

# 太陽観測衛星 「ひので」

清水 敏文

JAXA宇宙科学研究所 (ISAS/JAXA)

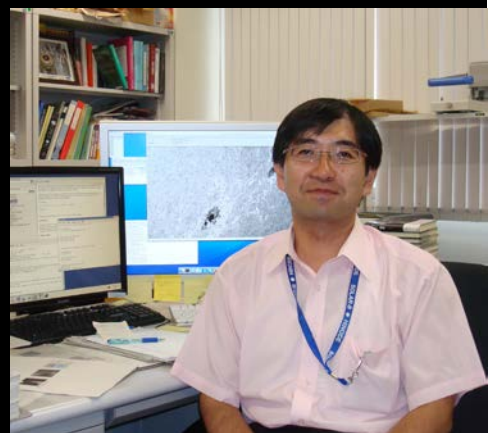
2014年度 太陽研究最前線体験ツアー  
2014.8.28

2014/8/28

1

## 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



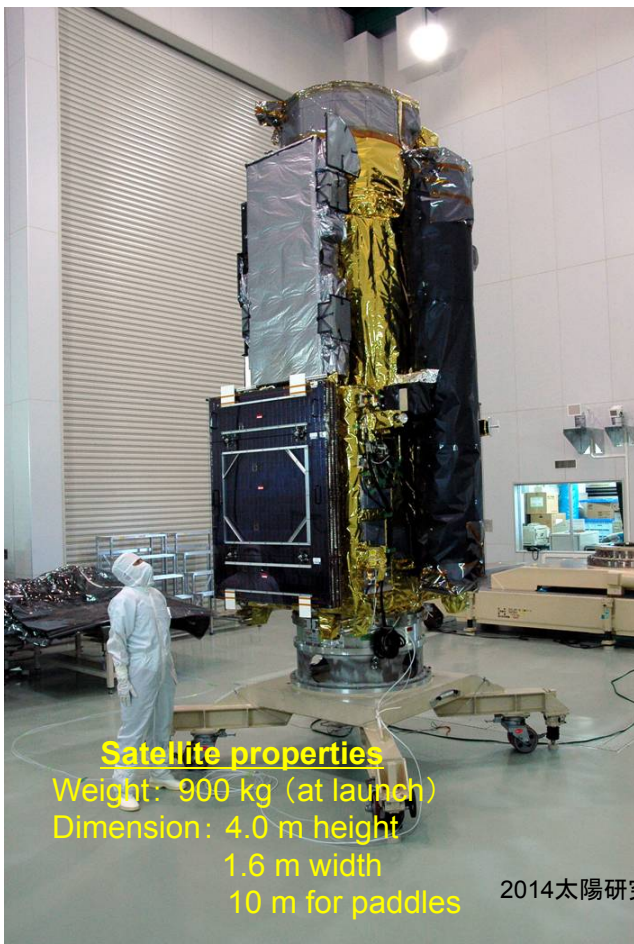
# 太陽観測衛星「ひので」



2014/8/28

2014太陽研究体験ツアー

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



## Satellite properties

Weight: 900 kg (at launch)

Dimension: 4.0 m height

1.6 m width

10 m for paddles

2014太陽研究体験ツアー



ロケットへの搭載作業

# 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)

## 「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)

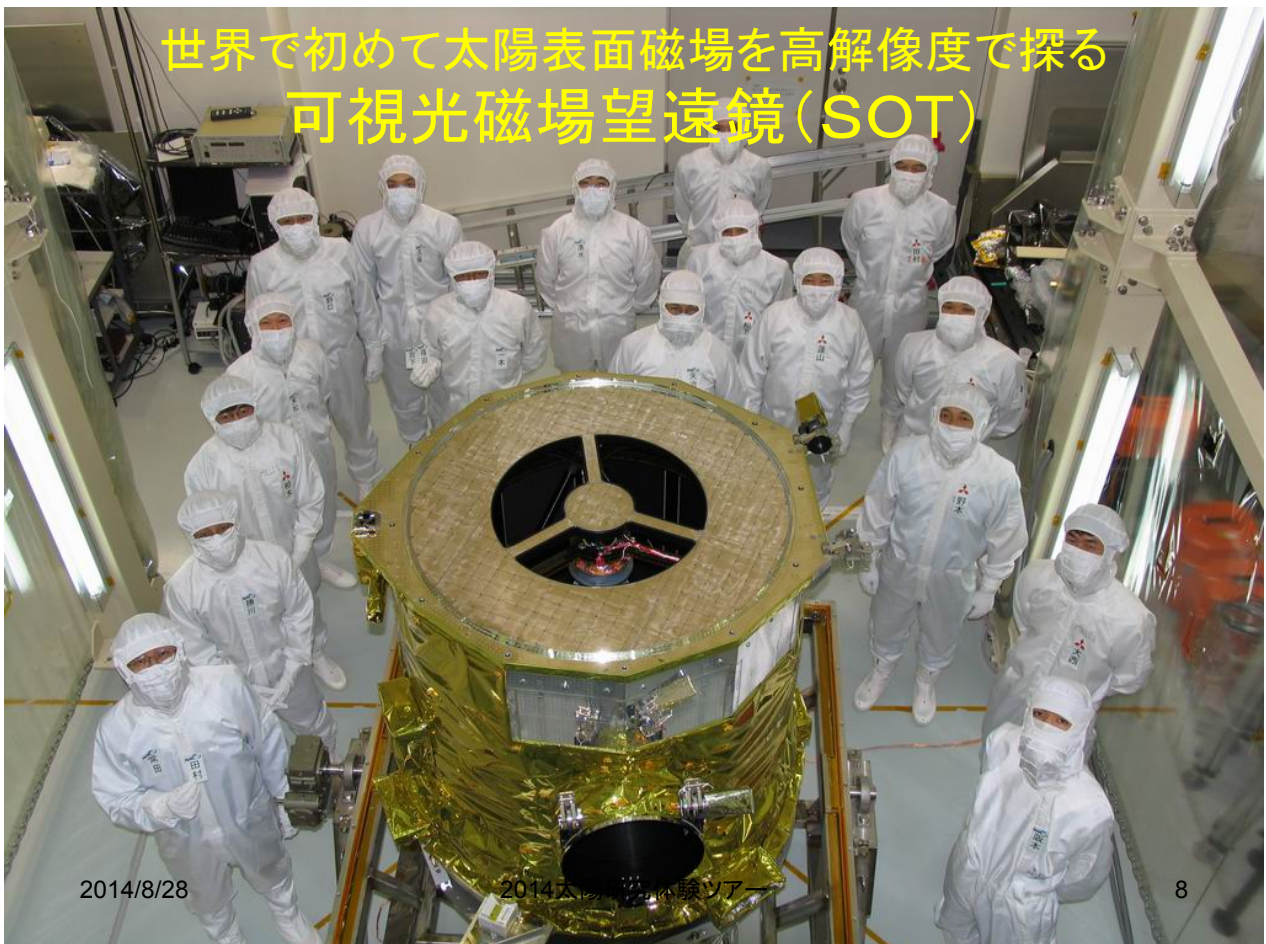
コロナ構造の高解像度  
(1秒角)観測を行う  
X線望遠鏡(XRT)

