

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)

2017年度 太陽研究最前線体験ツアー

2018.3.20

2018/3/20

1

太陽観測衛星「ひので」



2018/3/20

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)

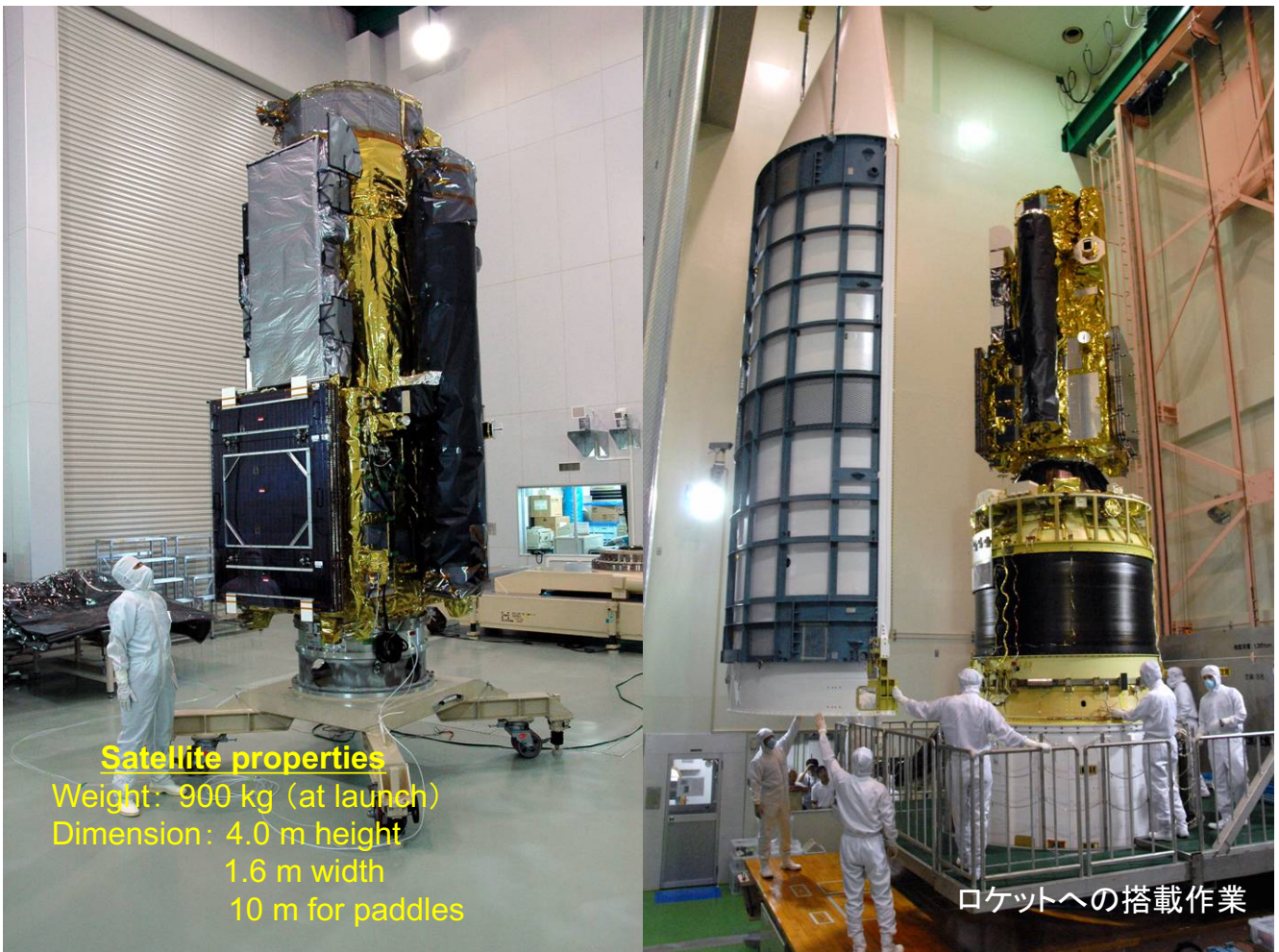
コロナ遷移層のプラズマ診断を行う
極紫外線撮像分光装置
(EIS)

コロナ構造の高解像度
(1秒角)観測を行う
X線望遠鏡(XRT)

2018/3/20

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。

3



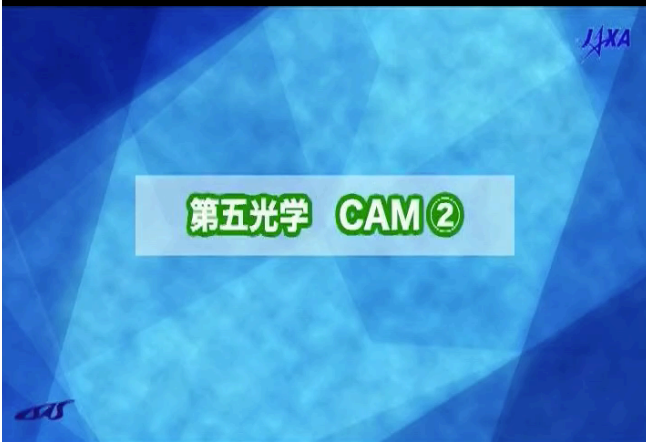
JAXA施設



内之浦宇宙空間観測所 (USC)

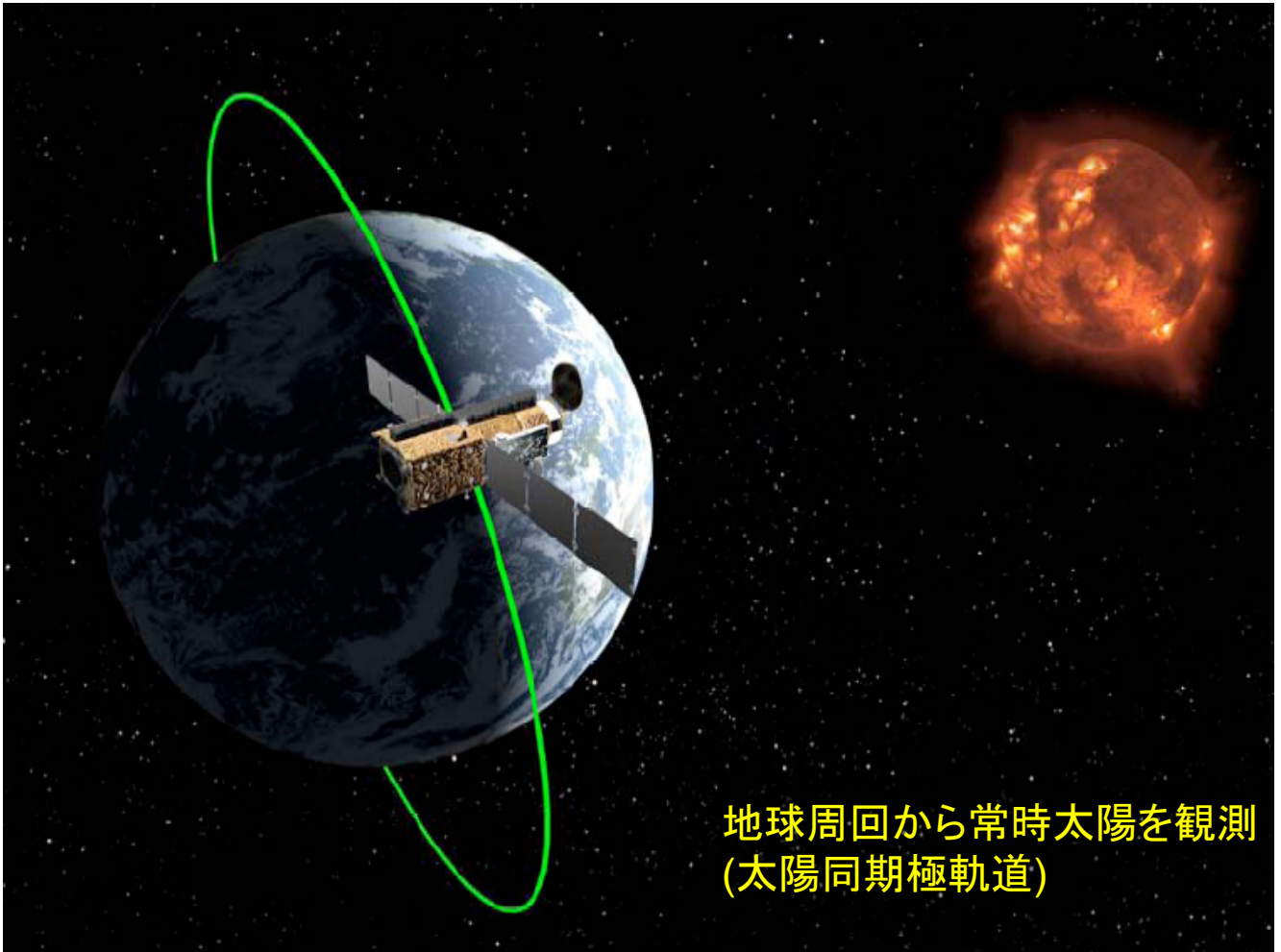


M-V-7ロケット(ひので)の打上げ



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)

