

(講義)  
**太陽物理学入門**

**浅井 歩**

(京都大学大学院理学研究科附属天文台)

太陽研究最前線体験ツアー2022(オンライン)

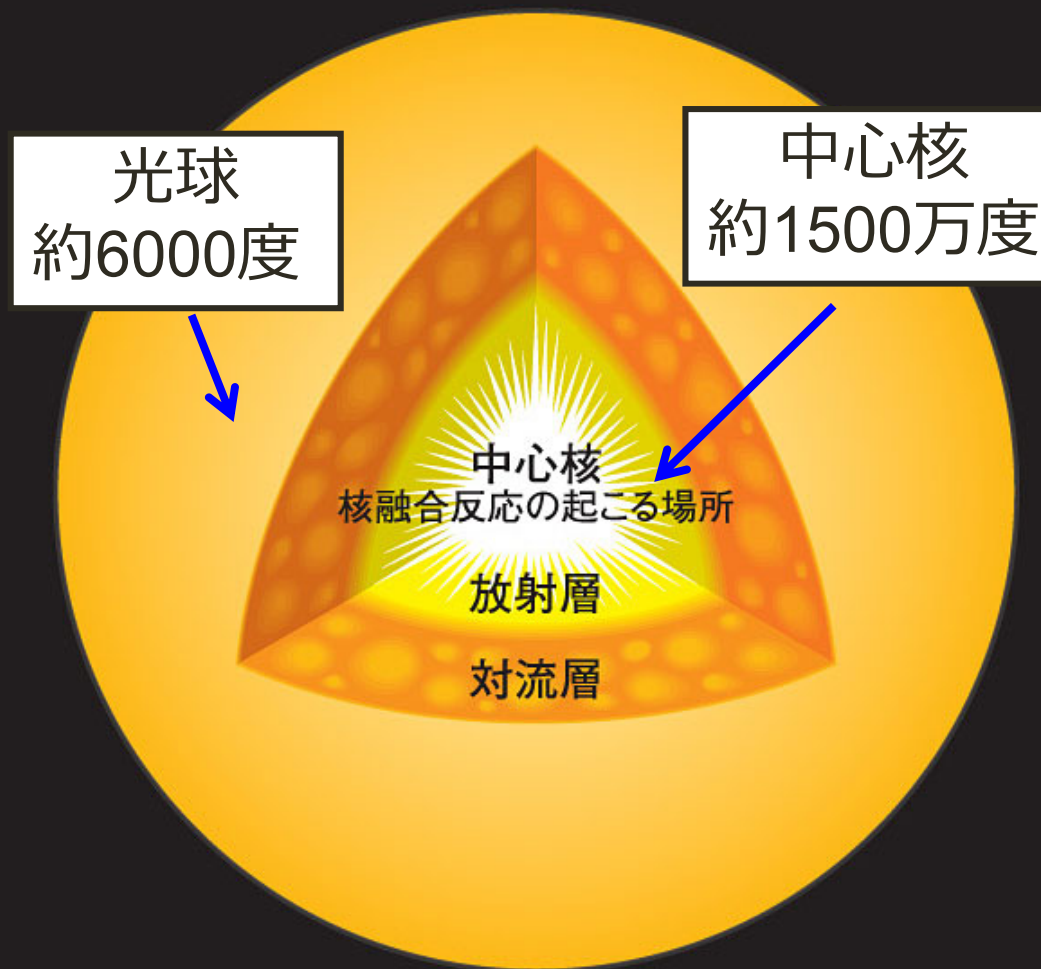
2022年3月14日

# 太陽の中

- 太陽は電気を帯びた高温のガス(プラズマ)の球体

## 太陽内部

- 中心核(1500万度)で核融合反応が起きていることで輝く
- 放射や対流でエネルギーが外へ運ばれる



太陽の内部構造(©理科年表オフィシャルサイト)

白色光

黑点



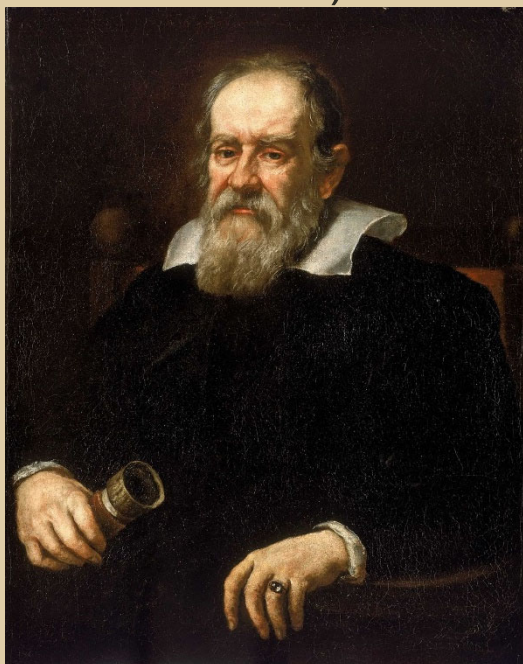
光球

飛驒天文台SMART望遠鏡

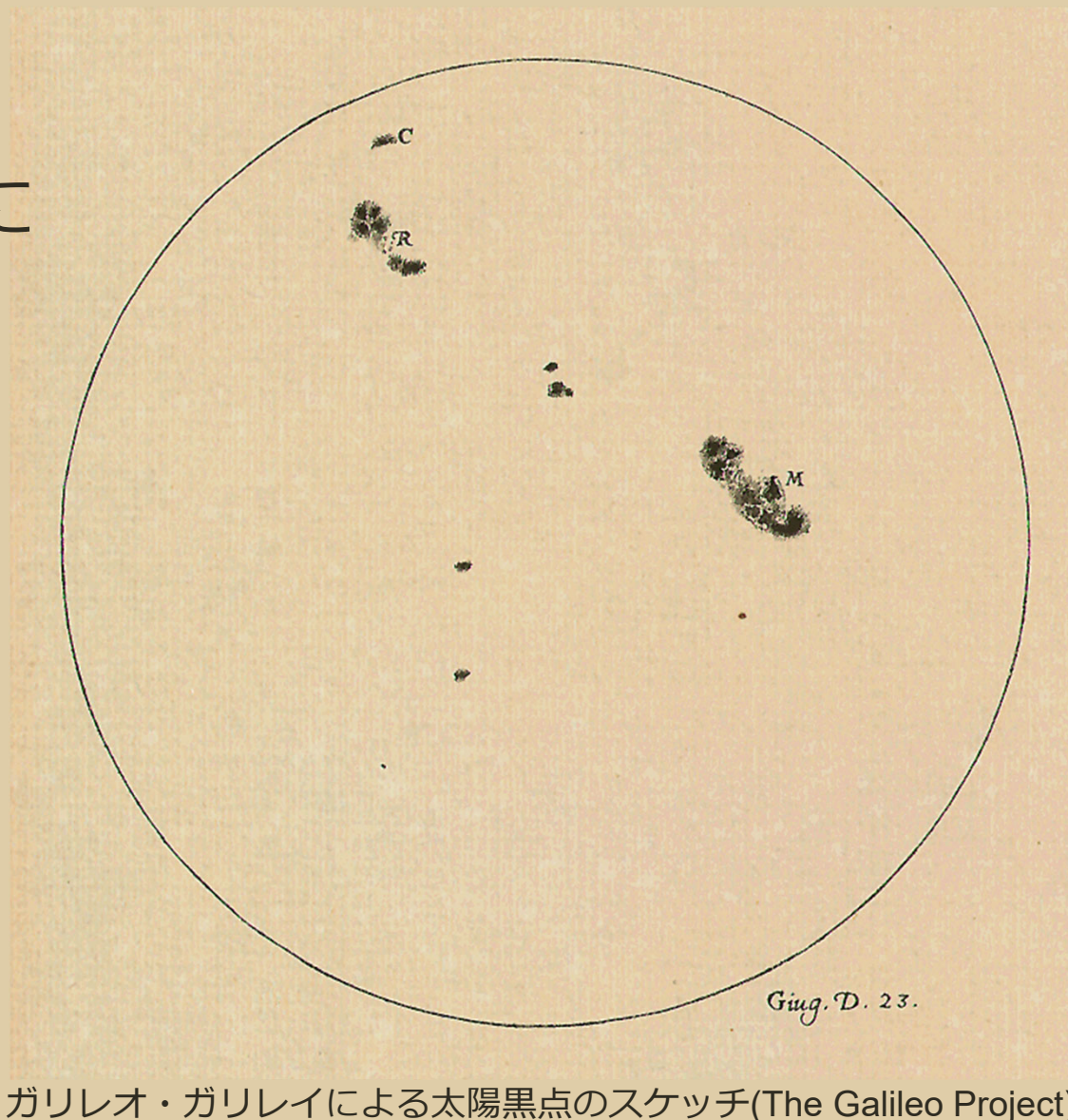
# 黒点

## ガリレオ・ガリレイによる黒点のスケッチ

(1613年6月23日)



ユストゥス・サステルマンスによる肖像画

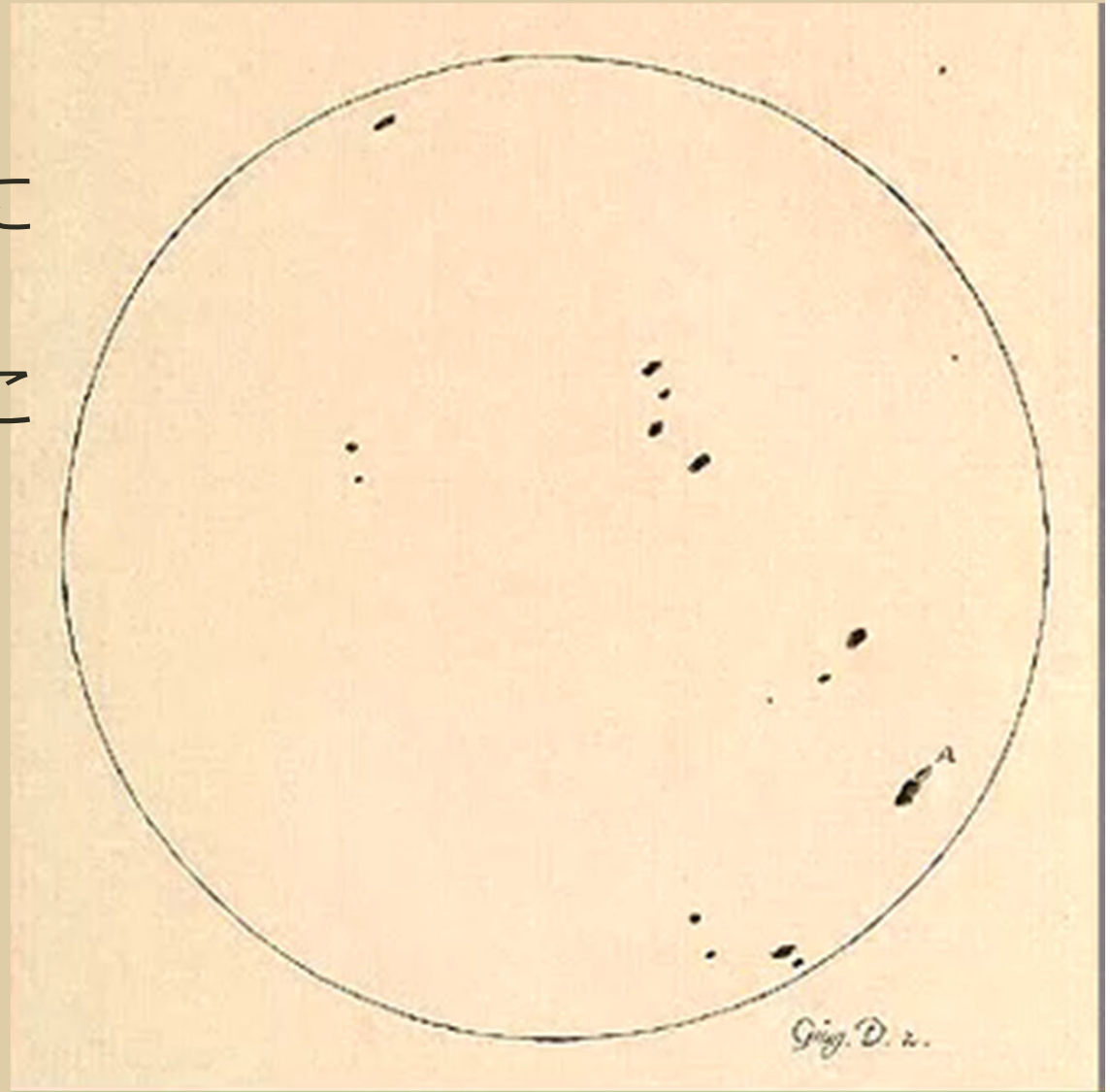


ガリレオ・ガリレイによる太陽黒点のスケッチ(The Galileo Project)

