

# 太陽観測衛星「ひので」と 2020年代の宇宙からの 太陽観測展望

清水 敏文

JAXA宇宙科学研究所 (ISAS/JAXA)  
東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻  
[shimizu@solar.isas.jaxa.jp](mailto:shimizu@solar.isas.jaxa.jp)

2023/3/28

2022年度 太陽研究最前線体験ツアー—  
2022.3.28

1



宇宙航空研究開発機構 (JAXA)

宇宙科学研究所 (ISAS)



2023/3/28

# ISASの天文・宇宙物理学観測ネットワーク



XRISM

X線観測



Athena  
(ESA)

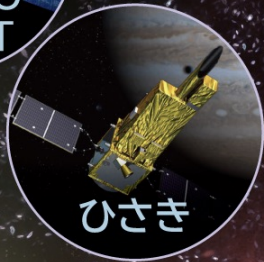


WSO  
(INASAN)

紫外線観測



Solar-C  
EUVST



ひさき

赤外線観測

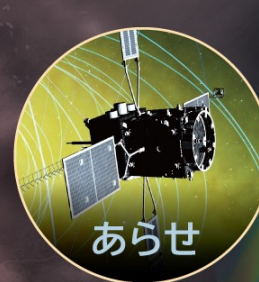


Small-  
JASMINE

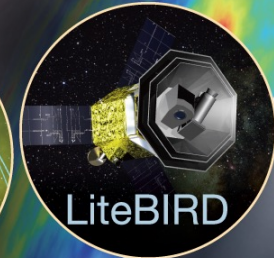


ROMAN  
(NASA)

電波観測

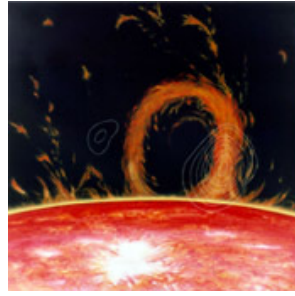
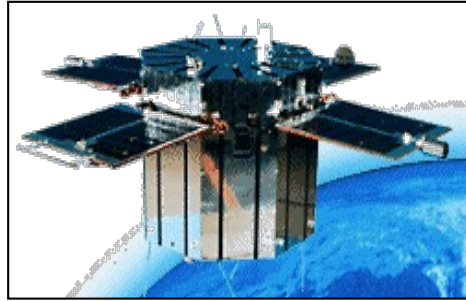


あらせ



LiteBIRD

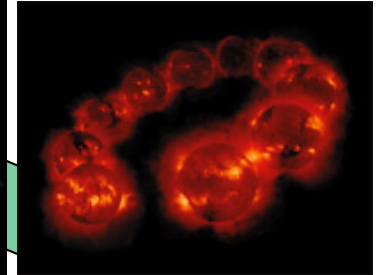
# 宇宙からの太陽観測で世界の最先端を行く日本



ひのとり/ASTRO-A (1981-1982)

フレア観測  
X線、 $\gamma$ 線 ( $E > 10$  keV)

ようこう/SOLAR-A (1991-2001)

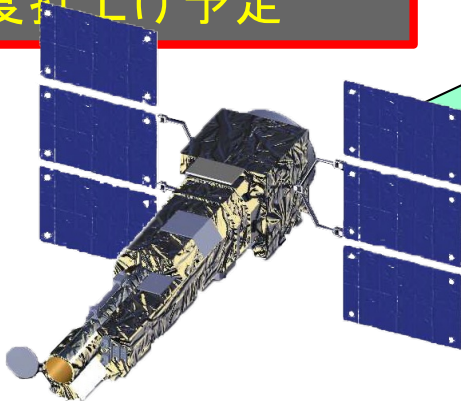


フレア、コロナ観測  
X線、 $\gamma$ 線 ( $E > 0.1$  keV)

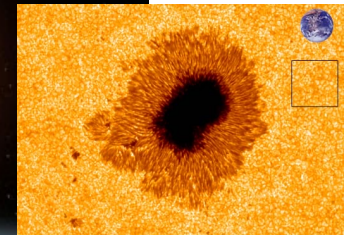
次期太陽ミッション  
SOLAR-C  
2028年度打上げ予定

光球/彩層~コロナ  
フレア  
極紫外線分光

2023/3/28



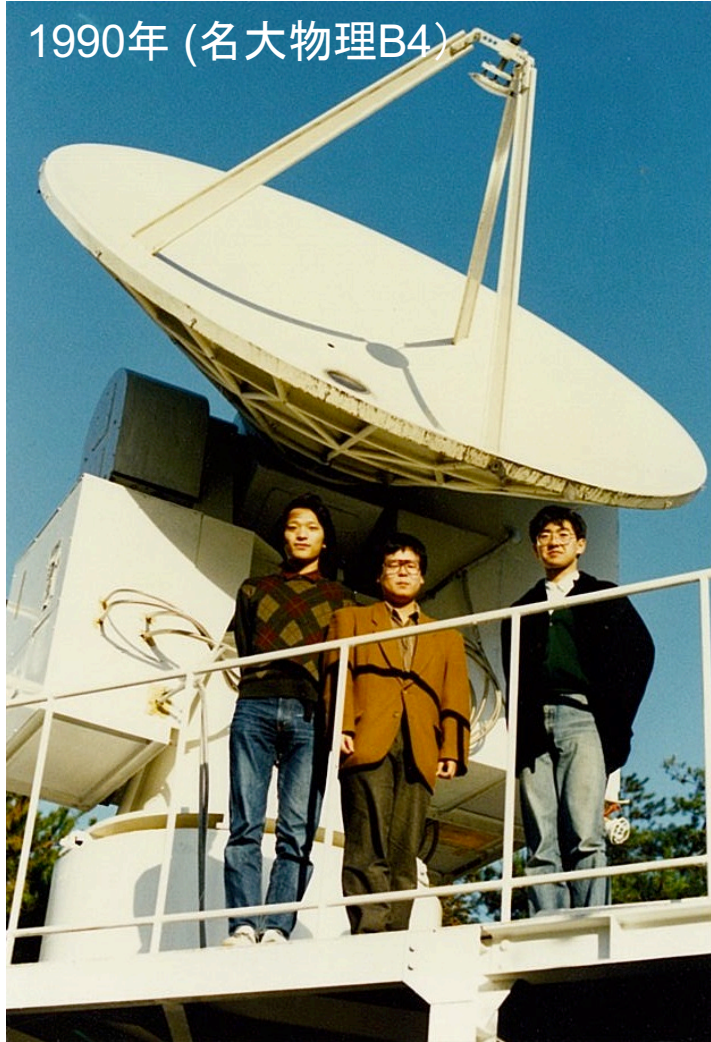
ひので/SOLAR-B (2006-)



光球磁場、コロナ、フレア  
可視光、極紫外線、X線

# 物理学科出身 → 宇宙からの太陽観測研究へ

1990年 (名大物理B4)



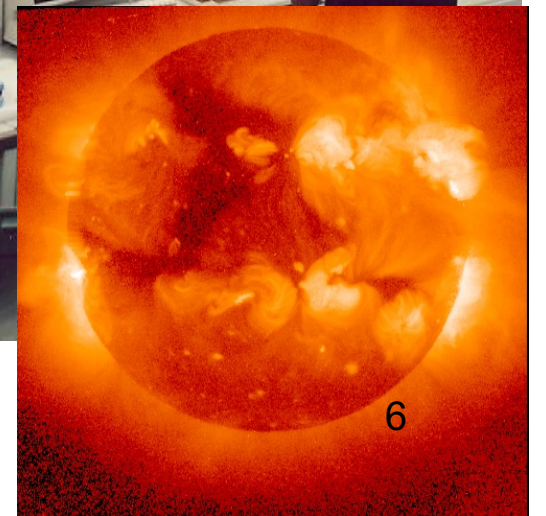
4m径電波望遠鏡 (名古屋大学)  
分子雲CO観測、SIS受信機開発(卒研)

2023/3/28

- 隣の研究室先輩との雑談から、「人工衛星」で「X線で太陽コロナを撮る」に魅力を感じて。

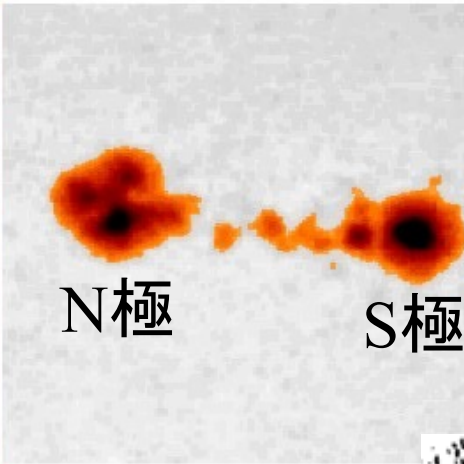
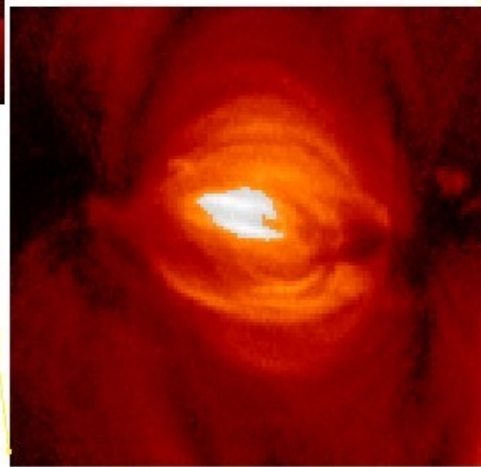
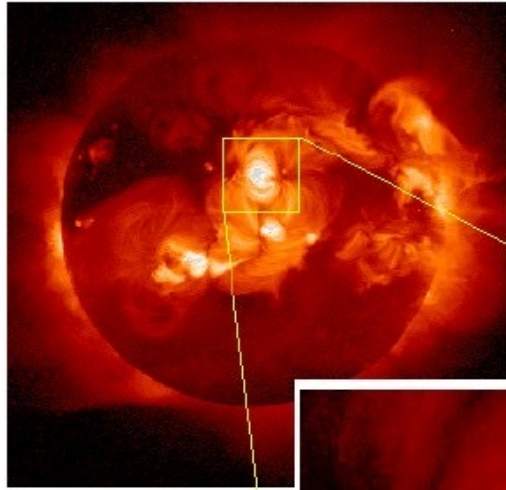


「ようこう」打上前動作確認  
1992年 (東大大学院M2)