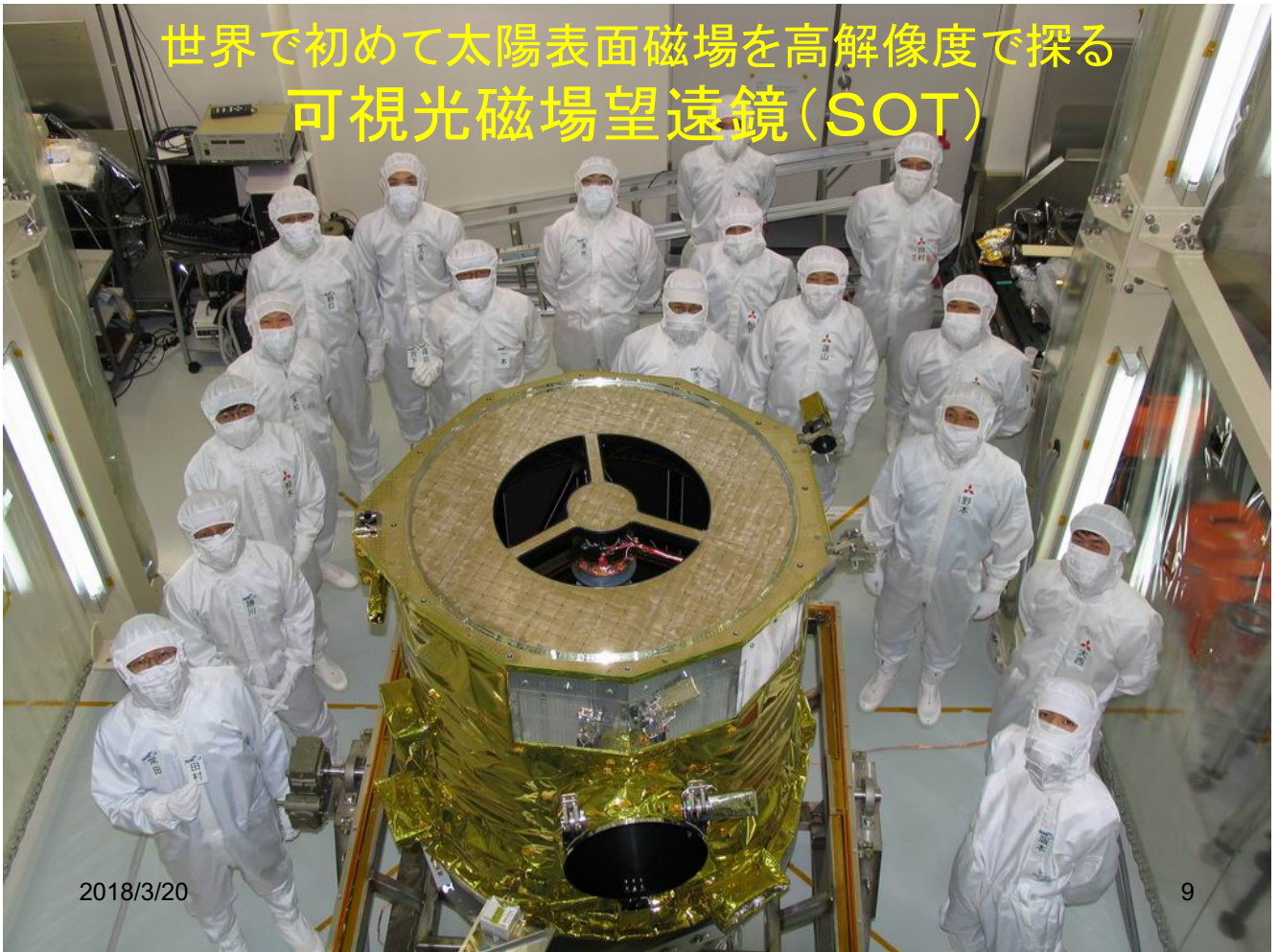


地球周回から常時太陽を観測
(太陽同期極軌道)

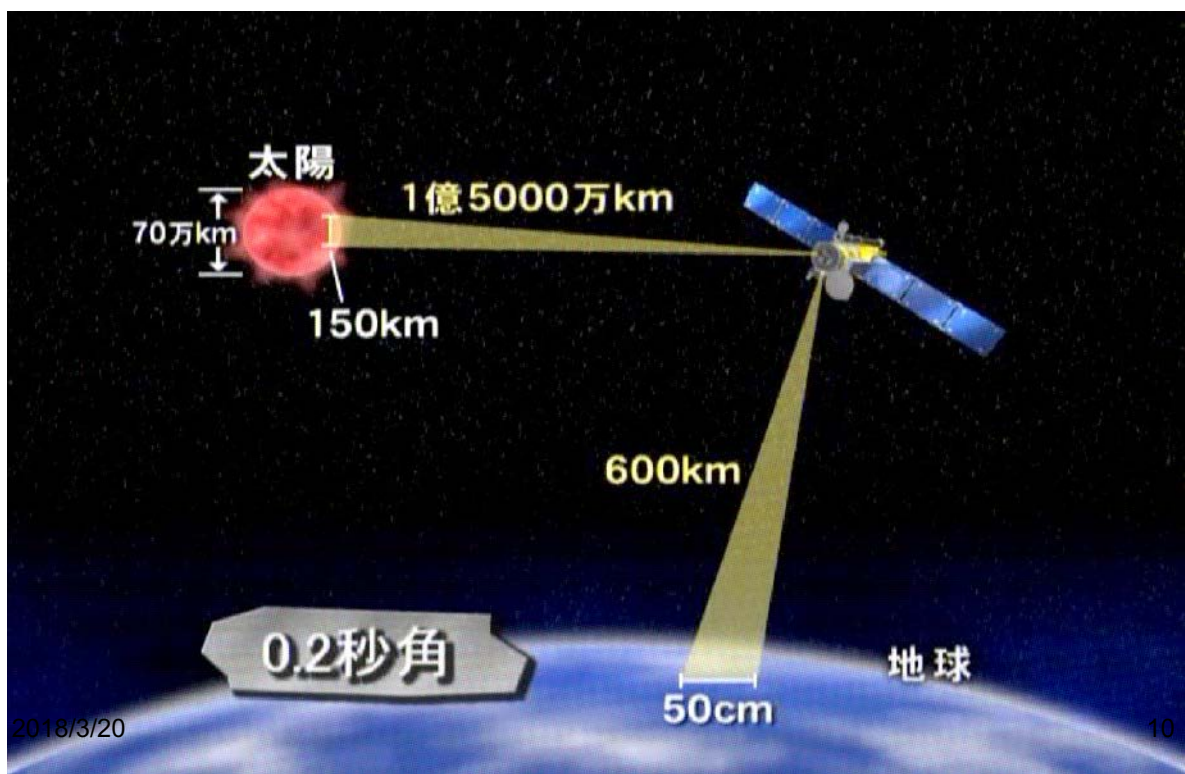
「ひので」: 観測的研究

- 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**

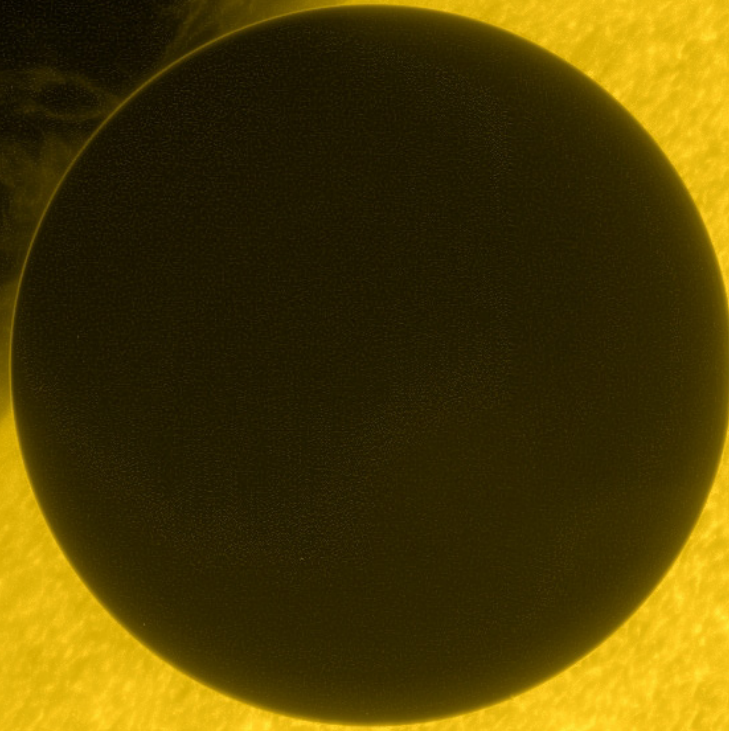
世界で初めて太陽表面磁場を高解像度で探る
可視光磁場望遠鏡(SOT)



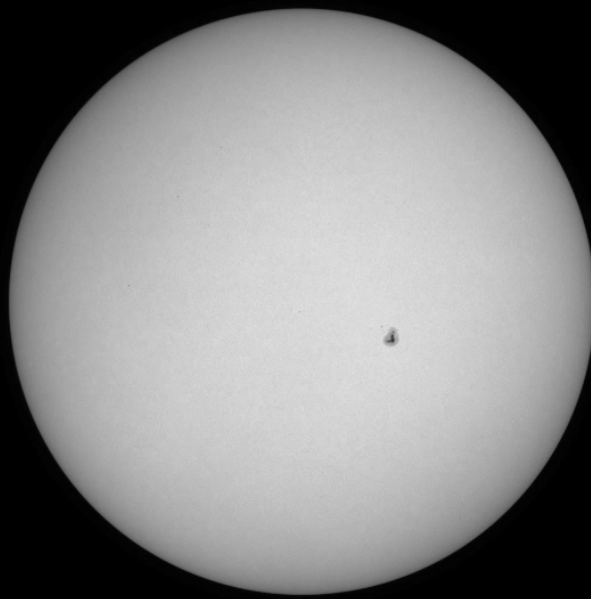
太陽面0.2秒角=
地上を見れたら50cmのものを分解する能力



5-Jun-2012
22:26:53 UT



11

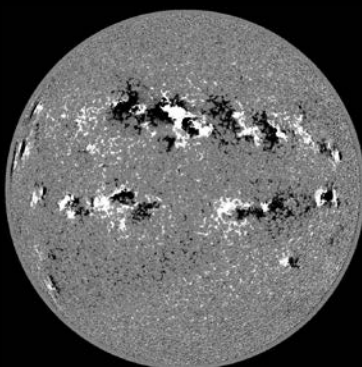
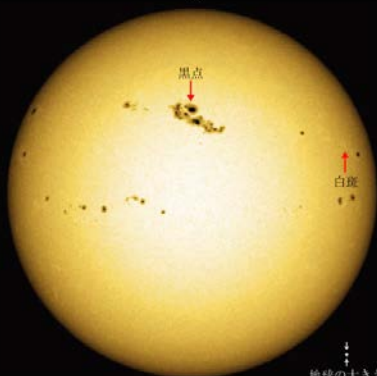


