

国立天文台での太陽研究

原 弘久

国立天文台・SOLAR-C準備室・准教授

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

2017年3月27日

太陽研究最前線体験ツアー2017

1

講義内容

国立天文台での太陽研究

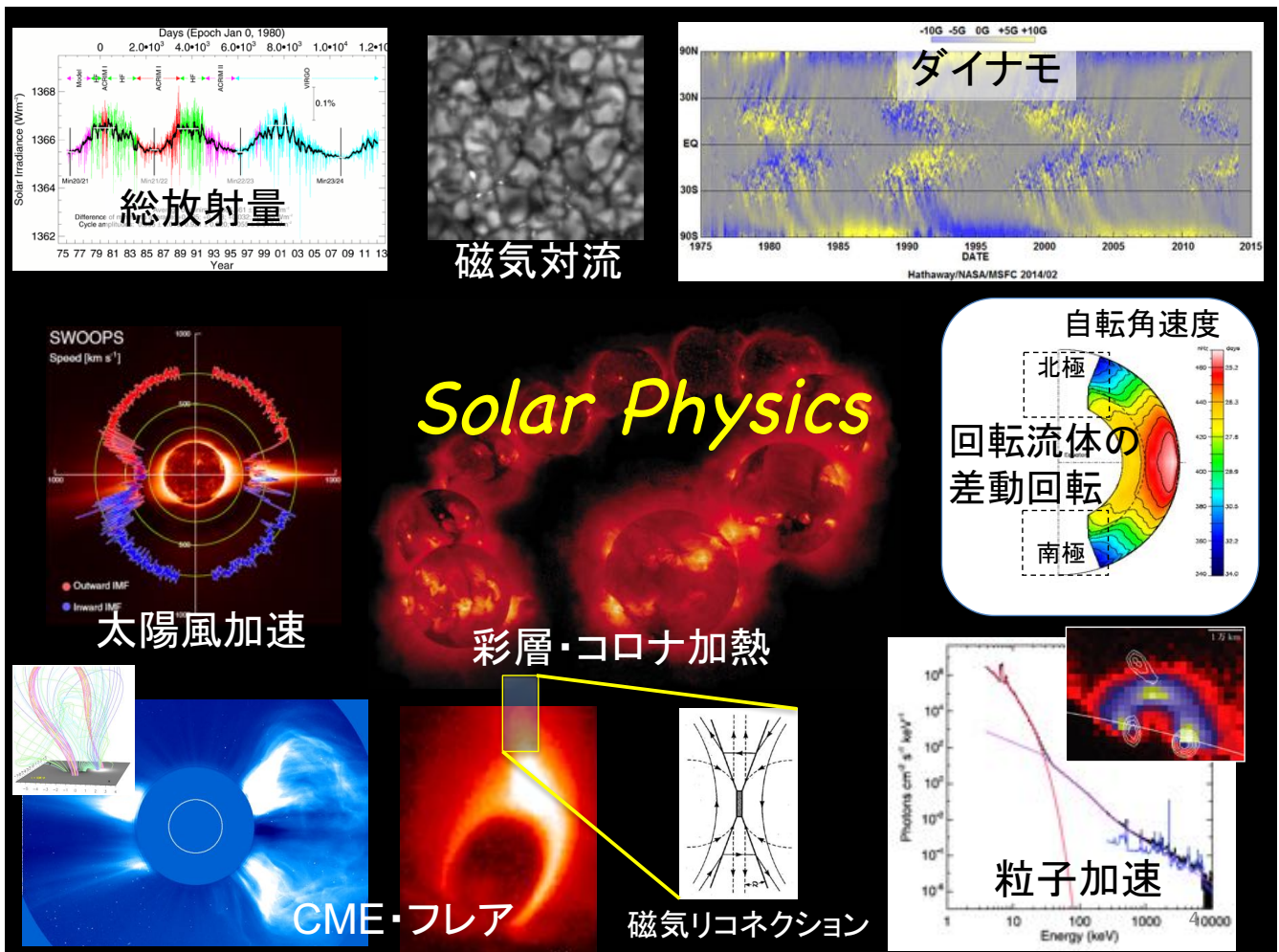
- 研究対象
- 研究手法
 - 地上観測による太陽研究
 - 飛翔体観測による太陽研究
 - 飛翔体(飛行機・気球・ロケット・人工衛星)
 - 日本の飛翔体太陽観測
 - 次期太陽観測衛星計画SOLAR-Cの紹介
 - 小規模計画(これはこの後の講義 by 久保)

2

研究対象

- 当然、太陽ではないのか？
 - 太陽の現象を理解するための研究
 - 太陽でも発生する物理現象を理解するための研究
 - 星の活動の雛形としての太陽の研究
 - 太陽を観測する装置の開発研究
- 主要な太陽の研究対象
 - 磁気周期(11年周期)活動の解明
 - 外層大気(彩層・コロナ)の加熱機構の解明
 - 太陽面爆発現象(フレア)の発生機構の解明

