

# 太陽観測衛星 「ひので」

清水 敏文

JAXA宇宙科学研究所 (ISAS/JAXA)  
総合研究大学院大学  
物理科学研究科・宇宙科学専攻  
准教授

2012年度 太陽研究最前線体験ツアー  
2012.8.30

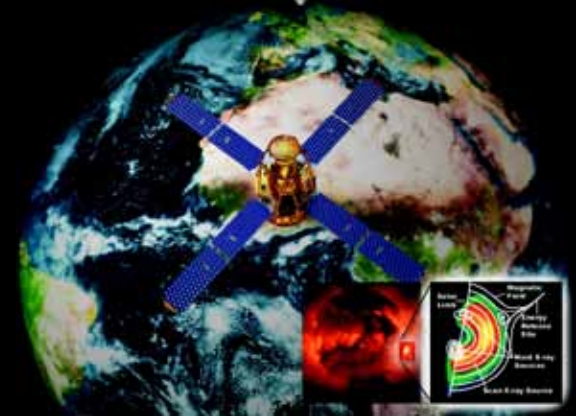
# 自己紹介：清水敏文

- 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」サブマネージャとして、運用司令塔役、太陽観測的研究を推進

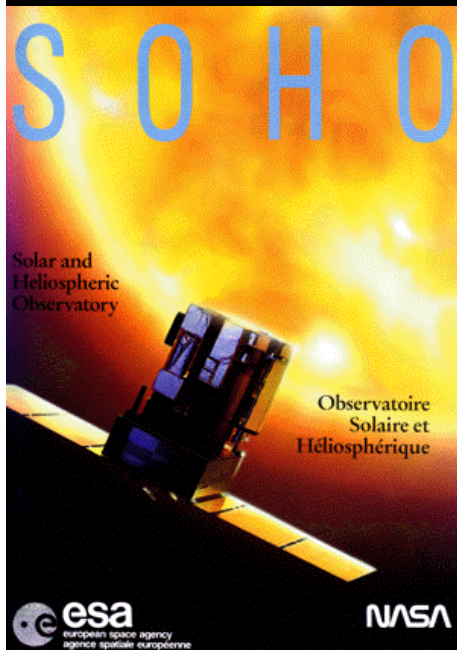
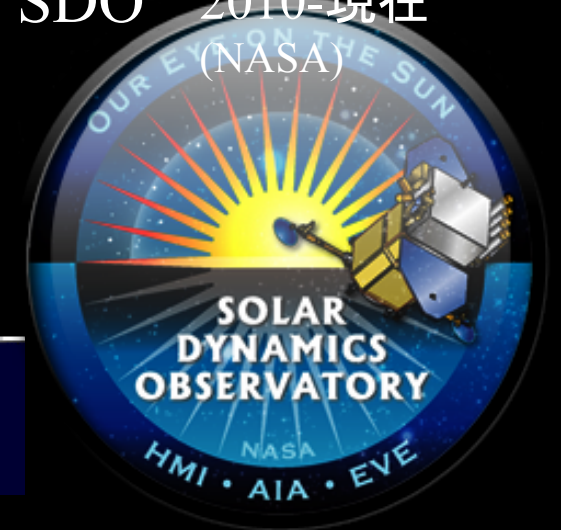


# 1.宇宙からの太陽観測： 宇宙からの観測が全盛

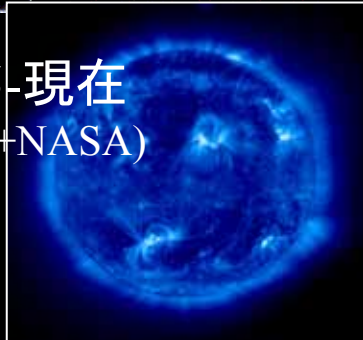
RHESSI 2002-現在  
(NASA)



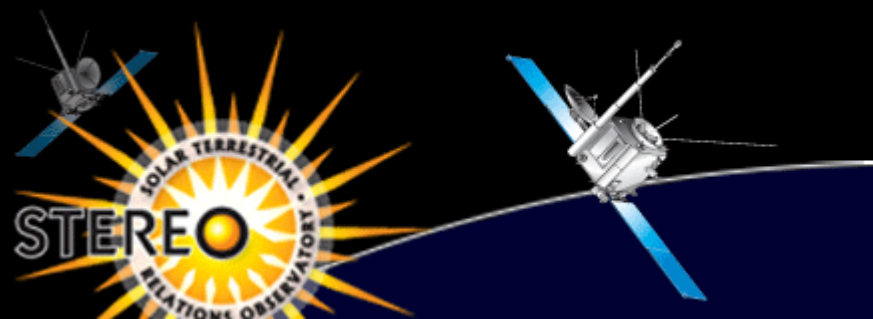
SDO 2010-現在  
(NASA)



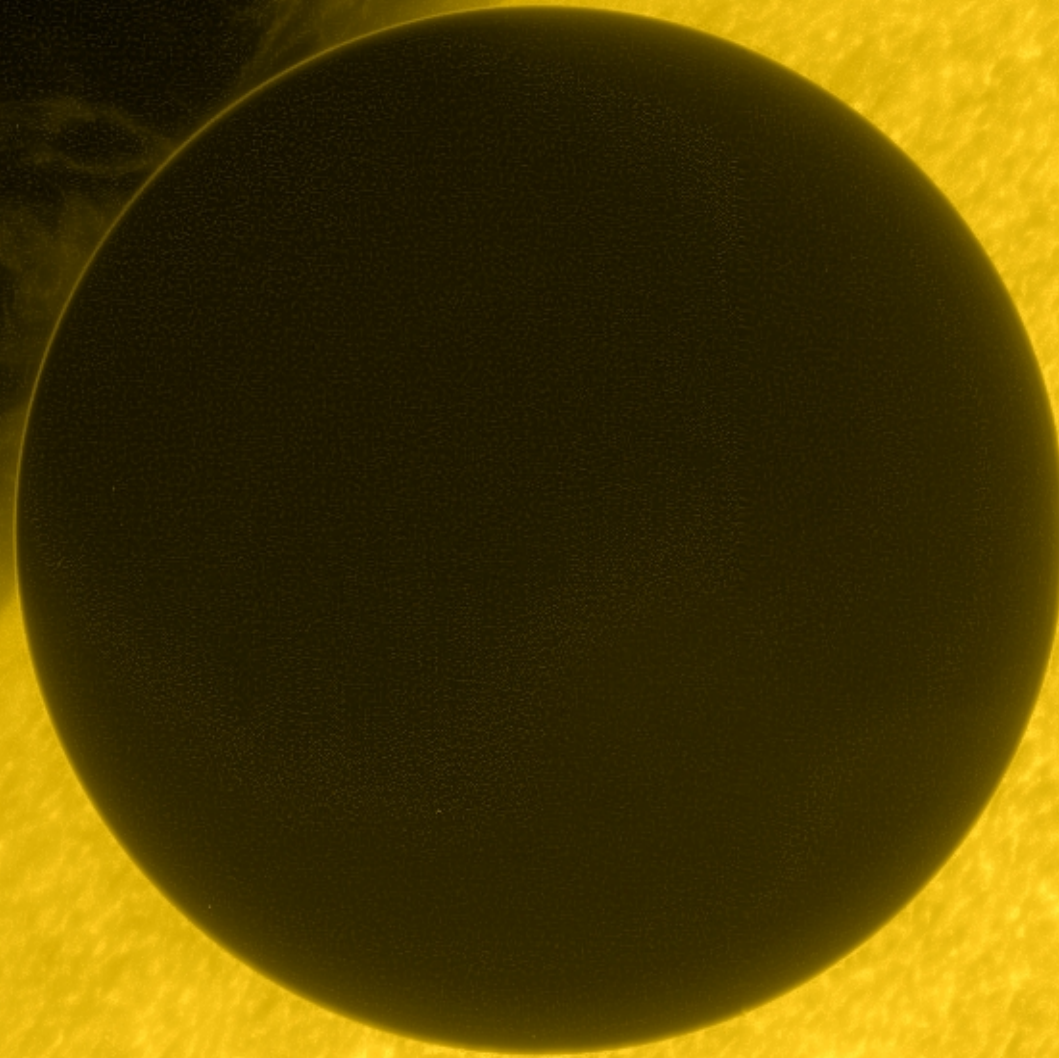
1995-現在  
(ESA+NASA)



2007-現在  
(NASA)

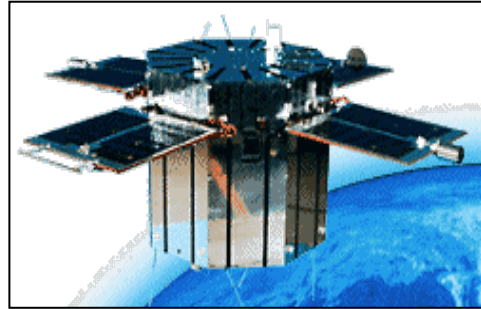


5-Jun-2012  
22:26:53 UT



...one of the most impressive images in the history of astronomy

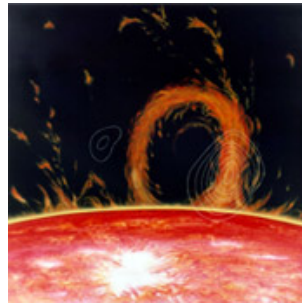
# 衛星による太陽観測で世界の最先端を行く日本 30年にわたる観測史



ひのとり/ASTRO-A (1981-1982)

フレア観測

X線、 $\gamma$ 線 ( $E > 10$  keV)

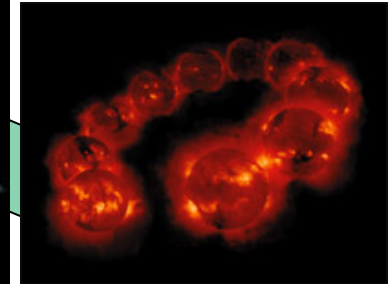


ようこう/SOLAR-A (1991-2001)



フレア、コロナ観測

X線、 $\gamma$ 線 ( $E > 0.1$  keV)



ひので/SOLAR-B (2006-)



光球、彩層、遷移層、コロナ、フレア  
可視光、極紫外線、X線

次期太陽ミッション

SOLAR-C

2019年実現を目指して検討中

目的: 太陽磁場と

太陽活動の

総合的解明

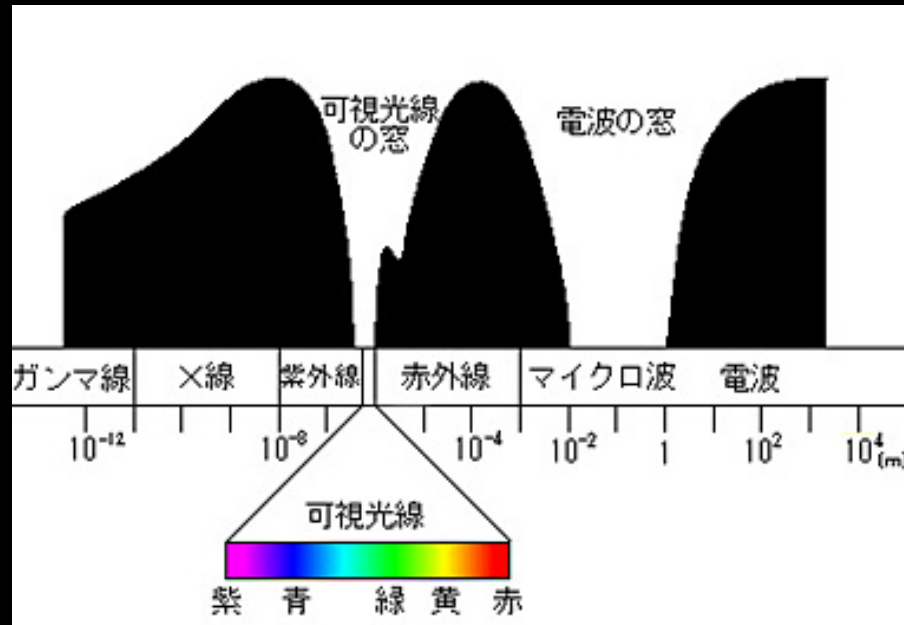
# 太陽研究の最前線のサイエンス課題

- 彩層・コロナはどのように加熱されているのか？
- 太陽風はなぜ吹き出すのか？
- 太陽大気に見られる多様な磁気構造はどのように形成されているのか？
- 太陽フレアのような爆発はどのように発生するのか？
- 太陽の磁気周期はどのように生み出されているのか？

なぜ宇宙から太陽を観測するのか？

# なぜ宇宙から太陽を観測するのか？

- 地上では不可能な波長での観測（X線、紫外線など）

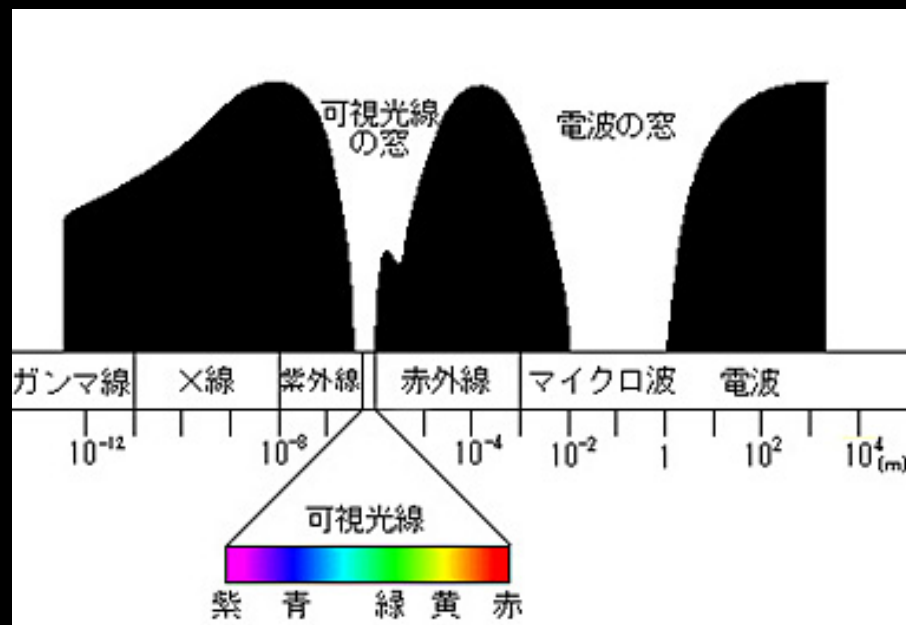


軟X線でみた太陽（コロナ、ひので）



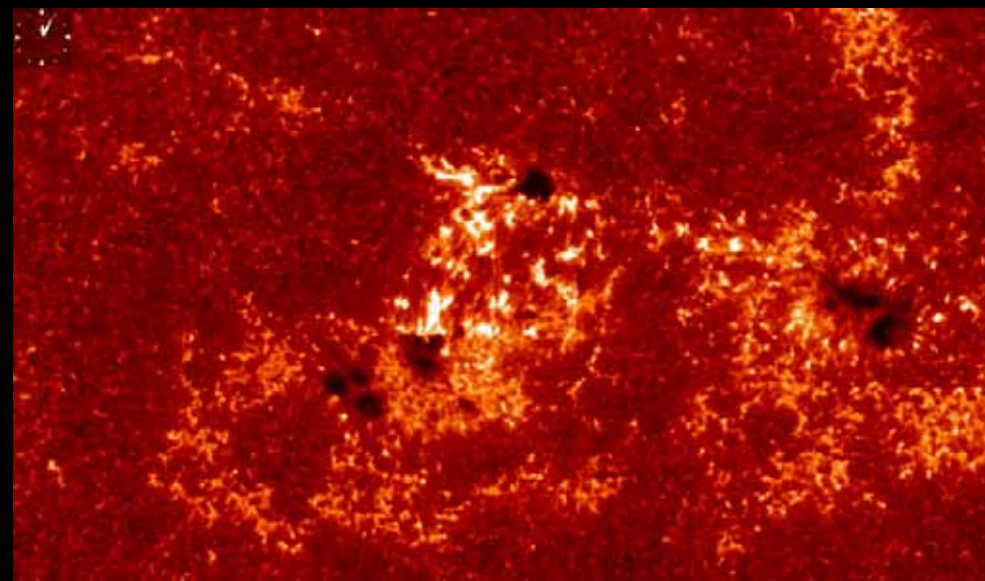
# なぜ宇宙から太陽を観測するのか？

- 地上では不可能な波長での観測(X線、紫外線など)

