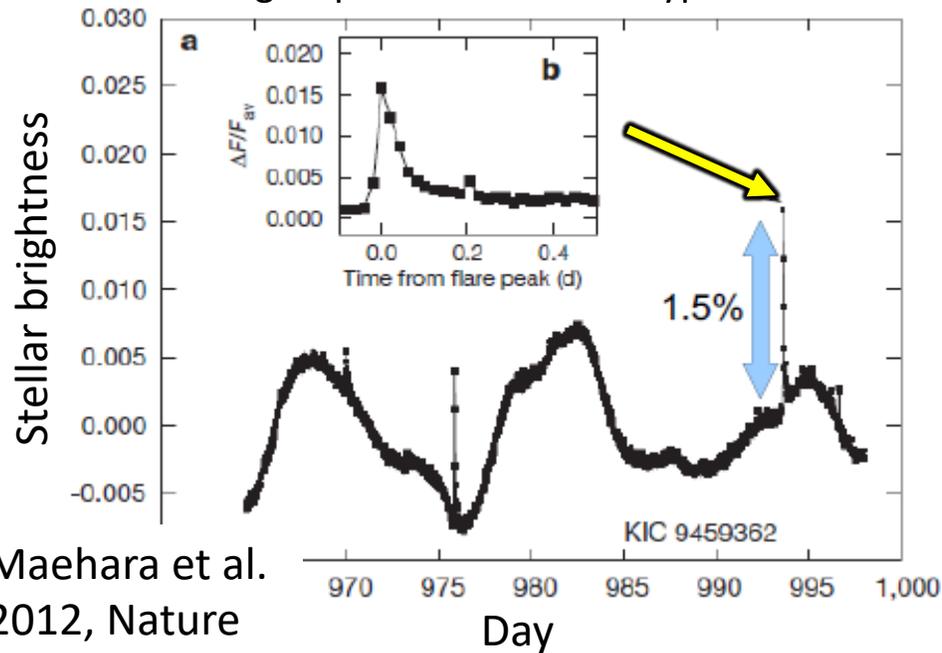
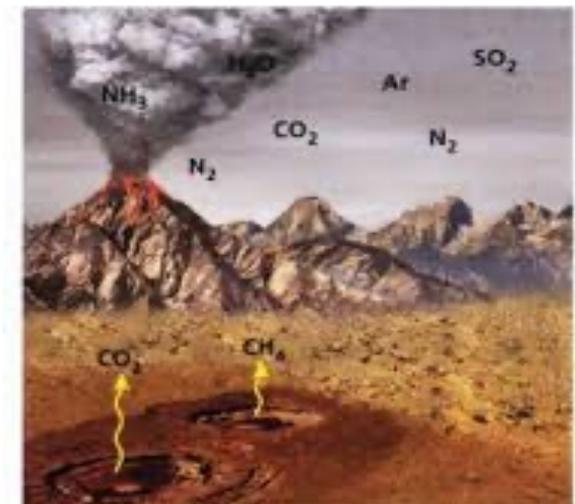
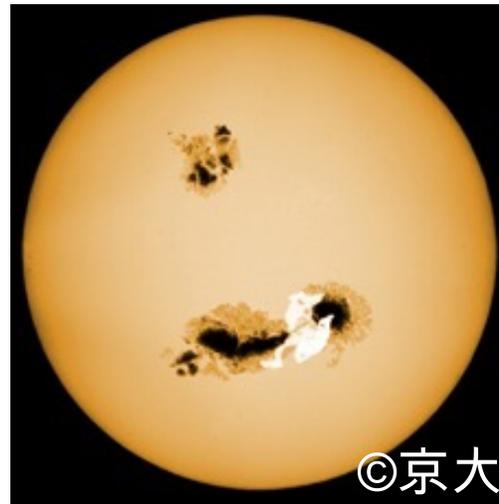


