

フレア星と恒星磁場

野上大作(京大花山天文台)

1. 恒星フレアはどう観測されるか

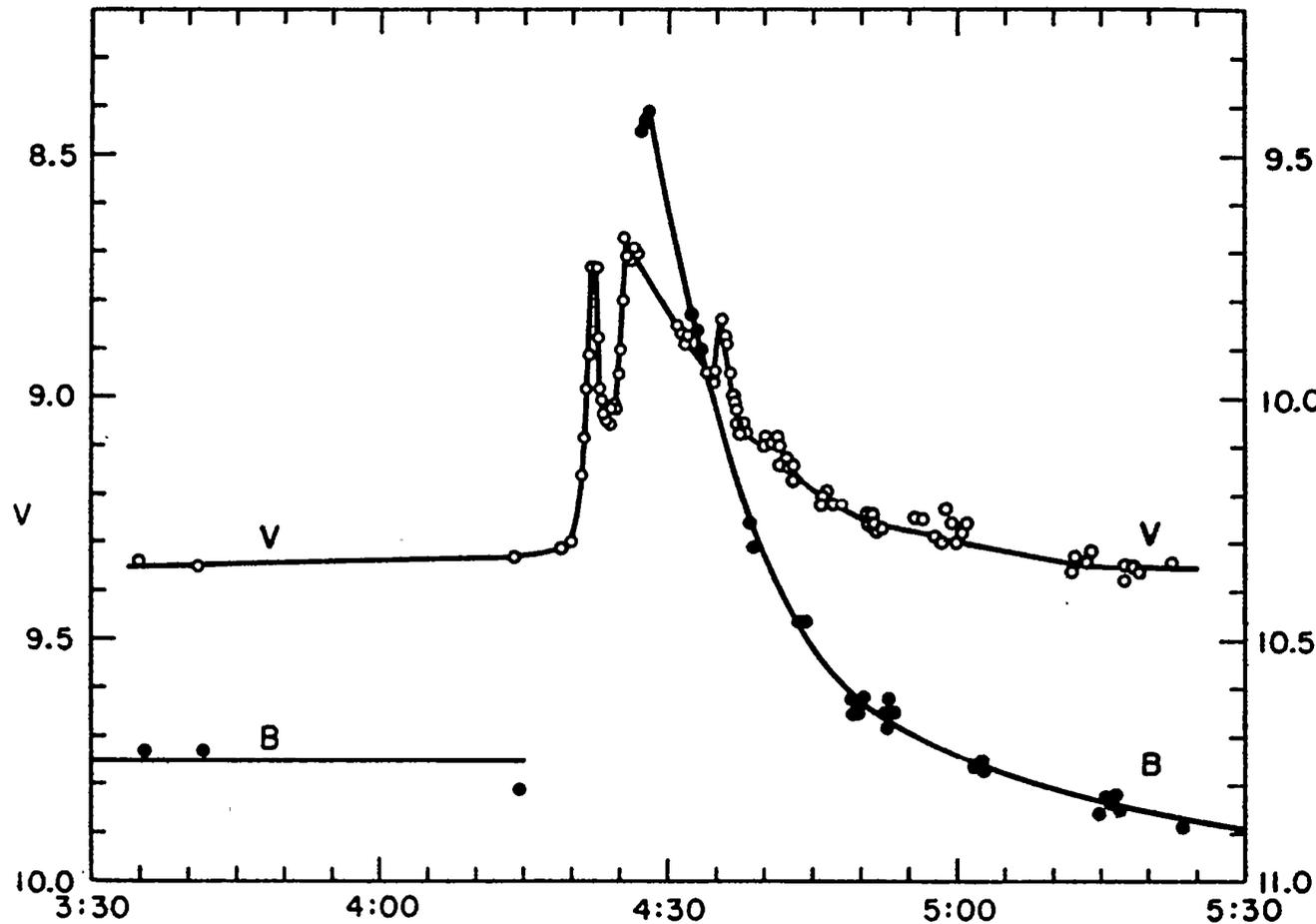
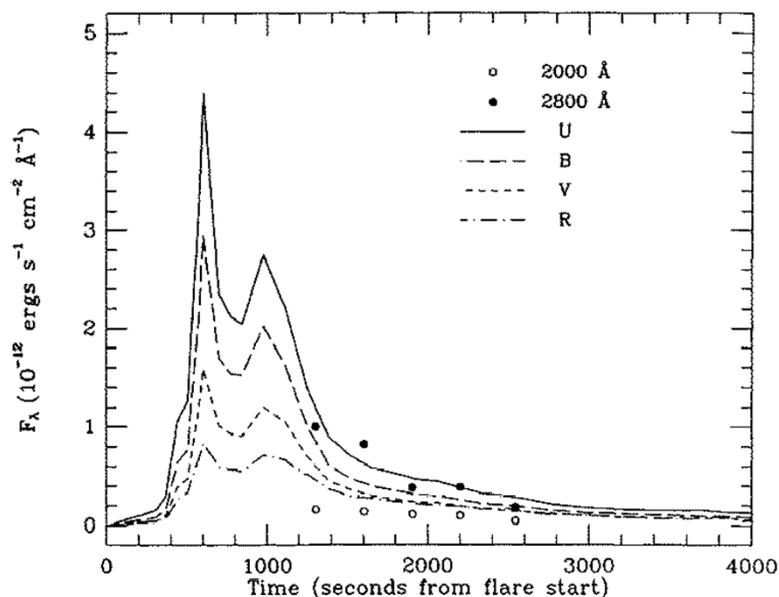


FIG. 1.—Flare of AD Leonis on April 13, 1959.

M型輝線星(dMe)のフレア現象は1940年代には知られており、当時から太陽でのフレア現象との類似性を指摘されていた。

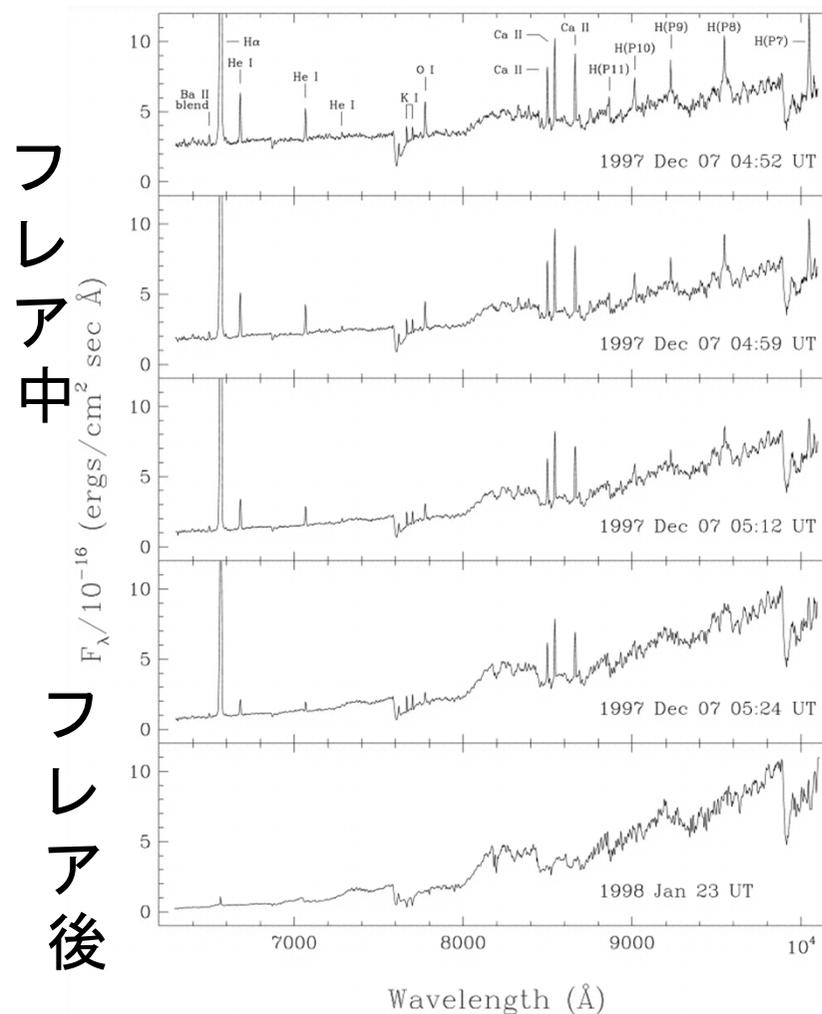
AD Leo の二色同時光電測光観測例
Engerkemeir (1959, PASP, 71, 522)