# 電磁気学

## コロナ ループ状構造と磁場



X線画像(コロナ)

太陽表面(黒点)

コロナループ=  
棒磁石の磁力線

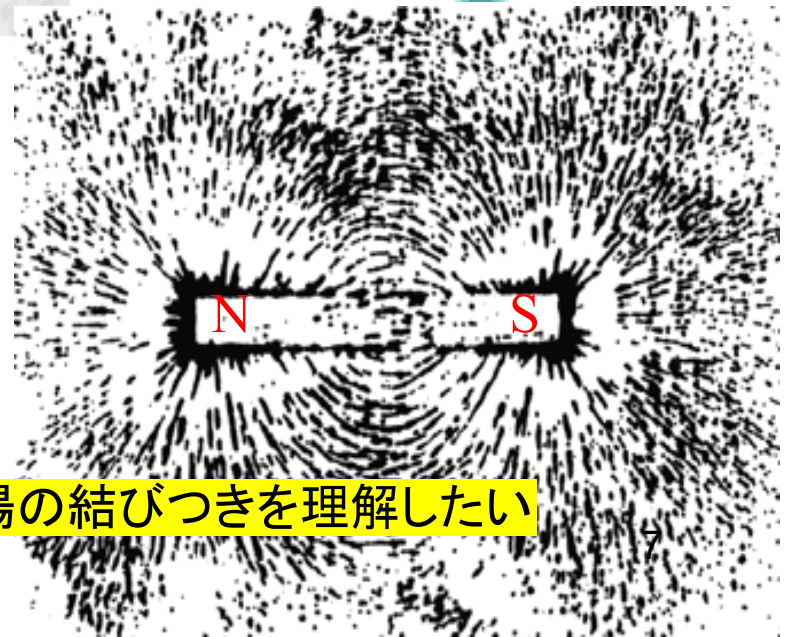
黒点: 太陽磁場が集合した磁束の切り口

コロナループ: コロナの高温ガスに満たされた、“  
見えない”磁力線の囲い<磁力管>

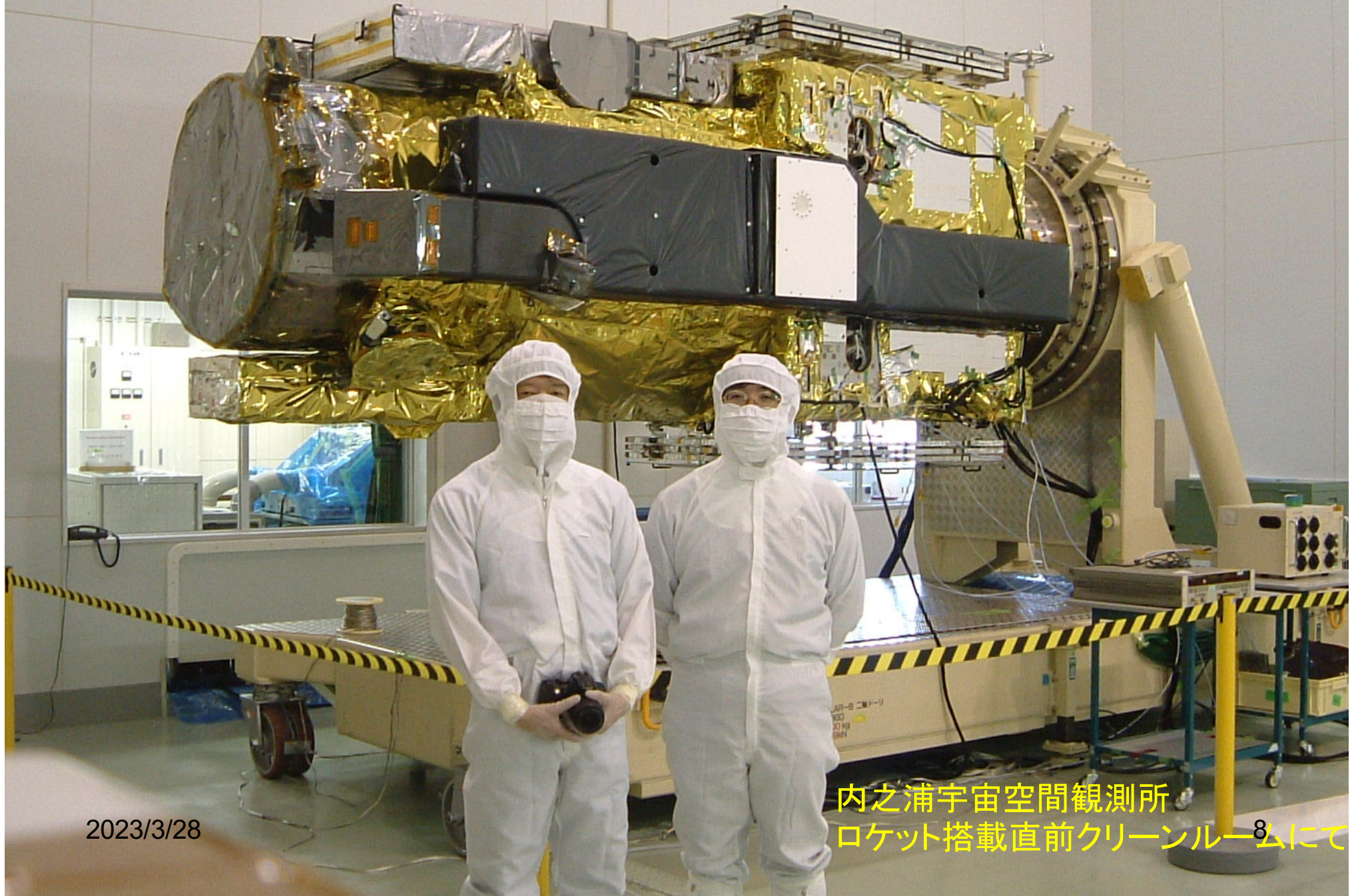
# プラズマ物理学

私の大学院時代の目標: コロナ加熱や活動 -- 太陽磁場の結びつきを理解したい

2023/3/28



# 太陽観測衛星「ひので」



2023/3/28

内之浦宇宙空間観測所  
ロケット搭載直前クリーンルームにて

# M-V-7ロケット(ひので)の打上げ

第五光学 CAM②

JAXA M-Vロケット最終打上げ  
(内之浦宇宙空間観測所)

2006年9月23日  
6:36(日本時間)

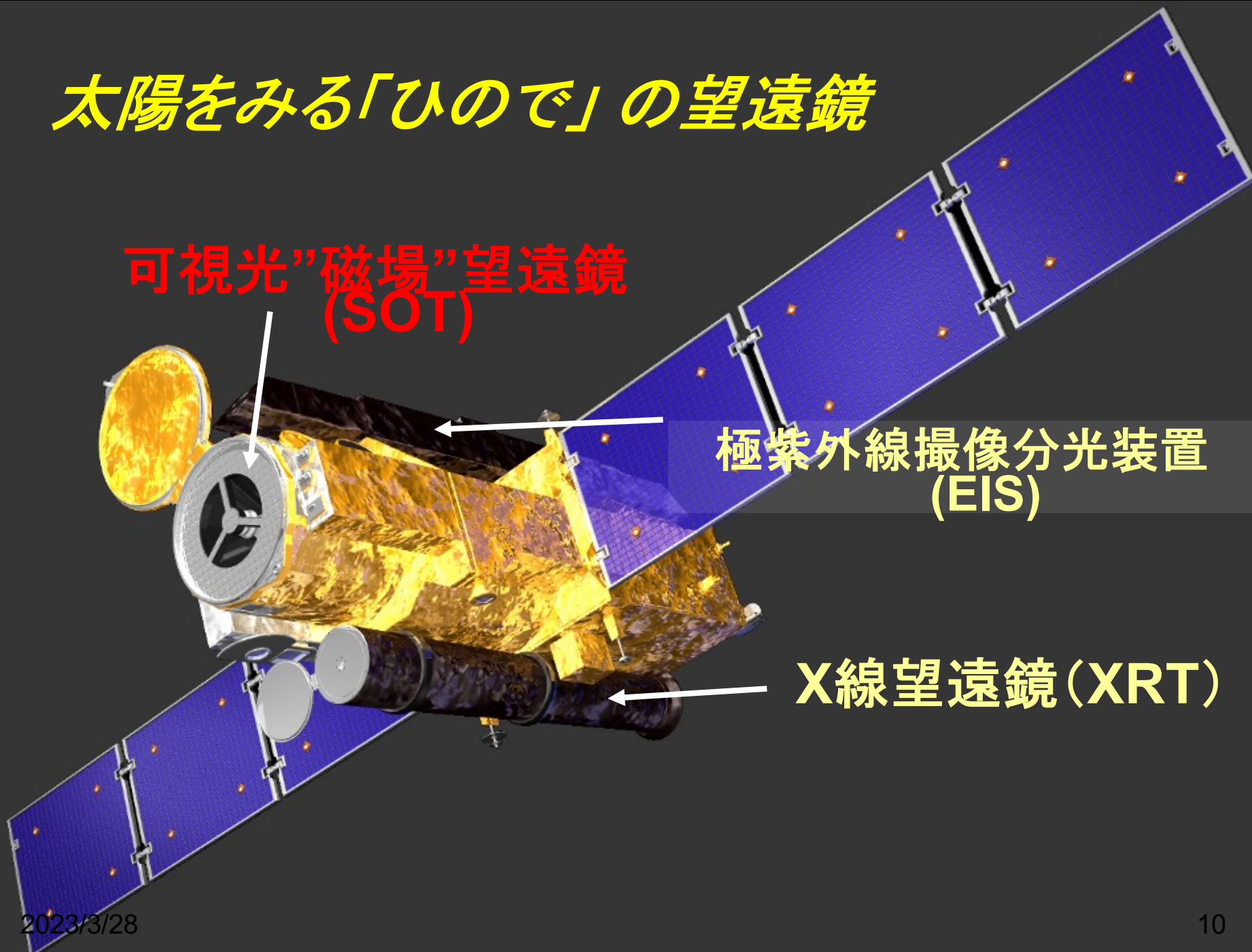


# 太陽をみる「ひので」の望遠鏡

可視光”磁場”望遠鏡  
(SOT)

極紫外線撮像分光装置  
(EIS)

X線望遠鏡(XRT)



# “電磁波”と 太陽スペクトル

Compiled by H. H. Malitson, mostly from *The physical Output of the Sun*, edited by O.R. White (1976)