2014/8/28

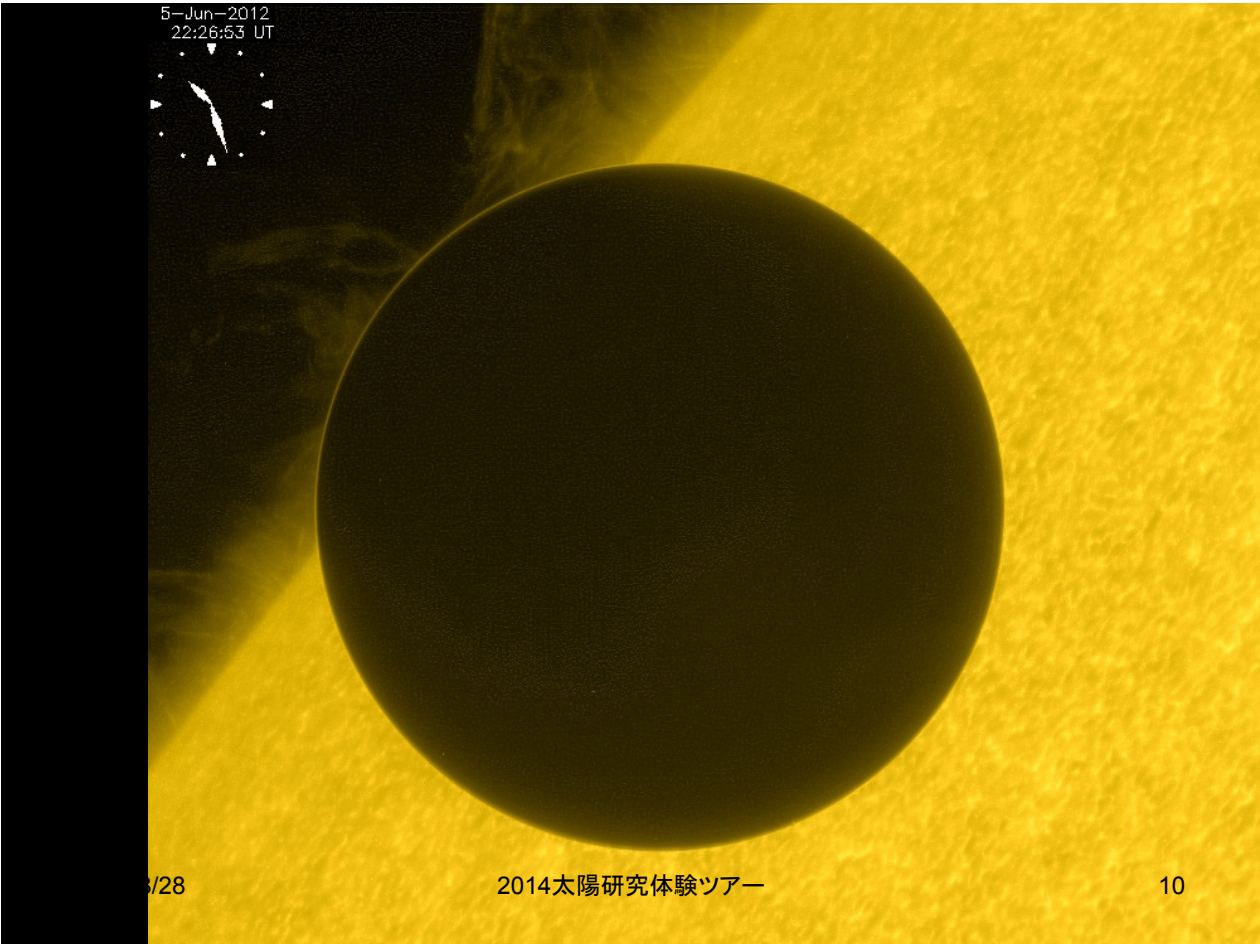
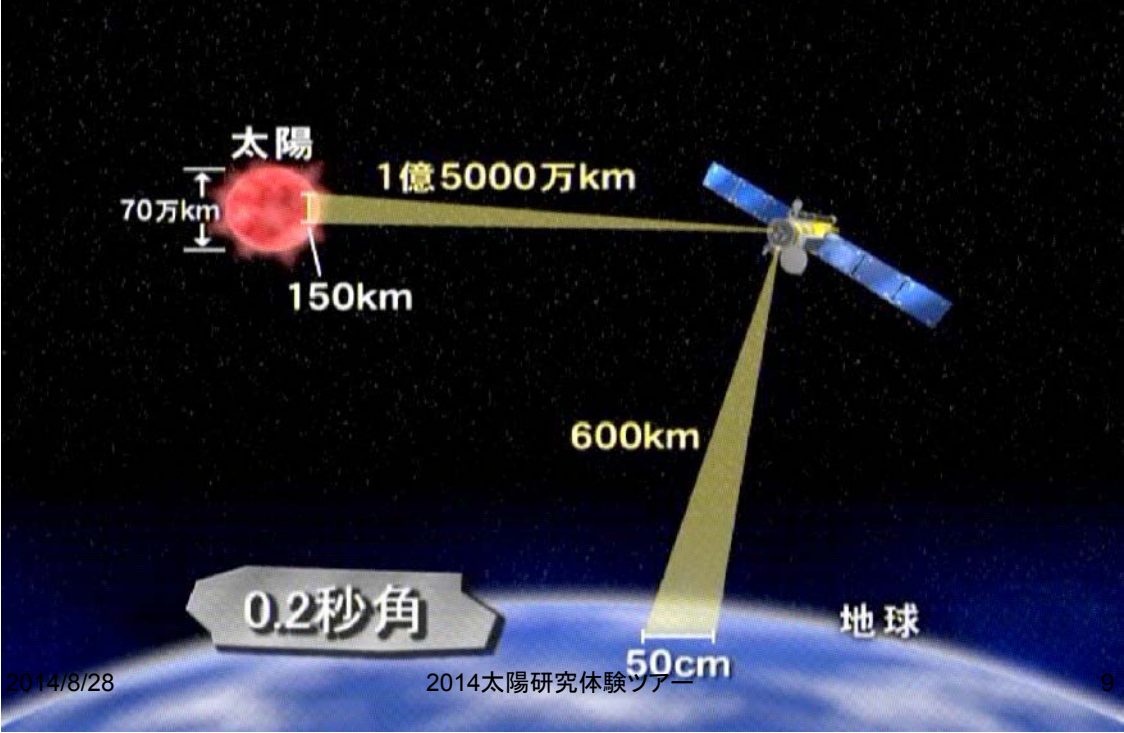
国立天文台と宇宙研が共同で開発。米国・英国・欧州との国際協力で搭載望遠鏡を開発・運用をしている。

## 「ひので」: 観測的研究

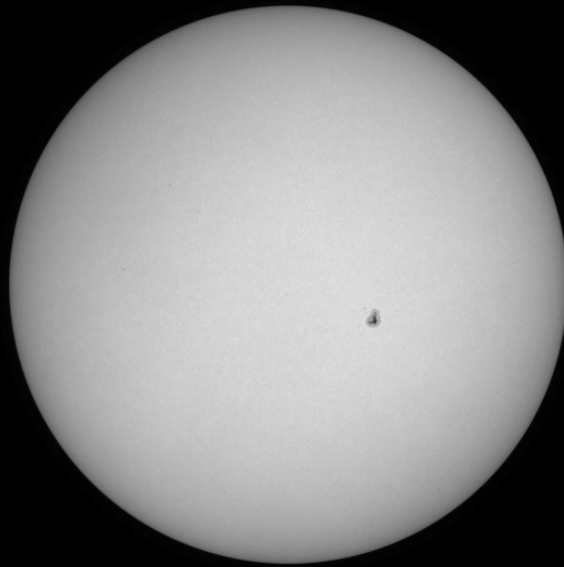
- 太陽研究における様々な最前線の課題に取り組む
- 観測量として重要なものは？
  - 太陽表面に分布する磁場を精度良く計測
  - 磁場のかたまりを区別するのに必要な高い空間分解能
    - ⇒ 可視光磁場望遠鏡
  - 同時に、コロナの加熱・ダイナミクスを診断する能力 – 画像、分光診断
    - ⇒ 極紫外線撮像分光装置、X線望遠鏡



# 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



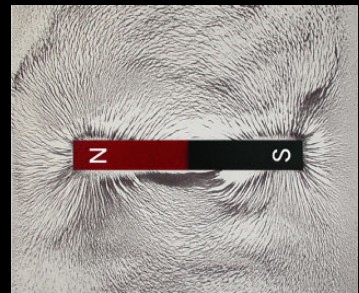
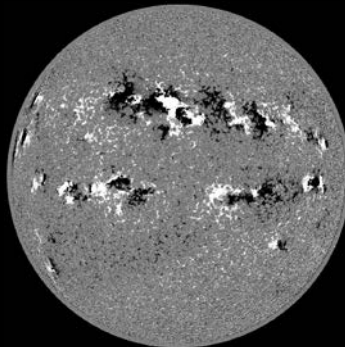
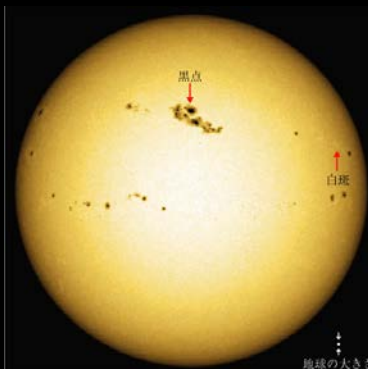
# 黒点 対流運動



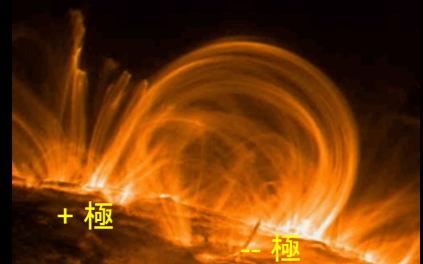
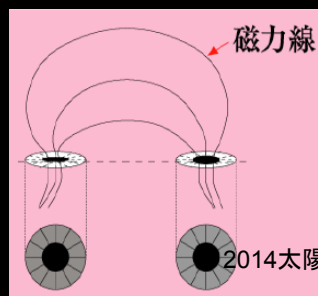
171,000 km

## 黒点：巨大な磁束の切り口

マグネトグラム  
白：正極、黒：負極

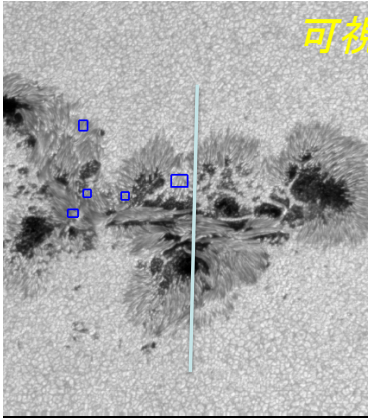


• 棒磁石のような



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

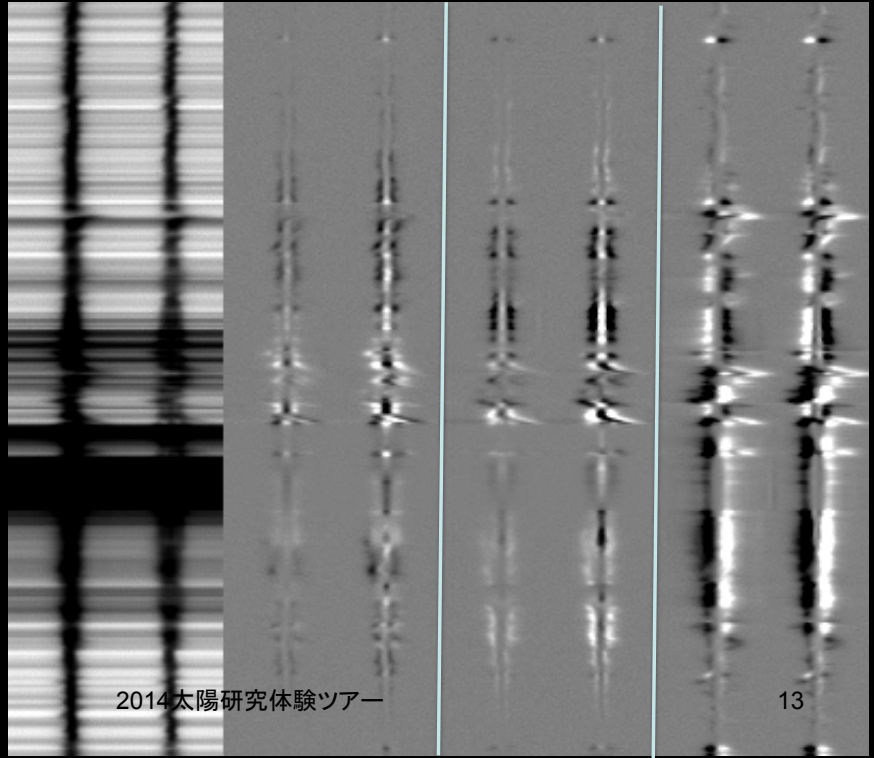


ストークスI  
(強度)