3



研究手法

- 観測的研究

- 地上観測データからの太陽研究

- 三鷹キャンパスでの観測(フレア望遠鏡見学で説明)
 - 国内(飛騨天文台)・海外観測所(ALMA含む)での観測

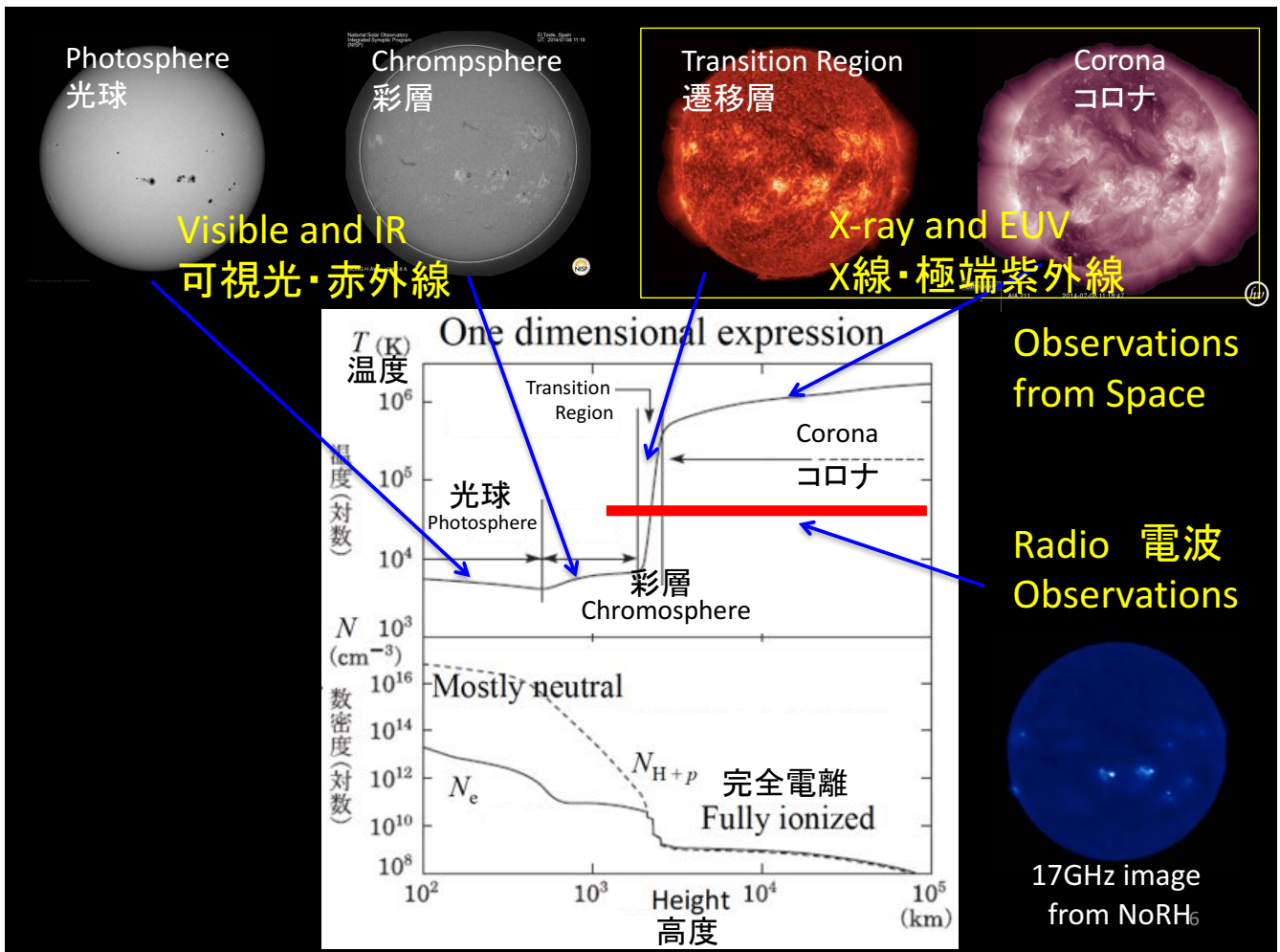
- 飛翔体観測データからの太陽・恒星研究

- ようこう・ひので・SOHO・RHESSI・STEREO・SDO・Kepler他

- 観測のための装置開発研究(この後の講義で説明)

- 理論・数値シミュレーション

- 現在の国立天文台の太陽研究者の多くは、これを主たる研究手法とはしていない



国立天文台の太陽研究者

- 太陽天体プラズマ研究部 (三鷹)
 - ひので科学プロジェクト (衛星観測)
准教授: 末松, 関井, 助教: 勝川, 久保, 石川R,
研究員: Lee
 - SOLAR-C準備室 (将来衛星計画・小規模飛翔体計画)
教授: 渡邊, 准教授: 原, 鹿野, 助教: 成影, 研究員: Song
 - 太陽観測所(地上観測) 准教授: 花岡, 研究員: Joshi
 - 研究部付 特任助教: 鳥海
- 電波研究部
 - チリ観測所(地上観測: 電波)
助教: 下条, 研究員: 岡本

このほかに、毎年数名の著名な外国人客員教授が三鷹に滞在

7

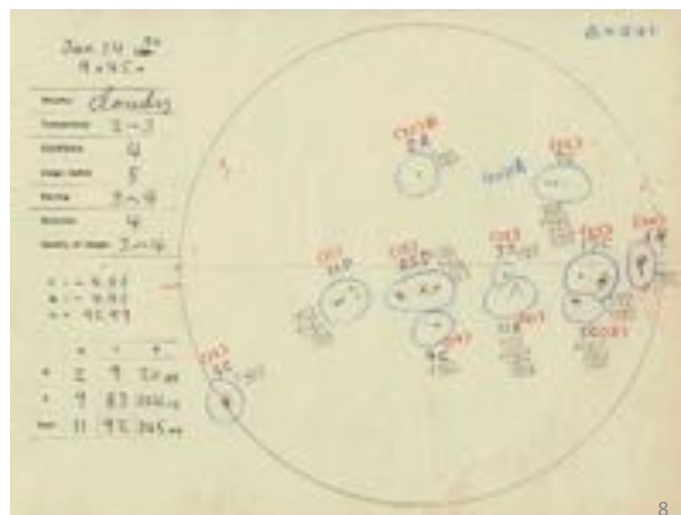
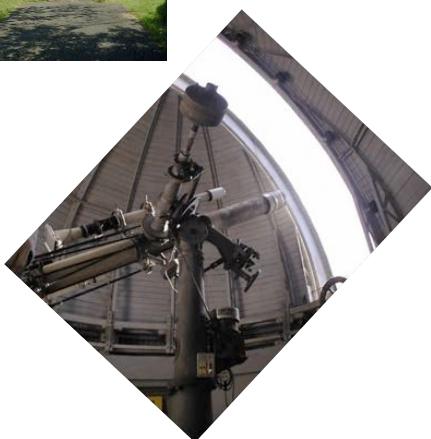