電波 (radio)  
赤外線 (infrared)  
可視光 (visible)  
紫外線 (UV)  
X線 (X-rays)  
ガンマ線 (γ-rays)

2023/3/28

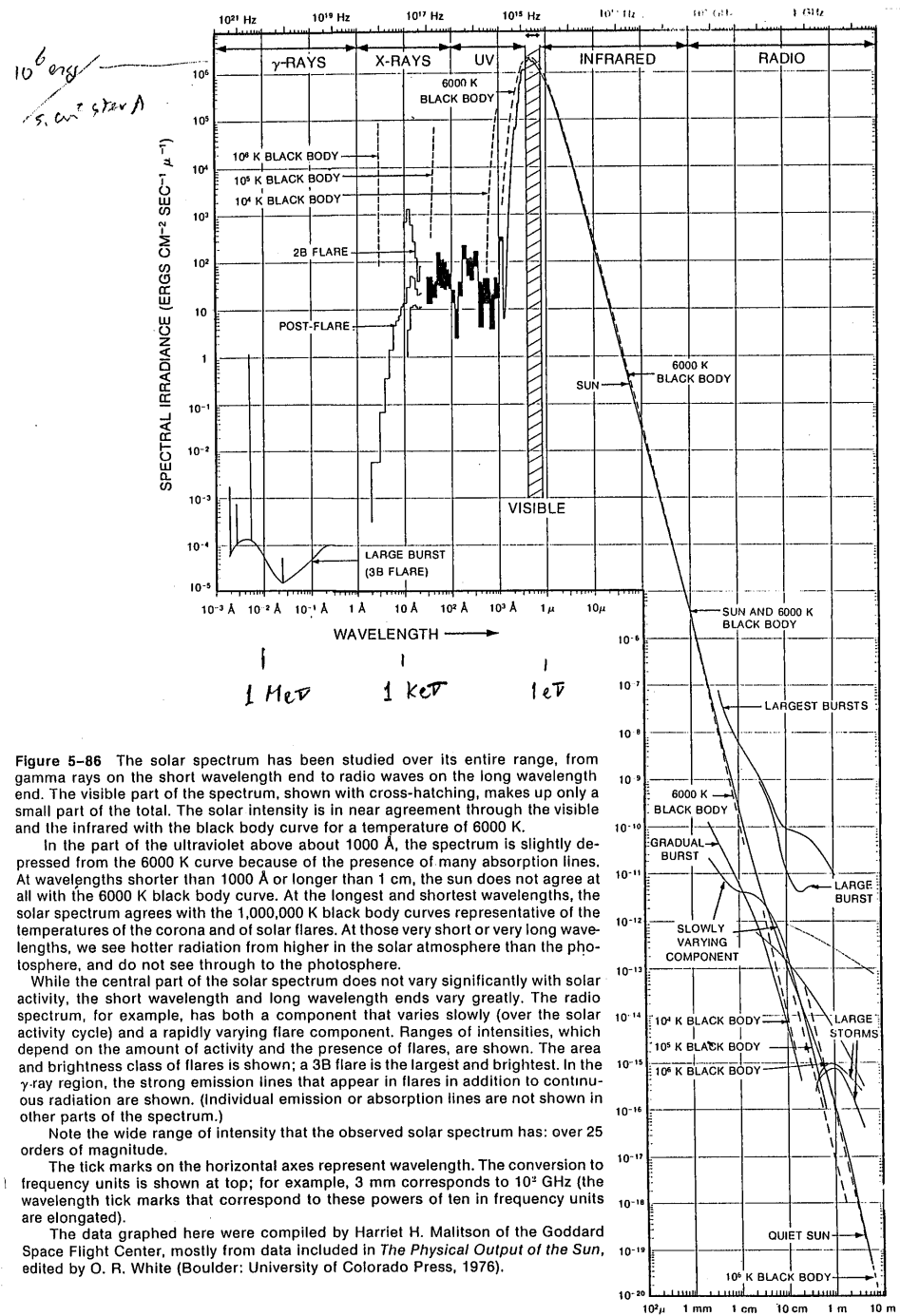


Figure 5-86 The solar spectrum has been studied over its entire range, from gamma rays on the short wavelength end to radio waves on the long wavelength end. The visible part of the spectrum, shown with cross-hatching, makes up only a small part of the total. The solar intensity is in near agreement through the visible and the infrared with the black body curve for a temperature of 6000 K.

In the part of the ultraviolet above about 1000 Å, the spectrum is slightly depressed from the 6000 K curve because of the presence of many absorption lines. At wavelengths shorter than 1000 Å or longer than 1 cm, the sun does not agree at all with the 6000 K black body curve. At the longest and shortest wavelengths, the solar spectrum agrees with the 1,000,000 K black body curves representative of the temperatures of the corona and of solar flares. At those very short or very long wavelengths, we see hotter radiation from higher in the solar atmosphere than the photosphere, and do not see through to the photosphere.

While the central part of the solar spectrum does not vary significantly with solar activity, the short wavelength and long wavelength ends vary greatly. The radio spectrum, for example, has both a component that varies slowly (over the solar activity cycle) and a rapidly varying flare component. Ranges of intensities, which depend on the amount of activity and the presence of flares, are shown. The area and brightness class of flares is shown; a 3B flare is the largest and brightest. In the γ-ray region, the strong emission lines that appear in flares in addition to continuous radiation are shown. (Individual emission or absorption lines are not shown in other parts of the spectrum.)

Note the wide range of intensity that the observed solar spectrum has: over 25 orders of magnitude.

The tick marks on the horizontal axes represent wavelength. The conversion to frequency units is shown at top; for example, 3 mm corresponds to 10<sup>2</sup> GHz (the wavelength tick marks that correspond to these powers of ten in frequency units are elongated).

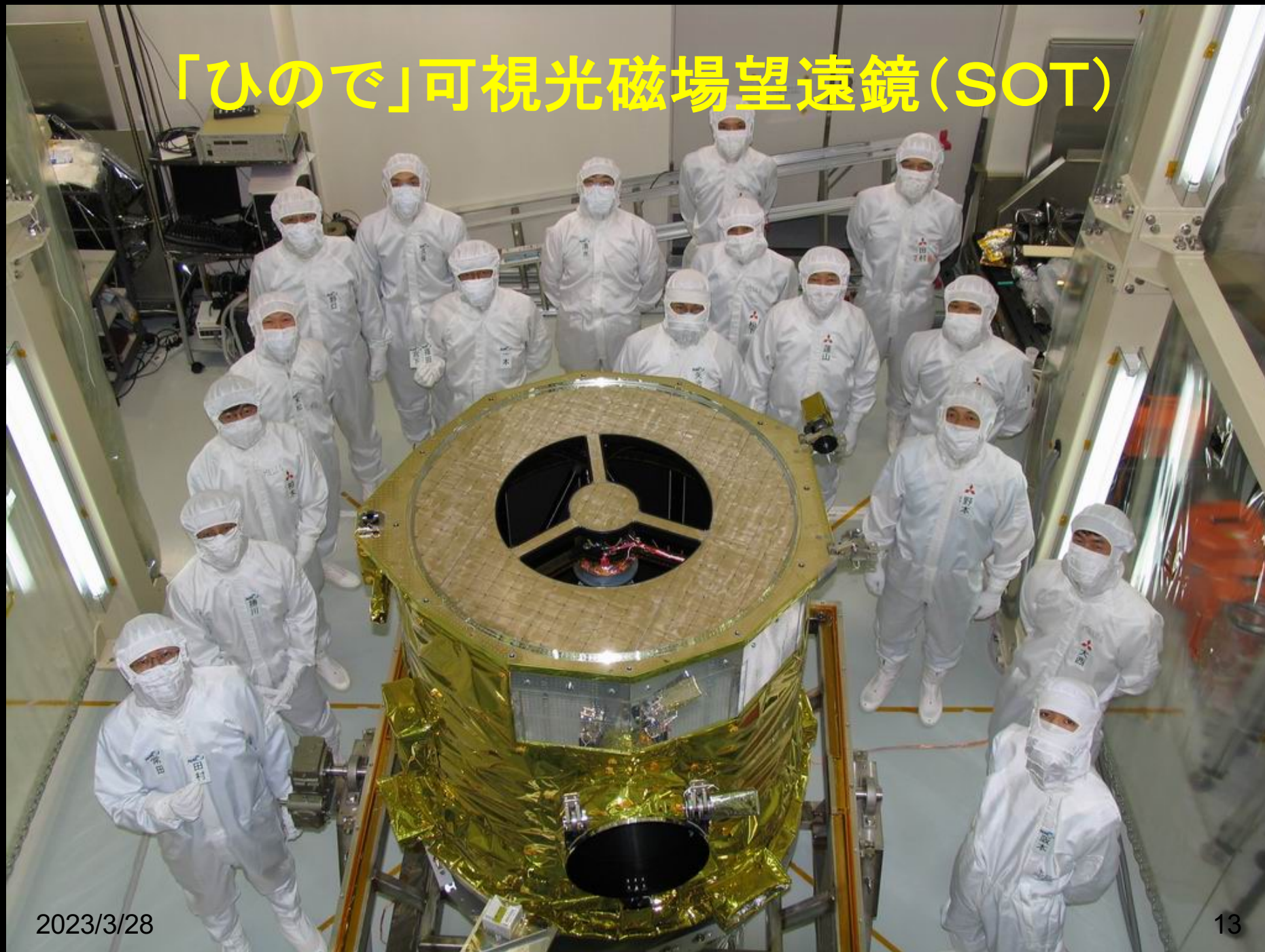
The data graphed here were compiled by Harriet H. Malitson of the Goddard Space Flight Center, mostly from data included in *The Physical Output of the Sun*, edited by O. R. White (Boulder: University of Colorado Press, 1976).

