

スーパーフレアと 可視高分散分光

野上大作(花山天文台)
nogami@kwasan.kyoto-u.ac.jp

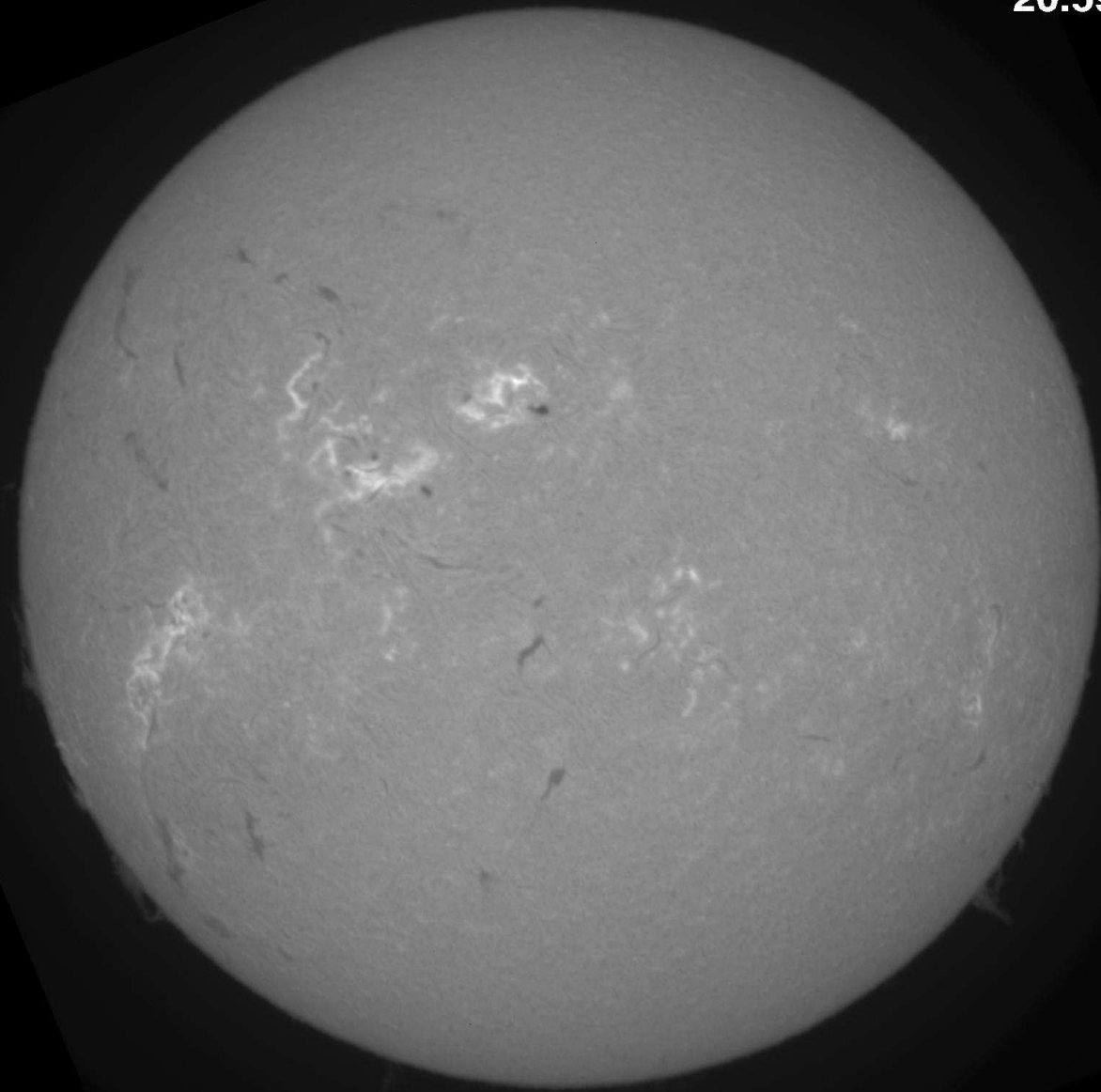
$H\alpha + 0.0\text{\AA}$

2014-05-10
20:59:21UT

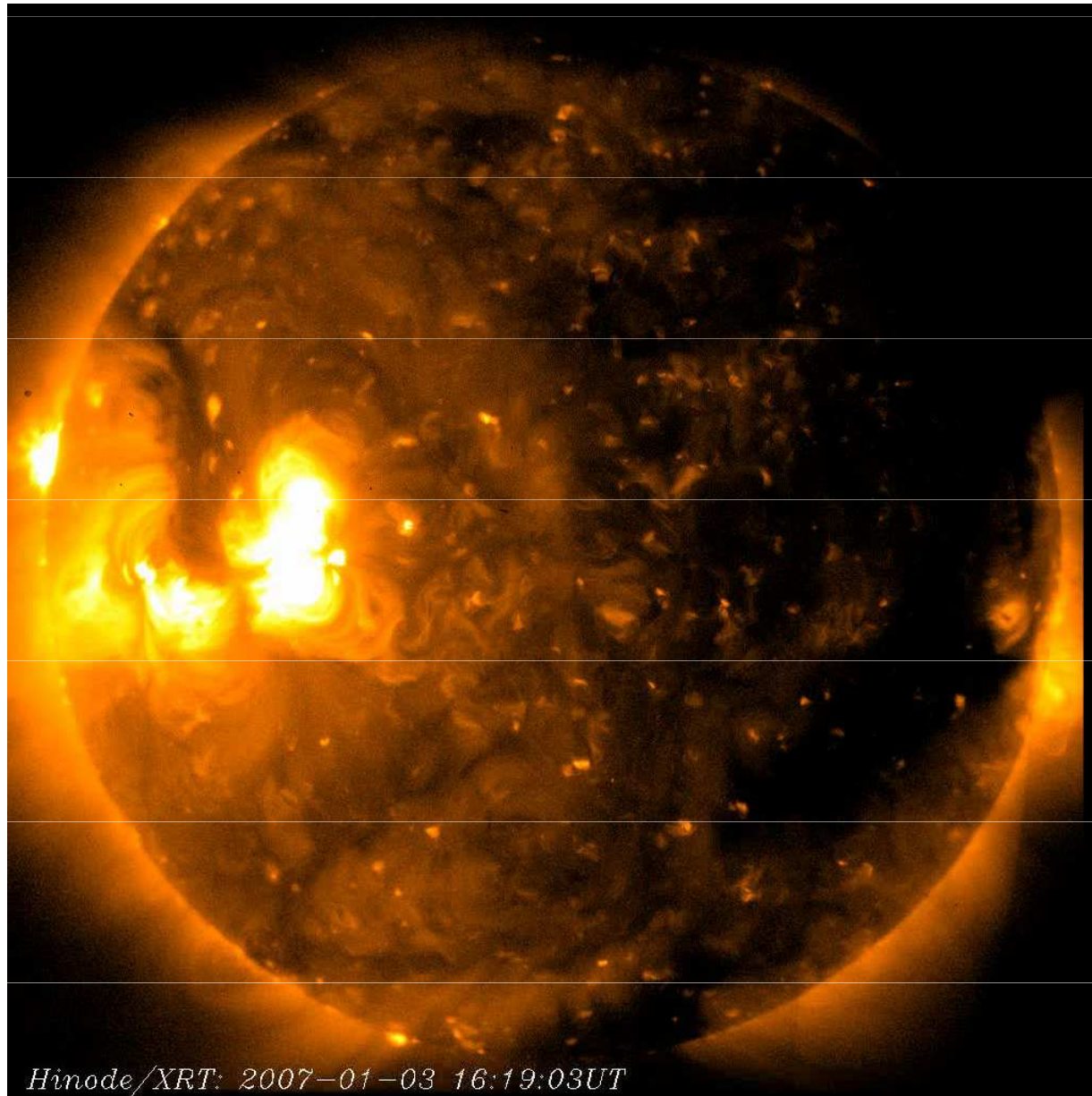
飛騨天文台の太陽磁場活動望遠鏡SMARTで2014年5月10日に観測した太陽($H\alpha$)。

