

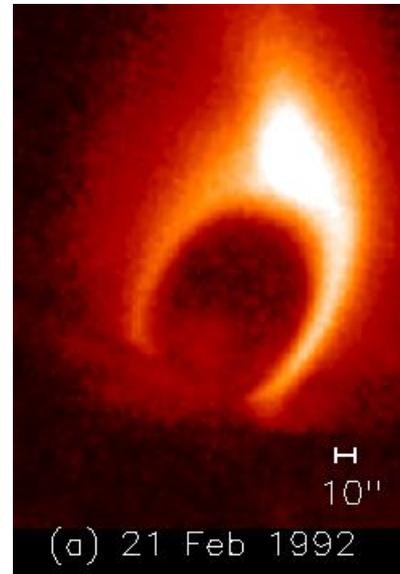
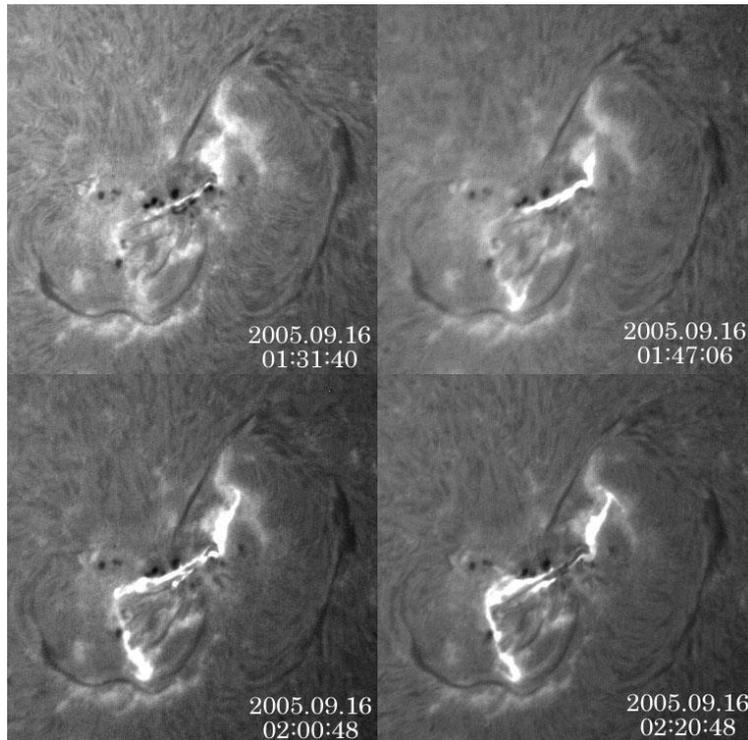
3.8m望遠鏡の初期観測フェーズで狙う 恒星フレアのサイエンス

KOOLS-IFUで太陽型星のスーパーフレアは検出できるか？

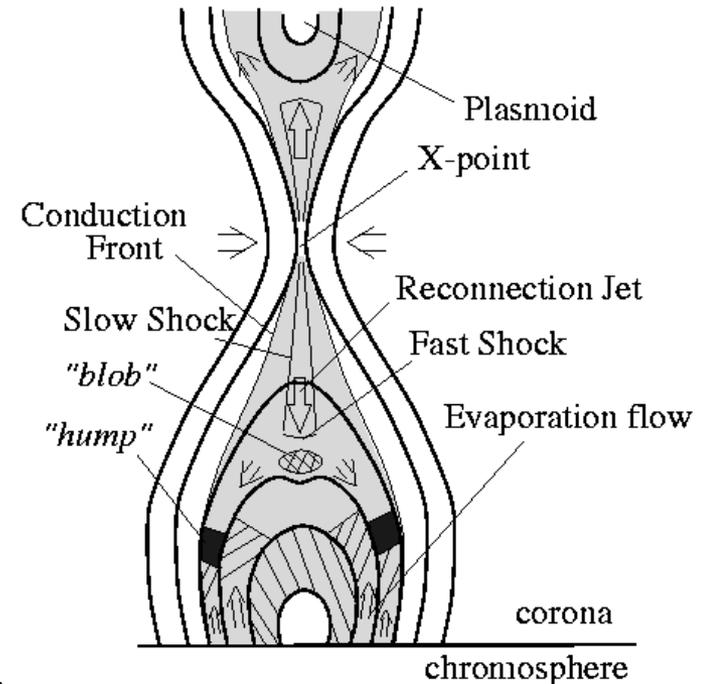
前原裕之(国立天文台)

太陽フレア

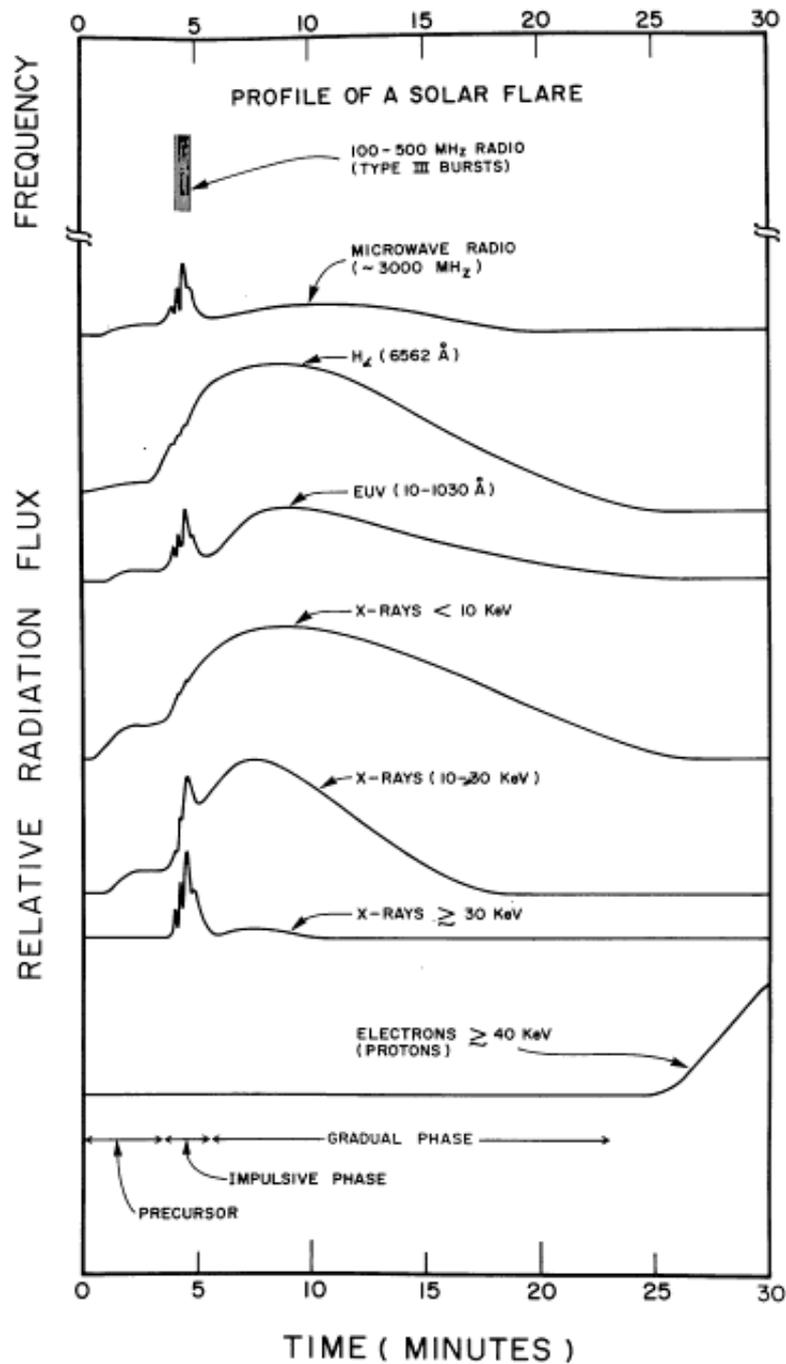
- 黒点の近くで突発的に明るく光る現象として発見された
 - 太陽大気(コロナ)中で磁気リコネクションによって磁場のエネルギーが熱や運動エネルギーとして開放される現象



