

2017/3/5 10:25-10:40(12+3分)
「第22回天体スペクトル研究会」
@仙台市天文台

高い磁気活動を示す 近傍の太陽型星の高分散分光観測

[Notsu, Y. et al. 2017, PASJ, 69, 12]

野津 湧太

(京都大学 宇宙物理学教室 D1)

本田敏志(兵庫県立大学), 前原裕之(国立天文台岡山),
野津翔太, 行方宏介, 幾田佳, 野上大作, 柴田一成 (京都大学)

スーパーフレアと巨大黒点

- Kepler宇宙望遠鏡データ

⇒太陽型星(G型主系列星)で「スーパーフレア」を多数発見
(最大級の太陽フレアの10-1万倍のエネルギー)

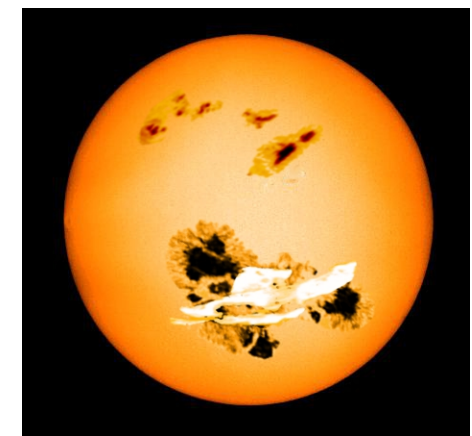
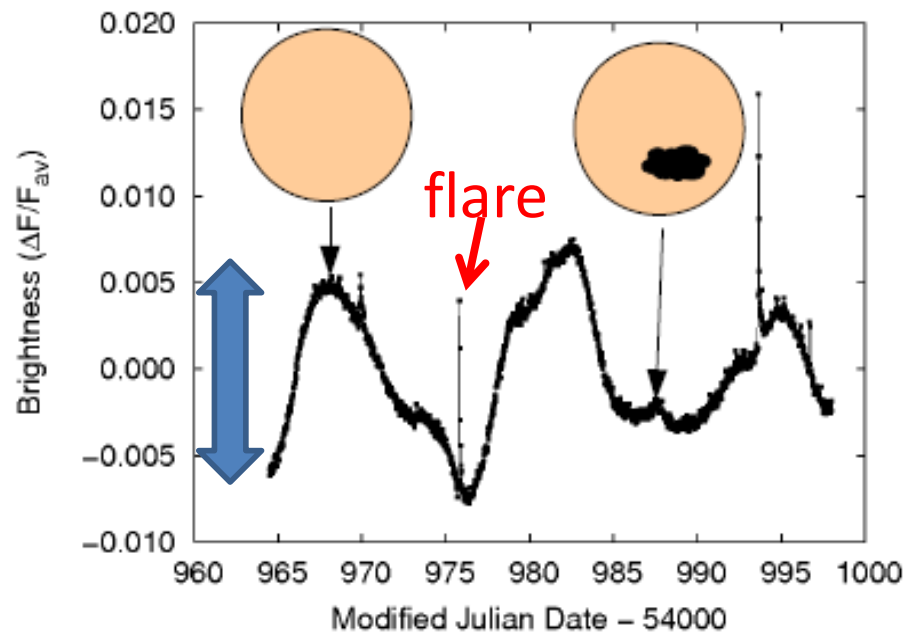
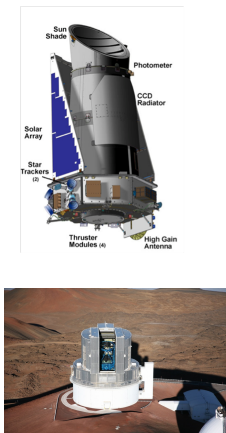
(Maehara+2012, 2015, 2017; Shibayama+2013)

- 準周期的な明るさ変動

- 自転周期と黒点サイズの間接的推定

- すばる望遠鏡HDSの50星の分光観測で概ね確認(Notsu+2015a&b)

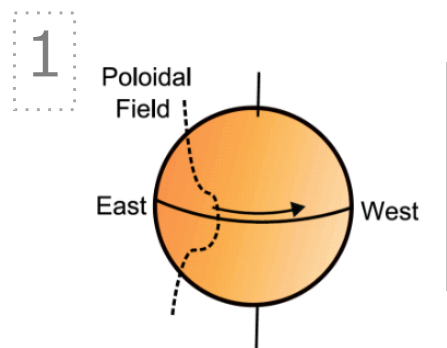
⇒スーパーフレア星が巨大黒点を持つことが確かになってきた。



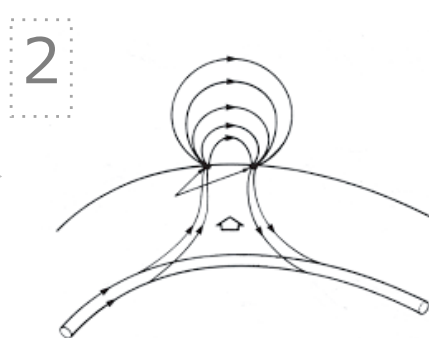
スーパーフレア星想像図

スーパーフレア研究の残された課題

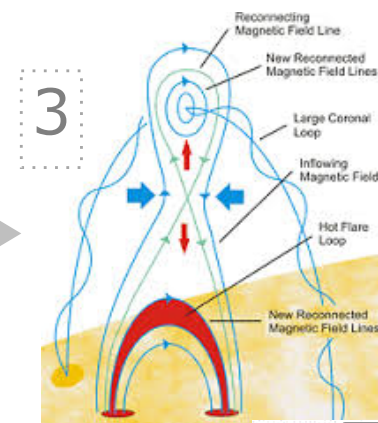
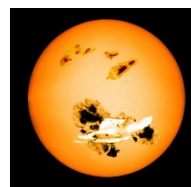
最終目標:「我々の太陽でスーパーフレアは起きうるのか？」



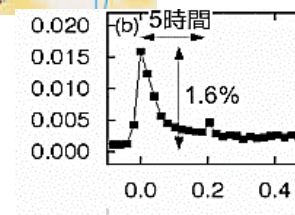
差動回転
(ダイナモ理論)



黒点の形成



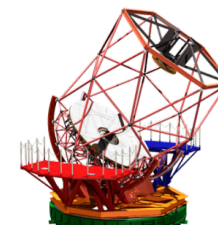
磁場エネルギー
の解放



①スーパーフレアの**必要条件**
である、**巨大黒点の形成過程**

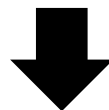
②フレア自体の分光観測
(**エネルギー解放過程の詳細**)

3.8m望遠鏡+(高分散)分光での**モニター観測**で、
この2点に迫りたい。



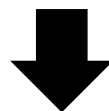
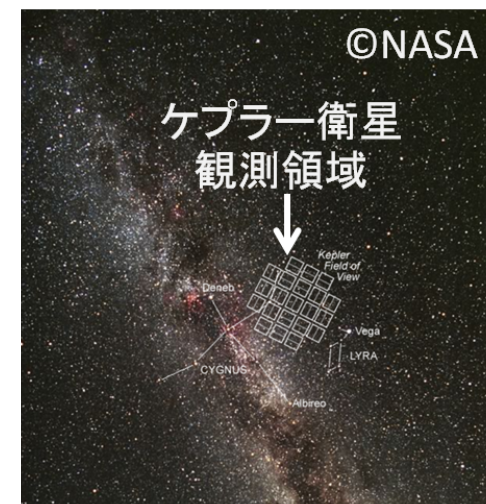
[将来] 3.8m望遠鏡 + 高分散分光器

