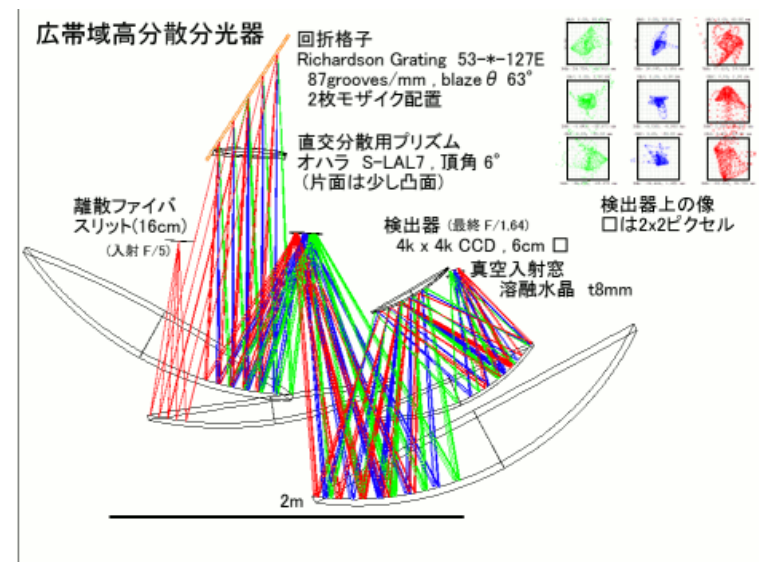
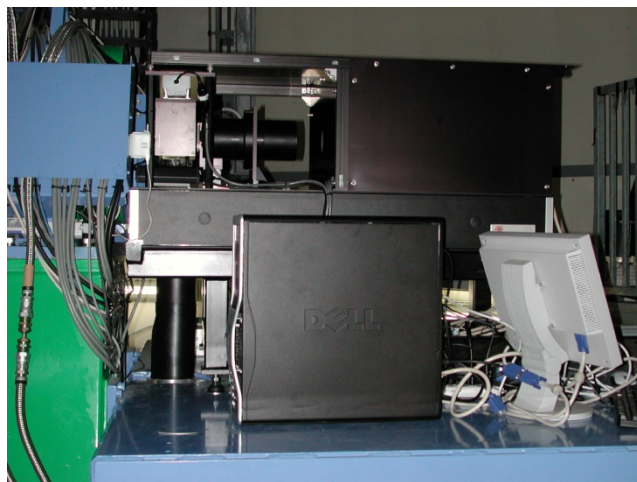


# 3.8m望遠鏡用 高速測光分光装置と 可視光高分散分光装置

野上大作(京都大学)

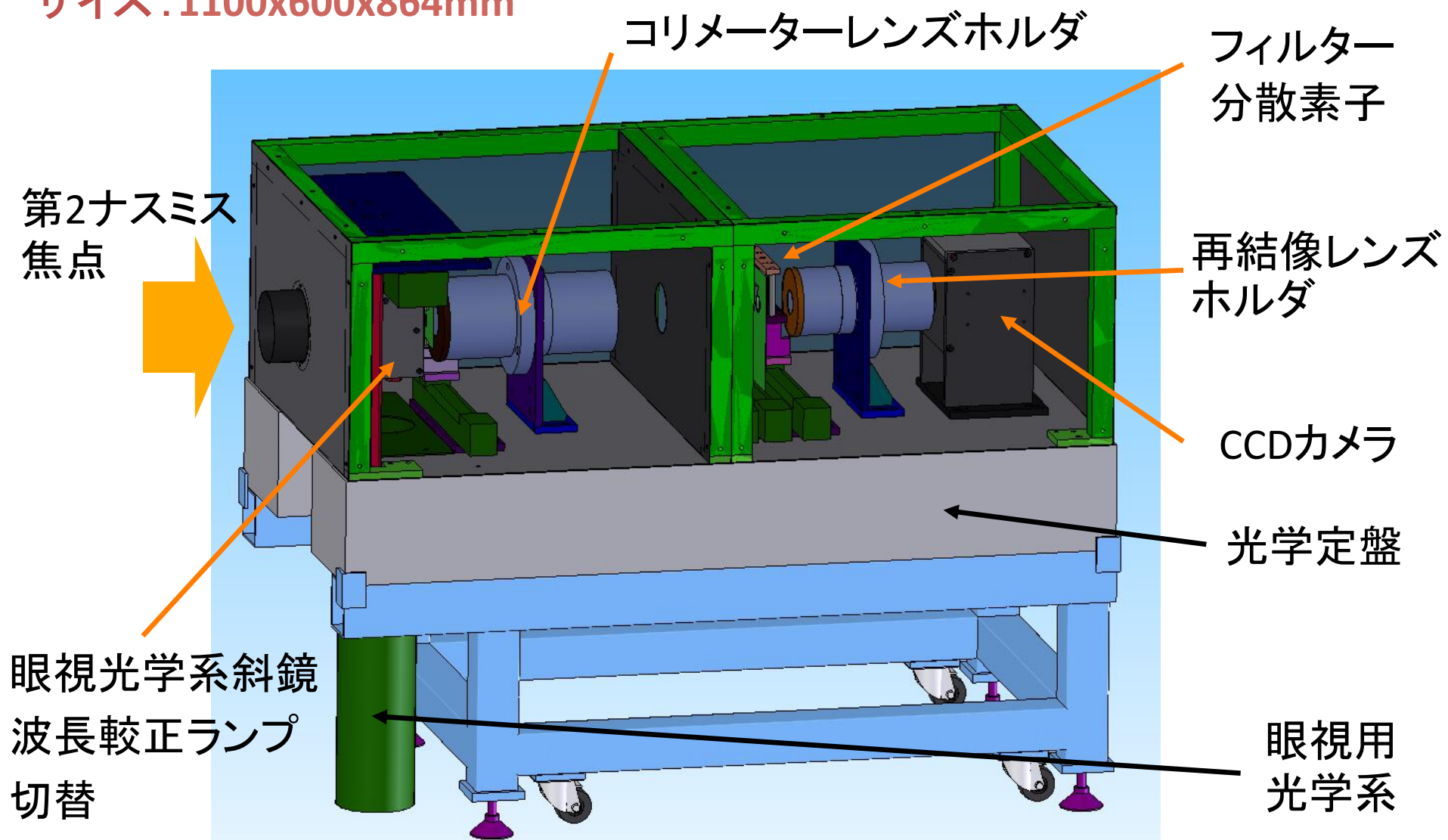


# 3.8m望遠鏡用観測装置

- 高速測光分光装置
- 可視面分光装置 (KOOLS+IFU)
- 近赤外線分光装置
- 高コントラスト惑星探査装置 (SEICA)
- 、 、 、

# ○ 高速分光器@かなた望遠鏡 全体像

サイズ: 1100x600x864mm

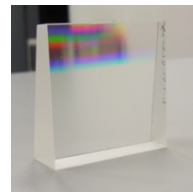
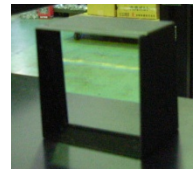


## ◎光学系：

H0WPo1の(予備の)レンズ群を使用

## ◎分散素子

- ・超低分散用( $R \sim 20$ )  $\Rightarrow$  2素子プリズム
- ・低分散用( $R \sim 150$ )  $\Rightarrow$  グリズム
- ・(低分散2( $R \sim 1000$ )も入れられないか検討中)



## ◎筐体

- ・フィルター5種類 (BVR, ロングパス2種類 (L38, GG495))
- ・波長校正用光路
- ・マスク/スリット  
3種類 (丸穴  $\phi 0.9\text{mm}$ 、スリット2種類(幅0.11, 0.20mm))

# ○高速CCDカメラ

e2v社の**電子増倍(EM)**・背面照射型 frame transfer CCD (CCD87) を使って浜松ホトニクスと共同で開発されたEM-CCD カメラ(C9100-12)



|              |                                |
|--------------|--------------------------------|
| ピクセル数        | <b>512×512</b>                 |
| ピクセルサイズ      | 16 $\mu$ m×16 $\mu$ m          |
| 露光時間         | <b>27.1 msec～10 sec</b>        |
| 最速frame rate | <b>35.8 frame/sec</b> (No-bin) |
| 電子増倍(EM)     | 4 ～ 2000 (可変)                  |
| カメラヘッド       | 真空封じ切り・ペルチェ冷却+空冷               |
| 冷却温度         | -50°C (@0～30度)                 |
| 読み出しノイズ      | 100 [e-]                       |
| A/Dコンバータ     | 14 bit                         |
| 飽和電荷量        | 400,000 [e-]                   |

測光観測での限界等級 20 mag @かなた望遠鏡(1.5m)→22mag@3.8m?  
( $\pm 0.2$ mag, 最長の10秒露光, 電子増倍率:最小)