↑AD Leo(M3)のフレア(Hawley, Pettersen 1991)

短波長側で振幅が大きい。小さなものまで含めると、活発な星では1日数イベントのフレアが観測される。

↓2MASS J0149090+295613 (M9.5)のフレア(Liebert et al. 1999) H I, He I, Ca II 等の彩層輝線が強くなる



フレア中

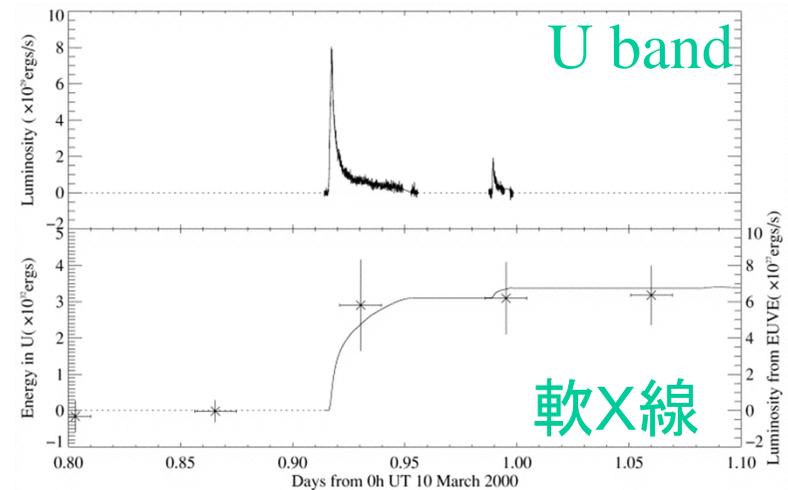
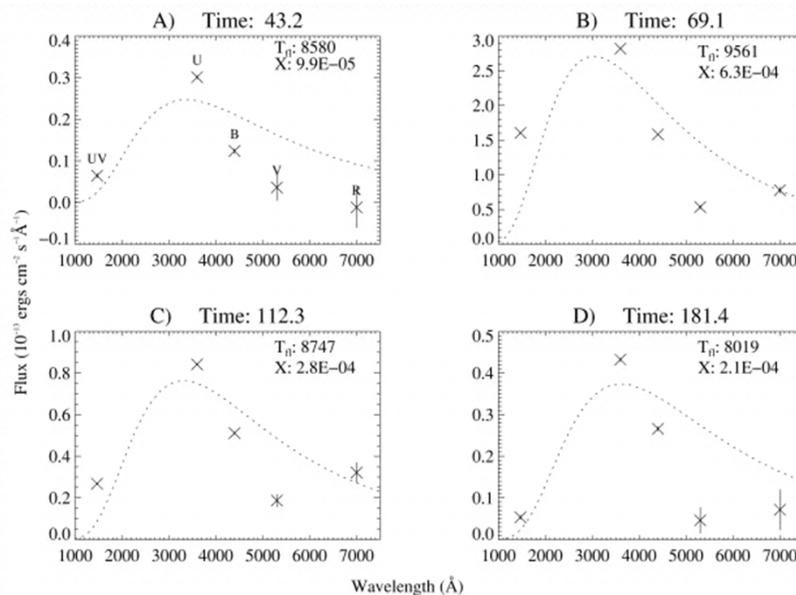
フレア後

Wavelength (Å)

・軟X線、紫外、可視光での同時観測

AD Leo で軟X線(EUVE)、紫外域(HST)、可視光(地上のたぐさんの望遠鏡)で4晩の観測し、8回のフレアを観測した (Hawley et al. 2003, ApJ, 597, 535)。

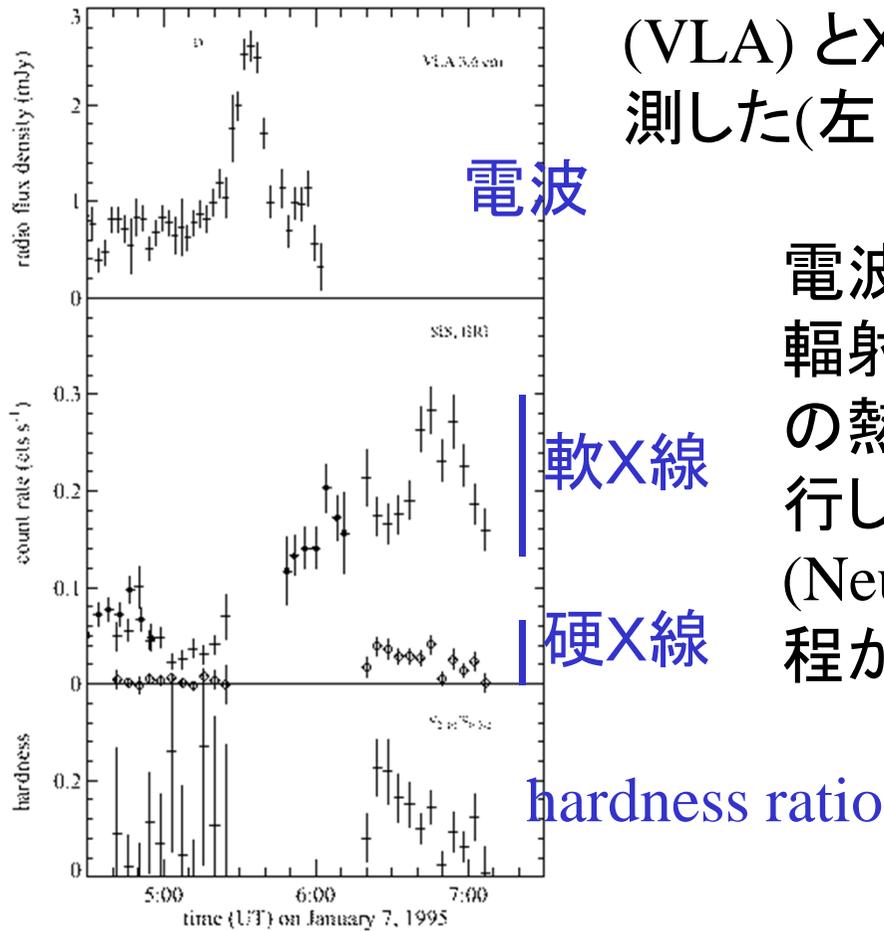
continuumは硬X線のtraceとして使え、これと軟X線を比較すると Neupert effect が確認された(右図)。



