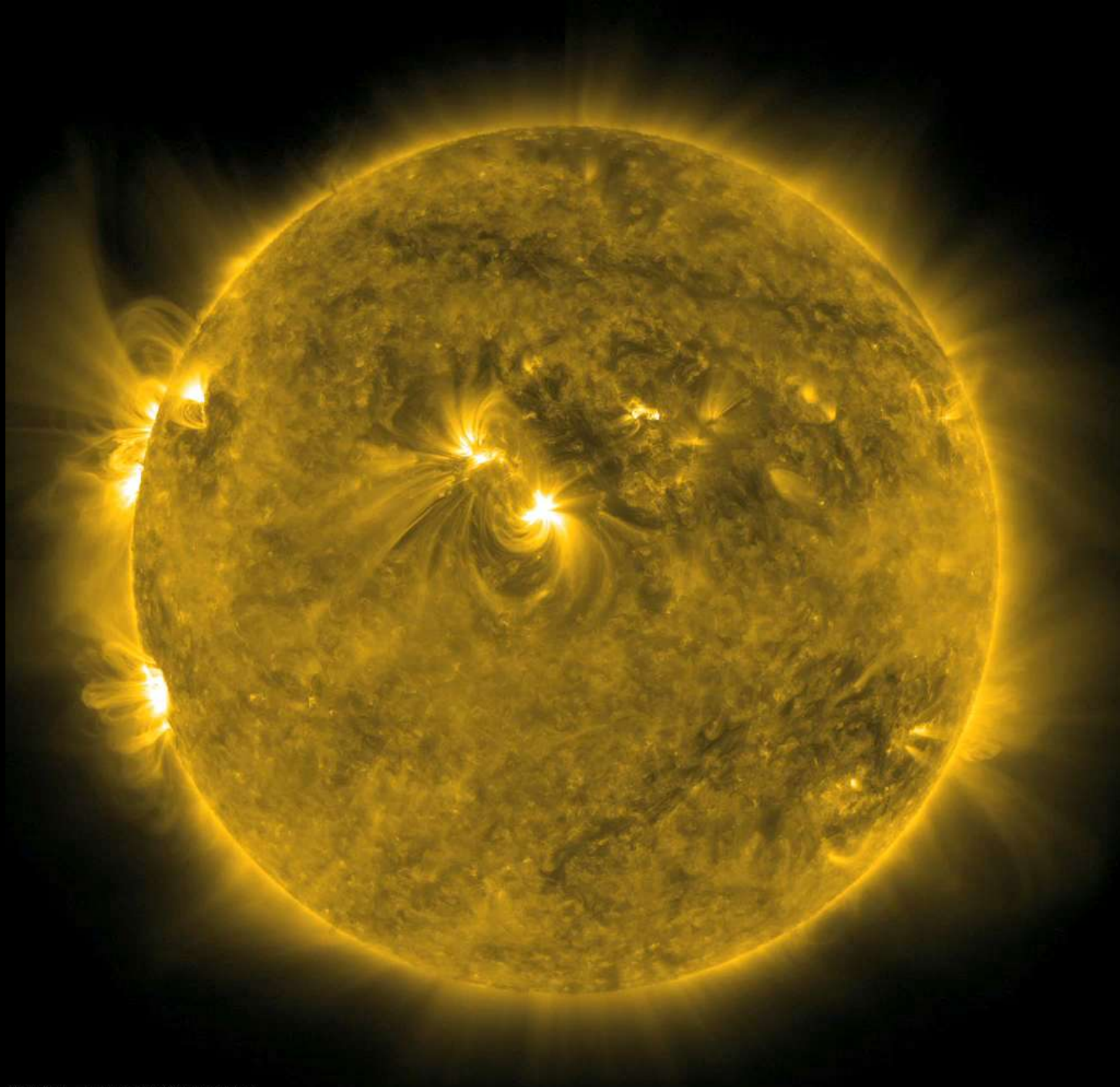


太陽物理学入門

横山 央明

東京大学 理学系研究科 地球惑星科学専攻

謝辞: 共同研究者のみなさま、国立天文台、JAXA、NASA、ESA、
京都大学飛騨天文台、「ようこう」「ひので」チームのみなさま、、、



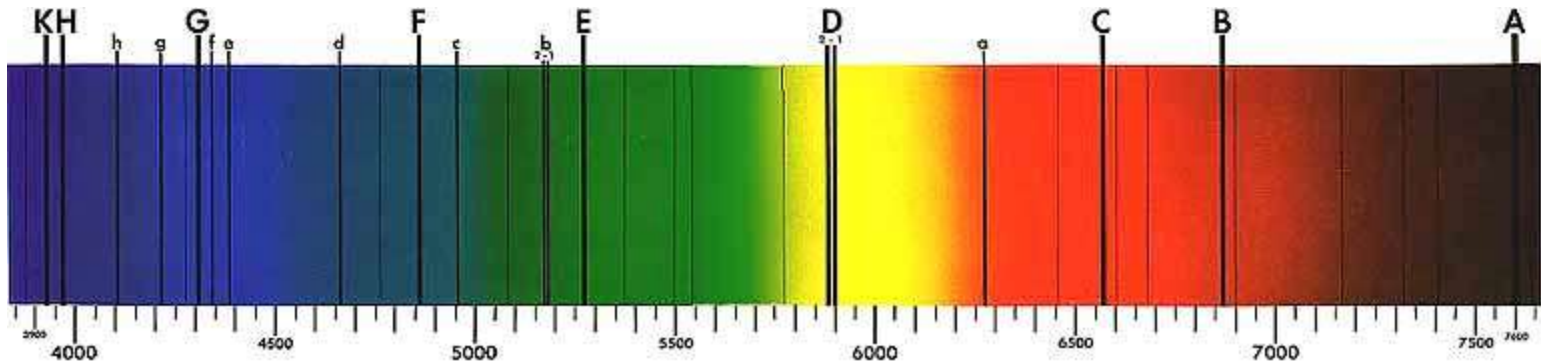
質問

太陽は何でできているでしょう？



太陽は何でできている？

Fraunhofer線

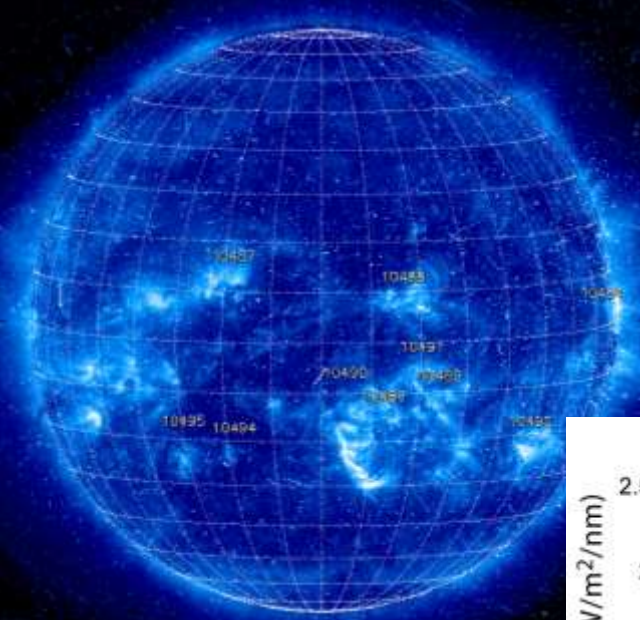


A線	O ₂	759.370 nm
B線	O ₂	686.719
C線		H α 656.281
D ₁ 線	Na	589.594
D ₂ 線	Na	588.997
D ₃ 線	He	587.565
E ₂ 線	Fe	527.039
F線	H β	486.134
G線	Fe	430.790
H線	Ca+	396.847
K線	Ca+	393.368

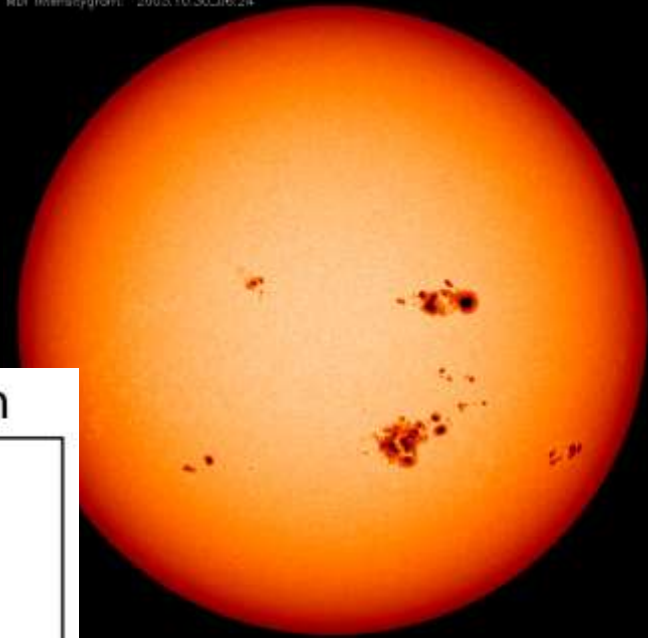
答え：質量で、水素が約70%、ヘリウムが30%、他の元素はごくわずか

宇宙を構成する元素比とほぼ同じ(ただし、暗黒物質除く)

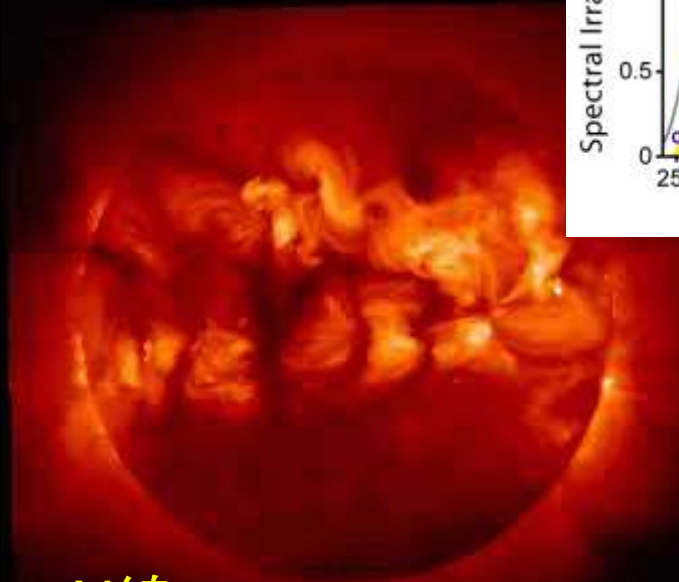
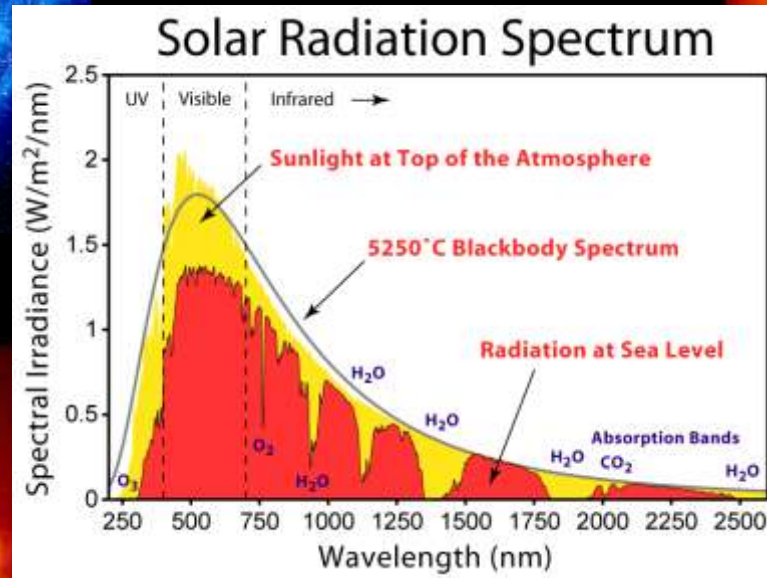
地球は、酸素30%、鉄30%、ケイ素15%、マグネシウム15%...