# ○装置のまとめ

積分時間: 27.1ms ~ 10 sec

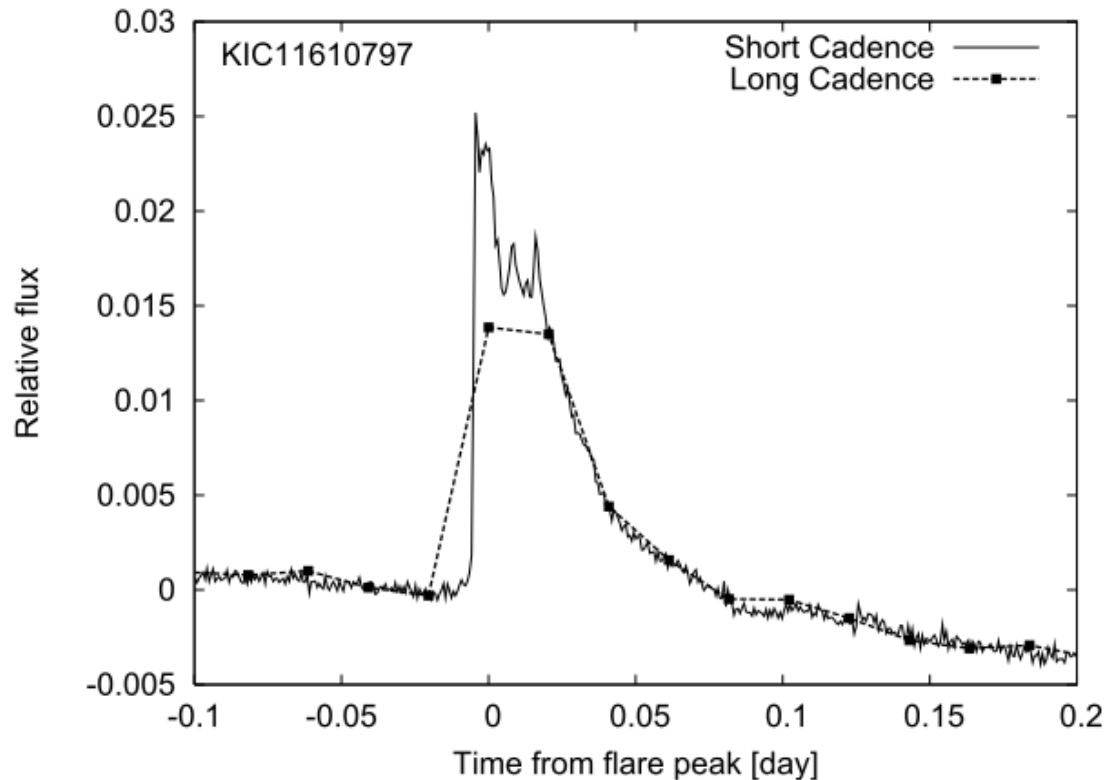
観測視野: 2.6' x 2.6' (撮像モード) (0.31"/pix)

|         | 2素子プリズム     | グリズム      |
|---------|-------------|-----------|
| マスク     | スリットレス(素通し) | 0.2mmスリット |
| 観測波長域   | 360~1000nm  | 430~690nm |
| 波長分解能   | 6~80nm      | 4nm       |
| 系全体の効率  | 最大13%       | 最大9%      |
| 限界等級(※) | 15.7mag     | 12.4mag   |

※積分時間:10秒、電子増倍率:4倍(2000倍まで増倍可能)

※3.8m望遠鏡用には、プリズム・グリズムとCCDカメラは流用し、その他はあらたに開発予定。200万円程度を予定。

# 速いことはよいことだ

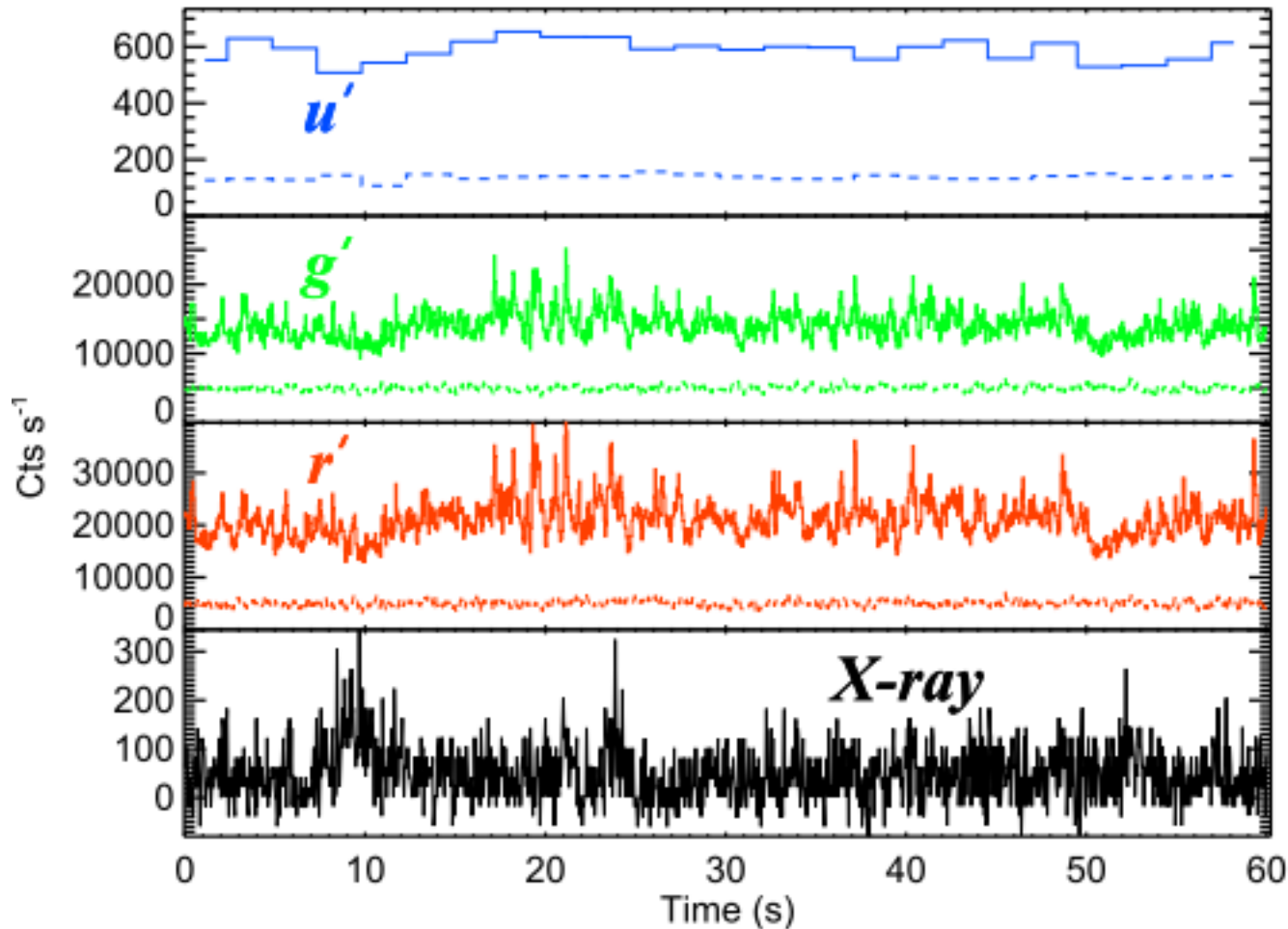


Kepler衛星の1分cadenceのデータと30分cadenceのデータの比較。タイムスケールの短い現象の観測には、短時間でのデータ取得が必須。

# Science I: ブラックホール近傍現象

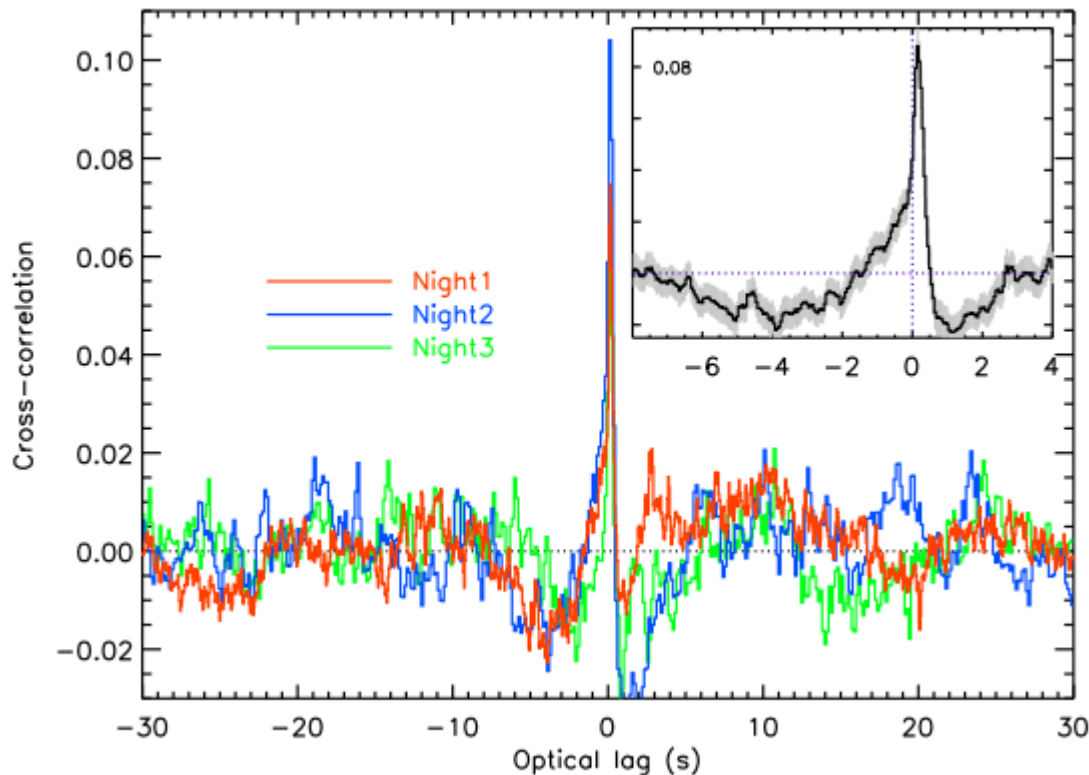
GX339-4のLow/Hard stateでのX線 (RXTE) と可視 (VLT/  
ULTRACAM) の同時観測

Gandhi et al. (2010)



