

2017年12月22日 天文学技術シンポジウム(倉敷市芸文館) 講演
13:10-14:00 (講演)+10分質疑応答

太陽の脅威とスーパーフレア

柴田一成

京都大学理学研究科 附属天文台 教授・台長
京都大学宇宙総合学研究ユニット 副ユニット長

京都大学大学院 理学研究科 附属天文台

花山天文台



太陽系、太陽観測で世界的成果

日本のアマチュア天文学
発祥の地

(山本一清 初代台長)

京都市山科区 創立:1929年

飛騨天文台



太陽観測の世界的拠点

岐阜県高山市 創立:1968年

京大岡山3.8m望遠鏡(2018年観測開始予定) 東アジア最大！ (京大岡山天文台)

国立天文台岡山観測所



宇宙の爆発現象
ガンマ線バースト
太陽系外惑星
スーパーフレアの観測

ただし、運営費が足りない！

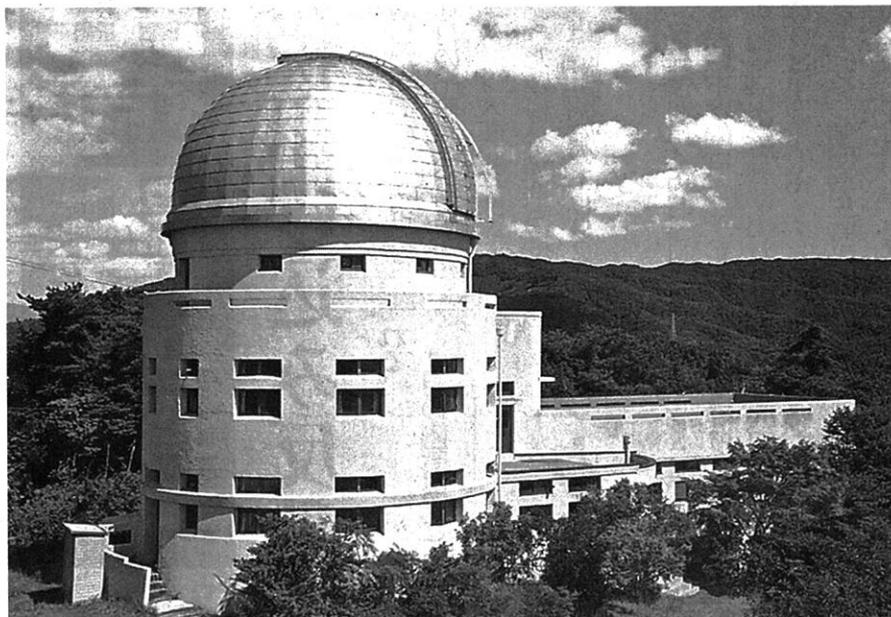
3.8m望遠鏡(2018年観測開始予定)

京大、星空ファン育成に貢献

花山天文台 運営ピンチ

国の予算獲得難しく 基金設けて寄付募る

「アマチュア天文学の発祥地」といわれる京都大花山天文台(京都市山科区)が、存続の危機に直面している。国の予算獲得が年々難しくなり、運営費の捻出が厳しいためだ。歴史的な財産を未来に引き継ごうと、所管する京大理学研究所付属天文台は基金を設け、個人や企業から寄付を募っている。



花山天文台は国内の大学の天文台で2番目に古い1929年に設けられた。近代の天文学研究をリードする一方、初代台長の山本一清の方針で早くから一般向け天文観望会を開き、アマチュア天文家の育成に大きく貢献した。現在も一般公開や中学高校生向け教育実習に活用されている。

近年は国の科学研究費の獲得競争が厳しく、岡山県浅口市に本年度完成する岡山天文台の建設費や飛騨天文台(岐阜県高山市)の運営費がかさむこともあり、年間約1千万円かかる花山

運営費の減少で存続が危ぶまれている京都大花山天文台(京都市山科区)京大提供

京都新聞
5月14日

「花山天文台の将来を考える会」

(代表:尾池和夫、副代表:土井隆雄)

ぜひご参加を!

京都新聞 2017年 7月4日

2017年7月4日(火) 京都

25 情報ワイド

第3種郵便物認可



京都花山天文台の将来を
考える会(京都市山科区)

京都市山科区に伸びる 太陽観測などの成果を
国道1号から山道に入 挙げてきただけでなく、
り、しばらく車で走ると アマチュア天文学の拠
古めかしい建物が見えて 点ともなってきた。しか
くる。1929年に設立 し今、運営難に陥ってい
された京都大理学研究 る。
科付属花山天文台だ。 天文台の未来を市民と
大学の研究施設として 一緒に考え、運営を助け

観望会や天文講話開く

てもらおうと1月に発足
した。代表は尾池和夫・
元京大総長、事務局は柴
田一成・同天文台長が務
める。
年会費3千円から会員
になれる。6千円以上払
えば年3回まで、同天文
台にある口径45センチの屈折
望遠鏡で月などを観察す
る観望会に無料で招待さ
れる。3万円以上を出せ
ば賛助会員になれる。観望
会だけでなく、毎週金曜
に京都市下京区のキャン
パスプラザ京都である一
般向けの授業「金曜天文

講話」を無料で受講でき
る。

同講話では、柴田台長
や宇宙飛行士の土井隆雄

さんら京大の教員が「爆
発だらけの宇宙」などと

題して、最先端の研究成
果を分かりやすく解説す

る。 一般会員と賛助会員の
いずれも年1回ほど、教

員と今後の天文台のあり

方について意見を交わす
懇親会(有料)に参加で
きる。

柴田台長は「100年
近い歴史を持つ天文台
には、素晴らしい施設が
たくさんある。京都の新
たな魅力として発展さ
せ、子どもたちに引き継
いでいけるように一緒に
考えませんか」と呼びか
ける。

(広瀬一隆)



観望会に使う屈折望遠鏡の前に笑顔を交わす柴田台長(右)と
土井さん(京都市山科区)

京都花山天文台の将来
を考える会 希望者は同
会のウェブサイトに、天
文台の写真や訪問記を書
くことができる。入会希
望者は事務を担う同天文
台の分室(075(7588)
330003。