国立天文台での黒点観測

60年間

1938年～ 1998年まで: スケッチによる観測

1998年～ CCDカメラによる画像観測



8

過去の黒点数

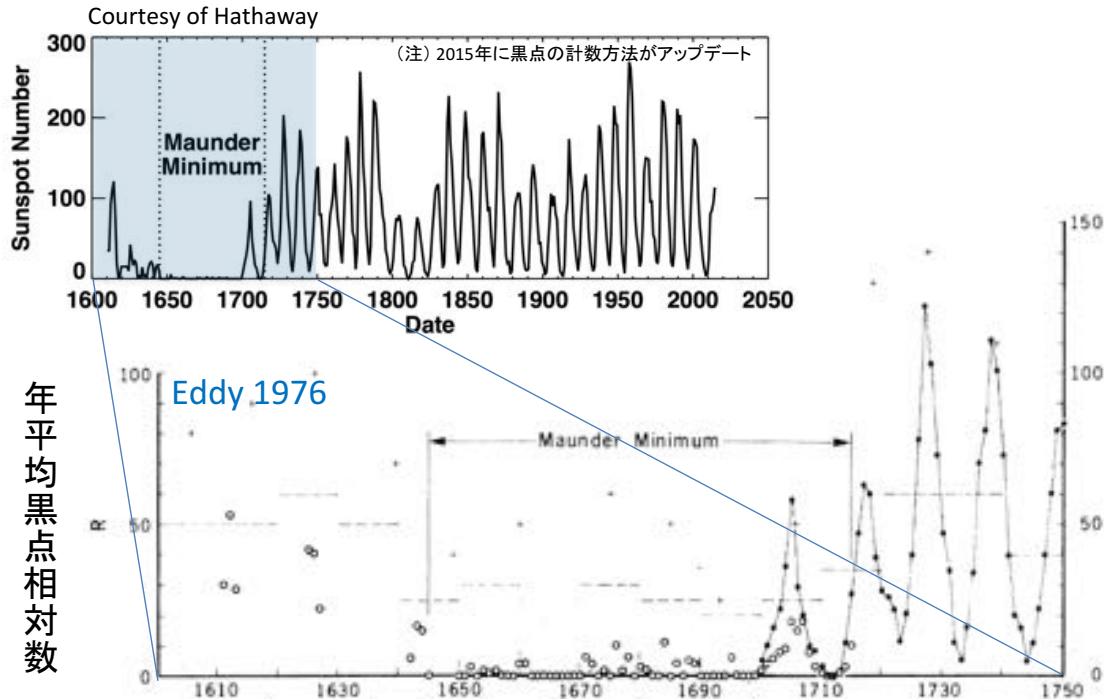


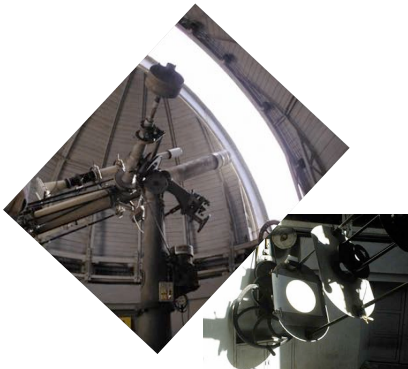
Fig. 9. Estimated annual mean sunspot numbers, from 1610 to 1750: open circles are data from Table 1; connected, closed circles are from Waldmeier (3); dashed lines (decade estimates) and crosses (peak estimates) are from Schöve (8-11); triangles are Wolf's estimated dates of maxima for an assumed 11.1-year solar cycle (3, 6).

9

国立天文台にある小型望遠鏡

三鷹での地上太陽観測

黒点スケッチ用(退役)



黒点記録用(現役)



磁場観測用(現役)



速度場観測(現役)

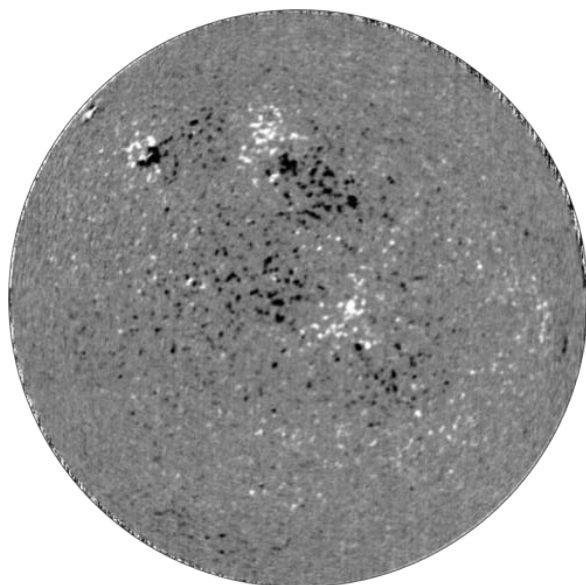


赤外線域で
磁場の観測
を実施

10

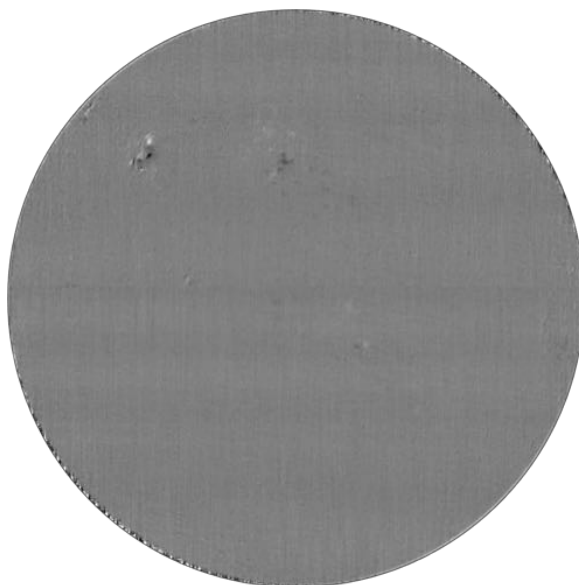
国立天文台での太陽磁場観測

光球視線方向磁場



Si 10827

彩層視線方向磁場



He 10830

データ: 国立天文台 太陽観測所

11

飛翔体を使った太陽観測

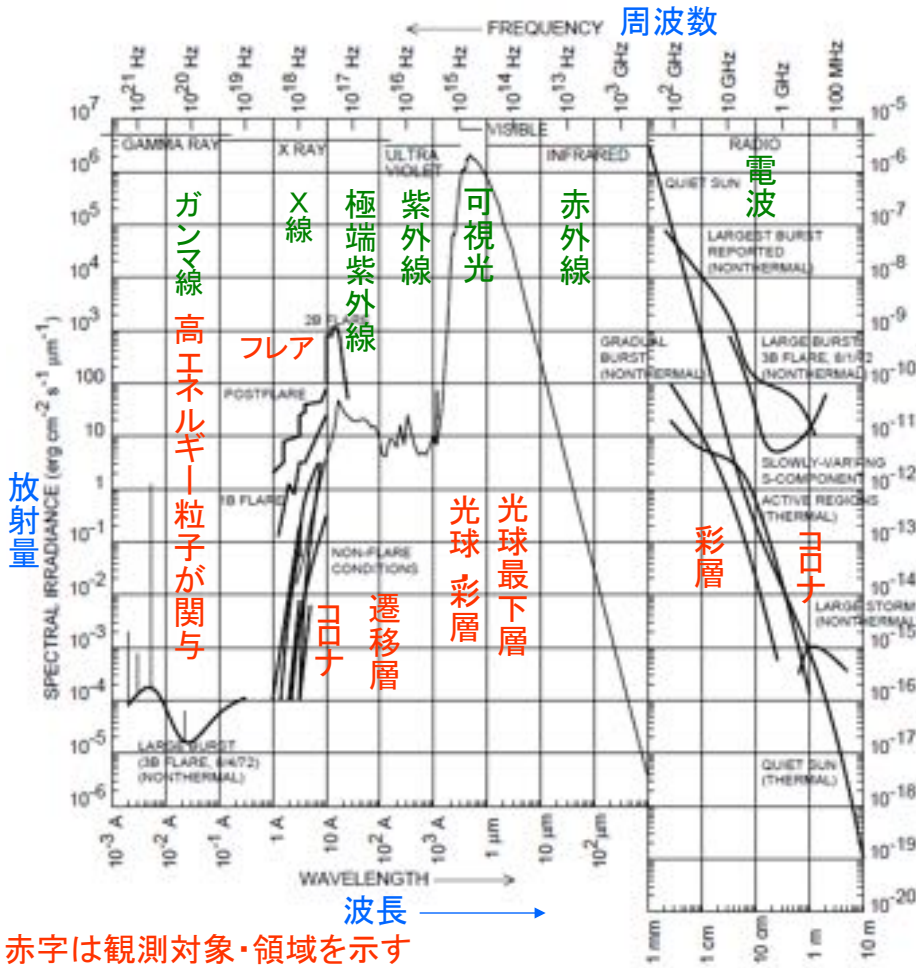
- 飛翔体
 - 飛行機、気球、観測ロケット、人工衛星(惑星間飛翔含む)
- 飛翔体を使う必要性
 - 地球電離層による電波の反射・吸収を避けるとき
 - 雲による遮蔽を避けるとき
 - 地球大気による吸収を避けるとき
 - 地球大気の動きによる像劣化を避けるとき
 - 地上ベストサイトで一年に限られた日数は好条件
 - 狭い視野範囲では補償光学で改善されつつある
 - 地球方向以外からの観測を望むとき(地球を離脱)
 - 日食を長時間追うとき(超音速機による観測; 仏1973)
 - 夜の無い観測を望むとき(衛星以外では南極で)