$r'$ ,  $g'$  は 50 msec 露出



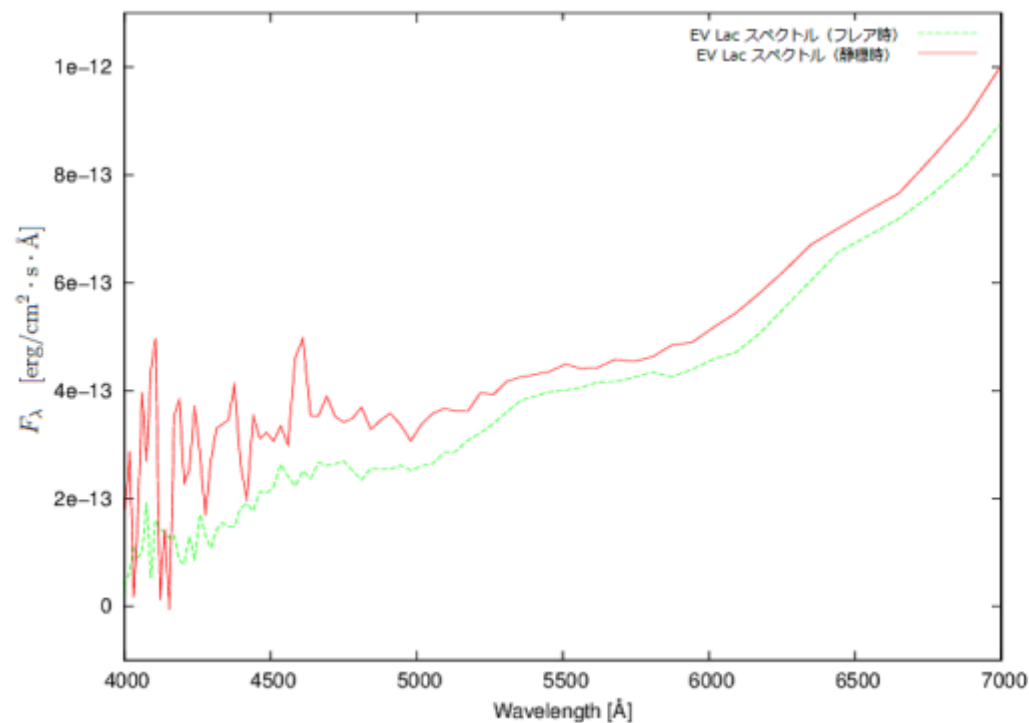
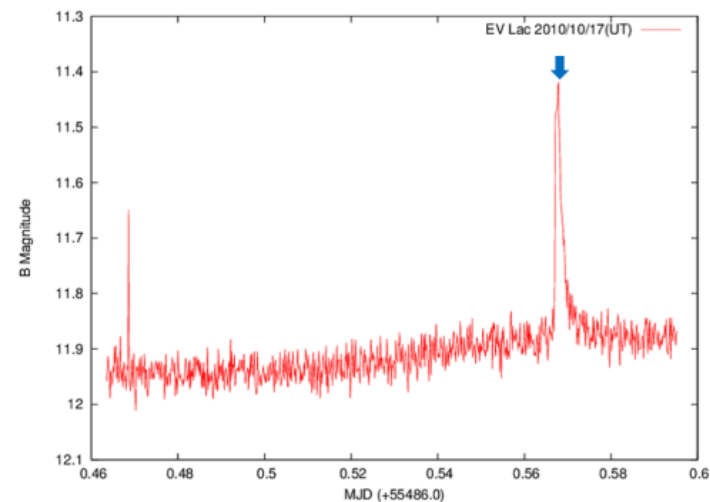


X線と可視光のデータの相関関数。可視光での変動がX線に比べて150msec 遅れている。さらに10sec遅れの成分もあるようだ。(Gandhi et al. 2008)

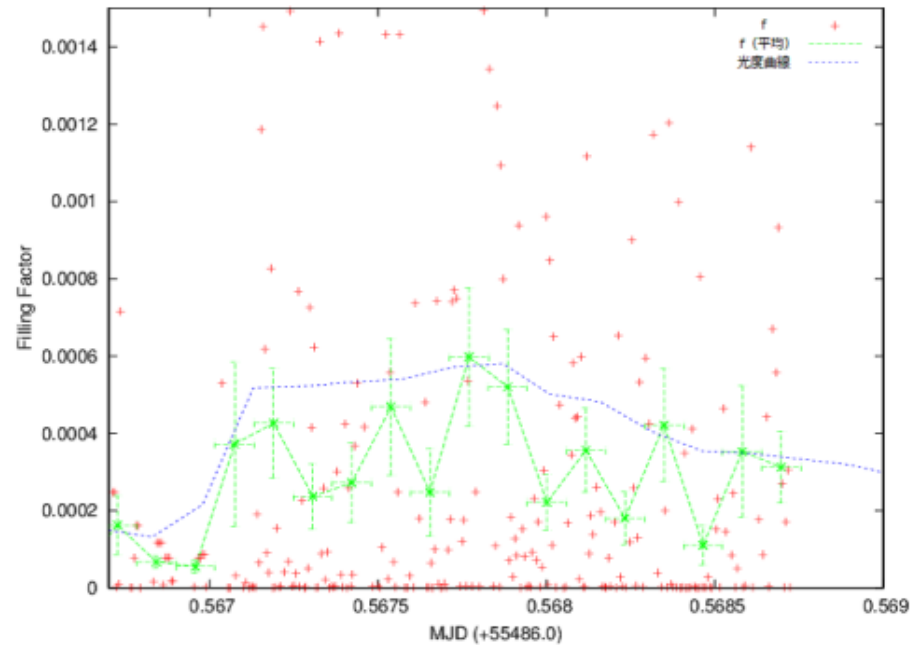
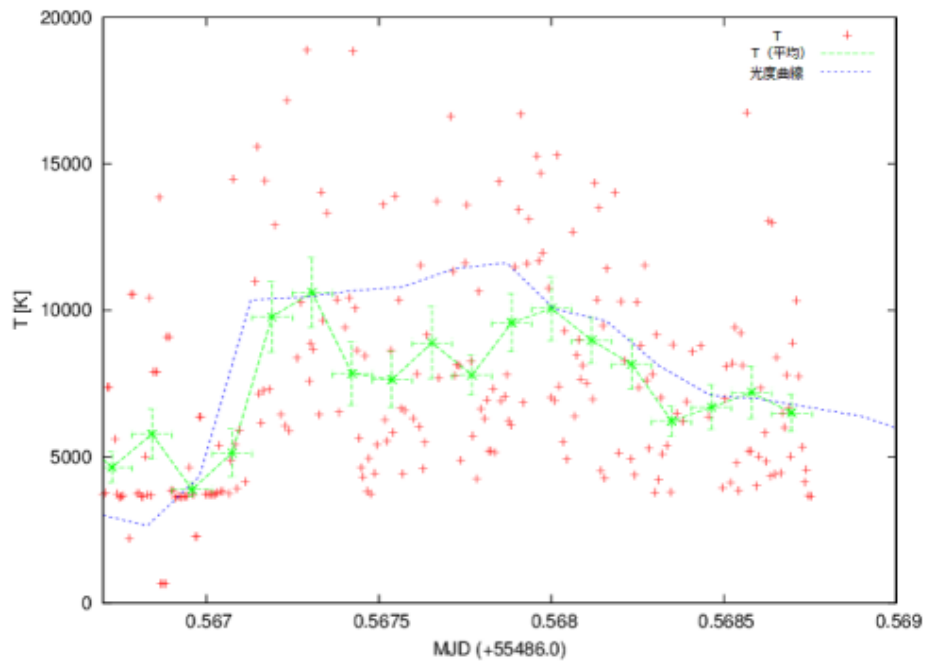
150msecの遅れはjet内でのpropagationによるもの、10secの遅れはjetからの放射のdiskでのreprocessによるものと理解される (Gandhi et al. 2010)。

可視光での高速観測でdisk最内縁付近やジェットの様子が見える！X線観測との連携が鍵。

# Science II: 恒星フレア



かなた望遠鏡に同架の25cm望遠鏡でのフレア星EV LacのBバンド観測(左)と高速分光で捉えられたスペクトルの変化(右)。フレアは振幅0.5等、継続時間～6分。スペクトルでは青側が主に増光していることがわかる。



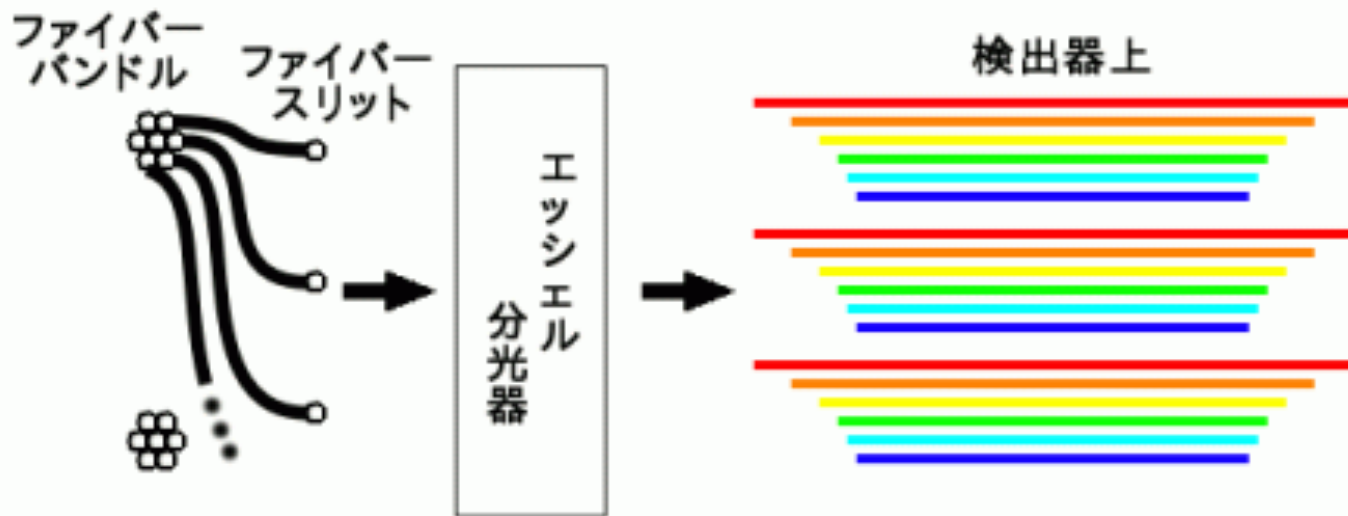
増光分を黒体放射でfittingして求めた温度(左)と増光した部分の面積(右)。星表面の0.04%程度の面積が10000K程度まで増光した。