Tsuneta et al. (1992)



Yokoyama & Shibata (1998)



マイクロ波

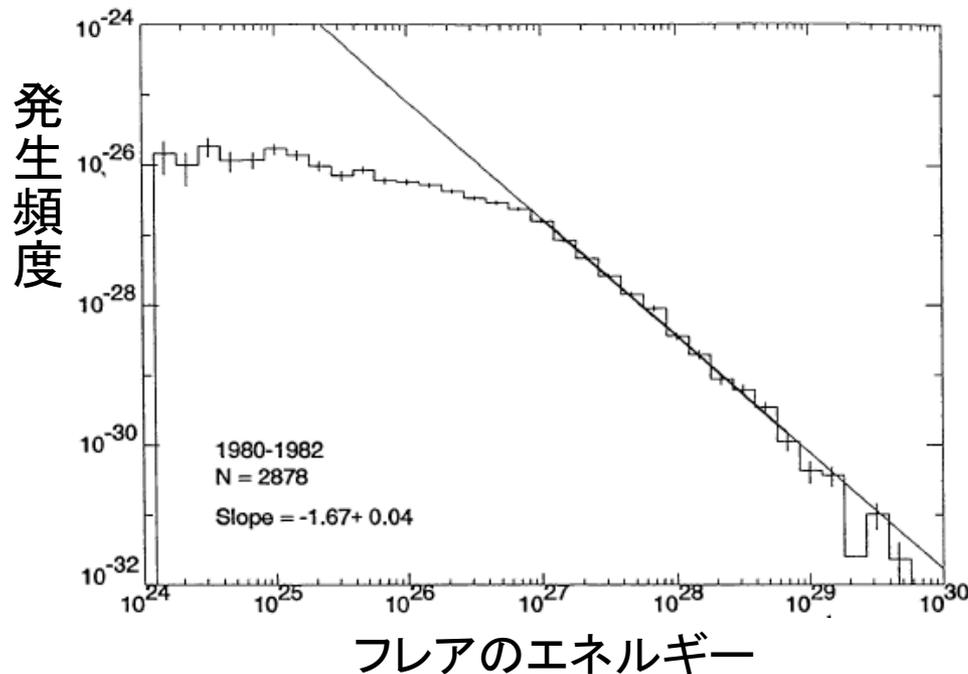
H α
EUV

X線 (<10keV)

X線 (10-30keV)

X線 (>30keV)