黒点
対流運動

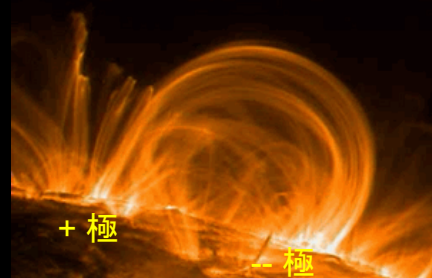
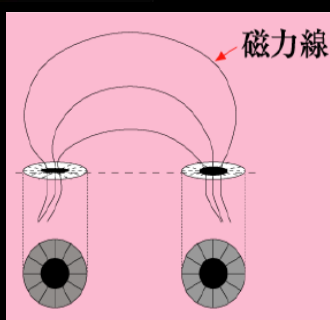
171,000 km

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”

13

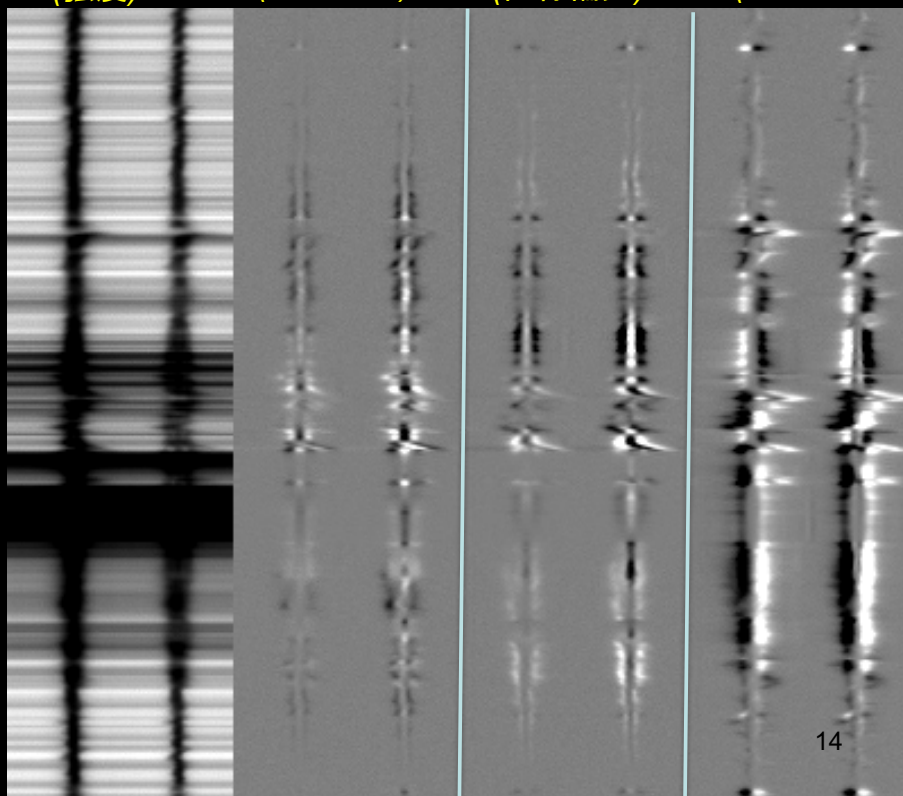
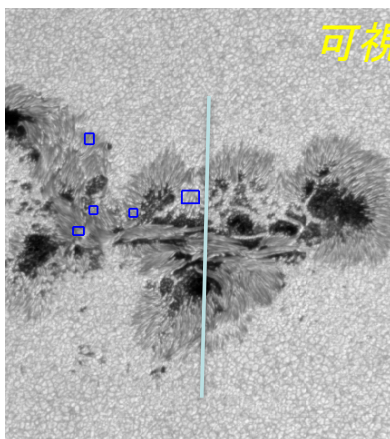
可視光磁場望遠鏡/スペクトロポリリメータが取得する
Fe I 630.15 + 630.25 nm

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)

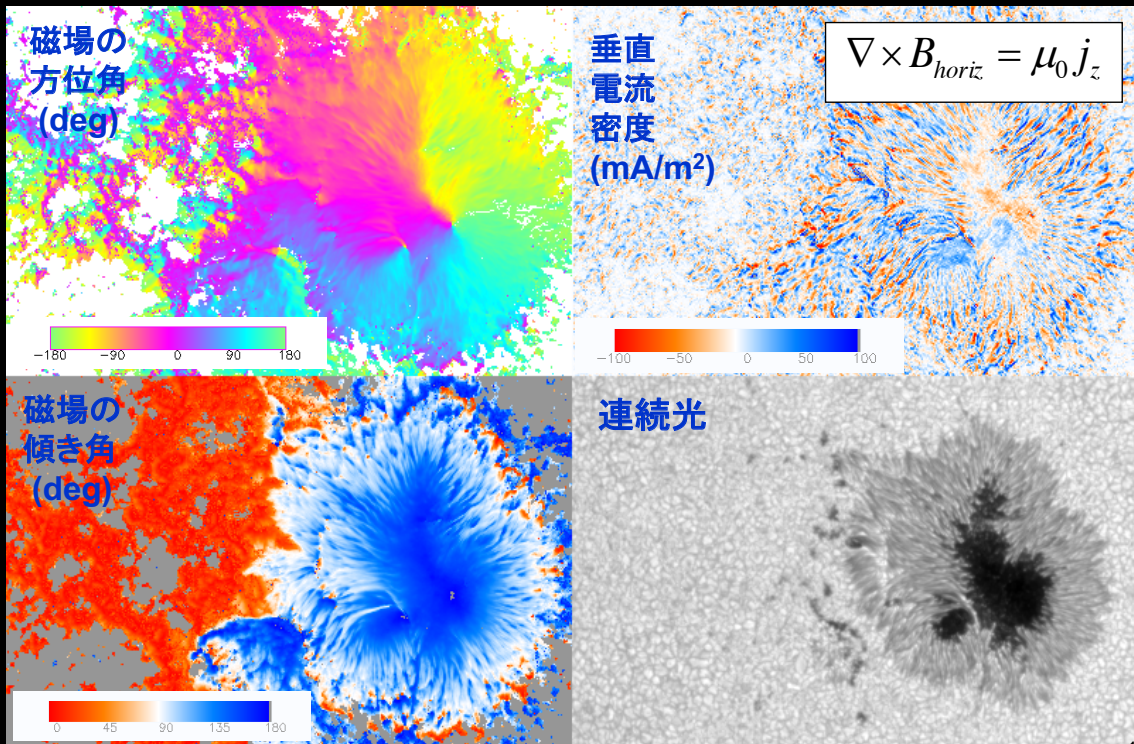
ストークスV
(円偏光)