<http://www.kwasan.kyoto/index.html>



ぜひご参加を！

京都

花山天文台の将来を考える会



トップページ

会の概要

天文台紹介

将来計画

企業・個人の方へ

賛同メッセージ

お問合せ



花山天文台本館（撮影：Creative Office Haruka）



別館18cm屈折ザートリウス望遠鏡（撮影：Creative Office Haruka）



戦前の一般公開の様子 本館ドーム内

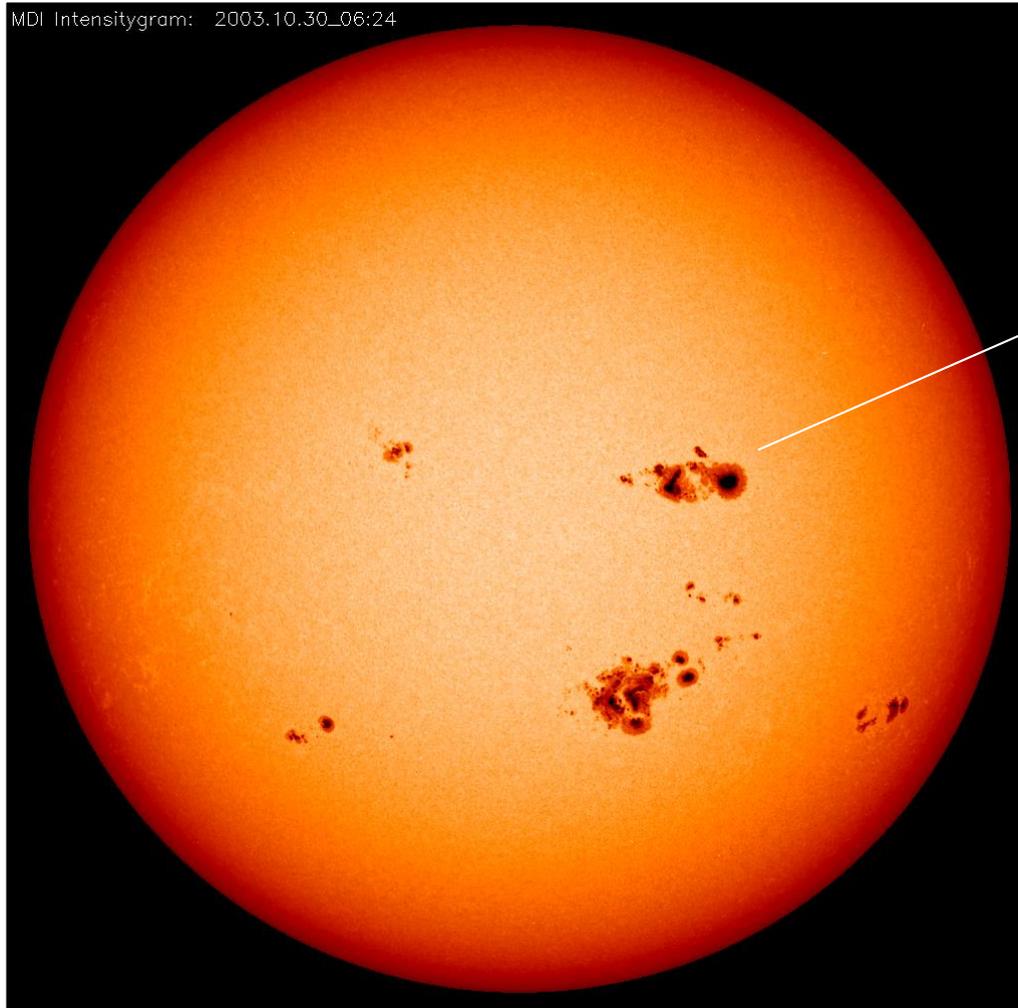
本日の講演内容

太陽の脅威とスーパーフレア

- 太陽の正体—爆発だらけ
- ひので衛星が見た最新太陽像
- 太陽活動の地球への影響
- ちょっとこわい話：スーパーフレアの発見

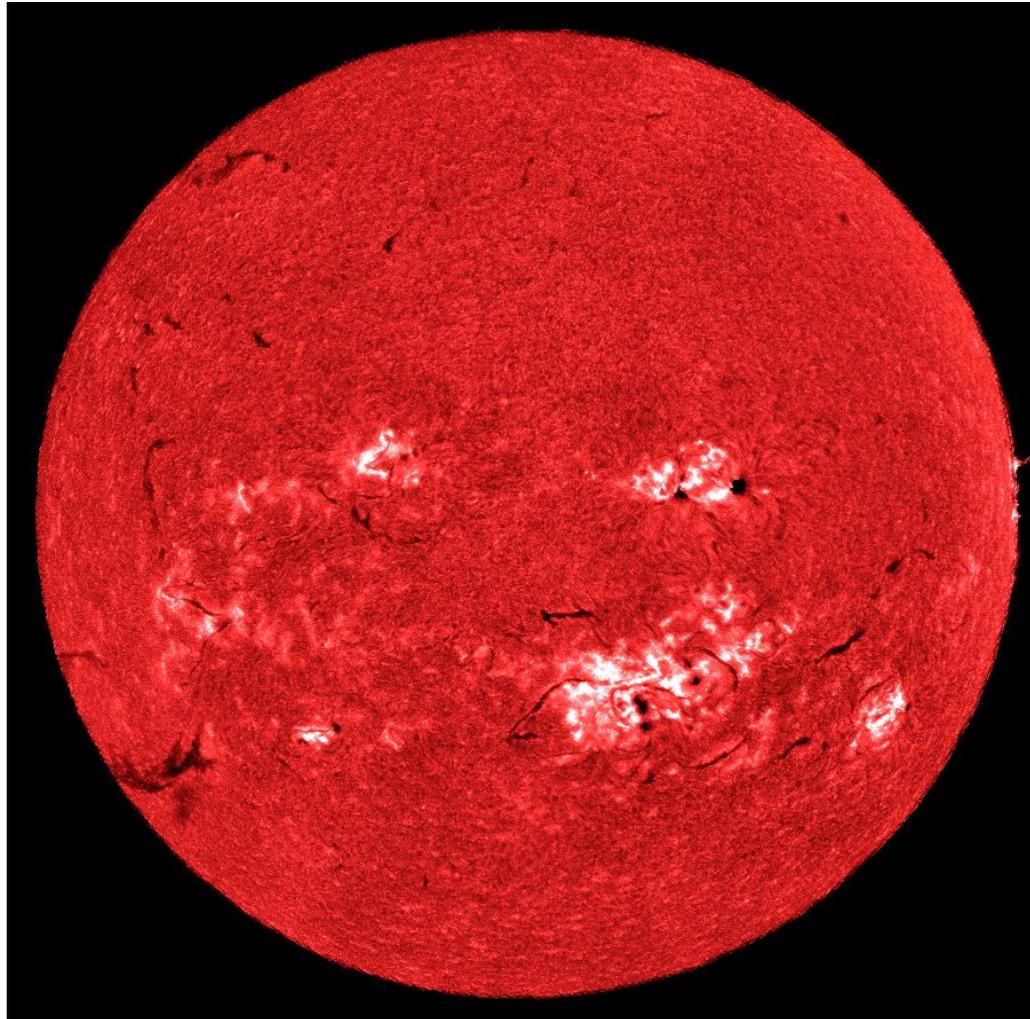
太陽の正体 —爆発だらけ

可視光で見た太陽 (光球=6000度)



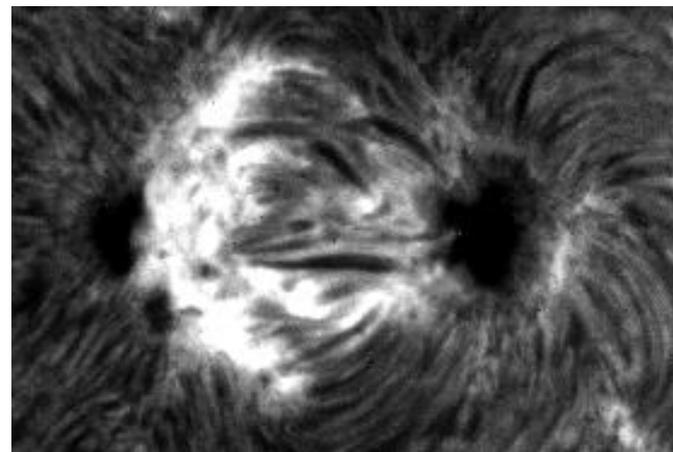
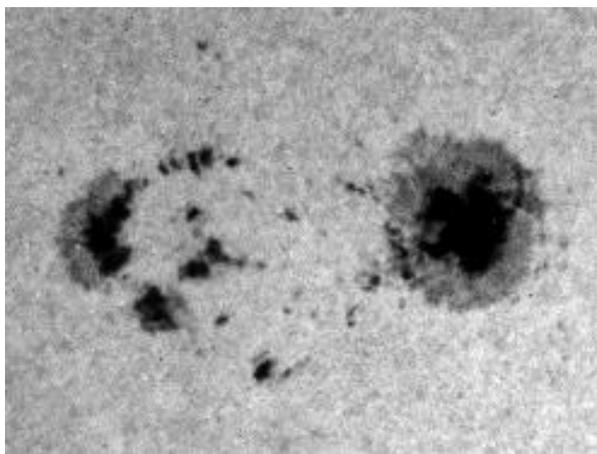
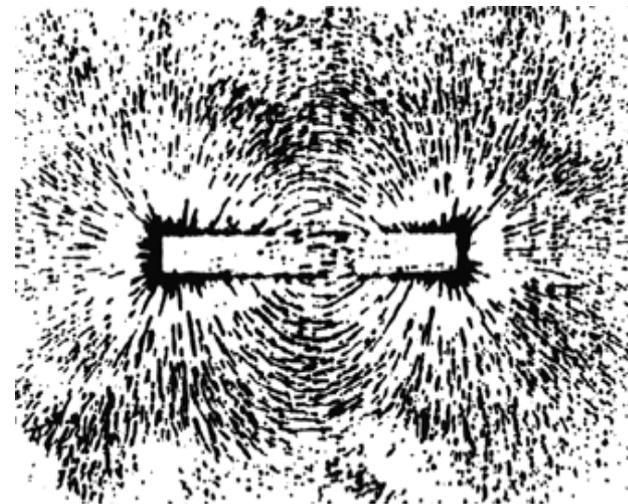
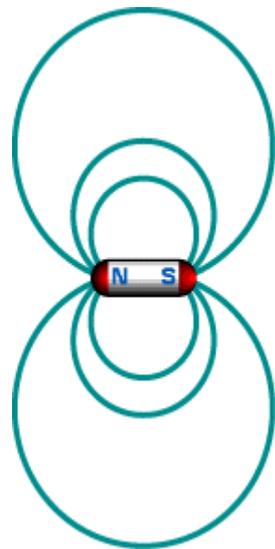
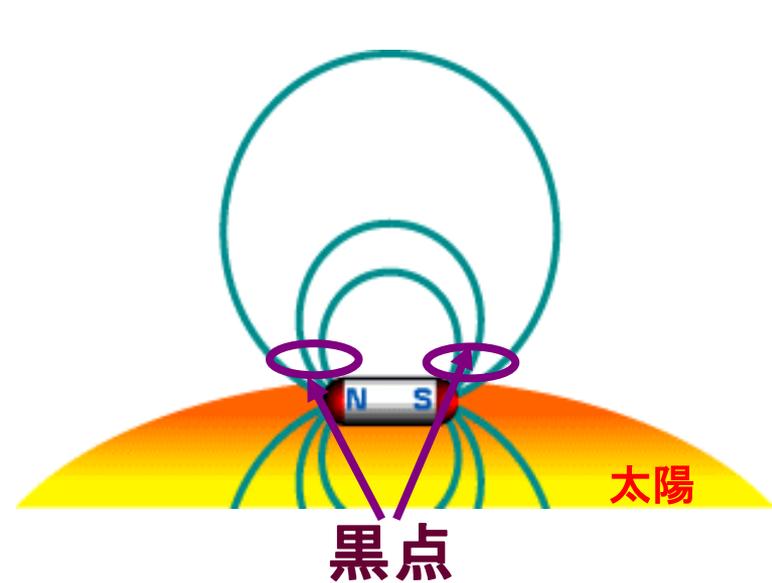
SOHO
(NASA&ESA)

H α 線(水素原子のスペクトル線)で見た太陽 (彩層=1万度: 光球の上層大気)



2003年10月
京大飛騨天文台
SMART望遠鏡

黒点の正体＝巨大な磁石



太陽コロナ



コロナは100万度もの超高温状態にある(1940年代発見)
(グロトリアン、エドレン、宮本正太郎(京大花山天文台3代台長))
なぜ、こんなに超高温になっているのか？
天文学最大のなぞの一つ

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

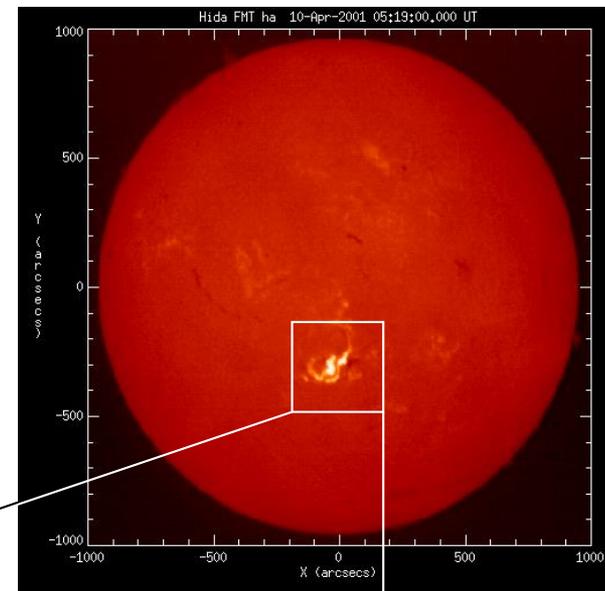
全エネルギー

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

(水爆10万－1億個)