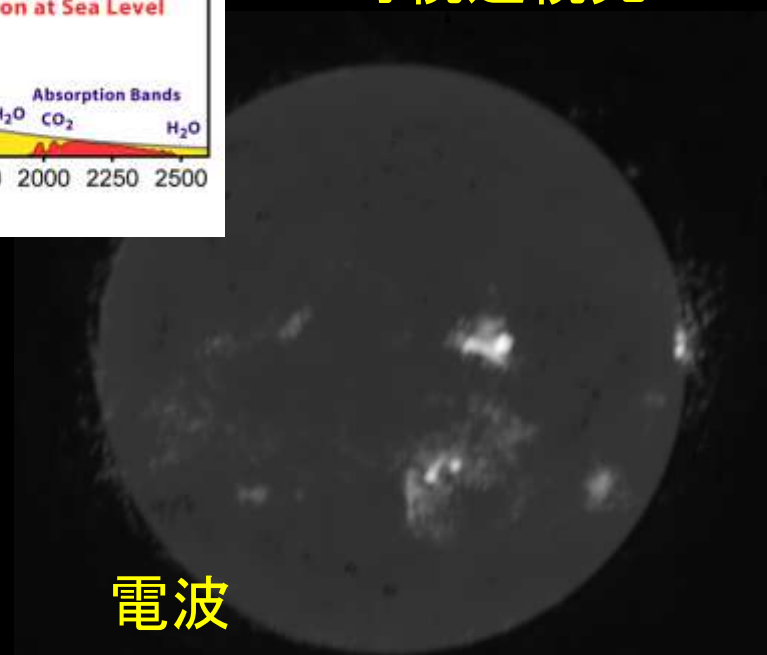
極端紫外線



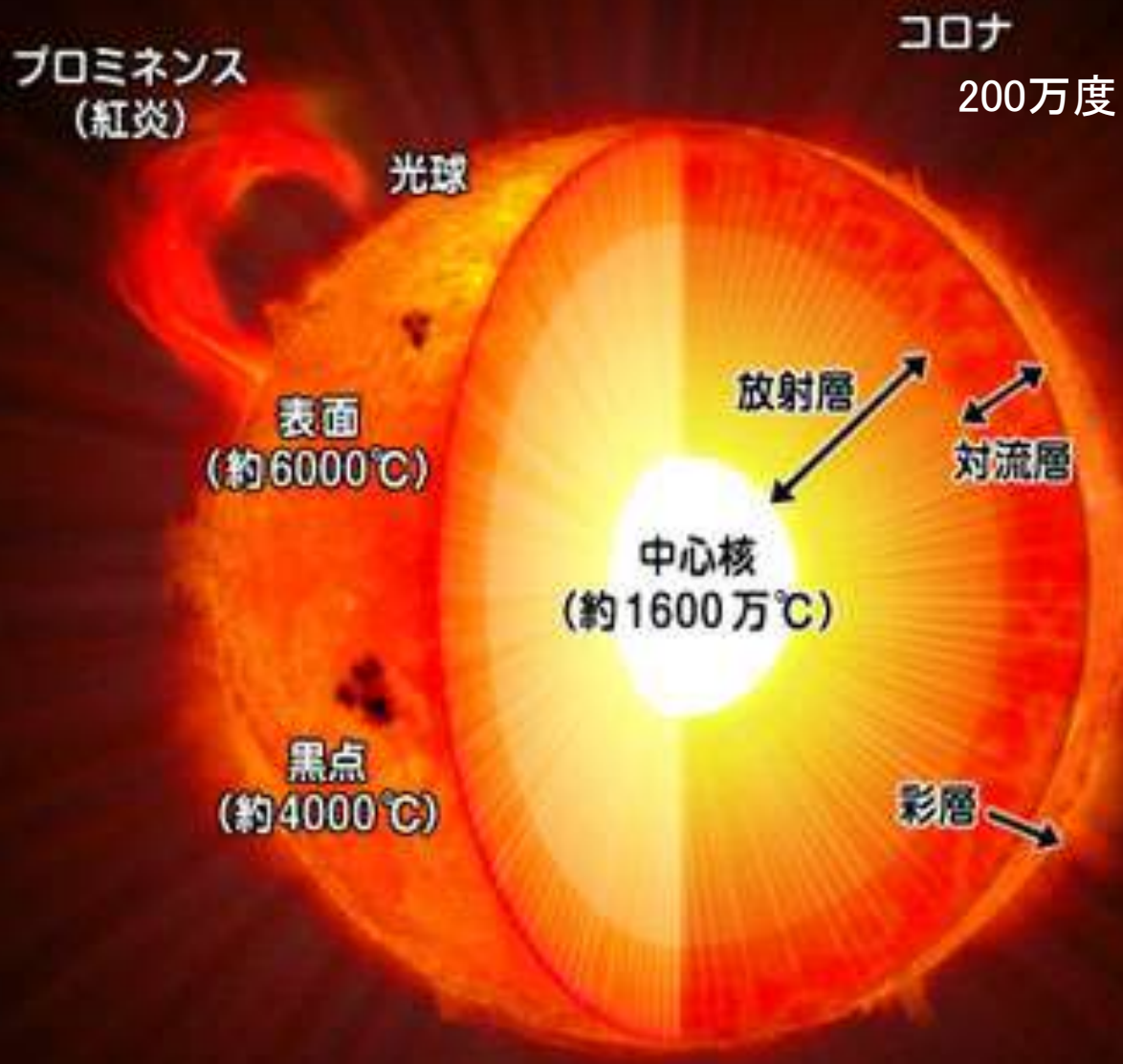
可視連續光



X線



電波



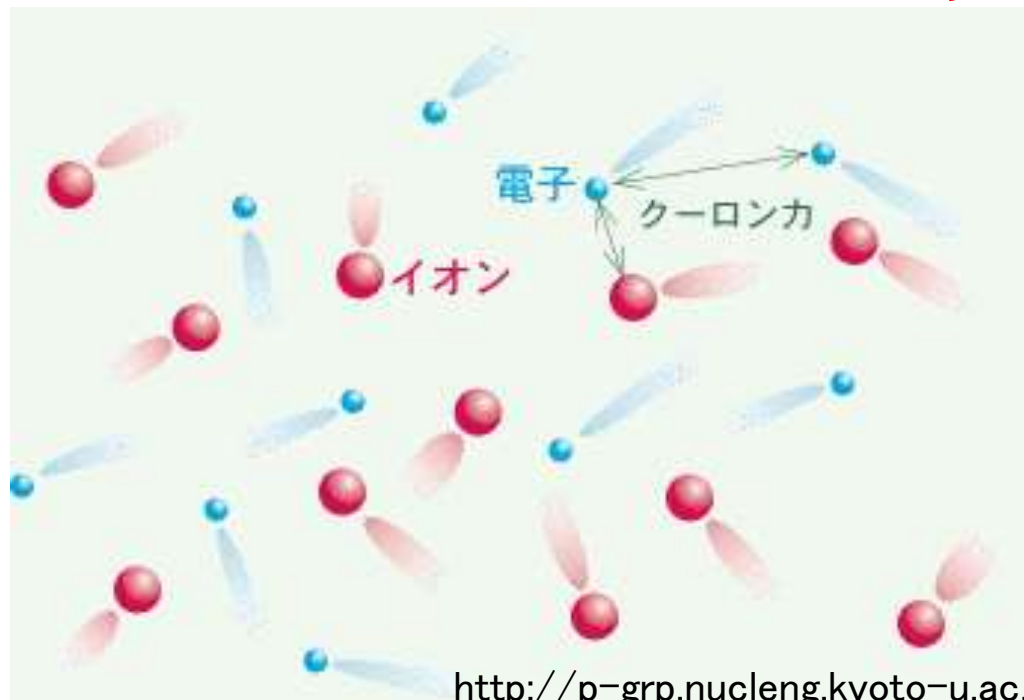
物質の状態

固体：原子が規則正しく並んでいて、形が定まっている

液体：原子同士の結びつきがやや弱く、形が定まらない

気体：原子同士の結びつきが弱く、ほぼ自由に飛び回っている

プラズマ：原子内の電子がはぎとられて、電荷をもったイオンと電子とが自由に飛び回っている状態 ⇒ 太陽



太陽

ほぼ水素から成る、高温プラズマの塊
電子が自由に動くので、通電性が非常に高い

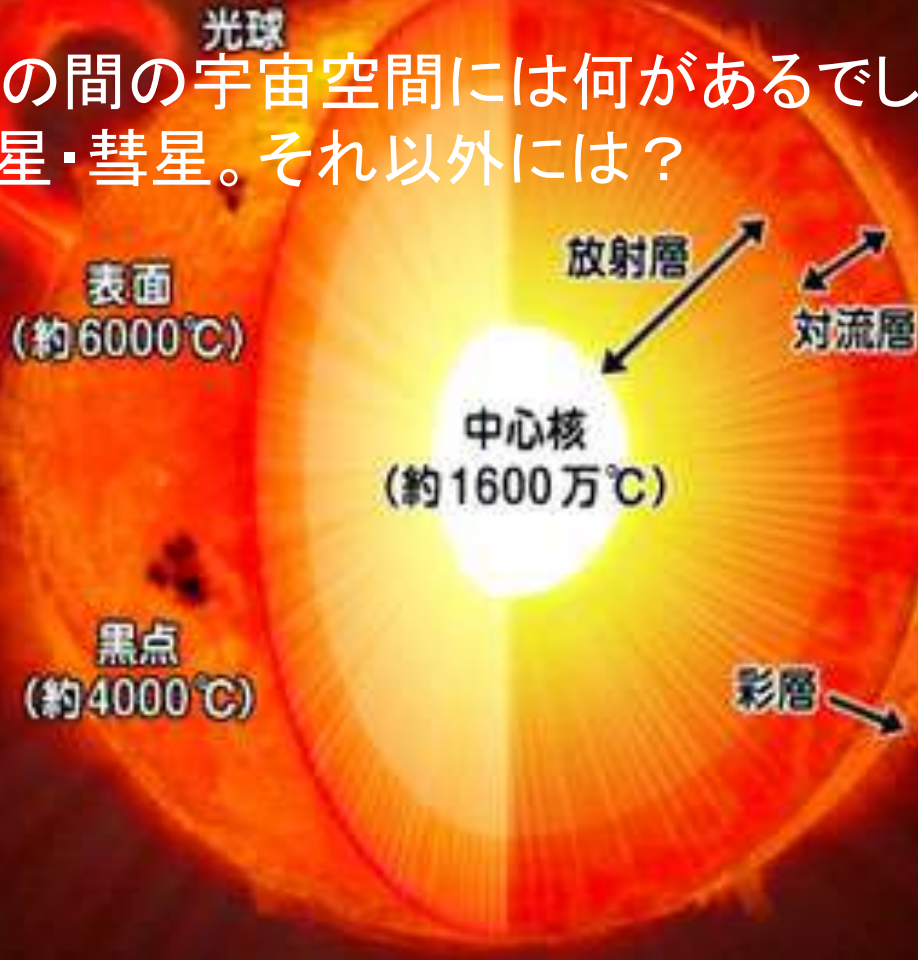
特に太陽の外側の部分(「太陽大気」)は、
電磁気エネルギーが支配するプラズマの世界



