

# 太陽活動と宇宙天気予報

柴田一成

京都大学大学院理学研究科

附属花山天文台 台長

京都大学宇宙総合学研究ユニット ユニット長

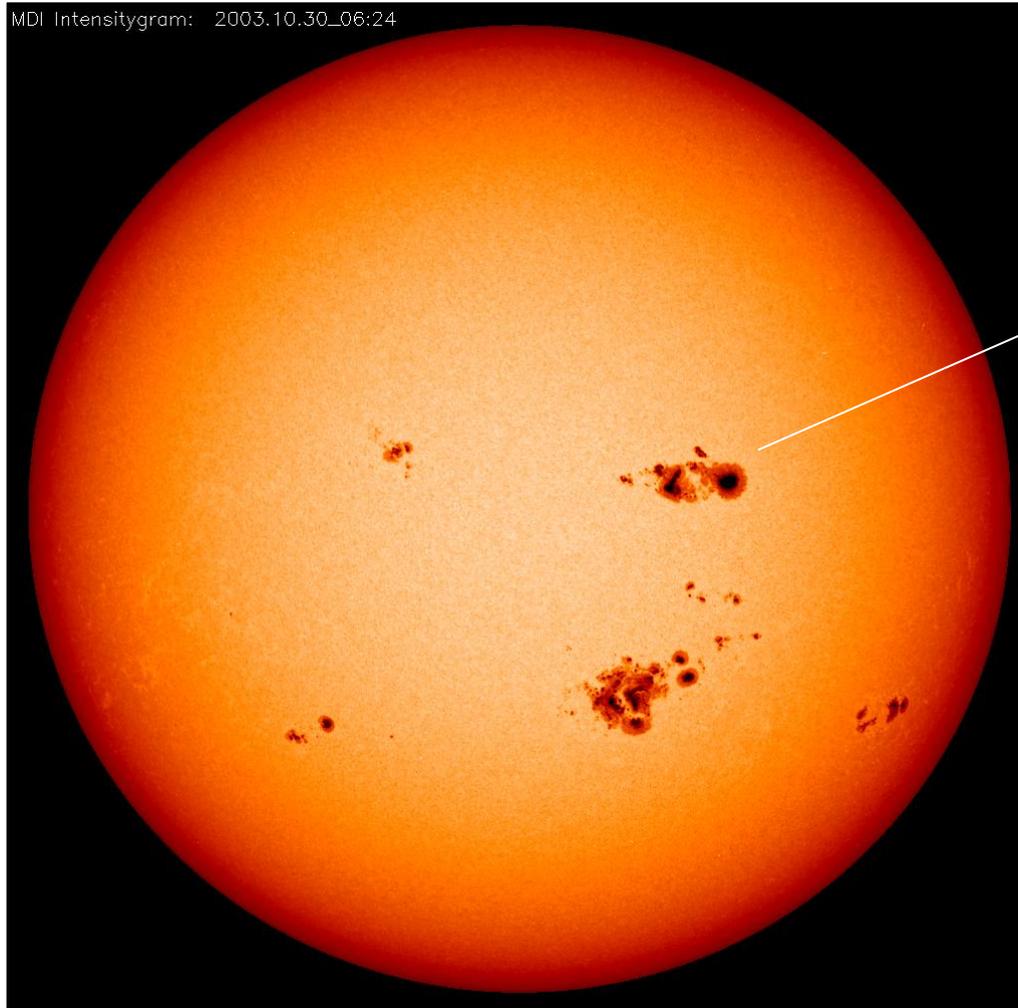
# 講演内容

- 太陽とは？ —ひので衛星(2006年)以前の観測
- ひので衛星が明らかにした最新太陽像
- 今後の太陽観測と宇宙天気予報

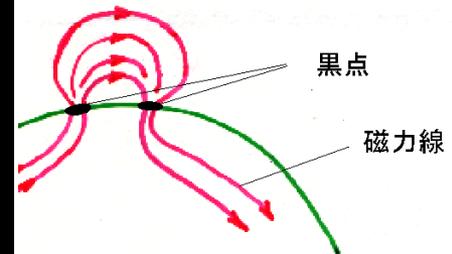
# 太陽とは？

—ひので衛星(2006年)以前の観測

# 可視光で見た太陽 (光球=6000度)

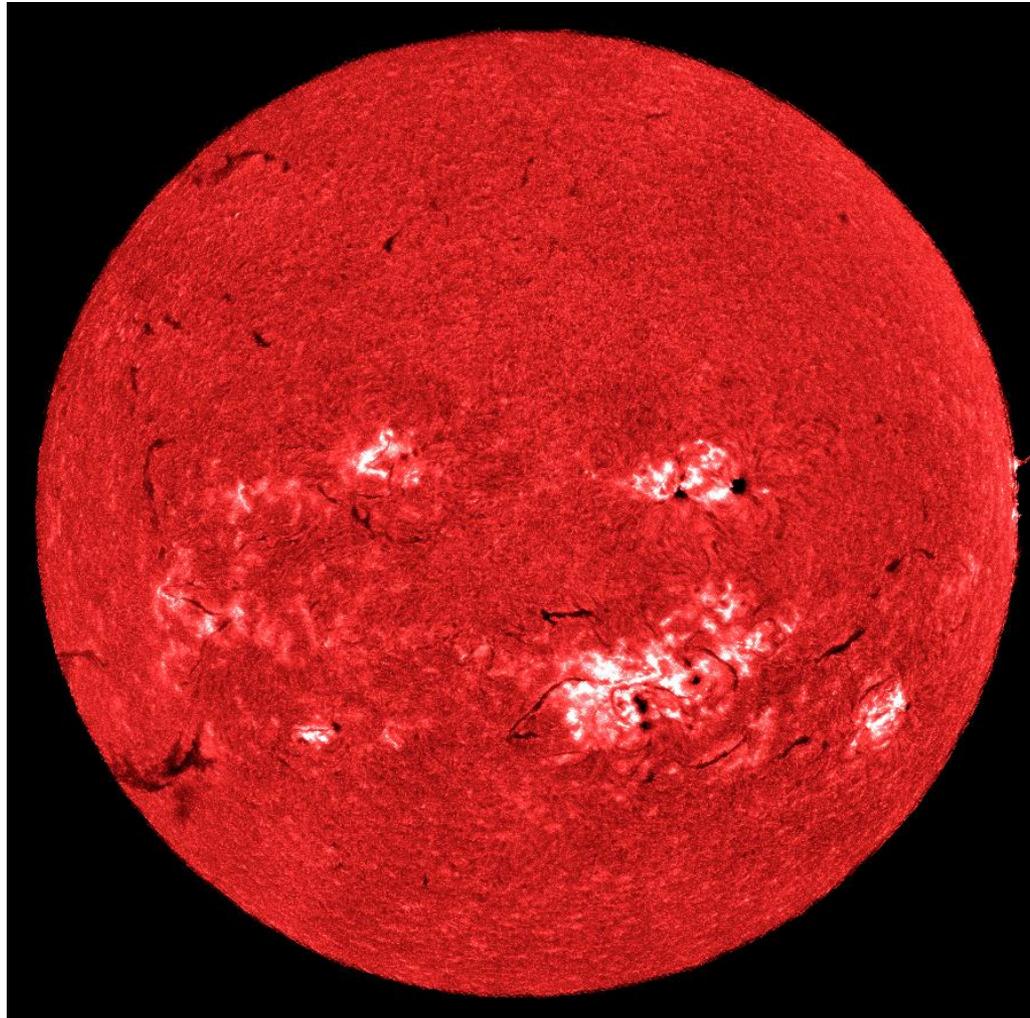


黒点  
(磁束管の  
切り口)  
しかし生成  
機構は謎



SOHO  
(NASA&ESA)

# H $\alpha$ 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

# 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 =>

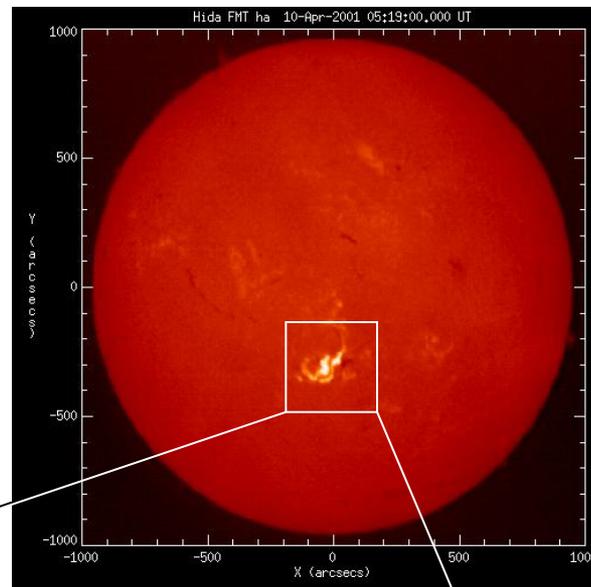
**磁気エネルギー**が源

サイズ～(1-10)万km

全エネルギー

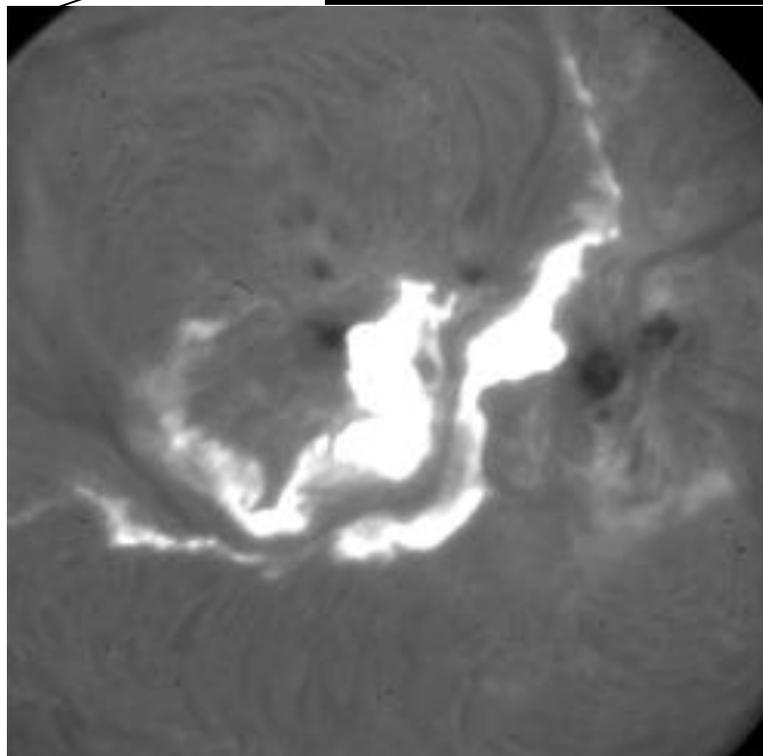
$10^{29} - 10^{32}$ erg

(水爆10万-1億個)



