

2012年10月1日 極端宇宙天気研究会@
東京工業大学(15分+5分)

太陽でスーパーフレアは 起きるのか

柴田一成

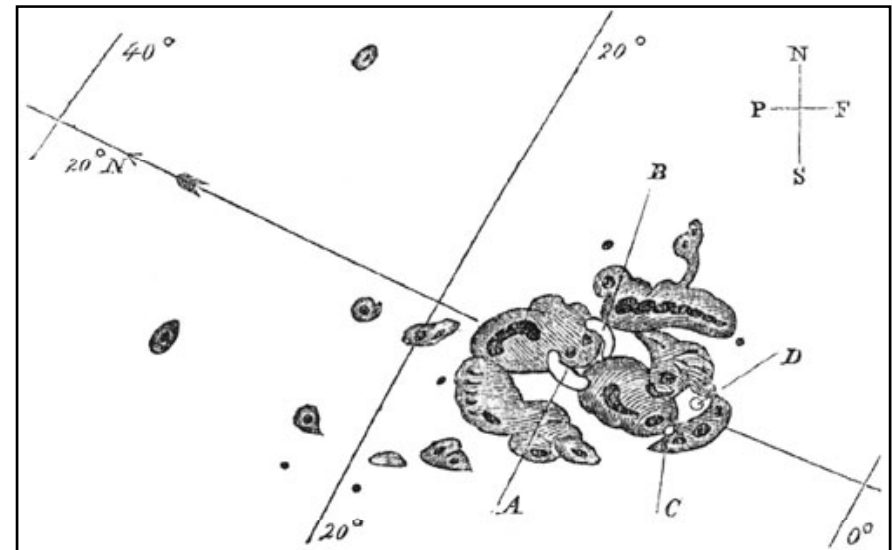
京都大学理学研究科附属天文台

Collaborators: H. Isobe, A. Hillier, A. Choudhuri, H. Maehara, T. Shibayama,
S. Notsu, Y. Notsu, T. Nagao, S. Kusaba, T. Ishii, S. Honda, D. Nogami

Carrington flare

(1859, Sep 1, am 11:18)

- The **first flare** that human beings observed (by Richard Carrington, England)
 - white flare for 5 minutes
 - **very bright aurora** appeared next day morning
- At many places on Earth, e.g. Cuba, the Bahamas, Jamaica, El Salvador, and Hawaii.
- Largest magnetic storm (> 1000 nT) in recent 200 yrs.



Telegraph systems all over Europe and North America failed, in some cases even shocking telegraph operators. Telegraph pylons threw **sparks** and telegraph paper spontaneously caught **Fire** (Loomis 1861)

Magnetic storm and aurora on 1989 March 13, that lead to Quebec blackout

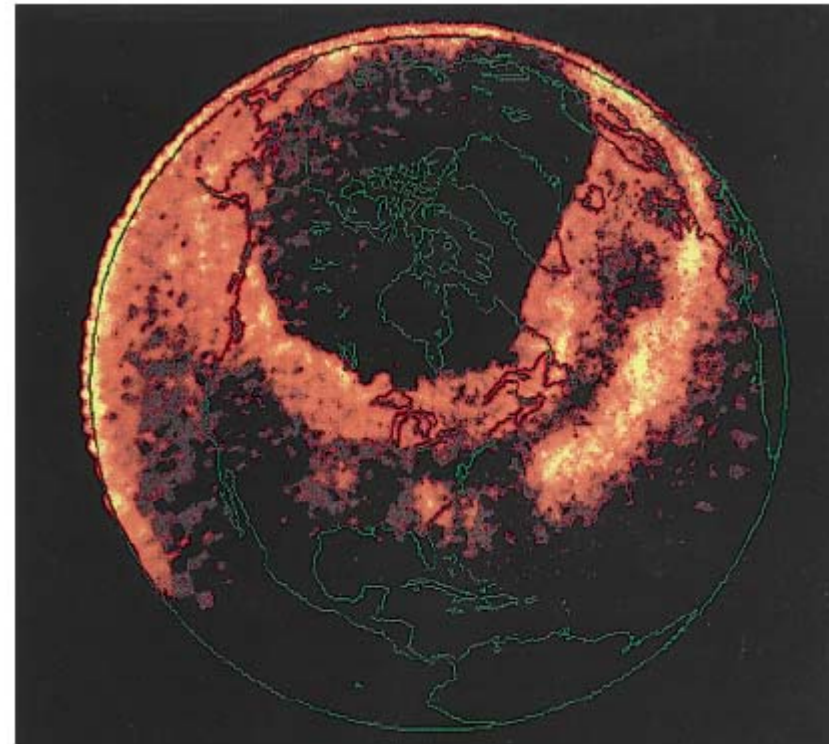
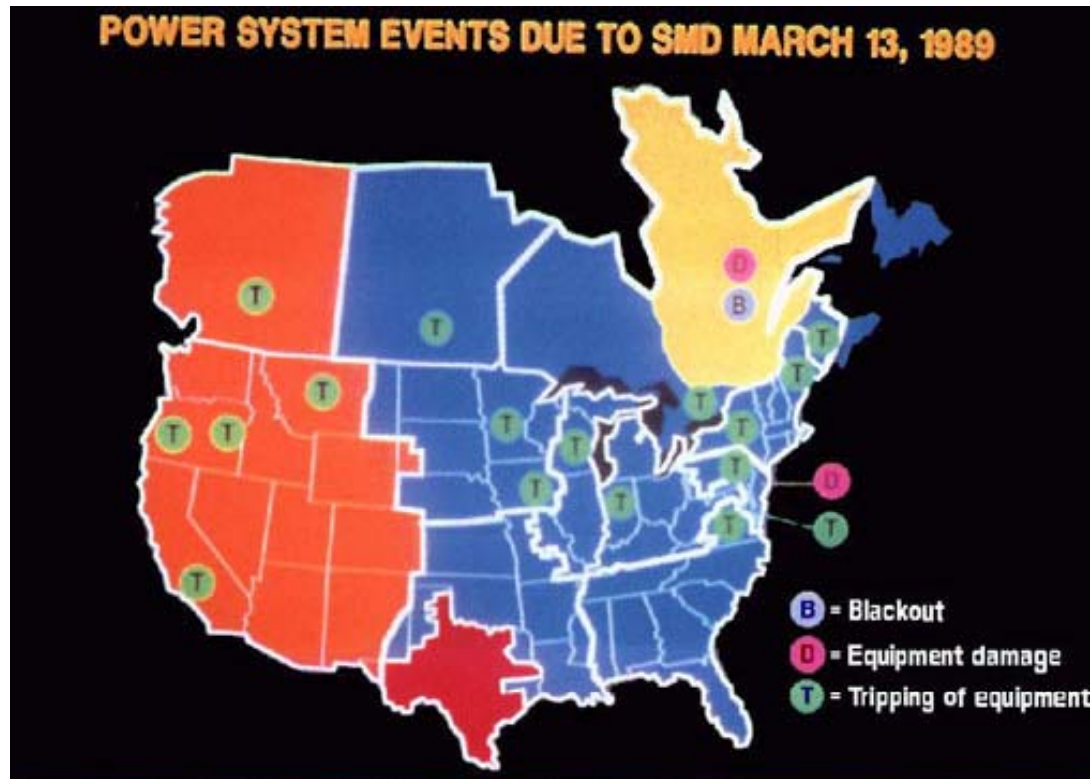


図4 発電所の事故があった日に人工衛星で撮影されたオーロラ。カナダ帯に強いオーロラが現れたのがわかる。(アイオワ大学 L. A. Frank 教授)

Magnetic storm ~ 540 nT

Solar flare X4.6

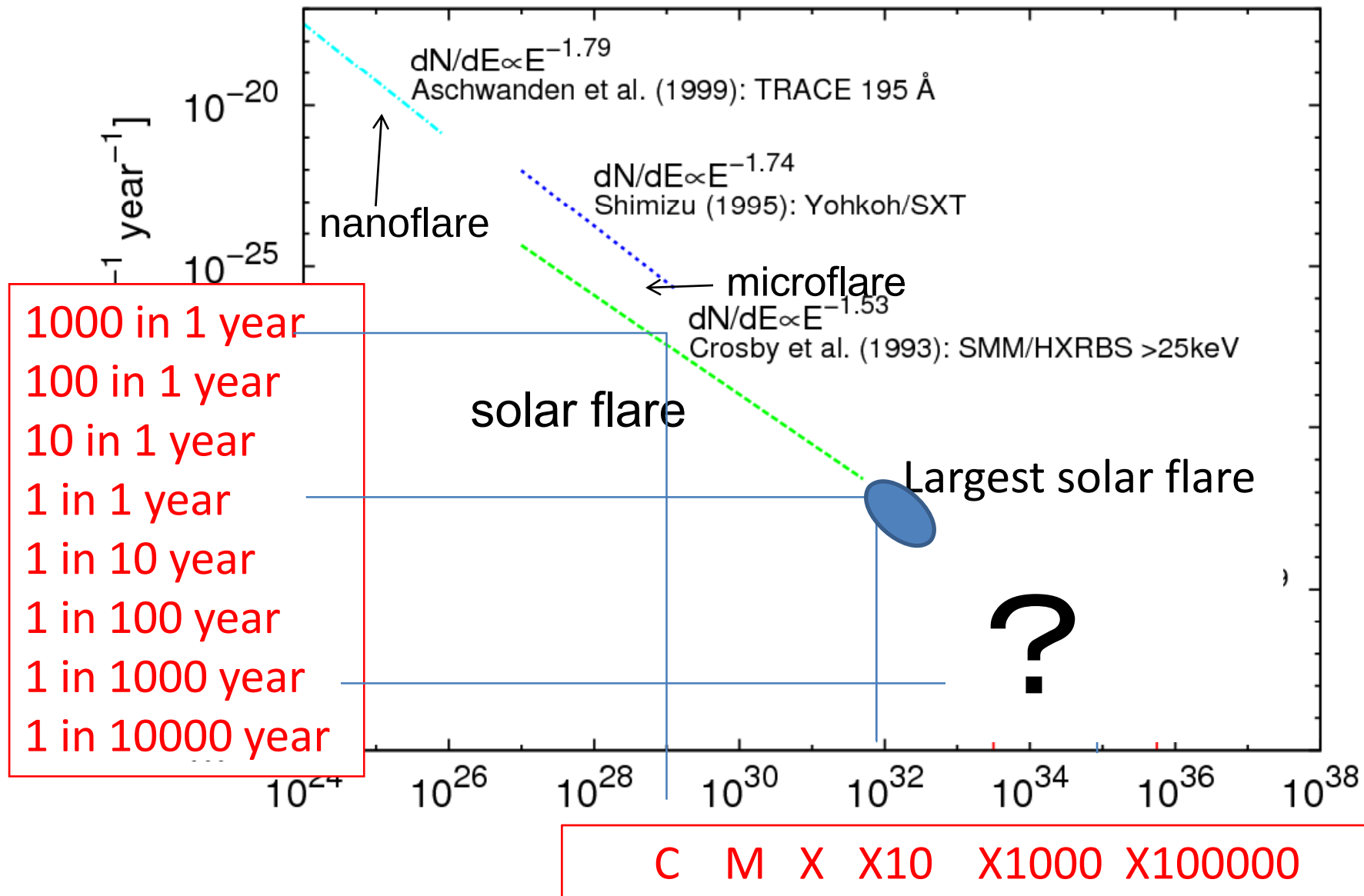
<http://www.stelab.nagoya-u.ac.jp/ste-www1/pub/ste-nl/Newsletter28.pdf>



Will the Carrington-class flare occur again ?

- If the Carrington-class flare occur now, what will happen ?
- a recent paper estimates **potential damage to the 900-plus satellites** currently in orbit could cost between **\$30 billion and \$70 billion**.
- http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2008/06may_carringtonflare/

statistics of occurrence frequency of solar flares, microflares, nanoflares



Question

- Will our Sun produce superflares which are much more energetic than the largest flare we observed before ?

contents

- 太陽フレア
- 恒星フレアと原始星フレア
- 太陽型星のスーパーフレア

太陽フレア

太陽フレア

19世紀中頃発見

黒点近傍で発生=>

磁気エネルギーが源

サイズ～(1－10)万km

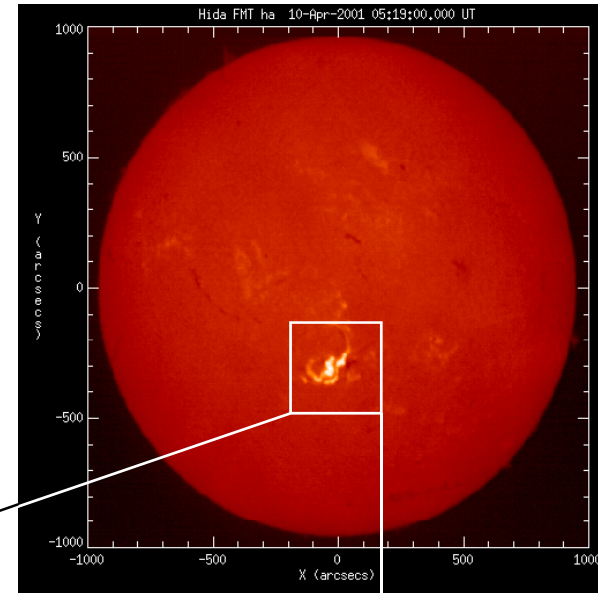
全エネルギー

$10^{29} - 10^{32}$ erg

(水爆10万－1億個)

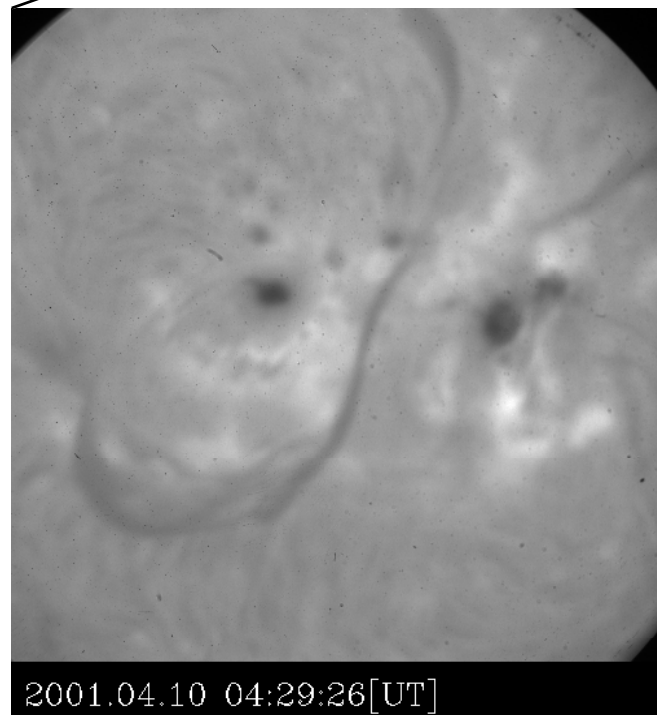
太陽系最大の爆発現象

発生メカニズムが
1世紀以上謎



H α

彩層
1万度

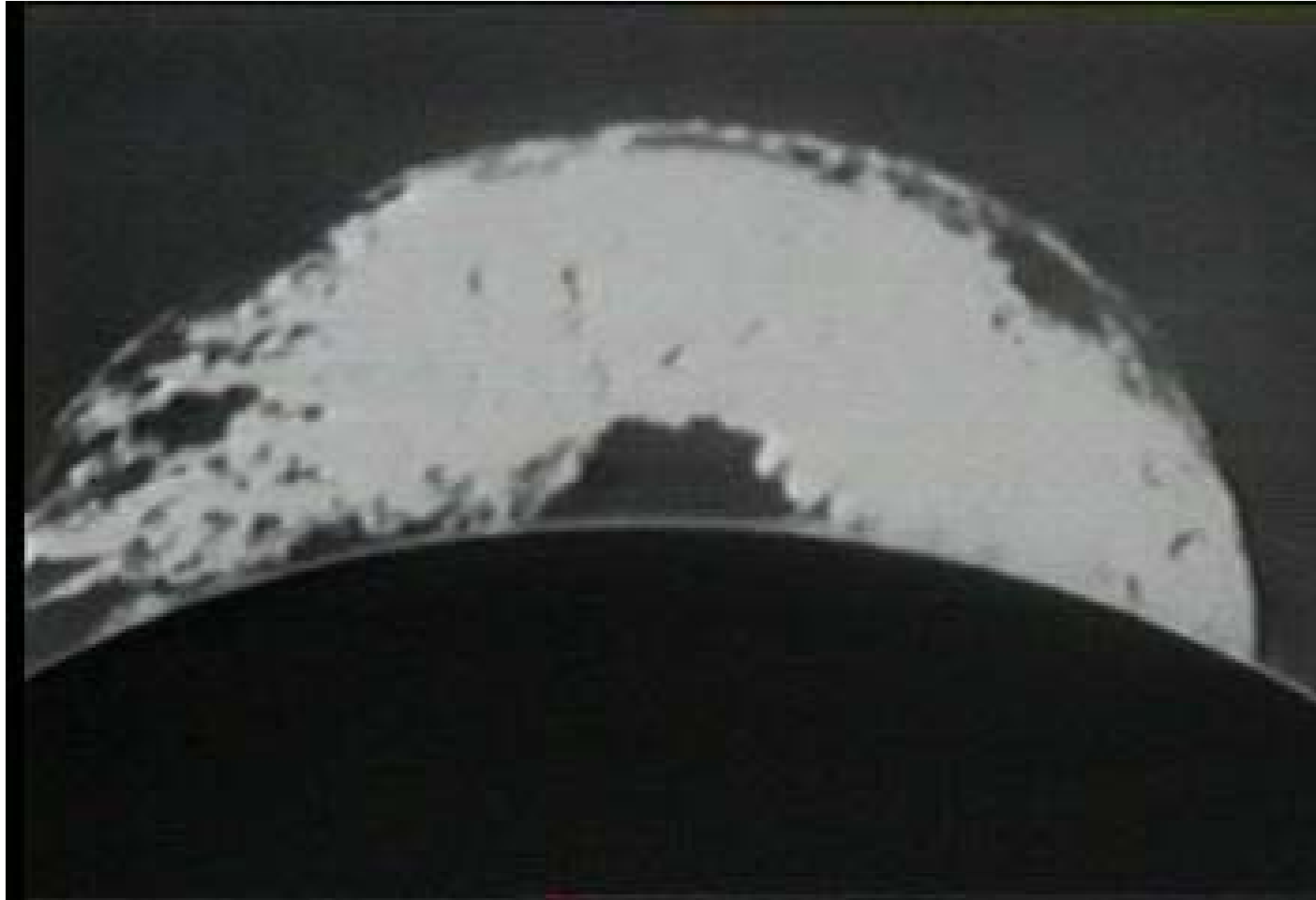


京大飛驒天文台

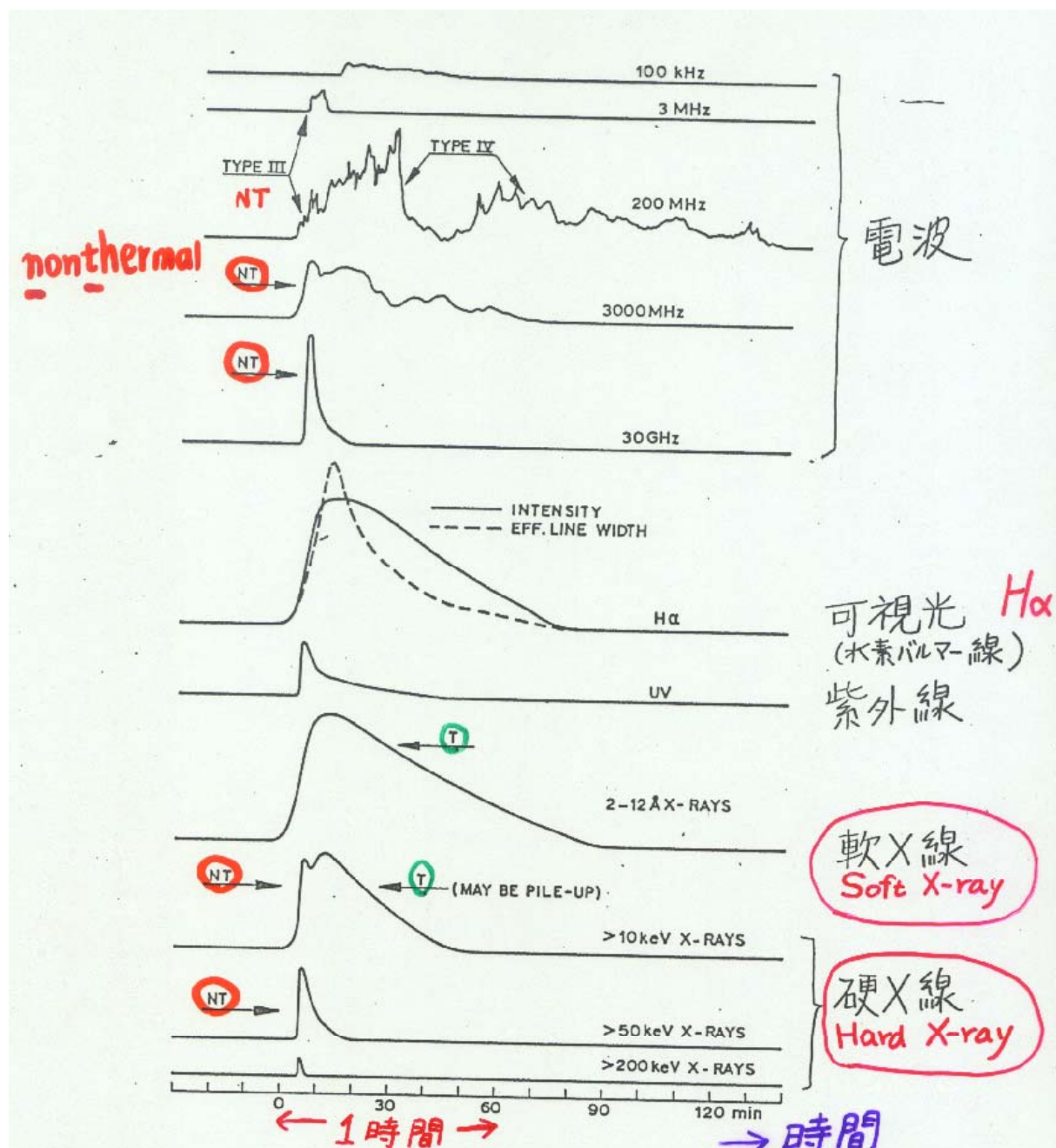


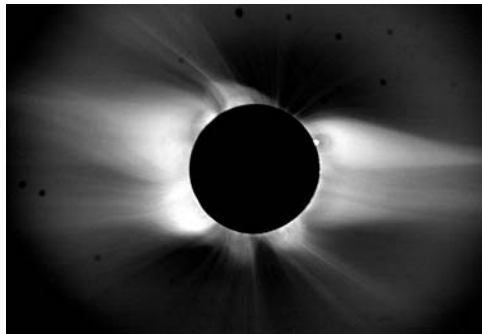
太陽プロミネンス噴出

(史上最大: 1946年6月4日: 米国)



太陽フレアから放出される電磁波

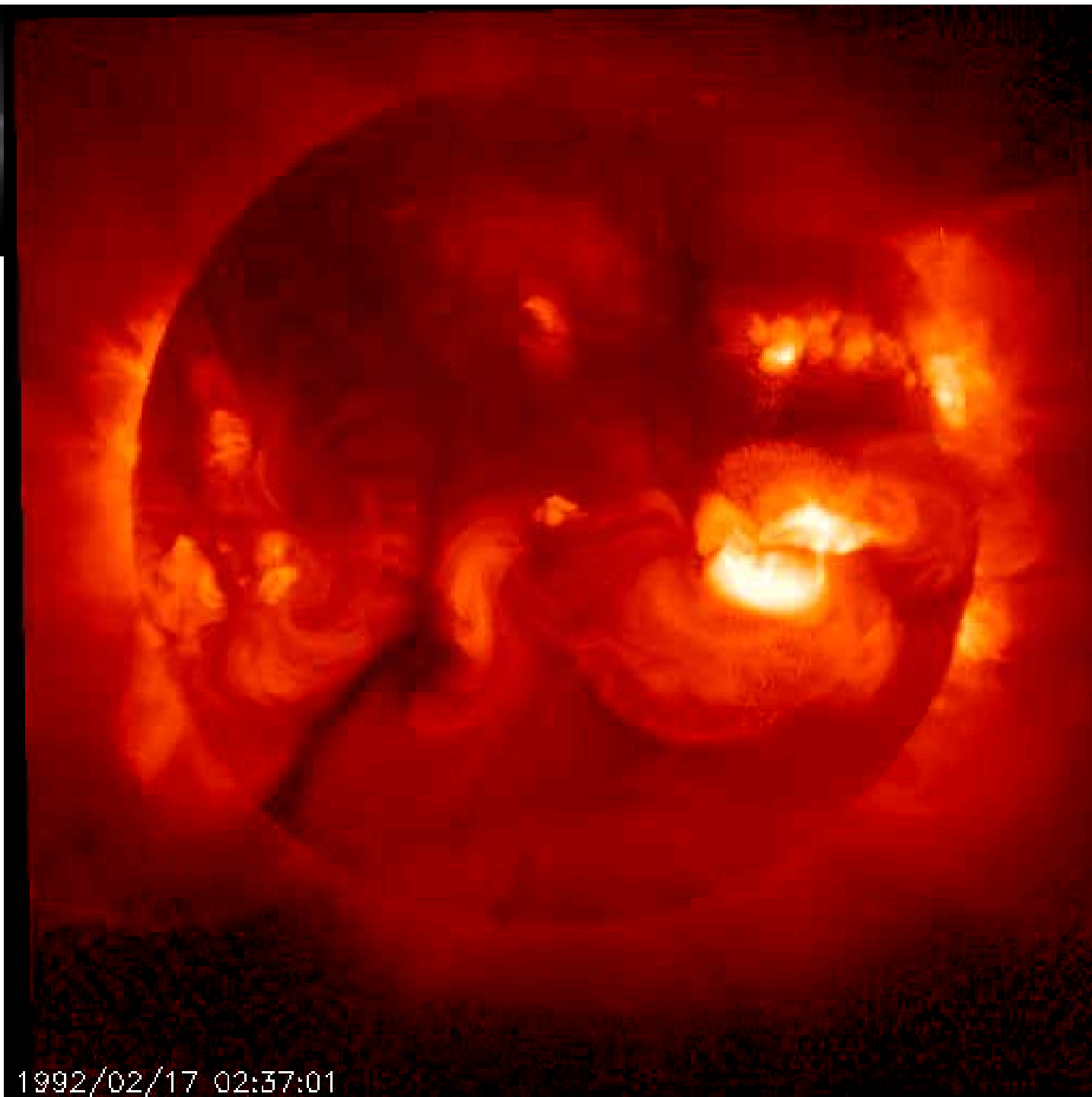




X線で見た 太陽コロナ (「ようこう」衛星 による)

コロナは爆発
(フレア)だらけ！

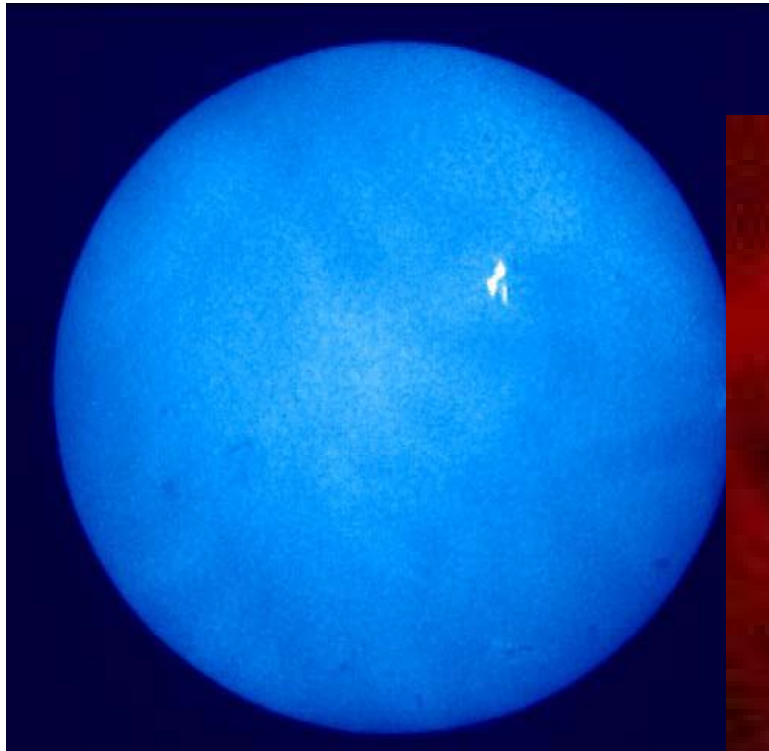
軟X線 (1 keV)
200万度—数千万度



1992/02/17 02:37:01

フレアの正体

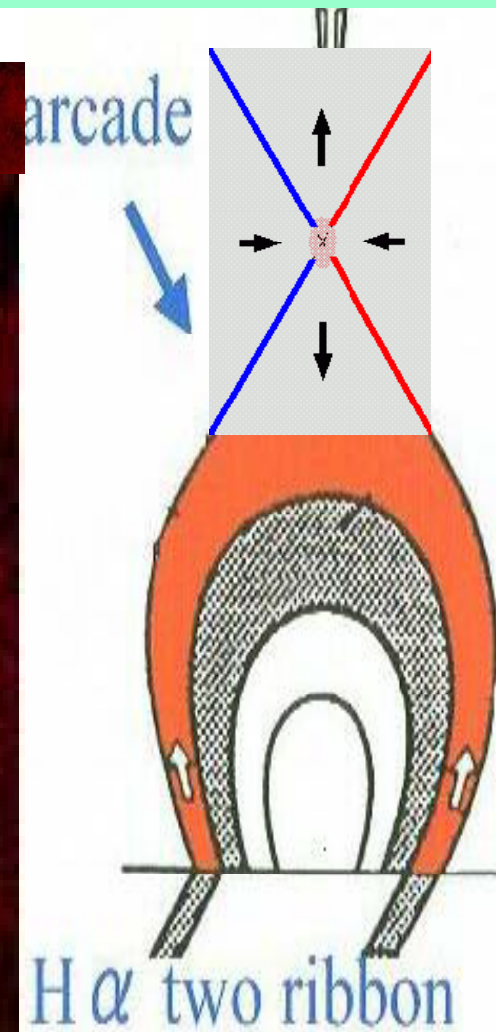
H α



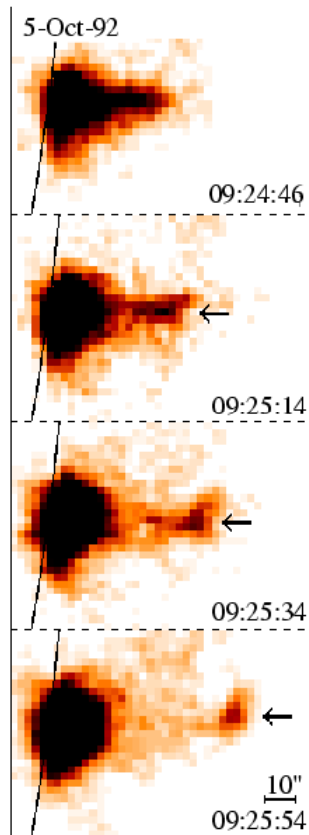
X線



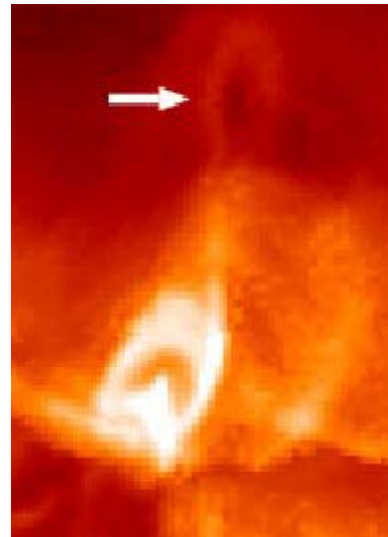
磁気リコネクション
(磁力線つなぎかえ)



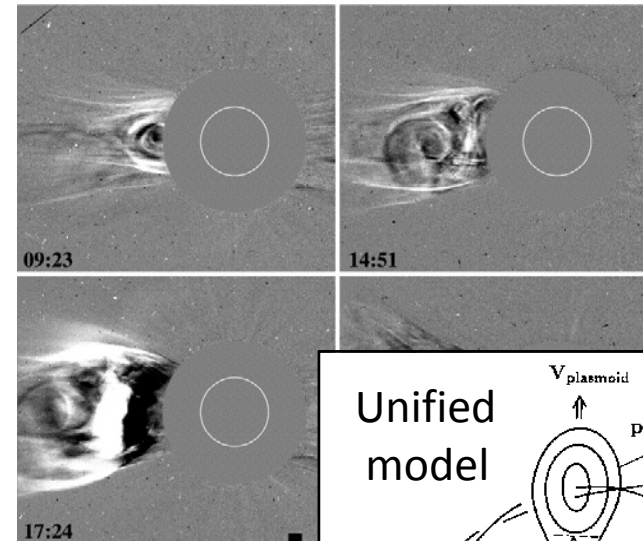
Plasmoid (flux rope) ejections



impulsive flares
 $\sim 10^9$ cm
 (Ohyama-Shibata 1998)

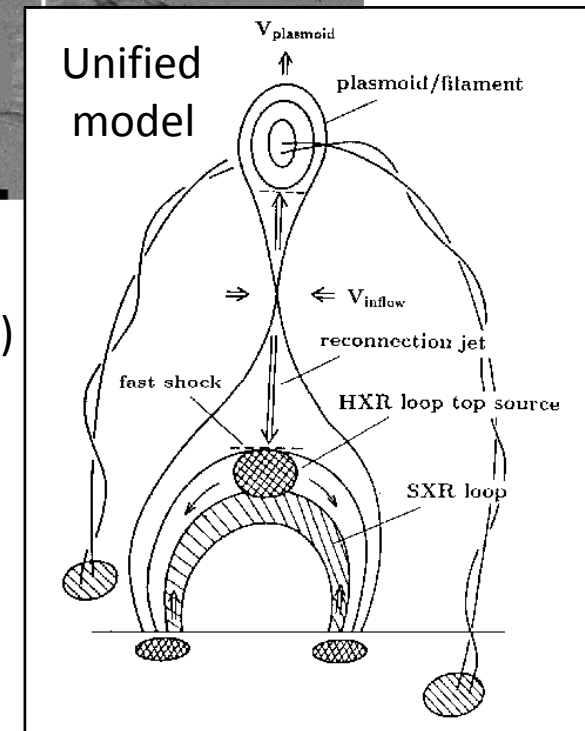


LDE(Long Duration Event) flares
 $\sim 10^{10}$ cm
 (Tsuneta 1992)