# 可視光高分散分光器

科研費(特別推進)申請予定

## 観測装置の予定スペック

|             |                        |
|-------------|------------------------|
| 波長分解能       | 50,000 (2pix sampling) |
| 観測波長        | 350-1000 nm            |
| システム効率      | 10%                    |
| 温度安定性       | 0.1 °C                 |
| 限界等級（1時間積分） | 14等(S/N=50)            |
| ファイバー直径     | 0".9(100um) × 7本       |
| 同時観測天体数     | 2 天体                   |



※参照星も同時分光観測をすることで安定性を保証。Laser Combを入れることも可能。

# 広帯域高分散分光器

回折格子

Richardson Grating 53-\*~127E  
87grooves/mm, blaze  $\theta$  63°  
2枚モザイク配置

直交分散用プリズム

オハラ S-LAL7, 頂角 6°  
(片面は少し凸面)

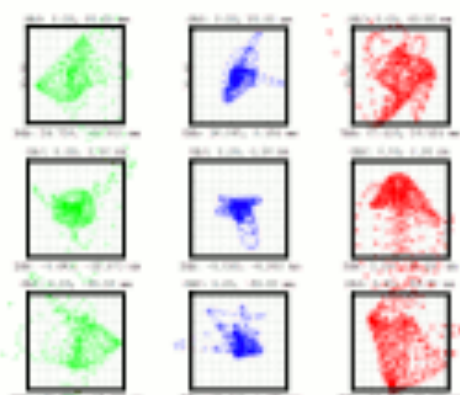
離散ファイバ  
スリット(16cm)  
(入射 F/5)

検出器 (最終 F/1.64)