H $\alpha$

彩層  
1万度



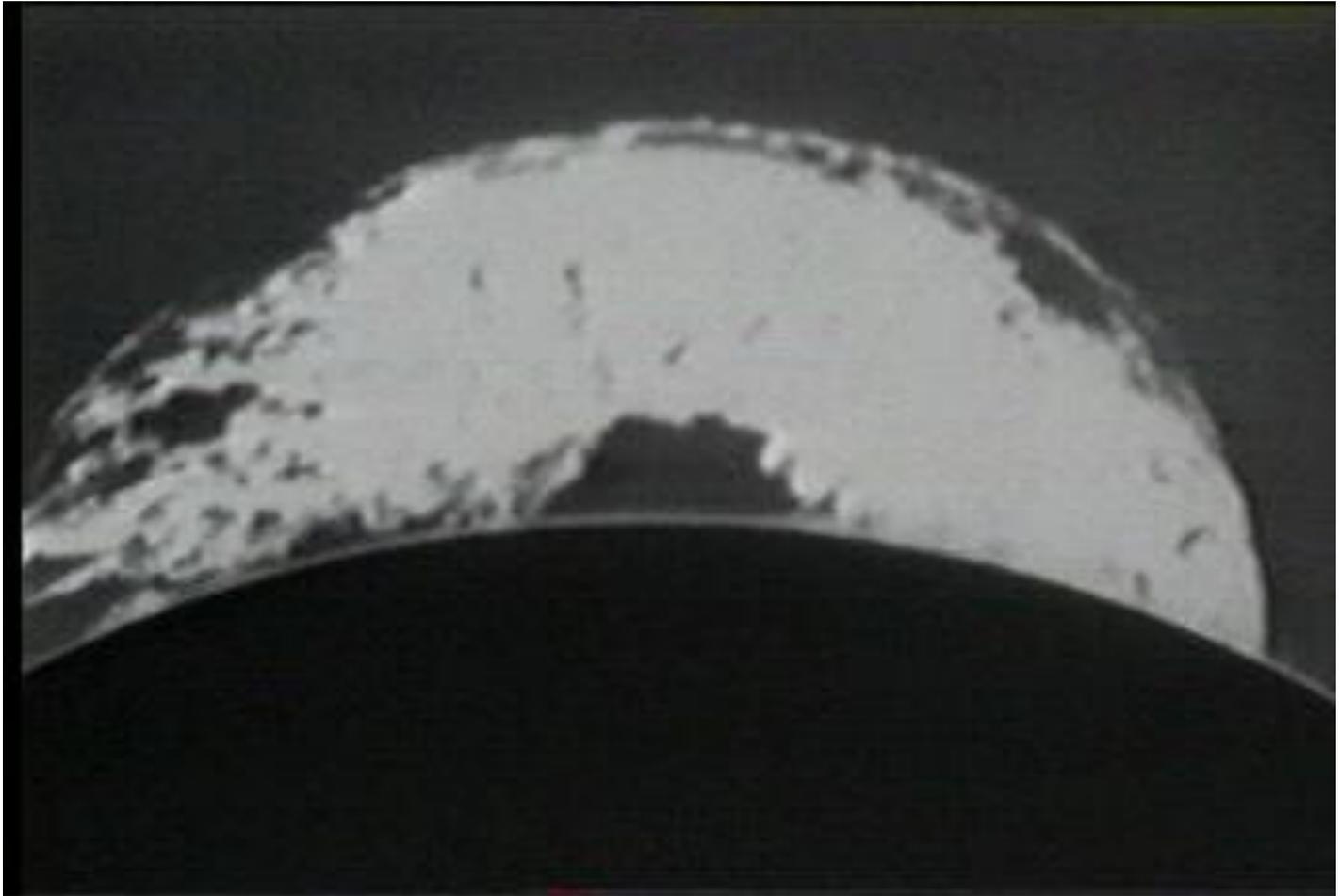
0410052027FBin28bit10p000 50"

京大飛騨天文台



# 太陽プロミネンス噴出

(史上最大:1946年6月4日:米国)



# X線で見た コロナ

(「ようこう」衛星  
による)

軟X線

(1 keV)

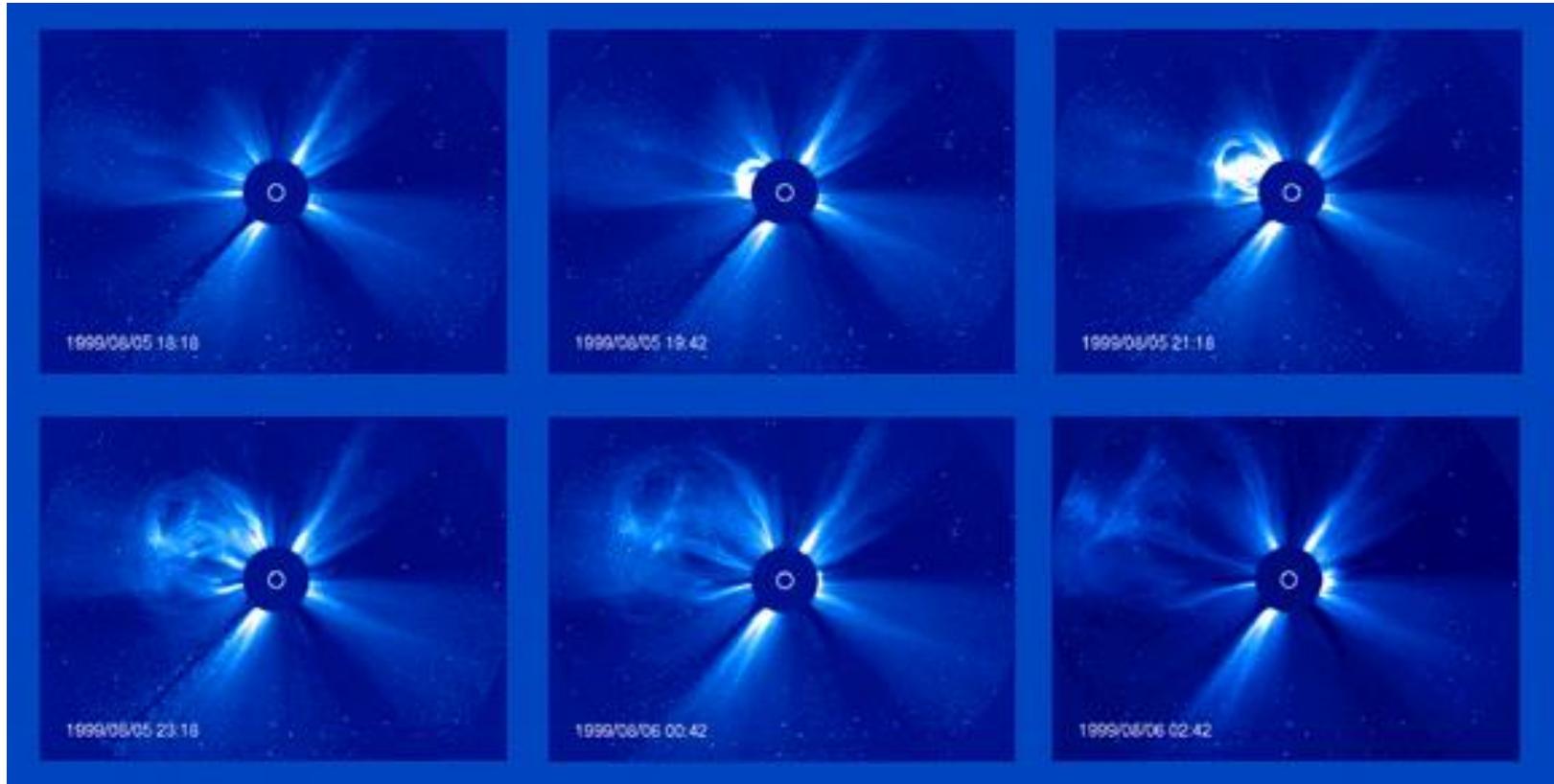
200万度—  
数千万度



1992/02/17 02:37:01

# 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)

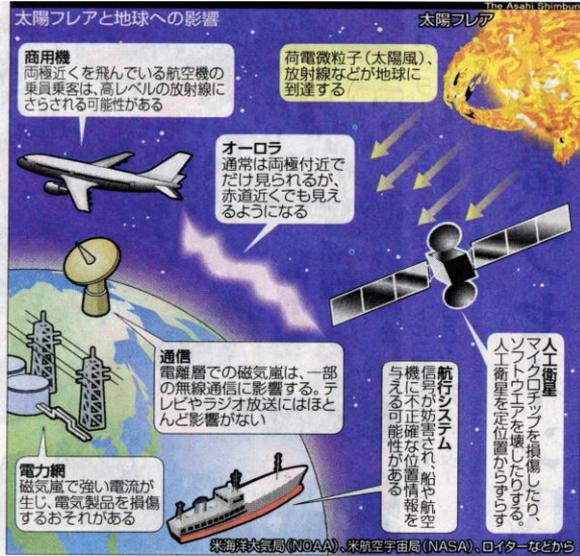
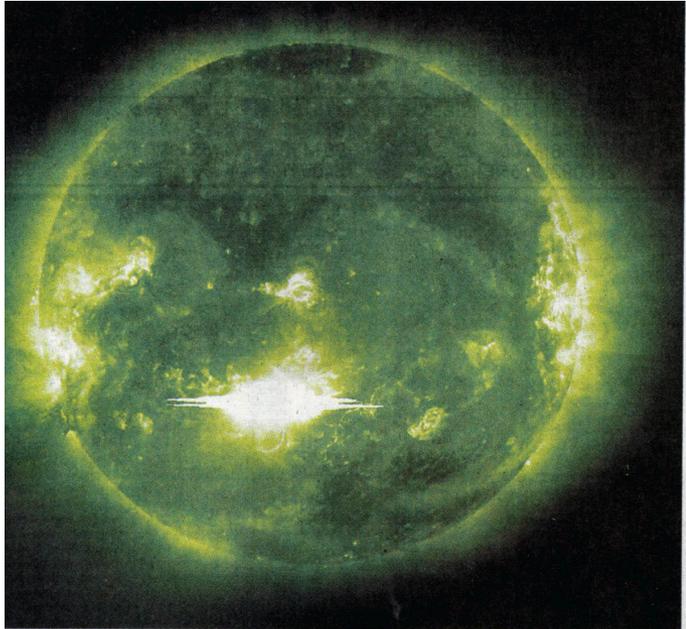


速度～秒速100－1000km、質量～10億トン  
(SOHO/LASCO, 可視光/人工日食)

2003年10月28日の太陽面爆発(太陽フレア)とそれによる磁気嵐

朝日新聞2003年10月29日夕刊

朝日新聞2003年10月30日夕刊



# 太陽の「嵐」、地球直撃

## 14年ぶり「大爆発」 微粒子、磁場乱

【ワシントン＝村山知博】米海洋大気局(NOAA)は29日、前日に太陽の表面で起きた巨大な爆発(フレア)のおおりに、高速で飛んできた大量の荷電微粒子の「嵐」が地球を直撃したと発表した。「嵐」は14年ぶりとなる最大規模。低緯度地域でもオーロラが観測されたほか、地球の磁場が乱されて起る「磁気嵐」で一部の航空機の無線通信などに障害が出た。

今回のフレアに伴って、飛行に支障はなかった。NOAAによると、北緯32度のテキサス州エルパソでもオーロラが観測された。北海道十勝支庁陸別町の銀河の森天文台(北緯43・5度)では29日夜、うすうすとしたオーロラが見え、高感度フィルムの長時間露光で薄い赤色が撮影された。オーストラリアの南緯32度付近でも30日未明に「乳白色の光」のオーロラが観測された。オーロラは荷電微粒子が大気と衝突した。極大期には、太陽の活動が激しく活動する極大期を繰り返している。今回の極大期のピークは3年前だったが、先週ごろから急に活発化した。

磁場が爆発するのがフレア。宇宙空間に荷電微粒子が飛ぶ。荷電微粒子が大気と衝突した。極大期には、太陽の活動が激しく活動する極大期を繰り返している。今回の極大期のピークは3年前だったが、先週ごろから急に活発化した。

## テキサスでオーロラ

衛星、「太陽大爆発」とらえた

【ワシントン＝村山知博】米航空宇宙局(NASA)は、太陽観測衛星SOHOが28日にとらえた太陽フレア(大爆発)の画像を公開した。写真、ロイター。コ罗纳ガスの大噴出も確認された。観測を始めたこの25年間で最大級という。

