

次期太陽観測衛星計画 SOLAR-C

原 弘久

国立天文台・ひので科学プロジェクト・准教授

SOLAR-C準備室

総合研究大学院大学・天文科学専攻・准教授

東京大学大学院理学系研究科天文学専攻兼任教員

2014年8月28日

太陽研究最前線体験ツアー2014

講義内容

準備中・進行中の飛行体による観測計画

- 次期太陽観測衛星計画SOLAR-C
- CLASP観測ロケット実験計画

- 国立天文台太陽研究グループの紹介

飛翔体を使った太陽観測

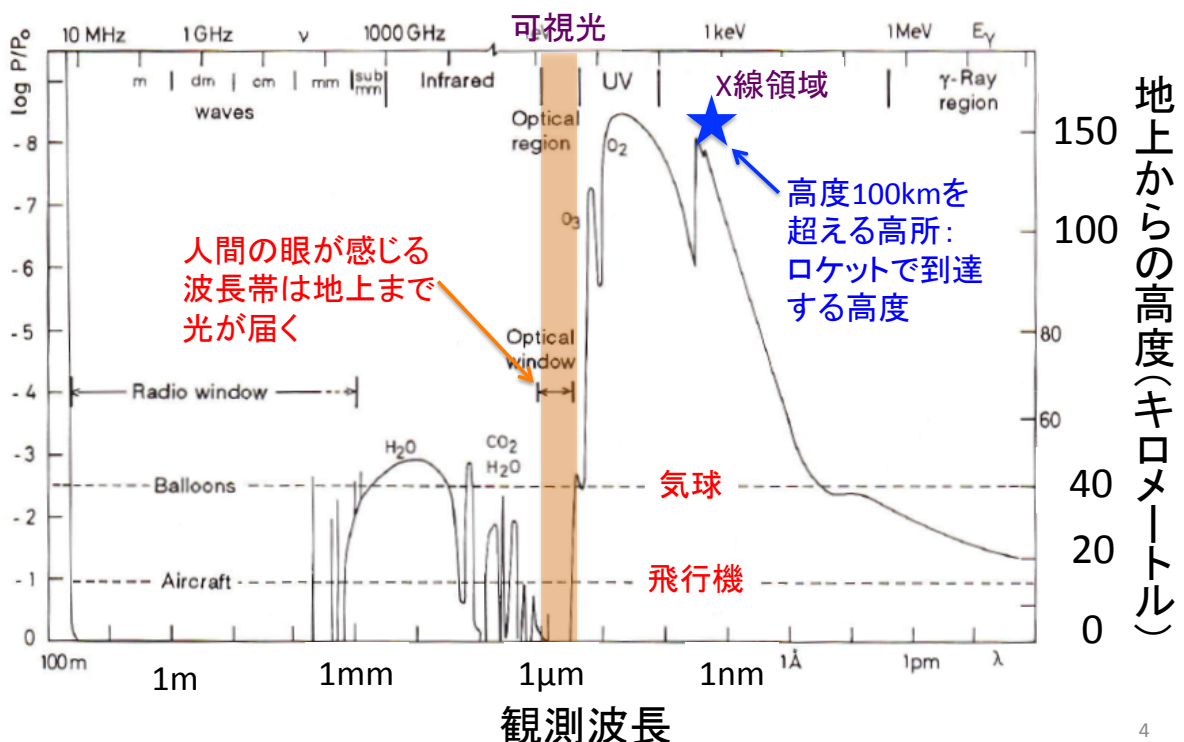
- 飛翔体
 - 飛行機、気球、観測ロケット、人工衛星(惑星間飛翔含む)
- 飛翔体を使う必要性
 - 地球電離層による電波の反射・吸収を避けるとき
 - 雲による遮蔽を避けるとき
 - 地球大気による吸収を避けるとき
 - 地球大気の動きによる像劣化を避けるとき
 - 地上ベストサイトで一年に限られた日数は好条件
 - 狭い視野範囲では補償光学で改善されつつある
 - 地球方向以外からの観測を望むとき(地球を離脱)
 - 日食を長時間追うとき(超音速機による観測)
 - 夜の無い観測を望むとき(衛星以外では南極で)

極端紫外線・X線で観測を実施する理由

解像度を上げたいとき

宇宙からの光(電磁波)はどこまで届く?

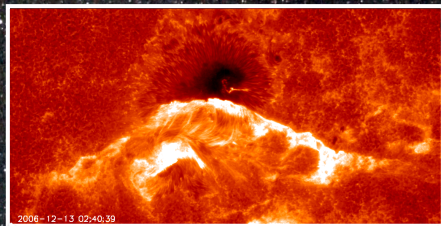
宇宙からの届く光の強度が半減する高度を線で表示



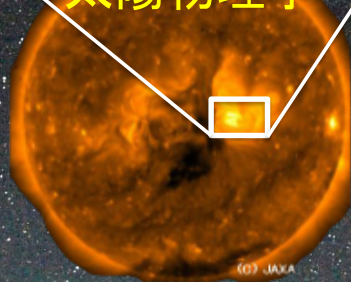
次期太陽観測衛星計画 SOLAR-C

SOLAR-Cによる太陽研究の視点

天文学



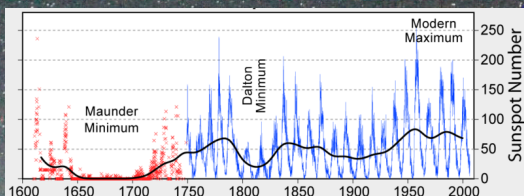
太陽物理学



太陽磁場変動の地球への影響 (長期変動) 太陽爆発の地球への影響 (短期変動)

宇宙気候・宇宙天気

人間生活との接点



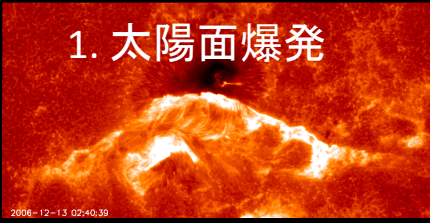
気候学

プラズマ物理学

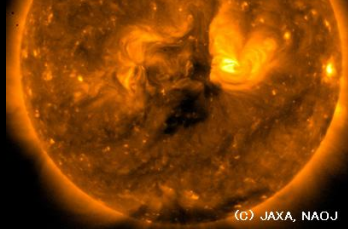
太陽研究の基本課題と観測計画

基本課題

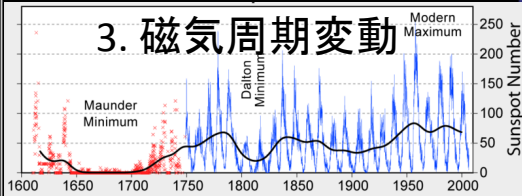
1. 太陽面爆発



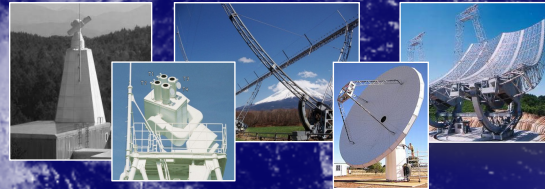
2. 彩層・コロナ加熱 太陽風形成



3. 磁気周期変動



宇宙天気・宇宙気候 研究を推進:
地上における大学間連携観測ネットワーク
「SOLAR-Cを補う広視野磁気構造観測」
「宇宙天気モデリングを可能とする太陽圏モニタ観測」