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

12

太陽からの放射



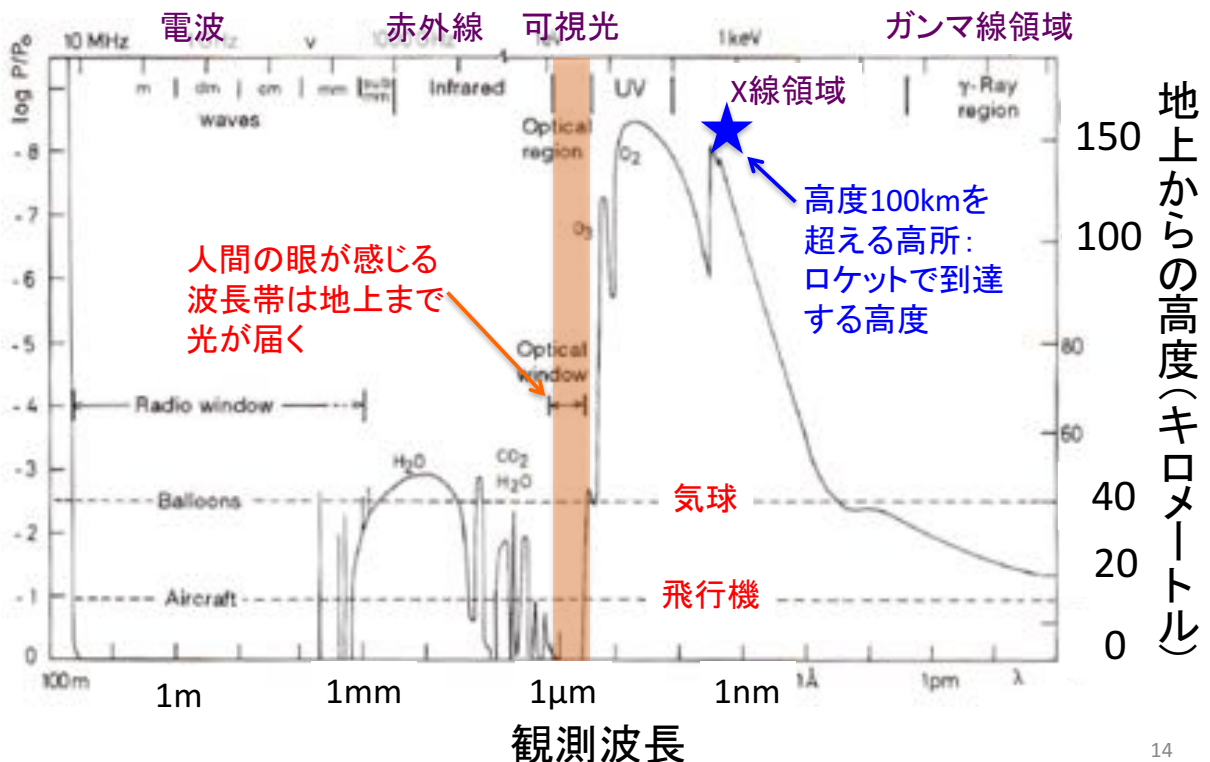
現在では全波長を使って研究が実施

太陽の上層大気を詳細に観測するには大気圏外に出る必要がある

Zombeck (1990)

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



飛翔体の観測高度

- 飛行機： 高度~10 km
- 気球： 高度40 km程度まで
- 観測ロケット： 高度 150-1,000 km
- スペースステーション： ~400 km
- 人工衛星： > 400 km

- 高山： ALMAサイト ~5km
 乗鞍コロナ観測所(2009年閉所) 2,876m
 飛騨天文台 1,280m

15

天文観測に使用される 飛翔体



ひので衛星
(高度680km)



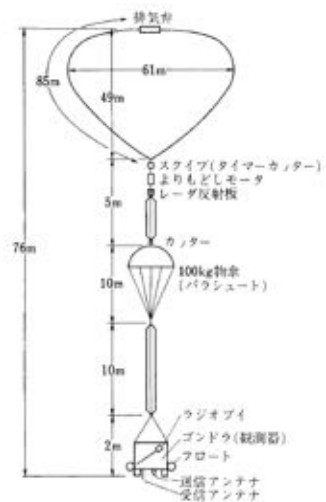
国際宇宙ステーション
(高度400km)



観測ロケット
(高度100-1,000 km)
観測時間~5分間



観測気球
(高度30-40 km)