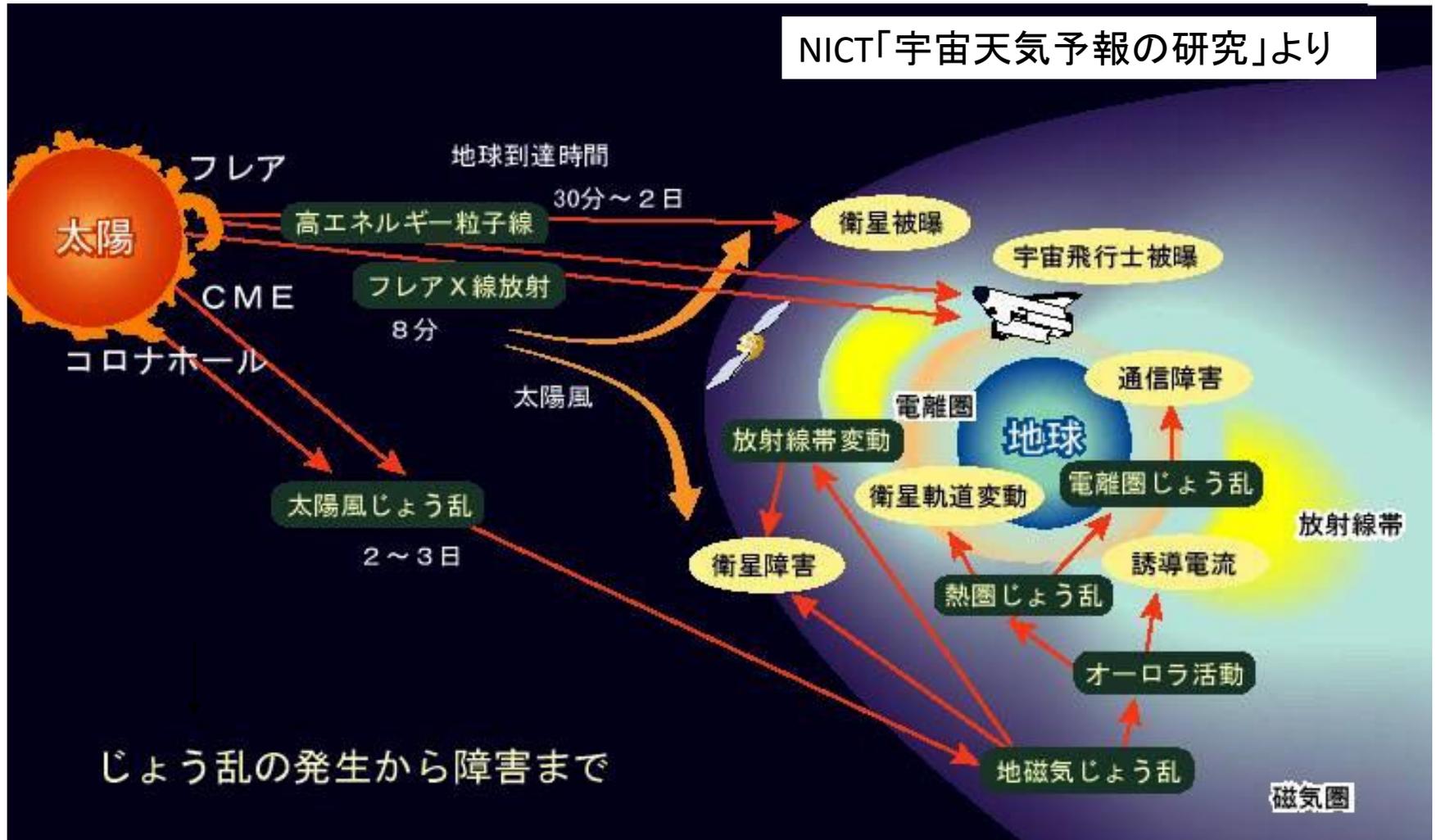
米海洋大気局は、この影響で地球の磁場が乱れる「磁気嵐」が起きる可能性がある、と警告した。放送や航空機の通信などの障害や停電のほか、人工衛星が故障する恐れがあるという。通信総合研究所は日本でも30日未明から日中にかけて影響が出る可能性がある、と注意を呼びかけている。

オーロラ NY州でも

AP。通信総合研究所によると、日本では29日夜以降、茨城県原里美村、山梨県原長坂町、長野県原村など、ほぼ北緯36度以北の地域で観測。日本で広く範囲に肉眼で見えたのは89年以来14年ぶり。

太陽表面での爆発(フレア)により、米ニューヨーク州ポンペイ(北緯43度)で30日夜(日本時間31日午前)、観測されたオーロラ=写真、

# 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



提供:丸山隆

# 太陽の謎

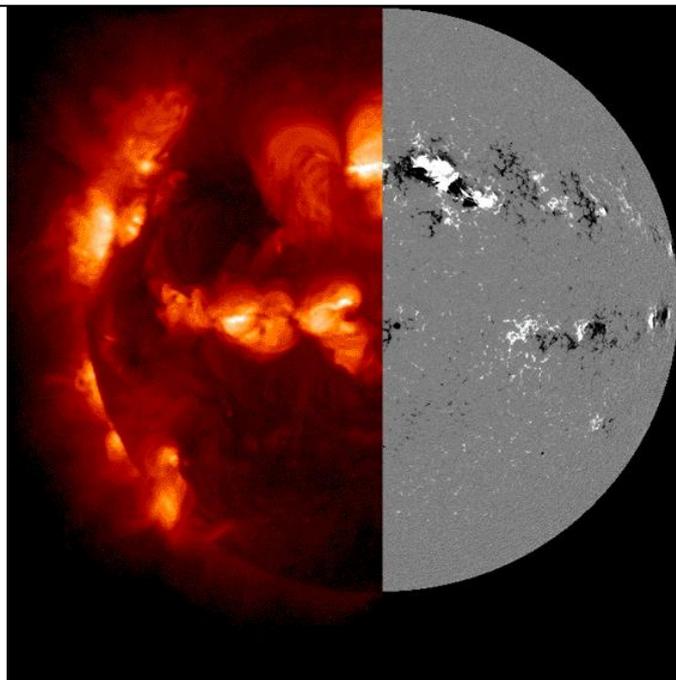
- 太陽面爆発(フレア)の発生メカニズムは何か？ フレア発生の予報(宇宙天気予報)は可能か？
- コロナはいかにして100万度もの超高温に加熱されているのか？
- 太陽活動の元となる磁場、すなわち、黒点はいかにして生成されたのか？

# ひので衛星が見た 最新太陽像

# 日本の新しい太陽観測衛星 ひので(Solar B) 衛星

<http://solar-b.nao.ac.jp/>

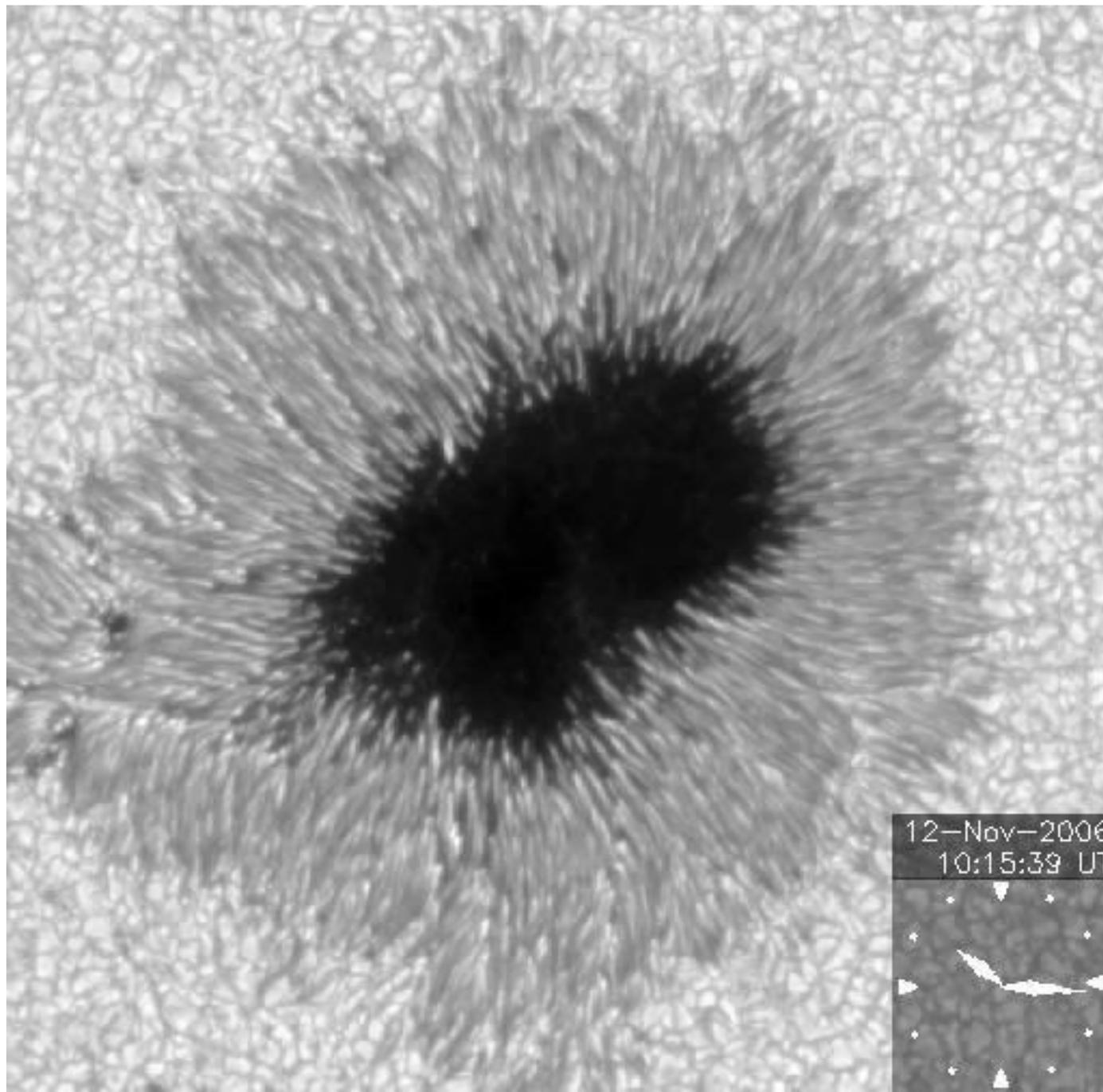
コロナ加熱機構やフレア発生機構の  
解明を目的として  
2006年9月23日内之浦より打ち上げ成功