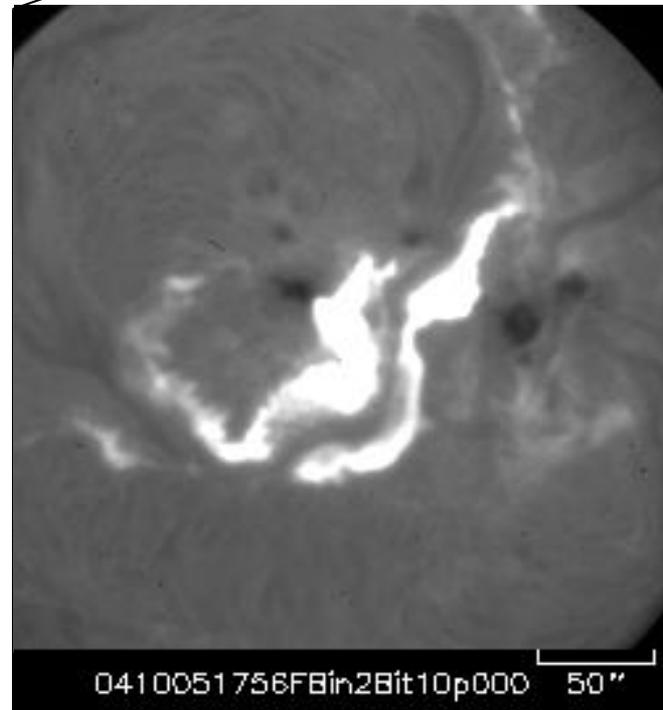
太陽系最大の爆発現象

発生メカニズムが
1世紀以上謎

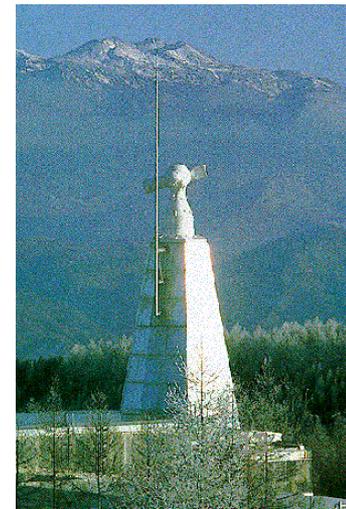


H α

彩層
1万度

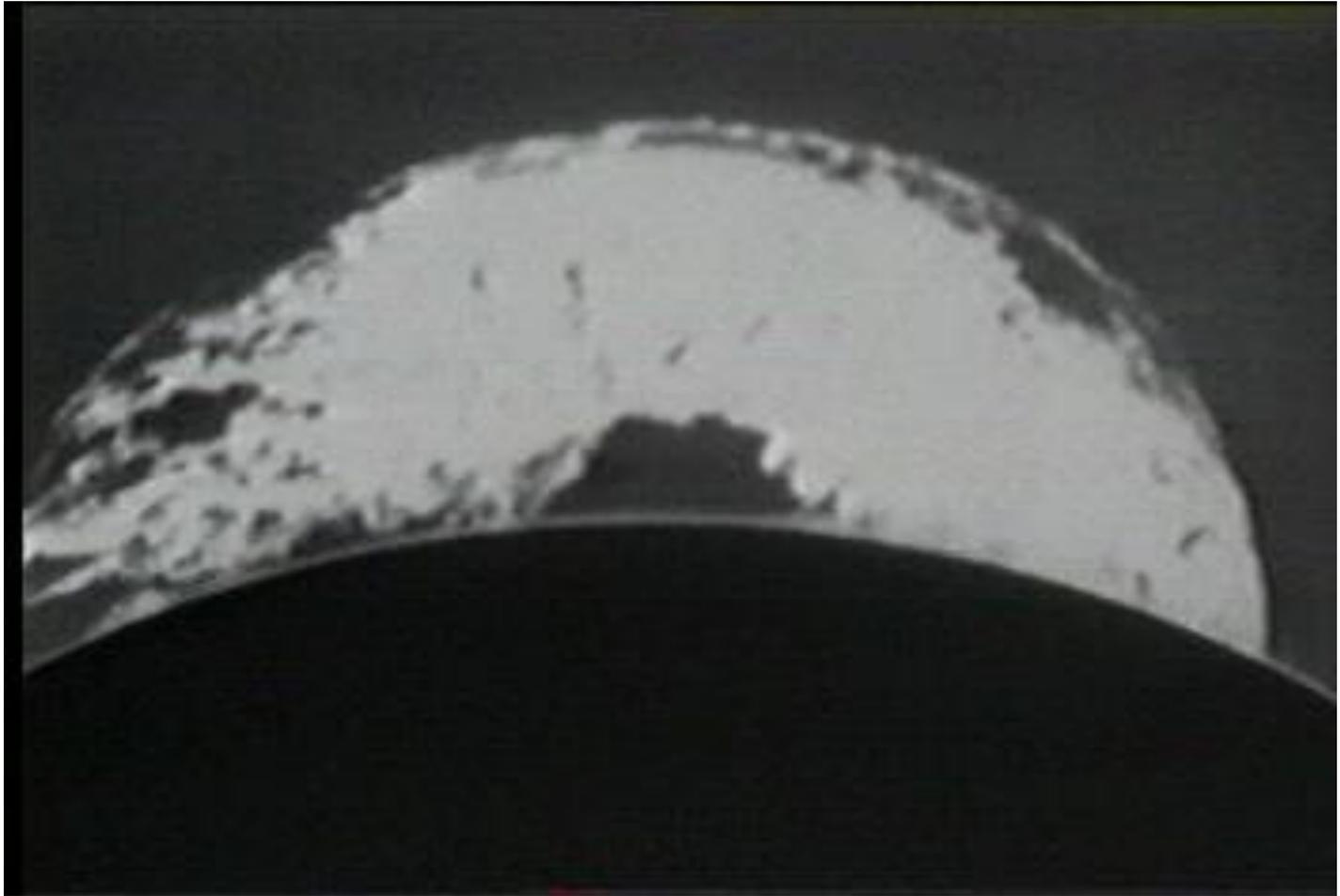


京大飛驒天文台

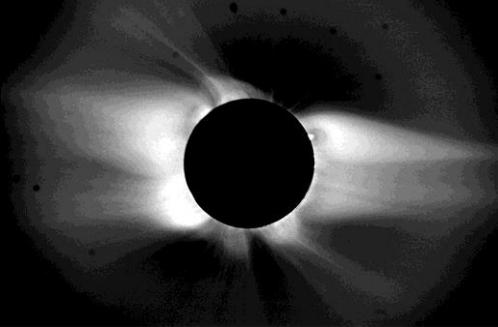


太陽プロミネンス噴出

(史上最大:1946年6月4日:米国)



1992/01/12



X線で見た 太陽コロナ (「ようこう」衛星 による)



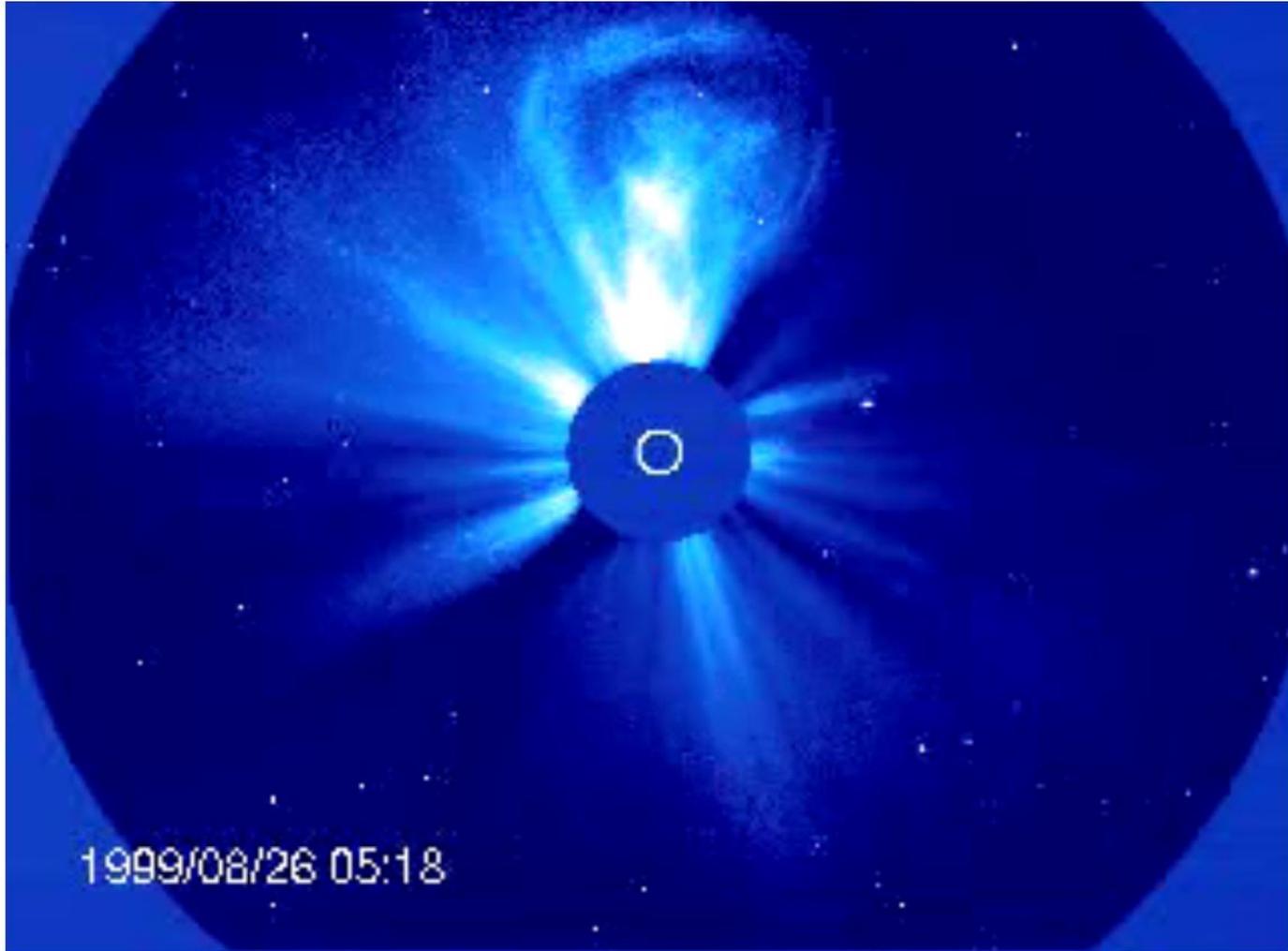
コロナは爆発
(フレア)だらけ！

軟X線 (1 keV)
200万度—数千万度

Yohkoh₁₅ SXT
Kyoto 4D

コロナ質量放出 (CME)