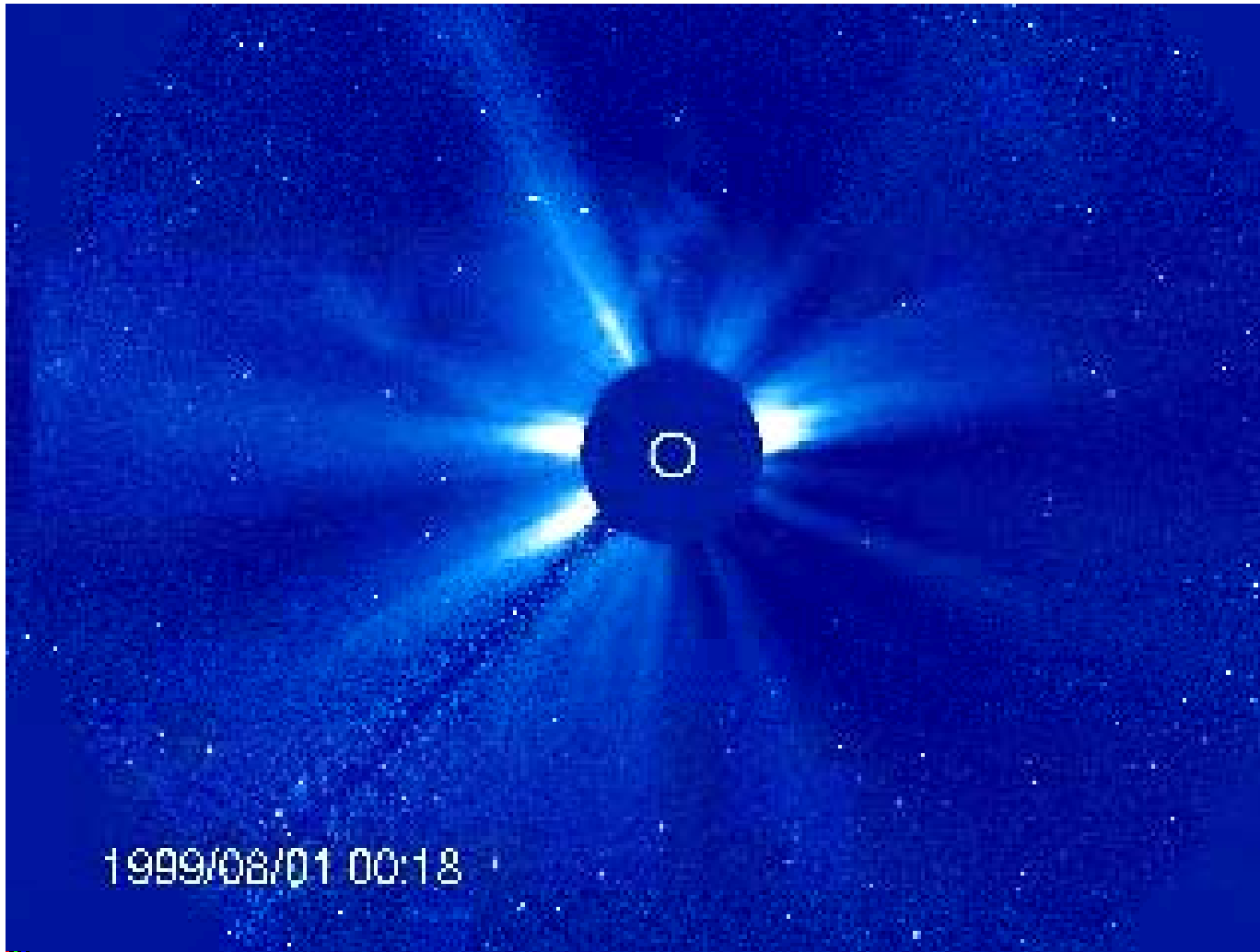
CMEs
 (Giant arcades)
 $\sim 10^{11}$ cm
 (Dere)

Plasmoid-Induced-Reconnection
 (Shibata 1999)



コロナ質量放出(CME)

(フレアにともなうコロナ・プラズマの噴出流=>地球に影響)



常に流れ
出ている
のは
太陽風

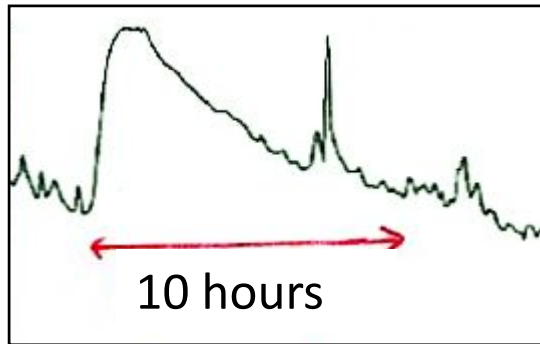
(SOHO/LASCO, 可視光/人工日食)

恒星フレア

恒星フレア、原始星フレア

Solar Flare
(Tsuneta)

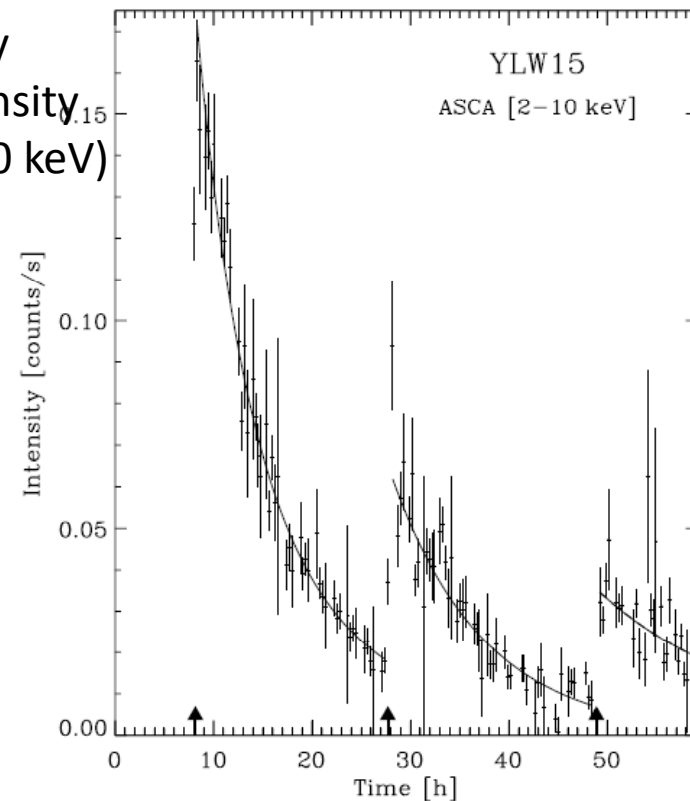
X-ray
Intensity
(3-24keV)



time

Protostellar Flare of YLW15
(Tsuboi, Koyama et al. 2000)

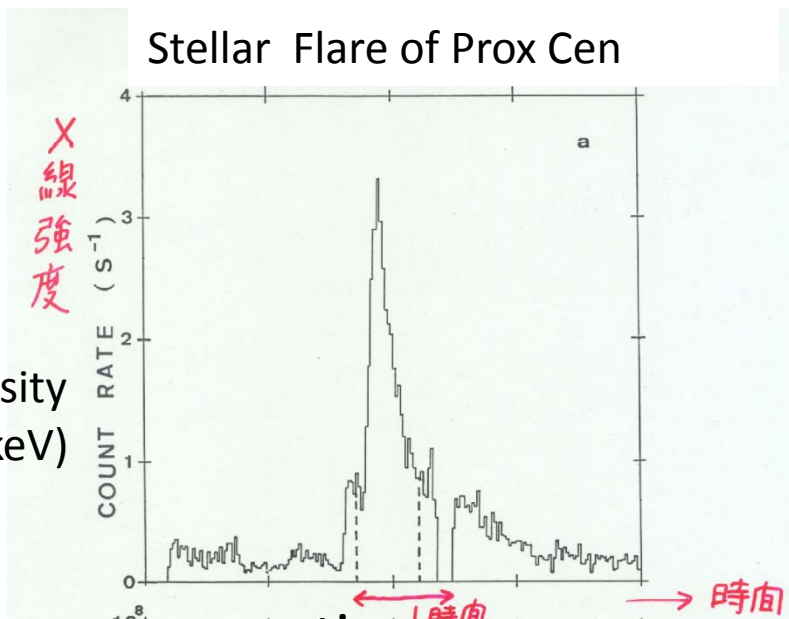
X-ray
Intensity
(2-10 keV)



time

Stellar Flare of Prox Cen

X-ray
Intensity
(~ 1 keV)

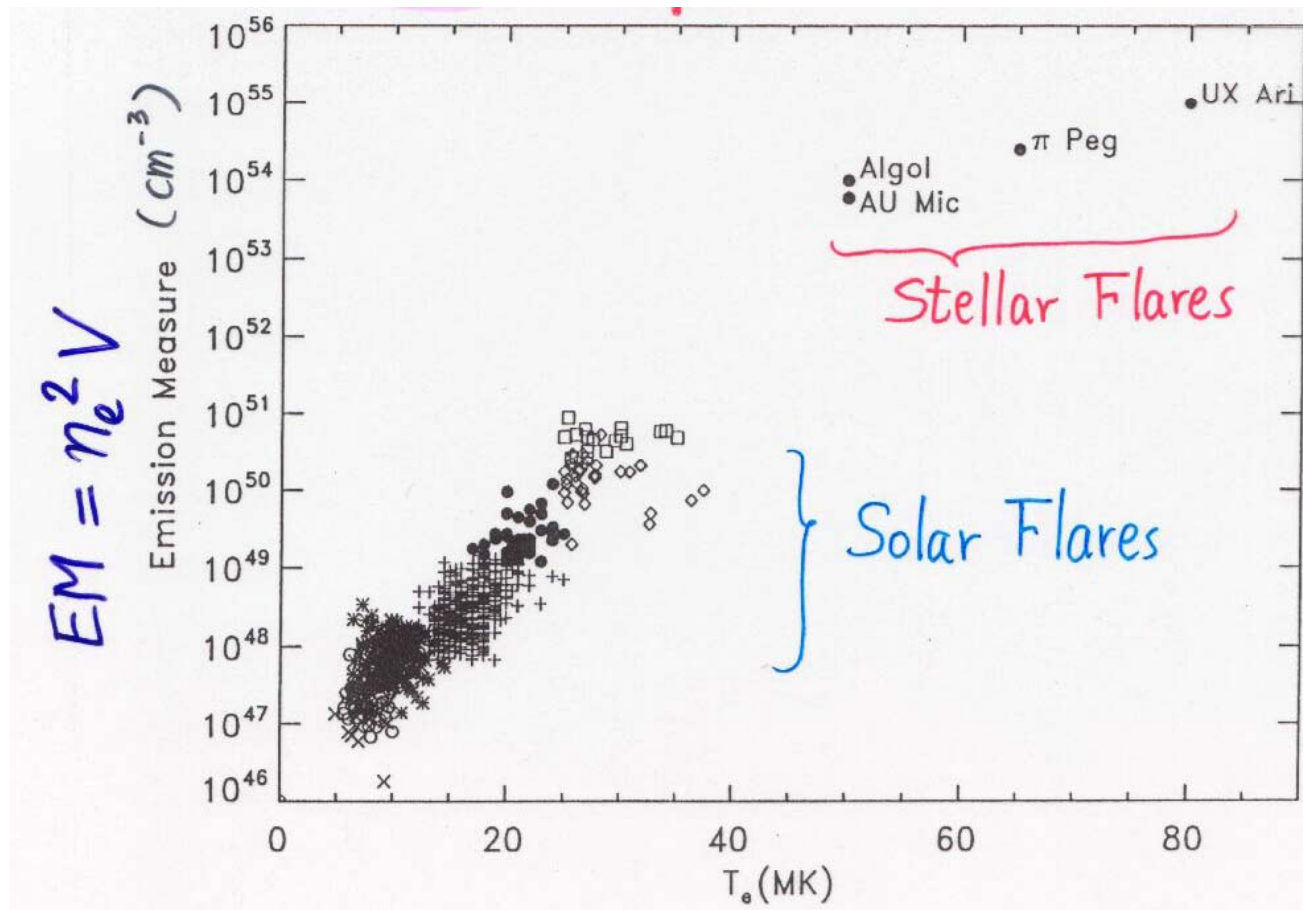


time

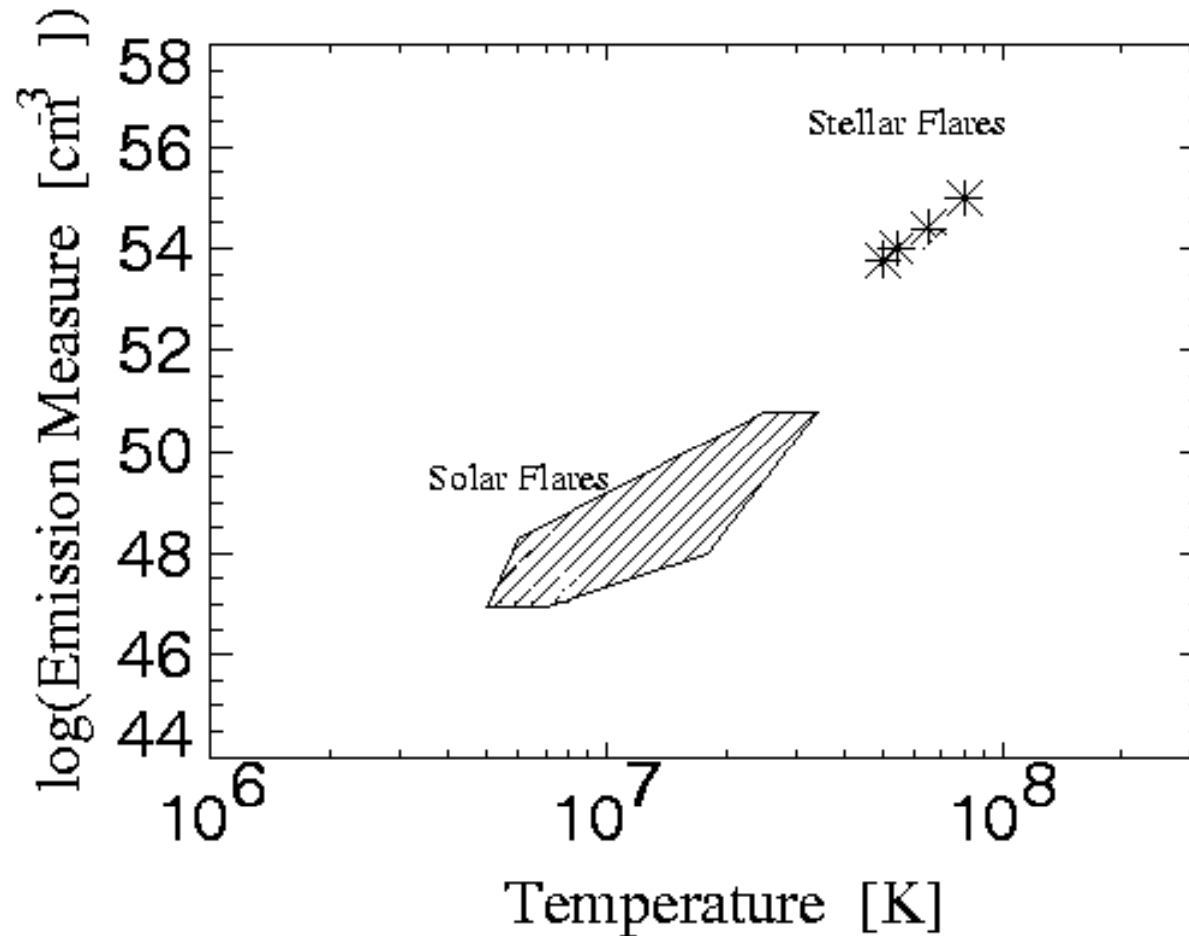
恒星フレアも磁気リコネクションで説明できるか？

- Yes !
- Indirect evidence has been found in empirical correlation between Emission Measure ($EM = n^2 L^3$) and Temperature
(Shibata and Yokoyama 1999, 2002)

太陽・恒星フレアの Emission Measure
($EM=n^2V$) は温度(T)とともに増大
(n : 電子密度、 V : 体積)(Feldman et al. 1995)

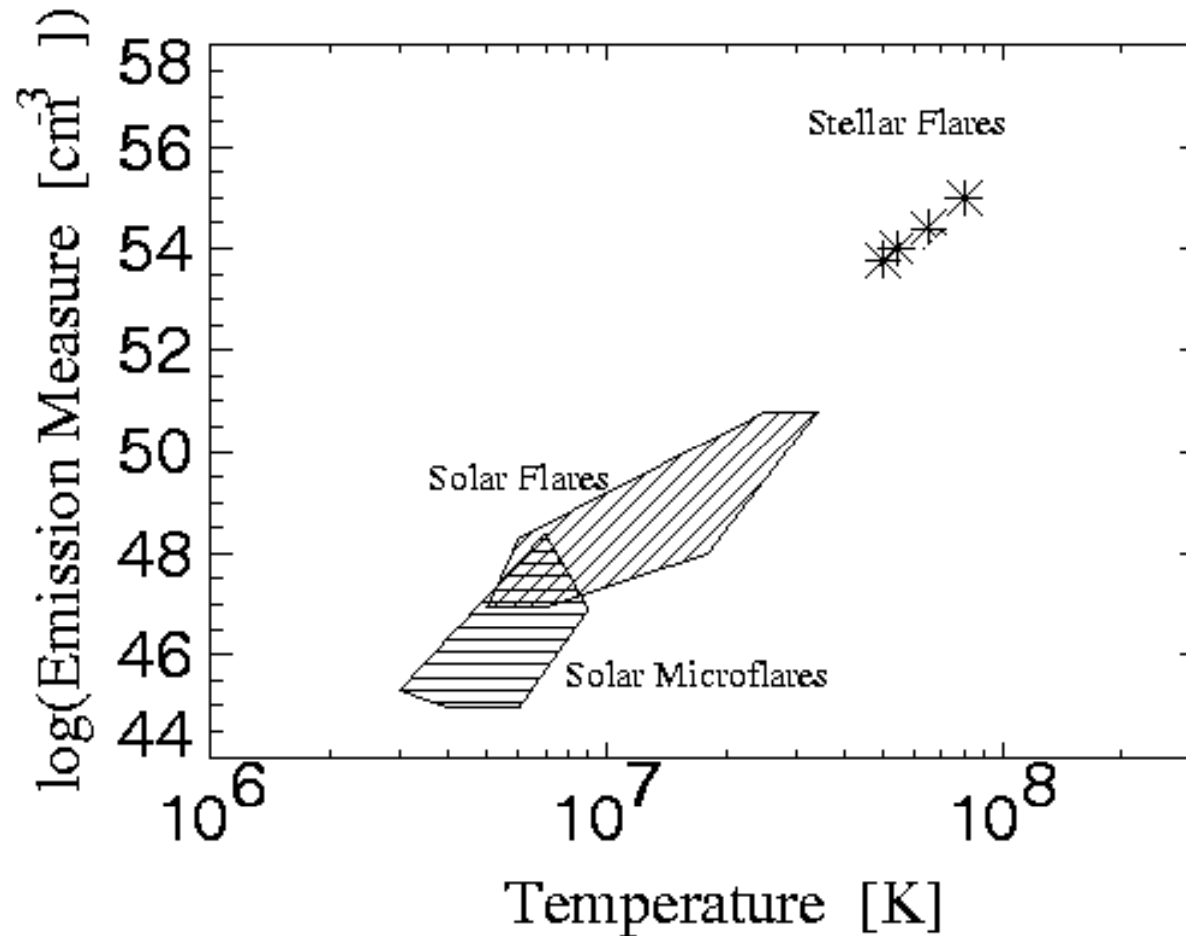


太陽・恒星フレアのEM-T関係



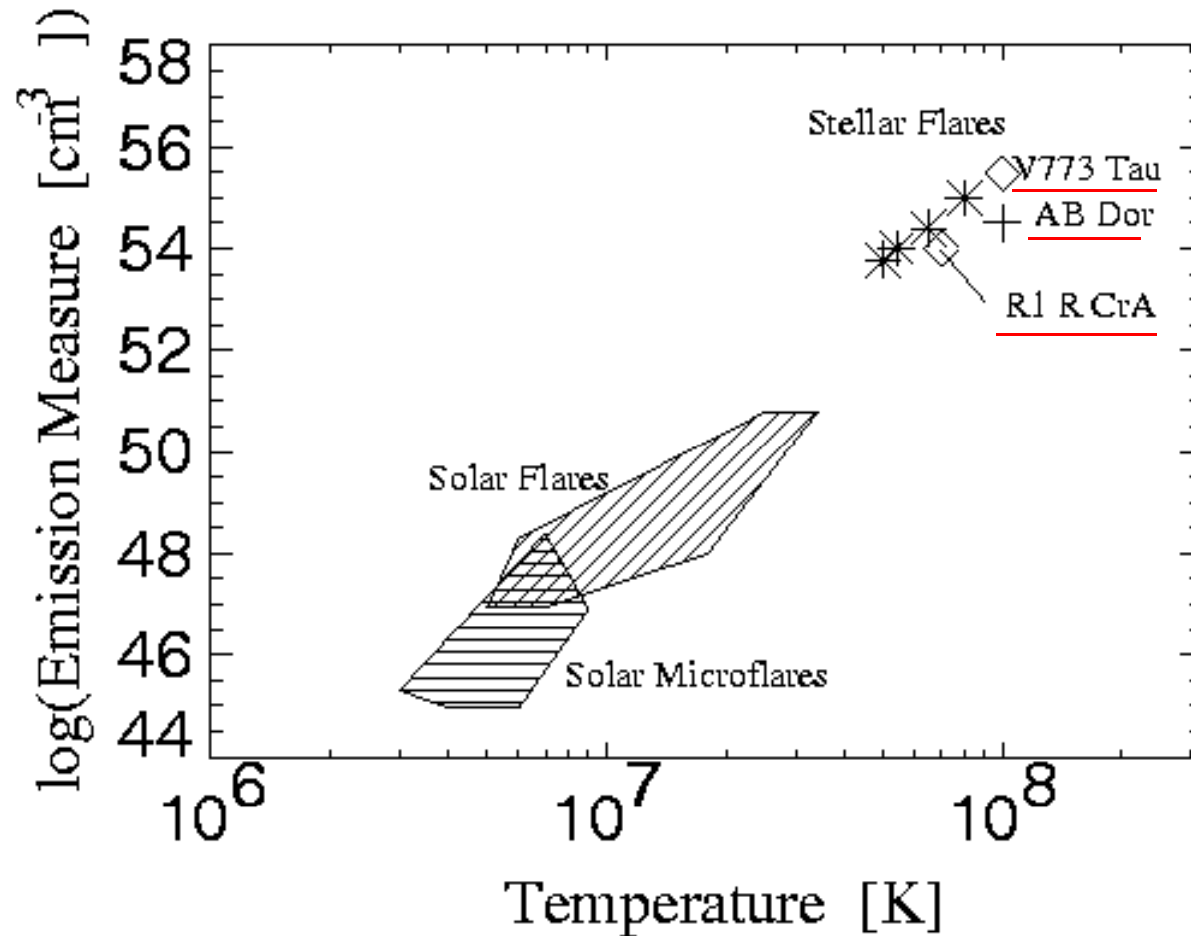
Feldman
et al. (1995)
の図の
Log-log plot

太陽・恒星フレアのEM-T関係



マイクロフレア
(Shimizu 1995)

太陽・恒星フレアのEM-T関係



原始星フレア

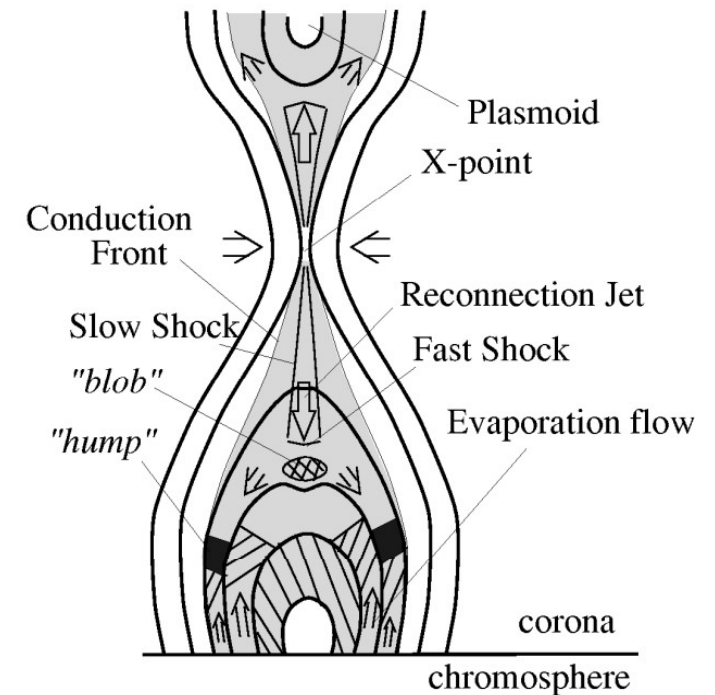
あすか
(Koyama et al.
1996, Tsuboi
et al. 1997)

フレアの温度は何で決まっているか？

- 磁気リコネクション加熱＝熱伝導冷却
のバランスで決まる (Yokoyama and Shibata
1998、2001)

$$B^2 V_A / 4\pi = \kappa T^{7/2} / 2L$$

$$T \propto B^{6/7} L^{2/7}$$



フレアの Emission Measure (Shibata and Yokoyama 1999)

- Emission Measure

$$EM = n^2 L^3$$

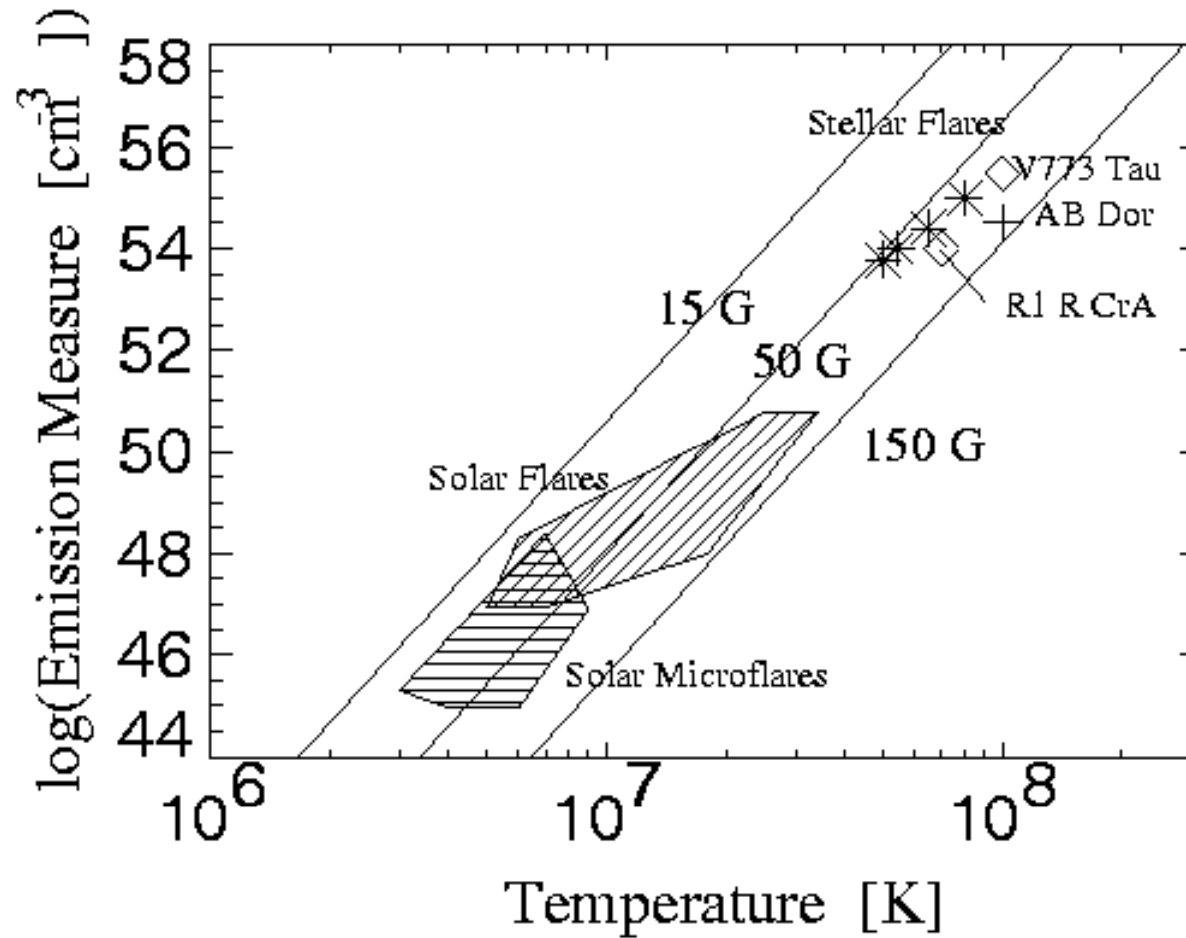
- フレアループの力学平衡

$$2nkT = B^2 / 8\pi$$

- 以上に温度の関係式を代入すると

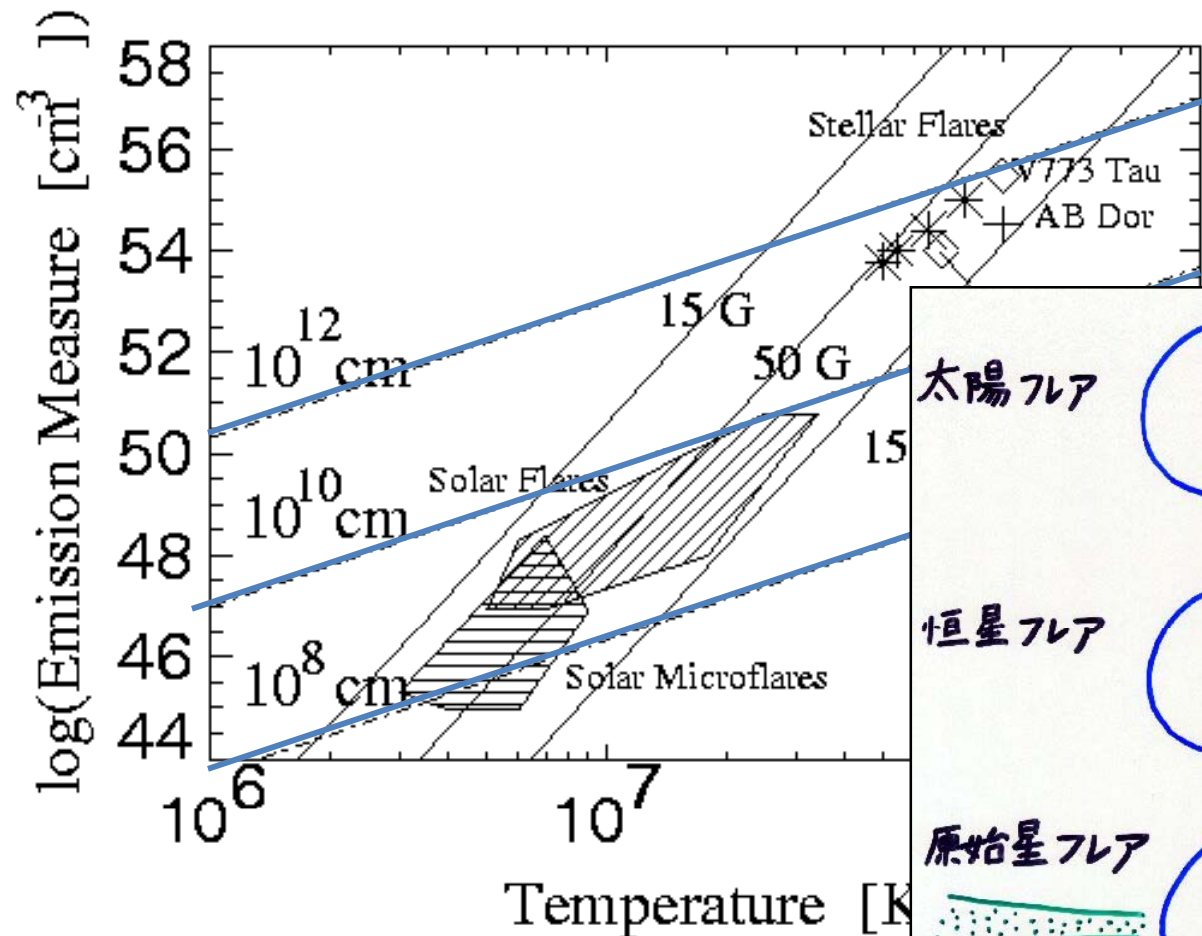
$$EM \propto B^{-5} T^{17/2}$$

磁場強度＝一定

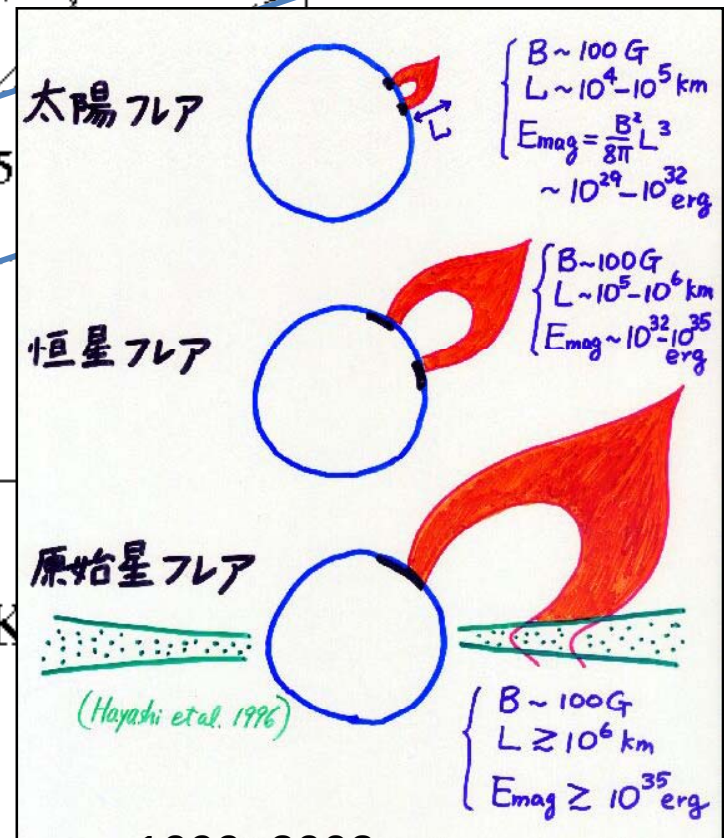


Shibata and Yokoyama 1999, 2002

フレアループの長さ＝一定

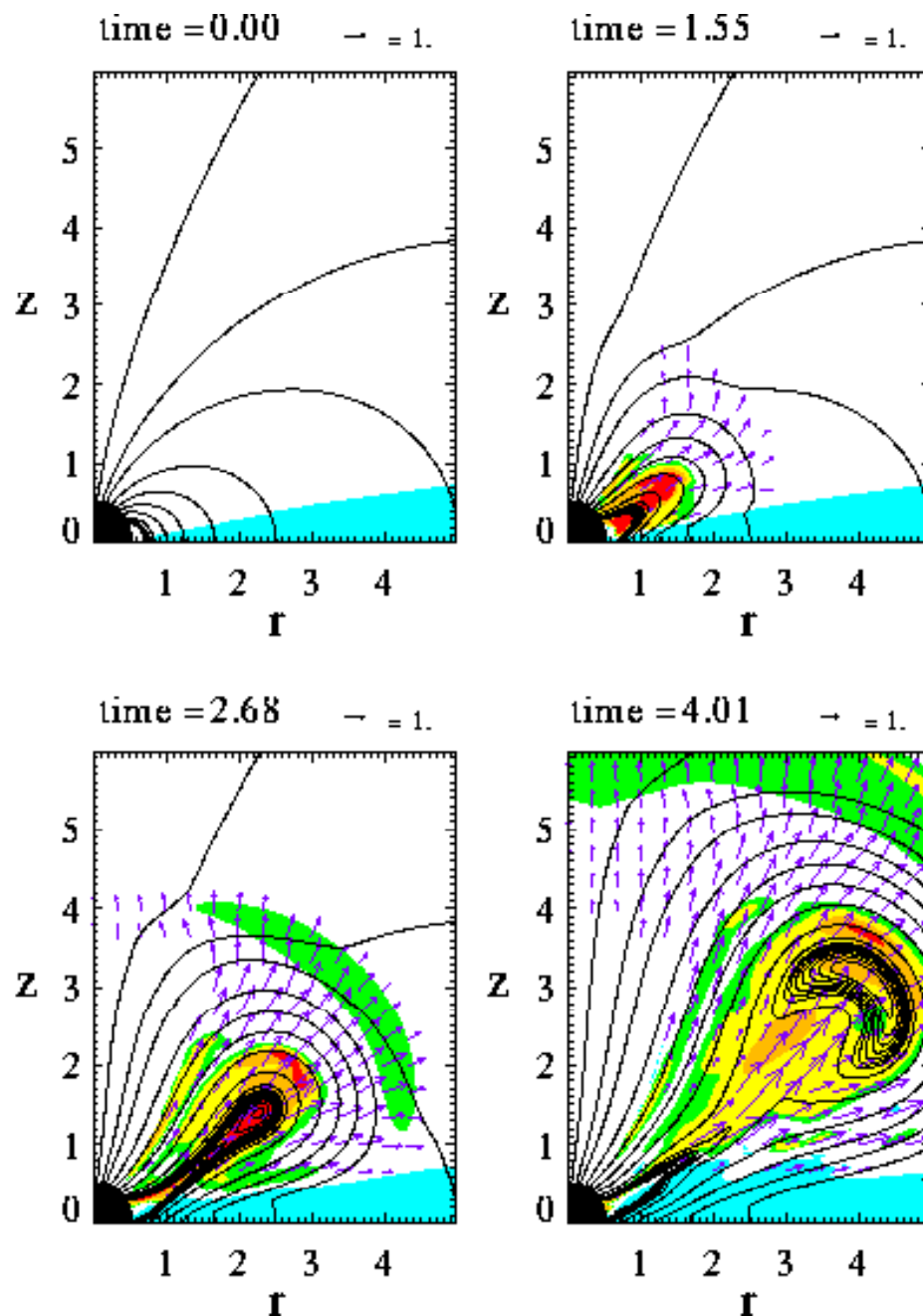
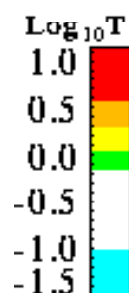
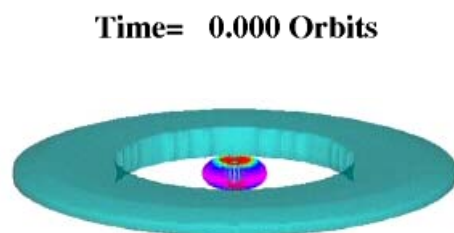