史上最高空間分解能で  
可視光磁場観測、  
X線観測、  
極紫外線分光撮像観測

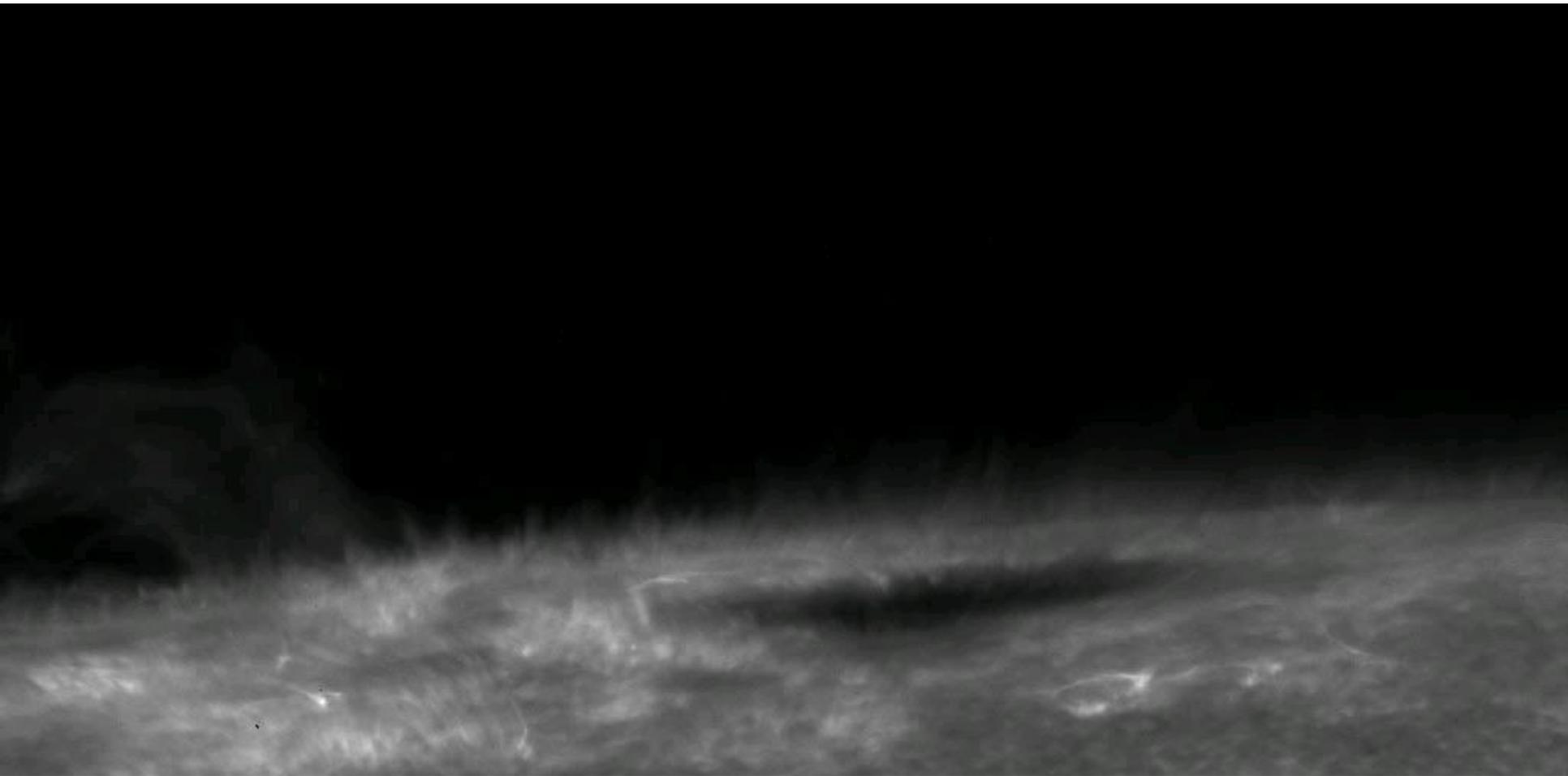


ひので  
可視光  
望遠鏡  
が見た  
黒点



# 太陽彩層はジェットだらけ、小爆発だらけ！

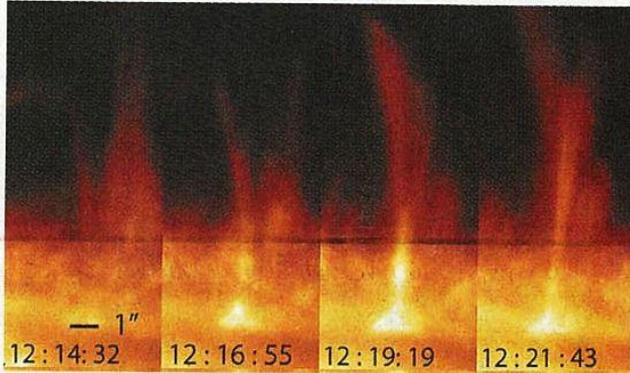
(Shibata et al. 2007 Science)



2006 Dec 17 20:00-21:00 UT ひので衛星可視光望遠鏡で見た彩層 (CaII H filter)

# 毎日新聞2007年12月7日朝刊

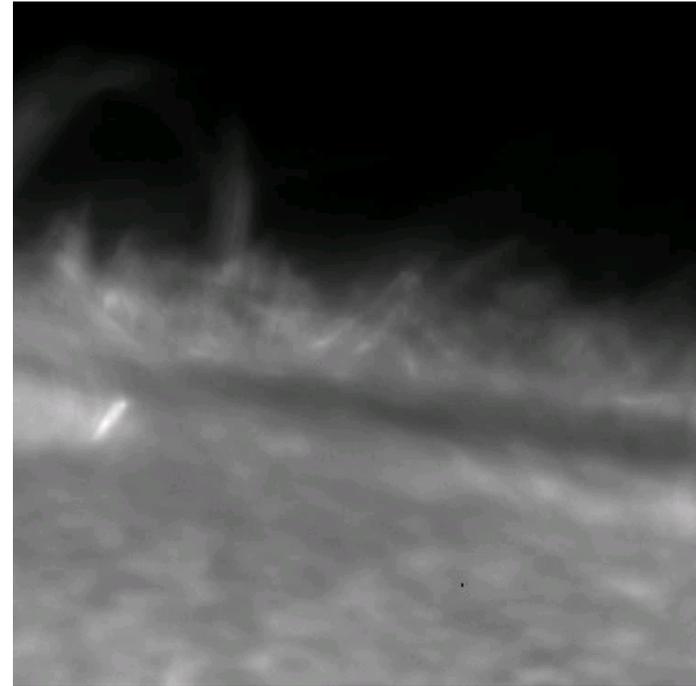
衛星「ひので」が1月14日、約2分ごとにとらえた彩層のジェット—柴田一成教授提供



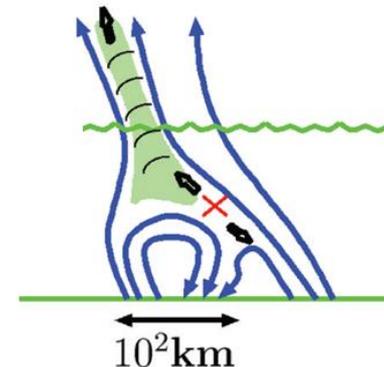
## コロナ超高温の謎迫る 京大チーム

太陽表面とコロナの間にある大気層「彩層（さいそう）」（厚さ2000～1万km）で、細長い高速のガスの流れである「ジェット」現象が無数に起きていることを、京都大の柴田一成教授（太陽宇宙プラズマ物理学）らのチームが突き止めた。太陽表面の温度が約6000度なのに対し、コロナが約100万度もの超高温を保つ理由は天文学最大の謎の一つ。柴田教授は「ジェットが運ぶエネルギーがコロナを加熱している可能性がある」としている。7日付の米科学誌「サイエンス」オンライン版に掲載される。

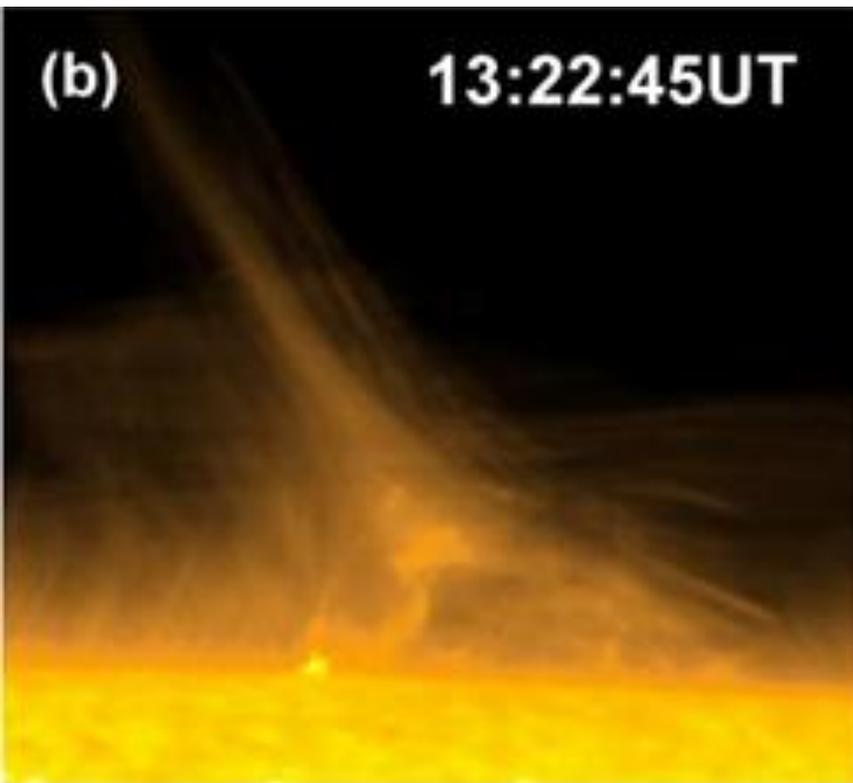
宇宙航空研究開発機構の太陽観測衛星「ひので」のデータを分析。柴田教授らが確認したジェットは長さ2000～5000km。コロナ中にジェットが多数存在することは知られているが、彩層のジェットの長さはこの100分の1程度。【鶴谷真】



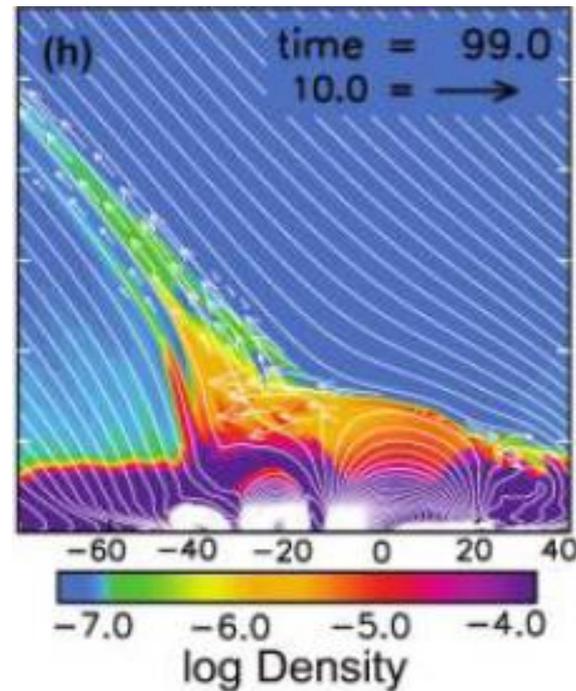
コロナ  
遷移層  
彩層  
光球



# 巨大ジェット「ひので」による観測と コンピュータシミュレーションの比較



(西塚、清水、柴田ら ApJ 2008,  
横山と柴田 Nature 1995)

