

# 次期太陽観測衛星 SOLAR-C

原 弘久

国立天文台

SOLAR-Cプロジェクト・教授

太陽研究最前線体験ツアー2023

2023年3月28日

1

## 講義で使われる言葉

- 太陽大気の構造
  - 光球、彩層、コロナ、流出するコロナとしての太陽風
  - 粒状斑 …… 光球面の対流現象
  - スピキュール …… 彩層を構成するジェット状構造
  - コロナループ …… コロナを構成するアーチ構造
- 突発現象
  - フレア、コロナ質量放出(CME)
- 観測装置
  - 秒角 …… 角度の単位で、1秒角は1/3600 度
  - erg ……  $10^7 \text{ erg} = 1 \text{ J}$

2

# コロナ・太陽風・フレア

## コロナ

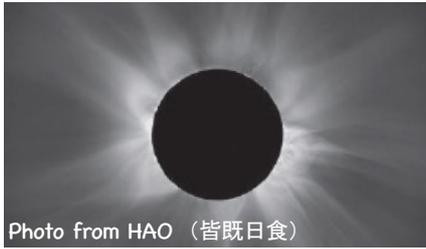
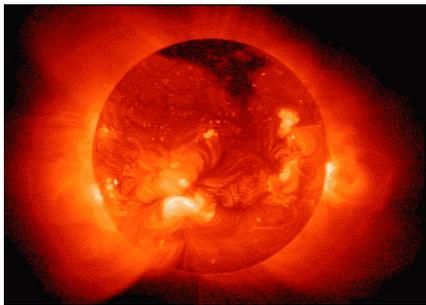


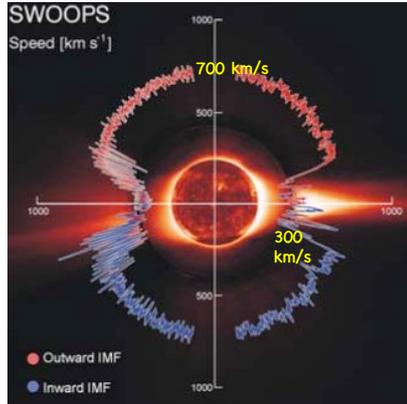
Photo from HAO (皆既日食)

可視光画像



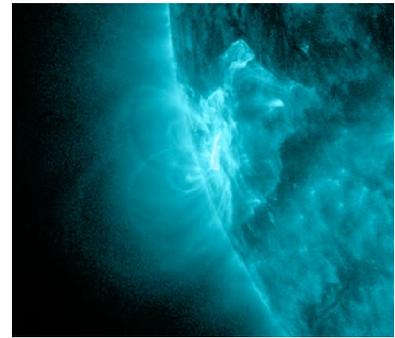
X線画像

## 太陽風



動径方向に流れ出す太陽風の速度を遠方の探査機で測定し、その速度を太陽中心からの距離で示した図。黒点数が少ない時期は、極領域が速く(高速風)、赤道域が遅い(低速風)。

## 太陽フレア



極端紫外線画像

数十分から数時間継続する磁気エネルギー解放現象

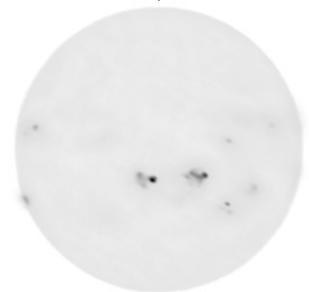
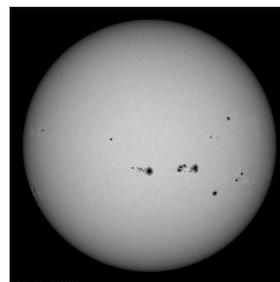
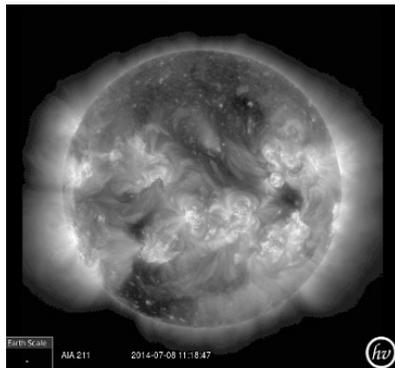
# 太陽観測に使われる電磁波



短い

光の波長

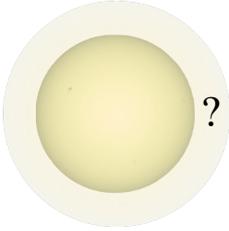
長い



# 太陽の研究 3つの問題



- 約11年で増減する太陽の磁場は、内部でどのように作られているのだろうか？  
( 星の内部 )



- コロナはどうして100万度もの高温になっているのだろうか？( 星の外層の活動 )

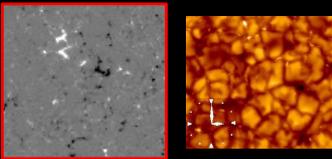


- 爆発現象フレアはどのように発生するのだろうか？( 星の外縁部, 地球への影響 )