SOLAR-C計画

JAXAへ向けた提案

「地球とその周縁環境に影響を及ぼす
太陽磁気活動の起源を明らかにする」



「三次元磁気構造の可視化」を通して以下の課題を究明

• 科学目標

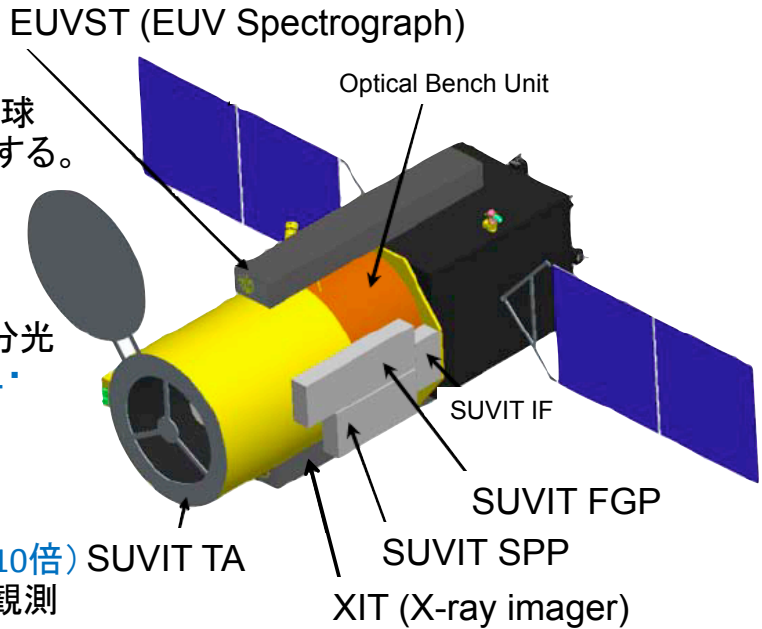
- 「爆発や噴出の起源解明と宇宙天気予測」
- 「太陽(黒点)周期活動予測と宇宙気候影響研究」
- 「彩層・コロナ・太陽風形成機構の解明」
- 「マルチスケール磁気プラズマ現象の理解の推進」

SOLAR-C衛星の概要

Weight	2300 kg (w/o fuel)
Size	3.7m x 3.2m x 7.3m
Data rate	8 Mbps (×20 of Hinode) DR volume: 100GB
Orbit	a geosynchronous orbit

先進的な3つの観測装置

- SUVIT**
光球・彩層磁場望遠鏡
 0.1~0.2秒角の高い解像度で光球と彩層の精密磁場観測を実現する。
 対ひので口径約3倍(~1.4m)
- EUVST**
上層大気高感度分光望遠鏡
 プラズマの速度・温度・密度を分光測定。対ひので解像度5倍以上・感度10倍以上
- XIT**
X線撮像望遠鏡
 0.3秒角の高解像度(対ひので10倍)でコロナの広視野高頻度撮像観測を実現



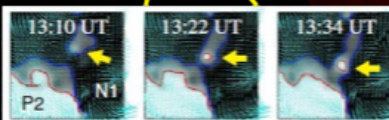
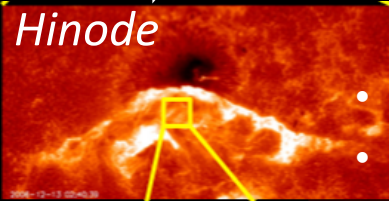
太陽面爆発・噴出の起源と宇宙天気

なぜ太陽面で爆発現象が発生するのか？

爆発のトリガー条件は依然未解明

ようこう
ひので

爆発機構の
理解は進展

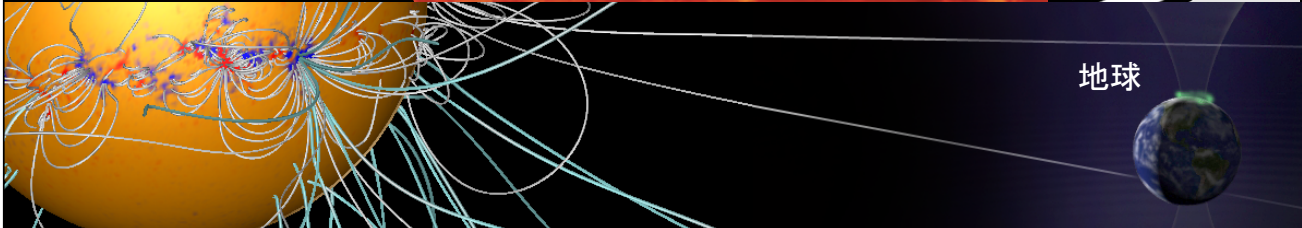
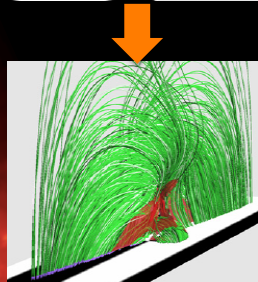
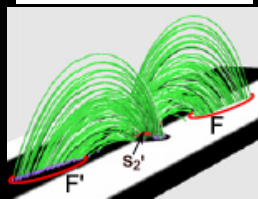
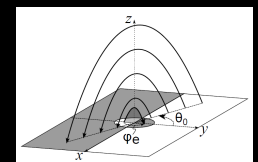


小双極子の浮上
(トリガー構造の候補)

彩層磁場観測からの 新しいアプローチ

- コロナ中のエネルギー蓄積を把握
- 噴出を引き起こす彩層構造の検出

宇宙天気予測のためのモデル
を初めて構築



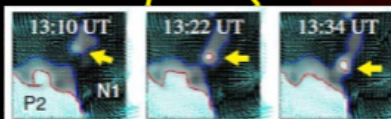
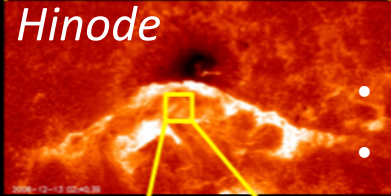
太陽面爆発・噴出の起源と宇宙天気

なぜ太陽面で爆発現象が発生するのか？

爆発のトリガー条件は依然未解明

ようこう
ひので

爆発機構の
理解は進展

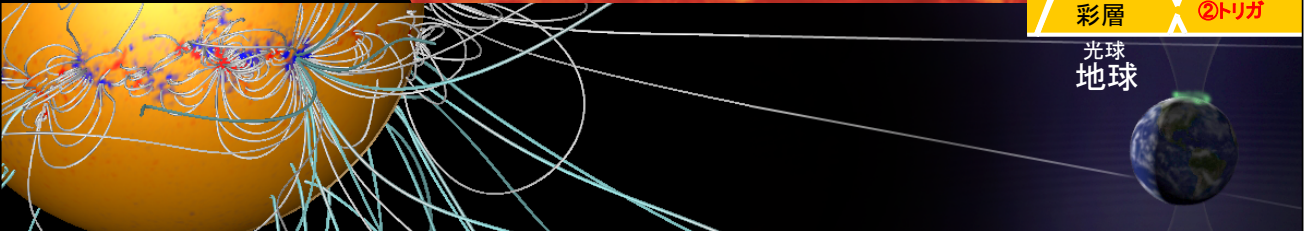


小双極子の浮上
(トリガー構造の候補)

