

太陽観測衛星 「ひので」

清水 敏文

JAXA宇宙科学研究所 (ISAS/JAXA)

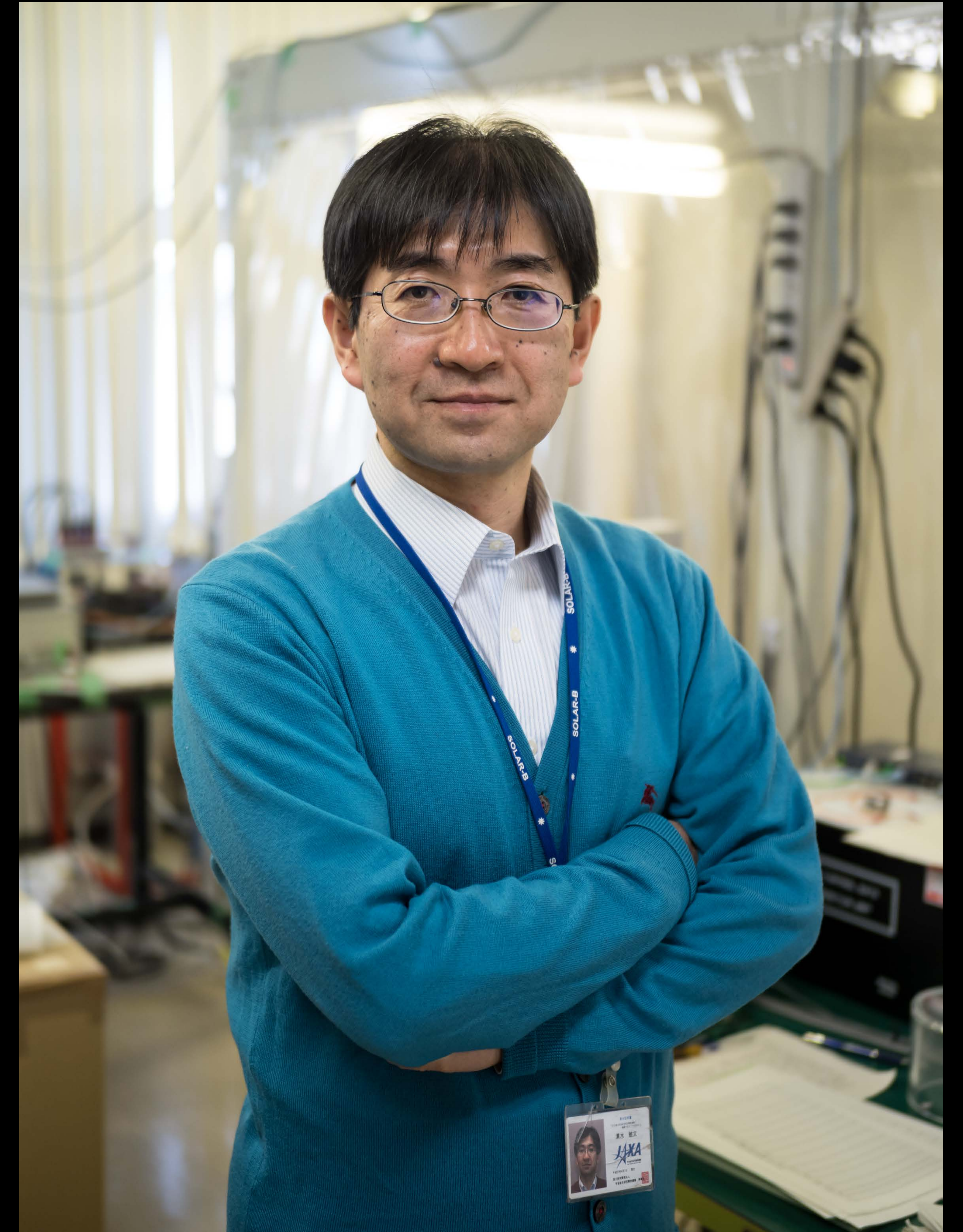
2016年度 太陽研究最前線体験ツアー

2017.3.28

2017/3/28

自己紹介：清水敏文

- 専門
 - 太陽の観測的研究、特に活動性(マイクロフレア)、コロナ加熱、太陽面磁場
 - 飛翔体の搭載装置や衛星開発
 - 衛星運用
- 経歴
 - 長野県生まれ
 - 1990.3 名古屋大学理学部物理学科卒業 (A研): 宇宙電波、受信機製作
 - 1995.3 東京大学理学系研究科天文学専攻終了、博士(理学): 太陽物理学
 - 日本学術振興会特別研究員、米国HAO/NCAR客員研究員を経て、1998.1 国立天文台助手
 - 2005.4 JAXA宇宙科学研究所・准教授
- 「ひので」マネージャとして、運用司令塔役、太陽観測的研究を推進
- 2020年代に実現を目指す次期太陽観測衛星計画等推進



太陽観測衛星「ひので」



2017/3/28

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

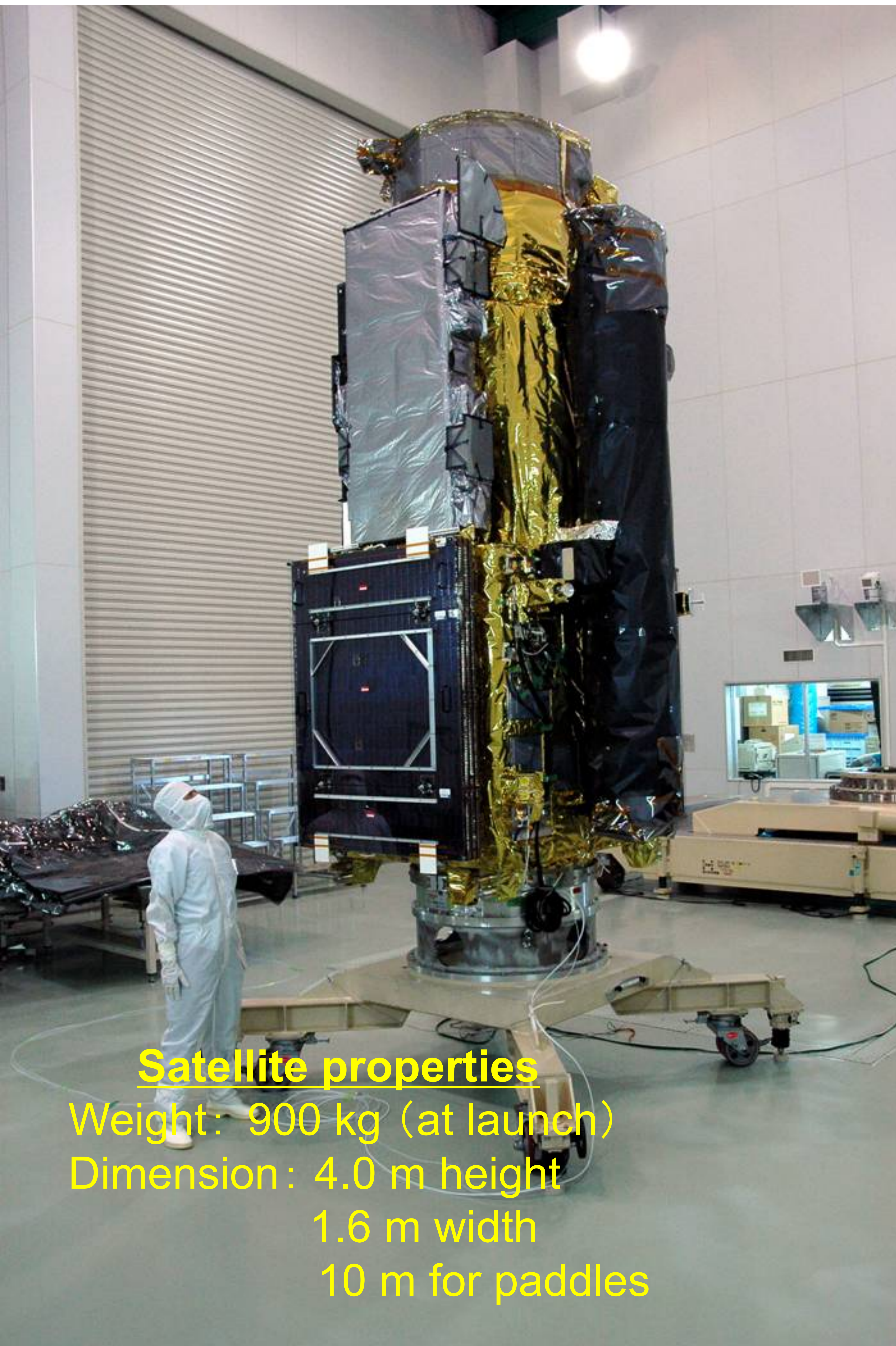
「ひので」(SOLAR-B) に搭載された高性能望遠鏡

世界初の高解像度(0.2-0.3秒角)の
3次元磁場計測を行う
可視光磁場望遠鏡(SOT)

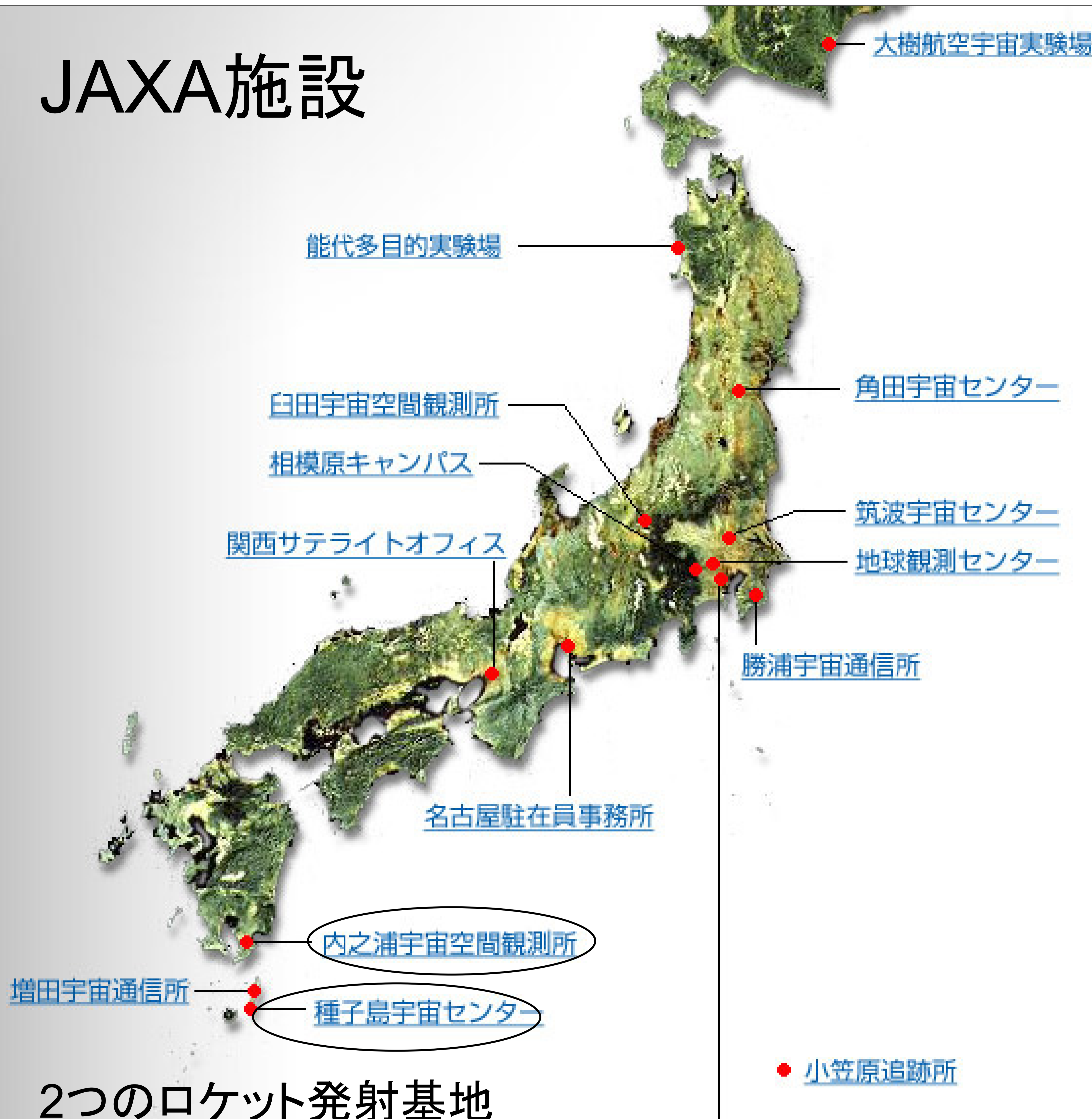
コロナ・遷移層のプラズマ診断を行う
極紫外線撮像分光装置
(EIS)

コロナ構造の高解像度
(1秒角)観測を行う
X線望遠鏡(XRT)

国立天文台と宇宙研が共同で開発。米国・英国・欧州との国際協力で搭載望遠鏡を開発・運用をしている。



JAXA施設



2つのロケット発射基地



2017/3/28

内之浦宇宙空間観測所 (USC)



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)



打ち上げ3日後、
衛星管制室(内
之浦)にて



地球周回から常時太陽を観測
(太陽同期極軌道)

なぜ太陽を研究するのか？

コロナ加熱問題

太陽圏の構造の理解
手が届く宇宙プラズマ実験室

太陽面爆発(フレア)
の発生機構
人類社会への影響(予測)



2017/3/28

解決!

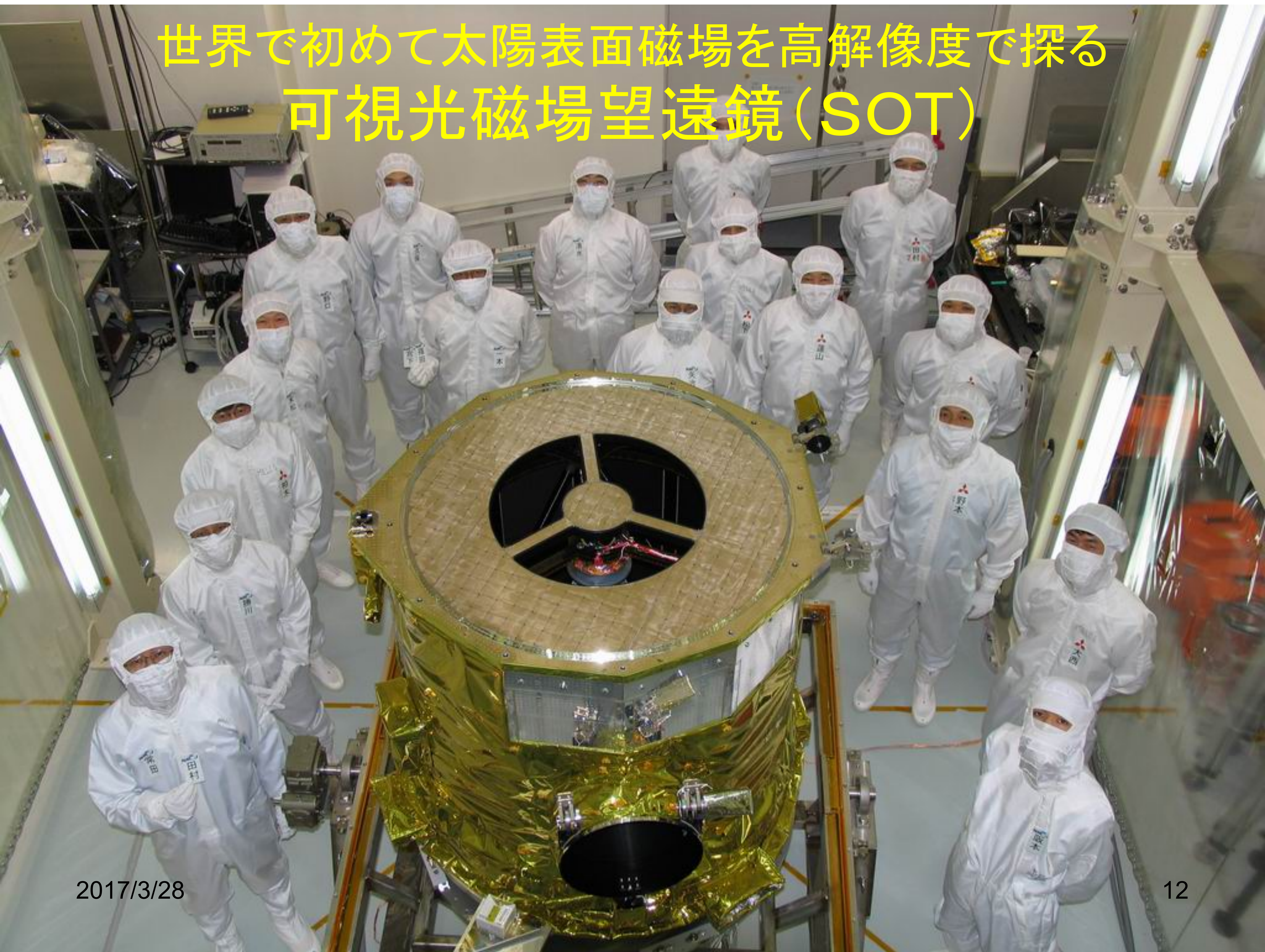
- ニュートリノ振動
(素粒子ニュートリ
ノに質量があるこ
とを証明)
- 地球までの道の
りで別種類に変化

太陽周期活動の成因
と地球気候影響

「ひので」: 観測的研究

- 太陽研究における様々な最前線の課題に取り組む
- 観測量として重要なものは？
 - 太陽表面に分布する**磁場を精度良く計測**
 - 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、**コロナの加熱・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**

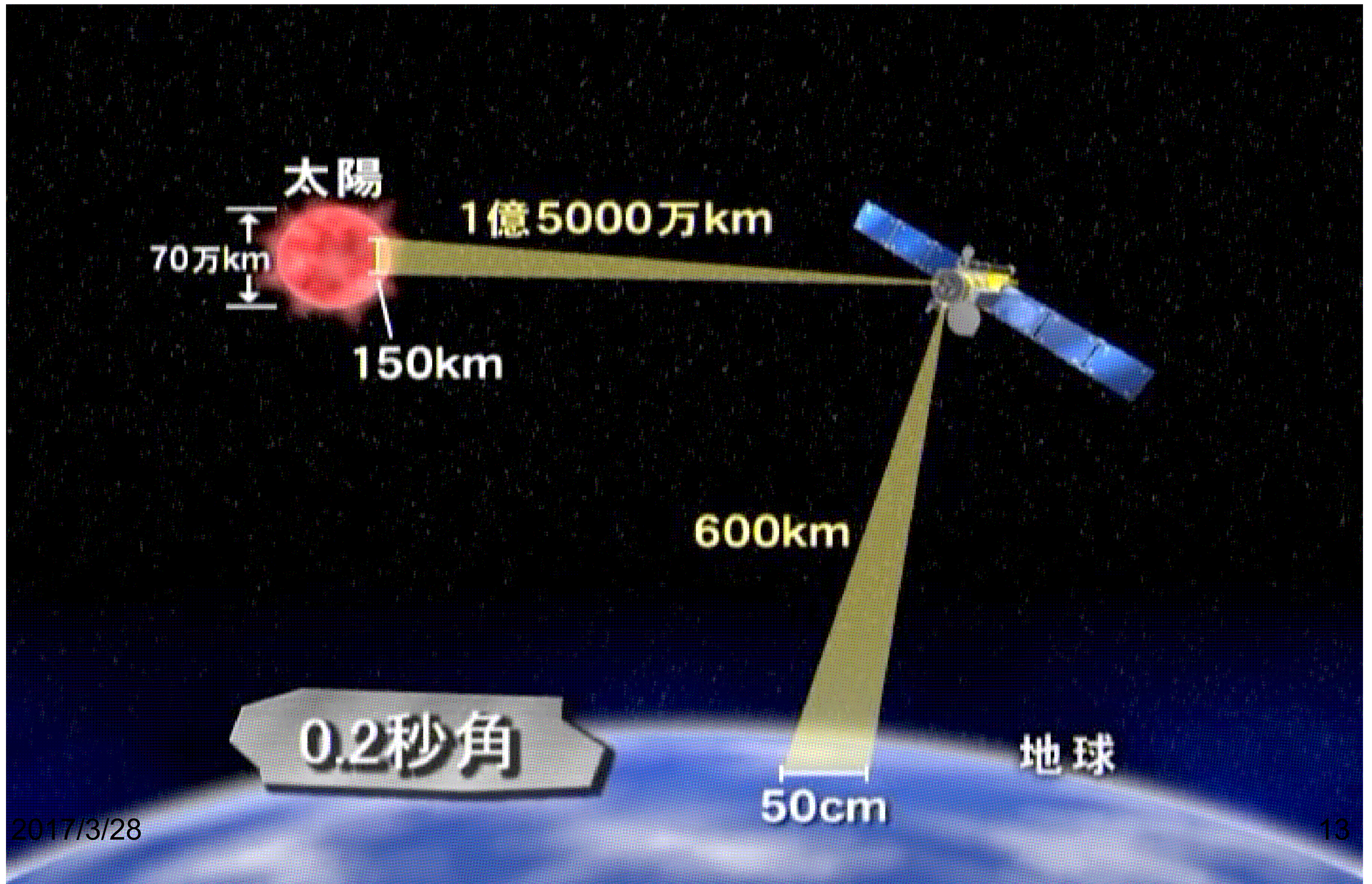
世界で初めて太陽表面磁場を高解像度で探る 可視光磁場望遠鏡 (SOT)