Fig. superflares on solar-type star



Maehara et al.
2012, Nature

- 今の太陽より100倍強も活動的だった若い太陽に対し、地球は大丈夫だったのか？
- 今の太陽でスーパーフレアが発生したら、文明への影響はどれくらいなのか？

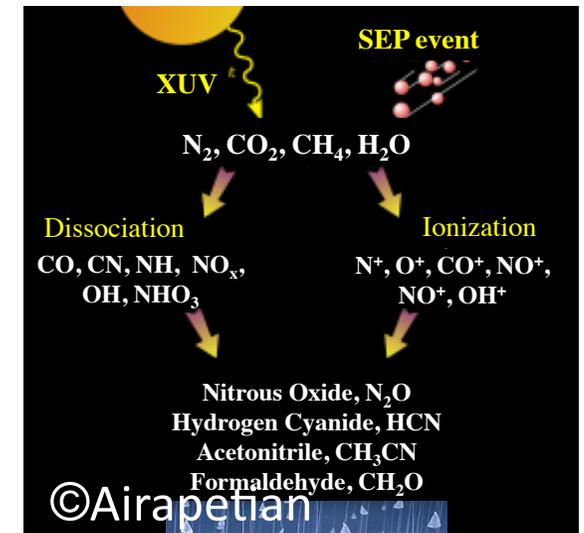
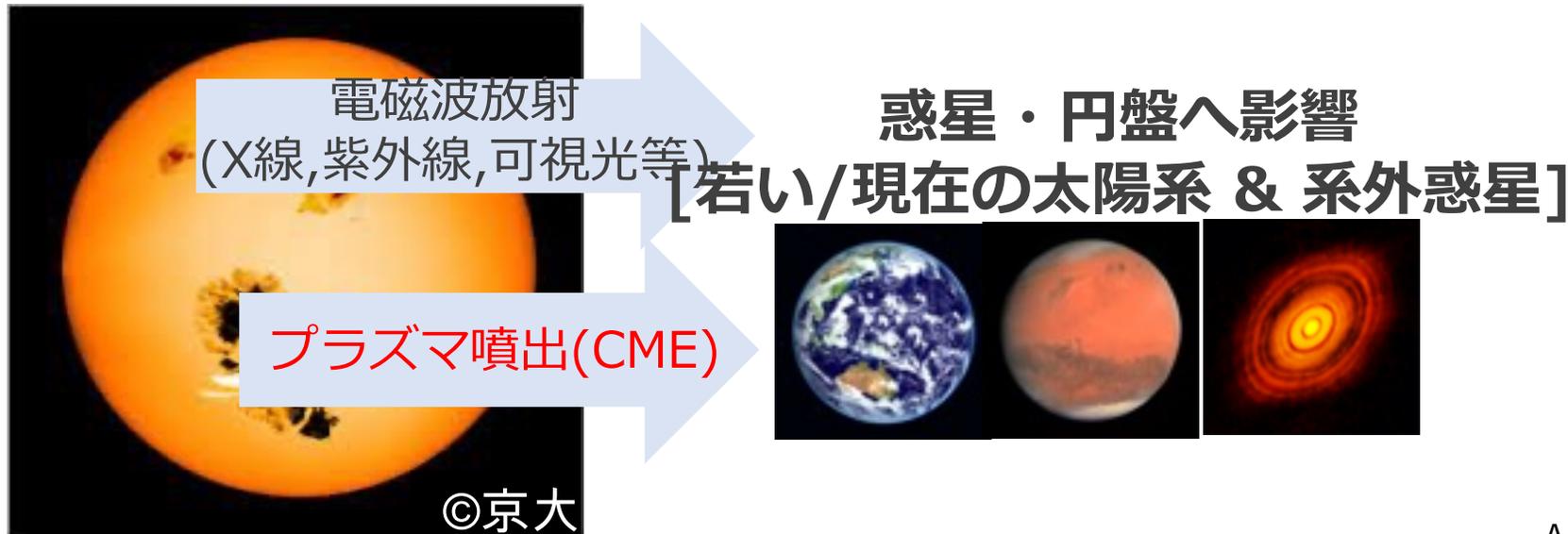


恒星スーパーフレアが引き起こす脅威と恩恵

- フレアに伴う&定常のX線・UV ⇒ 系外惑星上層大気を電離・加熱⇒大気流出
- CMEが発生 ⇒ 温室効果ガスや有機物質の元分子の生成 ⇒ ハビタビリティ形成