太陽フレアの発生頻度

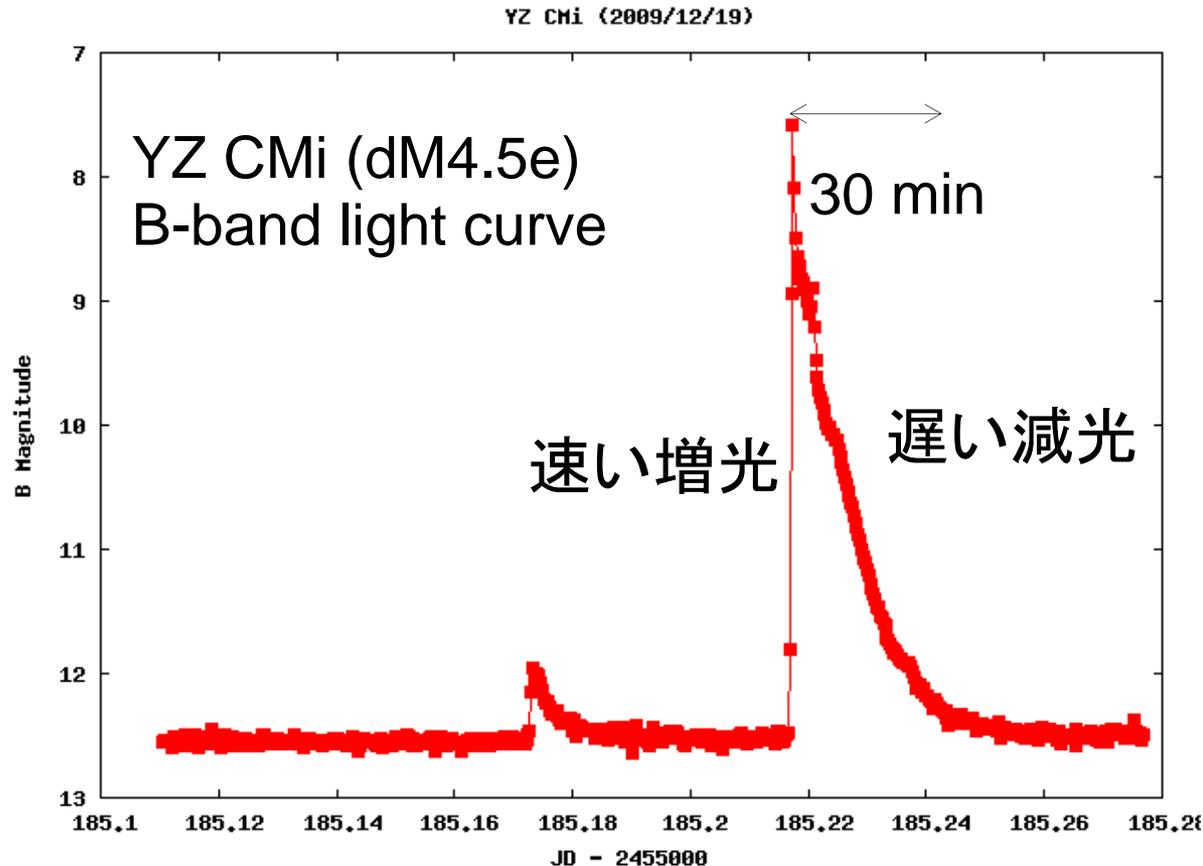


- 大きな太陽フレアほど起こりにくい
- エネルギーが10倍大きいフレアは発生する回数が1/10
- 最大級の太陽フレアはおよそ10年に1回発生

Crosby et al. 1993, Solar Physics, 143, 275

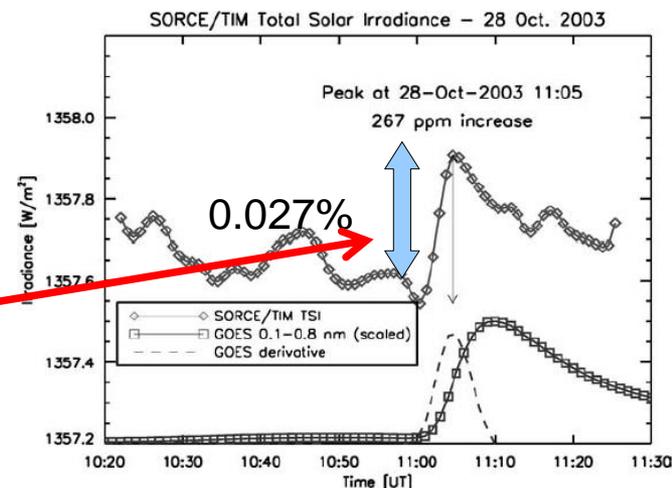
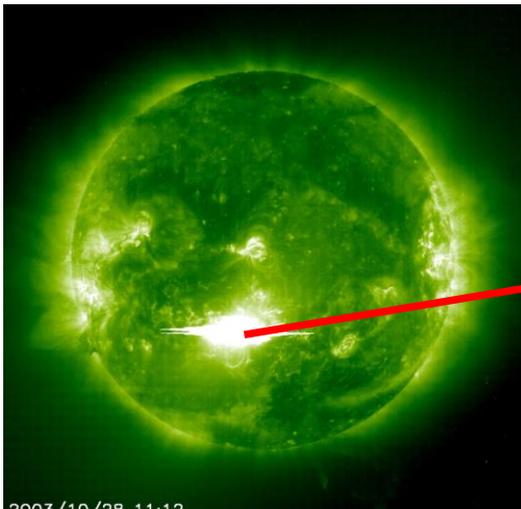
恒星フレア

- 星の明るさが短時間だけ突発的に増光する現象
 - 可視連続光やH α 輝線その他、UV・X線などでも増光
 - 従来はM型星のフレアがよく研究されてきた



太陽型星のフレア

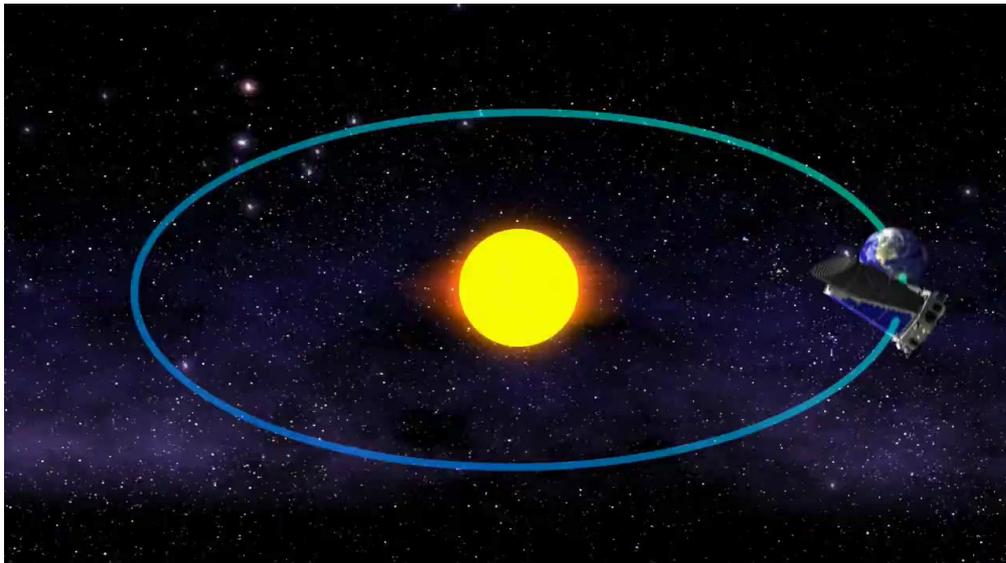
- 太陽以外の星は表面を空間分解して観測することができない
 - フレアの観測 → 星全体の放射のフレアによる変化を検出する
- フレアが起きても星の明るさはほとんど変化しない
 - 最大級の太陽フレアでも太陽の明るさは1万分の1しか明るくならない
 - 太陽フレアの1,000倍だとしても、連続光では10%しか増光しない



