

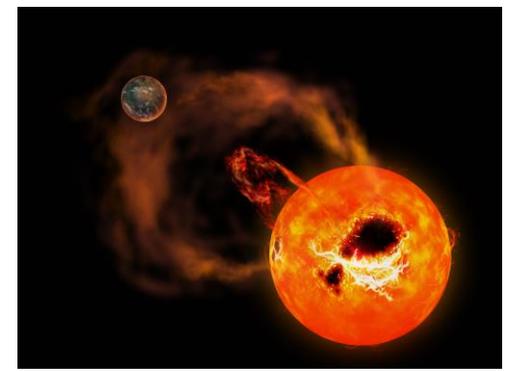
若い太陽型星における 黒点の多波長観測とその展開

幾田 佳 (東京大学)

行方 宏介 (京都大学), 前原 裕之 (国立天文台), Vladimir Airapetian (NASA),
Pascal Petit (Université de Toulouse), 野津 湧太 (コロラド大学),
柴田 一成 (同志社大学), 李 尚姫 (京都大学), 梶木屋 裕斗,
佐藤 文衛 (東京工業大学), 本田 敏志 (兵庫県立大学), 野上 大作 (京都大学)

太陽黒点/恒星黒点観測

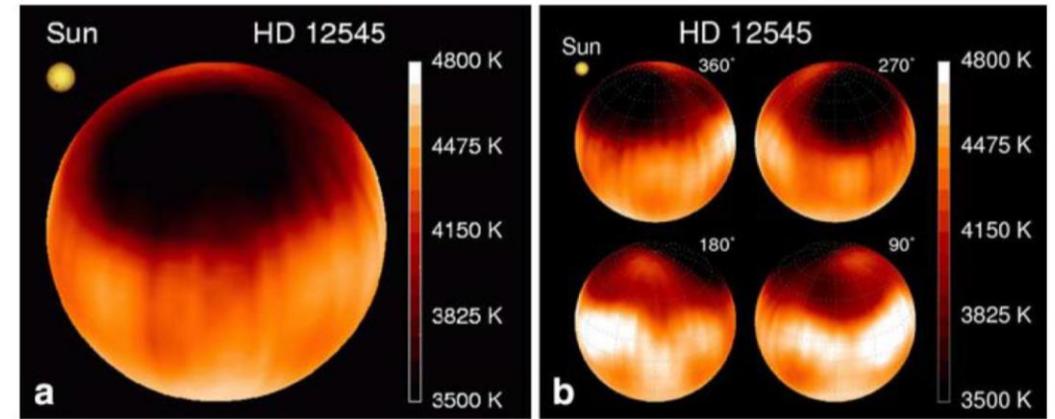
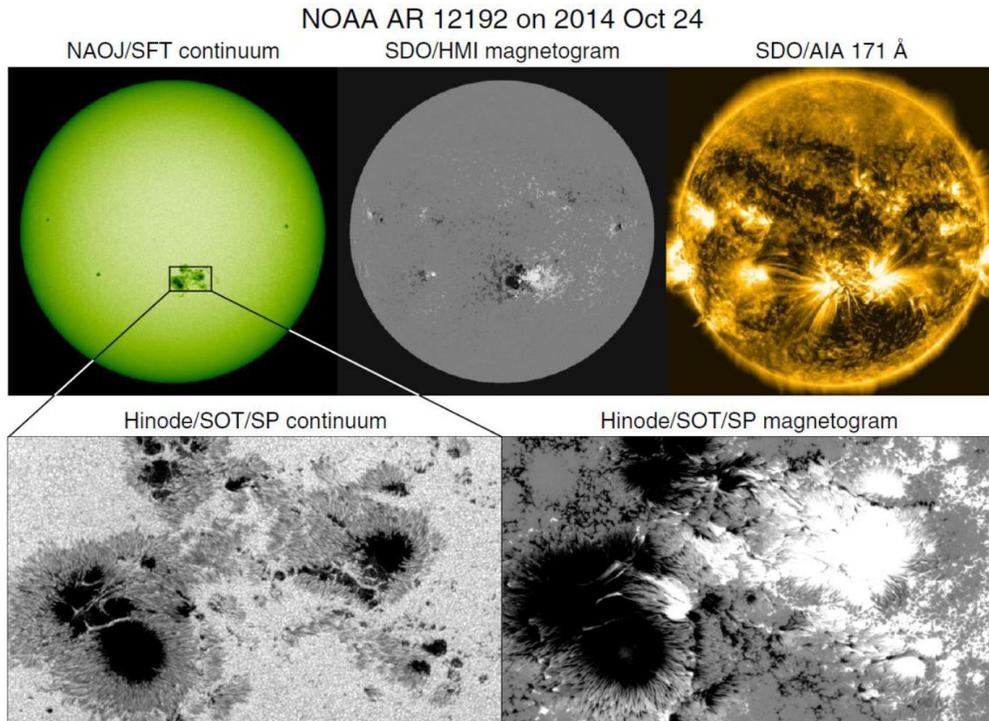
Credit: NAOJ