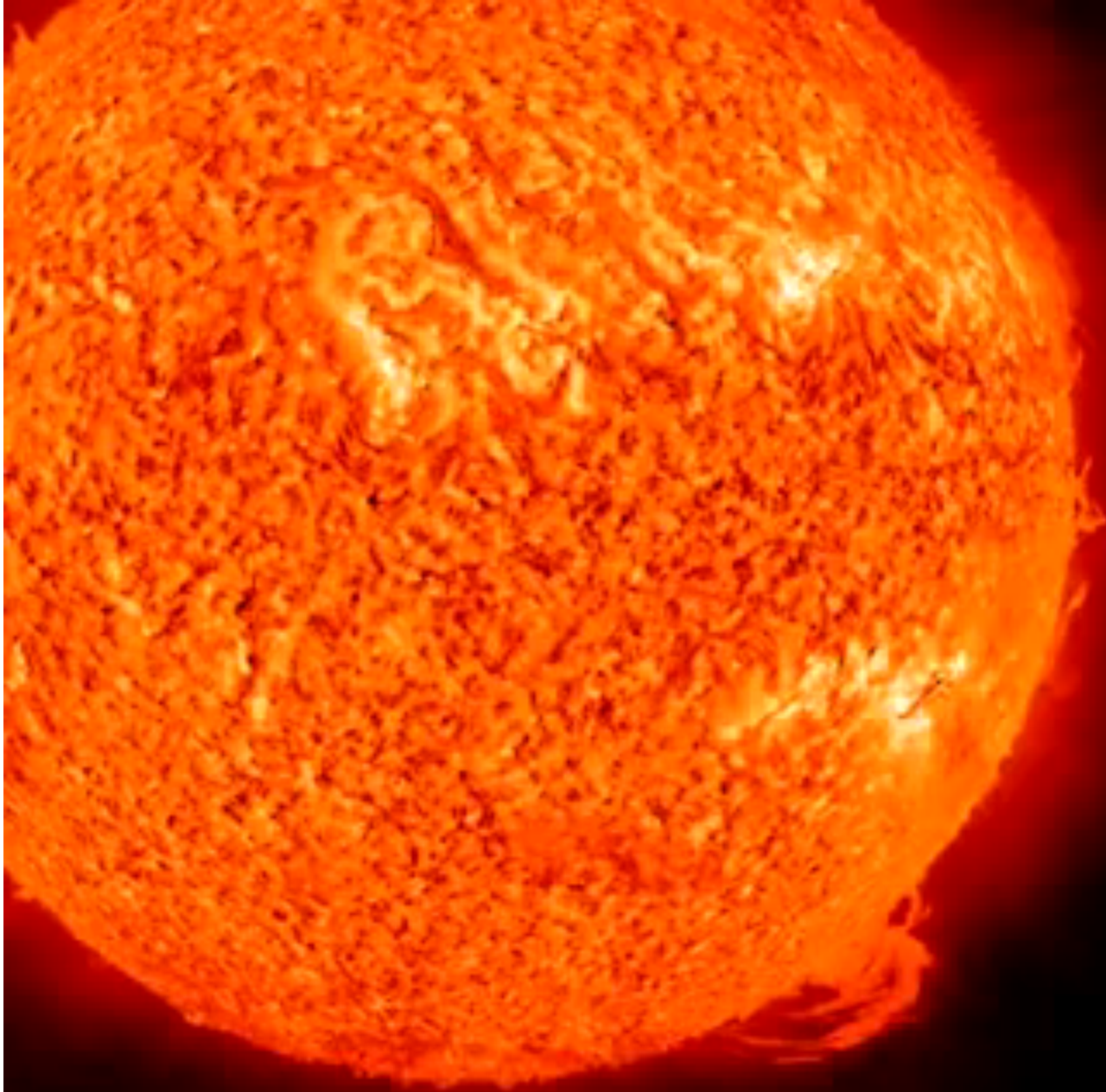
4k x 4k CCD, 6cm □

真空入射窓  
熔融水晶 t8mm

2m



検出器上の像  
□は2x2ピクセル

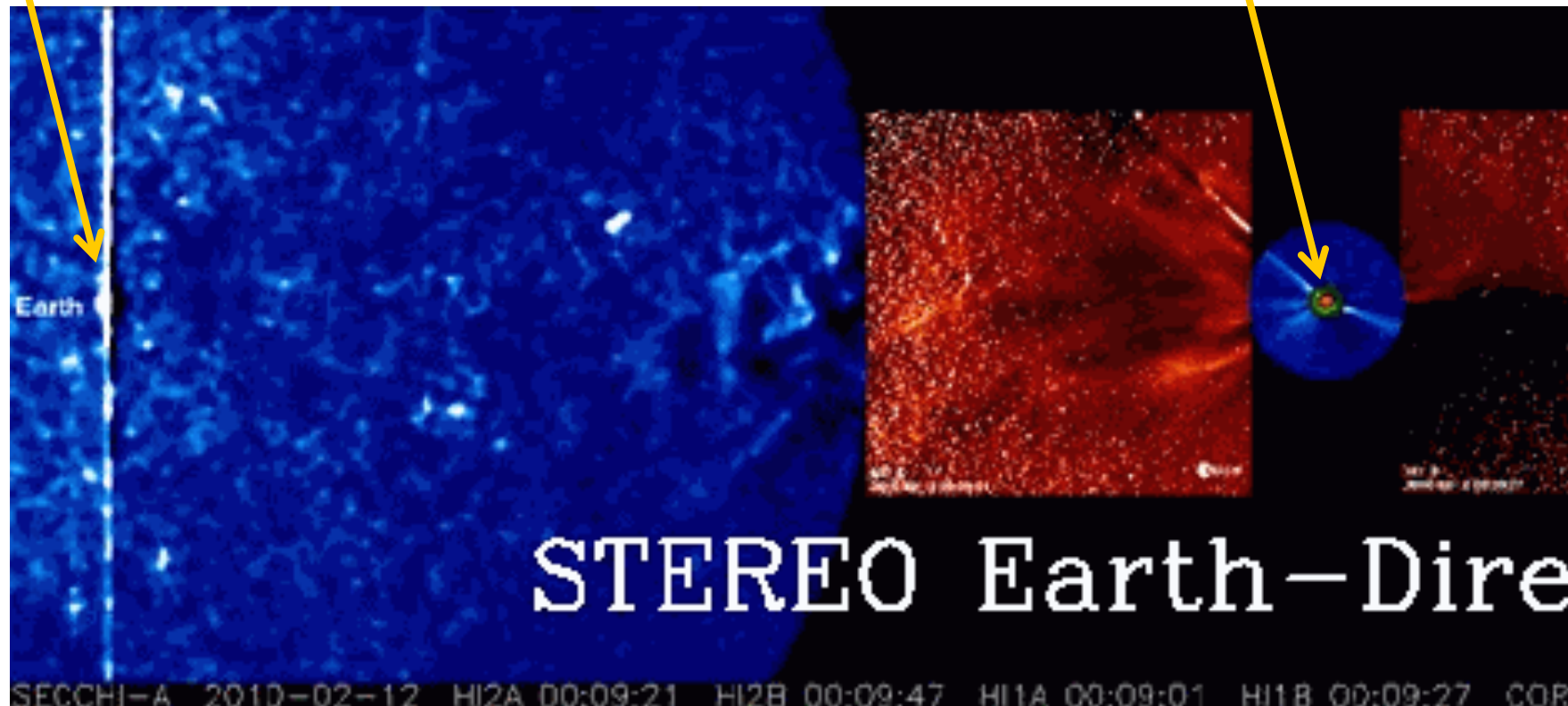


2011年6月7日  
に紫外線で観  
測された太陽  
フレア



地球

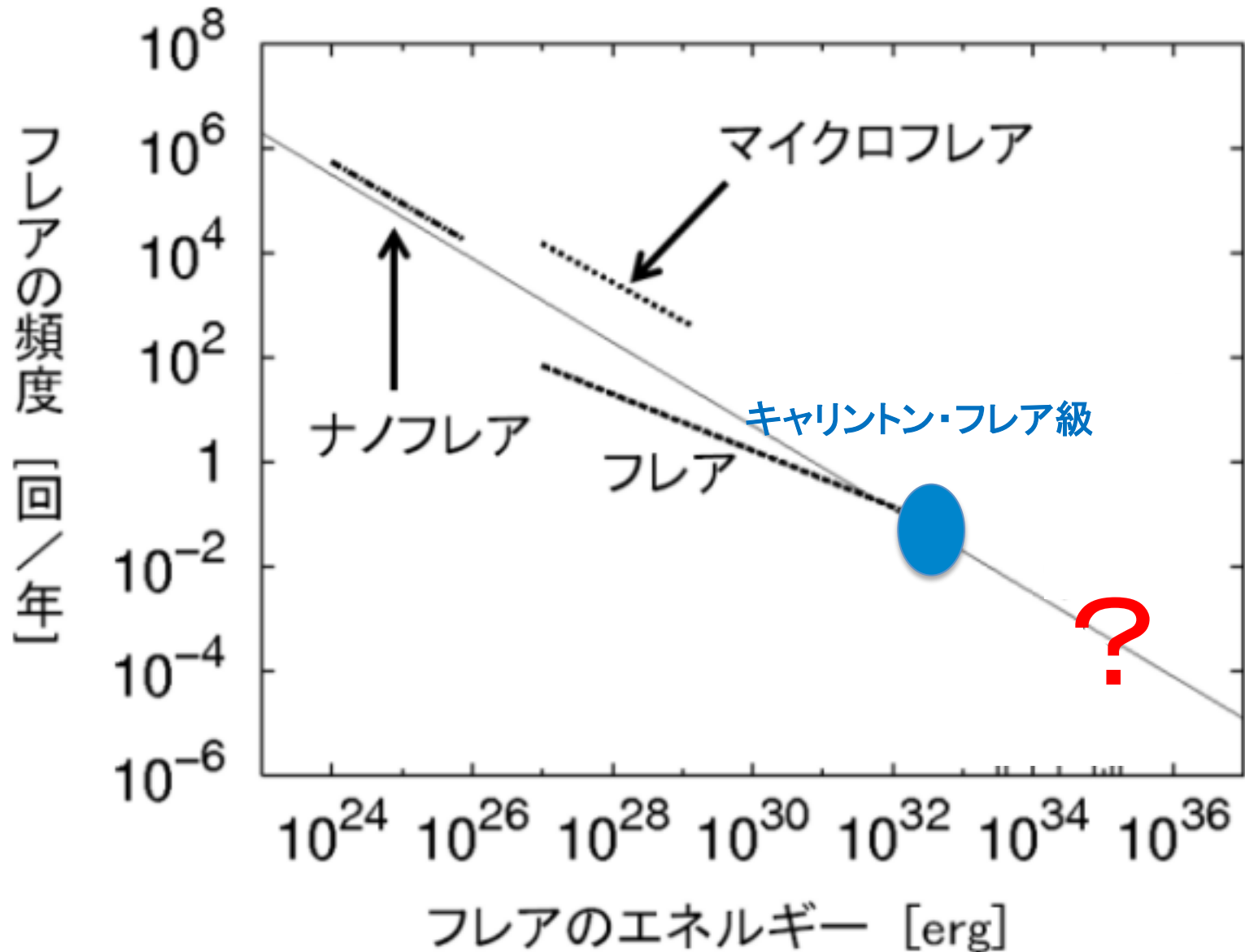
太陽



太陽フレアで放出された大量の物質、放射線、高エネルギー粒子が惑星間空間を飛んでいく  
→ 地球環境への影響！

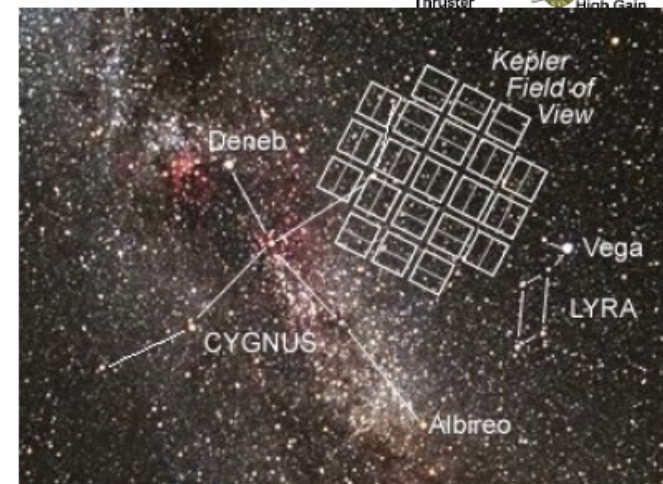


# フレアの発生頻度



# 系外惑星探査衛星「ケプラー」

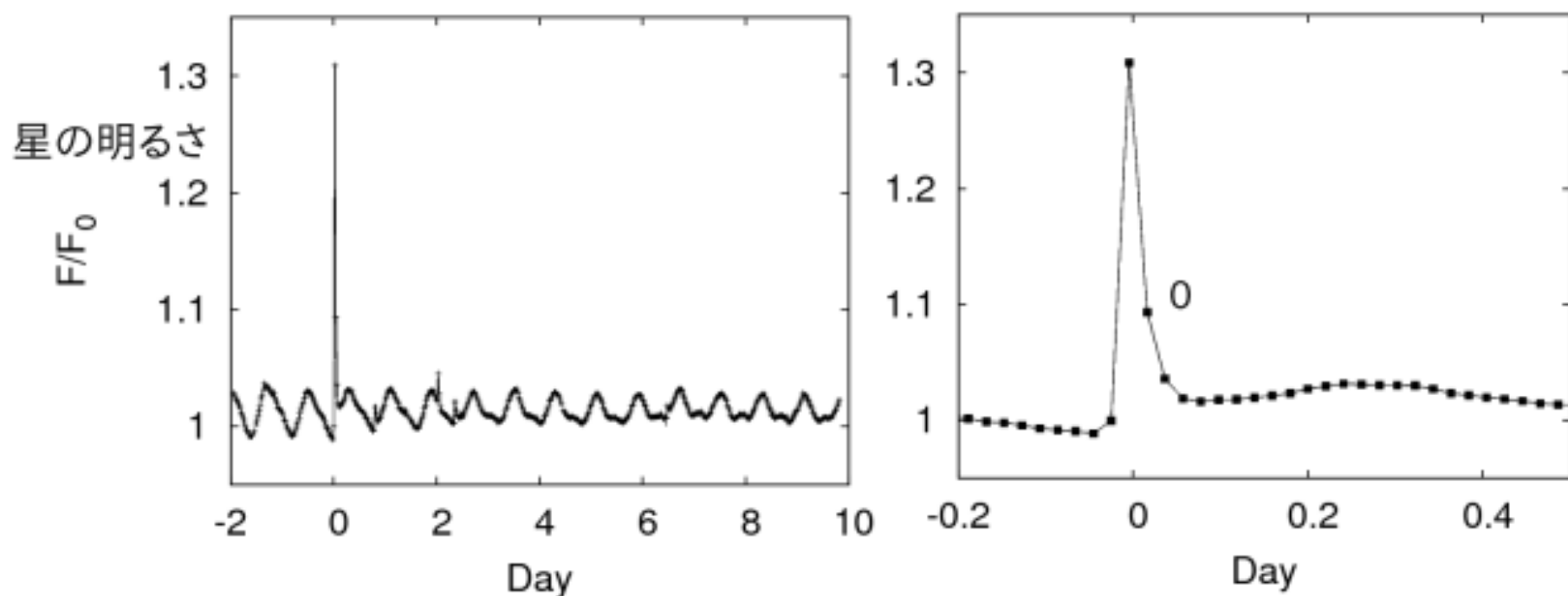
- 惑星が星の前を横切るときに、星が暗く見えるところを捕らえるための衛星
- 口径0.95mの望遠鏡
- 限られた領域にある約15万個の星を連続的に観測
- 約30分間隔で非常に高い精度( $<10^{-4}$ )で観測。

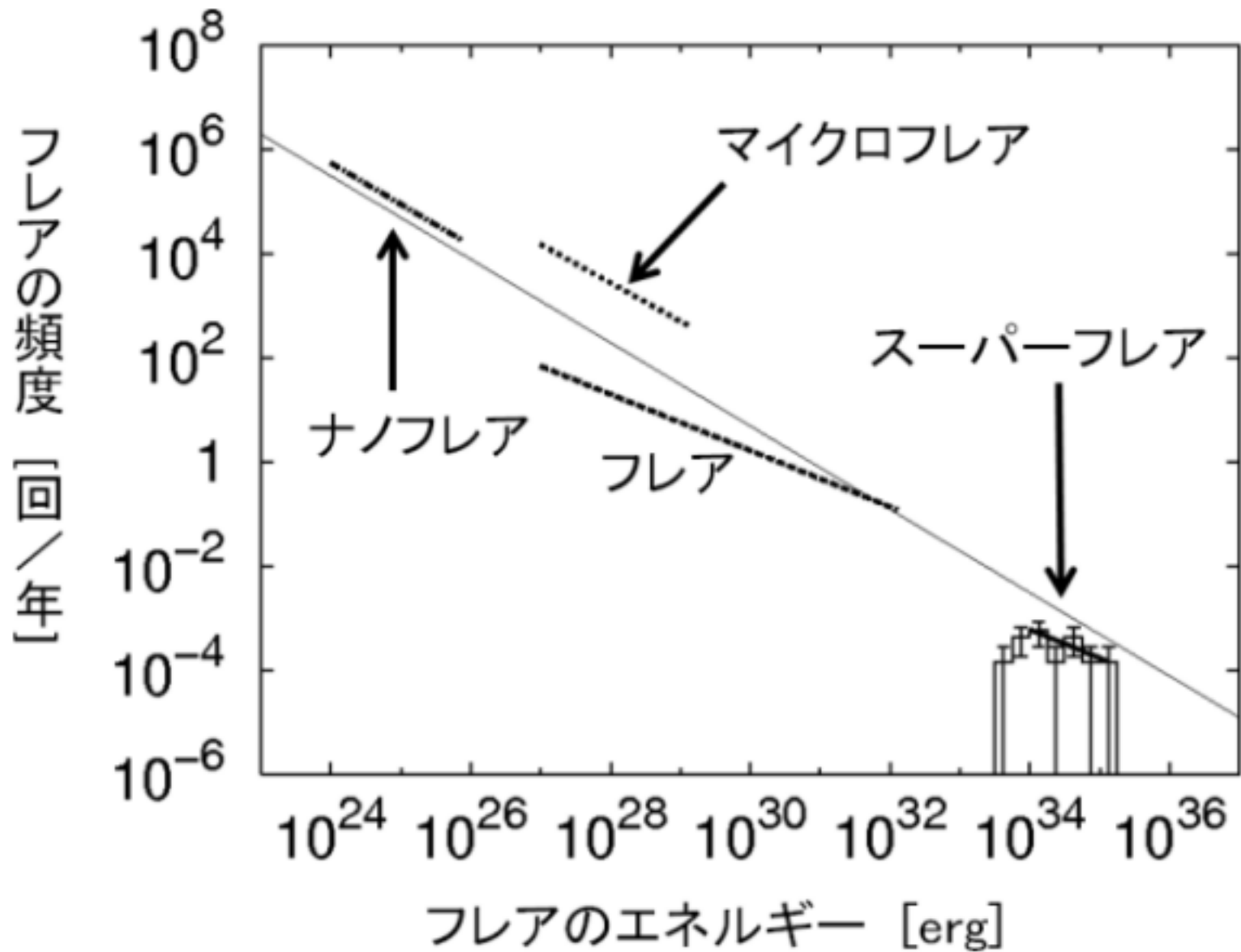


2009年4月から2010年8月までに得られた約9万個の太陽型星(G型主系列星)のケプラーデータの観測から、約300個の星で約1500個のスーパーフレアを見つけた！ Shibayama et al. 2013, ApJS, 209, 5; see also Maehara et al. 2012, Nature, 475, 478).