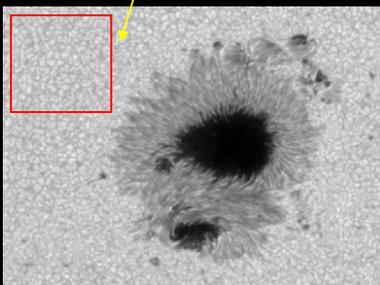
5

## 太陽大気構造

光球磁場 (視線方向)

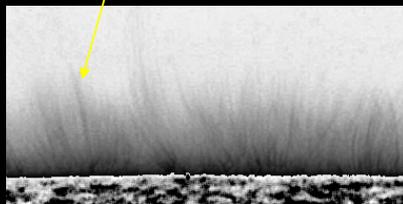


粒状斑 (粒々状の構造)



光球 Photos from Hinode (衛星観測)

スピキュール (ジェット状の構造)



彩層



Photo from HAO (皆既日食)

コロナ (可視光)

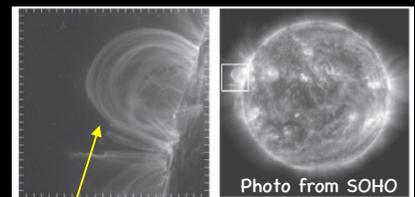
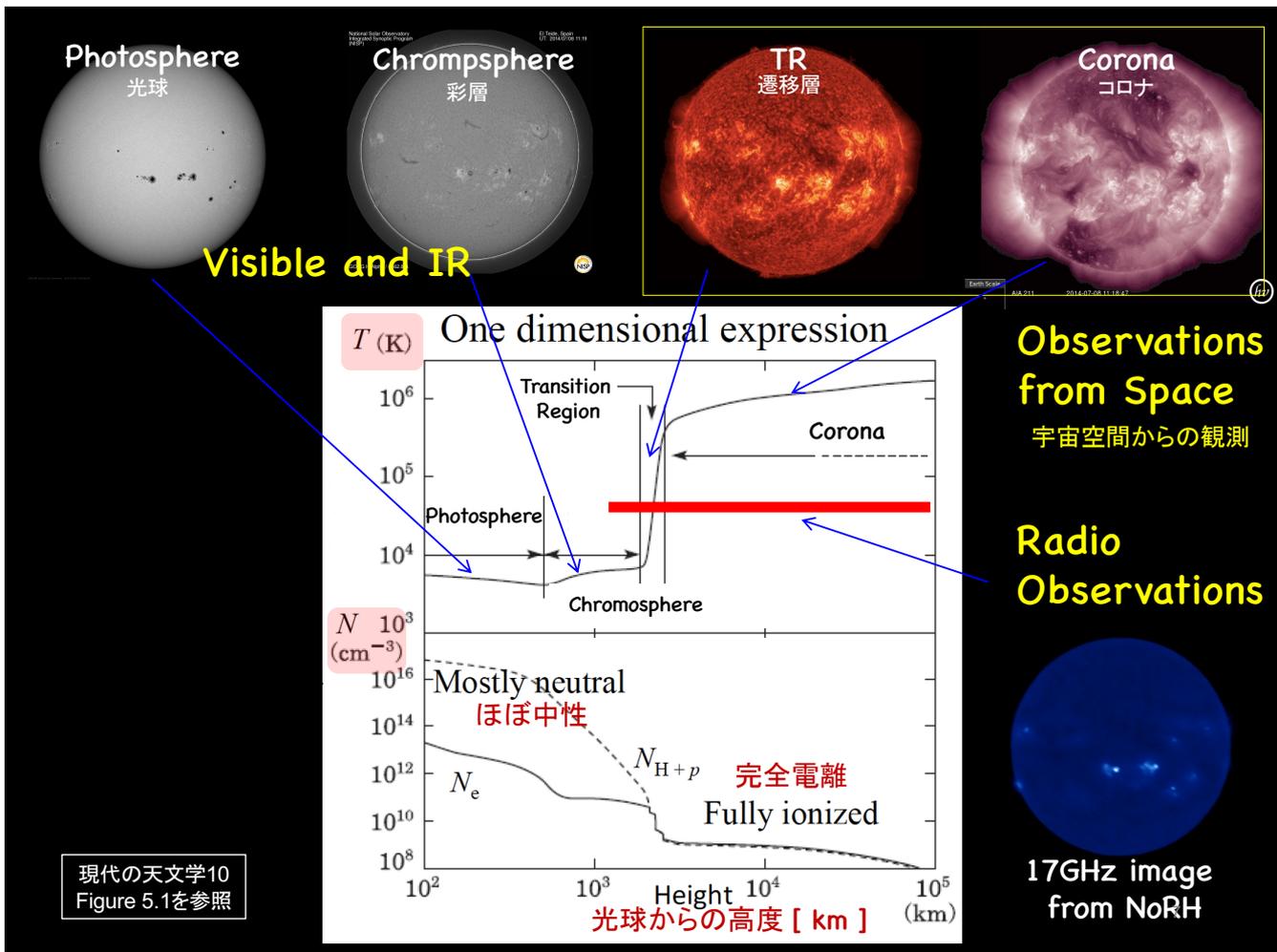