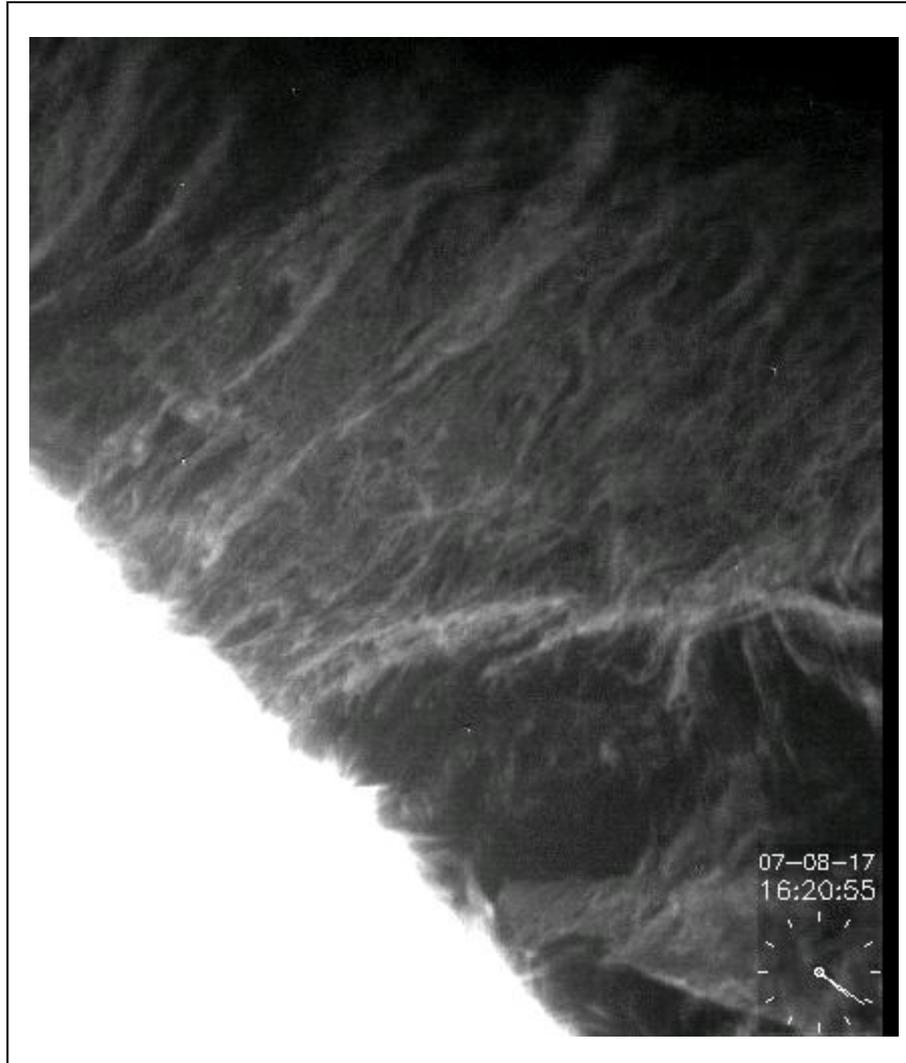


磁気リコネクション・モデルで再現成功

# ひので衛星が見たプロミネンス

(ひので衛星可視光望遠鏡による)

Berger et al. (2007)



謎だらけ！

Hinode/SOT  
Ca II H

# ひので衛星の発見のまとめ

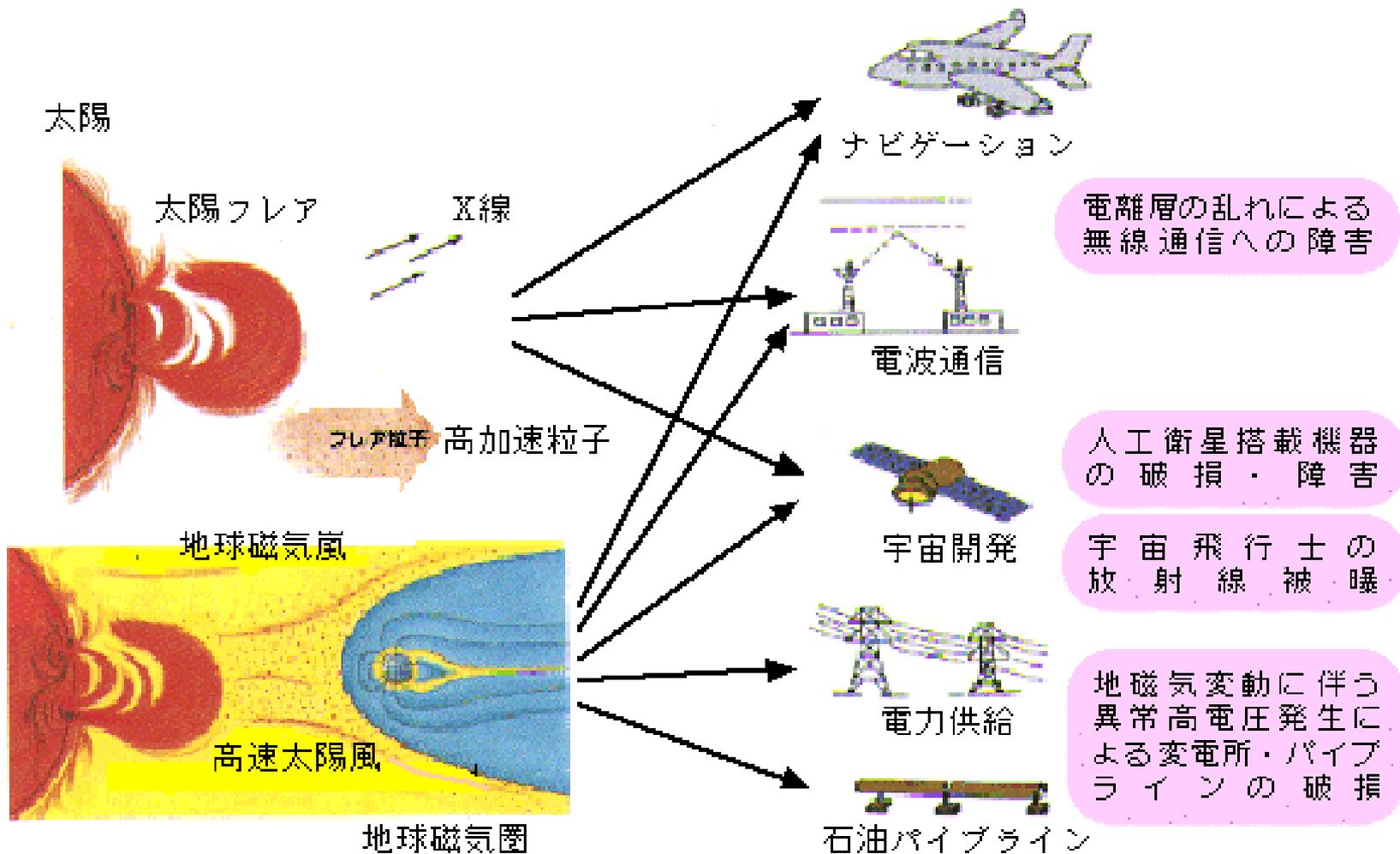
- ひので衛星は、太陽大気(光球、彩層)が、誰が想像していたよりも**激しく活動**していることを明らかにした。
- ひので衛星は、いたるところに小爆発(ナノフレア)とジェットを発見した。  
=>コロナが**100万度**に加熱されている原因か？
- 黒点、プロミネンスでは、謎の微細構造、**謎の動的現象**が、続々と発見された。