Or, ⇒ 大気流出, 被曝 ⇒ ハビタビリティを破壊

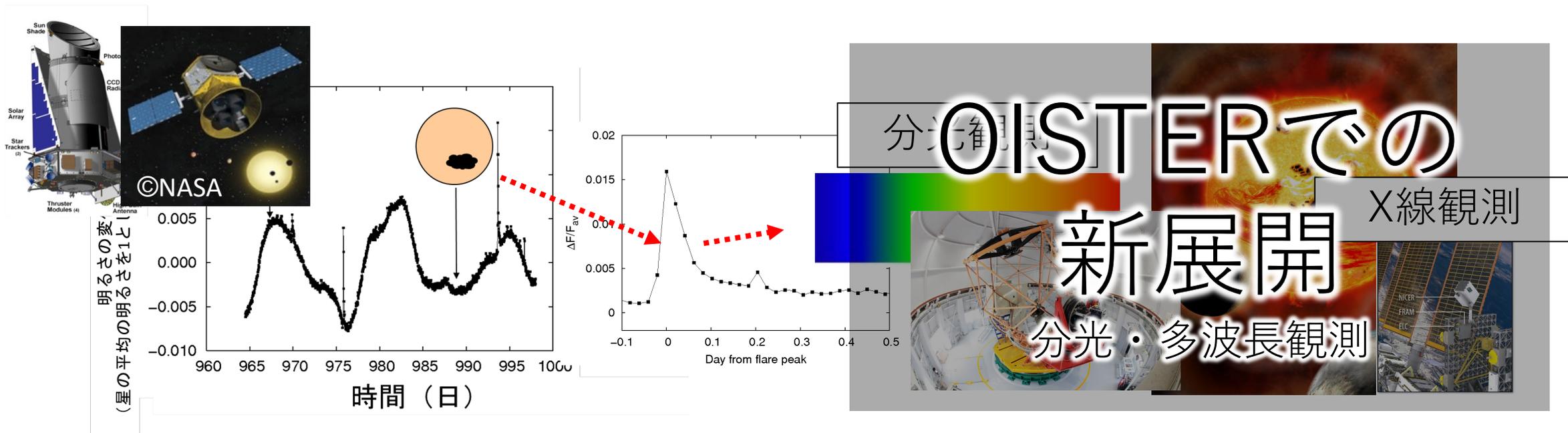
⇒ これらの系外惑星へのインプットの理解には分光観測や多波長観測が必要



Airapetian et al. 2016, Nat. Geosci
Hu et al. 2022, Sci. Advances

ここ10年の成果・近年の新展開

- Kepler/TESSにより、測光観測の統計的性質はほぼほぼ調査された
⇔ (スペクトル線)分光 & 多波長でのフレア観測は少ない
 - M-dwarfではそこそこ ⇔ 特に太陽型星は難易度が極めて高い[Aryes+15, Guarcello+19]
- 新展開：**機動力の高い地上・宇宙望遠鏡の潤沢な観測時間に基づいた、太陽型星スーパーフレアの分光観測・多波長観測へ挑戦**

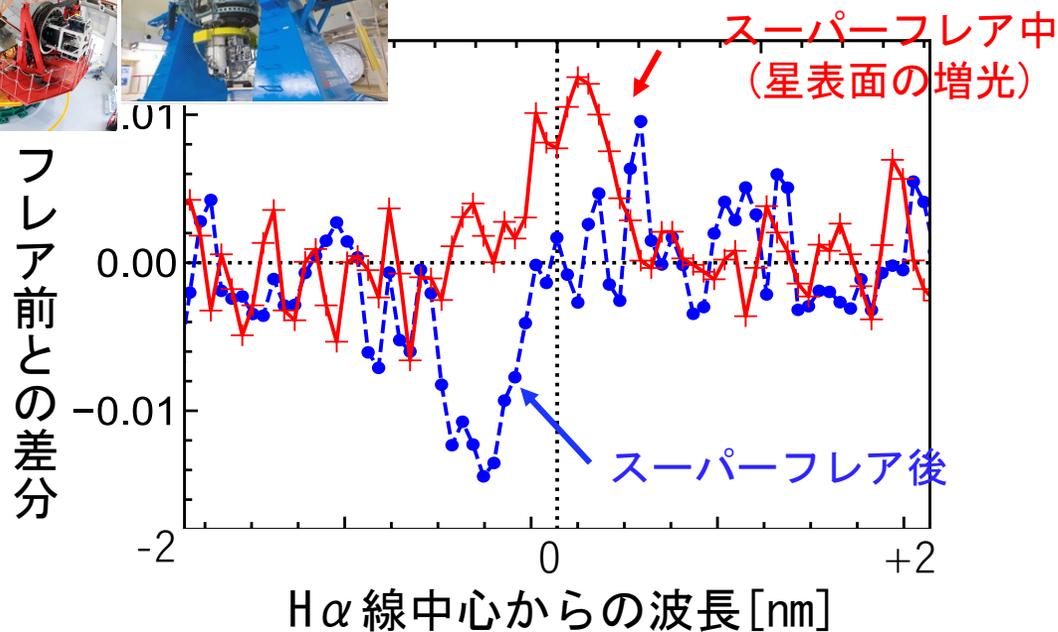


近年の光赤外線大学間連携での成果

- 2020年、せいめい望遠鏡+なゆた望遠鏡の高い機動力を生かしたモニタ観測により若い太陽型星EK Draのスーパーフレアの分光観測に初成功！
- 「青方偏移するH α 線の吸収成分」を検出し、太陽型星表面からの噴出現象の決定的な証拠を初検出(Namekata K. et al. 2022, Nature Astronomy)