# 黒点

ガリレオ・ガリレイによる黒点のスケッチ

太陽が自転していることを突き止める



ガリレオ・ガリレイによる太陽黒点のスケッチ(The Galileo Project)

# 黒点の生成・消滅



SOHO/MDI, 可視連続光 2001

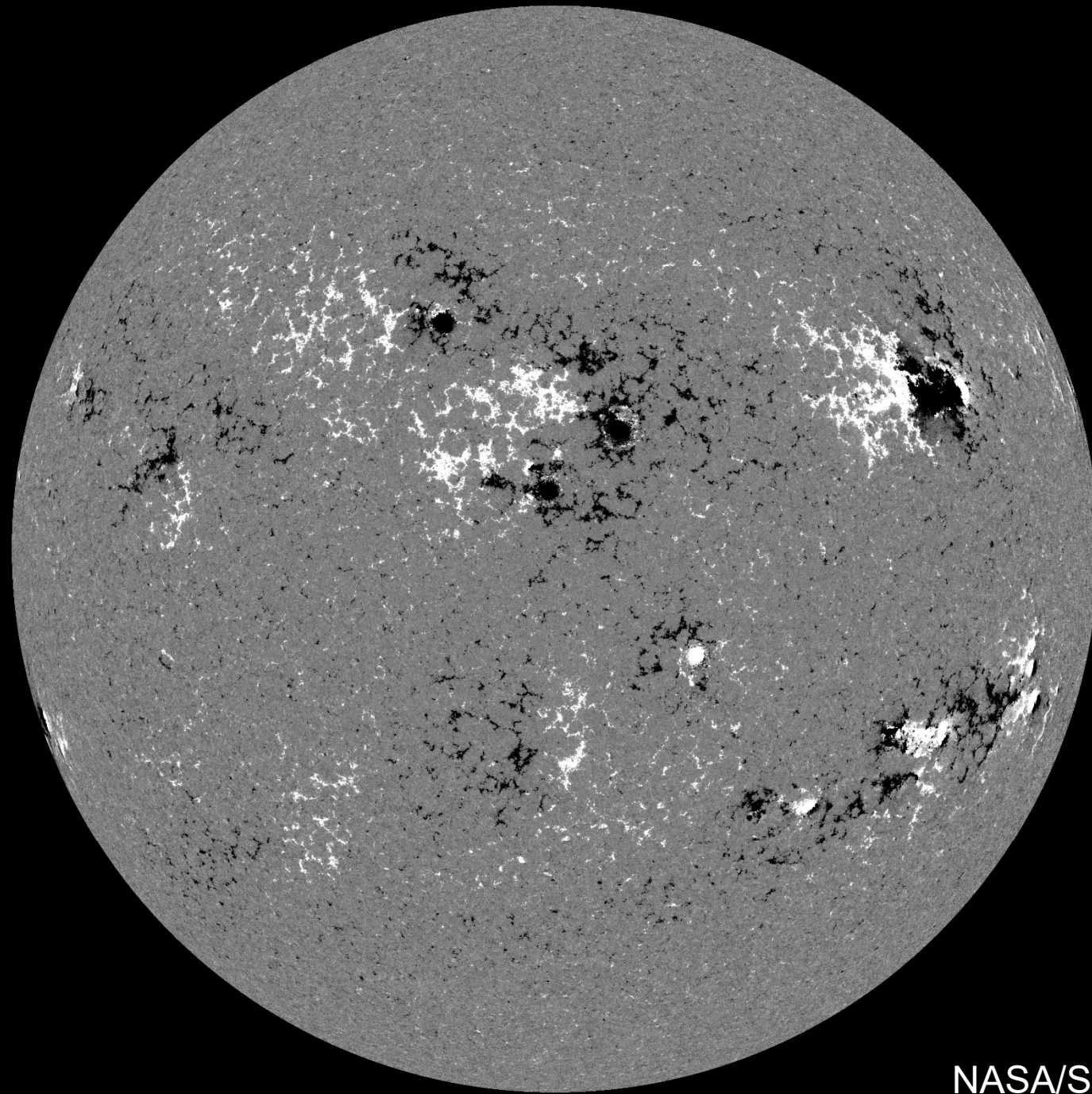
白色光



光球

飛驒天文台SMART望遠鏡

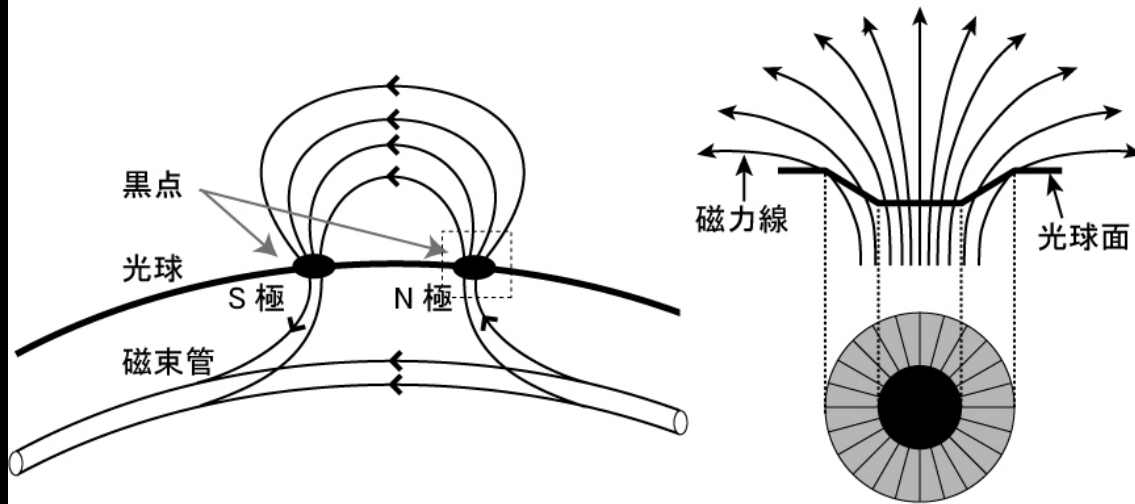
磁場



NASA/SDO/HMI



## 黒点-磁力線の切り口

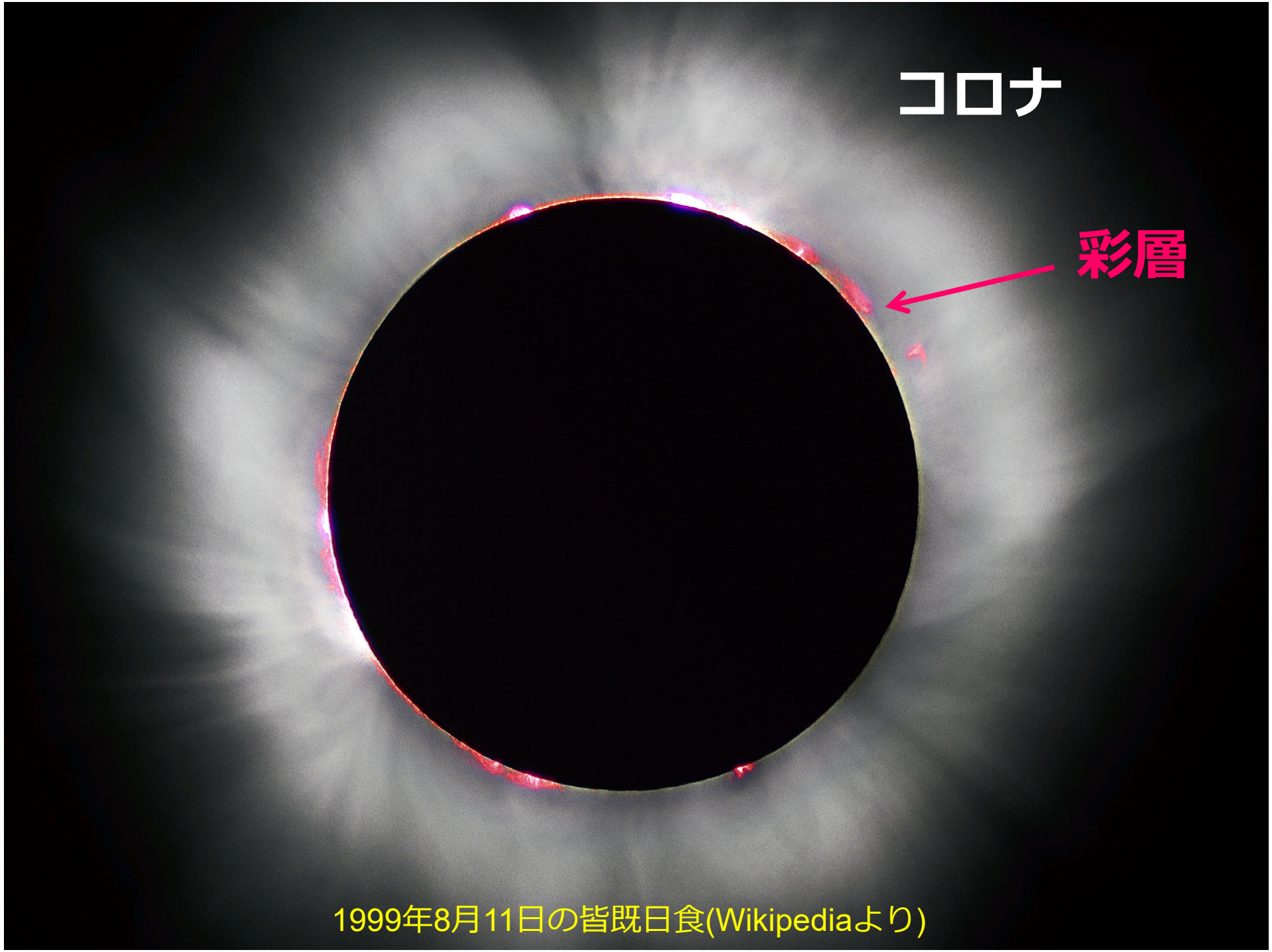


太陽内部から浮かび上がってきた  
磁力線が作る  
=磁場が強い領域

コロナ

彩層

1999年8月11日の皆既日食(Wikipediaより)



白色光



光球

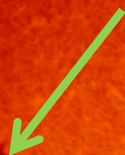
飛驒天文台SMART望遠鏡

プロミネンス

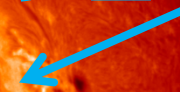
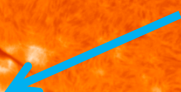