スーパーフレア星・巨大黒点星の**分光モニタ観測**



課題：Keplerのフレア星は暗い星多く ($V \geq 12\text{mag}$)、
観測領域も限定的

より**明るいターゲット**を全天の様々な領域で
発見する必要有！



岡山188cmHIDESで、

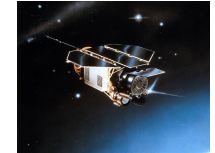
高い磁気活動を示す近傍(=明るい)の太陽型星を探查

- ・ ROSAT(軟X線)全天サーベイで
検出された太陽型星($V < 9.5\text{mag}$)49星



岡山188cm望遠鏡HIDESによる分光観測

○X線天文衛星ROSATの全天軟X線サーベイ



⇒強いX線($L_x > 10^{28}$ erg s⁻¹ :0.1-2.4keV)を出している比較的明るいG型主系列星($V \leq 9.5$ mag)を選定(連星の報告がある星は除いた)

※ さらに、Hipparcos衛星の距離データのある星に限定

○2014年3月~2015年6月の計18夜で、49星を観測

37星は、連星の徴候はなく、温度等の性質も

特に太陽に近い値と確認。

($5600 < T_{\text{eff}} < 6200\text{K}$, $4.2 < \log g < 4.7$, $-0.2 < [\text{Fe}/\text{H}] < 0.3$)



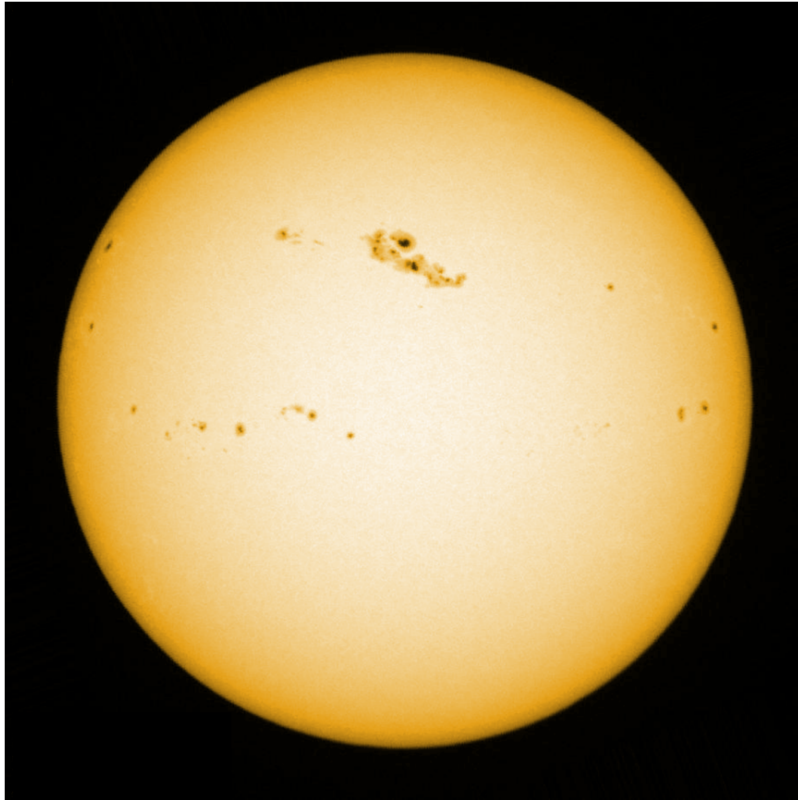
「高い磁気活動性を持つ星の中に、

太陽のように**自転速度が遅い星はあるか?**」

- Ca II 8542線から「彩層活動性≡巨大黒点の有無」の探査
- 吸収線の広がりから、射影自転速度($v \sin i$)の測定
- Li組成(星の年齢を反映)の調査

(Notsu et al. 2017, PASJ, 69, 12)

黒点周辺の磁場が強い領域は、
彩層が加熱され、**Ca II 線の放射も強い！！**



可視光で見た太陽

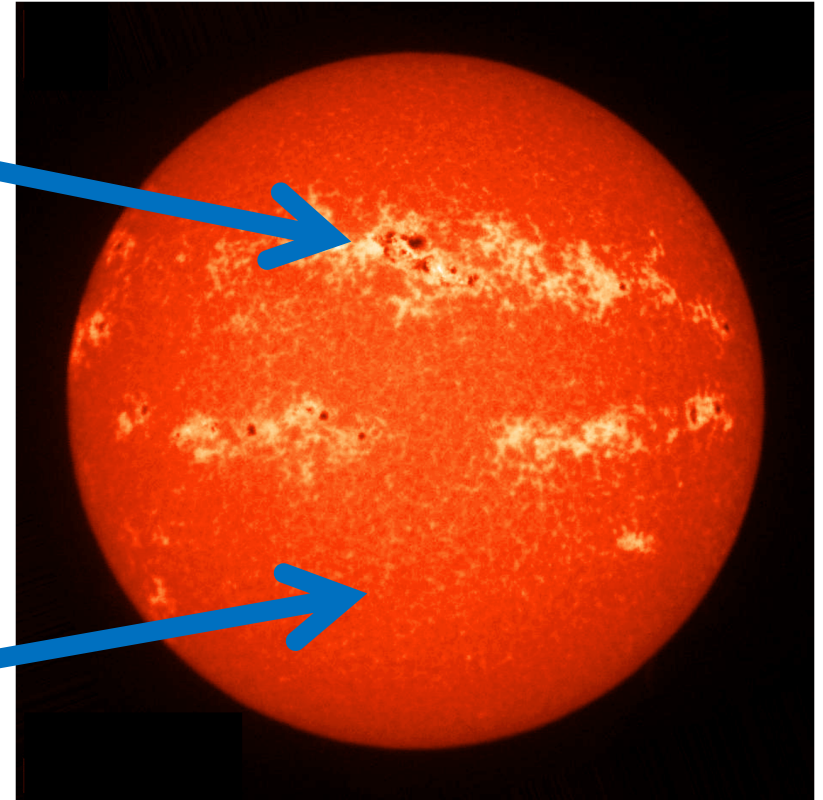
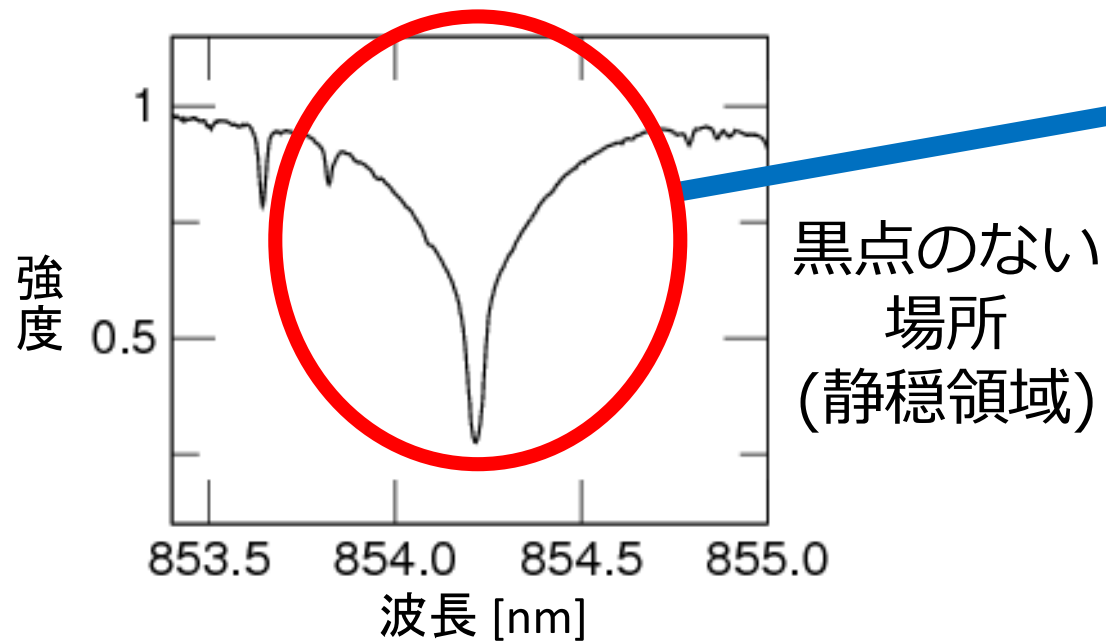
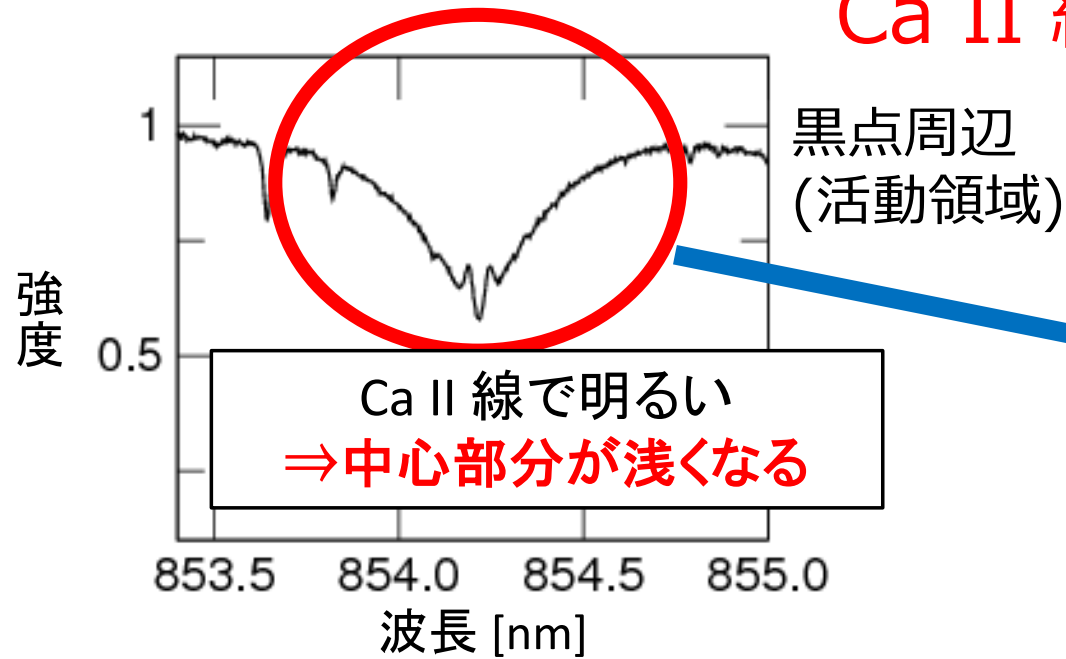