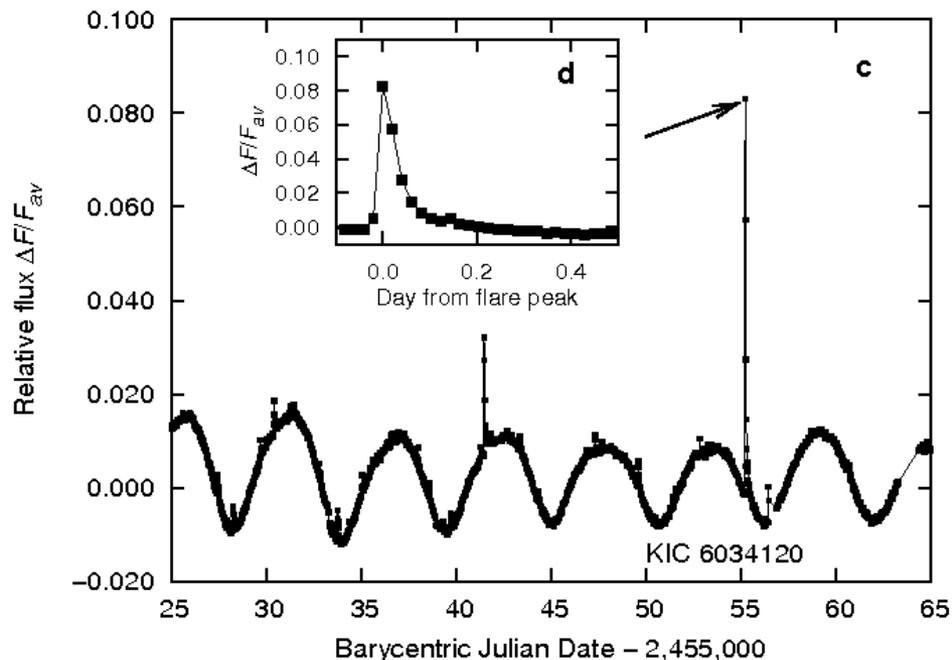
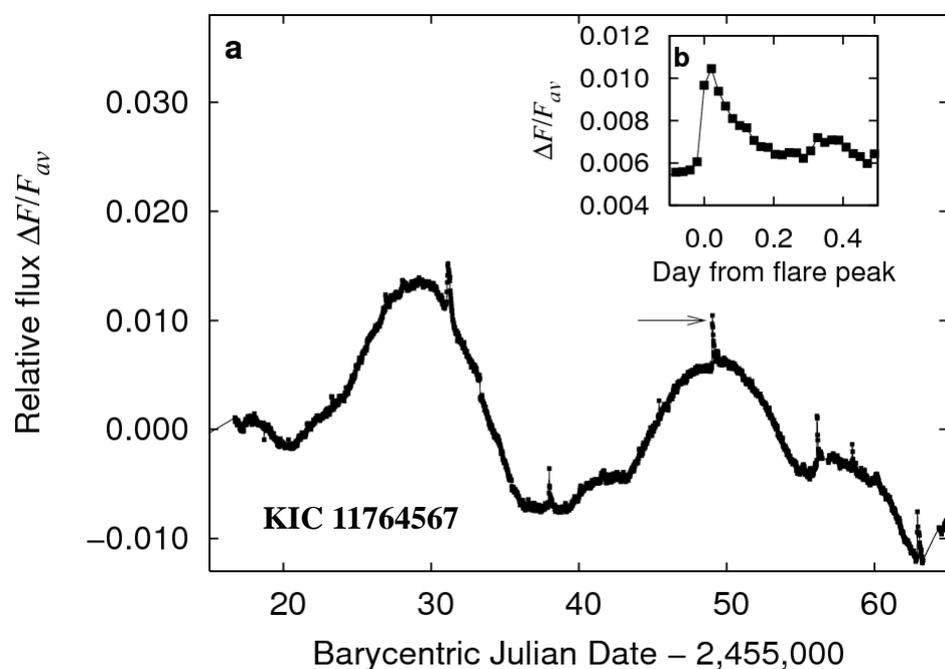
太陽フレア(X17)
による太陽の明
るさの変化

ケプラー宇宙望遠鏡

- 太陽系外惑星を観測するためにNASAが2009年に打ち上げ
 - 口径95cmのシュミット望遠鏡で約16万個の星の明るさを精密に測定
 - 2009年4月から観測開始、ほぼ切れ間なく観測
 - わずか数万分の1の明るさの変化も観測できる



太陽型星のスーパーフレア



- 振幅: 0.1-10%
- 継続時間: ~ 0.1 days
- エネルギー: 10^{33} - 10^{36} ergs
 - 最大級の太陽フレア ($\sim 10^{32}$ ergs)の10-10,000倍
- スーパーフレア星の多くは巨大な黒点を持つ

KOOLS IFUでの恒星フレア観測

表 1.1: KOOLSと KOOLS-IFU の性能比較表

項目	KOOLS	KOOLS-IFU
観測モード	撮像・スリット分光	面分光
空間サンプリング	0.334" (1 × 1 binning 時)	2.34" (binning によらない)
視野	~ 5' × 4.4'	直径 30"
波長範囲 / 波長分解能		
(グリズム No. 2)	5700–8500 Å ¹ / 600–800 ²	5450–8350 Å ³ / 600–850
(グリズム No. 5)	4000–7400 Å ¹ / 400–600 ²	4200–6700 Å ³ / 350–600
(グリズム VPH683)	6200–7200 Å ¹ / ~1100 ²	(未試験)
(グリズム VPH495)	4500–5400 Å ¹ / ~1100 ²	4300–5600 Å ³ / 1000–1300
スループット		
(グリズム No. 2 / No. 5)	10% / 5%	7.1% / 4.6%
(グリズム VPH683 / VPH495)	15% / 10%	(未試験) / 6.5%