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)

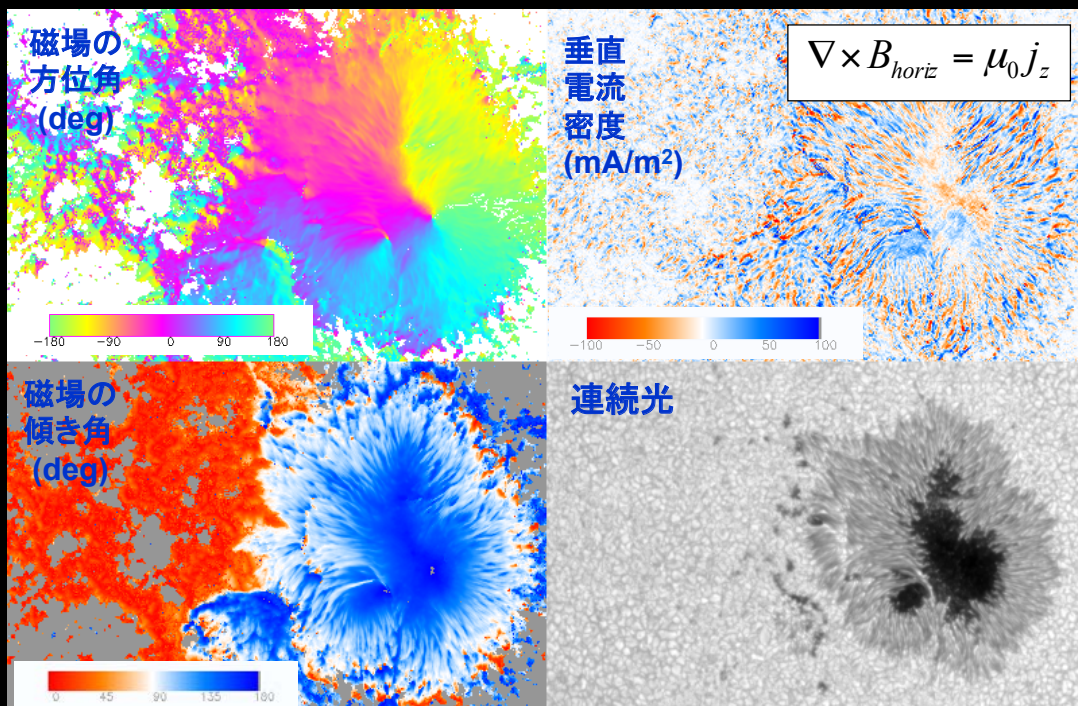


ゼーマン効果  
ドップラー効果

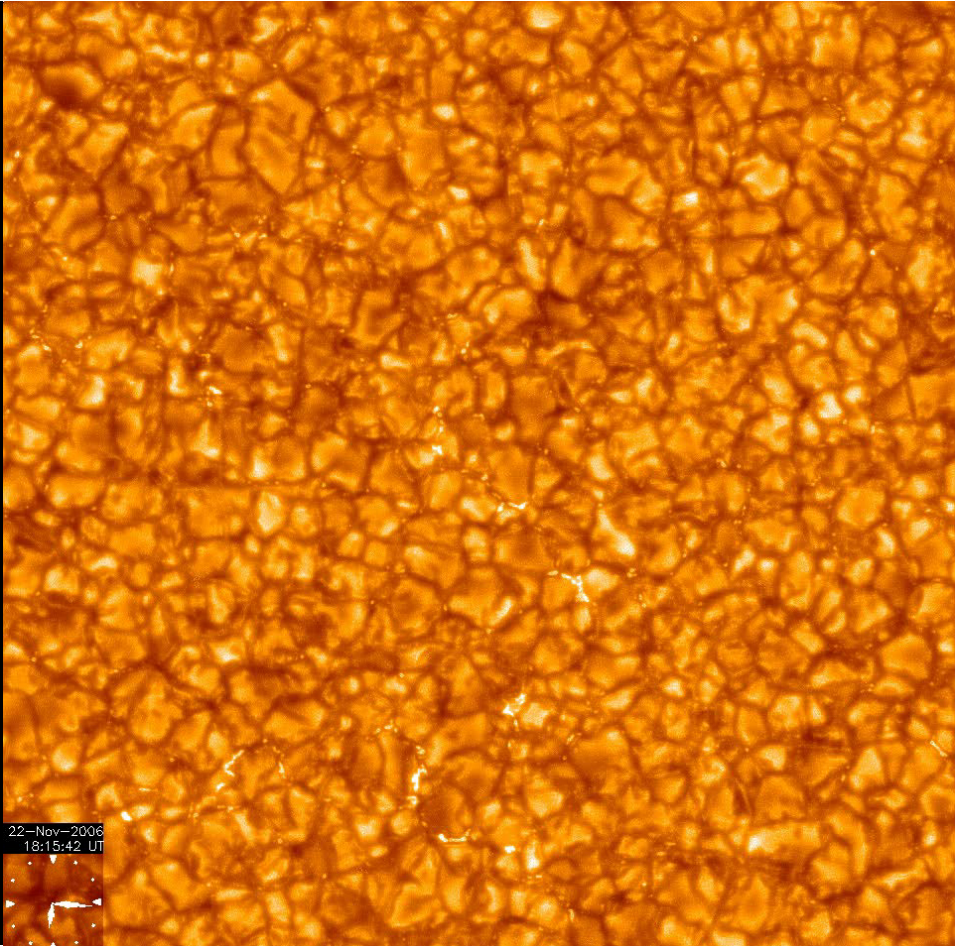
2014太陽研究体験ツアー

13

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



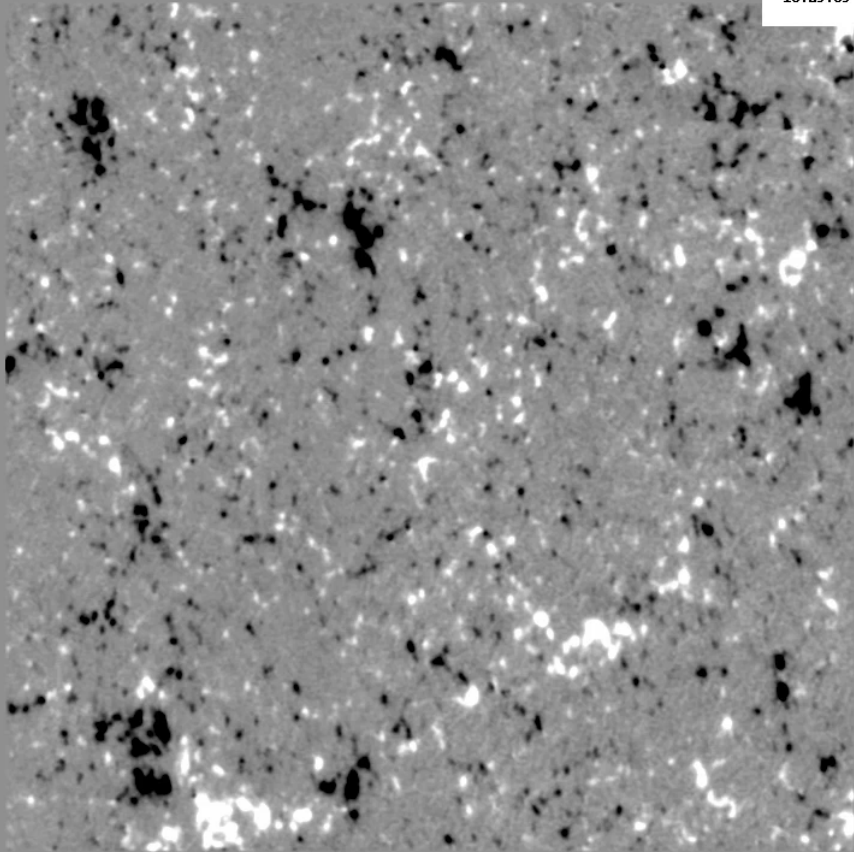
粒状斑、対流セルと  
静穏領域



微細磁束管



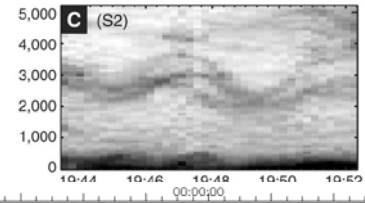
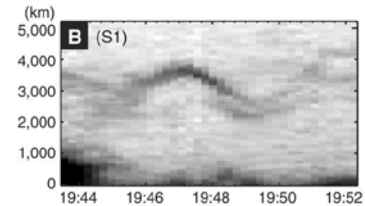
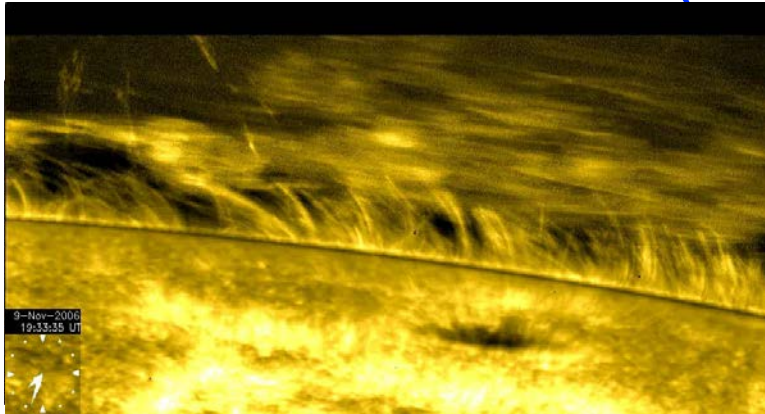
踊る微細磁束管