彩層磁場観測からの 新しいアプローチ

- コロナ中のエネルギー蓄積を把握
- 噴出を引き起こす彩層構造の検出

宇宙天気予測のためのモデル
を初めて構築

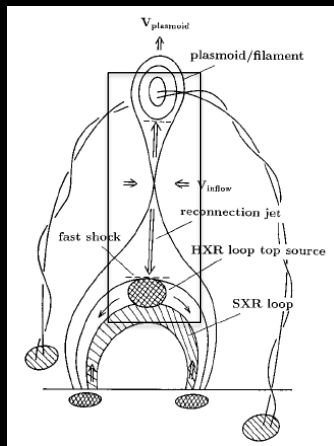
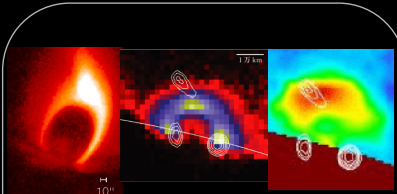


磁気リコネクション

Study of a Fundamental Physical Process

高磁気レイノルズ数での高速リコネクション構造とは？

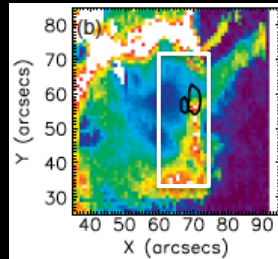
Yohkoh



Shibata et al. (1995)

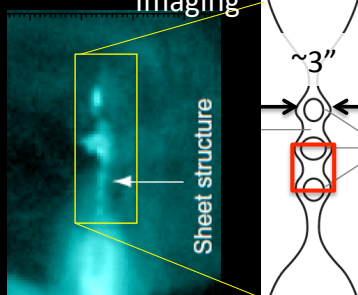
Hinode & SDO

Spectroscopy



Hara et al. (2011)

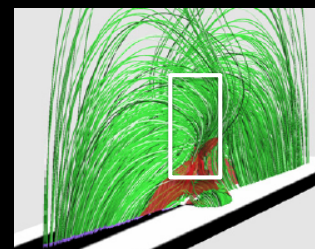
Imaging



Takasao et al. (2012)

SOLAR-C

- ◆ 彩層-コロナ高解像度 (0.3") 画像・分光観測
- ◆ 高感度 (>×10) *in spectroscopy*
⇒ 高時間分解能
- ◆ 内部磁気島とMHD 衝撃波構造を形成する高速リコネクション過程を実証



太陽大気の構造とエネルギー輸送

Observations of All from photosphere to corona seamlessly

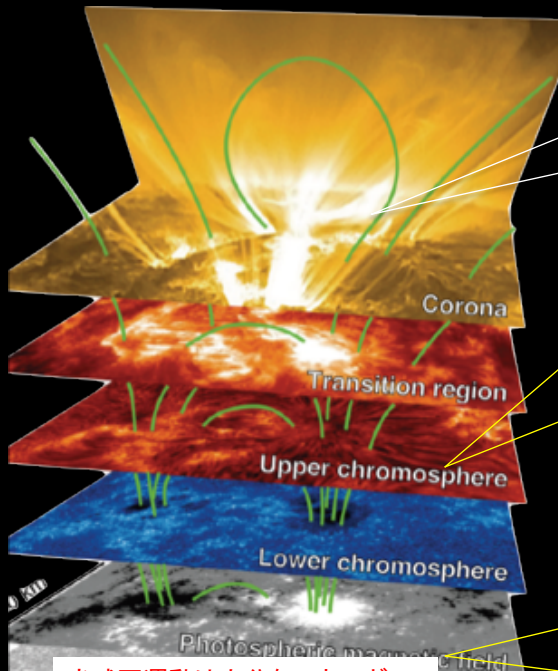
現状: *Hinode*の成果

コロナ加熱の直接観測はほとんど未開拓
しかしその片鱗は捉えた
光量と分解能の不足

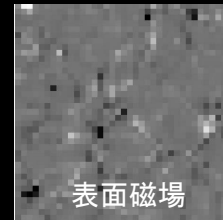
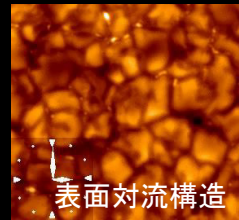
Spatial resolution in coronal observations

10^4 Kの彩層構造の運動

波動エネルギーは彩層加熱に不十分



光球面運動は十分なエネルギー源となり得ることを確認。



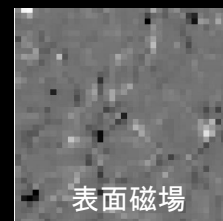
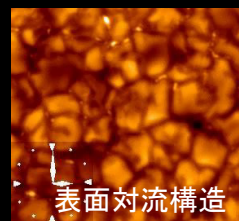
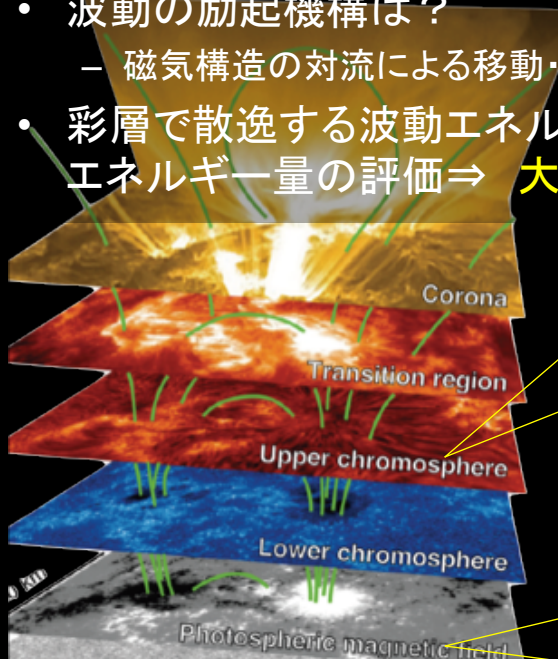
太陽大気の構造とエネルギー輸送

Observations of All from photosphere to corona seamlessly

- 画像・分光観測で得られる熱構造と磁気構造の関係は？
- 波動の励起機構は？
 - 磁気構造の対流による移動・渦運動によるひねり・磁気リコネクション
- 彩層で散逸する波動エネルギー・コロナへ輸送される波動エネルギー量の評価⇒ **大気加熱・太陽風加速の理解へ**

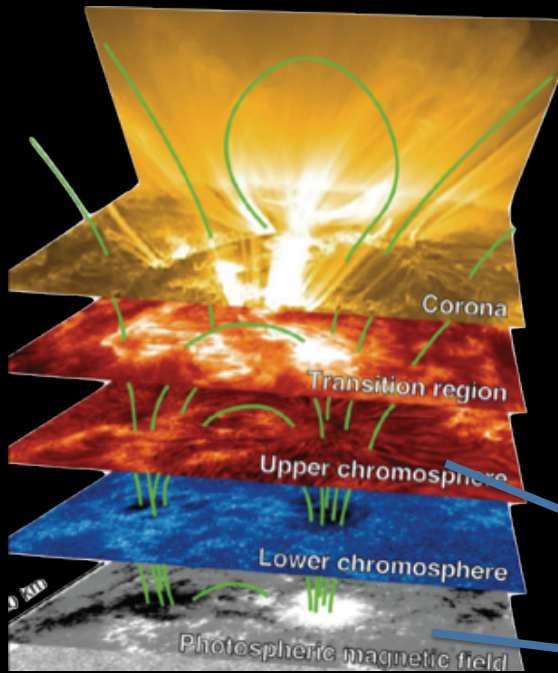
Spatial resolution in coronal observations