プロミネンス
(紅炎)
質問

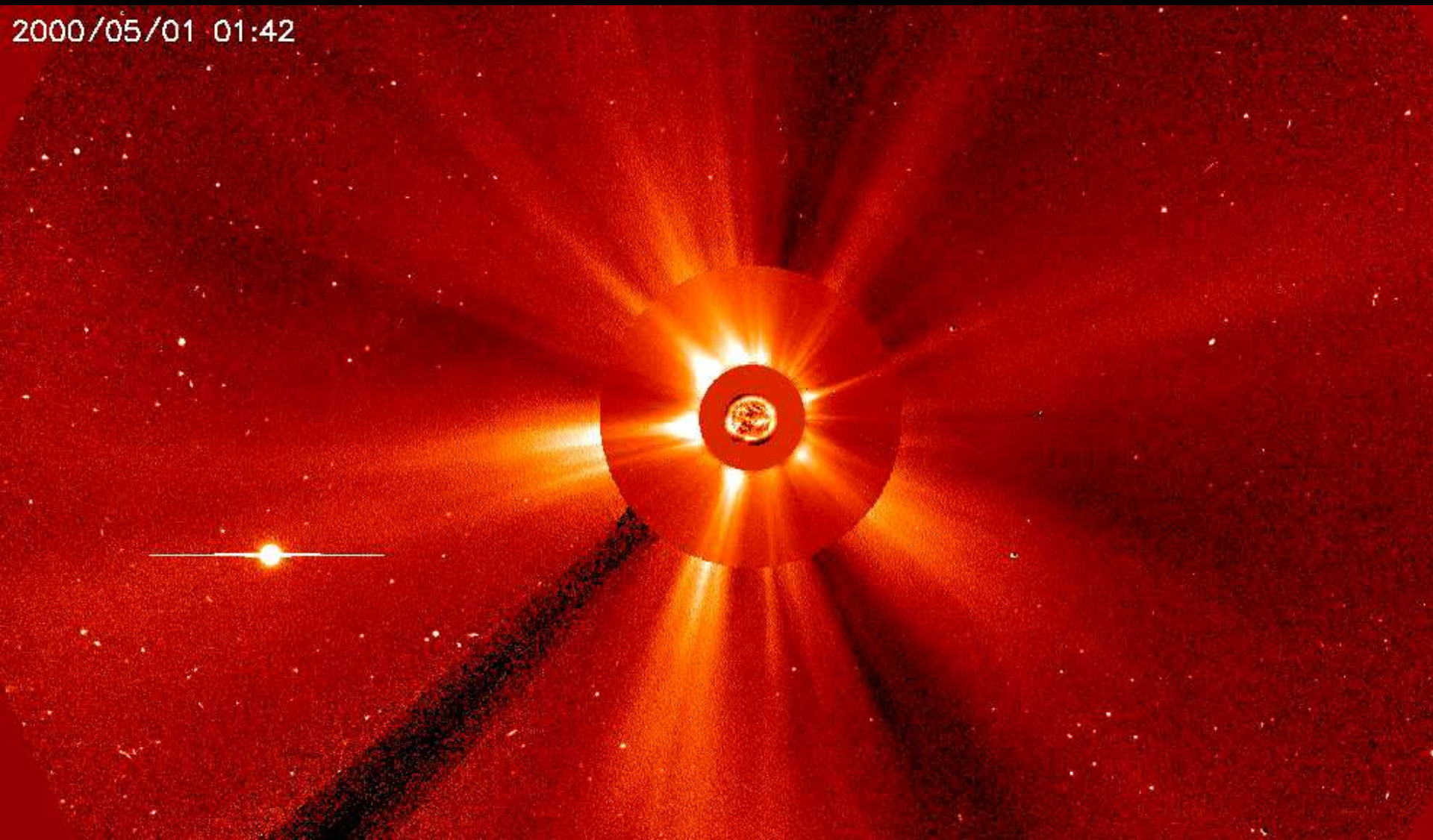
コロナ

太陽と地球の間の宇宙空間には何があるでしょう？
水星・金星・彗星。それ以外には？

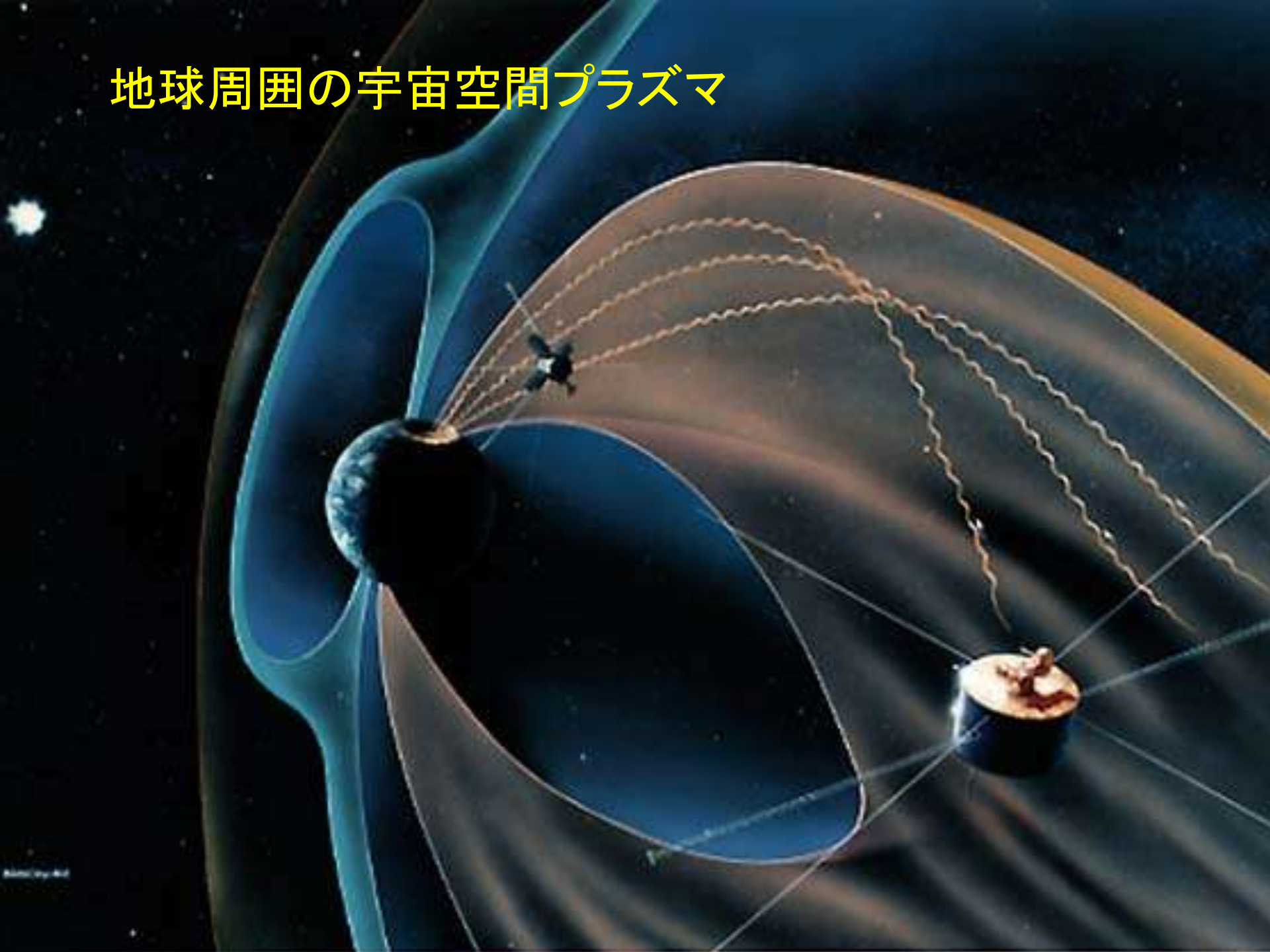


宇宙空間と太陽風

2000/05/01 01:42



地球周囲の宇宙空間プラズマ



オーロラ

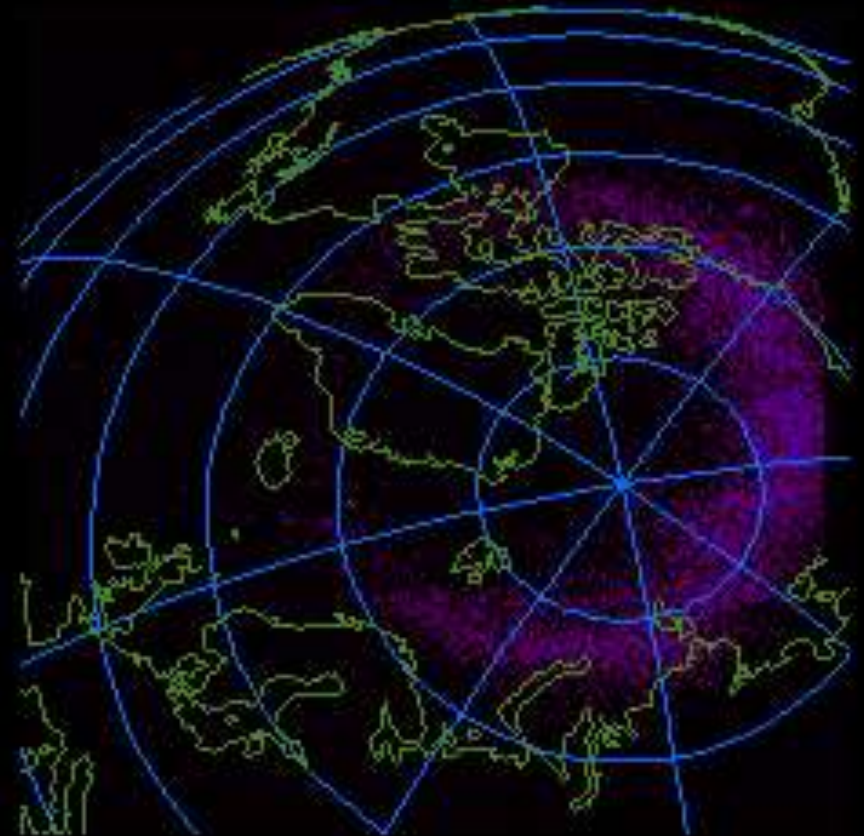


(ウェブサイト「オーロラの旅」より)

970110

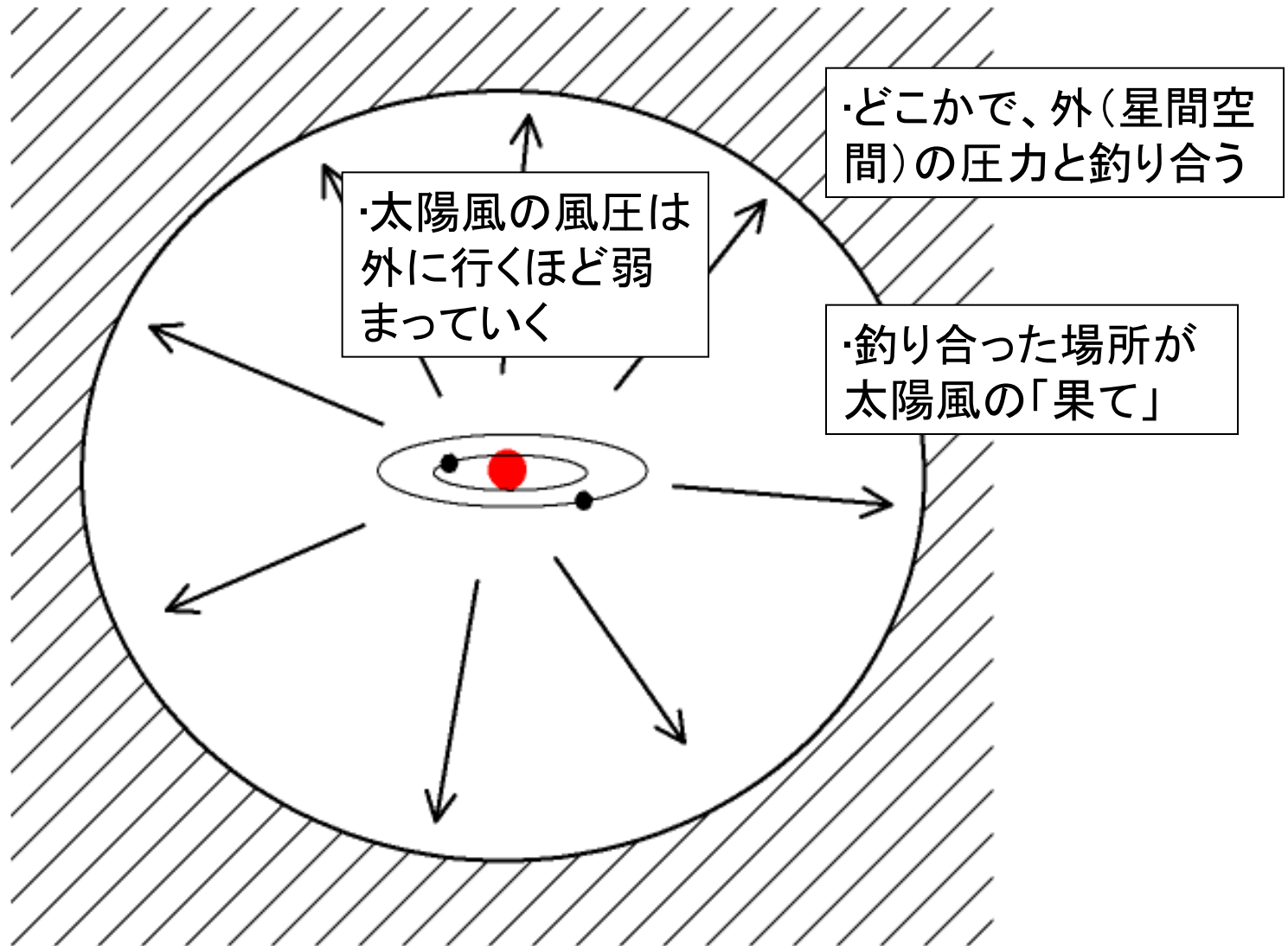
LBHL

0101 UT



(Polar/UVIにより撮像 NASA ウェブより)

太陽風はどこまで続いているのか？

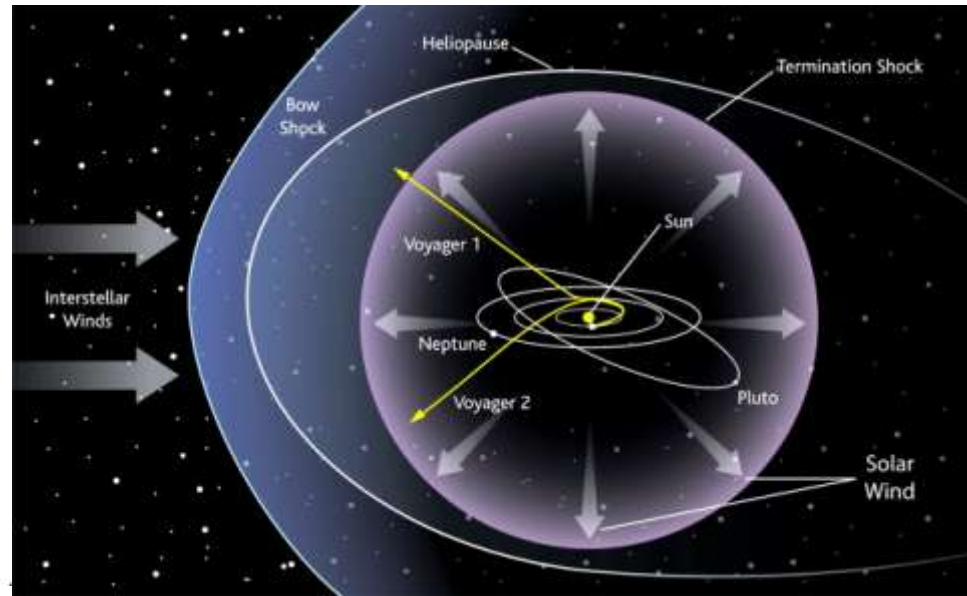
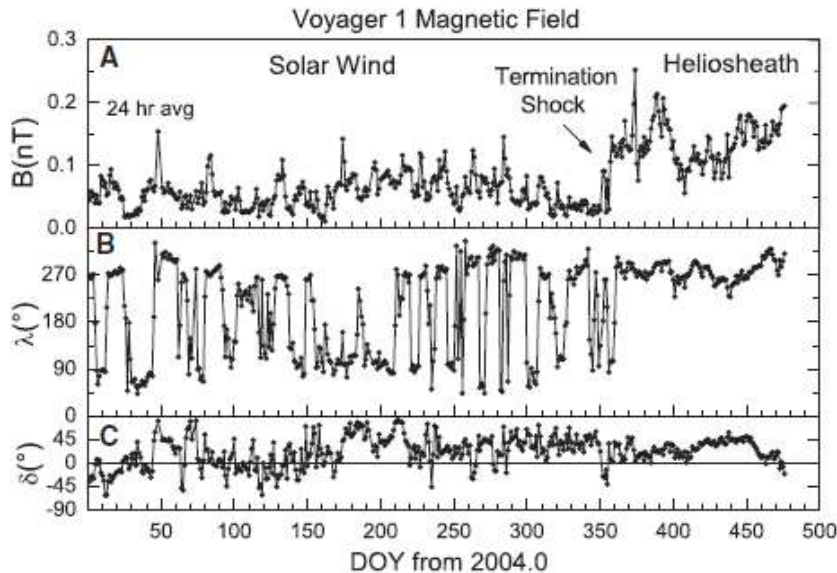