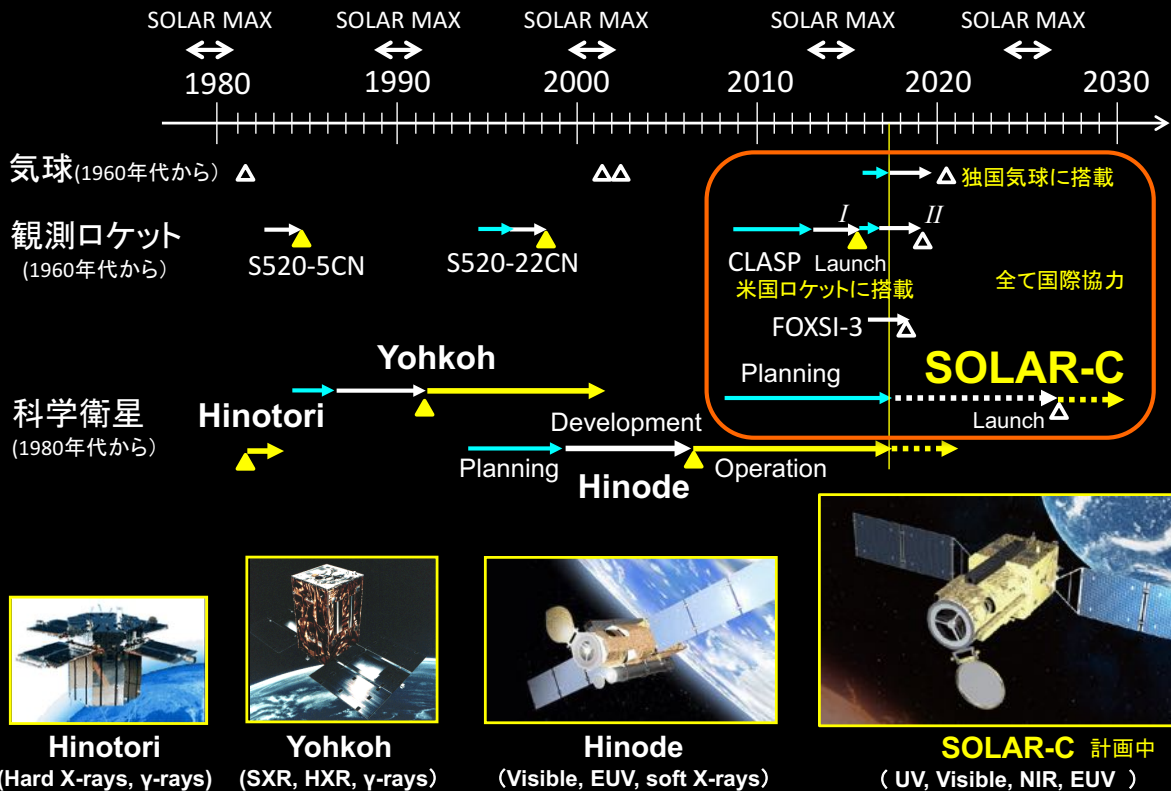
飛行機(高度10 km)



画像提供：
JAXA宇宙科学研究所
NASA

気球観測時間
数時間(日本), 1週間(北欧→カナダ), ~1ヶ月(南極)

飛翔体による日本の太陽観測実績・計画



飛翔体搭載装置開発



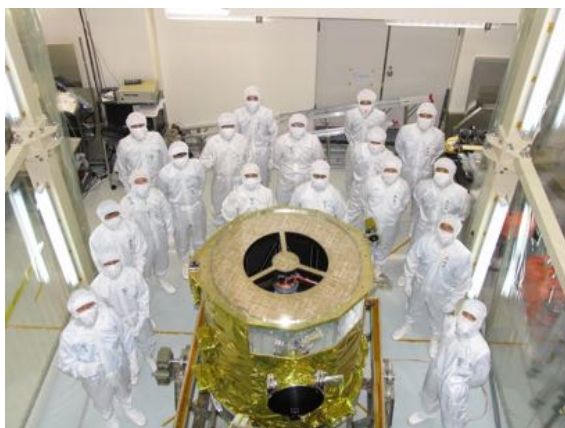
1991年 ようこう軟X線望遠鏡



2001年硬X線気球実験



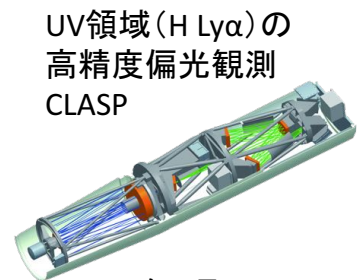
1998年 ロケット観測 EUV望遠鏡



2006年 ひので可視光望遠鏡



ひのでEUV撮像分光装置



UV領域 (H Ly α) の高精度偏光観測 CLASP

2015年9月 米国で打ち上げ

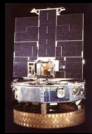
太陽観測衛星



OSO 1-8
1962-1975
EUV, soft X
HXR, gamma



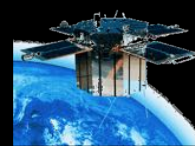
Skylab
1973-1974
SXR・EUV・H α



Solwind/P78-1
1979-1985
フレア/CME観測



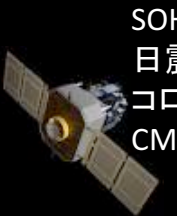
SMM
1980-1989
フレア観測



Hinotori
1981-1983
硬X線イメージング
SXR・HXR分光



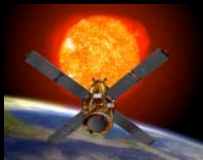
Yohkoh
1991-2001
SXR+HXR撮像・分光



SOHO 1995-
日震学
コロナ撮像・分光
CME



TRACE 1999-2010
EUV高分解能
イメージング



RHessi 2002-
硬X線分光
イメージング

Hinode 2006-
高解像度光球磁場観測
コロナ撮像・分光観測



STEREO 2006-
2衛星(人工惑星)
によるステレオ観測



SDO 2010-
全面磁場・コロナ観測
全面広波長帯域分光



IRIS 2013-
高解像度彩層分光

太陽観測衛星

運用中



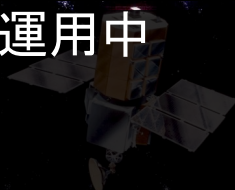
OSO 1-8
1962-1975
EUV, soft X
HXR, gamma