どのフレアのどの時刻においても、増光分のスペクトルは $\sim 9000\text{K}$ の黒体輻射でだいたい近似できた(左図)。

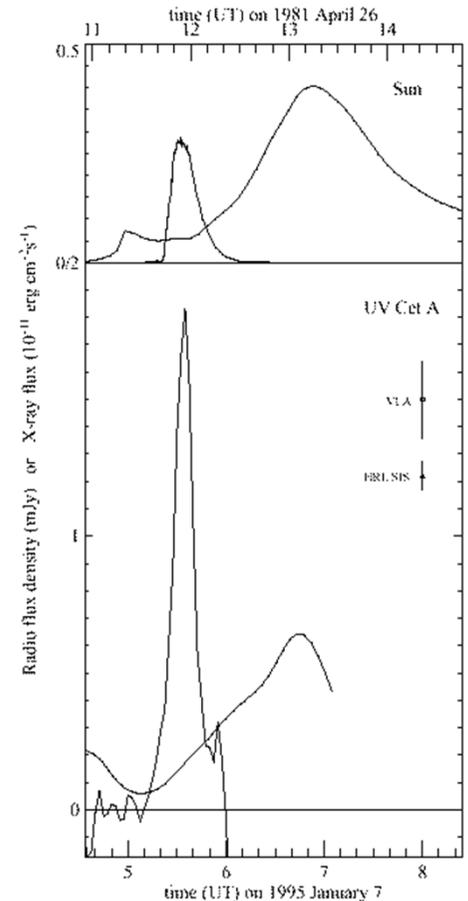
▪ Neupert effect

Guedel et al. (1996) は UV Cet を電波 (VLA) とX線 (ROSAT, ASCA) で同時観測した(左図)。



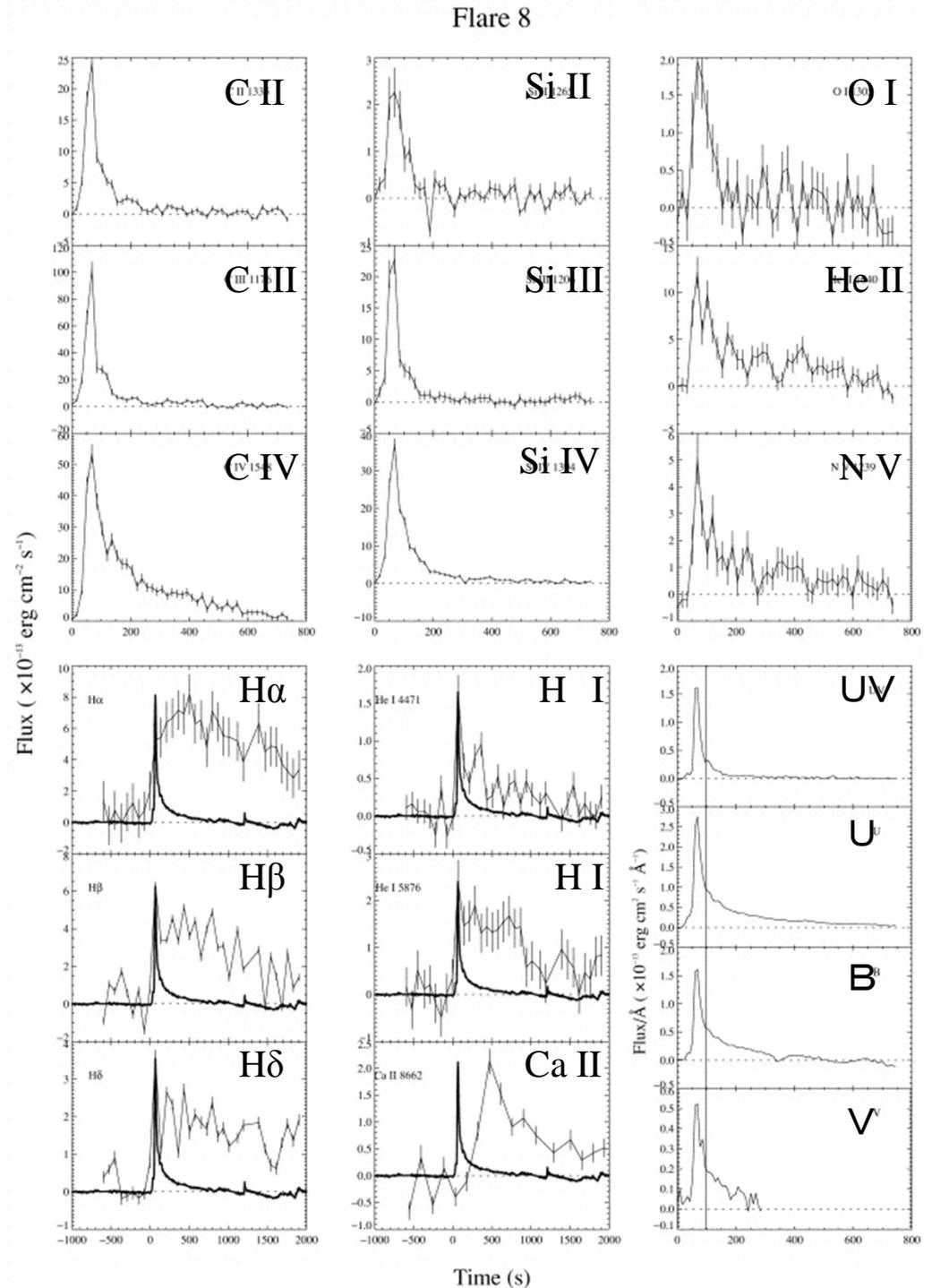
電波での非熱的
輻射から軟X線での熱的輻射に移
行していく
(Neupert effect)過程が捕らえられた。

太陽(右図上パネル)と
UV Cet(下パネル)との
比較



形成温度の高いC IV, N Vは gradual phase を持つ。 → これらはthermal coronal radiationと同じところで作られている。

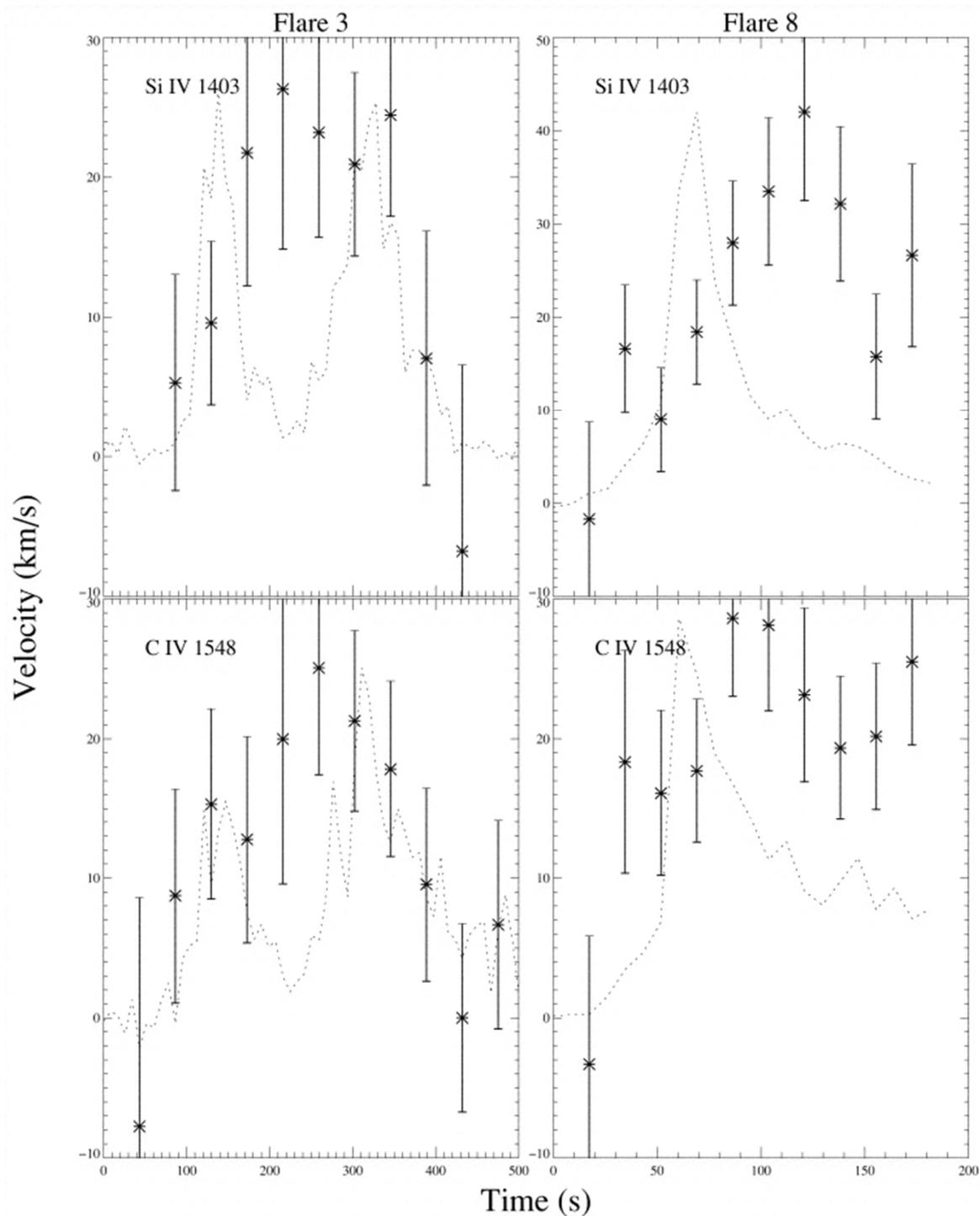
可視の彩層輝線はより長い gradual phaseを持つ。 → 彩層が軟X線で加熱されている？