SMART/T1

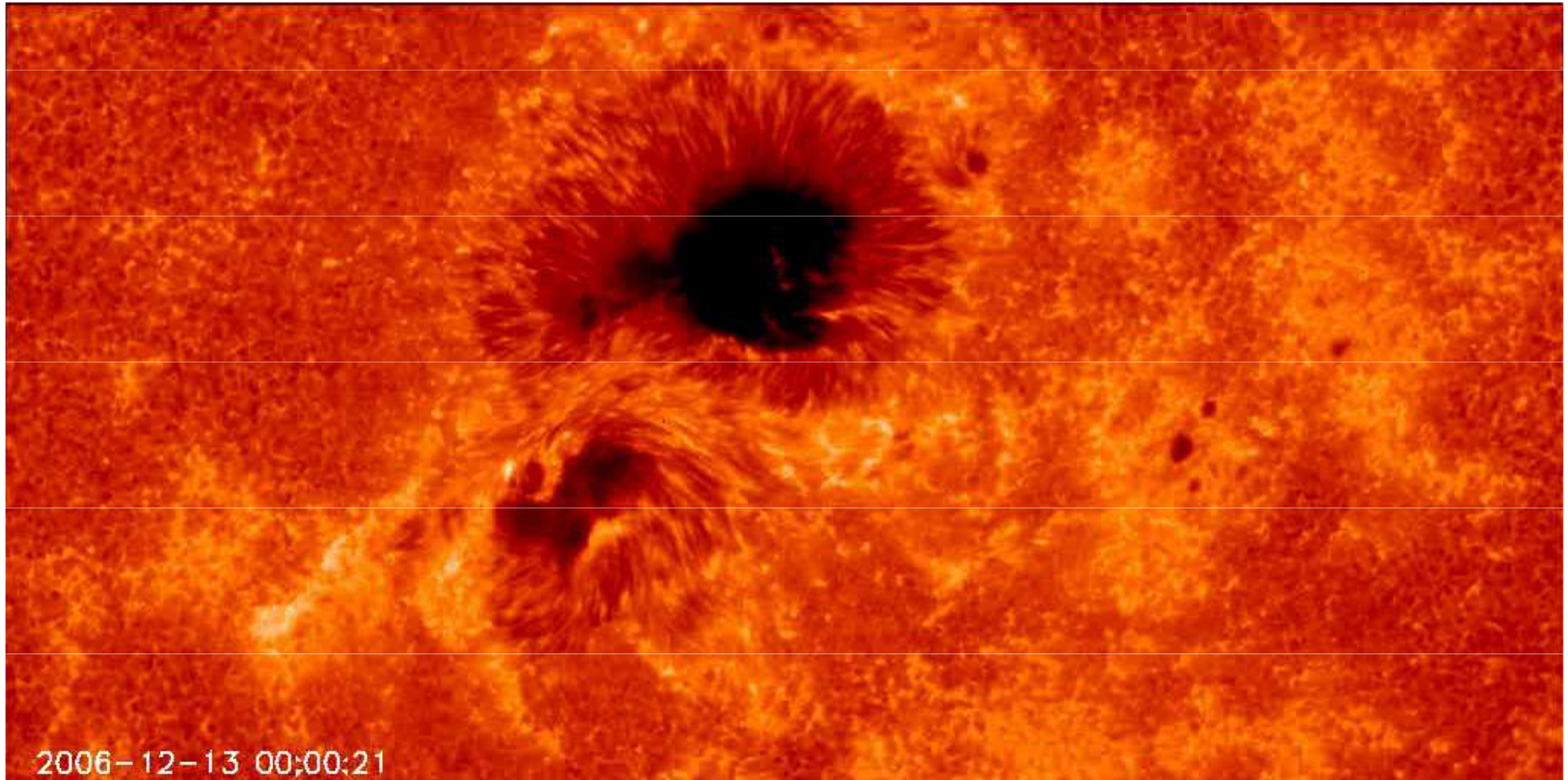
Hida Observatory



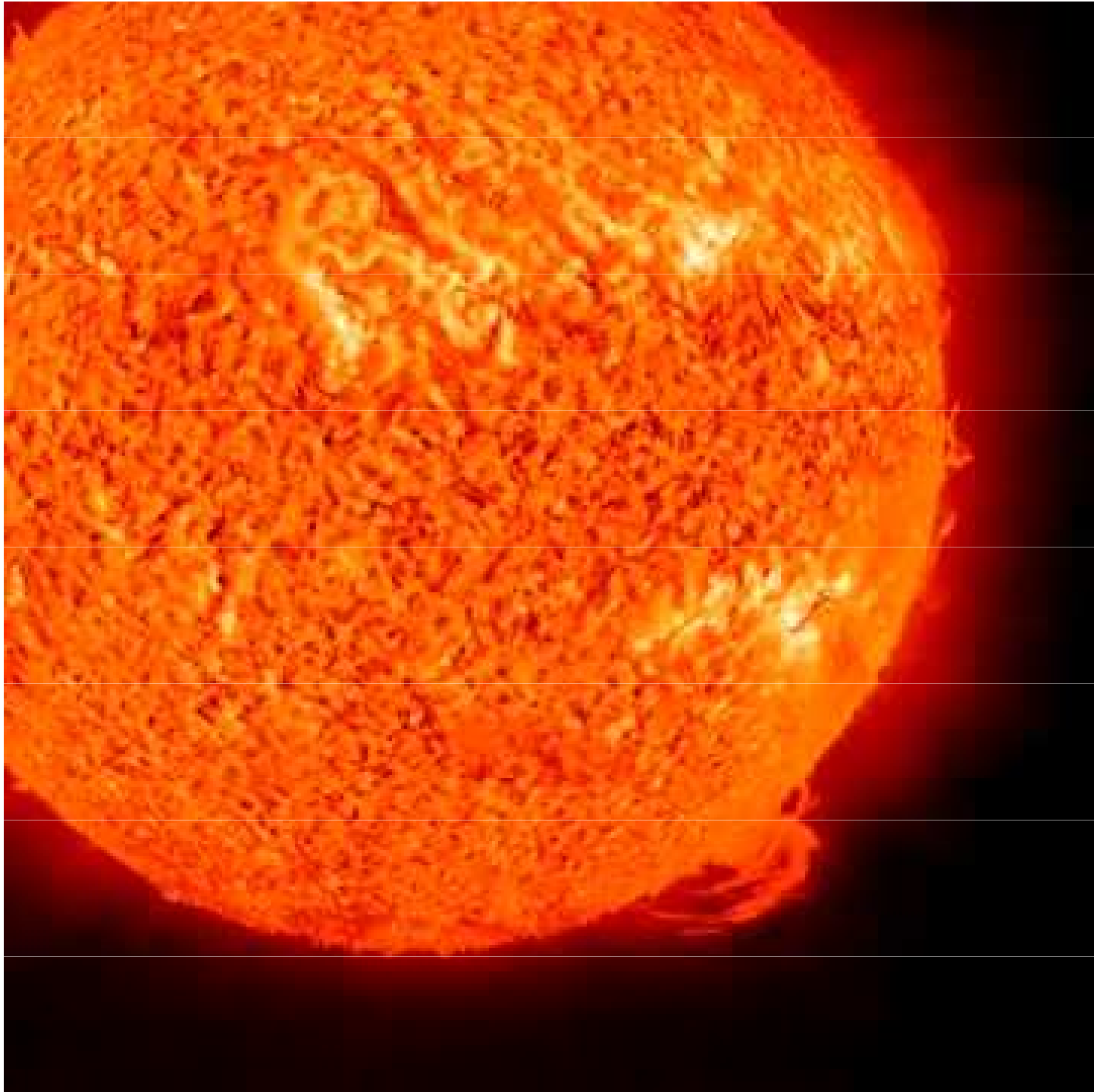
太陽では至る所で爆発が起こる！



太陽観測衛星「ひので」
で見た太陽



太陽観測衛星「ひので」で見たCa II線での太陽フレア

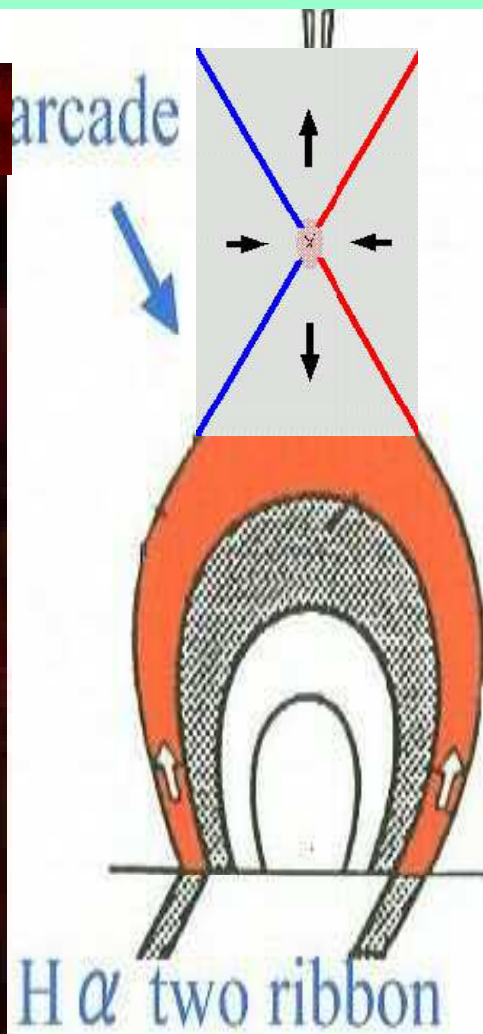
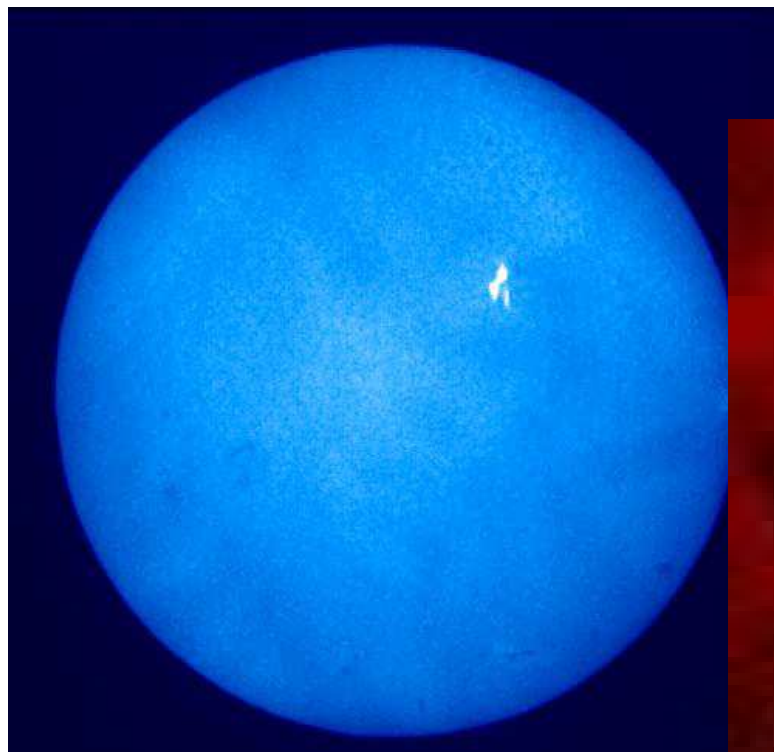


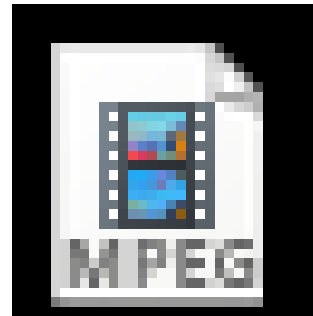
2011年6月
7日に紫外
線で観測さ
れた太陽
フレア

フレアの正体

H α

磁気リコネクション
(磁力線つなぎかえ)



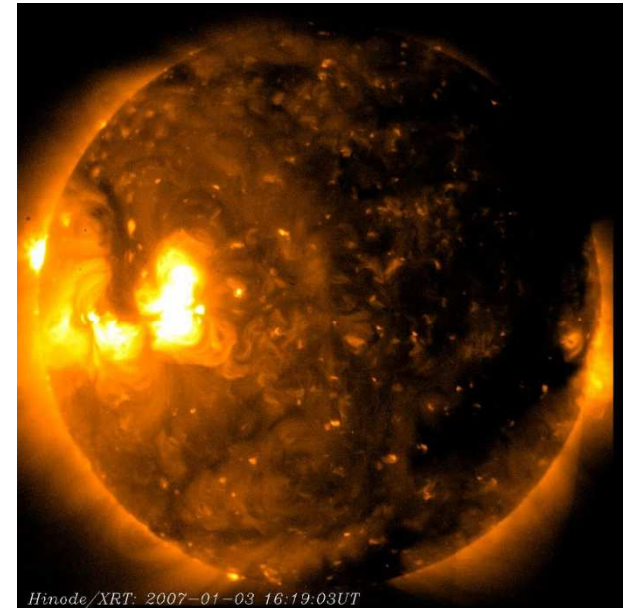


lasc_aug_99sm.mpg

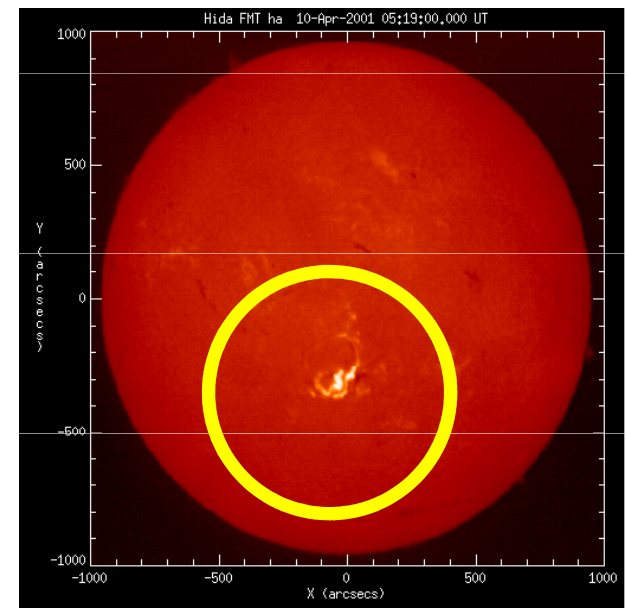
太陽でのフレア

- 太陽表面で起こる最もエネルギーの大きな爆発現象
- X線～可視光～電波まで全ての波長で観測される
- 時間尺度：分～時間
- 黒点周辺に蓄えられた「磁気」エネルギーの開放
- 全エネルギー： 10^{22} - 10^{25} ジュール