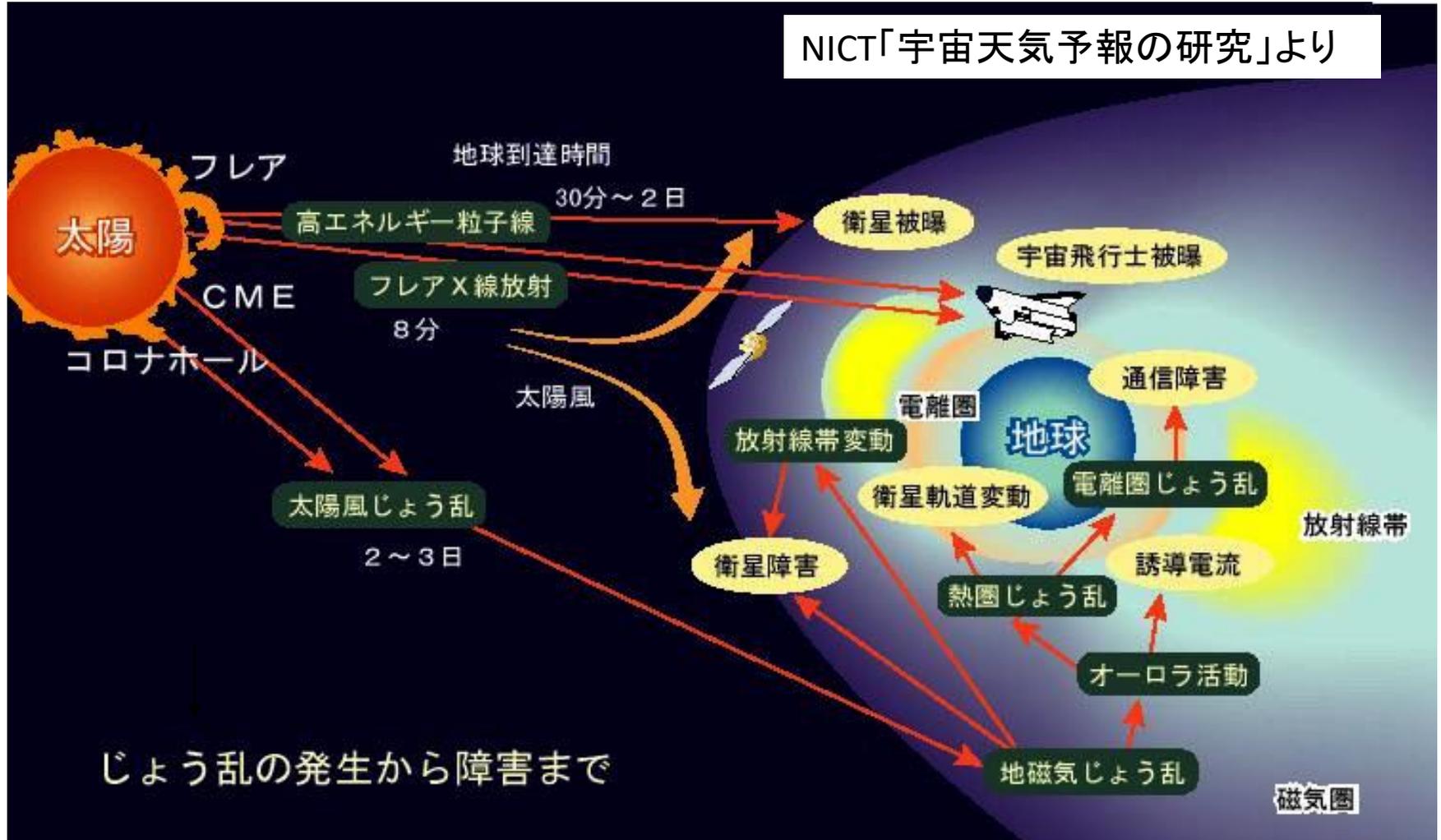
(SOHO/LASCO, 可視光/人工日食)



常に
太陽から
流れ出し
ているのは
太陽風

速度: $100 \sim 1000 \text{ km/s}$ 、質量: 10億 ~ 100億トン

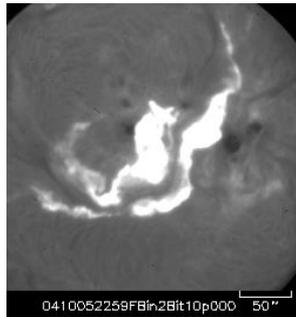
太陽活動は地球環境に様々な被害をもたらす => 「宇宙天気予報」が必要



太陽の謎

- 太陽面爆発(フレア)の発生メカニズムは何か？ フレア発生の予報(宇宙天気予報)は可能か？
- コロナはいかにして100万度もの超高温に加熱されているのか？
- 太陽活動の元となる磁場、すなわち、黒点はいかにして生成されたのか？

音楽家・喜多郎作の楽曲「古事記」
第4楽章「おろち」
に合わせて、
太陽の爆発現象の
驚くべき映像を上映（7分7秒）



DVD「古事記と宇宙」(全46分) 講演後、サインつきで発売！

内容紹介

神話と宇宙を音楽と映像で融合！

歴史的評価を得た“喜多郎”の代表作「古事記」に合わせ、京都大学 花山天文学台台長である喜多郎と柴田一成の宇宙をまたにかけた奇跡のコラボレーションがここに！！

【収録内容】

1. 「太始 Hajimari」(5:33) 宇宙初期の大規模構造形成と銀河形成シミュレーション
2. 「創造 Sozo」(3:39) 太陽系内の惑星と衛星
3. 「恋慕 Koi」(6:31) 天の川、星団、星雲、銀河
4. 「大蛇 Orochi」(7:07) 太陽フレア、プロミネンス噴出、X線で見たコロナ
5. 「嘆 Nageki」(5:48) オーロラ
6. 「饗宴 Matsuri」(9:01) 日食、コロナ、プロミネンス、彩層
7. 「黎明 Reimei」(8:43) 世界の宇宙学の歴史と未来