# 「ひので」: 太陽観測研究

- 観測量として重要なものは？
  - 太陽表面に分布する磁場
  - それを精度良く”偏光”計測
  - 磁場のかたまりを区別するのに必要な  
高い空間分解能
    - ⇒ “可視光”磁場望遠鏡
  - 同時に、上空のコロナでの加熱・ダイナミクスを  
診断する能力 – “画像”、“分光”診断
    - ⇒ “極紫外線”撮像分光装置、“X線”望遠鏡

宇宙から観測する訳

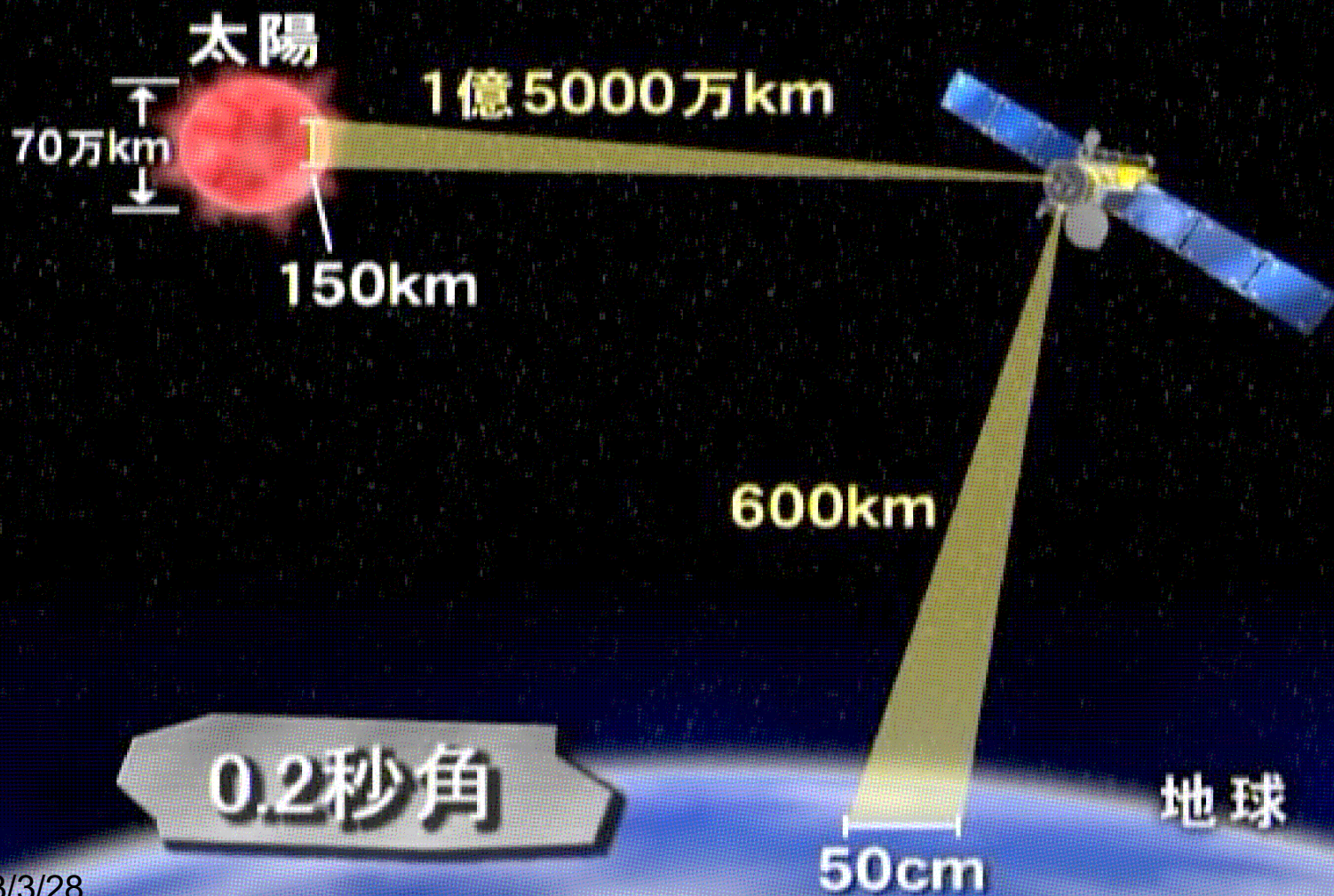
# 「ひので」可視光磁場望遠鏡(SOT)