^a国立天文台 岡山天体物理観測所のホームページより。

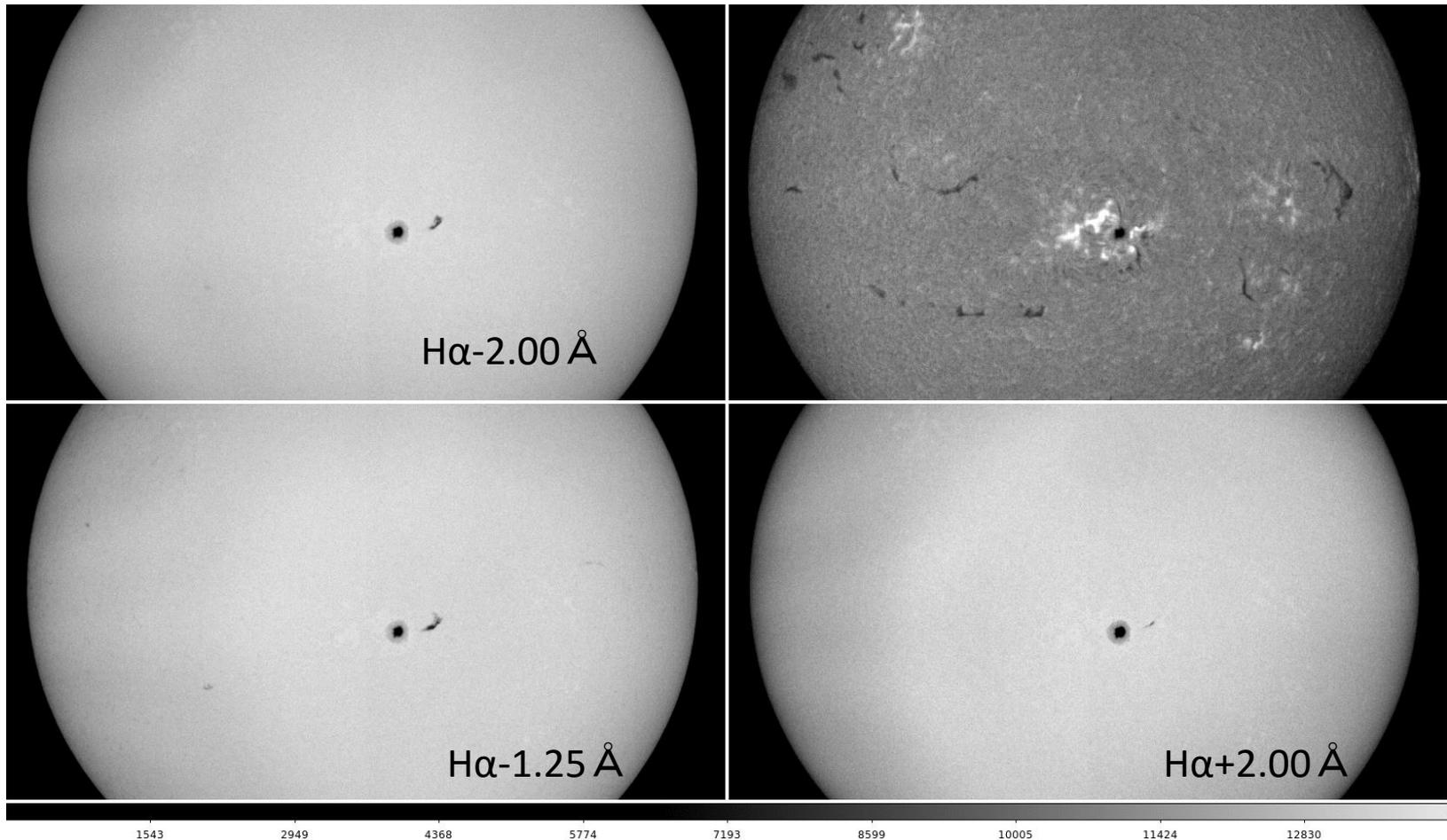
^b1.8" スリット 使用時。

^c上記の科学観測に適した波長を表示している。

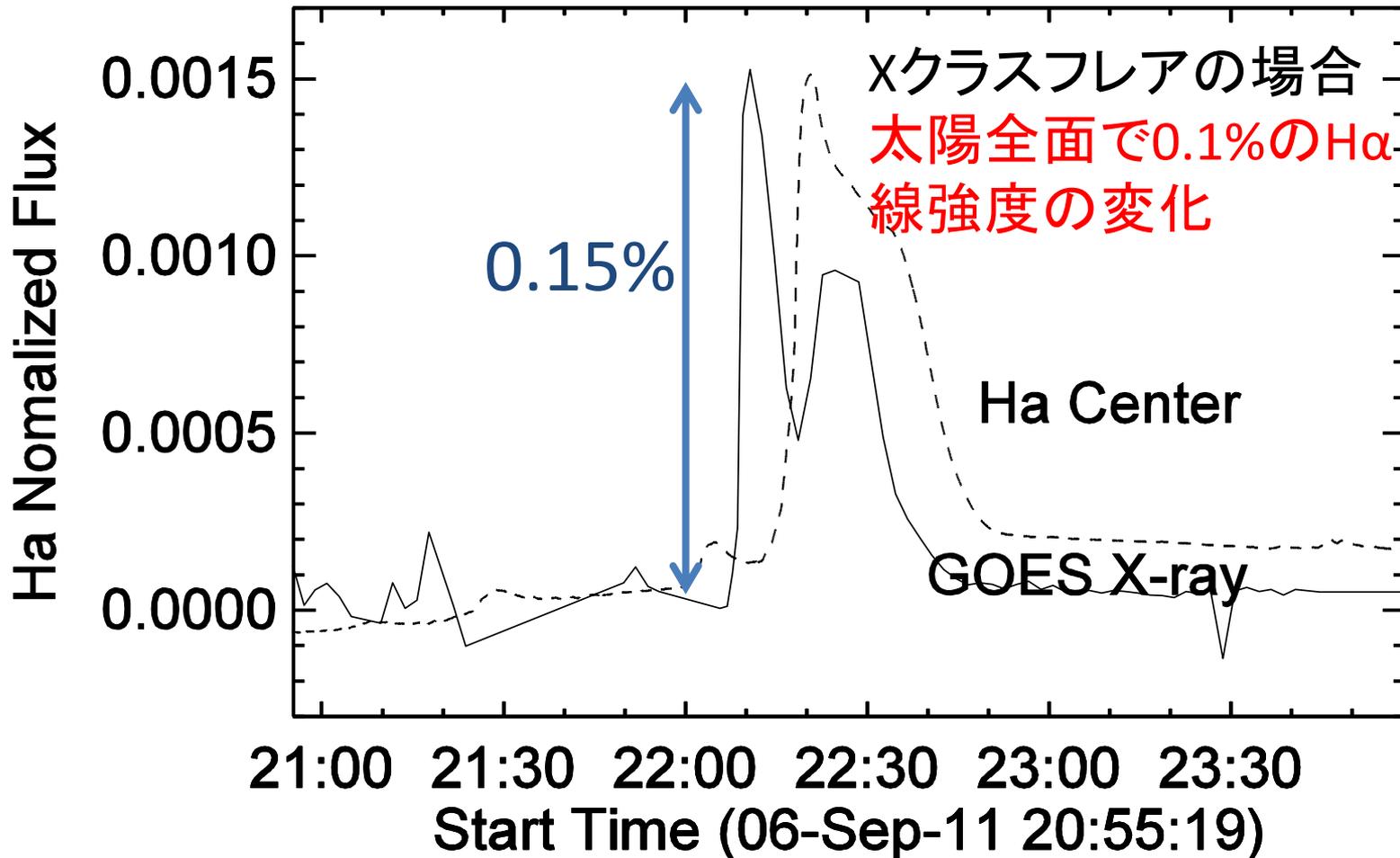
- Call HK lineは入らない、Call tripletも入らない
 - Balmer (H α , H β , H γ) + HeI 5876はフレアの観測には使える
- H α 線を中分散モード (R=1300) で観測することを想定