10^4 Kの彩層構造の運動

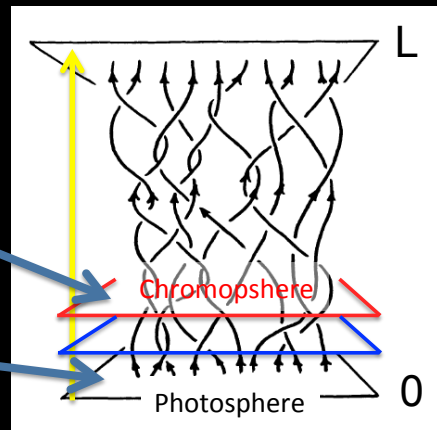
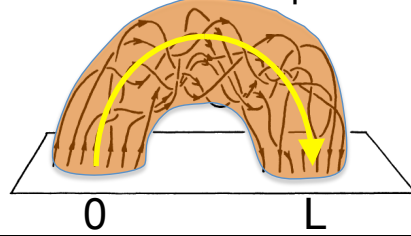


太陽大気の構造とエネルギー輸送

Observations of All from photosphere to corona seamlessly



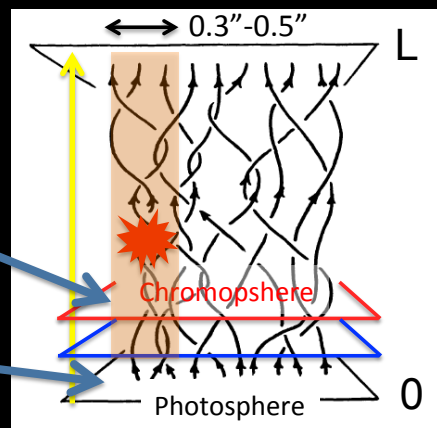
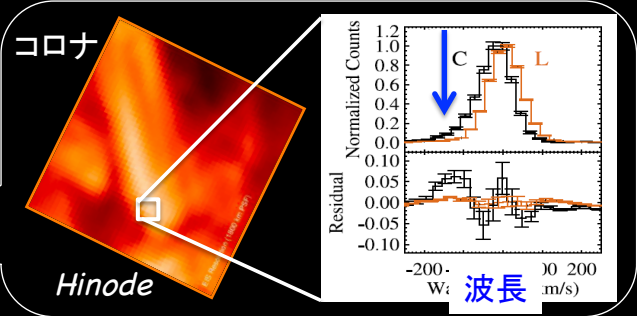
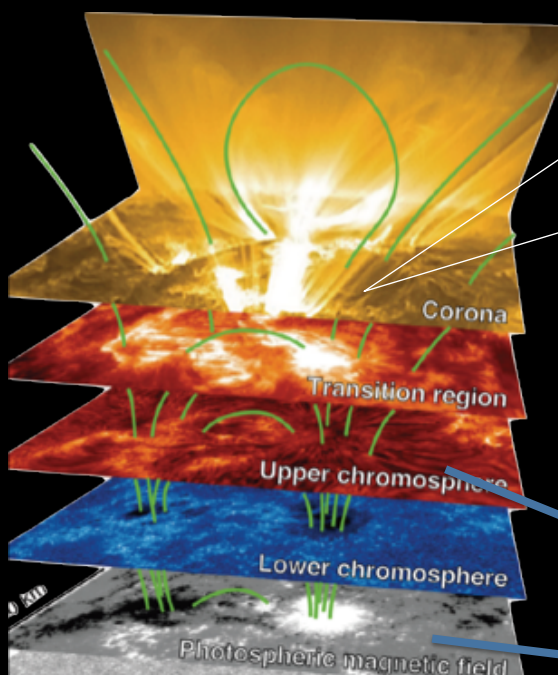
Building block of corona:
Coronal loop