- “太陽/恒星表面の磁力線の切り口”で太陽/恒星磁気活動の指標
- 太陽/恒星フレアを引き起こす(cf. 市原さん, 梶木屋さん講演)
- (若い)恒星(M, K, G型星)は太陽より高い磁気活動性を示す

太陽黒点: 可視-X線; 面積<0.1%;
寿命<数十日; 赤道-中緯度

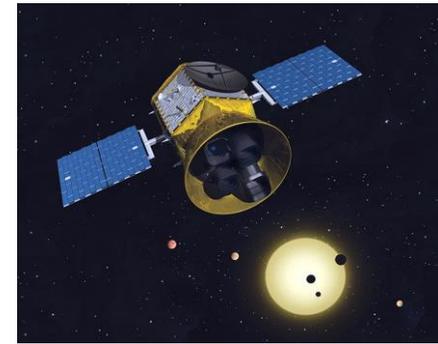
恒星黒点: 可視; 面積<20%; 寿命<数年; 赤道-極域;
K型巨星のDoppler Imaging (DI; Strassmeier 2009)



地上から高分散分光観測(DI)+地上測光観測(1990年代-)
→ 半径が大きく, 自転が速く, 明るい星(<100天体)
宇宙から高精度長期測光観測(Kepler/TESS; 2010年代-)

測光観測データによる黒点マッピング

Credit: NASA

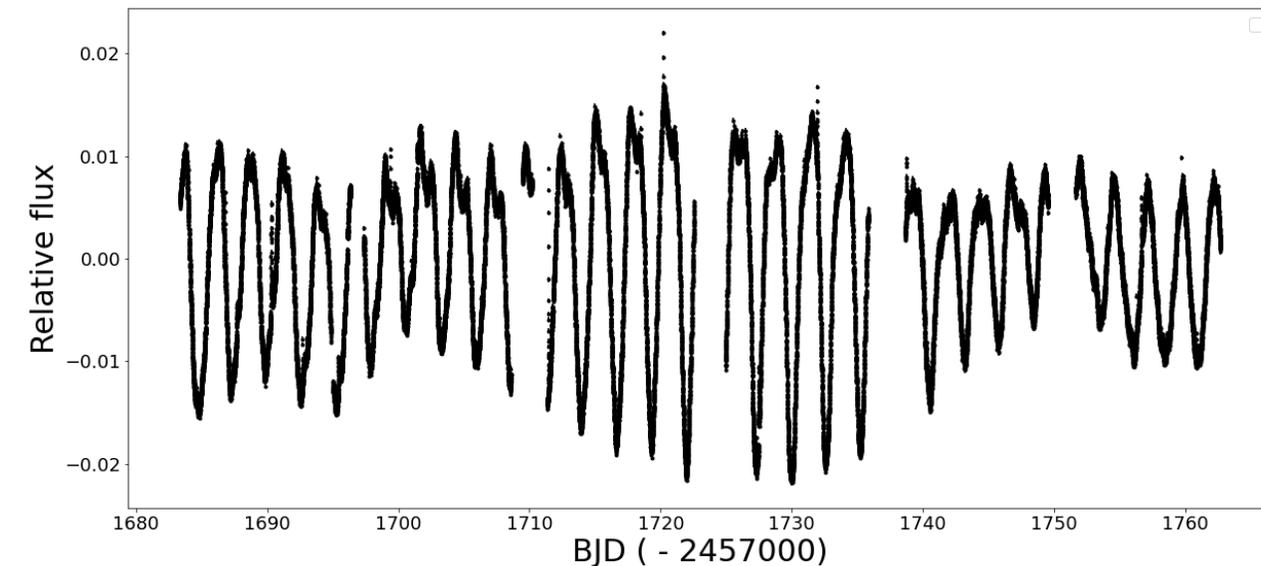


Kepler(2009-2018)やTESS(2018-)などによる高精度かつ長期(>1カ月)の測光観測

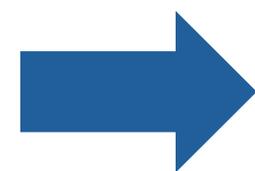
→ 星表面にある黒点の自転による明るさの変化(e.g., Notsu et al. 2013)