H α で見た太陽@京都
大学飛騨天文台



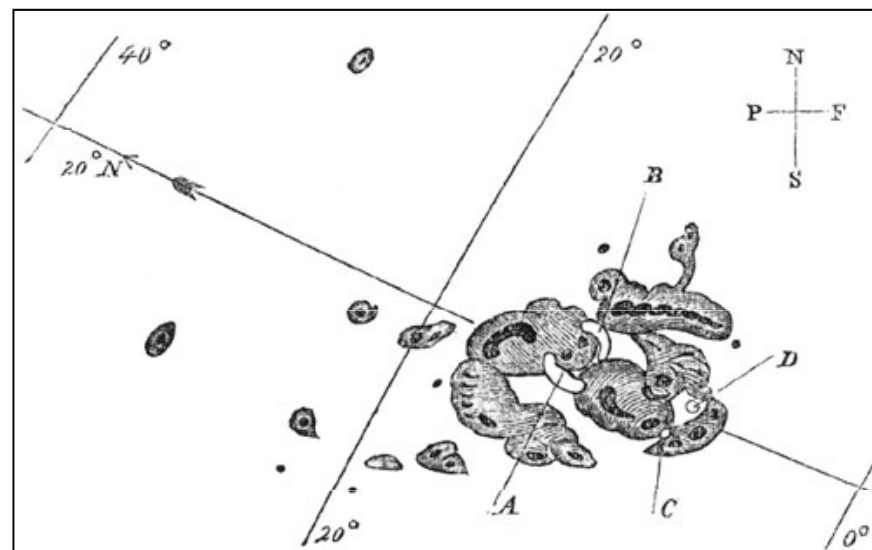
ひので衛星で見た軟X線
(1keV)での太陽(ISAS)



キャリントン・フレア

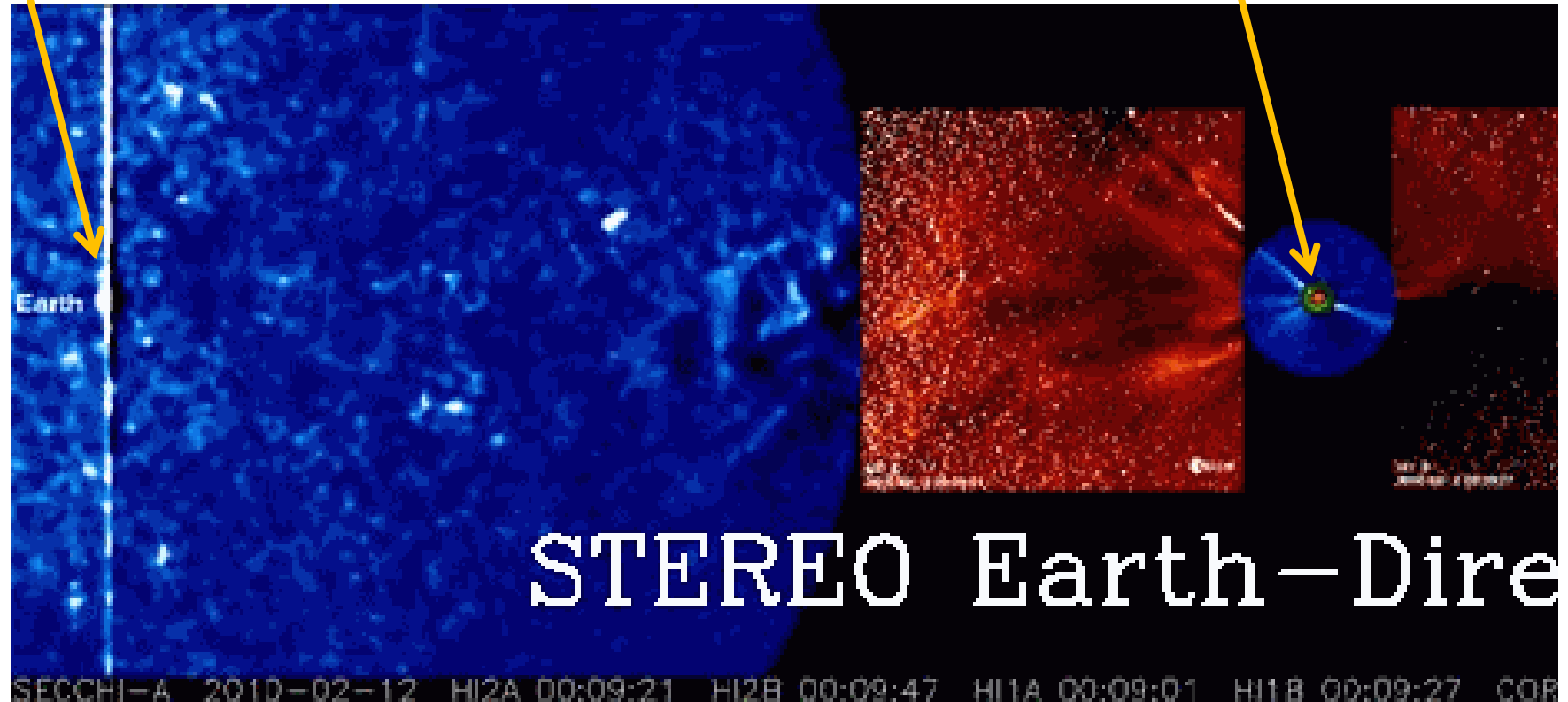
(1859年9月1日午前11時18分)

- リチャード・キャリントン(英国)によって、人類史上初めて詳細に記録されたフレア
- 約5分続いた白色光フレア
- 次の日にハワイや中米など多くの場所で非常に**明るいオーロラ**が観測された
- **10^{25} ジュール**程度のエネルギーと推定される
- 過去200年で最も**大きな磁気嵐**(> 1000ナノテスラ)
- ヨーロッパや北アメリカの広範囲で電信システムが故障



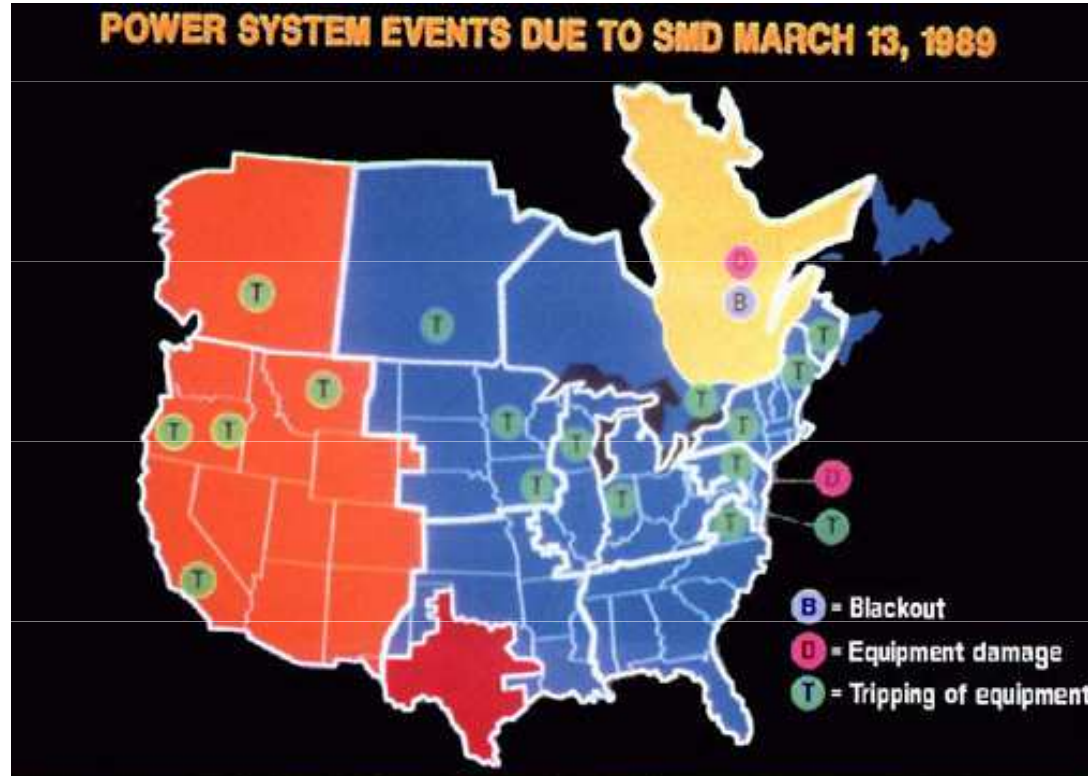
地球

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！

1989年3月13日の磁気嵐による ケベック州の大停電



数年に1度くらいの規模の太陽フレア
→磁気嵐(～540ナノテスラ)
→600万人が被害を受ける停電



PJM Public Service
Step Up Transformer
Severe internal damage caused by
the space storm of 13 March, 1989