H $\alpha$ 線

ダーク・フィラメント

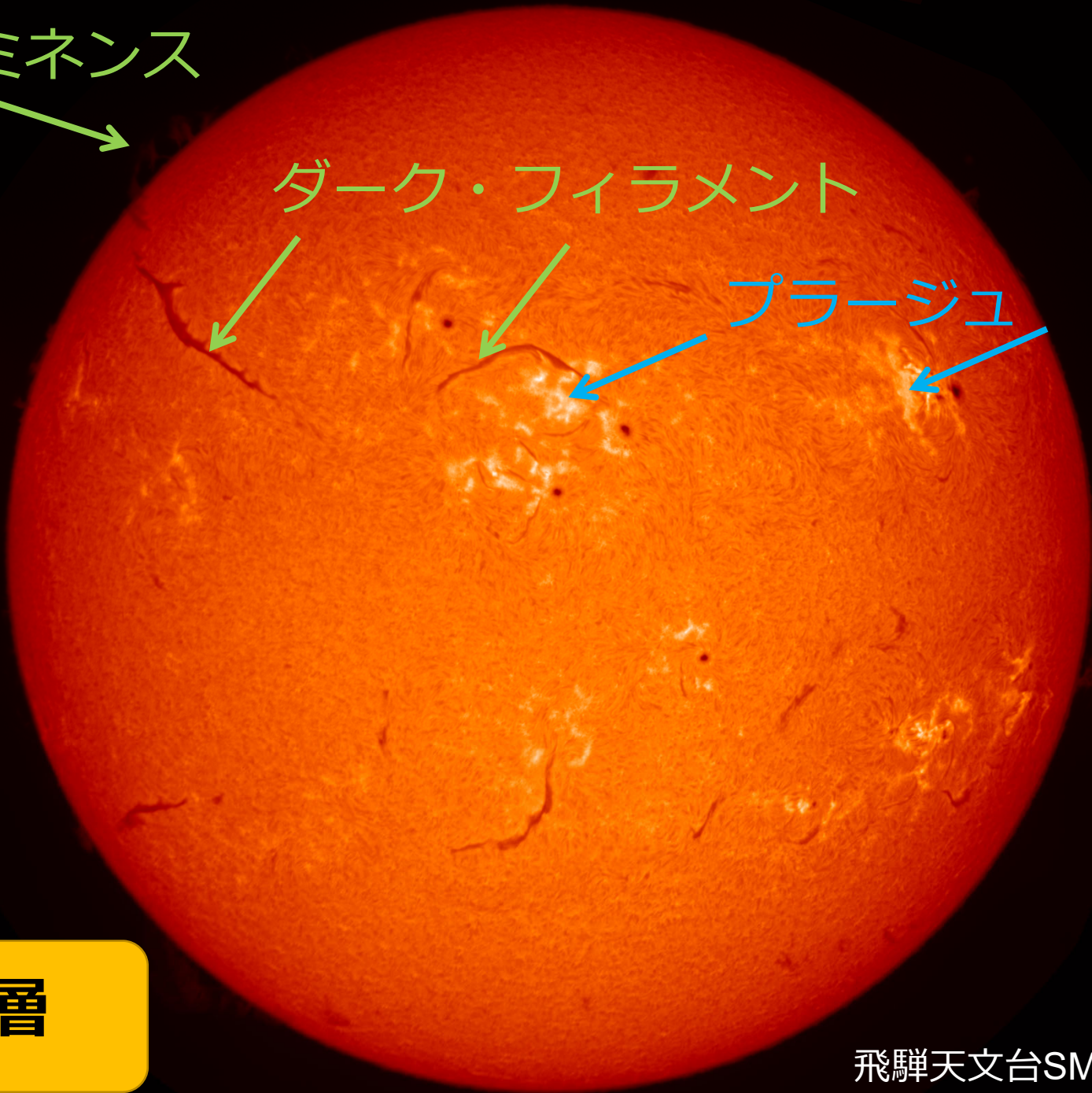


プラージュ



彩層

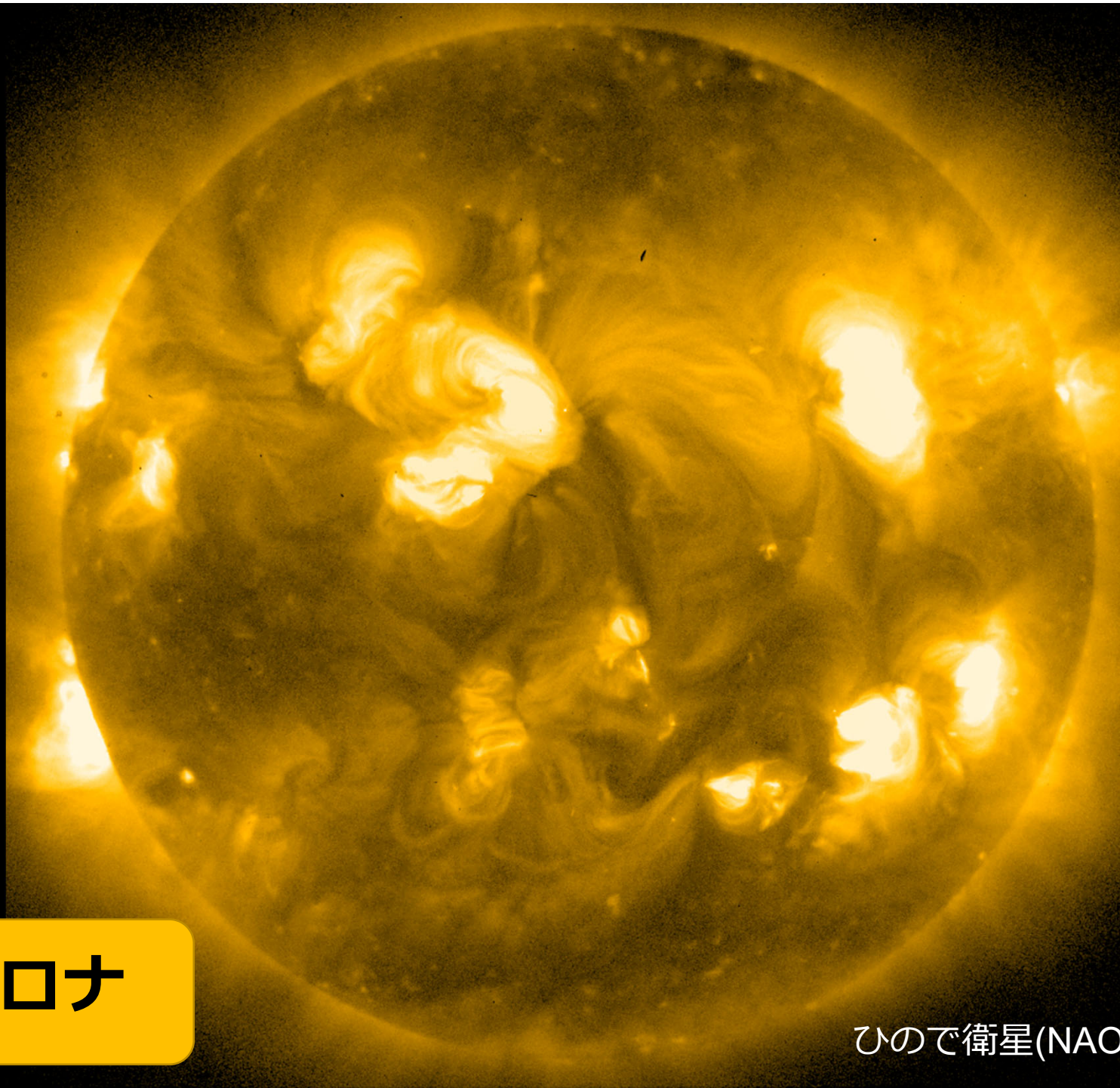
飛騨天文台SMART望遠鏡



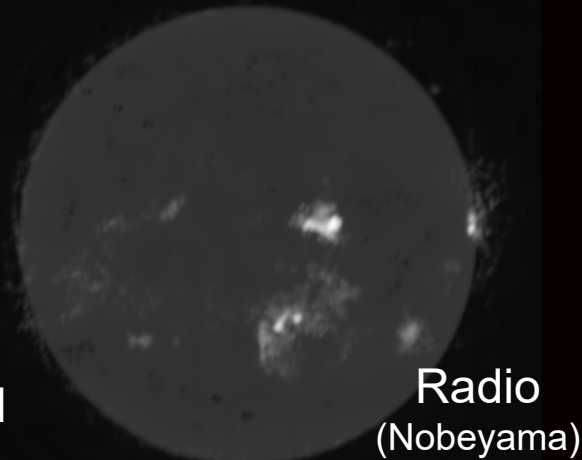
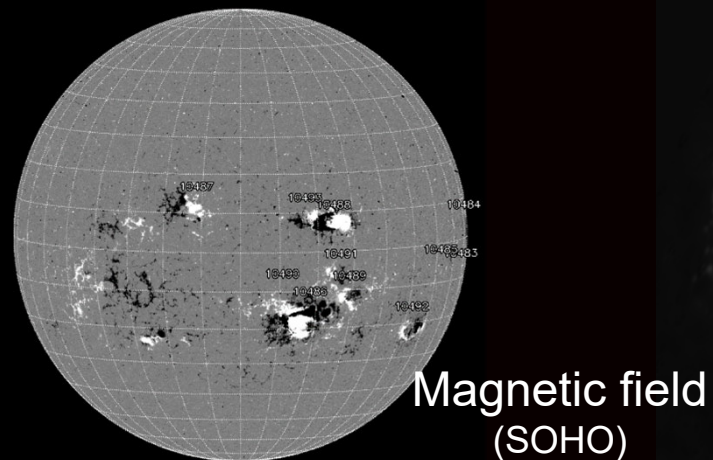
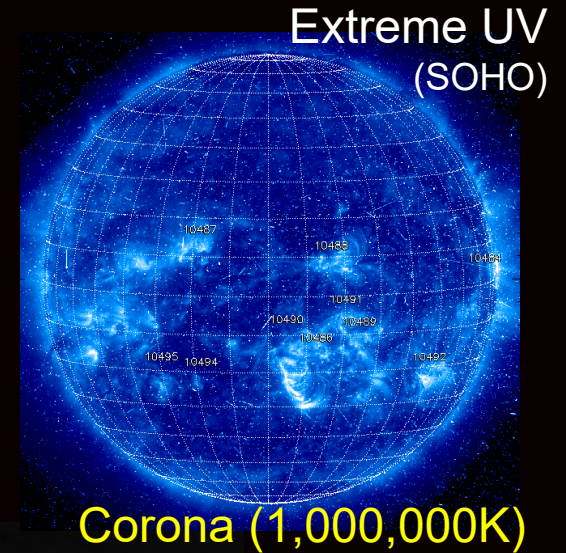
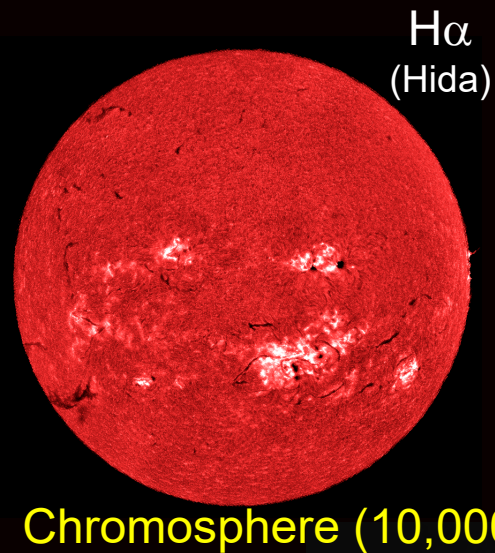
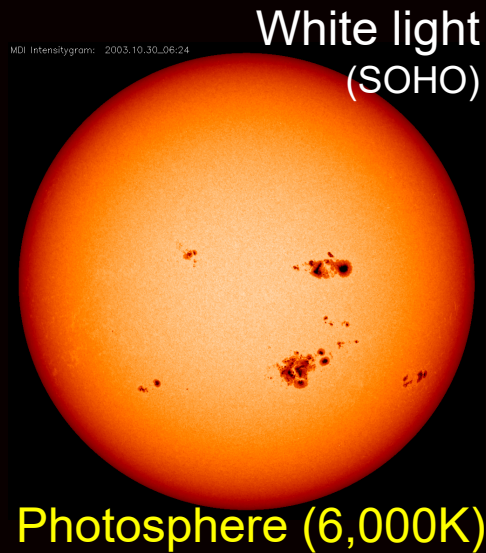
X線