→ 測光観測から差動回転や黒点の位置, 大きさ, 生成消滅率などが推定可能

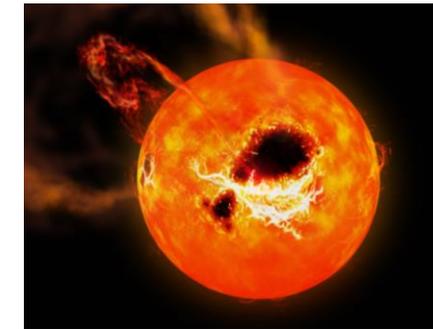
若い太陽型星EK Draconis (自転周期~2.7日)



マッピング
(逆問題)



Credit: NAOJ



自転周期, 差動回転
黒点の位置, 大きさ, 生成消滅率, (温度)

フォワードモデルをパラレルテンパリング(MCMCの上位互換)で最適化

- コード実装(パラメータ縮退+モデルの比較) (Ikuta et al. 2020)
- M型フレア星AU Mic, YZ CMi, EV Lacでのフレア位相との関係(Ikuta et al. 2023)
- 太陽型星EK Draでのスーパーフレアやプラズマ噴出との関係(Namekata et al., submitted)

太陽型星の同時多波長観測+Doppler Imagingと研究目的

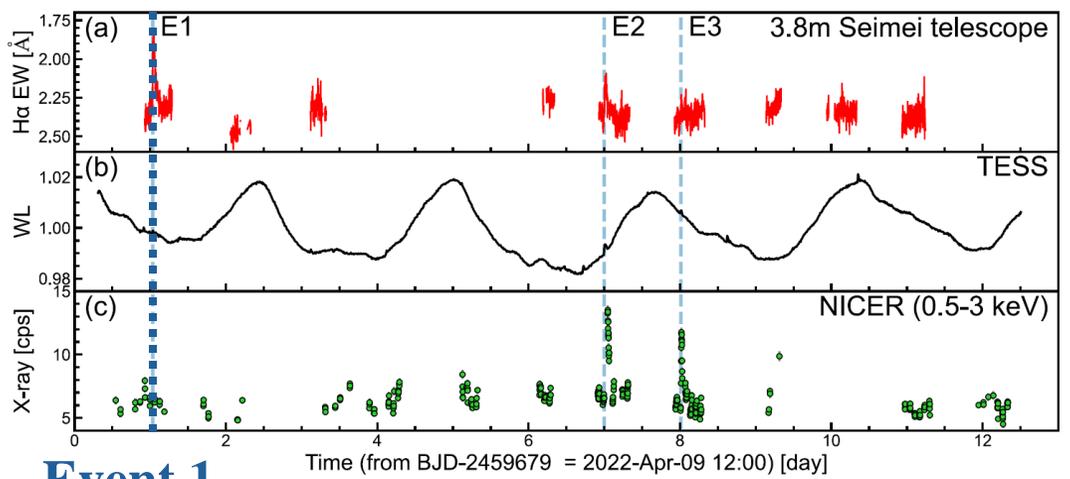
せいめい望遠鏡KOOLS-IFU(H α 線), TESS, NICERのX線によるEK Draの同時多波長観測

→ プロミネンス噴出を伴うスーパーフレアを2例検出(Namekata et al. 2024)

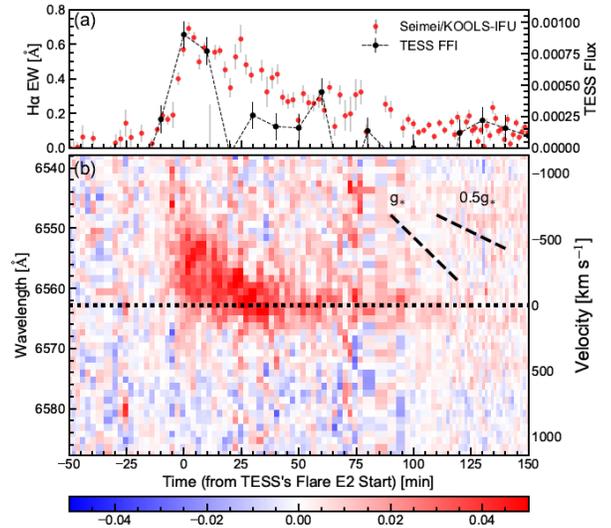
+Bernard Lyot望遠鏡(TBL)/NARVAL (R~70000)によるZeeman Doppler Imaging