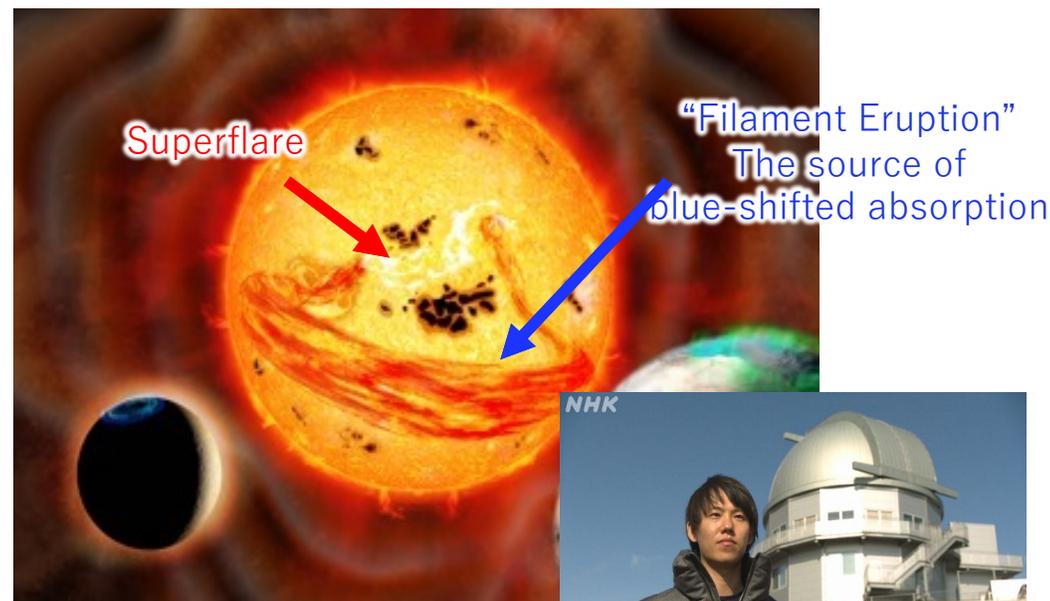


Fig. 差分スペクトル

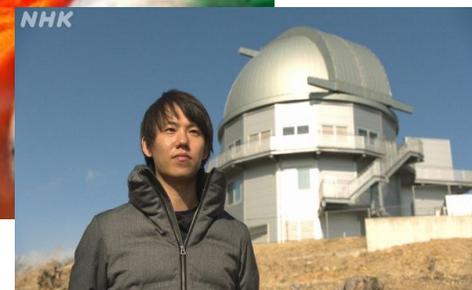


(過去のOISTER WSで報告)

⇒ 若い太陽の大質量噴出まで示唆



(©NAOJ)