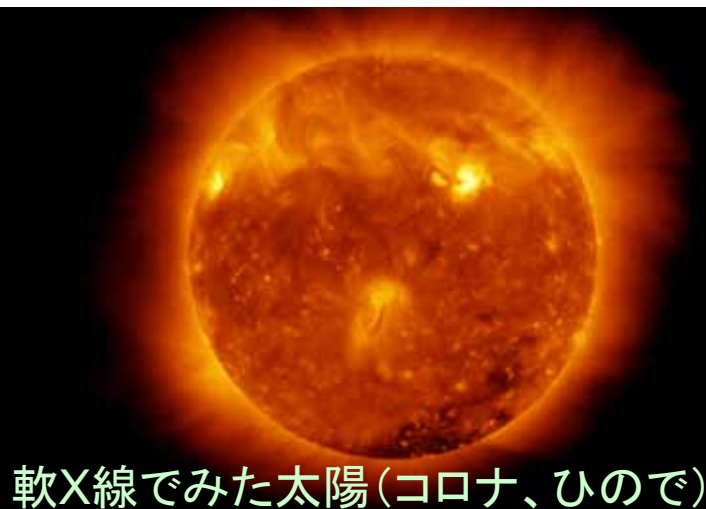


- 地上では難しい高解像度や高精度な観測の実現

例：シーイング(地球大気による像ゆらぎ)フリーな連続観測



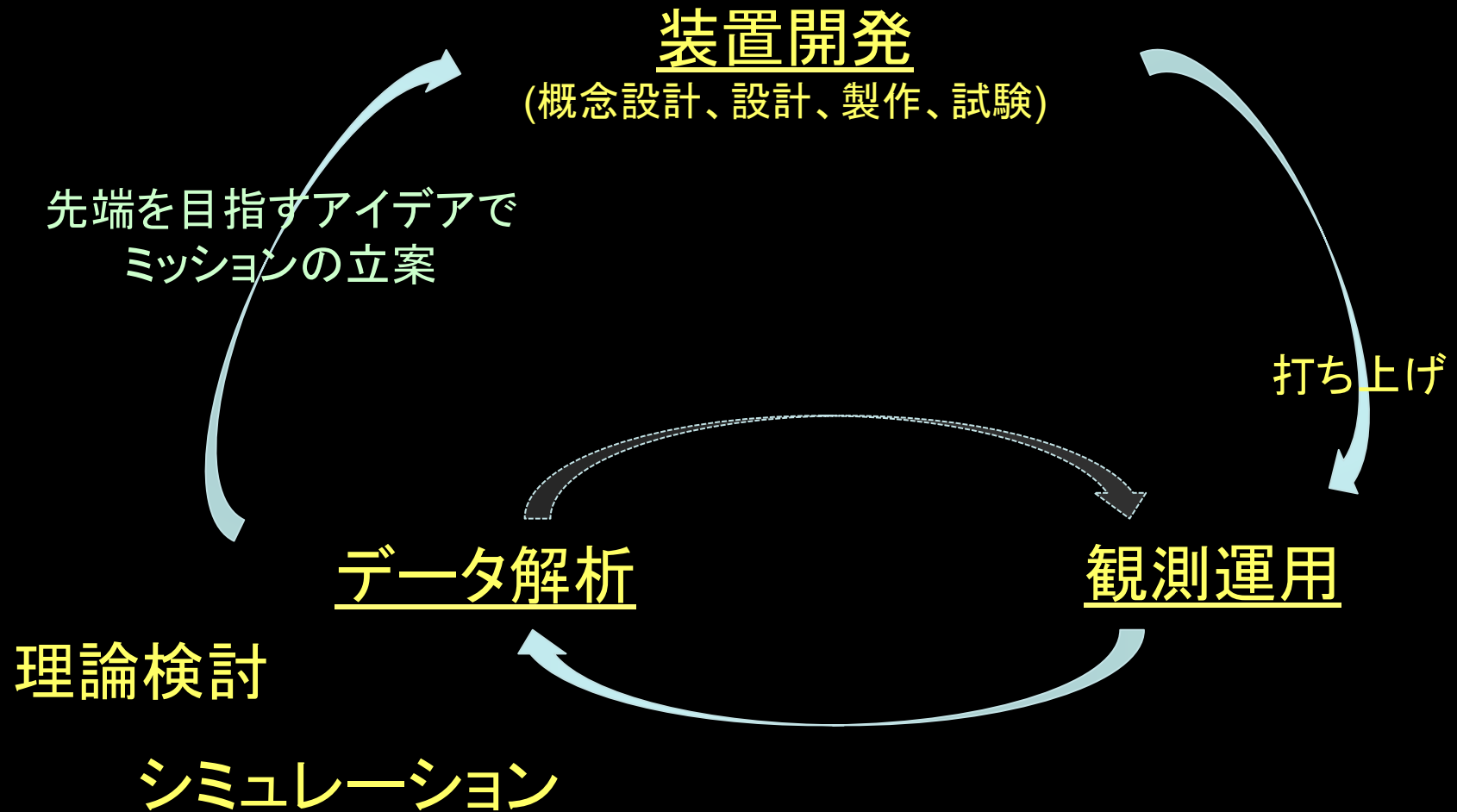
4日間にわたる活動領域の変遷(ひので、2009/12/29-2010/1/2)



軟X線でみた太陽(コロナ、ひので)

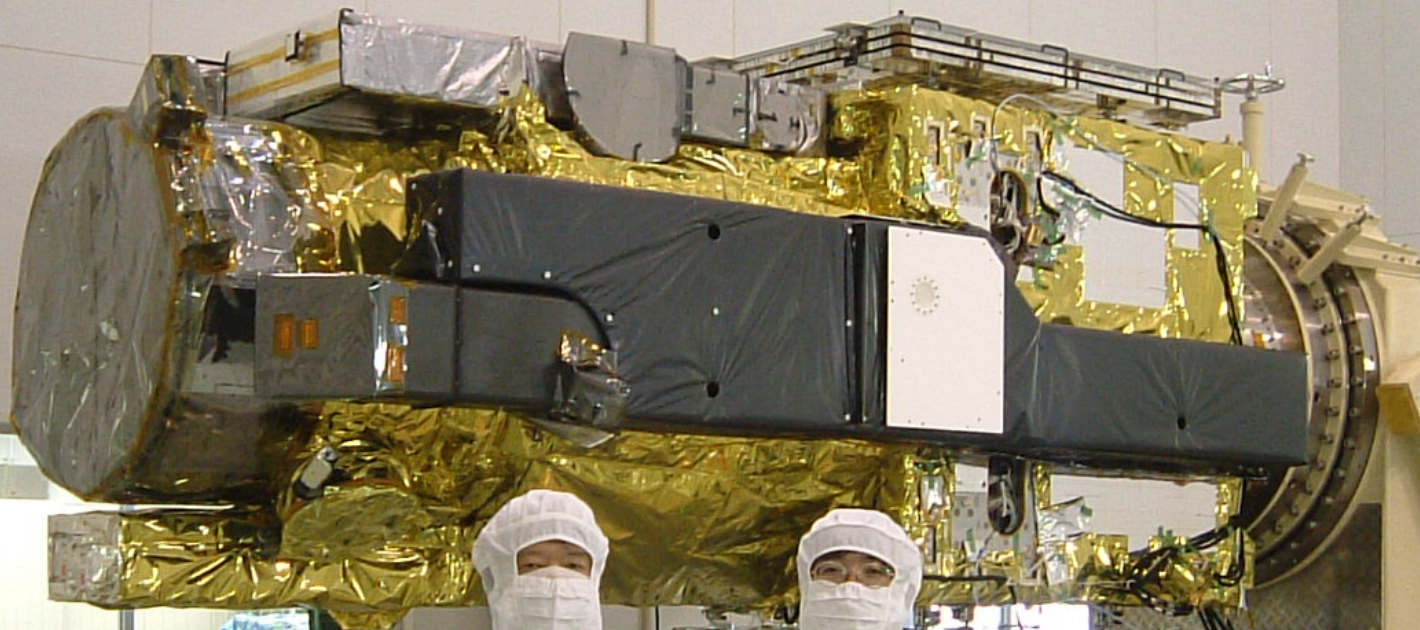
- 太陽活動の常時監視

# 宇宙空間からの研究活動



周期が長いため、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。

## 2. 太陽観測衛星「ひので」

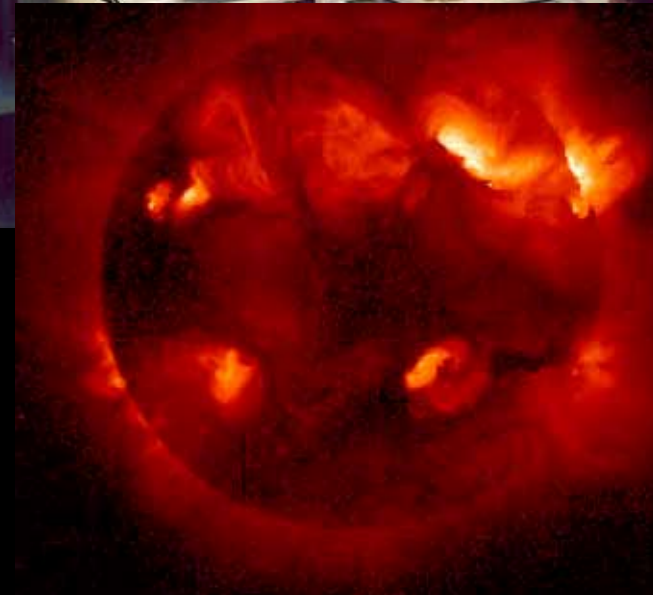


内之浦宇宙空間観測所  
ロケット搭載直前クリーンルームにて

# 「ひので」立案のころ

M2の私:「ようこう」打ち上げ直前(1991.8, 内之浦にて)  
軟X線望遠鏡の最終テレメトリを点検中

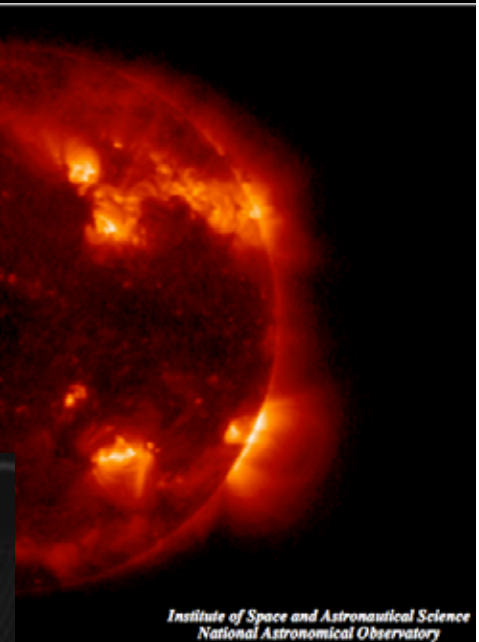
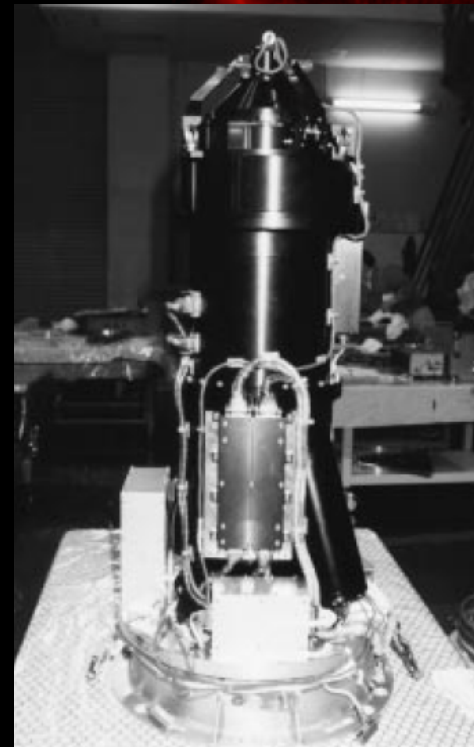
- 「ようこう」の打ち上げ 1991.8
  - 「米国Skylab実験 (1973)以来の軟X線でのコロナ撮像観測」に大きな魅力を感じて、装置試験に専念
  - 理論系研究者、大学院生などがその後ぞくぞくと運用・解析に参加
- 「ようこう」の観測運用・解析をやりながら、次の観測は何か？を考え始めた 1993年ころから
  - 「コロナ(の成因・ダイナミクス)」と「太陽表面の磁場」の同時観測
  - 具体的な概念検討を有志で始める。  
有志= 若手研究者+大学院生
    - 光学望遠鏡の光学系・排熱方法・焦点面観測装置
    - データ処理:画像圧縮、装置間協調観測など
  - ポスドク時代に、「太陽表面磁場」の導出手法を理解するために米国で約1年研究



# 「ひので」立案のころ

- 「ひので」開発着手(予算化)は1998年
  - 新しい観測の試み・技術の獲得・若手のスキルアップのための基礎開発(1995-1998ころ)
    - 観測ロケット(1998打ち上げ): 太陽コロナの速い速度場を画像取得
    - 可動鏡システム(→ひので可視光望遠鏡像安定化装置)、多層膜鏡、CCDカメラ(→ひのでX線望遠鏡カメラ)
- ようこう-地上観測での「ひので」観測のプレビュー
  - 「ひので」X線観測 – スペイン・ラパルマ島高解像度磁場観測で得られたデータ解析(→博士論文)
  - 米国サッキピークに設置されたストークス・ポラリメータ(ASP)による観測・解析(1995 約1年米国HAO滞在)

S520-22  
**XDT**  
31-JAN-1998





第五光学 CAM②

「ひので」の打ち上げ  
(M-Vロケット  
最終打ち上げ)  
(内之浦宇宙空間観測所)

2006年9月23日  
6:36(日本時間)

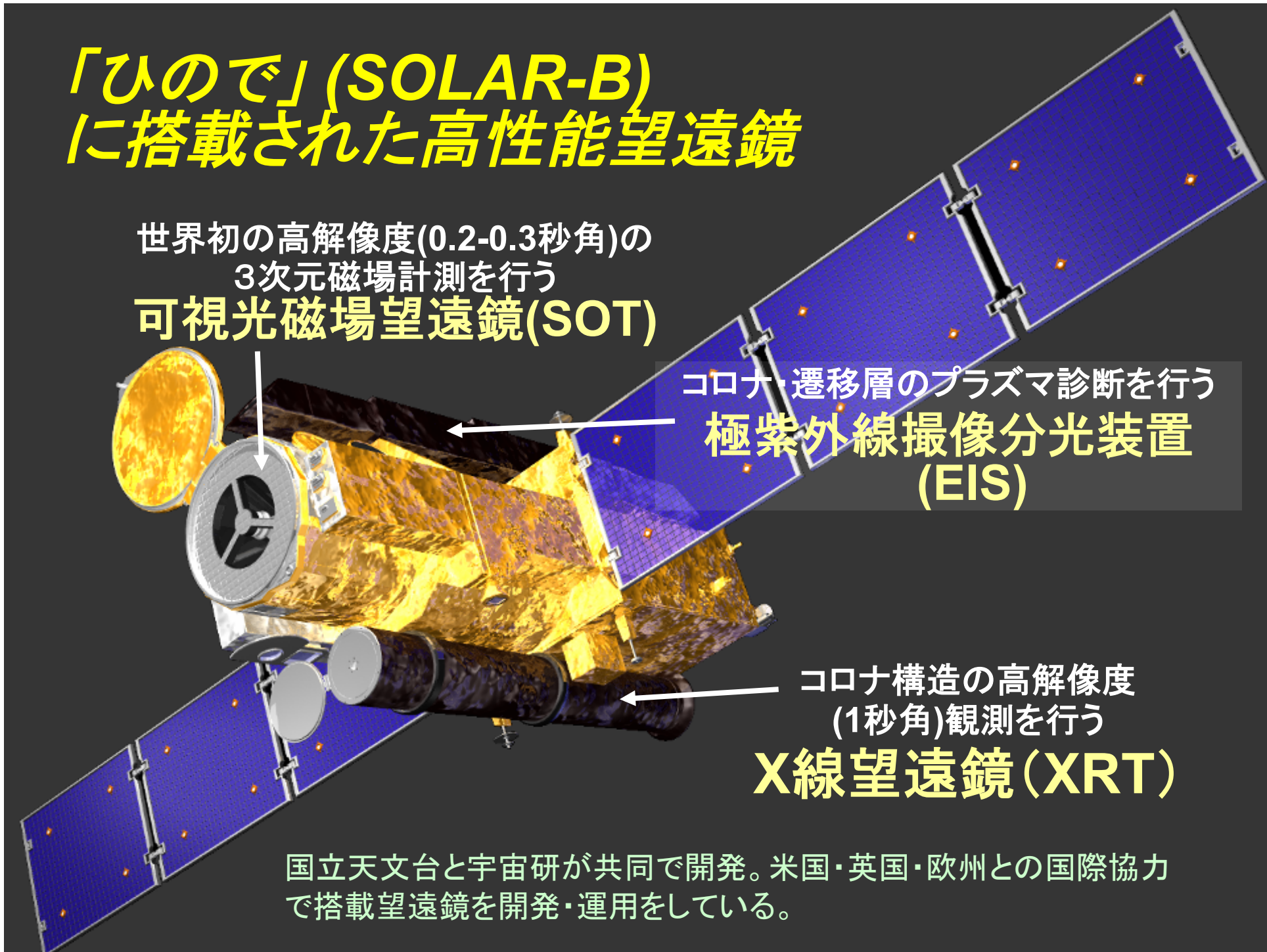
# 「ひので」(SOLAR-B) に搭載された高性能望遠鏡

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)