$T_{\text{eff}}=5700$ K;
 $P_{\text{rot}} = 2.7$ d;
Age<100Myr

2022年4月(TESS Sector 50の後半)のEK Draの観測



Event 1 H α 輝線の変化



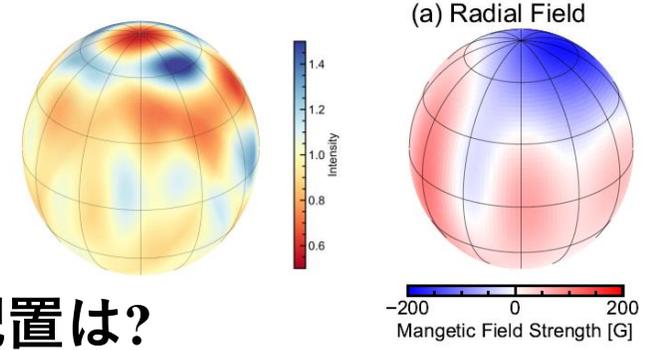
Credit: 京大



Credit: TBL



TBL/NARVALによるDI/ZDI



Event 1

Namekata et al. 2024

Namekata, Ikuta et al.,
submitted

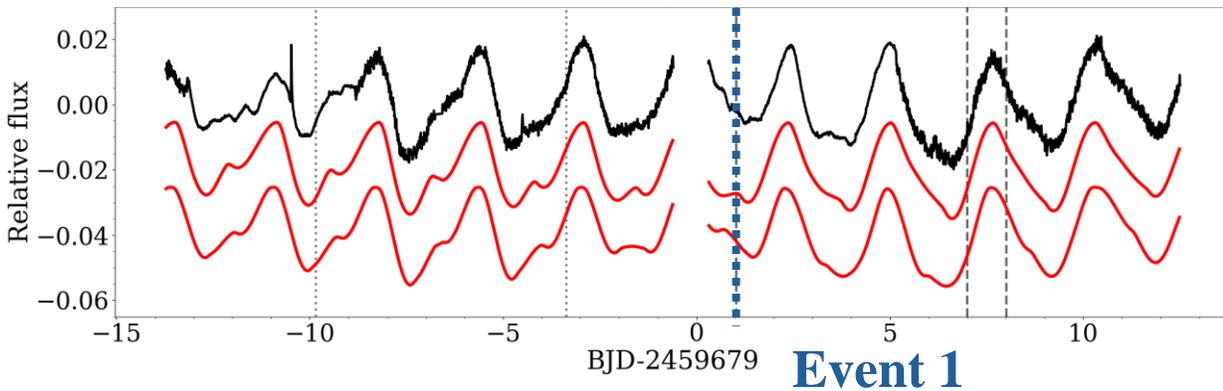
- 目的 (1) スーパーフレア/プロミネンス噴出(Event 1)が起きた時の黒点配置は?
- (2) 同時期(Sector 50の前半)の(Zeeman) Doppler Imagingの結果との比較
- (3) 黒点とH α 線やX線の時間変化は対応しているのか?