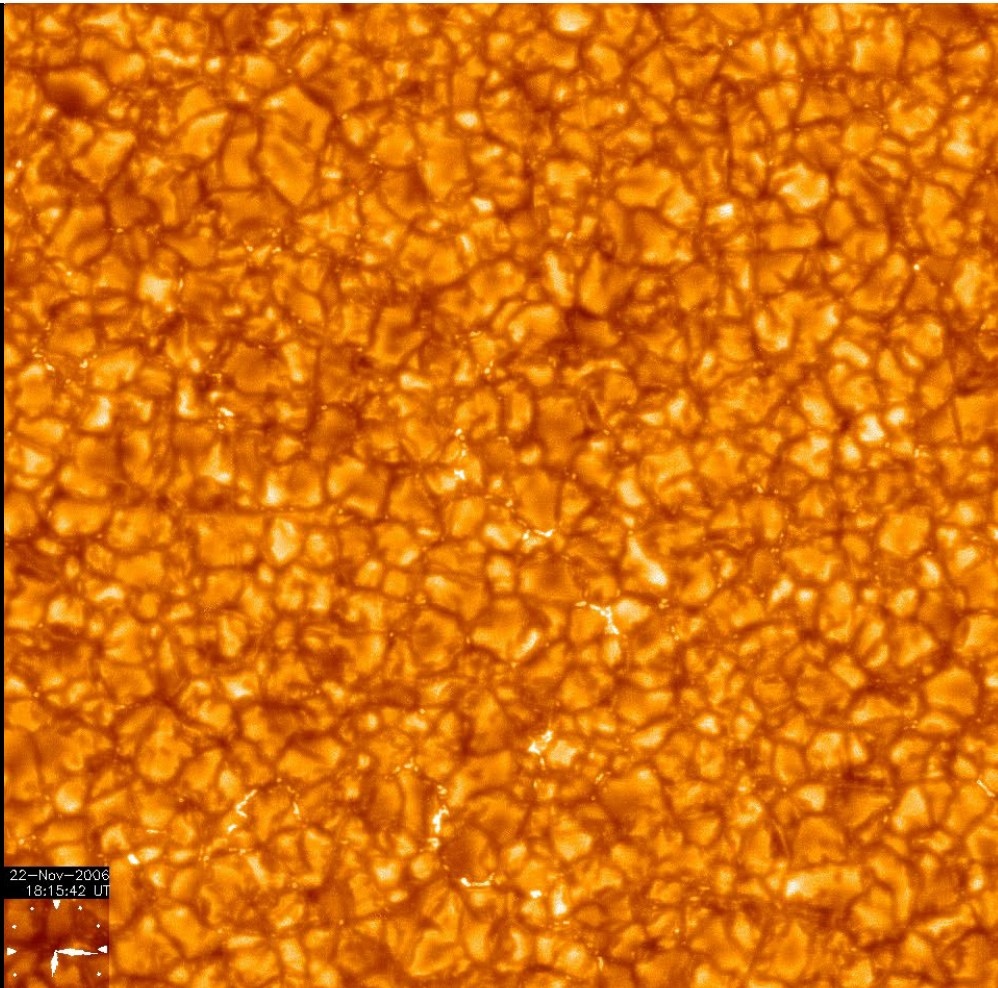
ゼーマン効果
ドップラー効果

14

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



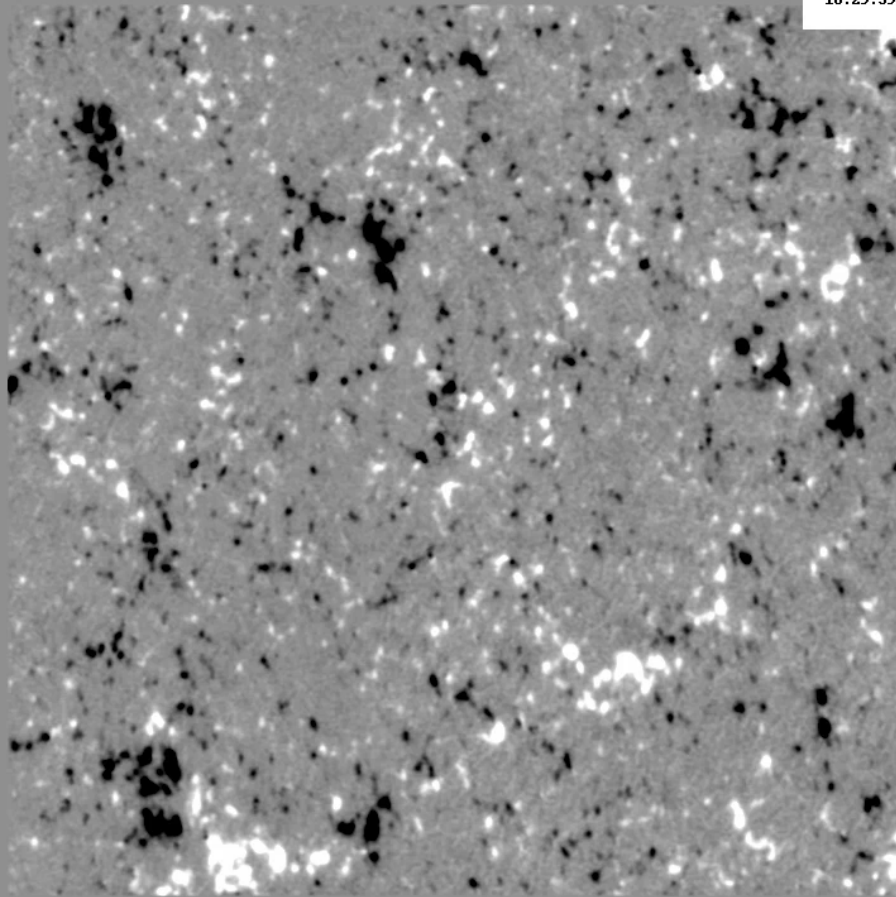
静穏領域
 粒状斑・対流セルと



“微細磁束管”

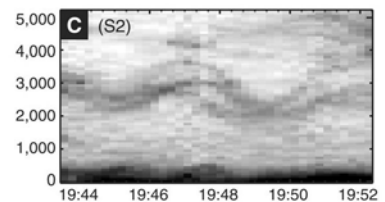
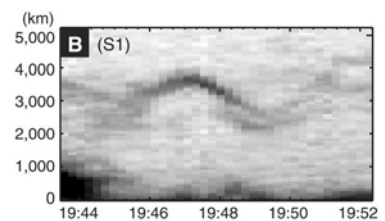
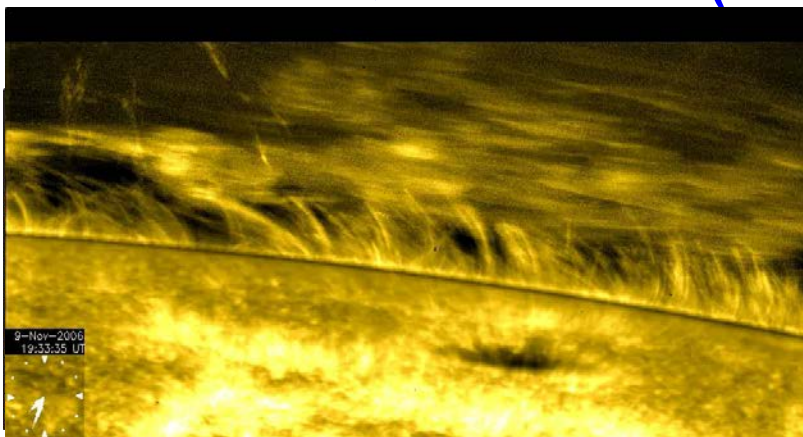


踊る
微細磁束管”



白黒は磁場の向き

対流運動が波を励起 (磁力線を揺らす)

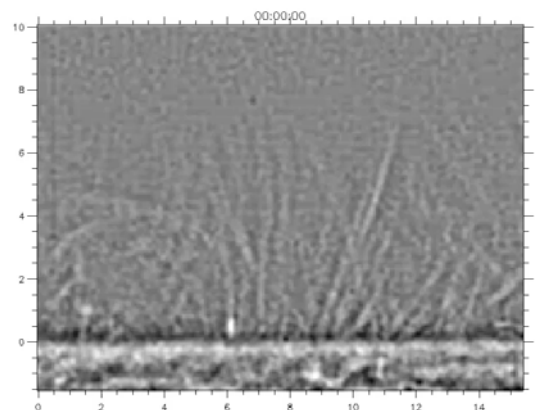


プロミネンスは筋状の集まりで、この筋構造(スレッド)は毎秒 40 km もの高速度で水平方向に飛び回っている。それだけではなく、鉛直方向に振動しているのも多数観測された。(動画上部参照)