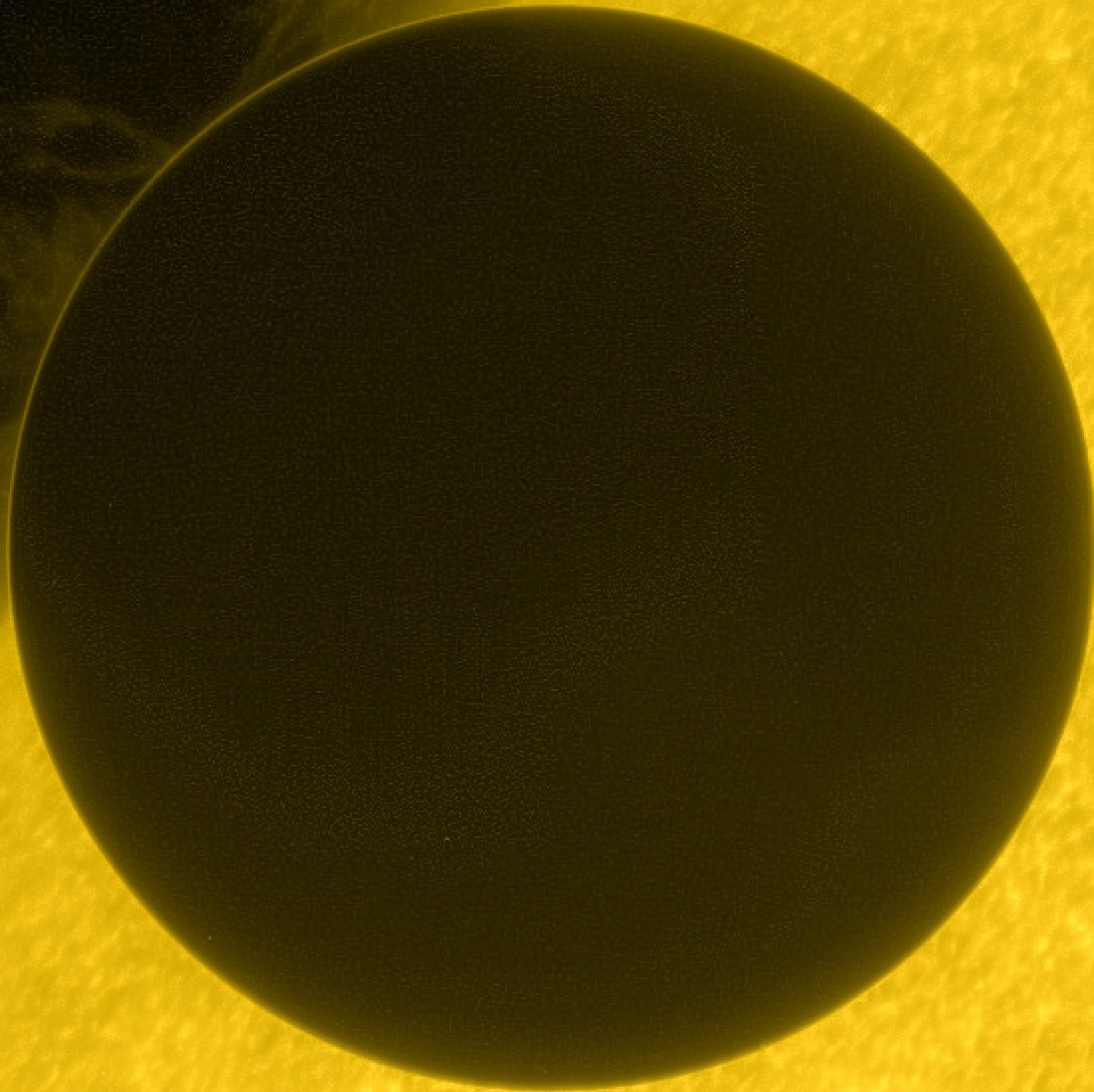
2017/3/28

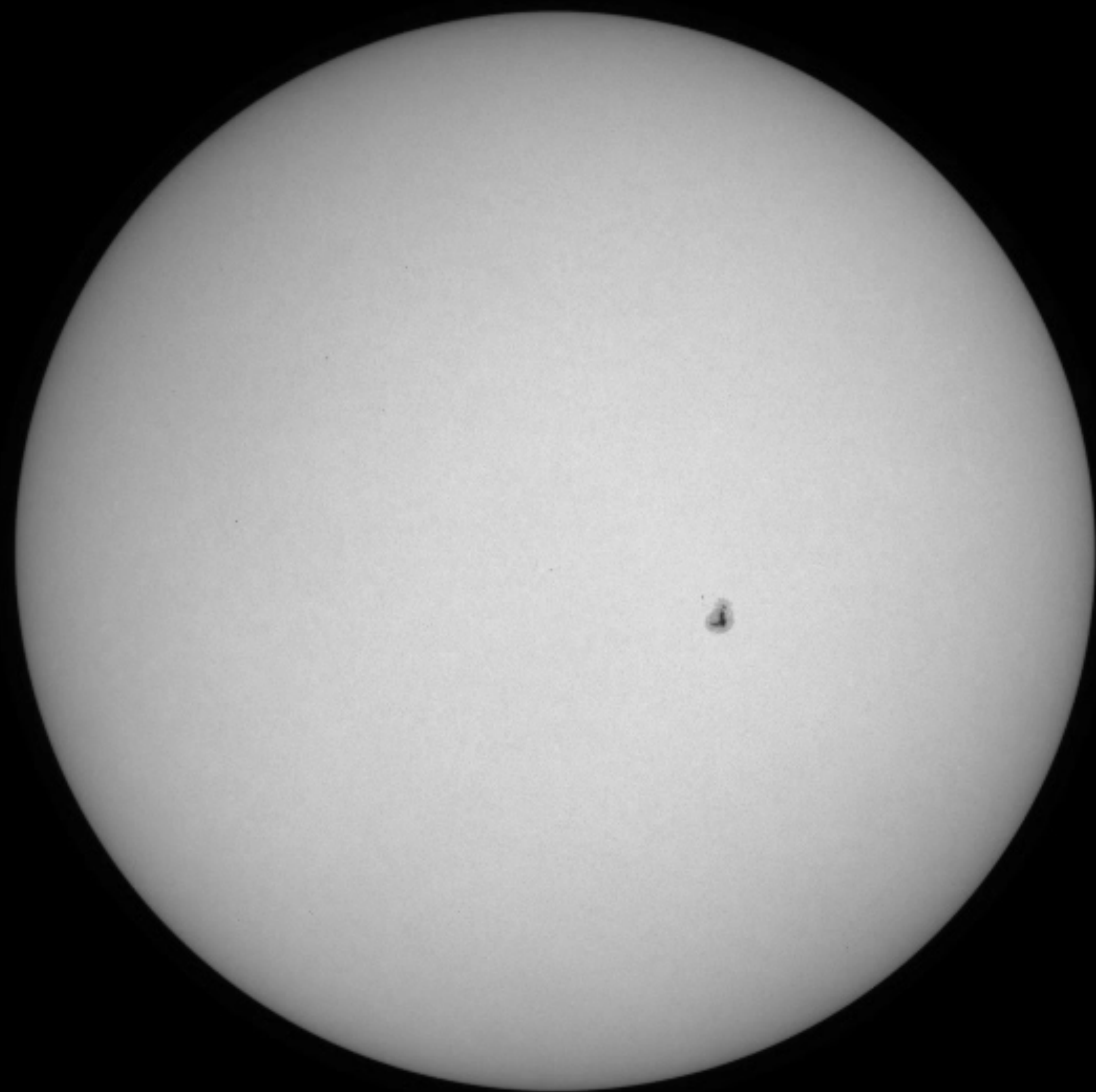
12

太陽面0.2秒角= 地上を見れたら50cmのものを分解する能力



5-Jun-2012
22:26:53 UT



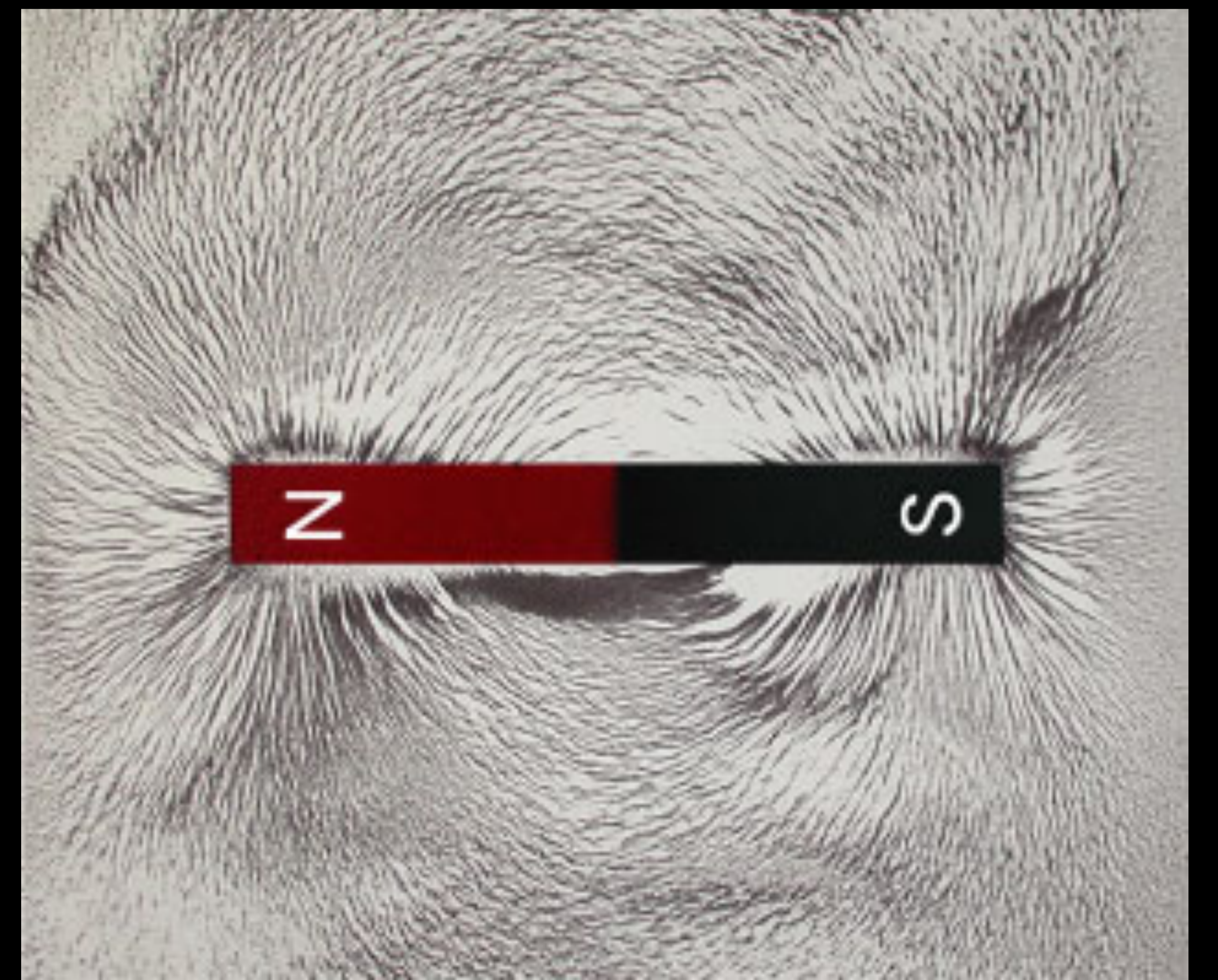
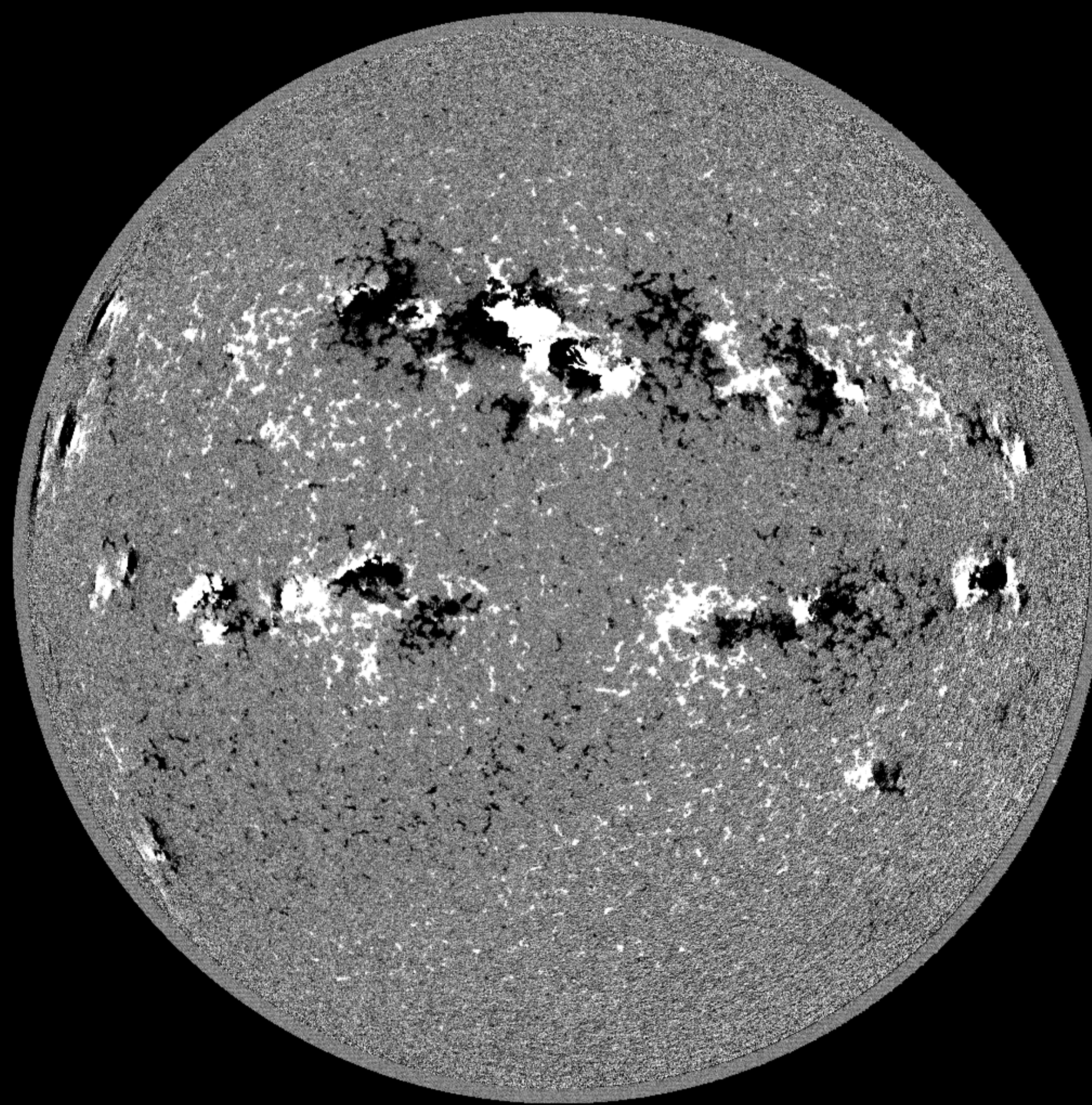
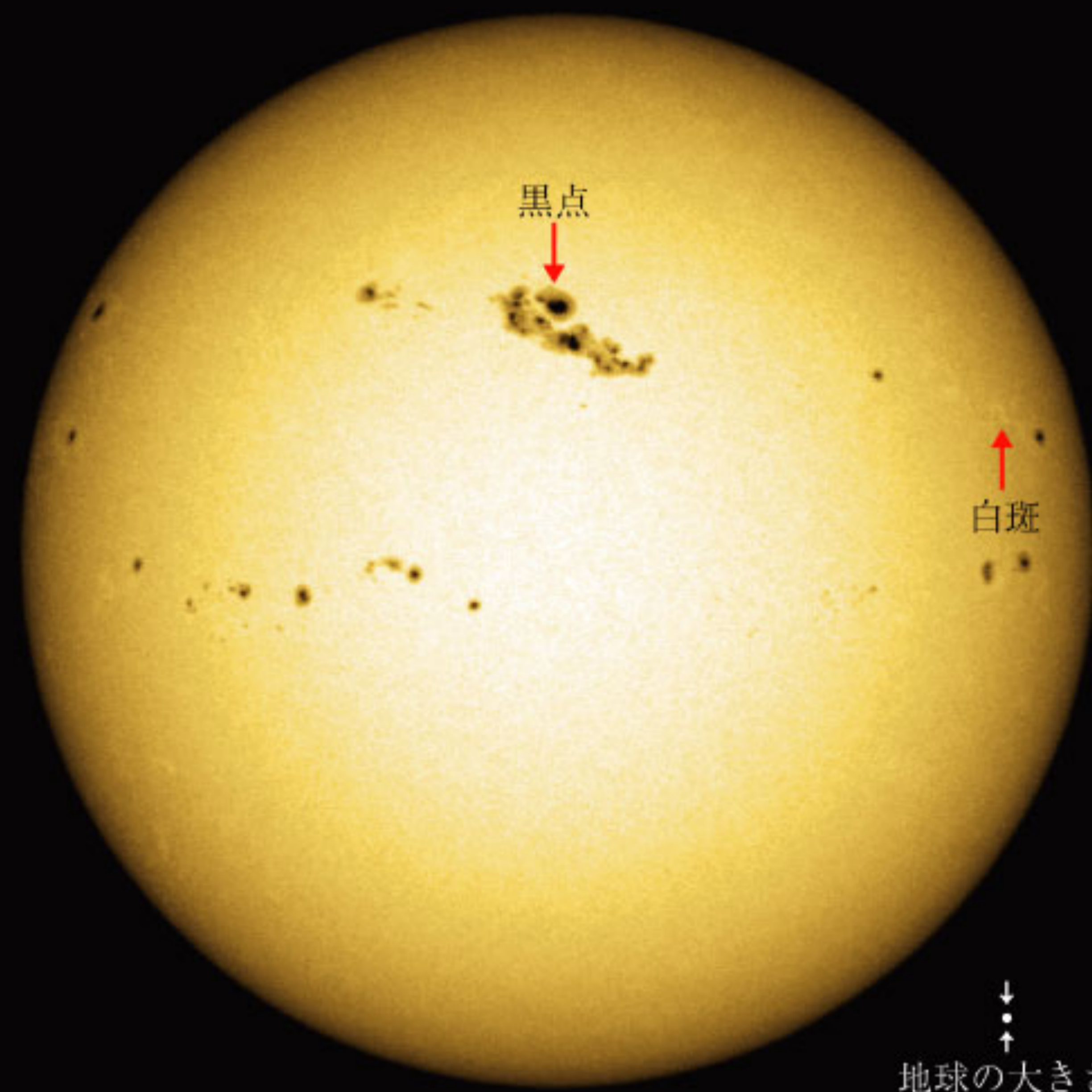


黒点
対流運動

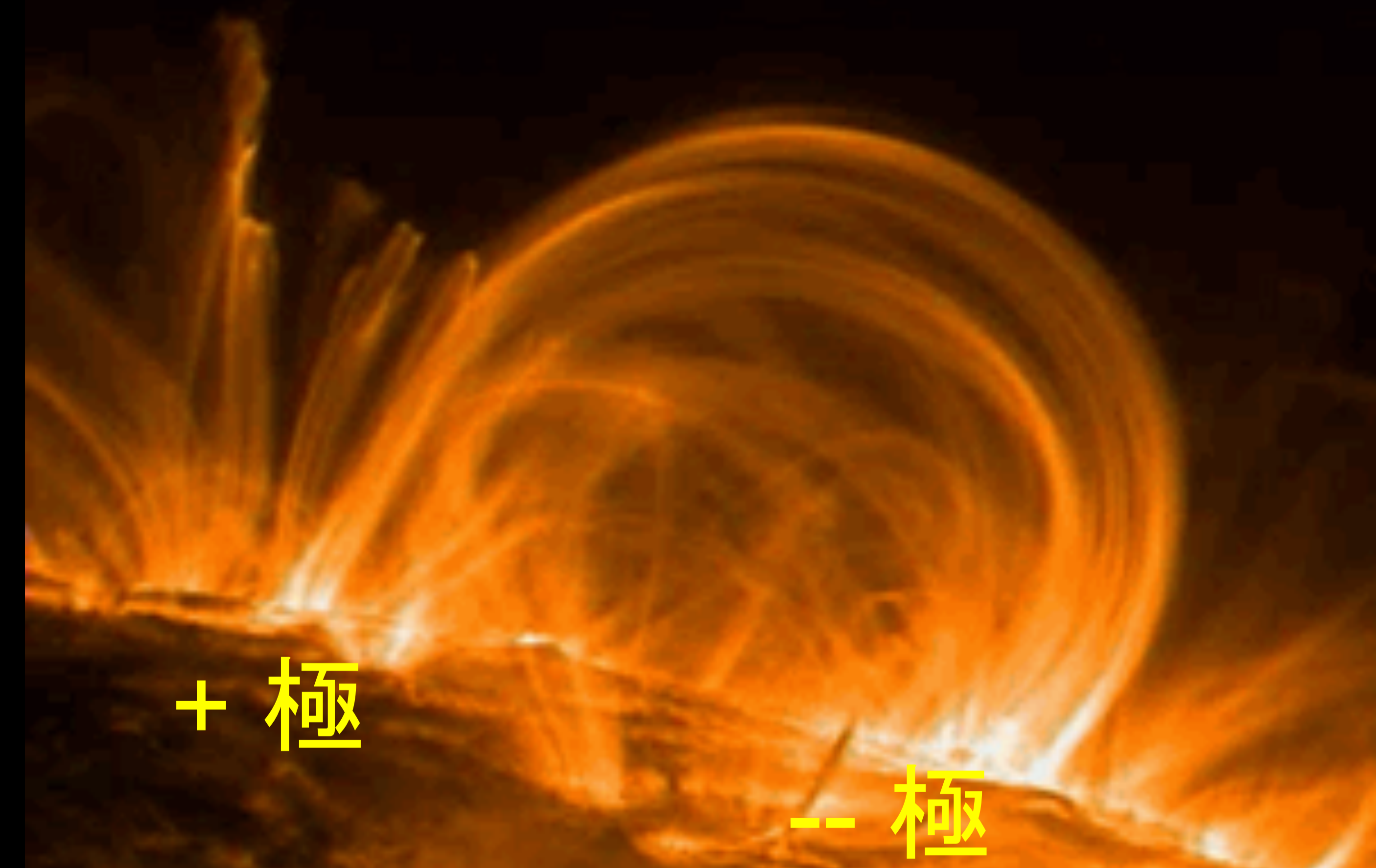
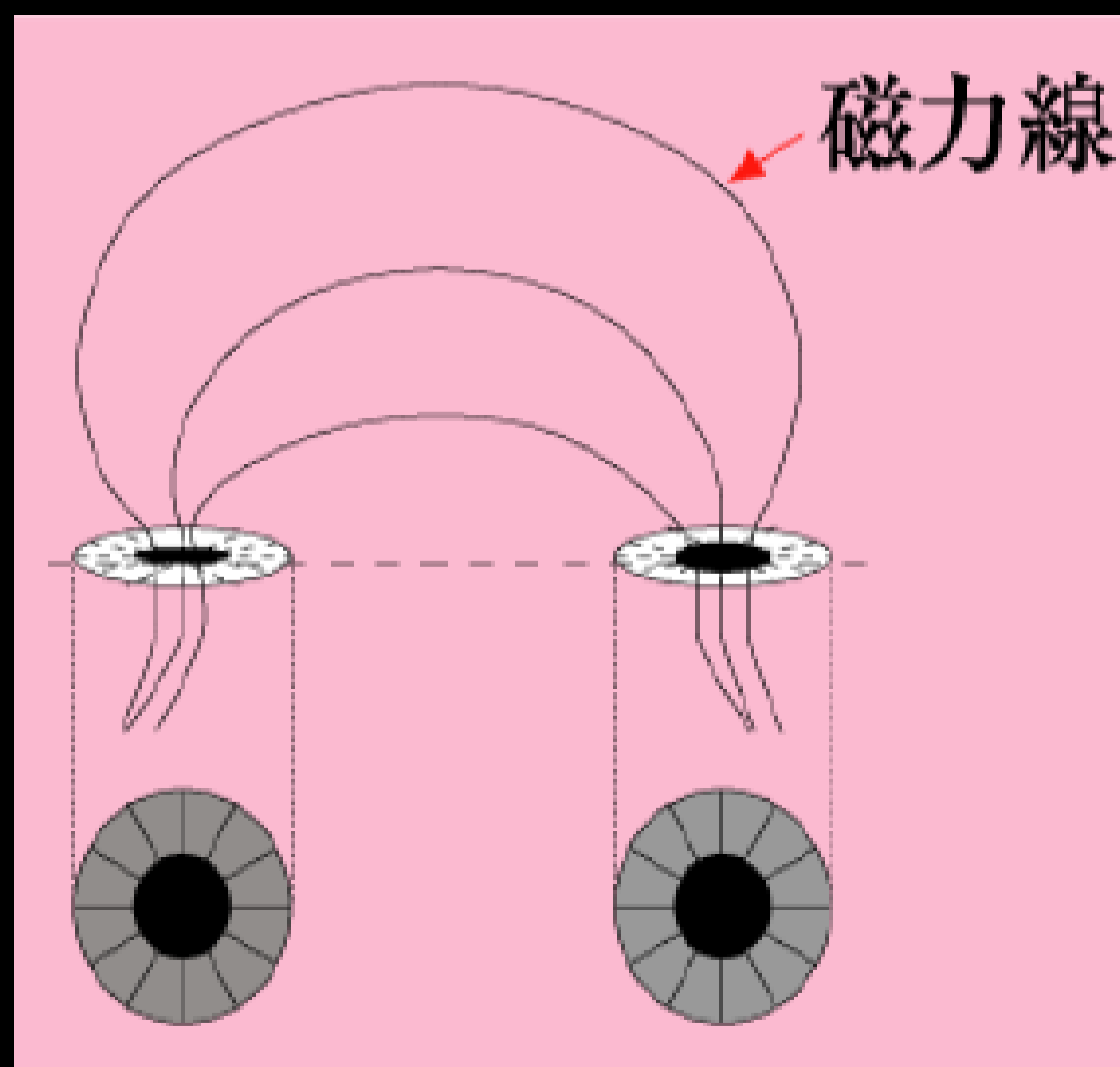
171,000 km

黒点：巨大な磁束の切り口

マグネトグラム
白：正極、黒：負極



• 棒磁石のような



極端紫外線で見たコロナ
正負の磁極をつなぐ高温プラズマ
に満たされた“コロナループ”

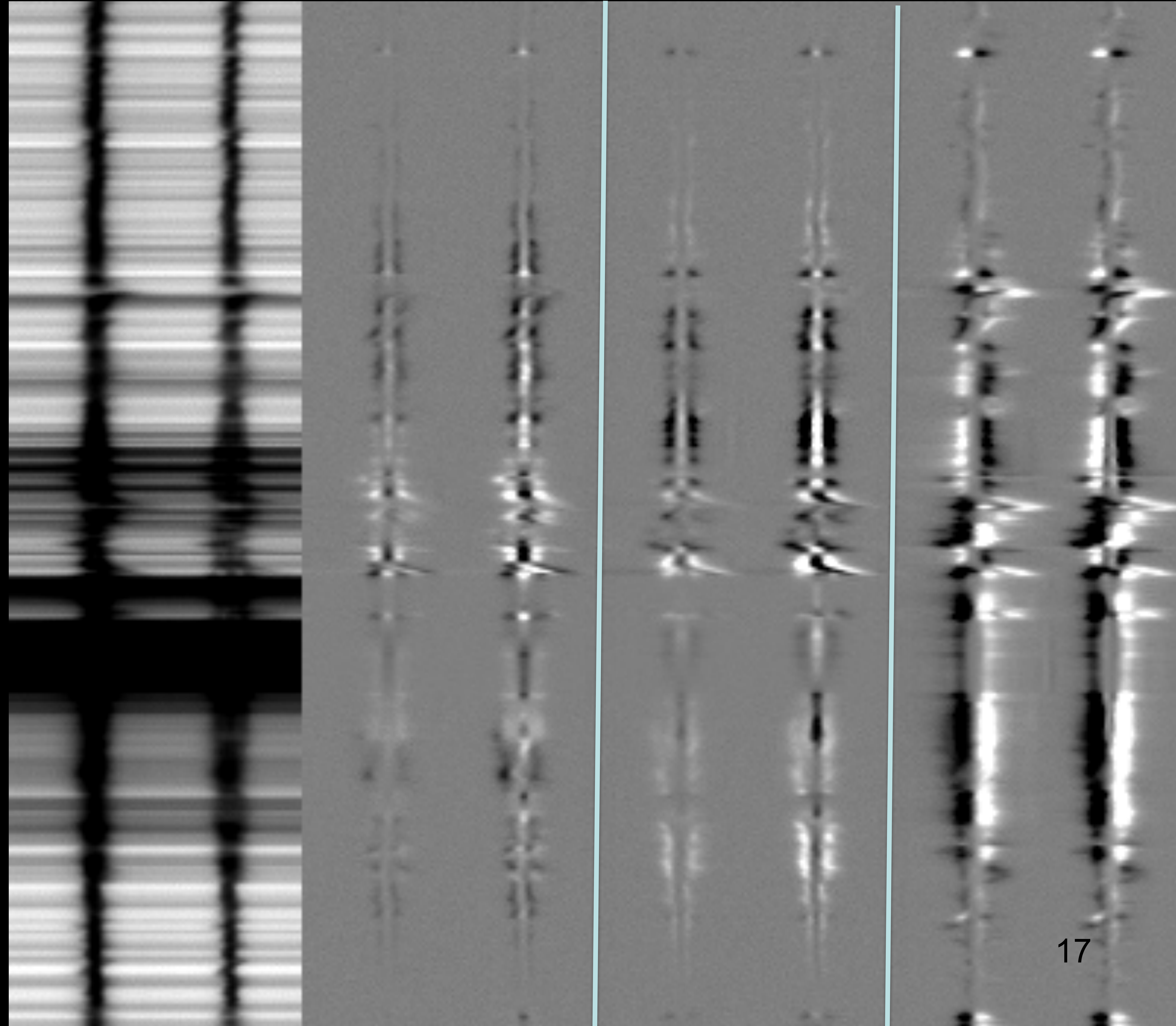
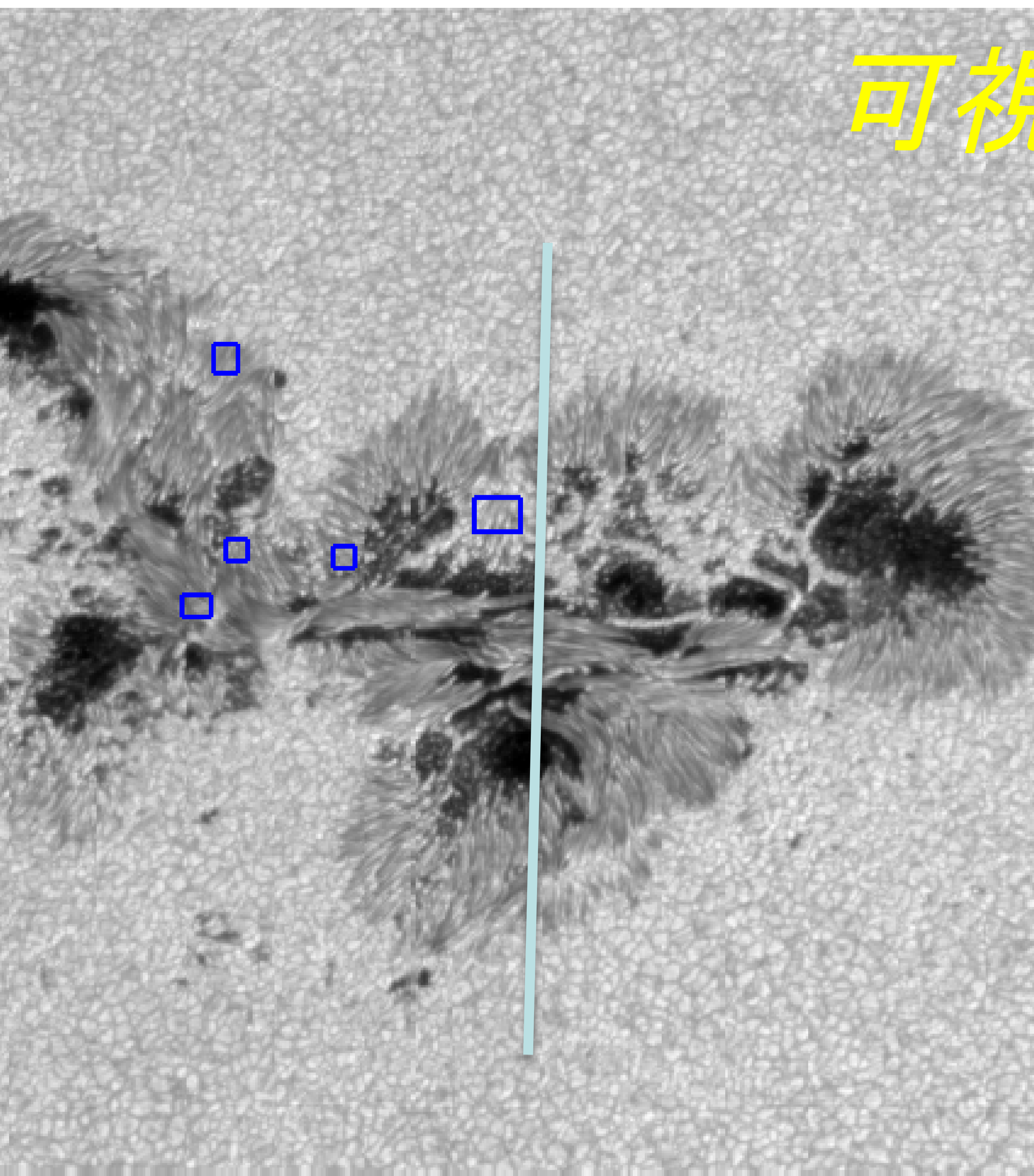
可視光磁場望遠鏡/スペクトロポリリメータが取得する
Fe I 630.15 + 630.25 nm

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)

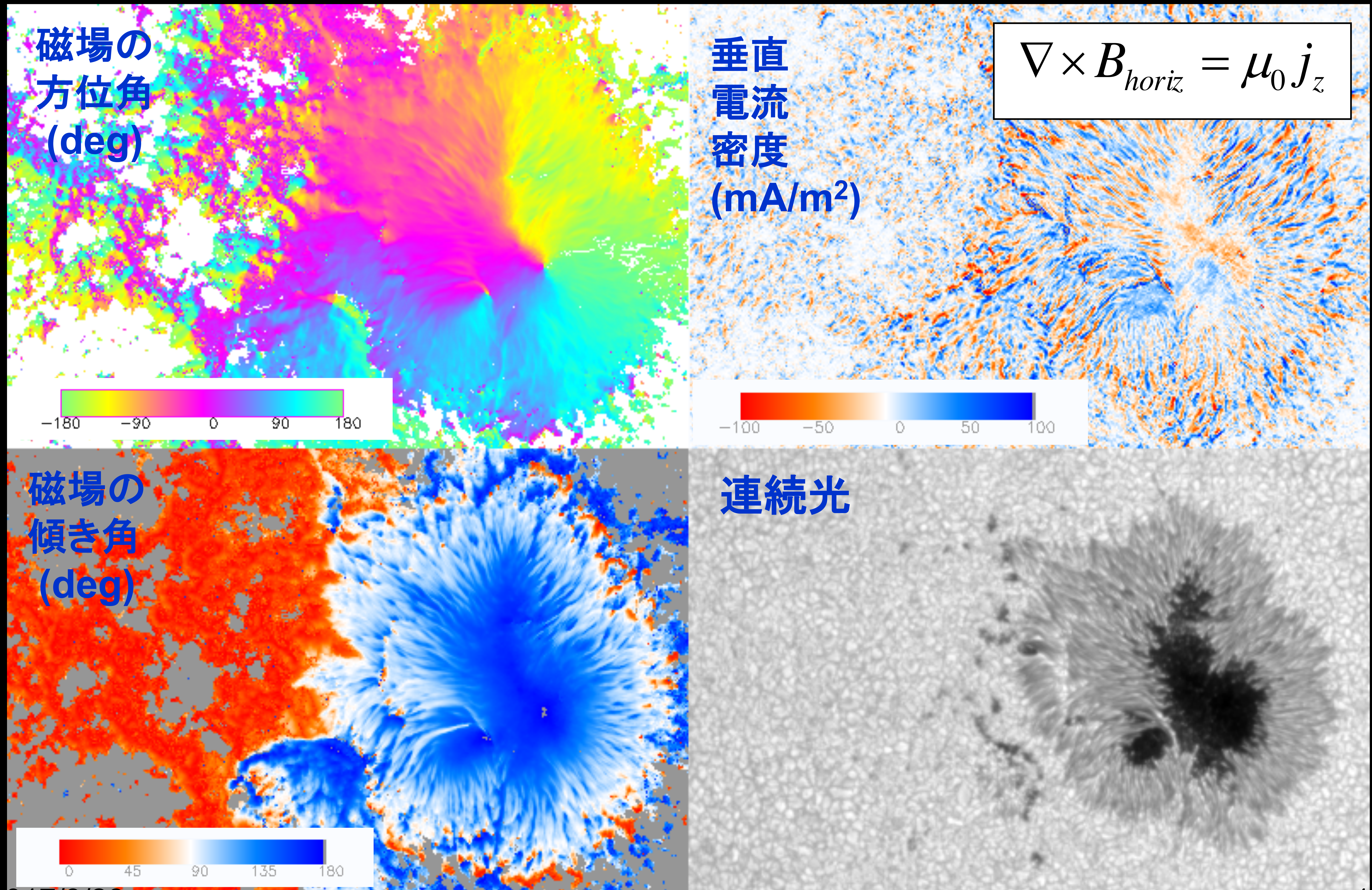
ストークスV
(円偏光)