コロナ

ひので衛星(NAOJ・JAXA)

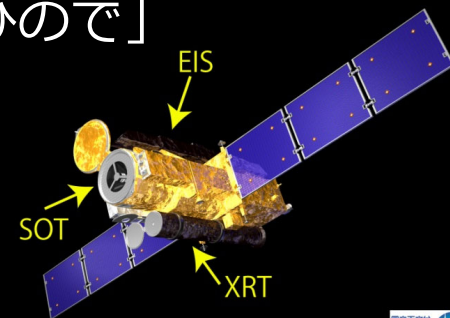
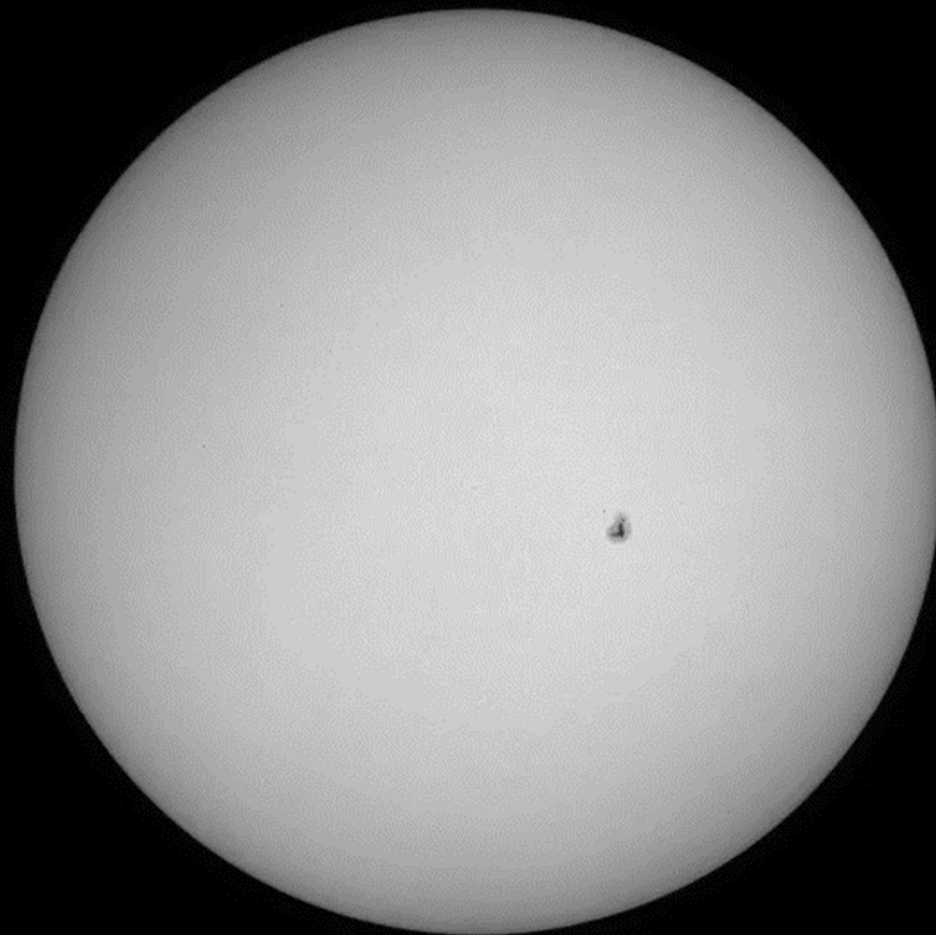


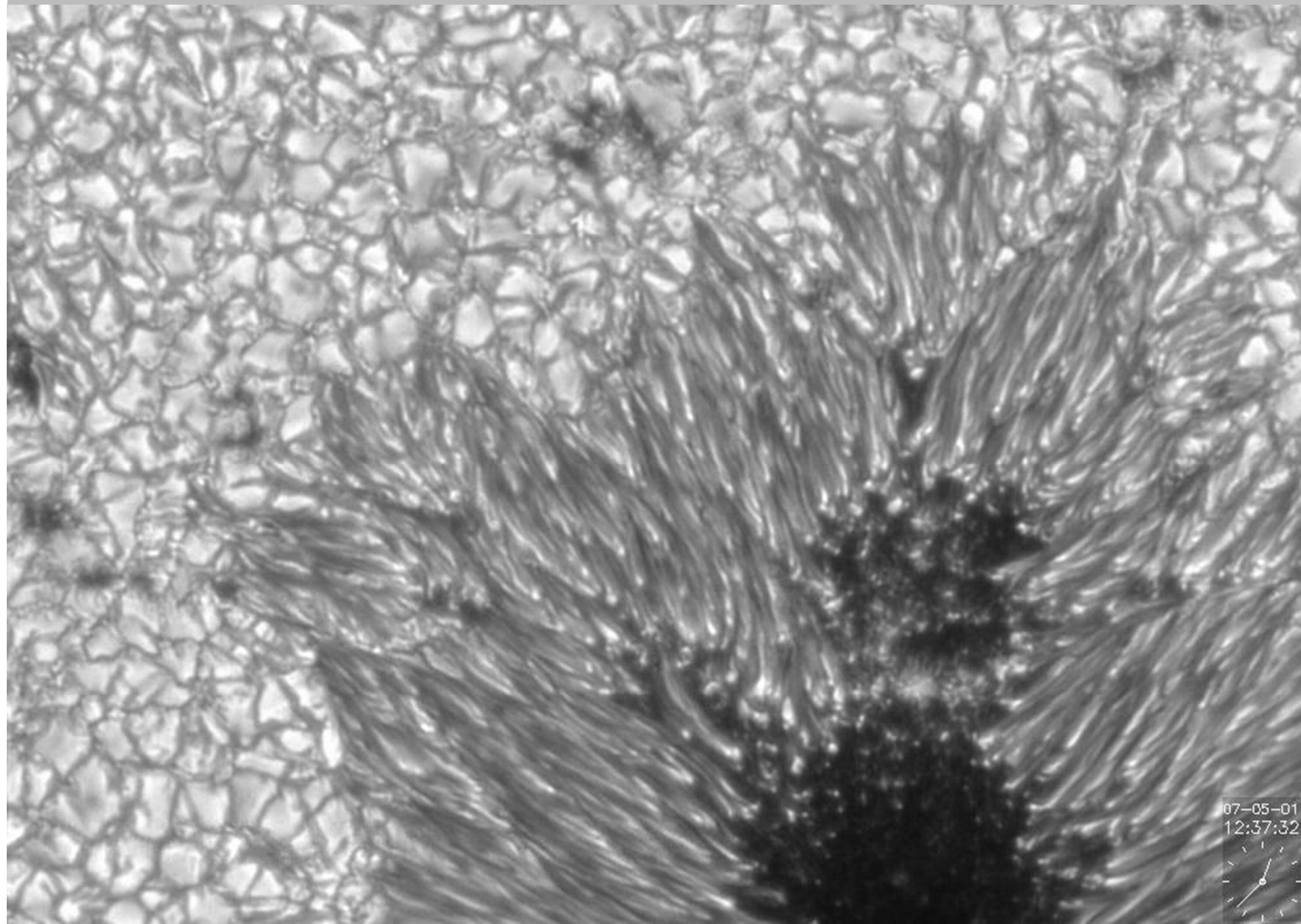
# VARIOUS FACES OF THE SUN



2006年に打ち上がった日本の太陽観測衛星「ひので」

# 黒点の詳細動画





07-05-01  
12:37:32







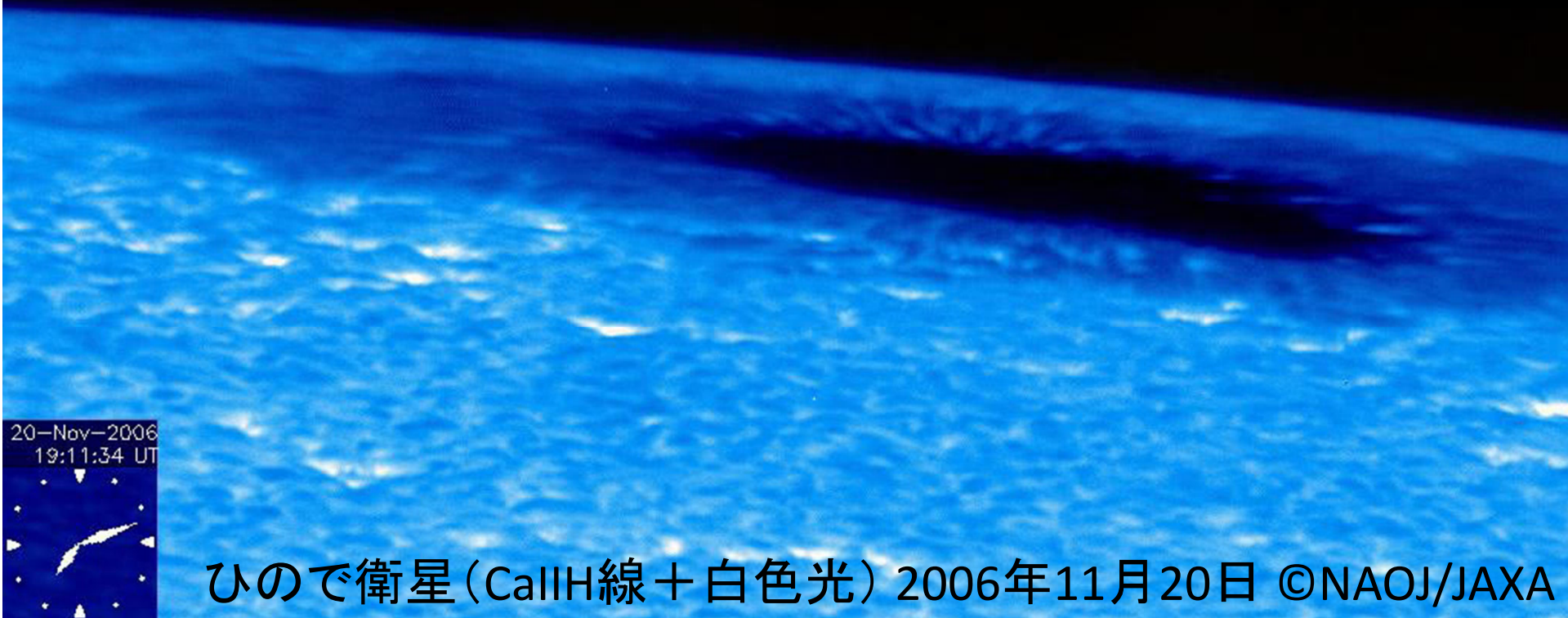
**DKIST**

(米国マウイ  
口径4mの太陽望  
遠鏡)