KOOLS IFUで太陽型星のスーパーフレアは観測できるか？

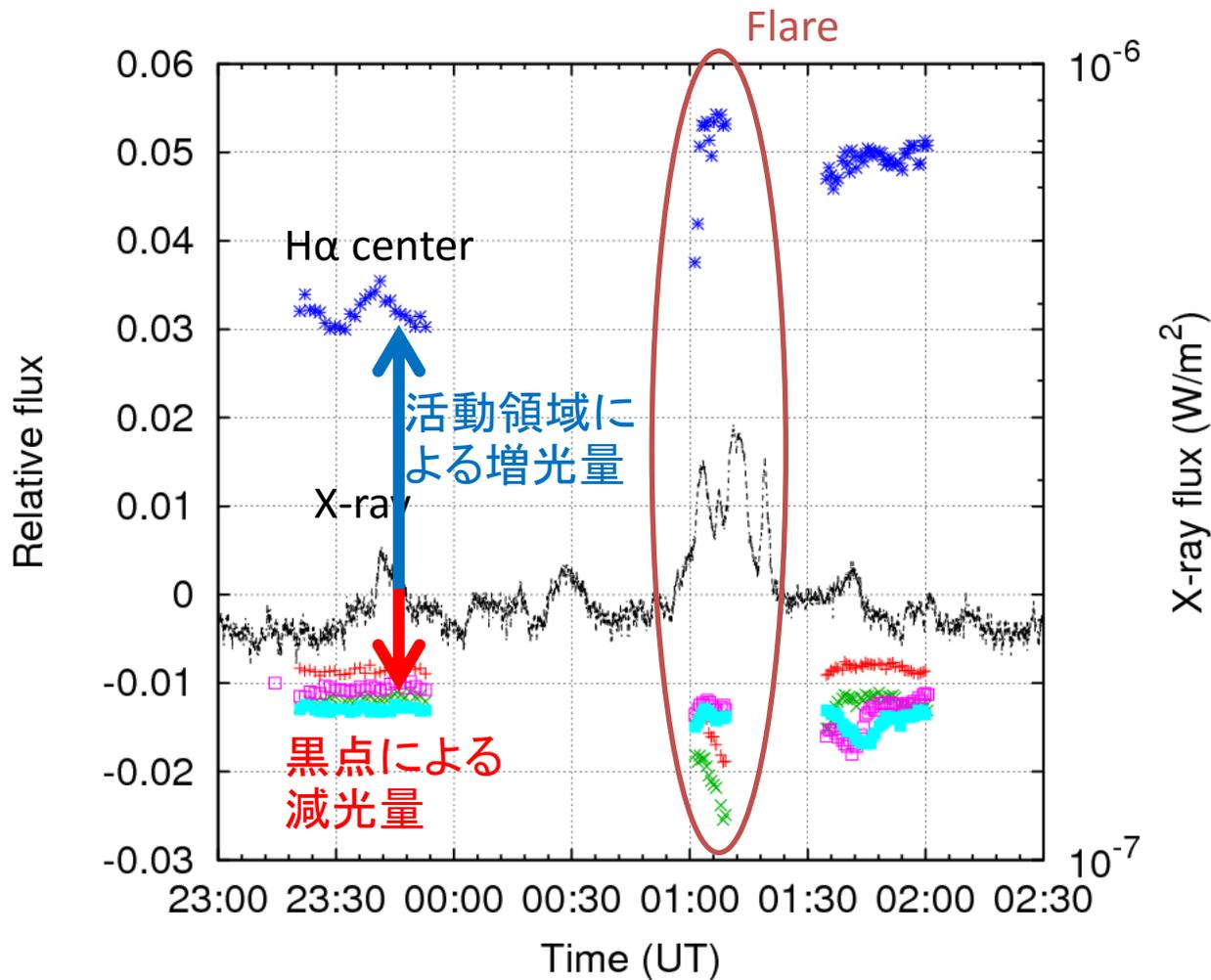
- H α 線を中分散モード (R=1300) で観測することを想定
- 太陽のH α 線データから期待されるH α 線の変化を推定