C IV 1548 と Si IC 1403
で線中心速度を求めた
ところ、30~40km/sだっ
た。



chromospheric
condensation



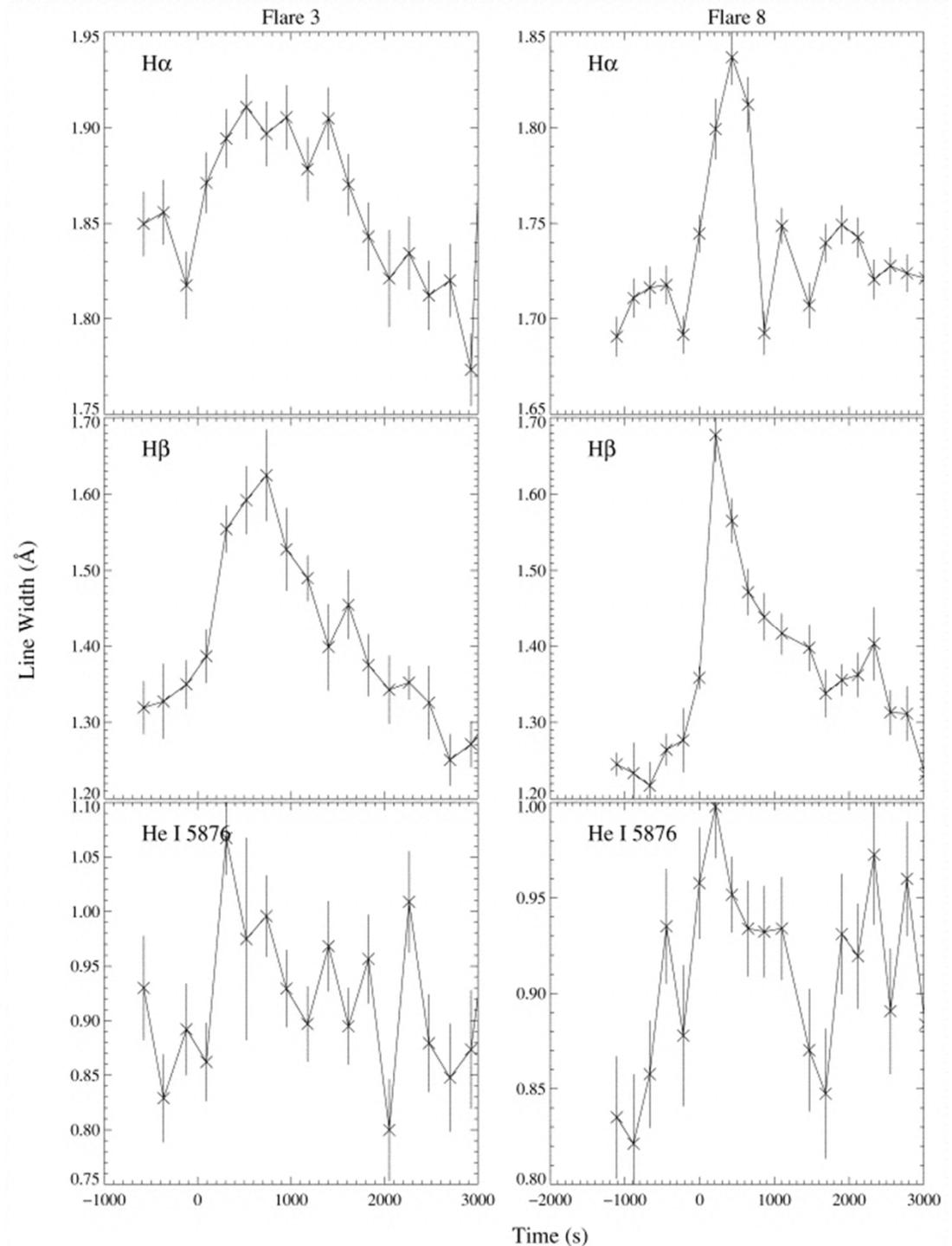
flare中の彩層輝線の広がり
(FW of 1/10 maximum)



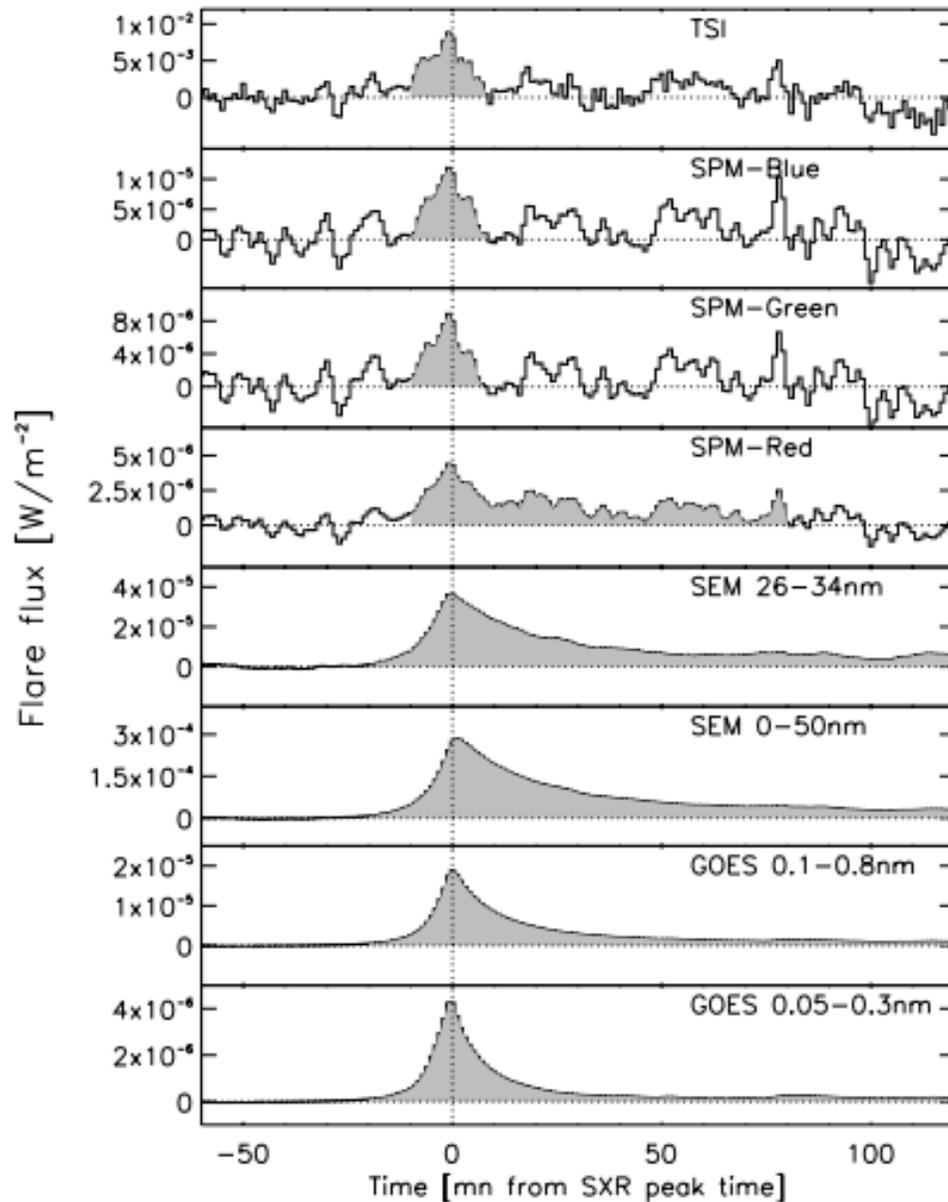
- Stark effect?
- coreがopt. thick になっての curve of growth effect?
- mass motion?