探査機Voyager 1号、太陽風の果てへ到達

REPORT

Crossing the Termination Shock into the Heliosheath: Magnetic Fields

L. F. Burlaga,^{1*} N. F. Ness,² M. H. Acuña,¹ R. P. Lepping,¹ J. E. P. Connerney,¹ E. C. Stone,³ F. B. McDonald⁴

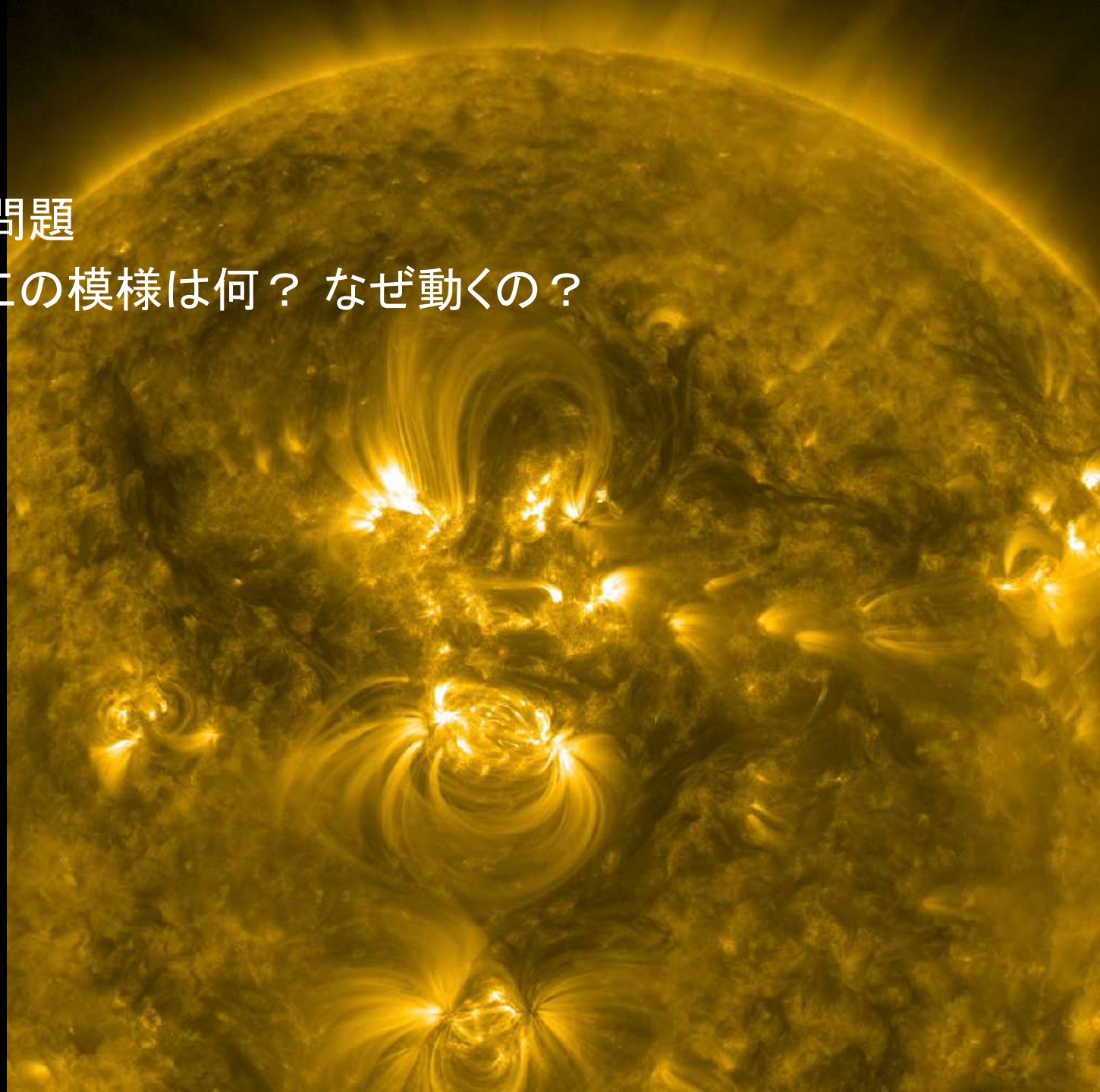


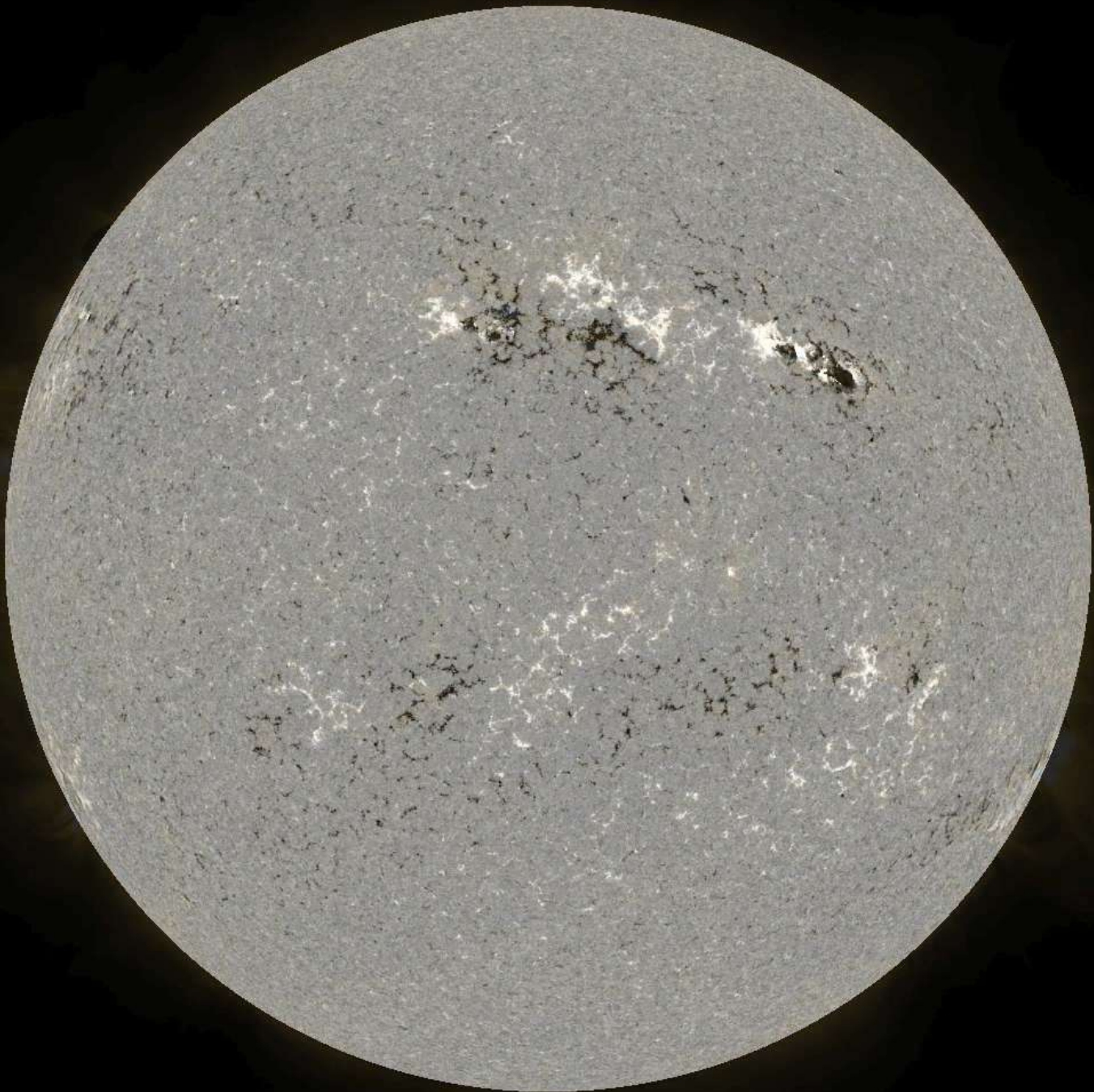
94天文単位

(Science 2005年9月23日号)

問題

この模様は何？ なぜ動くの？

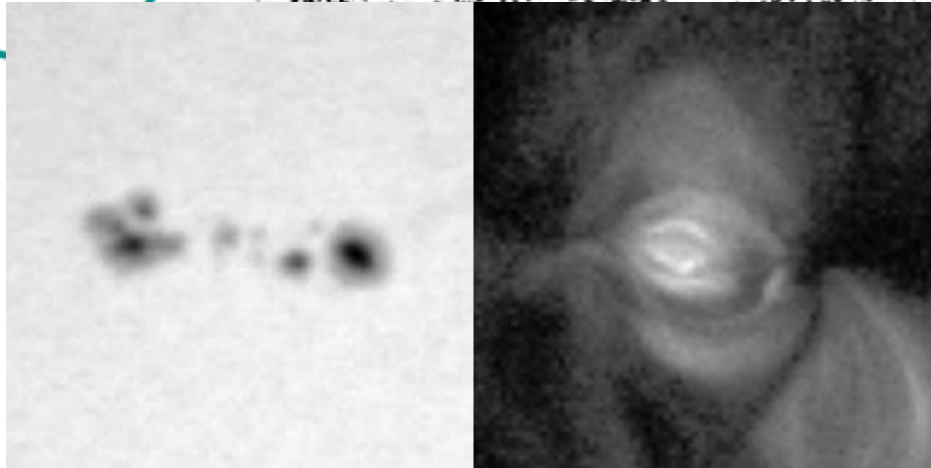
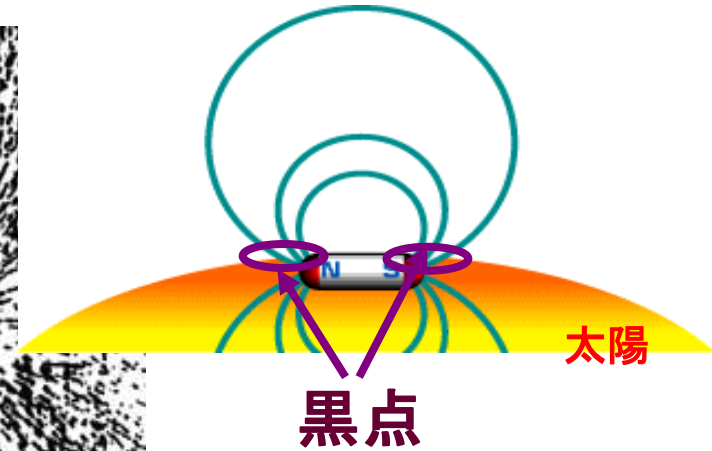
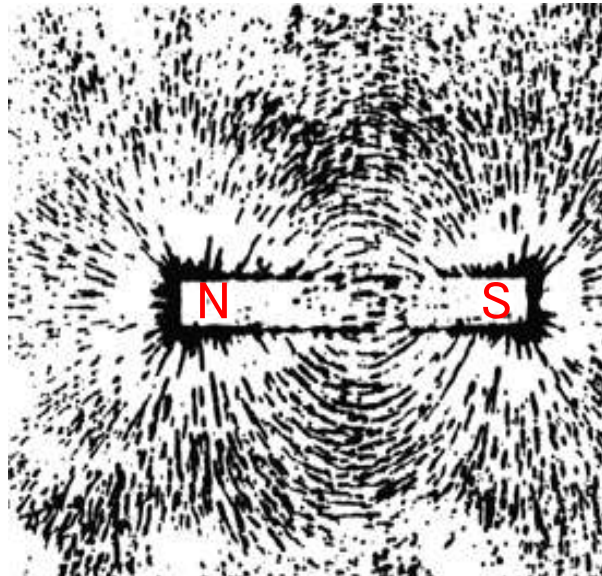
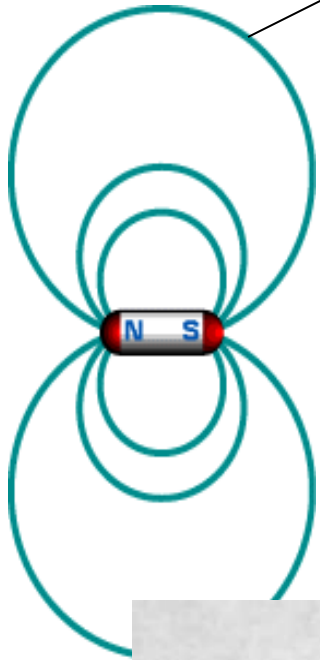




太陽の磁場

(ウェブページ YPOPより)