2011/9/6 X2.1 flare |
SMART(T1) light curve
Hida Obs./SMART/T1/HaCenter

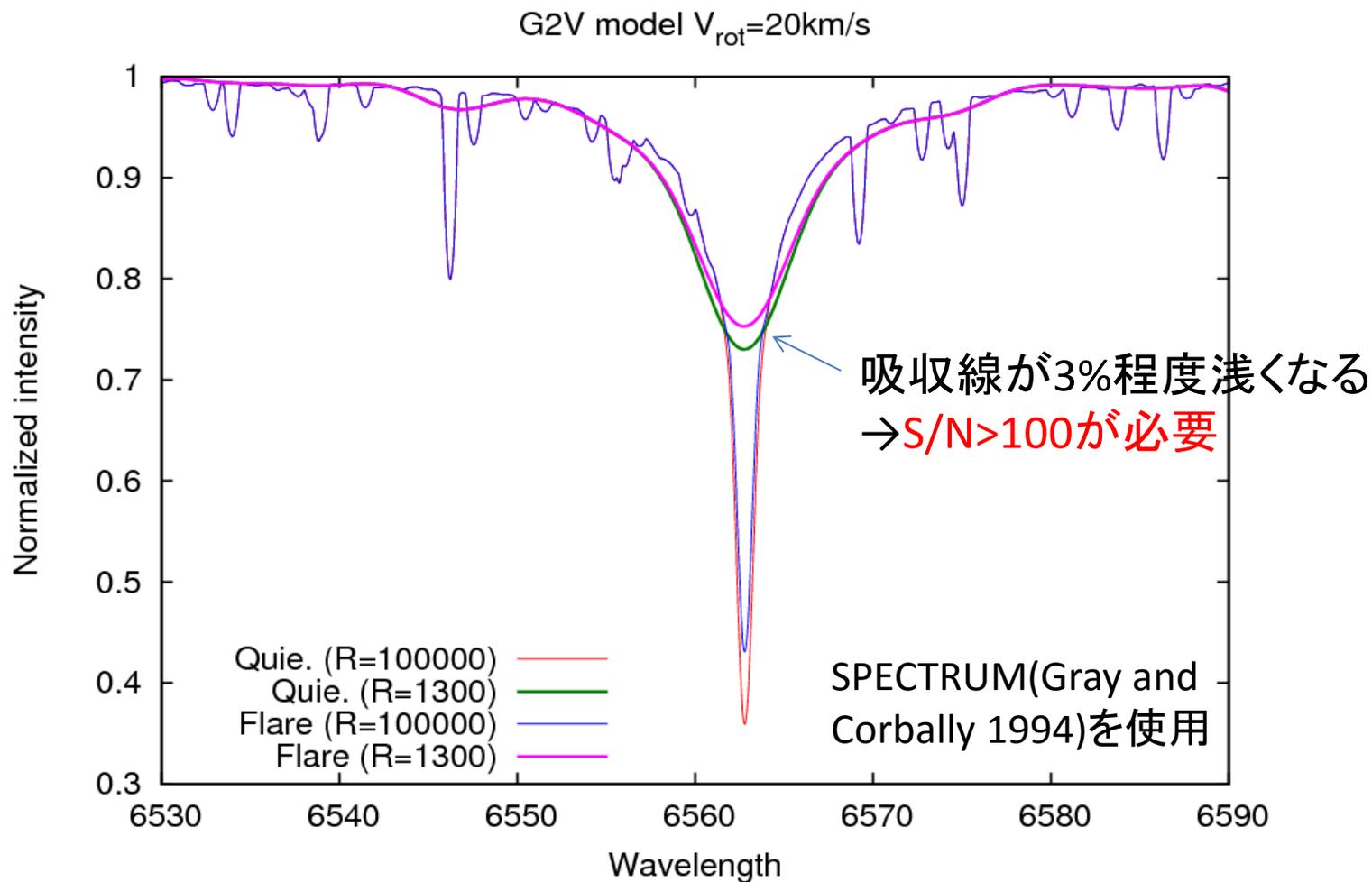


黒点面積1%相当の場合に期待されるH α 線の変化



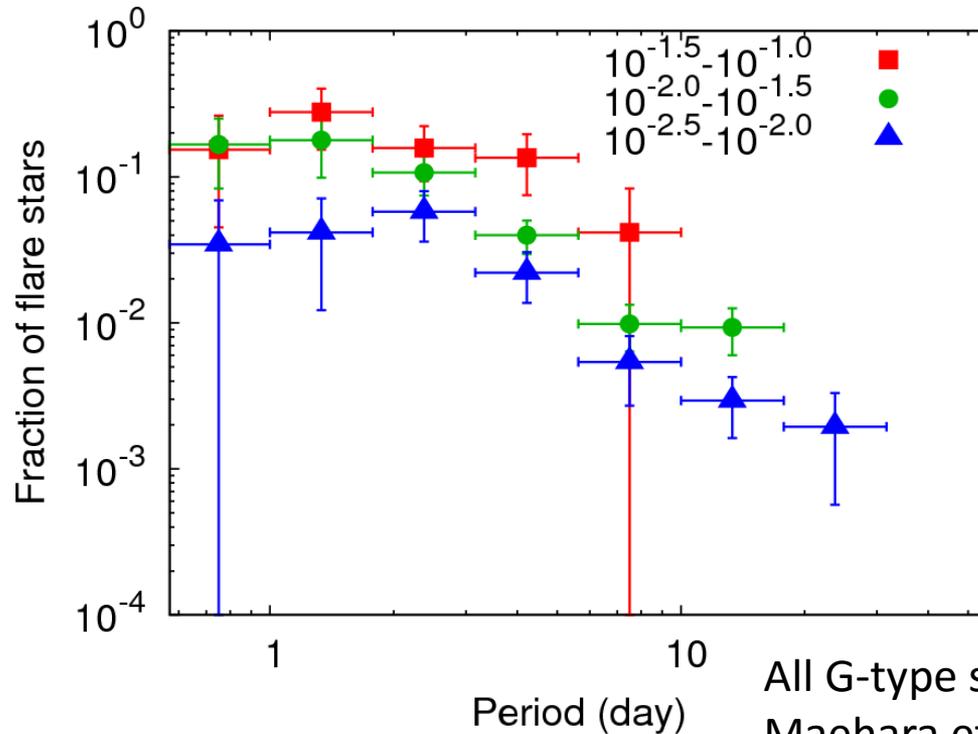
-2.00 + 0.00 * +2.00 ■
-1.25 x +1.25 □ GOES XRT ·····

期待されるH α 線の変化 (X200フレア or 黒点面積3%相当)



期待されるサイエンス

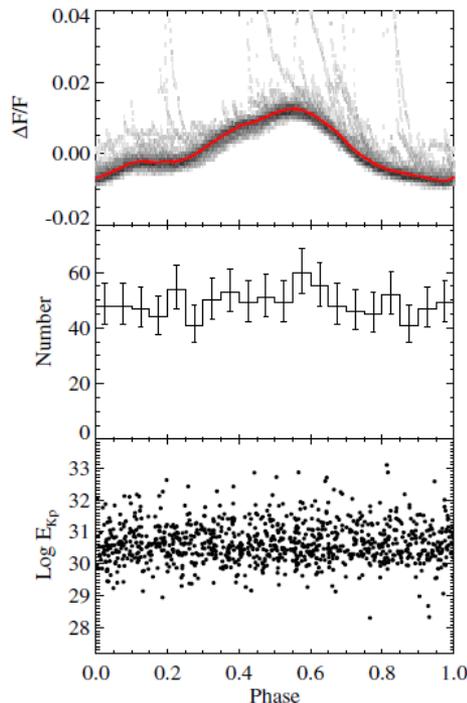
- 大きな黒点を持つ星
 - スーパーフレアを起こす天体は10%程度
 - 残りの星は大きな黒点を持つがスーパーフレアを起こさない
 - 両者の違いは何か?



期待されるサイエンス

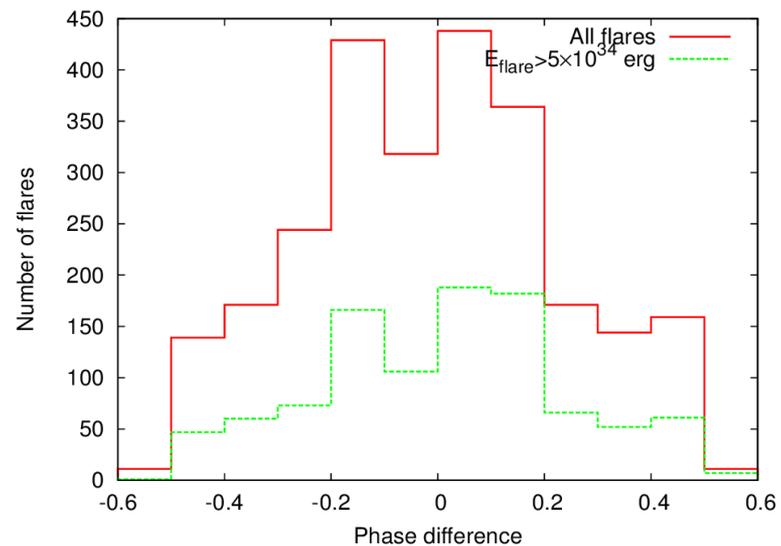
• フレアと黒点の対応

- Hawley+2014: GJ1243 (dMe) では一番大きな黒点による変光の位相とフレアの発生頻度に相関がみられない
- G型星のフレアの1/3は一番大きな黒点が観測者と反対側にある時に起きている



GJ1243 (dMe)