太陽大気の構造とエネルギー輸送

Observations of All from photosphere to corona seamlessly

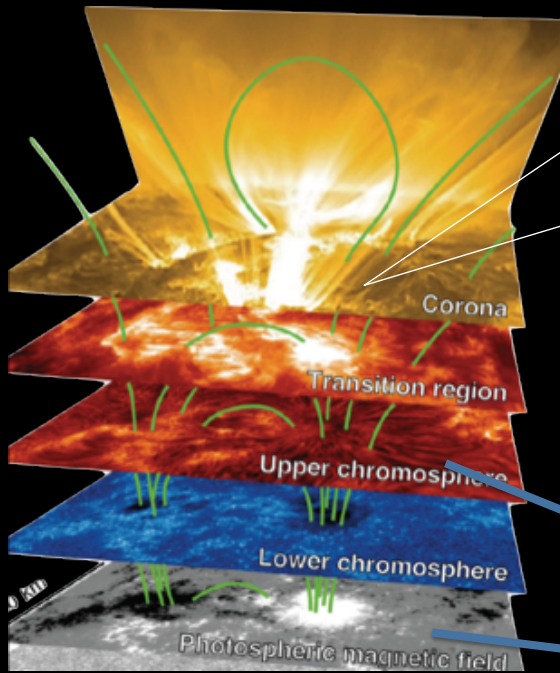
「ひので」で明らかになったダイナミクス



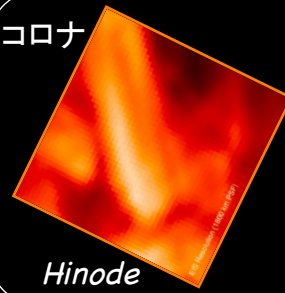
太陽大気の構造とエネルギー輸送

Observations of All from photosphere to corona seamlessly

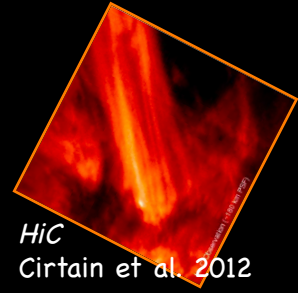
「ひので」 から 「SOLAR-C」 へ



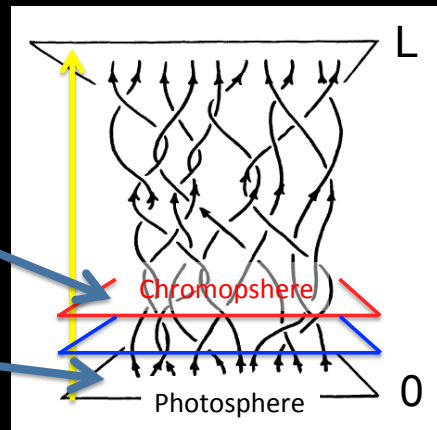
コロナ



Hinode



HiC
Cirtain et al. 2012



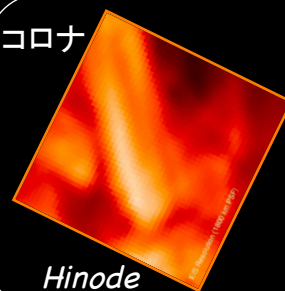
太陽大気の構造とエネルギー輸送

Observations of All from photosphere to corona seamlessly

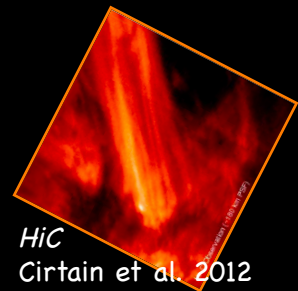
「ひので」 から 「SOLAR-C」 へ



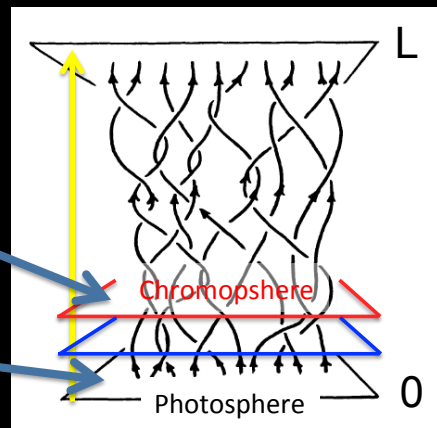
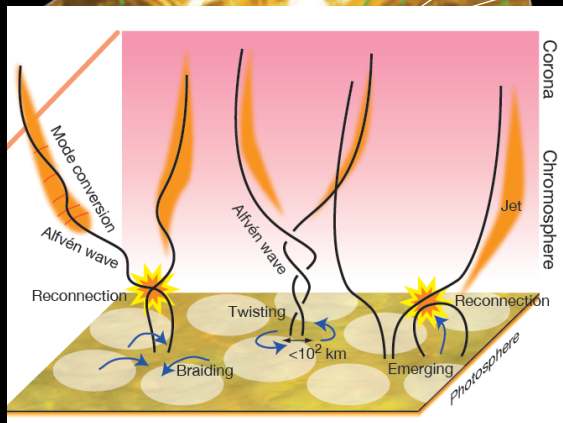
コロナ



Hinode



HiC
Cirtain et al. 2012



空間分解能の向上がもたらすもの(光球)

- 可視域で *Hinode* SOTの3倍
 - 磁束要素の検出限界が1桁向上

Hinodeで観測される磁気要素の80%が分解できていない

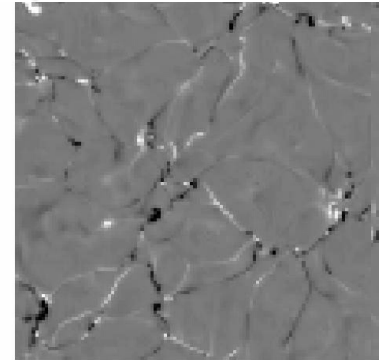
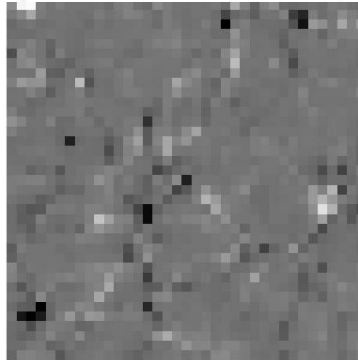
Hinodeでのジャンプ

SOLAR-Cでのジャンプ

地上 1"解像度

SOT 0.3"解像度

SUVIT 0.1"解像度



輻射MHDシミュレーションの結果から再構成された異なる解像度での微小磁束の観測像

磁気要素の存在・位置判明

- 微細構造に逆極性あり
- 微細構造の動きから + 渦, 電流の評価可能

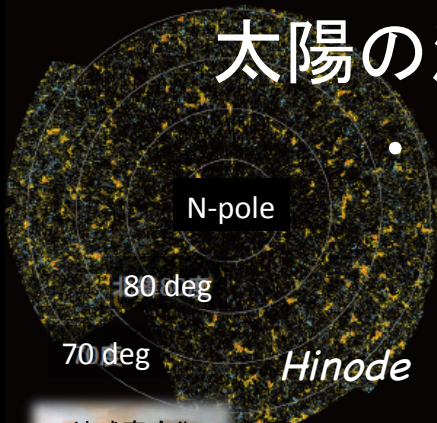
磁気要素の検出数 ~ 7倍
 相互作用の検出数 ~ 50倍
 光球における磁気エネルギー生成の全貌が初めて分かる。

光球の光子平均自由行程 ~ 0.1"

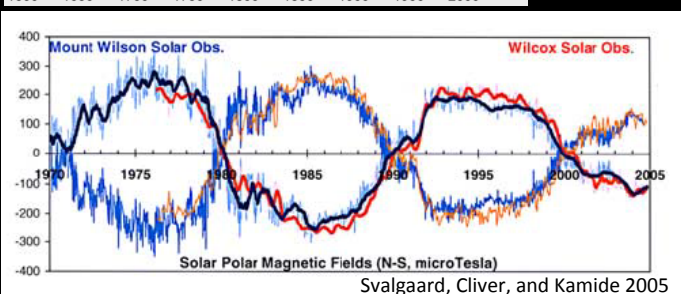
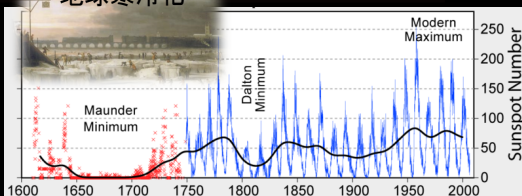
太陽の活動周期変動の起源

- 太陽の極磁場
 - Hinode*: 微小磁束より構成されることを発見
 - 次周期の太陽活動を予測する因子
 - SOLAR-Cの高解像度磁場マップ
 - 磁場の拡散・輸送・消失過程を解明