原始星フレアが1億度であるのは、
フレアループのサイズが大きいから

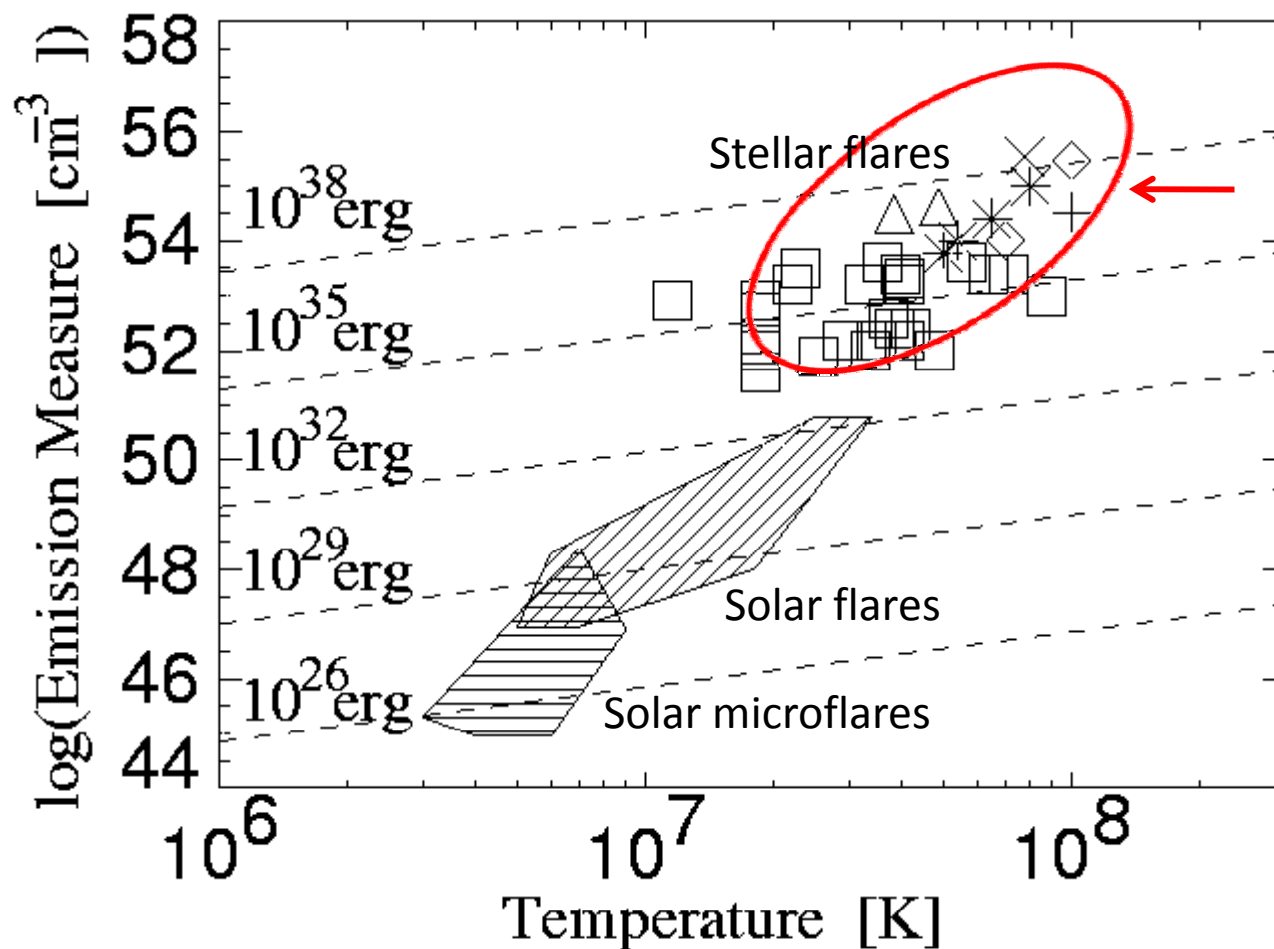


Shibata and Yokoyama 1999, 2002

原始星フレアとジェット のモデル (林、松元、 柴田 1996)



太陽フレアと恒星フレア の解放する全エネルギー

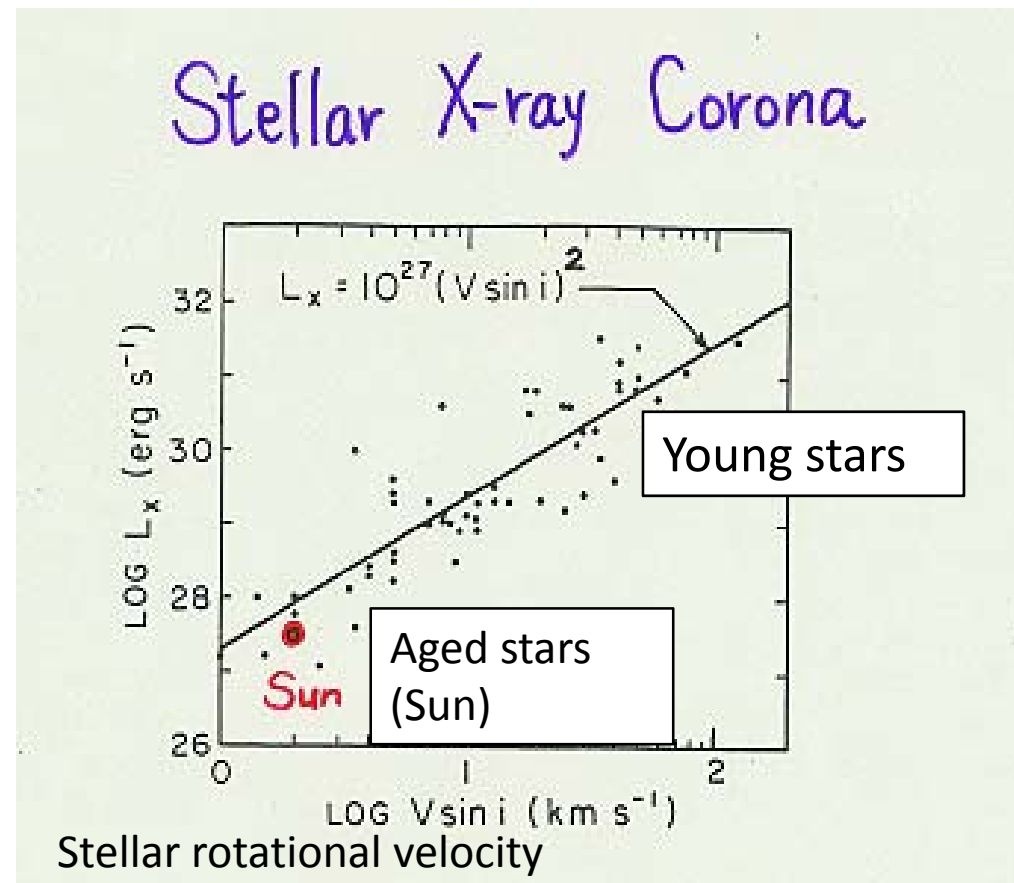
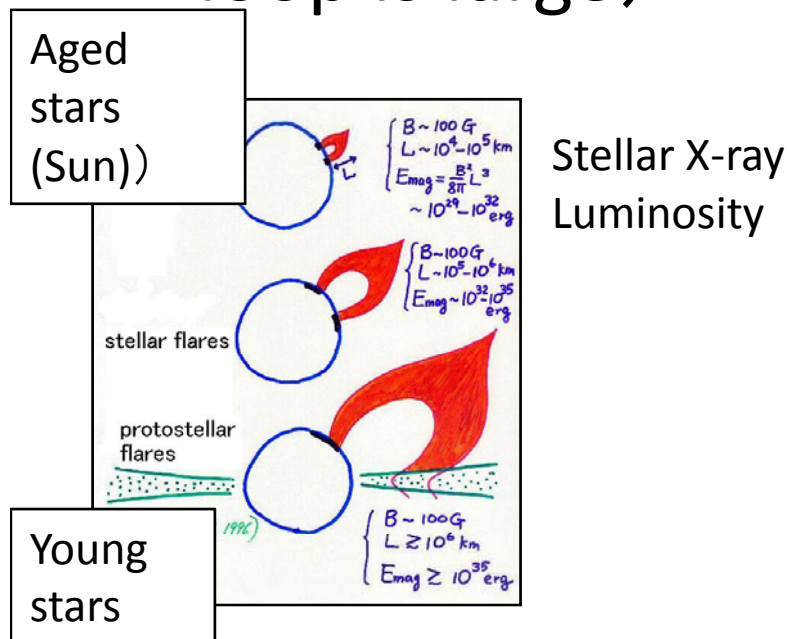


スーパー
フレア
(最大の
太陽フレア
の10倍
～100万倍)

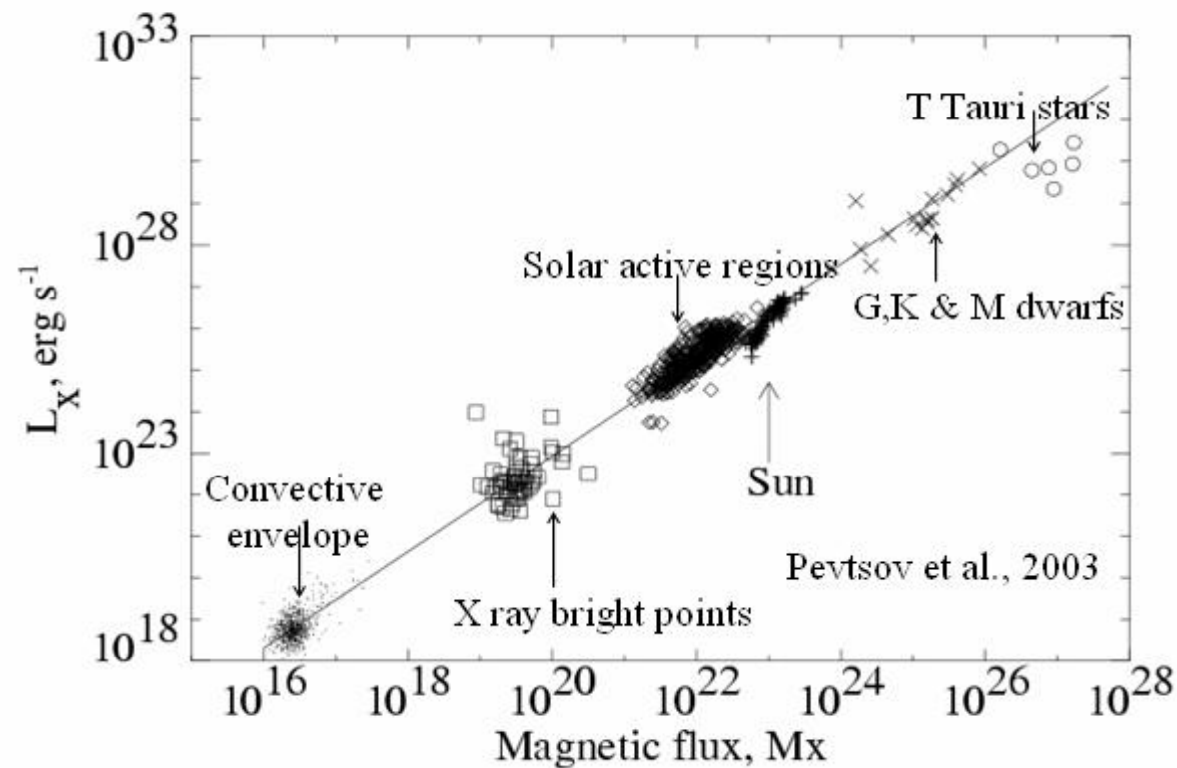
これらは
若い星あるいは
自転の速い星

なぜ若い星はスーパーフレアを起こすのか？

- Answer: young star's rotation is fast
(so dynamo is active and total magnetic flux is large => loop is large)



X-ray Luminosity vs Total Magnetic Flux for stars and solar active regions



Pevtsov et al. (2003) ApJ

太陽でスーパーフレアは 起きるのか？

- 太陽はすでに若くなく、自転速度も遅いので、現在は、それほど大きなフレアは起きないと予想される。
- と、最近まで思っていたが、、、

驚くべき発見があった

太陽型星のスーパーフレア

通常の太陽型恒星におけるスーパーフレアの発見

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

ApJ, 529, 1026 (2000)

- 普通の太陽型恒星でスーパーフレア (最大の太陽フレアのエネルギーの10倍～100万倍) を9例発見
- スペクトル型 F8-G8 の主系列星
- 自転速度は遅い(太陽程度)、若い星ではない

9例のスーパーフレア

TABLE 1
SUPERFLARES

Schaefer et al. (2000) ApJ 529, 1026

Star	Detector	V_{normal}	Amplitude	Duration	Energy (ergs)
Gmb 1830	Photography	6.45	$\Delta B = 0.62 \text{ mag}$	18 minutes	$E_B \sim 1 \times 10^{35}$
κ Cet	Spectroscopy	4.83	$\text{EW(He)} = 0.13 \text{ \AA}$	$\sim 40 \text{ minutes}$	$E \sim 2 \times 10^{34}$
MT Tau	Photography	16.8	$\Delta U = 0.7 \text{ mag}$	$\sim 10 \text{ minutes}$	$E_U \sim 1 \times 10^{35}$
π^1 UMa	X-ray	5.64	$L_X = 10^{29} \text{ ergs s}^{-1}$	$> \sim 35 \text{ minutes}$	$E_X = 2 \times 10^{33}$
S For	Visual	8.64	$\Delta V \sim 3 \text{ mag}$	17–367 minutes	$E_V \sim 2 \times 10^{38}$
BD + 10°2783	X-ray	10.0	$L_X = 2 \times 10^{31} \text{ ergs s}^{-1}$	$\sim 49 \text{ minutes}$	$E_X \gg 3 \times 10^{34}$
α Aql	Photometry	5.11	$\Delta V = 0.09 \text{ mag}$	$\sim 5\text{--}15 \text{ days}$	$E_{BV} \approx 9 \times 10^{37}$
5 Ser	Photometry	5.06	$\Delta V = 0.09 \text{ mag}$	$\sim 3\text{--}25 \text{ days}$	$E_{BV} \approx 7 \times 10^{37}$
UU CrB	Photometry	8.63	$\Delta I = 0.30 \text{ mag}$	$> \sim 57 \text{ minutes}$	$E_{\text{opt}} = 7 \times 10^{35}$

ただし、たった9例なので、どこまで一般性があるか？

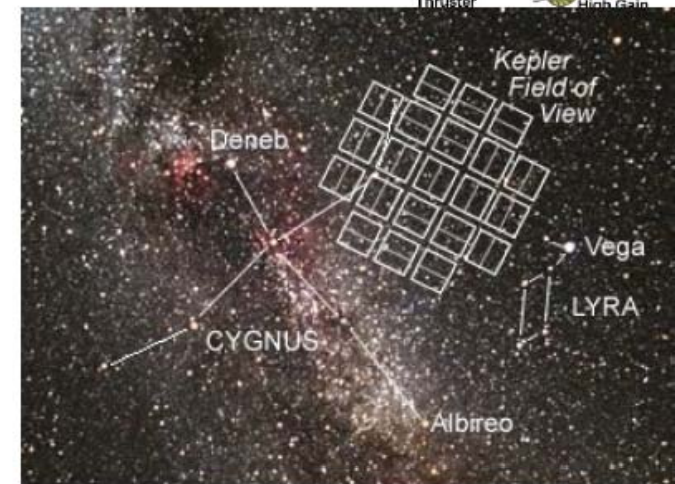
- それで、京大のグループで、ケプラー 衛星で観測された太陽型恒星のデータ中に、スーパーフレアの証拠を探してみた。
- そしたら、365例のスーパーフレアを発見！

太陽型星における スーパーフレアの発見 I

○柴山拓也、柴田一成、前原裕之、本田敏志、野上大作、野津湧太、野津翔太、長尾崇史、草場哲(京都大学)、新井彰(京都産業大学)

ケプラー 衛星

- 太陽系外惑星探査衛星
- 惑星が中心星の前を通過するとき、星の明るさが少し減少する。それを検出することにより、惑星を検出。
- 95 cm 口径の反射望遠鏡
- はくちょう座と琴座の15万星を常時モニター観測
- 30分間隔の観測データを公開



Superflares on solar-type stars

Hiroyuki Maehara¹, Takuya Shibayama¹, Shota Notsu¹, Yuta Notsu¹, Takashi Nagao¹, Satoshi Kusaba¹, Satoshi Honda¹, Daisaku Nogami¹ & Kazunari Shibata¹

Solar flares are caused by the sudden release of magnetic energy stored near sunspots. They release 10^{29} to 10^{32} ergs of energy on a timescale of hours¹. Similar flares have been observed on many stars, with larger ‘superflares’ seen on a variety of stars^{2,3}, some of which are rapidly rotating^{4,5} and some of which are of ordinary solar type^{3,6}. The small number of superflares observed on solar-type stars has hitherto precluded a detailed study of them. Here we report observations of 365 superflares, including some from slowly rotating solar-type stars, from about 83,000 stars observed over 120 days. Quasi-periodic brightness modulations observed in the solar-type stars suggest that they have much larger starspots than does the Sun. The maximum energy of the flare is not correlated with the stellar rotation period, but the data suggest that superflares occur more frequently on rapidly rotating stars. It has been proposed that hot Jupiters may be important in the generation of superflares on solar-type stars⁷, but none have been discovered around the stars that we have studied, indicating that hot Jupiters associated with superflares are rare.

We searched for stellar flares on solar-type stars (main-sequence stars) using data collected by NASA’s Kepler⁸ during the period from April 2009 to December 2009 (a brief description of the flare search method is described in the legend of Fig. 1 and is provided in Supplementary Information). We used effective temperature (T_{eff}) and the surface gravity ($\log(g)$) available in the Kepler Input Catalog⁹ to select solar-type stars. The selection criteria are as follows: $5,100 \text{ K} \leq T_{\text{eff}} < 6,000 \text{ K}$, $\log(g) \geq 4.0$. The number of solar-type stars are 9,751 for quarter 0 of the Kepler mission (length of observation period is about 10 d), 75,728 for quarter 1 (90 d), 83,094 for quarter 2 (90 d) and 3,691 for quarter 3 (90 d).

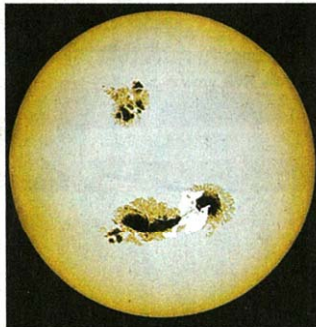
We found 365 superflares (flares with energy $> 10^{33}$ erg) on 103 solar-type stars (light curves of each flare are shown in Supplementary Fig. 8 and properties of each flare star are listed in Supplementary Table 1). The durations of the detected flares are typically a few hours, and their amplitudes are generally $> 0.1\%$ of the stellar luminosity. The bolometric luminosity and bolometric energy of each flare were estimated from the effective temperature in the Kepler Input Catalog and the

2012年(平成24年)5月17日 木曜日 享月

太陽も「スーパー爆発」!?

通信障害など懸念

スーパーフレア(白い部分)の想像図(京都大提供)



太陽では起きないと考えられていた大規模な爆発「スーパーフレア」が起きるかもしれないことが、京都大グループの解析でわかった。発生すれば広範囲での通信障害や停電、上空の航空機内での放射線被曝といった懸念が浮上している。

环球网 科技
tech.huanqiu.com

滚动新闻 资讯排行 RSS订阅

位置: 环球网 > 科技 > 科学探索 > 正文

太阳可能爆发超级耀斑 届时地球将遭灭顶之灾

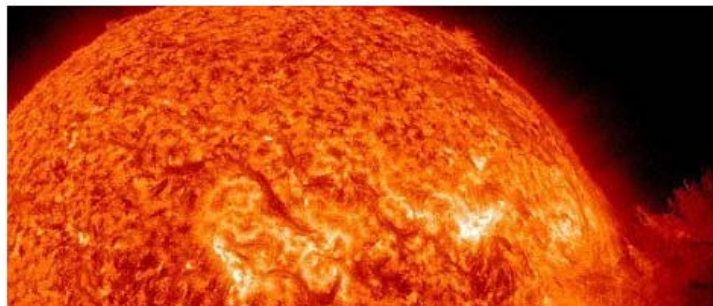
12-05-18 19:54

新华网

请快来参与

分享到:

摘要: 日本京都大学附属天文台教授柴田一成率领的研究小组在新一期英国《自然》杂志网络版上报告说, 太阳表面也有可能发生称为“超级耀斑”的巨大爆发。而此前科学家认为太阳不会出现超级耀斑。



BBC

News

Sport

Weather

Travel

Future

NEWS SCIENCE & ENVIRONMENT

Home UK Africa Asia Europe Latin America Mid-East US & Canada Business Health Sci/Env

17 May 2012 Last updated at 13:37 GMT

Share

Kepler telescope studies star superflares



By Jonathan Amos

Science correspondent, BBC News

Nasa's Kepler space telescope has provided fresh insight on the colossal explosions that can afflict some stars.



태양에서 초거대 폭발 가능성

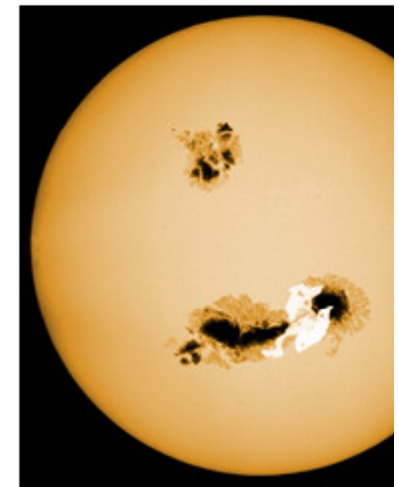
12/05/17 11:09

초거대 폭발현상 '슈퍼플레어(Superflare)'가 태양의 표면에서 일어날지도 모른다는 해석결과를 교토(京都)대부속 천문대 그룹이 16일자 영국 과학저널 <네이처> 전자판에 발표했다.

태양에서는 태양계 최대 폭발현상이라고 여겨지는 플레어가 일어나고 있으며 그 때 발생하는 자기풍으로 통신장애 및 정전 등이 발생하고 있다.

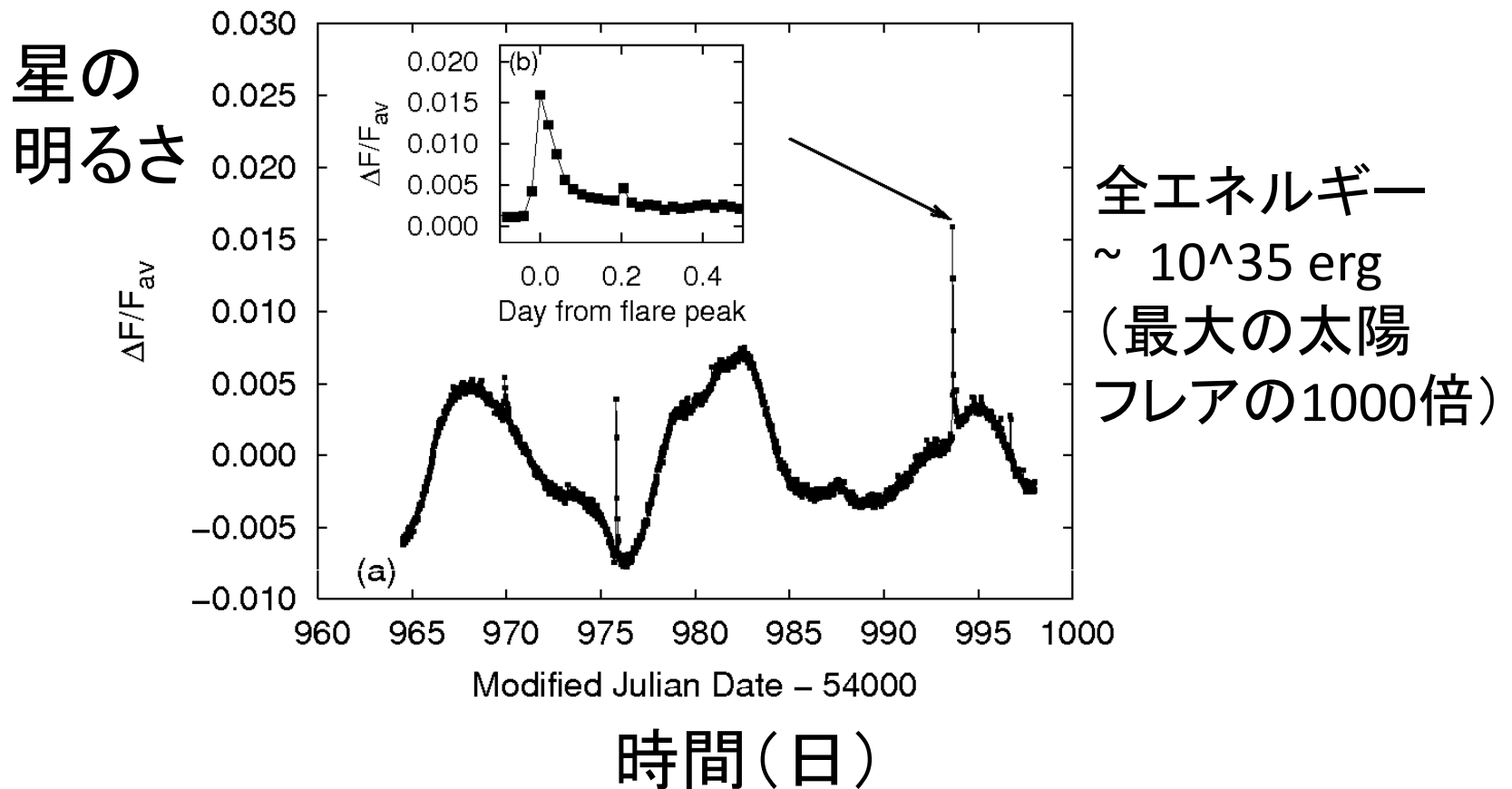
슈퍼플레어는 방출되는 에너지가 태양 플레어 가운데 최대급 플레어의 10배~100만배에 달한다. 태양에서 슈퍼플레어는 일어나지 않는다는 통설에 의의(疑義)를 제기하는 결과로, 그룹은 "(슈퍼플레어가) 발생한다면 지구는 큰 피해를 입을 것으로 예상돼 연구를 더 진전시키고 싶다"고 말했다.

그룹의 시바타 카즈나리(柴田一成) 교수(태양·우주플라즈마물리학) 등은 미항공우주국(NASA)의 행성탐사기 '케플러'가 2009년 4~12월에 관측한 데이터를 이용, 지구에



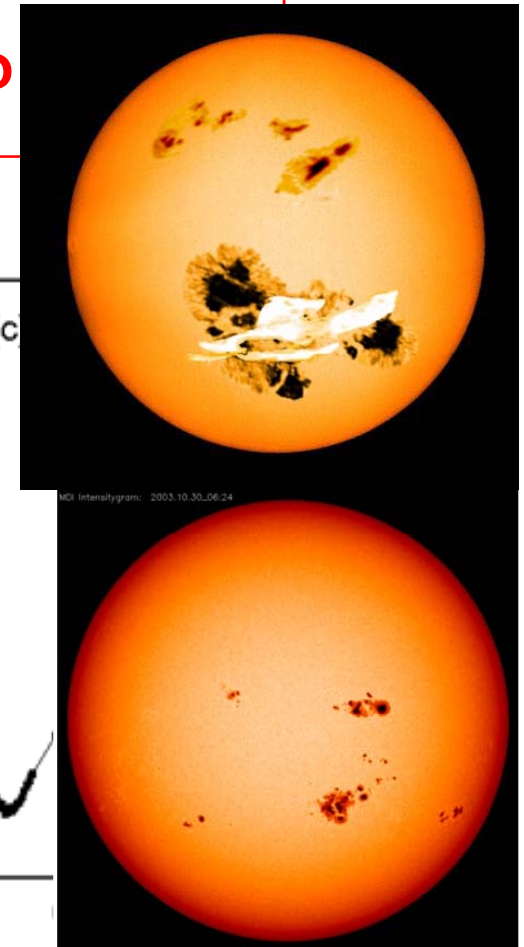
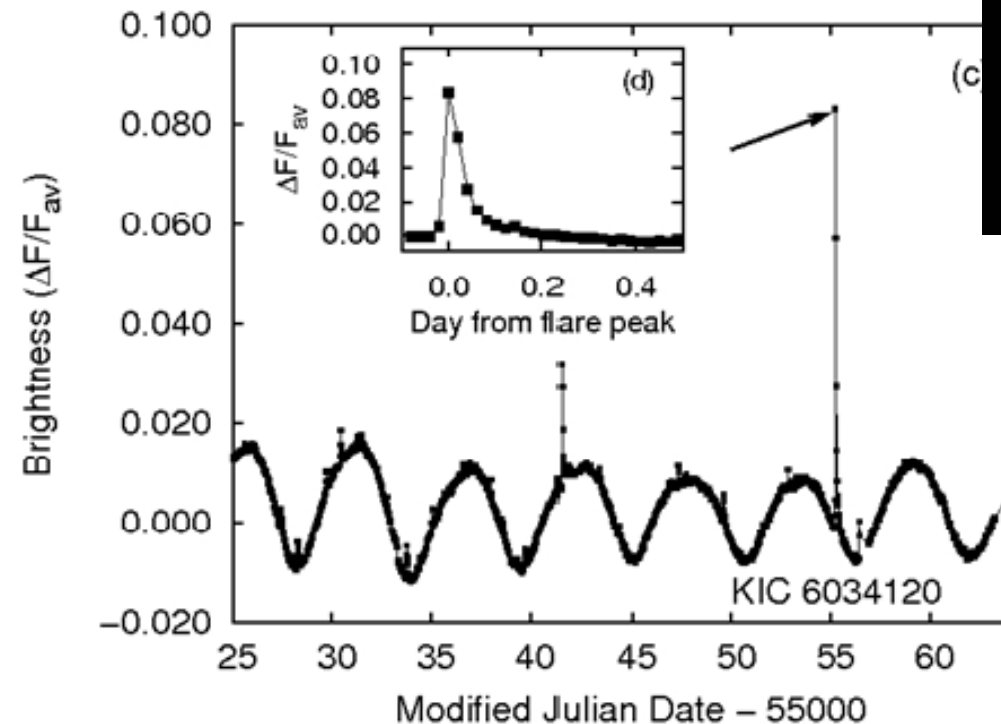
‘태양형 별’에서 슈퍼플레어(중앙의 하얀 부분)가 일어날 경우의 상. 대부속천문대=京都大付属天文台 제공】2012/05/16

ケプラー衛星によって観測された スーパーフレア(例1)



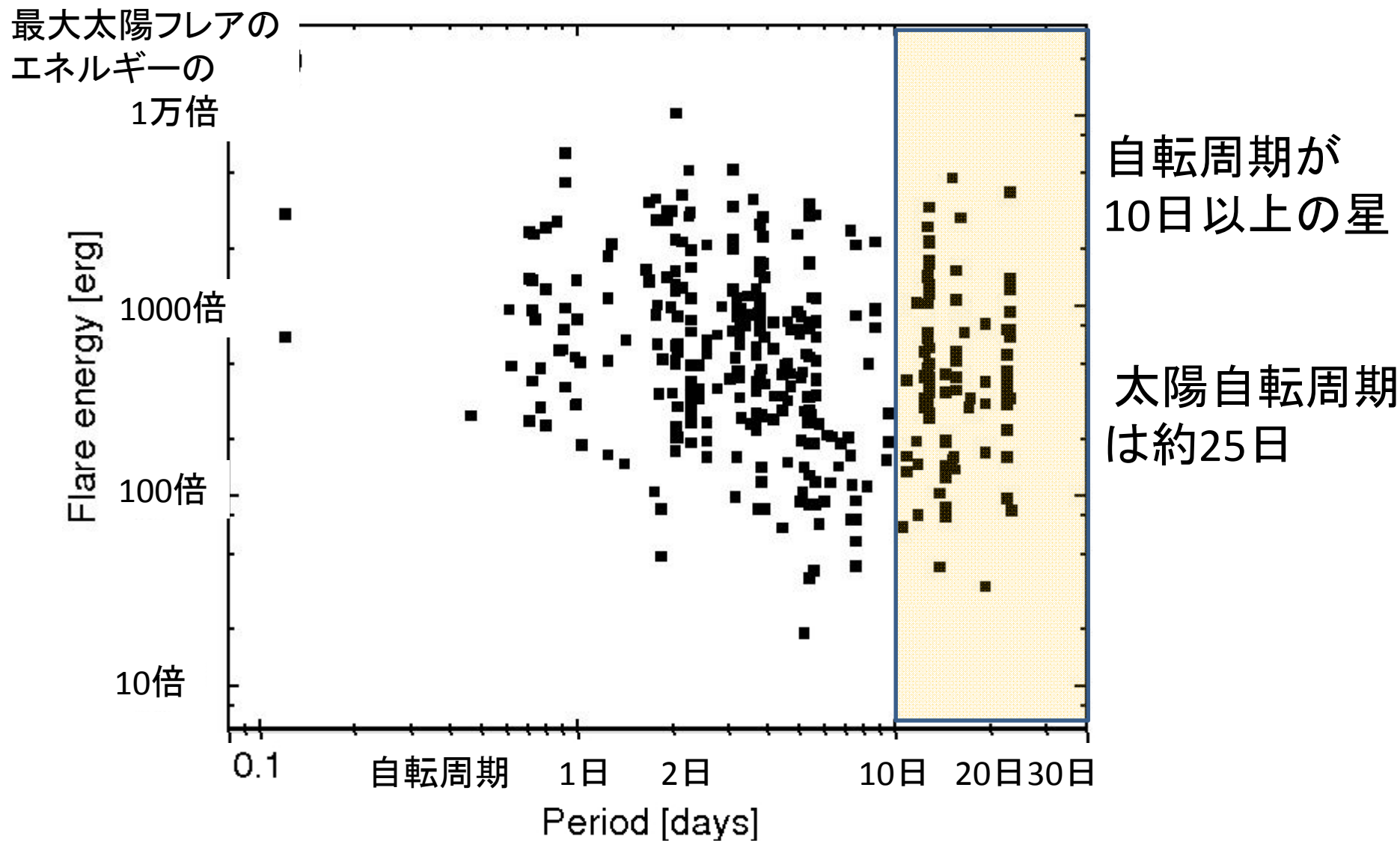
What is the cause of stellar brightness variation ?