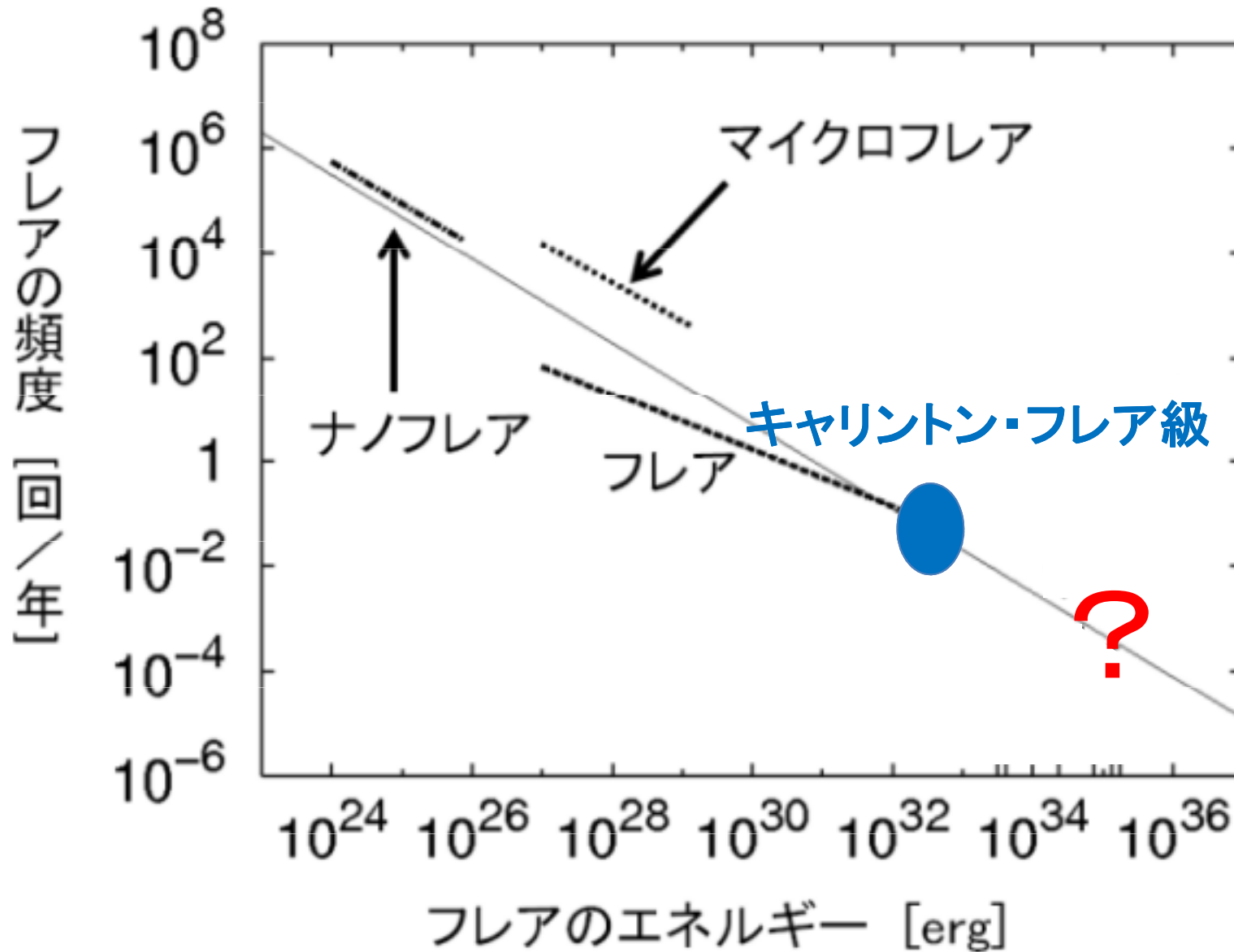
もし今キャリントン・フレアくらいの フレアが起こったら？

- 全地球規模の停電？
- 長時間の通信障害？
- 人工衛星が制御不能？
- 宇宙飛行士や飛行機内の人的大量被爆？

興味のある方はhttp://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2008/06may_carringtonflare/

御覧下さい。

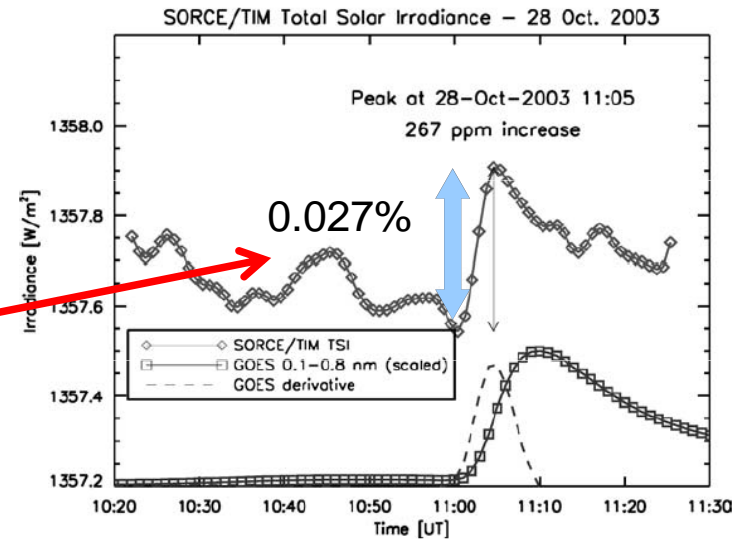
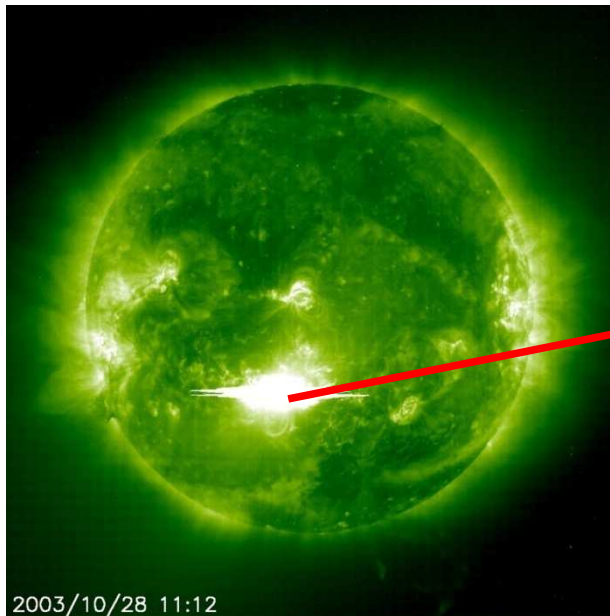
フレアの発生頻度



太陽でスーパーフレア
は起こるのか？

太陽型星でのフレアによる明るさの変化

- 太陽型星でのスーパーフレアの検出は難しい。なぜなら、、、
 - キャリントン・フレアでも太陽全体の明るさの1万分の1くらいしか変化しない
 - フレアの頻度が少なすぎる（数千年に一回以下）



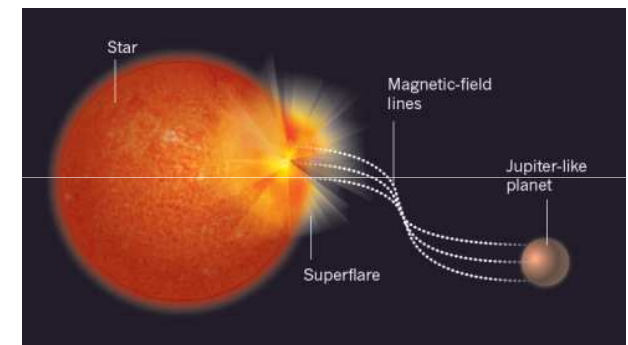
Kopp et al., Solar Phys. 230, 129 (2005)

太陽に近い星でのスーパーフレアの発見

Schaefer, B. E., King, J. R., Deliyannis, C. P.

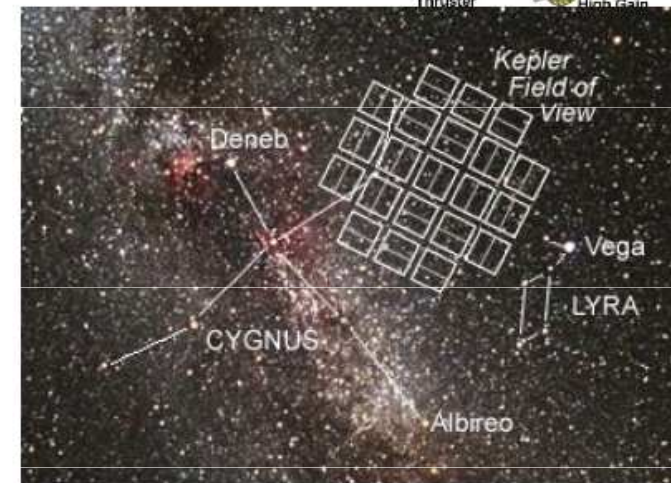
ApJ, 529, 1026 (2000)

- キャリントン・フレアの $10 \sim 10^6$ 倍のエネルギーのフレアを9例発見(ただしいくつか疑わしいデータも含まれる)
- スペクトル型はF8 – G8
- 太陽と同程度に自転が遅く、若くない。
- でも大きな木星のような惑星があるかもしれない？



系外惑星探査衛星「ケプラー」

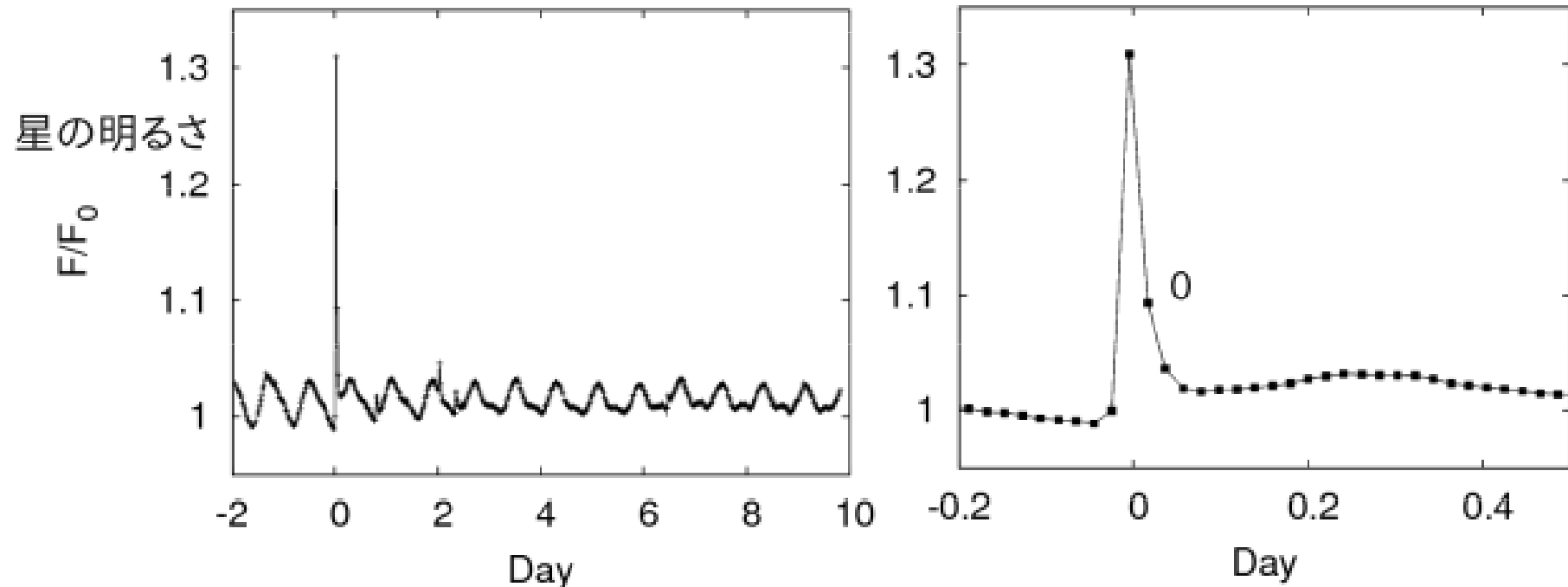
- 惑星が星の前を横切るときに、星が暗く見えるところを捕らえるための衛星
- 口径0.95mの望遠鏡
- 限られた領域にある約15万個の星を連続的に観測
- 約30分間隔で非常に高い精度($<10^{-4}$)で観測。



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).