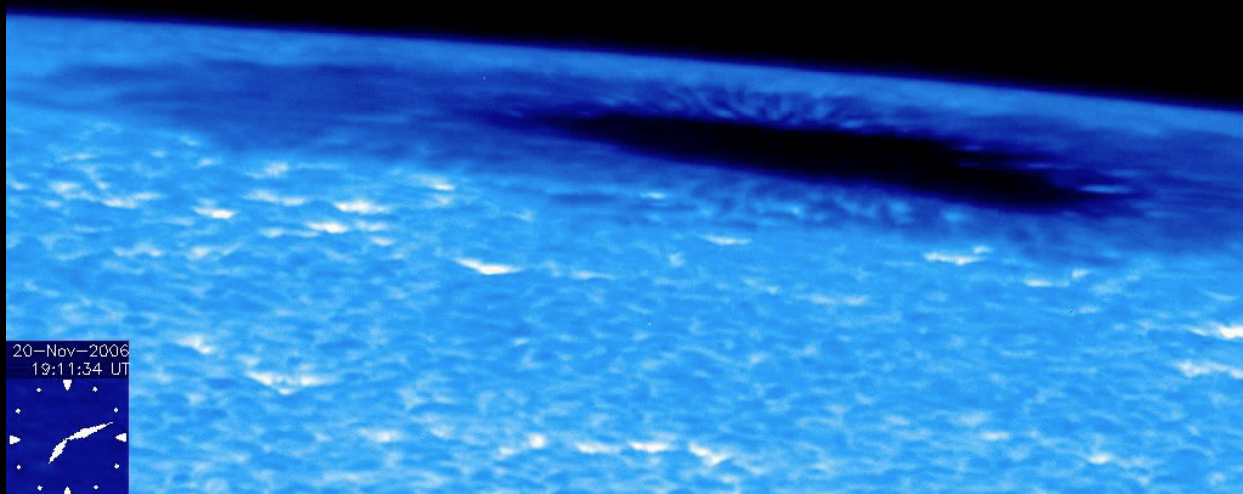
アルヴェン波

• 波は十分なエネルギーをコロナや太陽風に与えるか？

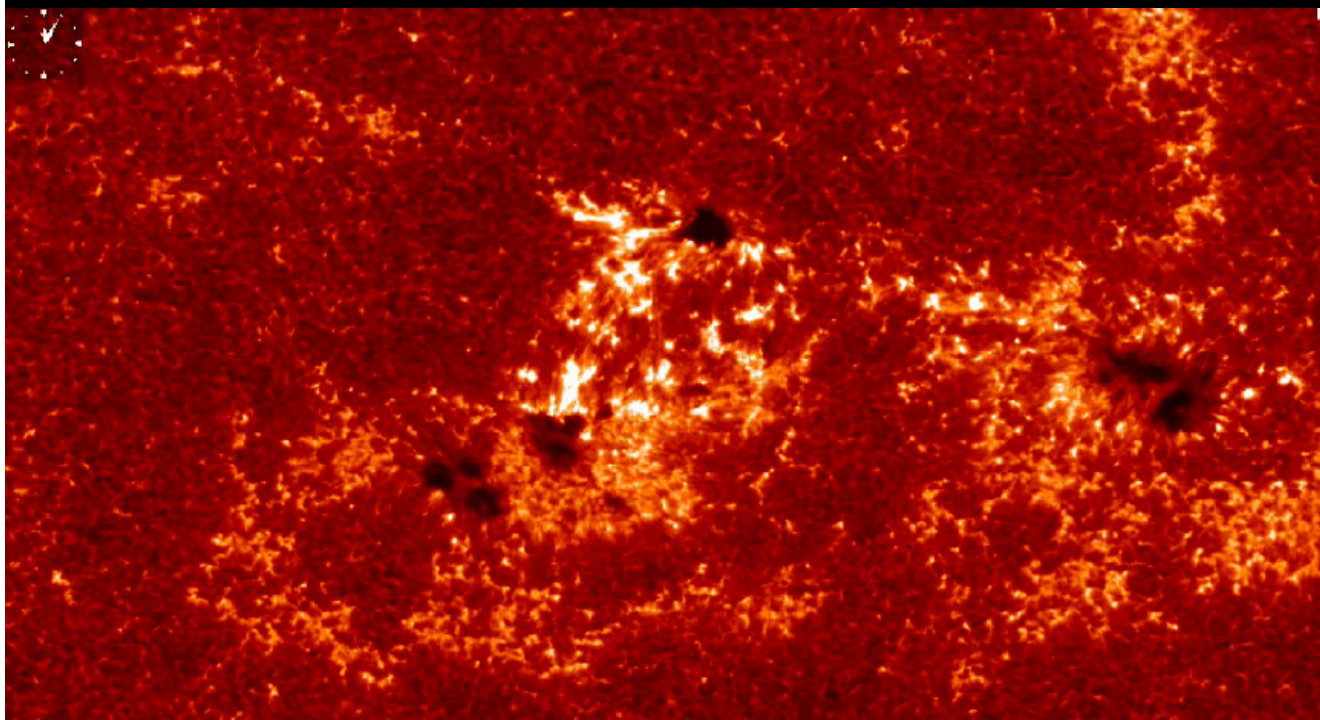
コロナ - コロナ加熱
太陽風 - 高速流への加速



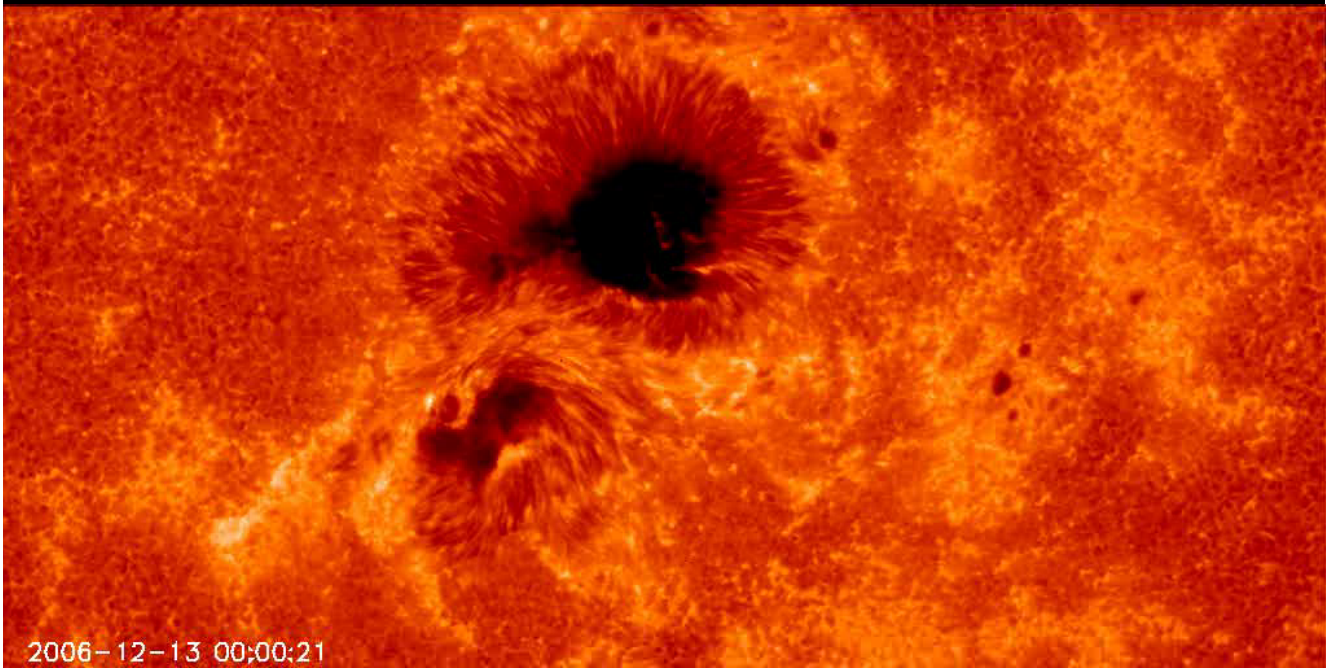
「ひので」撮像観測が明らかにした「単なる光球-コロナ
の中間層」との認識を覆す活動的な彩層



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

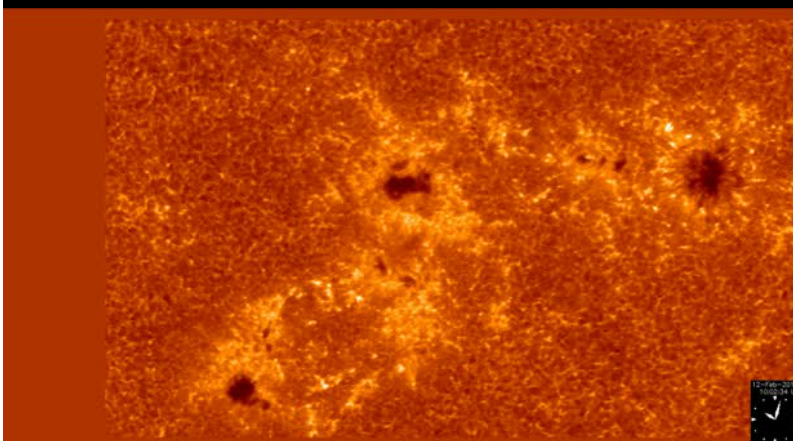


2006-12-13 00:00:21

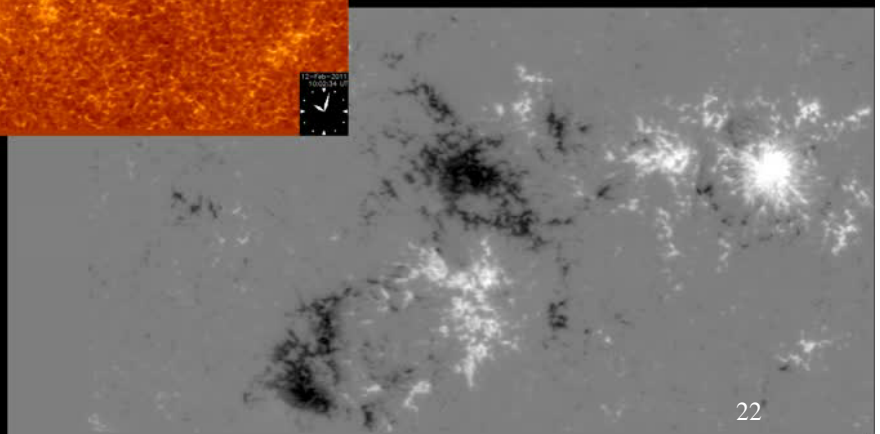
地球へも影響を及ぼす
太陽フレア
エネルギーは黒点の磁場

ひので(Callライン)