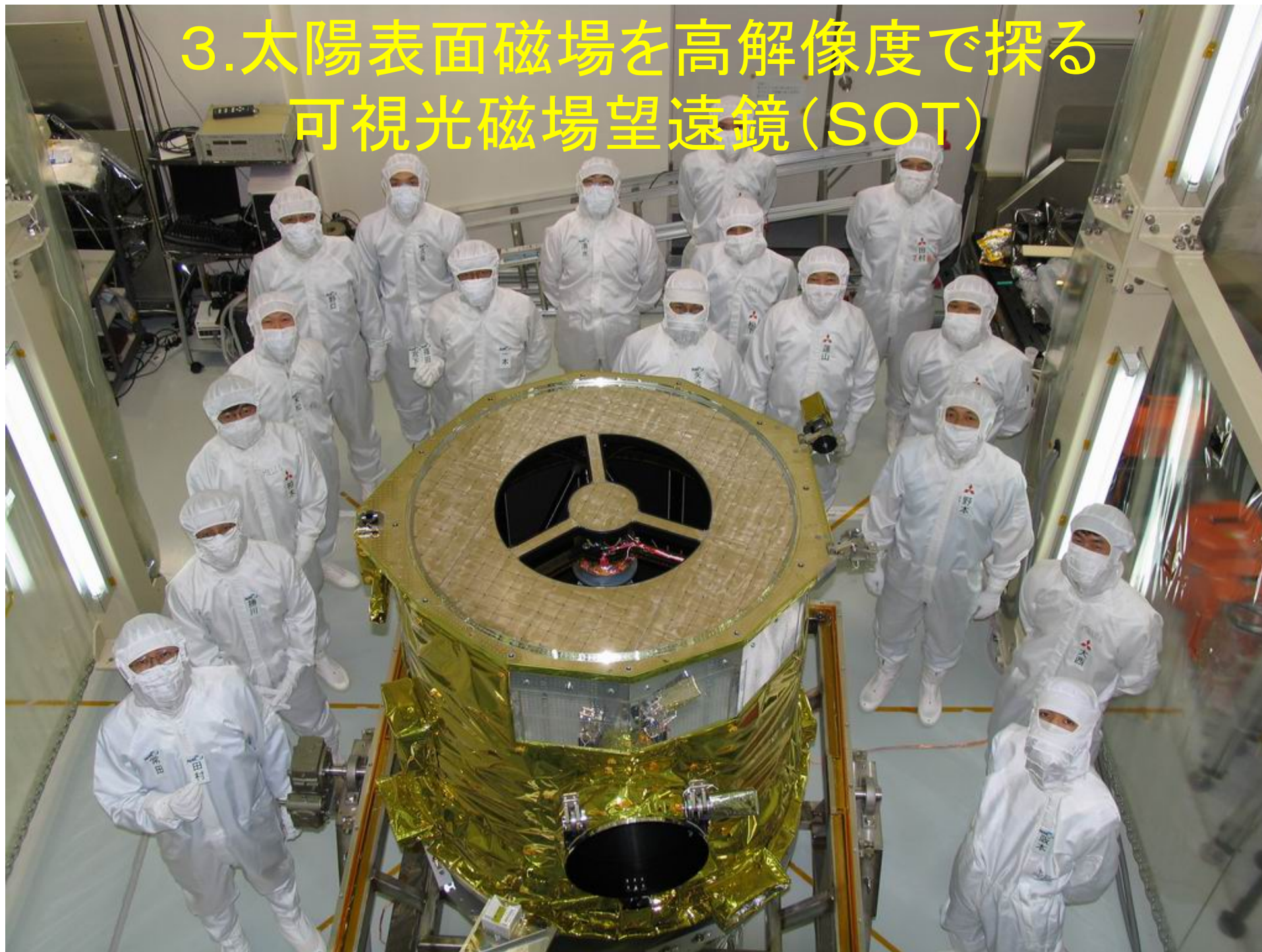
コロナ遷移層のプラズマ診断を行う  
極紫外線撮像分光装置  
(EIS)