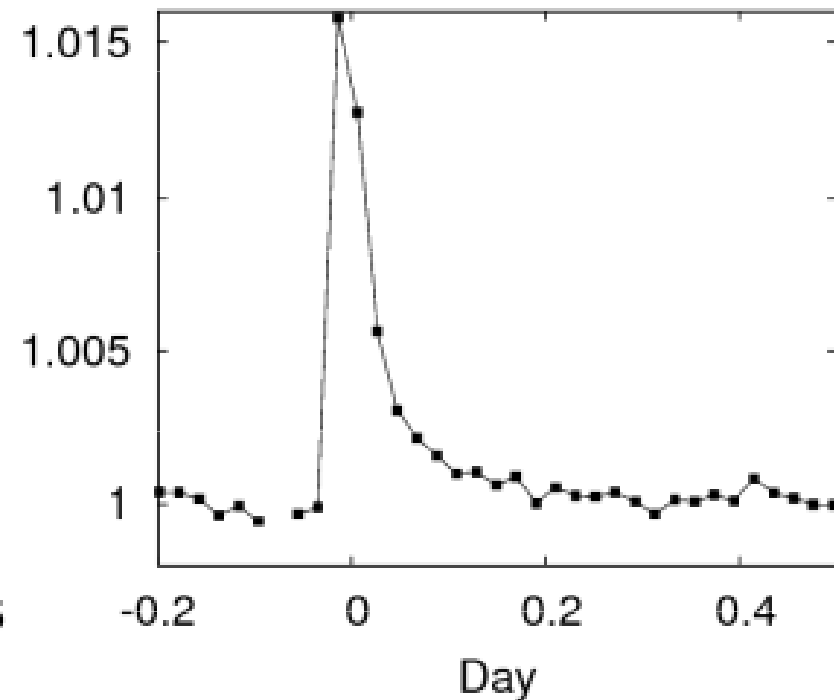
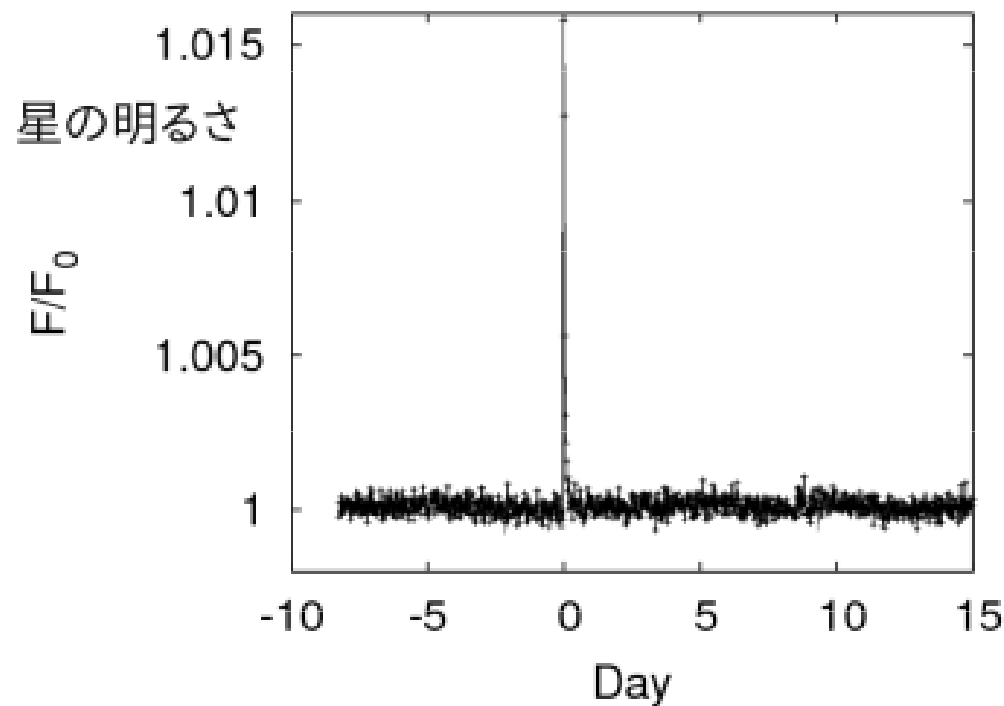
検出例 その1

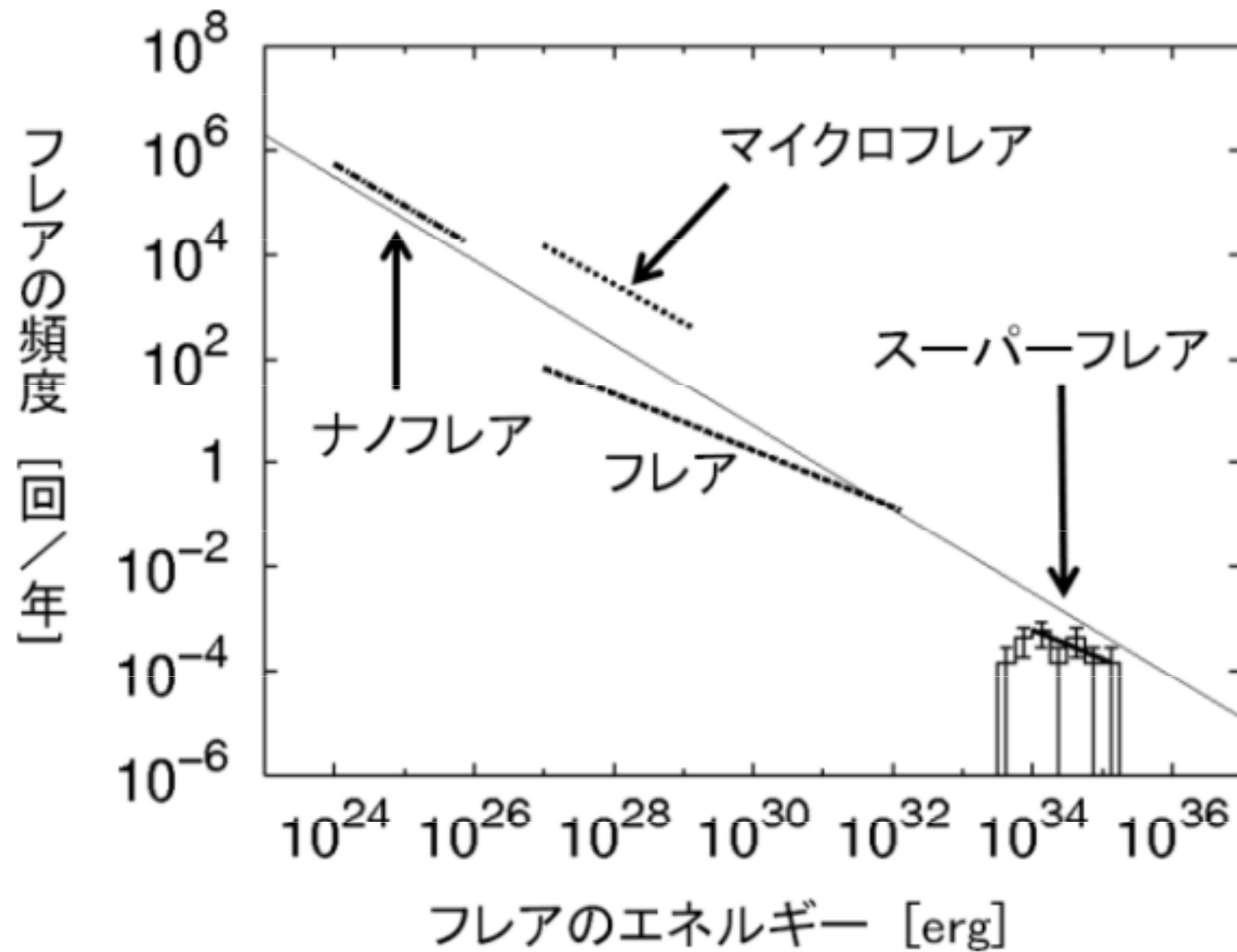
- KIC12354328
- フレア振幅 星の明るさの約30%
- エネルギー 2.6×10^{35} erg (太陽の2600倍)



検出例 その2

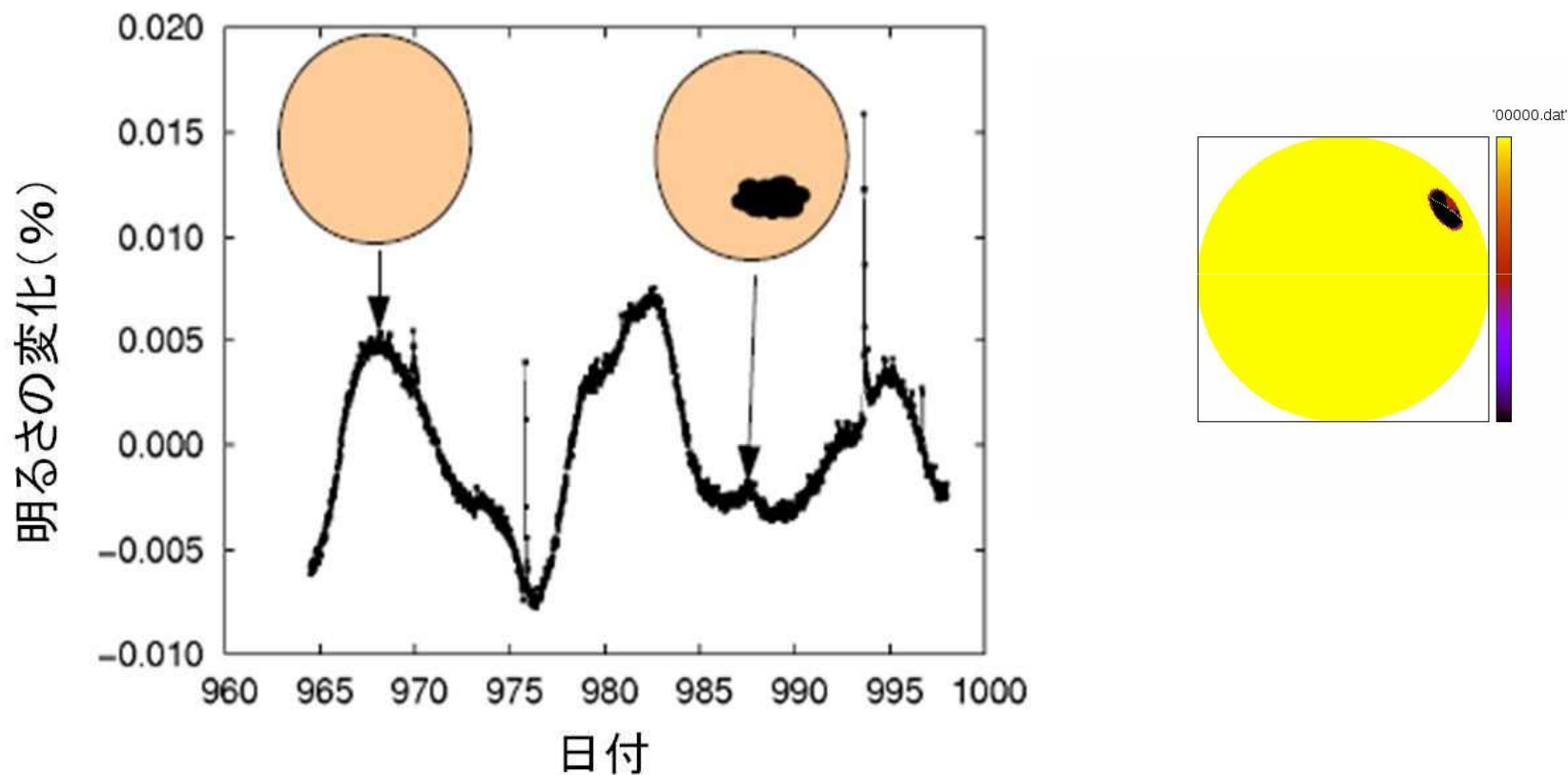
- KIC11401109
- フレア振幅 星の明るさの約1.6%
- エネルギー 4.4×10^{34} erg(太陽の440倍)