白黒は磁場の向き



## 対流運動が波を励起 (磁力線を揺らす)



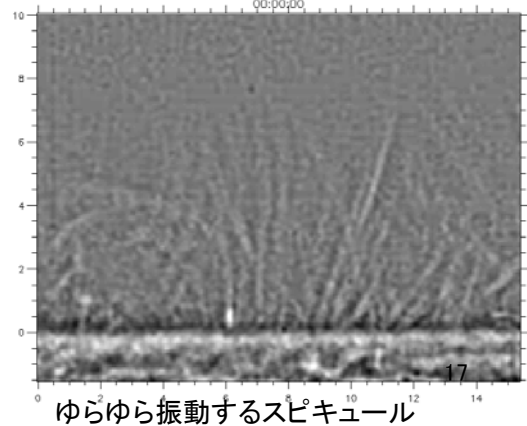
プロミネンスは筋状の集まりで、この筋構造(スレッド)は毎秒 40 km もの高速で水平方向に飛び回っている。それだけではなく、鉛直方向に振動しているのも多数観測された。(動画上部参照)

### 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?

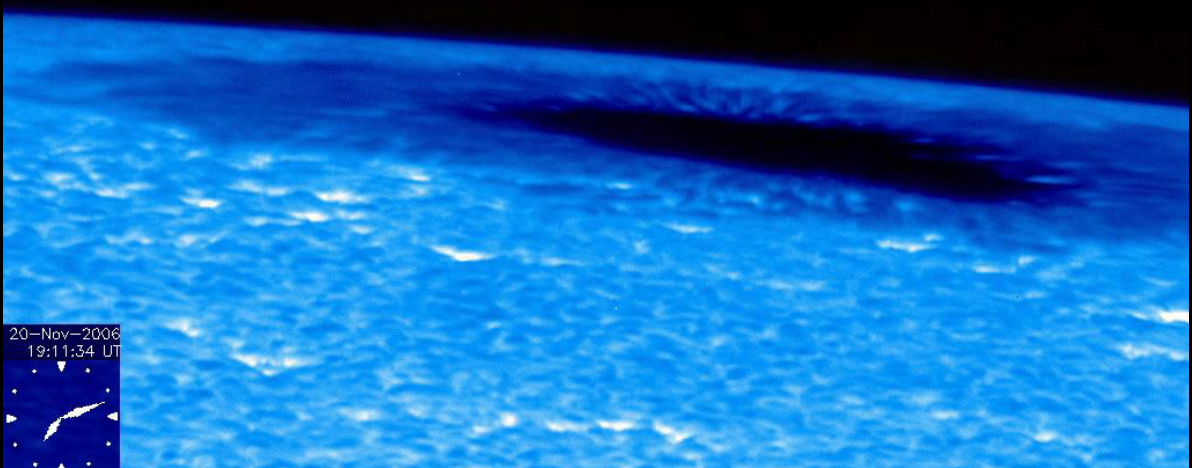
コロナ - コロナ加熱

太陽風 - 高速流への加速

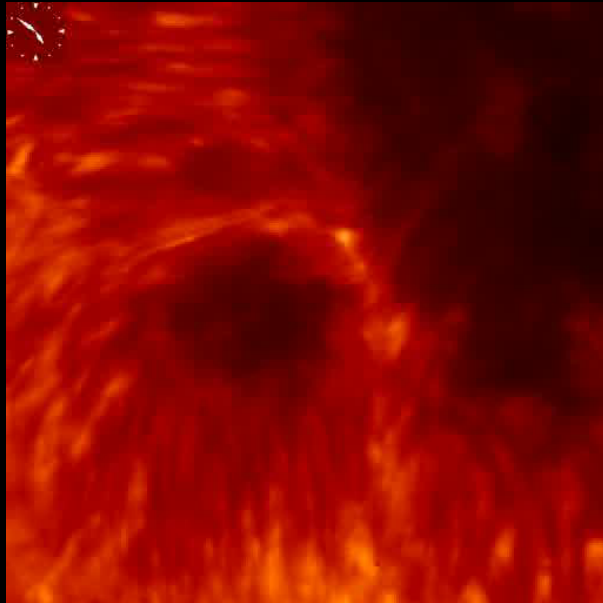


ゆらゆら振動するスピキュール

「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

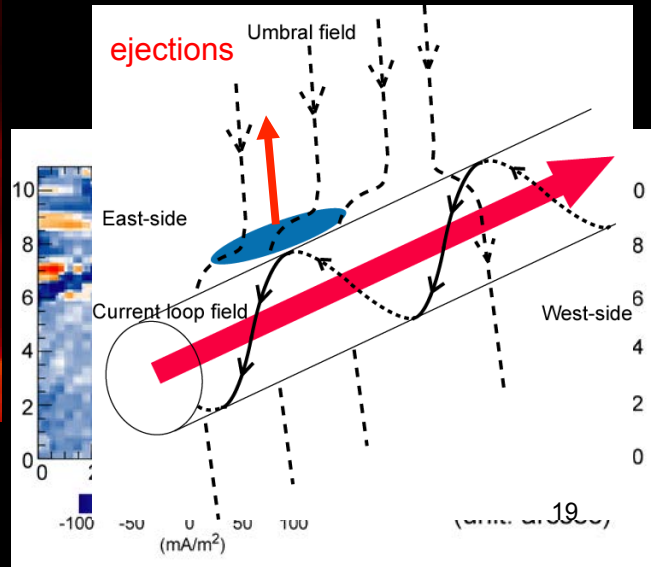


「黒点ライトブリッジ」での彩層ガスの噴水  
 浮上してきた「電流が流れる(=ねじれた)磁気管」が  
 そこには存在する。爆発発生との重要な関係



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

らせん状の磁場  
 (エネルギー蓄積)



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

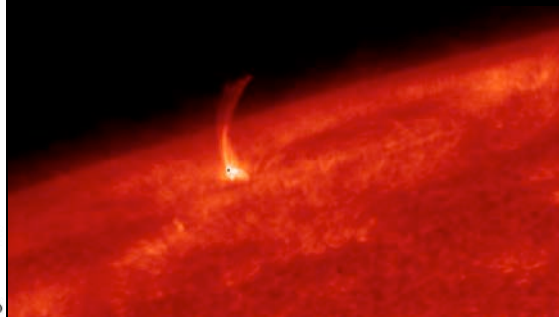
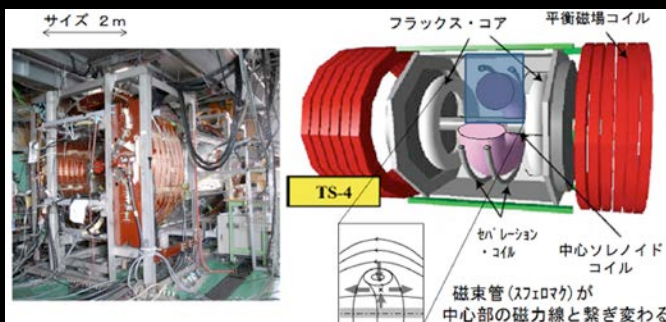


東京大学大学院  
 新領域創成科学研究科

- 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 of 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。

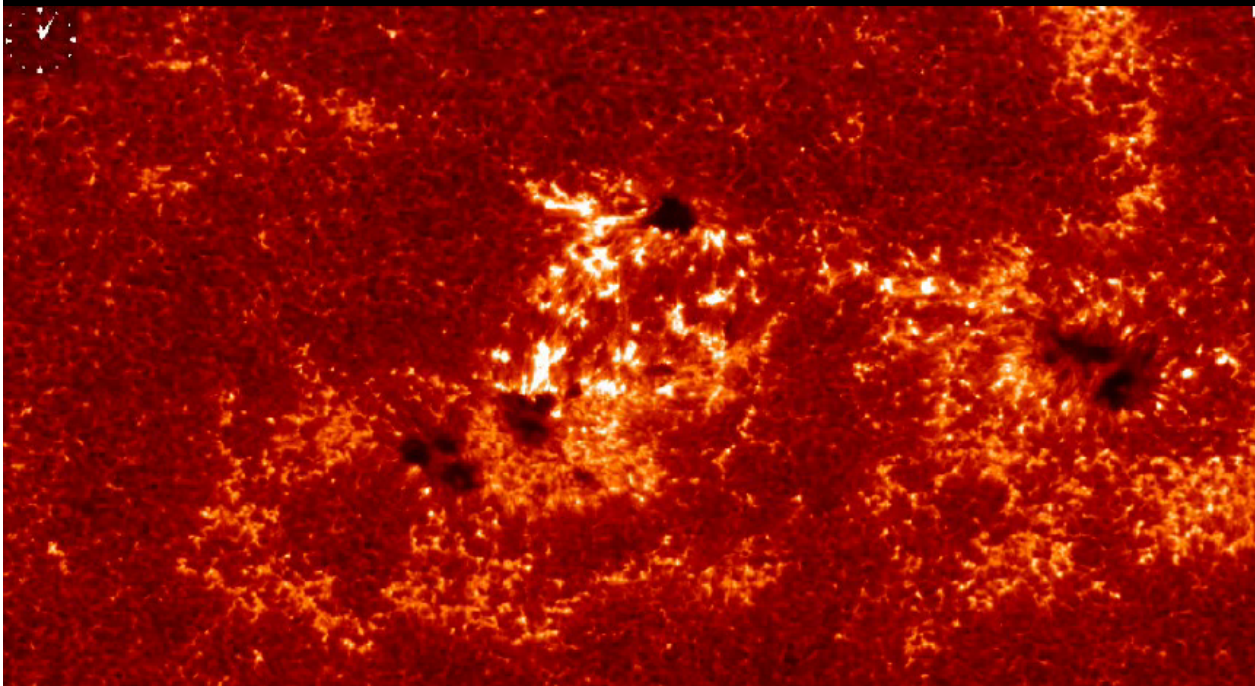
東京大学TS-4球状トラス実験装置

彩層ジェット(ひので観測)