Photo from SOHO

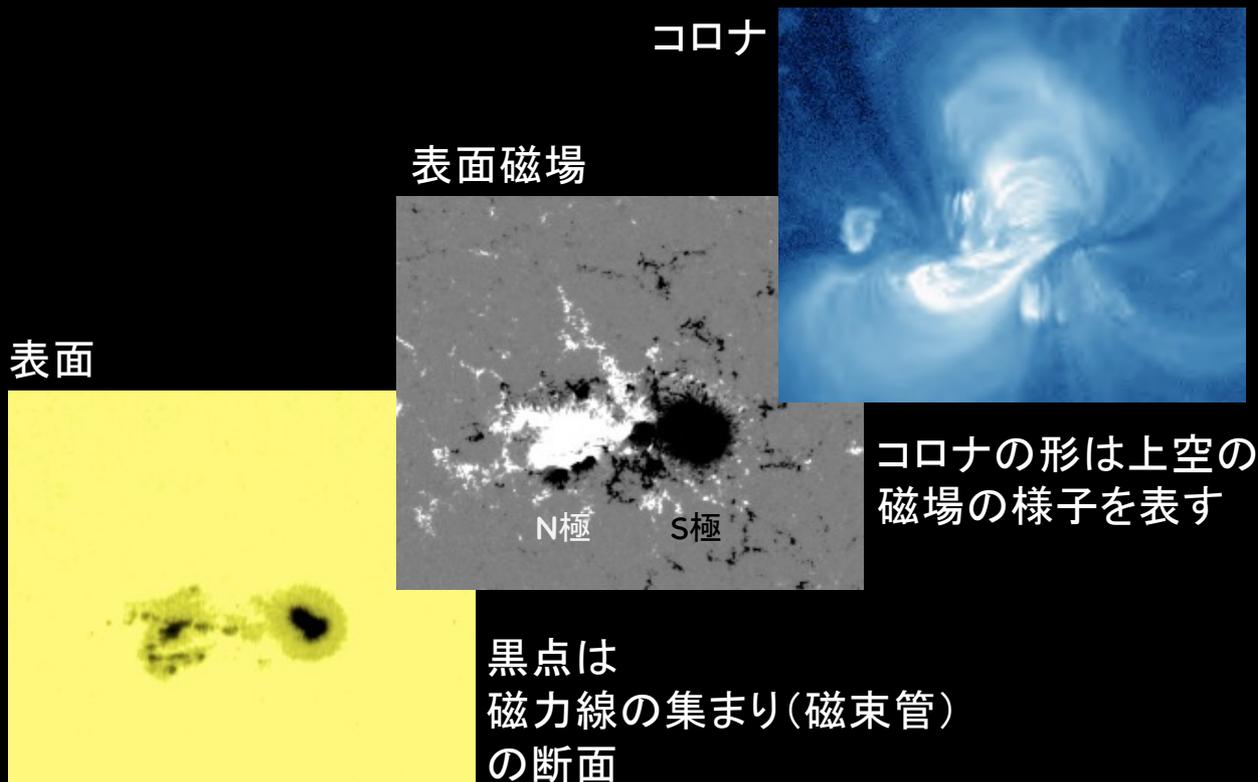
コロナ (極端紫外線)

コロナループ (ループ状の構造)

6



# 磁場とコロナの構造との関係



# コロナ加熱の理解の現状

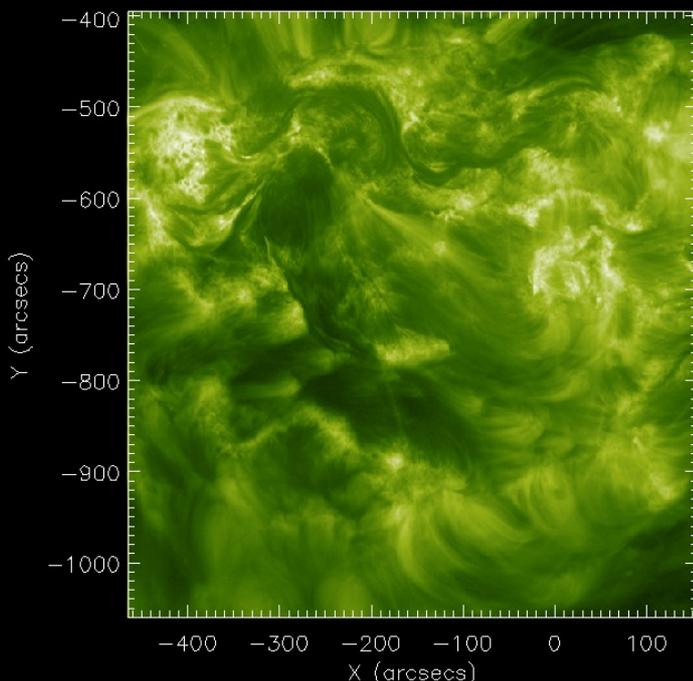
- DC加熱(微小フレア加熱)
  - 望遠鏡の解像度が上がったことで、微小フレアが観測されるようになってきている。
  - 微小フレア発生により加熱されたプラズマの特徴(形態、温度構造、ダイナミクス)が調べられてきている。
  - (黒点近傍の)強磁場領域では有望な機構。
- AC加熱(波動加熱)
  - 望遠鏡の解像度が上がったことにより、大振幅の磁気流体波がようやく観測できるようになってきた。
  - 3Dシミュレーションと比較するのはまだ難しい段階
  - 開いた弱磁場領域で有望な機構。
- 光球からコロナまでを高い解像力で同時に観測することが望まれている。