より高時間 & 波長分解能、
高S/N観測が必要

H α の線中心はimpulsive phaseで、40km/s のblueshiftがあるらしい。upflow ?



2 The Sun as a star



Kretzschmar (2011, A&A, 530, 84)は太陽フレア時の全球での放射エネルギー量を調べた。
可視光 (SOHO)

UV (SOHO)

X線 (GOES)

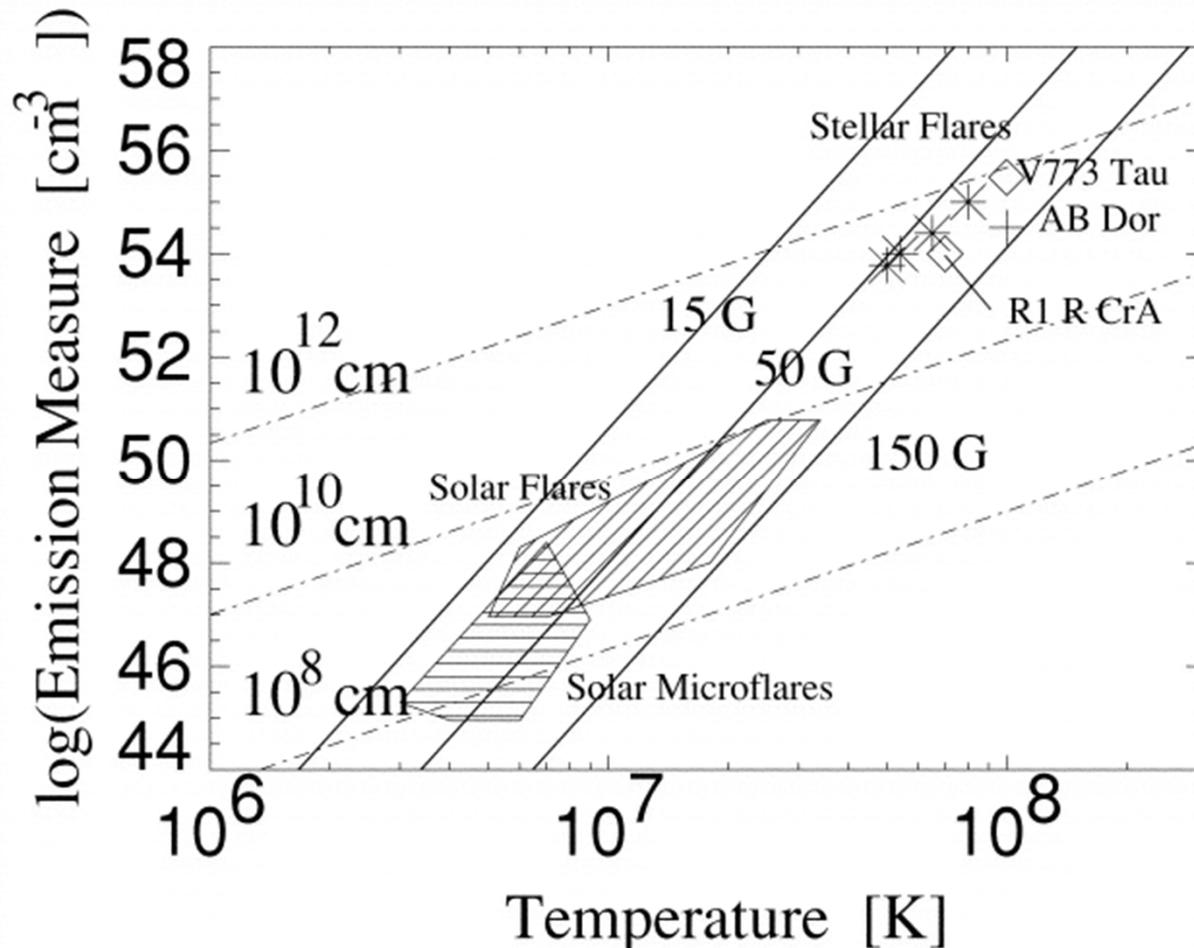
2100個のフレアの平均光度曲線

- Cクラスフレアでも可視域の放射強度の増加が認められた。
- フレアの全放出エネルギーのうち、70%程度が連続光として放出されている。(これは単独の2003年10月28日のX17フレアのデータでもほぼ同じであった)
- この連続光はだいたい9000Kの黒体放射のスペクトルとconsistentである。

→太陽でも中程度以上の規模のフレアは white light flare と言える。

光度変化、スペクトル変化が類似しており、同じ EM-T 関係が太陽のマイクロフレアから T Tau 型の巨大フレアまで通用する(下図: Shibata, Yokoyama 1999)