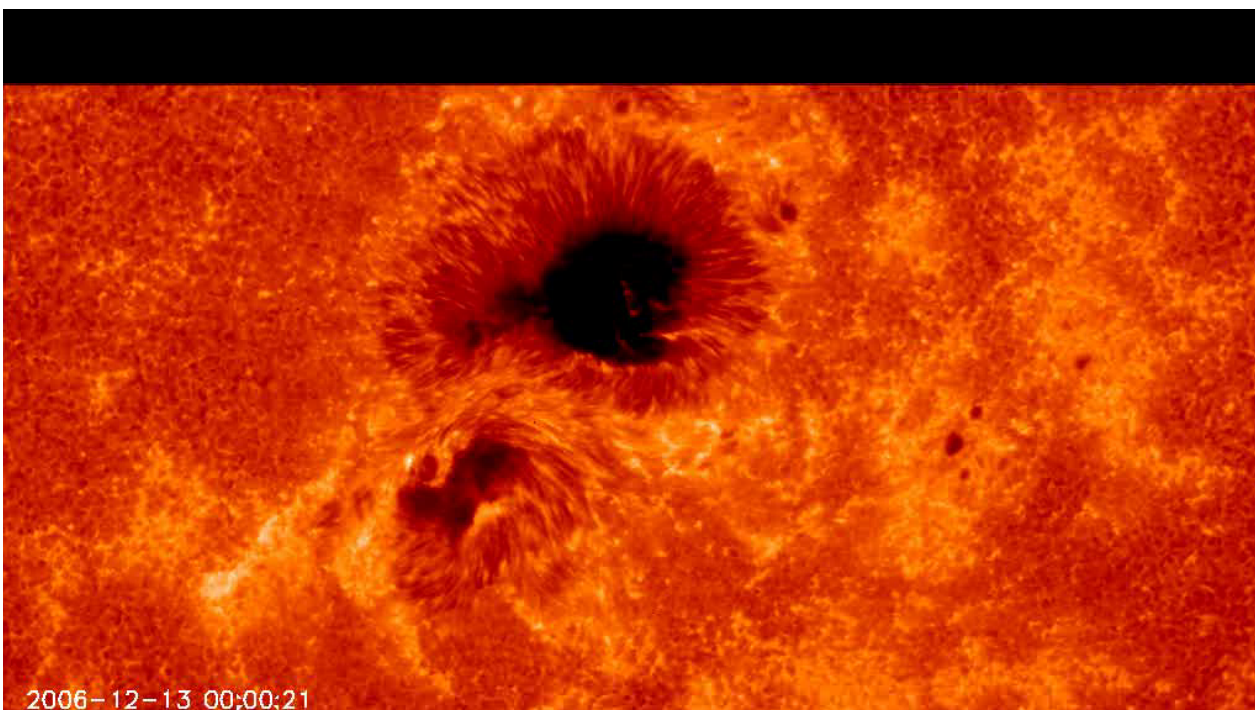


# 太陽表面の磁場の出現：“磁気浮上活動”

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

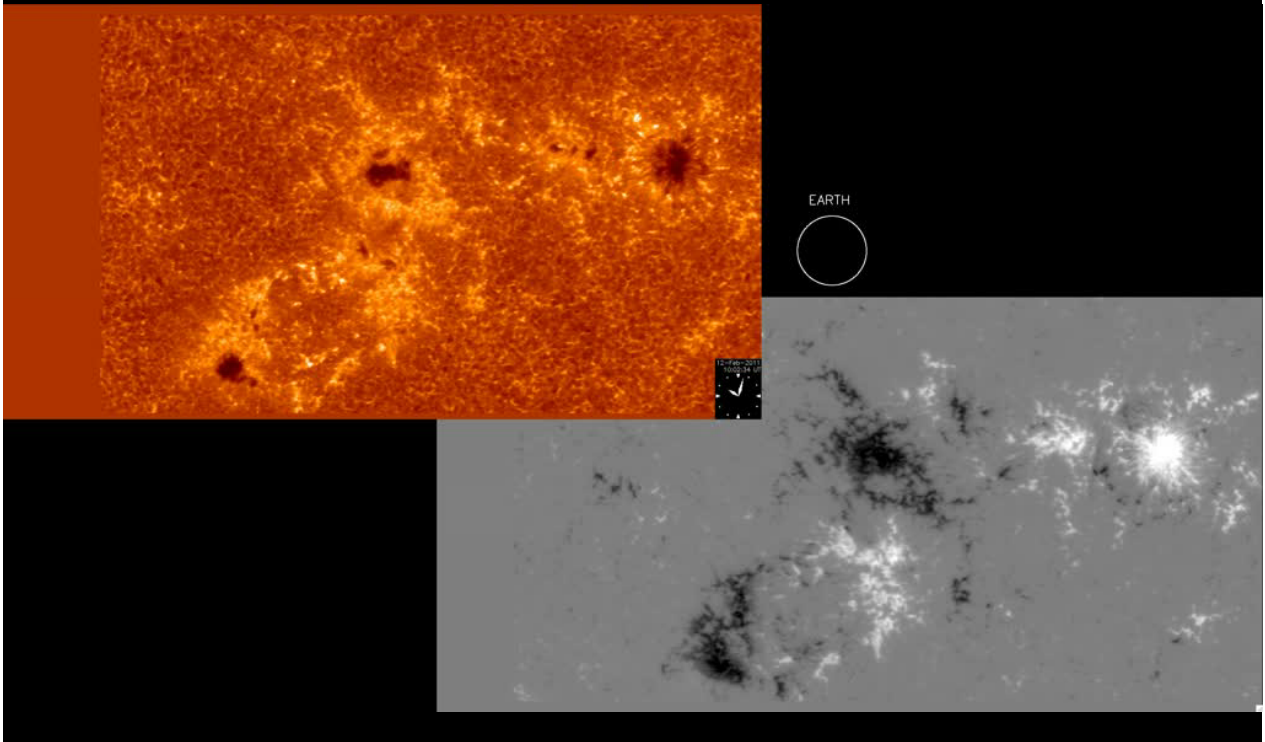
地球へも影響を及ぼす

ひので(Callライン)