Skylab
1973-1974
SXR・EUV・H α



Solwind/P78-1
1979-1985
フレア/CME観測



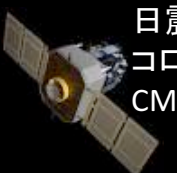
SMM
1980-1989
フレア観測



Hinotori
1981-1983
硬X線イメージング
SXR・HXR分光



Yohkoh
1991-2001
SXR+HXR撮像・分光



SOHO 1995-
日震学
コロナ撮像・分光
CME

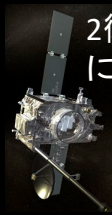


TRACE 1999-2010
EUV高分解能
イメージング



RHessi 2002-
硬X線分光
イメージング

Hinode 2006-
高解像度光球磁場観測
コロナ撮像・分光観測



STEREO 2006-
2衛星(人工惑星)
によるステレオ観測

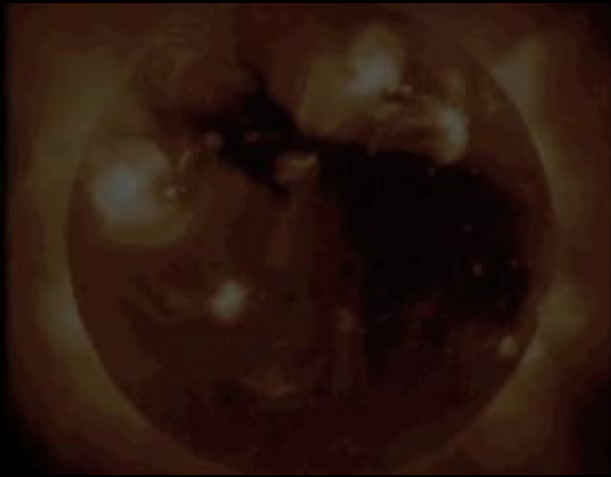


SDO 2010-
全面磁場・コロナ観測
全面広波長帯域分光

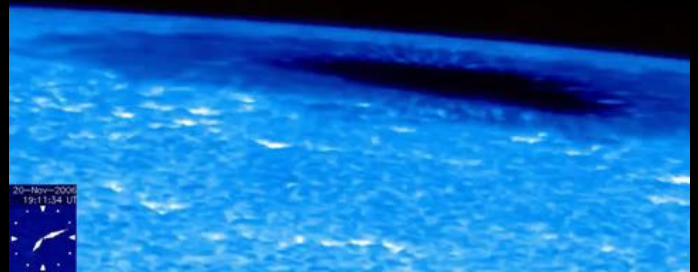


IRIS 2013-
高解像度彩層分光

ダイナミックな太陽活動を探る



ようこうX線観測



ひので可視光観測

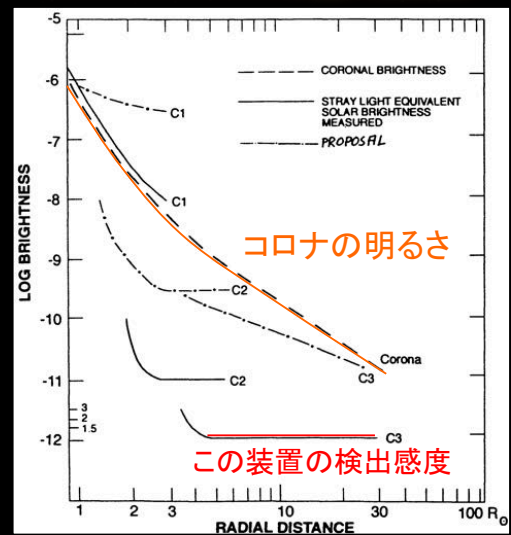
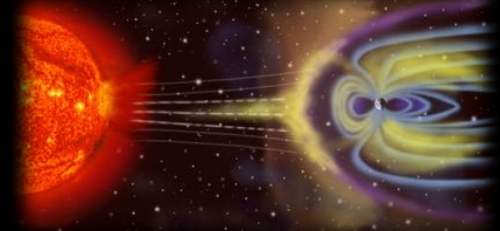
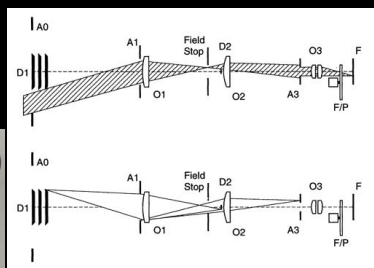


21

太陽から放出されるもの



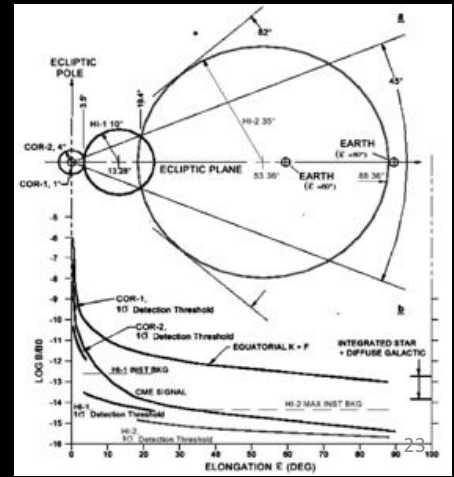
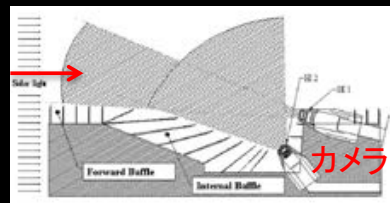
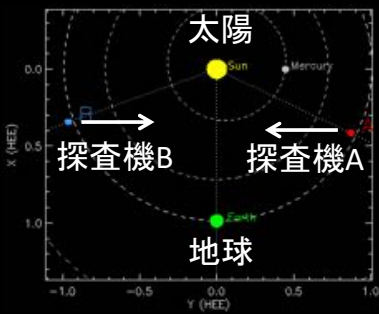
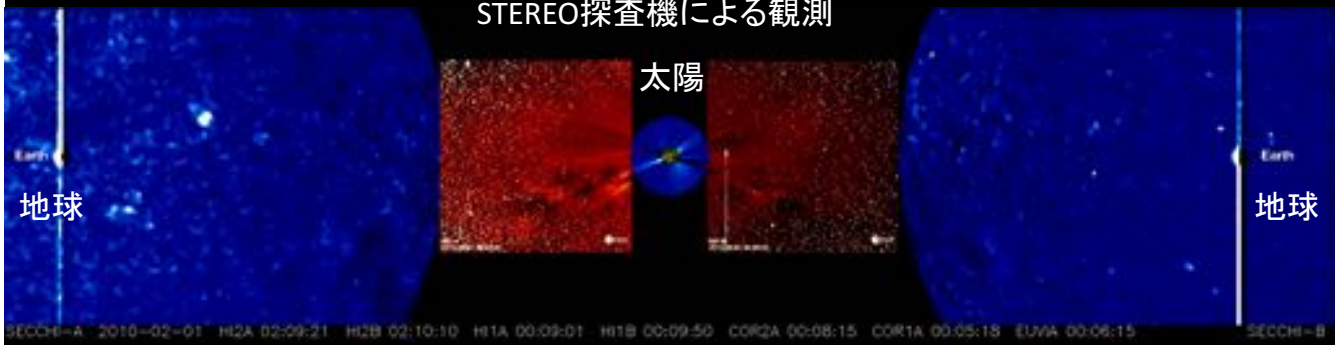
SOHO衛星 LASCO C3