9

## 近年の高解像コロナ撮像観測

静止衛星観測  
SDO AIA 193Å

11-Jul-2012 18:55:30.840 UT



ロケット観測(5分間飛翔)  
HiC sounding rocket 193Å

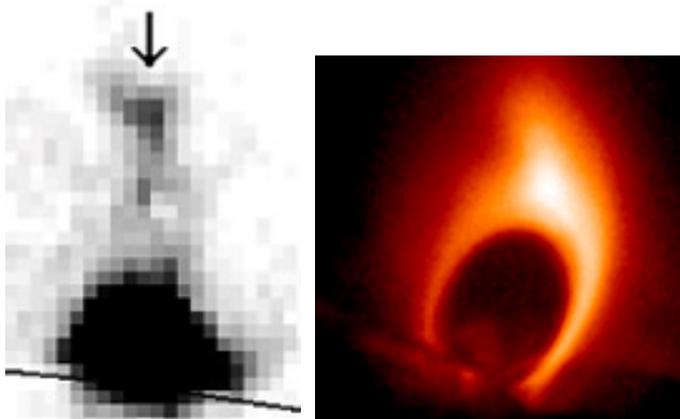


Brooks et al. ApJ, 772, L19 (2013)

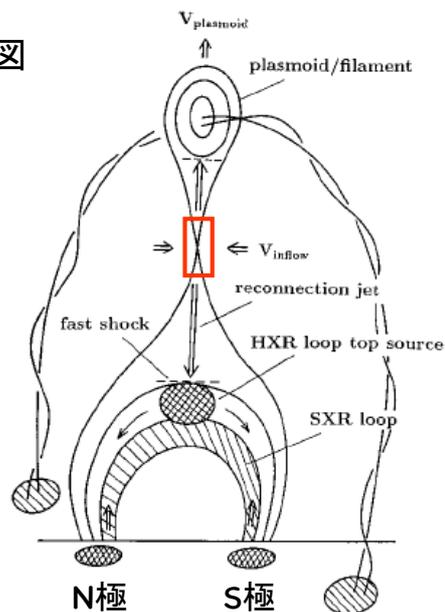
10

# 太陽フレア： 磁気リコネクションによるエネルギー解放過程

- Yohkoh(ようこう)衛星からは、画像観測から右図のようなモデルが確立
- 分光観測によるプラズマ診断が必要とされた



Ohyama & Shibata (1998)    Tsuneta et al. (1992)



Shibata et al. (1995)