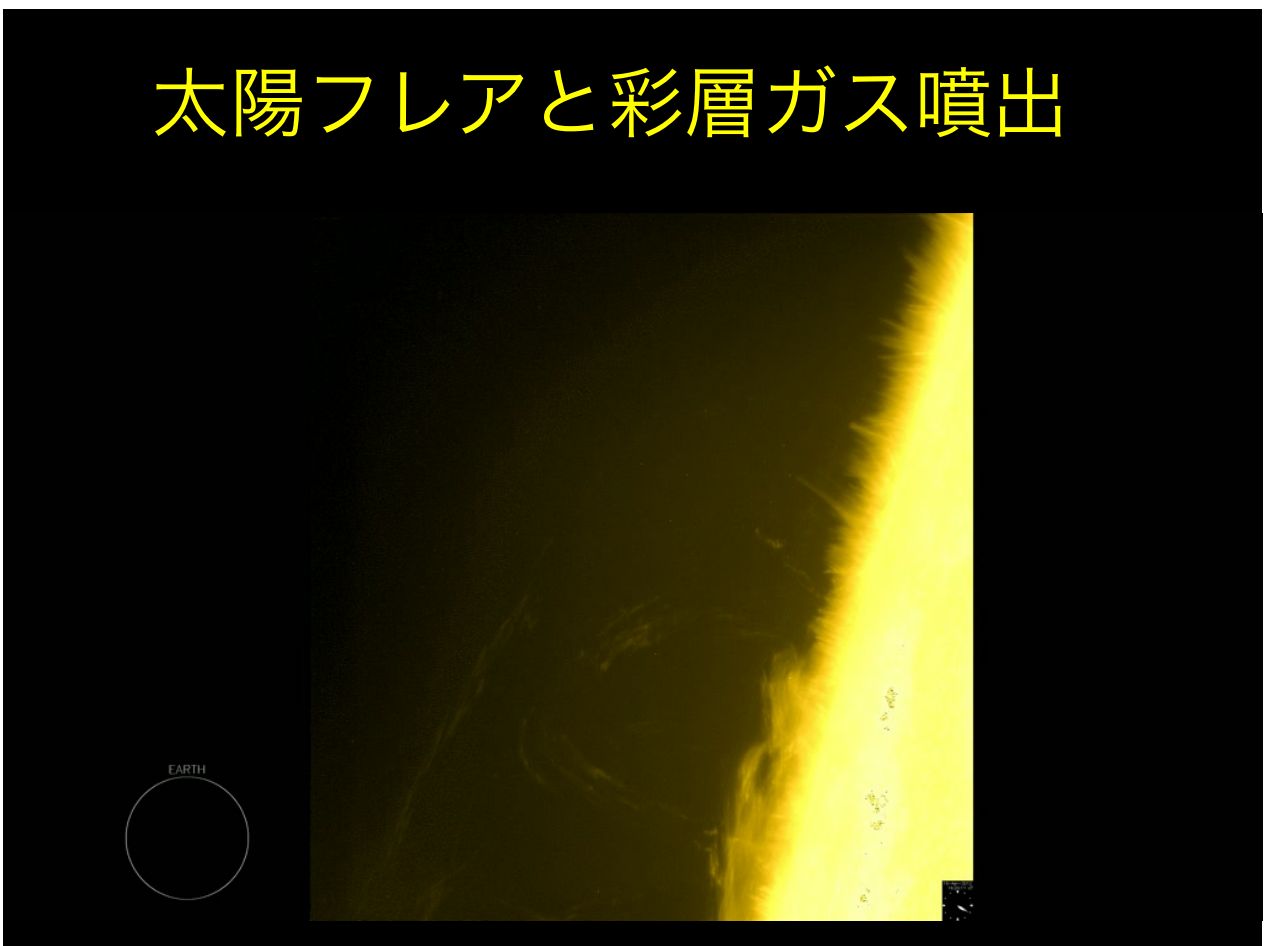
## 太陽フレア

エネルギーは黒点の磁場

# 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

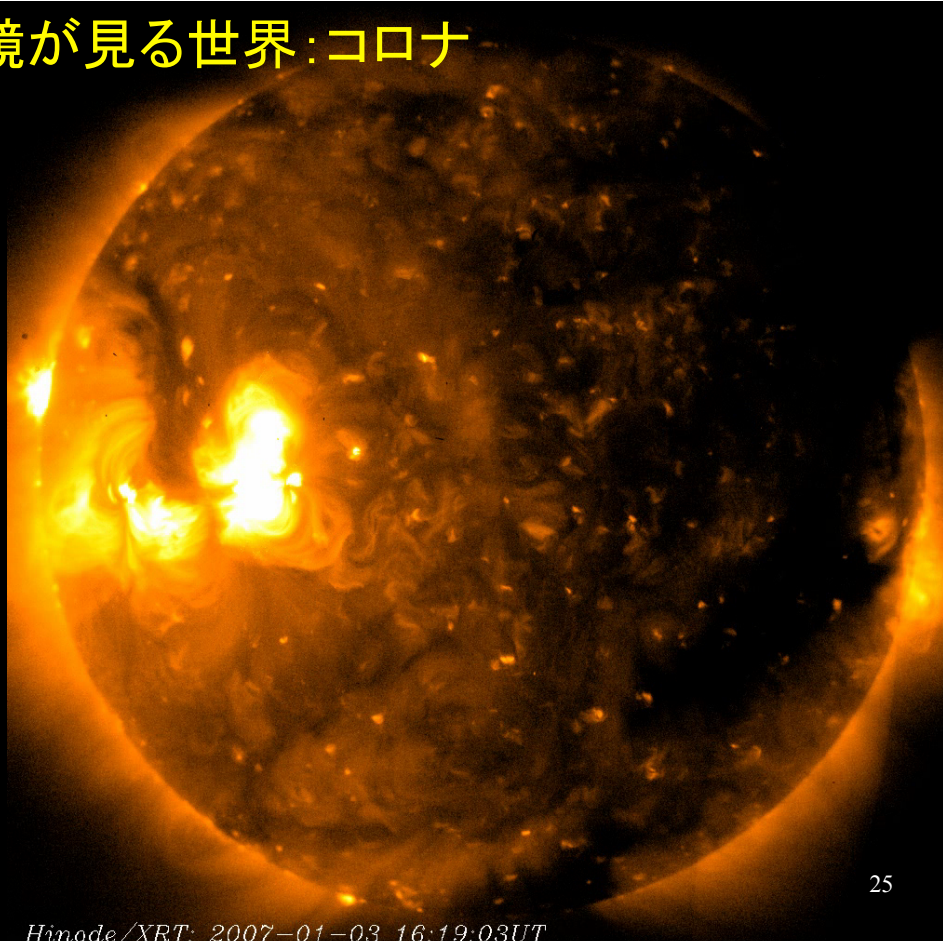


# X線望遠鏡が見る世界:コロナ

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。



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

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  
DEC  
13

地球へも影響を及ぼす  
巨大フレア

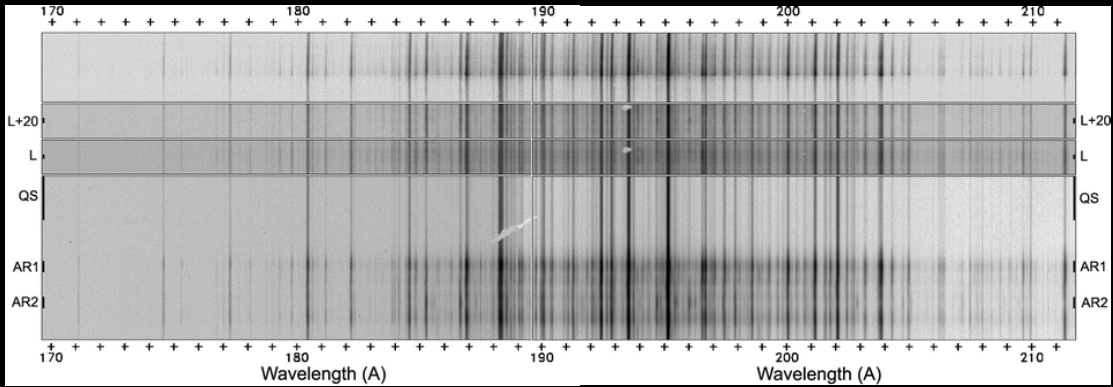
2006-12-13 00:00:21

The composite image shows a large solar flare. The top left is a soft X-ray image of the corona, showing a bright, expanding structure. The top right is a smaller inset showing the visible light view of the same region, with a dashed box indicating the X-ray field of view. The bottom right is a visible light image of the solar surface, showing a large sunspot and the flare's footpoints. A clock icon and the date '2006 DEC 13' are on the left. The text '地球へも影響を及ぼす 巨大フレア' is at the bottom left. The timestamp '2006-12-13 00:00:21' is at the bottom.

# 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。

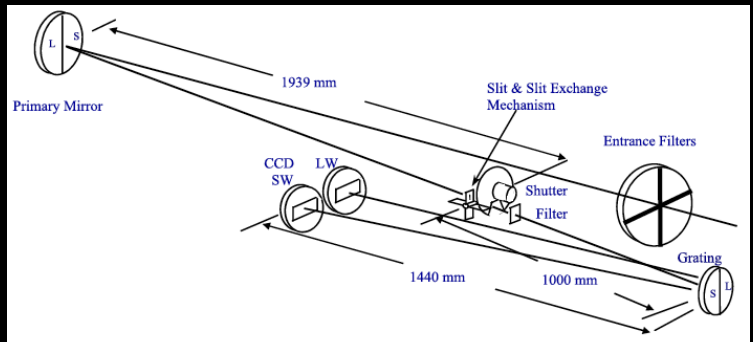


Figure 1 Optical layout of the spectrometer. Components are labeled and dimensions are given in mm. S/SW and L/LW refer to short and long wavelength bands.

# 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

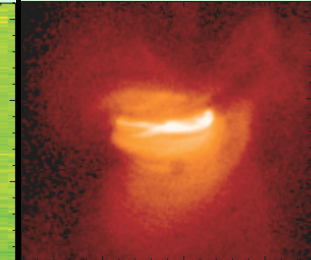
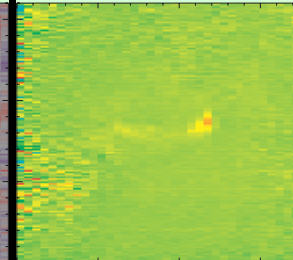
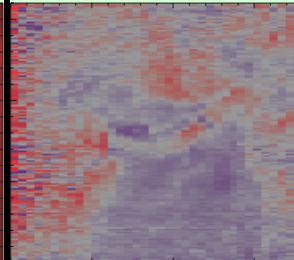
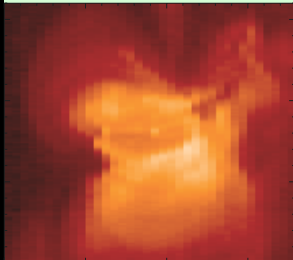
輝線幅(乱流成分)

EIS FeXV 284.16A

EIS FeXV 284.16A Vdop

EIS FeXV 284.16A Width

XRT Ti\_Poly



31-Dec-09 00:44:02-00:49:40

31-Dec-09 00:44:02-00:49:40

31-Dec-09 00:44:02-00:49:40

2009-12-31T00:46:47.196

**Doppler shift**

(scale: -30 ~ +30 km/s)

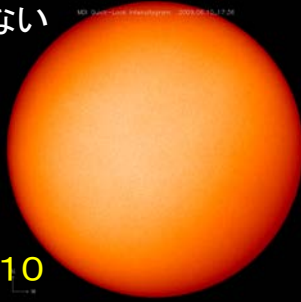
**Line width**

(scale: +0.02 ~ +0.08Å)