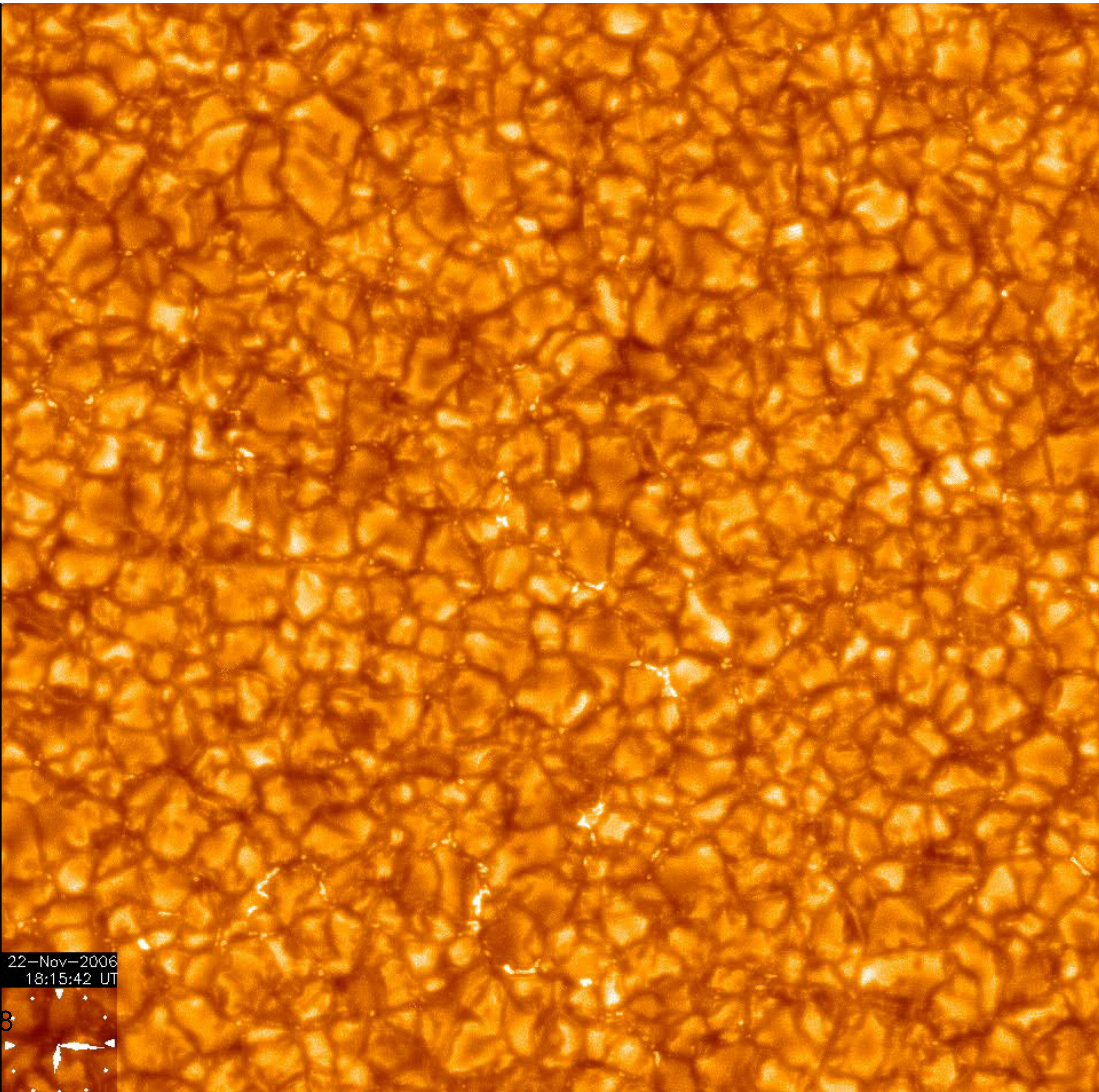
ゼーマン効果
ドップラー効果

太陽表面(光球)での太陽磁場の形態・性質をあばく

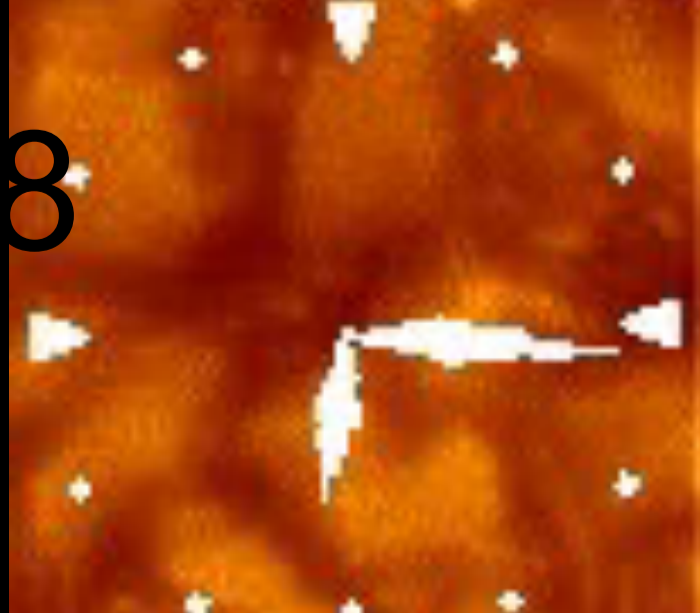
偏光分光データから、磁場の強度やベクトル等を求める



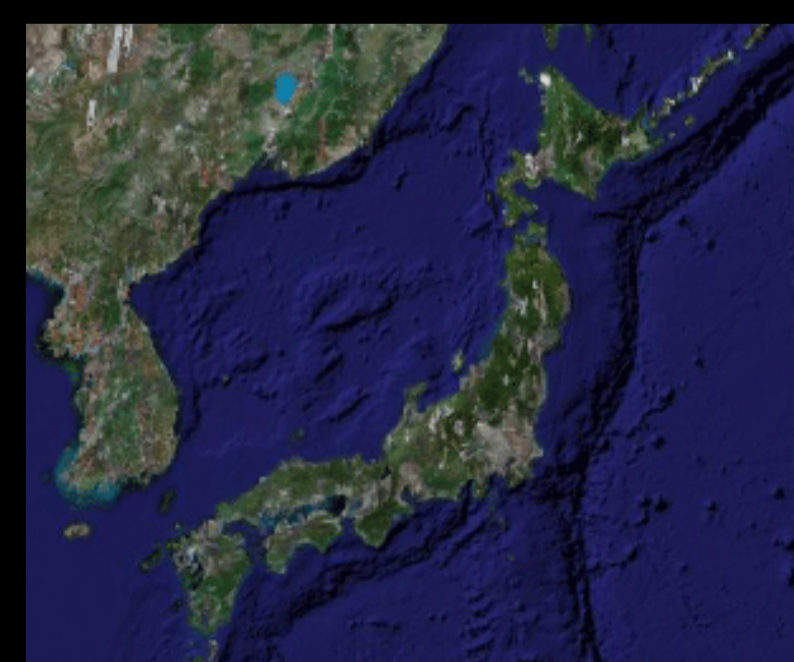
“粒状斑”対流セルと
“静穏領域”



22-Nov-2006
18:15:42 UT

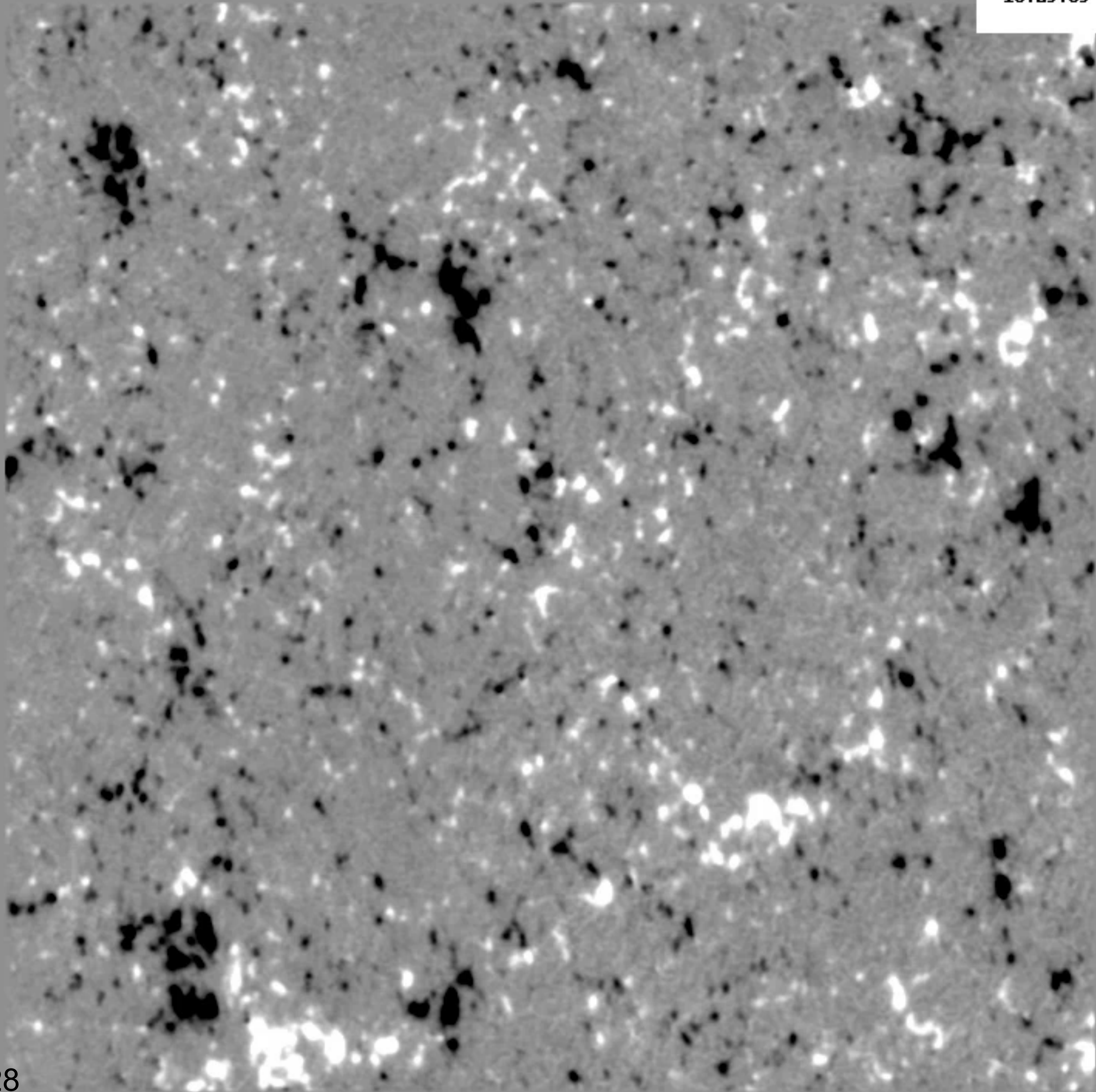


“微細磁束管”



2,000 km

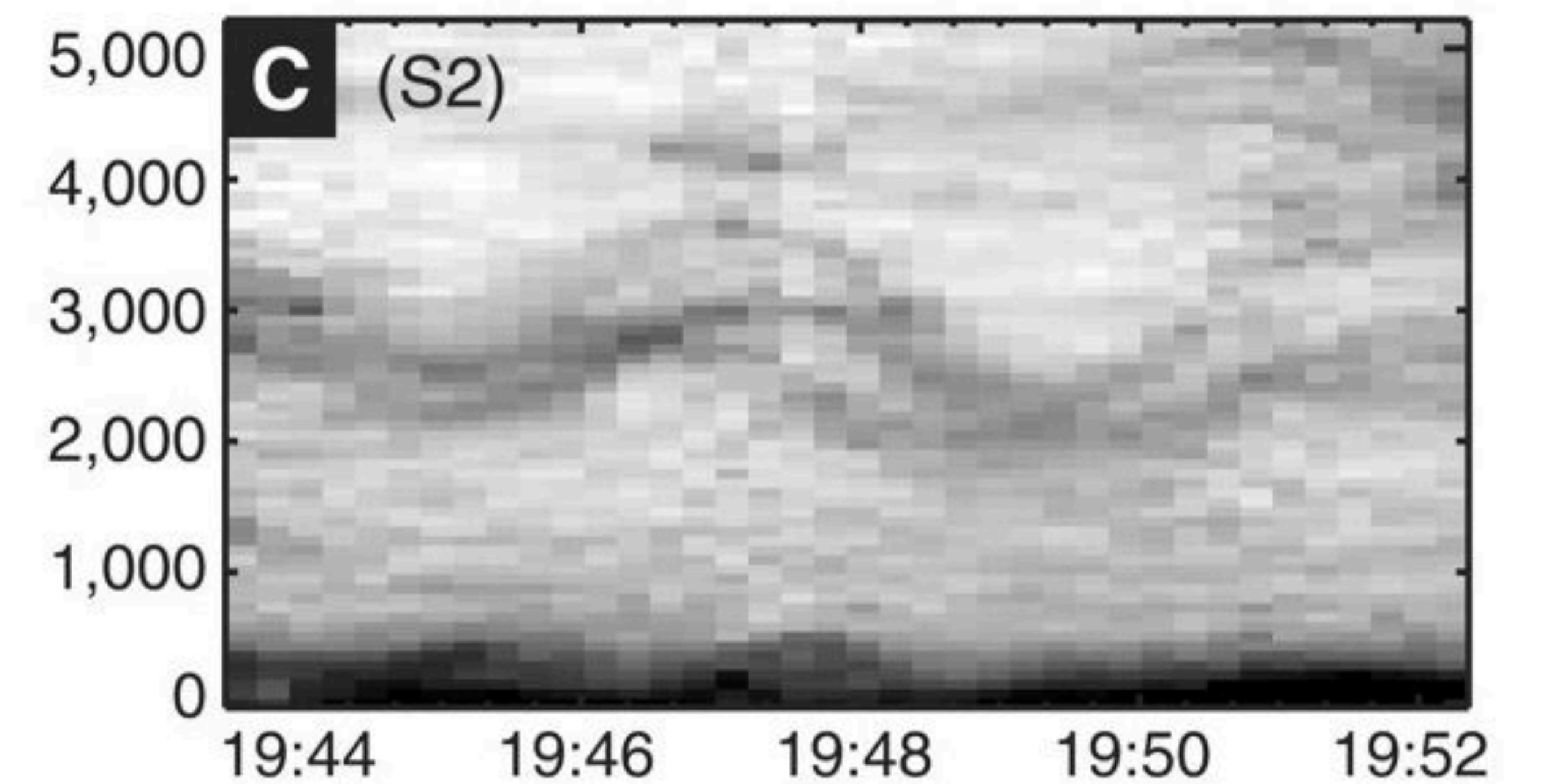
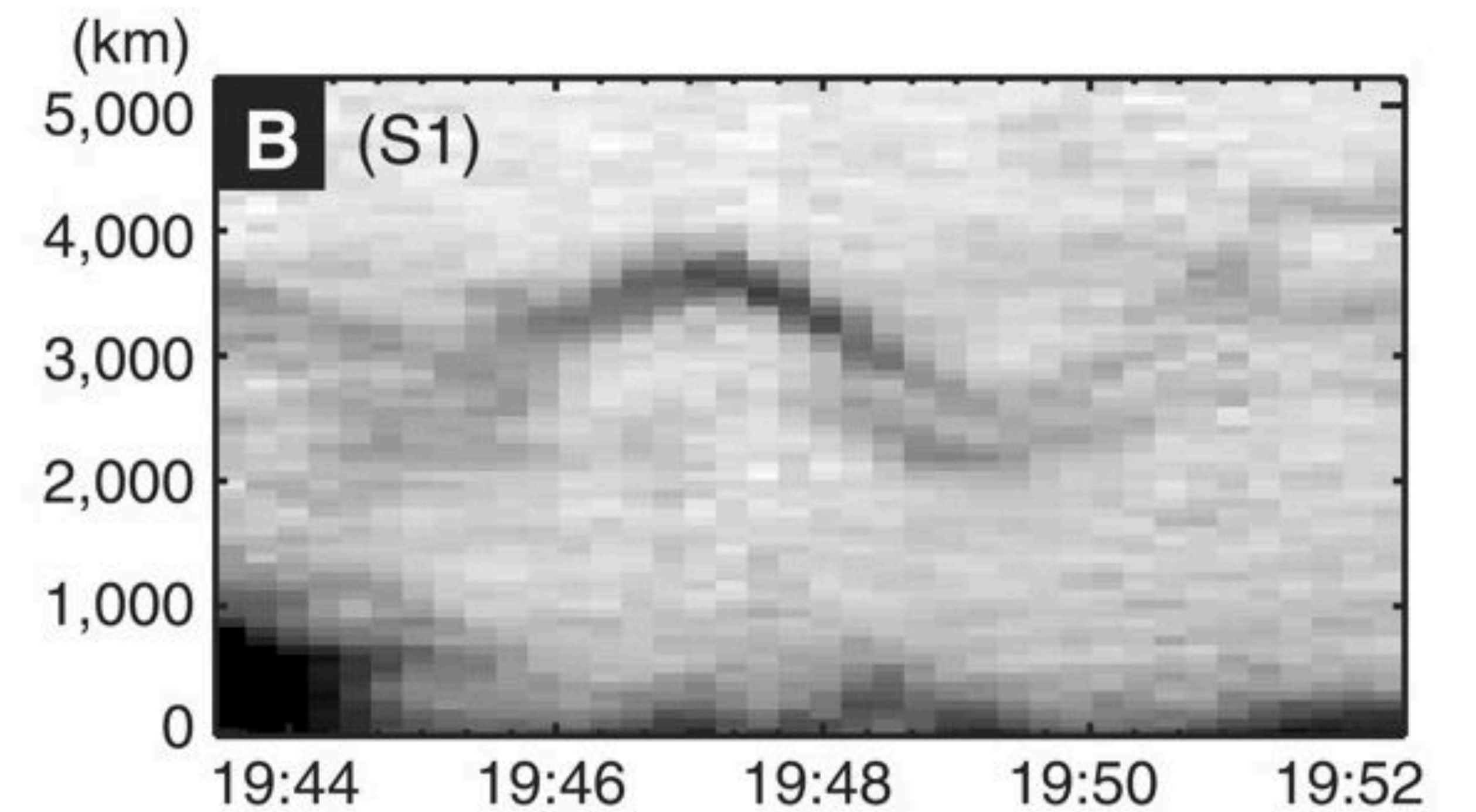
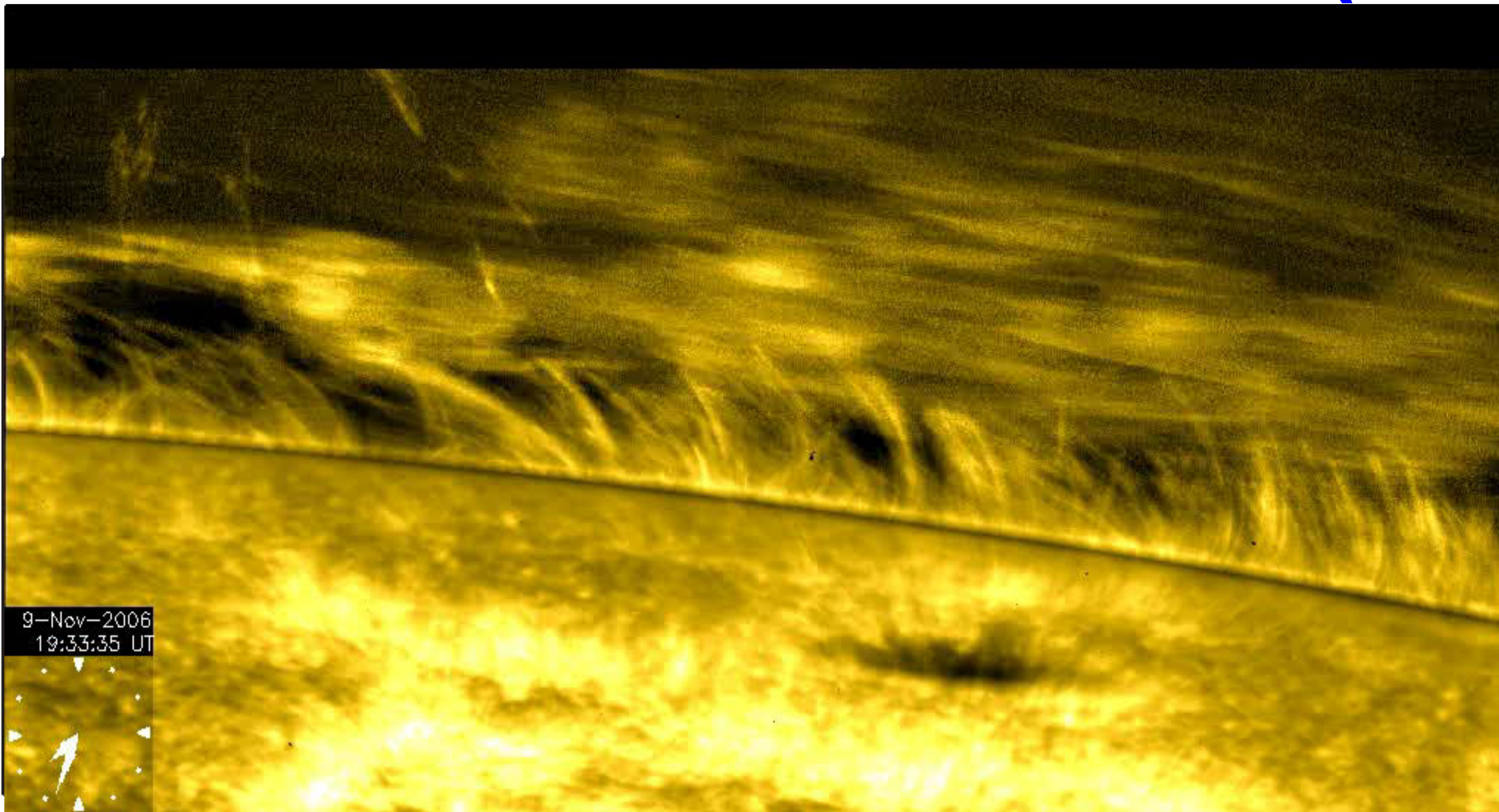
2008-Dec-30
10:29:39



踊る
微細磁束管”

白黒は磁場の向き

対流運動が波を励起 (磁力線を揺らす)



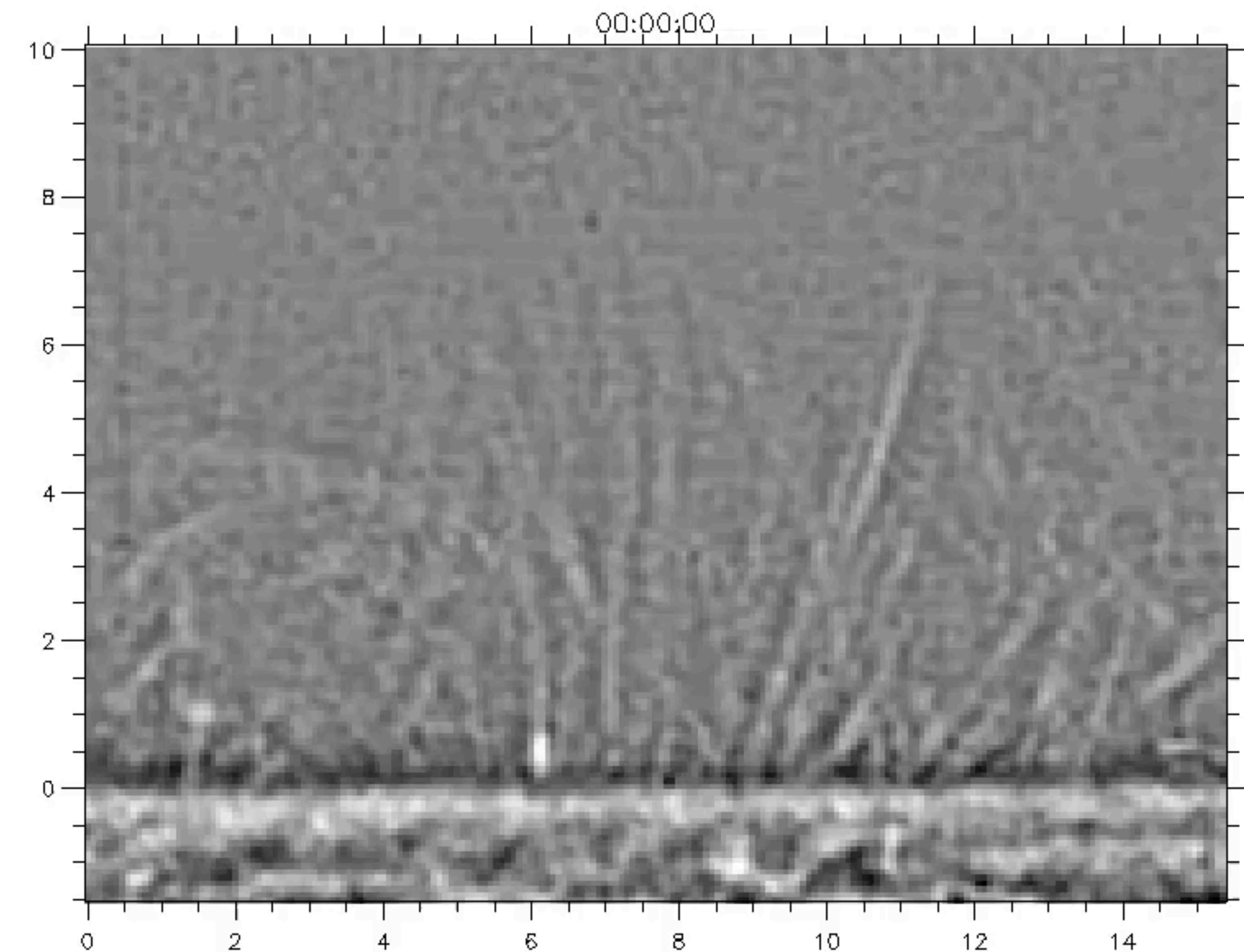
プロミネンスは筋状の集まりで、この筋構造(スレッド)は毎秒 40 km もの高速で水平方向に飛び回っている。それだけではなく、鉛直方向に振動しているのも多数観測された。(動画上部参照)

アルヴェン波

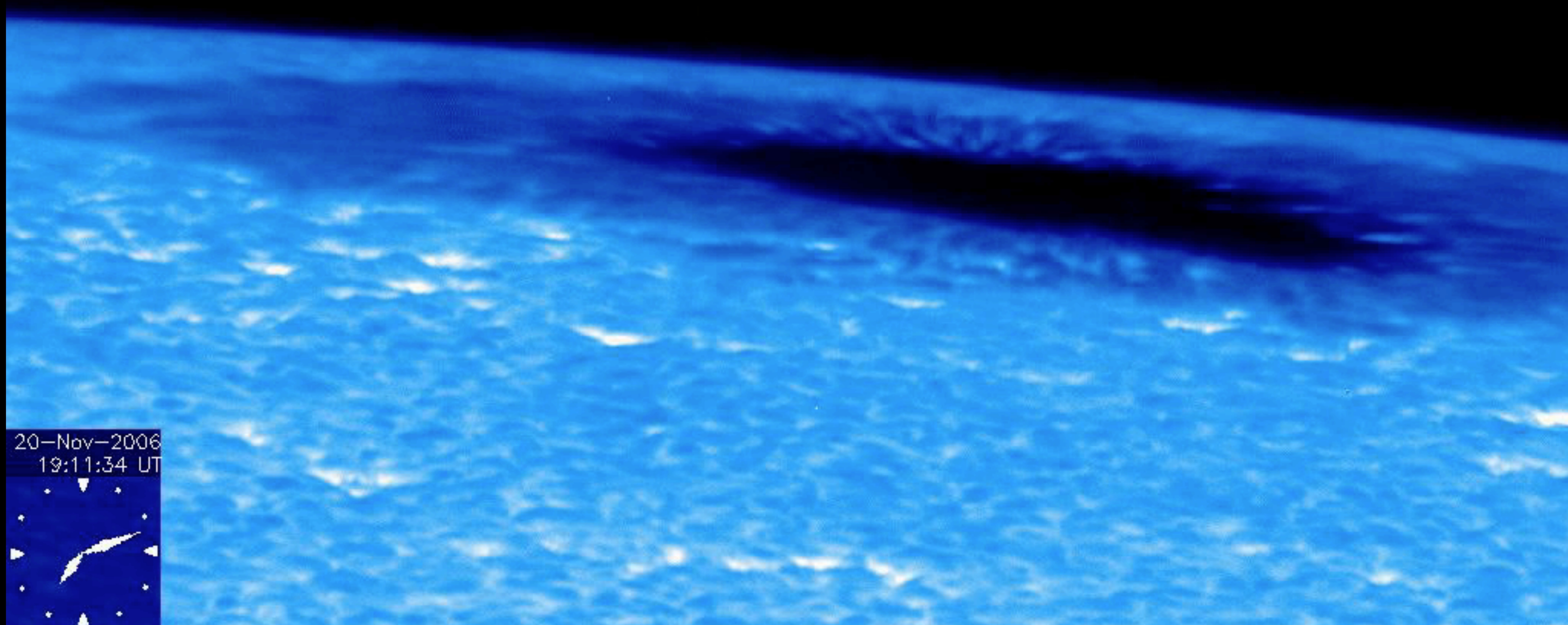
- 波は十分なエネルギーをコロナや太陽風に与えるか？

コロナ - コロナ加熱

太陽風 - 高速流への加速



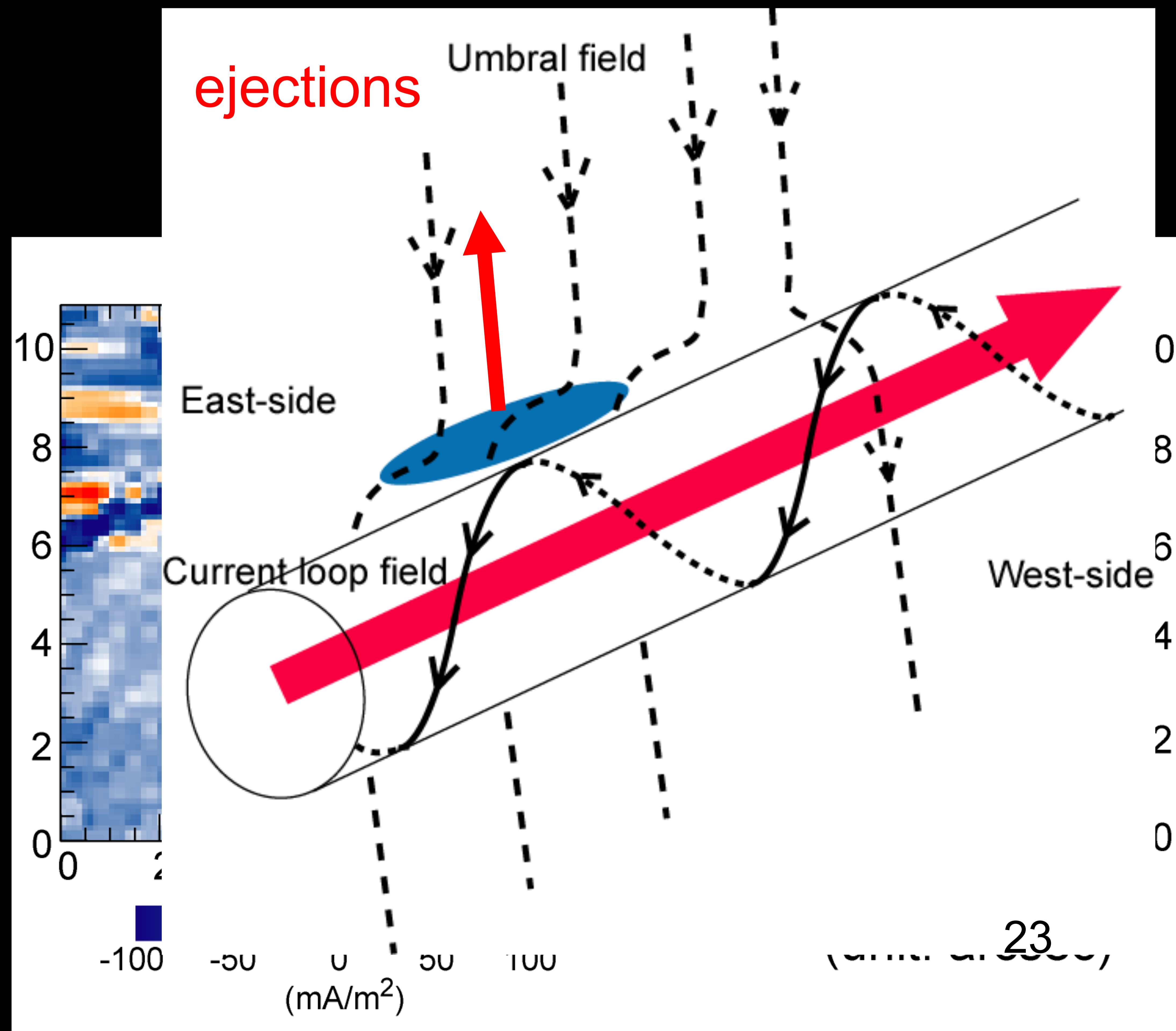
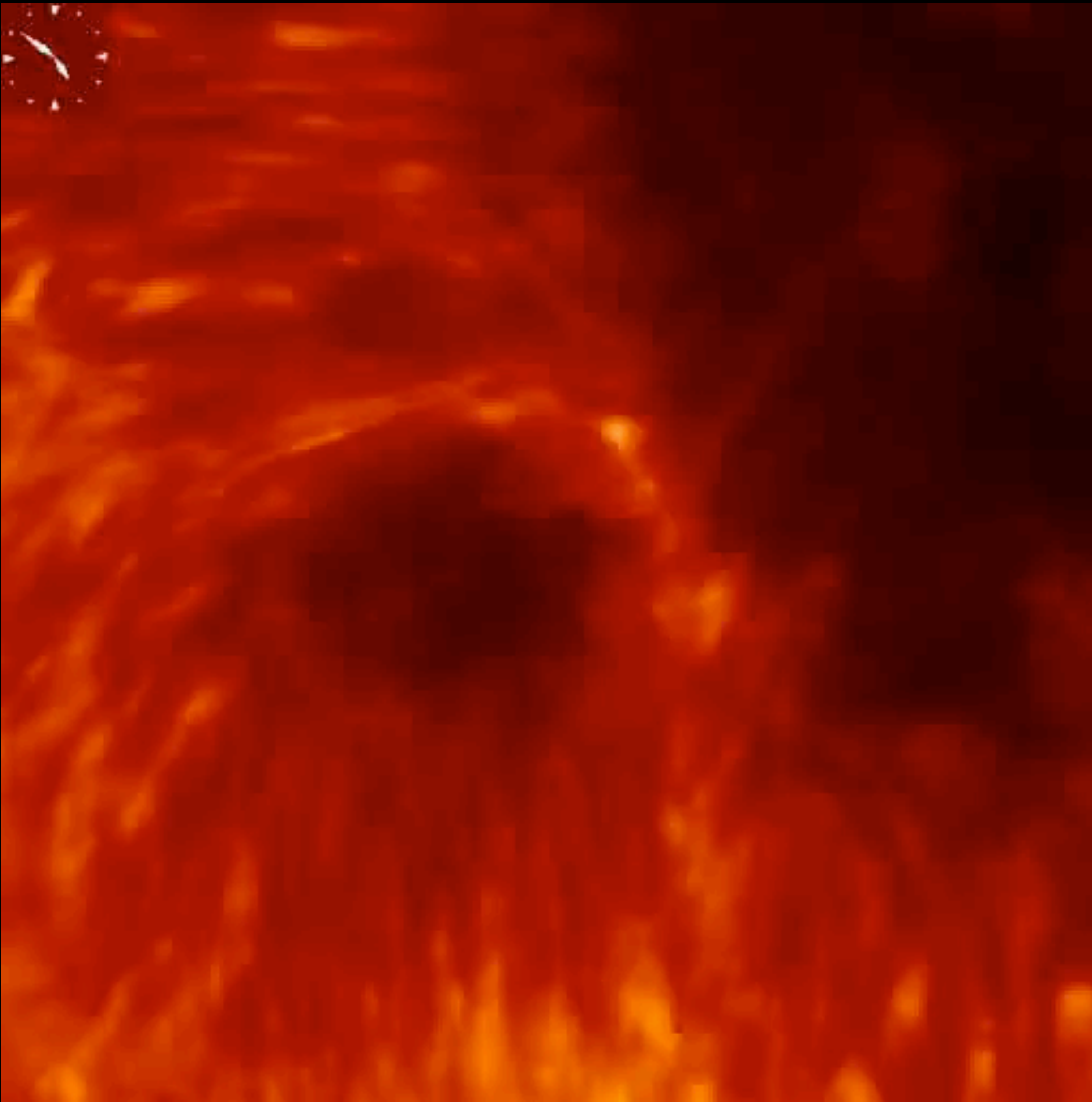
「ひので」撮像観測が明らかにした「単なる光球-コロナ
の中間層」との認識を覆す活動的な彩層