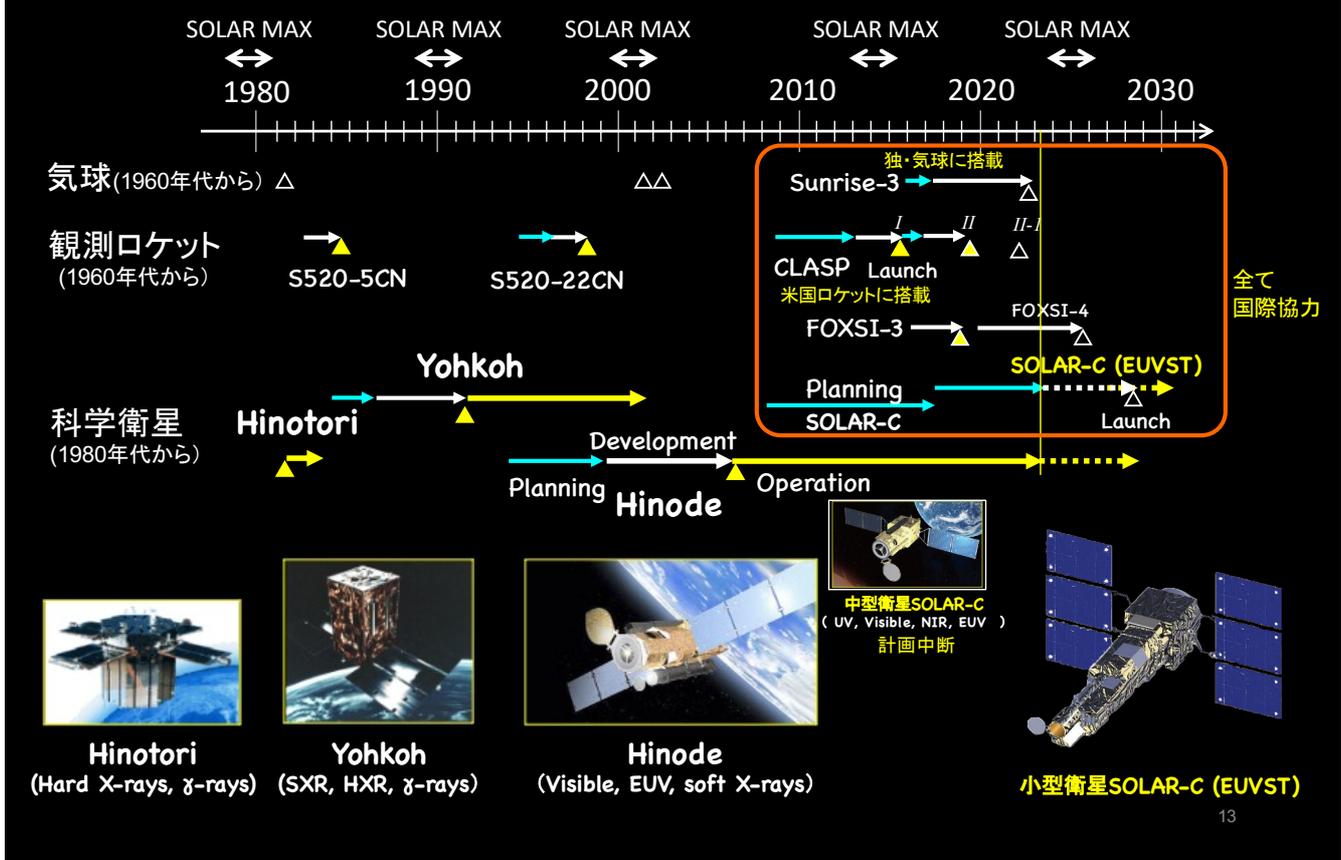
11

## フレアの理解の現状

- 磁気リコネクション(磁気エネルギー転換機構)の理解
  - 撮像観測の解像度が上がったことで、エネルギー転換域の微細構造が捕捉
  - モデルの検証が可能となる物理量の取得が可能な状況へと発展
  - しかし、現状の装置では、解像力、感度が不足
- 不安定化を誘発し、フレア発生の契機となる現象の検出
  - 大型フレアの発生のきっかけとなる現象が、分光観測のプラズマ診断でいくつかのケースで捕捉
  - 関連する現象は微小で、短時間のみ出現
  - しかし、現状の装置では、低頻度観測のため検出困難
- 光球からコロナまでを高い解像力で高頻度で観測することが望まれている。

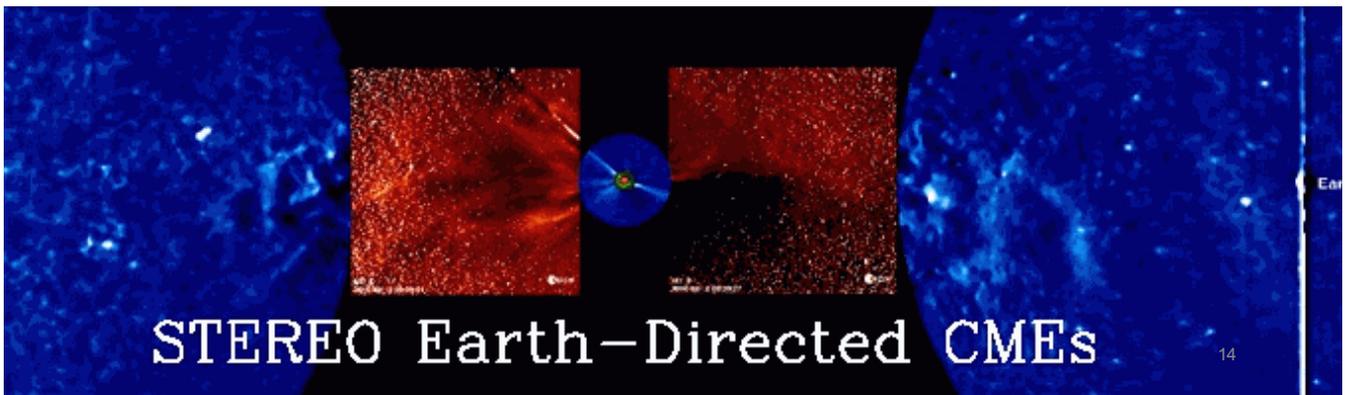
12

# 飛翔体による日本の太陽観測実績・計画



## 計画の視点

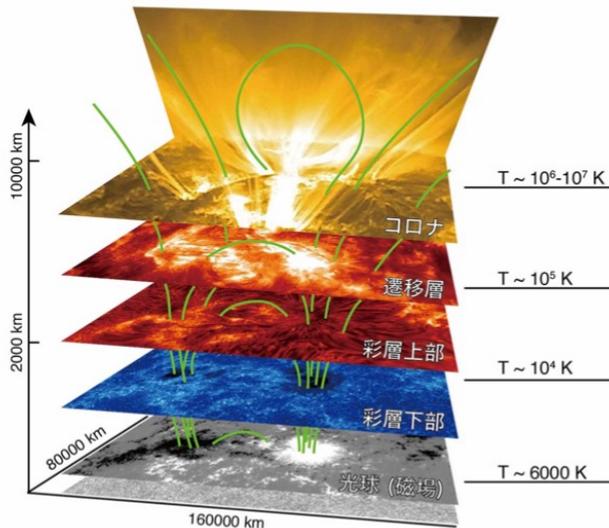
- 宇宙に如何に高温プラズマが作られ、太陽が如何にして地球や惑星に影響を及ぼしているのか？
  - 質量とエネルギーが太陽大気全体にどのように伝達されるかを包括的に理解
  - 太陽系の生命と居住性の条件を確立するために極めて重要な放射、太陽風とコロナ質量放出、およびエネルギー粒子を介して太陽圏に接続する太陽大気を理解