Brightness
of a star
and a flare



It is likely due to rotation of a star
with a big star spot

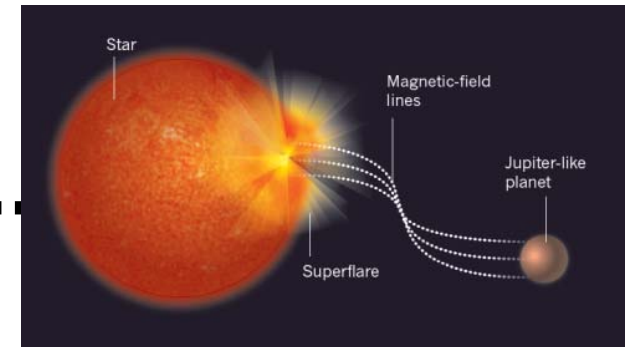
フレア・エネルギー vs 自転周期



太陽でスーパーフレアは起こるか？

これまでの説

- 太陽型星でのスーパーフレアの必要条件の1つとして、ホットジュピター（星のすぐ近くを公転する木星のような巨大惑星）の存在が考えられていた
- 太陽ではスーパーフレアは起こらない



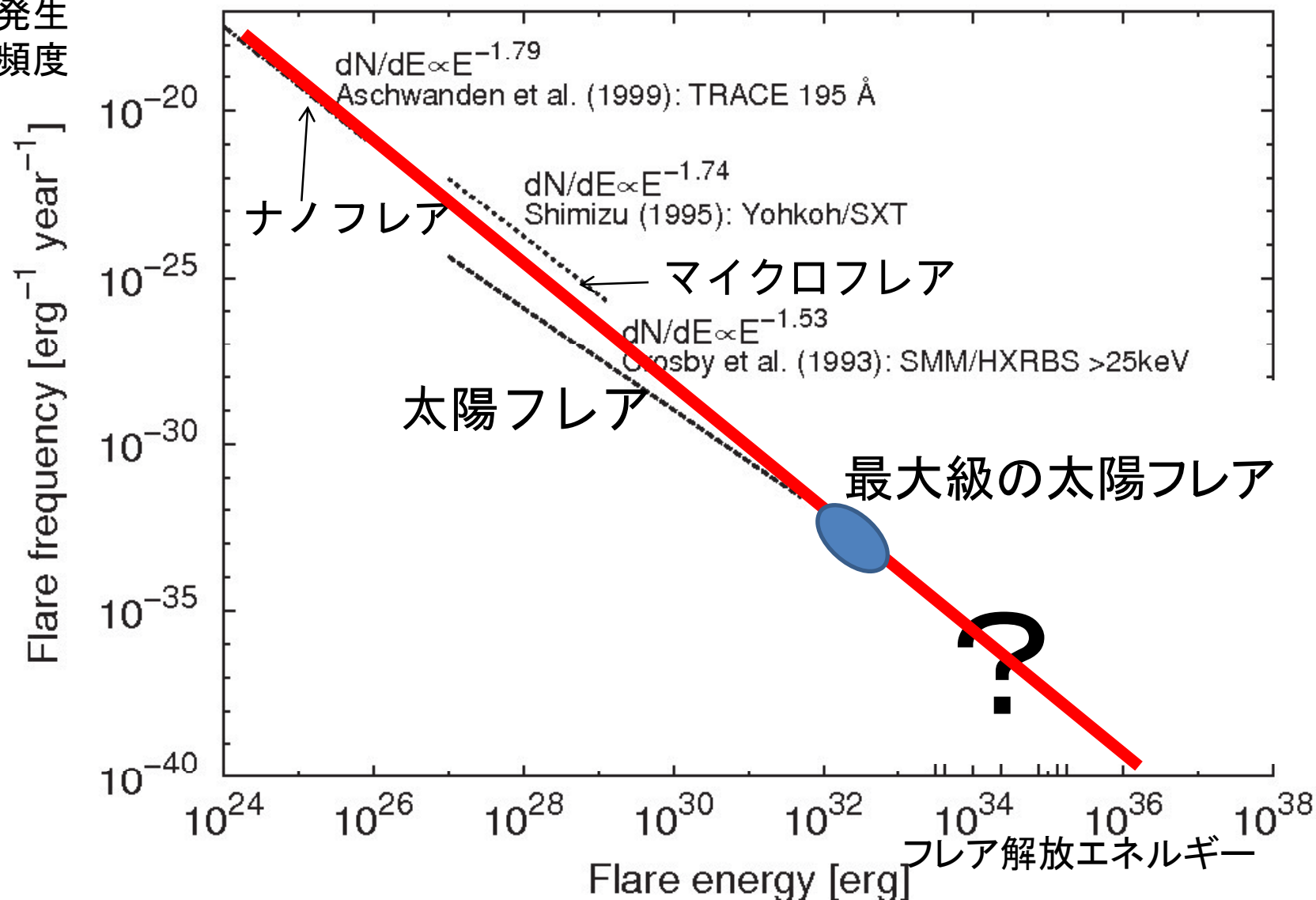
この研究で分かったこと

- スーパーフレアを起こす 148星の中に惑星が発見された星は1つもない
- 全てのスーパーフレアがホットジュピターによって引き起こされているとするならば、10個程度は惑星を持つ星が見つかる予想される。
- 巨大フレアと関係のあるホットジュピターは稀

太陽フレアとスーパーフレアの 発生頻度分布

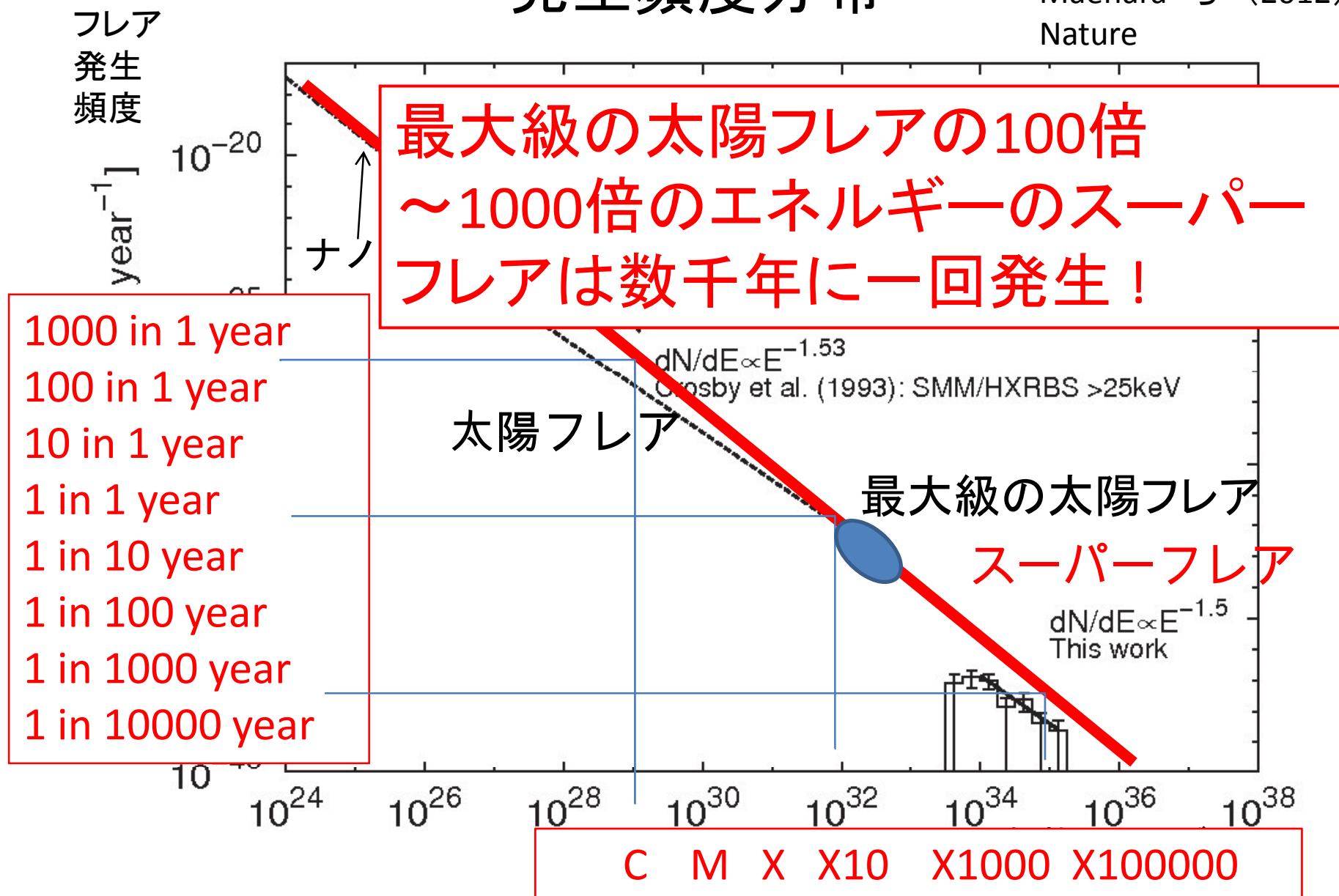
Maehara ら (2012)
Nature

フレア
発生
頻度



太陽フレアとスーパーフレアの 発生頻度分布

Maehara ら (2012)
Nature



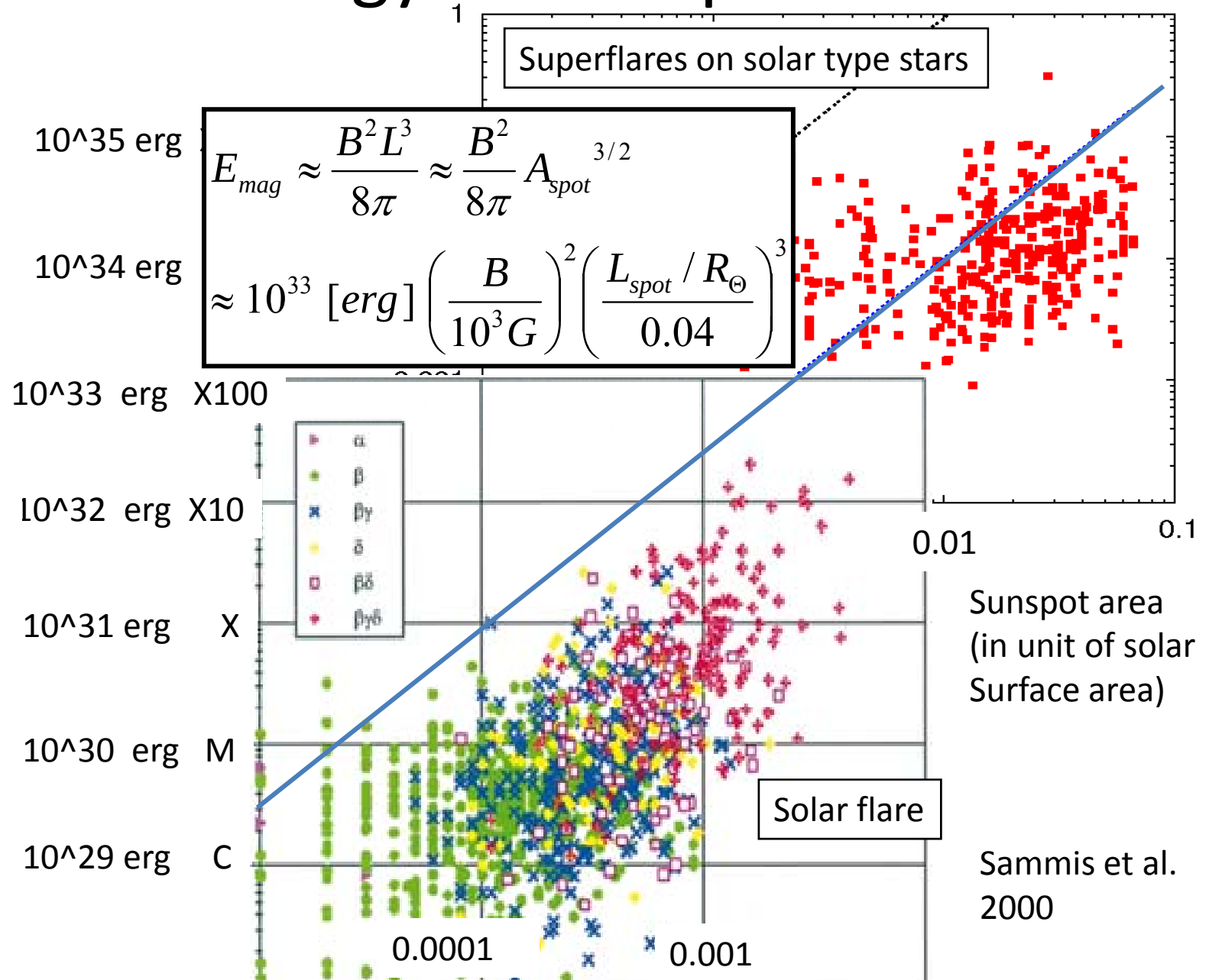
まとめ

- 太陽における様々なフレア現象はリコネクションにより、統一的に理解できる。ただし、リコネクションの物理は未解明。
- (太陽観測をヒントにして、**Plasmoid-induced-reconnection** と **fractal reconnection** というアイデアが提唱された。フラクタル・リコネクションはマクロとミクロをつなぐのに好都合。)
- 恒星フレアも磁気リコネクションによって統一的に説明可能。
- 自転速度が太陽と同じくらいの太陽型星で、スーパーフレア (10^{34} - 10^{35} erg) が100例以上発見された。その統計的解析の結果、**我々の太陽で、最大級のフレアの100-1000倍のスーパーフレアは、800-5000年に一度の頻度で起こる可能性があることが判明した。**
=> 本当に起きれば、地球は大災害！
- 今後は、スーパーフレア星の分光偏光観測、X線・電波観測が重要。

太陽型星のスーパーフレアのより詳しい研究結果
=> 前原講演

ご清聴ありがとうございました

Flare energy vs sunspot area



京大岡山3.8m望遠鏡計画

京大 岡山 実行 岡山 2006年(平成18年)8月2日 水曜日

口径3.8メートル アジア最大の望遠鏡

岡山に11年完成



京大が、国立天文台と共同で、岡山県にアジア地域で最大の口径3.8メートルの望遠鏡を建設すると発表した。日本初の分割鏡式の望遠鏡で、2017年に完成予定。民間から十億円規模の資金援助を受ける。

望遠鏡は、天体観測に好条件な岡山県岡山市の山頂に建設される。岡山県は、天体観測に好条件な岡山県岡山市の山頂に建設される。岡山県は、天体観測に好条件な岡山県岡山市の山頂に建設される。

宇宙の謎解明期待

望遠鏡の短期間で製作する技術や、鏡の制御システムなどは、名産大が中心になり、開発を進めている。米ハワイにある「すばる望遠鏡」(ハビ)などの次世代となる、口径30メートル以上の超大型望遠鏡を実現するための世界初技術といえる。

技術開発と望遠鏡製作のために設立されたベンチャー会社「ナオトラス研究所」(京都府・代表・藤原洋)が、京大と共同で、岡山県にアジア地域で最大の口径3.8メートルの望遠鏡を建設すると発表した。日本初の分割鏡式の望遠鏡で、2017年に完成予定。民間から十億円規模の資金援助を受ける。

望遠鏡の短期間で製作する技術や、鏡の制御システムなどは、名産大が中心になり、開発を進めている。米ハワイにある「すばる望遠鏡」(ハビ)などの次世代となる、口径30メートル以上の超大型望遠鏡を実現するための世界初技術といえる。

技術開発と望遠鏡製作のために設立されたベンチャー会社「ナオトラス研究所」(京都府・代表・藤原洋)が、京大と共同で、岡山県にアジア地域で最大の口径3.8メートルの望遠鏡を建設すると発表した。日本初の分割鏡式の望遠鏡で、2017年に完成予定。民間から十億円規模の資金援助を受ける。



超巨大30m望遠鏡の基礎技術開発

ガンマ線バーストなどの突発天体や系外惑星、太陽型星のスーパーフレアを探索、解明

京大同窓生の藤原洋さんの資金援助(6億円)による産学連携により開始。3年後完成予定。

ただし予算が足りない

ぜひ、ご支援を！

「国内最大の望遠鏡作りに力を貸してほしい」。京大時代の同級生の依頼に私財を投じて応えることにした。建設費10億円の大半を負担する。そのための会社も設立した。「期待されていると思う」と使命感が生まれた。天文少年で宇宙物理学を専攻したが、京大は理論が強く観測はもうひと

同建設する望遠鏡は直径3.8メートル。世界的には小ぶりだが「ここで開発する分割鏡製作の技術が面白い」。世界最大級のすばる望遠鏡(口径8.2メートル)は一枚鏡。次に

「これで世界と勝負できない」と直観し、コンピューターの世界へ進んだ。企業家として活躍する傍ら「基礎科学が官に支配されるのはおかしい」と考えてきた。岡山県に京大などと共に

民間の企業家も 基礎科学に資金を

鏡を組み合わせた分割鏡が欠かせないからだ。鏡は超精密技術を誇る岐阜県の会社が開発中の研削機で削る。「従来は手作業で磨いたが、これで製作時間を大幅短縮できる」。次世代望遠鏡に必要な高精度の鏡を素早く作る技術を別の産業に

た。浮世離れしていると侮ることはできない。他大学が計画する望遠鏡への支援も頭の中にある。「学術に貢献しつつビジネスを作っていく時代。21世紀型の企業家学をめざしたい」

文・青野由利 写真・平田明浩

福岡県生まれ。日本IBMなどを経て、96年にインターネット総合研究所を設立。工学博士。岡山県に建設する望遠鏡は11年に利用開始予定。52歳。

京都新聞

5月17日

スーパーフレア論文

柴田 成教授(中央)の指導を受け、スーパーフレアの研究に参加した京都大理学部3年生たち「京都市左京区・京大、撮影・熊谷修」



膨大なデータ解析

者に日本人の学部学生が名前を連ねるのは珍しく、「大きな成果が出せてうれしい」と今後の勉強と研究に意気込みを見せている。

柴田拓也さん(21)、双子の野津瀬太さん(20)と翔太さん、長尾崇史さん(21)、草場哲さん(20)。昨1年のときに物理の授業で柴田一

「地球でも 今後の研

生命に危機を及ぼすスーパーフレアが太陽でも起こる可能性を示した注目論文は、京都大理学部3年の学生5人がデータ解析を担った。世界最高峰の学術誌の一つであるネイチャーで、掲載論文の著

京大生の力輝く成果

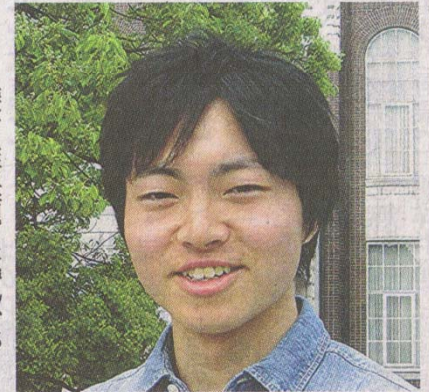
恒星の超巨大爆発の
発見に貢献した京大生

しばやま たくや さん
柴山 拓也さん

銀河系の恒星の表面で起きる超巨大な爆発現象「スーパーフレア」を三百例以上見つけ出す画期的な成果に貢献。太陽で起こる可能性も指摘した京都大チームの報告は英科学誌に載り、大学三年生でありながら教員らと共に著者になった。

「単なる勉強でなく研究をしてみたい」と二年生の秋から京大花山天文台長の柴田一成教授の自主ゼミに参加。十六万個もの星の明るさのデータを精査し、あるかどうか分からない爆発現象を

この人



探す難課題に挑んだ。

別の授業で習得したプログラミングを試し、自分で再現できたら」と夢見作のソフトで解析したら超巨大爆発を示すグラフがいきなりポンと出た。「見つかったじゃん。本う人材」と太鼓判を押当ならやバイ」。下宿のす。愛知県東郷町出身。パソコンを見つめ、一人二十一歳。(芦原千晶)

興奮した。

この結果に教授らも驚き、本格的な研究が始まった。プログラムを改良したり、英語の論文を読み込んだり、学会発表をしたり。研究だけでなく冬は趣味のスキーも。多忙な学生生活を送る。

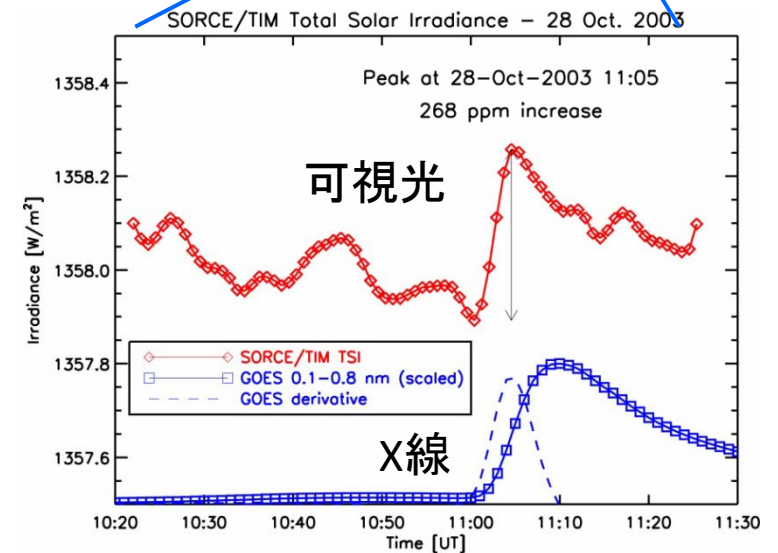
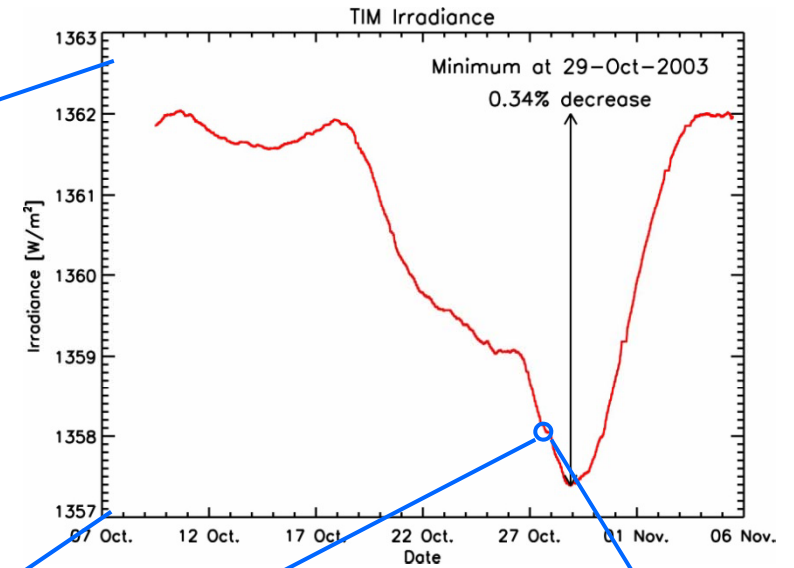
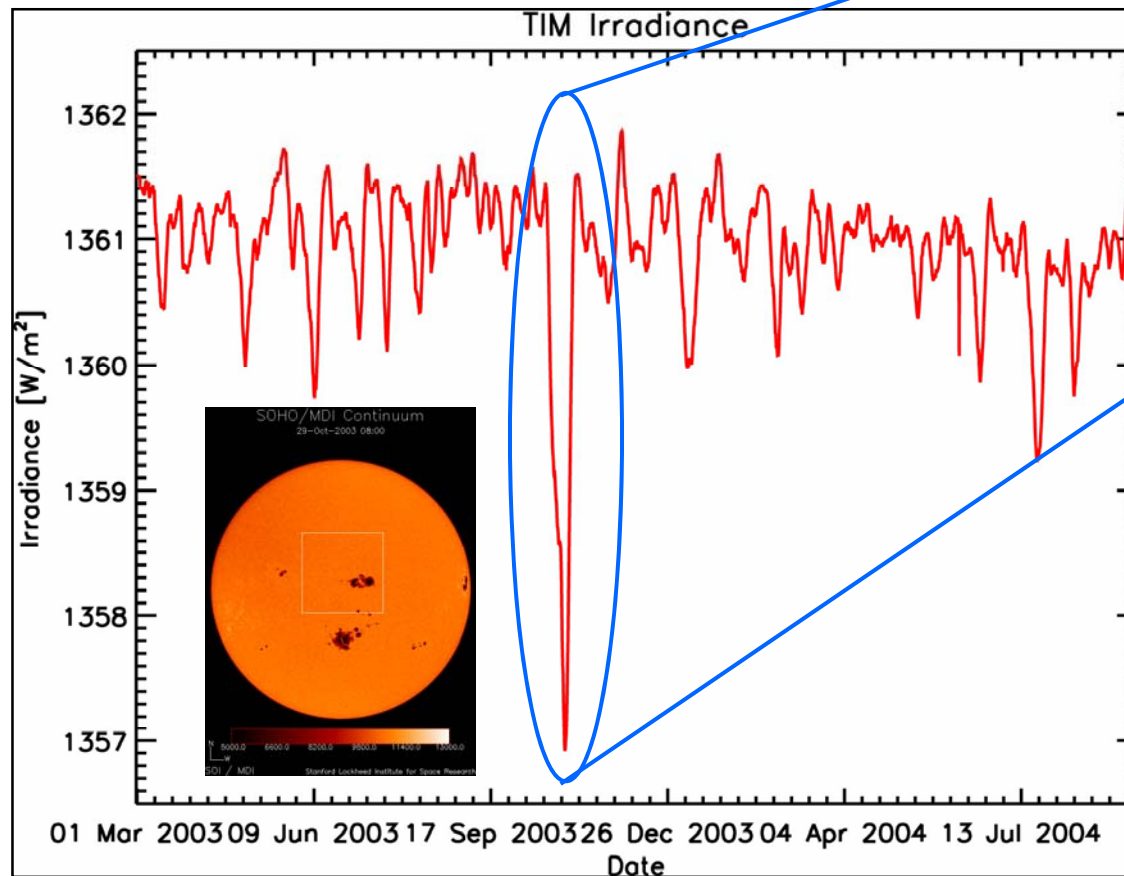
「遠くにしか見えない星の姿をコンピュータで再現できたら」と夢見作のソフトで解析したら超巨大爆発を示すグラフがいきなりポンと出た。

TABLE 2
ARE THE STARS LIKE OUR SUN?

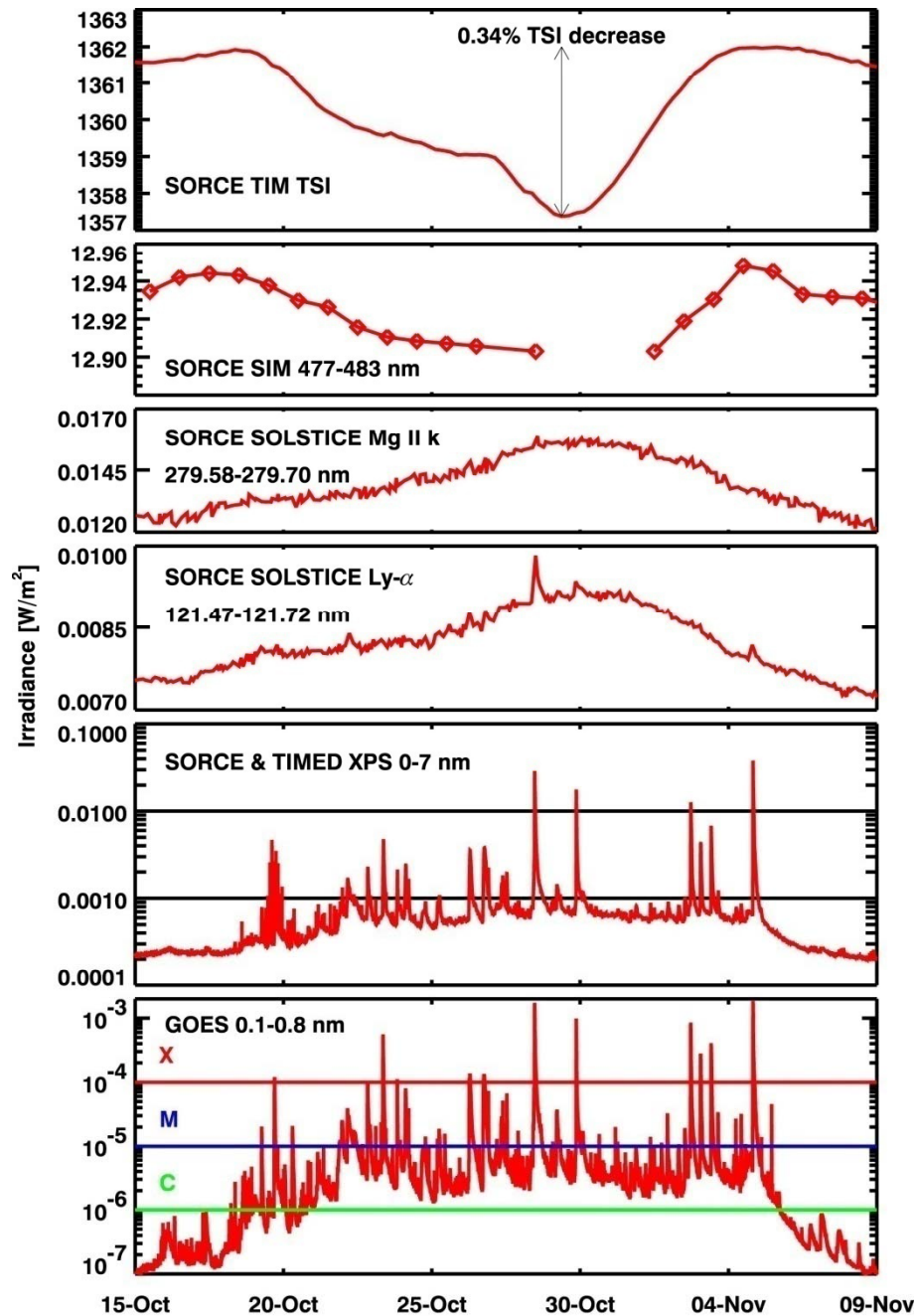
Star	Spectrum	Li EW (mÅ)	$v \cdot \sin(i)$ (km s ⁻¹)	S	L_X (ergs s ⁻¹)	Companion
Gmb 1830	G8 V	4.0	1.3	0.188	$<4 \times 10^{27}$	Single
κ Cet	G5 V	38	8	0.366	8.2×10^{28}	$V = 9.3, a = 269''$
MT Tau	G5 V	...	...	...	$<2 \times 10^{32}$	Single
π^1 UMa	G1.5 Vb	96	9.7	0.367	9.3×10^{28}	Single
S For	G1 V	34	7	...	$<2 \times 10^{29}$	$V = 9.3, a = 0''.3$
BD + 10°2783	G0 V	<23	4	...	$<9 \times 10^{29}$	Single
ρ Aql	F8 V	63	3.9	0.148	$<2 \times 10^{28}$	$V = 13.4, a = 22''$
5 Ser	F8 IV-V	<3	2	0.140	$<3 \times 10^{28}$	$V = 9.7, a = 11''$
UU CrB	F8 V	<12	6	...	$<3 \times 10^{29}$	Single

SORCE TIM Clearly Detects X17 Flare in TSI Time Series

First detection of flare in TSI record (G. Kopp, 2003)



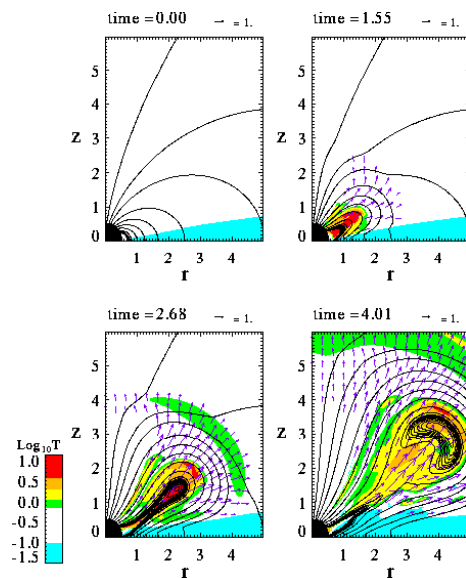
October to November 2003 in Six Wavelengths



The variations during the X17 flare on 28 October 2003 are as large as solar cycle variations (Woods *et al.*, *GRL*, 2004).