20-Nov-2006
19:11:34 UT

「黒点ライトブリッジ」での彩層ガスの噴水
浮上してきた「電流が流れる(=ねじれた)磁気管」が
そこには存在する。爆発発生との重要な関係

らせん状の磁場
(エネルギー蓄積)



ねじれた磁力管と黒点磁場との間で、磁場
エネルギーの解放 “磁気リコネクション”
まだまだ分からないことが多い物理素過程

2012.9.7 JAXAプレスリリース

太陽表面での活動現象を世界で 初めて地上で再現



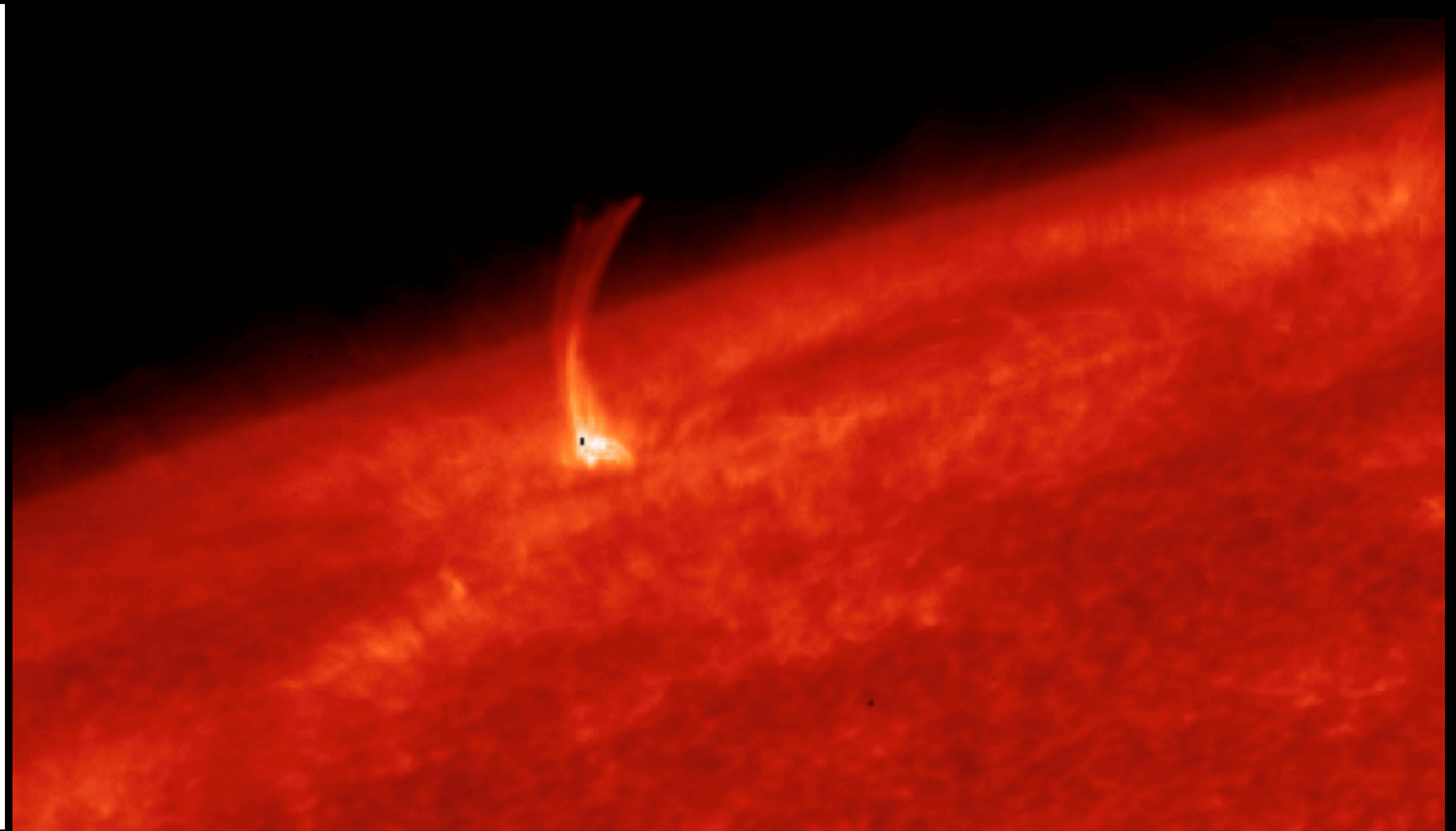
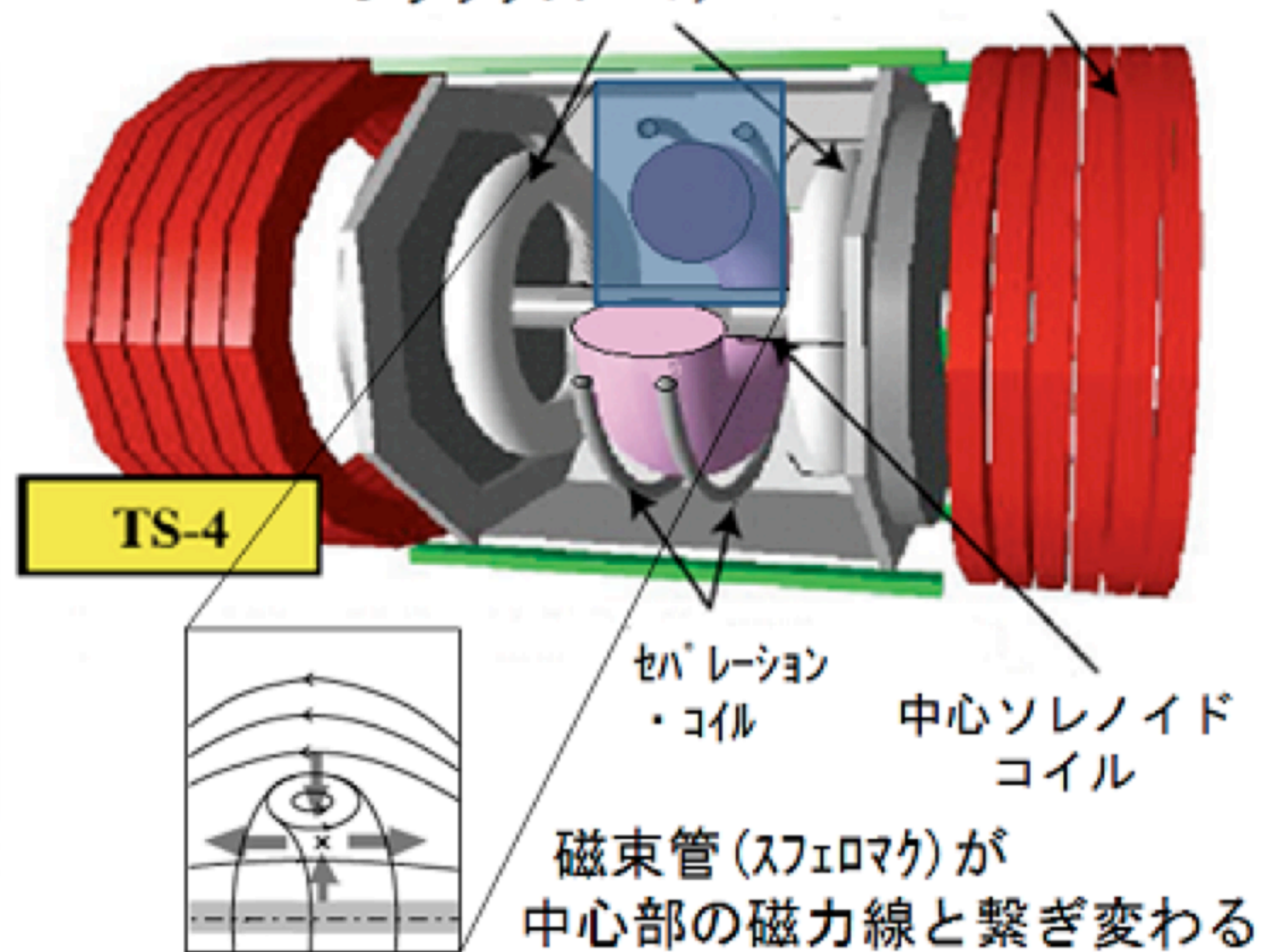
- 地上のプラズマ実験装置を用いた「実験的手法」を導入し、太陽の彩層ジェットと類似の現象を地上で再現に成功。定量的にミクロな振る舞いを調べることができ、ジェット発生の仕組みの理解が進むと期待される。
- 彩層と類似の環境を模擬できる高性能のプラズマ実験装置の存在に加え、「ひので」観測によって磁場形状を正確に推定できたことで可能となった。

東京大学TS-4球状トラス実験装置

彩層ジェット(ひので観測)

サイズ 2m

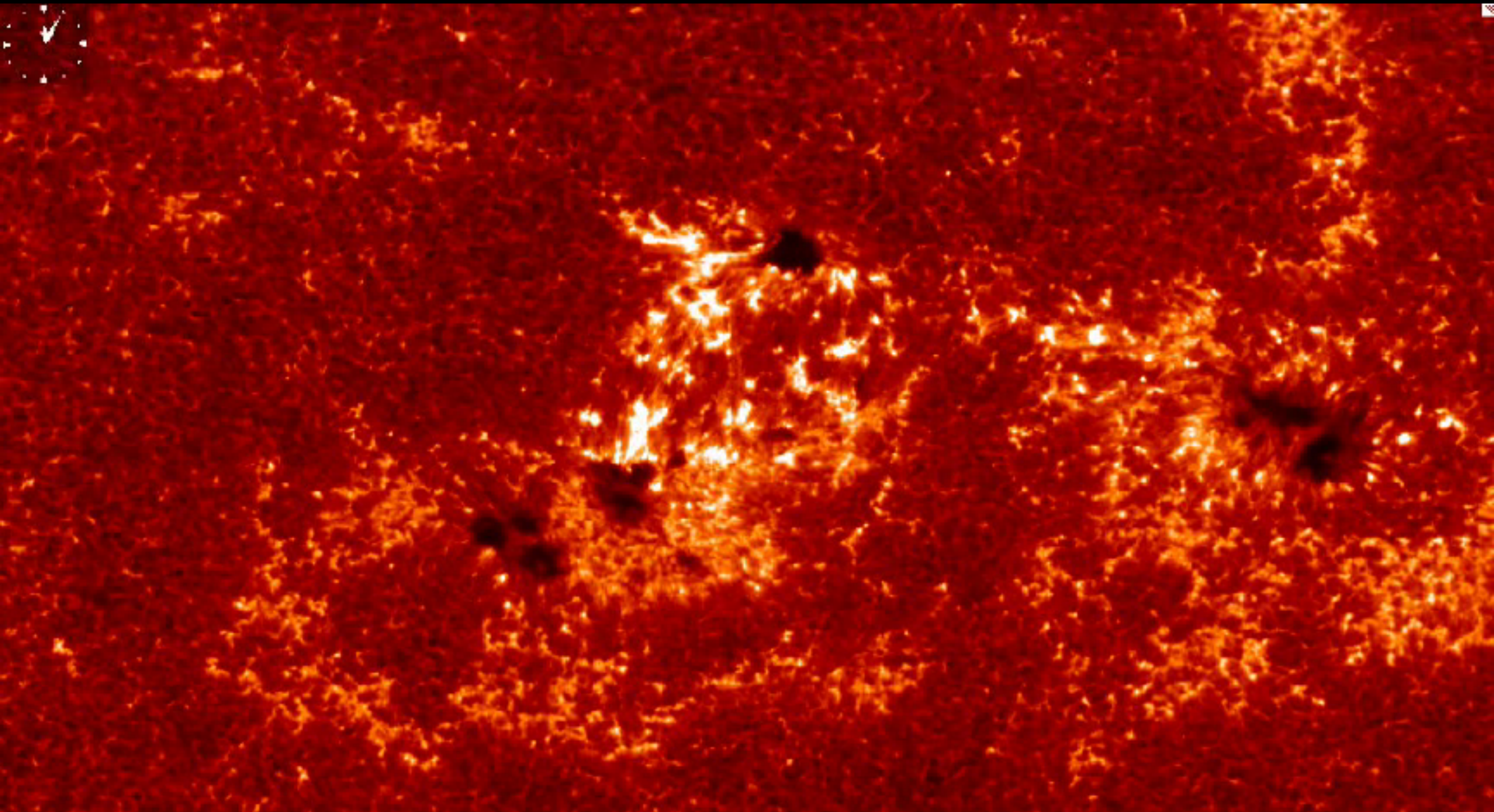
フラックス・コア 平衡磁場コイル



2017/3/28

太陽表面の磁場の出現：“磁気浮上活動”

磁場浮上、フレア活動トリガー、黒点形成~散逸の物理過程



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

AR12080: 7-days magnetic evolution (focused mode)

SP maps: Stokes V
5-7 maps per day

9 June 14UT

8 June 14UT

10 June 15UT

11 June 15UT

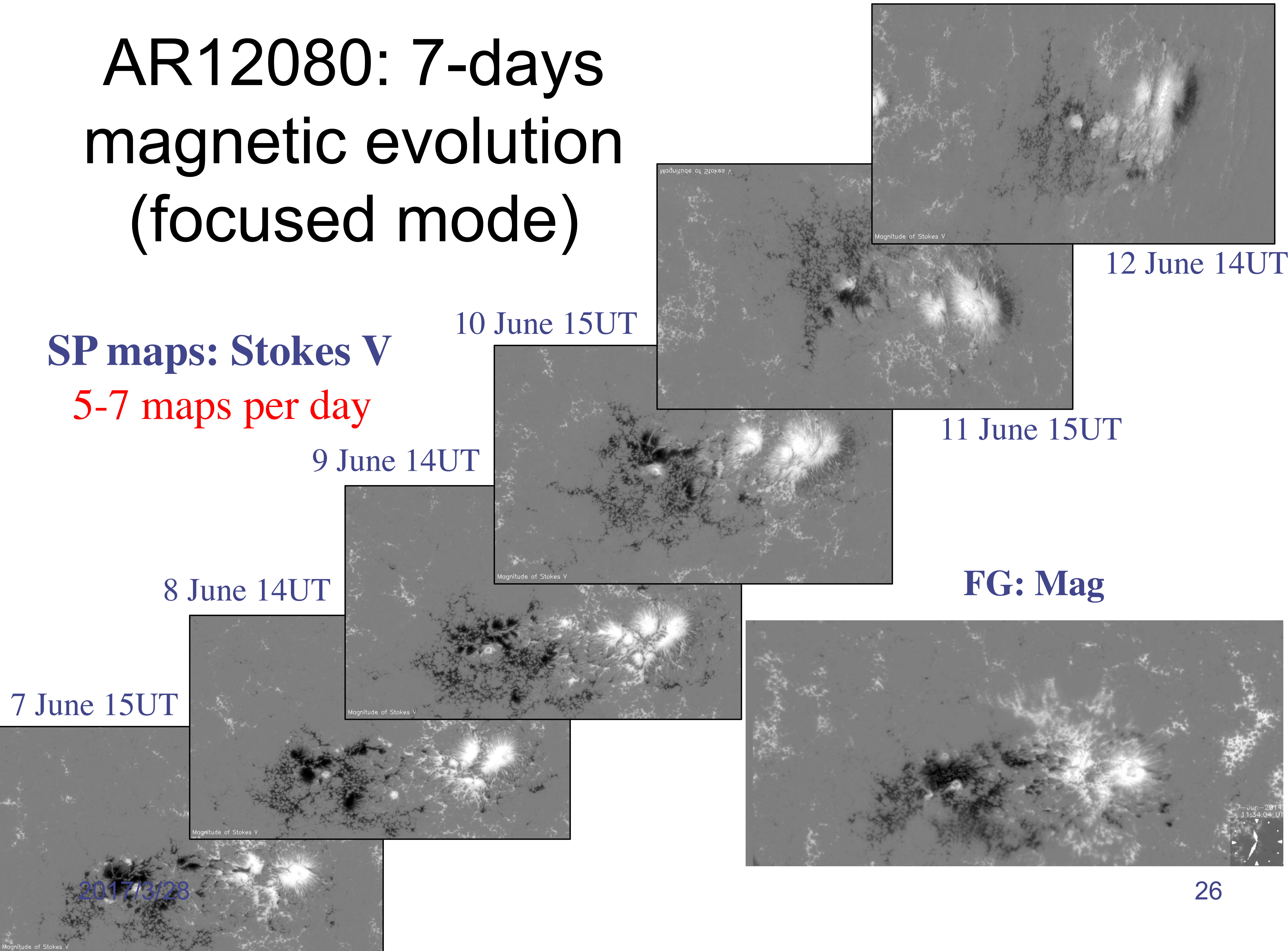
12 June 14UT

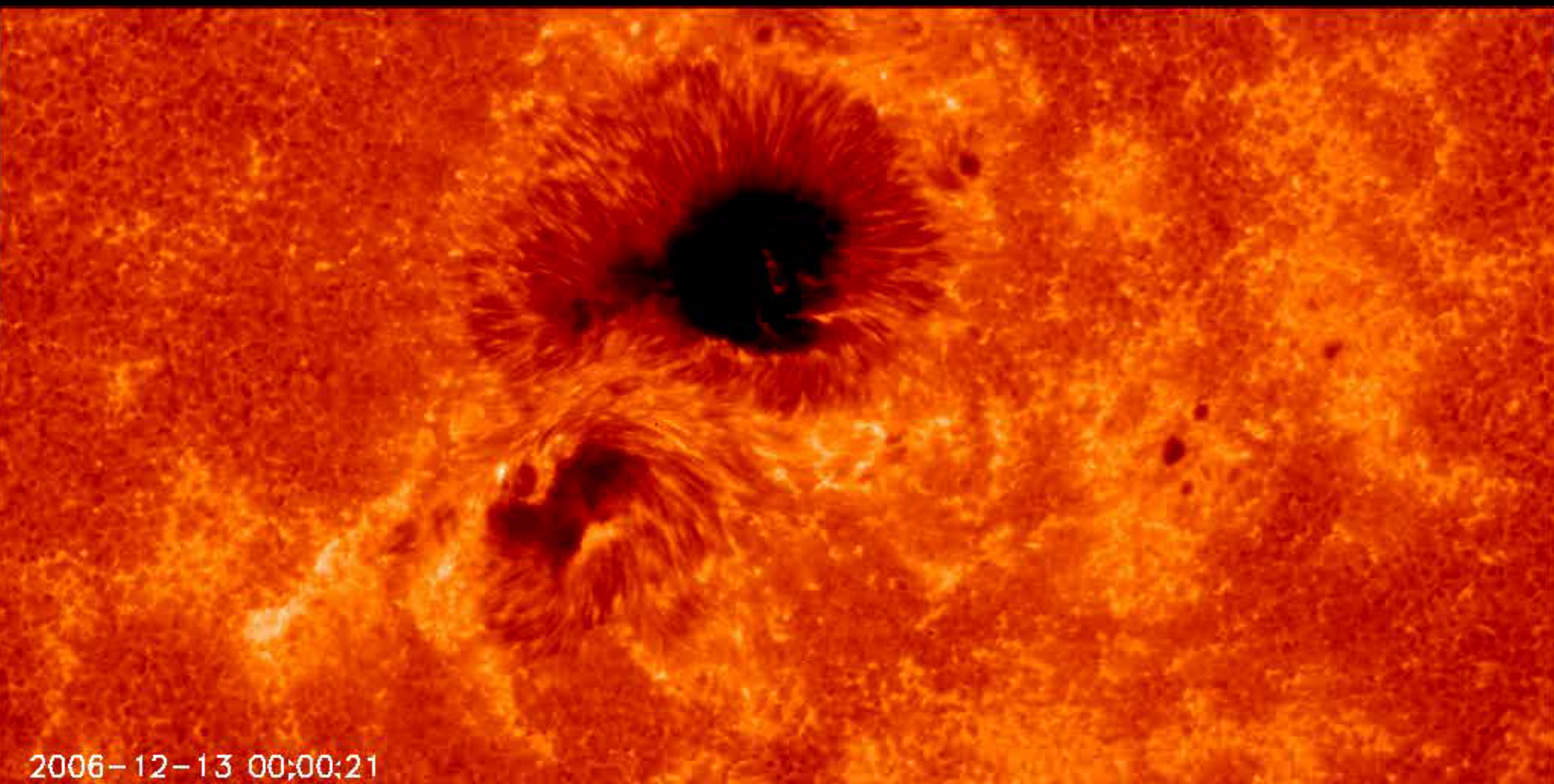
FG: Mag

7 June 15UT

2017/3/28

26





2006-12-13 00:00:21

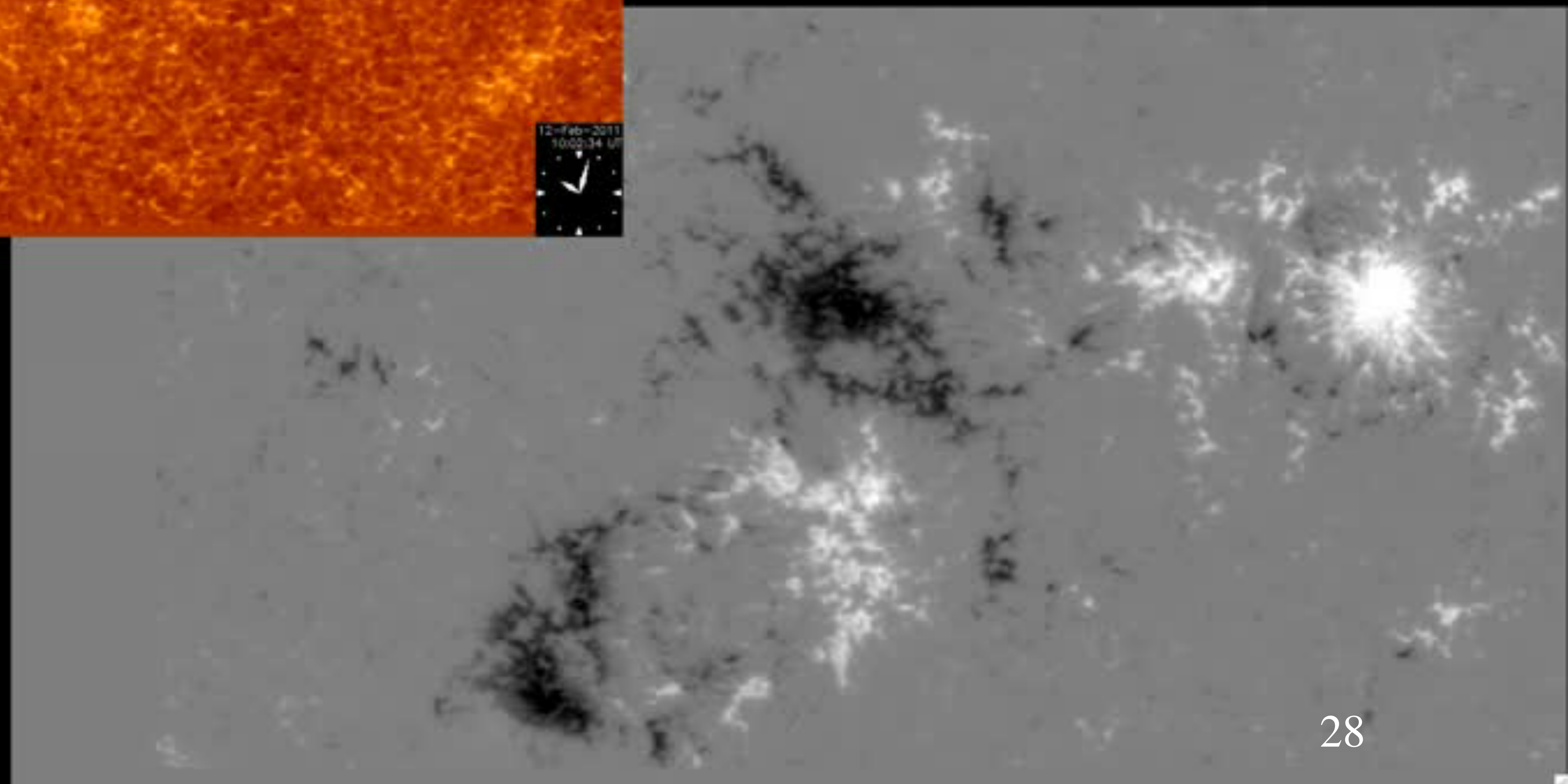
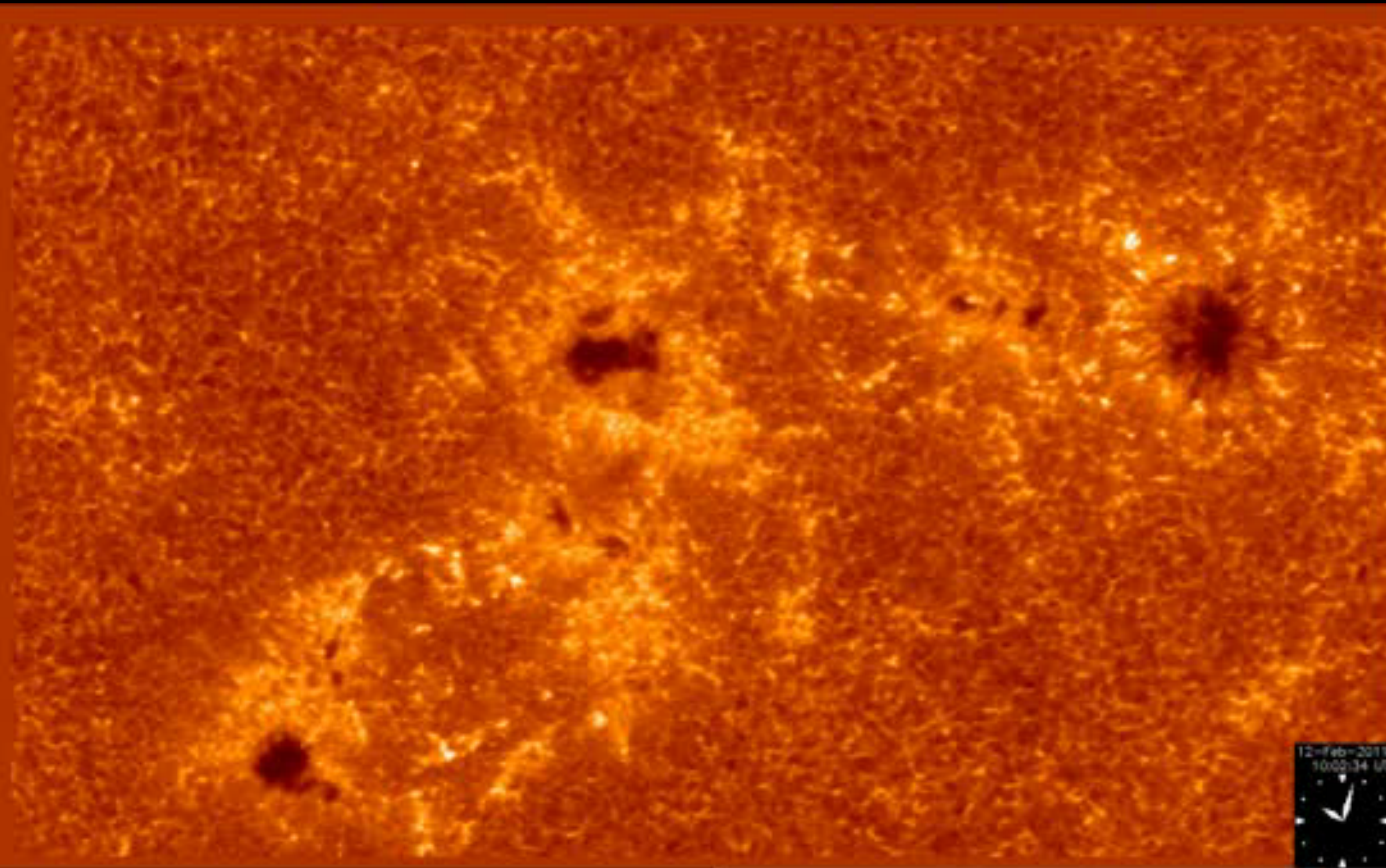
地球へも影響を及ぼす