フレアは同じ機構で起こっており、エネルギーの違いはフレアの空間スケールの違い！？



3. 強いフレアを起こす天体

- ・UV Cet型星（いわゆるフレア星）

late K~M(~L,T)型の主系列星の一部

$$E_{\text{tot}} = 10^{31} - 10^{34} \text{ erg}$$

- ・RS CVn型連星

G~K辺りのsubgiantを含む共回転連星系

$$E_{\text{tot}} = 10^{34} - 10^{36} \text{ erg}$$

- ・T Tau型前主系列星

主星の磁場と降着円盤との相互作用

$$E_{\text{tot}} = 10^{36} \sim \text{erg}$$

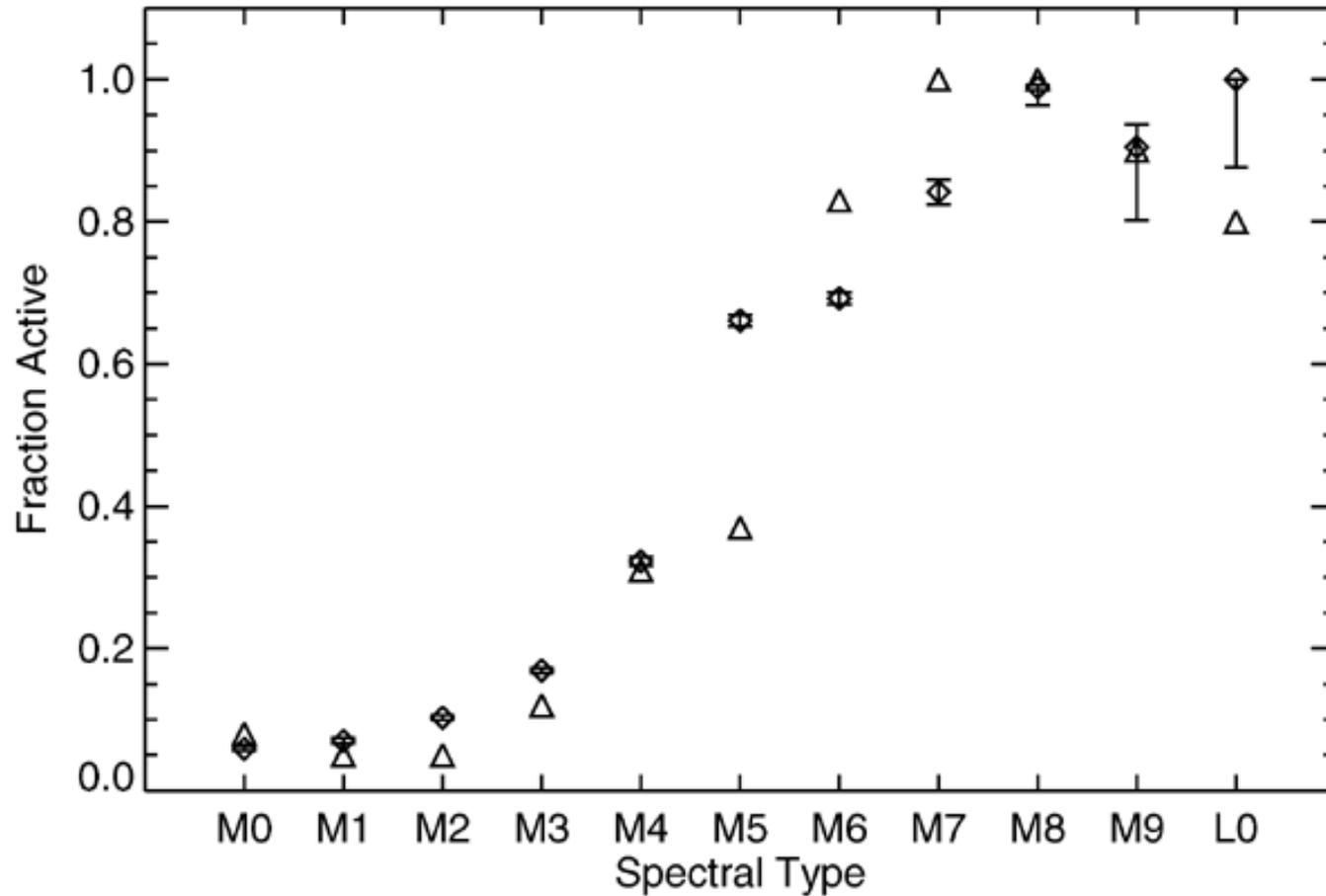
速い自転

+

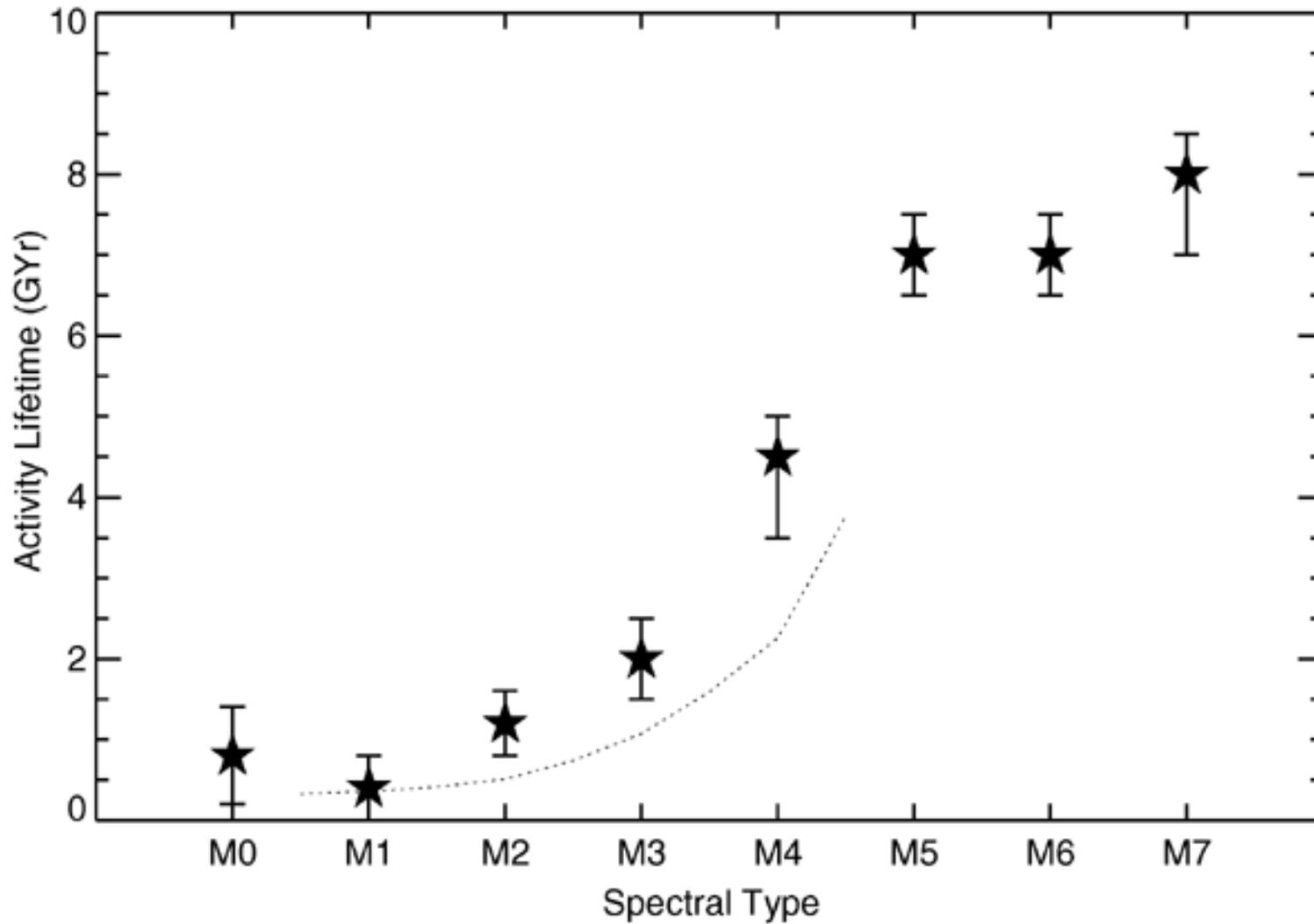
深い対流層

↓

強いダイナモ？



SDSSのデータを用いた、M0～L0型でのactive star (H α が輝線になっている)。より晩期なほど活発な星の割合が高い。(West et al. 2008, AJ, 135, 785)
 ※より遠くて暗い星が見えてくると古くて不活発な星が見えてくるので、この割合は下がると思われる。

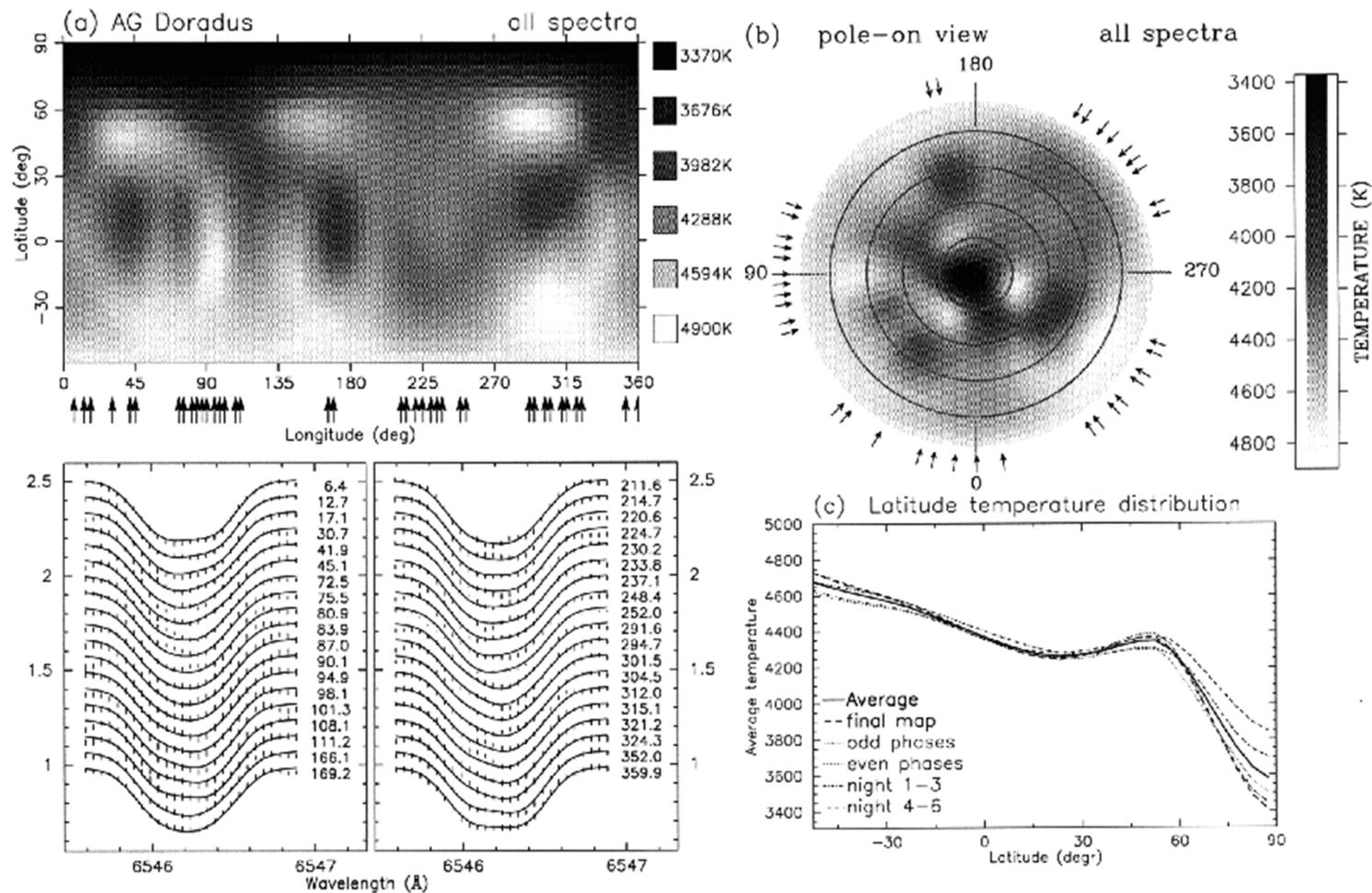


型による活動性の寿命。Fully convective になるあたりで有意に寿命が伸びている(West et al. 2008)