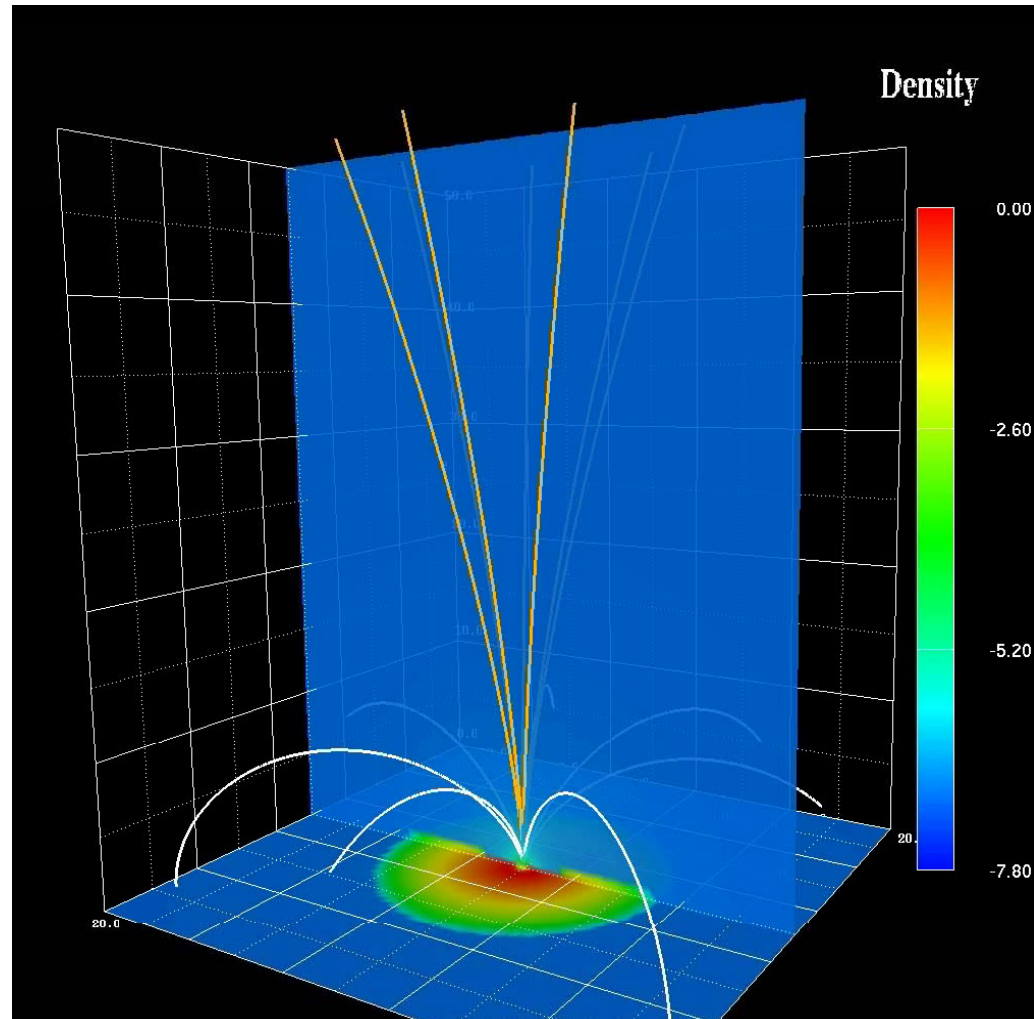
Measurement	Rotation Variability	Flare Variability
TIM TSI	-0.34%	270 ppm
SIM Visible 480 nm	-0.34%	-
SOLSTICE Mg II 280 nm	+20%	11%
SOLSTICE Ly- α 121.6 nm	+25%	20%
XPS XUV 0-7 nm	x 4	x 80
GOES XRS X-ray 0.1-0.8 nm	x 20	x 600

MHD model of protostellar jets as an extension of Hayashi et al (1996) model (Uehara et al. 2005)



Hayashi et al (1996)

A jet consists of two component:
reconnection outflow and
disk wind



スーパーフレアの証拠？

LETTER

doi:10.1038/nature11123

A signature of cosmic-ray increase in AD 774–775 from tree rings in Japan

Fusa Miyake¹, Kentaro Nagaya¹, Kimiaki Masuda¹ & Toshio Naka

Increases in ^{14}C concentrations in tree rings could be attributed to cosmic-ray events^{1–7}, as have increases in ^{10}Be and nitrate in ice cores^{8,9}. The record of the past 3,000 years in the IntCal09 data set¹⁰, which is a time series at 5-year intervals describing the ^{14}C content of trees over a period of approximately 10,000 years, shows three periods during which ^{14}C increased at a rate greater than 3‰ over 10 years. Two of these periods have been measured at high time resolution, but neither showed increases on a timescale of about 1 year (refs 11 and 12). Here we report ^{14}C measurements in annual rings of Japanese cedar trees from AD 750 to AD 820 (the

Corresponding to 10^{35} erg superflare
If this is due to a solar flare

(Miyake et al. Nature ,
2012, June, 486, 240)

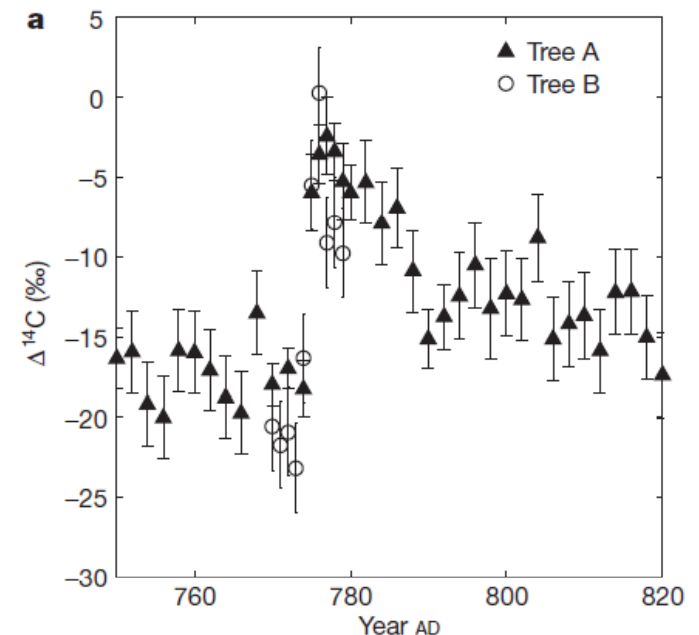
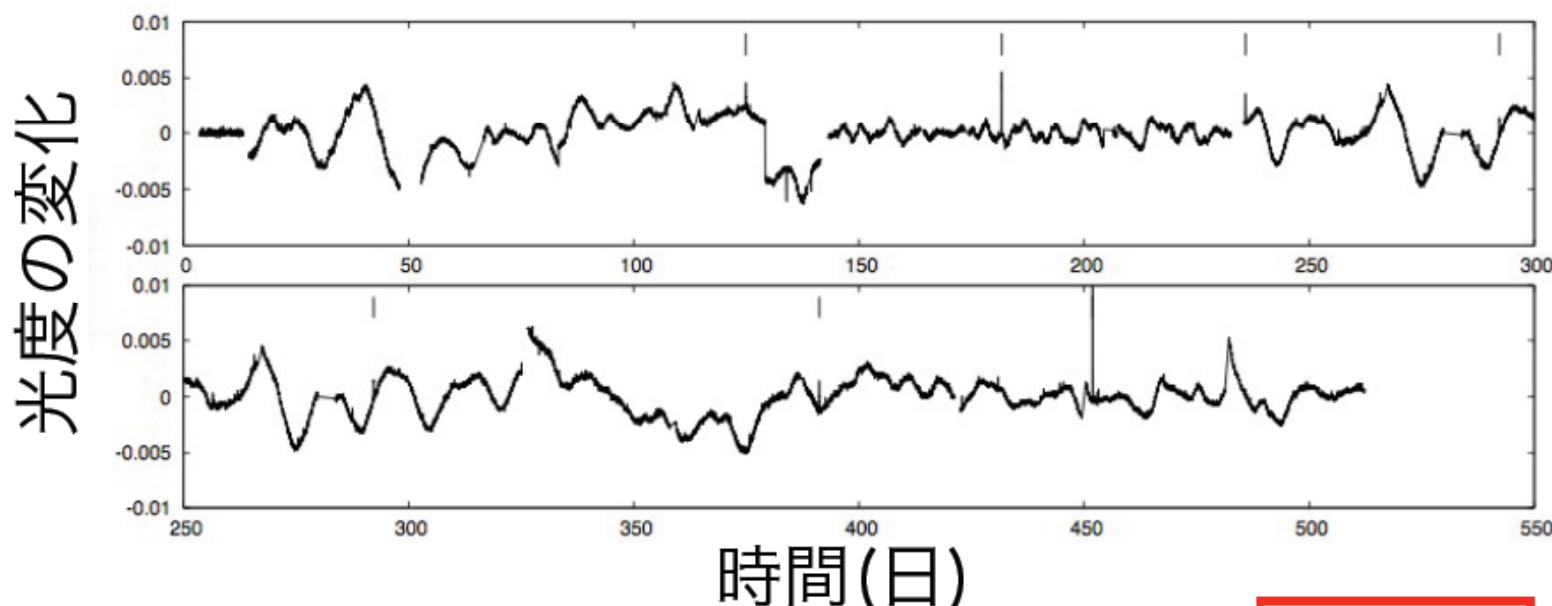


Figure 1 | Measured radiocarbon content and comparison with IntCal98. The concentration of ^{14}C is expressed as $\Delta^{14}\text{C}$, which is the deviation (in ‰) of the $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratio of a sample with respect to modern carbon (standard sample), after correcting for the age and isotopic fractionation³⁰. **a**, $\Delta^{14}\text{C}$ data for tree A (filled triangles with error bars) and tree B (open circles with error bars) for the period AD 750–820 with 1- or 2-year resolution. The typical precision of a single

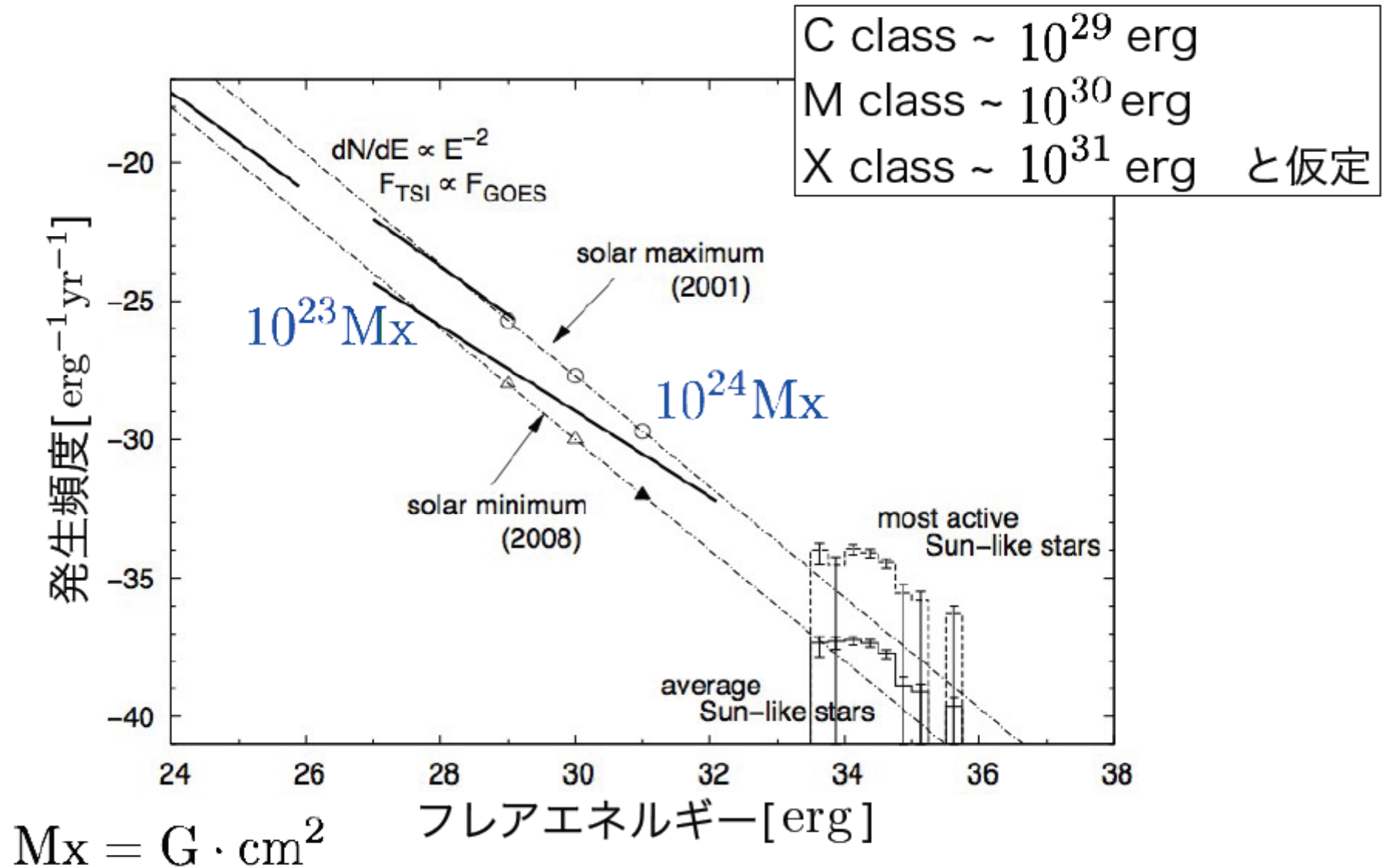
最もスーパースペア発生頻度の高い太陽類似星



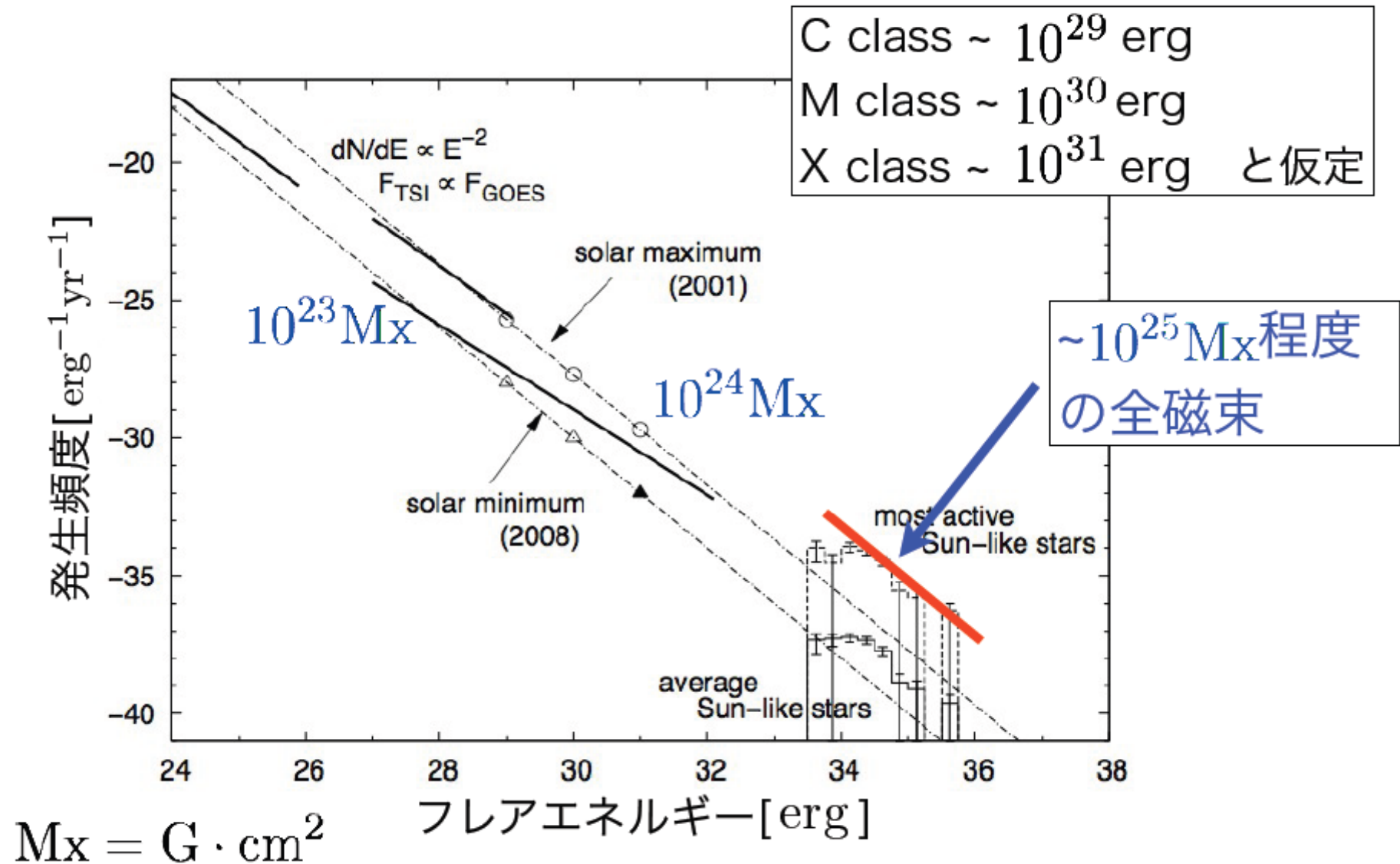
KPID = 10471412 $T_{\text{eff}} = 5771(K)$ $\log g = 4.1$ KPmag = 13.5 $P_{\text{rot}} = 17.1(d)$

- 約500日間に7回のスーパースペアを起こす
(100日に1回以上)
- 最大のフレアは $5 \times 10^{35} \text{erg}$
(最大級の太陽フレアの5000倍)

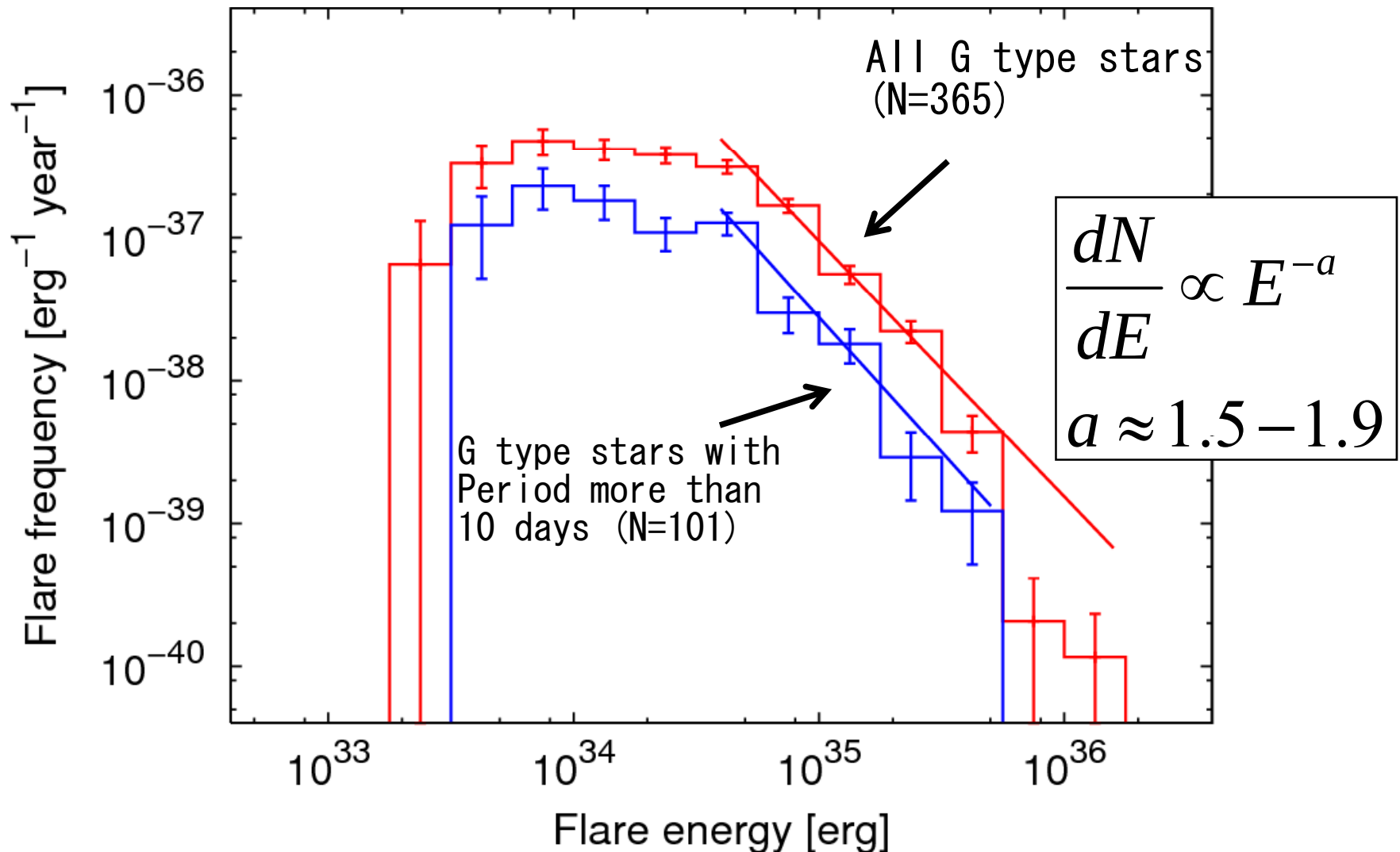
太陽フレアとの比較



太陽フレアとの比較



Occurrence frequency of superflares as a function of flare energy



Mechanism of superflare occurrence

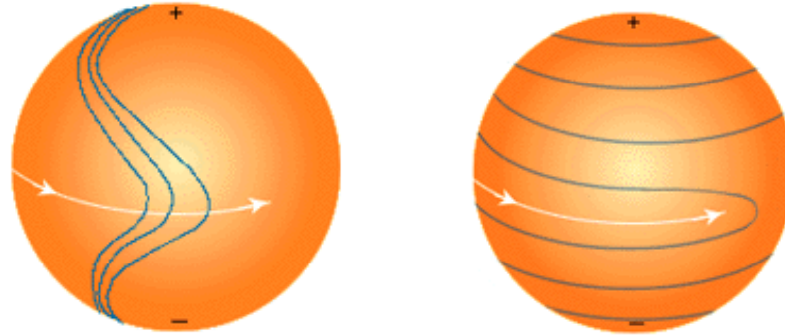
Basic mechanism of superflare is the same as that of solar flares (i.e. reconnection) because MHD is scale free

- Big starspot is necessary

$$E_{flare} \approx f E_{mag} \approx f \frac{B^2 L^3}{8\pi} \approx f \frac{B^2}{8\pi} A_{spot}^{3/2}$$
$$\approx 10^{32} [erg] \left(\frac{f}{0.1} \right) \left(\frac{B}{10^3 G} \right)^2 \left(\frac{L_{spot} / R_{\odot}}{0.04} \right)^3$$

- If $L_{spot} \approx 0.2 - 0.4 R_{\odot}$, $E_{flare} \approx 10^{34} - 10^{35} erg$
 $\Phi \approx B L_{spot}^2 \approx 1 - 4 \times 10^{24} [Mx]$

How to make big star spot ?



$$\frac{dB}{dt} = \text{rot} (V \times B) \approx \text{rot} (r\Omega \times B) \approx \Delta\Omega B_p$$

$$\boxed{\frac{d\Phi}{dt} \approx \frac{d(BS)}{dt} \approx \Delta\Omega B_p S}$$

$$\begin{aligned} \Delta\Omega &\approx \Delta r (d\Omega / dr) \\ &\approx 1.4 \times 10^{-7} \text{ [Hz]} \end{aligned}$$

Is it possible to store such huge magnetic flux below the base of convection zone ?

=> big challenge to dynamo theorist !

Flare frequency vs rotation speed

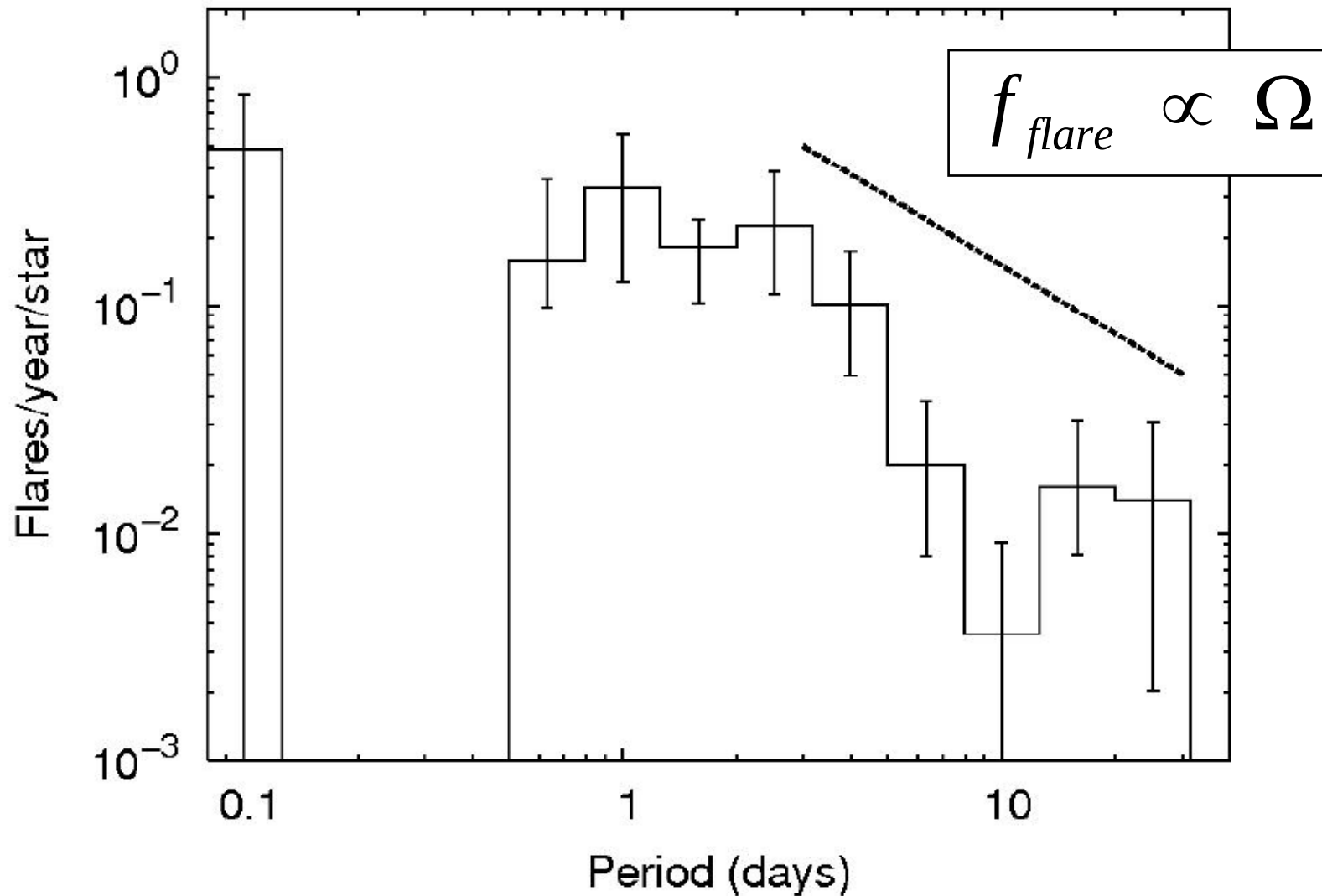
$$\frac{d\Phi}{dt} \approx \frac{d(BS)}{dt} \approx \Delta\Omega B_p S$$

- If $\Delta\Omega \propto \Omega$

$$f_{\text{dynamo}} \approx \frac{d\Phi}{dt} / \Phi \propto \Omega \quad \longrightarrow \quad f_{\text{flare}} \propto \Omega$$

If the flare frequency (f_{flare}) is correlated with magnetic flux generation rate, then we can relate the observed flare frequency with the rotation speed

Observed superflare frequency vs rotation period



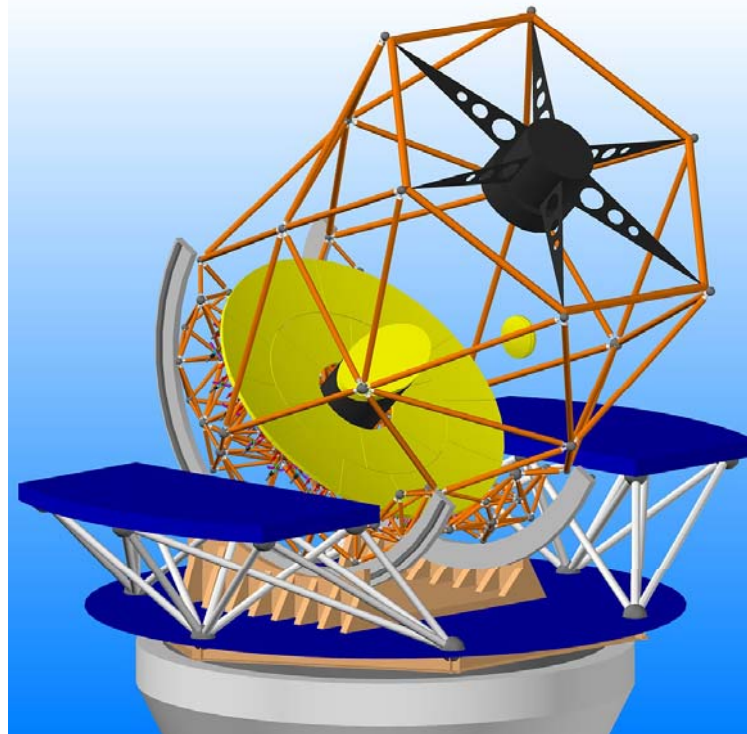
Spectroscopic Observations of Solar type stars causing superflares will be extremely important

Okayama 3.8m New Technology Telescope Project of Kyoto Univ



New Technology

Making Mirrors with
Grinding
Segmented mirror
Ultra Light mounting



High speed photometric
And spectrometric
Observation of
transient objects

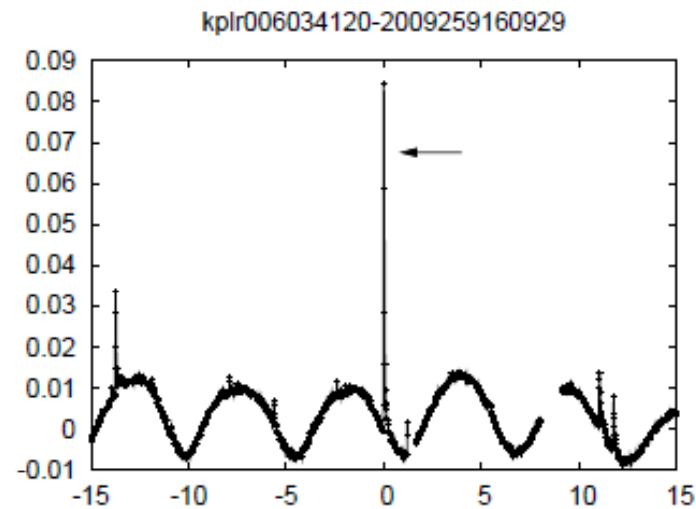
Gamma ray bursts
Stellar flares
(superflares)

Will be completed ~ 2015

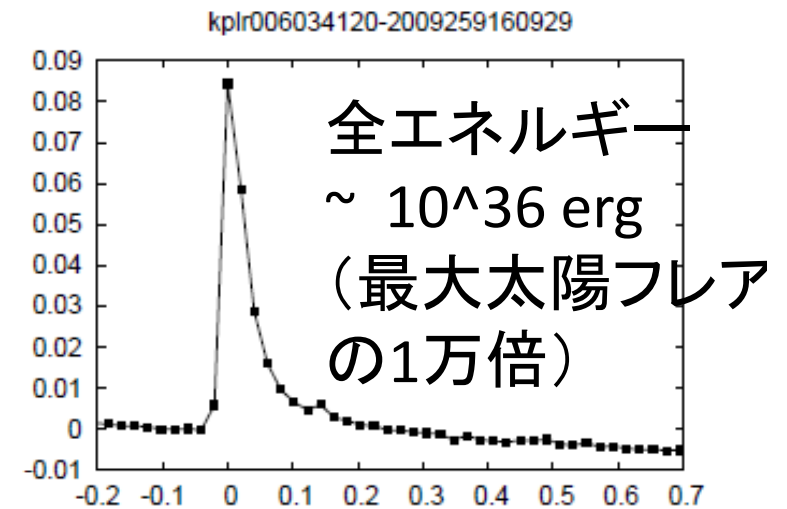
courtesy of Prof. Nagata (Department of Astronomy , Kyoto University)

ケプラー衛星によって観測された スーパーフレア(例 2)

星の明るさ

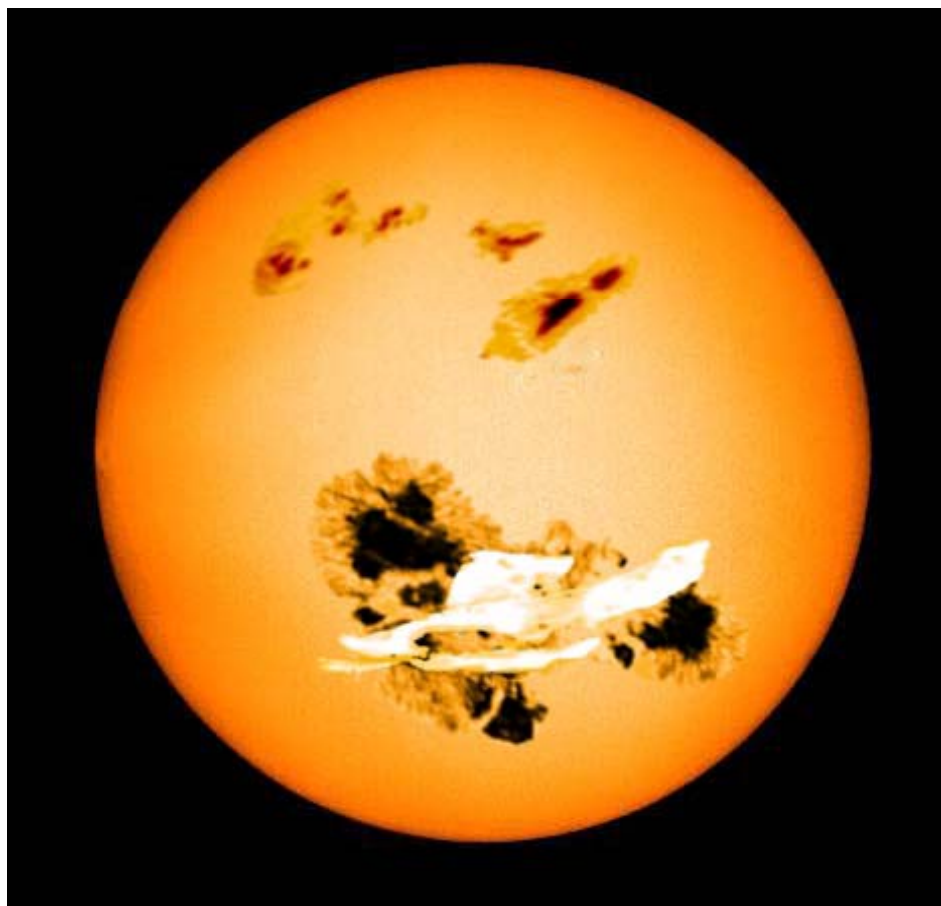


時間(日)

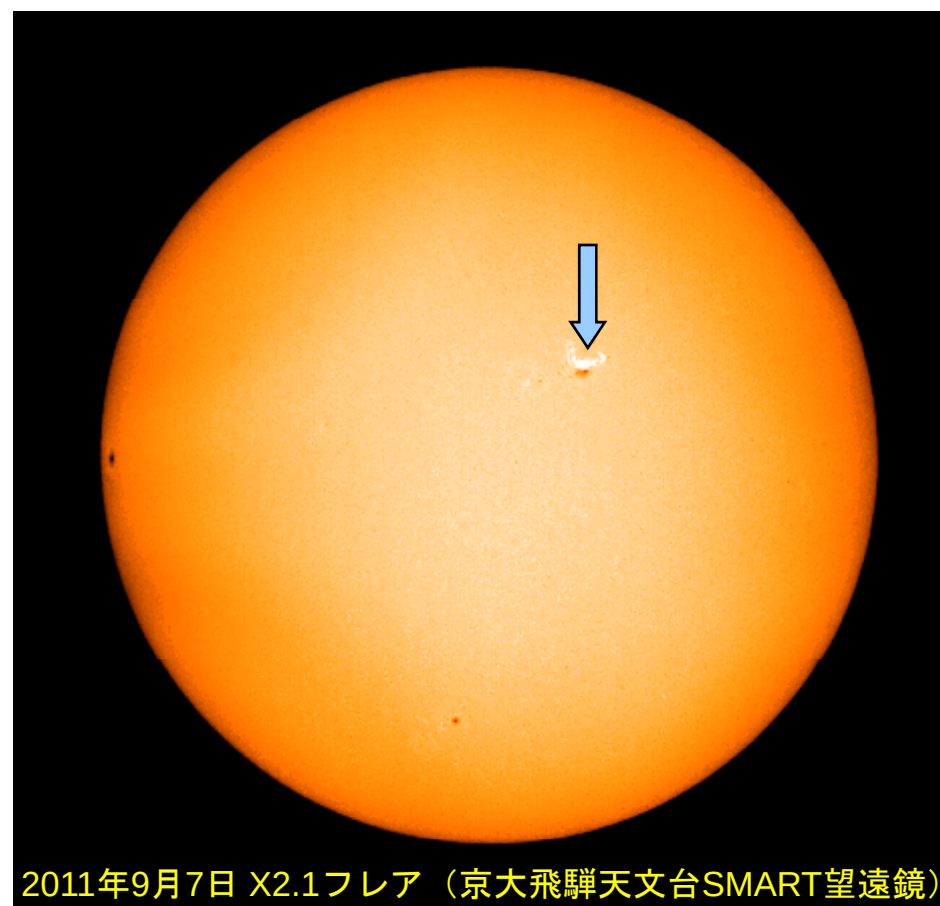


時間 (日)

スーパーフレアの想像 図



太陽フレア (実際の観測)



Remaining basic questions on reconnection in solar flares

- Triggering mechanism ?
- What determines the reconnection rate ?
- What fraction of released energy goes to nonthermal particle energies ?