太陽フレア

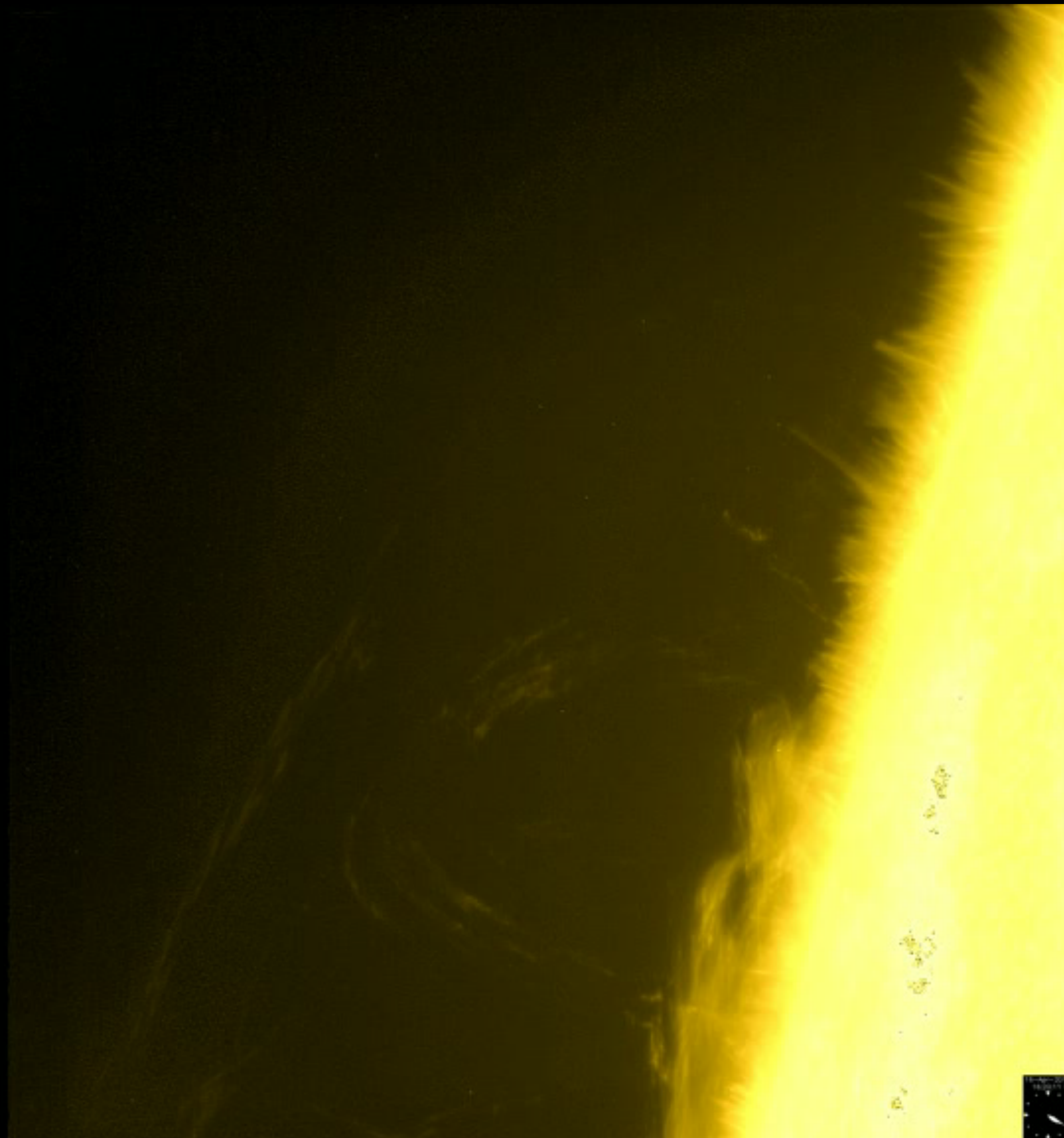
エネルギーは黒点の磁場

ひので(Callライン)

フレア発生と太陽表面の磁場

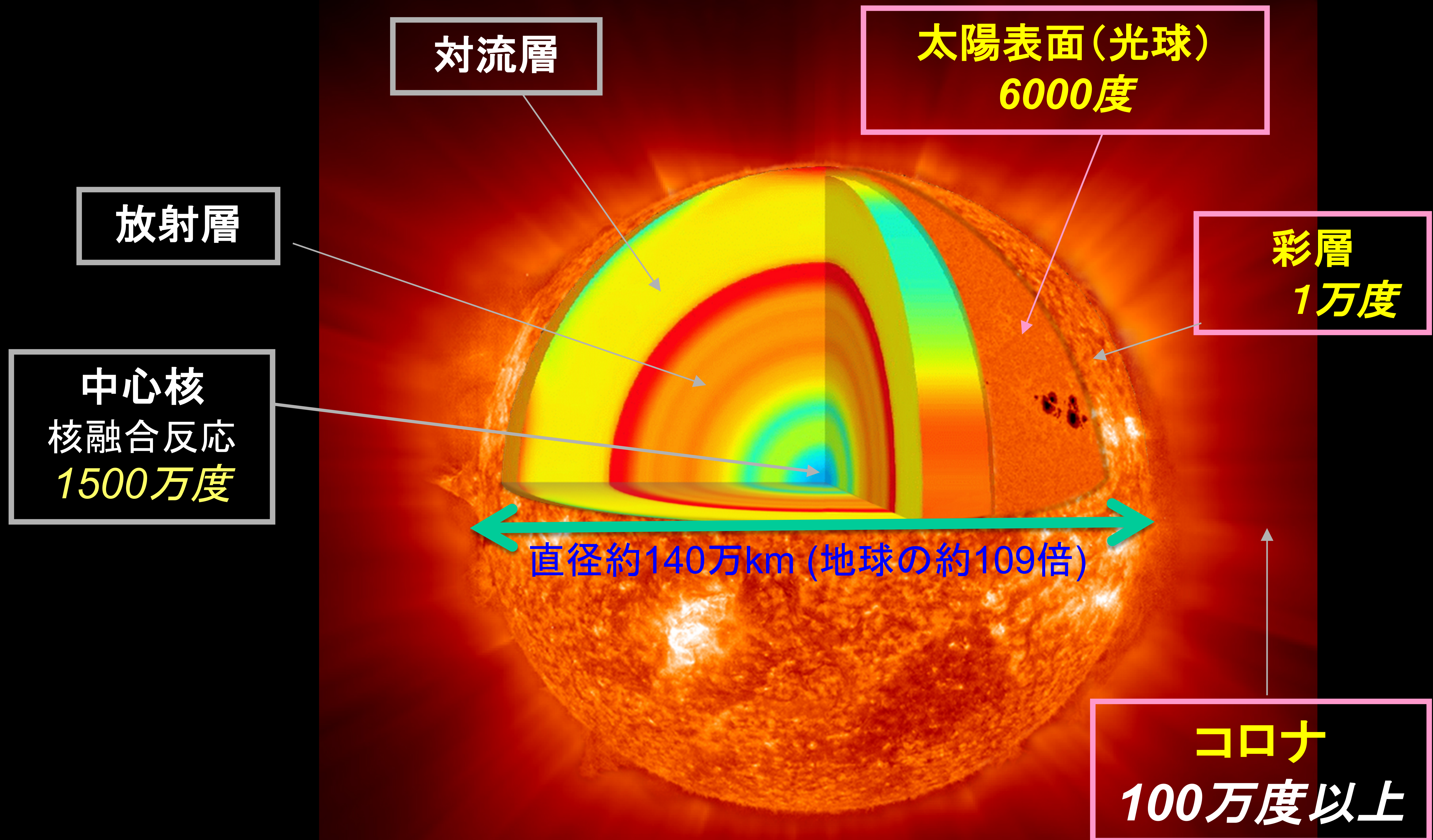


太陽フレアと彩層ガス噴出



EARTH
2017/3/28

太陽の構造

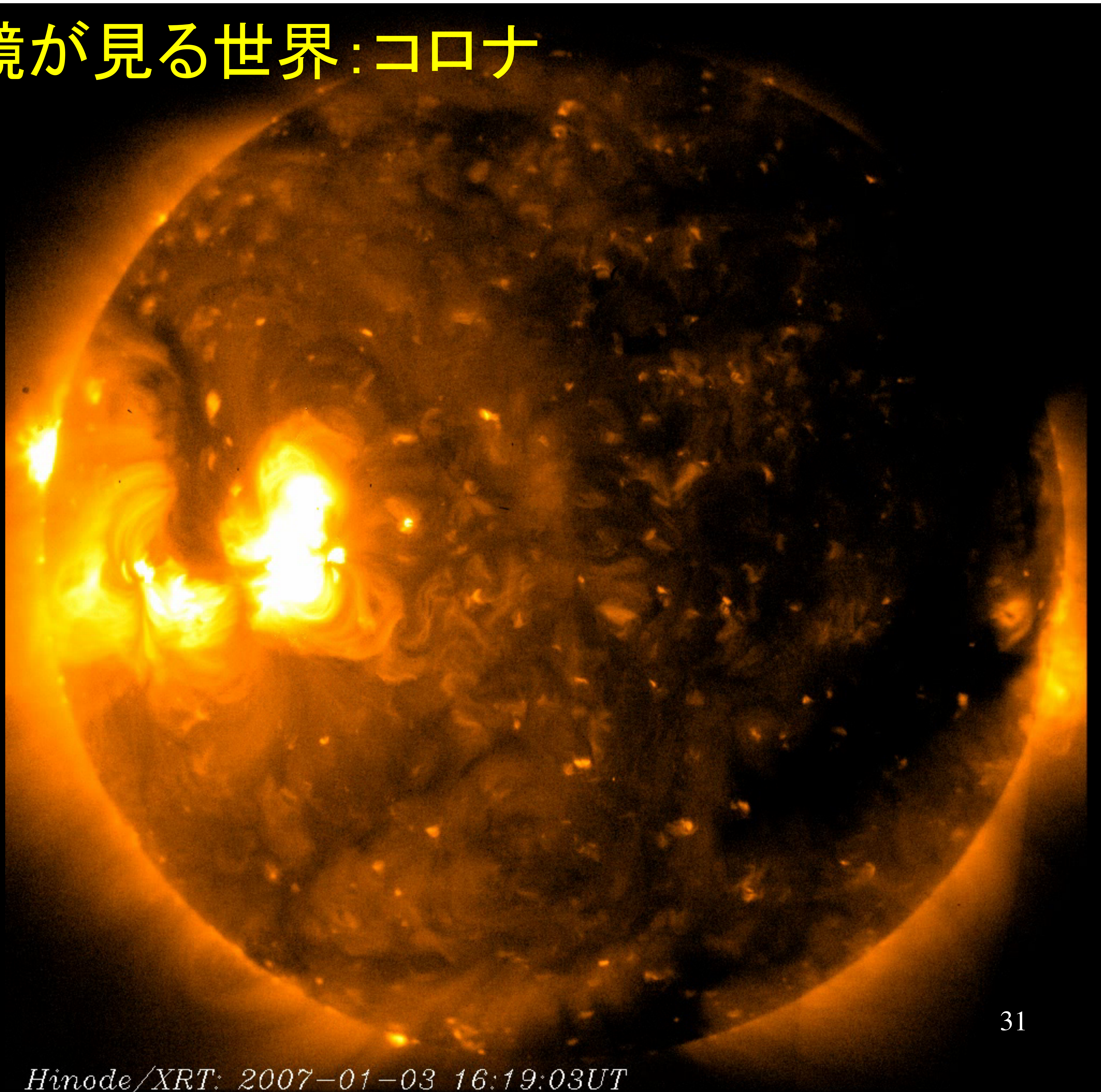


X線望遠鏡が見る世界:コロナ

軟X線で
見える
コロナ

黒点(活動
領域)が特に
明るい。

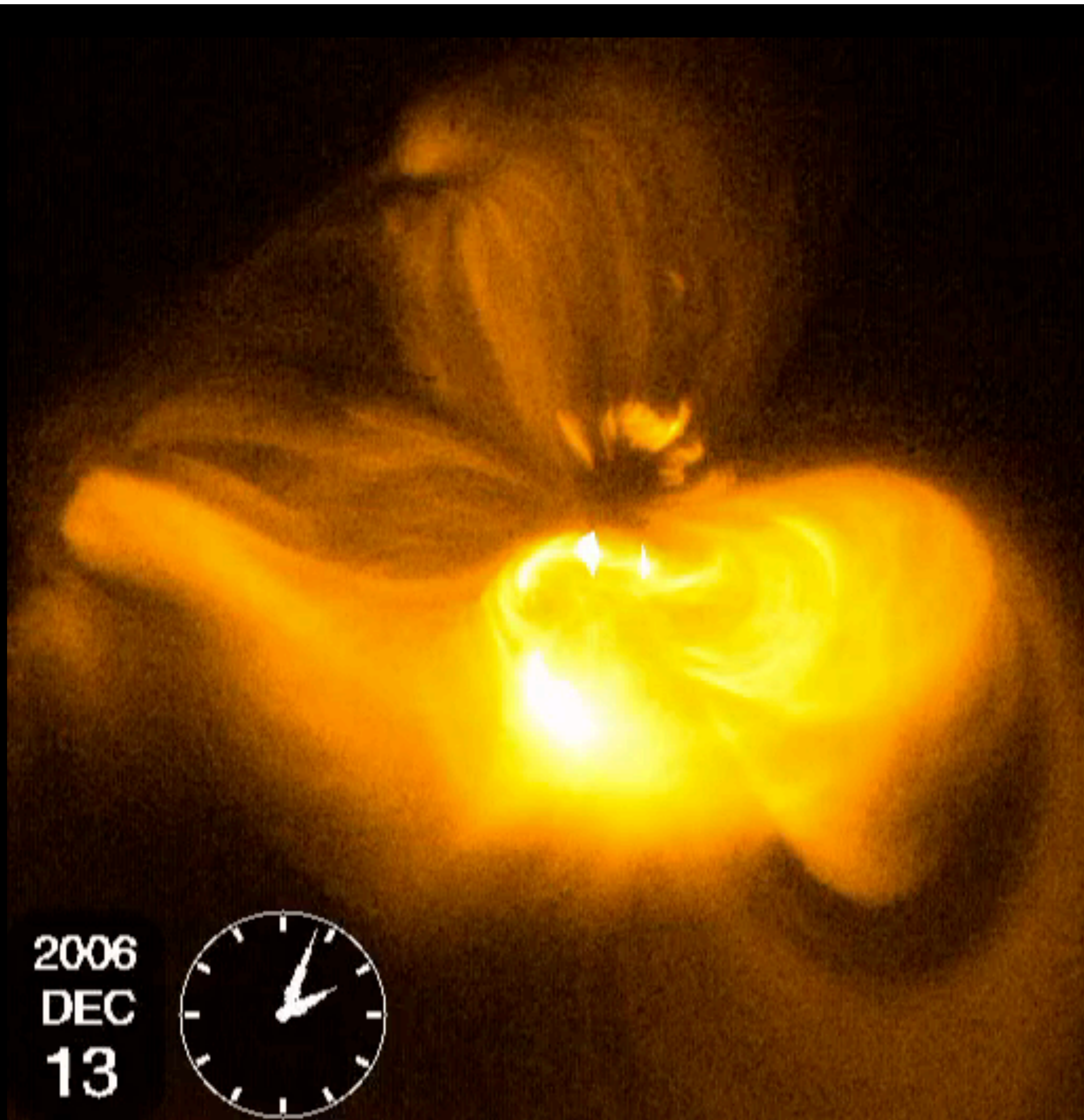
磁場のエネ
ルギーでガ
スが100
万°C以上に
加熱されて
いる。



2017/3/28

31

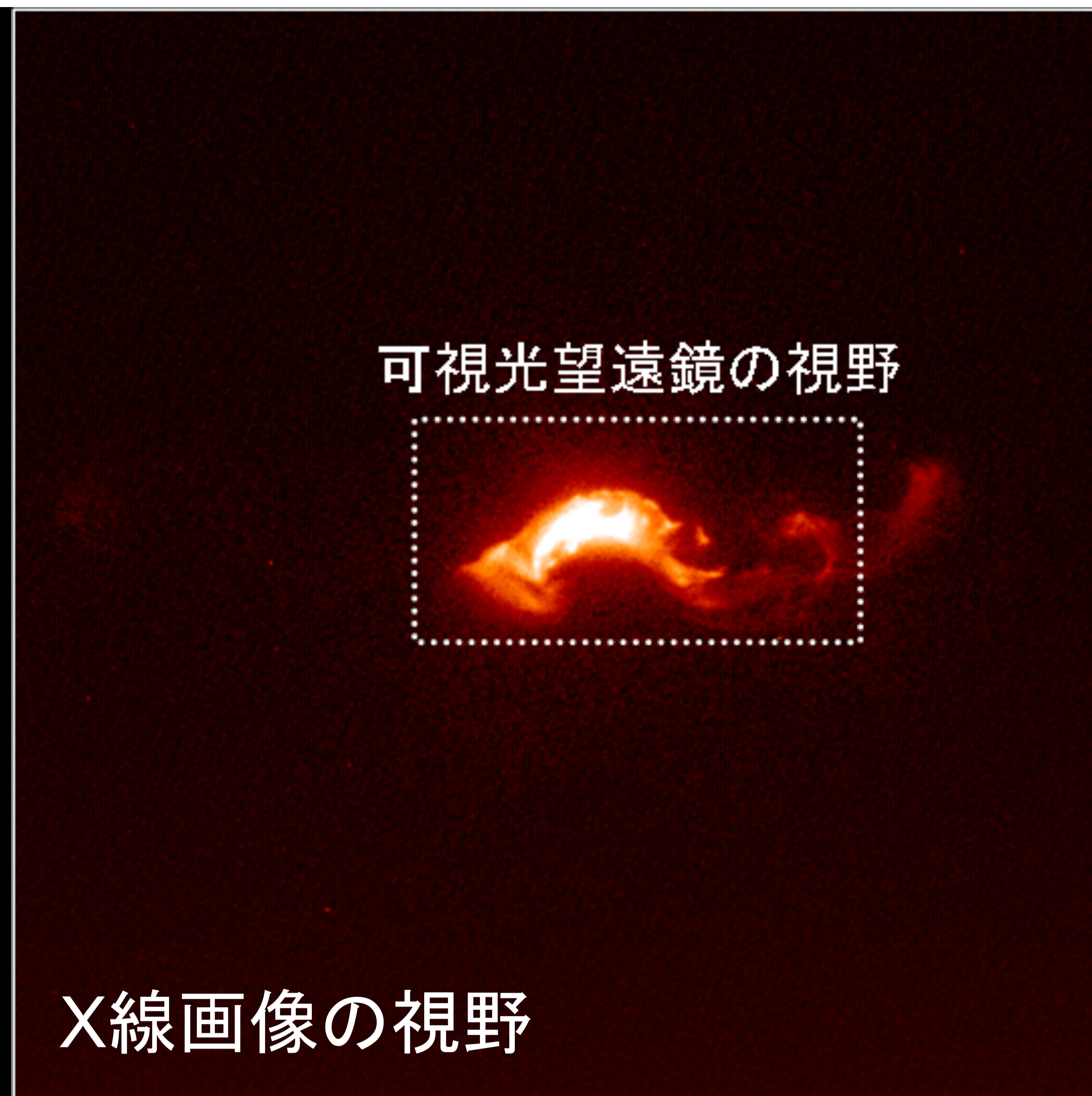
Hinode/XRT: 2007-01-03 16:19:03UT



2006
DEC
13



地球へも影響を及ぼす 巨大フレア

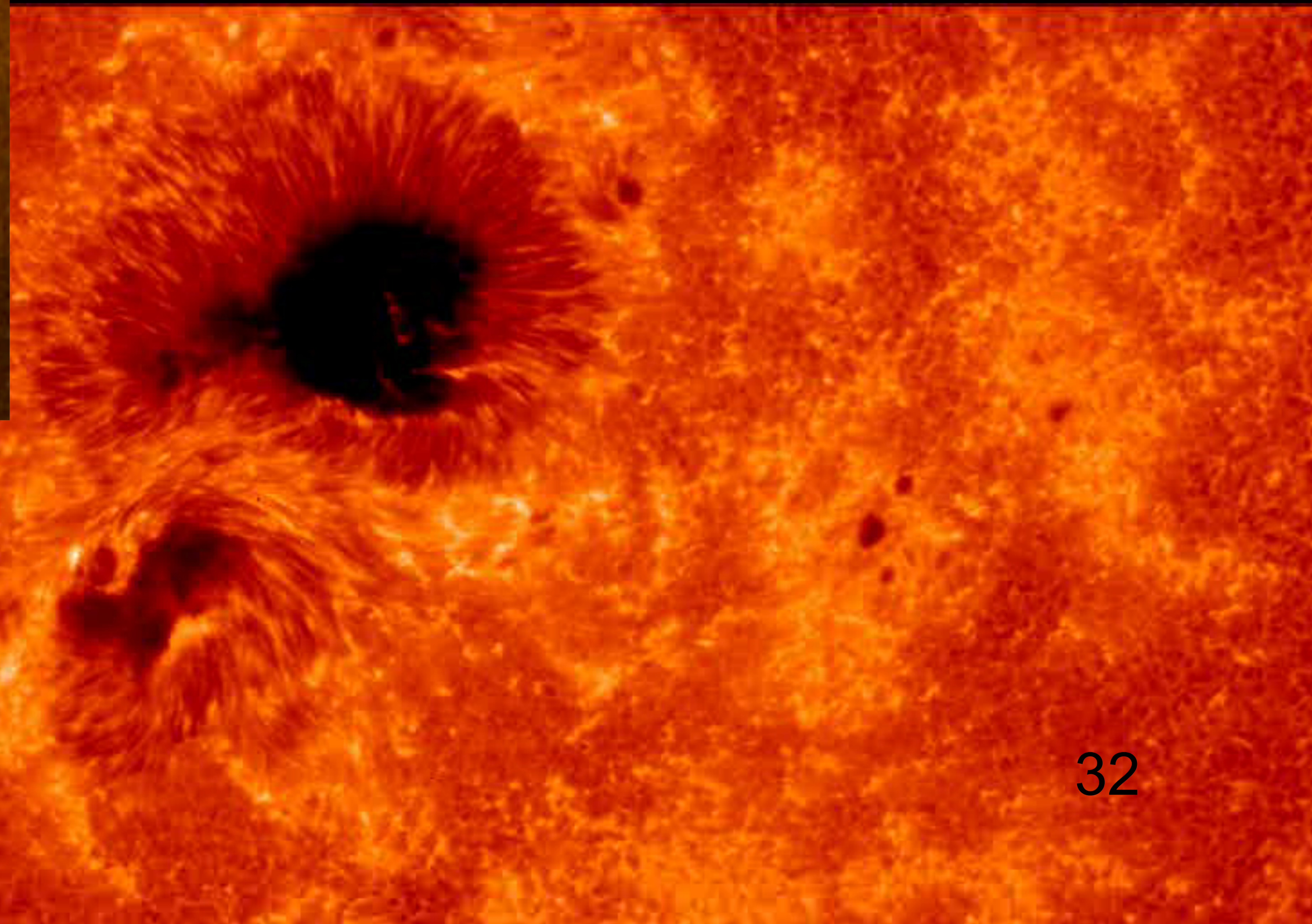


可視光望遠鏡の視野

X線画像の視野

軟X線：上空コロナ

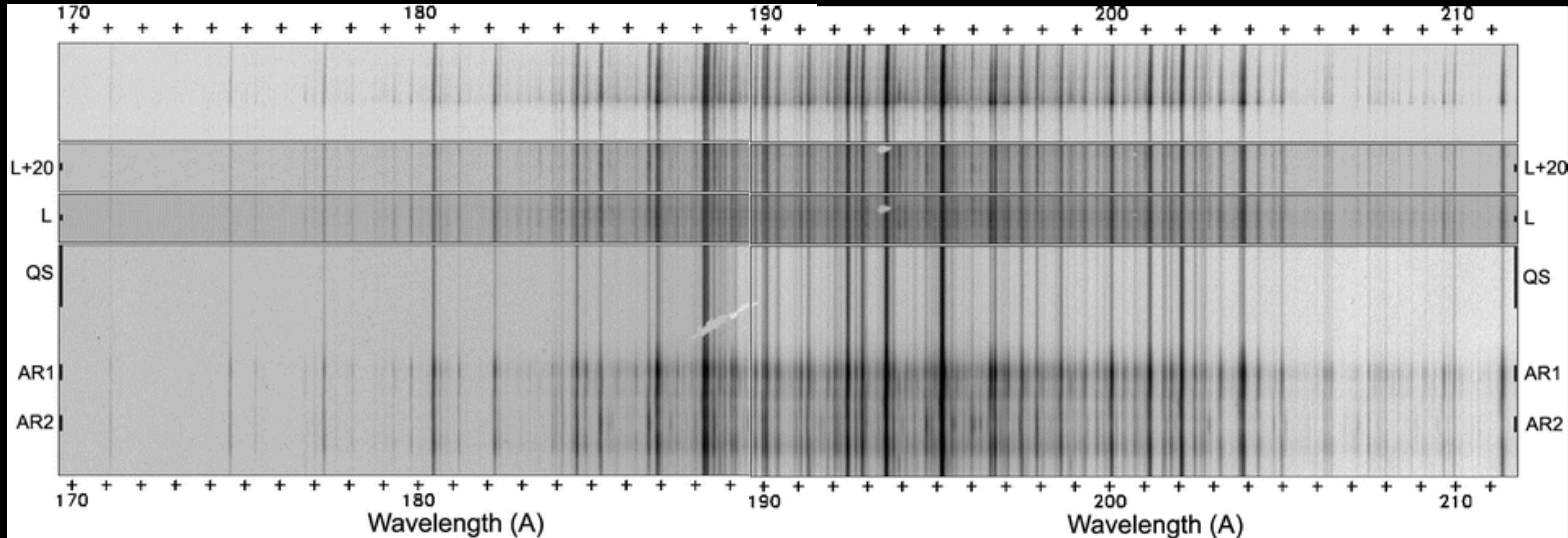
可視光：太陽表面(CaIIライン)



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) は、集光鏡、スリット、グレーティング、CCD検出器から成る分光器。**171-211Å, 245-291Åの紫外線2バンドを分光。コロナー遷移層起源の輝線。**

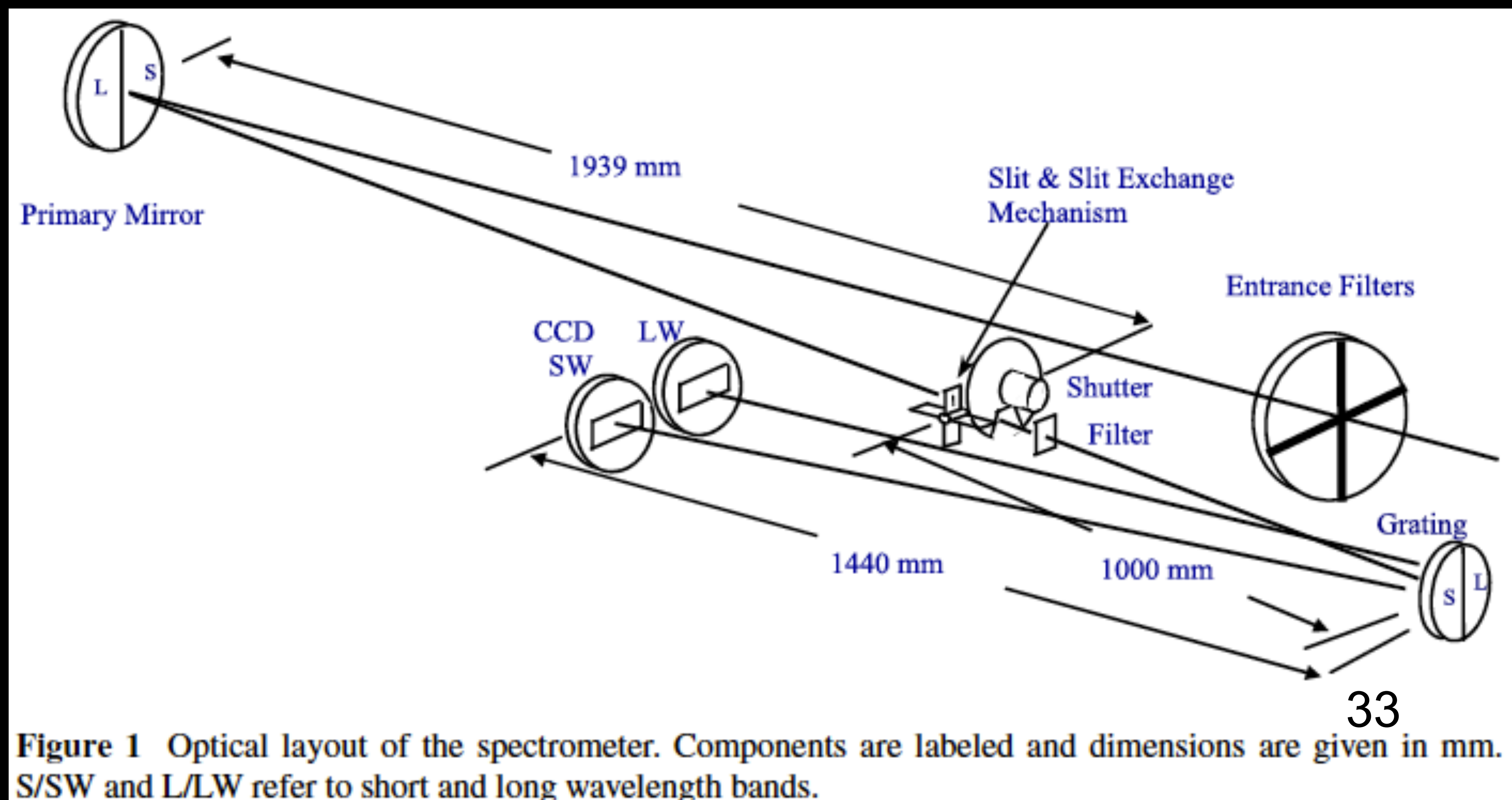


Figure 1 Optical layout of the spectrometer. Components are labeled and dimensions are given in mm. S/SW and L/LW refer to short and long wavelength bands.