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

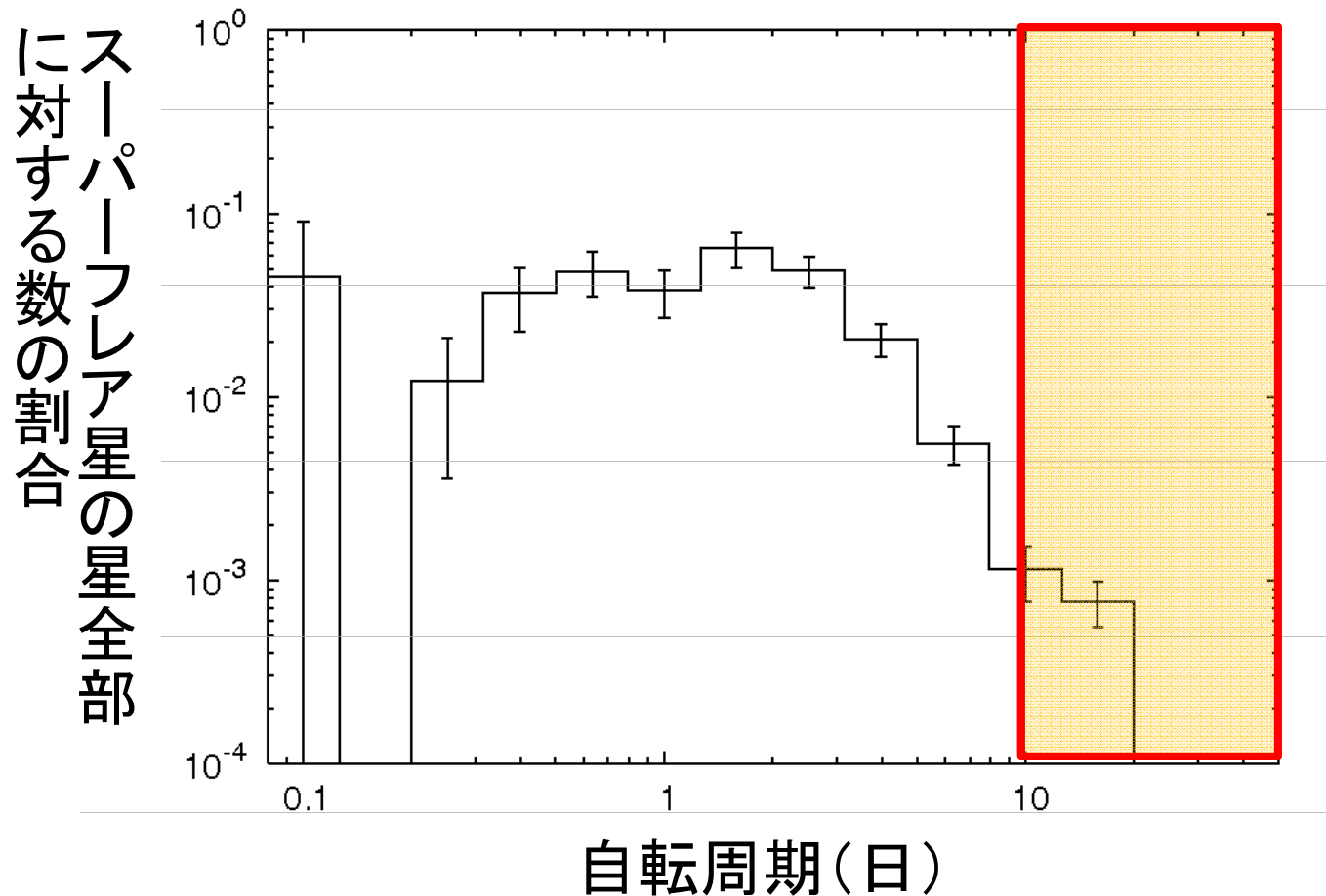


明るさの変化の周期 = 自転の周期

明るさの変化の振幅 = 黒点の大きさの目安

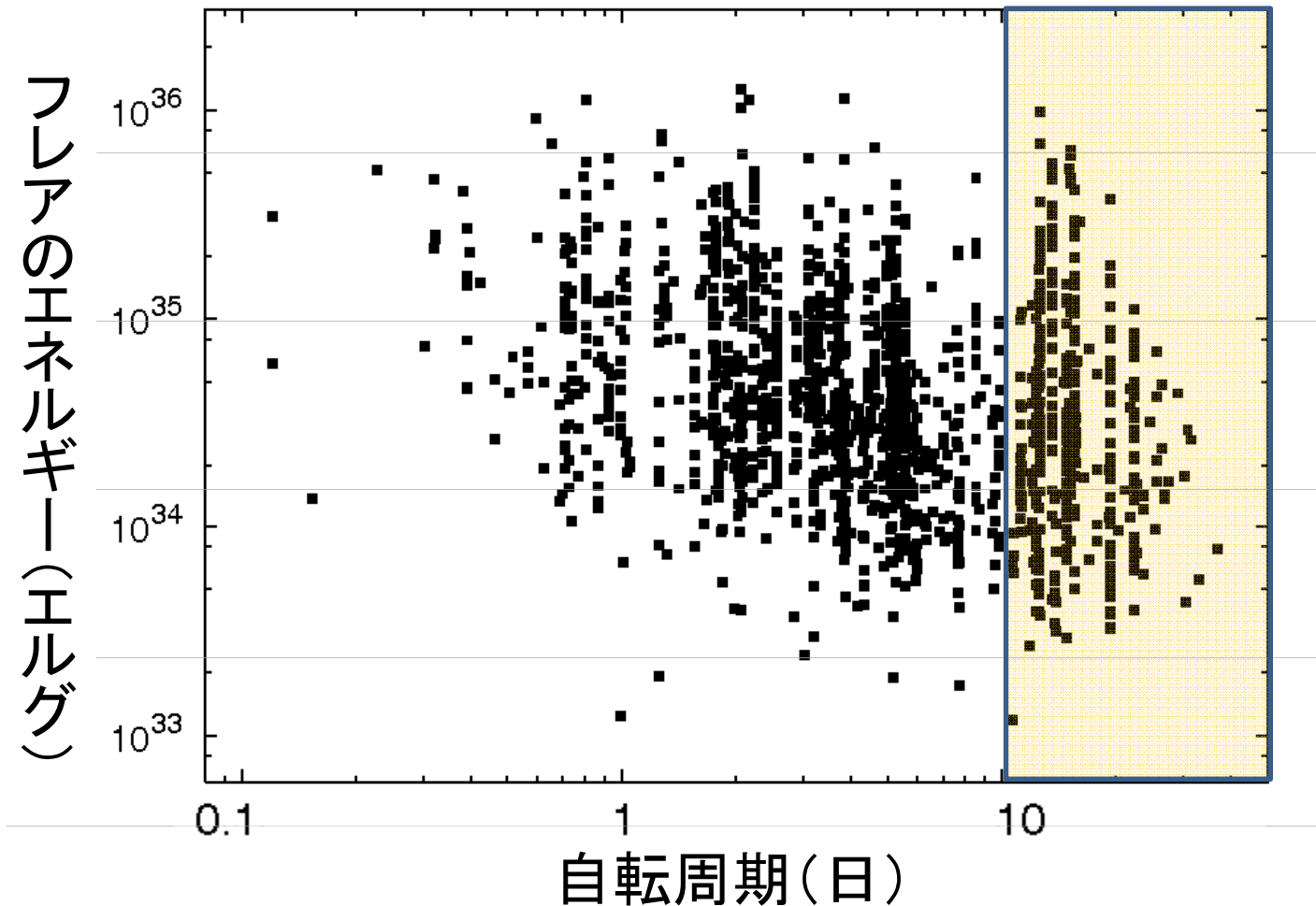
と考えられそうだが本当か？

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(25~27日)でもスーパーフレア星は存在する！

自転周期とフレアのエネルギーの関係



どういう自転周期でも一番大きなフレアのエネルギーは
10の36エルグ(最大級の太陽フレアの1万倍)くらい！

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

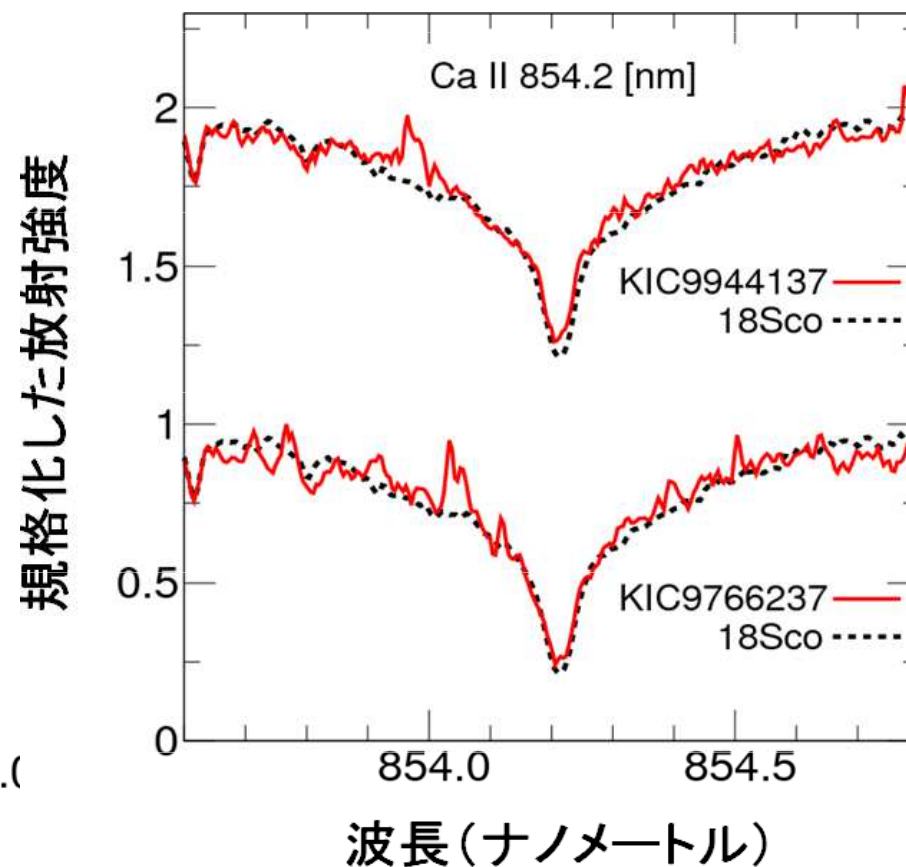
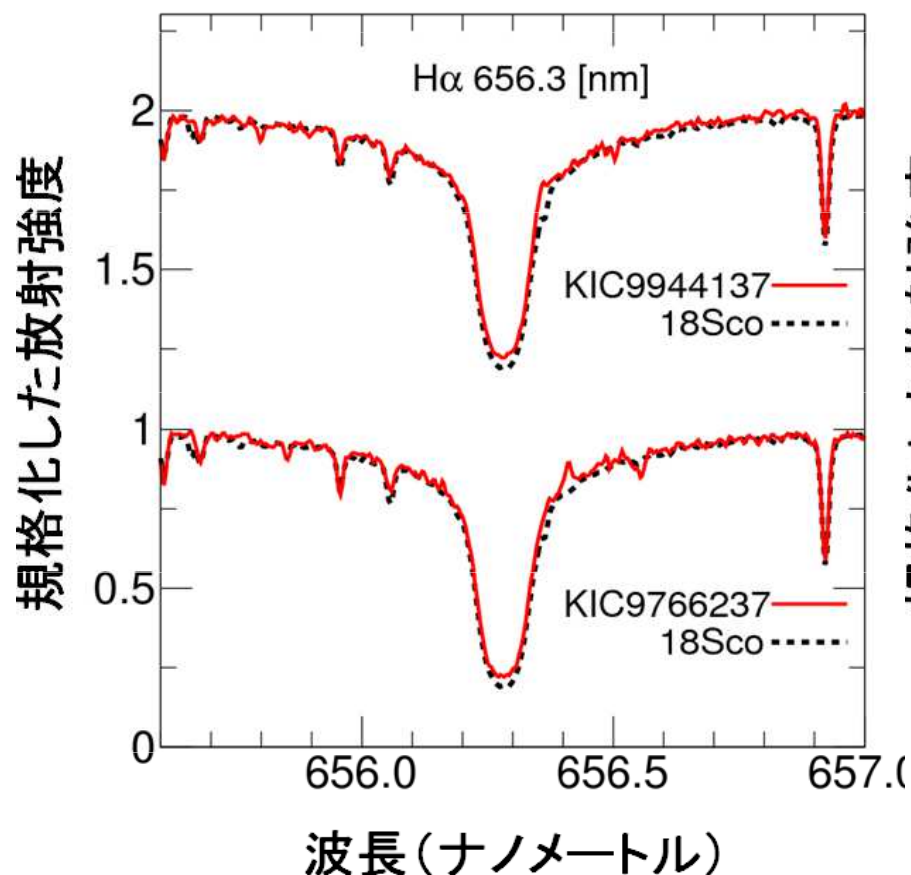
- 星の自転速度、連星かどうか、表面重力(半径の指標)、温度、金属量などを調べるために、すばる望遠鏡を用いて高分散分光観測。
- これまでにS11B, S12A, S13Aの観測期間で、計50個のスーパーフレア星を観測。