Ca II 線で見た太陽

(BigBear Solar Observatoryデータ)

Ca II 線を使って、
間接的に巨大黒点の存在を推定できる！

黒点の周りは、 Ca II 線で見ると明るい！

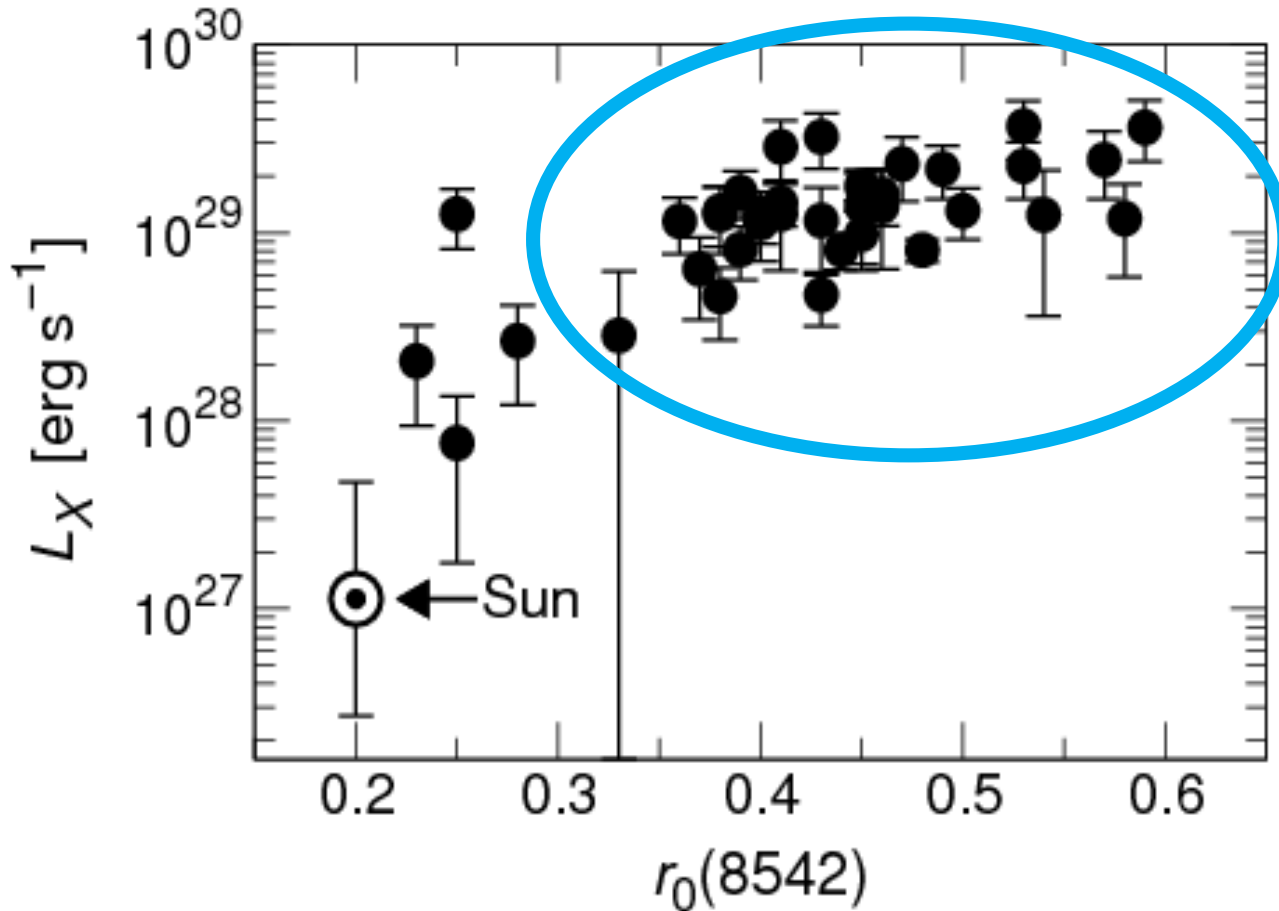


Ca II線強度⇒巨大黒点の存在を示唆

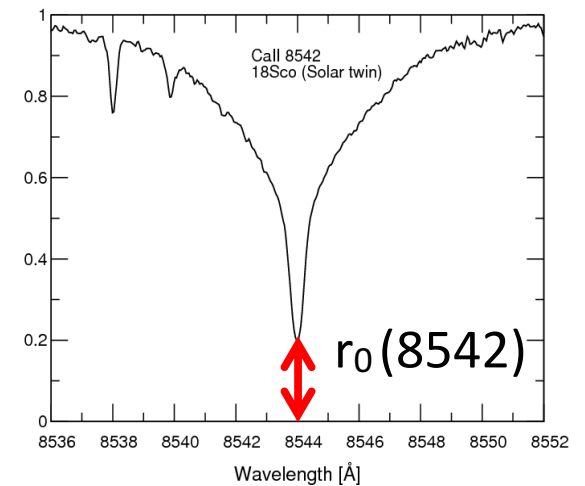
太陽と比べ、Ca II 8542 Å線強度高い



ROSATのX線強度で選んできた星は、
Ca II 8542 Å線で見ても、巨大黒点の存在が示唆される！



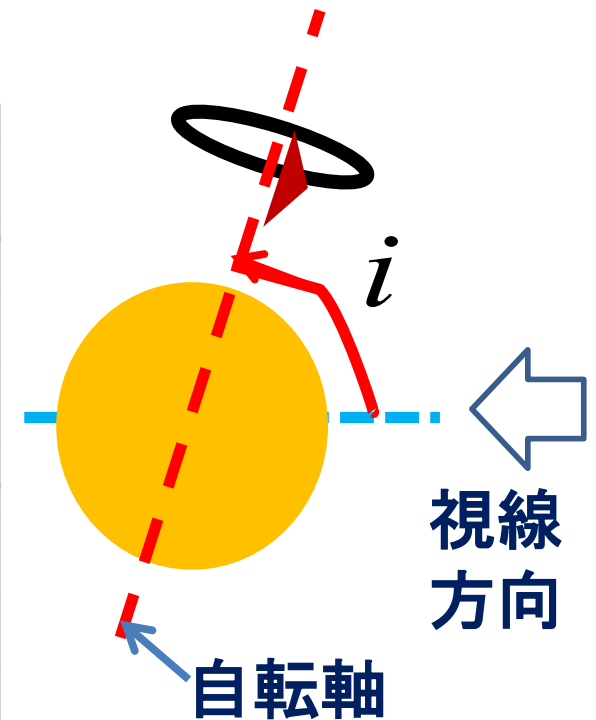
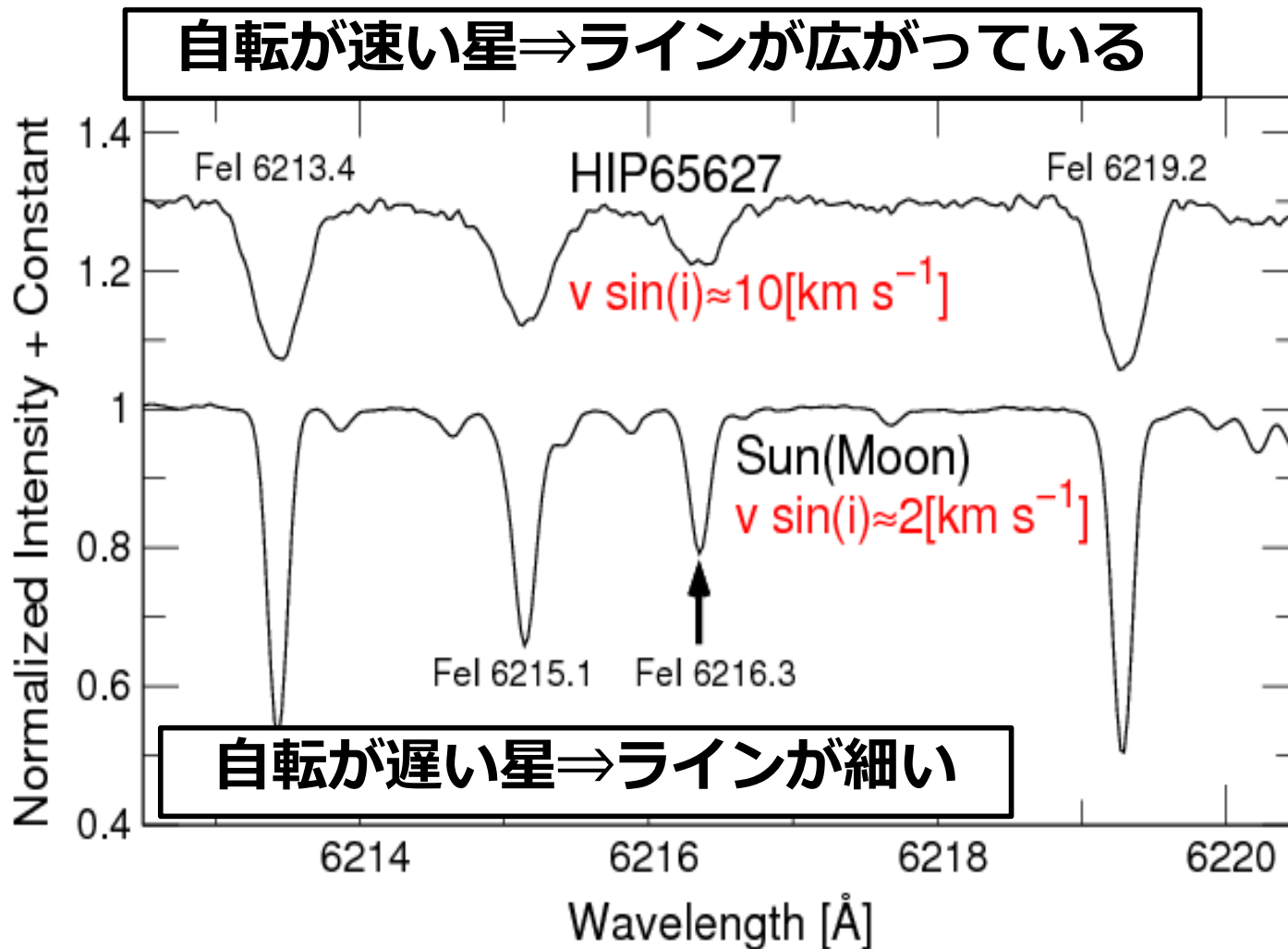
r_0 : Ca II 8542 線中心の規格化強度