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)

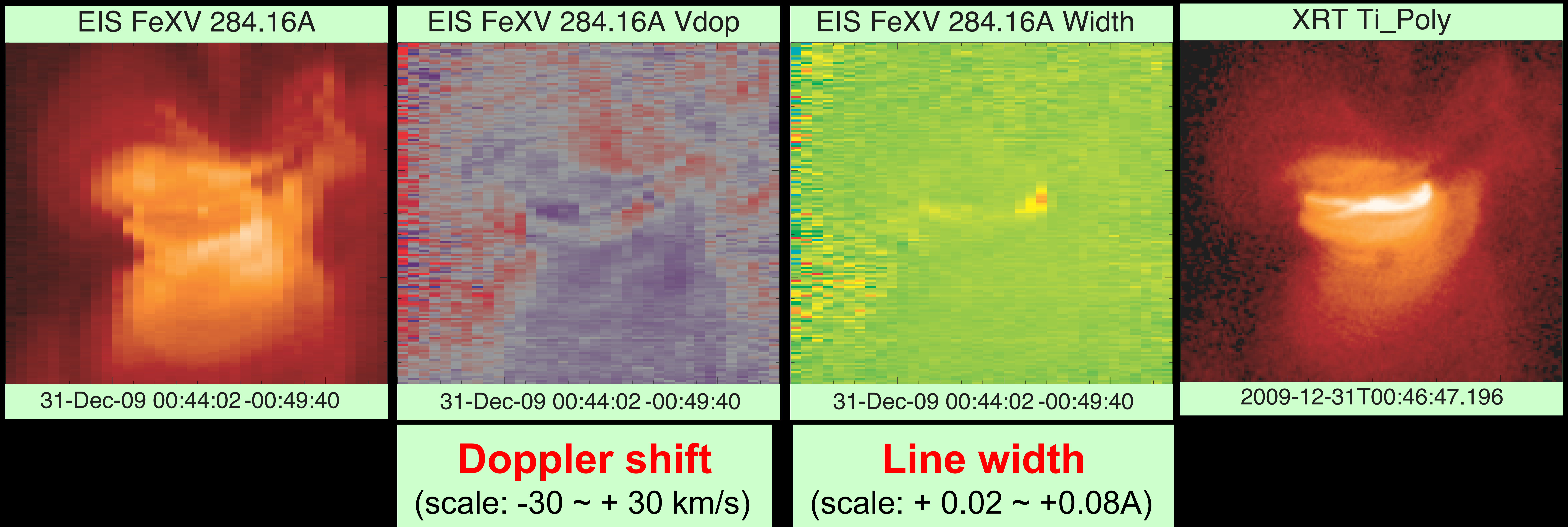
軟X線画像
強度

輝線強度

視線速度

輝線幅(乱流成分)

強度



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

極紫外線輝線分光のプラズマ診断

例

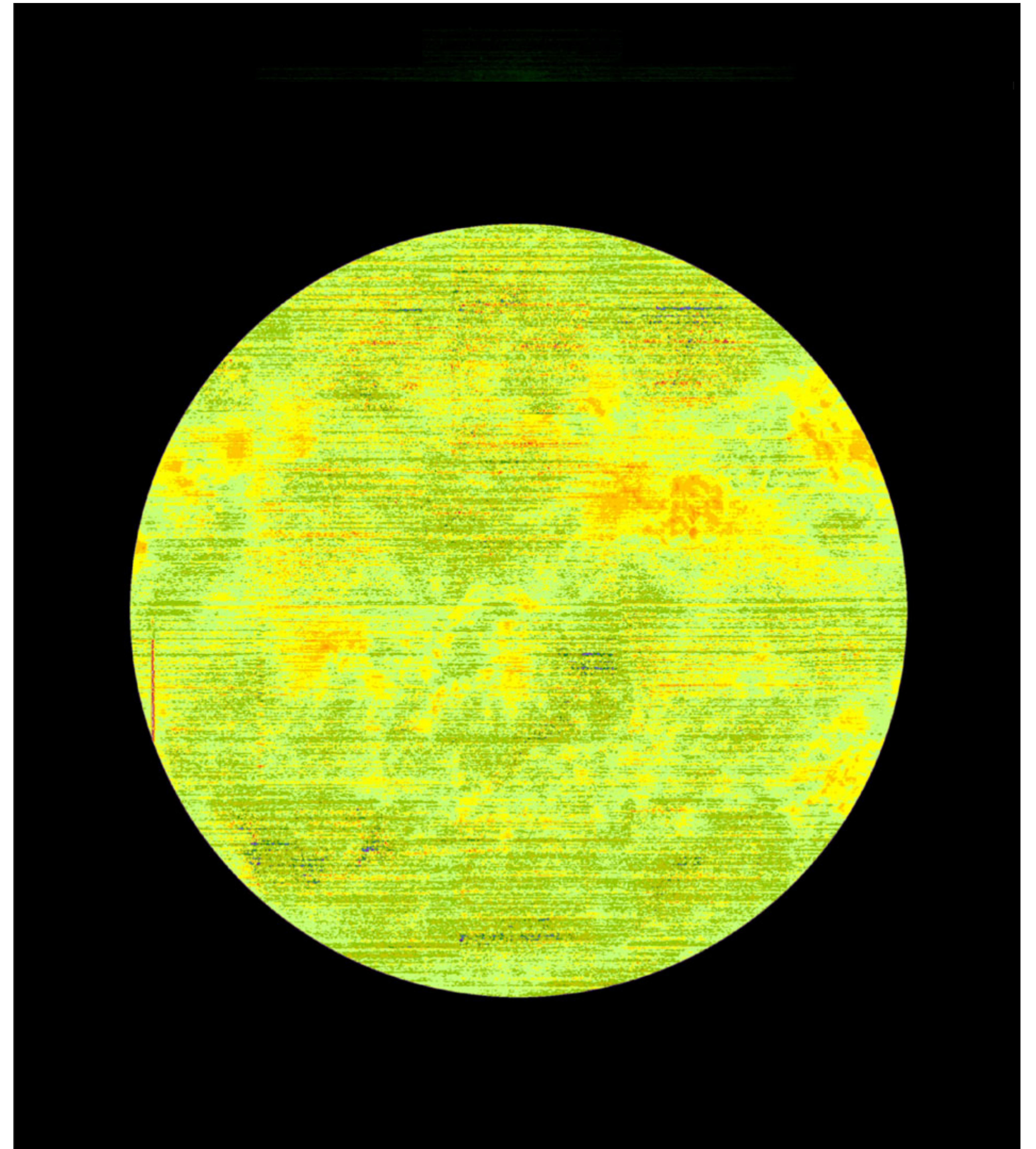
Brooks+15 Nature

“Full-Sun observations for identifying the source of the slow solar wind”

16–18 January 2013

EIS

slit obs for the full Sun
(c.f., HOP130: slot)

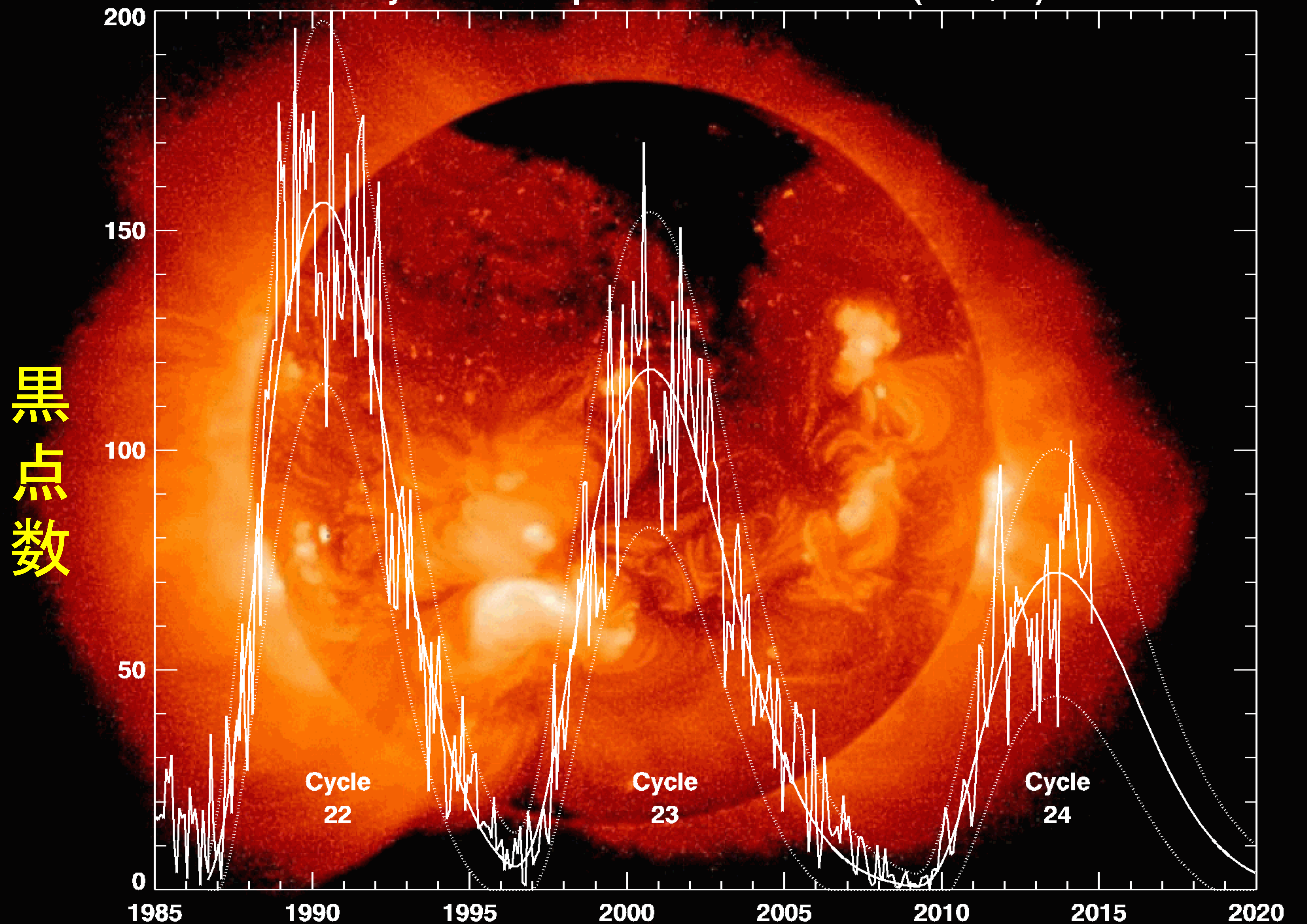


FIP bias



太陽活動: 約11年の周期活動性

Cycle 24 Sunspot Number Prediction (2014/11)

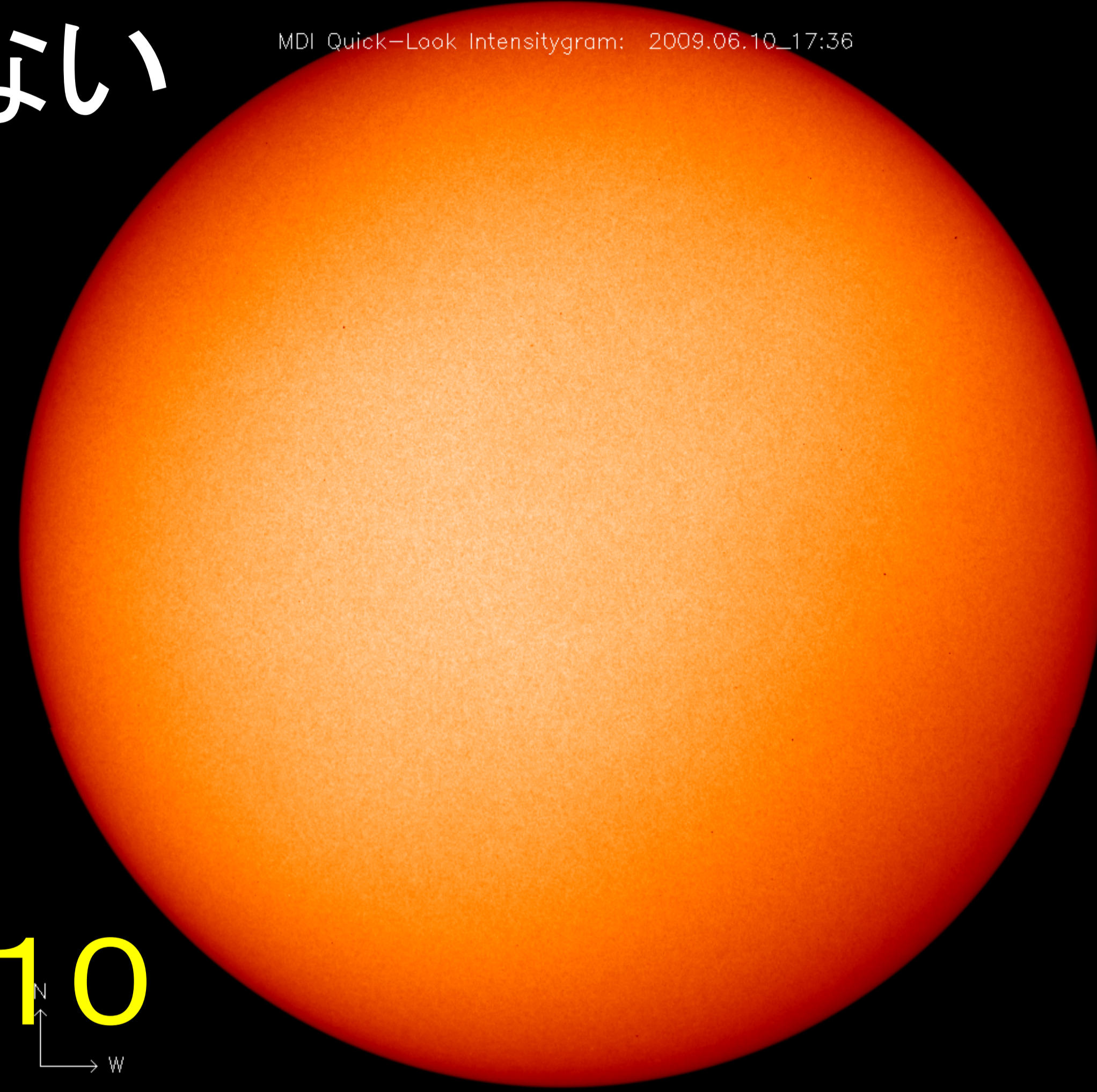


黒点数

増たり減ったりする 黒点(太陽磁場の浮上活動)数

極小期

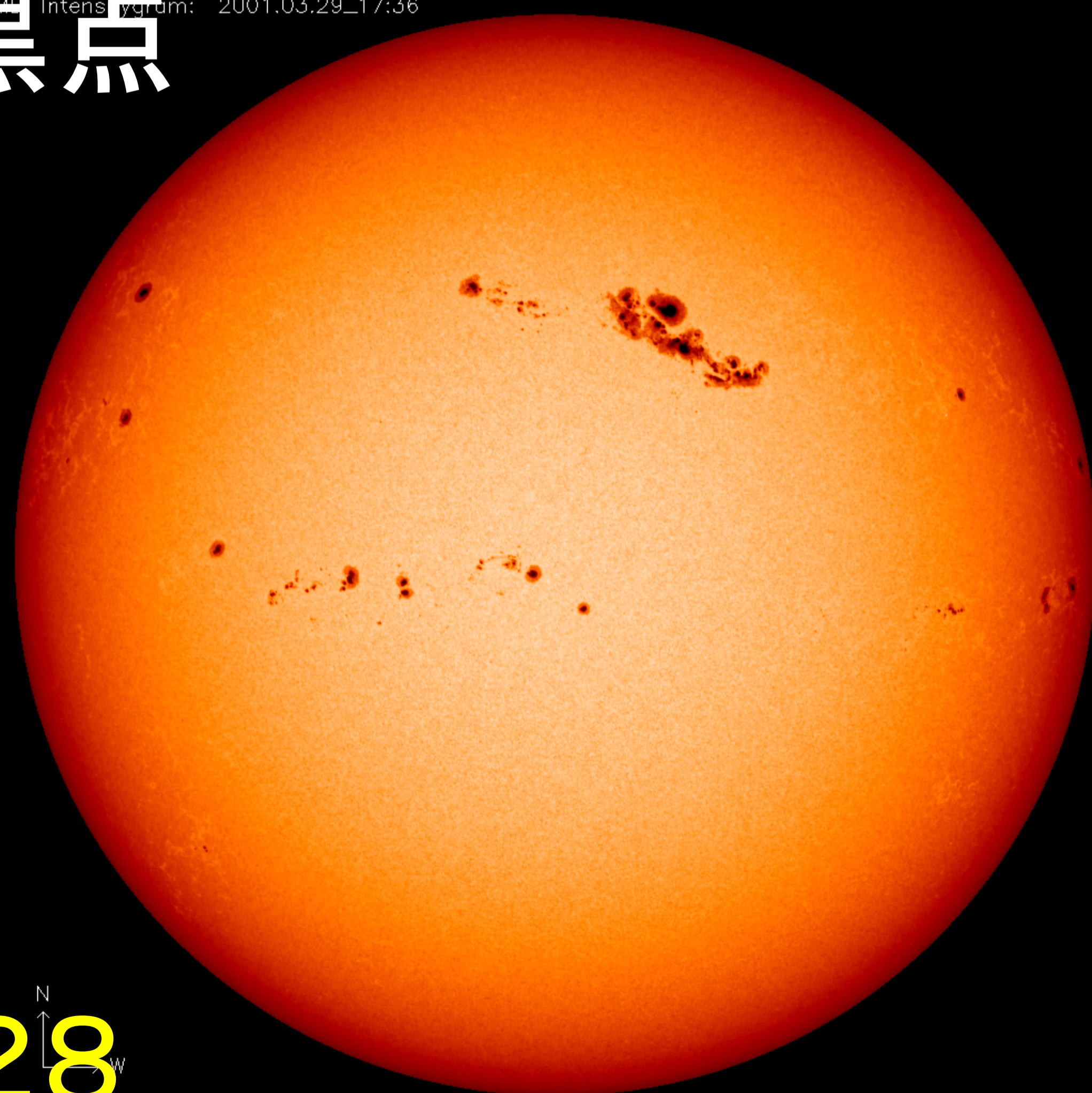
黒点が少ない



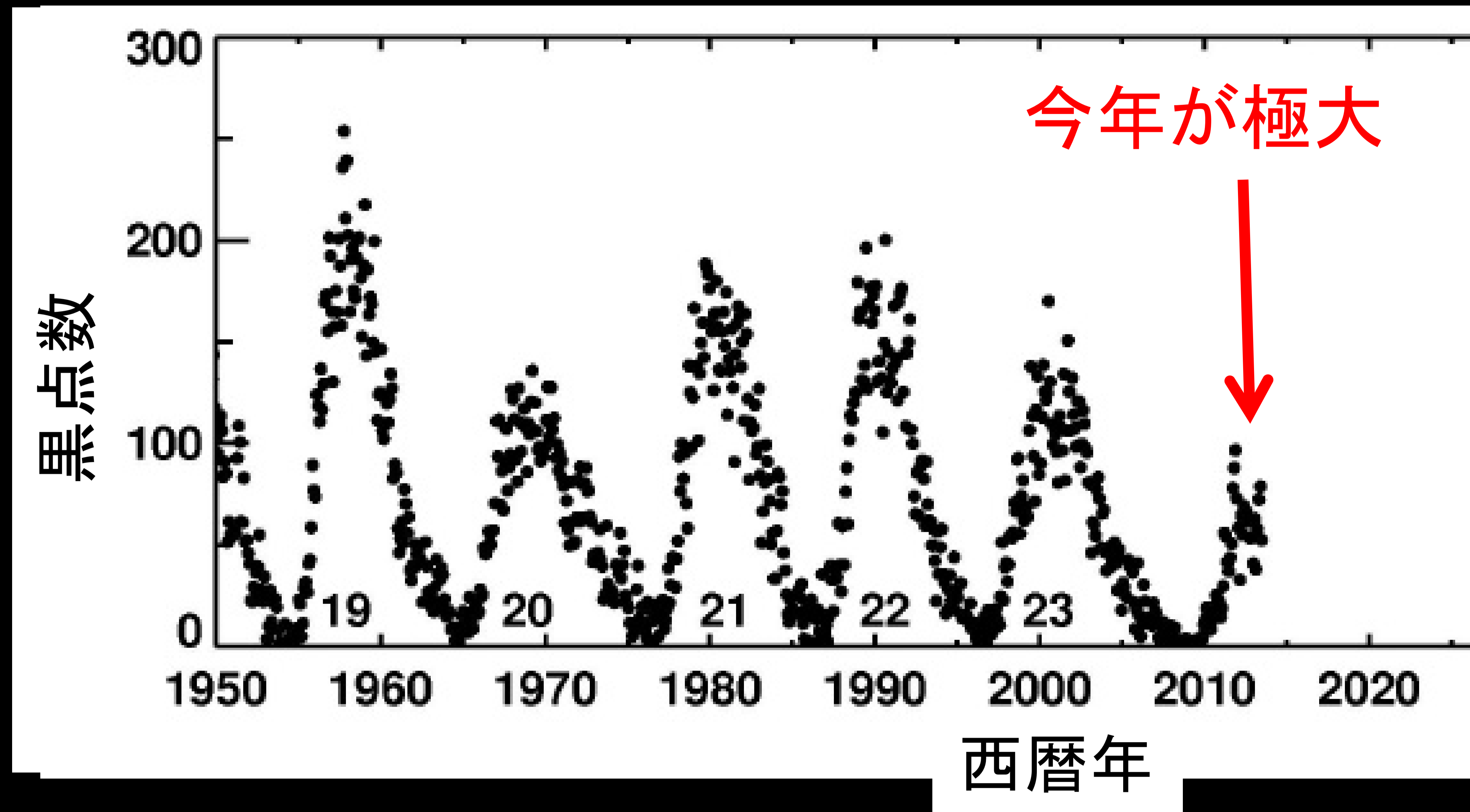
2009. 6. 10

極大期

たくさんの黒点

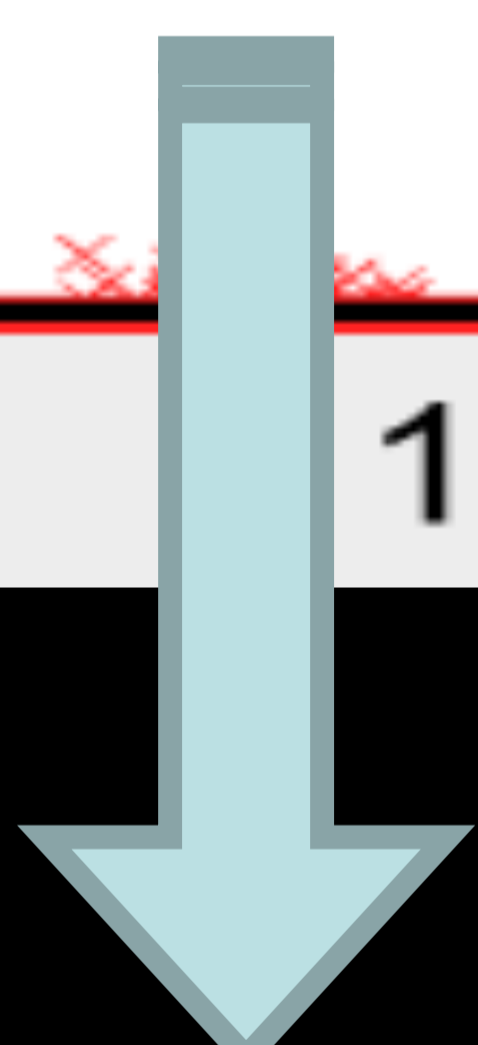
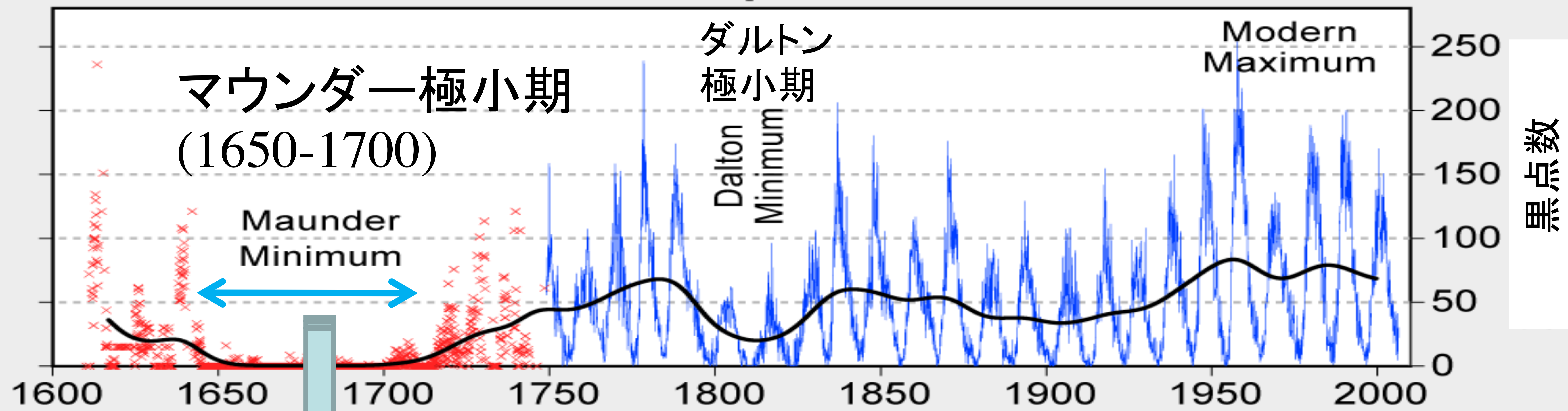


2001. 3. 28



約11年の周期性 = 太陽サイクル
近年、特異な兆候を示している

400 Years of Sunspot Observations



小氷河期



2017/3/28
テムズ川凍結

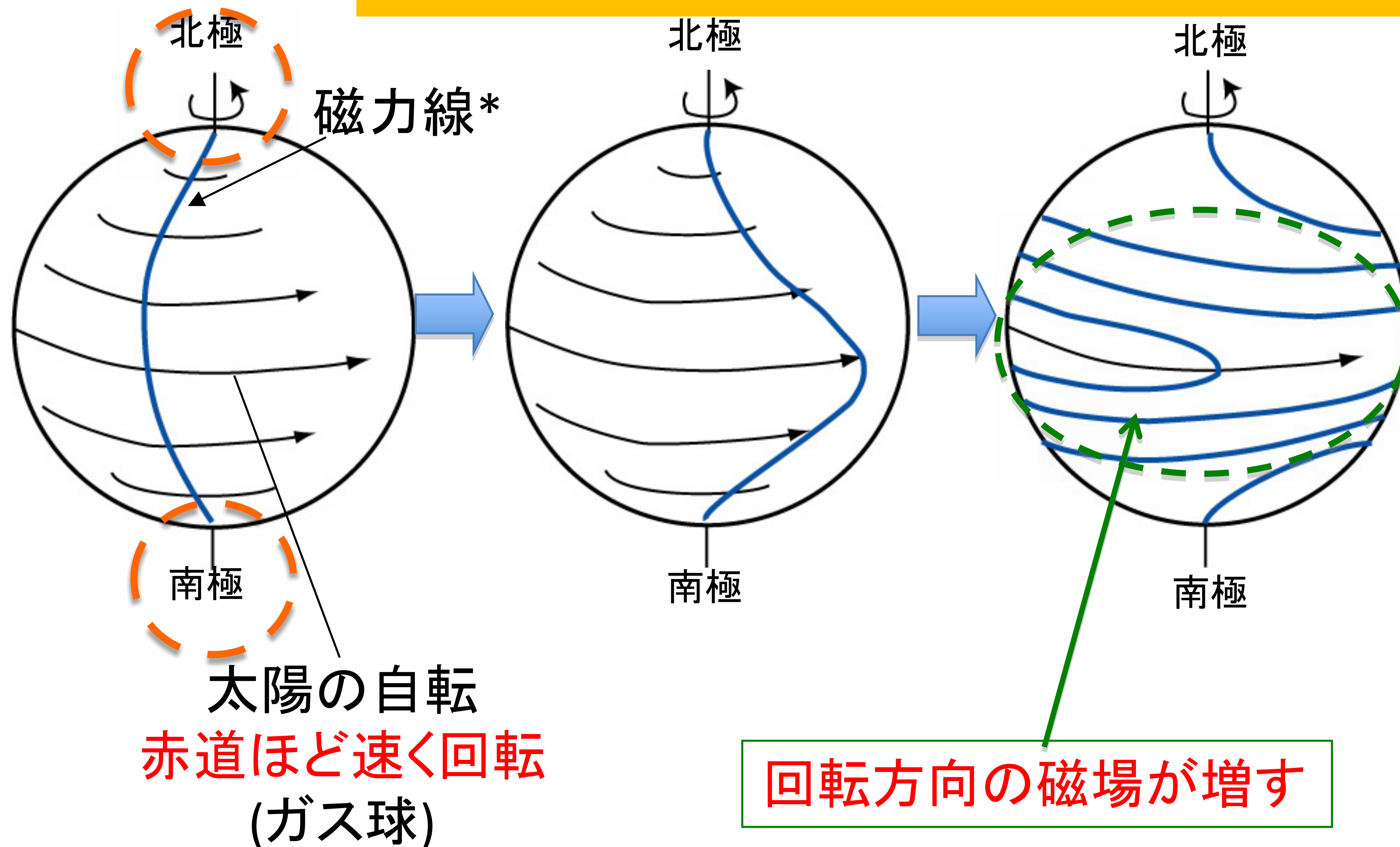


凍結したロンドン・テムズ川(絵画)