フレア発生と太陽表面の磁場



EARTH

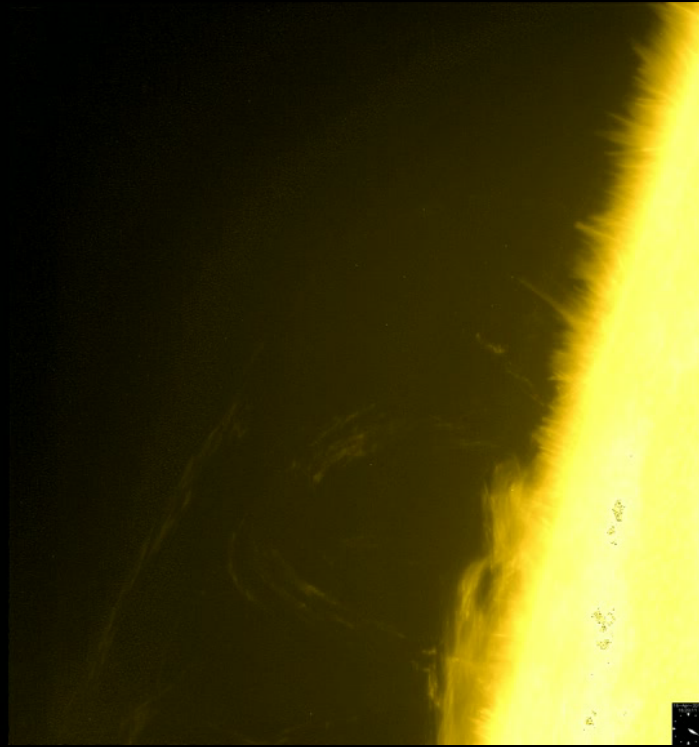


2018/3/20

22

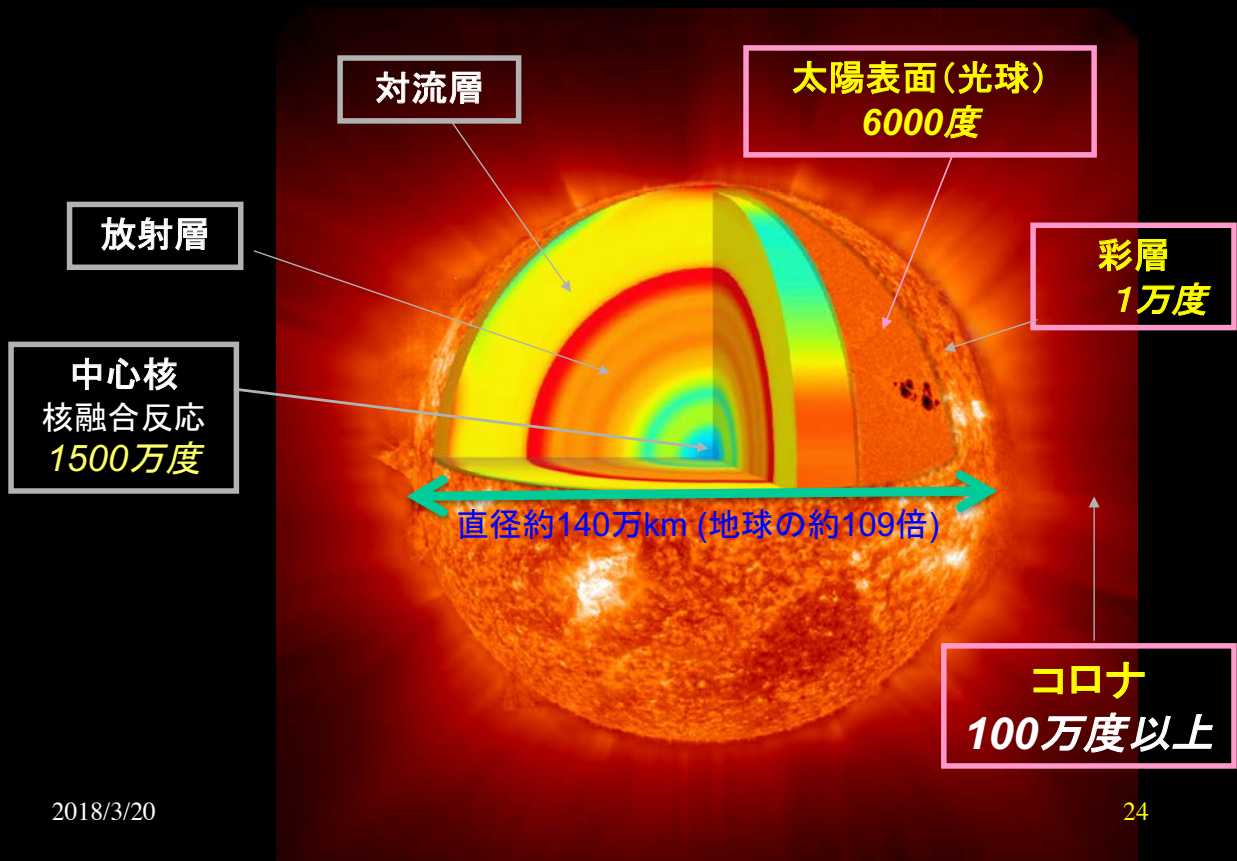
太陽フレアと彩層ガス噴出

EARTH
2018/3/20



23

太陽の構造

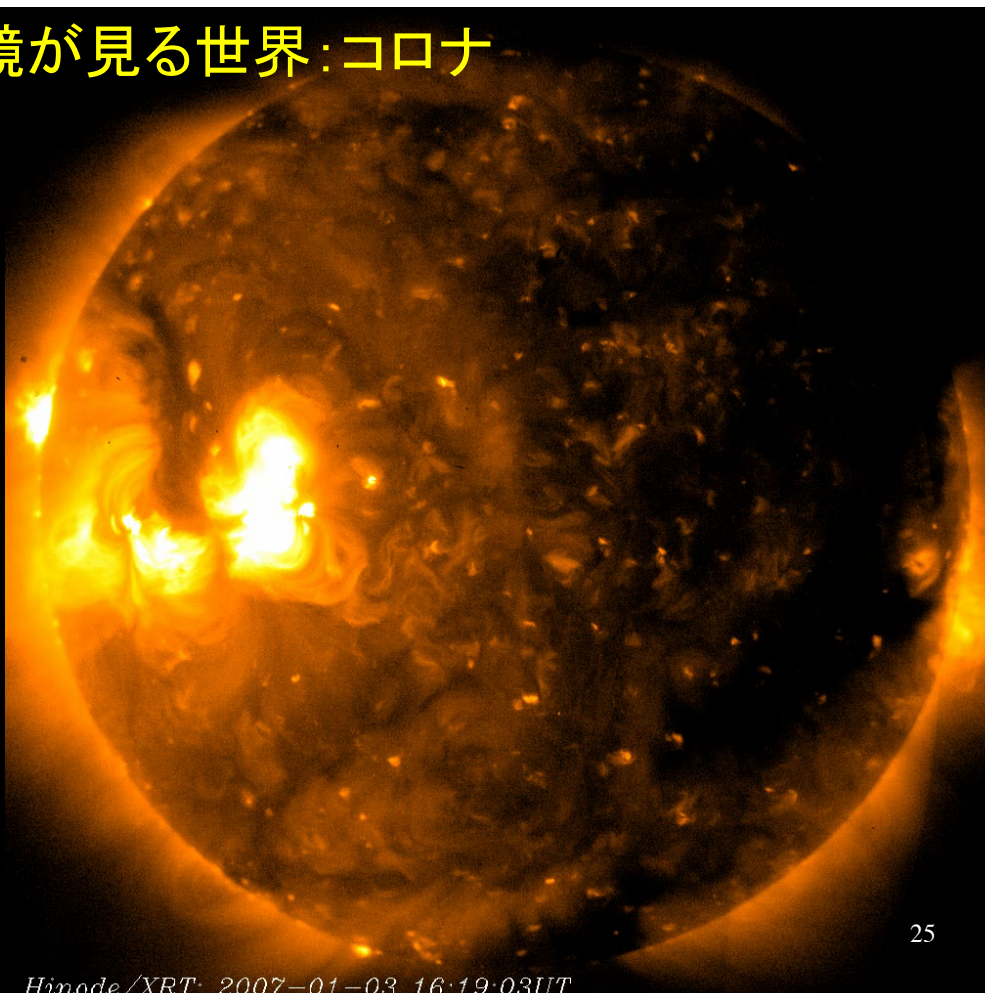


X線望遠鏡が見る世界:コロナ

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。



2018/3/20

25

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

2006
DEC
13

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)

地球へも影響を及ぼす
巨大フレア

2006-12-13 00:00:21

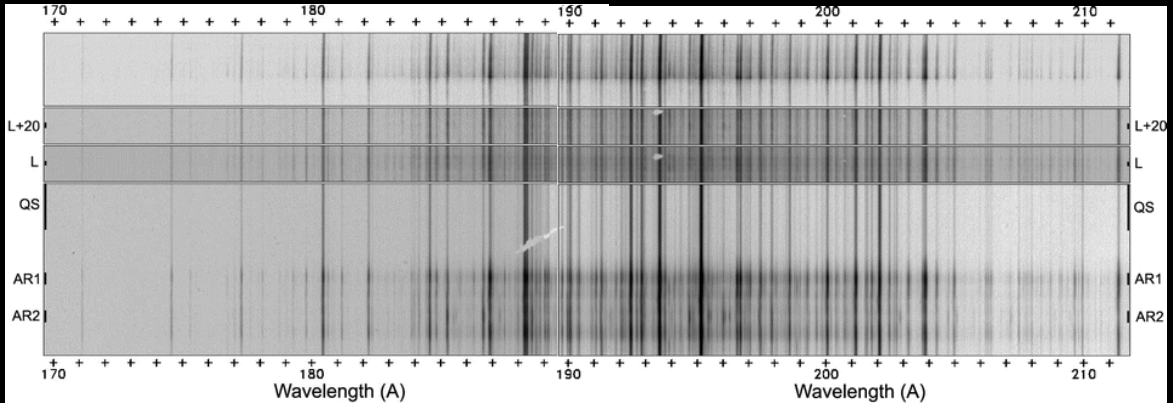
26

The composite image shows the solar corona in soft X-rays (top left) and the solar surface in visible light (bottom right). A clock icon indicates the time as 2006 DEC 13. A dashed box in the top right corner highlights the visible light view. The bottom left text describes a major flare that affected Earth.

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

リム
静穏領域
活動領域



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。

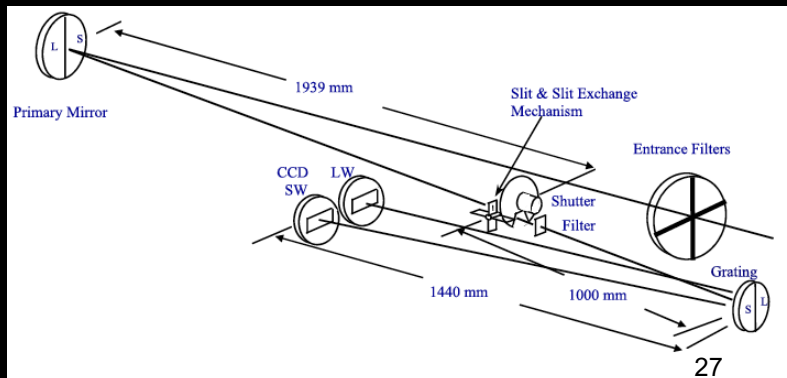


Figure 1 Optical layout of the spectrometer. Components are labeled and dimensions are given in mm. S/SW and L/LW refer to short and long wavelength bands.

極紫外線輝線の分光による コロナプラズマの診断

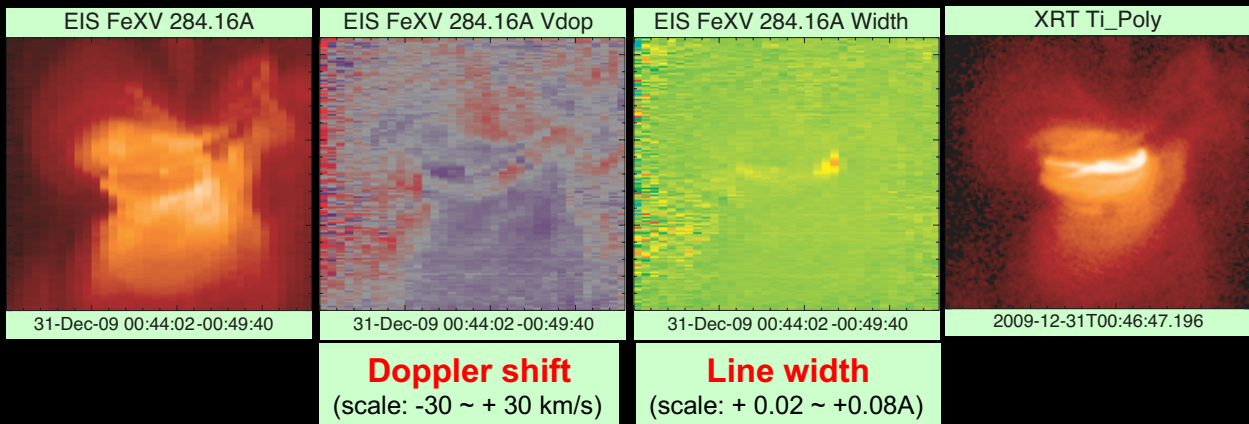
Fe XV輝線 (高階電離した鉄、200万度)