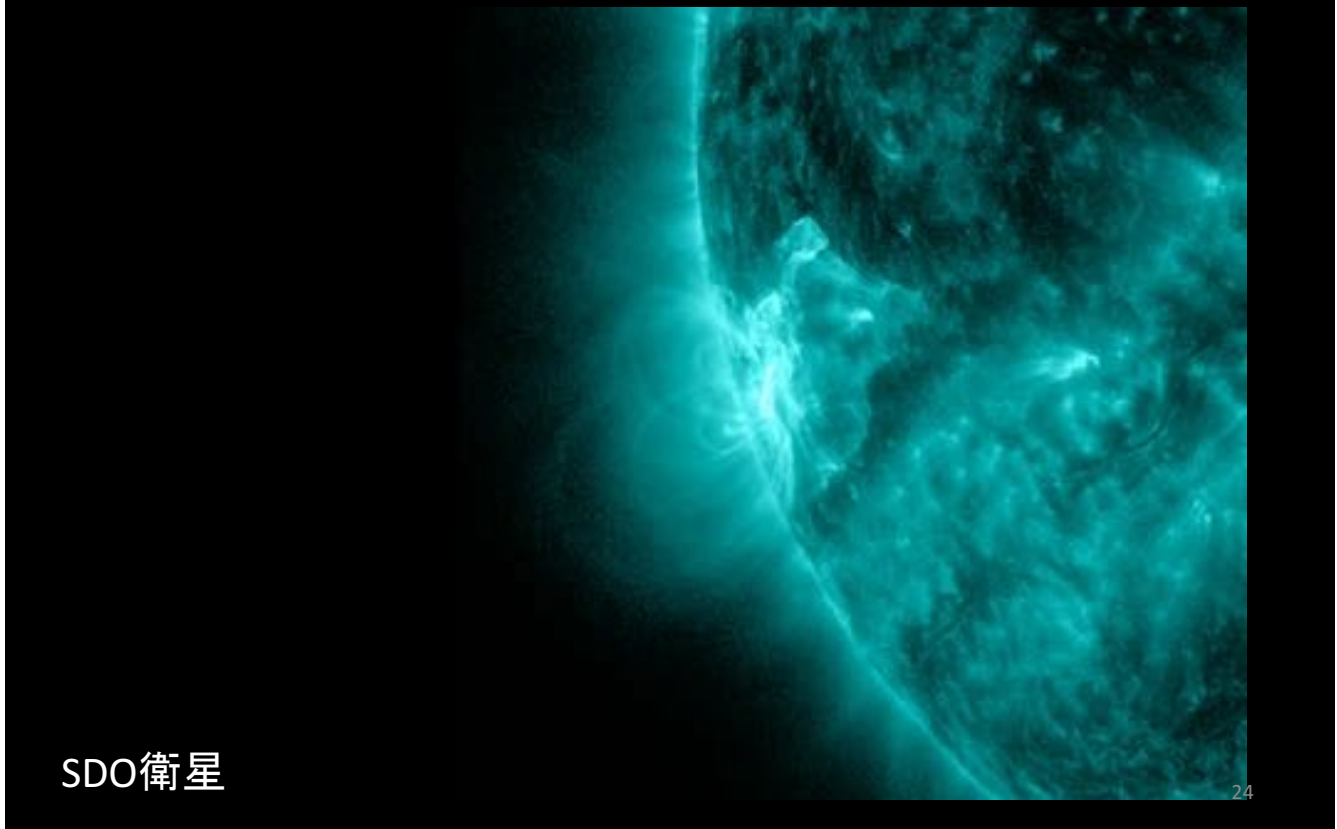
22

太陽から放出されるもの

STEREO探査機による観測



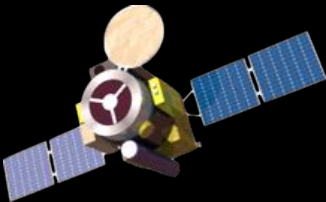
コロナ中のフレア(太陽面爆発)の構造



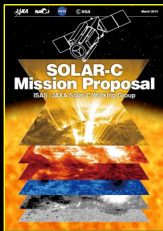
SDO衛星

次期太陽観測衛星計画 SOLAR-C

25



SOLAR-C計画



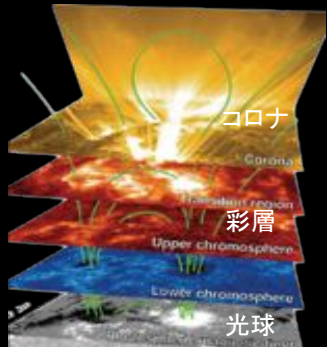
科学目的「太陽圏を支配する太陽磁気活動の起源と宇宙に普遍的に現れるプラズマ素過程の解明」

科学課題


- I. 彩層・コロナ・太陽風の形成機構の解明
- II. 太陽面爆発現象の発現機構の究明と発生予測
- III. 太陽周期活動の起源の解明(オプション)

「ひので」からの大幅な発展

- 彩層磁場計測追加 → 磁場の3次元構造の決定
- 空間分解能、2-10倍 → 光球-コロナを構成する要素構造の同定
- 時間分解能、感度約10倍 → 素過程ダイナミクスを把握
- 観測波長拡張 → 全階層へアクセス、エネルギー流の計測



コロナ
Corona
Transition region
彩層
Upper chromosphere
Lower chromosphere
光球
Photosphere



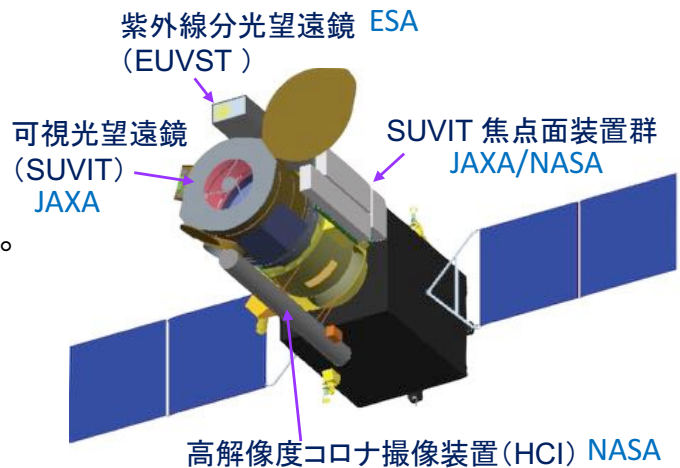
地球

26

SOLAR-C衛星の概要

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2倍(1m)
- EUVST**
(極端)紫外線分光望遠鏡
 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
- HCI**
高解像度コロナ撮像装置
 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