→ スーパーフレア/プラズマ噴出とその起源である黒点を多波長で対応付ける初の試み

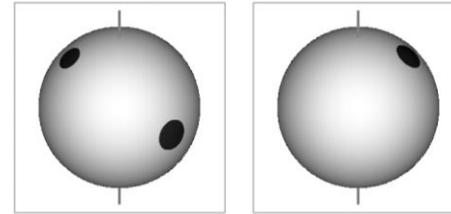
EK Draの黒点マッピングとDoppler Imagingの比較

多波長観測+Doppler Imagingの観測期間のTESSデータ(Sector 50; 2022年4月)を黒点マッピング

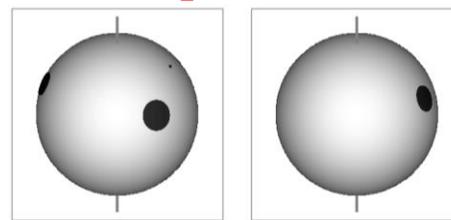
EK DraのTESSの観測データと最適モデル



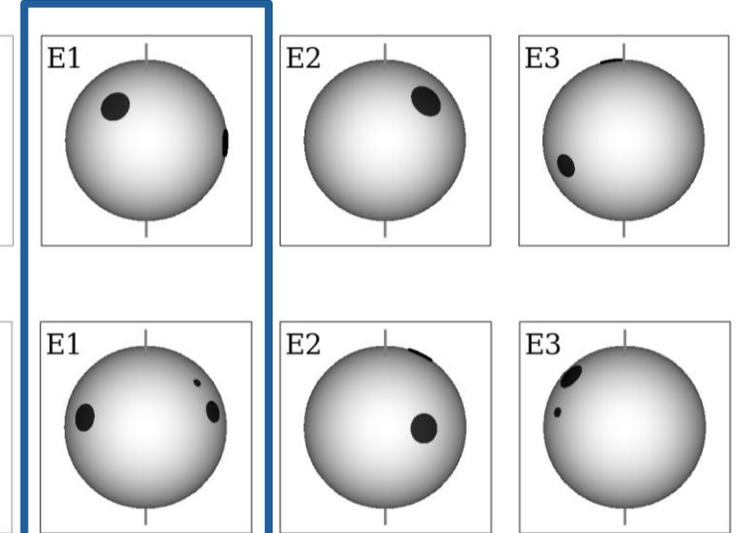
Two-spot model



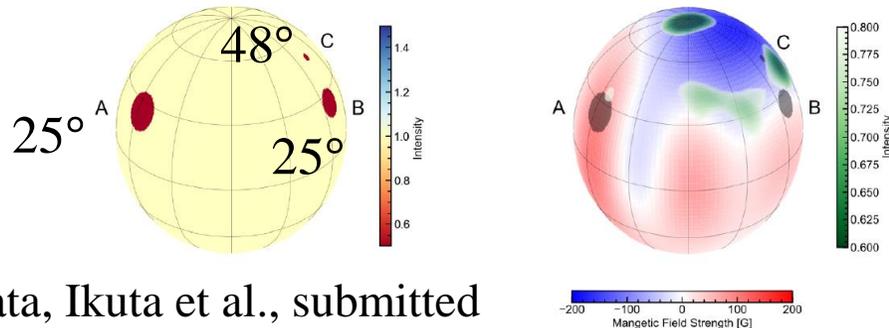
Three-spot model



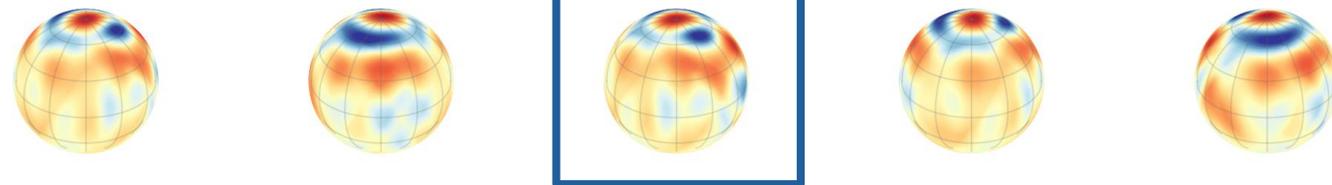
Event 1



Three-spot model & DI/ZDI on Event 1



Doppler Imaging



Ikuta et al., in prep.

結果 (1) プロミネンス噴出が起きた時刻に,周縁に黒点が存在していたことを示唆.

(2) TESSと同時期のDoppler Imagingの結果は部分的に整合(極域の黒点がない).