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)

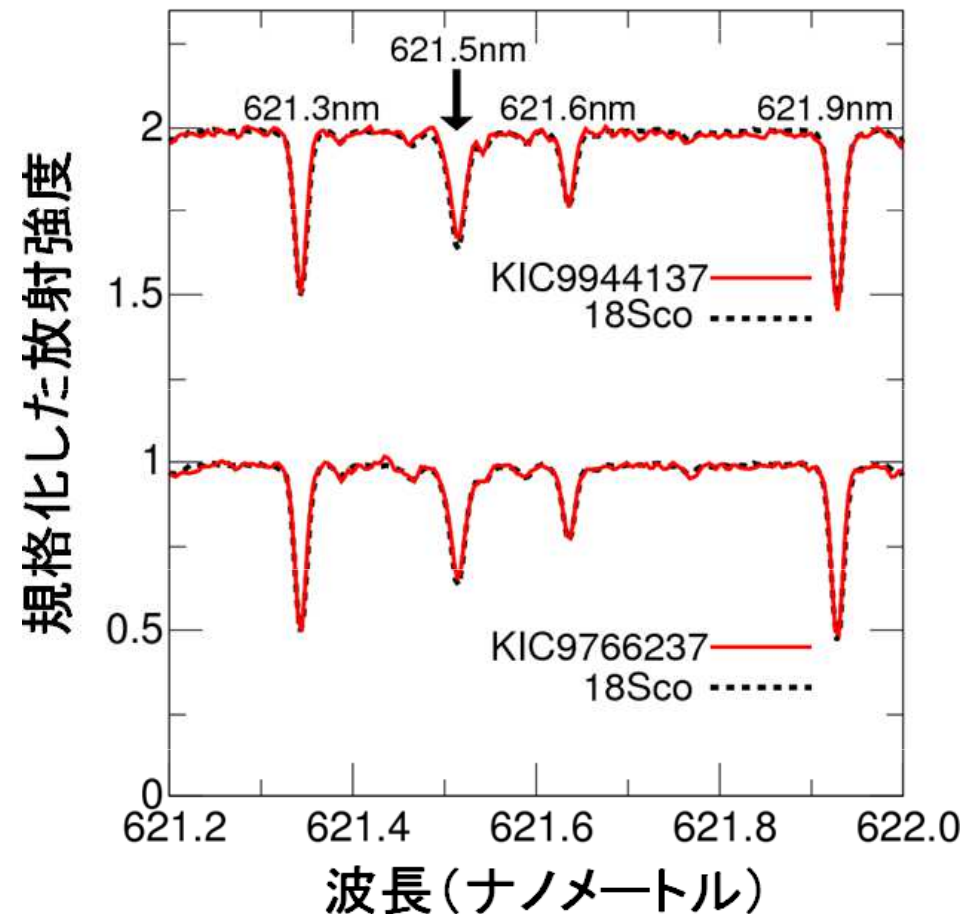
活動度の指標とされる水素(H α)とカルシウム(Ca II 854.2)



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！

活動度以外の星の性質を調べる金属の吸収線



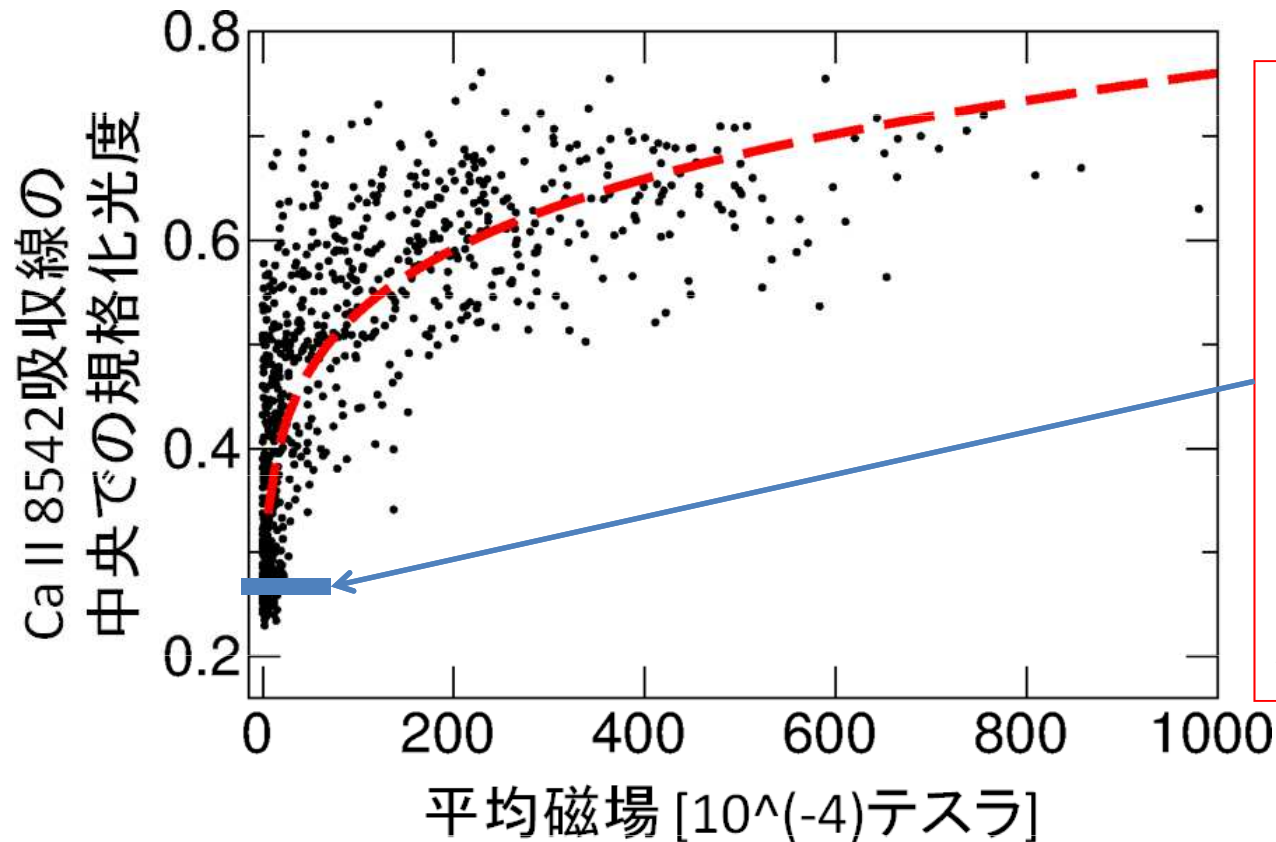
左右対称(→**2つの星の成分が見えてはいない**)
で、さそり座18番星とほぼ重なっている(同じくらい
の**自転速度**～**毎秒2km**で鉄の含有量が同程度)。

星	自転 周期 [日]	射影自転 速度 [km/秒]	温度 [K]	表面重力 Log g	金属量 [Fe/H]	リチウ ム含 有量 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！

磁場の強さ

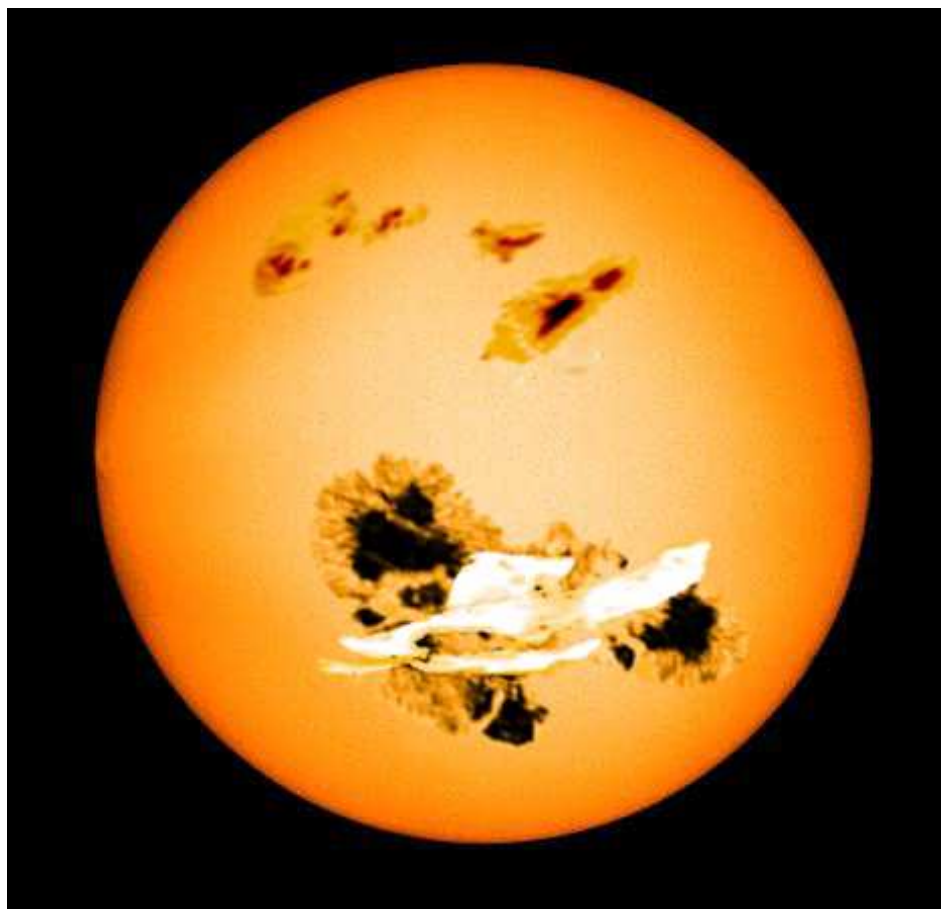


平均的な磁場強度は
[1~20] $\times 10^{-4}$ テスラ程
度と考えられる。黒点
内の磁場の強さは太
陽と同程度(<0.3テス
ラ)と考えられるので、
黒点の大きさは1%
程度