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

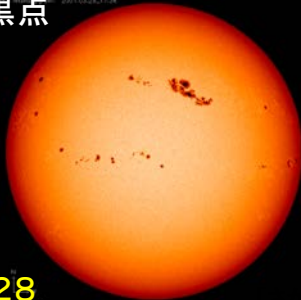
# 増たり減ったりする 黒点(太陽磁場の浮上活動)数

極小期  
黒点が少ない

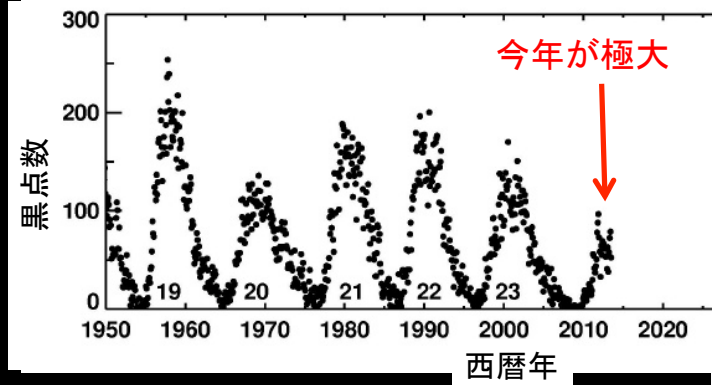


2009. 6. 10

極大期  
たくさんの黒点



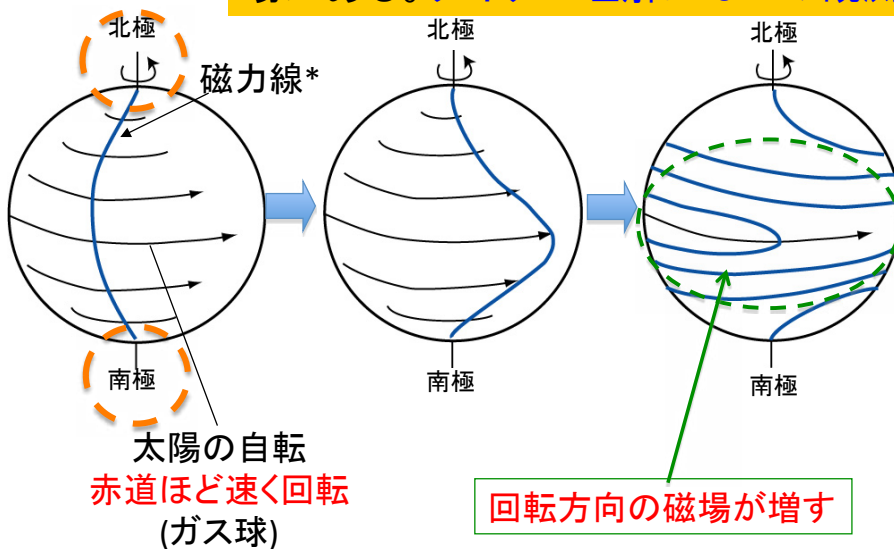
2001. 3. 28



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

## 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」

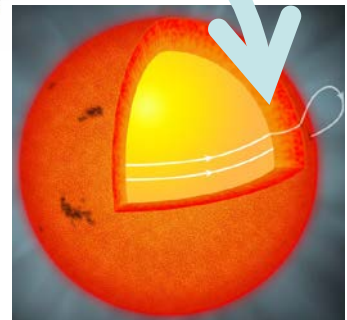
極域: 次の太陽周期に現れる黒点となる種磁場がある。ダイナモ理解にはこの観測は重要



太陽の自転  
赤道ほど速く回転  
(ガス球)