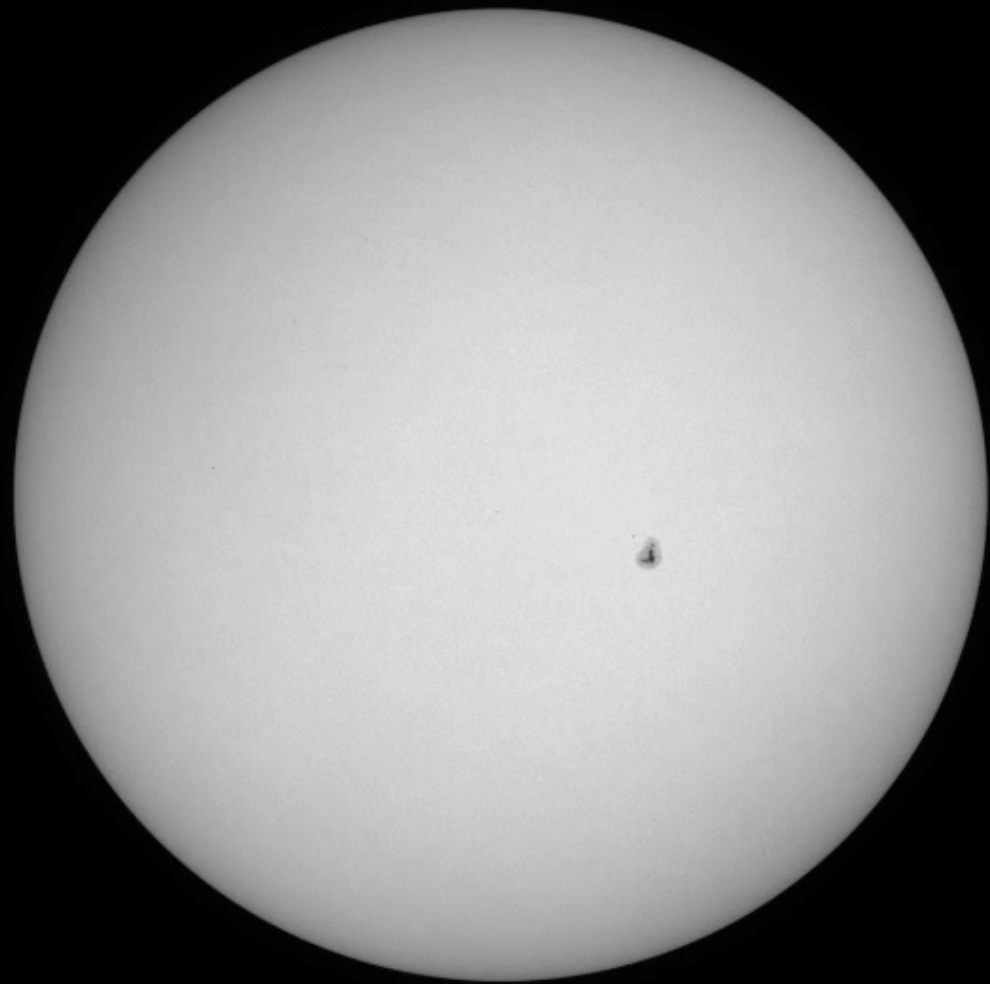


2023/3/28

13

# 太陽面0.2秒角= 地上を見れたら50cmを分解する能力





黒点  
対流運動

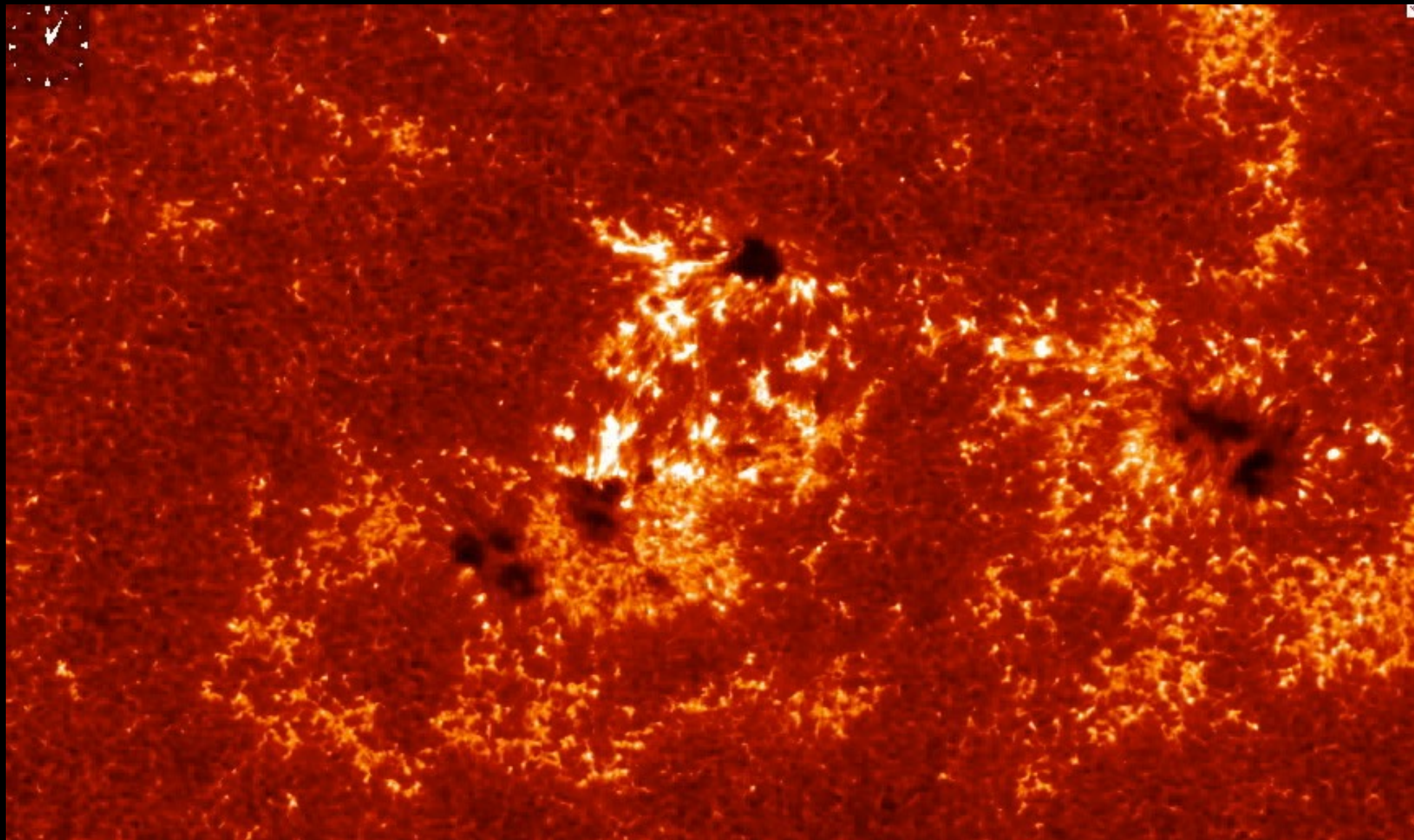
171,000 km

20-Nov-2006  
19:11:34 UT



撮影:「ひので」可視光磁場望遠鏡, CaIIHフィルタ

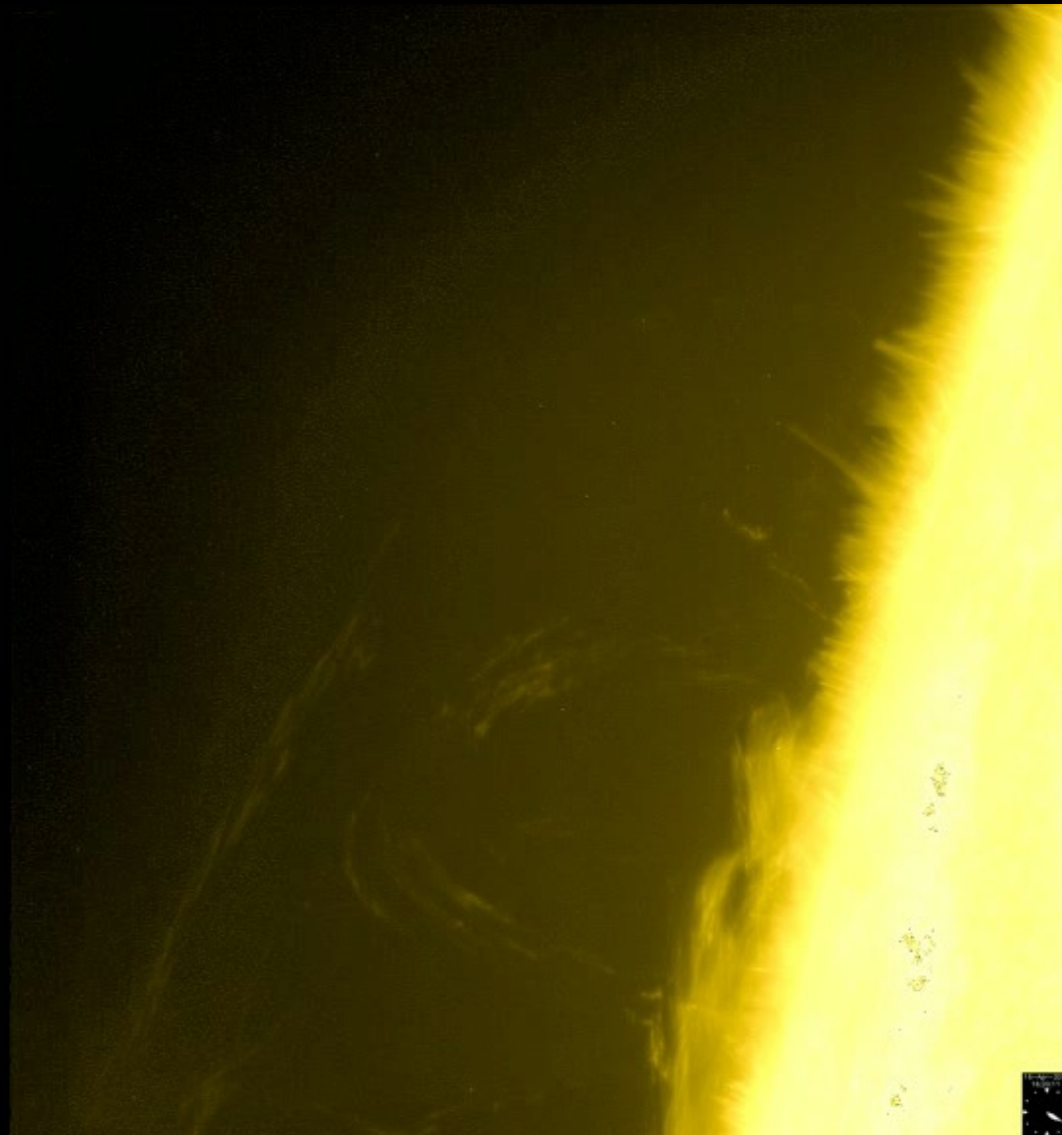
黒点は、太陽内部から浮上する磁場でできる  
フレア爆発・活動のみなもと



2009年12月29日~2010年1月2日のCa II H線フィルタ連続観測



# 太陽フレアと彩層プラズマ噴出

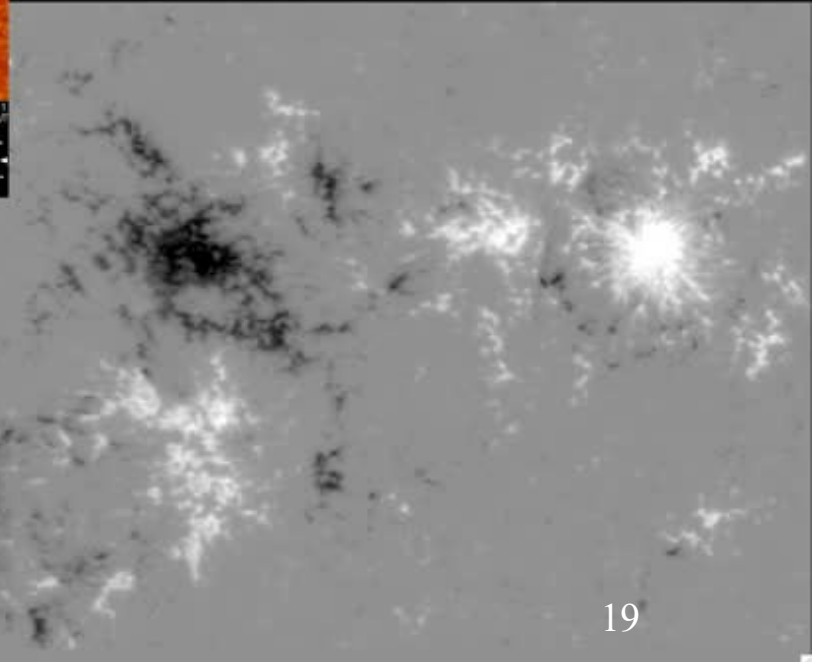
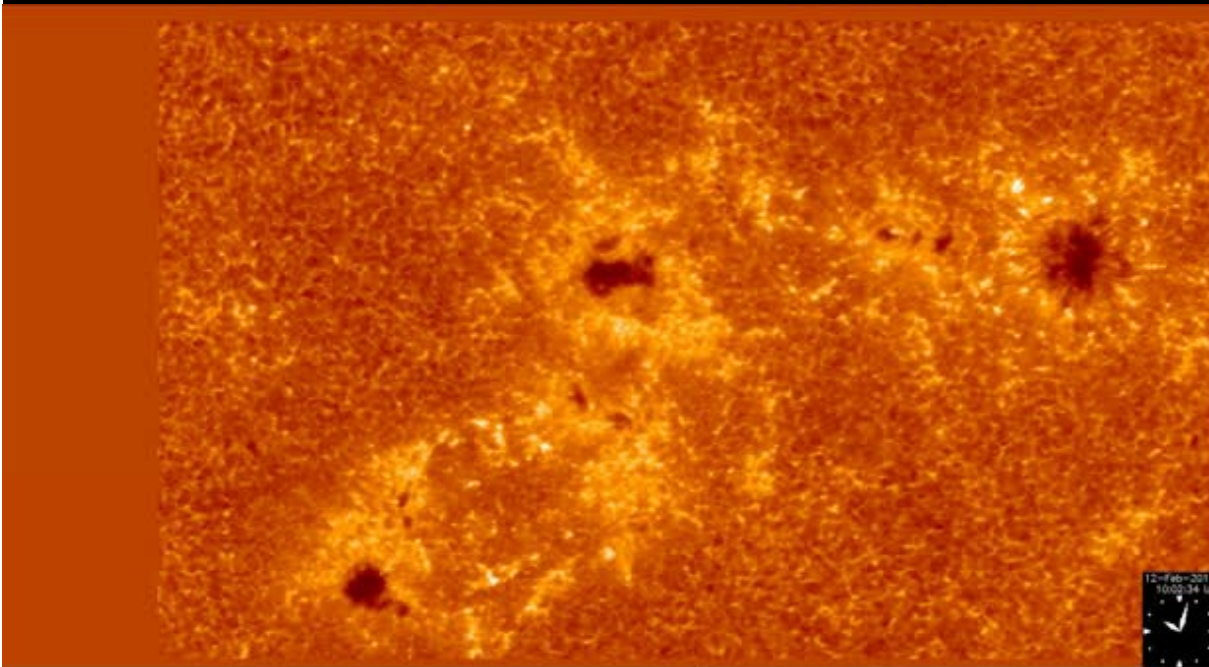


2023/3/28

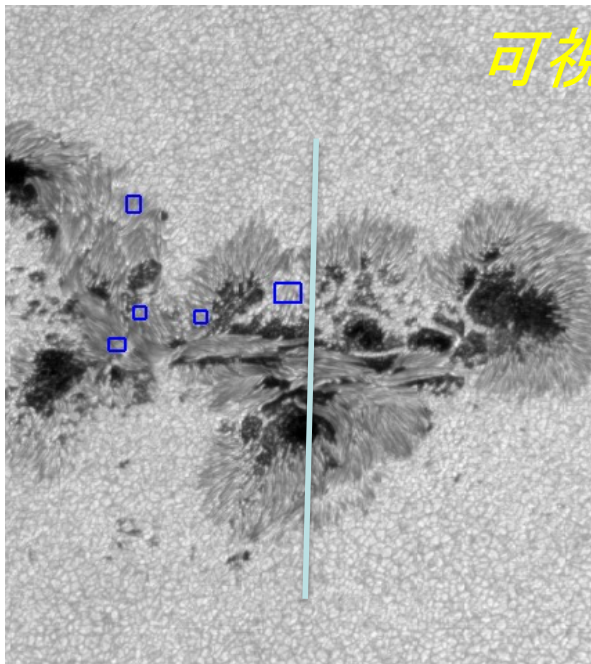
ひので(Callライン)