4 恒星の表面構造I Doppler mapping による表面温度分布

active binary AG Dra の温度分布マップ(Washuettl, Strassmeire, 2001) 軌道周期2.562日、Fe I 6546 使用

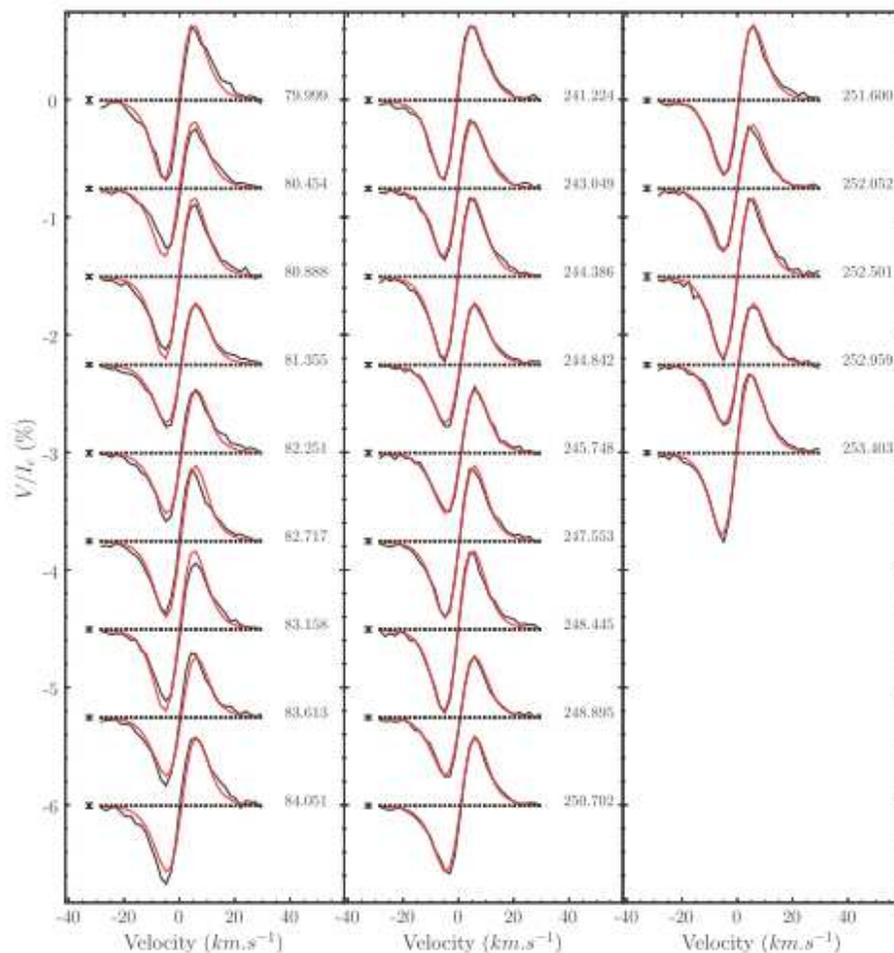
極に大きな低温領域、低緯度領域はムラが大きい(~1000K)



恒星の表面構造II 恒星の磁場マップの作成

※手法に関してはDonati & Brown (1997, A&A, 326, 1235)参照

V/I

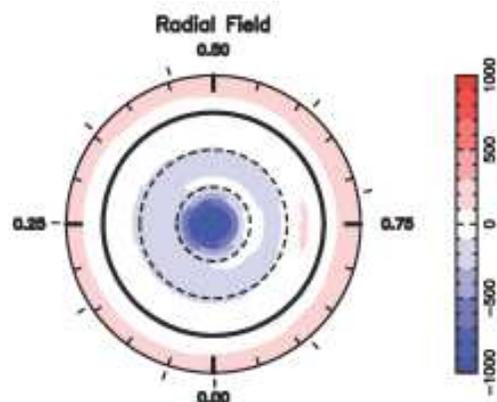


可視域のO, N, Si, C, Fe等の500本ほどの吸収線の平均プロファイルを用いる。

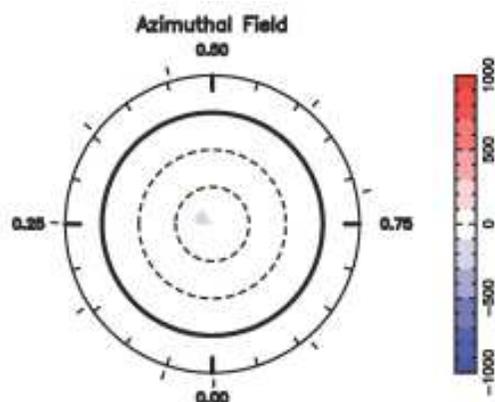
Velocity (-40 ~ +40 km/s)

前ページのスペクトルのセットをZeeman Doppler Imagingという手法で、星を北極から見た図に焼き直す。(緯度は-30度まで)

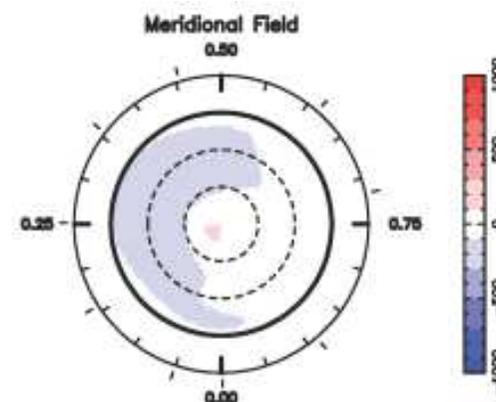
Radial Field



Azimuthal Field



Meridional Field



AD Leo で、この時は1000G程度のほぼdipoleな磁場が存在した。(Morin et al. 2008, MNRAS, 390, 567)

星によってtroidal成分があったりmultipoleだったりで、いろいろな磁場形状があるようだ。(Morin et al. 2011, astro-ph/1005.5552なども参照)

ごちゃごちゃした磁場分布の例(EV Lac; Morin et al. 2008)