How can we connect micro-plasma scale ($\sim$ ion Larmor radius ~ 10 cm) and macro-plasma scale ($\sim$ flare size $\sim 10^9$ cm) ?

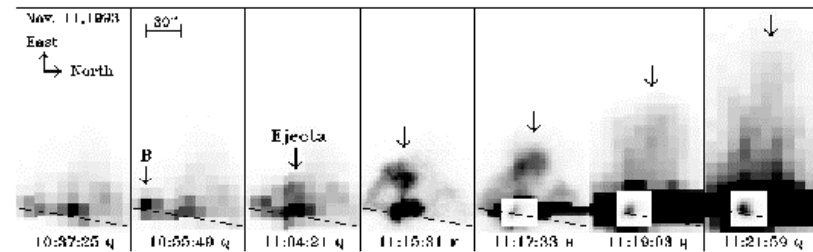
Plasmoid-induced-Reconnection and Fractal Reconnection

(Shibata-Tanuma 2001)

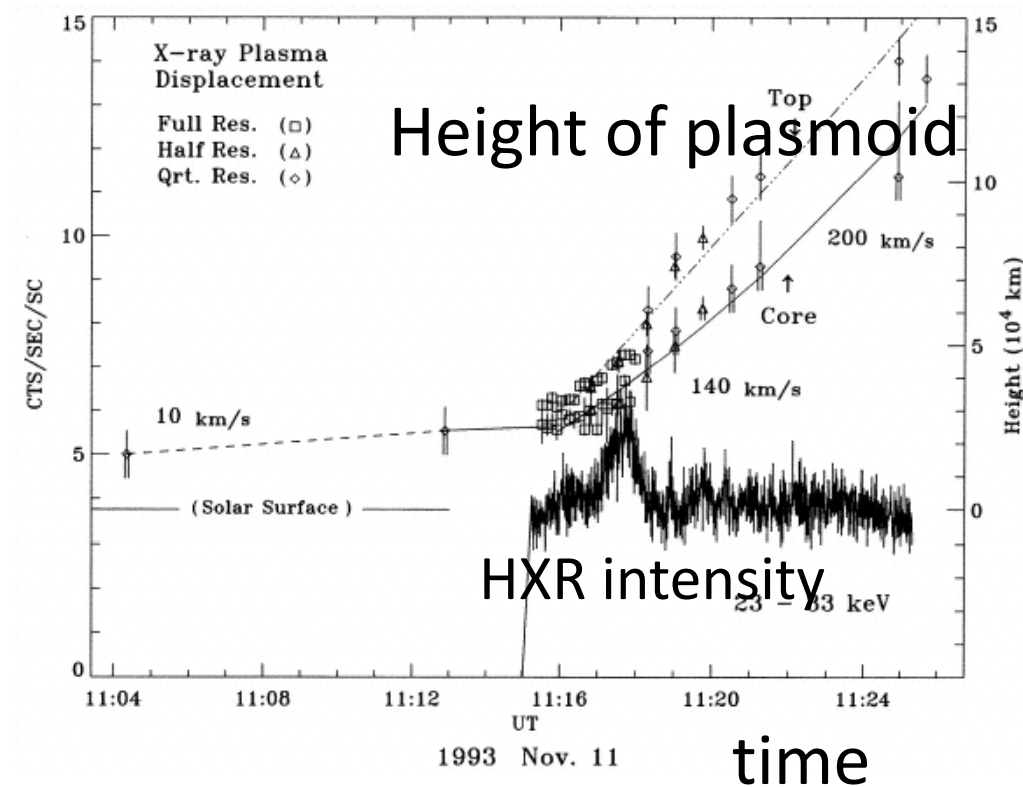
X ray Observations show

1. Plasmoid starts to be ejected long before the impulsive phase.
2. The plasmoid acceleration occurred during impulsive phase.

(Ohyama and Shibata 1997)

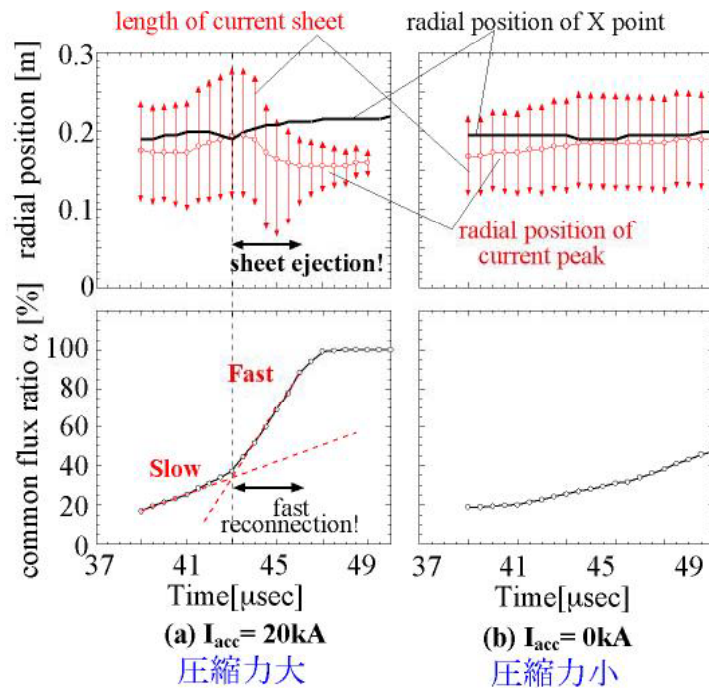


Ohyama & Shibata (1997)



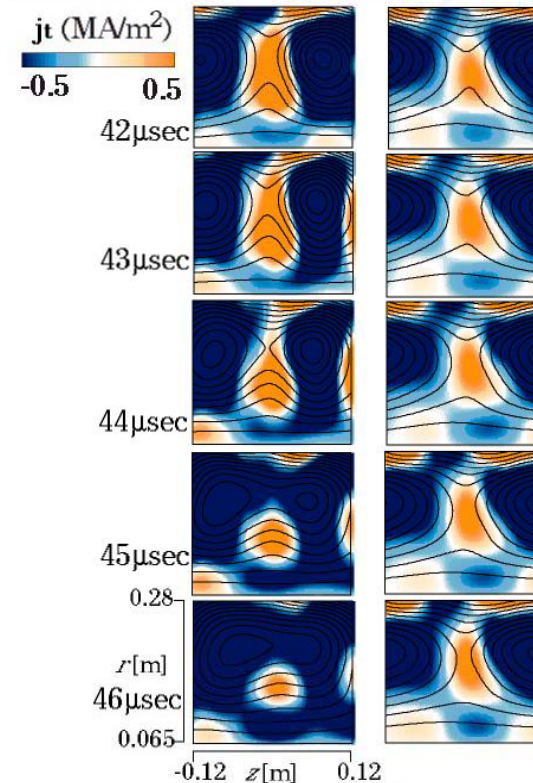
Laboratory experiment (Ono et al. 2003)

電流シートが（間欠的に）放出される時、
リコネクション速度が急上昇する



電流シートおよびX点の位置の時間変化と
再結合速度の時間変化の比較

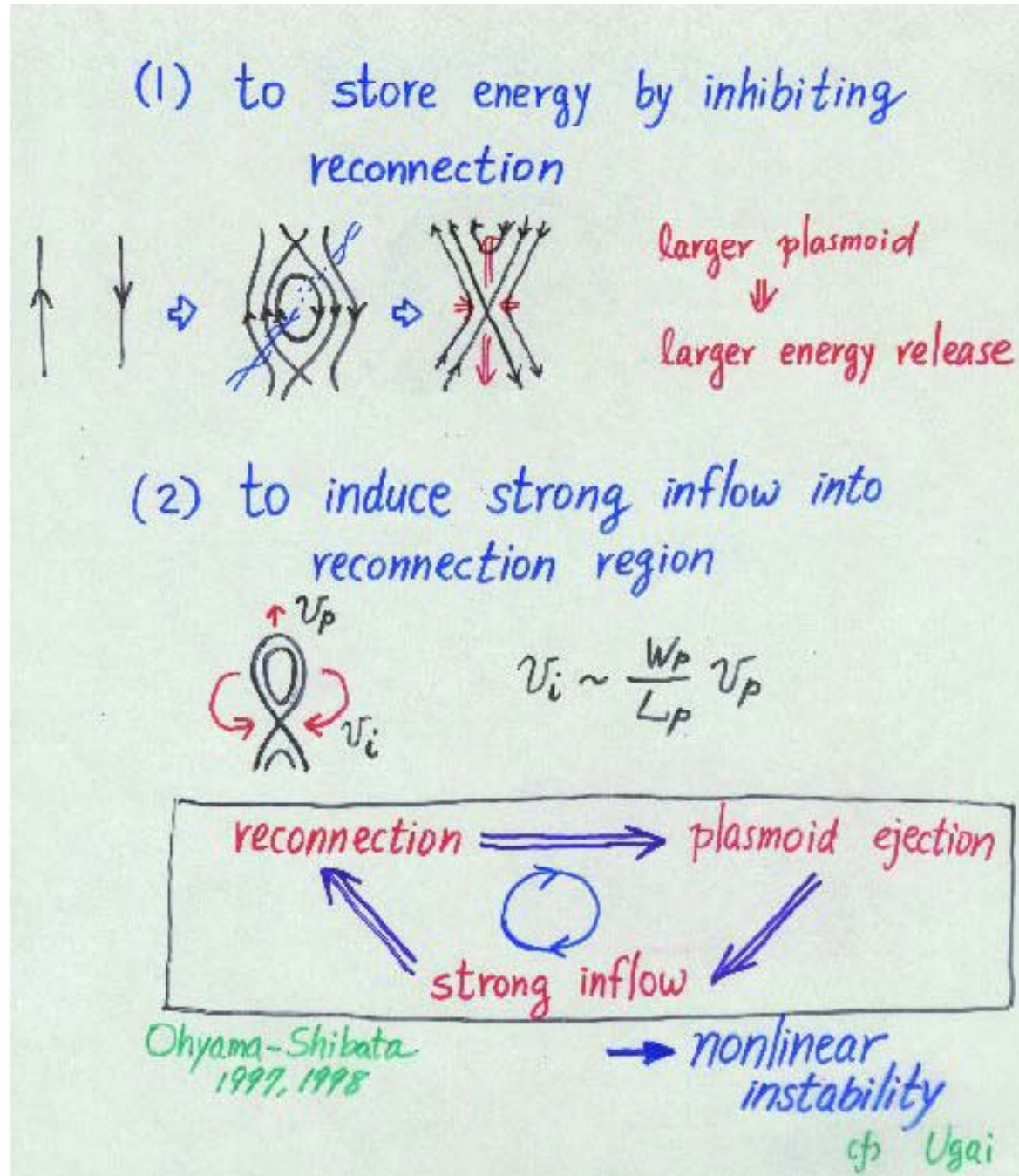
Fast compression of current sheet causes
its mechanical ejection in high-Bx MHD regime.



(a) Fast Compression ($I_{acc}=20\text{kA}$) (b) Slow Compression ($I_{acc}=0$)

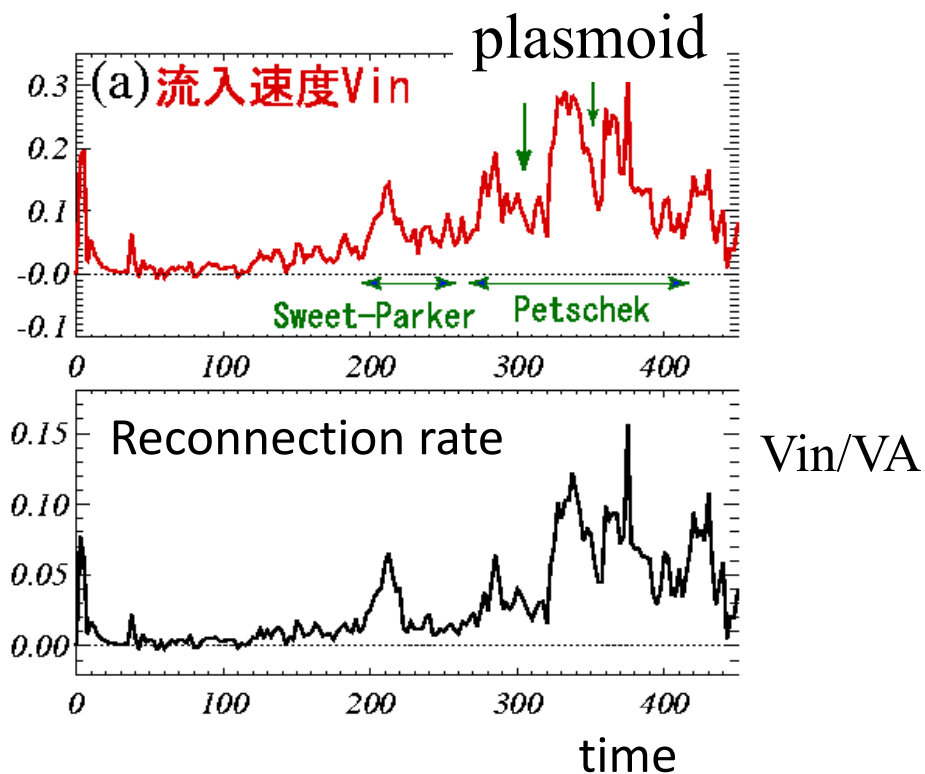
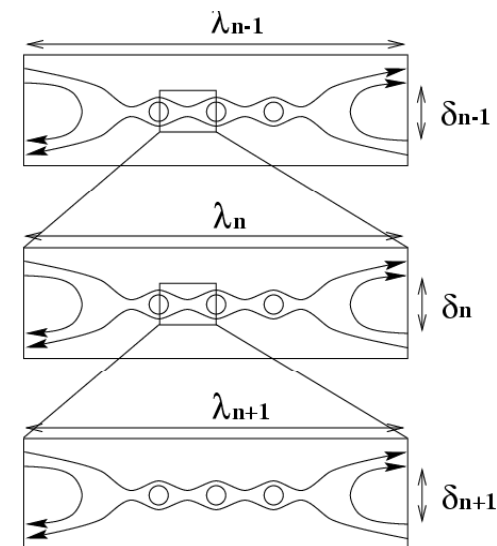
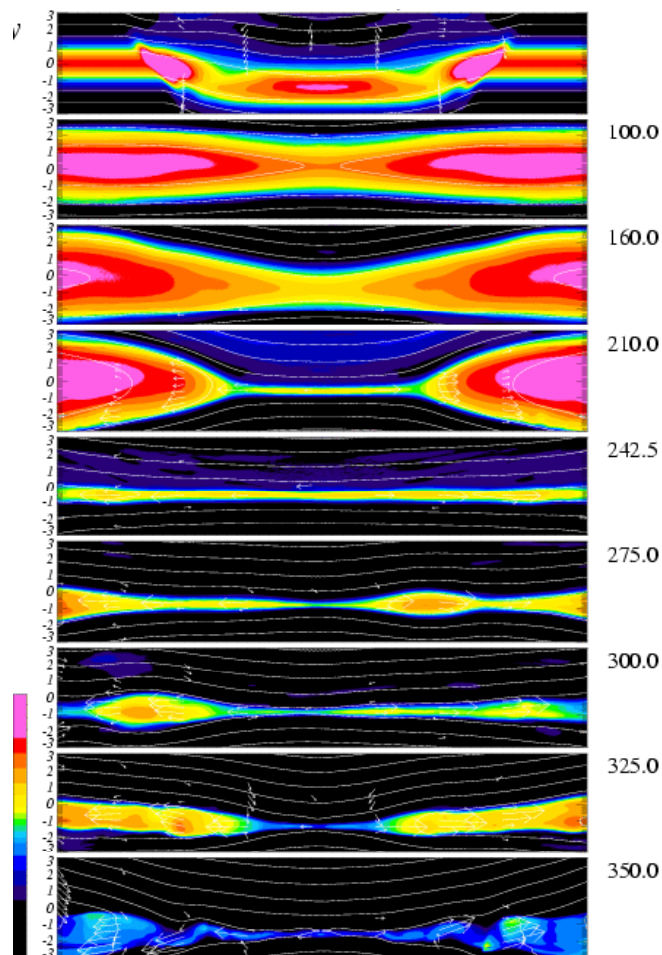
What is the Role of Plasmoid Ejections ?

(Shibata-Tanuma 2001)

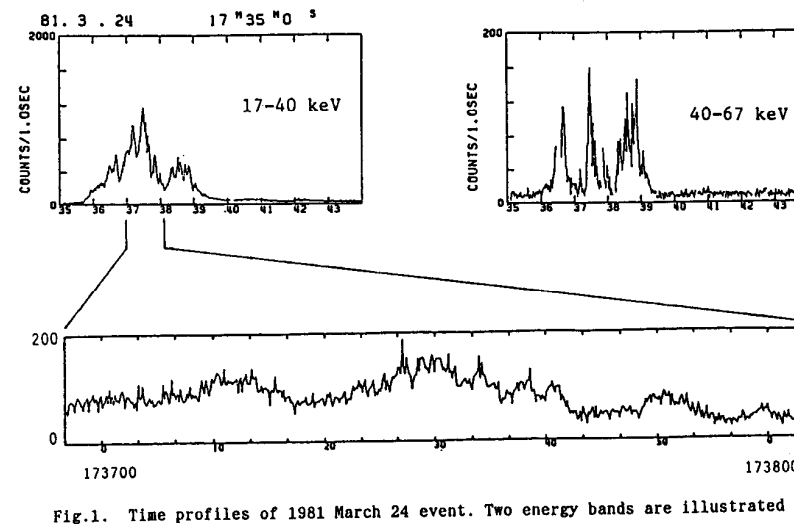


MHD simulations show plasmoid-induced reconnection in a fractal current sheet

(Shibata and Tanuma 2001, Tanuma et al. 2000)



Observation of hard X-rays and microwave emissions show **fractal-like time variability**, which may be a result of fractal plasmoid ejections (Shibata and Tanuma 2001)



This fractal structure enable to connect micro and macro scale structures and dynamics

Fractal current sheet

(Tajima-Shibata 1997)

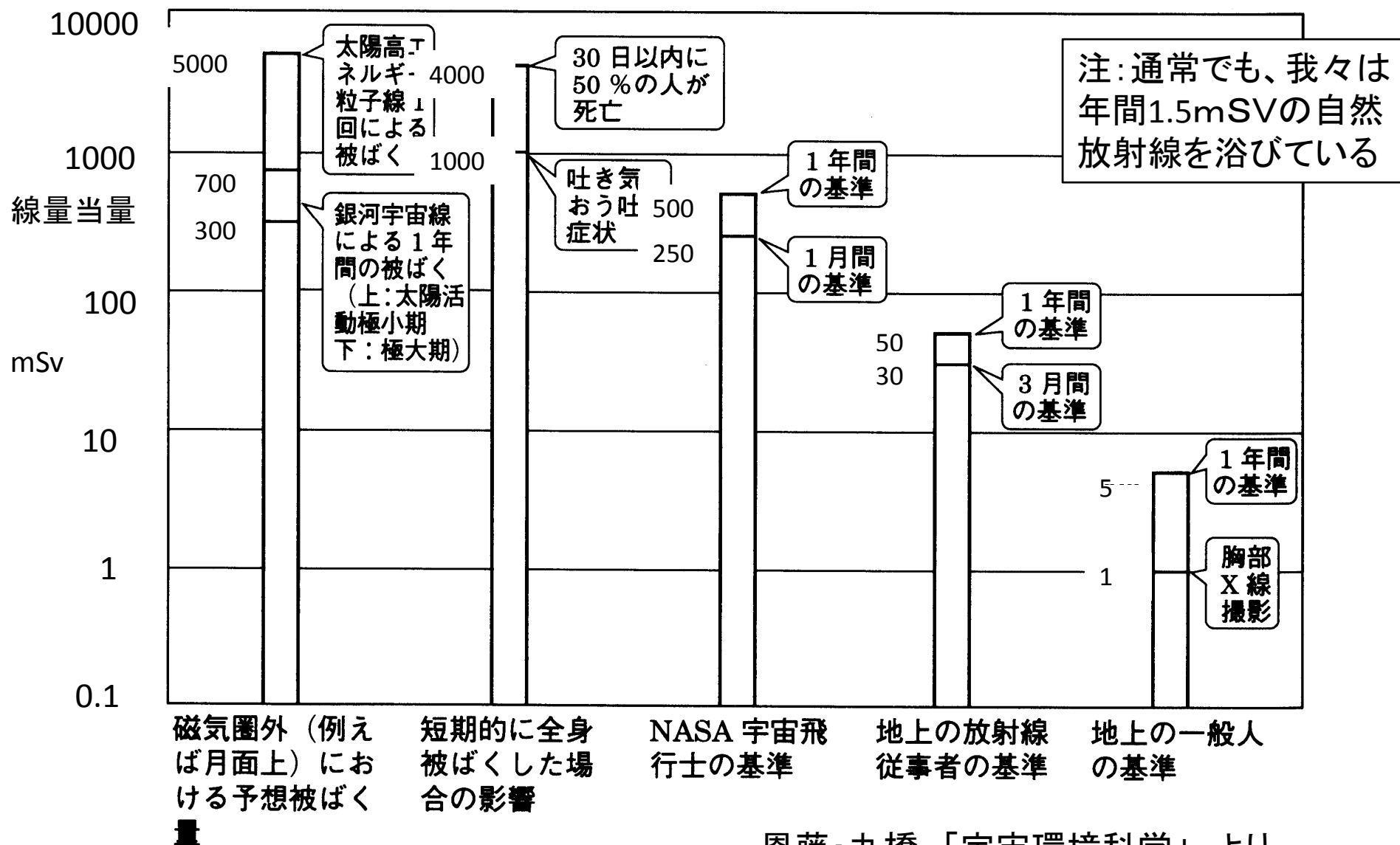
Small-scale electric fields
in magnetic X and O points

Aschwanden 2002

Benz and Aschwanden 1989, Lazarian and Vishniac 1999,
Zelenyi 1996, Karlicky 2004, Nishizuka et al. 2009, 2010

ちよつと こわい話

太陽放射線による被爆の危険性



恩藤・丸橋 「宇宙環境科学」 より

巨大フレアの発生頻度

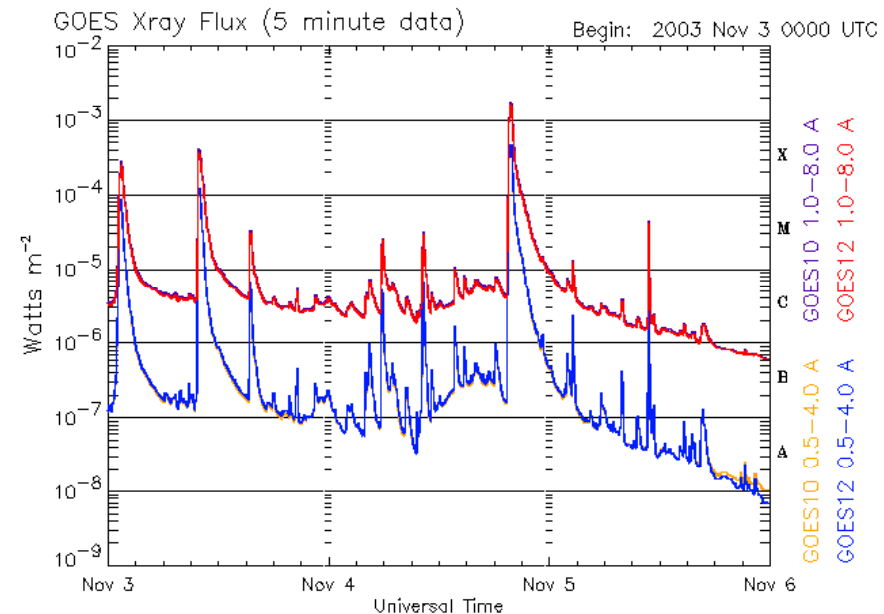
(GOES クラス分類: X線強度で分類)

- 年 X M C
- -----
- 1989 59 620 1929
- 1990 16 273 2262
- 1991 54 590 2653
- 1992 10 202 1922
- 1993 0 74 1142
- 1994 0 25 336
- 1995 0 11 148
- 1996 1 4 81
- 1997 3 21 286
- 1998 14 94 1188
- 1999 4 170 1854
- 2000 17 215 2223
- 2001 21 310 2101

Cクラスフレアは1年に1000回
 Mクラスフレアは1年に100回
 Xクラスフレアは1年に10回
 X10クラスフレアは1年に1回
 X100クラスフレアは10年に1回

X線強度が10倍になると発生頻度が10分の1になる

X100000クラスフレアは1万年に1回？



Updated 2003 Nov 5 23:56:06 UTC

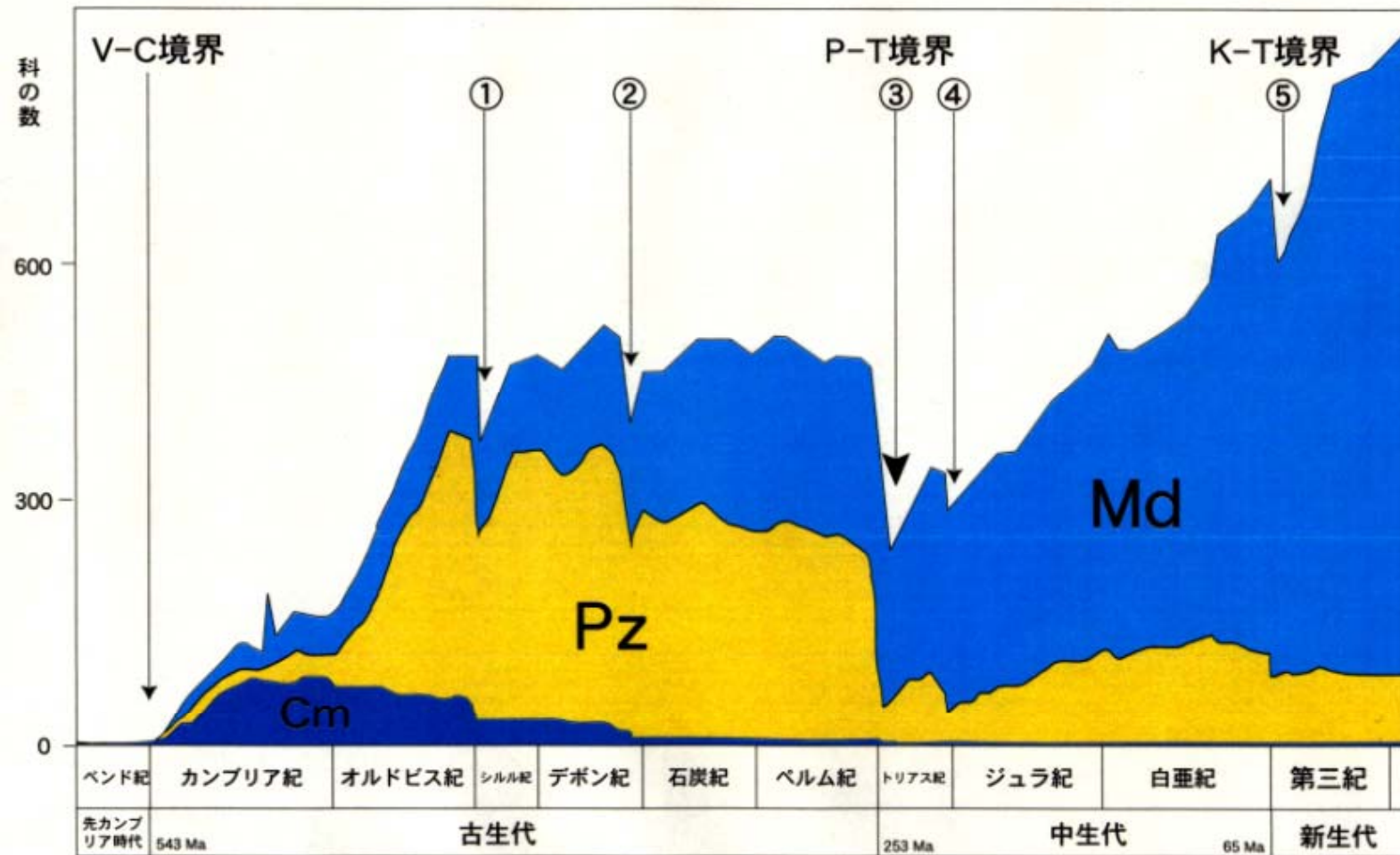
NOAA/SEC Boulder, CO USA

太陽と生命、人間

- 過去に超巨大フレアが起きて生命に影響を与えたかもしれない

恐竜の絶滅原因は超巨大フレアか？

生命の大量絶滅



5億4千万年前

2億5千万年前

6500万年前

Md=現代型、Pz=古生代型、Cm=カンブリア紀型

磯崎氏より

太陽と生命、人間

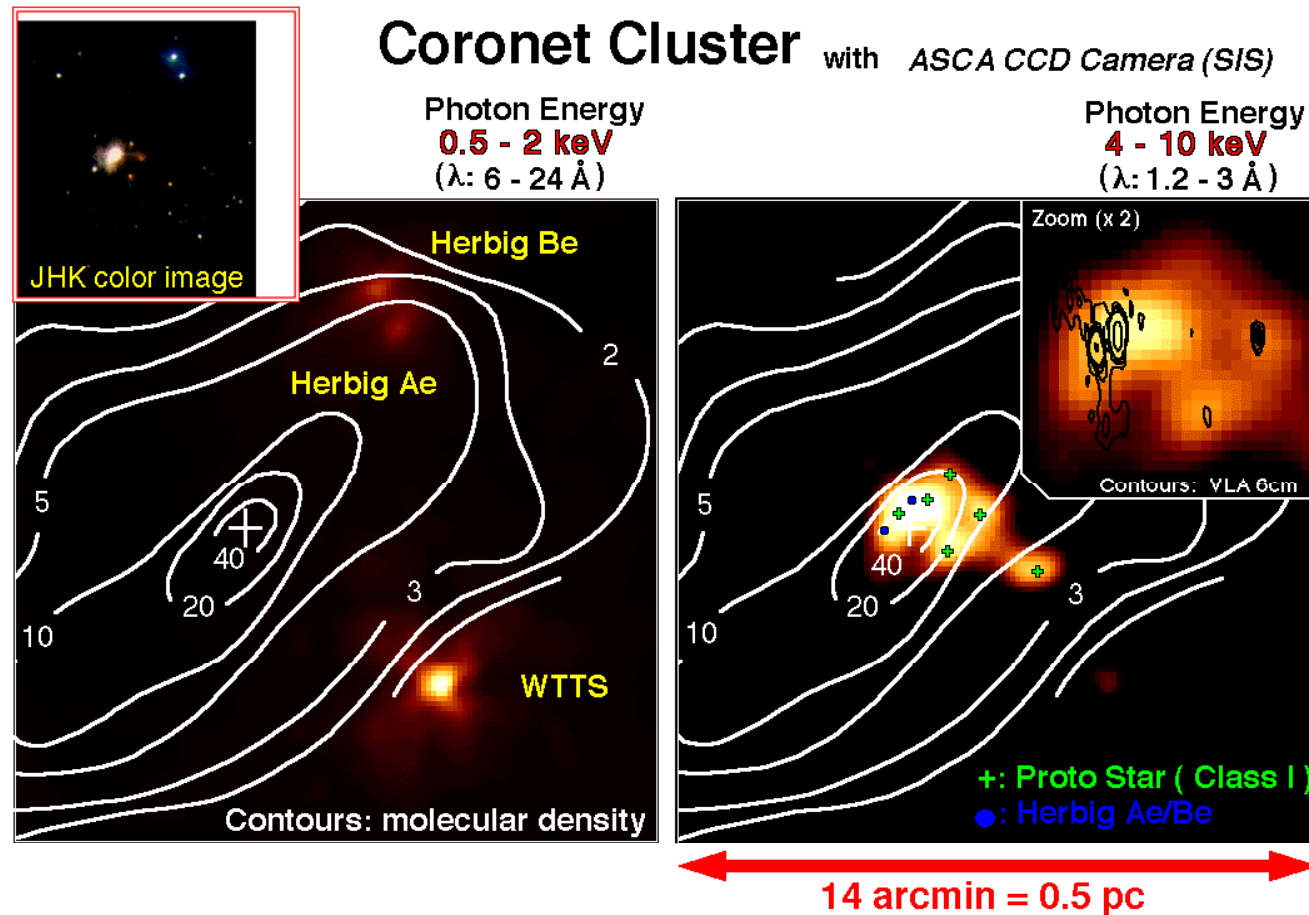
- 過去に超巨大フレアが起きて生命に影響を与えたかもしれない

恐竜の絶滅原因は超巨大フレアか？

- 生まれたばかりの星は超巨大フレア(太陽フレアの100万倍の強度)を起こしていることが判明

原始星フレア

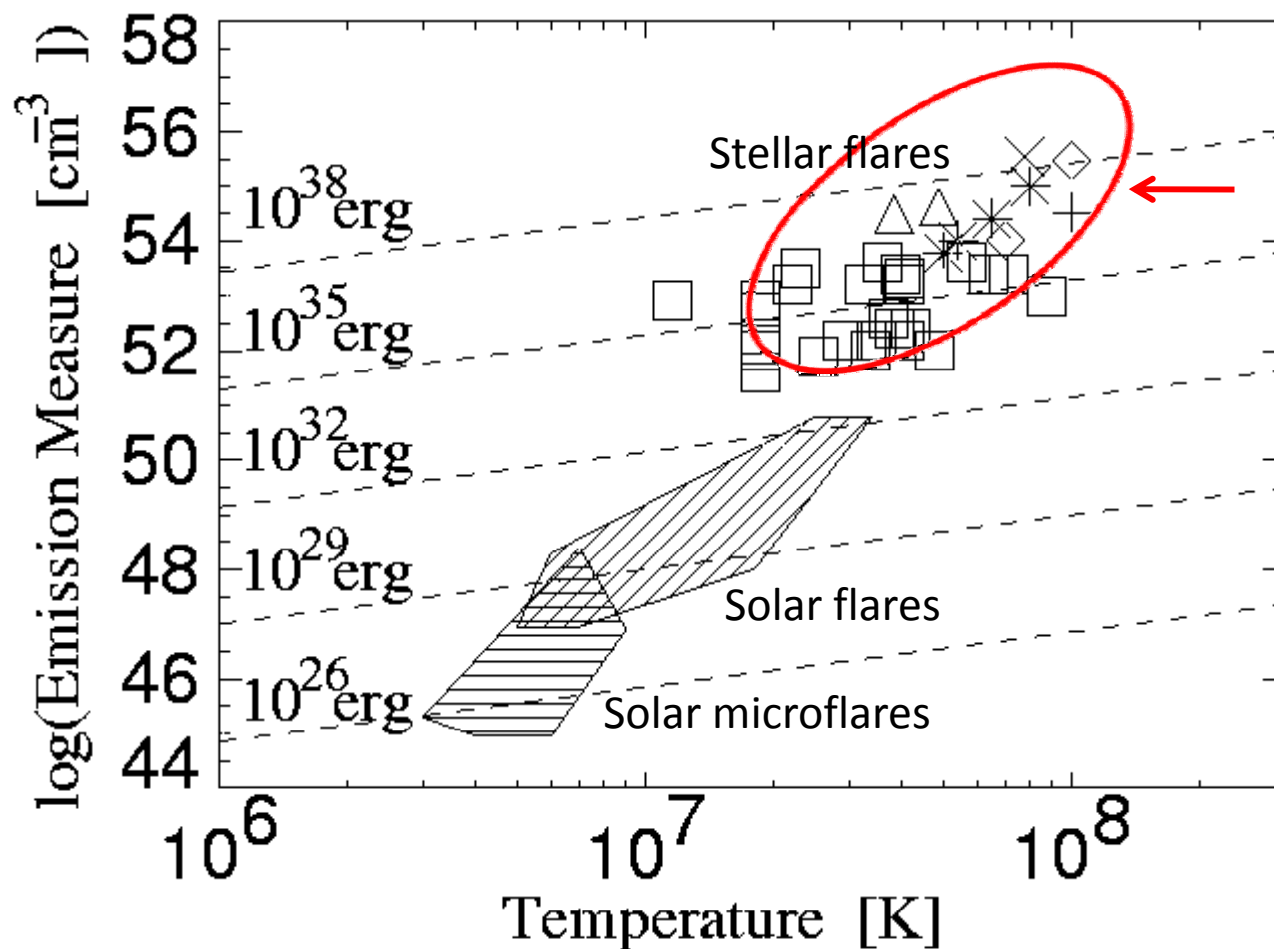
(X線／あすか衛星：小山ら1995)