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

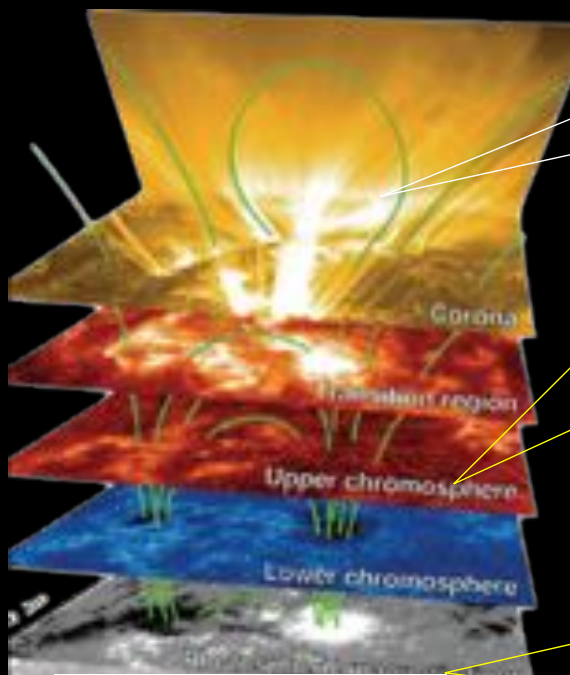
27

太陽大気の構造とエネルギー輸送

Observations of All from photosphere to corona seamlessly

なぜ上空により高温の領域があるのか？

現状: *Hinode*の成果



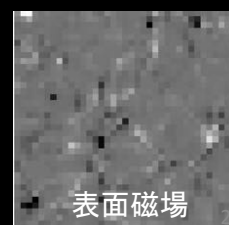
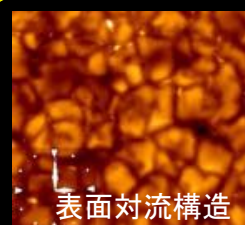
光球面運動は十分なエネルギー源となり得ることを確認

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(本当か?)

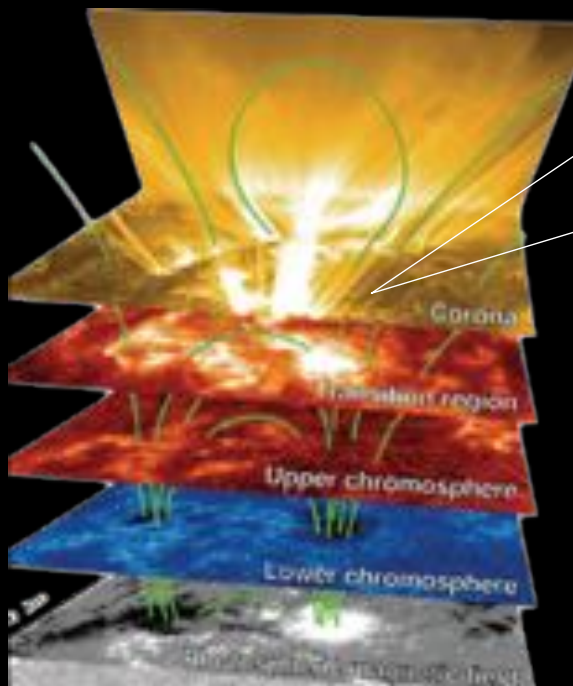


8

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



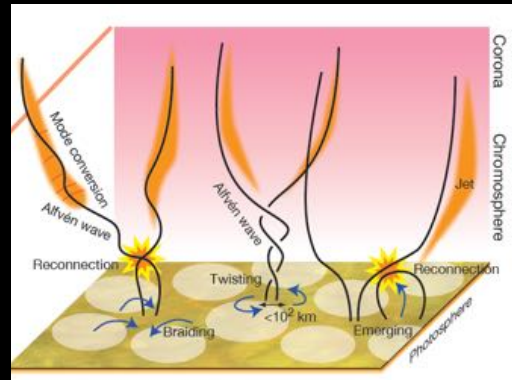
コロナ



Hinode



HiC
Cirtain et al. 2012



29

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

Hinode

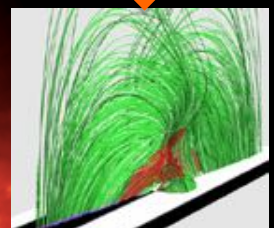
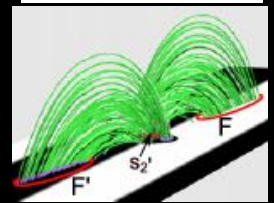
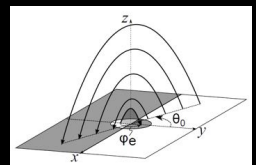


小双極子の浮上
(トリガー構造の候補)

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(物理過程を反映した)モデルの構築へ



地球

30

連携した将来の太陽観測

Solar Orbiter



Credit: ESA/AOES



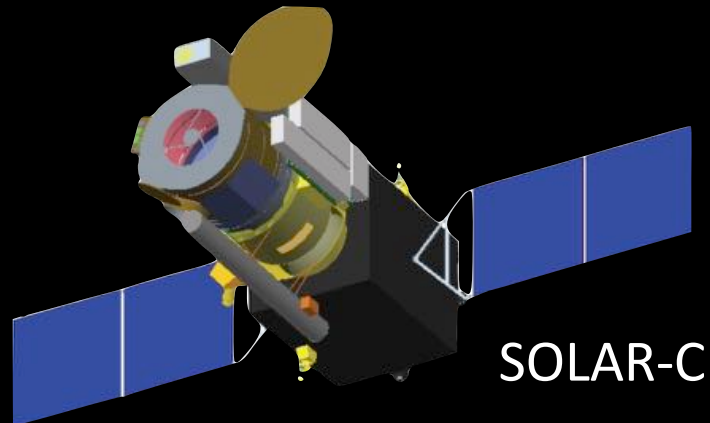
Solar Probe Plus

A NASA Mission to Touch the Sun
Credit: NASA/JHU APL

(Daniel K. Inouye Solar Telescope)
DKIST



Solar Dynamic Observatory
or a mission of full-disk observations



SOLAR-C

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SOLAR-A打ち上げ一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て、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て、装置の開発や研究を進めています。
- 現在、国立天文台の太陽研究グループは、他機関・他大学と協力して、FOXSI-3・CLASP-2観測ロケット計画、Sunrise-3気球観測計画、そしてSolar-C衛星計画の準備を進めています。
- 皆さんの中から、私たちと一緒に新規の太陽観測装置を開発して研究をする方が出てくることを期待しています。

32