=> 予想以上に地球に激しく影響

# 今後の太陽観測と 宇宙天気予報

# 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。

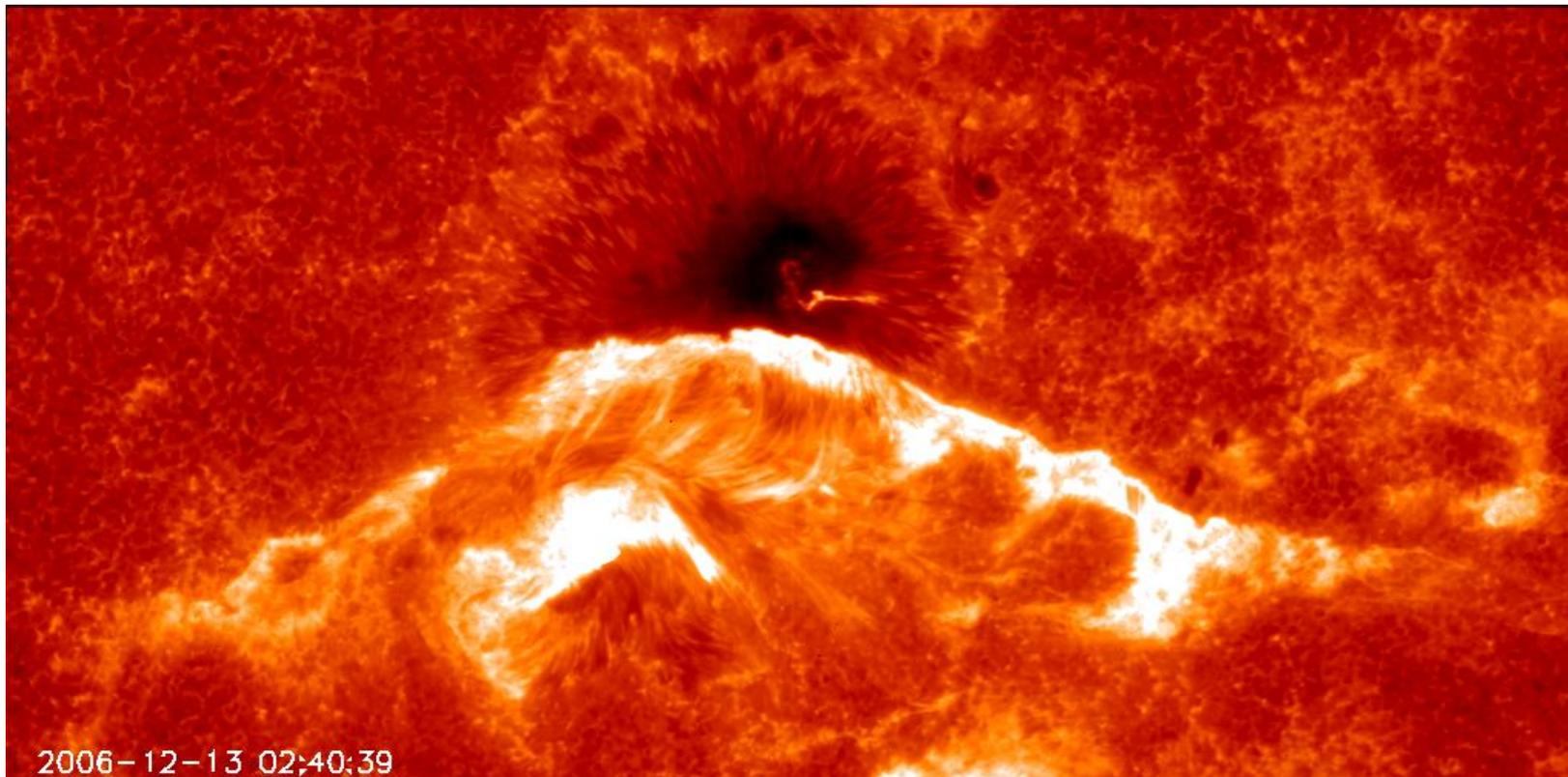


## 「宇宙天気予報」が緊急の課題

# フレア(2006年12月13日)

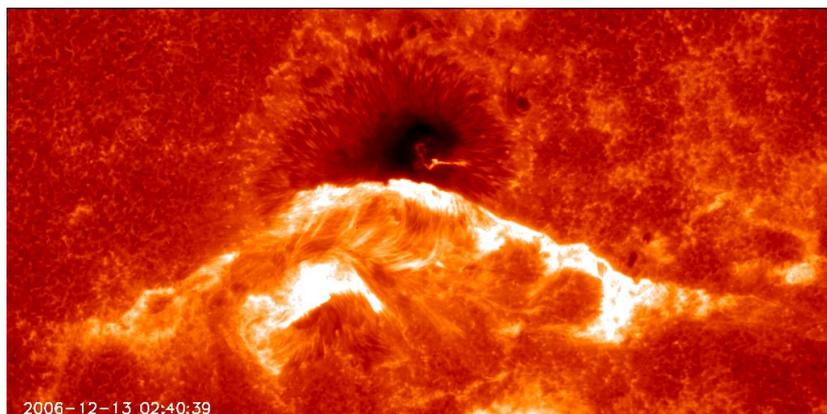
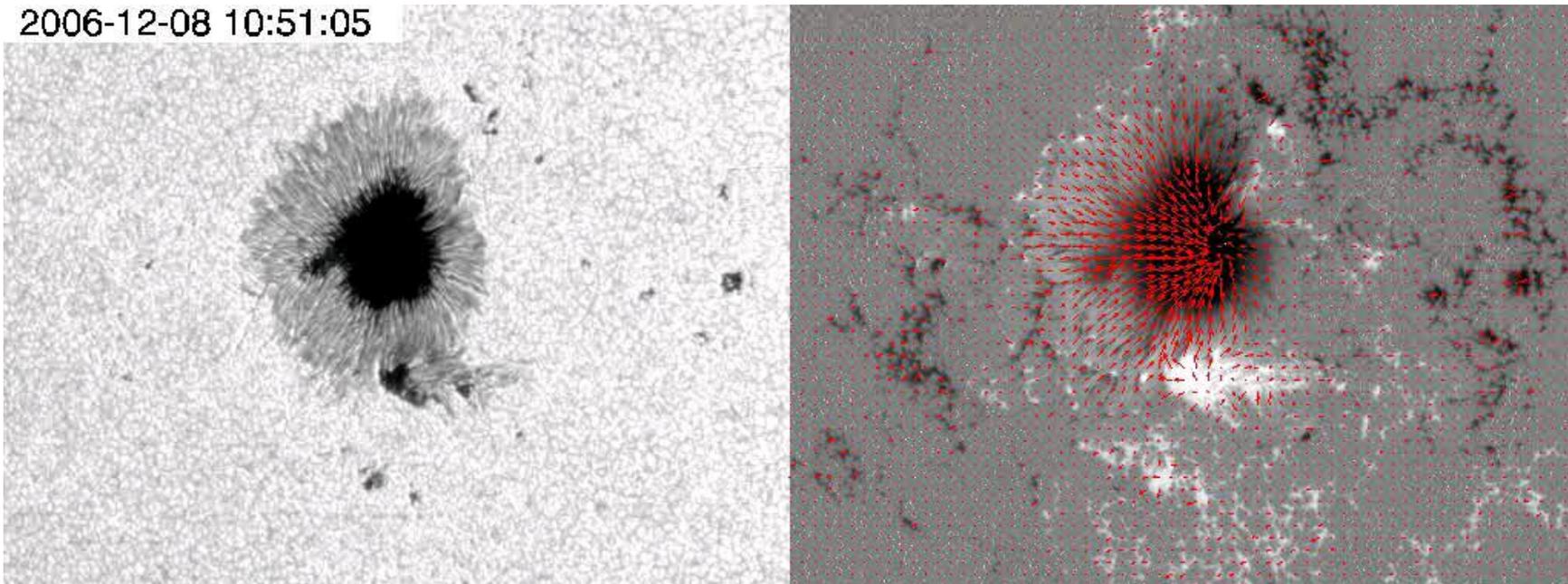
(ひので衛星可視光望遠鏡による)

(彩層: CaHフィルター)



# フレア前後の黒点の変化 (ひので衛星可視光望遠鏡による)

2006-12-08 10:51:05



2006-12-13 02:40:39

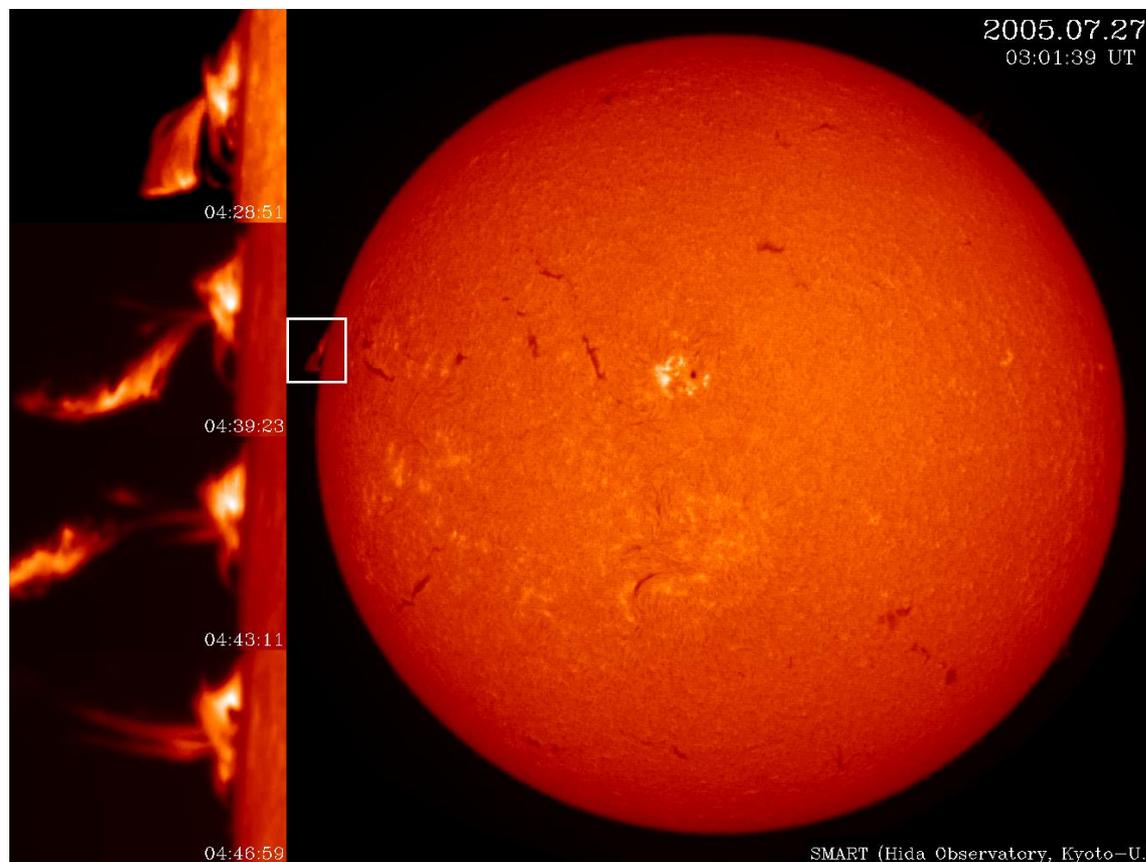
フレアは小黒点の  
回転運動および大黒点  
への衝突が原因である  
ことが判明

=> 宇宙天気予報

# 飛騨天文台の新しい太陽望遠鏡 SMART (2005~)一宇宙天気予報のための フレアやプロミネンス噴出の観測で活躍



SMART (solar magnetic activity research telescope)

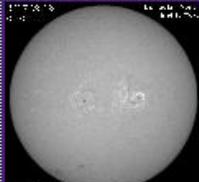
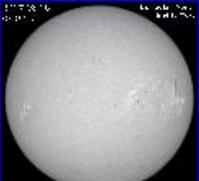
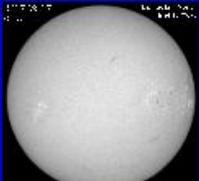
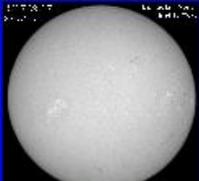
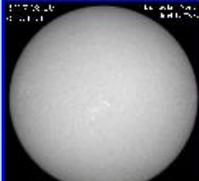
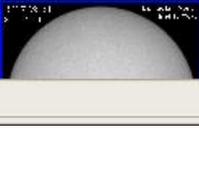


## SMART Observation Calender

[<< 2007 Jan](#)

### 2007 Feb

[2007 Mar >>](#)

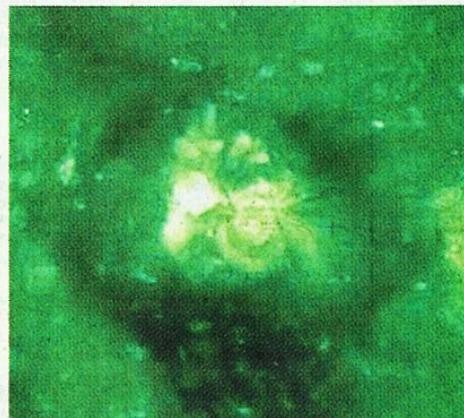
Sun	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat
				1 	2 	3 
4 	5 	6 	7 	8 	9 	10 
11 	12 	13 	14 	15 	16 	17 
18 	19 	20 	21 	22 	23 	24 

アネモネ型  
活動領域が  
磁気嵐の源に  
なることを発見  
(Asai, Shibata et  
al. 2009, JGR)



イソギンチャク  
(sea anemone  
シー・アネモネ)

磁気嵐を起こす  
太陽の領域確認  
国立天文台など



プラズマを噴き出すアネモネ型活動領域(中央)(太陽観測衛星「SOHO」の画像、浅井助教提供)

太陽の表面で、イソギンチャクの触手のように磁力線を出している領域が、人工衛星や無線通信などに悪

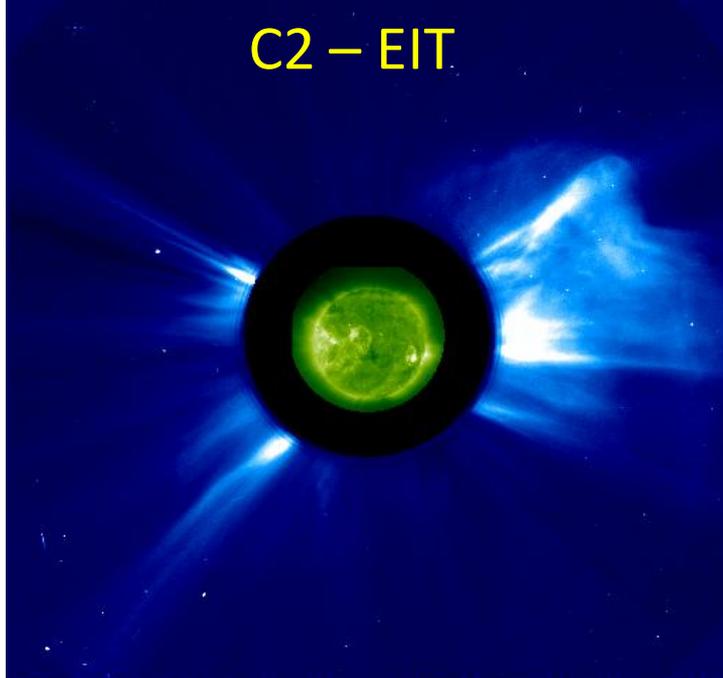
影響を及ぼす強い磁気嵐を引き起こすことを、京都大と国立天文台などのグループが突き止めた。磁気嵐の

発生を予測する宇宙天気予報に役立つそうだ。米国の地球物理学誌(電子版)に21日、掲載する。  
太陽から噴き出した電離ガス(プラズマ)が地球に届き、磁場を大きく変動させるのが磁気嵐。プラズマが速いほど衝撃が大きくなり、強い磁気嵐を起こす。  
京都大の柴田一成教授と同天文台の浅井歩助教らは、2005年8月に発生した強い磁気嵐を太陽探査機などのデータを基に追跡調査。「アネモネ(イソギンチャクの英語略名)型活動領域」と呼ばれる直径約15万kmの部分から、通常の2、3倍にあたる秒速12000〜24000kmの猛烈なスピードでプラズマが噴き出していたことを確認した。