## 検出例 その1

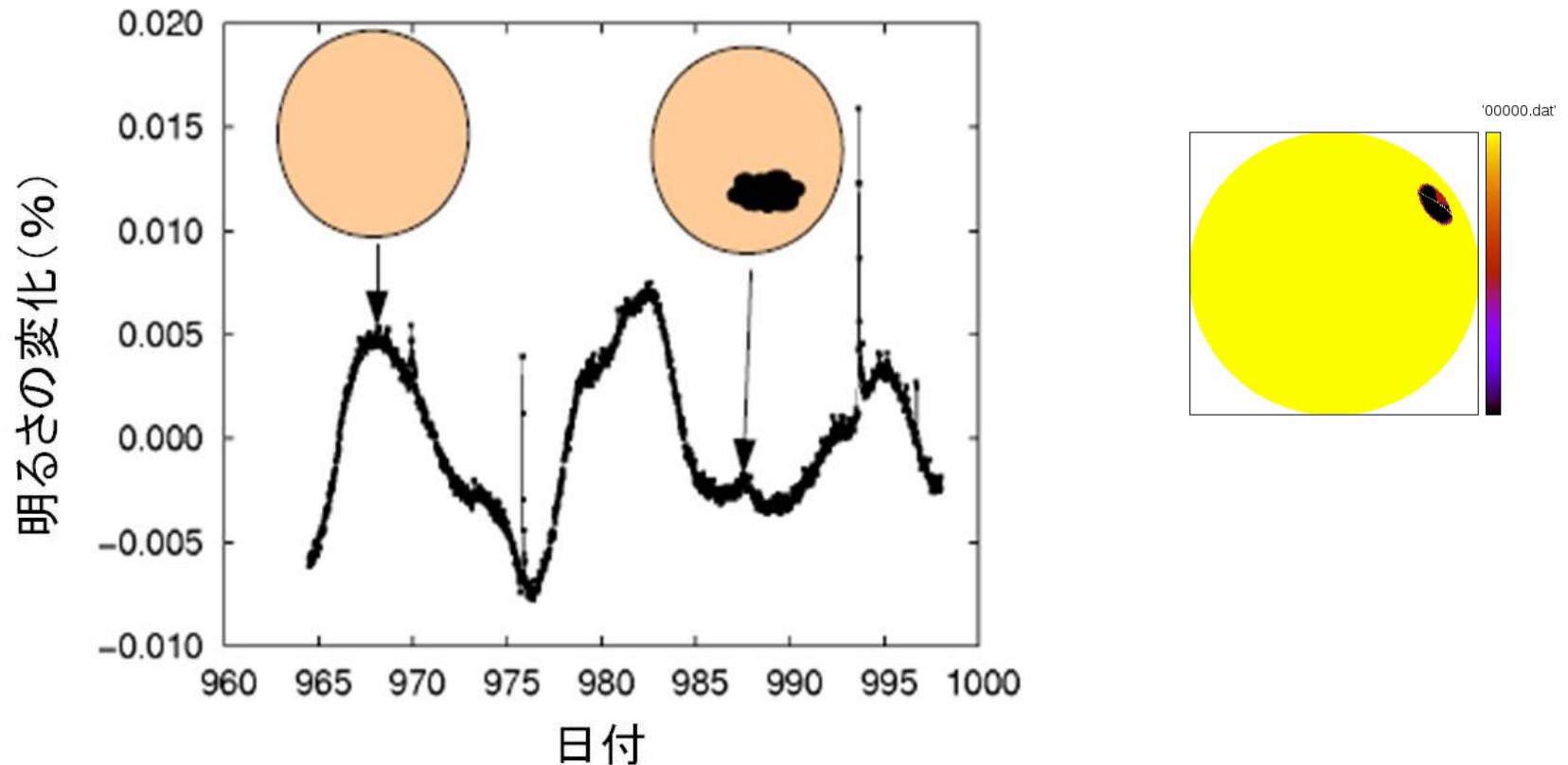
- KIC12354328
- フレア振幅 星の明るさの約30%
- エネルギー  $2.6 \times 10^{35}$  erg (太陽の2600倍)