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。

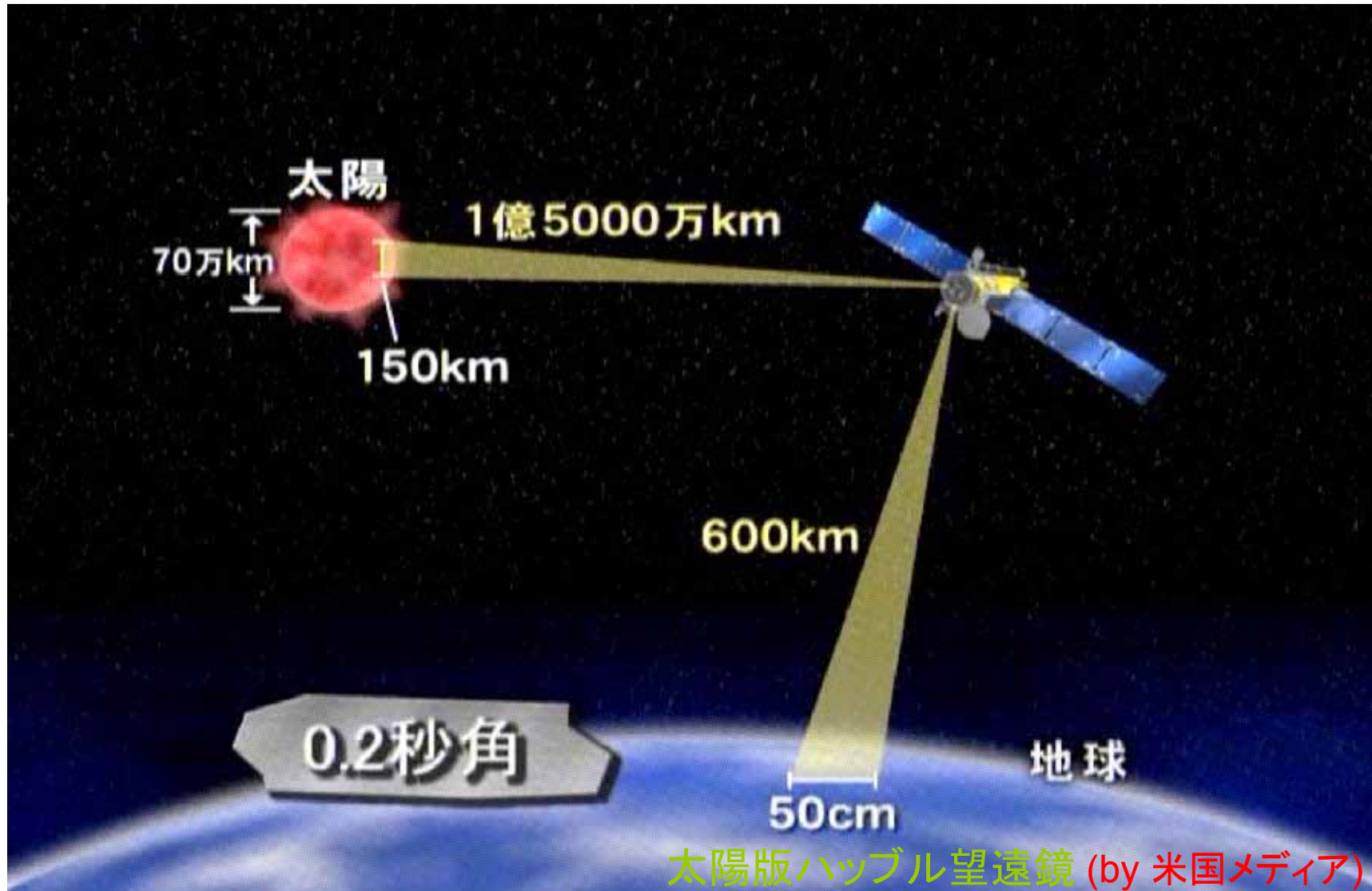


### 3. 太陽表面磁場を高解像度で探る 可視光磁場望遠鏡 (SOT)

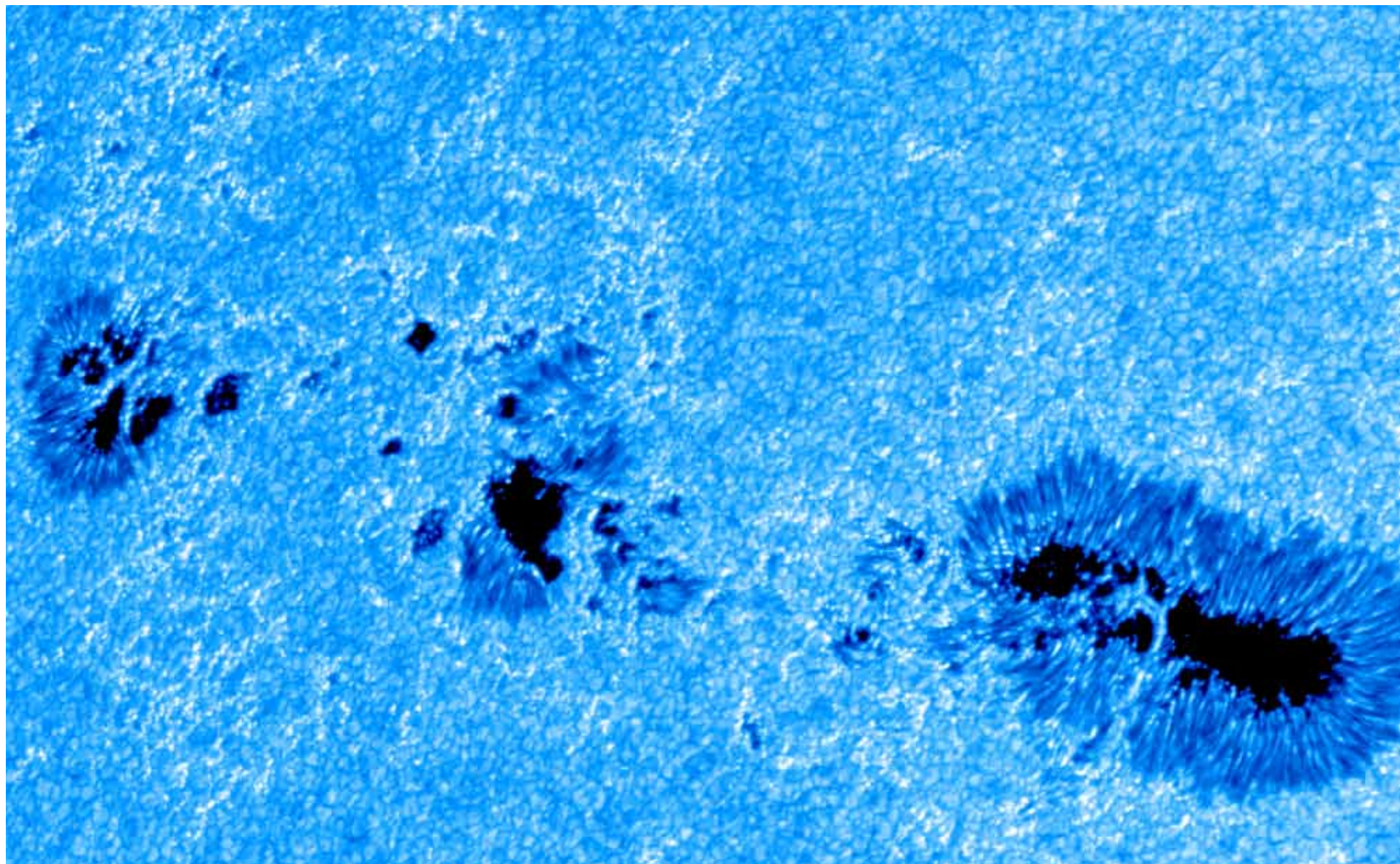




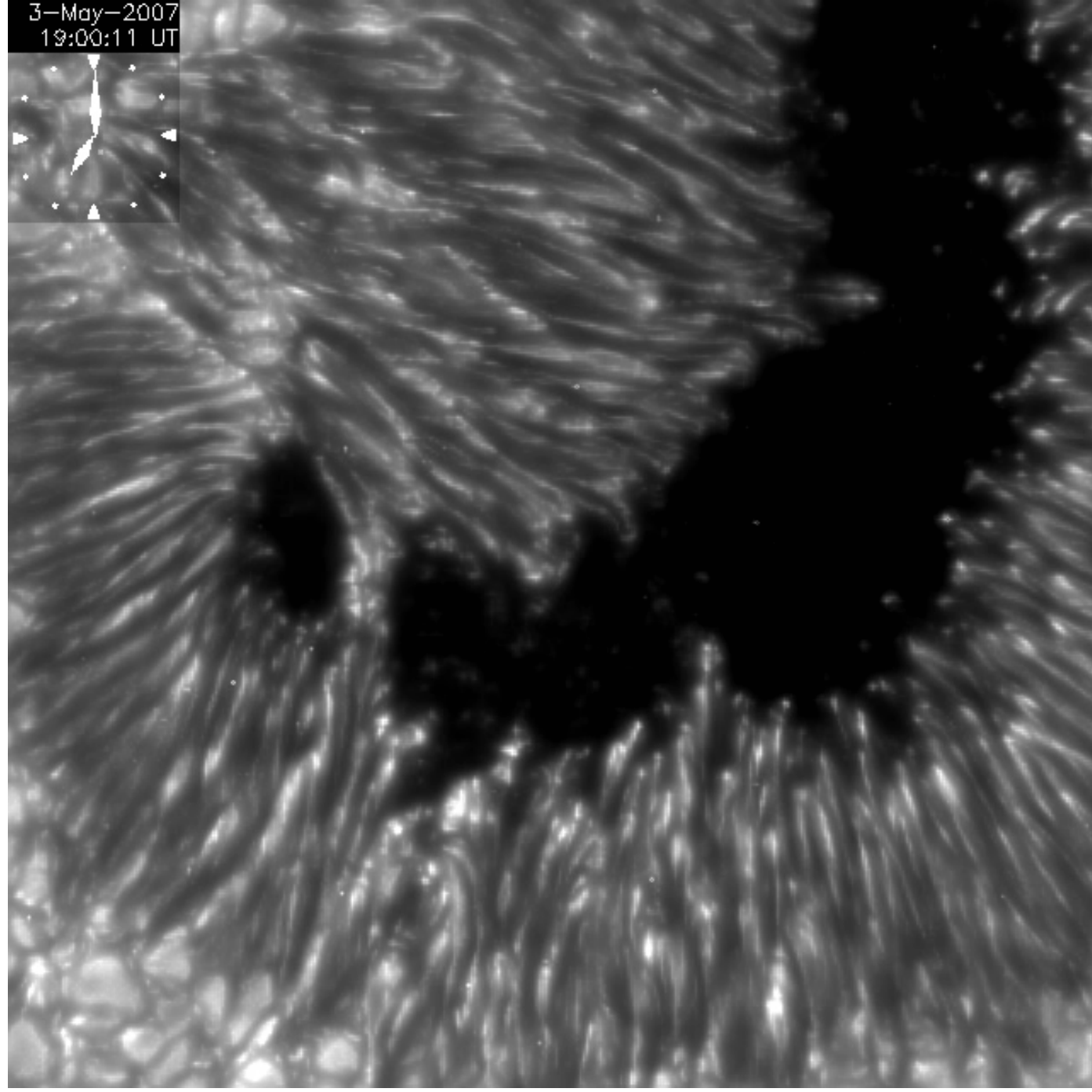
太陽面0.2秒角=  
地上を見れたら50cmのものを分解する能力



# 「ひので」が見た太陽黒点

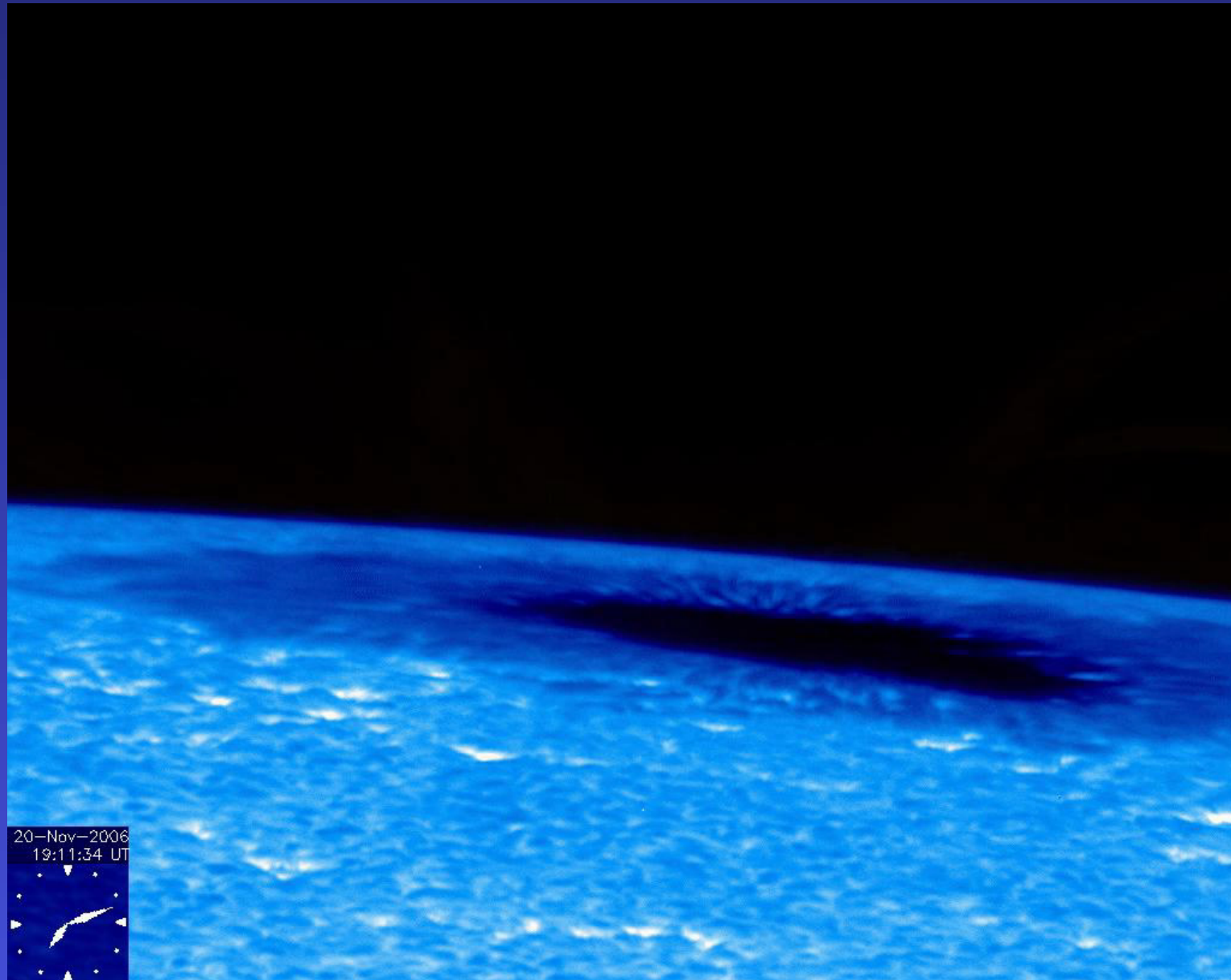


ひので可視光磁場望遠鏡：フィルタ連続観測でとらえた**太陽黒点**



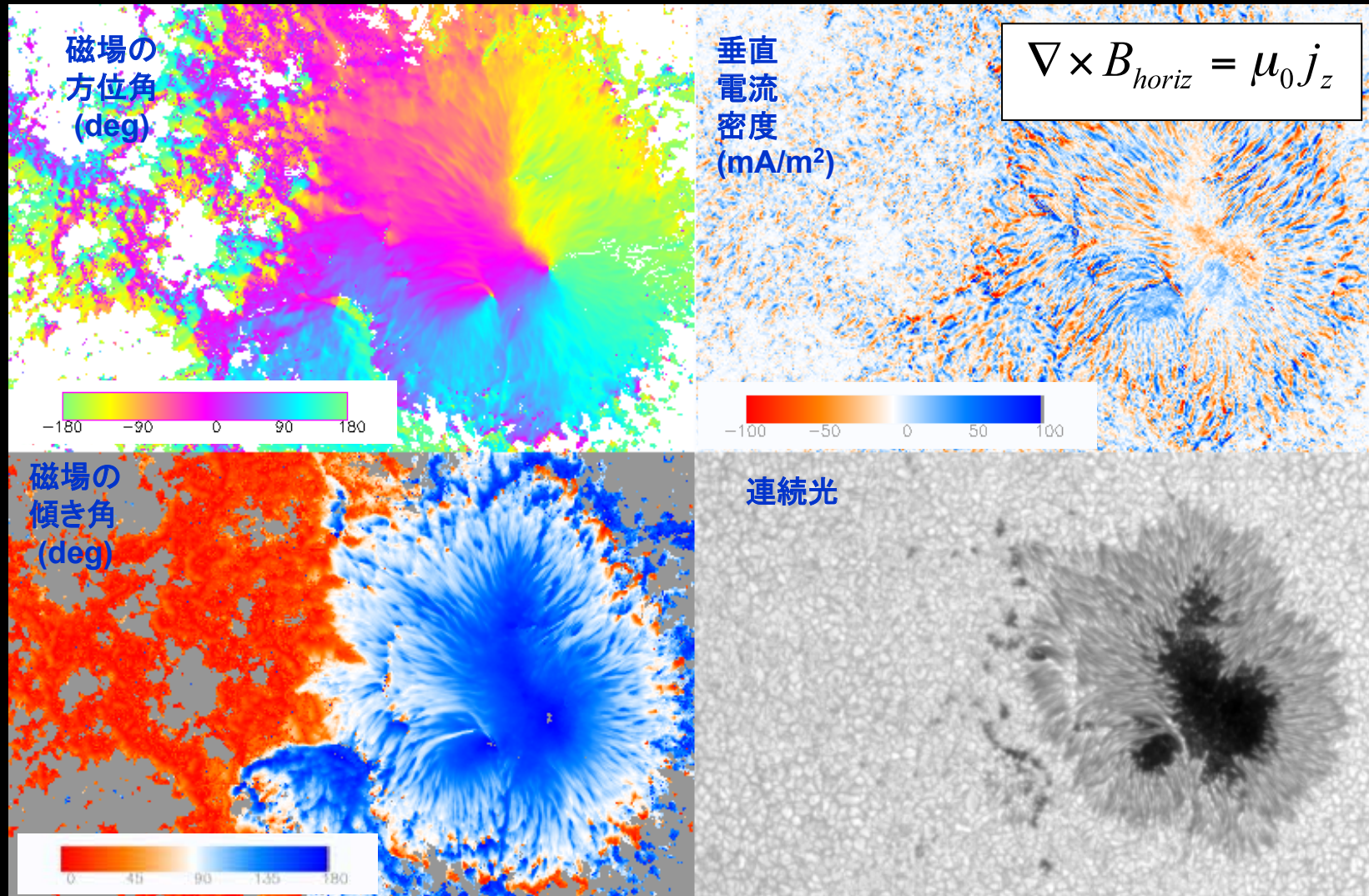
半暗部外側のフィラメント内に外向きのガス流：  
エバーシェド(Evershed)流

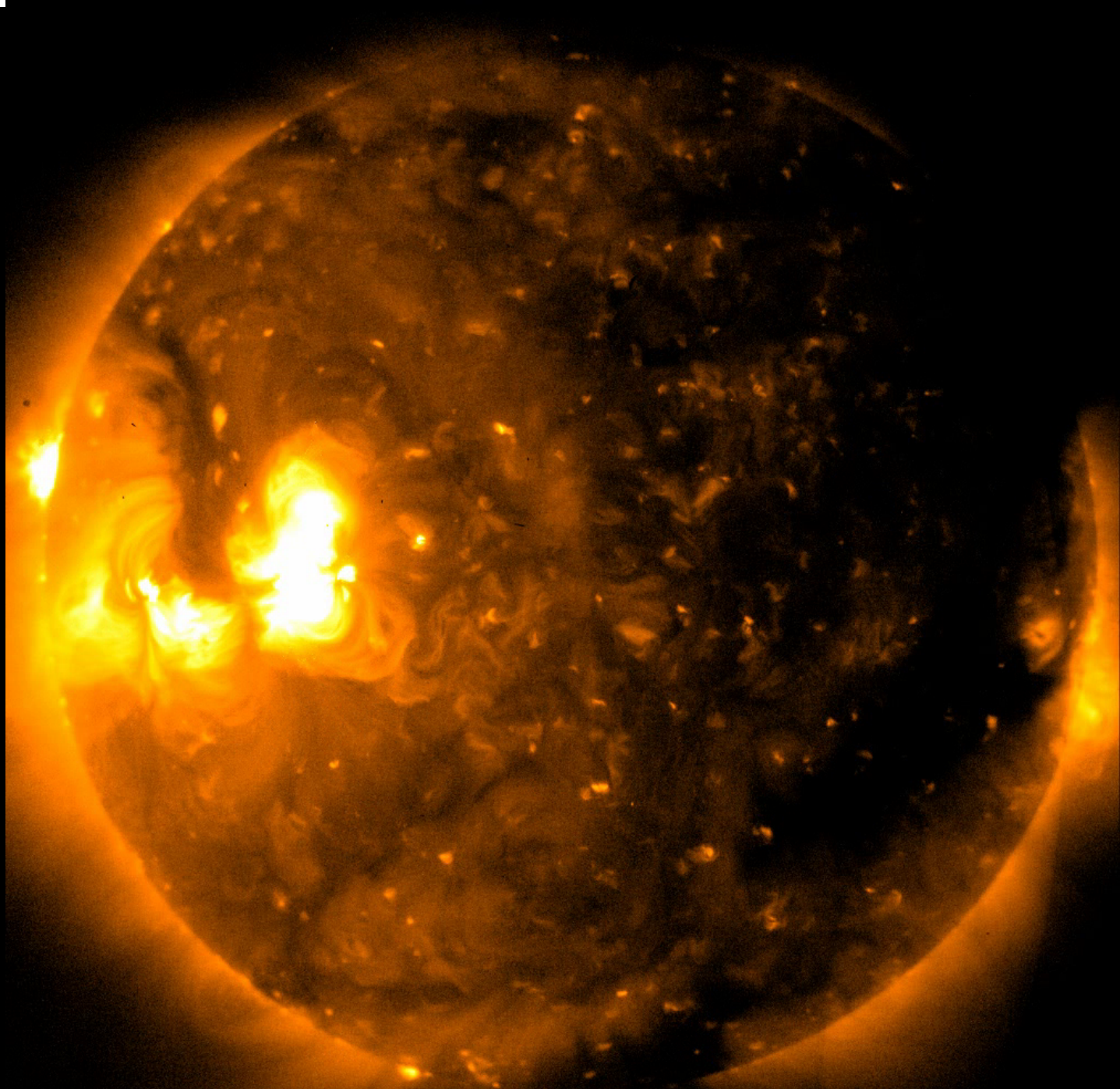
可視光磁場望遠鏡による高解像度連続観測： 太陽縁にある太陽黒点　ダイナミックな彩層現象に満ちあふれている



20-Nov-2006  
19:11:34 UT

- 太陽表面(光球)での太陽磁場の形態・性質をあばく  
磁場のベクトルを高解像度かつ精密に計測することが初めて可能に。





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

# 4. X線望遠鏡・紫外線分光装置による太陽コロナ観測

## X線望遠鏡(XRT)

連続観測(活動領域コロナ)

小爆発(マイクロフレア)で満ち溢れた世界  
コロナ加熱/ダイナミクス起源の理解を目指して

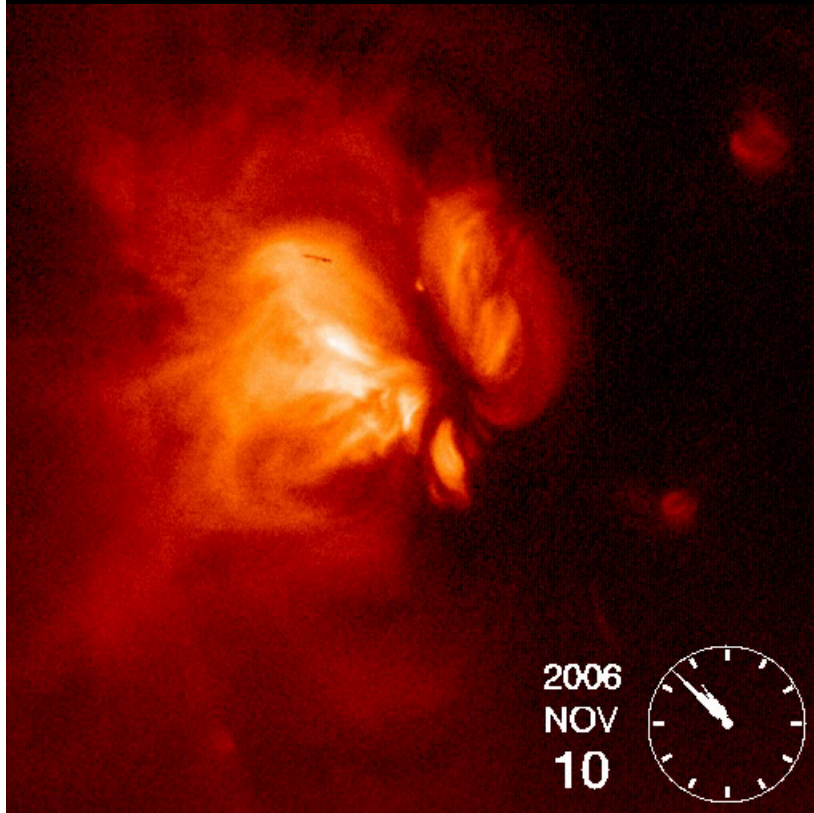
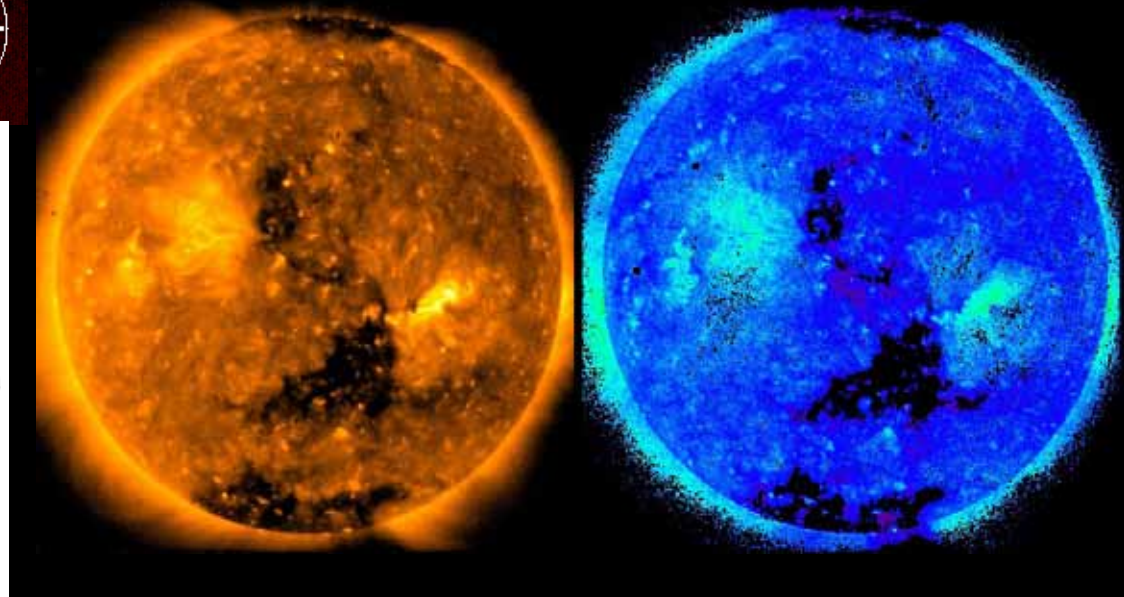
X線フィルターによるコロナの電子温度診断