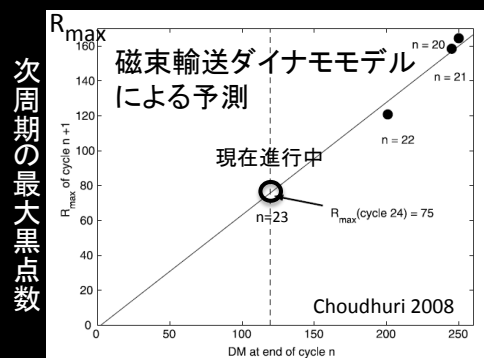
低調な活動状態にある太陽の極領域の詳細観測に貢献



地球寒冷化



Svalgaard, Cliver, and Kamide 2005



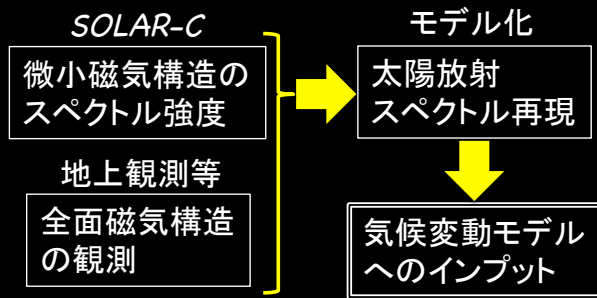
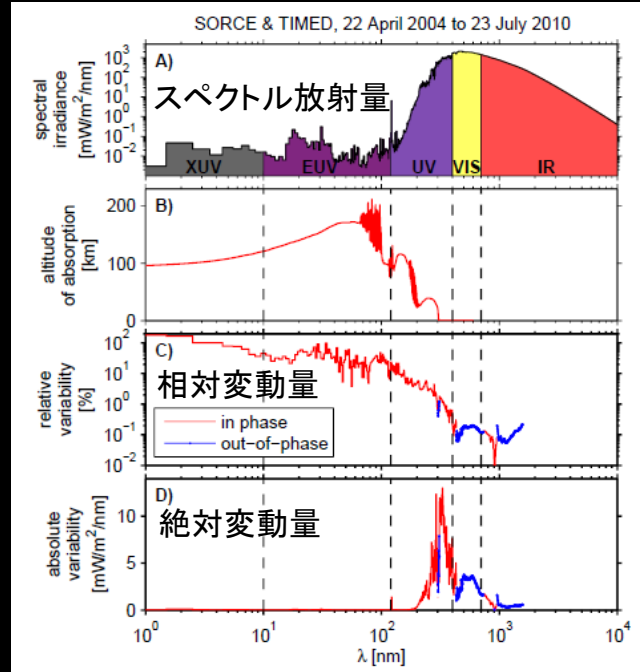
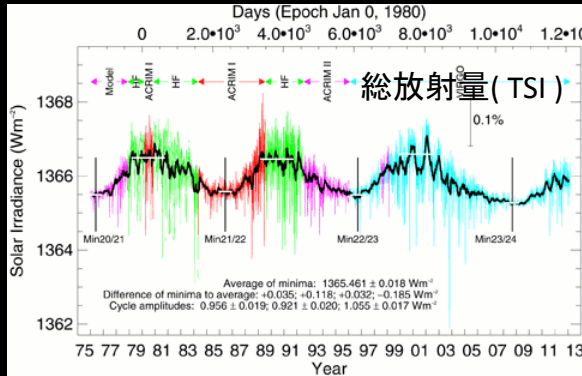
次周期の最大黒点数

極磁場から決まる極小期の双極子モーメント

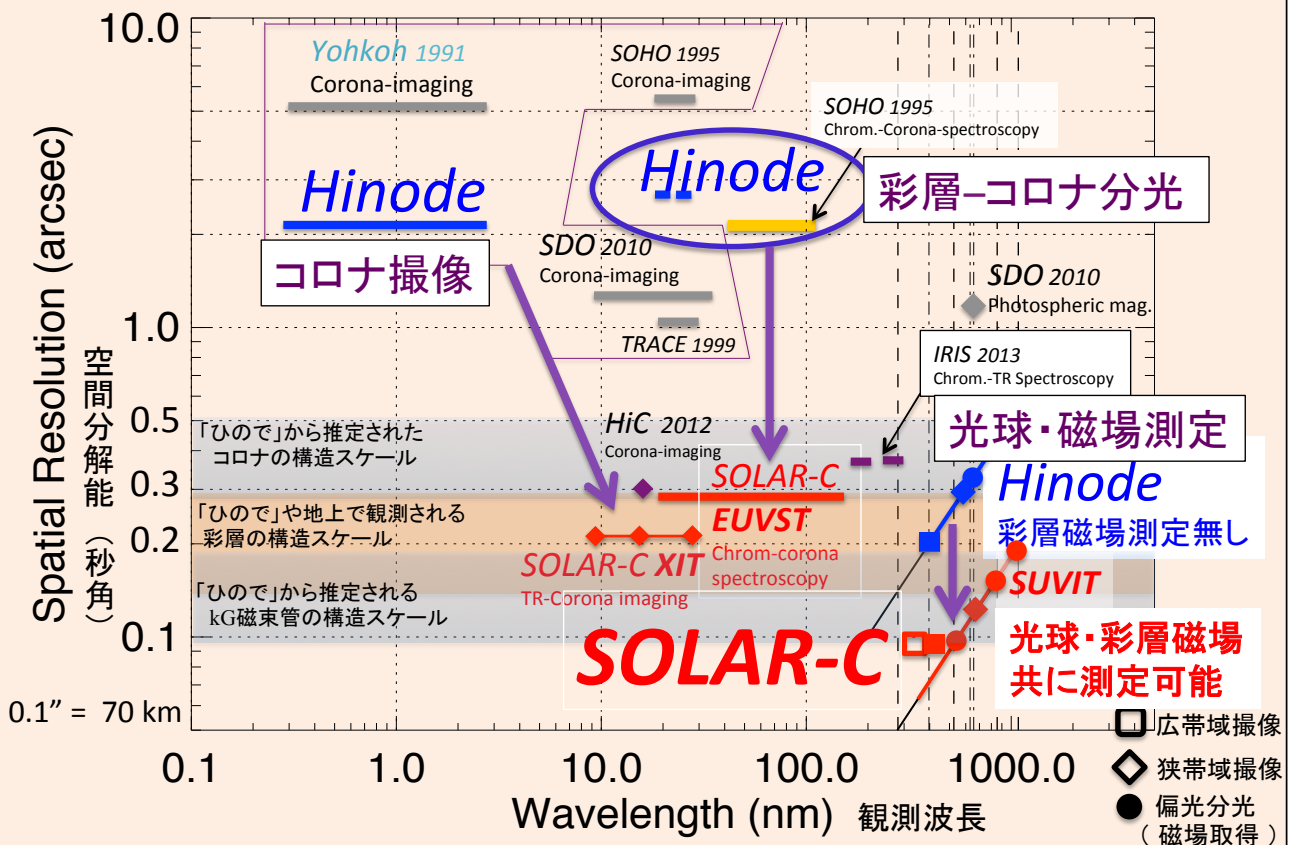
微細磁気構造からの放射スペクトル変動 気候影響メカニズムへの寄与

総放射量変動は黒点と白斑(微細磁気構造)の変動で説明できない成分がある(UV域?)

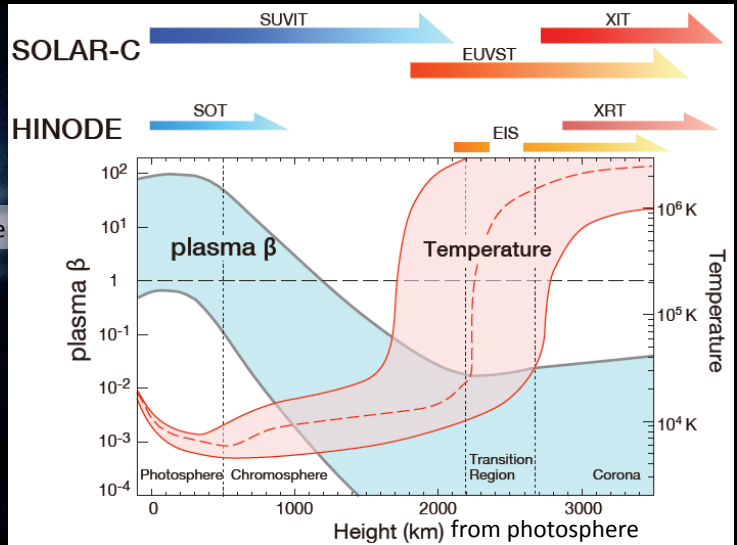
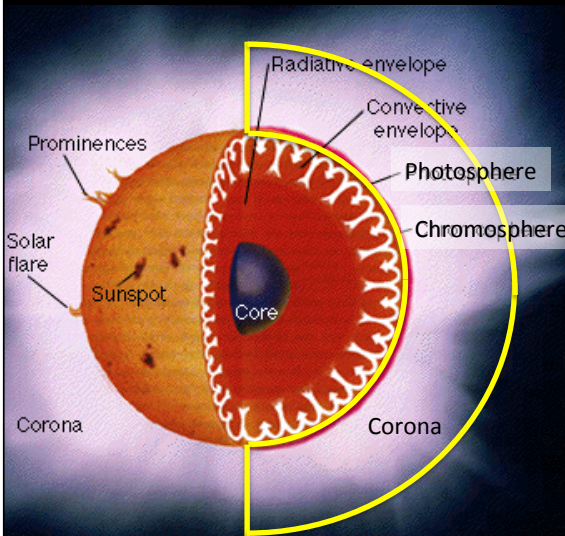
太陽全体からのスペクトル観測