スーパーフレアは数千年に1度は起こりうる？

# スーパーフレア星の明るさの変化

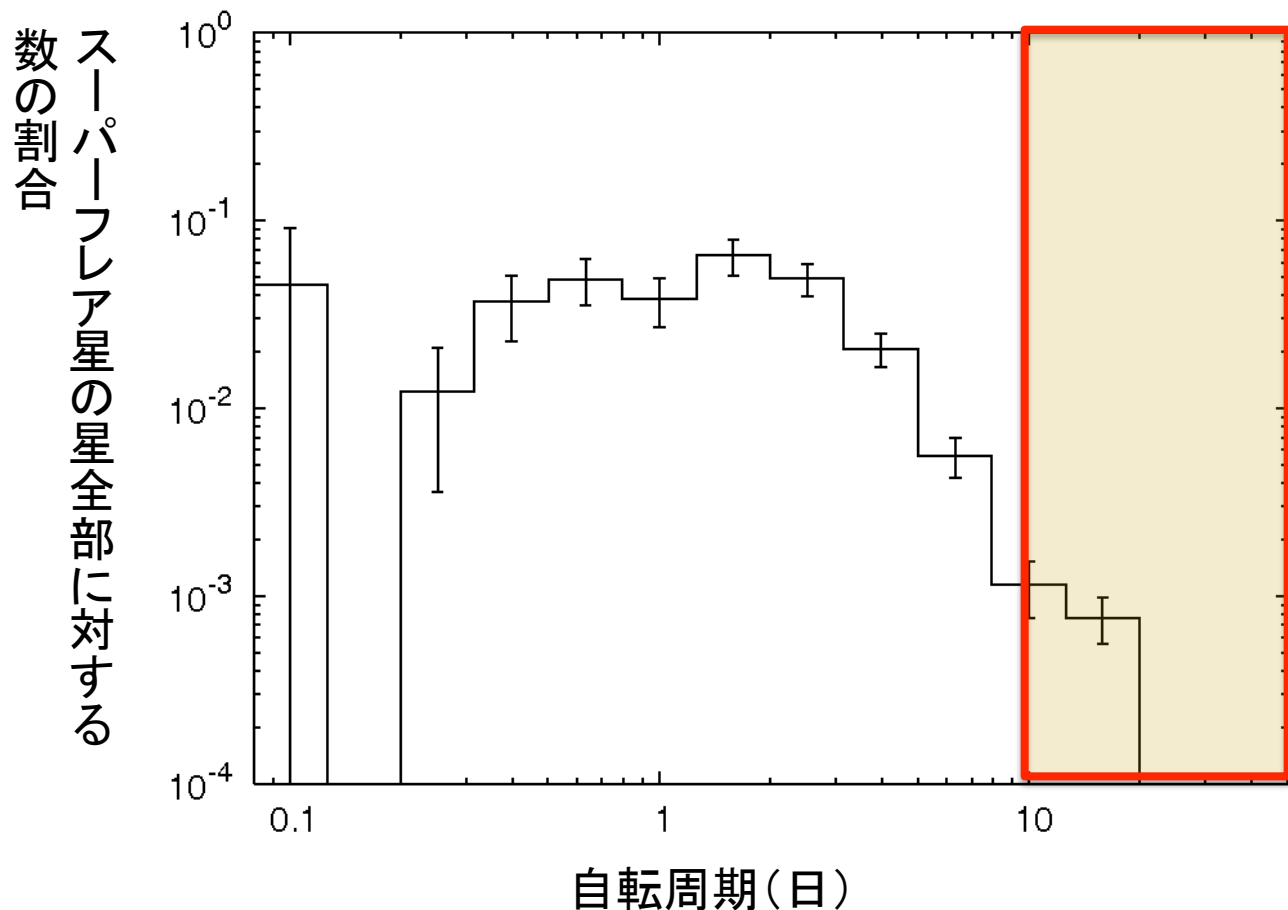


明るさの変化の周期＝自転の周期

明るさの変化の振幅＝黒点の大きさの目安

と考えられそうだが本当か？

# 自転周期と(スーパーフレア星の星全部 に対する数の割合)の関係



自転周期が長い星ほどスーパーフレア星の割合は少ない。でも確かに太陽くらいの自転周期(>20日)でもスーパーフレア星は存在する！



すばる望遠鏡で詳しく観測して  
星の性質を徹底解明！  
太陽と似ているのか？

# すばる望遠鏡での高分散分光観測

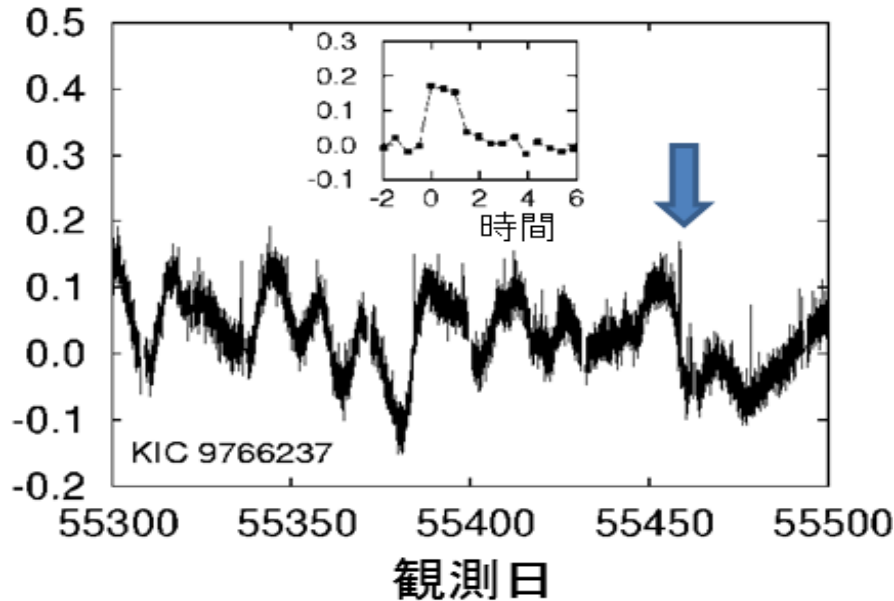
- 星の **自転速度、連星かどうか**、表面重力(半径の指標)、温度、金属量などを調べるために、すばる望遠鏡を用いて高分散分光観測。
- これまでにS11B, S12A, S13Aの観測期間で、計50個のスーパーフレア星を観測。



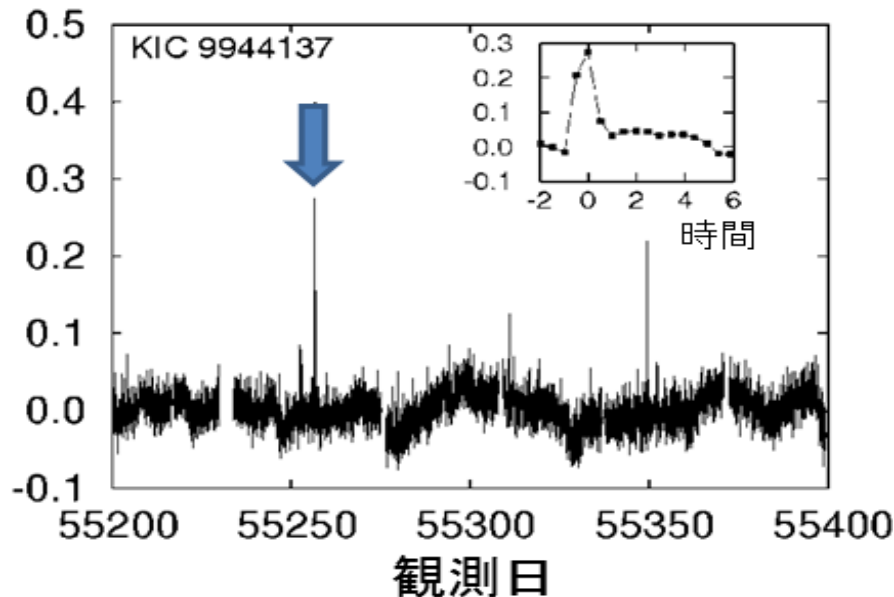
この中で、2つの太陽に非常によく  
似た星を発見！

(Nogami et al. 2014, PASJ 64, L4)

明るさの変化(%)



明るさの変化(%)



星の名前

周期  
[日]

KIC9766237

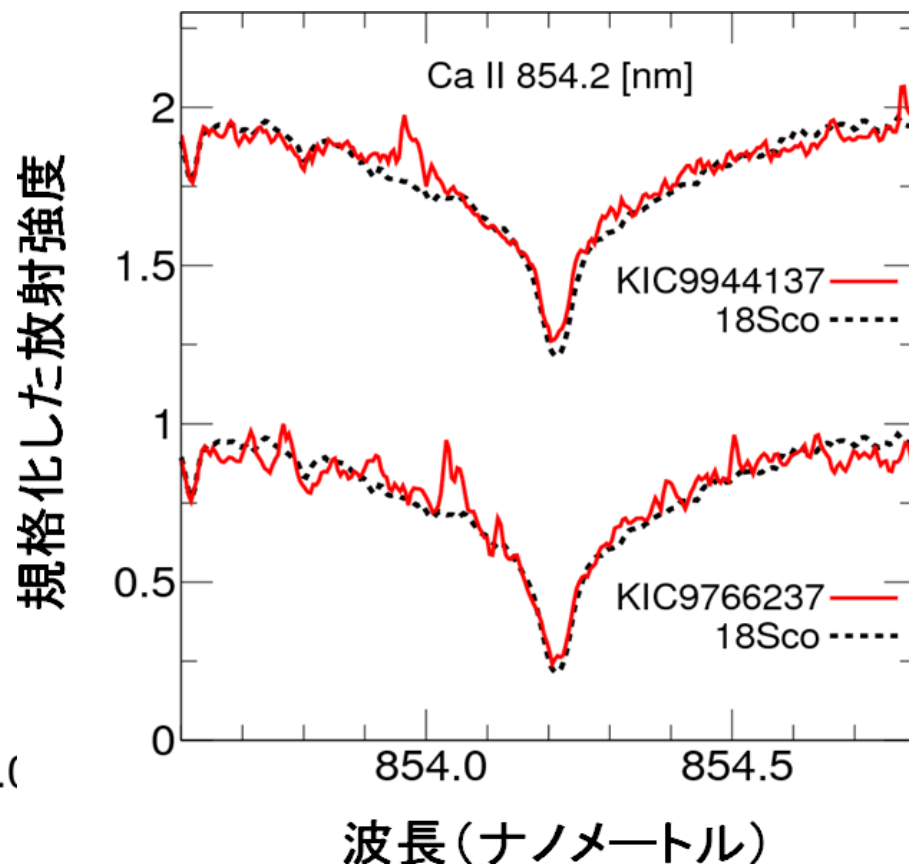
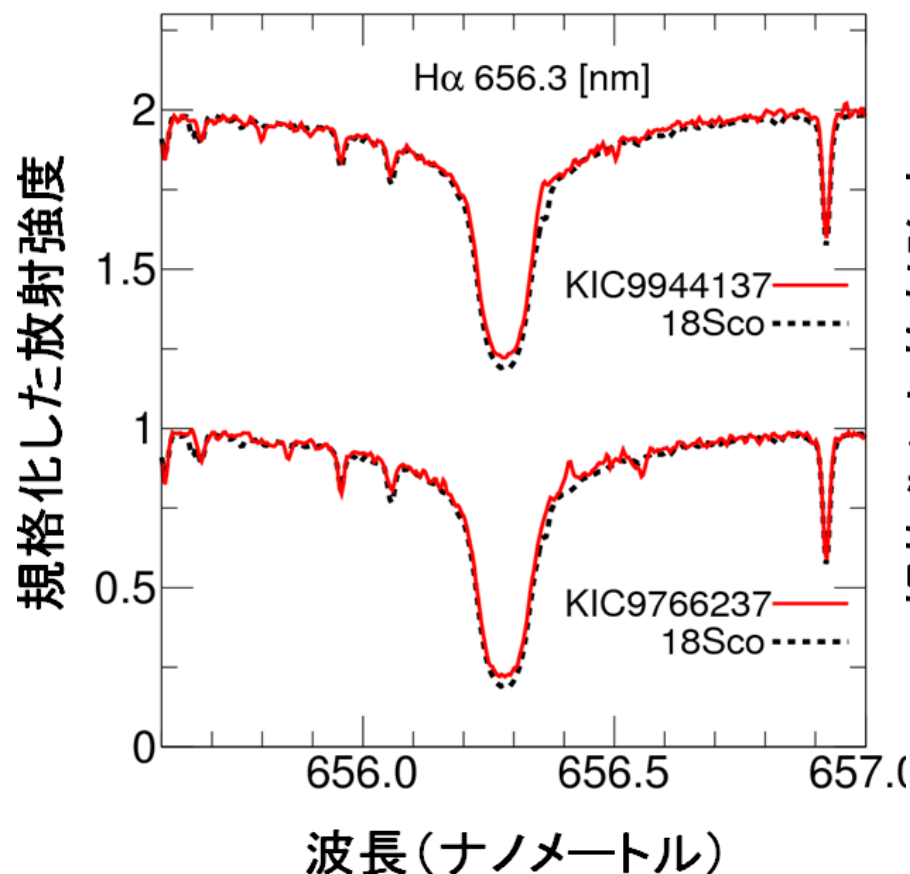
21.8