(©NHKコズミックフロント) 8

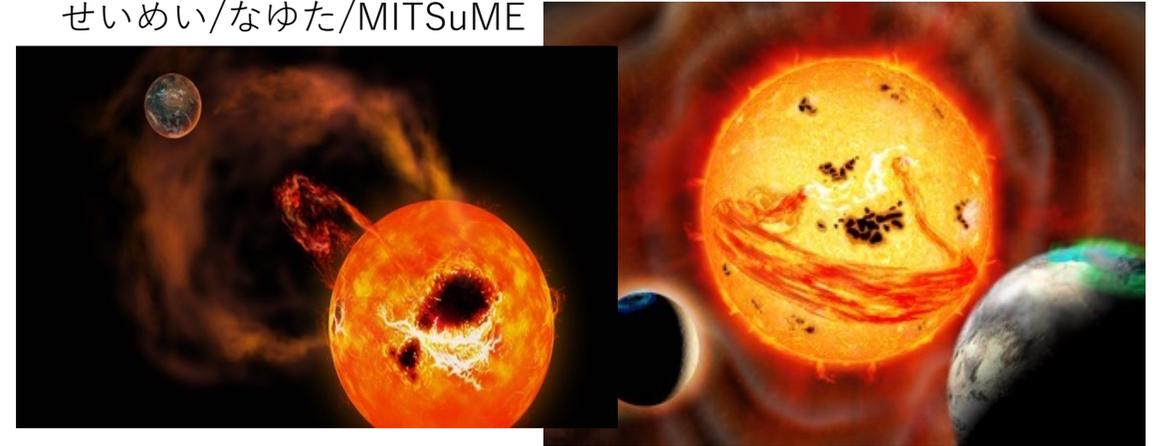
残された疑問

- イベント/天体ごとに
多様性はどれほどあるのか？
- 大噴出現象の発生頻度は？
- 多波長での振る舞いは？
- 大噴出現象を起こす黒点の様子は？

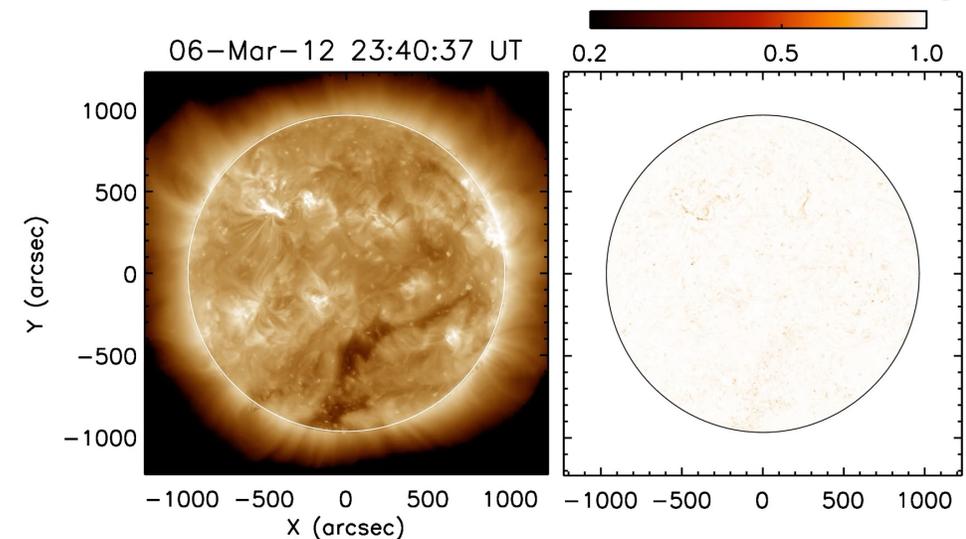
ここ2年、これら(ほぼ全て)に答える研究を
せいめい&なゆた望遠鏡で実施

OISTER 2020年プレスリリース
行方ら(©京大・国立天文台)
せいめい/なゆた/MITSuME

OISTER 2020年プレスリリース
行方ら(©国立天文台・京大)
せいめい/なゆた



太陽のX線/UVでの噴出現象の振る舞いVeronig+21



Outline of This Talk

- 太陽型星のスーパーフレアの面白さ
- せいめい望遠鏡/OISTERでの最近の研究成果
- 今後のOISTERの活用方針

太陽型星の噴出現象の観測戦略

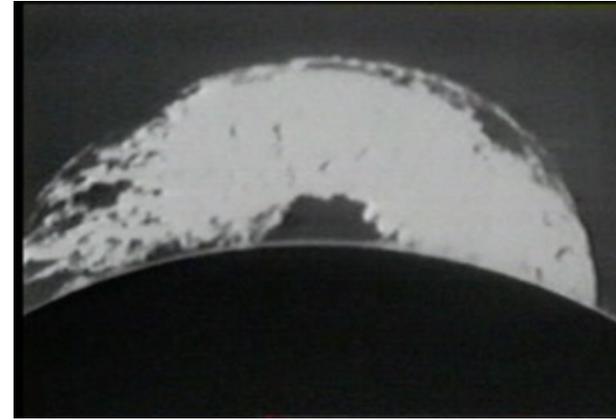
- H α 線の分光観測でドップラーシフトを調べ、**噴出現象の中心部(プロミネンス)の運動を見る**