吸収線の広がりから自転速度($v \sin i$)を測定

星表面の各点からの光は、自転に伴う運動でドップラーシフトする。

⇒星全面を観測：ドップラーシフトした光の足し合わせ→**ラインの広がり**

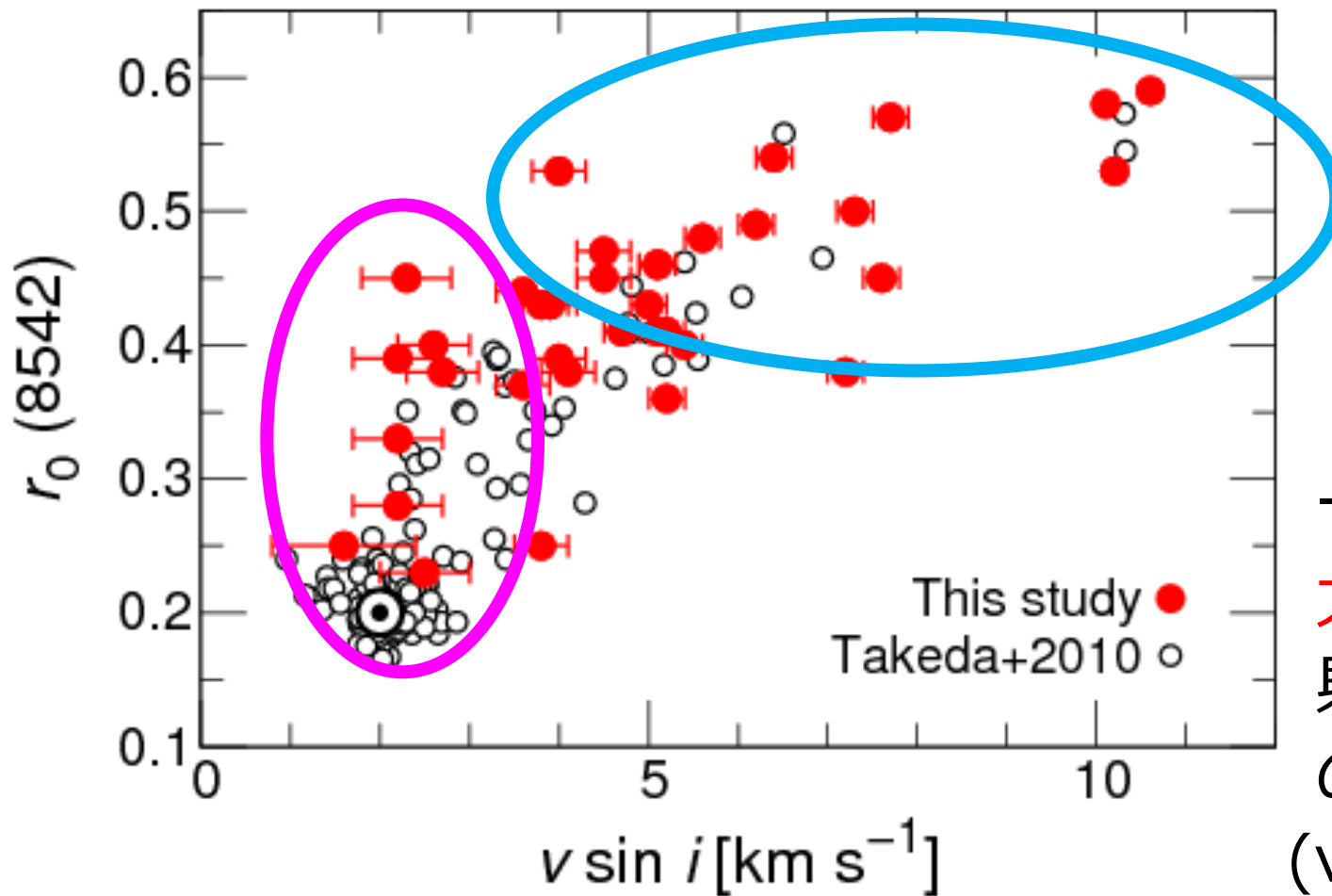


※測定手法詳細

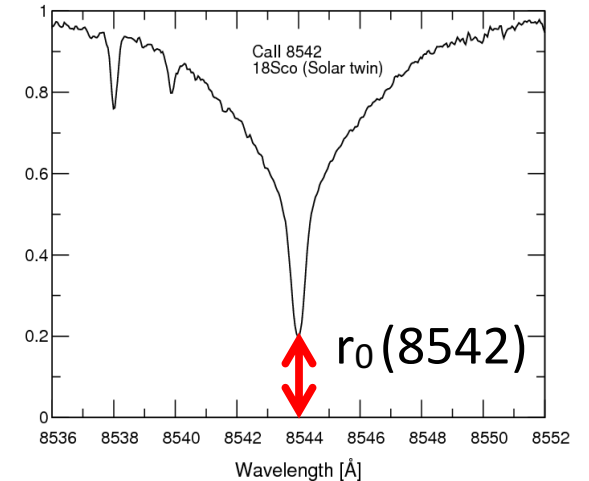
Takeda et al.(2008ほか)

(射影)自転速度($v \sin i$)と黒点サイズ

一般的な太陽類似星の測定結果の分布 (Takeda et al. 2010) と比べ、自転速度及び黒点サイズ(Ca II線強度)がともに高い傾向。



ro: Ca II 8542 線の強度

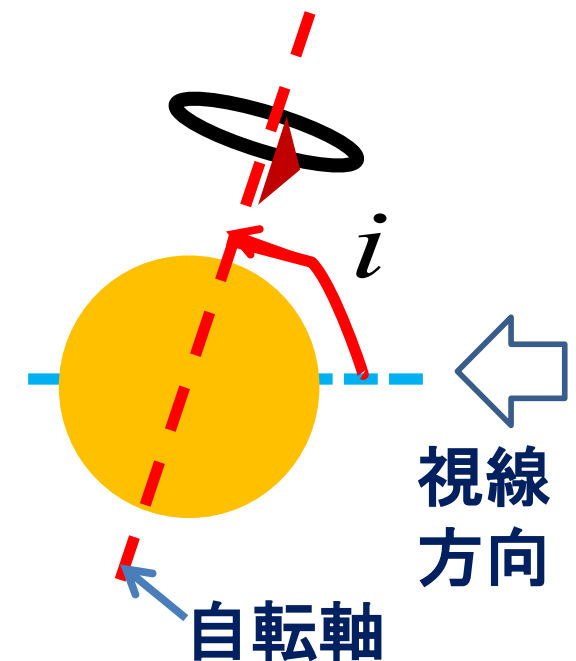
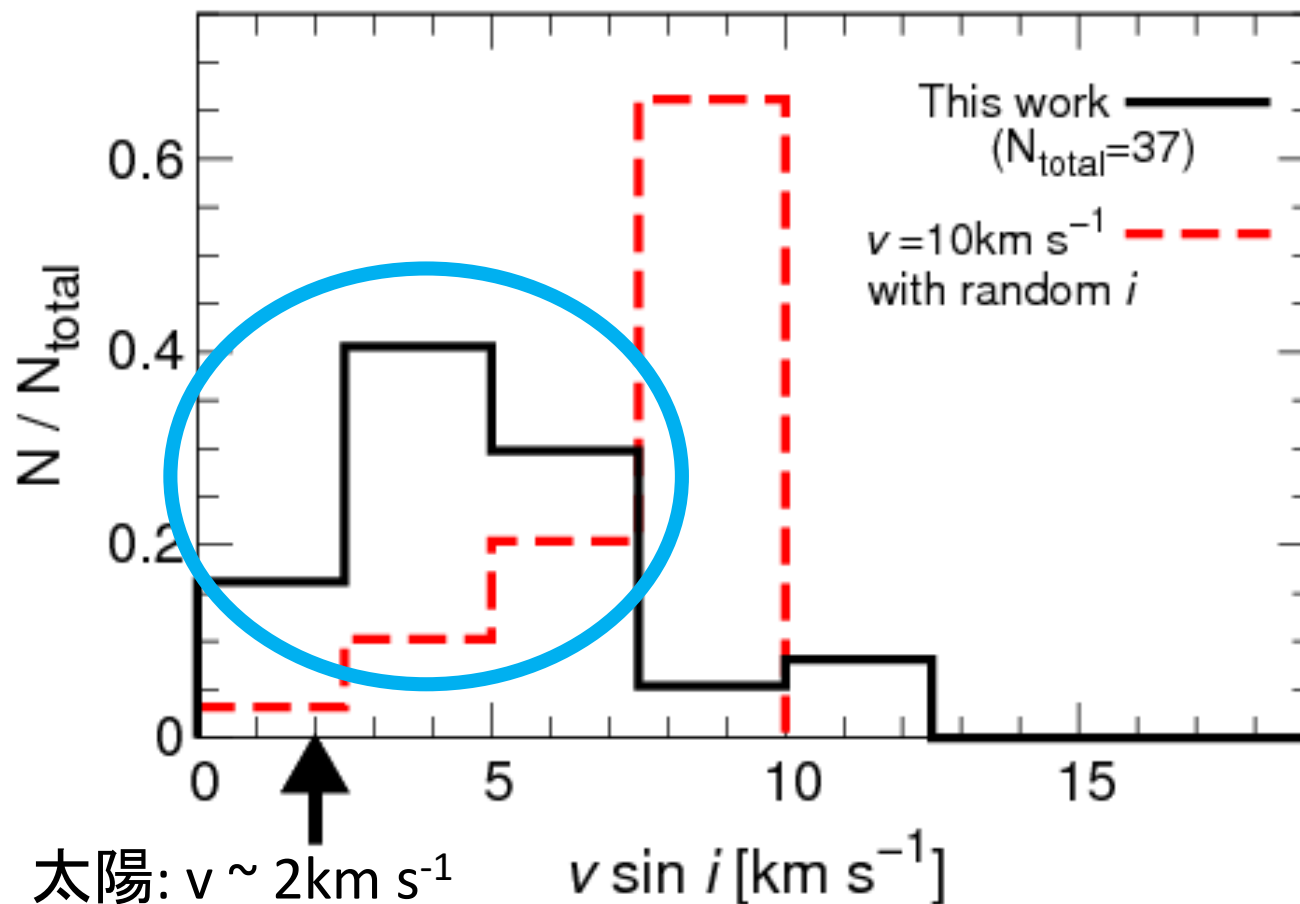