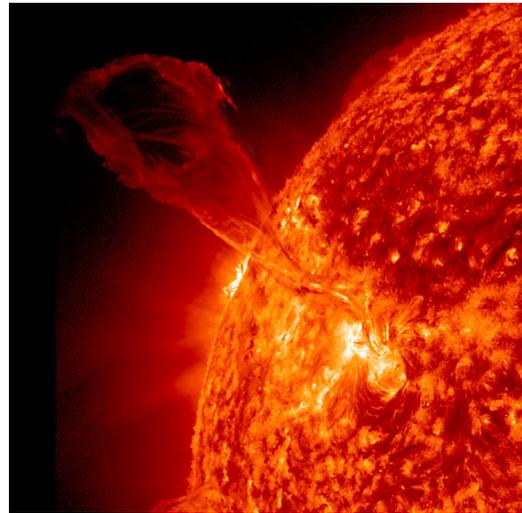


# 科学目的

1. 高温のコロナや太陽風はどのように作られるのか？
2. 太陽フレアは、いつ、どのようにして起こるのか？



光球より外側に高温のコロナ、流出する太陽風



短時間で莫大なエネルギーを解放するフレア

15



# 科学目的 (1)

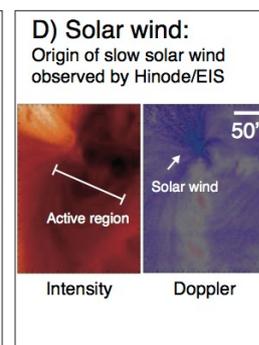
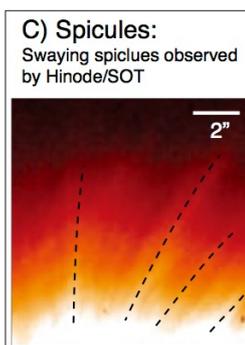
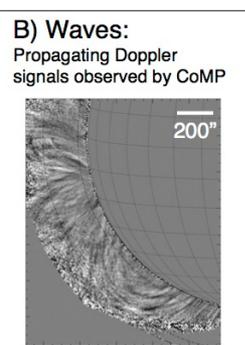
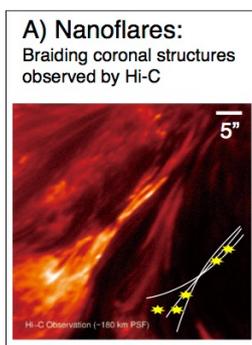
- 太陽大気・太陽風の形成を導く基礎物理過程の解明

A) ナノフレアのコロナ加熱への寄与を定量化

B) 波による散逸のコロナ加熱への寄与を定量化

C) 彩層微細構造(スピキュール)の形成機構とコロナ加熱への寄与を定量化

D) 太陽風の流源と加速機構の理解



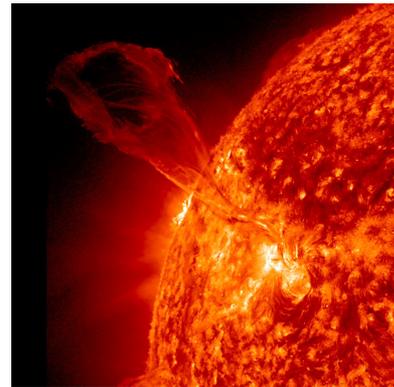
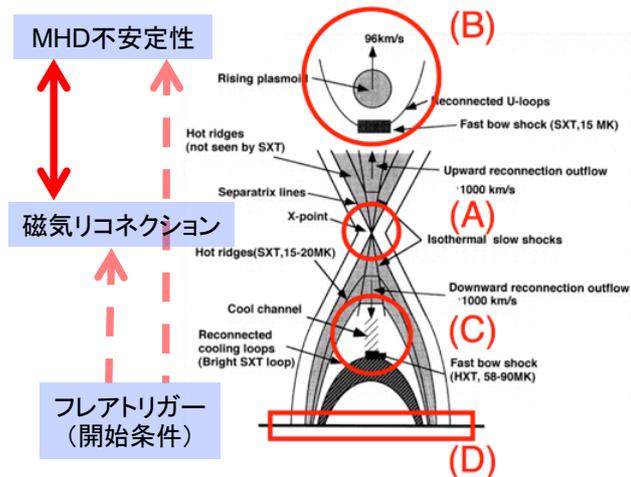
16

## 科学目的 (2)

- 太陽大気が不安定化してフレア・プラズマ噴出を引き起こす物理過程の解明

A), C) 磁気リコネクション機構の高速化の理解

B), D) フレアや噴出に至るエネルギー蓄積とトリガーの理解



17

## 必要とされる観測

- 科学目的達成には、以下の3つの要素を同時に実現する観測が必要

A) 3桁以上の温度帯域 (彩層 [2万度] からコロナ [100-2000万度]) にわたる太陽大気的全温度層を同時に隙間なく観測できる能力

B) 10-30倍の感度向上により、観測する現象を高空間・時間分解能で追跡できる能力

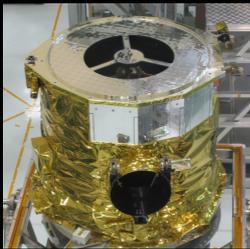
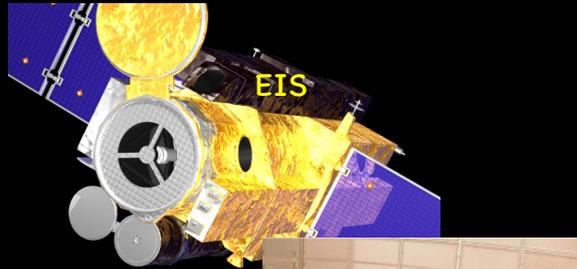
(太陽面で約300 kmを解像)