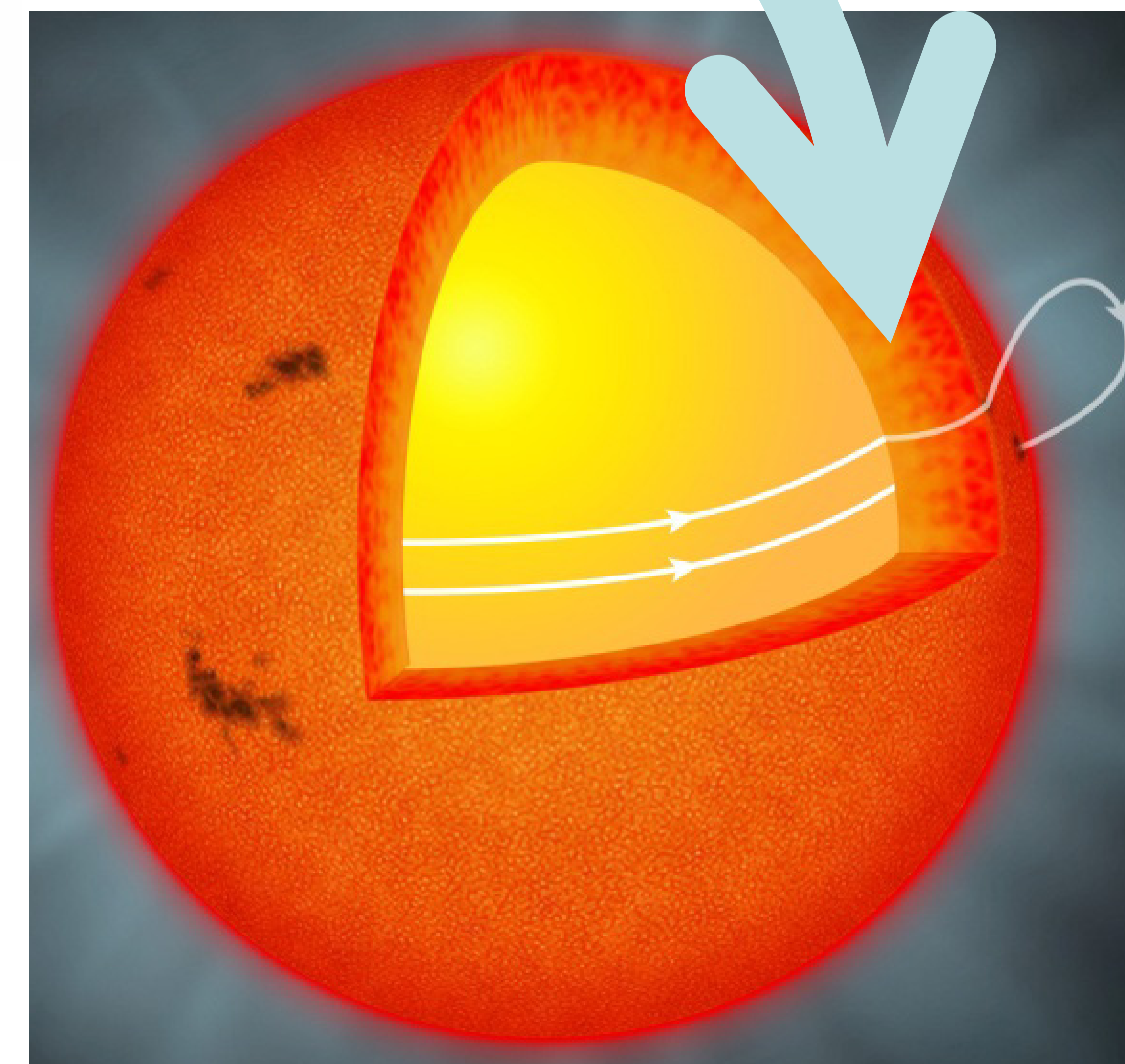
小氷河期
Little Ice Age

黒点(磁場)を太陽の中でつくる仕組みがあると考えられている: 「ダイナモ」

極域: 次の太陽周期に現れる黒点となる種磁場がある。ダイナモ理解にはこの観測は重要



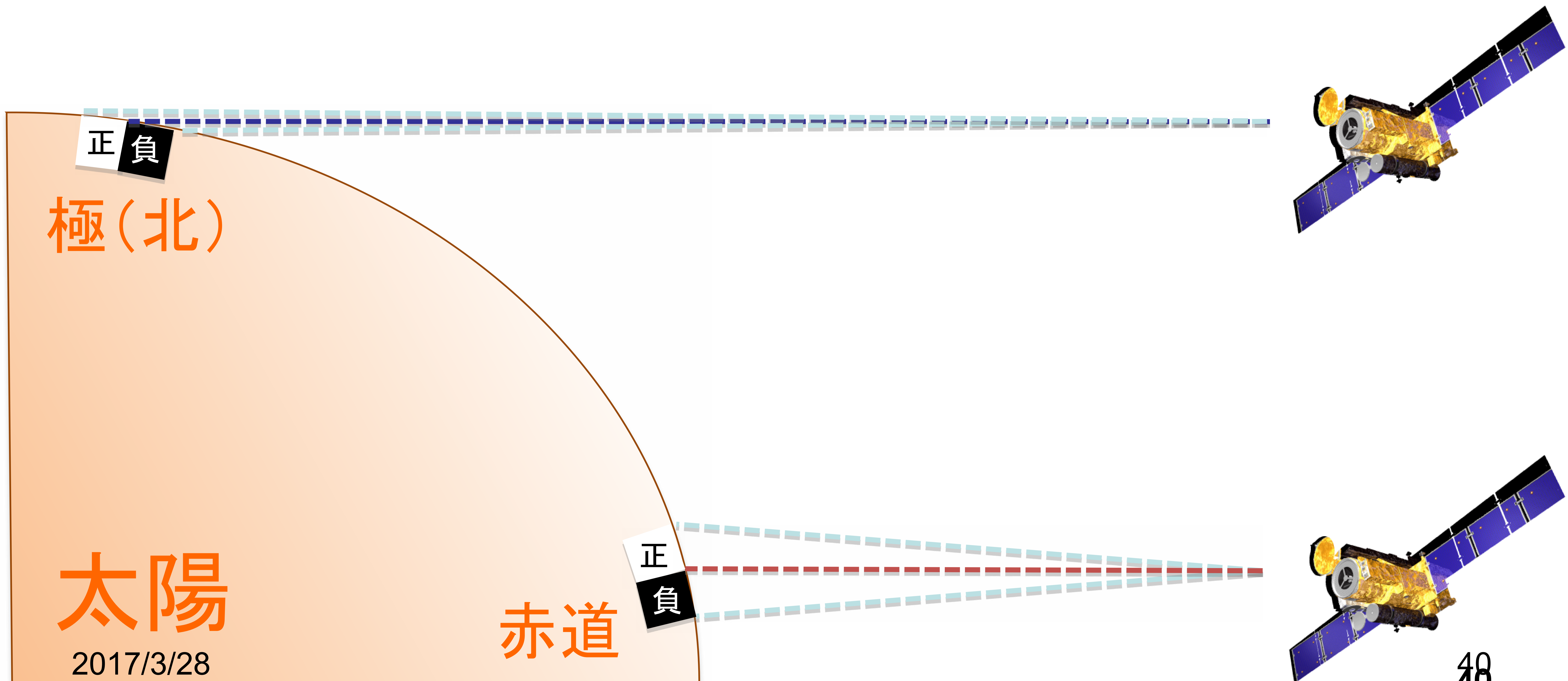
一部が浮かび上がって黒点に。



2017/3/28
太陽極大期: 次の太陽サイクルに向け、極域の磁極が反転

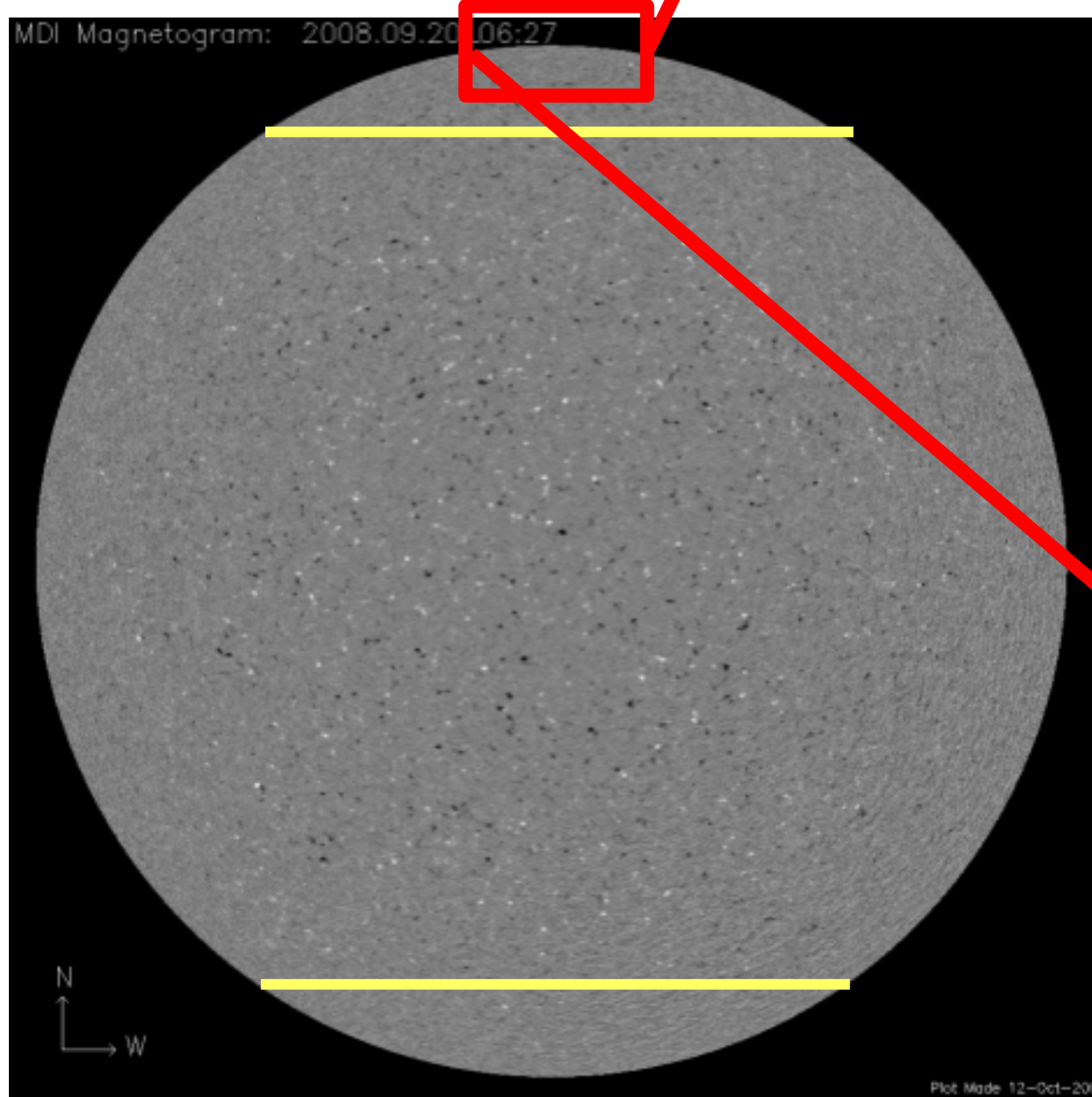
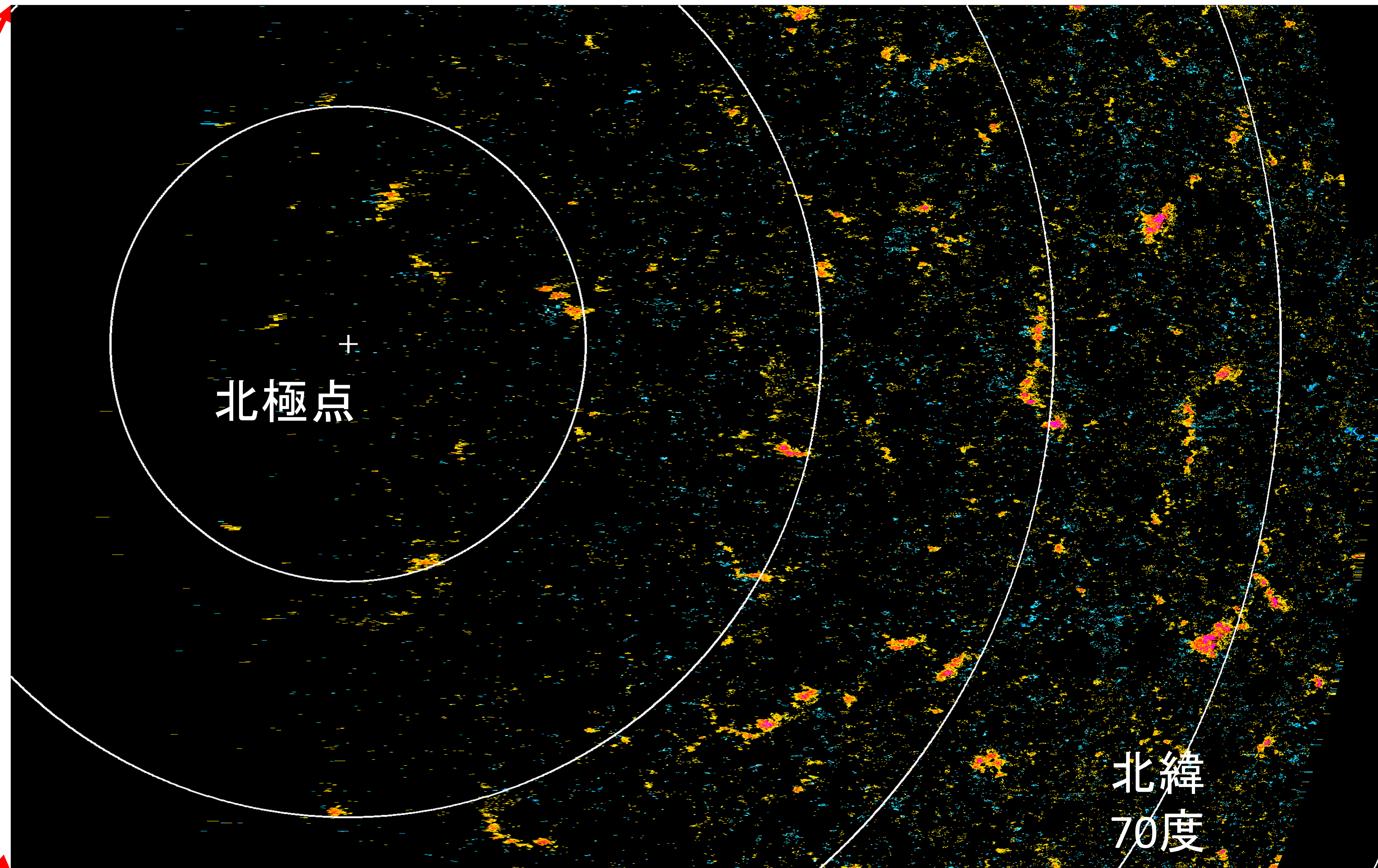
本当は、極地方の観測は難しい

例えば下図のような正極と負極を持つ磁場構造を分解するには、赤破線と青破線に挟まれた角度より高い分解能を持つ望遠鏡が必要。
「ひので」しか出来ない観測



「ひので」の極域磁場観測

極点上空から見たように座標変換して表示した磁場分布

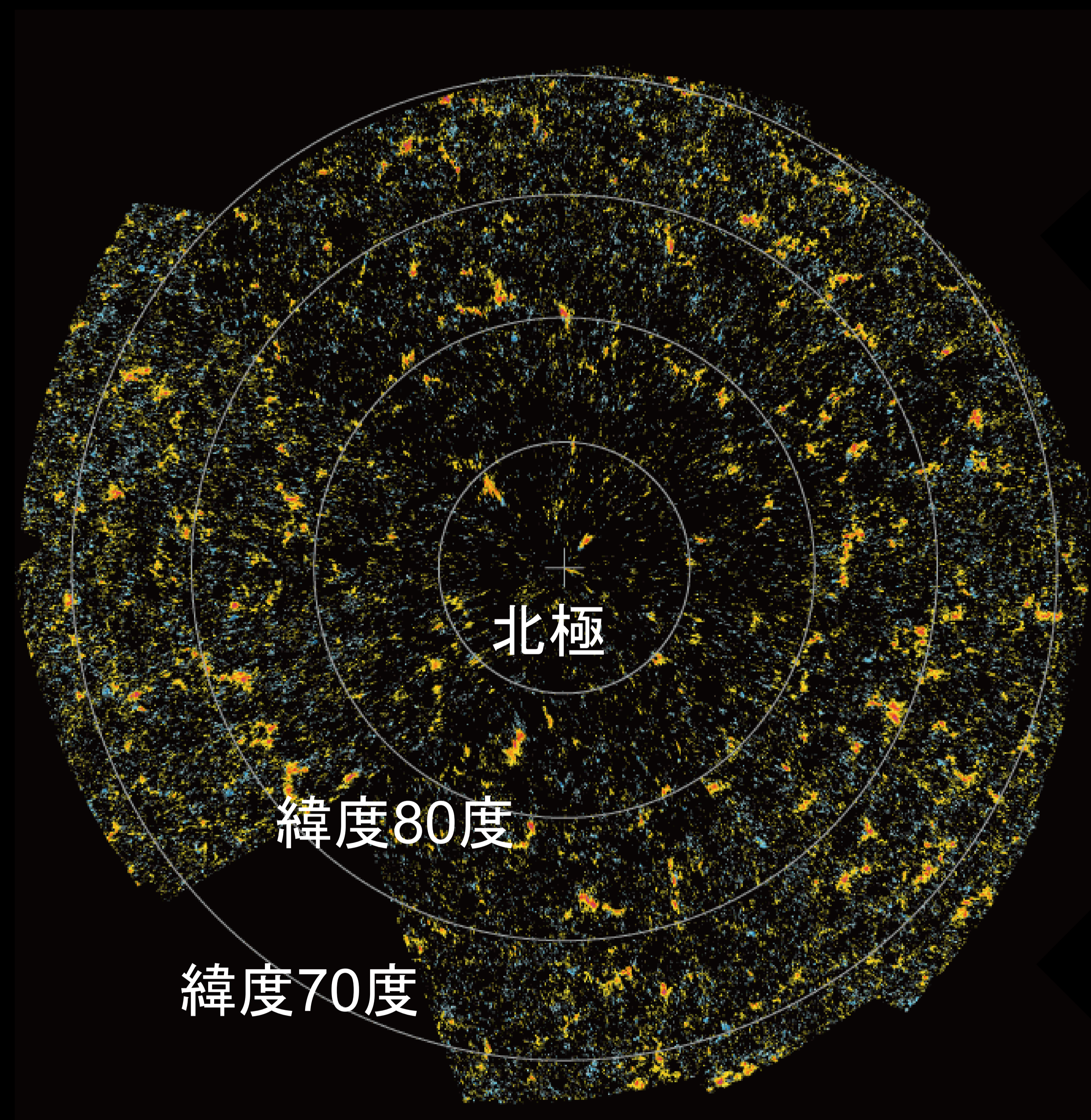


太陽極域の中心部
緯度70度より極側の領域の中の磁場分布を
分解できる

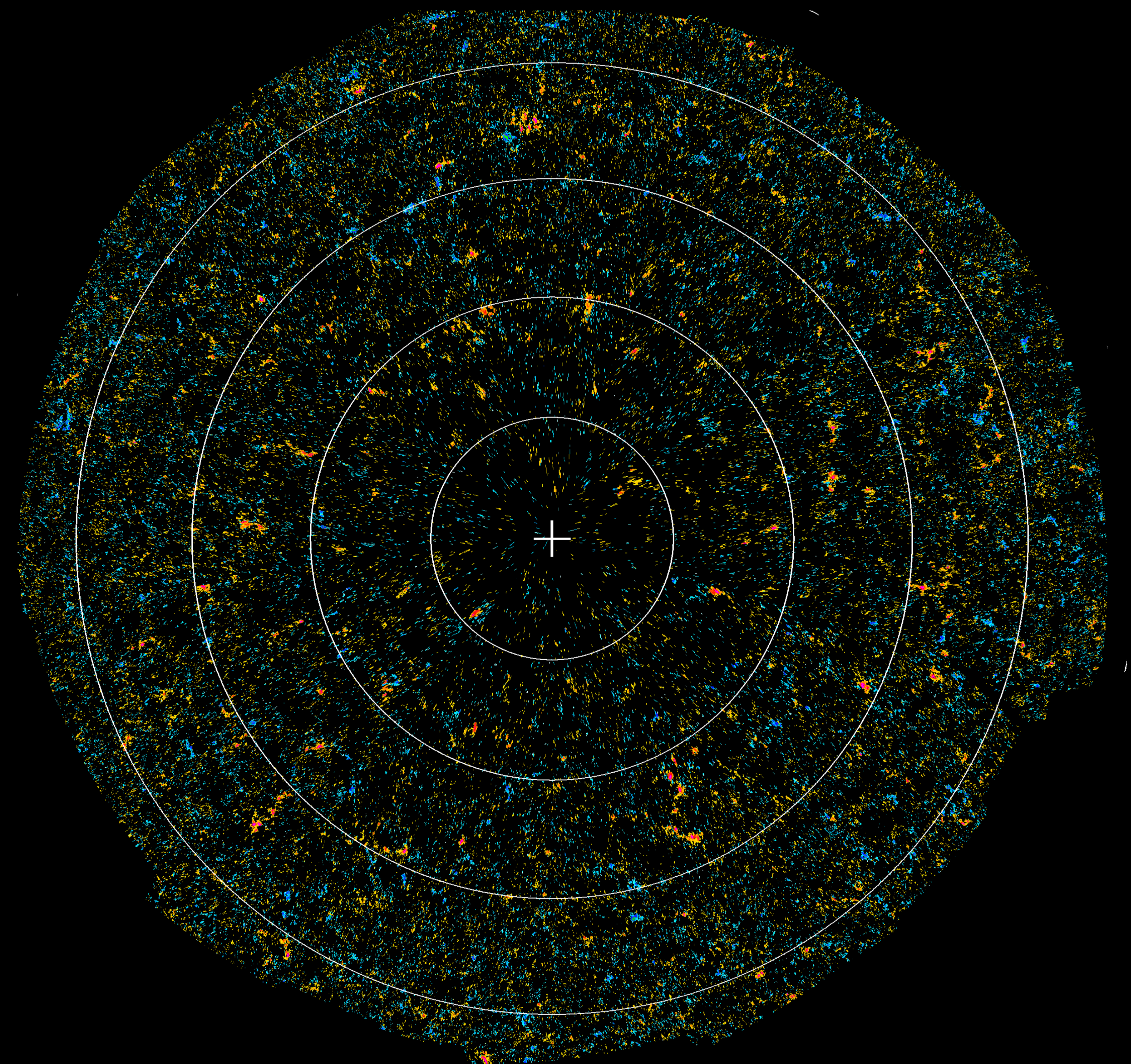
2017/3/28

「ひので」が見た北極の磁場

負極 ←B→ 正極

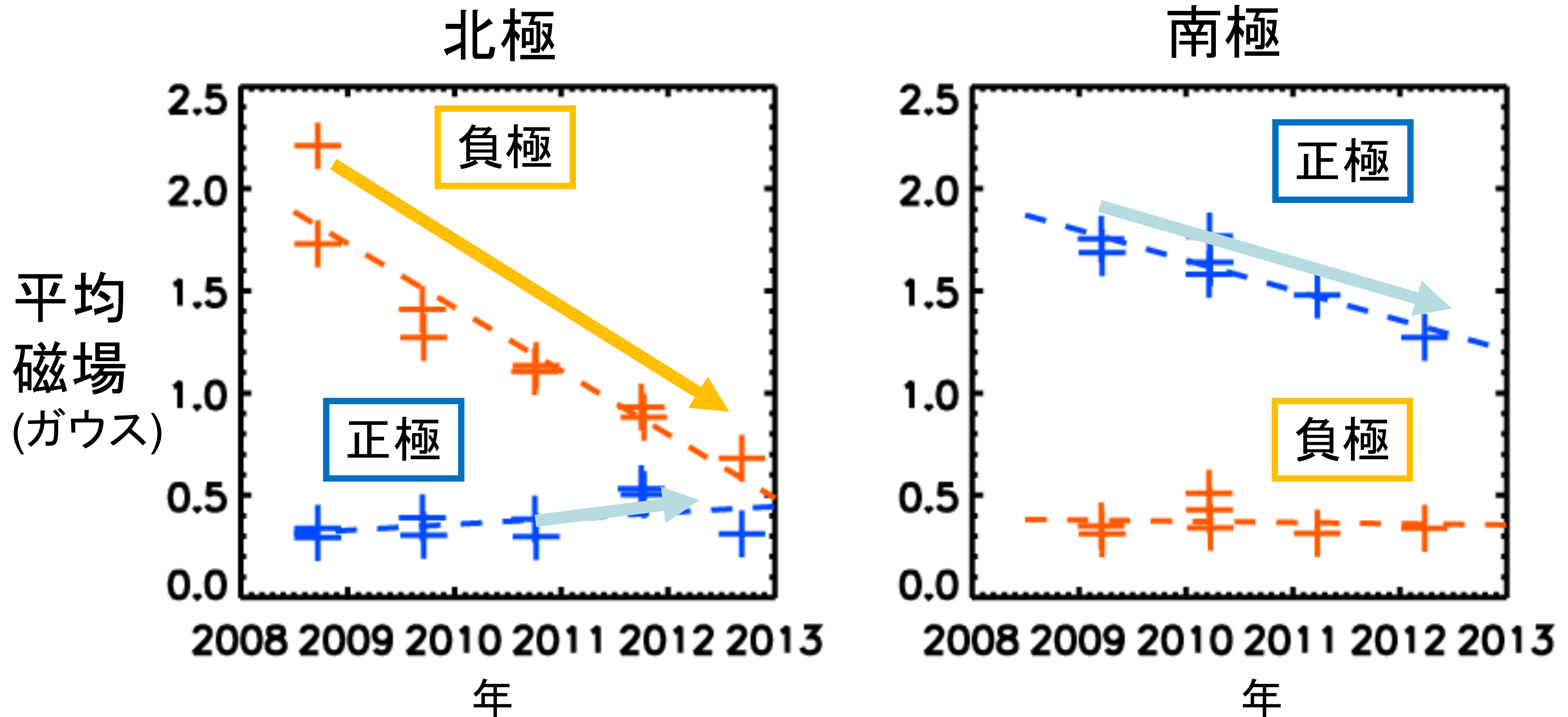


2007年9月



2012年9月

「ひので」がとらえた極域磁場の経年変化



- 北極 — 負極が急速に減少、2013年に極性の反転
- 南極 — 正極の減少はゆっくり

「ひので」をベースにした観測的研究テーマ

※ 宇宙研太陽グループ関係者が推進する研究テーマ

磁気リコネクション等 プラズマ基礎過程

- 様々な彩層ダイナミクスの起源
- 実験室プラズマ実験や地球磁気圏のリコネクションとの比較
- コロナの爆発的ダイナミクス (マイクロフレア等) の磁氣的起源

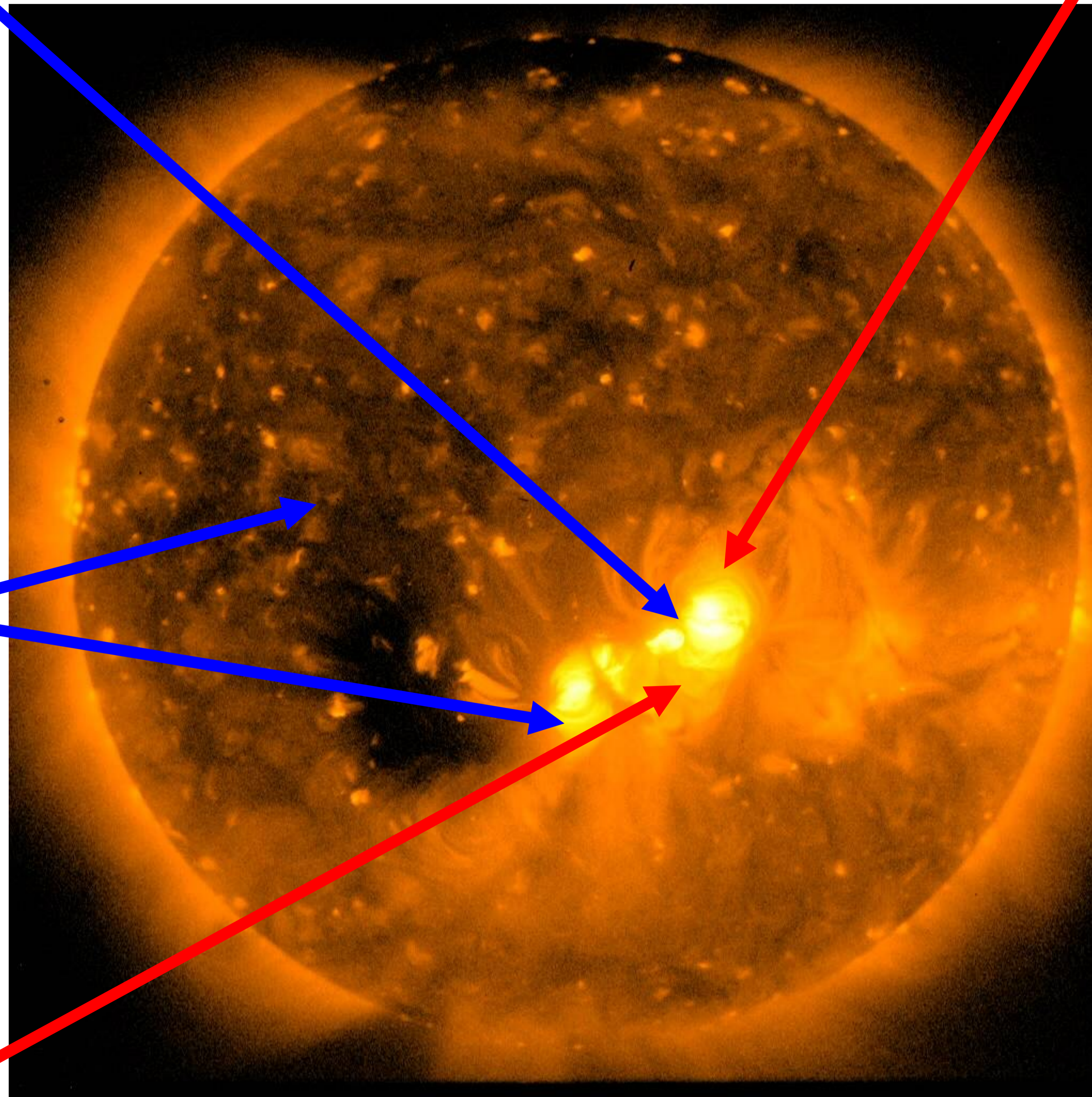
太陽磁場構造の動的 形成・発展過程

- 黒点・活動領域の浮上・形成および磁場崩壊過程
- 静穏領域の3次元磁場のダイナミクス

爆発現象の基礎過程

- 光球・彩層磁場のダイナミクスとフレアのエネルギー蓄積・発生
- 白色フレアと粒子加速機構

軟X線で見た太陽



彩層・コロナの加熱、 太陽風加速過程

- 活動領域コロナ (コロナループ) の加熱・ダイナミクス
- 彩層・コロナで発見された波動 (アルヴェン波)