一方で、
太陽と同程度の
射影自転速度
の星も!!
($v \sin i \sim 2-3 \text{ km s}^{-1}$)

射影自転速度 $v \sin i$ に対する、自転軸の傾斜角(i)の影響

「 $v=10\text{km s}^{-1}$ かつ自転軸の傾斜角(inclination)がランダムな値をとる」と仮定した場合と比べると、 $v \sin i < 5\text{ km s}^{-1}$ の星は有意に多い。

⇒ **自転の遅い星($v < 5\text{km s}^{-1}$)の有意な存在を支持!?**



Are the target strong X-ray stars young or old stars ?

- 今回の分光観測データ

- 観測星の多くが、温度など太陽とよく似た単独星

- 自転速度の遅い($v_{\text{rot}} < 5 \text{ km/s}$) 星も含まれる

- ⇒太陽のように自転が遅く、若くない星が、果たしてスーパーフレアのような活発な活動を示すのか!?

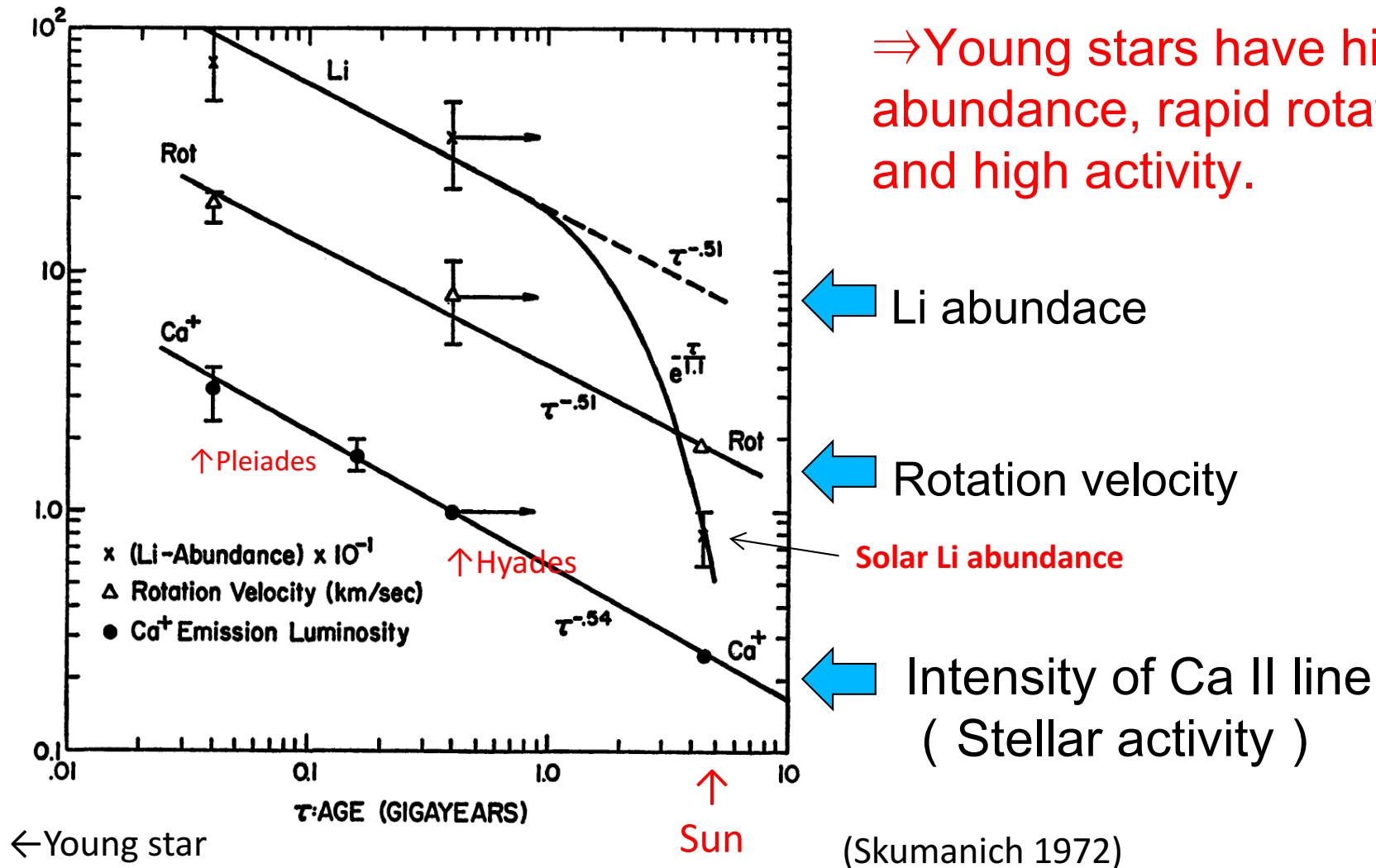
- 年齢の推定

- ⇒ Li組成の情報

- (波長域 : Li I 6708Å 線を含む)