X線強度

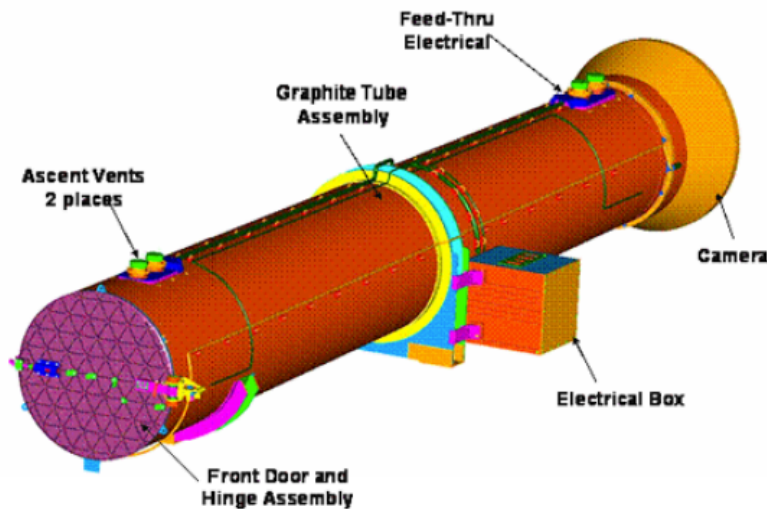
温度

2007/02/12 11:15:32

filter pair : Open/Al\_mesh and Open/Tl\_poly  
max binning : 3x3, Te error < 20%, photon noise < 20%



2006  
NOV  
10

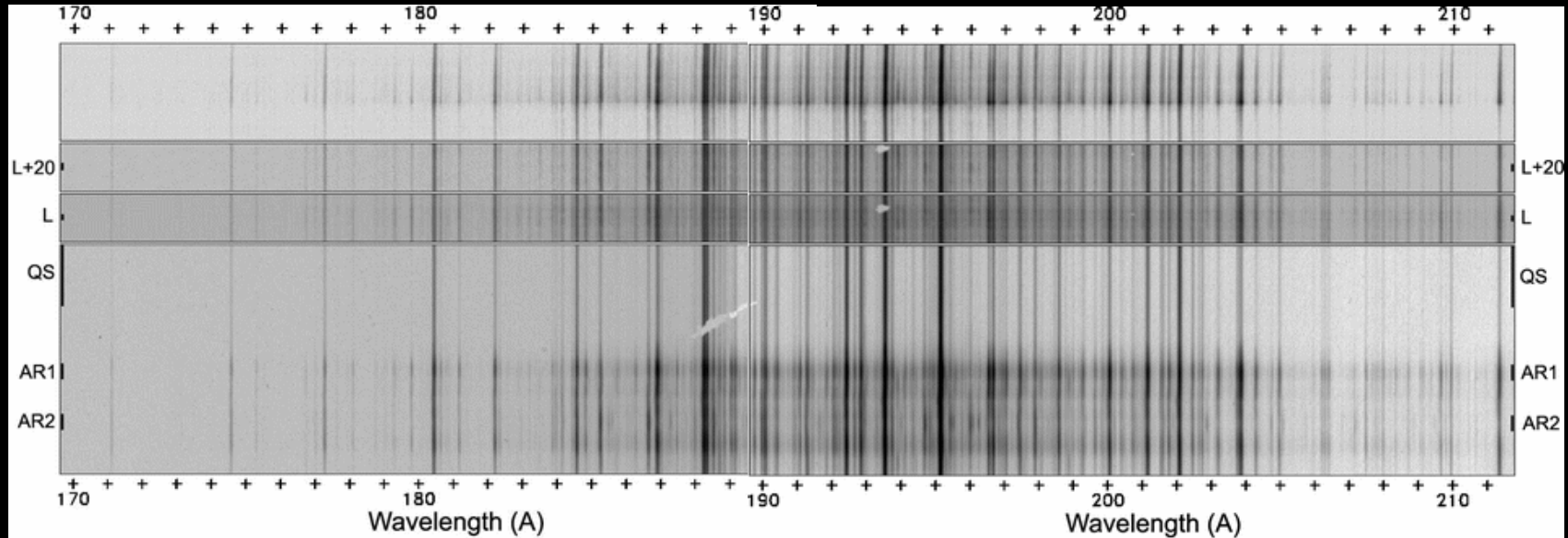


or components  
ics are located  
aperture door.

# 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。

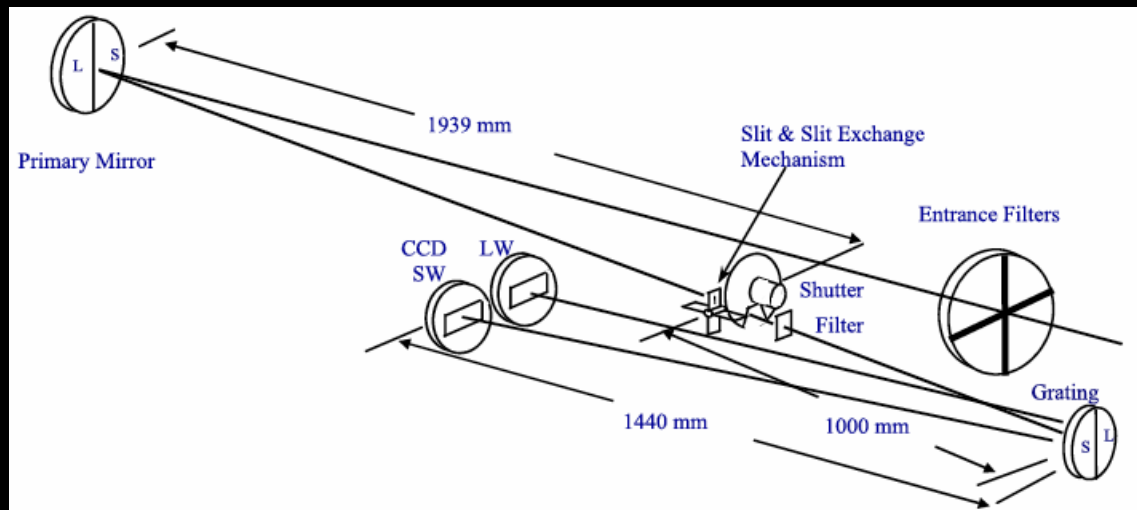
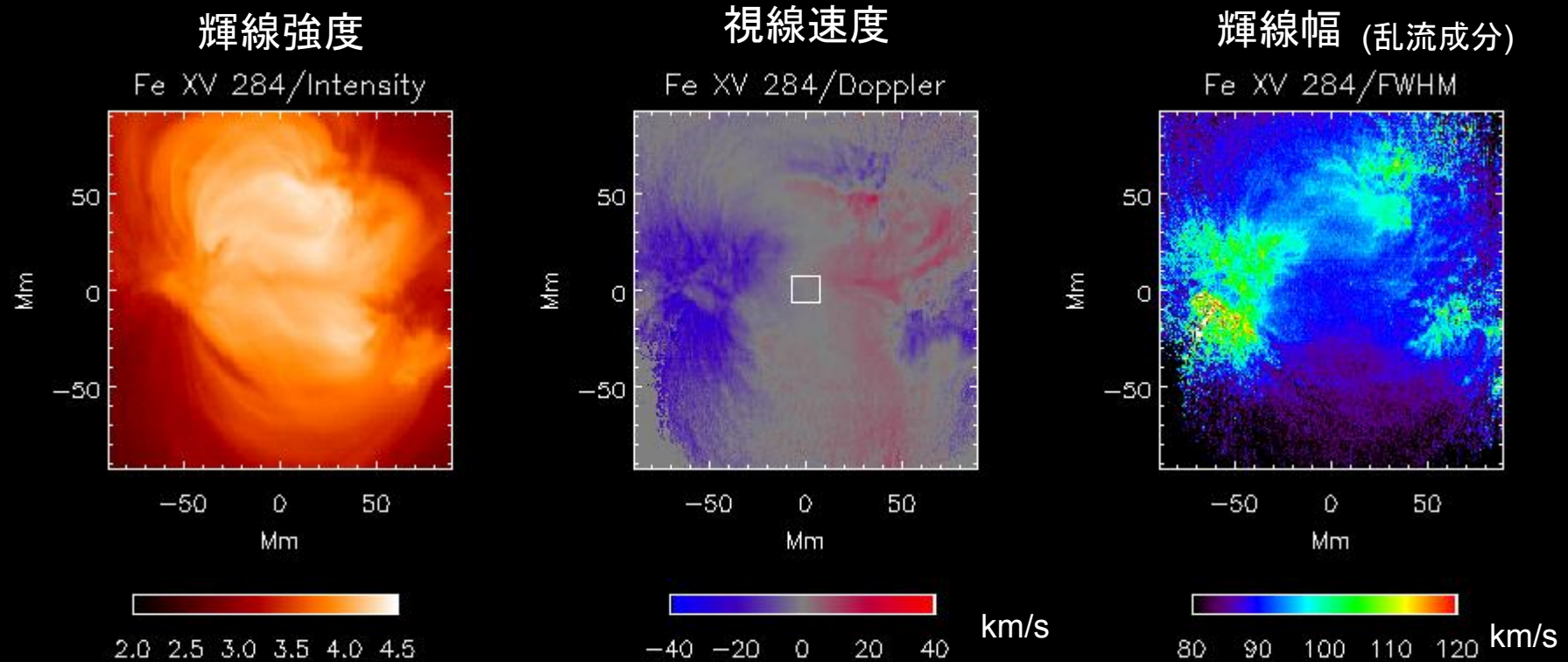


Figure 1 Optical layout of the spectrometer. Components are labeled and dimensions are given in mm. S/SW and L/LW refer to short and long wavelength bands.



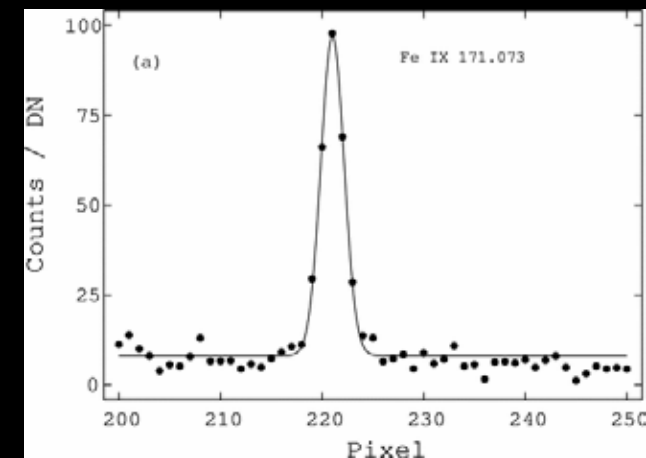
# 紫外線輝線分光によるプラズマ診断



(Hara et al. 2008)

紫外線撮像分光装置(EIS)は、視線方向の速度や乱流速度といった物質運動や物質温度を定量的に測定できる。ループ足元で“ナノフレア”が頻発し、足元で激しい運動が起きていることを示唆？

(Brown et al. 2008 ApJS)



# 5. 「ひので」観測で広がる科学研究テーマ

## 黒点：磁気構造とダイナミクス

黒点半暗部のジェット現象  
半暗部フィラメント構造の運動  
黒点の崩壊過程  
磁場と連動した超音速のガス流

## 極域探査：磁場と活動性

極域にパッチ状に分布する強磁場  
極域からの活発なX線ジェット放射  
ジェットに対応したプラズマ運動速度の検出

## 活動領域の成長・活動性

浮上磁場、黒点形成、磁場崩壊過程  
活動領域コロナの加熱：コロナループ

## 様々な彩層ダイナミクス

黒点半暗部のジェット現象  
ライトブリッジでの彩層活動  
活発な彩層ジェット現象

## フレアとエネルギー蓄積

非線形フォースフリー計算によるフレア前コロナ磁場の推定(データ駆動型シミュレーション、宇宙天気)  
粒子加速(白色光フレア)  
CME, 質量の噴出

## 静穏太陽の磁気的な活動

いたるところに存在する水平方向磁場  
(局所的に磁場生成機構が存在?)  
微細磁束管の形成過程

## 太陽面下の診断

局所日震学手法による診断

## コロナ加熱問題

### - アルベン波の発見

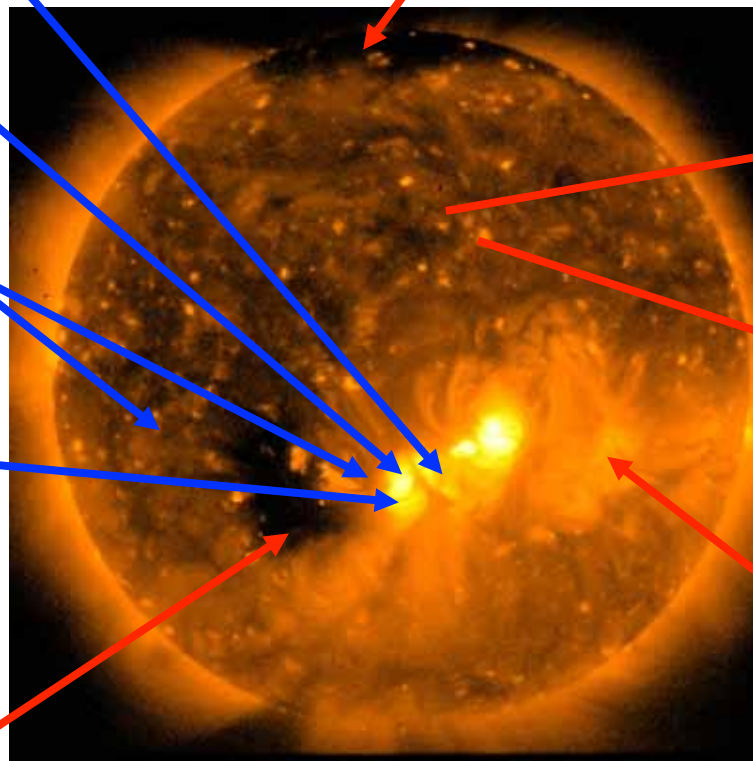
コロナ中のプロミネンス磁力線の振動  
彩層スピキュールの振動

### - マイクロ・ナノフレア加熱

コロナ中の小さな爆発による加熱  
磁気ループ足元に見られる大きな乱流  
速度成分

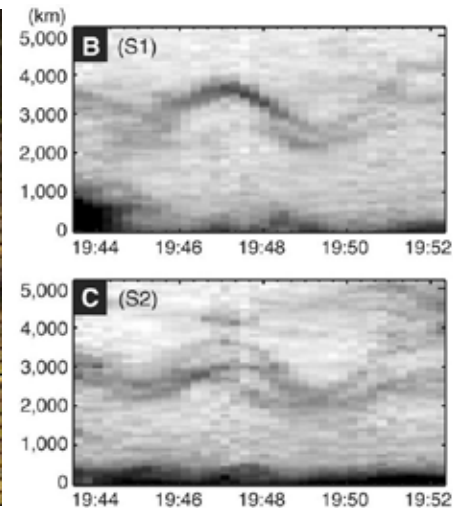
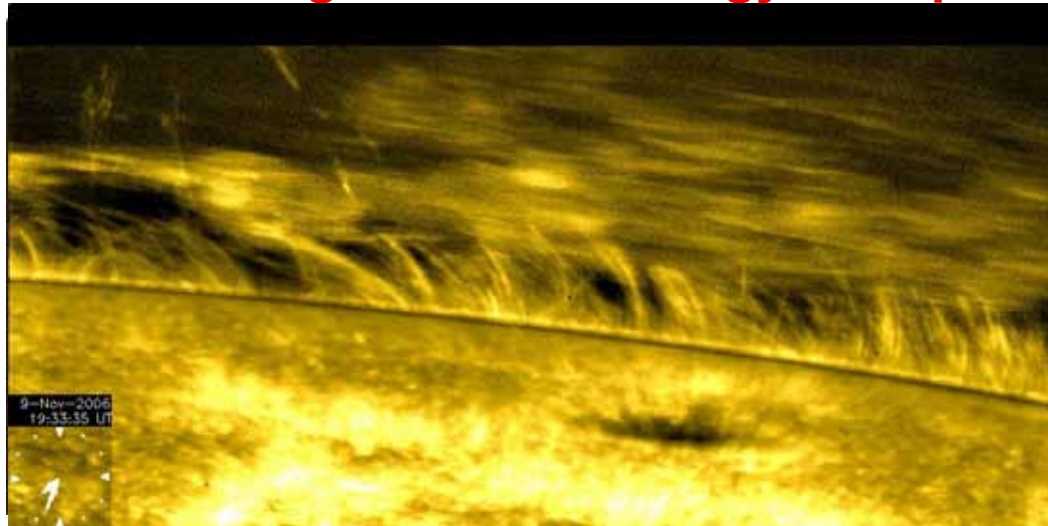
## 太陽圏研究とのつながり：太陽風