温度～
1億度

太陽フレアの
エネルギーの1
万倍以上

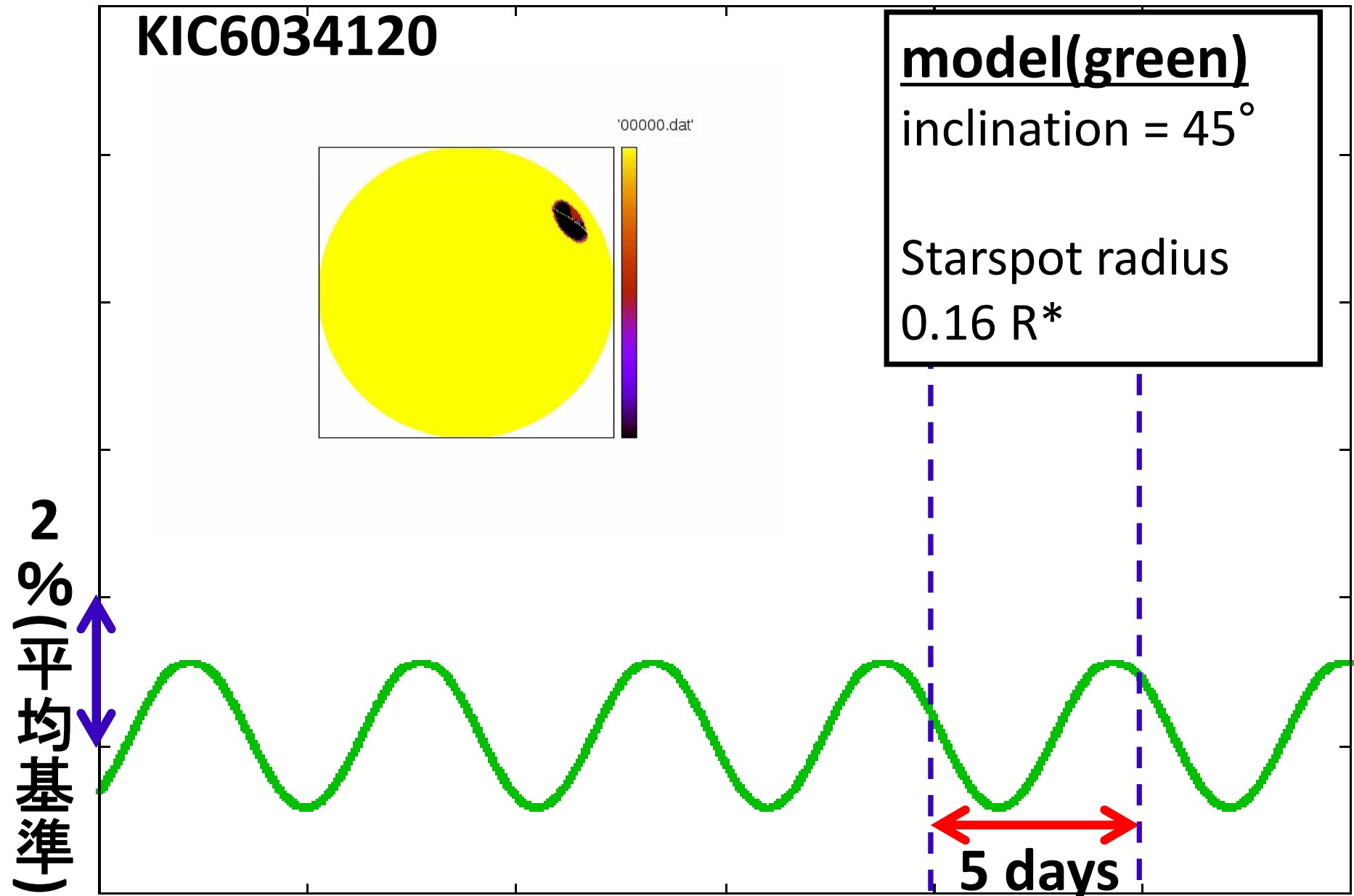
太陽フレアと恒星フレア の解放する全エネルギー



スーパー
フレア
(最大の
太陽フレア
の10倍
～100万倍)

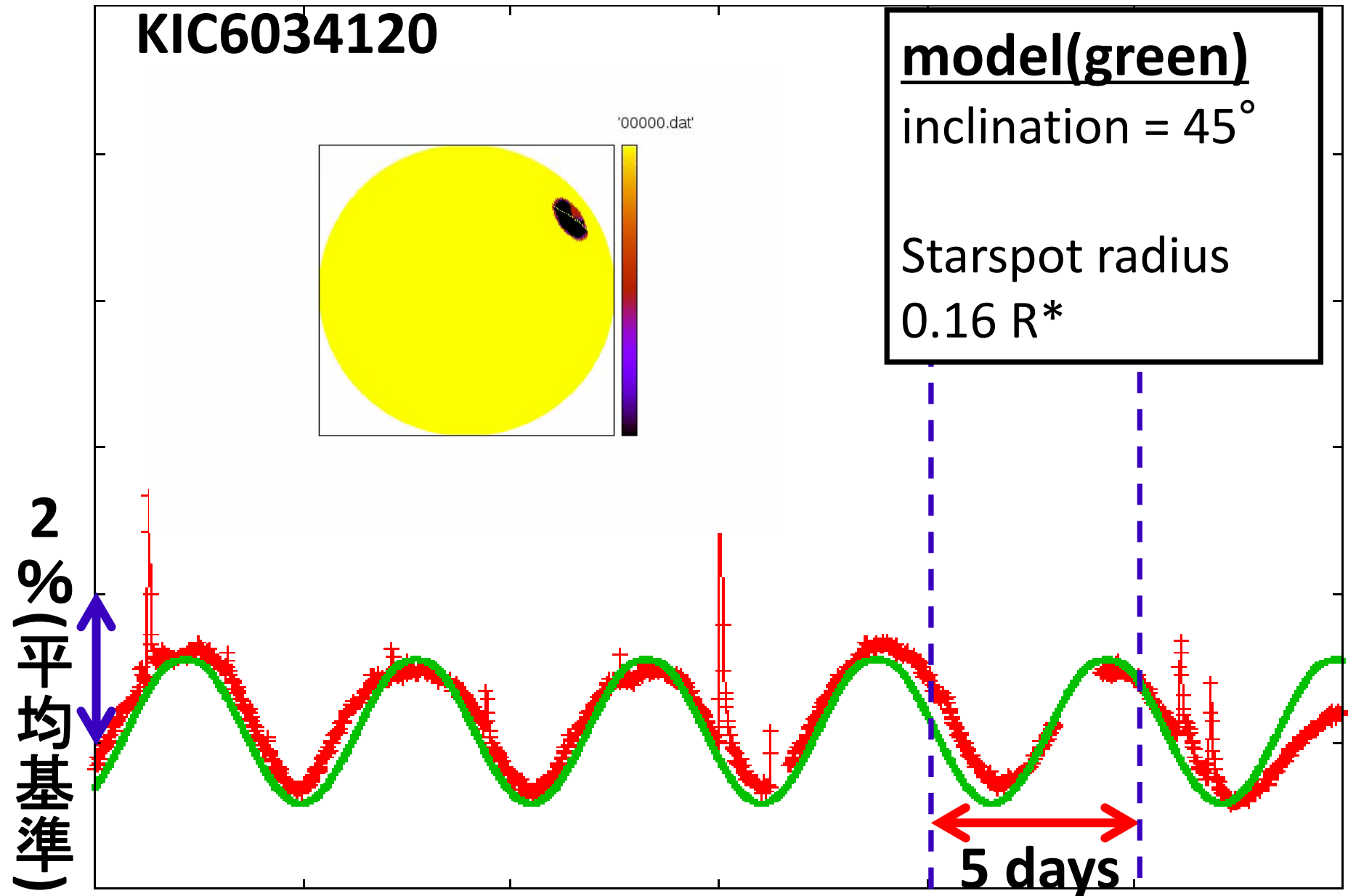
これらは
若い星あるいは
自転の速い星

Model calculation of stellar brightness variation



Notsu et al.

Model calculation of stellar brightness variation



Notsu et al.

奈良時代後期の七七五年に地球へ飛来した宇宙線が急激に増加しており、宇宙空間に大変動があったことを、名古屋大年代測定総合研究センターの中村俊夫教授や太陽地球環境研究所の増田公明准教授らのグループが鹿児島・屋久杉の年輪測定で突き止めた。太陽の表面で超巨大な爆発現象「スーパーフレア」が発生した可能性があるという。英科学誌「ネイチャー」電子版に三日、発表した。



放射性炭素の検出に使われた屋久杉と増田准教授＝名古屋大で

奈良期 太陽「スーパーフレア」か

星が寿命を終える前に起きる「超新星爆発」や、スーパーフレアが宇宙で発生すると、地球に降り注ぐ放射線(宇宙線)が激増。この宇宙線が大気中の窒素などと反応し、放射性炭素が生み出される。

グループは、樹齢千九百年の屋久杉の年輪に含まれる放射性炭素を測定。その結果、七十四年から一年間の増量がほかの年の増減変化量の二十倍に達していた。

太陽の表面では黒点付近を中心に「太陽フレア」という爆発が繰り返し起る。太陽フレアは地球に

地球へ飛来の宇宙線激増

磁気嵐をもたらし、精密機器に影響を与えることでも知られる。スーパーフレアは規模が太陽フレアの百十倍に達する。今回分かった宇宙の大変動がスーパーフレアだとすると、測定された放射性炭素の量から計算して通常の太陽フレアの千倍の規模だった可能性がある。山形大理学部のある井敬久教授は「超新星爆発が原因なら、放射性炭素の増加時期は一年間よりももっと長いはず。そう考えれば、スーパーフレアの可能性が高い」と指摘する。

スーパーフレアは太陽

名大グループ 屋久杉で測定

では起きないと従来いわれていたが、京都大附属天文台のグループが、太陽の表面で起こるかもしれないとの解析結果を五月十六日付のネイチャーに発表している。

太陽の活動は現在、活発でない時期に入っている。大気中の放射性炭素は太陽の爆発で増えるが、太陽活動の低下でも増加する。

増田准教授は「年ごとの過去の放射性炭素の変化と地球環境の変化を詳しく調べて併せ考えることで、将来の地球環境を予測できる」と話している。

スーパーフレアの証拠？

LETTER

doi:10.1038/nature11123

A signature of cosmic-ray increase in AD 774–775 from tree rings in Japan

Fusa Miyake¹, Kentaro Nagaya¹, Kimiaki Masuda¹ & Toshio Naka

Increases in ^{14}C concentrations in tree rings could be attributed to cosmic-ray events^{1–7}, as have increases in ^{10}Be and nitrate in ice cores^{8,9}. The record of the past 3,000 years in the IntCal09 data set¹⁰, which is a time series at 5-year intervals describing the ^{14}C content of trees over a period of approximately 10,000 years, shows three periods during which ^{14}C increased at a rate greater than 3‰ over 10 years. Two of these periods have been measured at high time resolution, but neither showed increases on a timescale of about 1 year (refs 11 and 12). Here we report ^{14}C measurements in annual rings of Japanese cedar trees from AD 750 to AD 820 (the

Corresponding to 10^{35} erg superflare
If this is due to a solar flare

(Miyake et al. Nature ,
2012, June, 486, 240)

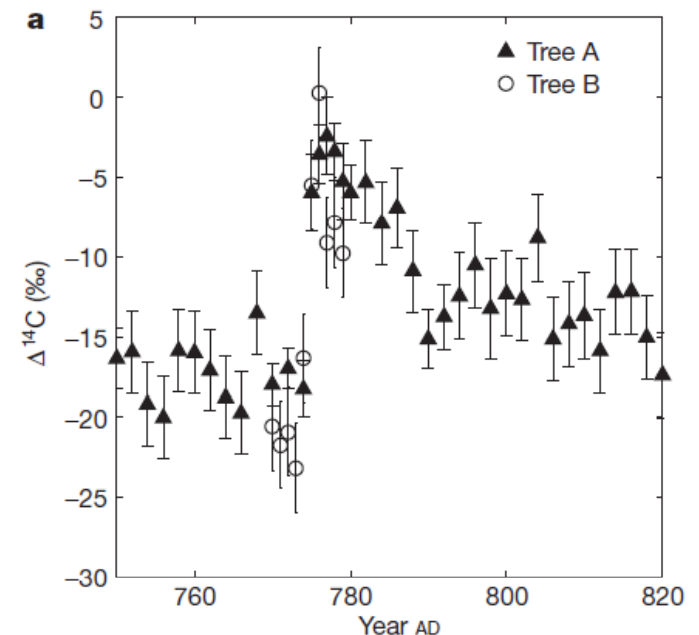
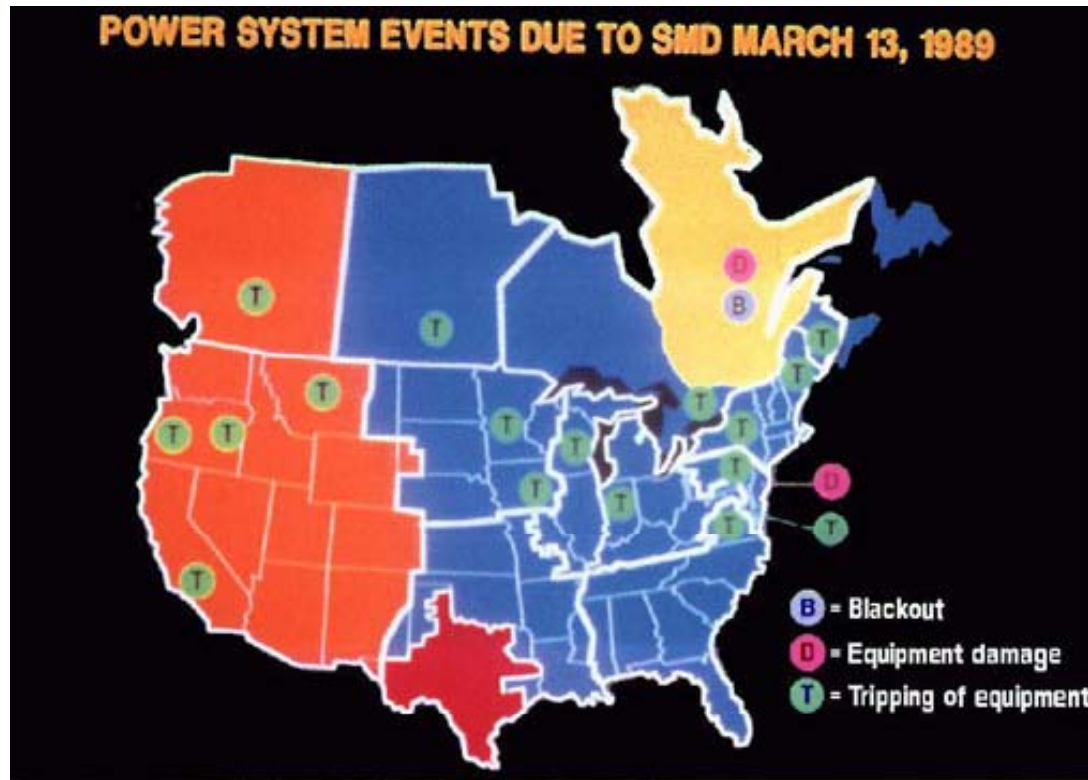


Figure 1 | Measured radiocarbon content and comparison with IntCal98. The concentration of ^{14}C is expressed as $\Delta^{14}\text{C}$, which is the deviation (in ‰) of the $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratio of a sample with respect to modern carbon (standard sample), after correcting for the age and isotopic fractionation³⁰. **a**, $\Delta^{14}\text{C}$ data for tree A (filled triangles with error bars) and tree B (open circles with error bars) for the period AD 750–820 with 1- or 2-year resolution. The typical precision of a single

もし、最大級の太陽フレアの 100倍～1000倍のスーパーフレアが 起きたら？

- 全人工衛星故障？
- 宇宙飛行士・航空機乗員被曝？
- 全地球規模で大停電！？

磁気嵐が原因で発生した1989年3月13日のカナダ・ケベック州の大停電 (600万人が9時間停電の被害を受ける)



このときの太陽フレアは数年に1度の大フレア、
磁気嵐の強さ ~ 540 nT、被害総額は数100億円以上

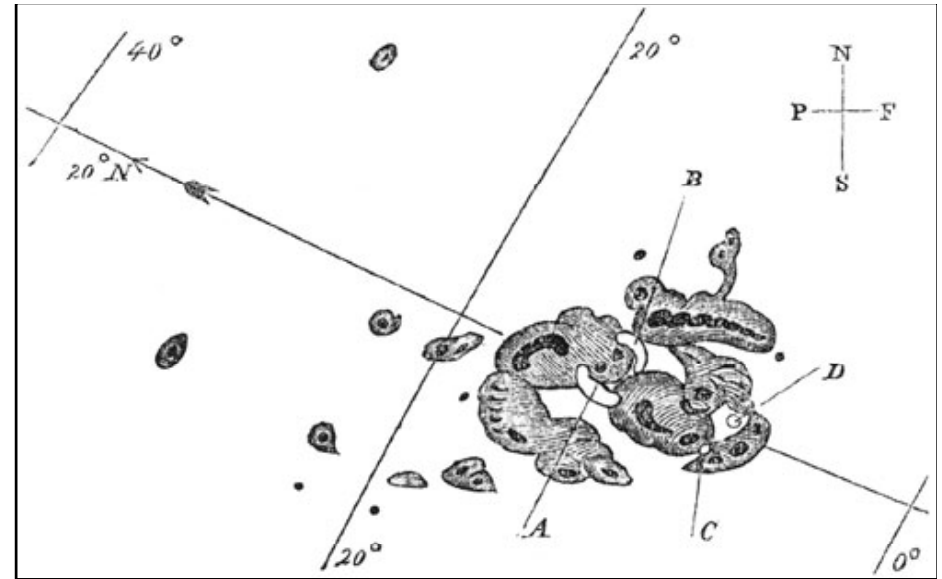


PJM Public Service
Step Up Transformer
Severe internal damage caused by
the space storm of 13 March, 1989



<http://www.stelab.nagoya-u.ac.jp/ste-www1/pub/ste-n> ニュージャージー州の変圧器故障

キャリントン・フレア (1859年)



- 人類が最初に見たフレア (Carrington, 1859) は、200年間で最大の磁気嵐 (~1760nT) を引き起こした。ハワイ、キューバなどでオーロラ。
- 米国、ヨーロッパで電信機などの火花放電が原因の火事が多数発生。
- 今、起きたら地球全体で大災害となろう。
地球規模での大停電、通信障害、人工衛星故障
- 「全米科学アカデミーによれば、同じように巨大な太陽フレアが発生すると、1兆ドルないし2兆ドルの損害が生じると推定され、修復に4年から10年かかるだろうという。」(世界気象機関)
=> 現代IT社会は巨大フレアにきわめて脆弱

もし、最大級の太陽フレアの 100倍～1000倍のスーパーフレアが 起きたら？

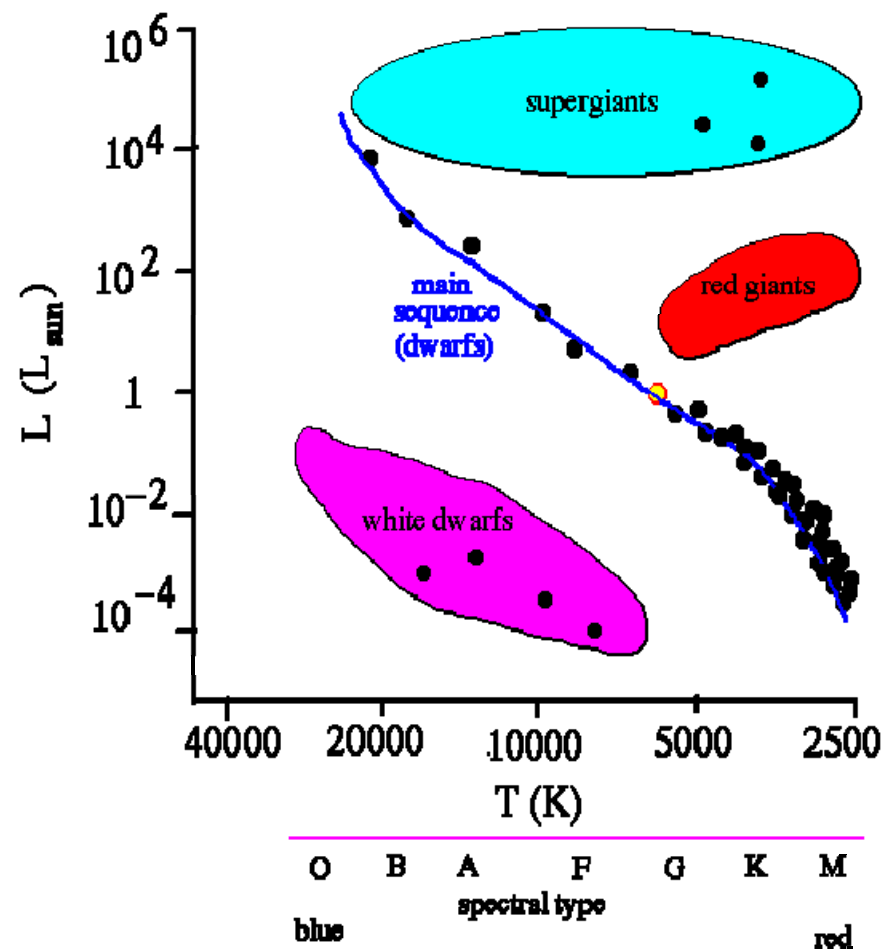
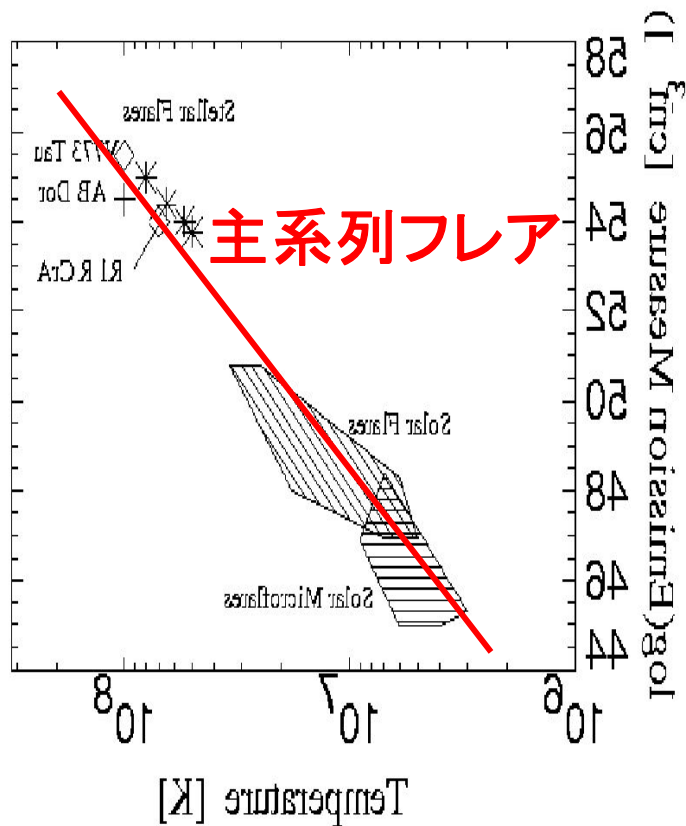
- 全人工衛星故障？
- 宇宙飛行士・航空機乗員被曝？
- 全地球規模で大停電！？
- 福島原発事故クラスの事故が地球上の
全原発で発生？
- 全地球規模で通信障害発生？

おわりに： 太陽と生命、人間

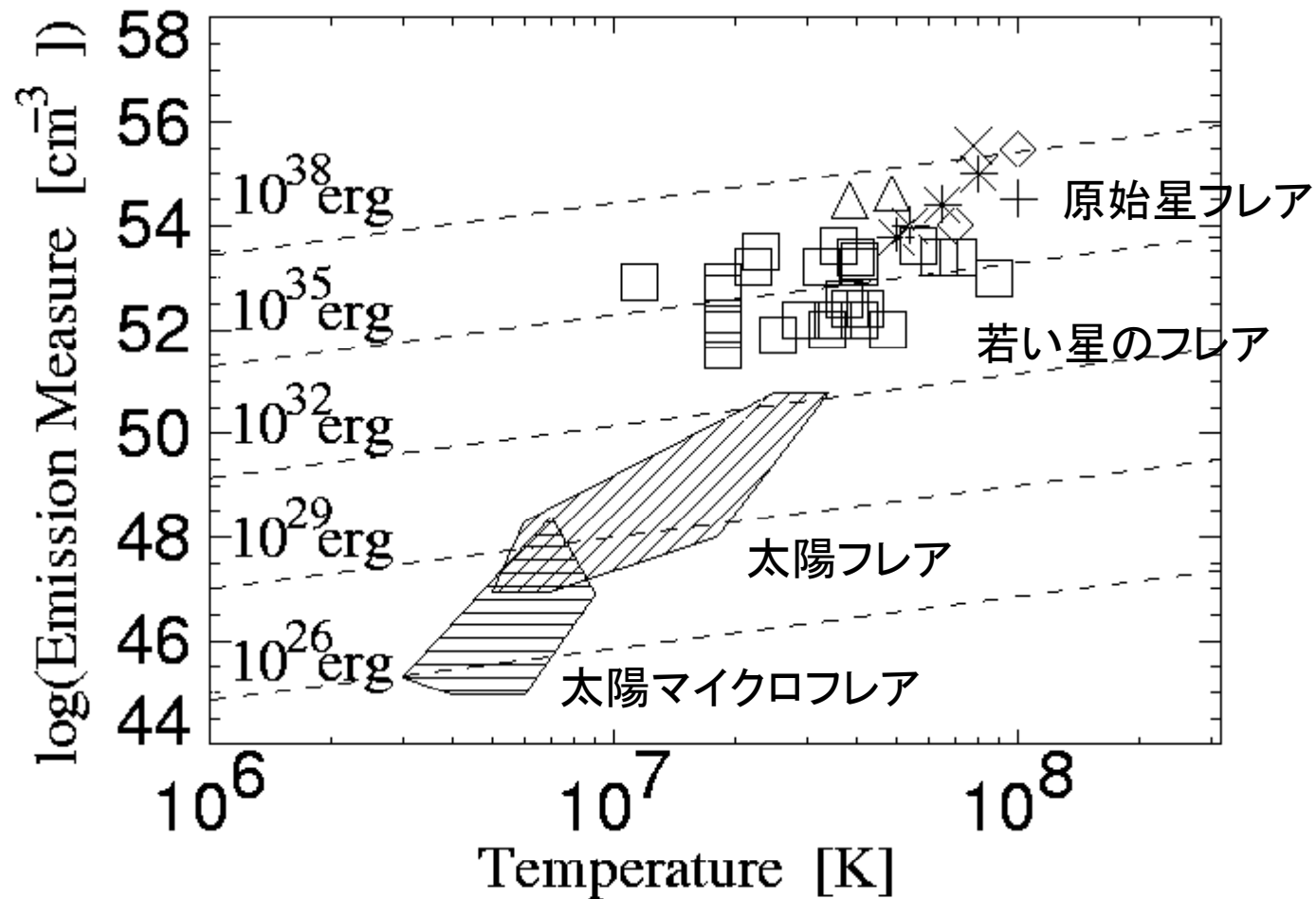
- 過去にスーパーフレアが起きて生命に影響を与えたかもしれない
恐竜の絶滅原因はスーパーフレアか？
- 生まれたばかりの星はスーパーフレア(太陽フレアの100万倍の強度)を起こしていることが判明
- 地球上の生命は太陽活動の嵐をいかに生き延びてきたのか？
- むしろスーパーフレアを糧として進化してきたのかもしれない
- 太陽とそっくりの星で、最大級のフレアの100倍ー1000倍のスーパーフレアが数千年に一度の頻度で起きていることが判明(Natureに発表！)
- 今後、人類文明は無事に存続できるのか？
人類は太陽放射線の荒れ狂う宇宙空間に進出することができるのか？

その答えは、太陽、宇宙の観測にある

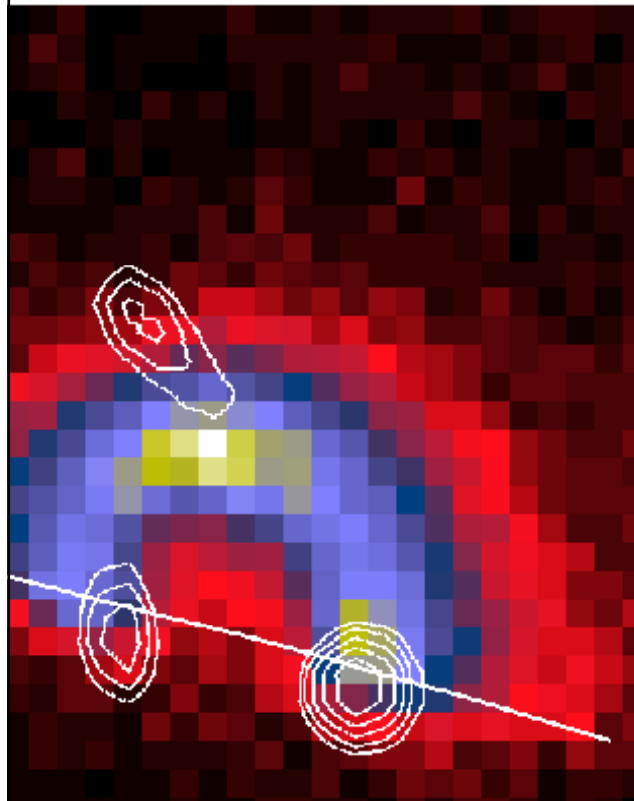
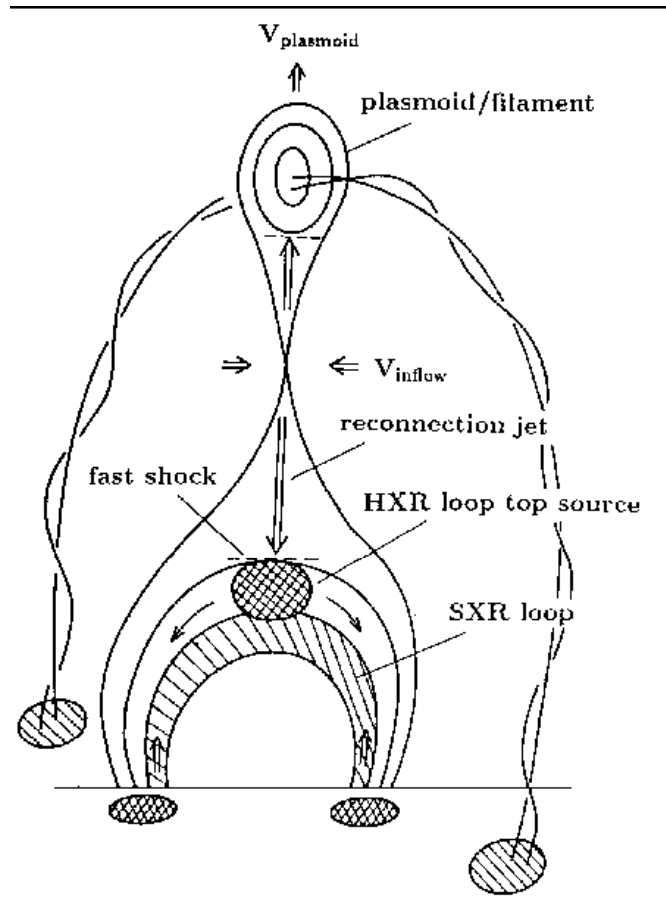
フレアのEM-T図はHR図に似ている！ (Shibata and Yokoyama 2002)



恒星フレア・原始星フレアの エネルギー



インパルシブ・フレアにおける ループトップ硬X線源の発見 (Masuda et al. 1994 Nature)

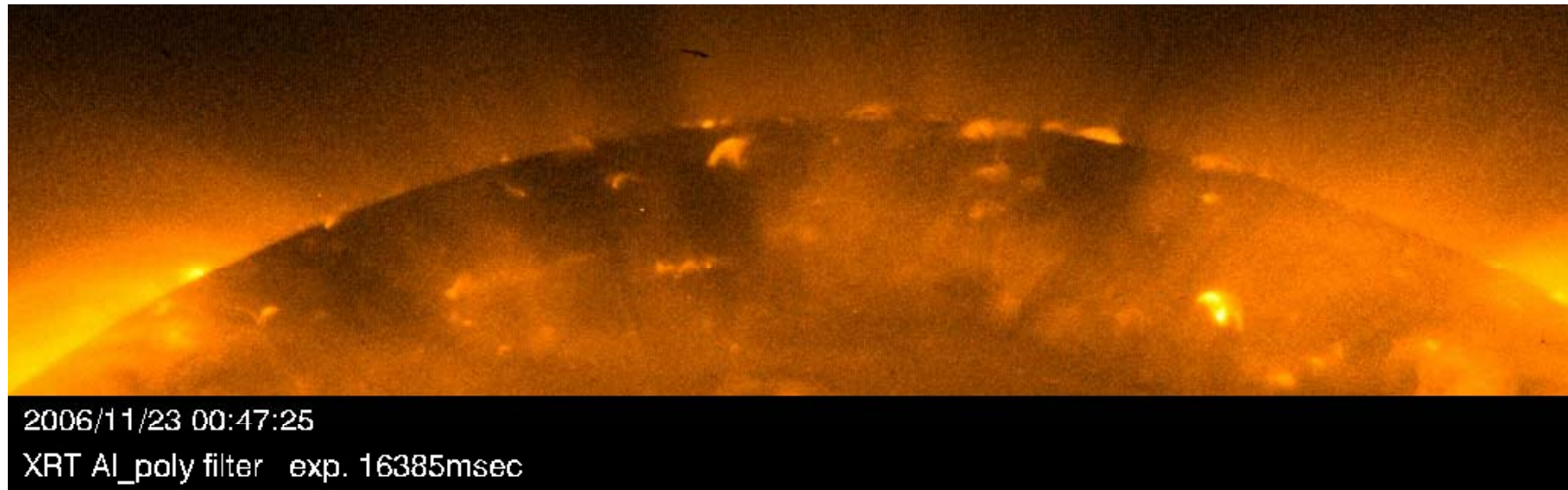


カラー：
軟X線像
(1keV)
等高線：硬X線
(30keV)
=>高エネルギー電子

ループトップ～1億度

Polar X-ray jets observed by Hinode/XRT

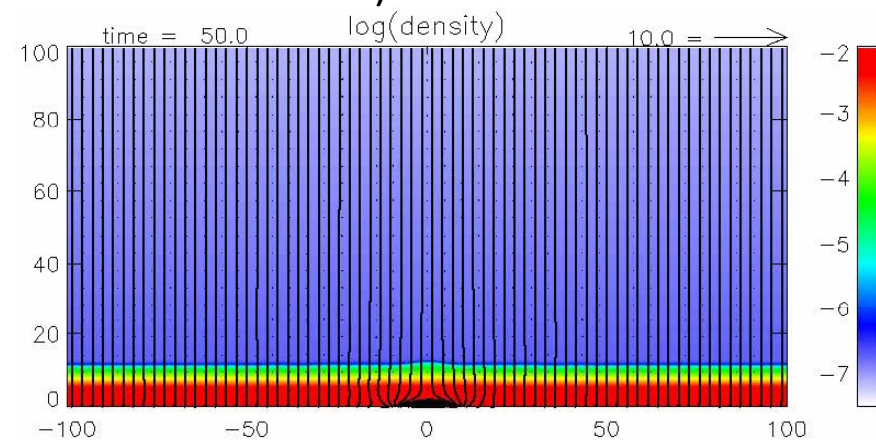
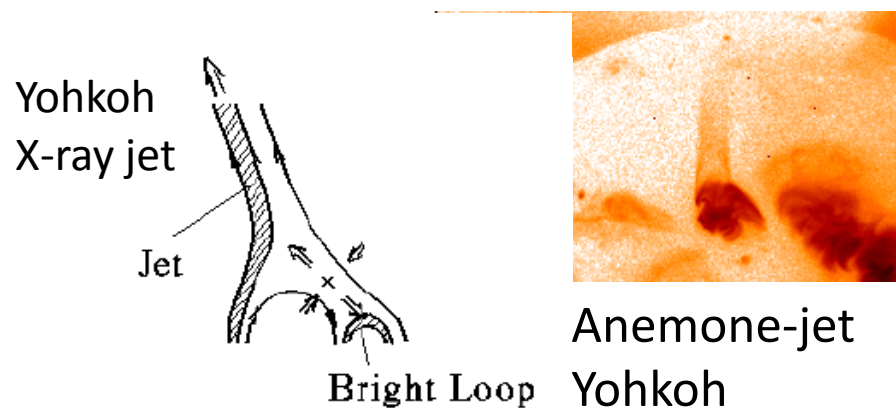
(Cirtain et al. 2007, Shimojo et al. 2007)



Detection of Alfvén waves (Cirtain et al. 2007)

Origin of high speed solar wind ? (e.g., Suzuki and Inutsuka 2005)

Shimizu

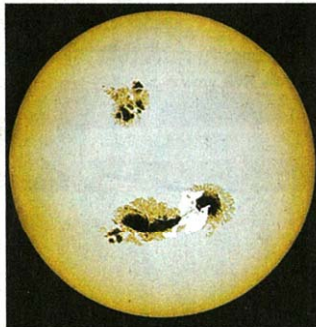


2012年(平成24年)5月17日 木曜日 享月

太陽も「スーパー爆発」!?