C) 基礎物理過程を診断できる分光情報 (速度, 温度, 密度等) を獲得できる能力

18

# Solar-B (ひので) と Solar-C の違い

## Solar-B



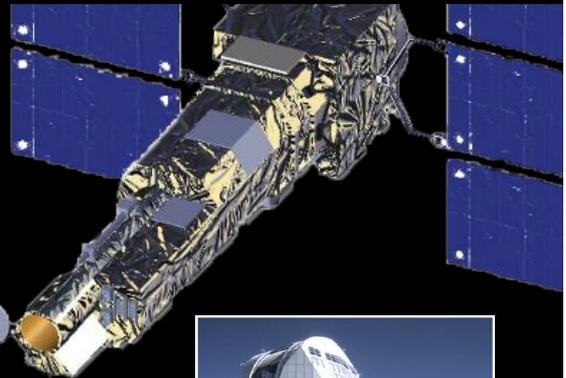
50cm口径 可視光望遠鏡  
0.3秒角解像力の磁場観測等



15cm口径 EIS  
3秒角解像力のコロナ観測

## Solar-C

Solar-C衛星では磁場の観測ができない

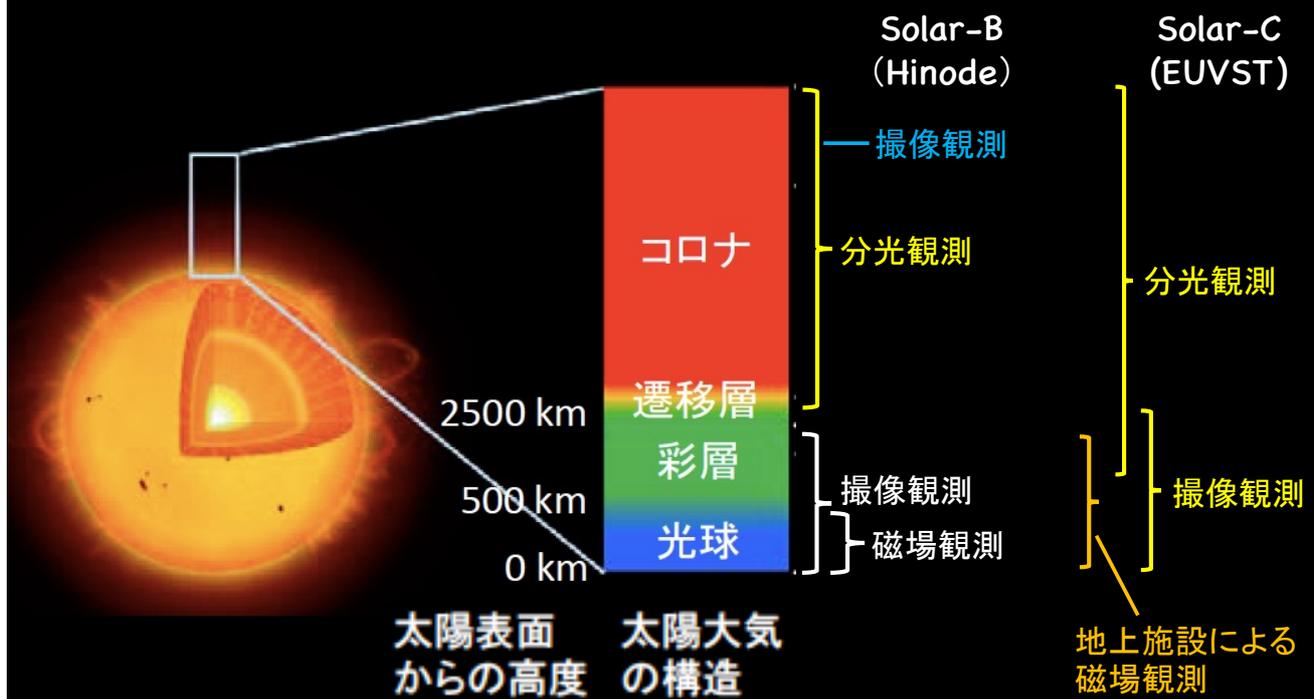


28cm口径 EUVST  
0.4秒角解像力のコロナ観測



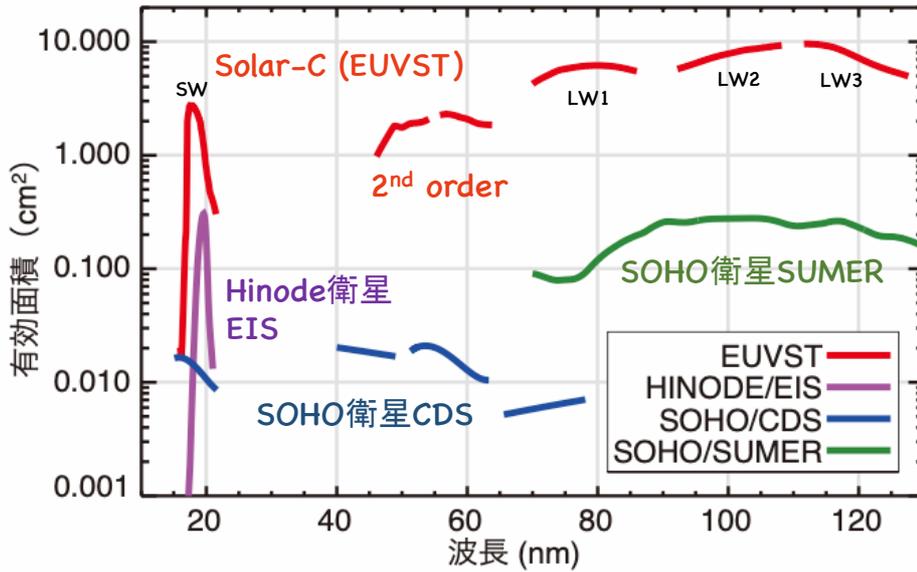
4m口径 DKIST太陽望遠鏡  
~0.1秒角解像力の磁場観測等

# 目指す太陽大気の三次元的観測





# 観測装置の感度



23



# 計画の立案・海外協力

- 国内・海外協力国の研究者が協力して推進する計画

海外協力国：  
 (ここでは装置開発協力国のみ記載)  
 米国  
 欧州各国(独、仏、伊、英、スイス)



国内体制図: Solar-C (EUVST) HPより転載

Proposal of a space science mission concept  
 宇宙科学ミッションコンセプト提案書

In reply to 2017 Announcement of Opportunity for competitive M-class missions  
 提案機会: 公募型小型 2017 年度公募

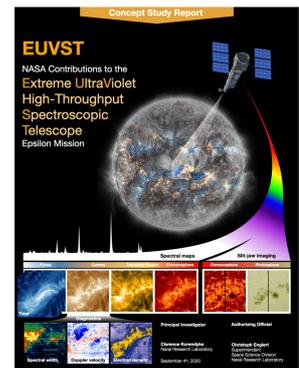
submitted on 29 Jun 2018

Summary	
Mission name (English)	Solar-C EUV High-Throughput Spectroscopic Telescope (Solar-C, EUVST)
(Japanese)	公募型小型衛星搭載高感度 EUV/UV 分光望遠鏡 (Solar-C, EUVST)
Proposing working group (WG)	
Under the advisory committee of	Science
Name	SOLAR-C Working Group
Principal Investigator (PI)	
Names	Shimizu, Toshifumi
Affiliations	Institute of Space & Astronomical Science/JAXA
e-mail addresses	shimizu@iss.u-tokyo.ac.jp
Co-Investigators (Co-I)	shown in the next pages

Science goals and objectives (<200 words)  
 ミッションの意義と科学目的 (200 語未満)