低速太陽風の流出源の同定  
一時的に形成されたコロナホールからの上昇流



# 波動研究に新たな窓を開けた「ひので」可視光観測

Waves!: signatures of energy transport and release

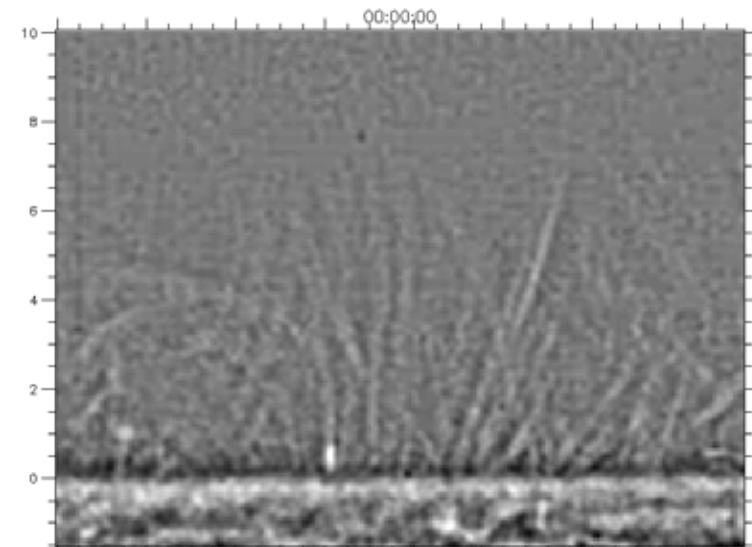


Transverse oscillations of prominence threads that trace the B field  
(Okamoto+07)

## 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？

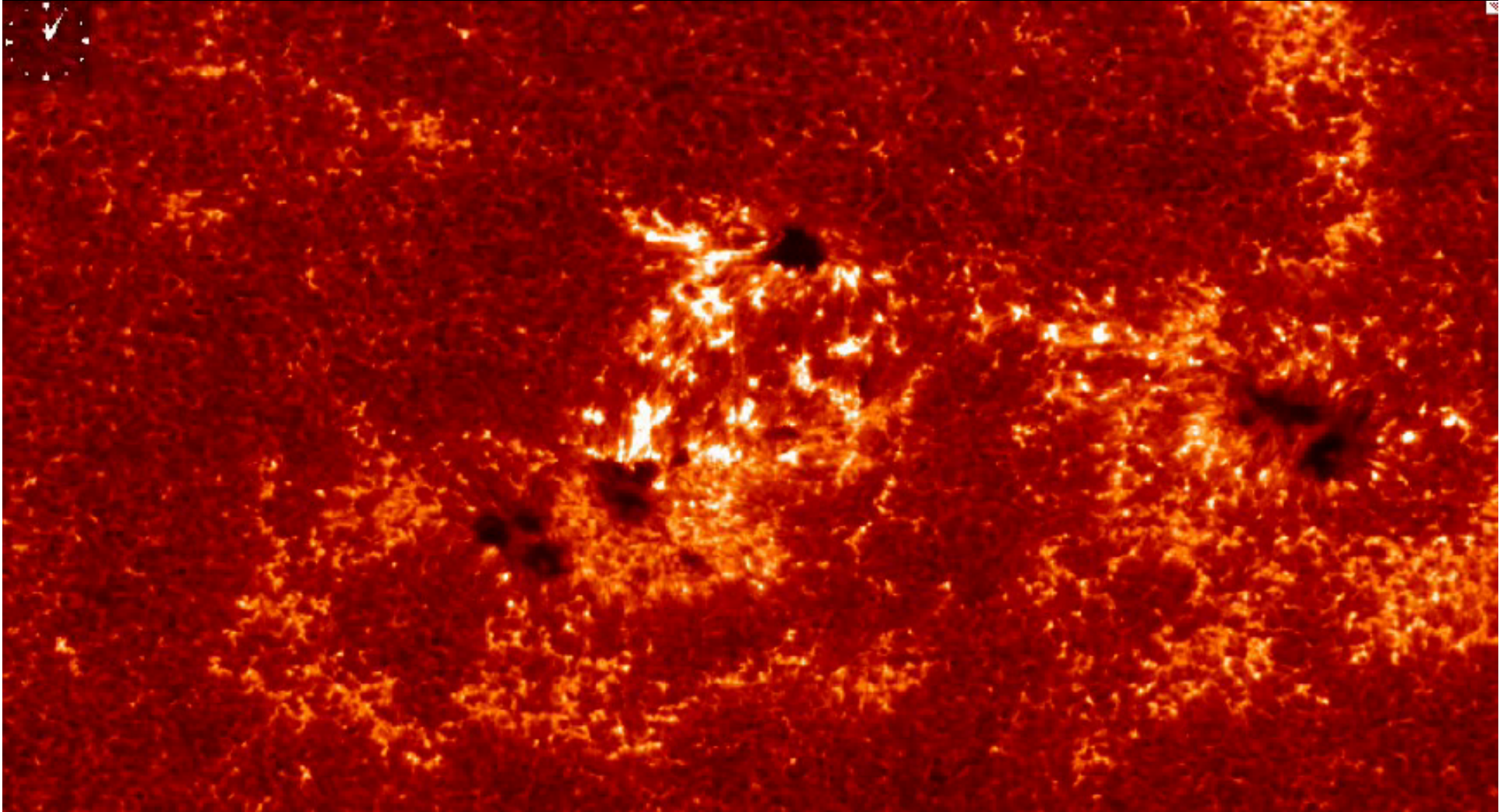
コロナ - コロナ加熱  
太陽風 - 高速流への加速



Transverse oscillations are ubiquitous in spicules (de Pontieu+07)

# 太陽表面の磁場の出現：“磁気浮上活動”

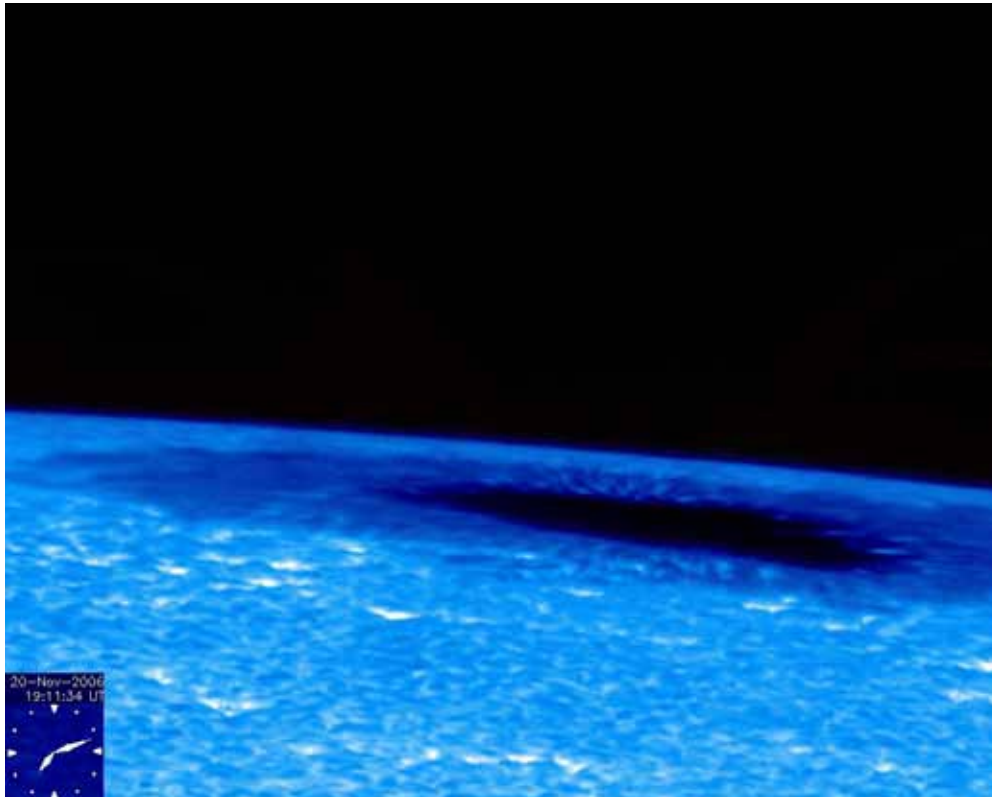
研究テーマ例：磁場浮上、活動発生、黒点形成～散逸の物理過程



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

# 彩層ダイナミクス

## 想像以上に活動的な彩層

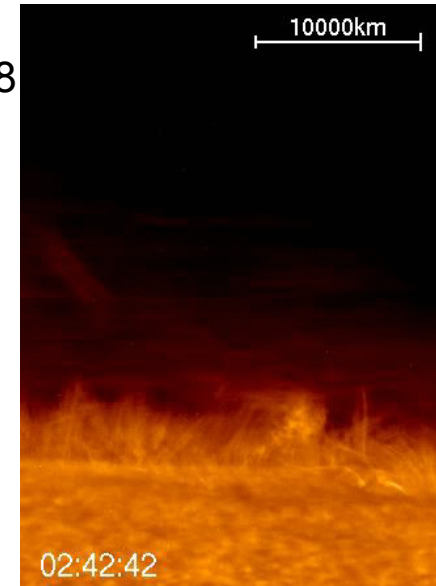


Ginant jet  
(Nishizuka+08  
Liu+09)

Spicules  
(DePontieu+07)

Anemone jets  
(Shibata+07)

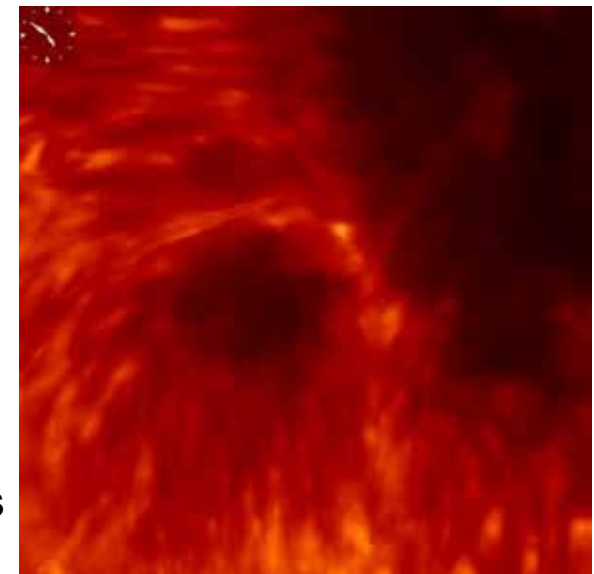
Penumbral  
micro-jets  
(Katsukawa+07)



## 様々なジェット、プラズマ噴出

- 突発的なエネルギー解放 <磁気リコネクション>
- 彩層を含む太陽大気におけるエネルギーや質量の輸送において重要な役割

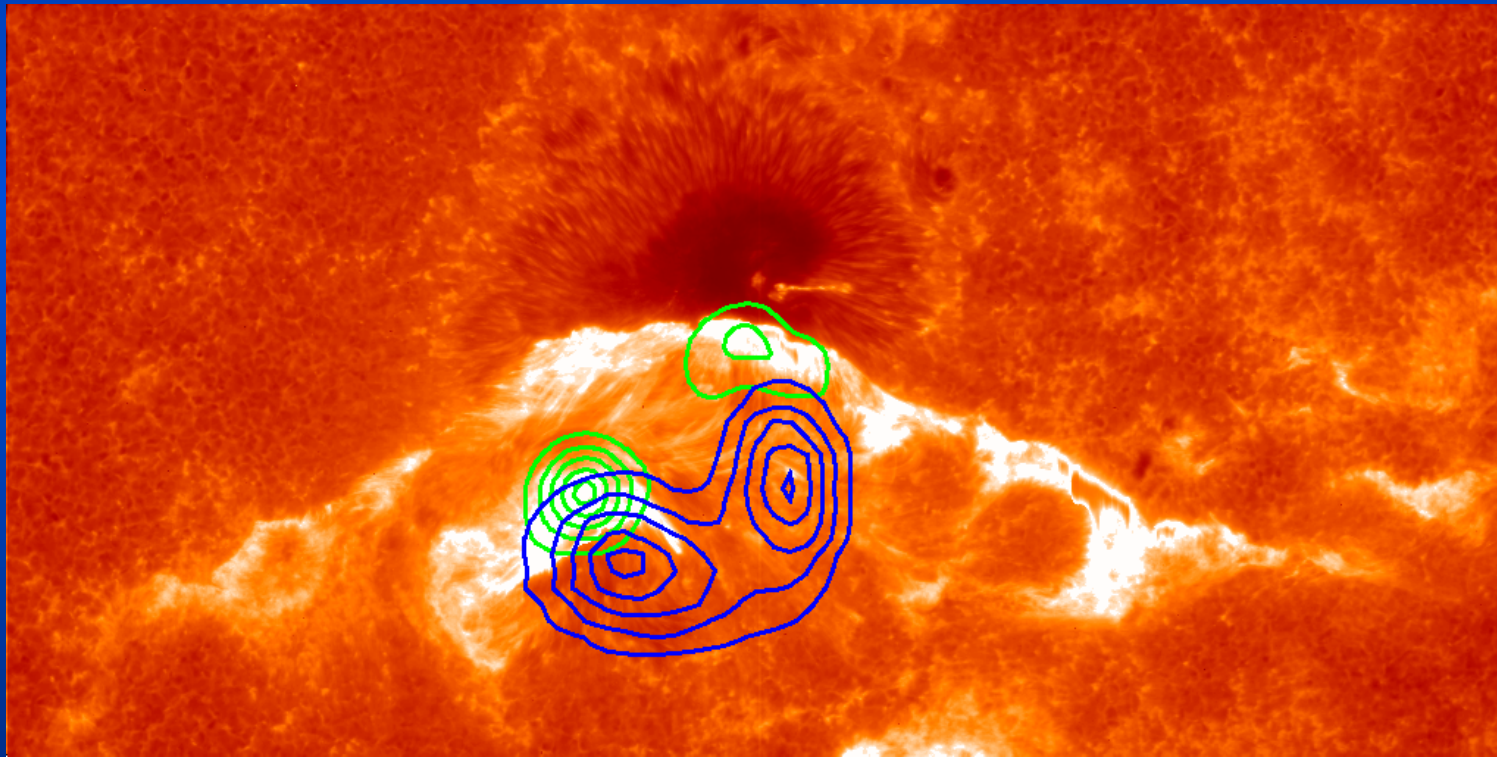
Light bridge jets  
(Shimizu+09)



# 太陽フレア： 磁気構造、エネルギー蓄積、粒子加速

- フレア磁気構造の足元に2つのリボン <粒子加速の跡>
- 電波や硬X線との詳細比較
- 宇宙天気研究への寄与

X3.4 flare on Dec 13, 2006 in AR 10930, the largest in Hinode era.