通信障害など懸念

スーパーフレア(白い部分)の想像図||京都大提供



太陽では起きないと考えられていた大規模な爆発「スーパーフレア」が起きるかもしれないことが、京都大グループの解析でわかった。発生すれば広範囲での通信障害や停電、上空の航空機内での放射線被曝とい

环球网 科技
tech.huanqiu.com

滚动新闻 资讯排行 RSS订阅

位置: 环球网 > 科技 > 科学探索 > 正文

太阳可能爆发超级耀斑 届时地球将遭

12-05-18 19:54 新华网 请快来参与

分享到: 0

摘要: 日本京都大学附属天文台教授柴田一成率领的研究小组在新一期英国《自然》杂志撰文说, 太阳表面也有可能发生称为“超级耀斑”的巨大爆发。而此前科学家认为太阳不会出



SPACE

Follow Us: Like 368k

Follow @spacedotcom

Colossal Superflares Erupt from Sun-Like Stars

by Charles Q. Choi, SPACE.com Contributor

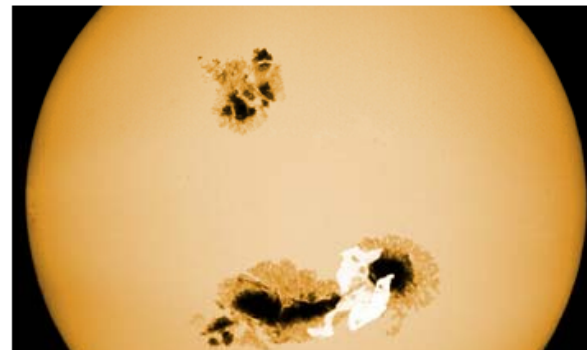
Date: 16 May 2012 Time: 01:00 PM ET

FOLLOW US Like 368k

SHARE Like 11

Tweet 35

+1 0



Stars like our sun can release "superflares," explosions of up to 10,000 times more energy than the solar flares seen from our sun, researchers say.

However, it looks unlikely that our sun currently has superflares, scientists added.

THURSDAY MAY 24, 2012

JOB | REAL ESTATE | CLASSIFIEDS | FRIENDS | FORUM

JAPANTODAY
JAPAN NEWS AND DISCUSSION



HOME

NATIONAL

CRIME

ENTERTAINMENT

POLITICS

BUSINESS

TECH

SPORTS

0

Tweet

0

+1

Japan, U.S. disagree on possibility of solar apocalypse

By Jessica Ocheltree

→ NATIONAL MAY. 22, 2012 - 06:54AM JST (31)

Recommend 34

Most active Sun-like star

7 superflares in 500 days !

Shibayama
Et al 2012

Stellar
Brightness
variation

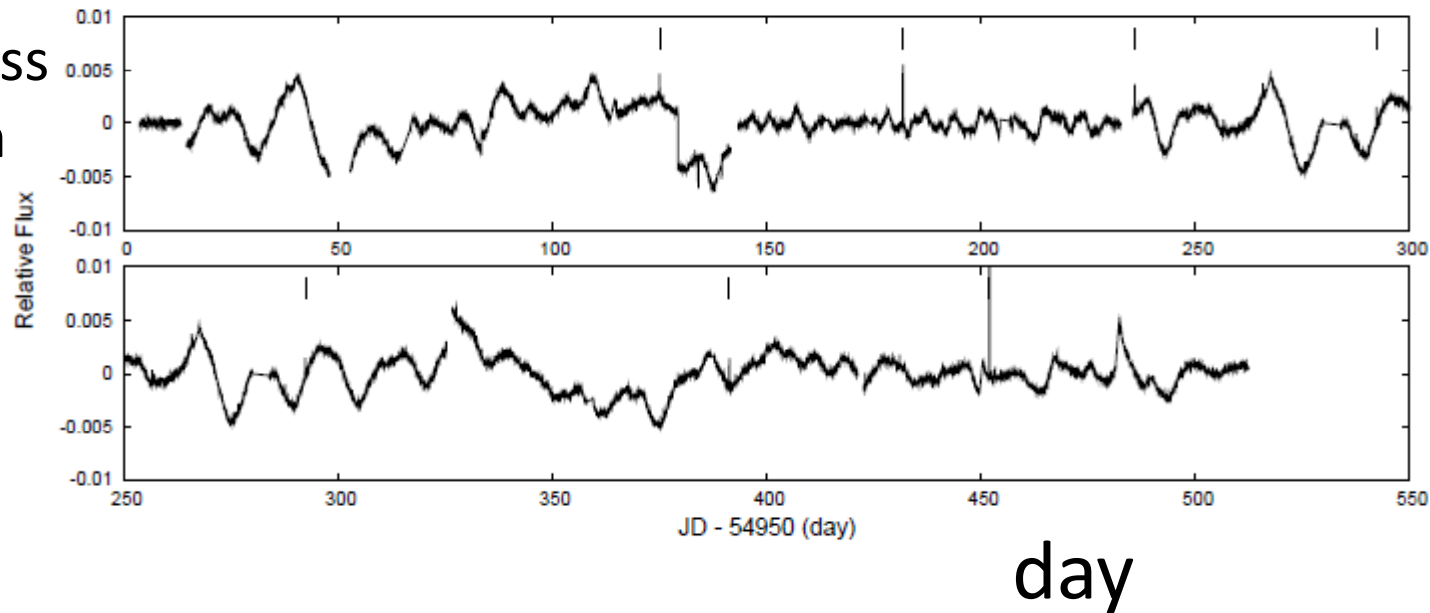
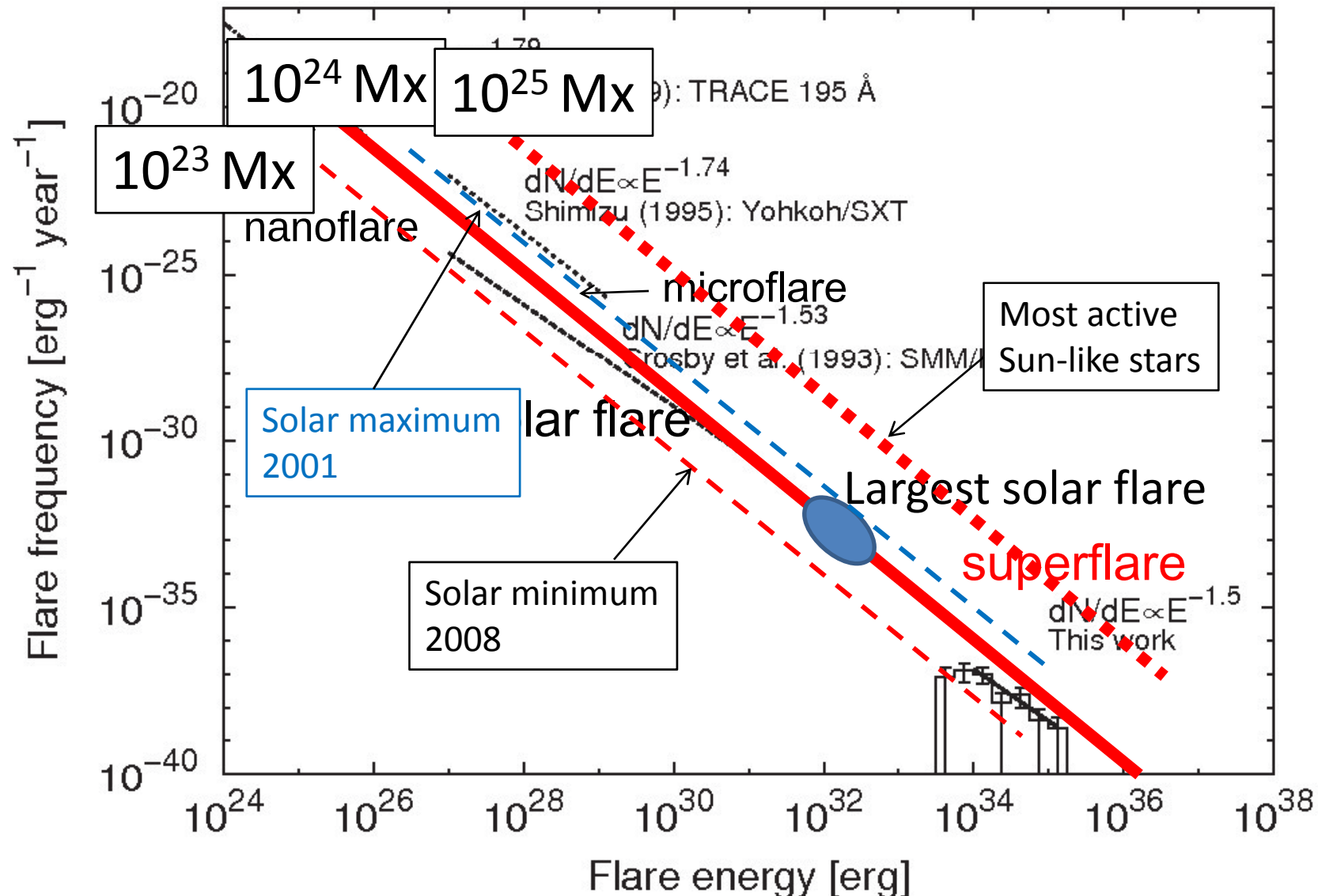


Fig. 6.— Same as figure 5, but for KIC10471412.

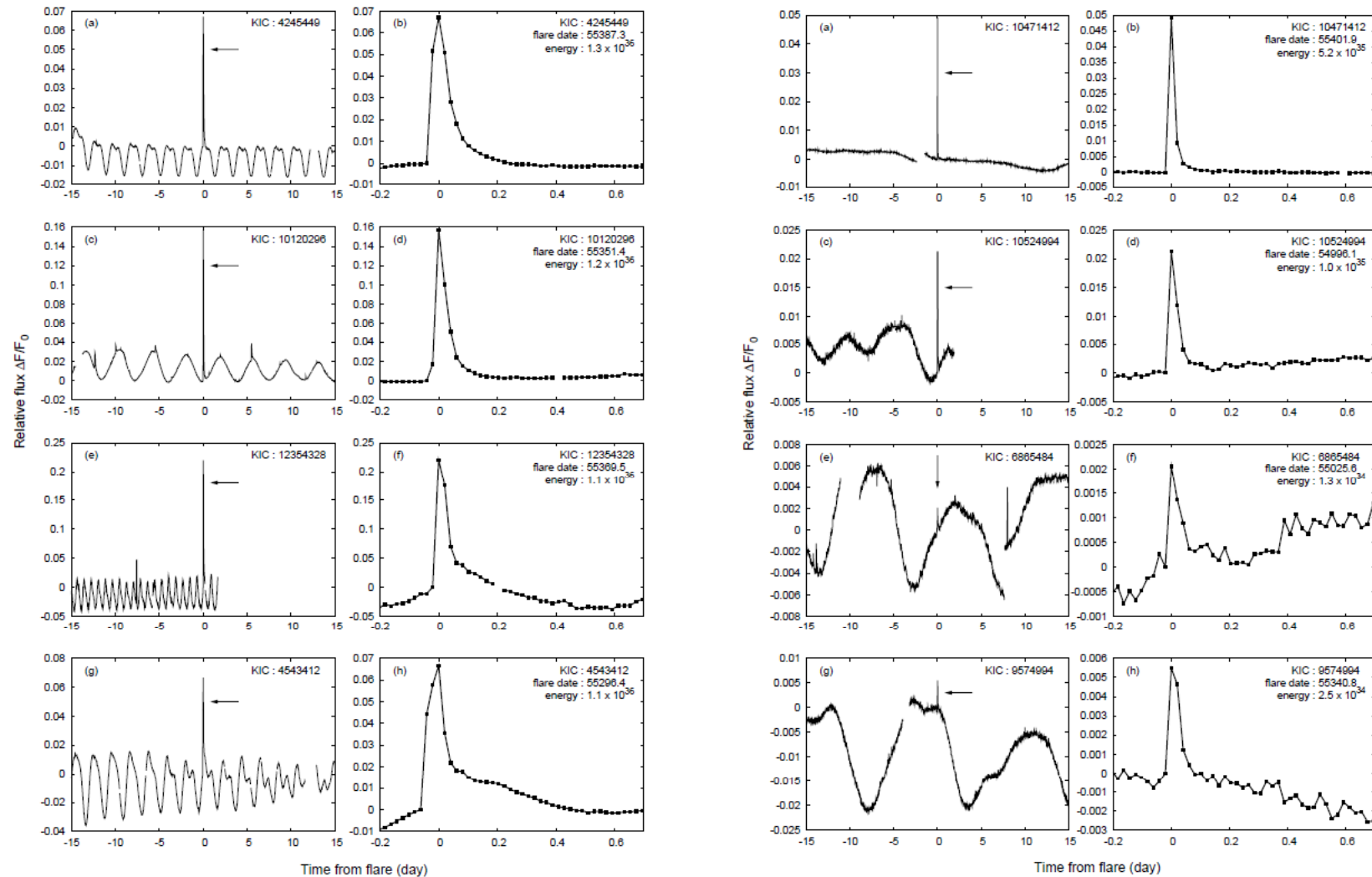
KeplerID	$T_{\text{eff}}^{\dagger}$ (K)	$\log g^{\ddagger}$ (cm s^{-2})	$R_{\odot}^{\dagger\dagger}$	KPmag	$P_{\text{rot}}(\text{day})^*$
10471412	5771	4.1	1.6	13.5	17.1

What is Solar/Stellar Cycle dependence of Flare frequency ?



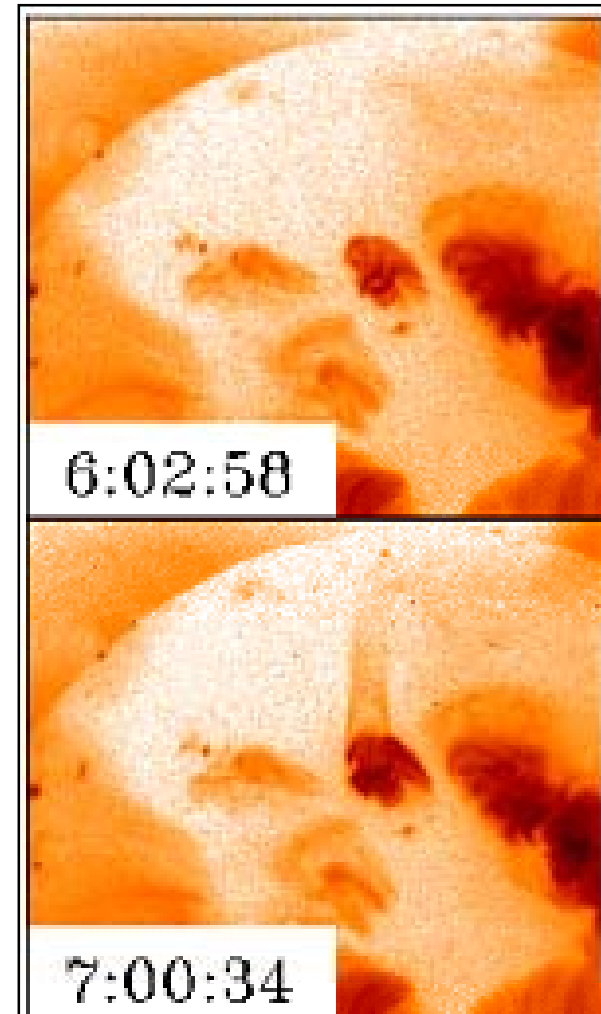
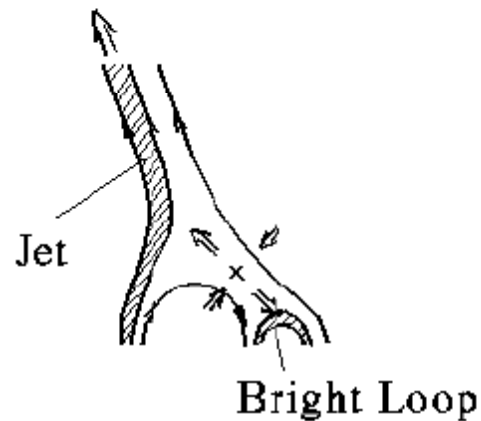
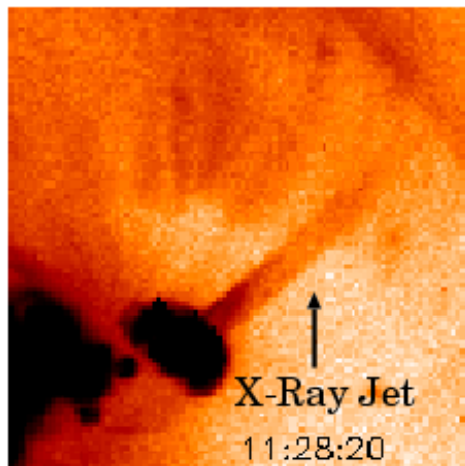
Various Superflares

Shibayama et al. (2012) to be submitted



Jets from microflares

- Yohkoh/SXT discovered X-ray jet
(Shibata et al. 1992,
Strong et al. 1992,
Shimojo et al. 1996)



Anemone (Shibata et al. 1994)

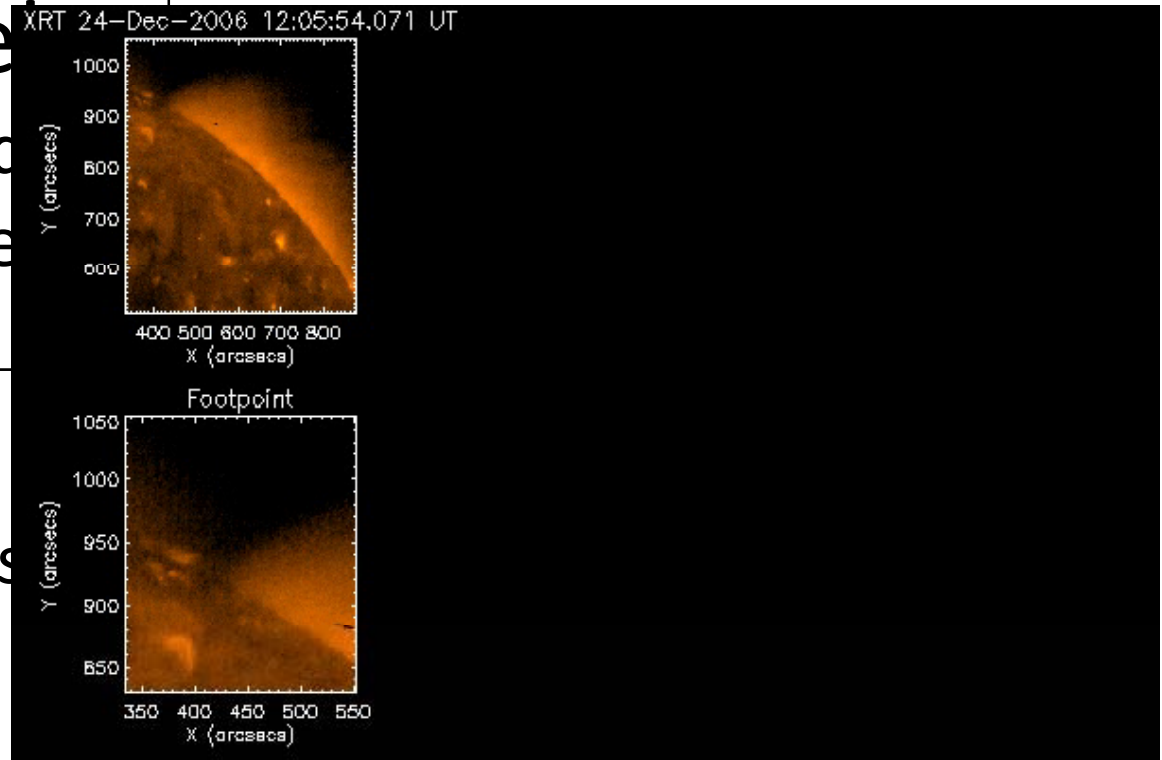
Summary of “flare/CME” observations with Yohkoh

“flares”	Size (L)	Lifetime (t)	Alfvén time (t_A)	t/t_A	Mass ejection
microflares	10^3 - 10^4 km	100- 1000sec	1-10 sec	~100	jet/surge
Impulsive flares	(1-3) x 10^4 km	10 min – 1 hr	10-30 sec	~60-100	X-ray plasmoid/ Spray
Long duration (LDE) flares	(3-10)x 10^4 km	1-10 hr	30-100 sec	~100-300	X-ray plasmoid/ prom. eruption
Giant arcades	10^5 - 10^6 km	10 hr – 2 days	100-1000 sec	~100-300	CME/prom. eruption

Hinode obs (Shimojo et al. 2007)

Unified model (plasmoid-induced reconnection mode) (Shibata 1996, 1999)

(a,b): giant arcades,
LDE/impulsive flares
CMEs

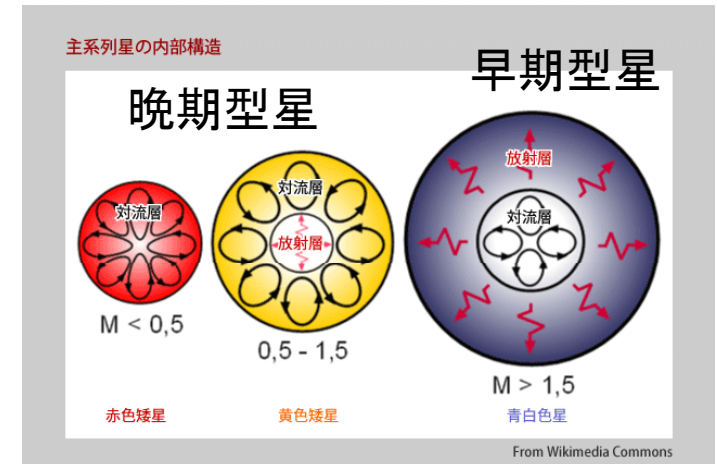
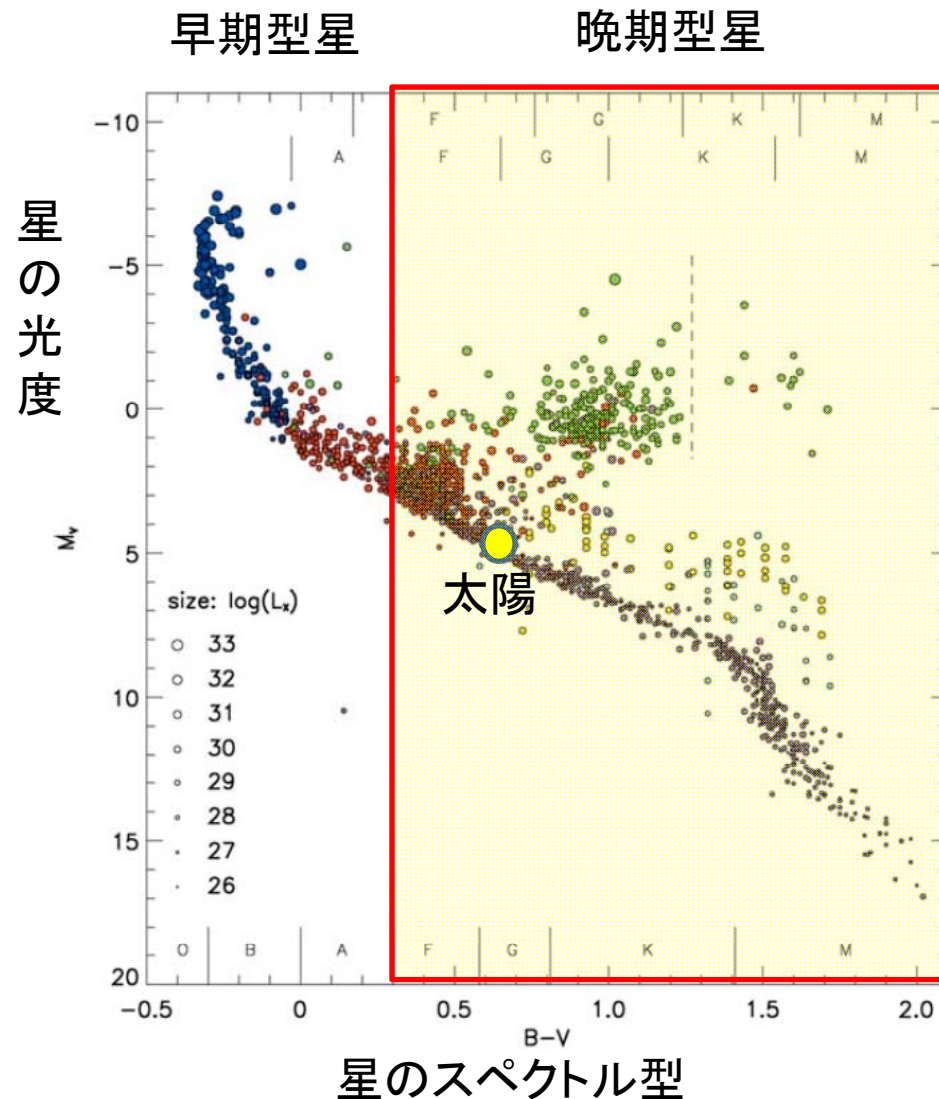


(c,d) : impulsive flares,
microflares, jets



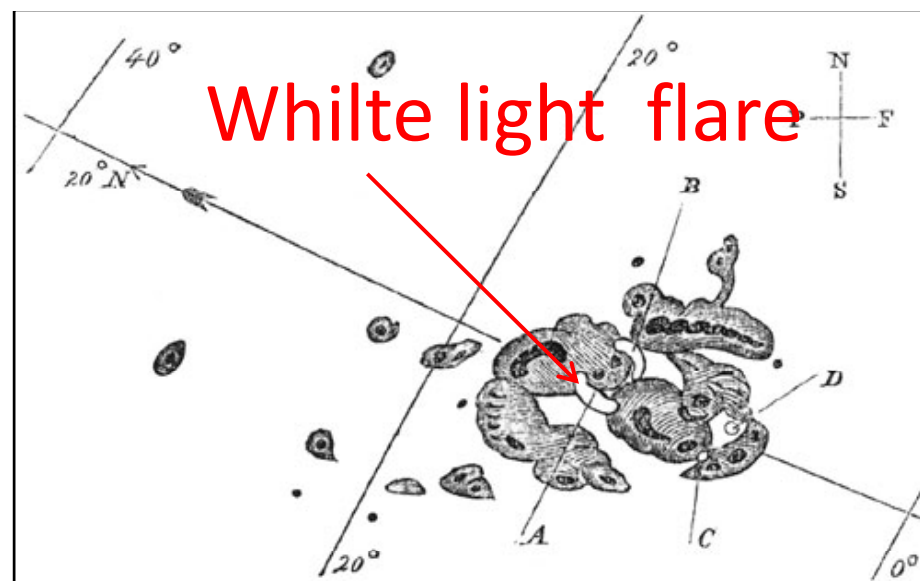
$$\text{Energy release rate} = \frac{dE}{dt} \approx \frac{B^2}{4\pi} V_{in} L^2 \approx 10^{-2} \frac{B^2}{4\pi} V_A L^2$$

X線を放射する恒星のHR図



晩期型星の
X線放射
=>コロナ
=>フレア

太陽フレアの発見



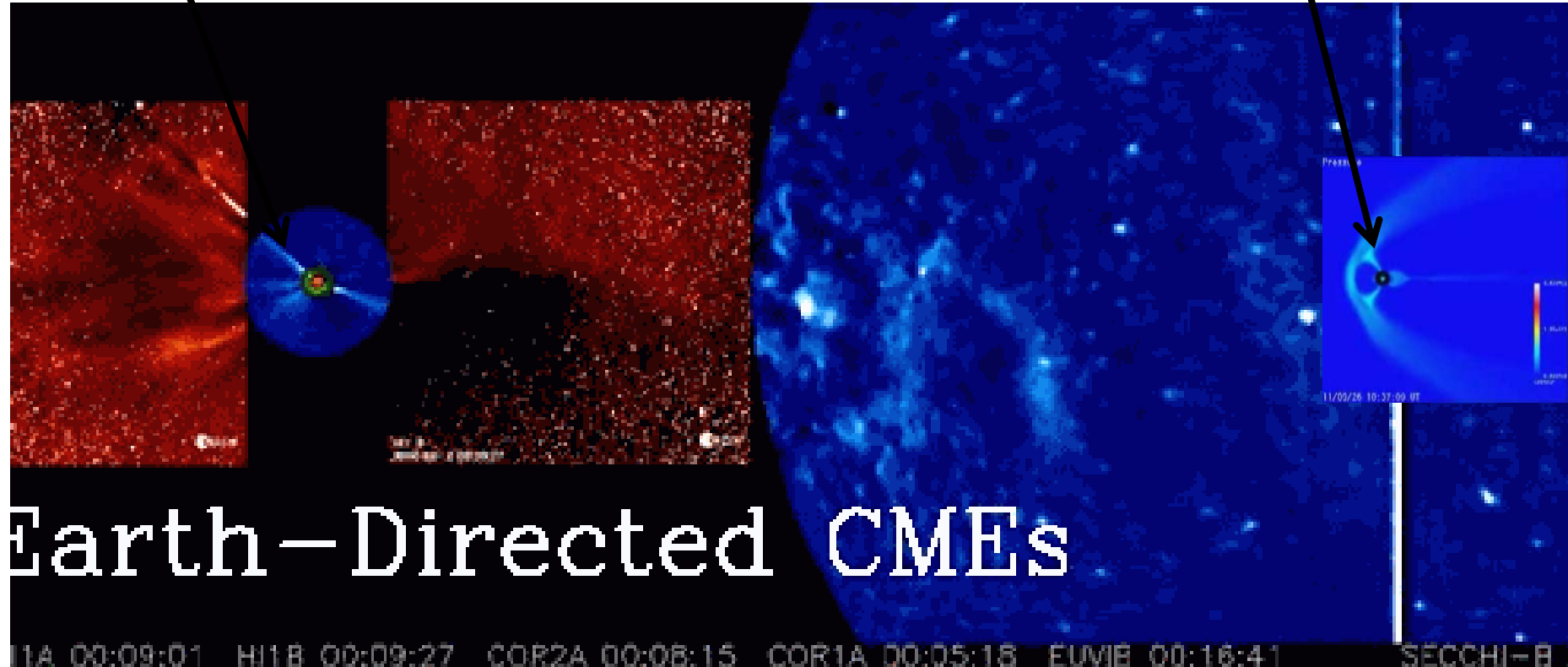
- 人類が最初に見たフレア (Carrington、1859) は、白色光フレア。継続時間、5分。200年間で最大の磁気嵐(～1760nT)を引き起こした。米国、ヨーロッパで電信機などの火花放電が原因の火事が多数発生。
- 1989年にカナダのケベック州で、大磁気嵐(590nT)が起きて600万戸が停電。このときのフレアはX4.6。被害総額は数100億円以上。

太陽フレア予報、すなわち、宇宙天気予報が緊急の課題

太陽

宇宙天気現象

地球



Earth-Directed CMEs

太陽フレアから発生した衝撃波が
惑星間空間を伝播する様子の
リアル映像(ステレオ衛星)

地球で磁気嵐などが起き
様々な被害発生
=> **宇宙天気予報**が
緊急の課題