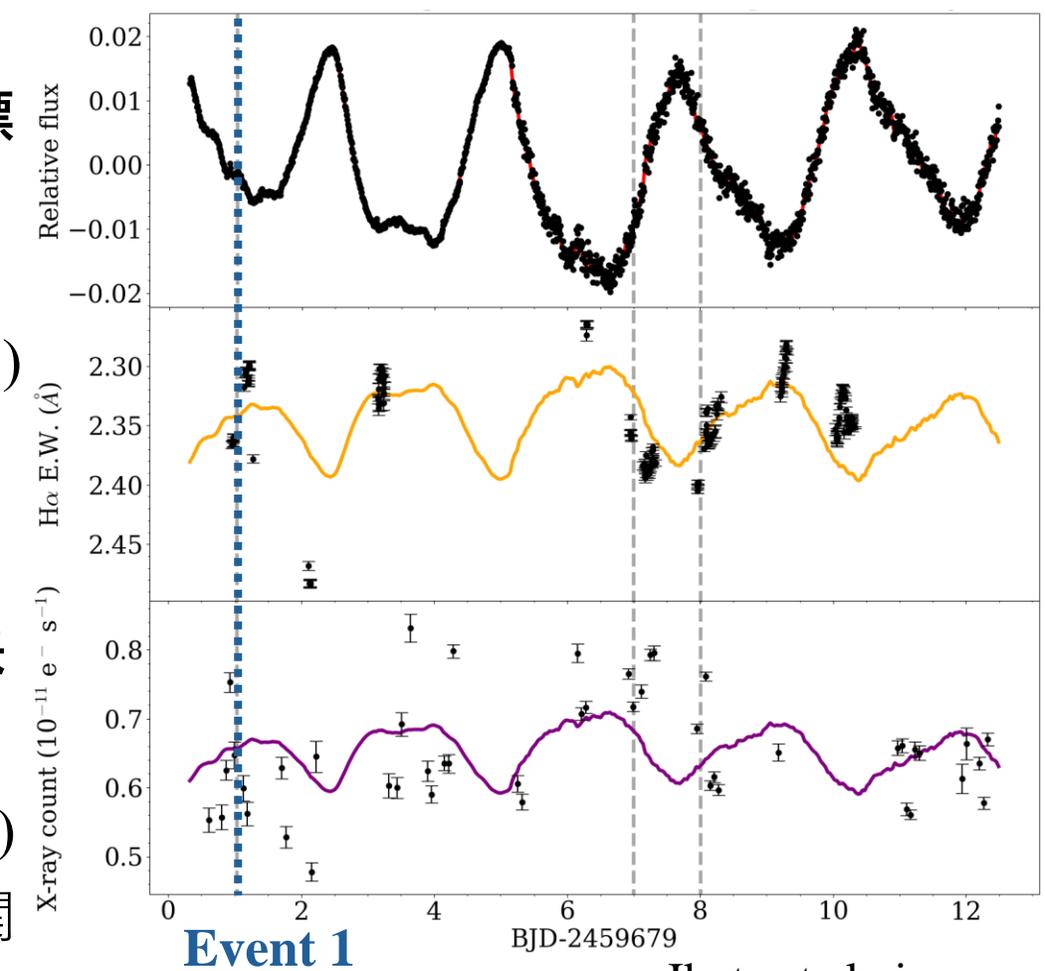
黒点とKOOLS-IFUによるH α 線やX線との対応 (多次元ガウス過程による回帰)

(3) 周期解析から **TESS** と **H α 線** に自転周期を検出 (FAP < 0.1%),
X線 には明確な自転周期性が見られない。

彩層由来の **H α 線** は、太陽同様に黒点の特徴を探る良い指標
→ 太陽では放射輝度と Balmer線がほぼ対応:
黒点の磁場形状(放射強度が異なる)を反映
→ 太陽黒点/白斑による (Ca線を含めた) 検証(飛騨天文台)
→ **GAOES-RV** と **H α 線/Ca H&K線分光器** での検証
(cf. 野上さん, 岩室さん講演)

コロナ由来の **X線** は、複数の黒点+コロナの空間構造を反映
→ 太陽では Activity cycle で X線の周期性の明確さが変わる
過去の EK Dra の X線観測では、周期性を検出 (Güdel 1995)
→ 今回も大体合ってる+太陽同様に H α 線 と X線 は良い相関
→ スケール則 (Pevtsov et al. 2003):
(X線 Luminosity) \propto (磁束の面積)^{1.13} を支持

TESS, H α 線, X線の観測データと外挿



Ikuta et al., in prep.

せいめい望遠鏡KOOLS-IFUのデータ駆動による
太陽型星EK Draのフィラメント/プロミネンス噴出モデル:
Ikuta & Shibata 2024 (<https://doi.org/10.3847/1538-4357/ad1ce6>)
Namekata, Ikuta et al., submitted to ApJ
Ikuta et al., in preparation