# フレア発生と太陽表面の磁場

ひので(Callライン, 光球磁場)



可視光磁場望遠鏡/スペクトロポリリメータが取得する  
Fe I 630.15 + 630.25 nm

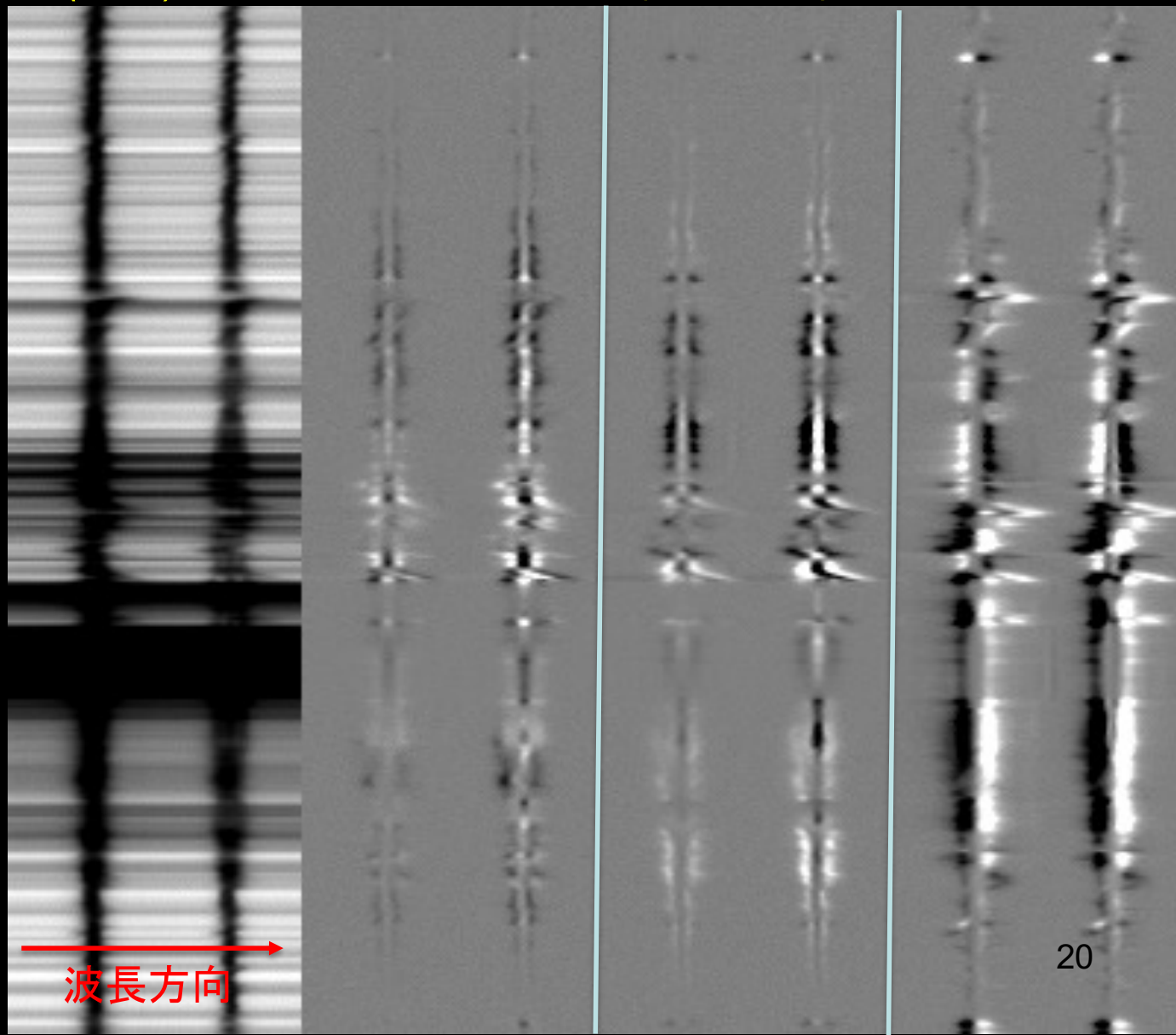


ストークスI  
(強度)

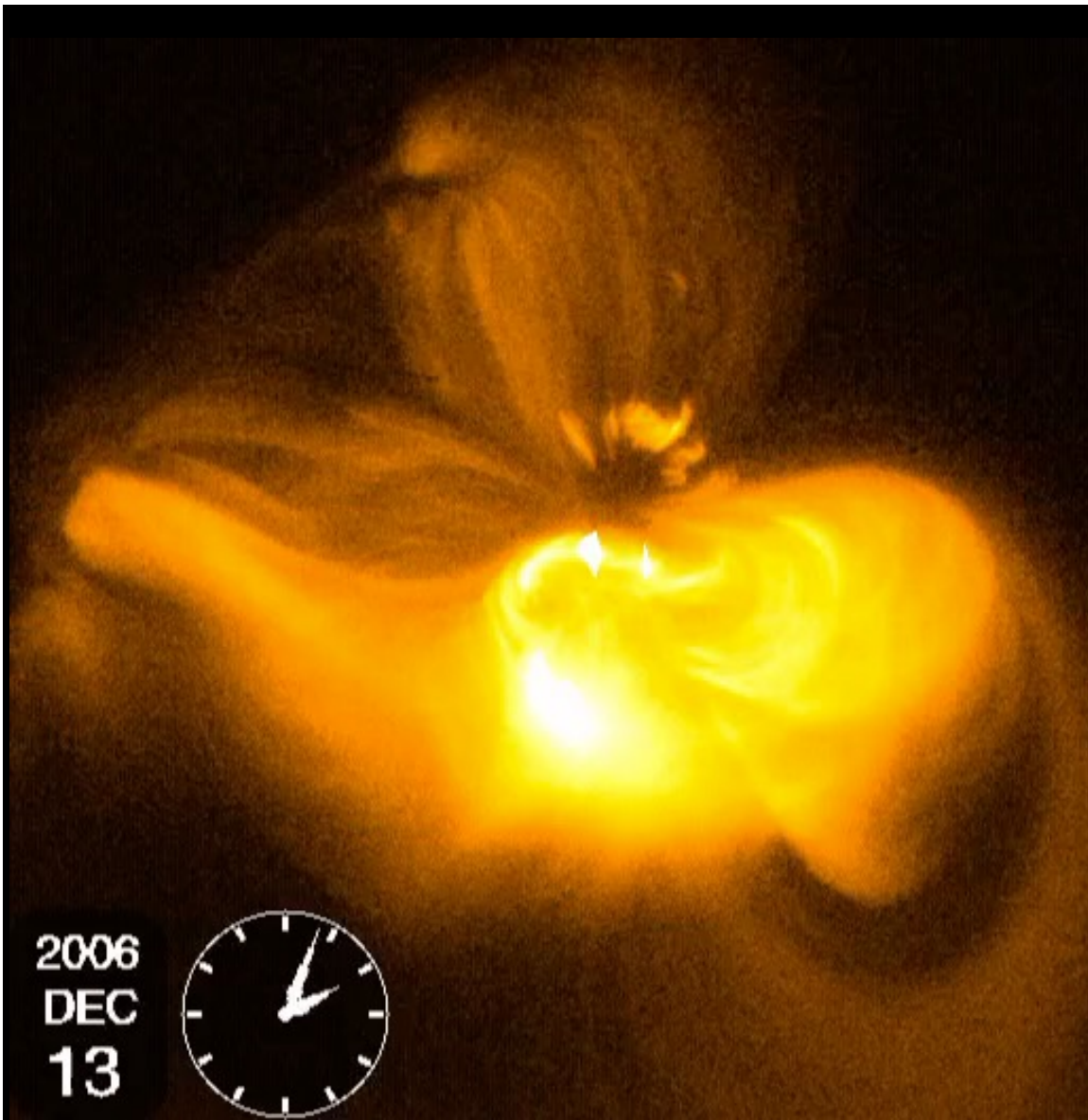
ストークスQ  
(直線偏光)

ストークスU  
(直線偏光)

ストークスV  
(円偏光)