SOLAR-C High-resolution Observations

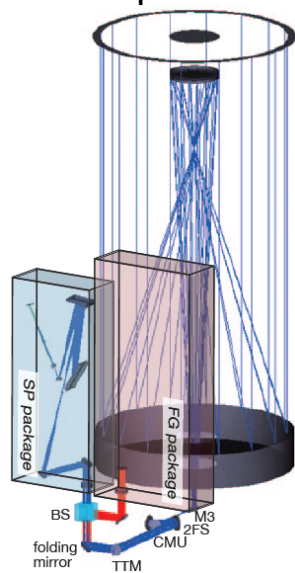


SOLAR-Cで観測する領域



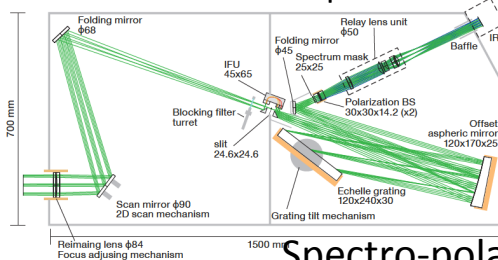
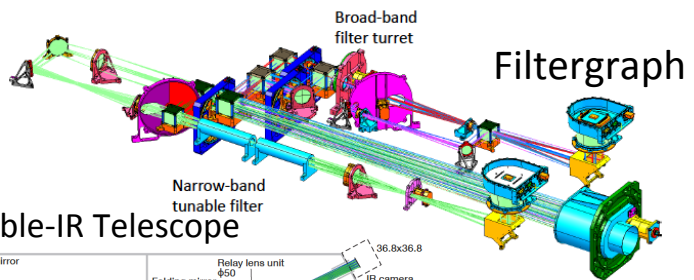
1.4m diameter telescope

SOLAR-C payload

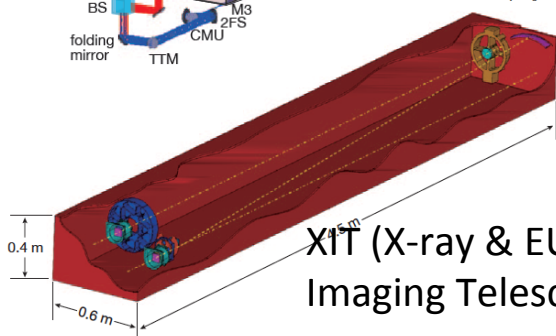


SUVIT

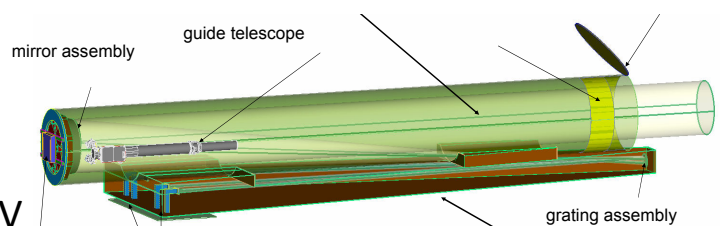
Solar UV-Visible-IR Telescope



Spectro-polarimeter

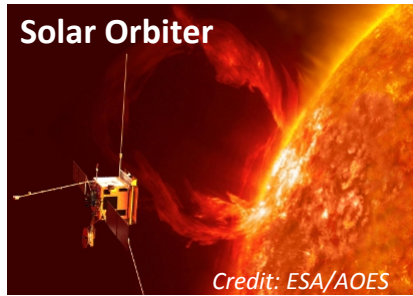


XIT (X-ray & EUV Imaging Telescope)

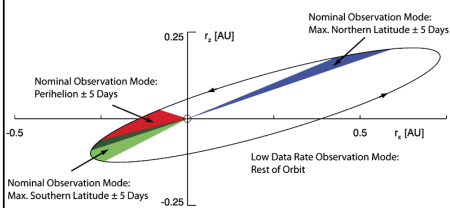


EUVST (EUV Spectrograph)

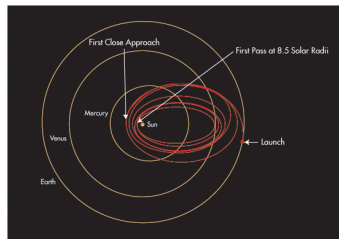
海外大型計画との連携・協力



- 最短**0.28AU**までの太陽接近と**傾斜角最大25度**(7年通常期間)の軌道での観測
- 2017年ころ打上げ、通常ミッション期間 ~2024年



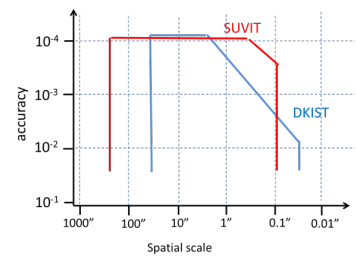
- 最短**8.5太陽半径**まで太陽に接近して観測
- 2018年ころ打上げ、金星フライバイで最接近@~2025年



コロナ加熱・太陽風加速のin situ観測
Solar-Cと連携した太陽圏の3次元構造探査

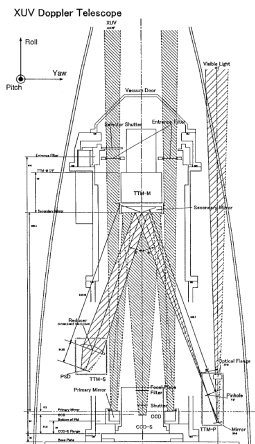


- 口径4m ハワイに建設中
- 観測開始 2019年予定
- 超高解像度撮像 (0.025" @400nm)
- コロナ磁場の直接測定(リム上)



超高解像度撮像観測
SUVITとの相補的協力

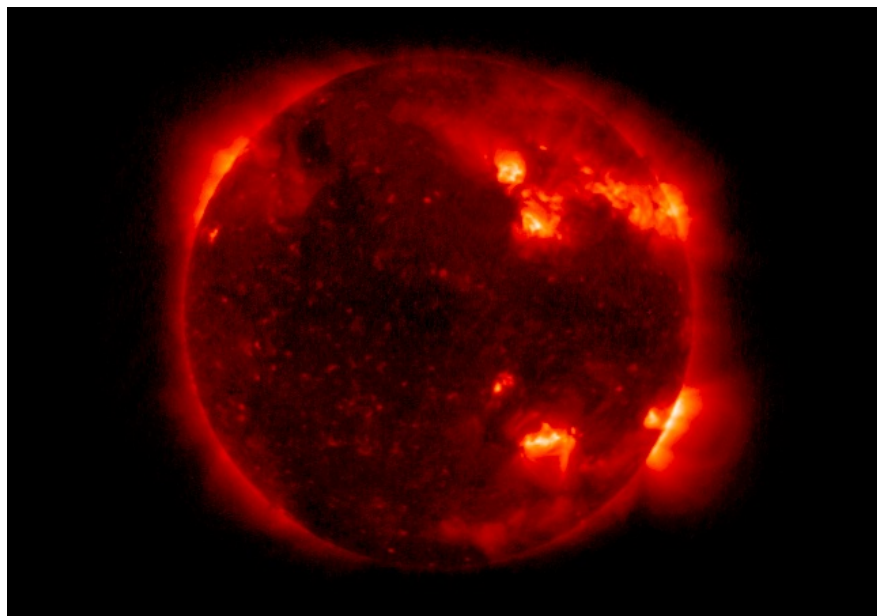
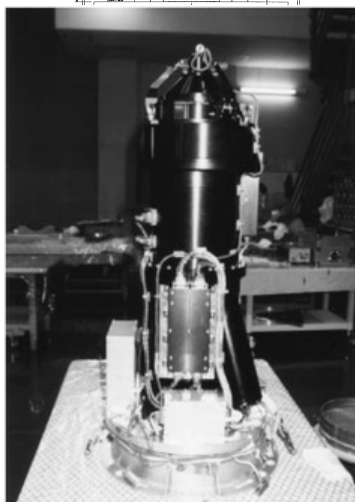
ロケット実験