30kmの分解能  
を達成



# 光球から彩層へ



20-Nov-2006  
19:11:34 UT



ひので衛星 (CaIIH線 + 白色光) 2006年11月20日 ©NAOJ/JAXA

# プロミネンス

= 100万度のコロナに浮かんだ  
1万度の雲

地球の大きさ  
直径~13000km

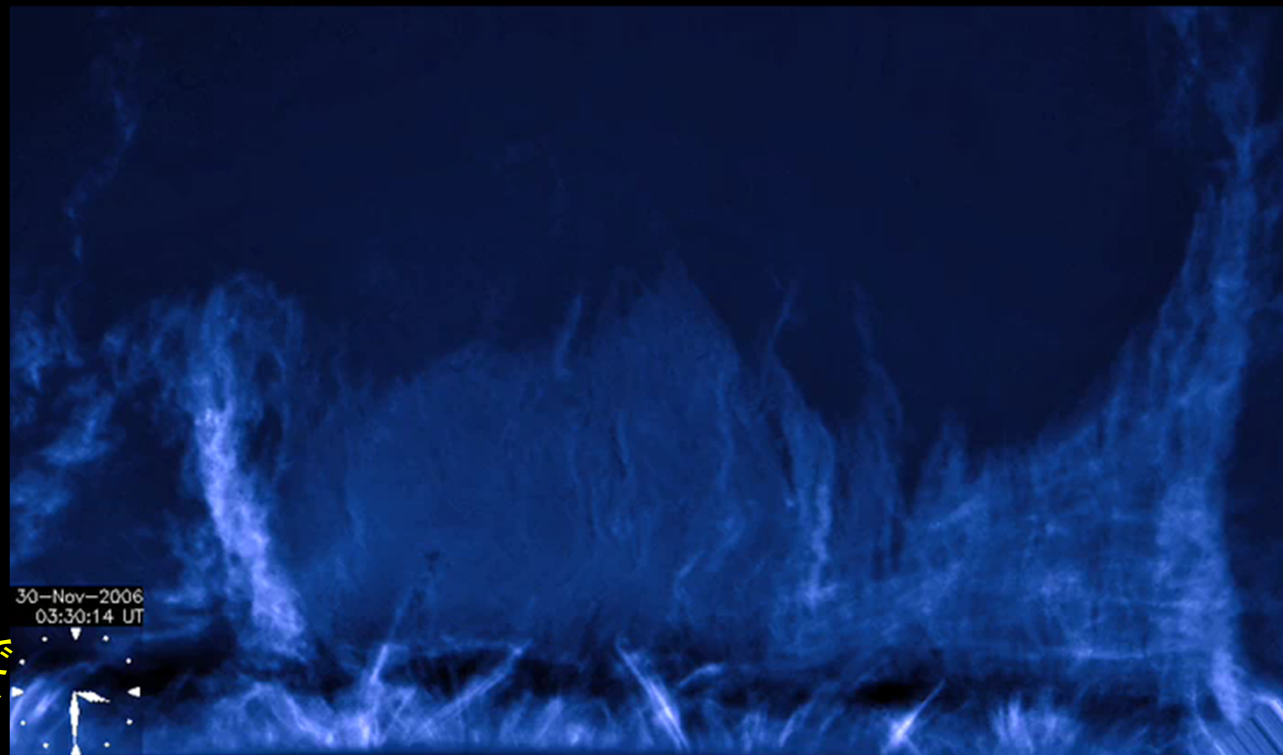


高さ~10万km  
質量~10億トン  
速度~数10 km/秒  
~時速20万km

太陽表面の重力加速度  
 $g = 28G = 274\text{m/s}^2$

→ 落下時間  $t \sim 14\text{min}$  で  
ぺしゃんこになるはずだが

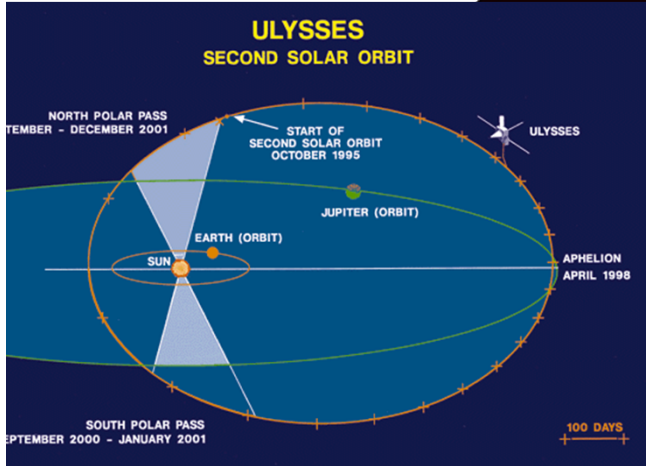
磁場と電流の作る力で  
支えられ加速されている



ひので衛星 ©NAOJ/JAXA

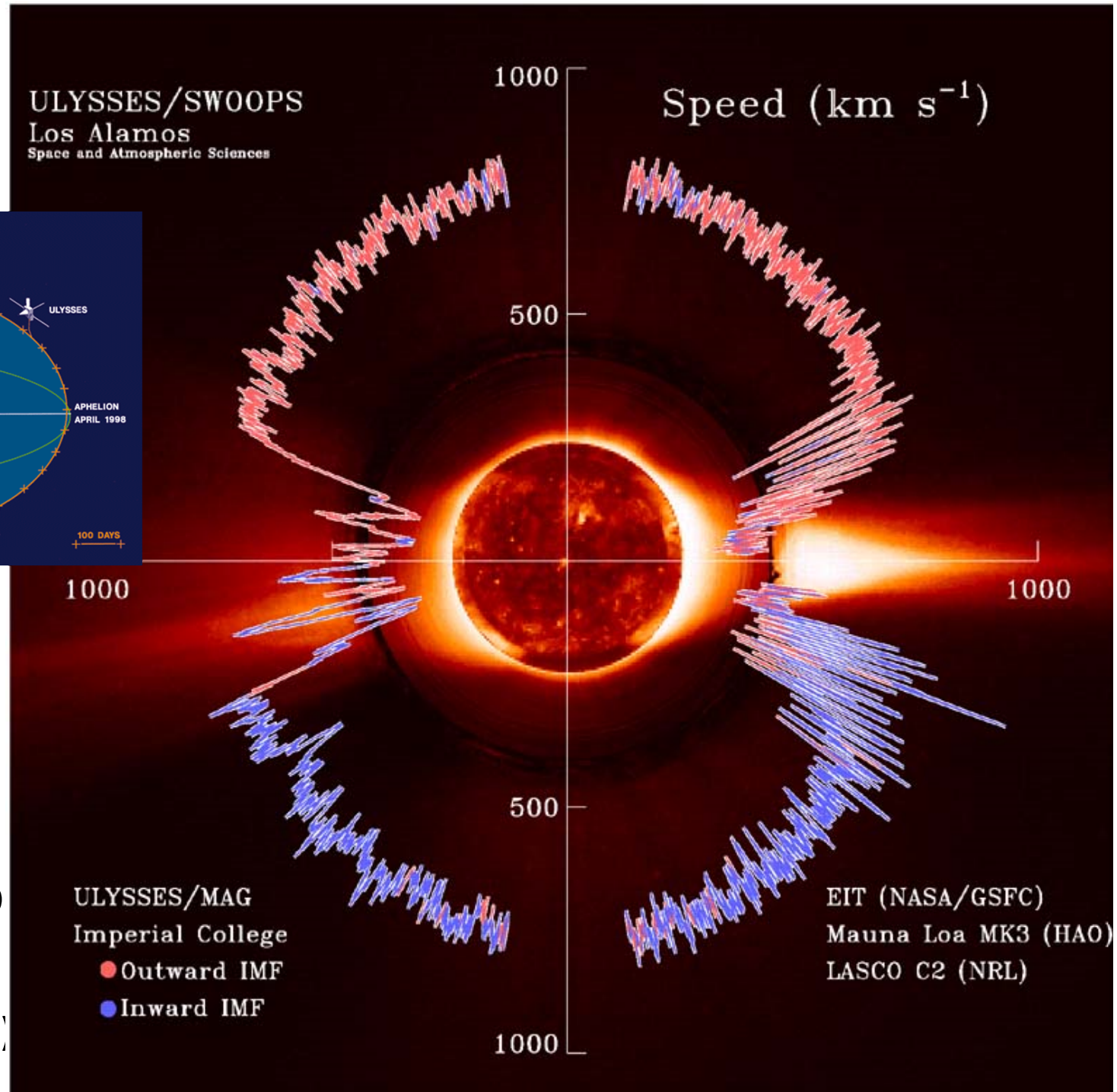
# 太陽風

ULYSSES/SWOOPS  
Los Alamos  
Space and Atmospheric Sciences

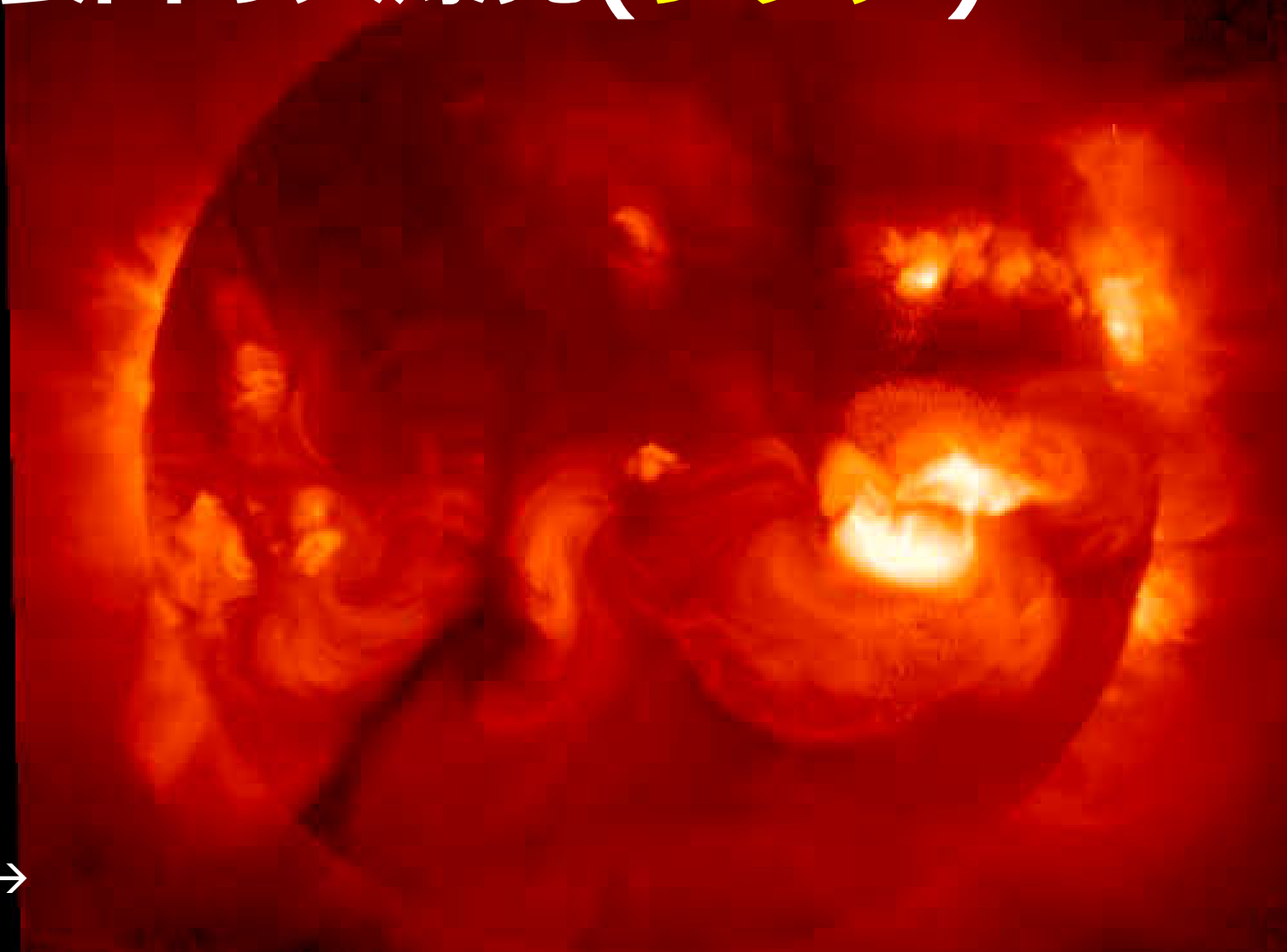


## 極小期の頃の 太陽風分布

(NASA/ESA)