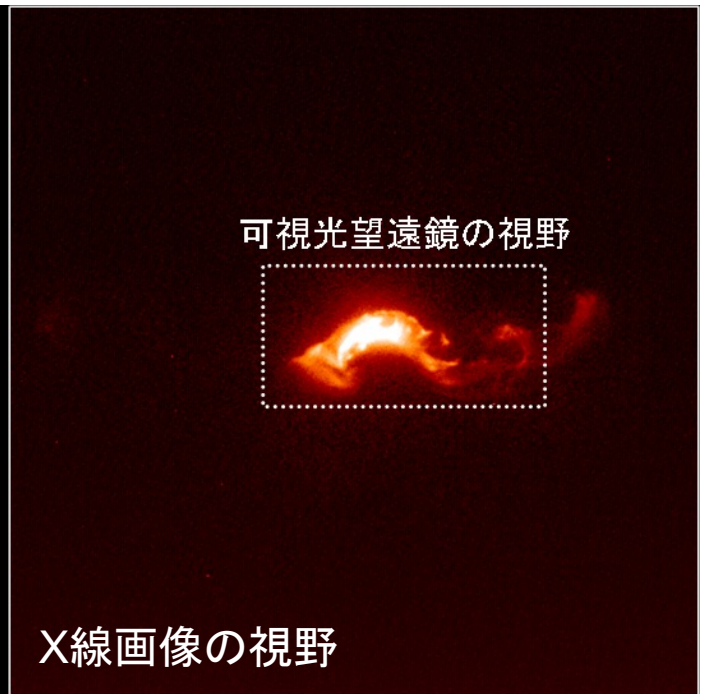
ゼーマン効果  
ドップラー効果



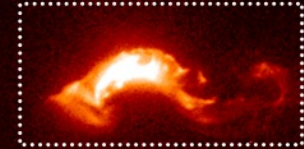
2006  
DEC  
13



フレア：高温プラ  
ズマの生成



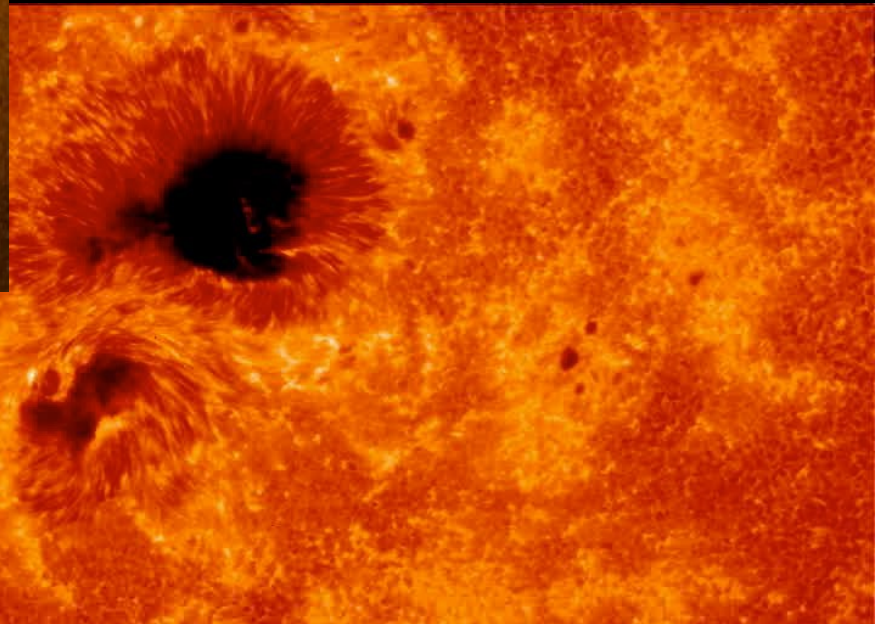
可視光望遠鏡の視野



X線画像の視野

軟X線：上空コロナ

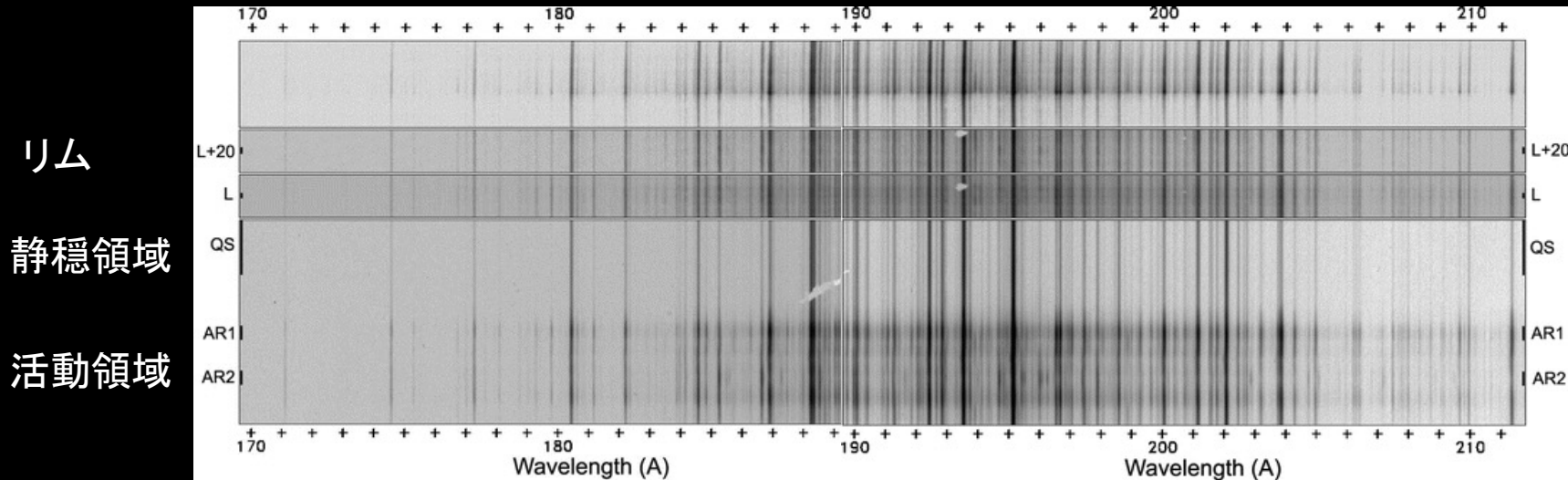
可視光：太陽表面(Callライン)



2006-12-13 00:00:21

# 紫外線輝線分光によるプラズマ診断

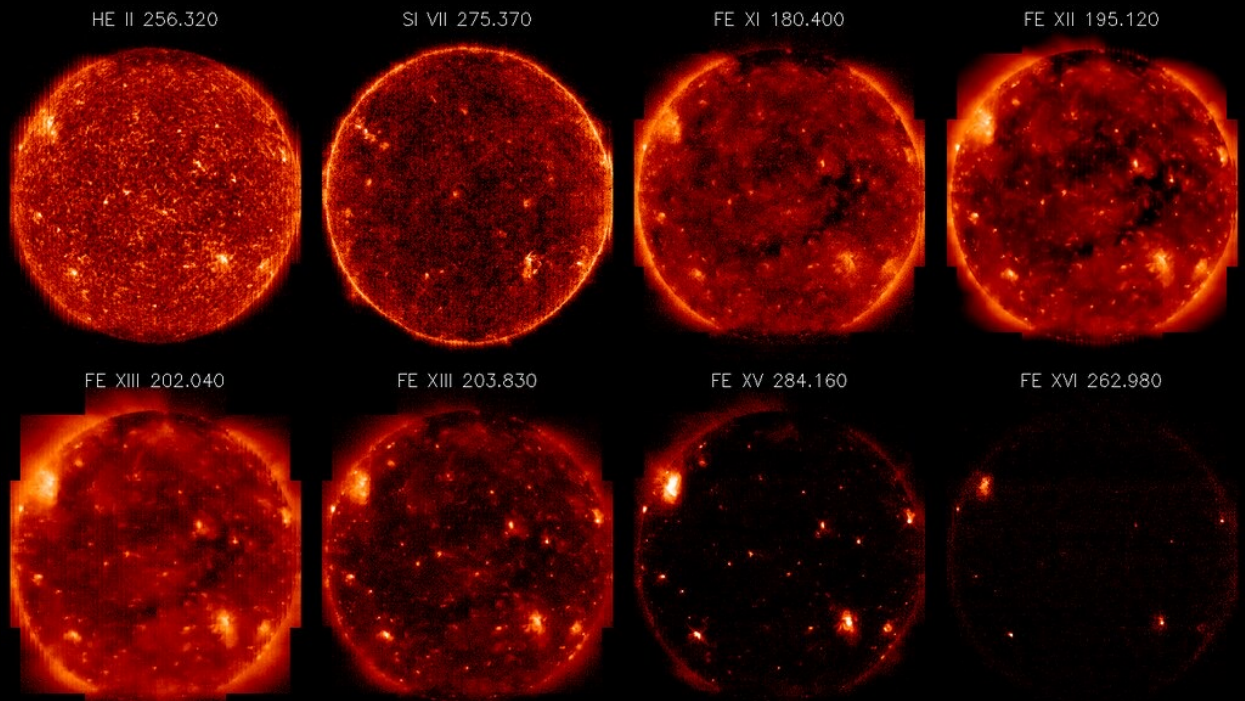
注: 黒い程、輝線強度が強い



Brown et al. 2008 ApJS

## 紫外線撮像分光装置(EIS)

171-211Å, 245-291Åの紫外線2バンドを分光。コロナ遷移層起源の輝線。



2009/06/27 10:48 - 16:40 UT  
EIS/Hinode

# 極紫外線輝線の分光による コロナプラズマの診断

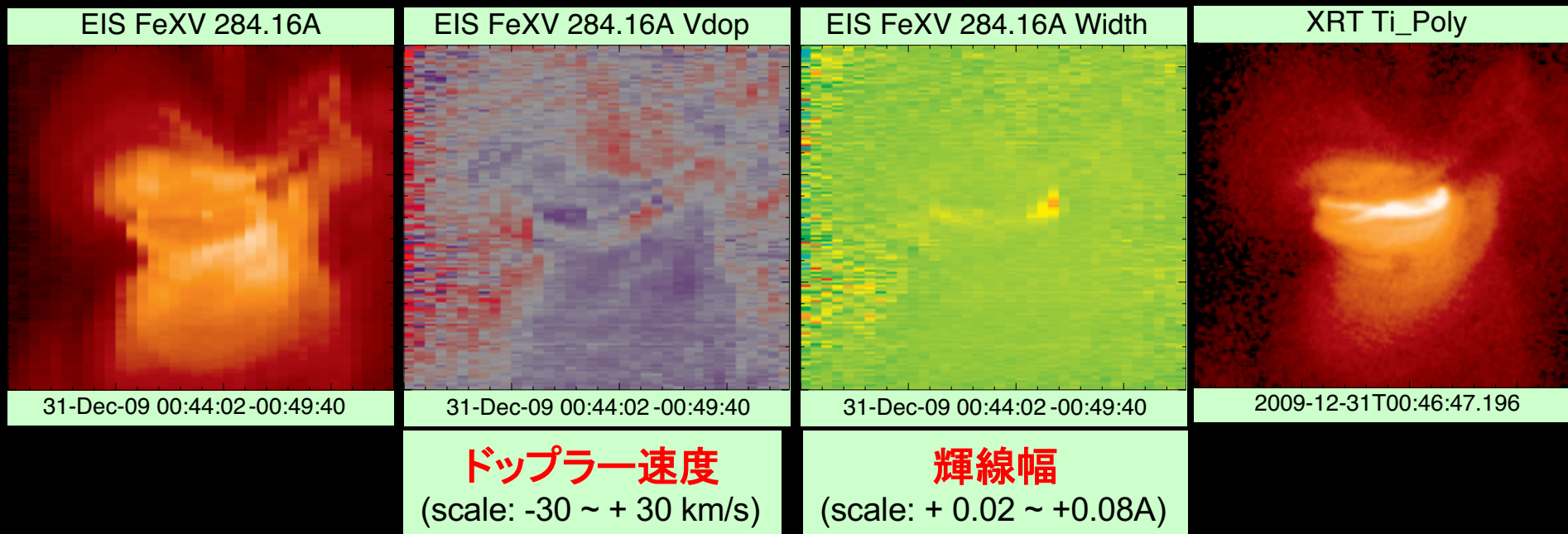
Fe XV輝線 (高階電離した鉄、200万度)

軟X線画像  
強度

輝線強度

視線速度

輝線幅(乱流成分)



輝線プロファイルのモデルフィッティングによって、視線方向の速度や乱流速度、密度/温度など物理情報の診断ができる

# 「ひので」の科学観測運用の様子 (NHK BSコズミックフロント番組から)



# 「ひので」の科学運用



各大学、研究機関からの研究者、大学院生(主に博士課程)の参加によって、科学運用が宇宙研にて行われている。

- 最新観測を自分自らが先導して実施できる機会
- 取得した最新データに世界で一番早く触れ、解析テーマを見つける機会



# 「ひので」との交信



# 飛翔体による太陽観測： 「ひので」から2020年代の 展望



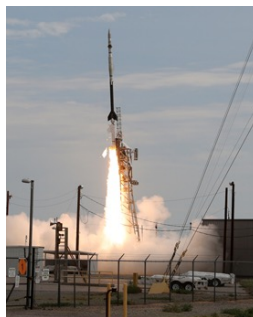
ひので(SOLAR-B) 2006 -

SUNRISE-3気球実験 (2022, 2024?)