軟X線画像
強度

輝線強度

視線速度

輝線幅(乱流成分)



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」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

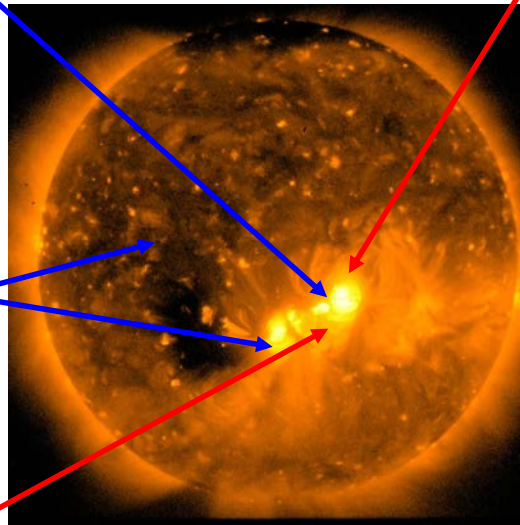
太陽磁場構造の動的 形成・発展過程

- 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

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

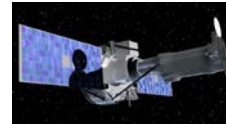
- 長期間蓄積された「ひので」磁場データに基づく、太陽磁場・速度場の長期変動の把握

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)



29

国際協力: ひので実現に結集した世界の機関

SOKENDAI Journal No.16 2009

| 17



図2 「ひので (SOLAR-B)」衛星の開発に参加した世界の研究機関・大学。欧州宇宙機関 (ESA) とノルウェー宇宙センターは、科学データ受信を支援することでプロジェクトに参加している。

「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)





宇宙からのフレア観測

現在 – もっとも一般的な方法

Time →

| | | | |
|-------------------|---|---|--|
| <p>硬X線</p> | <p>SMM ひのとり</p> <p>ようこう (1991-2000)</p>  | <p>RHESSI</p>  | <p>2002-present (NASA)</p> <p>硬X線撮像</p> |
| <p>軟X線</p> | <p>ひので (Hinode)</p>  | <p>2006-present (JAXA+NASA/ESA)</p> | <p>撮像</p> |
| <p>紫外線</p> | <p>STEREO</p>  | <p>2007-present (NASA)</p> | <p>SDO</p>  <p>2010-present (NASA)</p> |
| <p>可視</p> | <p>SoHO</p>  <p>コロナグラフ</p>  | <p>1995-present (ESA+NASA)</p> | <p>IRIS</p>  <p>2013-present (NASA)</p> |

飛翔体による太陽観測:

「ひので」から2020年代への 展望



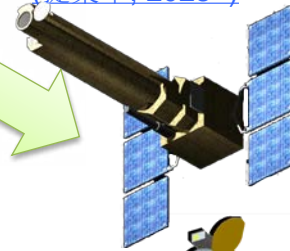
ひので(SOLAR-B) 2006 -

SUNRISE-3気球実験 (2021)

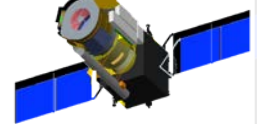
可視・近赤外域で高解像度・高感度偏光観測。ゼーマン効果で光球・彩層磁場診断により磁気エネルギーの輸送・散逸を明らかにする



公募型小型衛星 Solar-C EUVST (提案中, 2025~)



次世代大型衛星 2030頃~ など



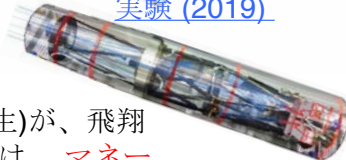
CLASP1ロケット実験 (2015)



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。ハンレ効果を使った彩層上部～遷移層の磁場診断とその手法確立を目指す

CLASP2ロケット 実験 (2019)



- 今が、若手(助教・PD・学生)が、飛翔体装置開発の技術を身につけ、マネージメント能力を培う絶好の機会
- そして、次世代の国際衛星プロジェクト推進の核として活躍する



CLASP1&2

Chromospheric Lyman-Alpha/Layer Spectro-Polarimeter

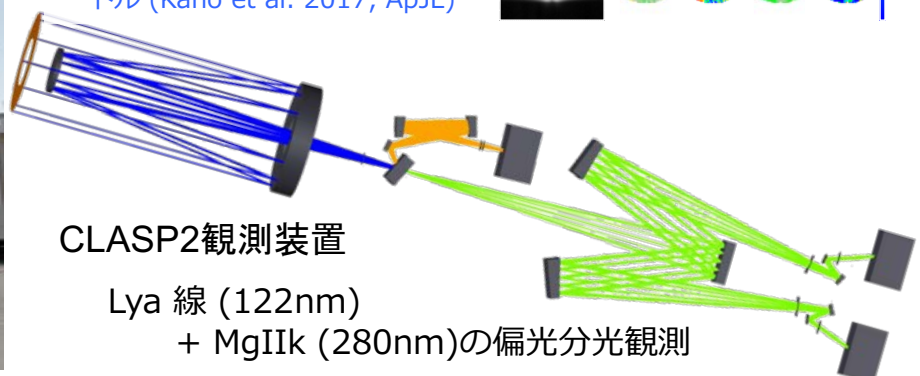
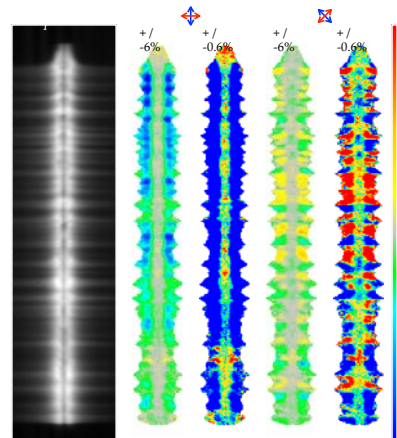


初飛翔: Sep. 3rd, 2015

磁場診断の新しい扉を開く!

- 世界初となる紫外線の高精度 偏光分光観測
- ハンレ効果を用い、彩層上部～遷移層の磁場を得る

世界で初めて観測されたライマンα線 (122 nm, 真空紫外線)の偏光スペクトル (Kano et al. 2017, ApJL)



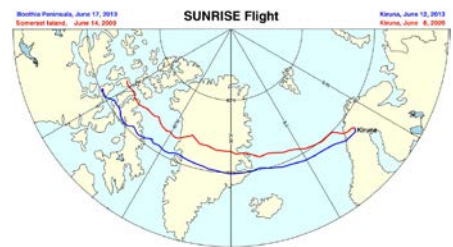
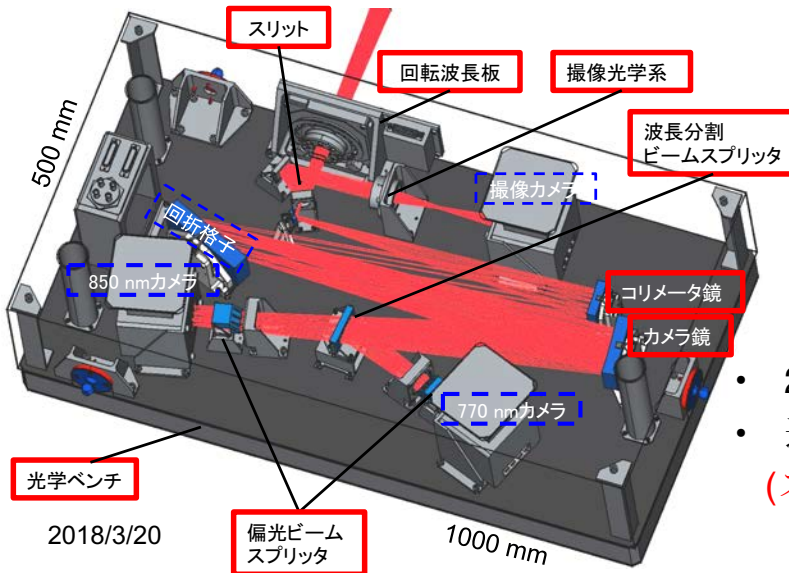
CLASP2観測装置