# 太陽表面の大爆発(フレア)



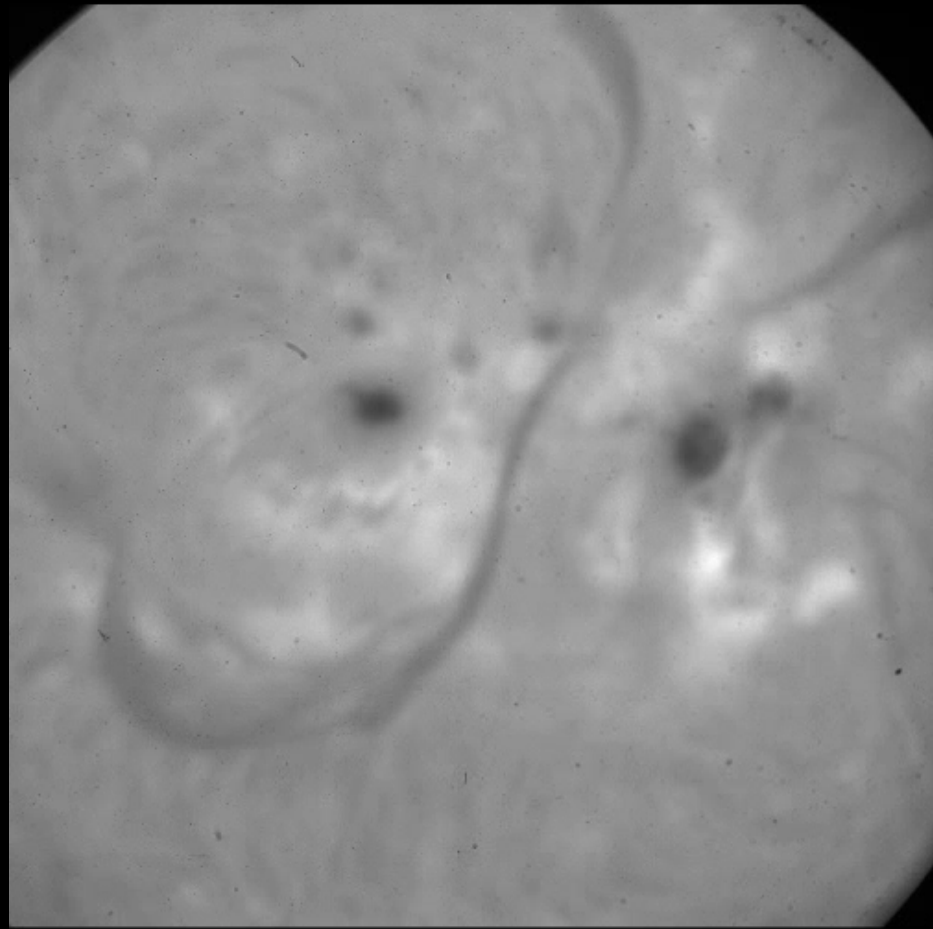
→  
「ようこう」衛星  
によるX線ムービー

ぴかぴか光るのは一つ一つ爆発現象による

©ISAS

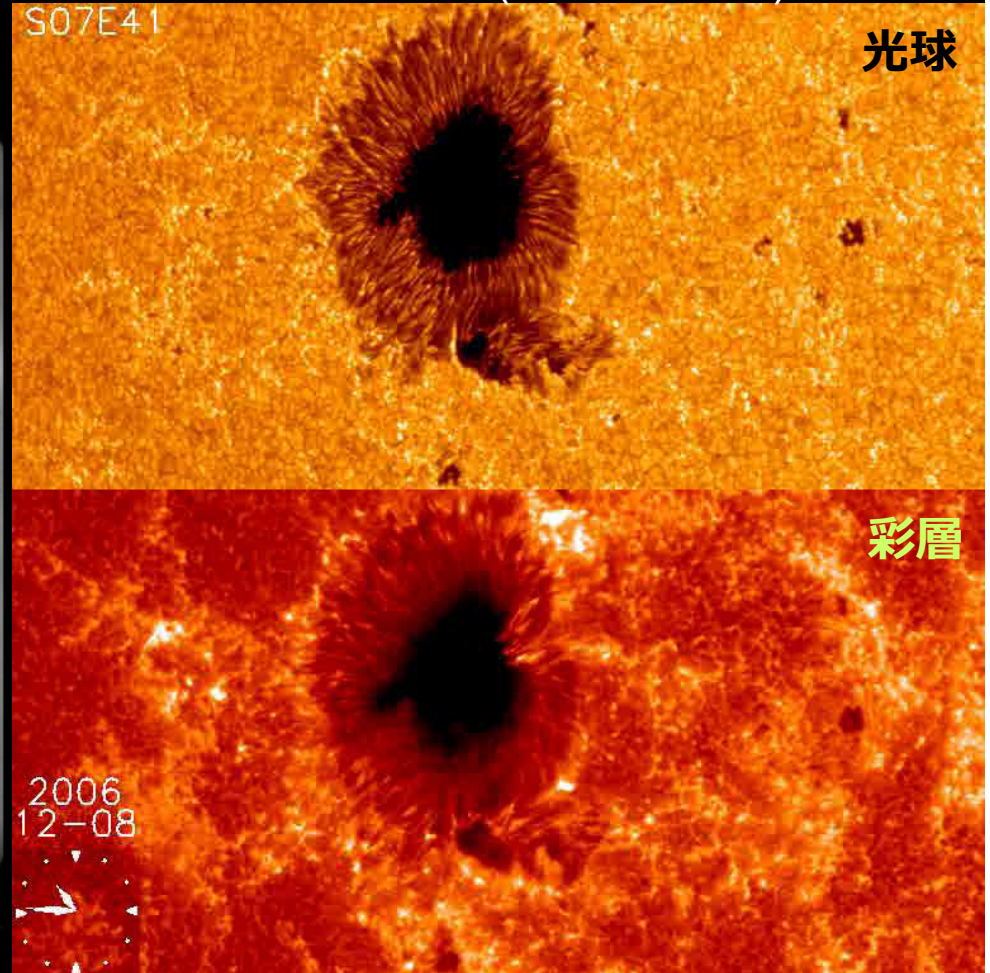
# 太陽面爆発(フレア) 光球・彩層画像

京都大学飛騨天文台DST 彩層



2001.04.10 04:29:26[UT]

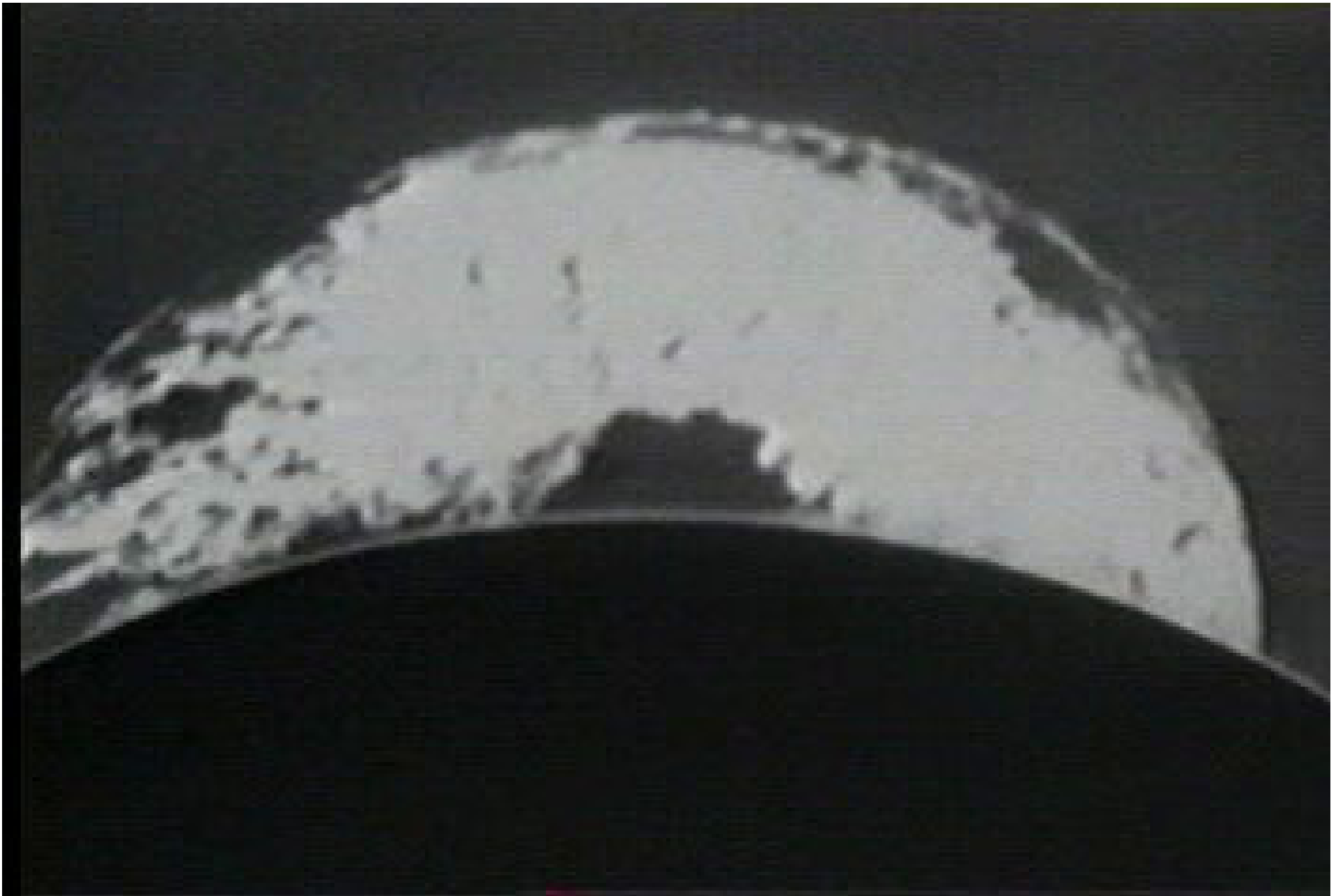
ひので衛星SOT(NAOJ/JAXA)



光球

彩層

2006  
12-08



1946年6月4日に発生した観測史上最大の噴出現象(アメリカ・HAO観測所での $H\alpha$ 線観測)

# 太陽嵐

高エネルギー粒子(太陽宇宙線)の生成

2003年10~11月  
太陽がものすごく活  
発だったころの太陽  
周辺の様子

2003/10/18 00:18

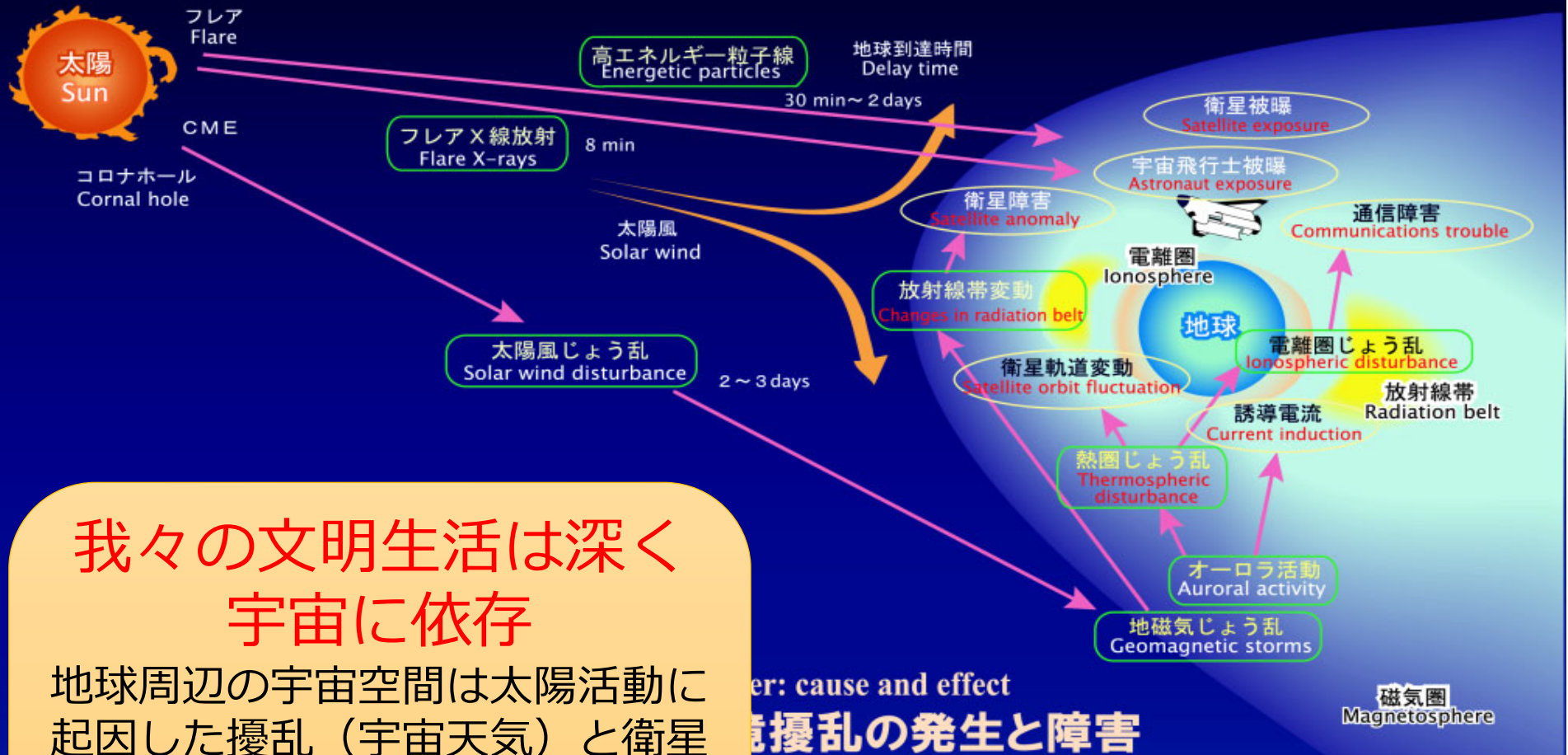
SOHO(NASA/ESA)