可視・近赤外域で高解像度・高感度偏光観測。ゼーマン効果で光球・彩層磁場診断により磁気エネルギーの輸送・散逸を明らかにする



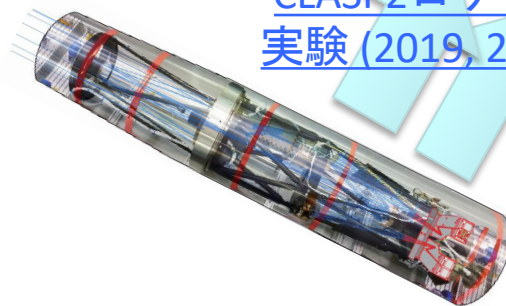
CLASP1ロケット実験 (2015)



2015.9.3 初飛翔

紫外線高精度偏光観測という新しい窓を開拓。彩層上部～遷移層の磁場診断の手法確立を目指す。

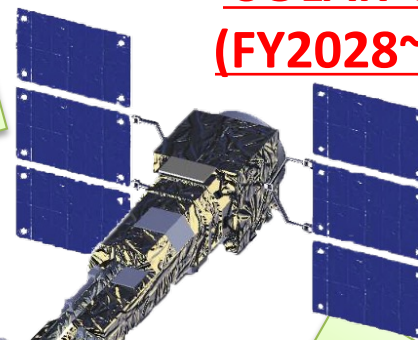
CLASP2ロケット  
実験 (2019, 2021)



観測ロケット

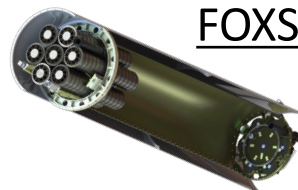
公募型小型4号機

SOLAR-C  
(FY2028~)



FOXSI-3 (2018)

FOXSI-4 (2024)



軟X線光子のエネルギー計測によるスペクトル観測という新しい手法を開拓。フレアにおける粒子加速の調査が目的。

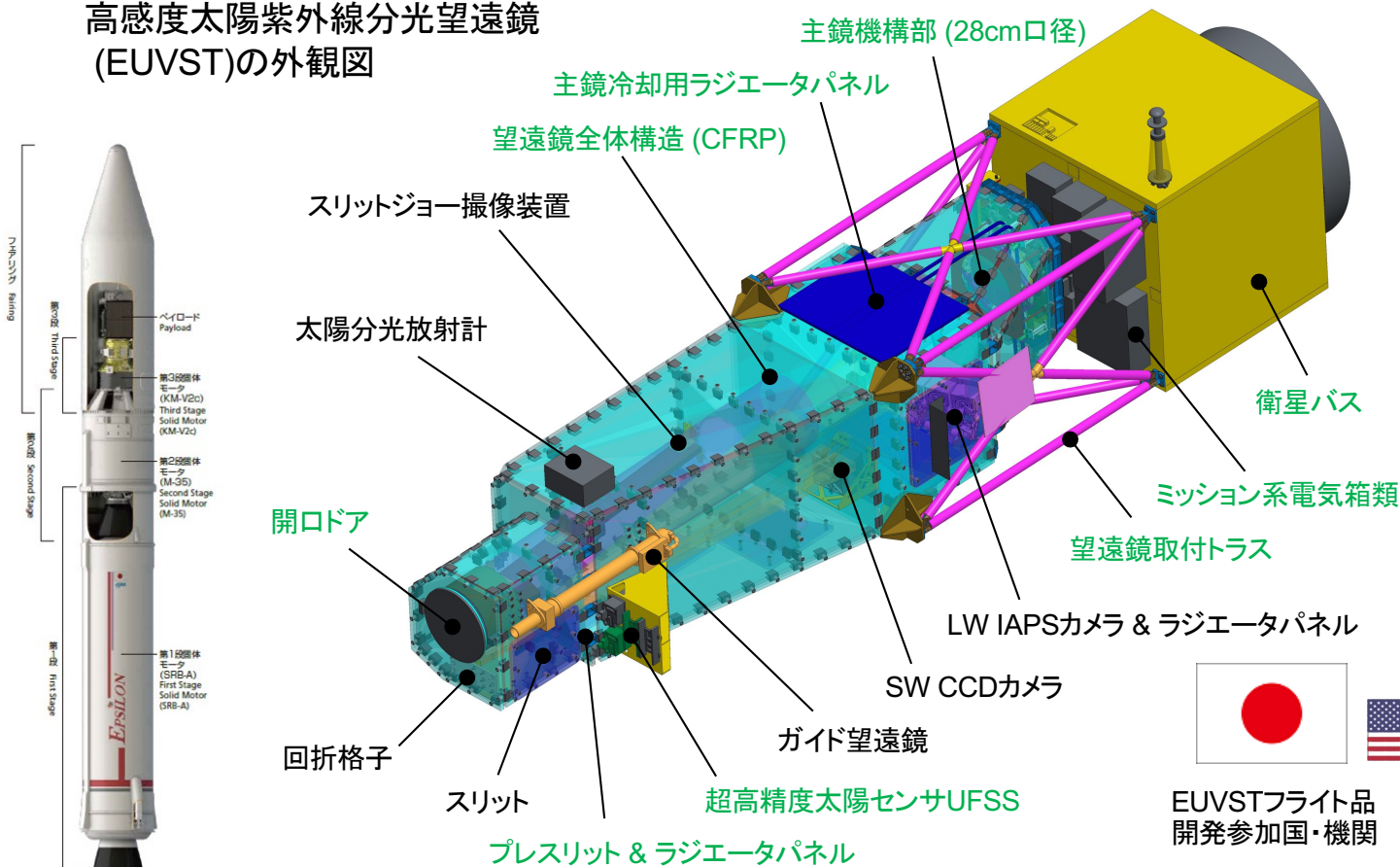
2030年代  
検討中

2023/3/28

# JAXA公募型小型4号機 SOLAR-C

極端紫外線高感度分光望遠鏡 EUVST (EUV high-throughput Spectroscopic Telescope)を小型衛星バス上に搭載し、イプシロンSロケットにより太陽同期極軌道(高度600km以上)に投入する。

高感度太陽紫外線分光望遠鏡 (EUVST)の外観図



## 主要要求性能

観測波長: 17-21.5nm,  
46-123nm

→ 1万度~1500万度の全温度層を隙間なくカバー

空間分解能: 0.4"

観測視野: 300"x280"

時間分解能: 0.5s (最短)

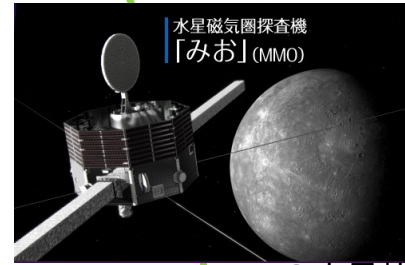


EUVSTフライト品  
開発参加国・機関



# 2020年代中盤の太陽・内部太陽圏探査

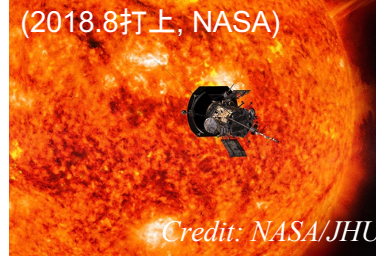
ベッピコロombo/みお



水星磁気圏探査機「みお」(MMO)  
65Rs - 100 Rs @水星軌道 (2025~, ESA/JAXA)

“その場”観測

パーカー太陽探査機



(2018.8打上, NASA)  
8.9太陽半径 (最接近観測 2025~, NASA)

ソーラーオービター



(2020.2打上, ESA/NASA)  
60Rs (最接近), 20度傾斜角位置 (2026~, ESA/NASA)

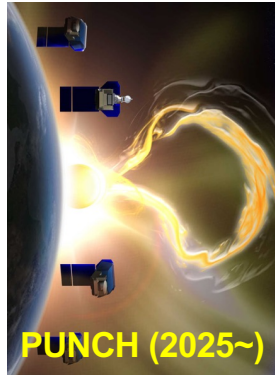
コロナ撮像・分光、表面磁場観測

(テレメ制限, 低時間分解能)

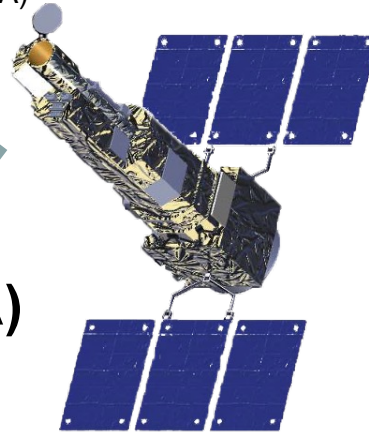
水星軌道

MUSE (2027~)

分光機能付き高解像度コロナ撮像観測 (NASA)



PUNCH (2025~)  
5太陽半径以遠のコロナ偏光観測 (NASA)



SOLAR-C (2028~, JAXA)

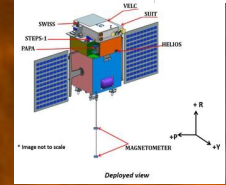


観測連携

(NASA) 全面観測



(2022打上, 中国)



(2023打上予定, インド)

表面磁場の高解像度観測 (2021-)



DKIST (米国)

SOLAR-Cは、太陽表面の高解像度観測 (DKIST, 米国)と内部太陽圏の探査観測 (Parker Solar Probe, Solar Orbiter, BepiColombo等)を物理的に結び付けることを可能にする分光診断を提供できる唯一のミッション。

最後に

# 宇宙空間から行う研究活動