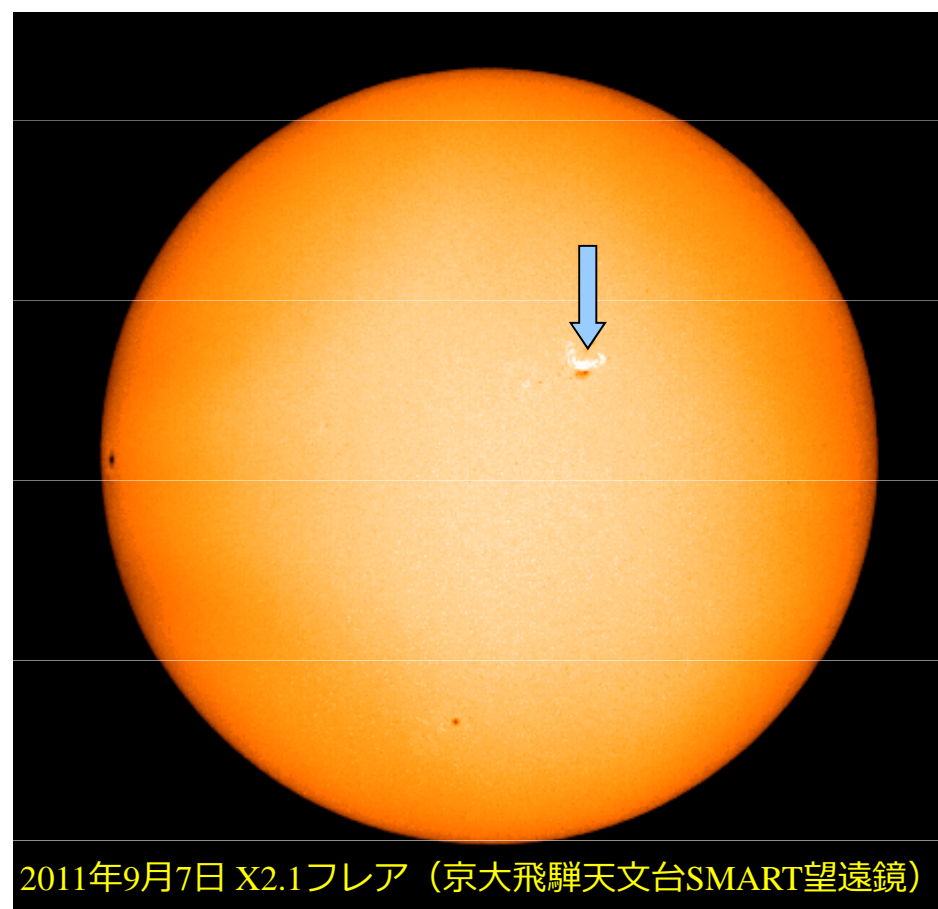
飛騨天文台での太陽の観測から、Ca II 8542の吸収線の深さと、星の表面の平均的な磁場の強さによい相関があることが我々の研究で分かっている。(Notsu, Y. 他、準備中)

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

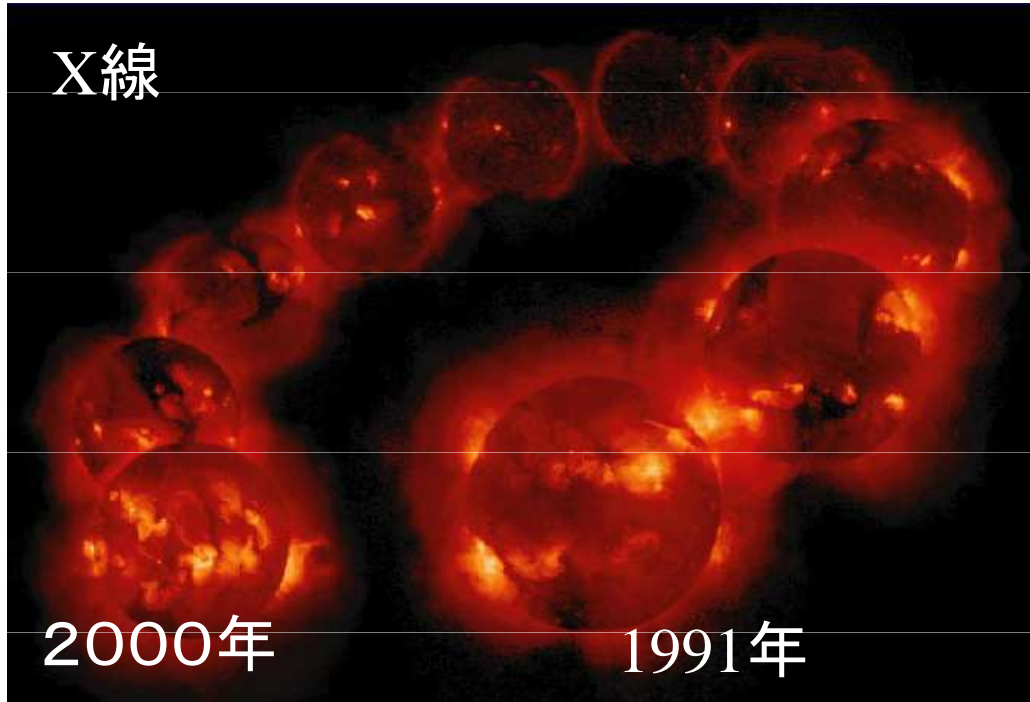


太陽フレア
(実際の観測)

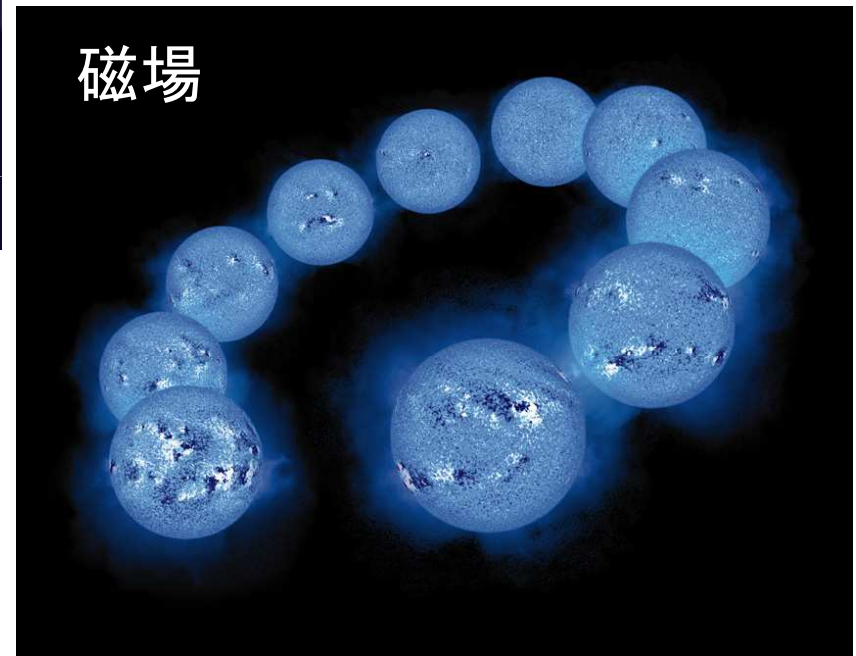


2011年9月7日 X2.1フレア (京大飛騨天文台SMART望遠鏡)

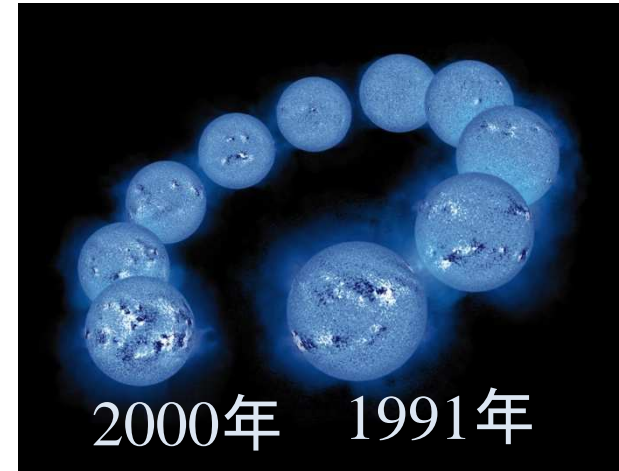
太陽活動は約11年ごとに変化する



黒点の数が約11年で
ふえたりへったりする



黒点の数と地球の気温



- 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

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)
 - 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？**

スーパーフレアが起きたら 地球はどうなるか？

	巨大フレア (1989年3月13日)	キャリントン・ フレア (1859年)	スーパー・ フレア (巨大フレアの 100~1000倍)
放射線 (航空機内の推定値)	4mSv	20mSv	400~ 4000mSv ?
地磁気嵐	540nT (全米でオーロラ)	1760nT (赤道帯でオーロラ)	5000~ 15000nT ?
社会への影響	ケベック州大停電 電波通信障害 気象衛星故障 衛星放送停止 (被害総額数100億円 以上)	電信局の火事 >今起きたら 中高磁気緯度の 大停電 多くの衛星の故障 地球規模の通信障害 GPS故障 (被害総額1兆~2兆ドル)	地球規模の大停電 オゾン層破壊 全衛星の故障 地球規模の通信障害 全航空機飛行停止 船舶運航停止 GPS停止 ITインフラの破壊



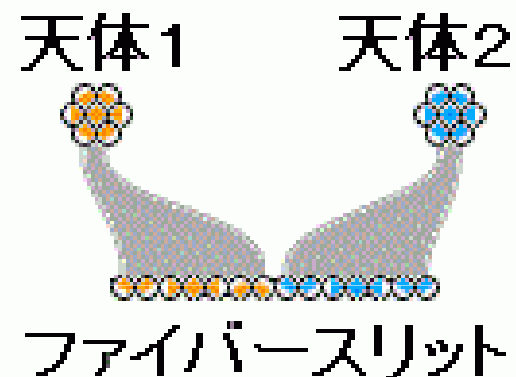
3.8m新技術
望遠鏡はこ
れらの様々な
爆発現象の
謎の解明に
取り組みま
す！

ですが、天文台は現在資金不足にあえいでおり、寄付を募っております。詳しくは
<http://www.kwasan.kyoto-u.ac.jp/kikin/>
を御覧下さい。

昨年度科研費申請した高分散分光装置のスペック

波長分解能	100,000
観測波長	350–900 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 × 7本

※イメージスライサ（ファイバーバンドル）と反射系のための光学系（青側効率アップ）を使用。
2天体同時分光で大気光の補正とシステムの安定性をチェック。



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)
→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？**