As a fundamental step for answering how the plasma universe is created and evolves, and how the Sun influences the Earth and other planets in our solar system, the mission is designed to comprehensively understand the energy and mass transfer from the solar surface to the solar corona and interplanetary space, and to investigate the elementary processes that take place universally in cosmic plasmas. Understanding the solar atmosphere, which connects to the heliosphere via the radiation, the solar wind and coronal mass ejections, is pivotal for establishing the conditions for life and habitability in the solar system. Thus, the two scientific objectives for Solar-C, EUVST are: (1) To understand how fundamental processes lead to the formation of the solar atmosphere and the solar wind and (2) To understand how the solar atmosphere becomes unstable, releasing the energy that drives solar flares and eruptions. The main instrument is an EUV spectrometer that will observe the solar atmosphere from the chromosphere up to the corona with seamless temperature coverage. The instrument capabilities (the spatial, spectroscopic and temporal resolutions) will surpass those of previous instruments by an order of magnitude in order to achieve the timescales of plasma dynamics throughout the solar atmosphere.

JAXAへの提案書



米国NASAへの提案書

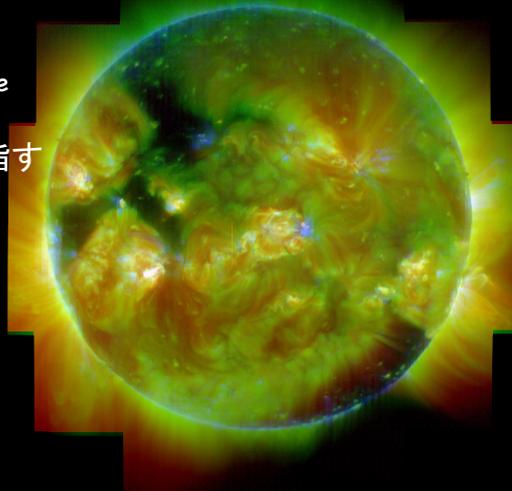
24

# SOLAR-C: 高感度EUV分光観測装置EUVST

EUVST:

Extreme Ultra-Violet high-throughput Spectroscopic Telescope

- 2018年にJAXAへ提案、**2028年頃の打ち上げ**を目指す
- 2020年5月に JAXAの小型衛星計画4号機に選定



- 高い空間分解能 (Hinode に対して x8)
- 高感度 (Hinode に対して x10 以上)
- 彩層からコロナまでの広温度域をカバー (0.02-20 MK)