KIC9944137

25.3

- キャリントン・フレアの100倍程度のエネルギーのスーパーフレア(明るさの変化~0.1%、継続時間:1時間強)を検出。

# 活動度の指標とされる水素( $H\alpha$ )とカルシウム( $Ca II 854.2$ )



太陽の双子星と言われるほどよく似ているさそり座18番星とほとんど変わらない。

→ 太陽と似たような活動度！

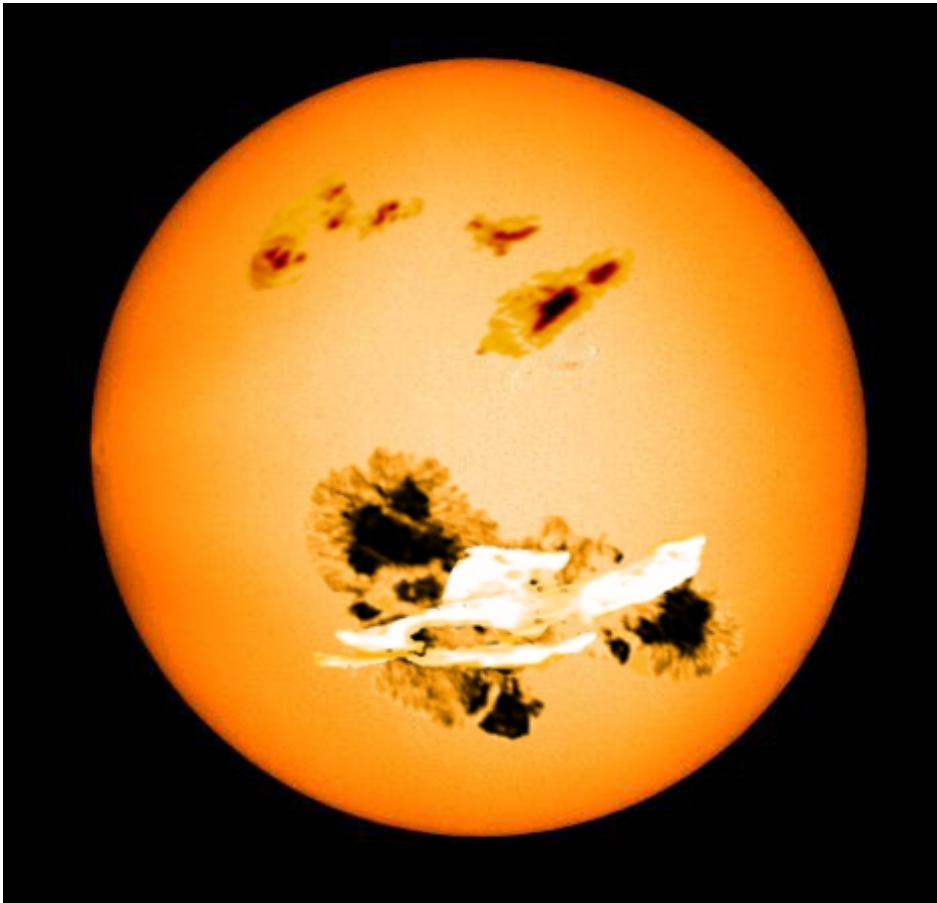
| 星          | 自転<br>周期<br>[日] | 射影自転<br>速度<br>[km/秒] | 温度<br>[K] | 表面重力<br>Log $g$ | 金属量[Fe/<br>H] | リチウ<br>ム含<br>有量<br>A(Li) |
|------------|-----------------|----------------------|-----------|-----------------|---------------|--------------------------|
| KIC9766237 | 21.8            | 2.1(0.3)             | 5606(40)  | 4.25(0.11)      | -0.16(0.04)   | <1.0                     |
| KIC9944137 | 25.3            | 1.9(0.3)             | 5666(35)  | 4.46(0.09)      | -0.10(0.03)   | <1.0                     |
| Sun        | ~25             | 2.0                  | 5725      | 4.4             | 0.0           | 0.92                     |

この2つの星の性質は、(スーパーフレアが観測されていること以外)太陽に非常に近いことがわかった。

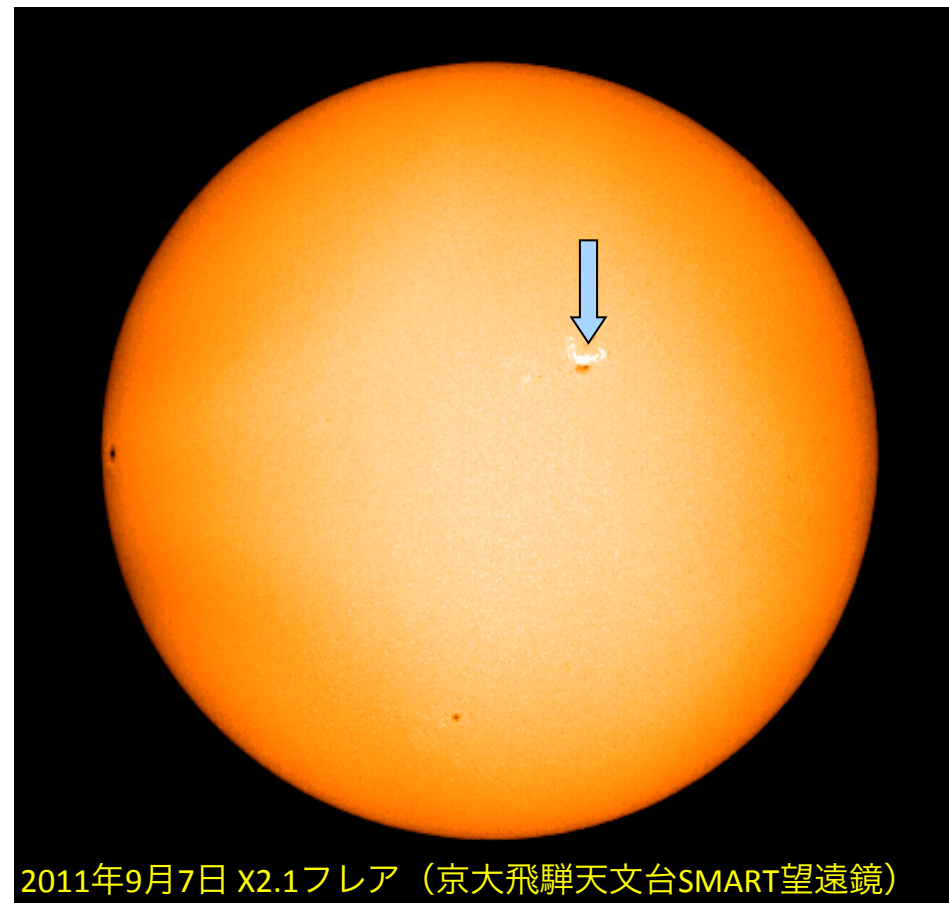
→太陽もスーパーフレアを起こす可能性があることを支持する！

太陽でもめっちゃくちゃ大きな黒点が出てきたら、  
スーパーフレアが起こるかも？

スーパーフレアの想像図



太陽フレア  
(実際の観測)



2011年9月7日 X2.1フレア (京大飛騨天文台SMART望遠鏡)



# 太陽活動は約11年ごとに変化する

X線

2000年

1991年

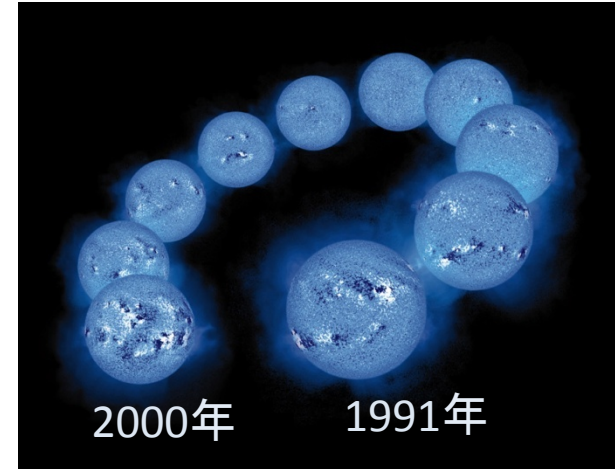
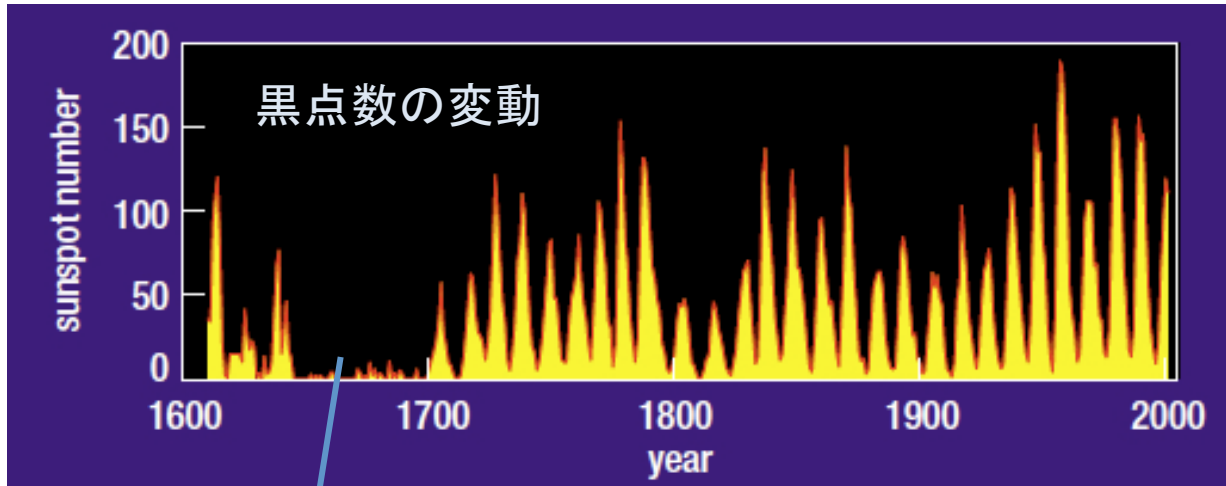
黒点の数が約11年で  
増えたり減ったりする

磁場



# 黒点の数と地球の気温

太陽黒点の変化



マウンダーミニмум



- ・ 今から300年ちょっと前、黒点がほとんどない時があった
- ・ そのころ地球はミニ氷河期だった
- ・ 歴史的には黒点が少ない時は地球が寒かったことが知られている
- ・ そのメカニズムはいくつか提唱されているが、本当に太陽が影響しているかどうかを含め、まだよく分かっていない

そのころのイギリスのテムズ川をかけた絵

# スーパーフレアは本当に太陽で起こるのか？

- スーパーフレアを起こした星は**本当に太陽と同じような特徴を持つのか？**(すばる望遠鏡、3.8m望遠鏡)
  - 活動性、磁場強度、自転速度、金属量、、、
- スーパーフレアを起こす星は**いつもスーパーフレアを起こす？スーパー活動期のみ？**
  - 長期的にモニターして、活動性の変化を調べる(すばる望遠鏡、3.8m望遠鏡)
- 何らかのモニター観測を行なって、太陽型星でのフレアを見つけたら、ToO高分散分光観測でその機構の解明(3.8m望遠鏡)
  - 太陽はスーパーフレアを起こせるか？その予兆は？大きな被害を防げるか？**

※新たなスーパーフレア(候補)星を探すべく、X線強度の強いG型星を探索中。野津君のポスターP21参照。