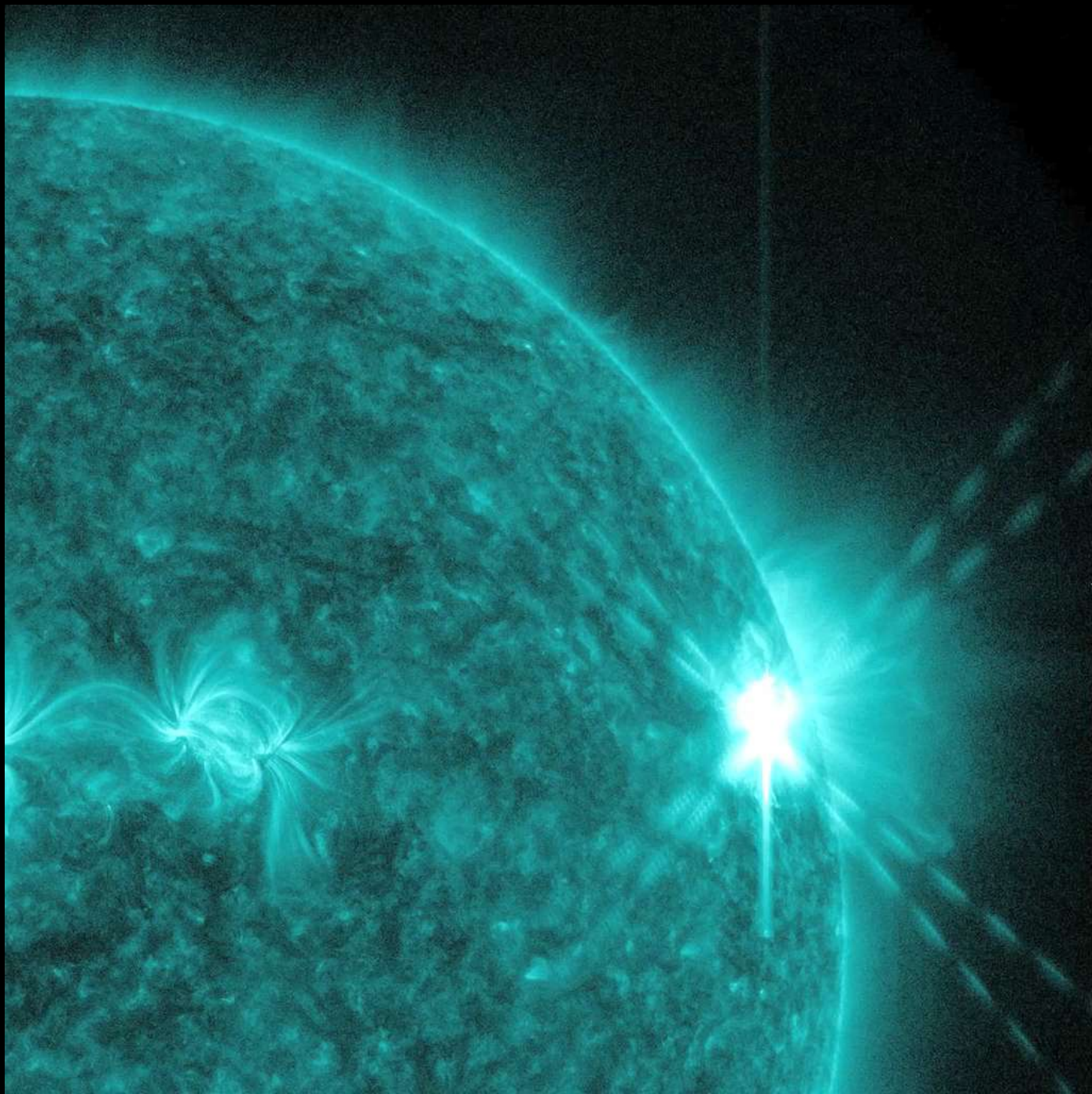
磁力線



磁場の強さ
黒点で数キロガウス

JAXA提供





太陽フレア

太陽大気でおこる爆発現象

あらゆる波長(電波から γ 線まで)の電磁波が、数分から数時間にわたって増光

エネルギー 10^{29} – 10^{32} erg

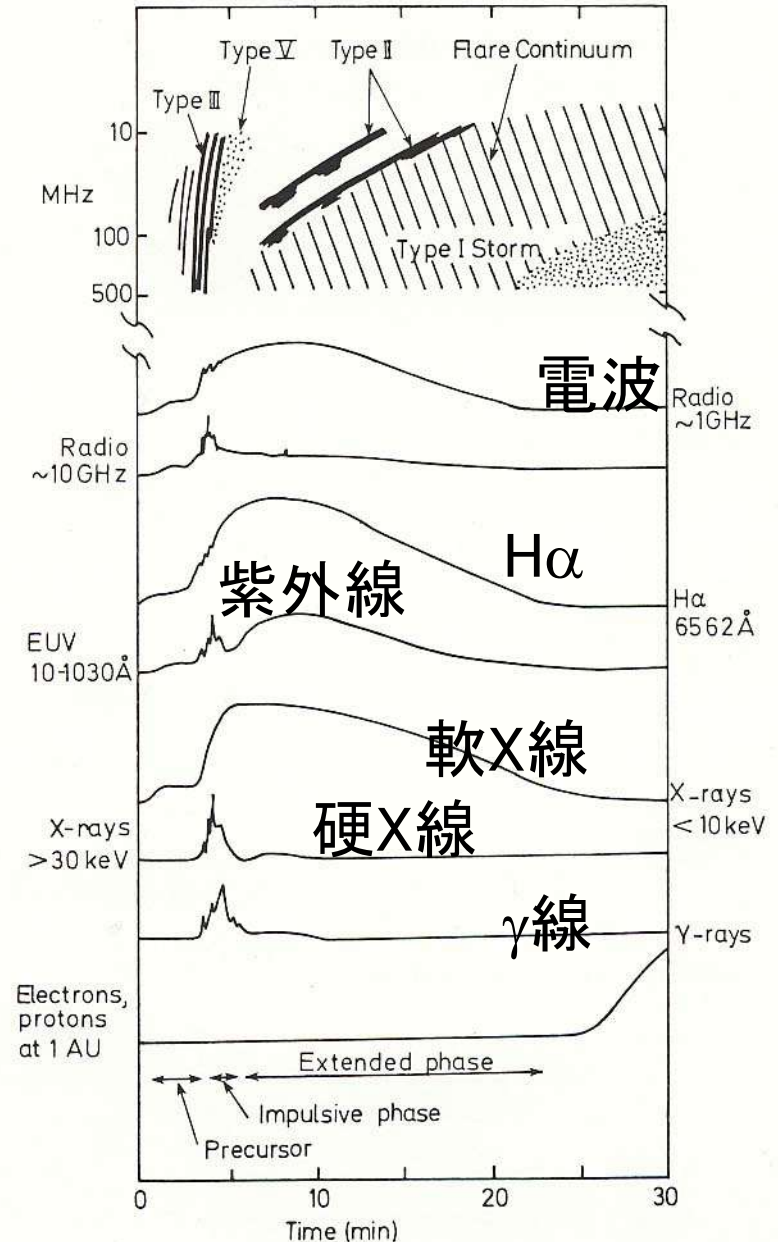
マグニチュード8の地震のエネルギーの10万倍から1億倍

(現在の)太陽系で最大規模の爆発現象

10年間で3000個程度

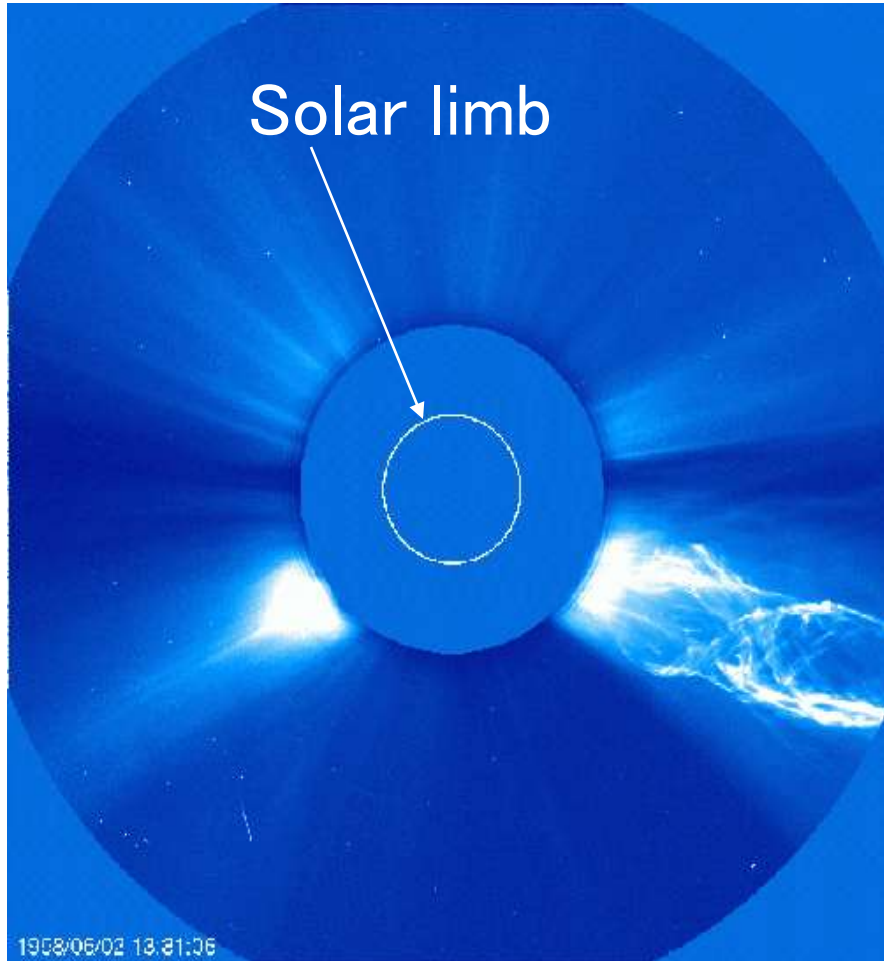
超高温プラズマ 数千万度から数億度(もとのコロナの数十から数百倍)

相対論的な(光に近い速度の)高エネルギー粒子

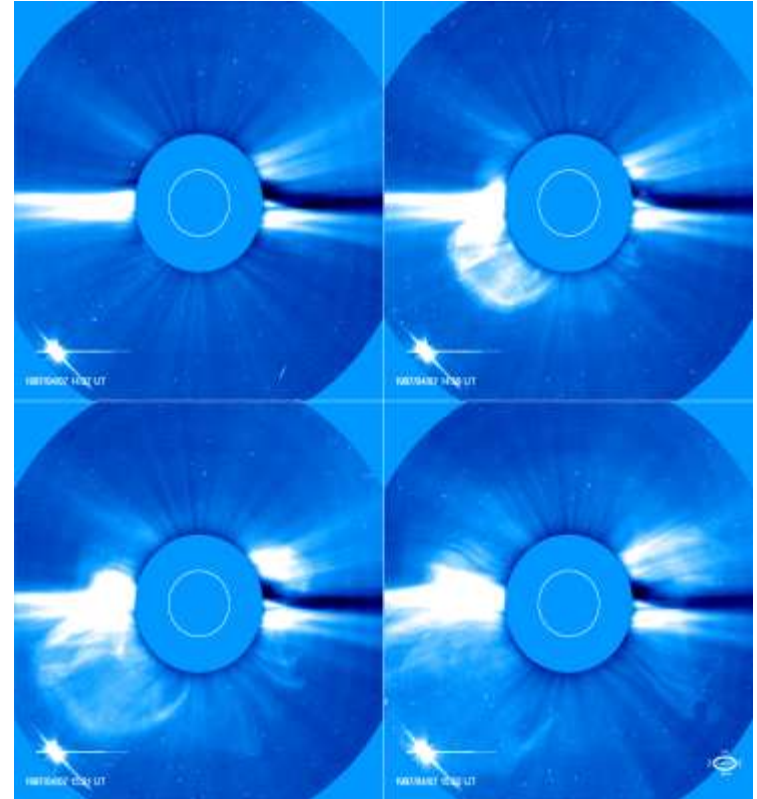


(Kane, 1974, IAU, p105)

コロナ質量放出現象 (CME)

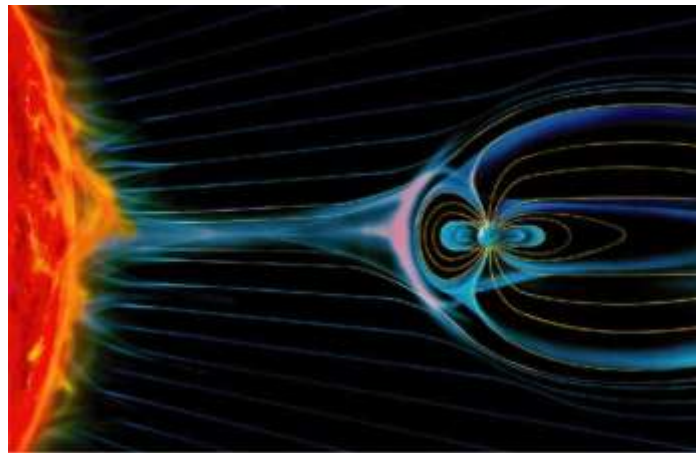
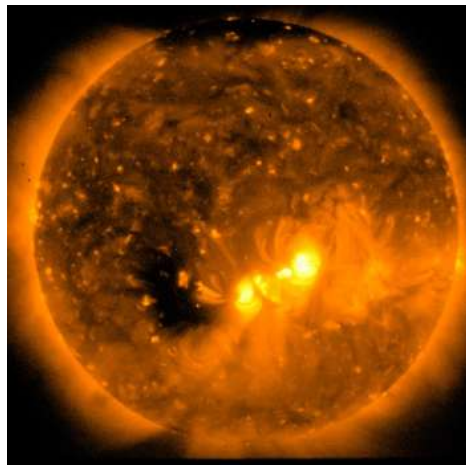


SOHO/LASCO
NASA・ESA提供



1000 km/sec
30億トン

太陽フレア・CMEが地球に及ぼす影響



PJM Public Service
Step Up Transformer

Severe internal damage caused by
the space storm of 13 March, 1989

1989年3月13日、太陽フレアに伴って発生した磁気嵐によりカナダのケベック州で大停電が発生。9時間の停電により600万人が影響を受けた



太陽型星でのスーパーフレア

LETTER

Published in Nature (2012, May 17)

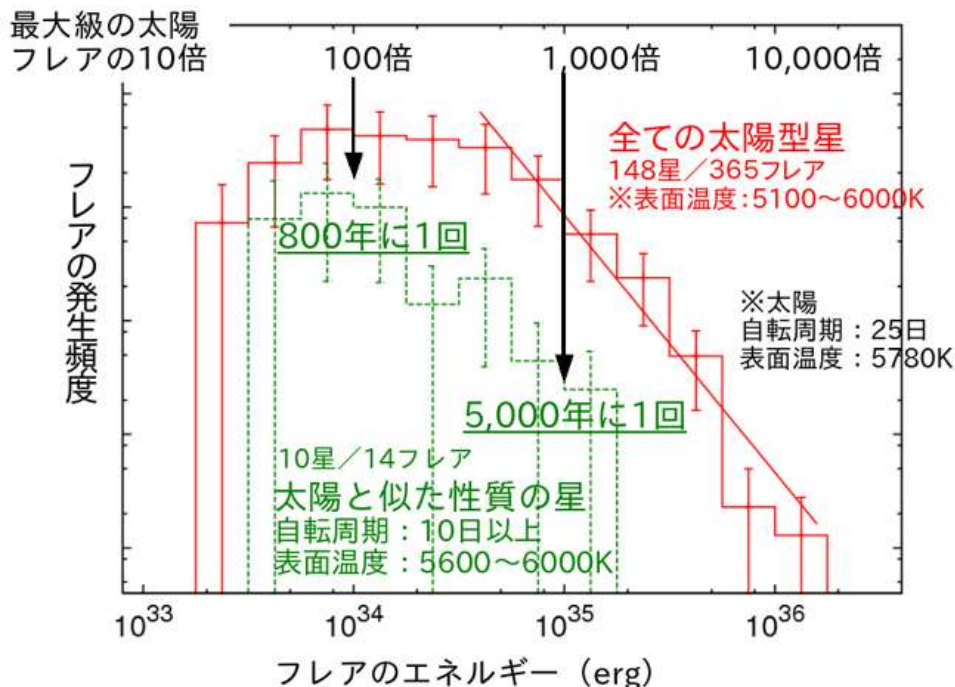
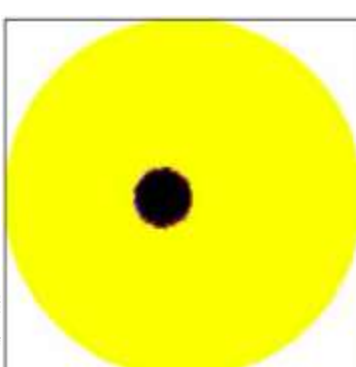
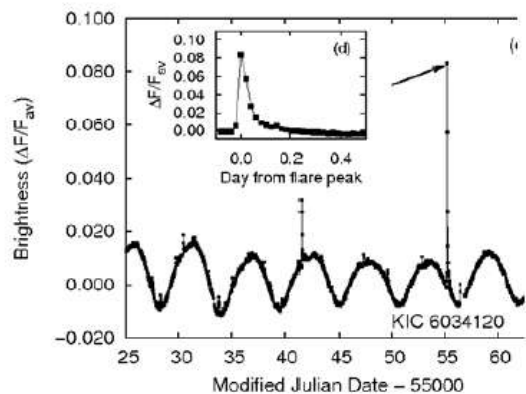
doi:10.1038

Superflares on solar-type stars

Hiroyuki Maehara¹, Takuya Shibayama¹, Shota Notsu¹, Yuta Notsu¹, Takashi Nagao¹, Satoshi Kusaba¹, Satoshi Honda¹, Daisaku Nogami¹ & Kazunari Shibata¹

Solar flares are caused by the sudden release of magnetic energy stored near sunspots. They release 10^{29} to 10^{32} ergs of energy on a timescale of hours¹. Similar flares have been observed on many stars, with larger 'superflares' seen on a variety of stars^{2,3}, some of which are rapidly rotating^{4,5} and some of which are of ordinary solar type^{3,6}. The small number of superflares observed on solar-type stars has hitherto precluded a detailed study of them. Here we report observations of 365 superflares, including some from slowly rotating solar-type stars, from about 83,000 stars observed over 120 days. Quasi-periodic brightness modulations observed in the solar-type stars suggest that they have much larger starspots than does the Sun. The maximum energy of the flare is not correlated with the stellar rotation period, but the data suggest that superflares occur more frequently on rapidly rotating stars. It has been proposed that hot Jupiters may be important in the generation of superflares on solar-type stars⁷, but none have been discovered around the stars that we have studied, indicating that hot Jupiters associated with superflares are rare.

We searched for stellar flares on solar-type stars (sequence stars) using data collected by NASA's Kepler⁸: the period from April 2009 to December 2009 (a brief flare search method is described in the legend of Fig. 1a is provided in Supplementary Information). We use temperature (T_{eff}) and the surface gravity ($\log(g)$) available in the Kepler Input Catalog⁹ to select solar-type stars. The search criteria are as follows: $5,100 \text{ K} \leq T_{\text{eff}} < 6,000 \text{ K}$, $\log(g) \geq 4.0$. The number of solar-type stars are 9,751 for quarter 0 of the Kepler length of observation period is about 10 d), 75,728 for quarter 1 (90 d), 83,094 for quarter 2 (90 d) and 3,691 for quarter 3 (90 d). We found 365 superflares (flares with energy $> 10^{33}$ erg) on solar-type stars (light curves of each flare are shown in Supplementary Fig. 8 and properties of each flare are listed in Supplementary Table 1). The durations of the detected flares are typically a few hours, and their amplitudes are generally 0.1–1% of the stellar luminosity. The bolometric luminosity of each flare were estimated from the light curves.