16年前に国内で実施した XDTロケット観測実験

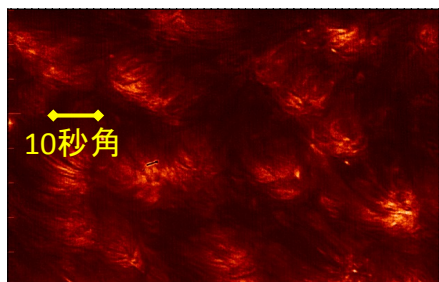
1998年打ち上げ
ISAS S520-22CN rocket

日本で開発した本格的な太陽観測用多層膜望遠鏡

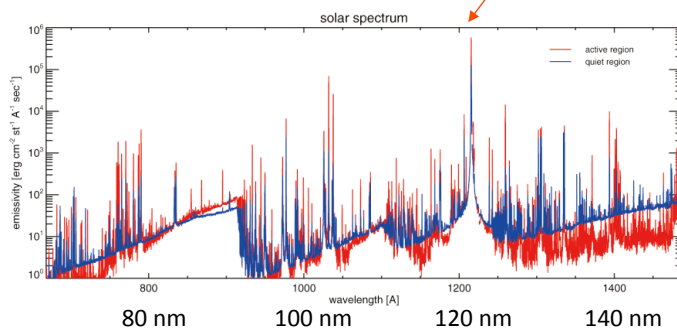


CLASPロケット実験計画

- **新しい彩層磁場観測**を目指して、**水素Ly α 輝線**の高精度偏光観測ロケット実験
 (Chromospheric Lyman-Alpha Spectro-Polarimeter; CLASP)
 を、日・米中心に4カ国、10機関の国際協力推進。
- 米国(NASA)の観測ロケットを使い、観測装置はその構造を含めて日本が製作を担当。

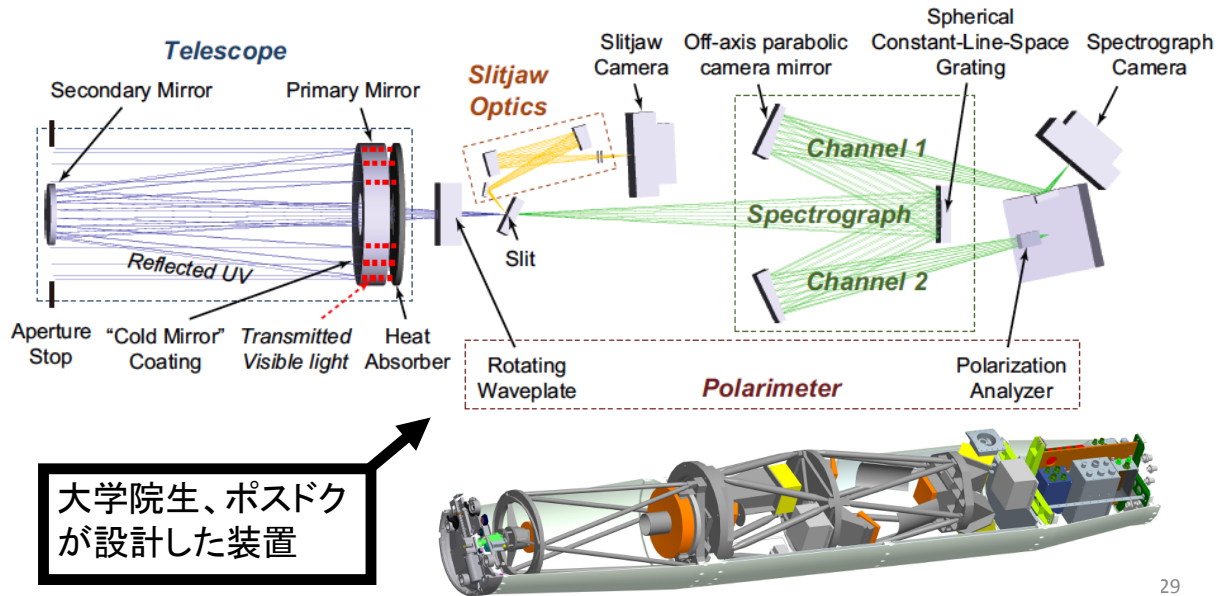


Ly α 線による彩層像



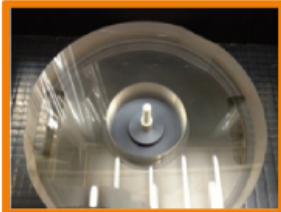
CLASPロケット実験計画

- 2009年より基礎実験・概念設計を進め、2012年5月にNASAへ提案、11月に採択。2015年夏季に打ち上げを目標に準備中。
- **ポスドク、大学院生が中心となって設計や開発が進行**



29

Primary



Secondary



飛行用観装置の組立・調整が進行中

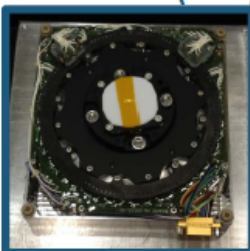
Telescope Structure



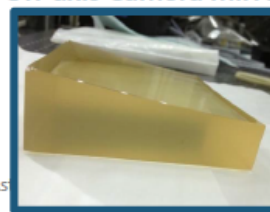
Slitjaw optics: mirror unit & filter unit



HWP motor (PMU) & driver



Off-axis Camera mirror



Spectro-Polarimeter Structure



国立天文台スタッフによる 大学院教育

国立天文台スタッフが関わる大学院教育

- 総合研究大学院大学天文科学専攻
 - 原を除く国立天文台太陽研究スタッフが主指導教員となれる(一人の学生に対し、指導教員は主が1名、副が2名の3名)。
- 東京大学大学院理学系研究科天文学専攻
 - 原は兼任教員。指導教員となれる。現在院生3名

31

おわりに

- 天文学では新たな観測を通して新たな宇宙観が得られてきています。飛翔体を使った観測は観測環境として理想的。
- 私はSOALR-A打ち上げ1年前にその計画の存在を知り、この分野に入ってきました。
- ようこう、ひので衛星の打ち上げが成功し、得られたデータから新たなことをいくつも発見することができました。世界中の研究者と協力し、開発、研究を進めています。
- 現在SOLAR-C計画, CLASP計画の準備中
- みなさんの中から私たちと一緒に新規の太陽観測装置を開発し、研究をしていく方が出てくることを期待しています。

32