Asai et al. (2009)  
JGR より

フレア1

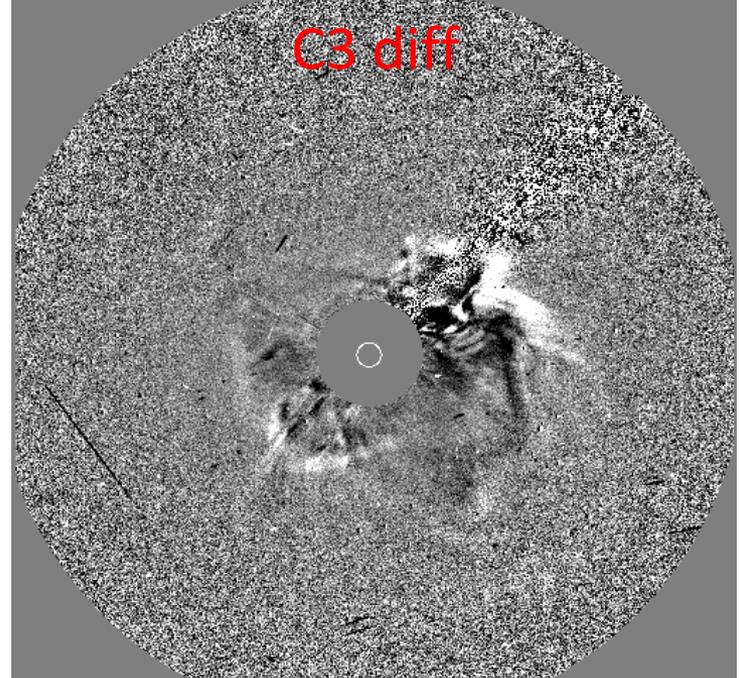
C2 - EIT



C2: 2005/08/22 02:30

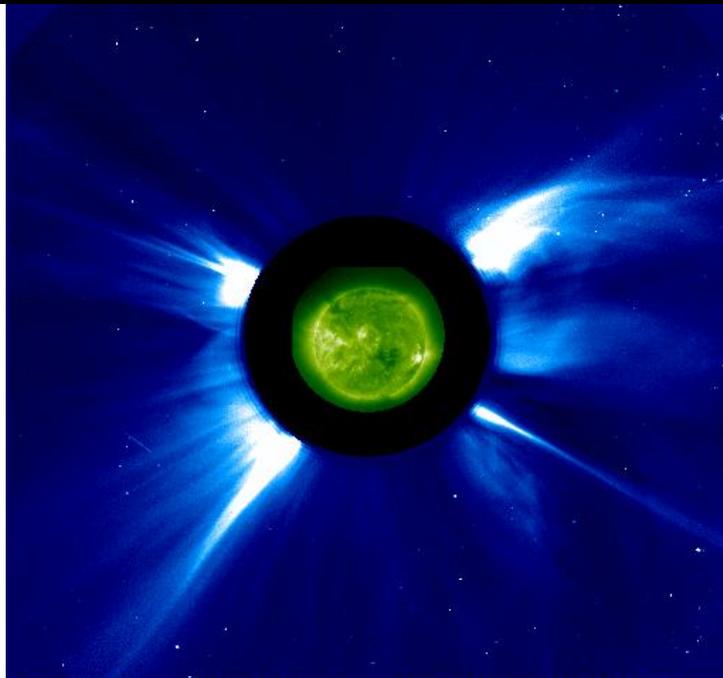
EIT: 2005/08/22 02:24

C3 diff



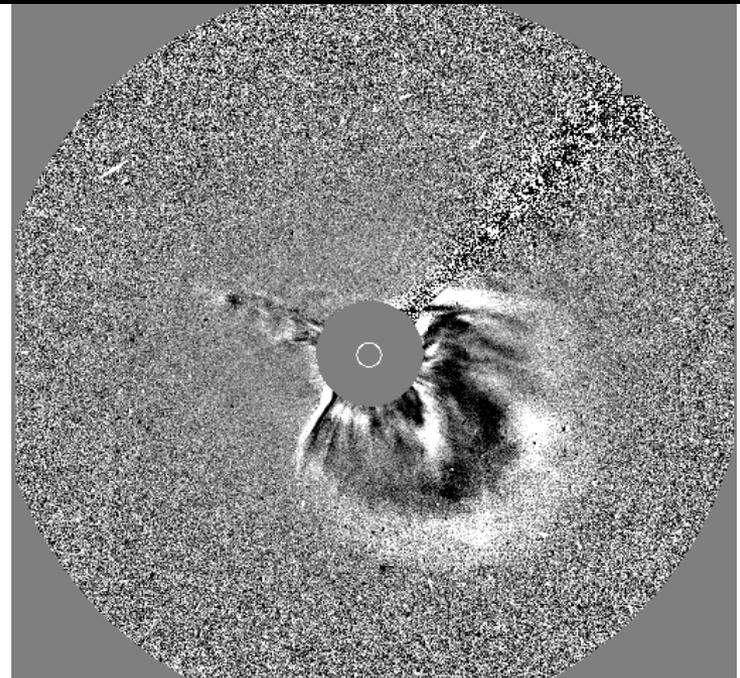
C3: 2005/08/22 04:42:05

フレア2



C2: 2005/08/22 17:54

EIT: 2005/08/22 17:48

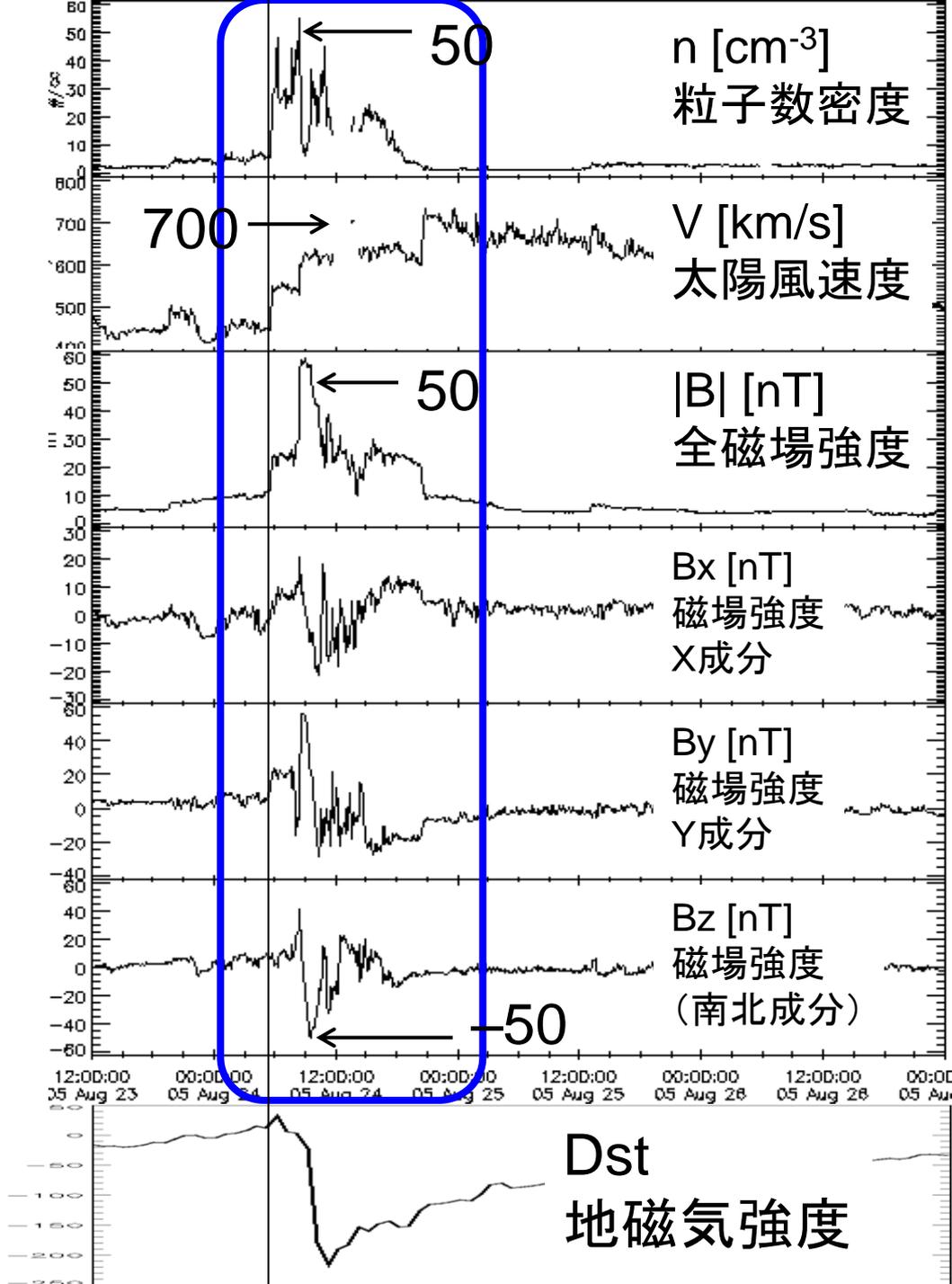


C3: 2005/08/22 18:42:05

NASA & ESA  
SOHO

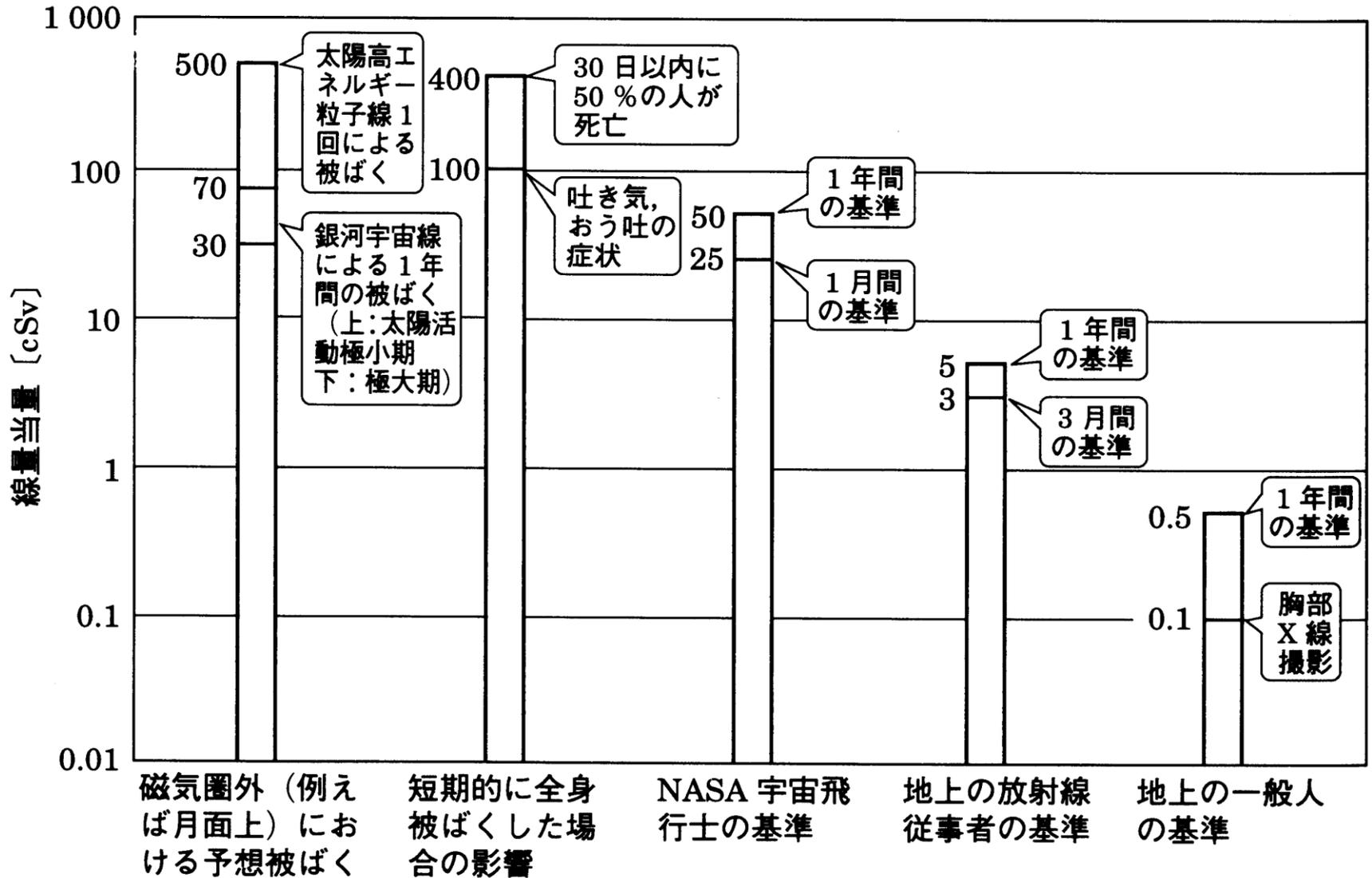
# 惑星間空間擾乱

- ACE衛星による太陽風の観測
- 衝撃波が  
8/24 05:30UTに到着
- 非常に強い南向き磁場  
(-50 nT)
- merging of 2 CMEs?
- CIR + shock?
- 磁気嵐が発生  
(Dst = -216nT)