(前原ほか 2012)

ガリレオ=ガリレイの太陽観測

星界の報告
他一篇
ガリレオ・ガリレイ著
山田慶児, 谷 泰訳



1610年冬、ガリレオ (1564 - 1642) はみずからの手で完成した望遠鏡を通して、30倍に拡大された星界に初めて対面する。まず月面・銀河・星雲、そしてそれまで未知であった木星の周囲を回転する4つの衛星。精緻な観察が卓抜な想像力と結びつき、世界をゆるがせた推論は仮借なく押し進められる。「太陽黒点にかんする第二書簡」を併収。



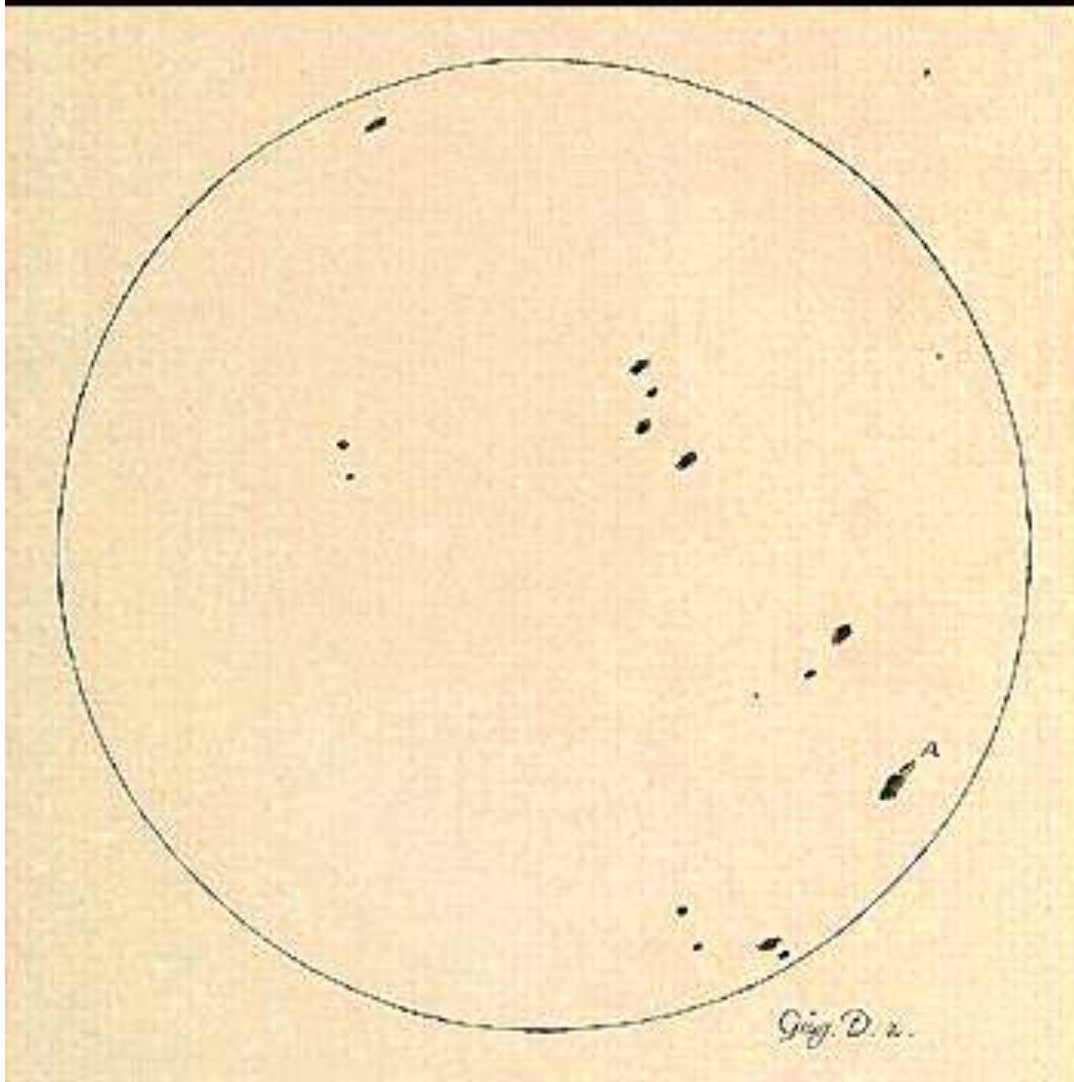
青 906-5
岩波文庫

「太陽黒点にかんする第二書簡」(1612)

- ・ ヴェルザー氏との手紙で、太陽黒点について詳述。



ガリレオ=ガリレイの太陽観測「太陽黒点にかんする第二書簡」



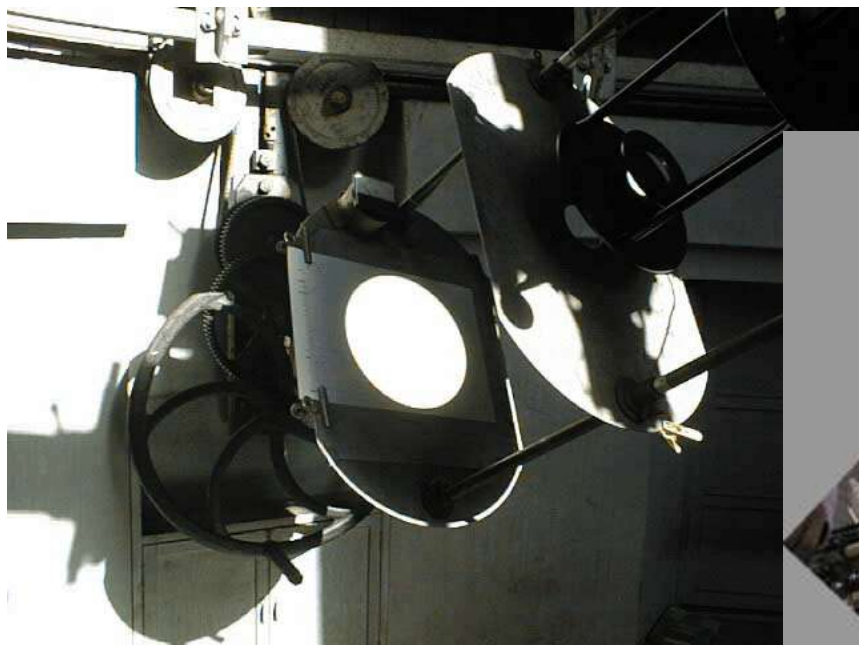
- ・ 約2カ月にわたる黒点のスケッチが掲載
- ・ 太陽が自転していること
- ・ 黒点が太陽表面の現象であること
- ・ 形が不規則に変化し、その寿命が数日から1カ月ほどであること

国立天文台三鷹の黒点観測望遠鏡

1938年から1998年まで観測

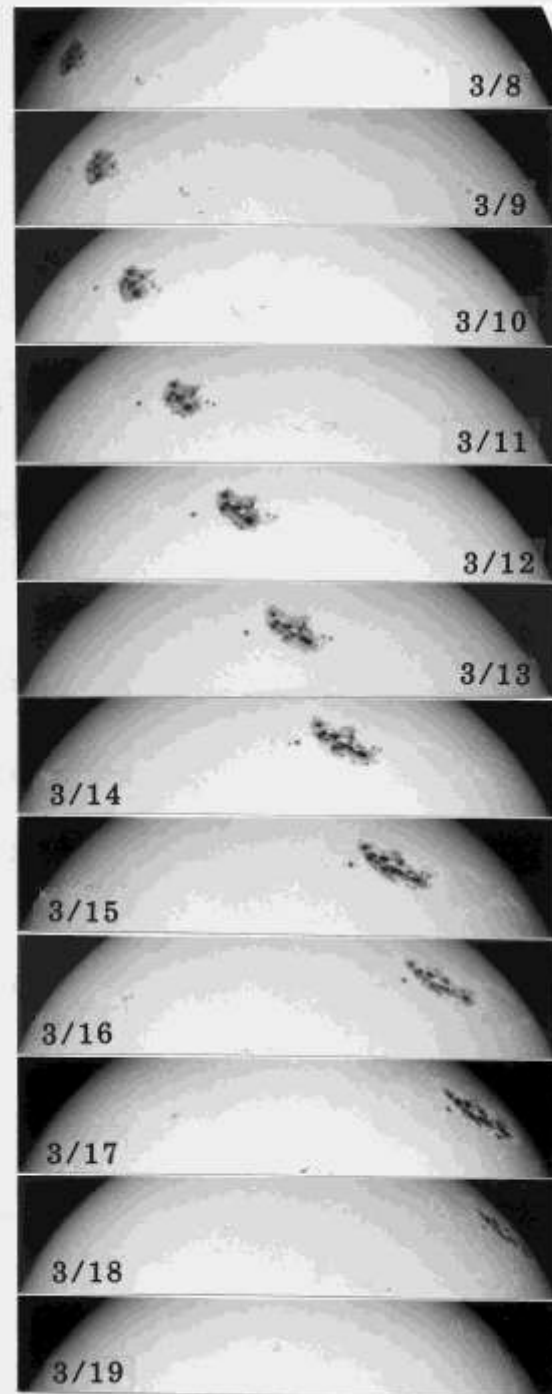
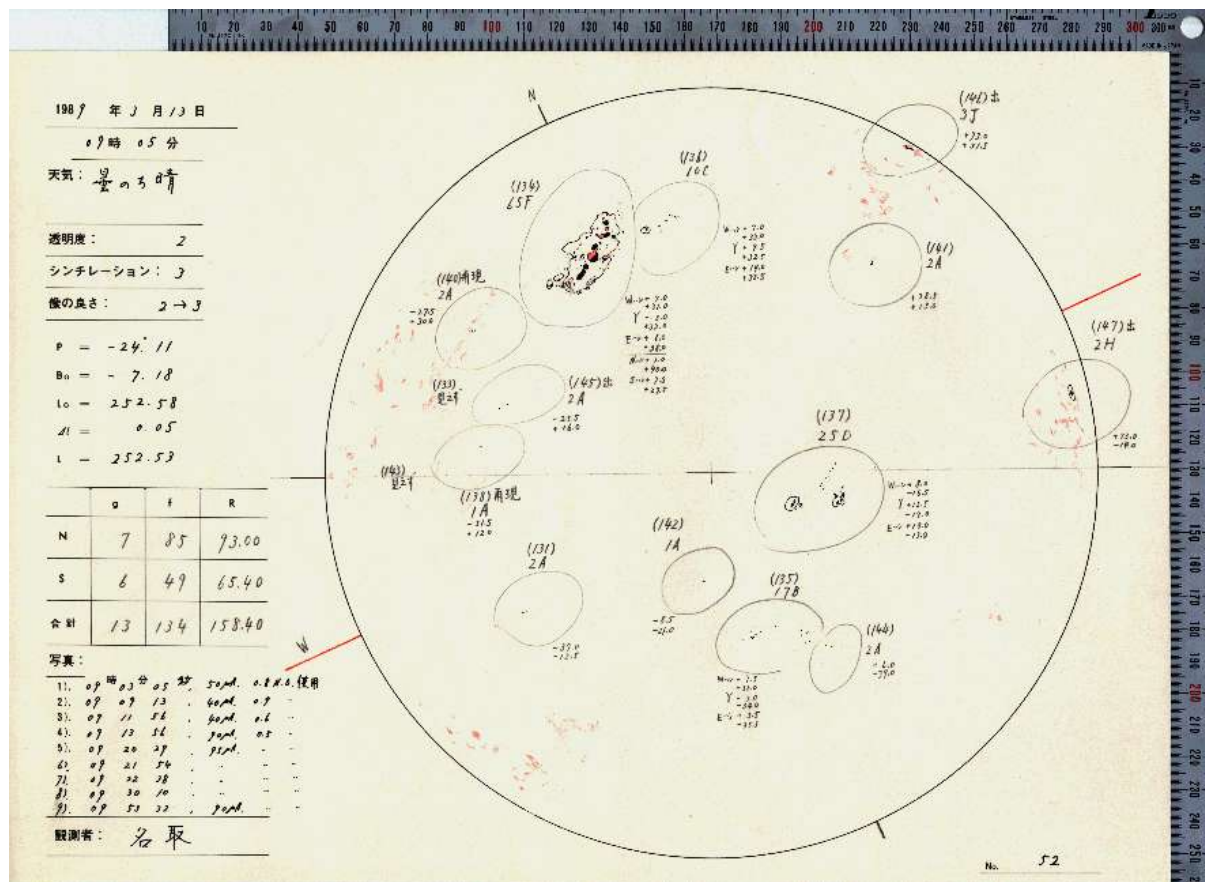
(現在は自動化)

基本的な手法は、ガリレイが記述しているのと同じ



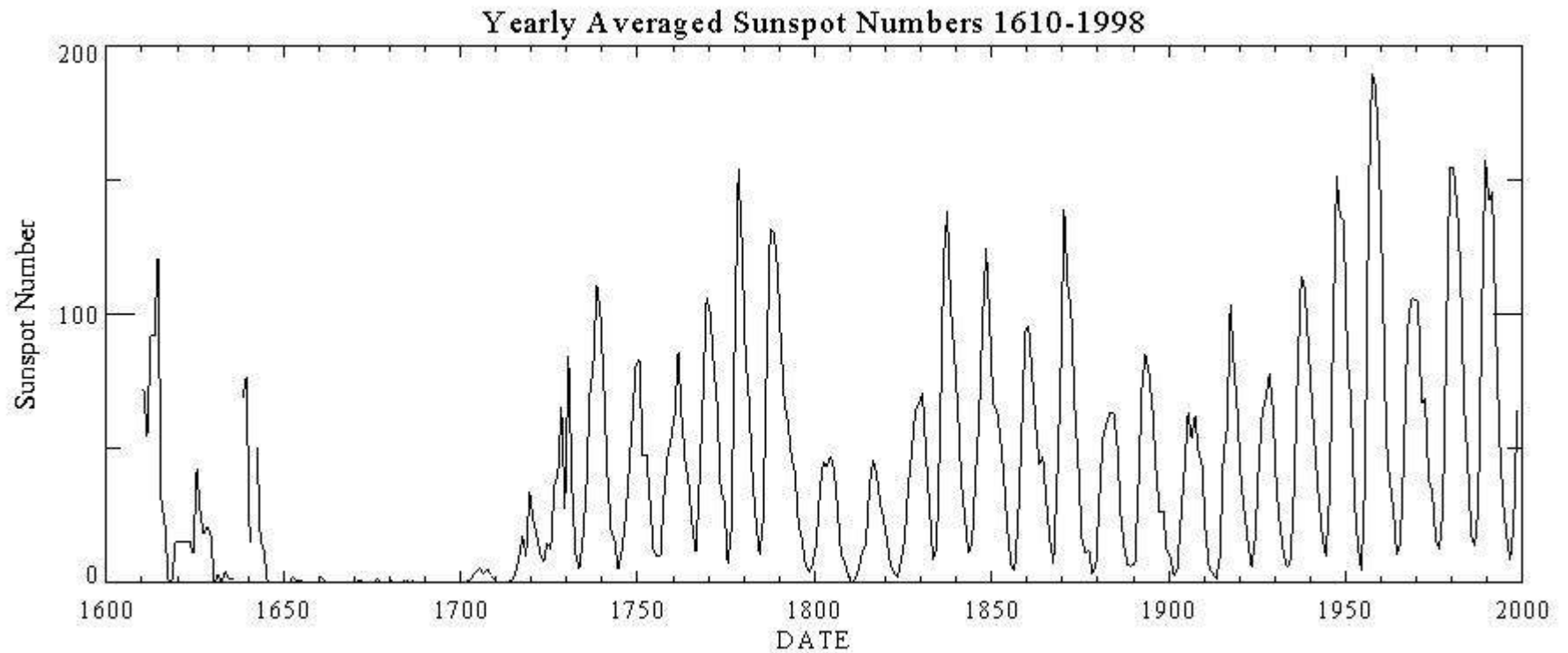
現在の黒点スケッチ

東西反転に注意



黑点数

(NASA提供)