- 太陽型星フレアは、発生頻度も低いし、
フレアの増光低いし、その上継続時間は
数分~時間しかない

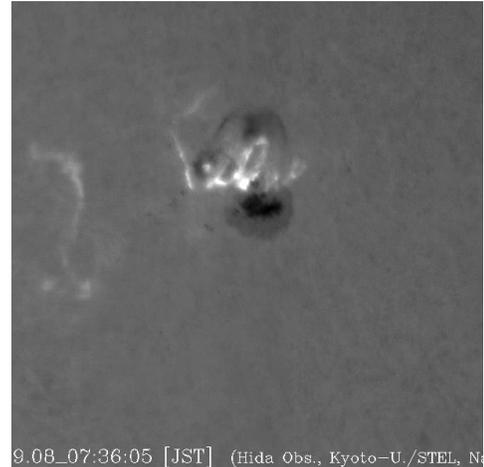
- 検出するには、「大きい望遠鏡で、長時間の、連続分光観測」が必要

⇒ **せいめい望遠鏡/なゆた望遠鏡/188cm望遠鏡**と言った国内数m級望遠鏡を使い倒し、膨大な時間を割けば、未開拓の太陽型星フレアの分光サンプルを集められる

最大の太陽プロミネンス噴出
(1946年6月4日: 米国HAO、
横から見た動画)



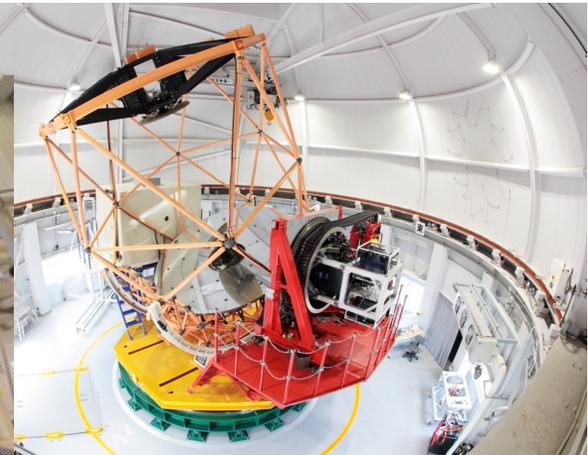
フィラメント噴出
(京都大学飛騨天文台SMART
望遠鏡、上から見た動画)



©東工大



©西はりま



©京大

Target stars & Results

[Target star]

EK Dra (G2V), V889 Her(G1.5V)–“**代表的な近傍の若い太陽型星**”

(in main sequence; Age \sim 30-100 Myr; $T_{\text{eff}} \sim 5700\text{K}$)

($V_{\text{mag}}=7.5$, best targets for flare monitor)

[Photometry]

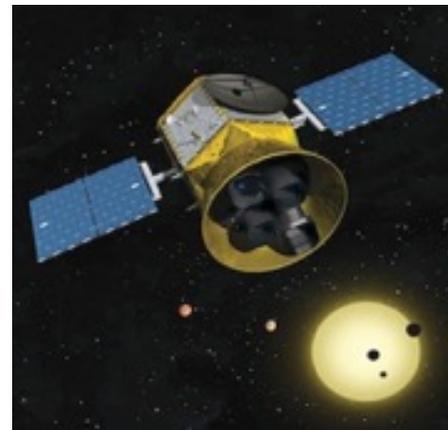
TESS Sector 21-23 (2020 Jan-Apr): **2 min cadence**

[H α Spectroscopy]

Japan) Seimei 3.8m (R=2000), Nayuta 2m (R=10000)

- **$S/N \sim 100-200$ & 1-5 min cadence**
- **[Our advantage] ~ 150 nights observations**