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

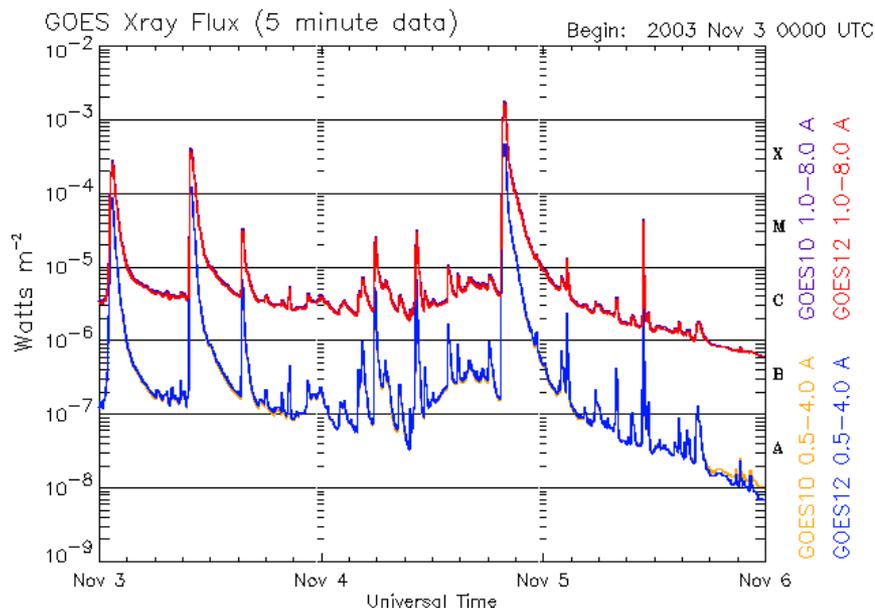
(GOES クラス分類: X線強度で分類)

- 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

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？

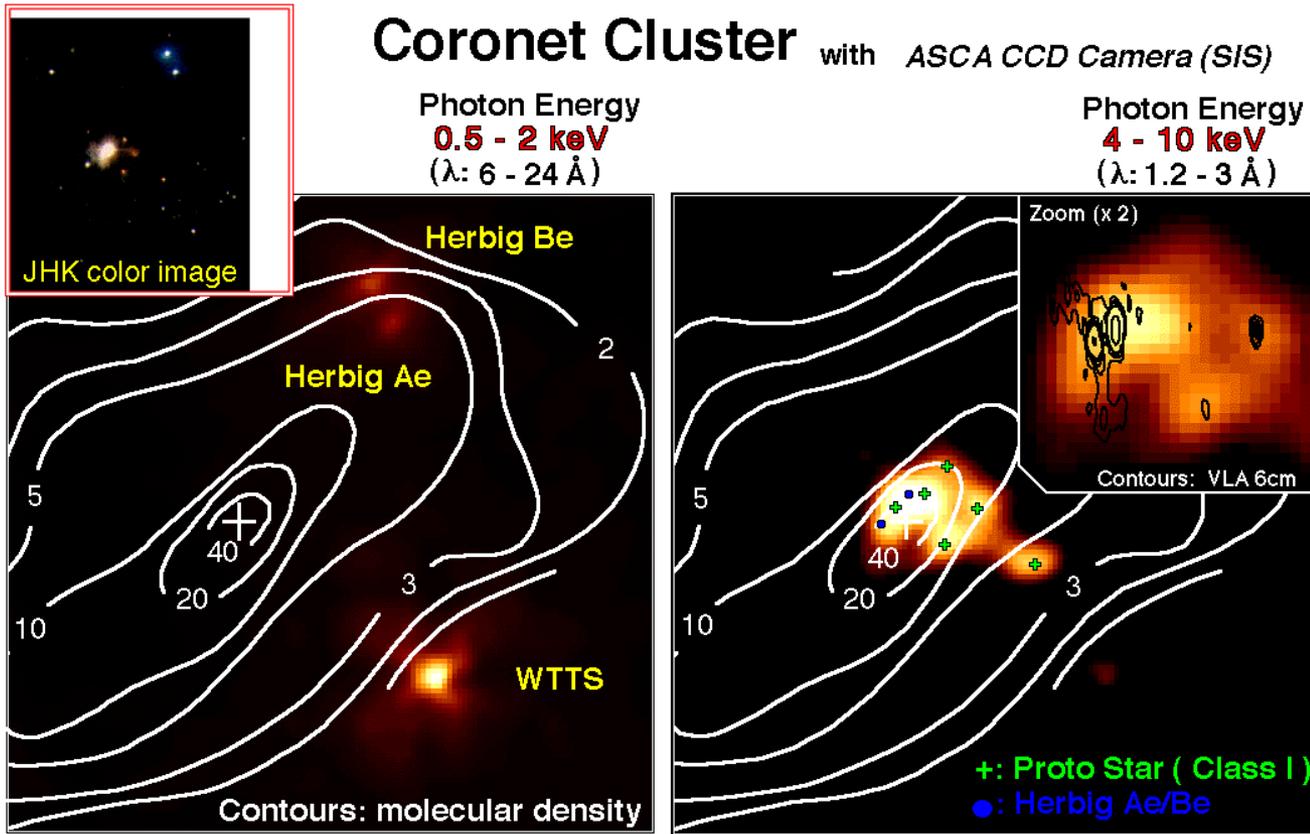


# 太陽と生命、人間

- 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
- 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？
- 今後、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？

# 原始星フレア

(X線／あすか衛星：小山ら1995)



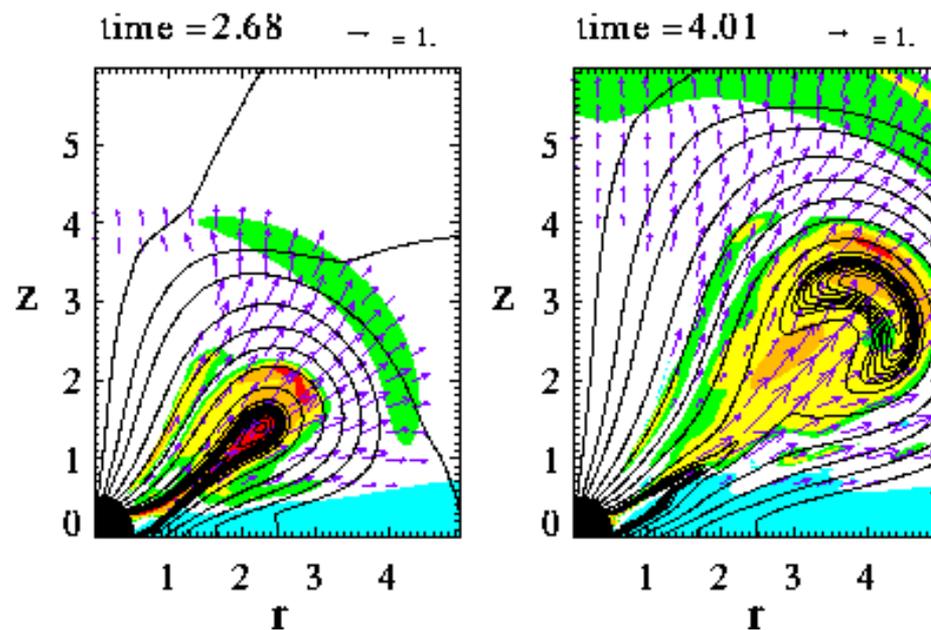
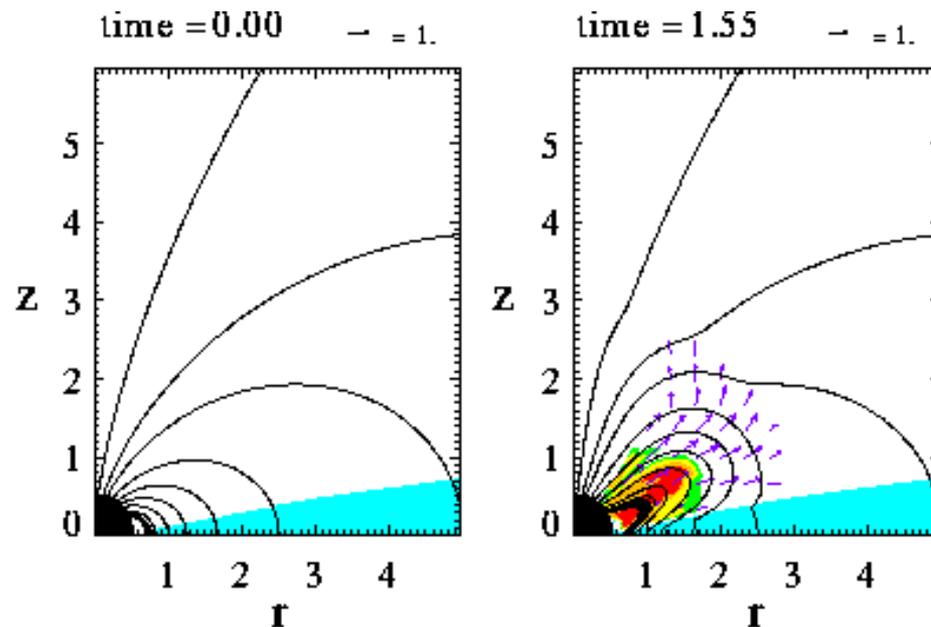
温度～  
1億度

太陽フレアの  
エネルギーの  
1万倍以上

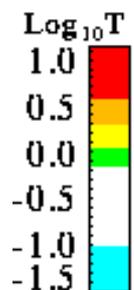
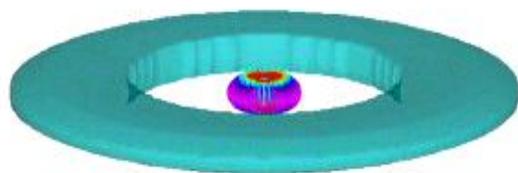
14 arcmin = 0.5 pc

# 原始星フレアのモデル

(林、松元、柴田 1996)



Time= 0.000 Orbits



# 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
- 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？
- 今後、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？ 人類は今後も生き延びることができるのか？

その答えは、太陽、宇宙の観測にある