回転方向の磁場が増す

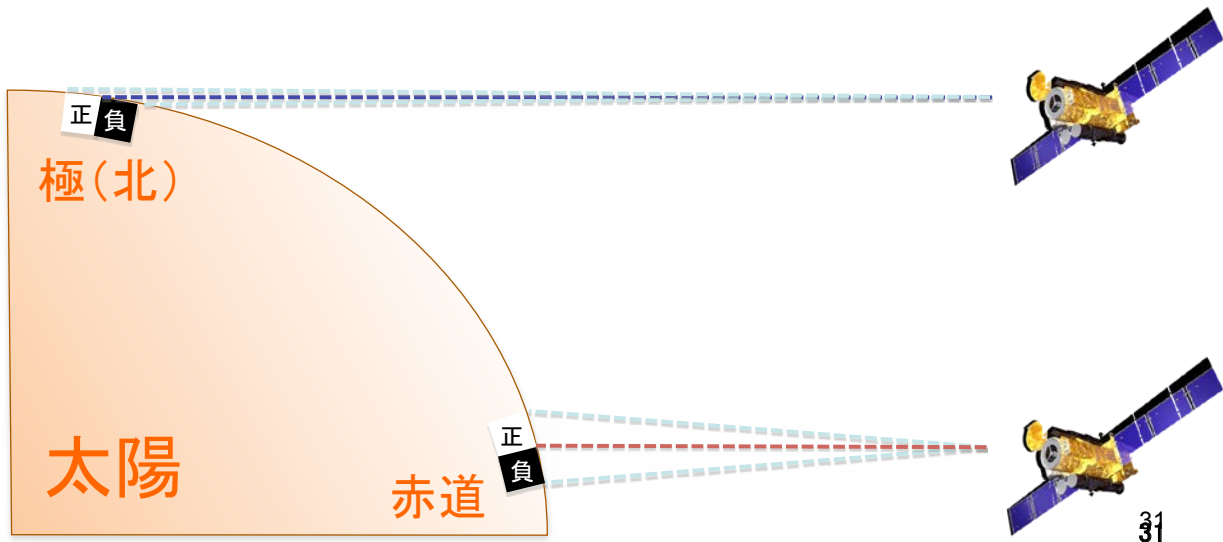
一部が浮かび上がって黒点に。



太陽極大期: 次の太陽サイクルに向け、極域の磁極が反転

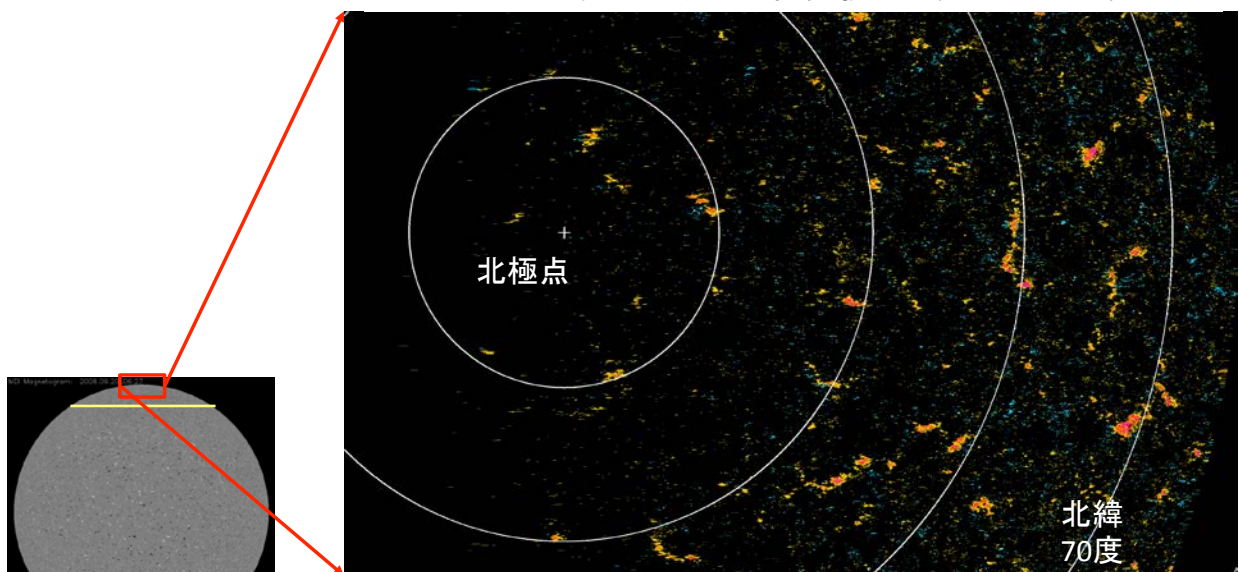
# 本当は、極地方の観測は難しい

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

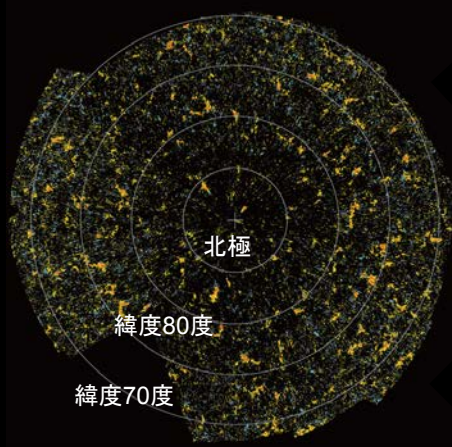


太陽極域の中心部  
緯度70度より極側の領域の中の磁場分布を  
分解できる

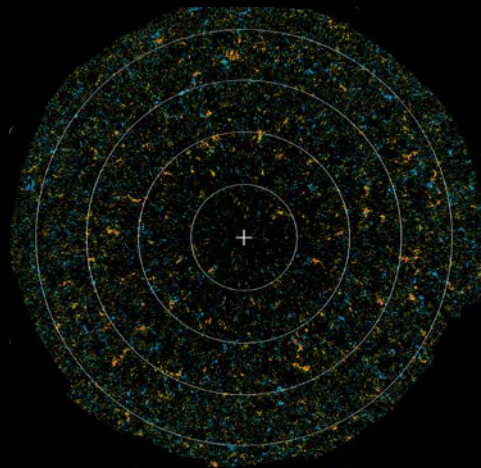


# 「ひので」が見た北極の磁場

負極 ←B→ 正極

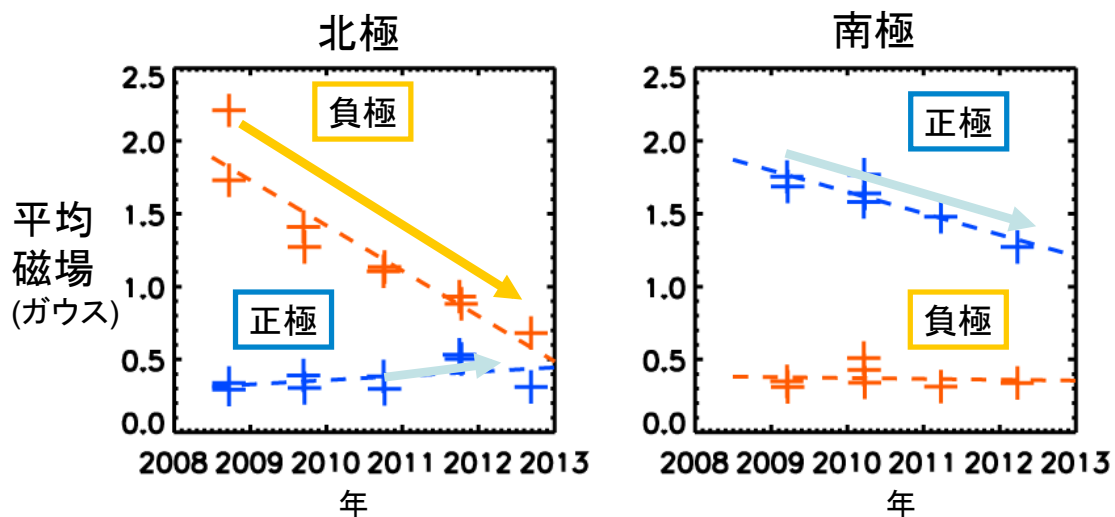



2007年9月



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

太陽サイクルの理解に向けて重要な継続的な「ひので」観測

# 「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

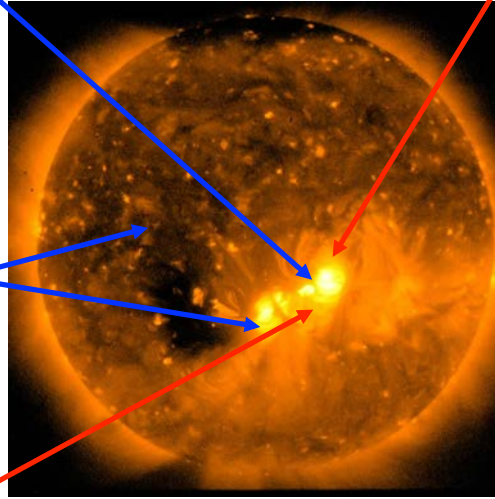
## 太陽磁場構造の動的 形成・発展過程

- 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

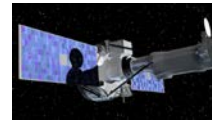
- >6年間蓄積された「ひので」磁場データに基づく、太陽磁場・速度場の長期変動の把握

## 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

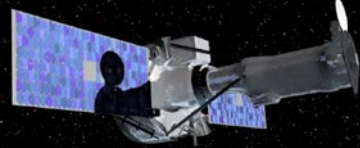
彩層分光を行うIRIS (2013.7に打上)



# 太陽観測の現在： 宇宙からの観測が全盛

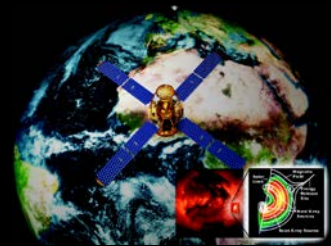
2013-現在  
(NASA)

IRIS



2002-現在  
(NASA)

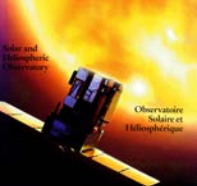
RHESSI



ひので (Hinode)



SOHO



2007-現在  
(NASA)

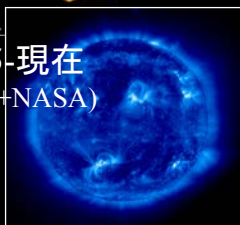


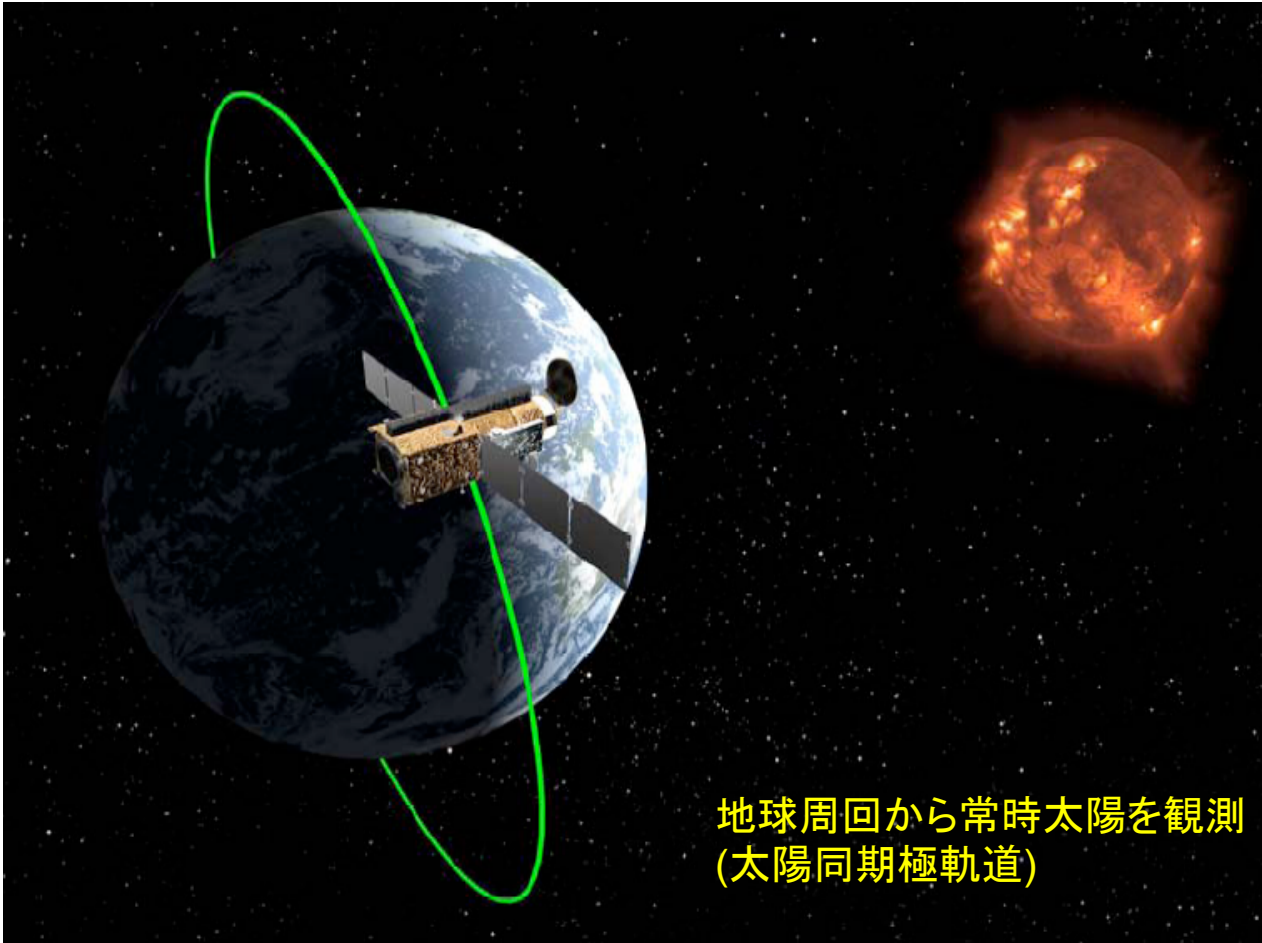
2010-現在  
(NASA)

SDO



1995-現在  
(ESA+NASA)





地球周回から常時太陽を観測  
(太陽同期極軌道)

## 「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。

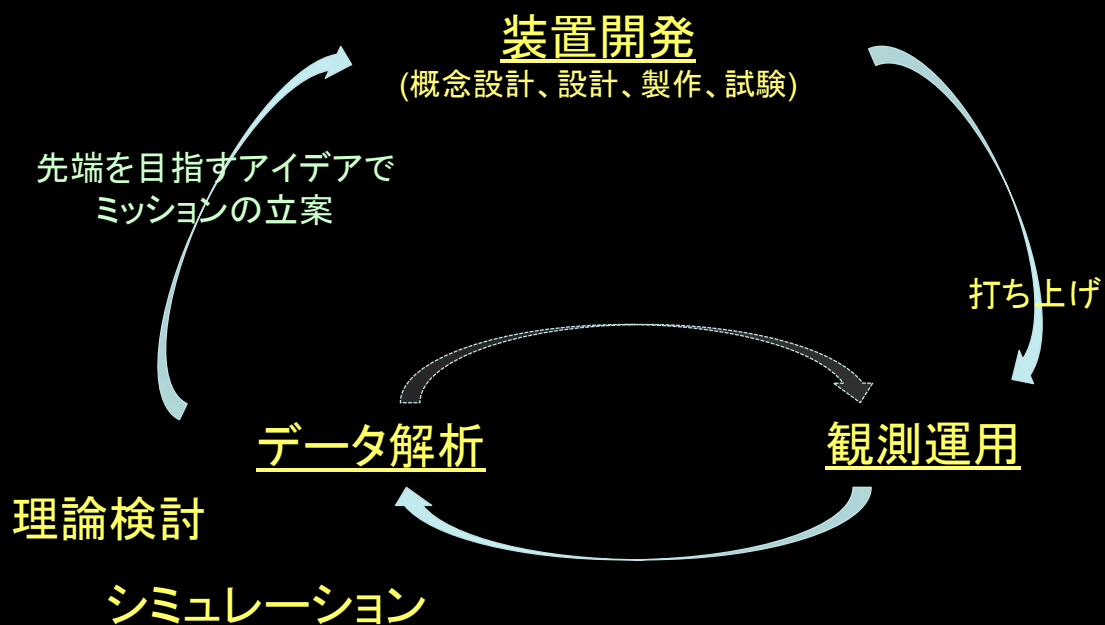
- 最新観測を自分自らで先導して実施できる機会
- 取得した最新データに世界で一番早く触れ、解析テーマを見つける機会

# 「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)



© NHK

## 最後に、 宇宙空間からの観測的研究活動



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。