「ひので」衛星搭載 3観測機器

Solar Optical Telescope (SOT)

ベクトル磁場の高精度高分解能観測

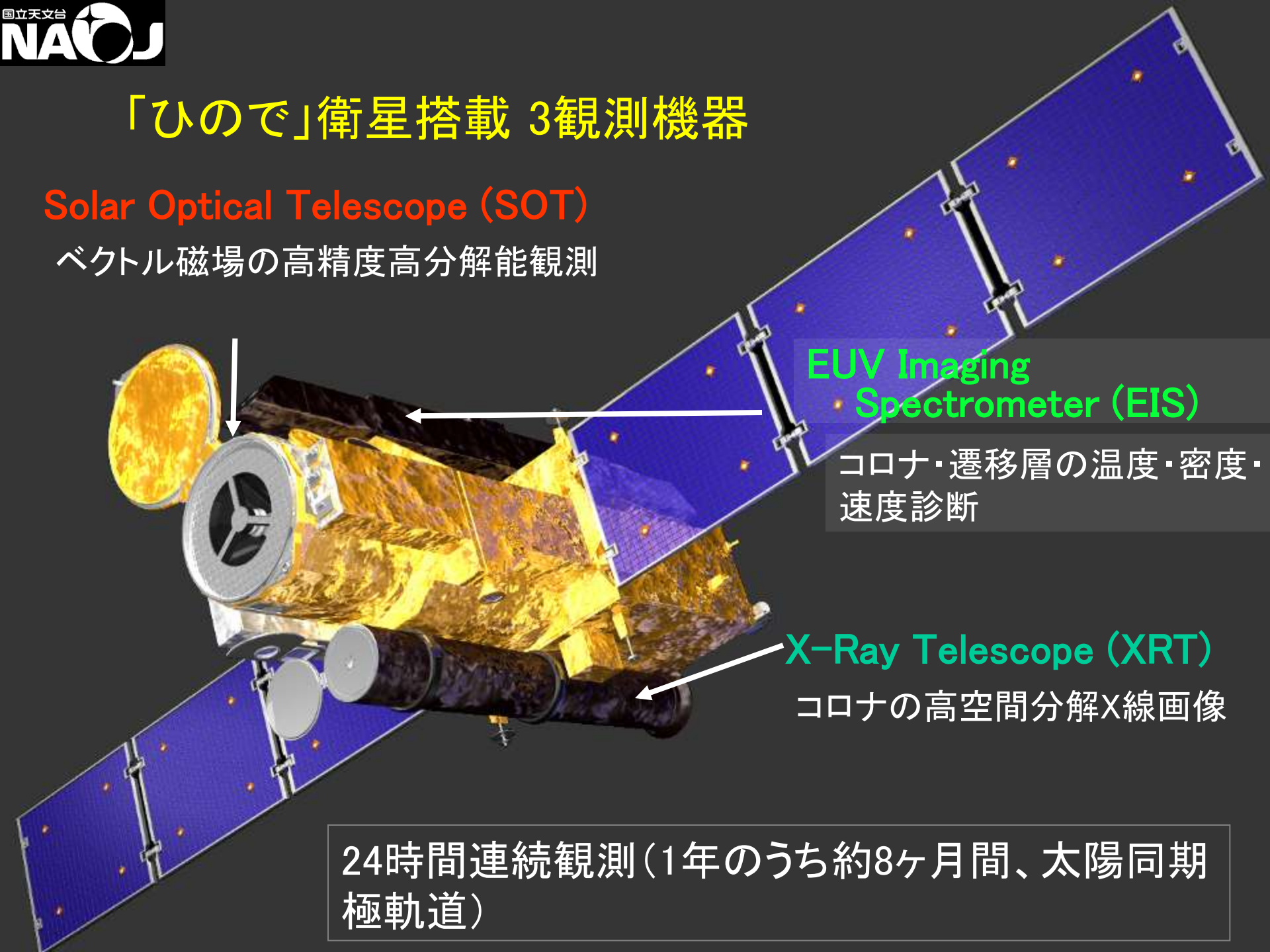
EUV Imaging Spectrometer (EIS)

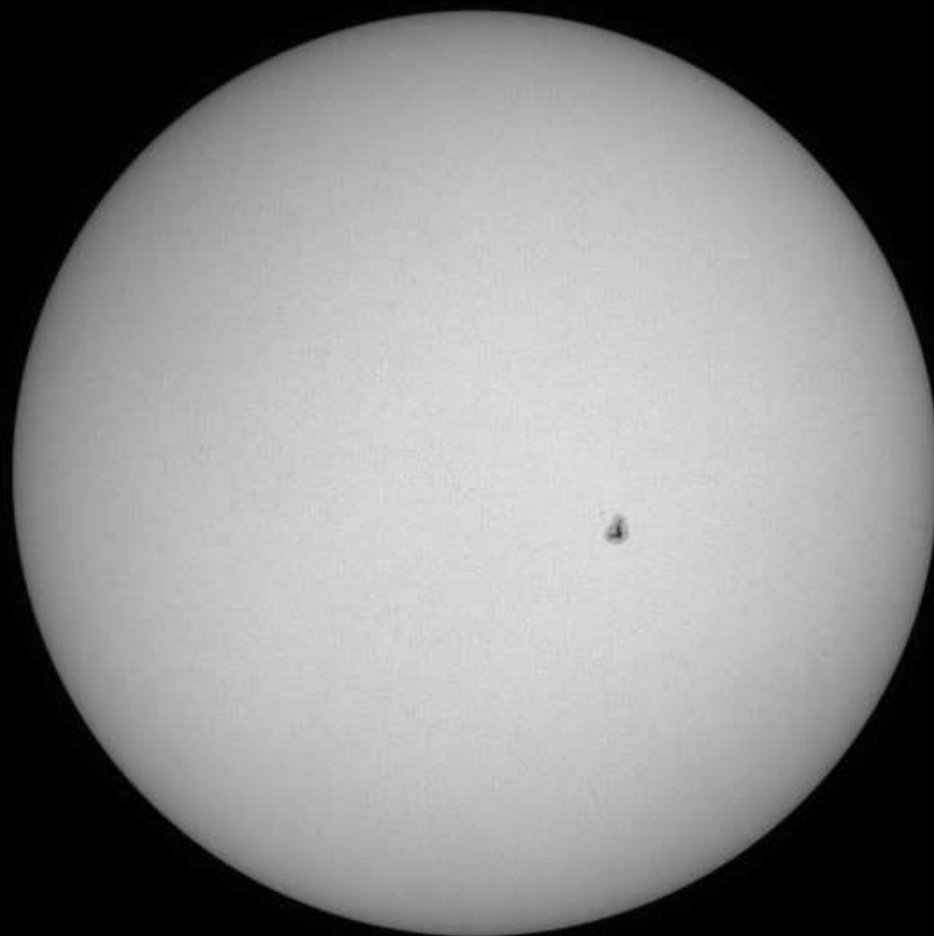
コロナ・遷移層の温度・密度・速度診断

X-Ray Telescope (XRT)

コロナの高空間分解X線画像

24時間連続観測(1年のうち約8ヶ月間、太陽同期極軌道)





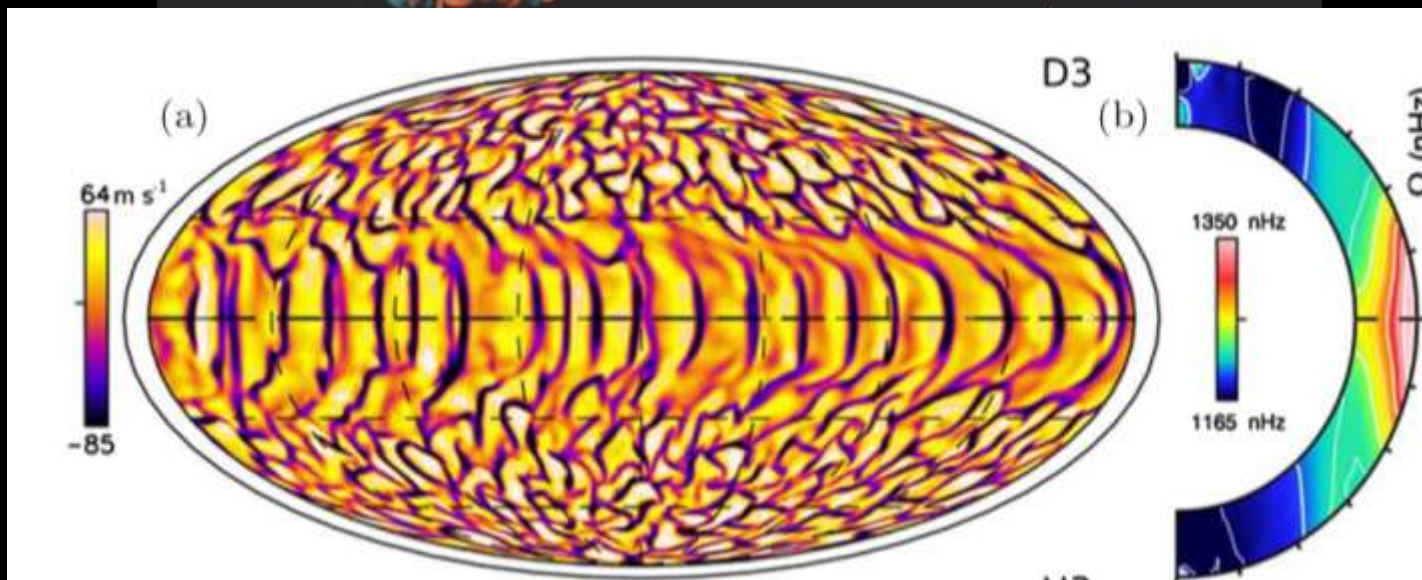
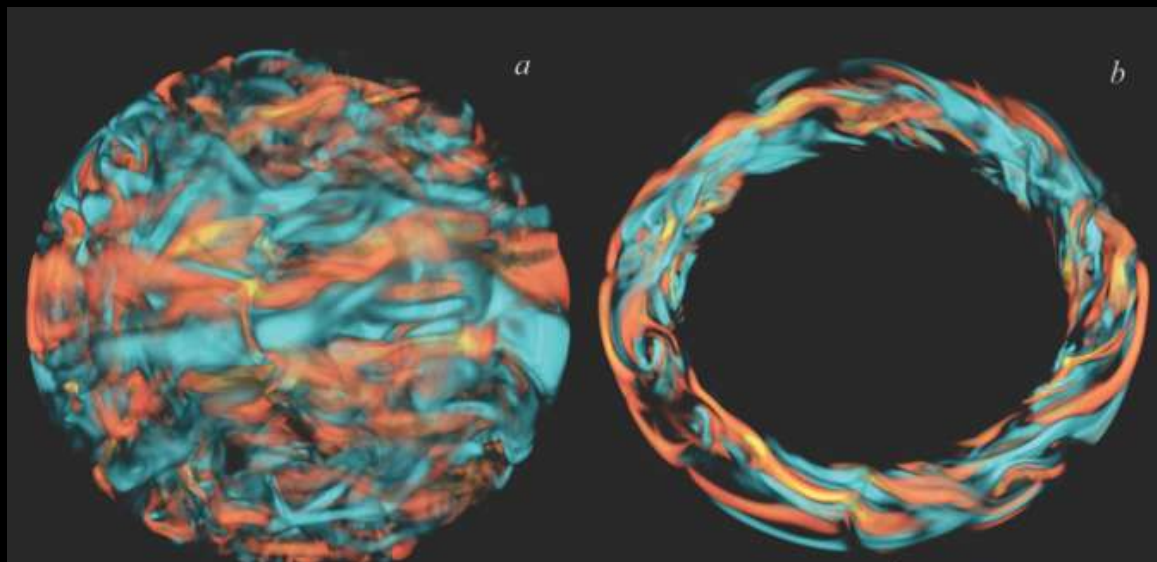
SOHO
(ESA提供)
ひので衛星
(JAXA
NAOJ提供)

171,000 km



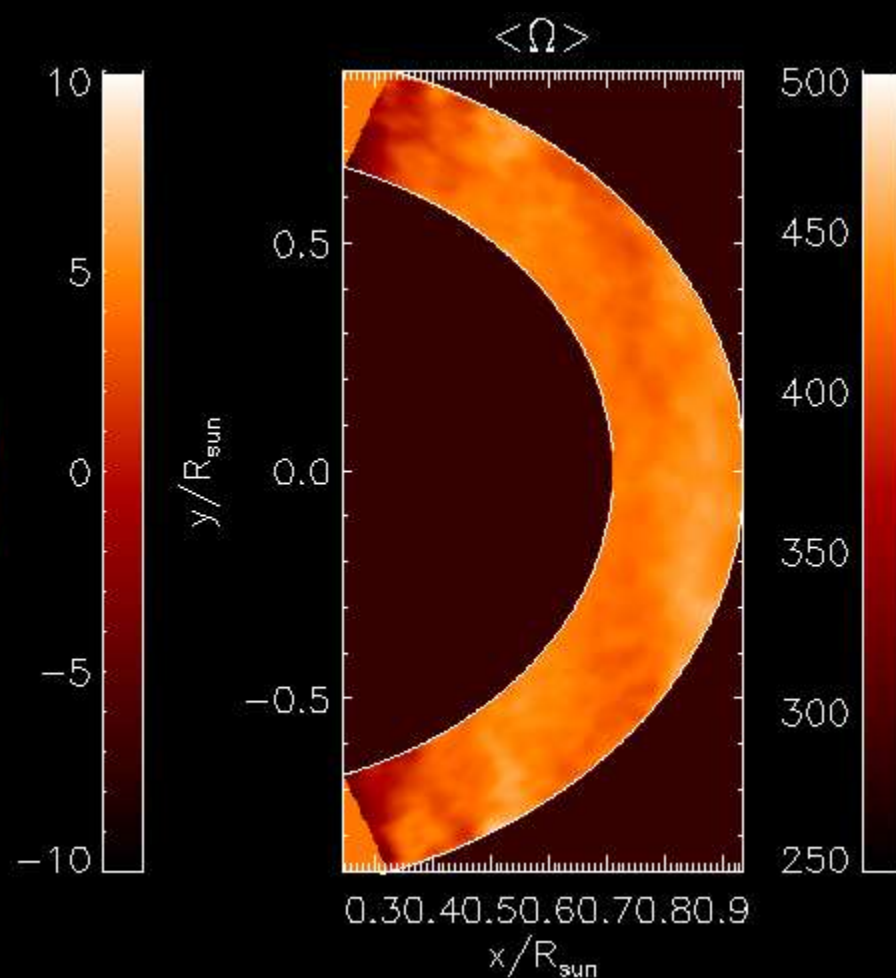
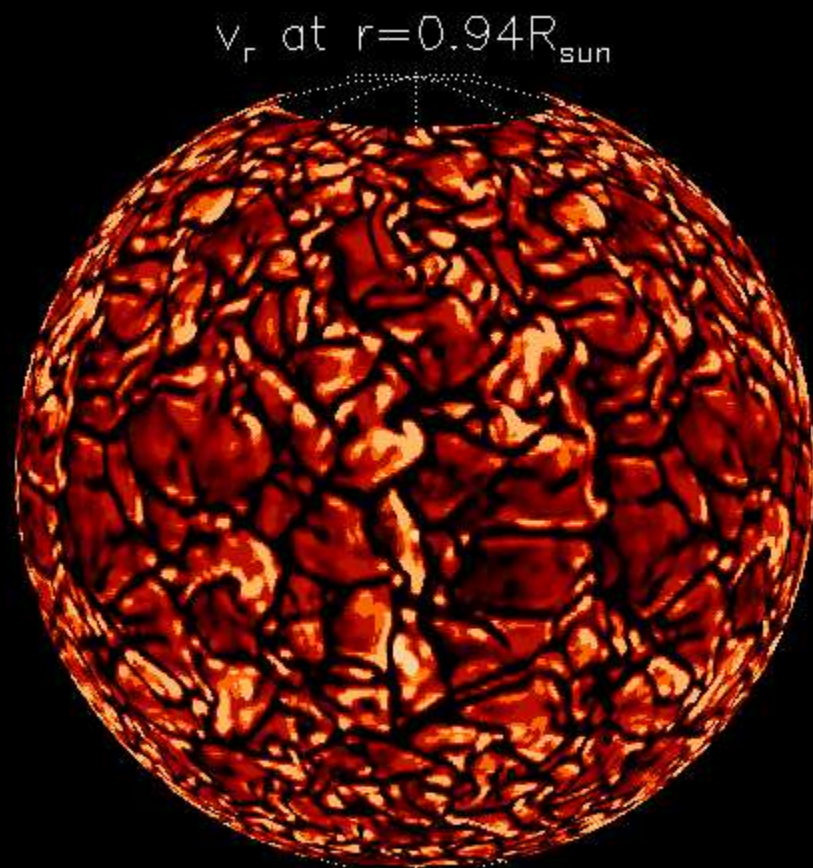
理論の望遠鏡
スーパーコンピュータ