企画・監修：柴田一成

音楽：喜多郎

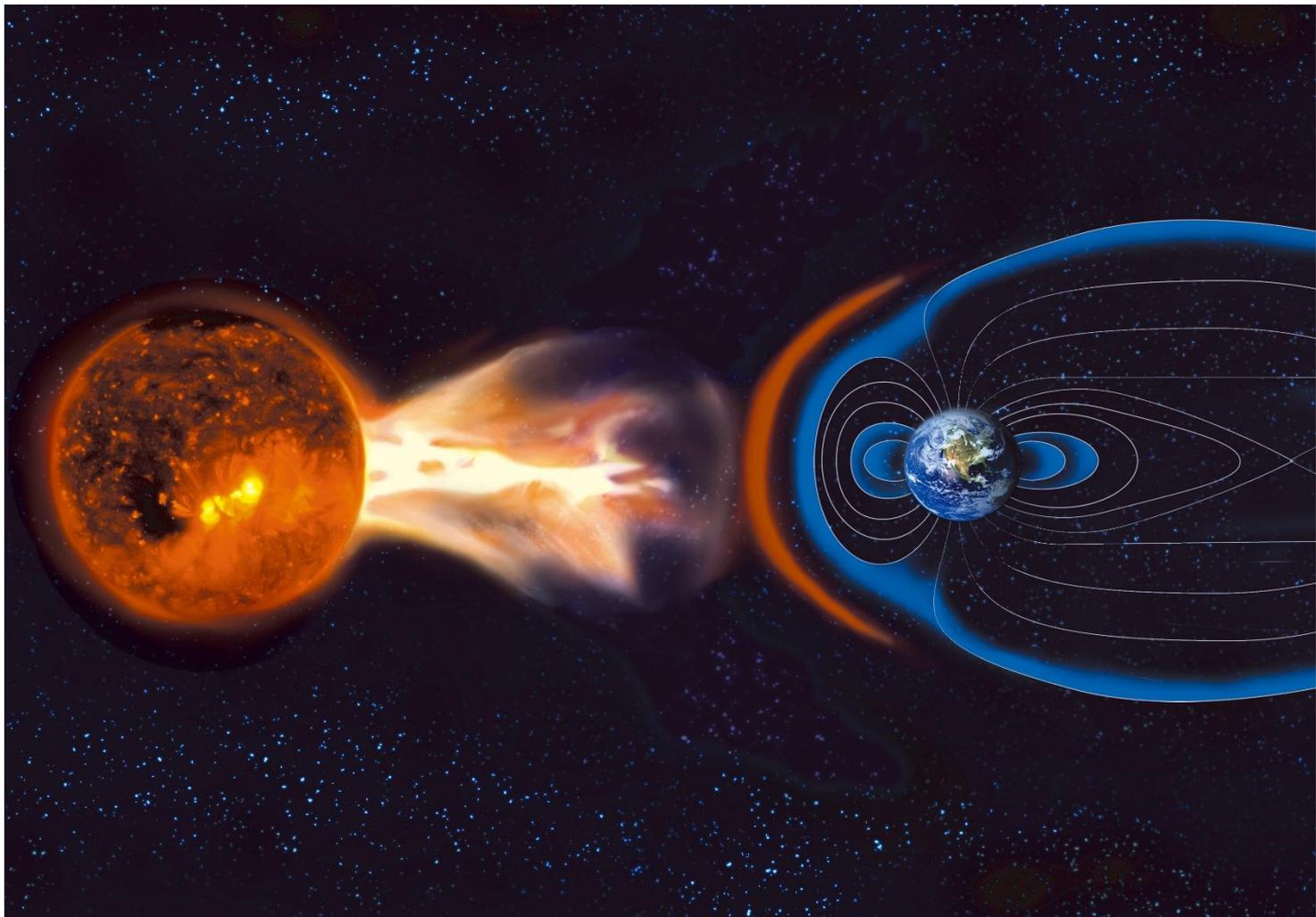


アマゾンでも買えます！

定価4104円 ⇒ 特価4000円

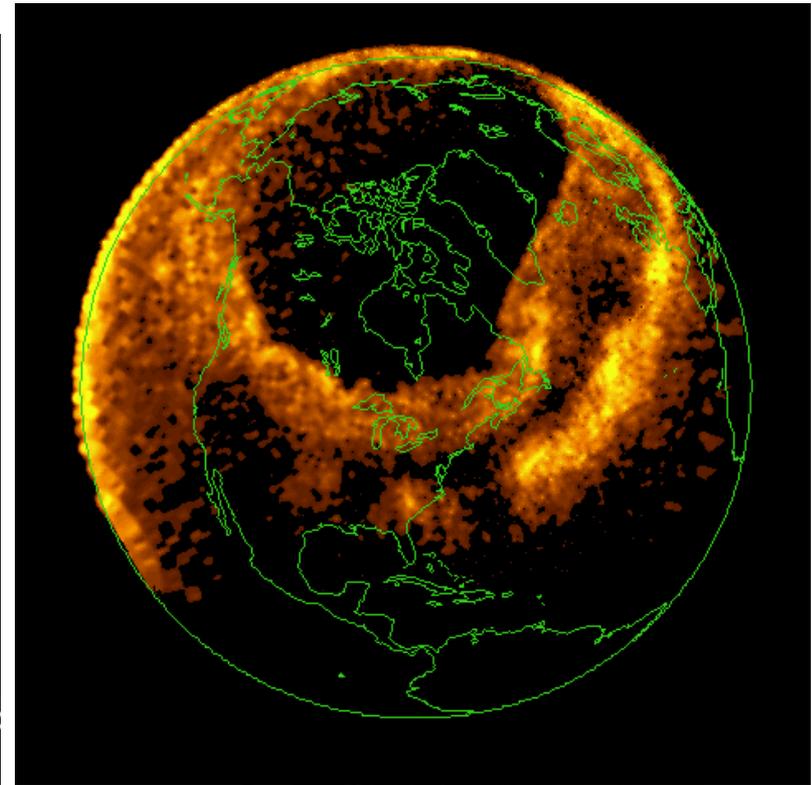
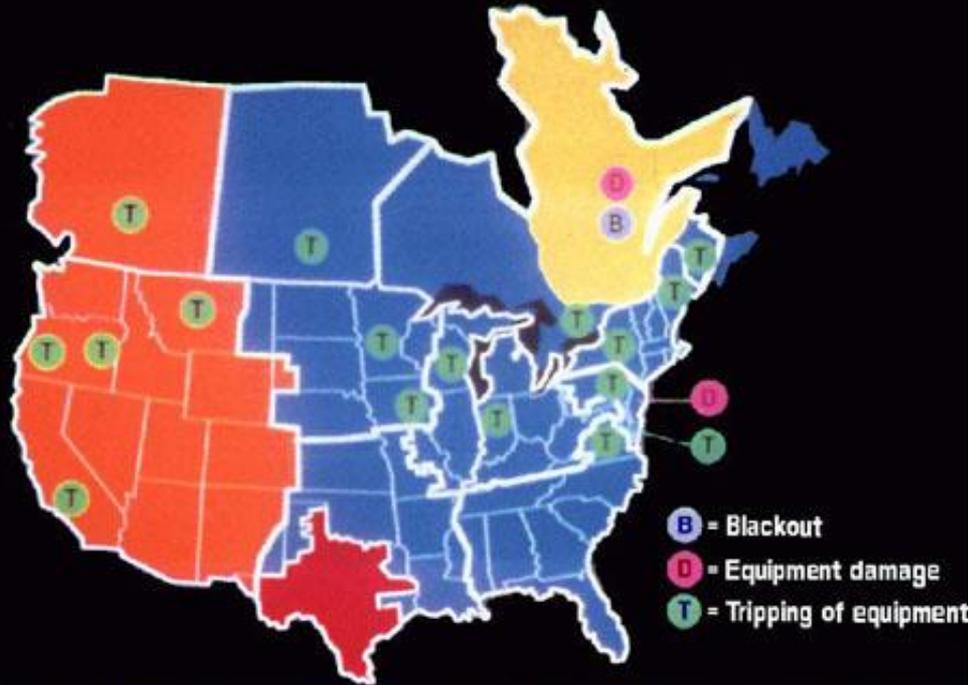
太陽活動の地球への影響

太陽フレア、太陽風ーオーロラ 説明図



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)

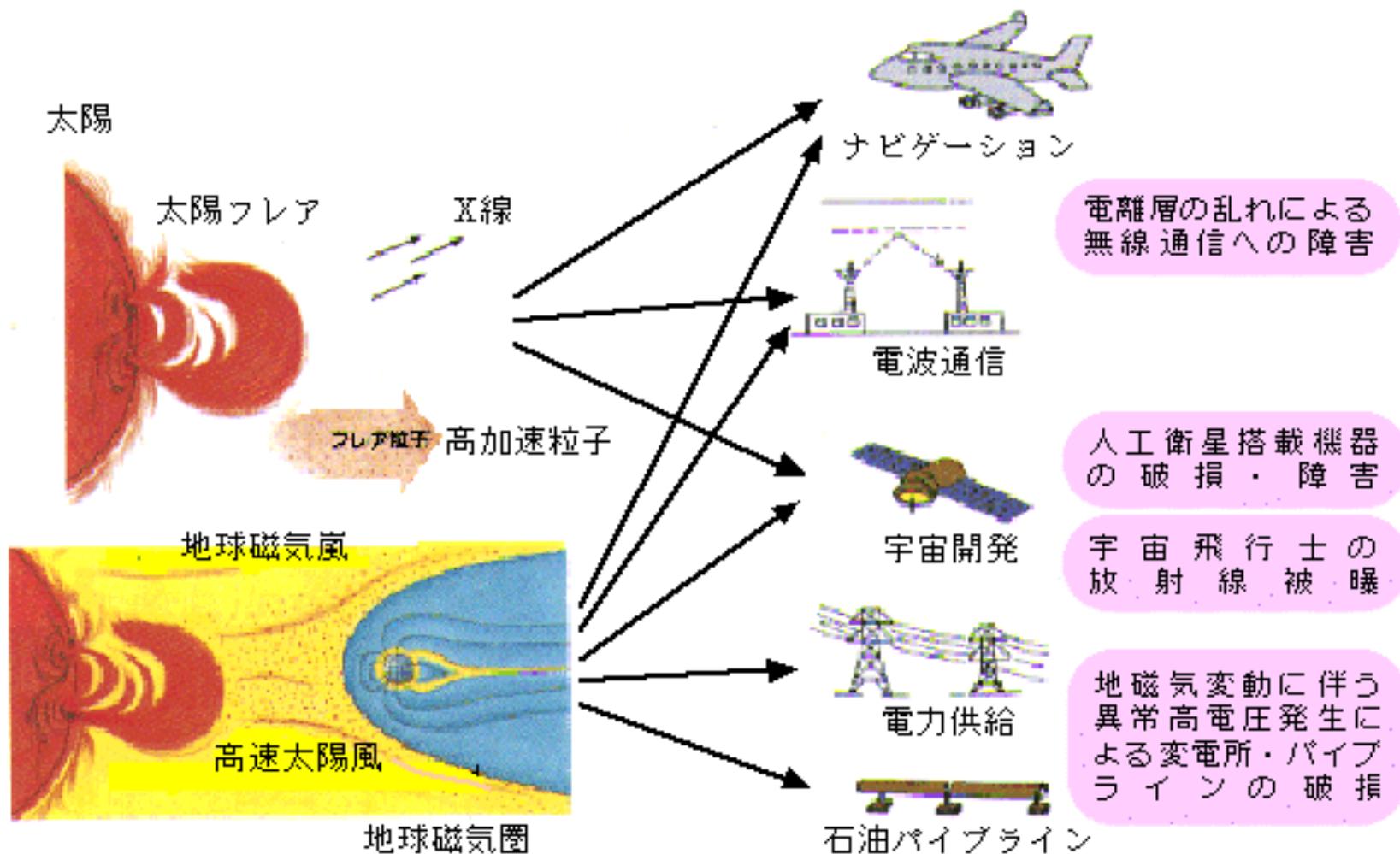
POWER SYSTEM EVENTS DUE TO SMD MARCH 13, 1989



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

太陽活動の脅威

太陽の活動は現代の情報化・IT化した文明社会に多大な影響を与えます。

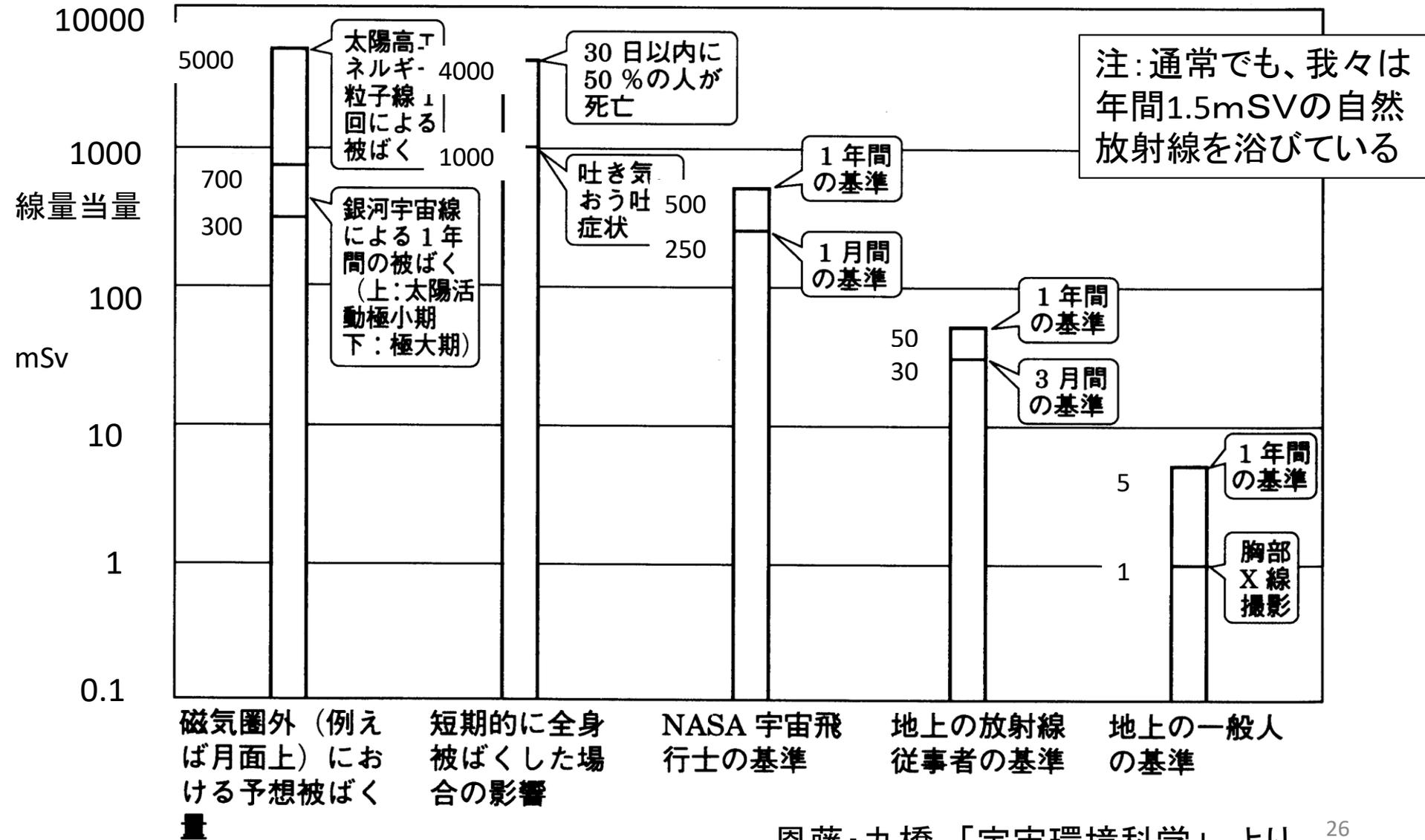


「宇宙天気予報」が緊急の課題

(c)NICT

ちよつと こわい話

太陽放射線による被爆の危険性



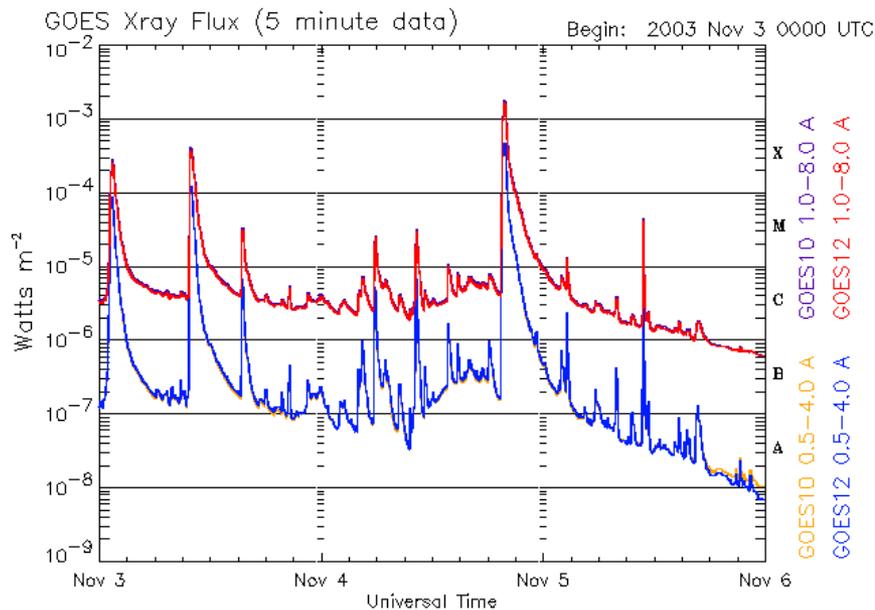
巨大フレアの発生頻度

(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
 ...
 X100000クラスフレアは1万年に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