Minoshima et al. 2009

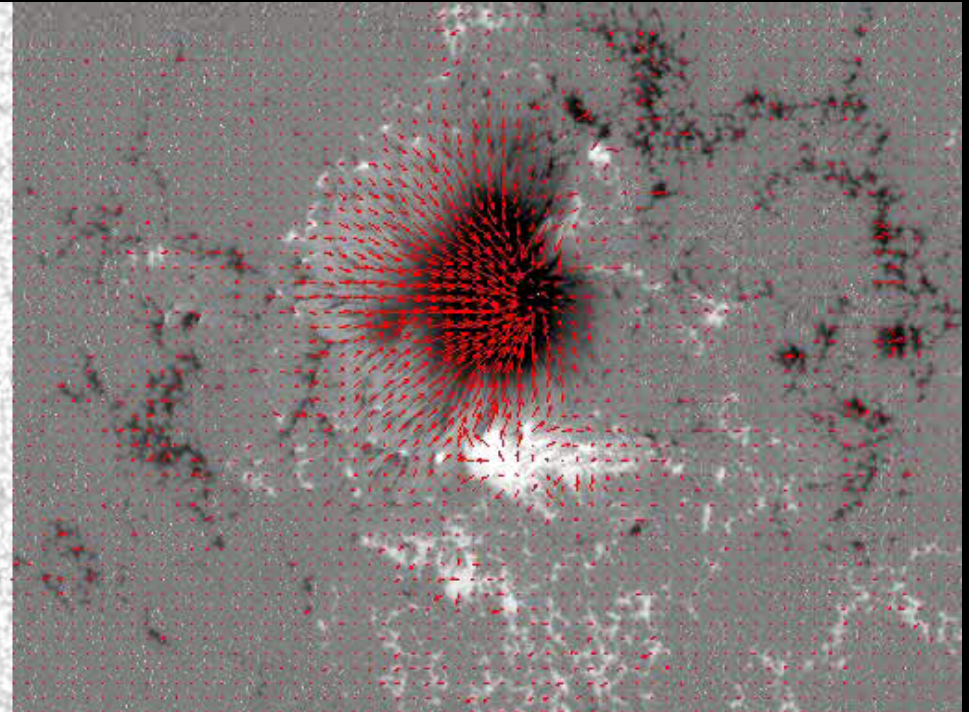
Photo: CallH, Green:HXR(RHESSI),  
Blue: 17GHz (Nobeyama)

# フレア：磁場エネルギーの蓄積

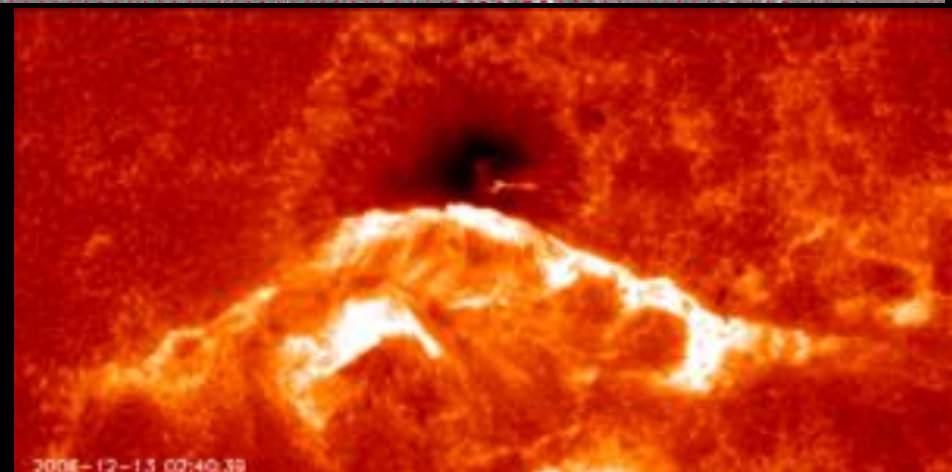
可視光：黒点

可視光：磁場

2006-12-08 10:51:05



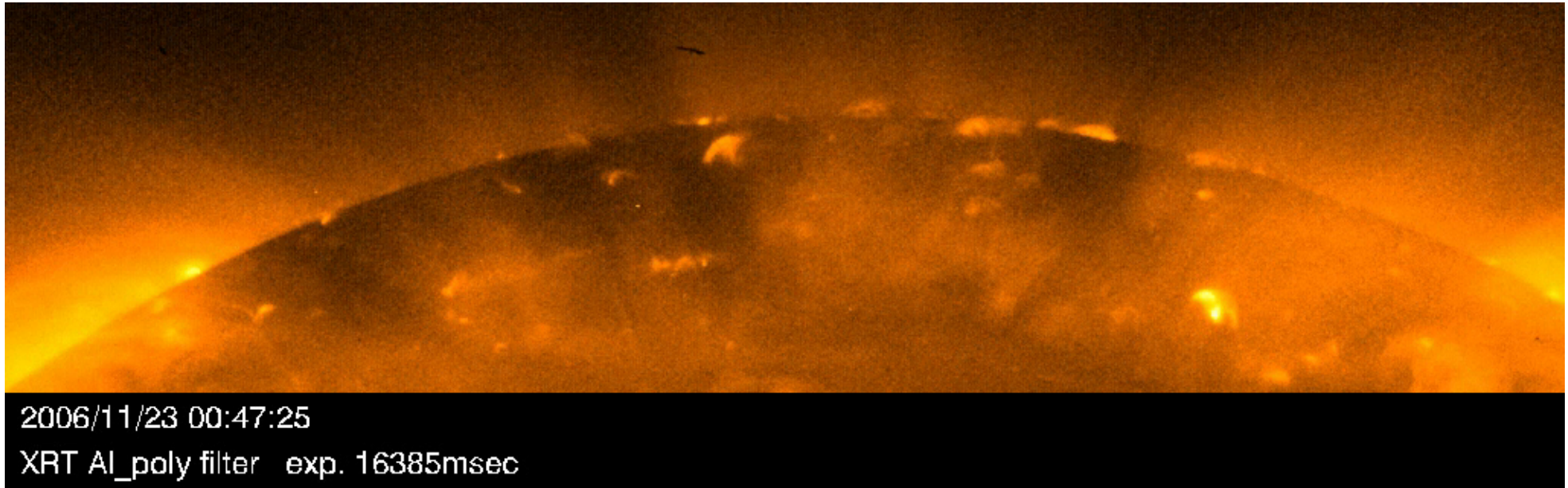
- 強く捩じられた磁場の成長と磁気エネルギーの開放
- 「ひので」による太陽フレアの研究はまだまだこれから。極大期に向けてフレア観測が可能となってきた。



2006-12-13 02:40:39

# 極域探査

極域で磁氣的に何が起きている？



Savcheva, J. et al. 2007, *PASJ*, 59, S771

## 極域コロナホールで頻発するジェット

- 上空へガスを噴き出す「ジェット」と呼ばれる現象が高頻度で発生。60 events/day



## 極域には、高速太陽風の源泉がある

**Ulysses** (McComas et.al. 2000)



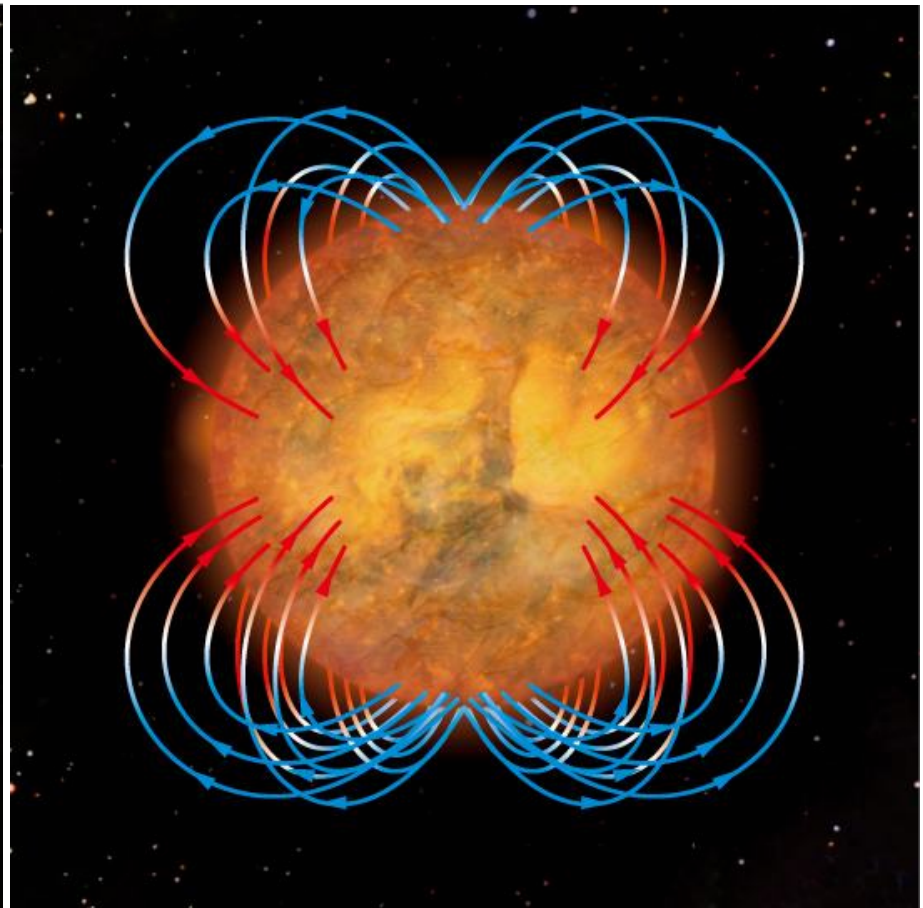
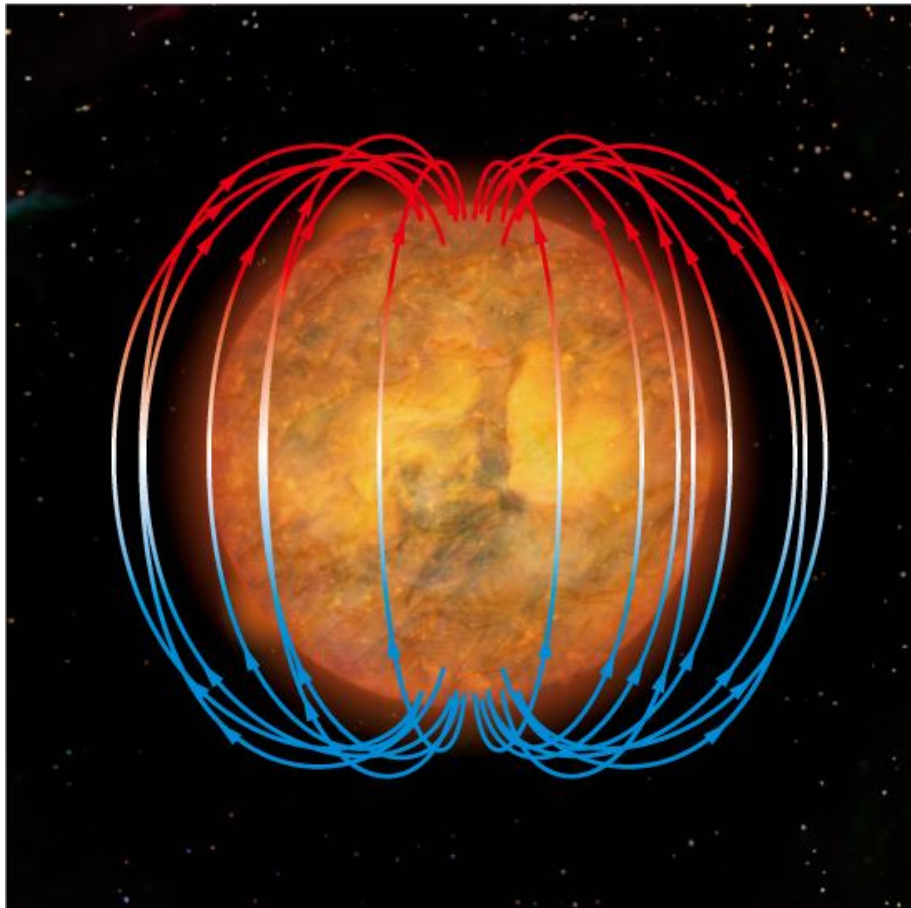
プレスリリース

## 極域磁場の極性が通常より早く非対称に反転しつつある

- 11年周期で極域磁場の極性が反転する
- 極磁場は、黒点磁場(トロイダル)の種。太陽活動を予測する上で重要

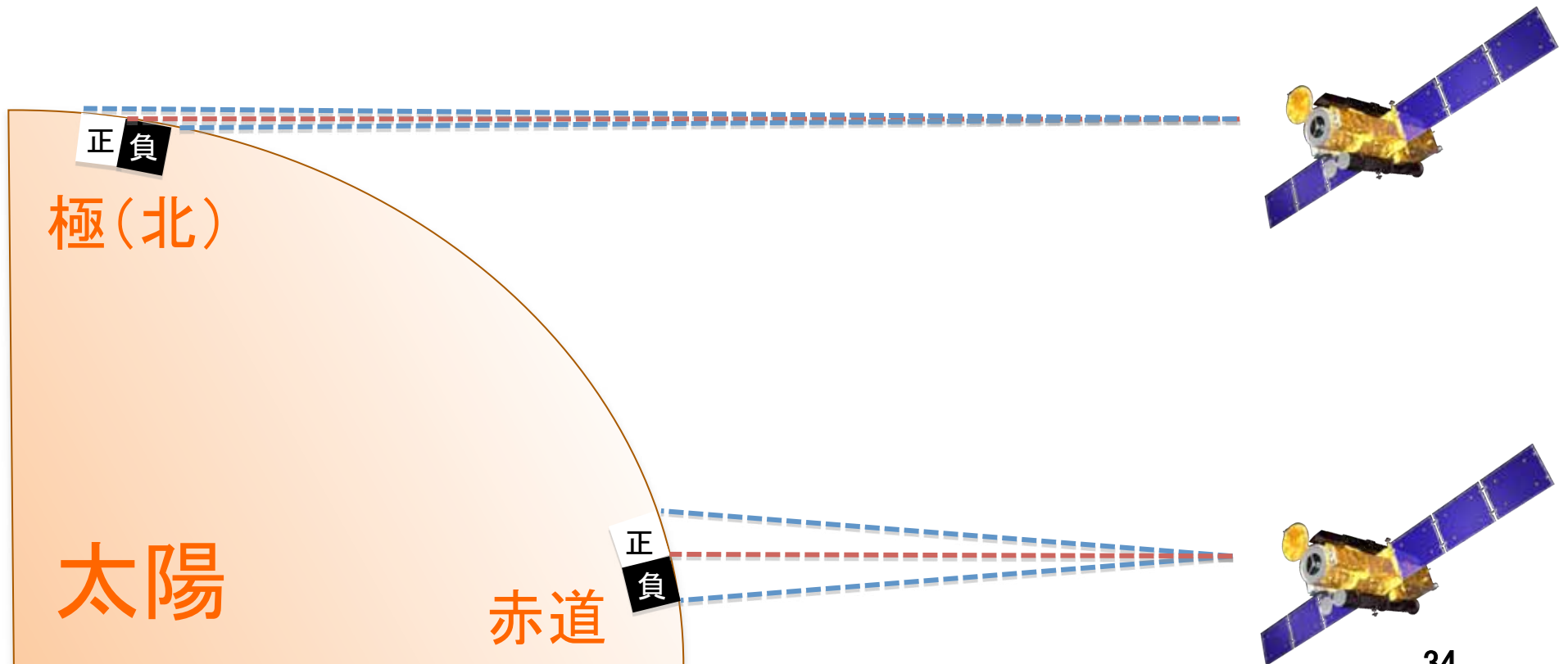
太陽の大規模磁場 2008年(極小期)