CG (NASA)

# 宇宙天気

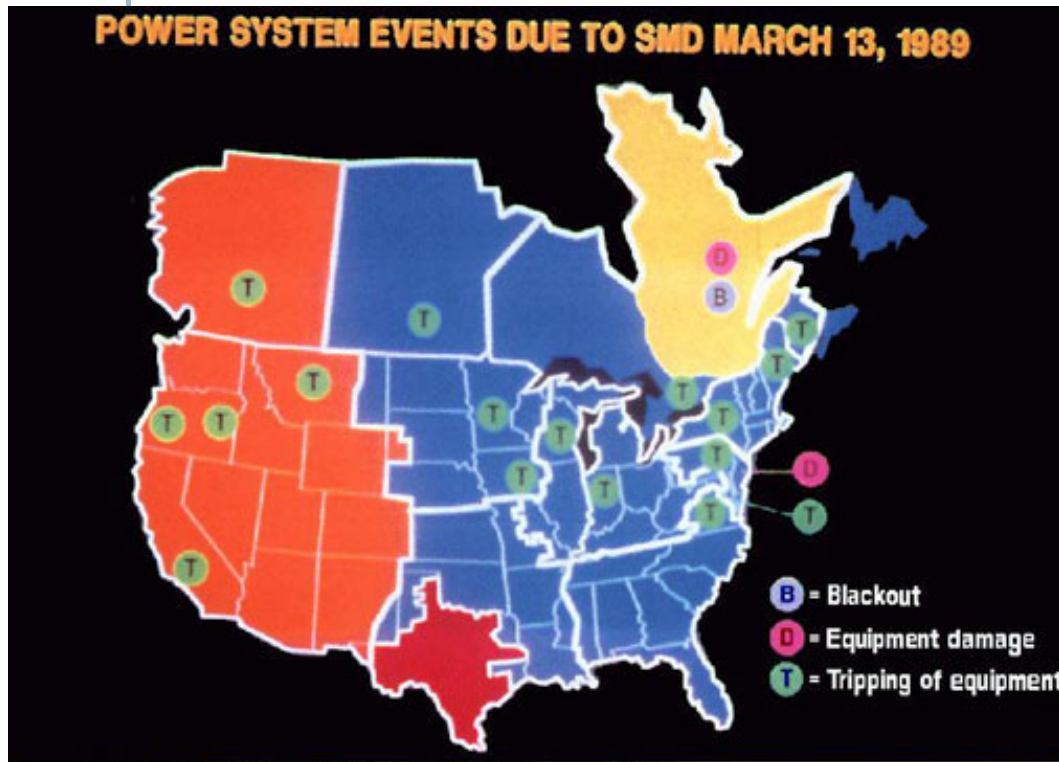


我々の文明生活は深く  
宇宙に依存

地球周辺の宇宙空間は太陽活動に起因した擾乱（宇宙天気）と衛星障害などの経済社会活動への影響評価が必要

cause and effect  
擾乱の発生と障害

# 1989年3月13日の大停電 (カナダ・ケベック州)



Electric Power Research Institute, Inc.

被害額は発電所での損害だけで  
約10億円以上にものぼったという

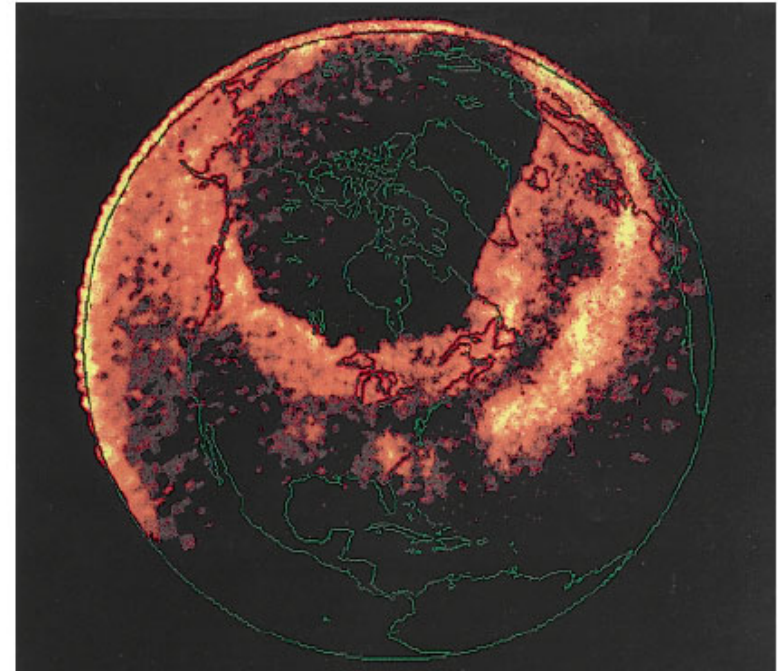


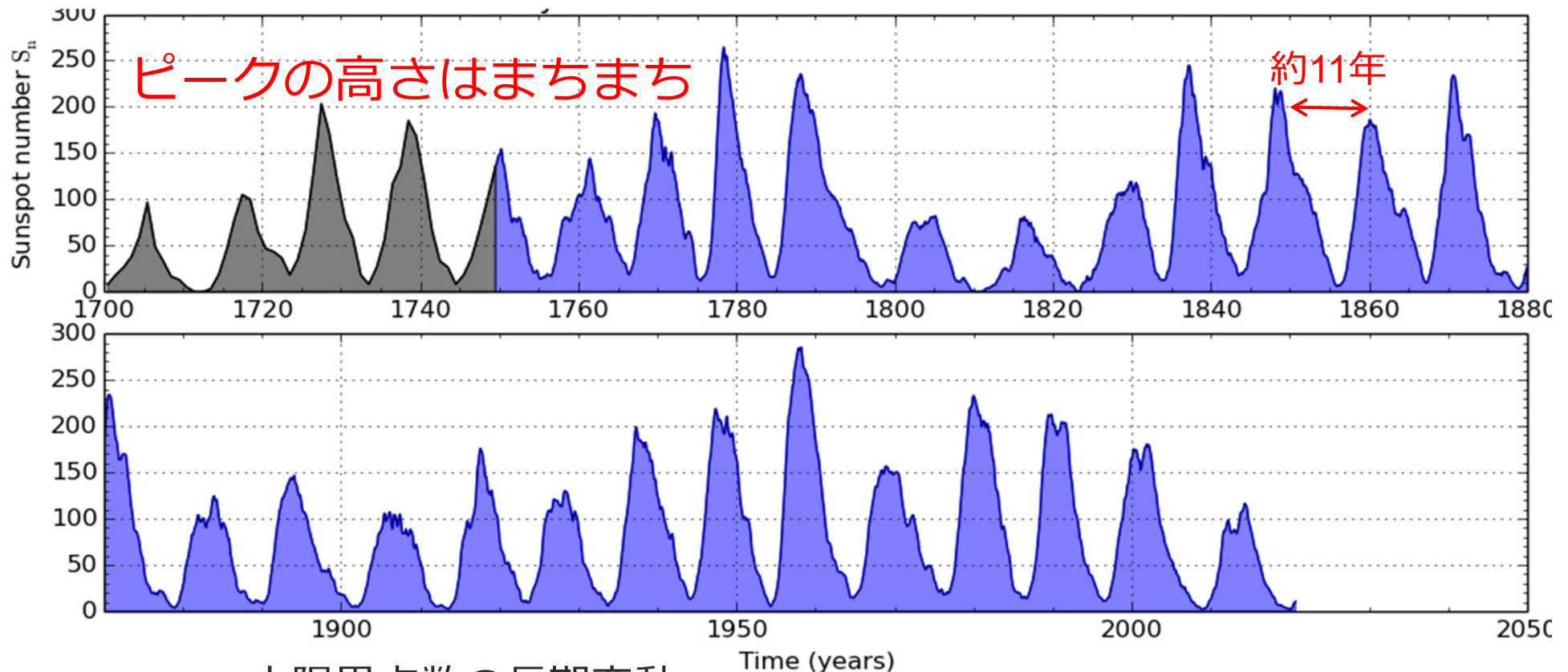
図4 発電所の事故があった日に人工衛星で撮影されたオーロラ。カナダ一帯に強いオーロラが現れたのがわかる。(アイオワ大学 L. A. Frank 教授)



故障したSalem原子力発電所の変圧器

# 太陽活動周期

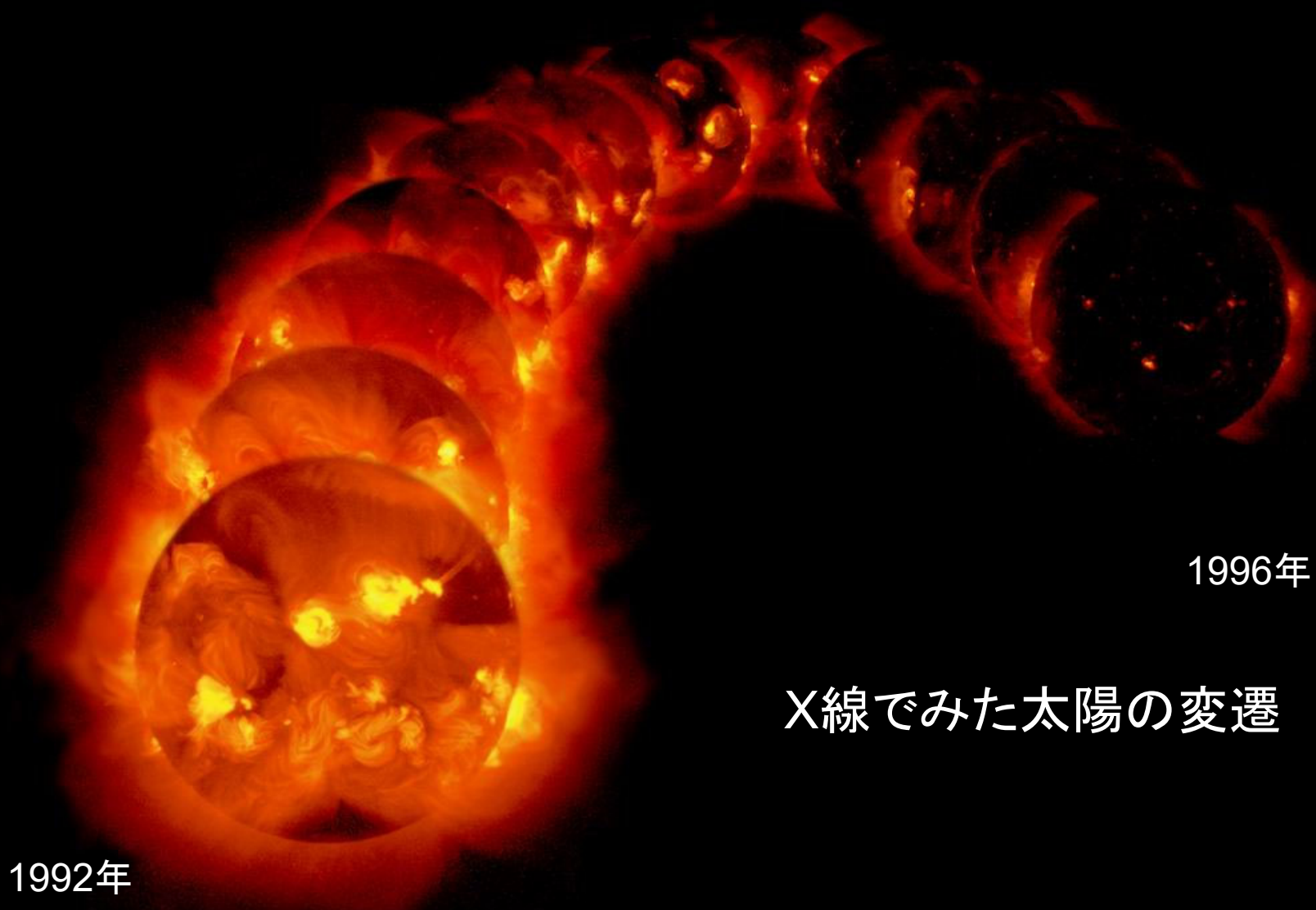
太陽黒点の数が約11年ごとに増減を繰り返す  
太陽フレアなど活動現象の数も同じように変化  
→太陽活動周期