TESS



©NASA

3.8m Seimei Telescope



©京大

Result

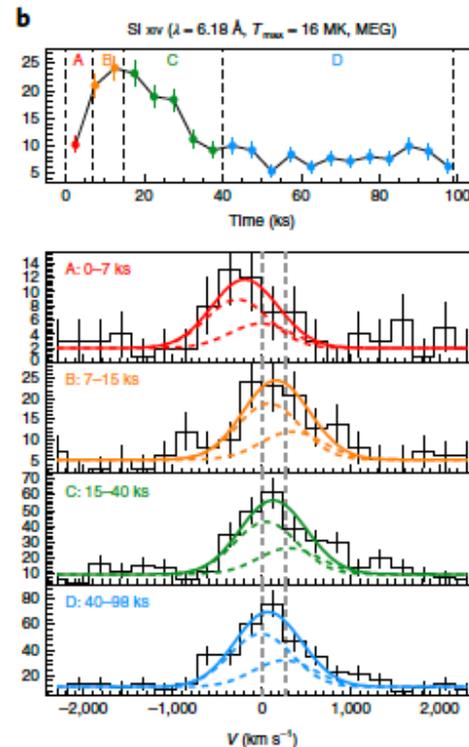
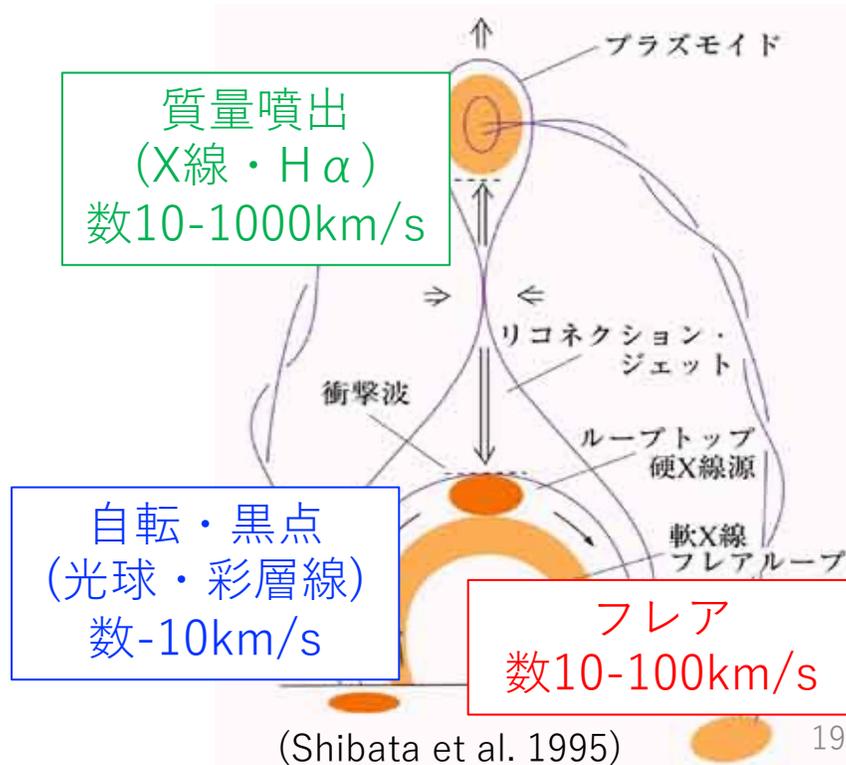
~ 9 superflares on the young Sun-like star were detected in H α and WL!

Outline of This Talk

- 太陽型星のスーパーフレアの面白さ
- せいめい望遠鏡/OISTERでの最近の研究成果
- 今後のOISTERの活用方針(今後5年)

方針1: スペース(主にXRISM)との連携

- XRISM(2023~): 高温コロナのフレア上昇流の検出や、abundanceの測定など
- チャンドラやXMMの研究に、可視測光・分光を加えることで新たな研究に
- XRISMの限られた貴重な観測時間に、classical/ToO的に対応できる準備を



Argiroffi et al. 2019, Nat. Astron.
(Chandraのアーカークを解析)

方針2: 高分散分光観測への期待

- せいめい望遠鏡/KOOLS-IFUの中分散では限界あり
 - 低速流が検出できないし、line profileも検出できない
 - 黒点の配置を調べる研究も、現状では海外望遠鏡に依頼している
- やはり、 $R > 2-50,000$ 以上の高分散分光観測が自由に使える環境が欲しい
 - なゆた/MALLSのエッシェルモードの利用 + せいめい可視光分散の開発