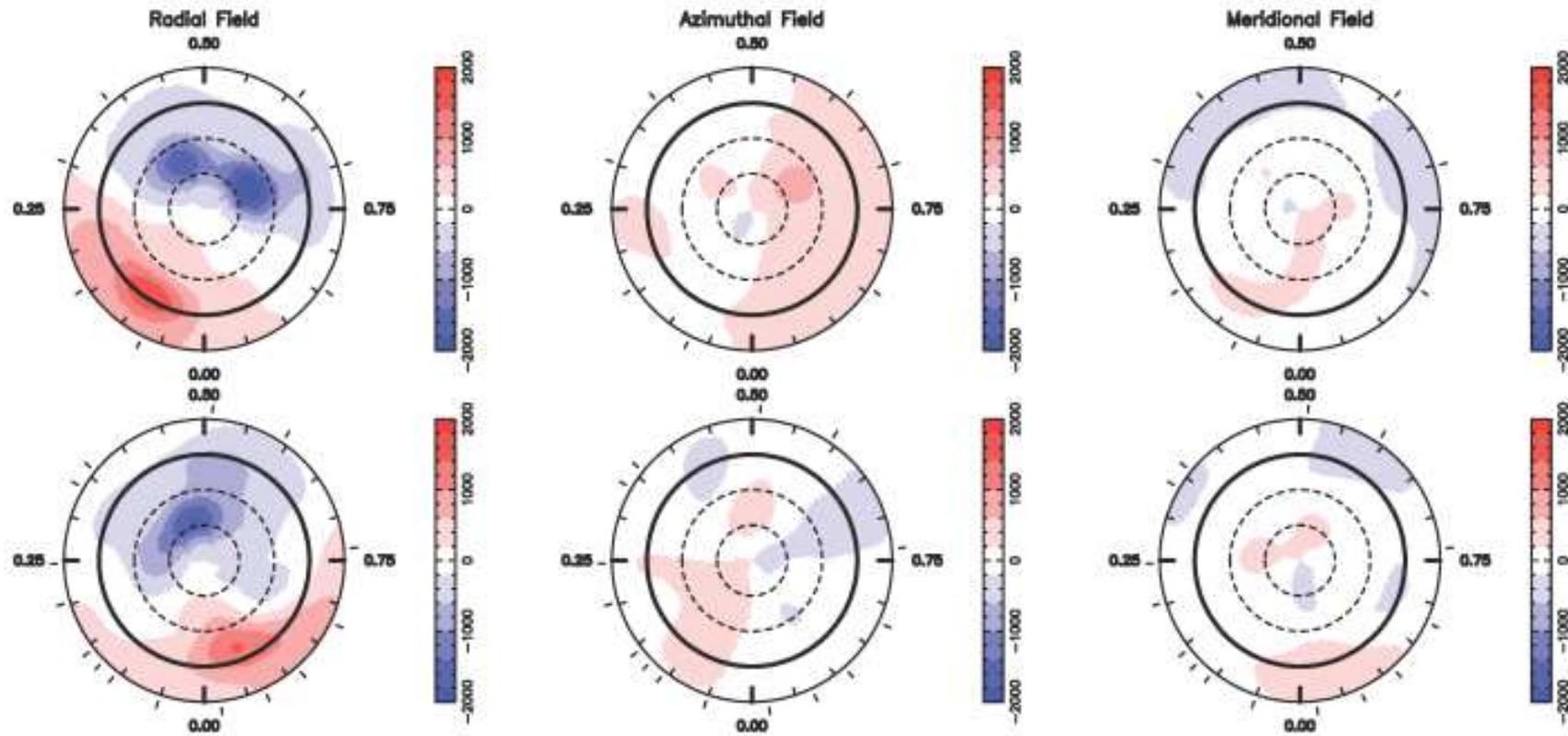
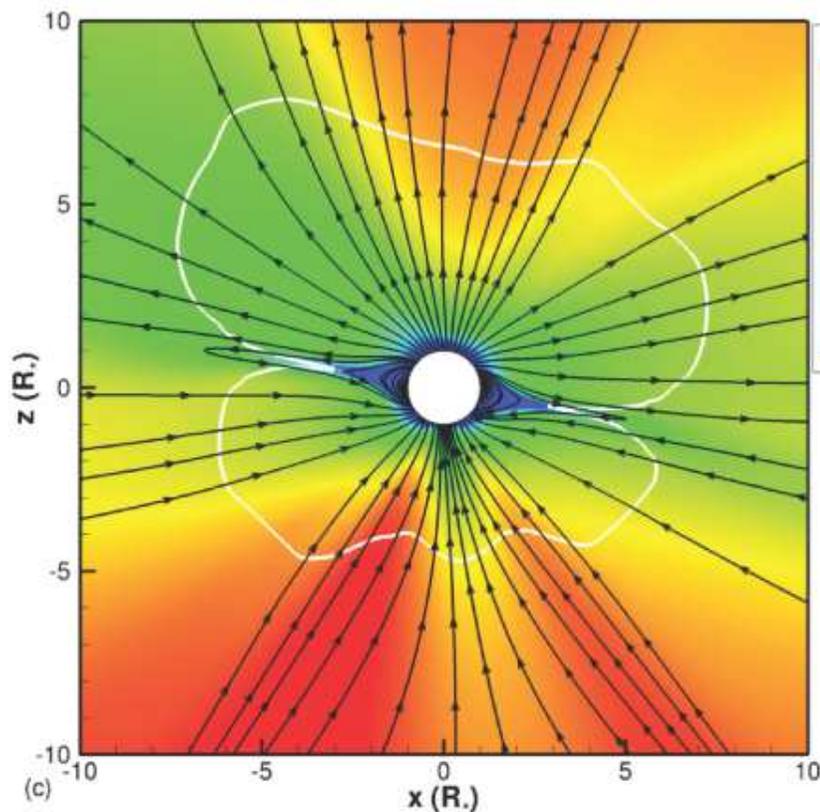
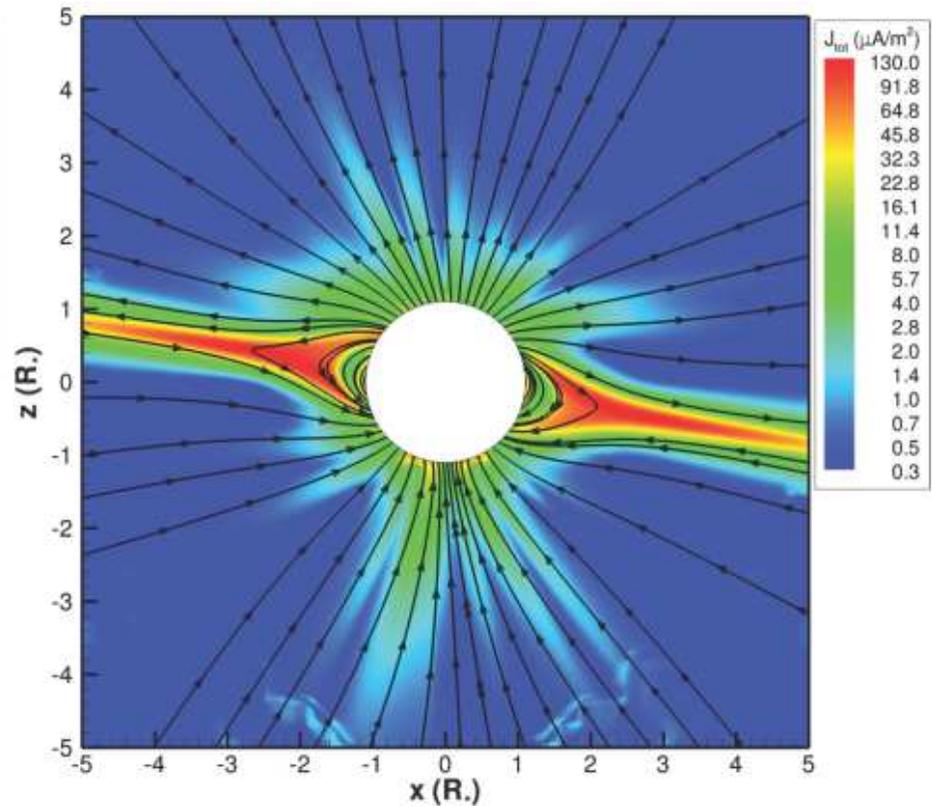


Figure 5. Same as Fig. 2 for EV Lac, using data obtained in 2006 (upper row) and 2007 (lower row).

こうやって求められた恒星表面磁場をboundary conditionとして取り込んだ、恒星風による質量放出のMHD計算も始まっているらしい。下の図はV374 Peg (M4)についての結果(Vidotto et al., 2011, MNRAS, 412, 351)。



Wind velocity profile
(赤の一番濃いところで
2200km/s)



Current density (赤の一番濃い
ところで130uA/m²)

まとめ

- M型星(やRS CVn型連星、Tタウリ型星)で大きなフレアが起こる。太陽フレアとの観測的な類似点が多く、同じような機構で起こると思われる。
- M型星でも晩期型ほど活発である。Fully convectiveな状況でのダイナモは大きな問題。
- フレア星の表面構造を調べる研究は進んでおり、温度分布や磁場分布のマッピングが作られるように