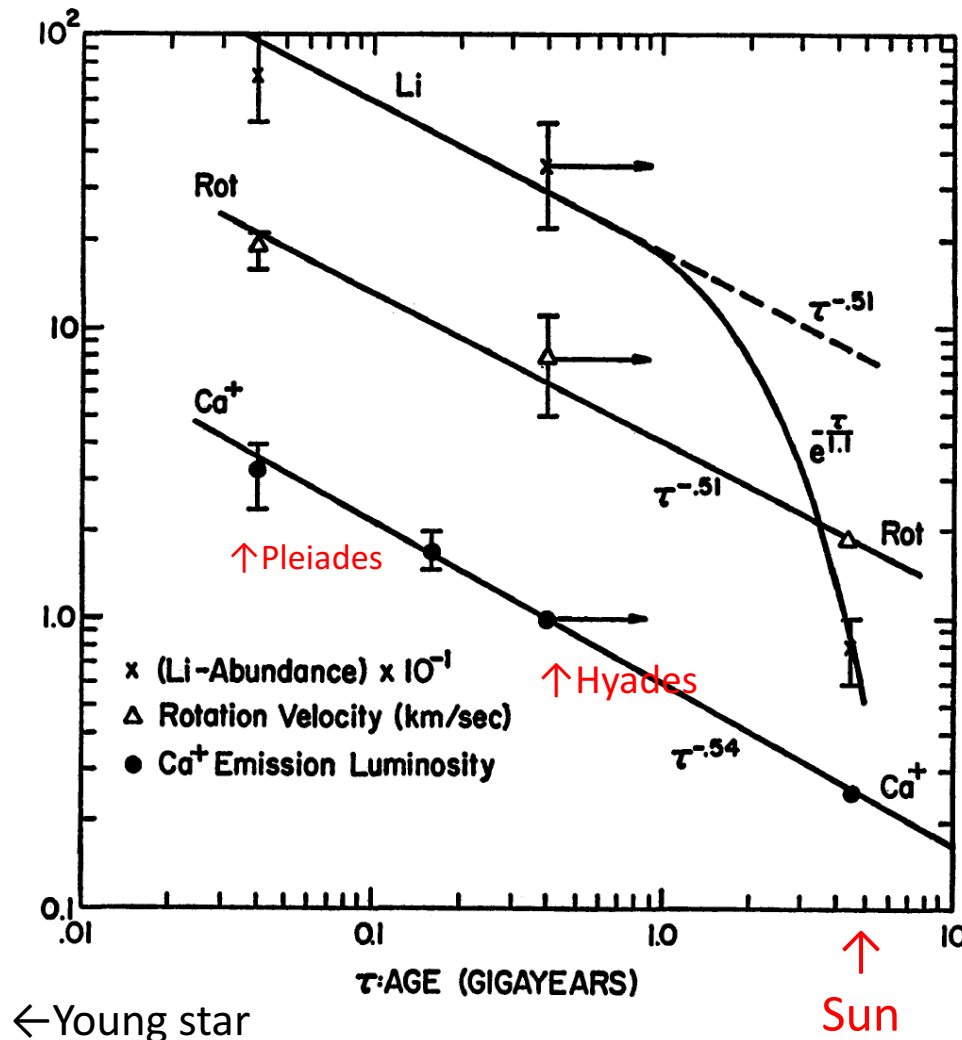
Li abundance can reflect the age of solar-type stars.

- Lithium is easily destroyed in the hotter region of stellar atmospheres.



Li abundance can reflect the age of solar-type stars.

- Lithium is easily destroyed in the hotter region of stellar atmospheres.



⇒ Young stars have high Li abundance, rapid rotation, and high activity.

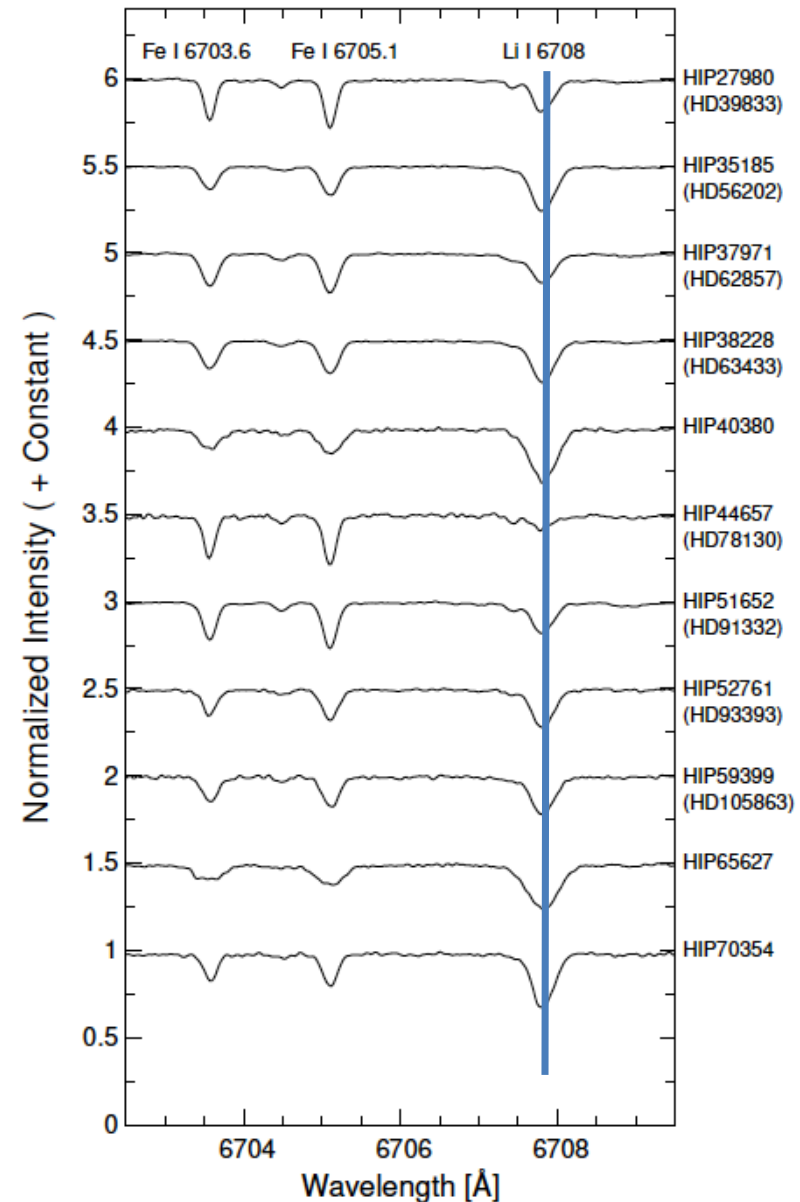


We can roughly estimate the age of superflare stars using Li abundance.

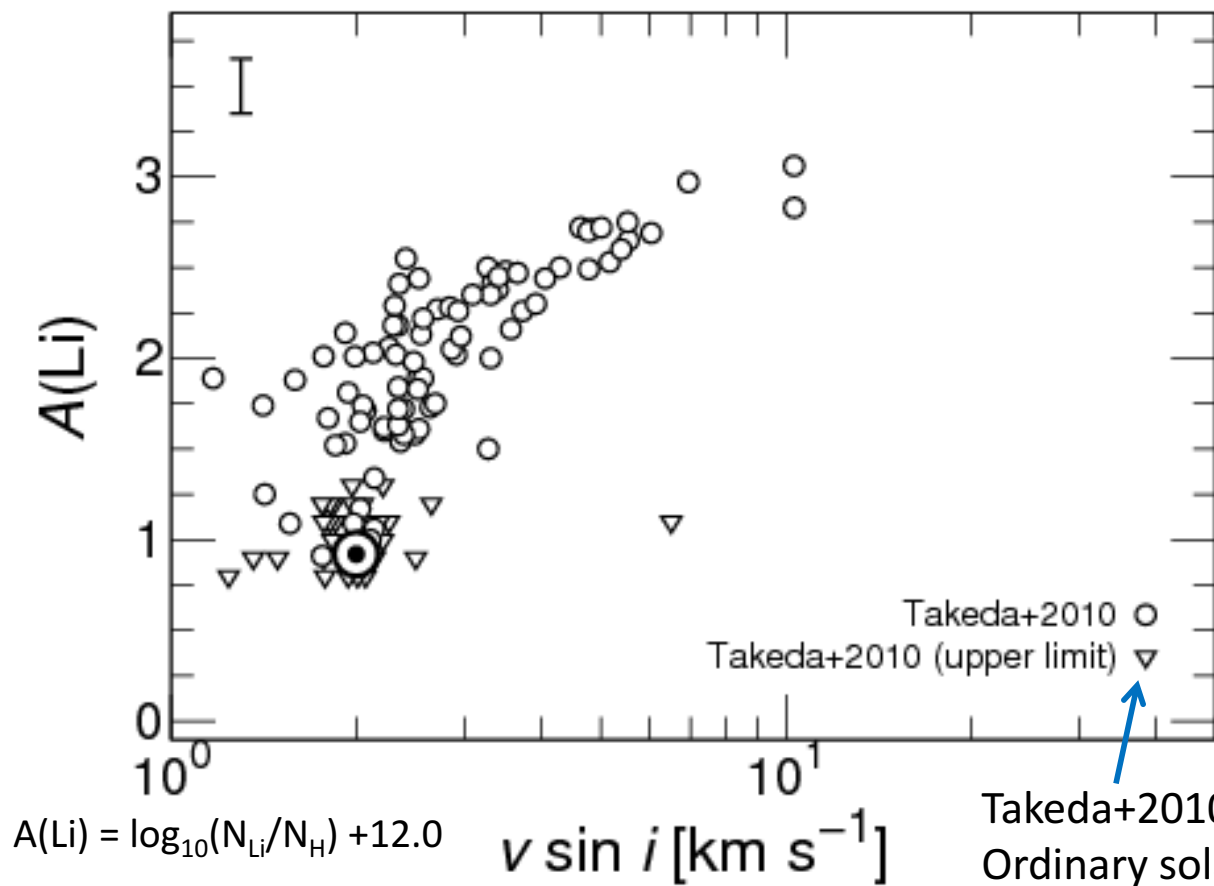
(Skumanich 1972)