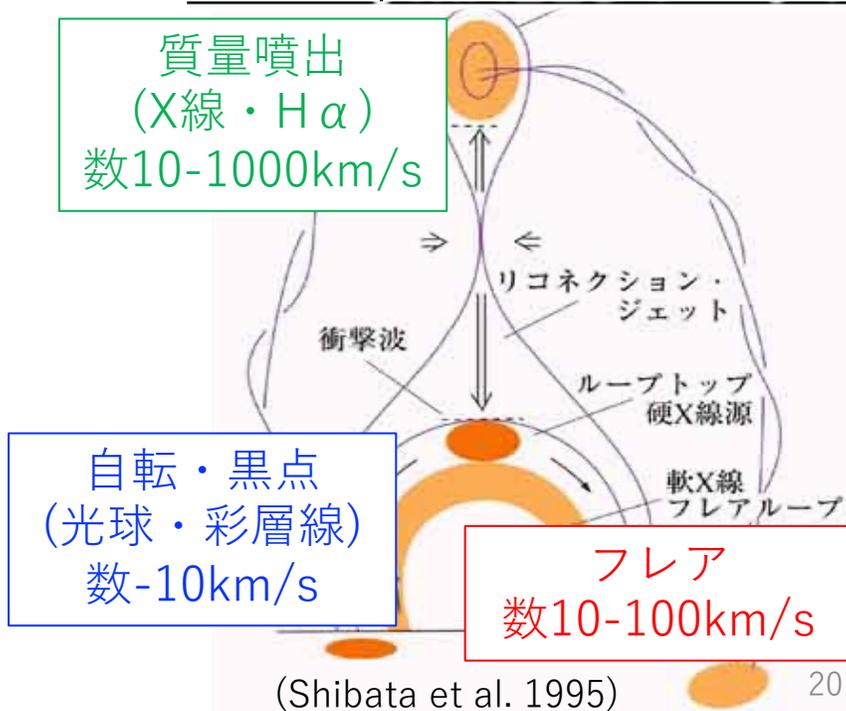
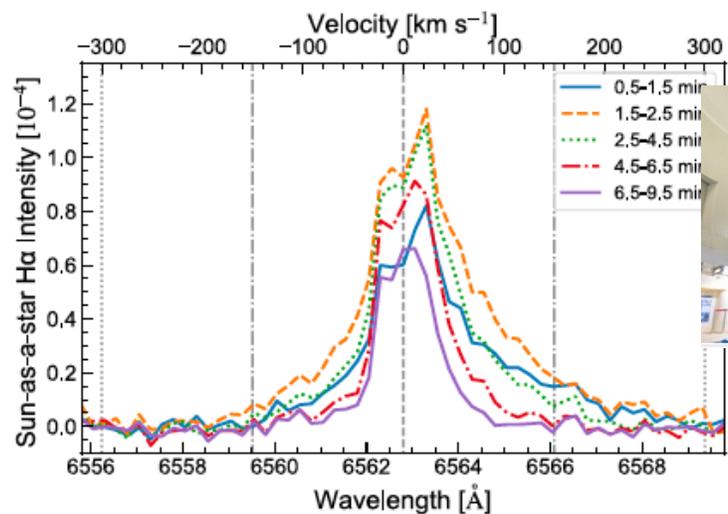


Fig. 太陽で観測される数10km/sの流れ (Namekata+22c)



+ 高分散分光器

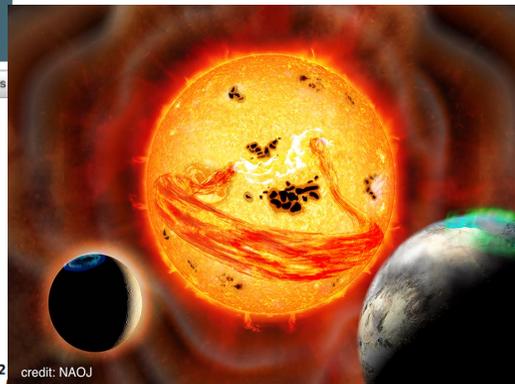
Summary

- 【2020年】せいめい/なゆた望遠鏡により、太陽型星スーパーフレアの初の可視光分光観測に成功し、フィラメント噴出の発生の決定的証拠を検出。
- 【2021年以降】多様性、発生頻度、多波長の側面、黒点との対応など、いろいろなことが明らかになり始めた。
- 【今後5年ほど】XRISMとの連携、可視光(赤外)高分散分光器の開発



OPEN Probable detection of an eruptive filament from a superflare on a solar-type star

Kosuke Namekata^{1,2,3}, Hiroyuki Maehara⁴, Satoshi Honda⁵, Yuta Notsu^{6,7,8}, Soshi Okamoto¹, Jun Takahashi⁵, Masaki Takayama⁵, Tomohito Ohshima⁵, Tomoki Saito⁵, Noriyuki Katoh^{5,9}, Miyako Tozuka⁵, Katsuhiro L. Murata¹⁰, Futa Ogawa¹⁰, Masafumi Niwano¹⁰, Ryo Adachi¹⁰, Motoki Oeda¹⁰, Kazuki Shiraishi¹⁰, Keisuke Isogai^{2,11}, Daikichi Seki^{1,2,12}, Takako T. Ishii², Kiyoshi Ichimoto², Daisaku Nogami¹ and Kazunari Shibata^{13,14}



References

- Namekata et al. 2022 (2021 online/ADS), Nat. Astron., 6, 241
- Namekata et al. 2022, ApJL,
- Namekata et al. in prep.