太陽磁場のサイクル性

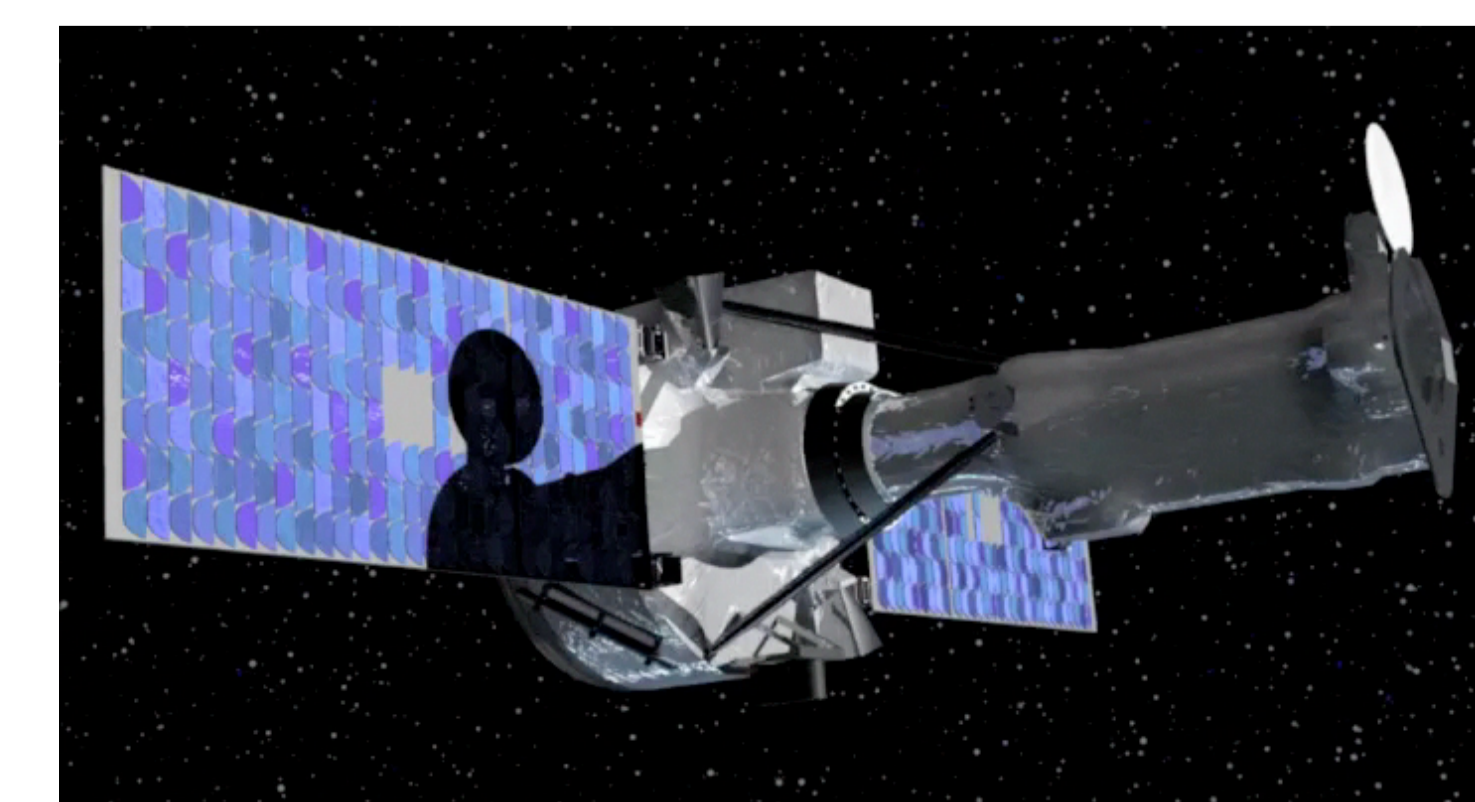
- >6年間蓄積された「ひので」磁場データに基づく、太陽磁場・速度場の長期変動の把握

太陽圏研究との連携

- 低速太陽風の流出源の同定
- 地球磁気圏のリコネクション研究との比較
- 「宇宙天気」研究

IRIS衛星・地上観測、実験 室プラズマ実験との連携 による研究の深化

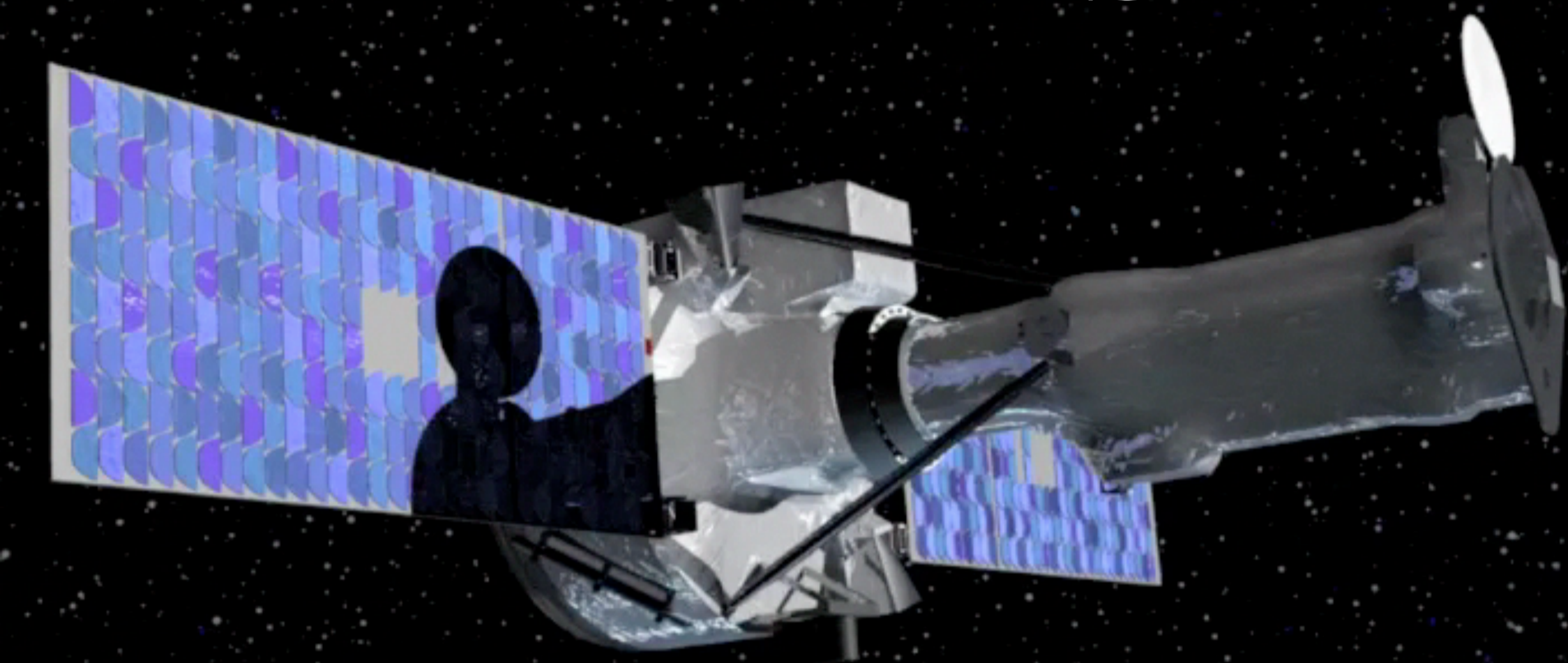
彩層分光を行うIRIS (2013.7に打上)



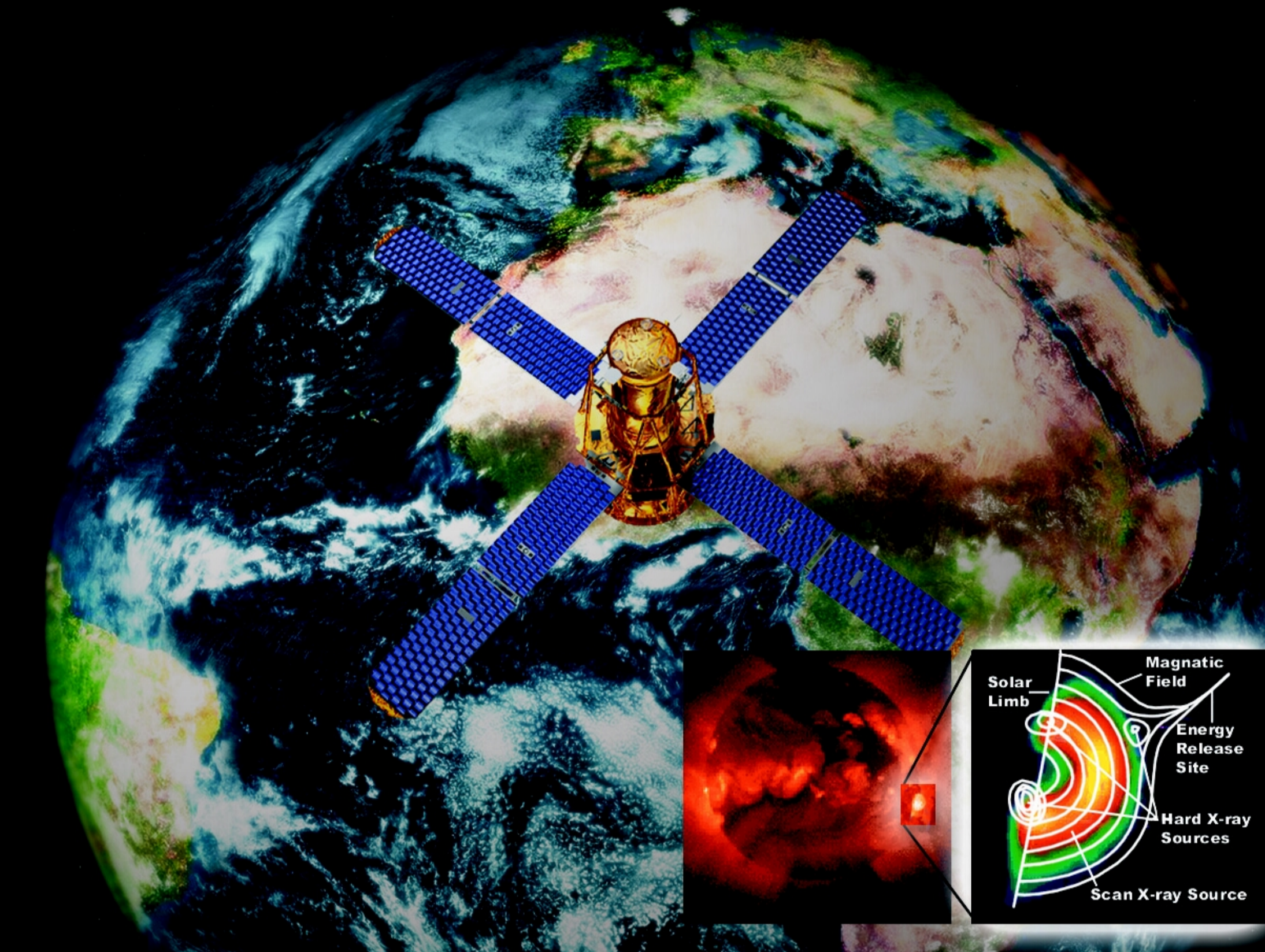
太陽観測の現在： 宇宙からの観測が全盛

2013-現在
(NASA)

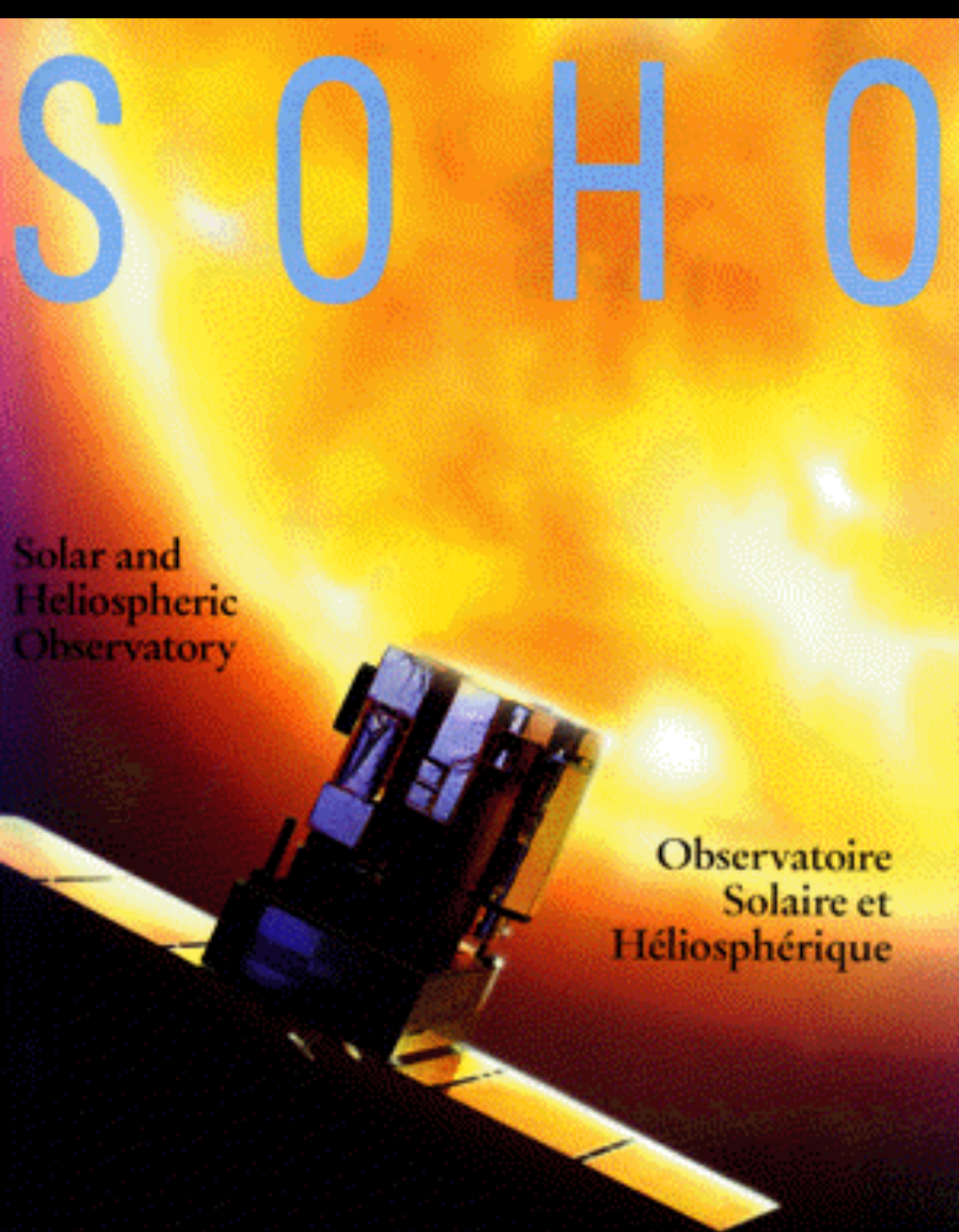
IRIS



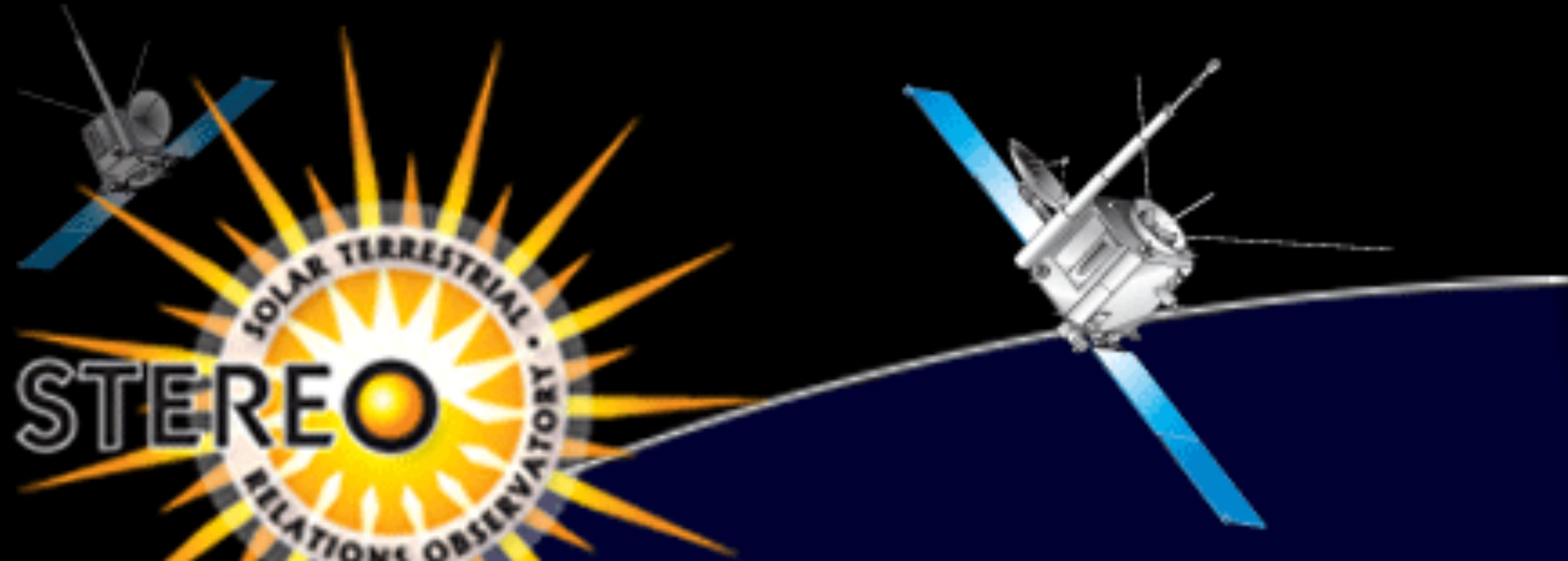
RHESSI 2002-現在
(NASA)



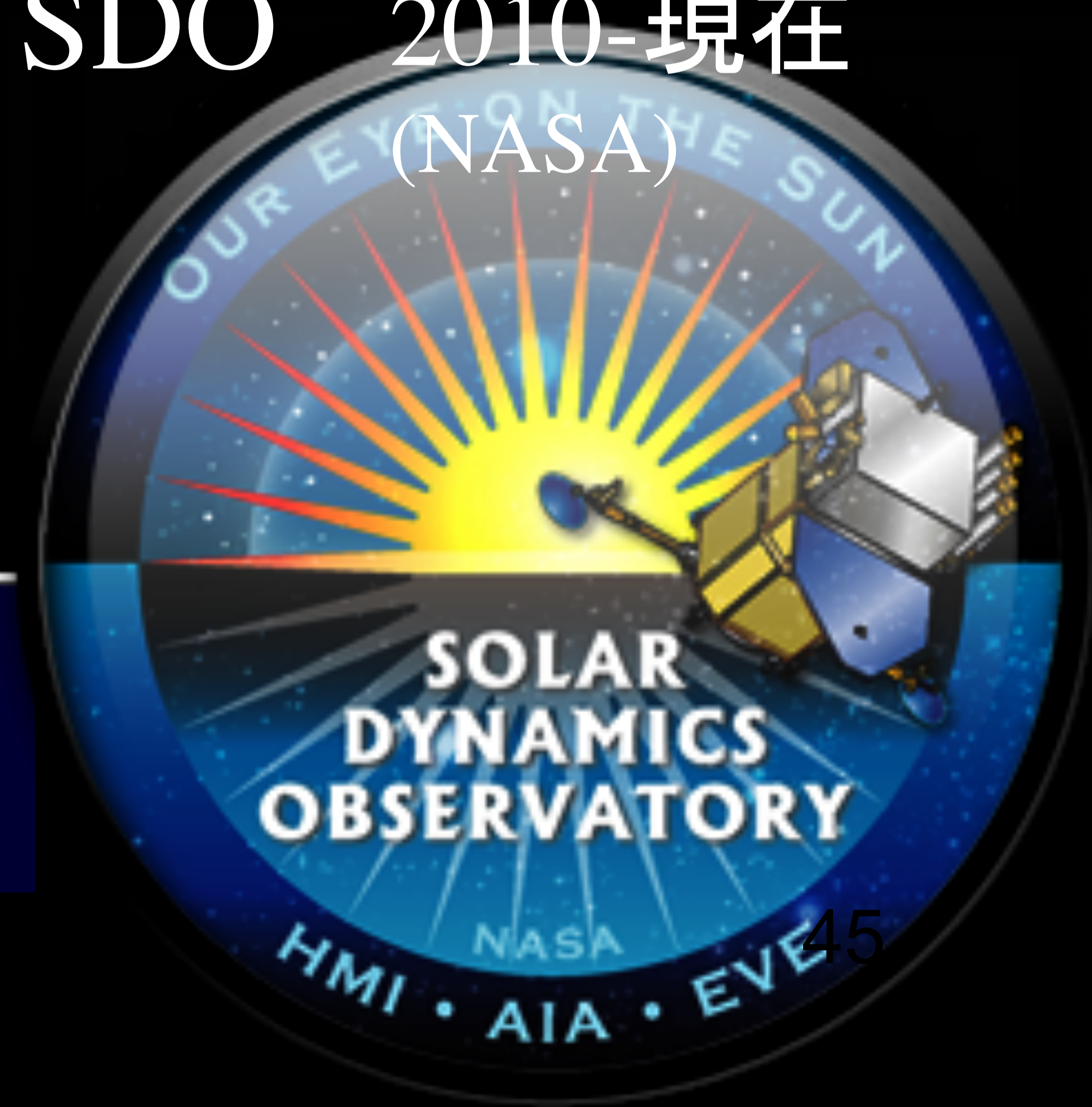
ひので (Hinode)



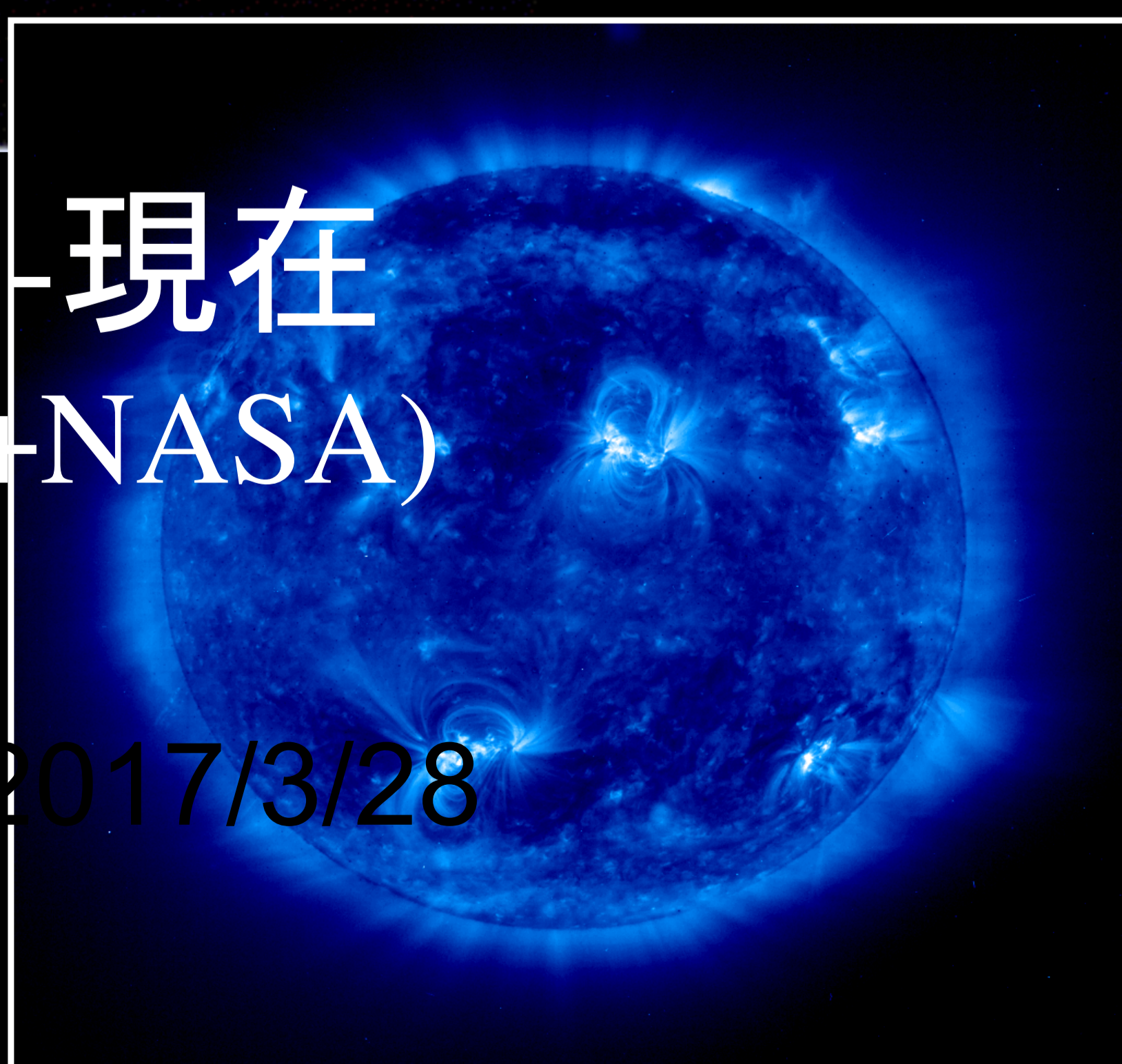
2007-現在
(NASA)



SDO 2010-現在
(NASA)



1995-現在
(ESA+NASA)



2017/3/28

「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で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

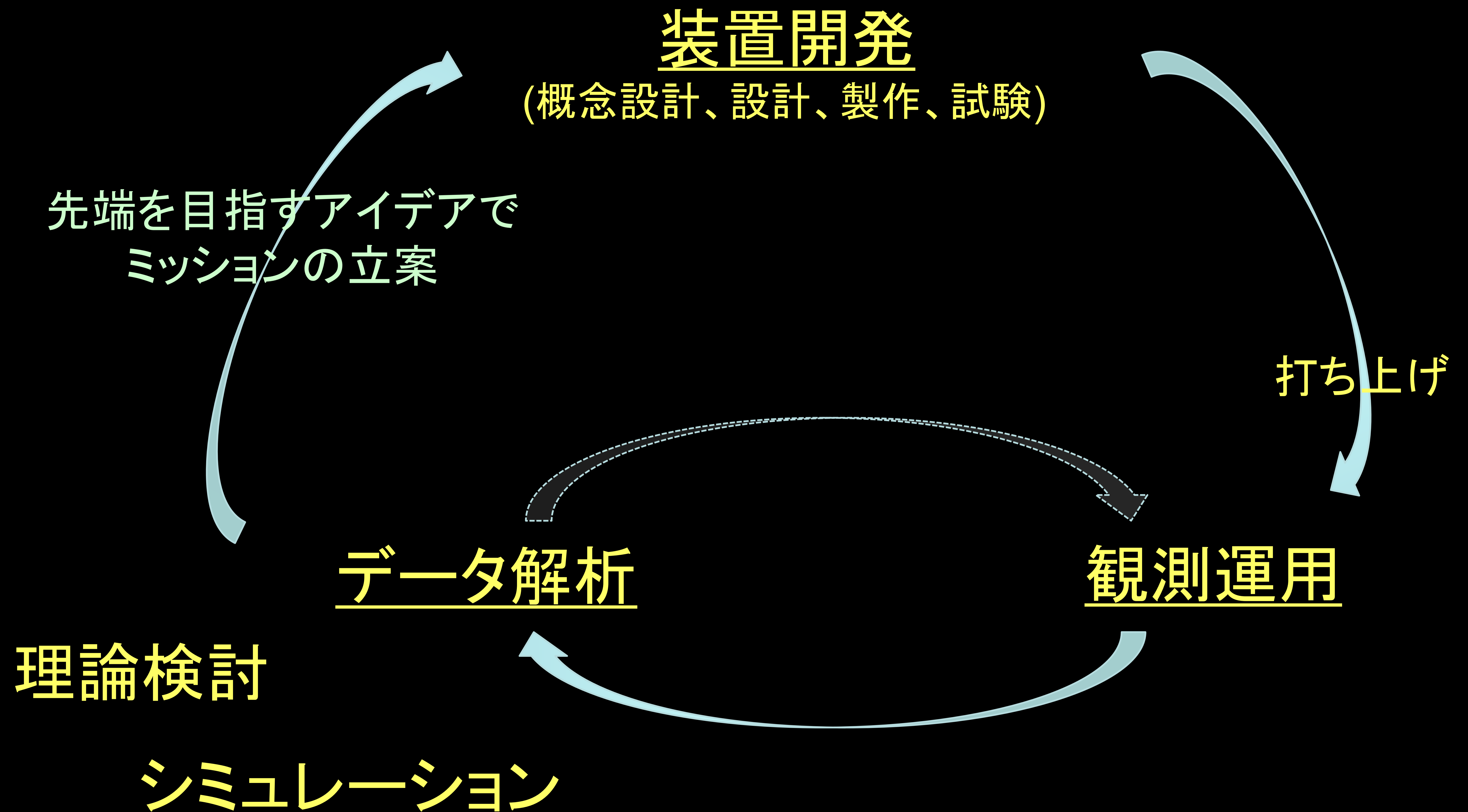
「ひので」の科学観測運用の様子 (NHK BSコズミックフロント番組から)



現在の観測運用の重点

1. 新しい観点からの太陽フレア観測
2. 極域磁場・太陽表面磁場の長期継続観測
 - 0.3”で初めて探る、周期活動(ダイナモ)の種磁場
3. IRIS 衛星(NASA)との共同観測連携
 - 彩層: 「ひので」撮像+「IRIS」分光診断
 - 2016.12~: 電波ALMA望遠鏡との連携

最後に、 宇宙空間からの観測的研究活動



周期が長いいため、タイミングによって大学院生時代における研究活動の重点部分が異なってくる。