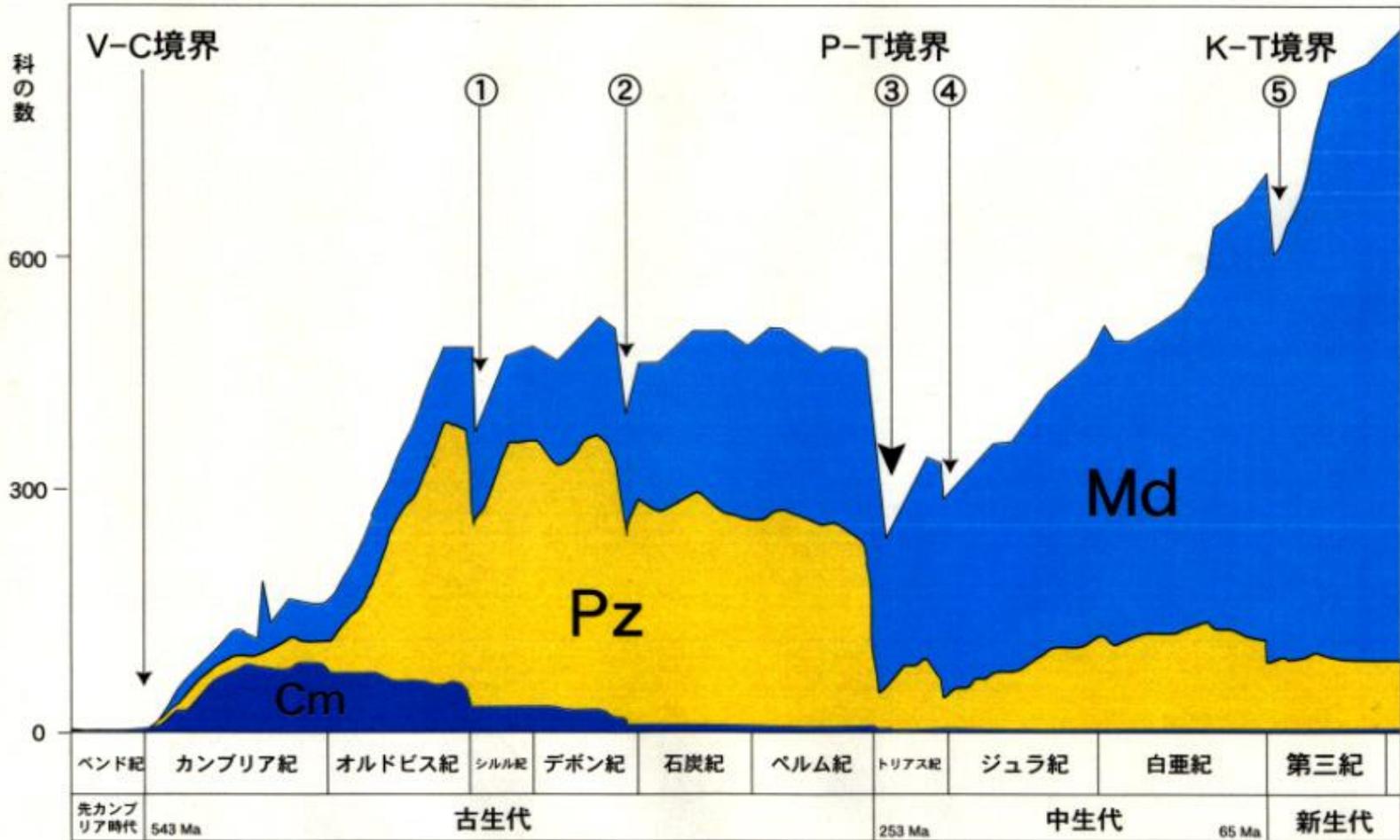


太陽と生命、人間

- 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

恐竜絶滅



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

セプコスキーによる
(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

ただし

- 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。ご安心を。
- 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)

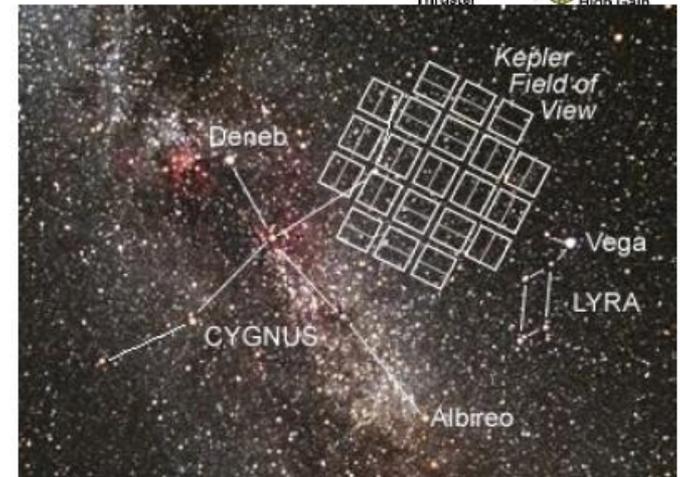
スーパーフレアを観測するには どうすれば良いか？

- 最大級の太陽フレアの1000倍のスーパーフレアは、1万年に1回程度の頻度で起きる可能性がある。
- 太陽の望遠鏡観測は始まってまだ400年。
- 太陽を1万年「観測」するにはどうすれば良いか？
- **太陽型星を1万個、1年間観測すれば、太陽を1万年観測したのと同等のデータが得られる！**

ケプラー衛星の観測データを使えば良い(関口さん)

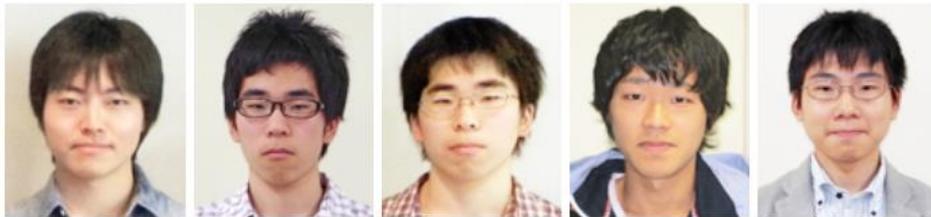
ケプラー 衛星

- 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16万個の星を常時モニター観測
そのうち、約半分の8万個が太陽型星
- 30分間隔の観測データを公開



スーパーフレア探査開始！

- 系外惑星探査衛星「ケプラー」は、8万個の太陽型星を常時モニター観測している！ しかし、8万個の星の観測データを解析するのは大変。人手が必要
- そうだ！ ひまを持て余している、京大の1回生を動員しよう
- 物理の授業で呼びかけた「誰か一緒にスーパーフレアを探しませんか？ どうせ君らは、ひまでしょ、、、」
- そしたら、5人の若者が集まった(柴山、野津、野津、長尾、草場)(2010年)



- それ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、148の太陽型星で365例のスーパーフレアを発見！ (2011年)

(2012年5月)

Superflares on solar-type stars

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

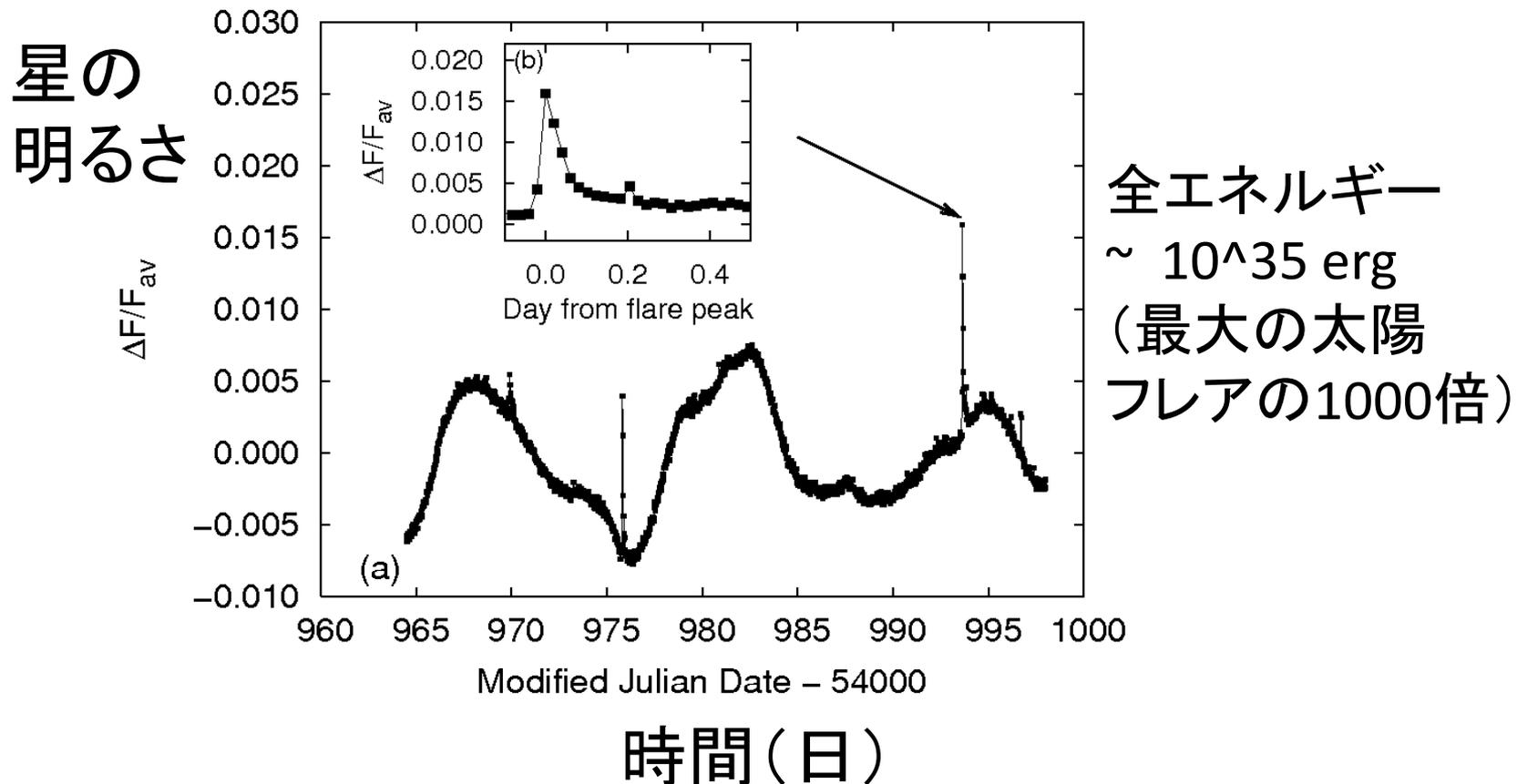
京大学部生(3回生)