太陽黒点数の長期変動

SILSO graphics (<http://sidc.be/silso>) Royal Observatory of Belgium 2021 April 1

# 太陽の活動は変化する



1992年

1996年

X線でみた太陽の変遷

<http://www.sciencedaily.com/releases/2007/04/070427131848.htm>

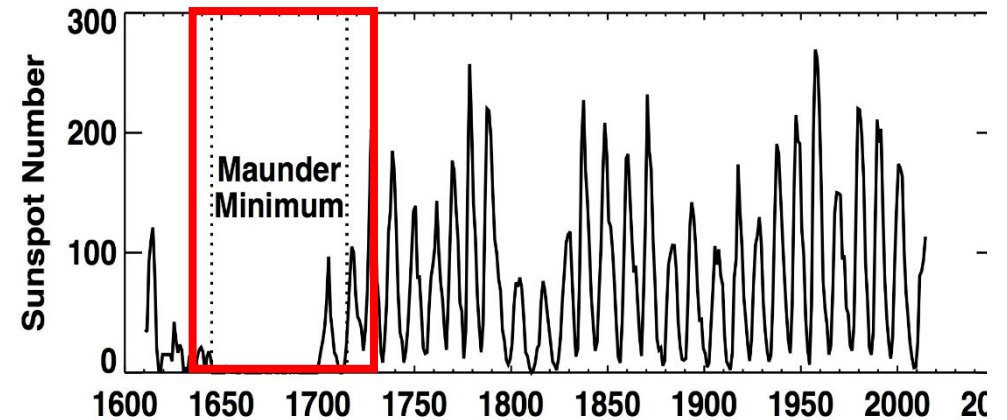
# 太陽活動の地球気候への影響

1645~1715年頃にかけて、太陽活動が極端に少ない磁気が続いた(マウンダー極小期)

太陽は今より 0.24%暗かったとの推定あり

マウンダー極小期の太陽活動低下は、全世界的な寒冷化を引き起こしたと考えられている(ミニ氷河期)

太陽活動と地球気候の関係は?



イギリスのテムズ川が凍った様子

星の色(温度)  
と明るさの関  
係(HR図)

明

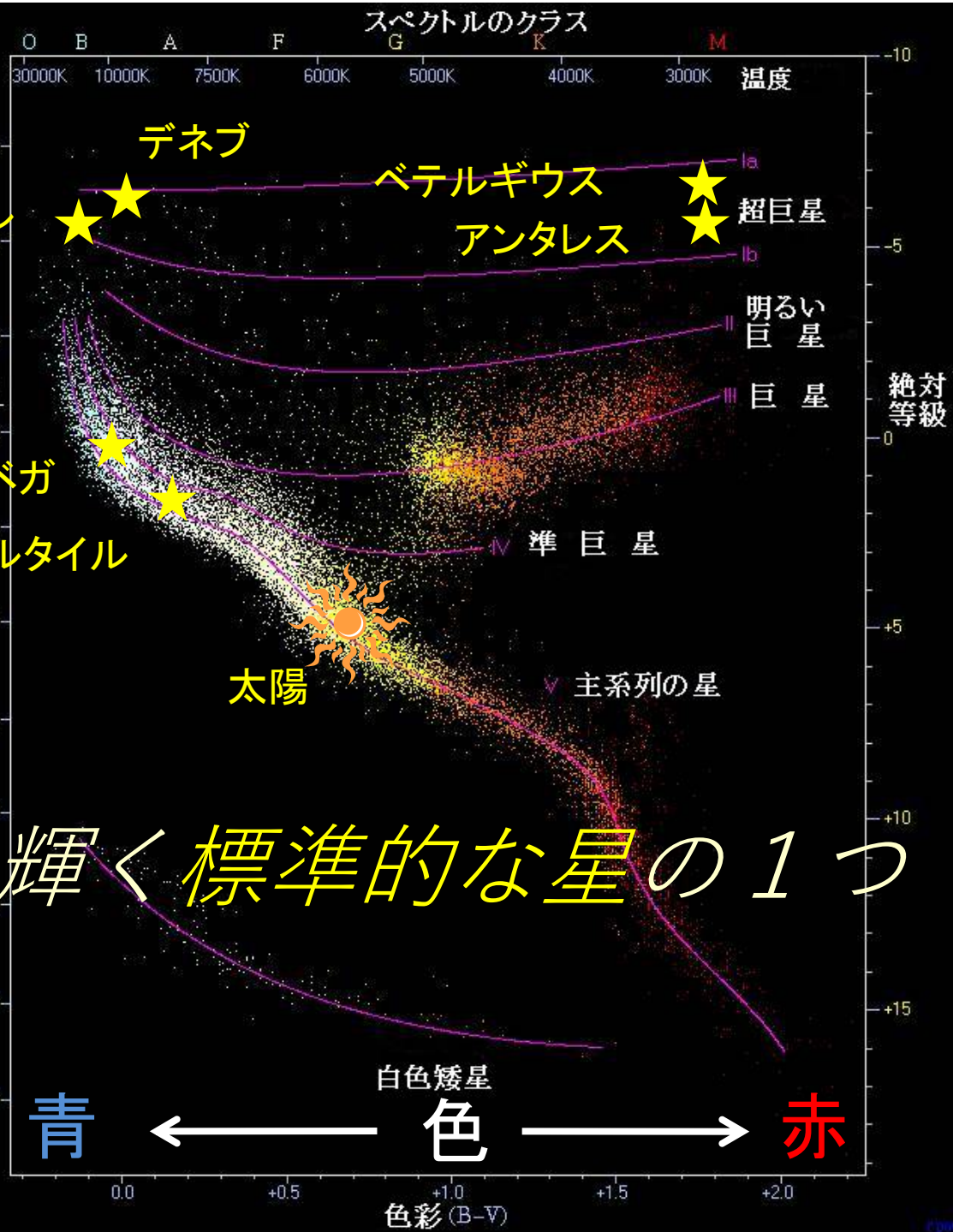


明るさ



暗

太陽は宇宙で輝く標準的な星の1つ



# 超巨大フレアは起きるのか？

謎を解くカギは「恒星」：  
「太陽に似た星」を調べる

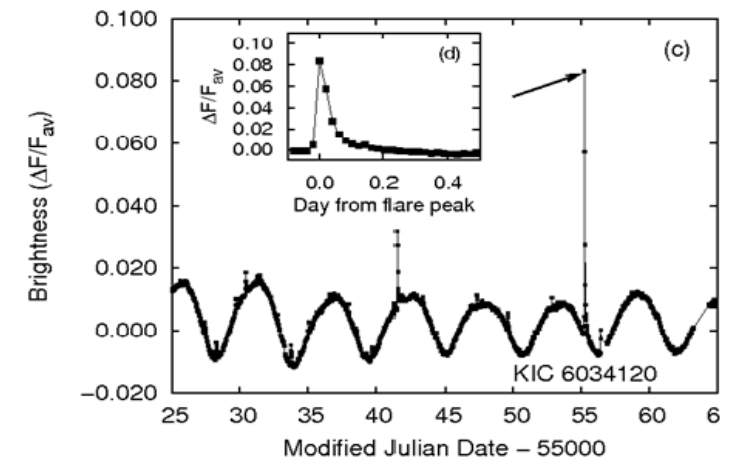
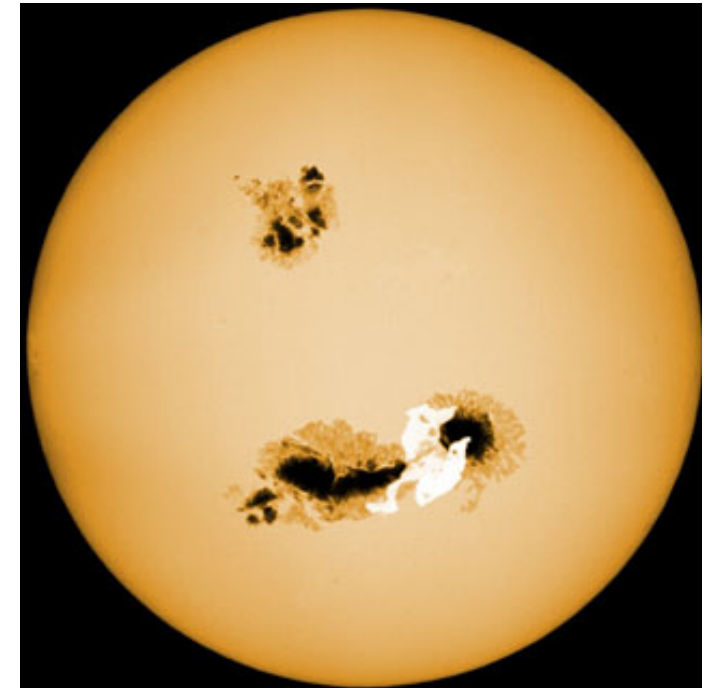
大きなフレアほど発生頻度が低い

最大級の太陽フレアの

1000倍のスーパーフレアが  
5000年に1回、

100倍のスーパーフレアでは  
800年に1回起きる

- 恐竜(生命)の大絶滅の原因(かもしれない)！





# イントロダクション： 太陽物理学の意義と課題

## \* 太陽物理学の3つの位置づけ

- 1) 星としての太陽 -- 天文学
- 2) プラズマ実験室 -- プラズマ物理・工学・宇宙プラズマ科学
- 3) 地球の境界条件 -- 宇宙天気・宇宙気候・大気科学・生命科学

## \* 「プラズマ」

固体、液体、気体、**プラズマ（第4の物質の相）**

原子が電離することにより電気伝導率をもつ流体

電流(=磁場)が発生する→ガス圧以外の「遠隔力」が重要な働きをする

\* 太陽の多様な姿(対流、加熱、爆発...)：磁場による

# イントロダクション： 太陽物理学の意義と課題(続き)

## \* 太陽物理学の課題

磁場が外層大気でどのようにエネルギーを散逸するか？

加熱、爆発、噴出の物理の理解とその予測

磁場が内部でどのようにして作られるか？

ダイナモ（発電）問題、「太陽活動」の長期変動