太陽の磁場生成のシミュレーション



太陽内部のコンピュータシミュレーション

堀田・横山



まとめ

太陽はプラズマの塊

磁場とプラズマとが織りなすダイナミックな天体

大爆発フレア！

謎の黒点11年周期

東京大学 理学系研究科
地球惑星科学専攻
横山研の紹介



太陽物理学者になるには？

「太陽物理学を学べる大学」

学部

- 東京大学、京都大学、名古屋大学？、…
- 天文学科、宇宙物理学科、物理学科、地球惑星物理学科

大学院修士課程、大学院博士課程

- 同上、総合研究大学院大学(国立天文台、宇宙研)、…

ポスドク(博士研究員) ある意味下積み

そしてめでたく常勤職(助教、准教授、教授)

自己紹介

横山 央明（よこやま たかあき）

1992年3月 京都大学 工学部 航空工学科卒業（学部・修士）

1995年3月 総合研究大学院大学（国立天文台三鷹）で学位取得

1995年4月から1998年3月 国立天文台三鷹でポスドク

1998年4月 国立天文台野辺山助手

2003年4月より 東京大学 地球惑星科学専攻助教授・准教授



東京大学で太陽研究するには

天文学専攻

柴橋教授 本郷が本拠。おもに日震学・星震学

常田教授・原准教授 国立天文台が本拠地

地球惑星科学専攻

横山研。このあと詳細に説明

物理学専攻

牧島教授 本郷。X線天文学が主体。一部太陽フレアの
研究も

最近のテーマ

太陽表面磁場変動のひので衛星観測

太陽コロナを伝える磁気流体波動の観測

太陽活動周期ダイナモのシミュレーション

太陽磁場浮上現象のシミュレーション

太陽コロナジェットの観測とシミュレーション

太陽磁場と熱対流との相互作用のシミュレーション

乱流磁気リコネクションのシミュレーション

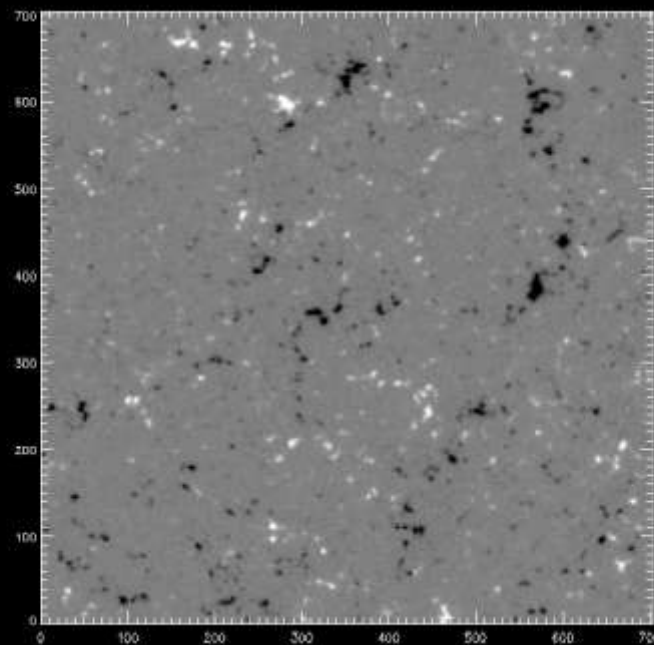
太陽爆発現象のシミュレーション

相対論的磁気リコネクション

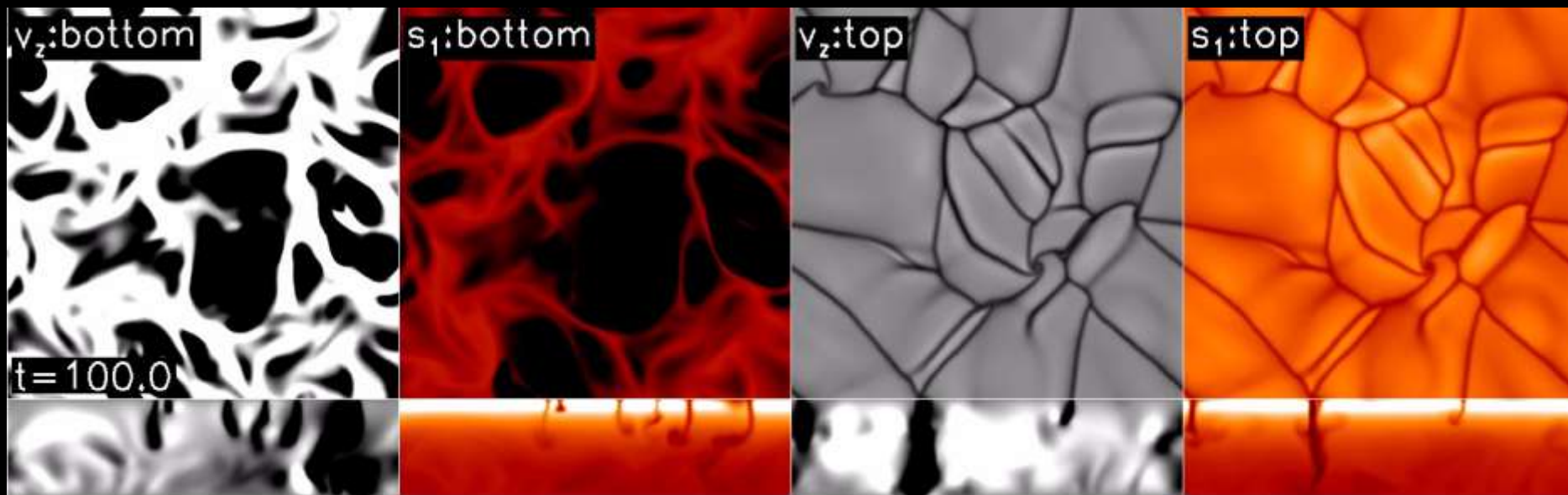
太陽フレア粒子加速の観測

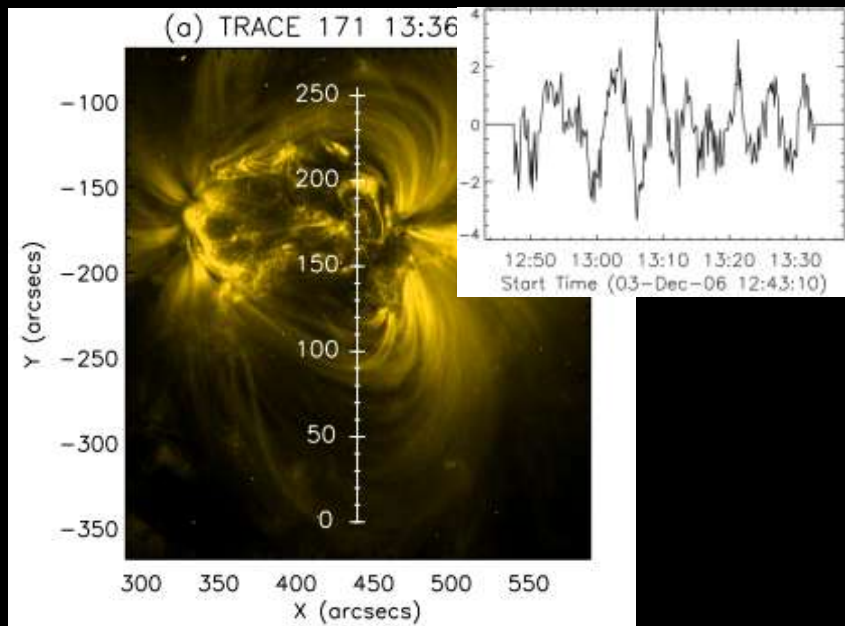
•表面磁気活動(飯田佑輔)

横山研での研究

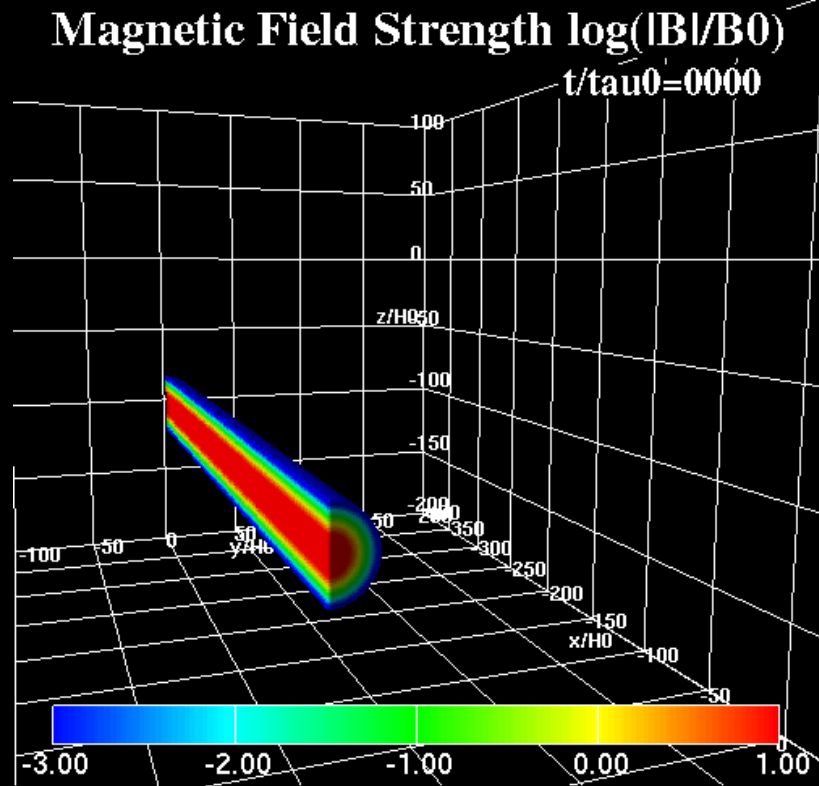


•表面熱対流運動(堀田英之)

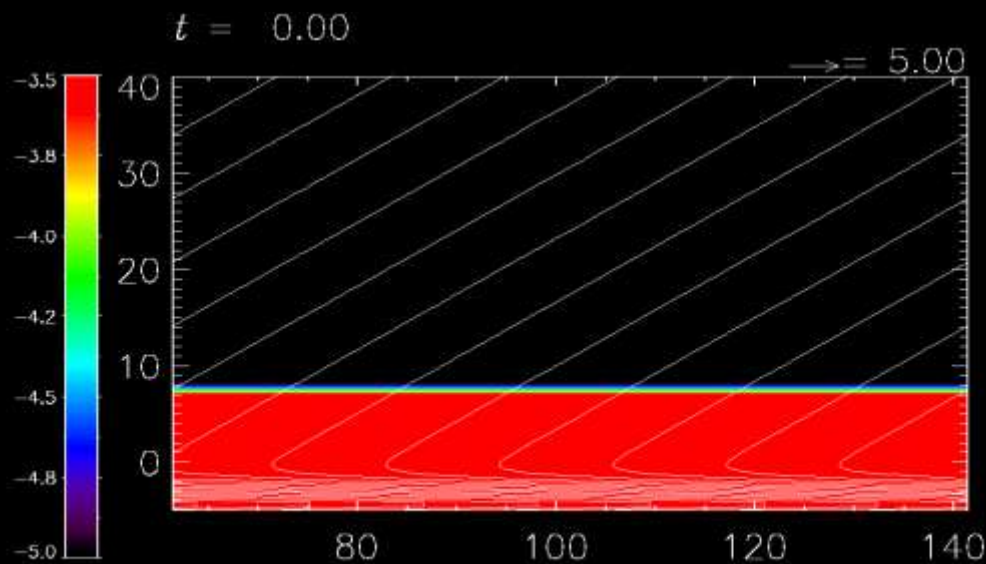




•コロナ波動の検出とコロナ加熱(北川直優)



•磁束浮上現象(鳥海森)



•コロナジェット(松井悠起)

ある大学院生の1日

朝11時ごろ大学へ

12時ごろ仲間を誘って昼食

13時ごろから研究

15時から横山と2時間議論(教員との議論は週1回)

17時からもうひとがんばり研究

19時ごろ夕食

21時まで研究、下宿に帰って寝る



議論の時間が、日によって研究室セミナーや自主ゼミに入れ替わる。たまに学会発表や、衛星運用



これから取り組みたいテーマ

太陽爆発現象のシミュレーション

太陽フレア粒子加速のシミュレーション

恒星・原始星フレアのシミュレーション

相対論的磁気リコネクション

宇宙線効果の入った磁気流体现象のシミュレーション

銀河ダイナモへの応用をめざして

太陽研究に
興味ある方、
意欲ある若者を
求めています。

終