Hawley et al. (2014)

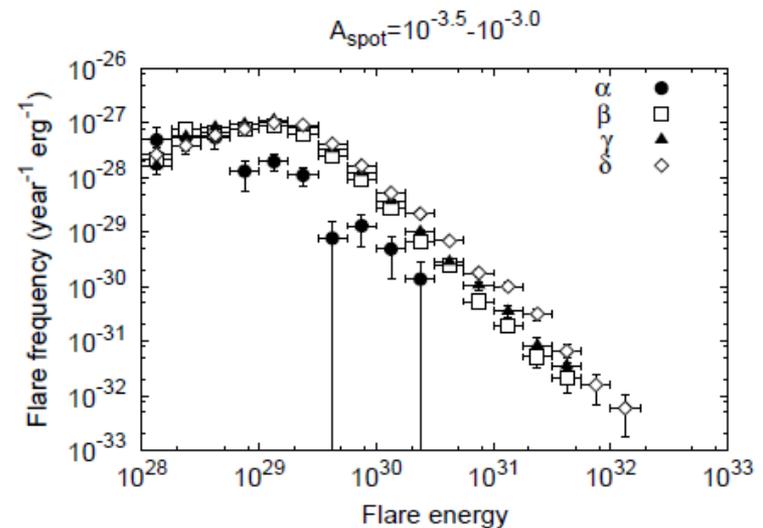
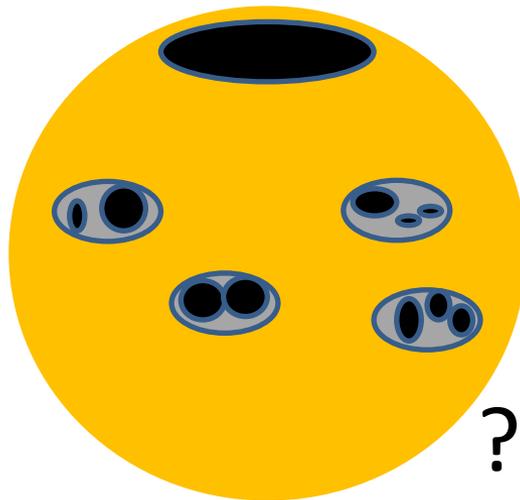


All G-type stars

Maehara et al. in prep.

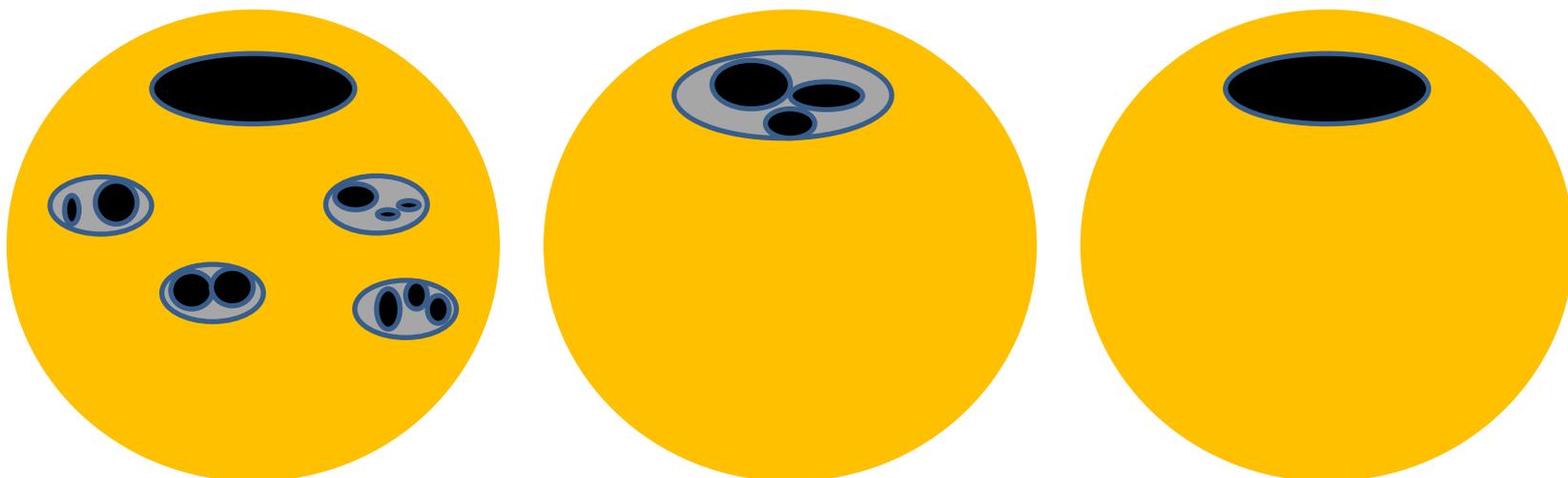
黒点による変光とフレア

- 極にある大きな黒点
 - フレアの活動は低い
 - 面積が大きいので時点による変光の原因
 - 単純な磁場構造
- 低緯度にある複数の活動領域
 - フレアの活動が活発
 - ほぼすべての経度に分布
 - 面積は極にある黒点よりも小さいので、自転による変光への寄与は小さい
 - 複雑な磁場構造



KOOLS-IFUによる観測

- 大きな黒点 (>2-3%)を持つ星の連続分光観測
 - 中分散モード ($R \sim 1000$) で自転に伴う $H\alpha$ 線の強度変化を調べる
 - Flare activityのトレーサーとして $H\alpha$ 線を用い、自転による変化から活動領域の経度方向の分布を推定する
 - 連続光の測光観測も同時に行い、黒点による変光と彩層のlineの強度変化の相関を調べる
 - フレアが検出された星とそうでない星の黒点の磁場構造の違いを明らかにする
 - 最大級の太陽フレアの30-100倍程度のフレアが起これば分光的に検出可能 (1 event / 10-30 nights)



まとめ

- KOOLS-IFUでスーパーフレアを起こす太陽型星の観測ができるかどうか検討
 - 自転によるH α 線強度の変動
 - 黒点面積3% \rightarrow H α centerで10%程度変動(単一の活動領域の場合)
 - フレアそのもの
 - X200-300(最大級の太陽フレアの20-30倍)よりも大きなフレアなら、H α centerで10%程度の増光が期待できる
 - R=1300を想定した場合
 - 検出にはS/N>100は最低限必要
 - 現状のCCD: Readout noise, フレアの場合はreadout timeが問題かも?
 - K,M型であればもう少し条件が悪くても大丈夫
 - 別途自転による変光やフレア自体の測光観測も必要
 - 別な小型望遠鏡による測光
 - TESSとの同時観測