Lya 線 (122nm)
+ MgIIk (280nm)の偏光分光観測



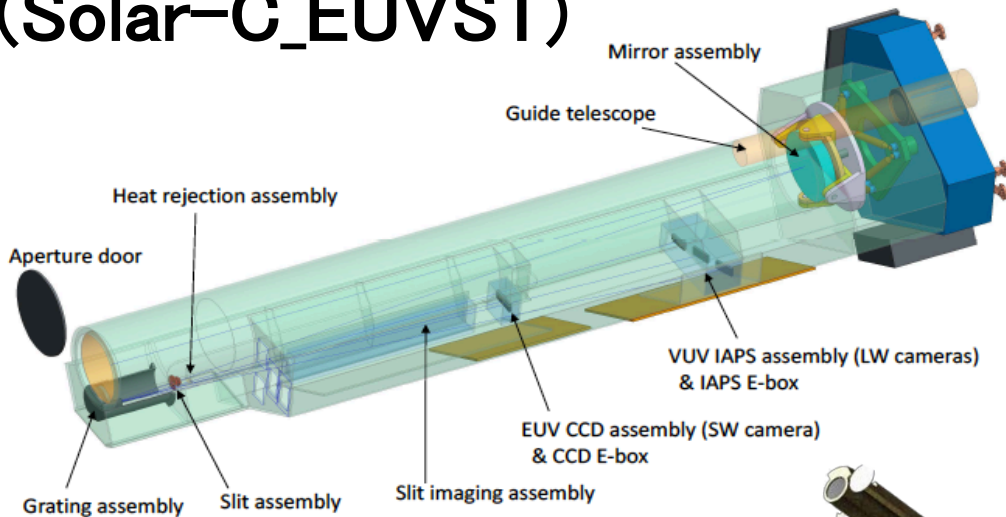
大気球太陽観測実験 SUNRISE-3

- 口径1m(ひのでの2倍)の光学太陽望遠鏡で高解像度、高精度な近赤外偏光分光観測
- ゼーマン効果で光球と彩層の磁場を同時に観測

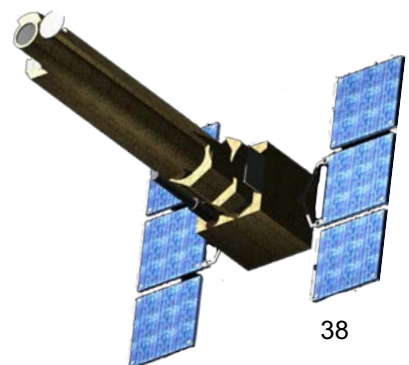


- 2021年に3度目の飛翔
- 近赤外線偏光分光装置SCIP (スキップ)を日本主導で開発

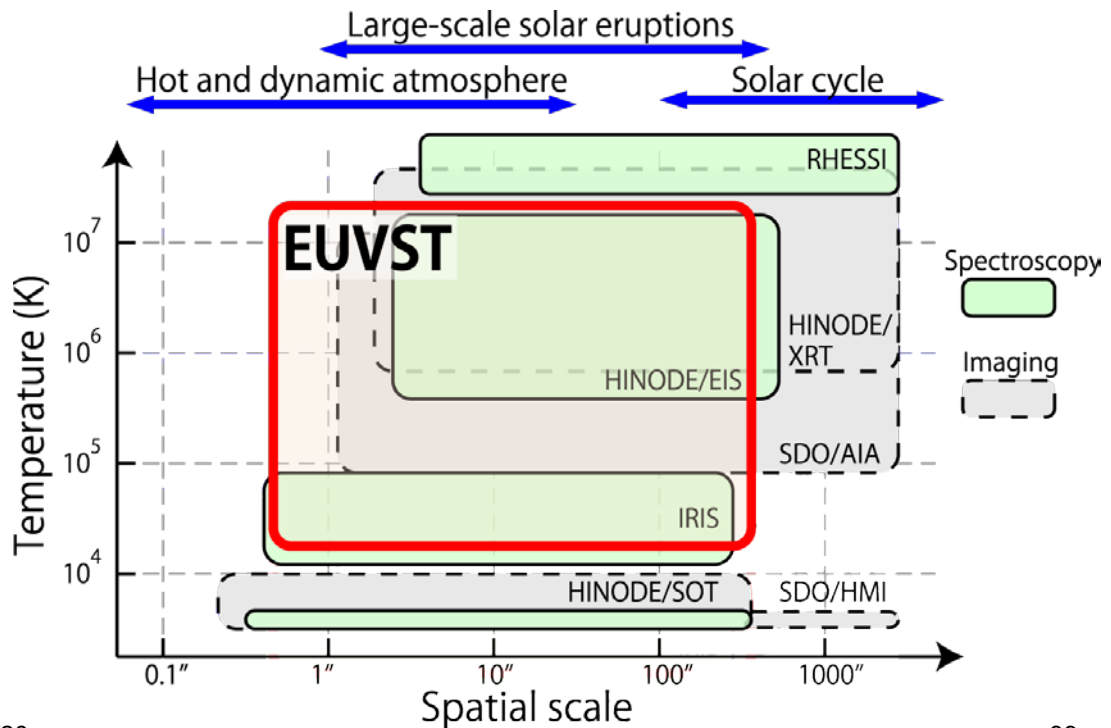
高感度EUV/UV分光望遠鏡衛星 (Solar-C_EUVST)



太陽大気におけるエネルギーや物質の輸送・散逸過程を理解することで、コロナ加熱・太陽風加速やフレア物理機構を解明。



高解像度(0.4")・高感度で、3桁以上に広がる全温度域をカバーするEUV分光観測



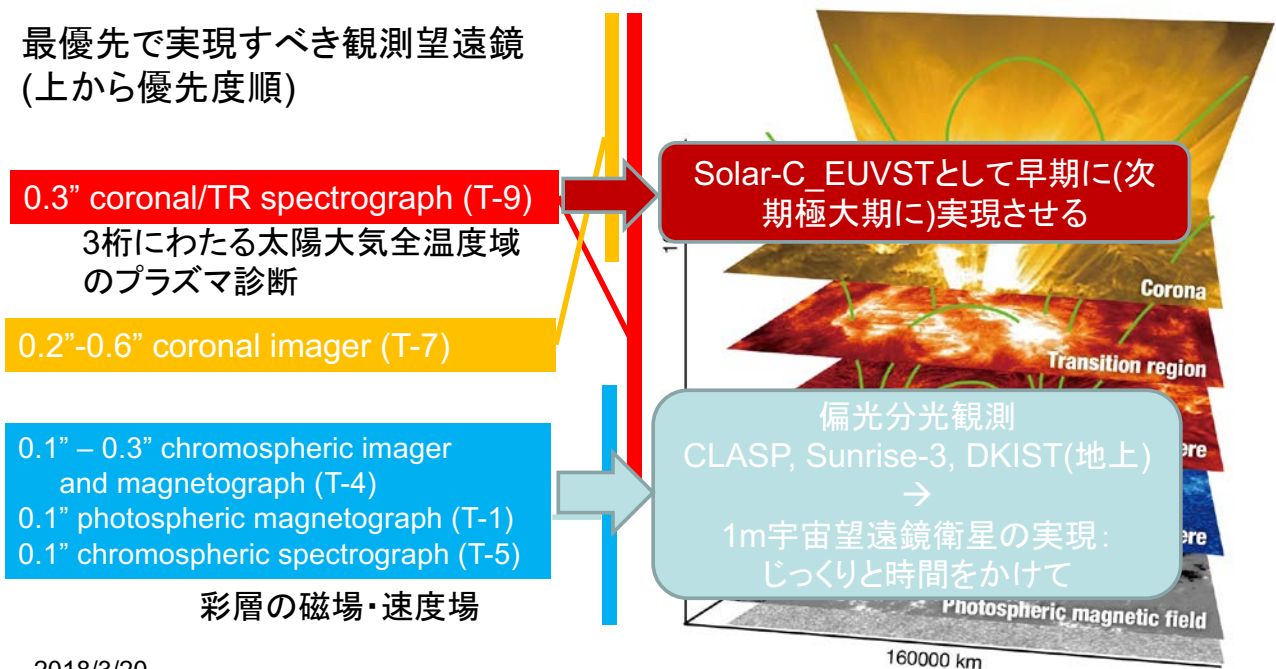
2018/3/20

39

2020年代の観測重点

- 要素的物理機構。コロナ形成やフレア発現。
- 太陽関連研究で、多くの科学目的で必要とされる観測装置

最優先で実現すべき観測望遠鏡
(上から優先度順)

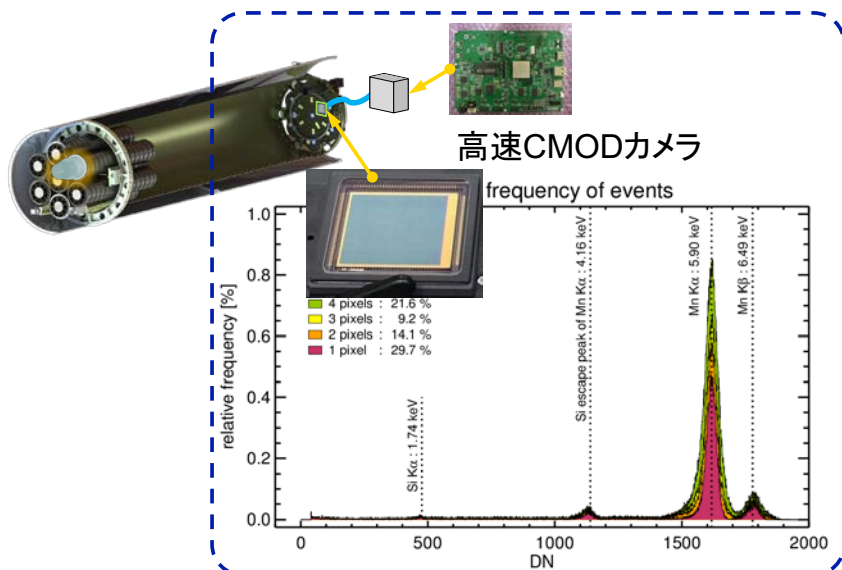


2018/3/20

FOXSI-3 日米観測ロケット (2018)

- 目的:
1. ナノフレア(小さなエネルギー解放)の検出
 2. 新たな観測方法のフライト実証

新たな観測方法: 光子検出型X線分光カメラ



→ “粒子加速”を調べる衛星観測へ (2025~)

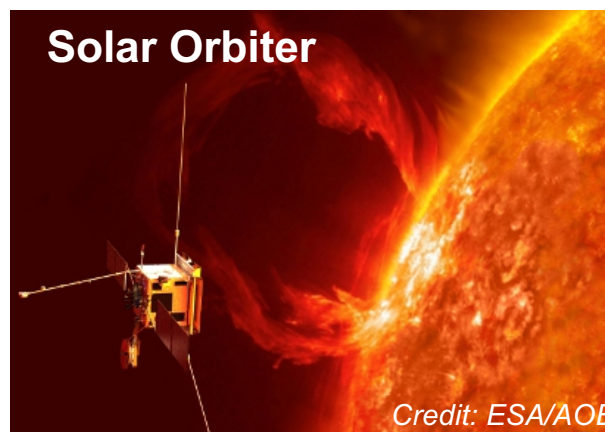
PhoENiX (Physics of Energetic and Non-thermal Plasmas in the X-region)

欧米の将来ミッション



- 2018年7月打上げ予定
- 太陽に8.5太陽半径距離まで接近 (2025年頃)し、その場観測を実施。
- 太陽風加速の解明に期待

2018/3/20



- 2020年に打上げ予定
- 0.28AUまで接近、また黄道面から25度離れて (2024~)、リモセンとその場観測を実施。

(Muller+13)