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 a full description is provided in Supplementary Information). We used the 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: $5,100 \text{ K} \leq T_{\text{eff}} < 6,000 \text{ K}$, $\log(g) \geq 4.0$. There are 9,751 solar-type stars in the Kepler Input Catalog during the 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).

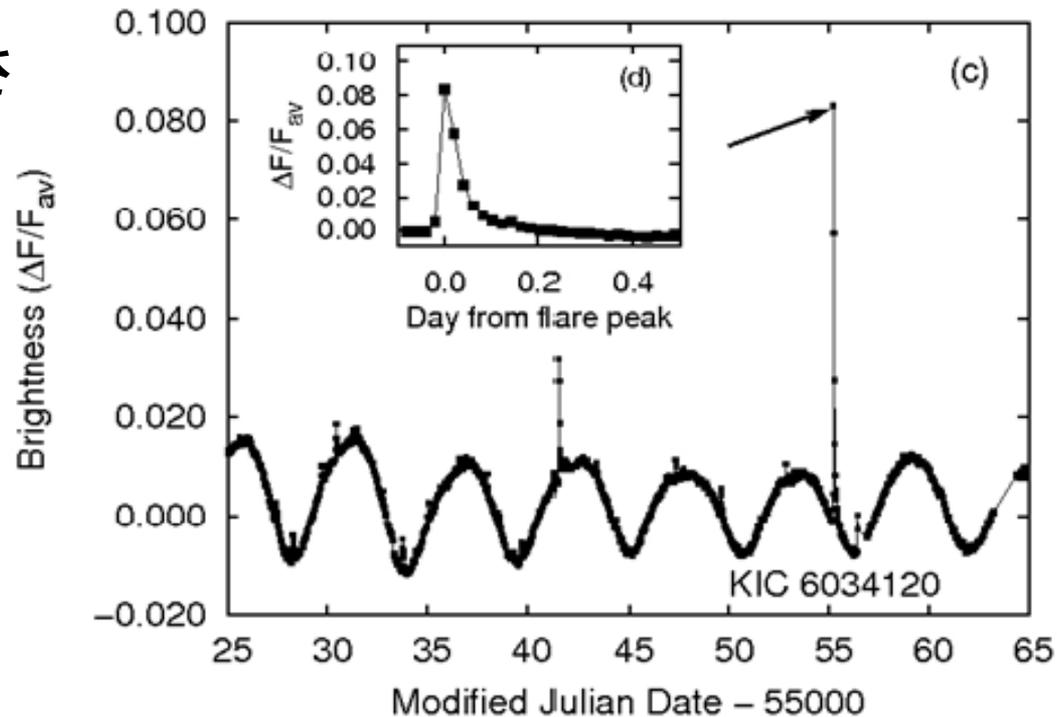
We found 365 superflares (flares with energy $> 10^{30}$ erg) on 103 solar-type stars (light curves of each flare are shown in Supplementary Fig. 8 and properties of each flare are listed in Supplementary Table 1). The durations of the detected flares are typically a few hours, and their amplitudes are generally 0.1–1% of the stellar luminosity. The bolometric luminosities and bolometric energy of each flare were estimated from the effective temperature in the Kepler Input Catalog⁹ and the

ケプラー衛星によって観測された スーパーフレア(例1)



星の明るさの変動の原因は何か？

星の明るさ

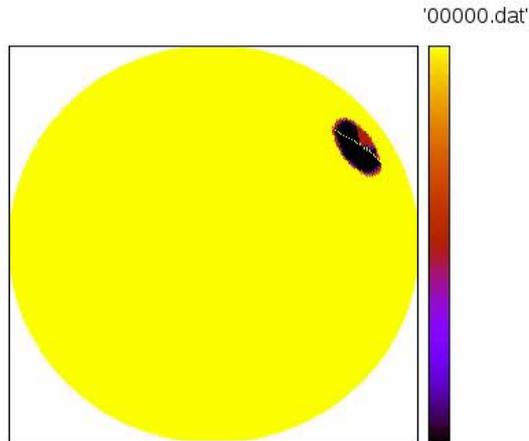


全エネルギー
最大の太陽
フレアの1万倍

巨大黒点のある星の自転が原因？

黒点による星の明るさ変化のモデル計算

KIC6034120



model(green)

inclination = 45°

Starspot radius

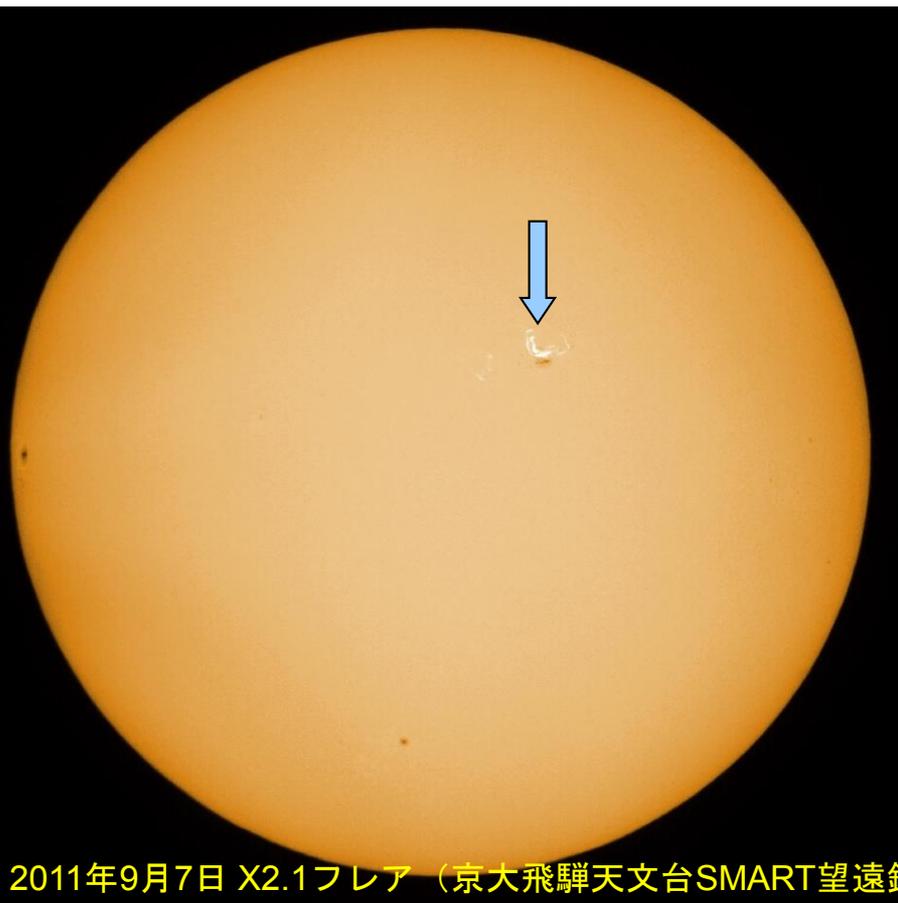
$0.16 R^*$

2%
(平均基準)

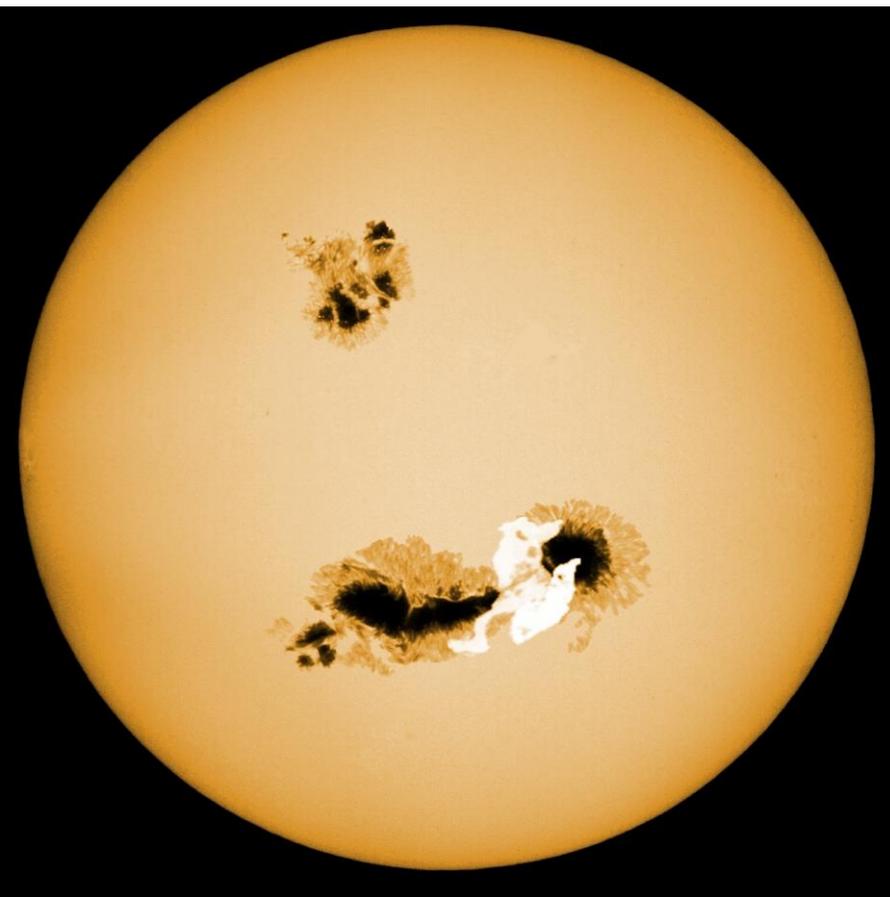
5 days

太陽フレア (実際の観測)