Sample spectra of Li I 6708Å regions

- We derive the Li abundances for the 37 target stars
- Using the stellar parameters (e.g., T_{eff} , $\log g$, $[\text{Fe}/\text{H}]$) determined in this study
- We used the spectral fitting using the analysis program SPTOOL (Takeda 1995)



Projected rotation velocity ($v \sin i$) vs. Lithium of ordinary solar-type stars

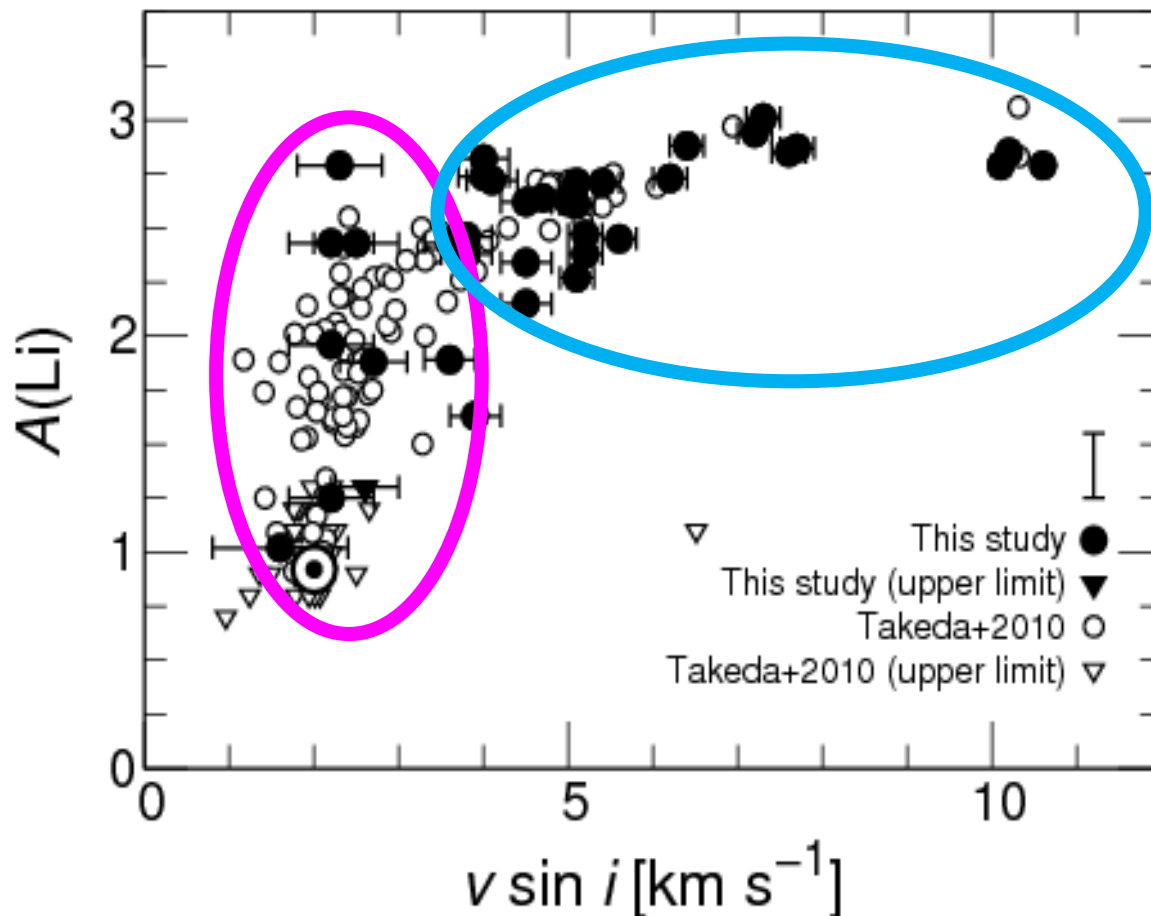


In general, the stellar rotation has a correlation with the age and activity.
(cf. Skumanich 1972)

Young stars rapidly rotate and Li abundance is high
↕
Old stars slowly rotate and Li abundance is low

Li abundance of strong X-ray stars

Target active solar-analog stars tend to rapidly rotate and have high Li abundance, compared with the Sun



cf. The Sun is known to be a Li-poor star among solar-type stars.

Some target stars rotate slowly and have low Li abundance ($A(\text{Li}) < 2$).

⇒ Old and slowly-rotating stars similar to the Sun are included !?

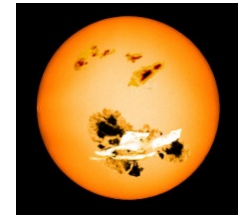
Summary

ROSAT衛星の全天サーベイで強いX線を出していると分かった、
比較的明るい($V \leq 9.5$ mag)太陽型星49星を高分散分光観測

(Notsu+2017 PASJ, 69, 12)

- 37星が単独星(温度等も太陽によく似ている)
- Ca II 8542線の強度 \Rightarrow 巨大黒点の存在を確認。
- $v \sin i$ (射影自転速度)とLi組成(\sim 年齢を反映)

\Rightarrow 太陽と同様、自転が遅く($v \sin i < 5 \text{ km s}^{-1}$)、
Li組成の少ない星も含まれる。



\Rightarrow Keplerでのスーパーフレア研究の結果とconsistent
「太陽のように自転の遅い星でも、
高い磁気活動性(巨大黒点&巨大フレア)を示す」

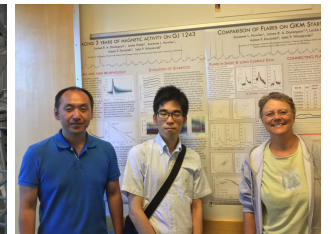
Future



○今後は、3.8m望遠鏡での**分光モニタ観測**の観測星へ活用

○Ca II H&K線の観測も実施中(2016-):

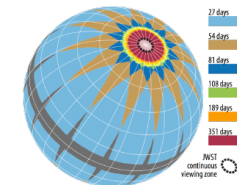
Apache Point 天文台3.5m望遠鏡($R \sim 31500$)にて、Kepler天体の隙間時間に



○**TESS**(2018年～ : Keplerの後継機)

- ・ **ほぼ全天の近傍の星**の測光観測(期間 : 数十日~1年)
 - 選択された星(全天で約2万星) : 時間分解能2分
 - full frame image : (時間分解能30分)
- ・ 今回の観測星も観測天体に含まれる

→ **自転周期やフレア頻度等の情報**



○Gaia(距離,視線速度)やeROSITA(ROSAT後継のX線サーベイ衛星,今年打上げ?)による追加情報も期待。