太陽の大規模磁場 近未来(2012.5)予想



# 極は地球からは見えにくい

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”しかできない観測

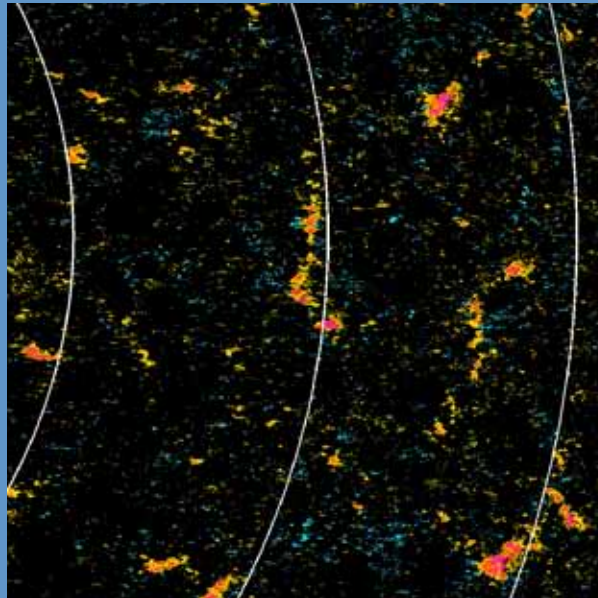


# 非対称な反転

負極 ← 磁場 → 正極

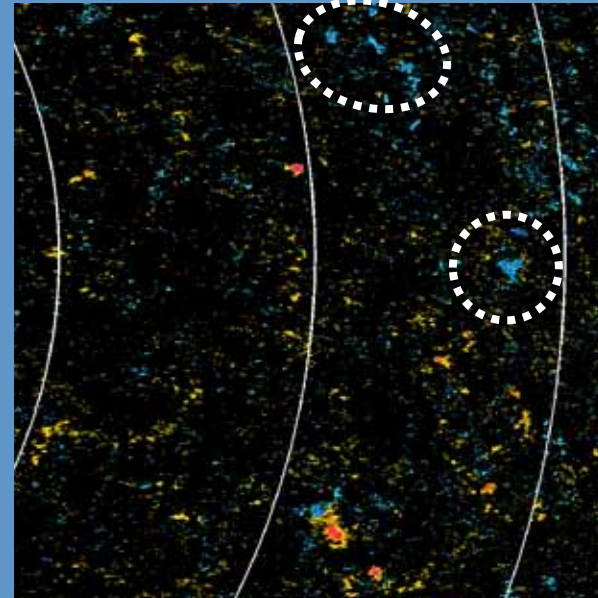


北極

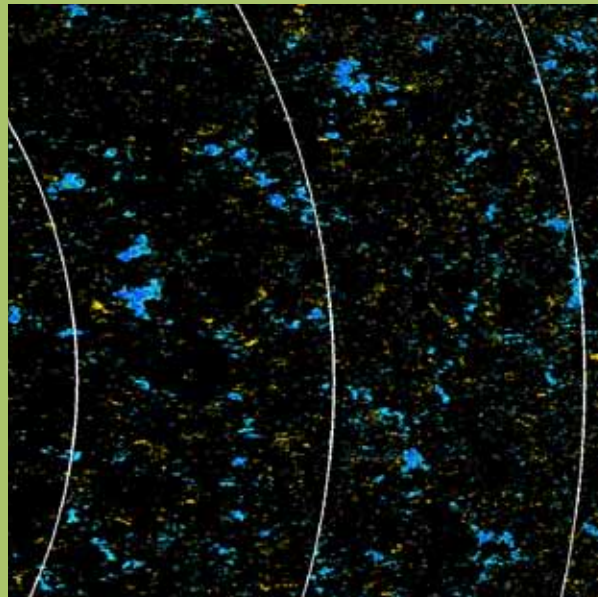


2008年

2011年

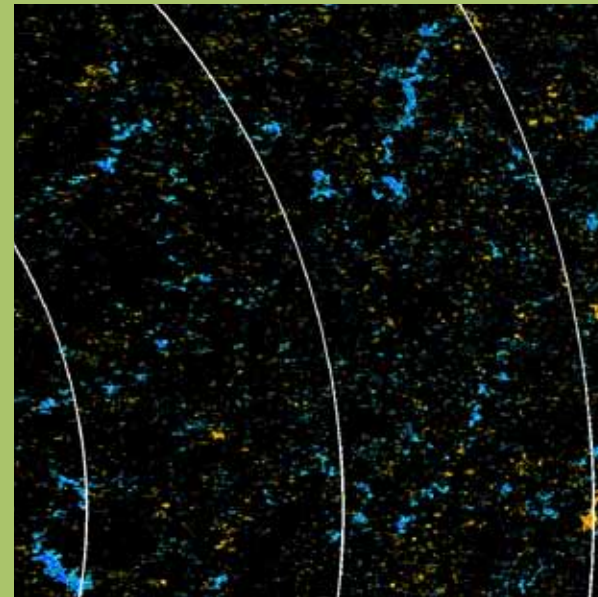


南極



2009年

2012年



# 6、「ひので」の科学観測運用

~研究活動の重要な一部~

宇宙研で開催される運用朝会の様子

Chief Planner: 科学観測とりまとめ

Chief Observers: 各望遠鏡の観測計画立案:  
研究者、院生が主役



# 「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・データ解析

- 誰でも参加できる「軌道上天文台」
  - 自分の研究のために最先端宇宙望遠鏡での観測を実現
  - 科学観測は、国立天文台(NAOJ)と宇宙研(ISAS/JAXA)を核とした日本の太陽コミュニティ(各大学も含め)と国際協力機関(米国、英国)の研究者・大学院生が主導。
  - 科学観測の運用： 宇宙研にて (一部遠隔地からリモート参加あり)
  - 重要な共同観測：他衛星、地上観測所
- 誰でも使える「観測データ」： 即時公開

# ひので開発に参加した世界の機関

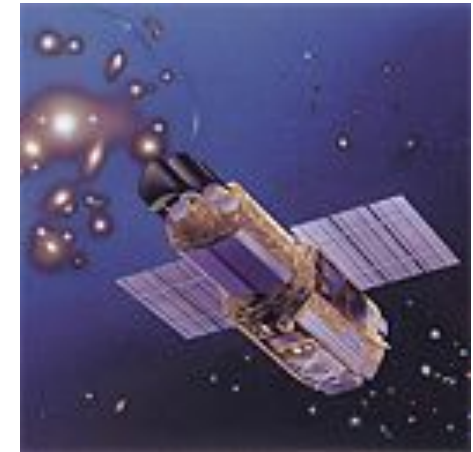


図2 「ひので (SOLAR-B)」衛星の開発に参加した世界の研究機関・大学。欧州宇宙機関 (ESA) とノルウェー宇宙センターは、科学データ受信を支援することでプロジェクトに参加している。

# 7. JAXA宇宙科学研究所 (ISAS)

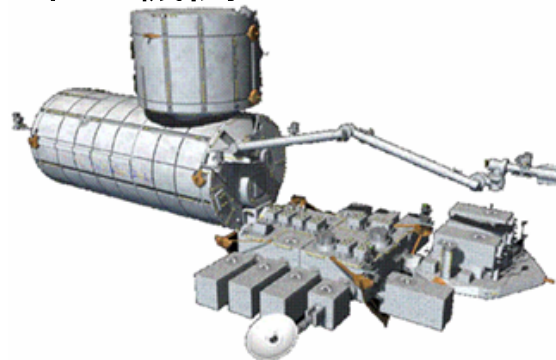
## 日本の宇宙科学の核となる大学共同利用機関

- 神奈川県相模原市
- 飛翔体: 科学衛星、観測ロケット、気球、宇宙ステーション
- 理学と工学
- 理学としては、X線、赤外線、電波天文、宇宙プラズマ、固体惑星等のグループ。



## 宇宙航空研究開発機構 (JAXA)


- 平成15年10月、文部科学省宇宙科学研究所(ISAS)、航空宇宙技術研究所(NAL)及び宇宙開発事業団(NASDA)が統合して独立行政法人機関として発足
- 日本の宇宙開発の中心機関

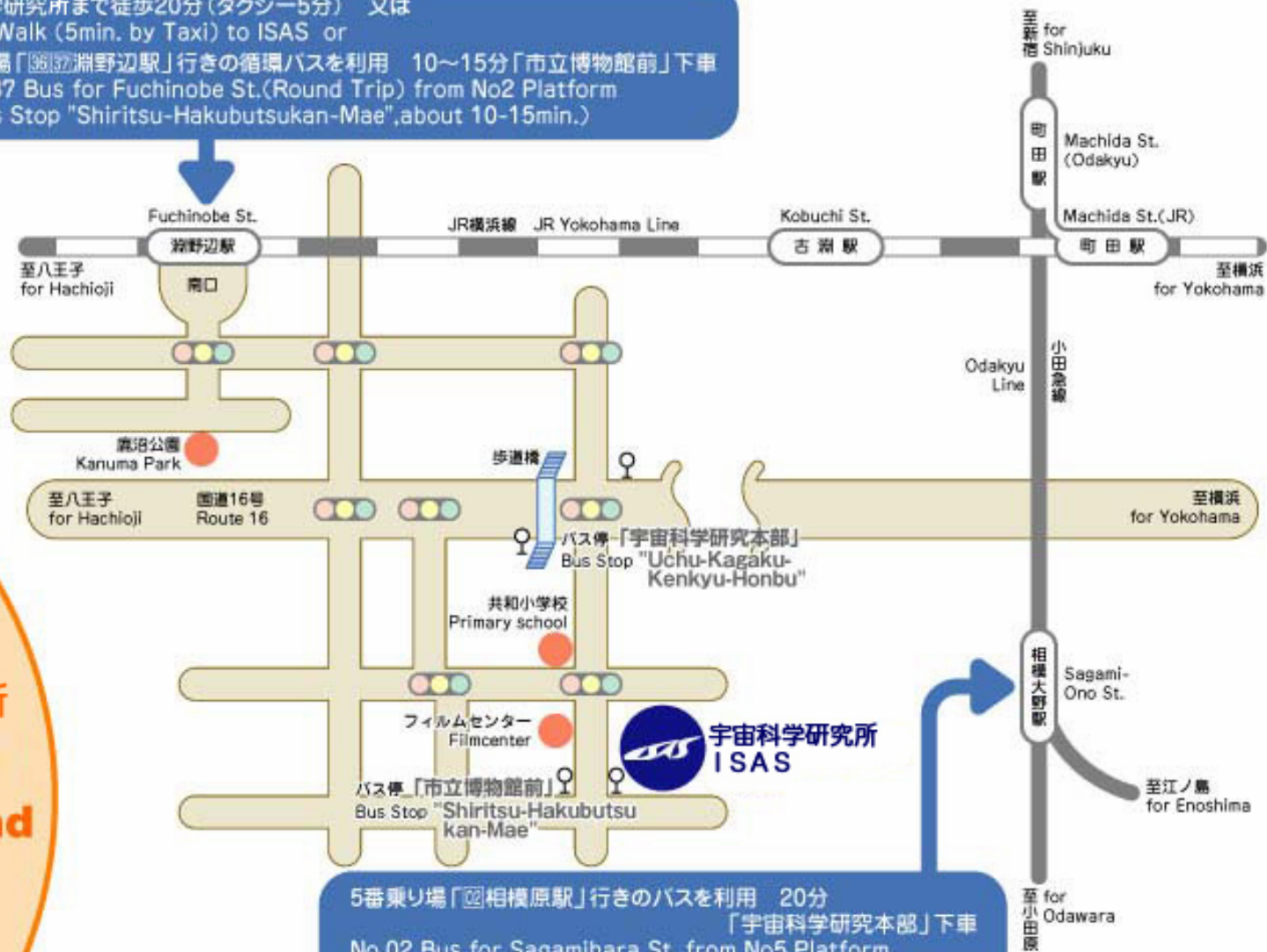



はやぶさ





宇宙科学研究所まで徒歩20分(タクシー5分) 又は  
 20min. Walk (5min. by Taxi) to ISAS or  
 2番乗り場「淵野辺駅」行きの循環バスを利用 10~15分「市立博物館前」下車  
 No.36/37 Bus for Fuchinobe St.(Round Trip) from No2 Platform  
 (To Bus Stop "Shiritsu-Hakubutsukan-Mae",about 10-15min.)



5番乗り場「相模原駅」行きのバスを利用 20分  
 「宇宙科学研究本部」下車  
 No.02 Bus for Sagami-hara St. from No5 Platform  
 (To Bus Stop "Uchu-Kagaku-kenkyu-honbu",About 20min.)

宇宙科学研究所  
 周辺地図  
**Map around  
 ISAS**

## 宇宙研(ISAS/JAXA)の太陽研究者たち

- 坂尾 太郎 准教授：総研大宇宙科学兼任
  - 清水 敏文 准教授：総研大宇宙科学兼任
  - 松崎 恵一 准教授：総研大宇宙科学兼任
  - 岡本 丈典 宇宙航空プロジェクト研究員
  - 西塚 直人 宇宙航空プロジェクト研究員
  - 成影 典之 宇宙航空プロジェクト研究員
  - 渡邊 恭子 日本学術振興会特別研究員
  - Alphonse Sterling 米国NASA職員
  - David Brooks 米国NRL/George Mason Univ.
- 
- 国立天文台太陽グループと共同で太陽観測衛星などを実現してきている。
  - 衛星運用等を通して、各大学・機関研究者・大学院生の訪問が多い(共同利用機関)。
  - 現在、太陽を専門に学ぶ大学院生はいない。磁気圏や惑星等はあるが。

# 宇宙研も大学院生受け入れが可能

<http://www.isas.jaxa.jp/sokendai/>



検索



## 総合研究大学院大学 物理科学研究科 宇宙科学専攻

宇宙開発に関わる人材の育成をモットーに  
探求心を持って最先端の研究に挑む

総研大について

研究紹介

教育プログラム

キャンパスライフ

大学入試

お問い合わせ

アクセス

- 2009/05/22 [宇宙科学専攻：説明会開催について](#) (7月25日：終了)
- 2009/05/12 [2009年宇宙科学専攻：体験入学について](#) (6月1日-3日：終了)
- 2009/05/12 [平成21年度開講の授業の詳細を掲載しました。](#)
- 2008/03/03 [バーチャル体験入学を公開しました。](#)
- 2007/06/01 サイトをリニューアル致しました。

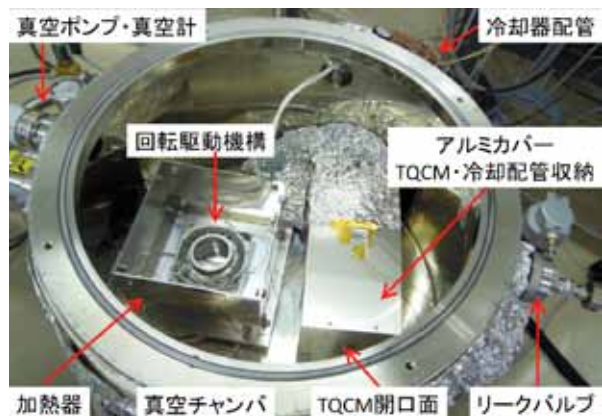


The G  
Copy

興味があればISAS訪問してください： 清水([shimizu at solar.isas.jaxa.jp](mailto:shimizu@ solar.isas.jaxa.jp))まで

# 「ひので」観測研究と平行に、将来も**世界の先頭**を行く **宇宙望遠鏡を実現する技術の開発研究を推進**

Solar-C: 光学磁場診断望遠鏡とその焦点面装置を国内で開発するために



性能評価を行っている裏面照射型CMOS検出器と読み出し回路



彩層の高精度偏光観測に必要な連続波長板を精密に回転させる駆動機構

Solar-C: フレア・コロナのX線撮像分光観測を世界初で行う光子計数型X線望遠鏡の実現を目指して



国際共同観測ロケット実験CLASP (FY2014) – 彩層・遷移層の磁場計測のための新しい観測手法と技術の検証・確立をめざして。

**観測研究を目指すなら、開発研究も大切**

未来への研究活  
動発展にむけて

次世代太陽観測衛星

**SOLAR-C**

The logo for the Solar-C mission, featuring the text "SOLAR-C" in white, bold, sans-serif font. The text is positioned to the right of a red, jagged-edged circular shape that resembles a sun or a solar flare. The background of the entire slide is a high-resolution image of the sun's surface, showing bright orange and yellow plasma with dark sunspots and solar flares.