スーパーフレアの 想像図



2011年9月7日 X2.1フレア (京大飛騨天文台SMART望遠鏡)

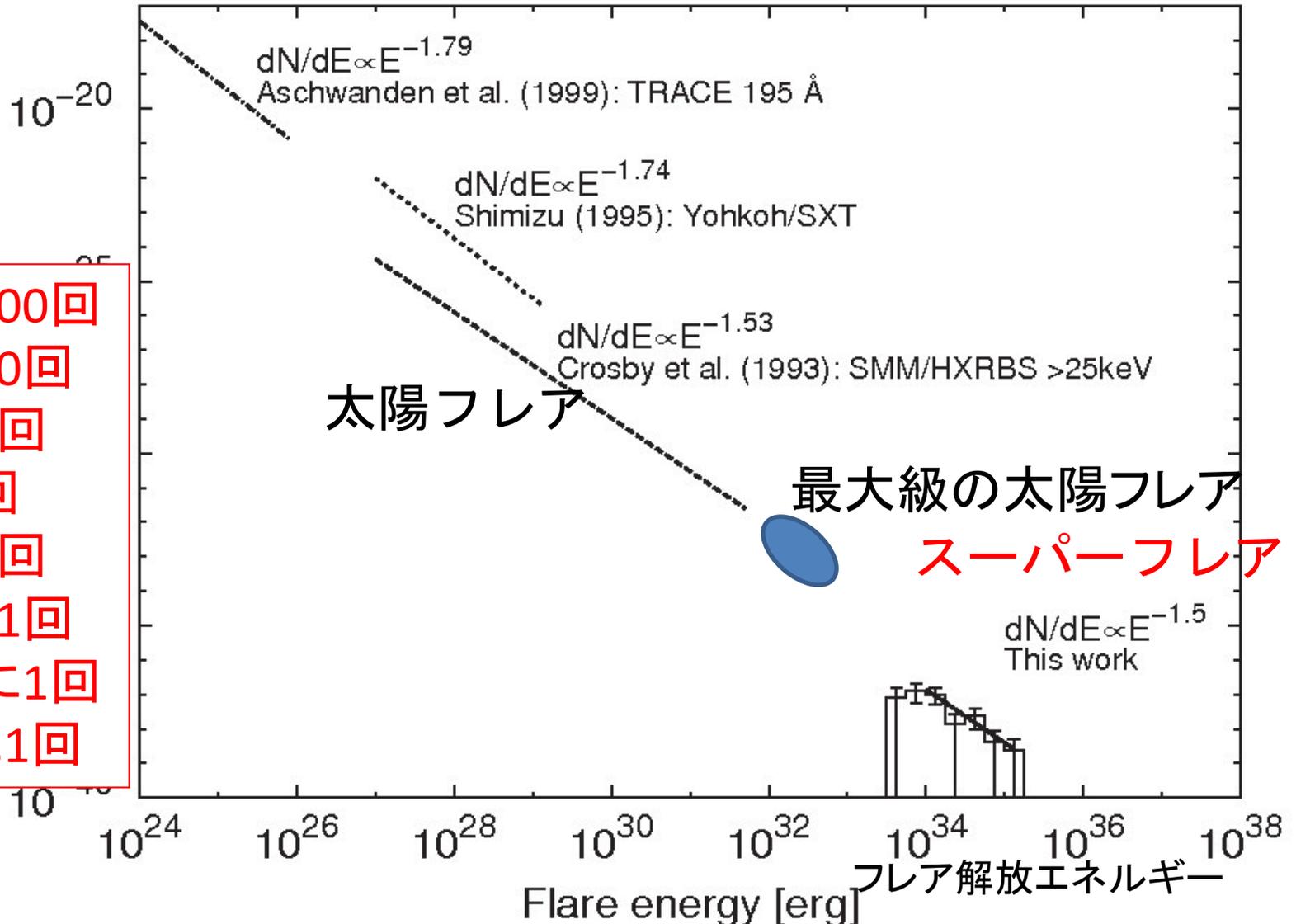


太陽フレアとスーパーフレアの発生頻度分布

Maehara ら (2012)
Shibata ら (2013)

フレア
発生
頻度
[year⁻¹]

1年に1000回
1年に100回
1年に10回
1年に1回
10年に1回
100年に1回
1000年に1回
1万年に1回



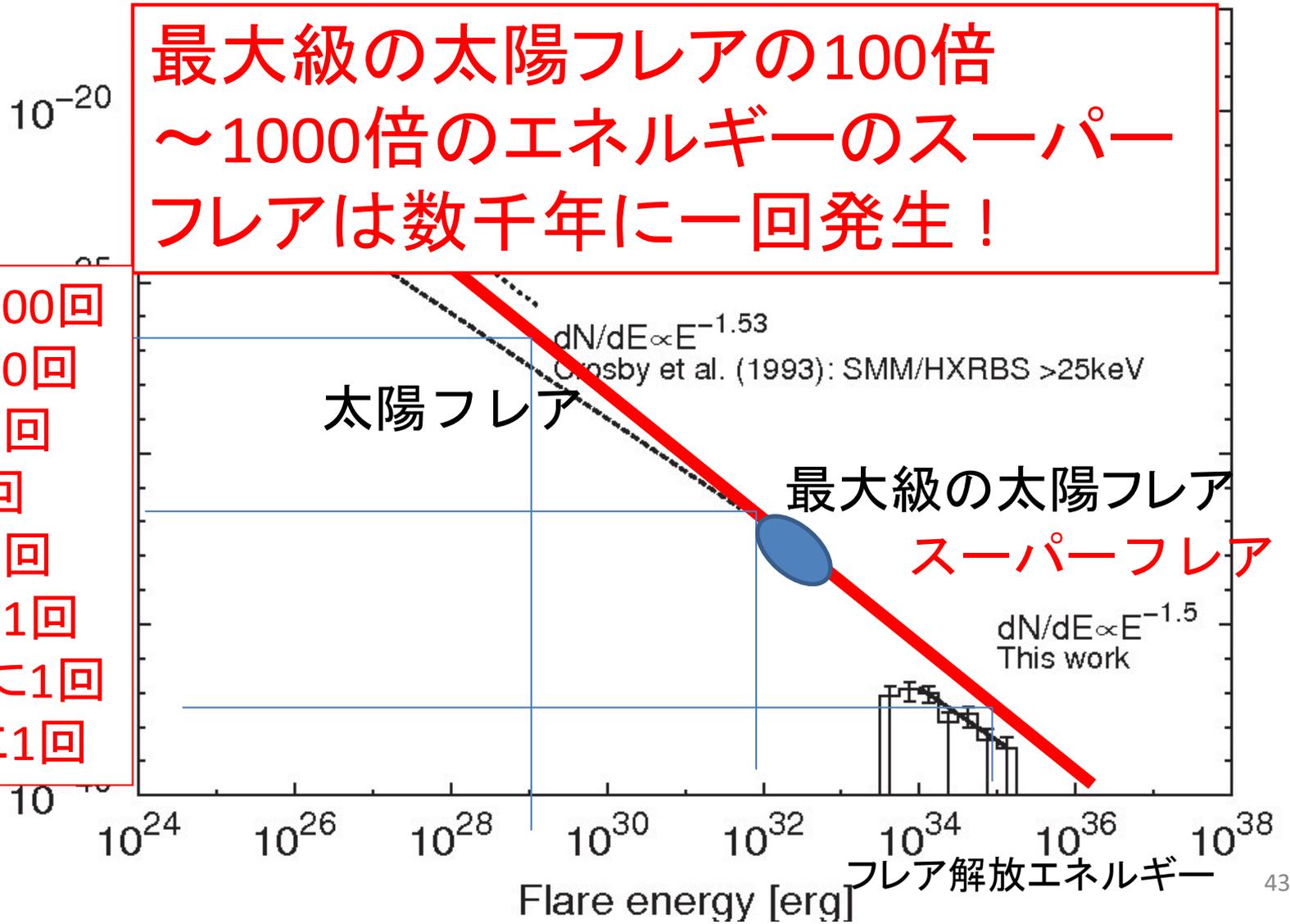
太陽フレアとスーパーフレアの発生頻度分布

Maehara ら (2012)
Shibata ら (2013)

フレア
発生
頻度
[year⁻¹]

最大級の太陽フレアの100倍
～1000倍のエネルギーのスーパー
フレアは数千年に一回発生！

- 1年に1000回
- 1年に100回
- 1年に10回
- 1年に1回
- 10年に1回
- 100年に1回
- 1000年に1回
- 1万年に1回



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？
- 全地球規模で通信障害発生？
- オゾン層破壊？
- 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？

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？

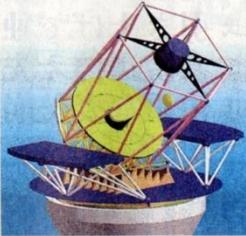
その答えは、太陽、宇宙の観測にある

京大岡山3.8m望遠鏡

京大 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



京都六、国立天文台などは、タリネット総合研究所長が、一日、岡山県にアジア地域で、鏡を作ら大型研削盤の製作費も含め、十億円費用の半体望遠鏡を建設すると発表し、日本初の分割式望遠鏡で、大型の天体望遠鏡を建設するの日本は初めて、二〇一二年に完成予定、民間から十億円規模の資金援助を受ける。

岡山県は、天体観測に好条件な国立天文台岡山天体物理観測所、岡山県浅口市の敷地内、現在国内最大の望遠鏡、口径十メートル、十億分の二の誤差しかない超高精、天文台の「なつた」(口径)ブラックホールや星の形成

宇宙の謎解明期待

度、鏡の制御システムなど、鏡は初めて、強力な集光力、名手屋大が中心にな、吸い込まれるガスなど短時間で変動する天体現象の観測(ハニビ)などの次世代となる、口径三〇以上の超大型望遠鏡を実現するための世界初の技術という。

技術開発と望遠鏡製作のために設立された「ナチュラ」(京都市、代表、藤原洋さん)の超大型望遠鏡では、百枚の鏡を組み合わせたことが必要になるが、今回の建設と話ししている。

基礎技術の開発につながる



スーパーフレア星の自転速度や黒点のサイズの実証のためには3.8m望遠鏡＋高分散分光装置が必要
=> 特別推進研究で申請中
=> 乞う、ご期待！

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、重力波天体や系外惑星、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発開始。文科省からも予算(9億円)がつき、2018年度、ようやく観測開始。

ご清聴ありがとうございました