



宇宙天気三二講座 -太陽編-

情報通信研究機構 電磁波研究所

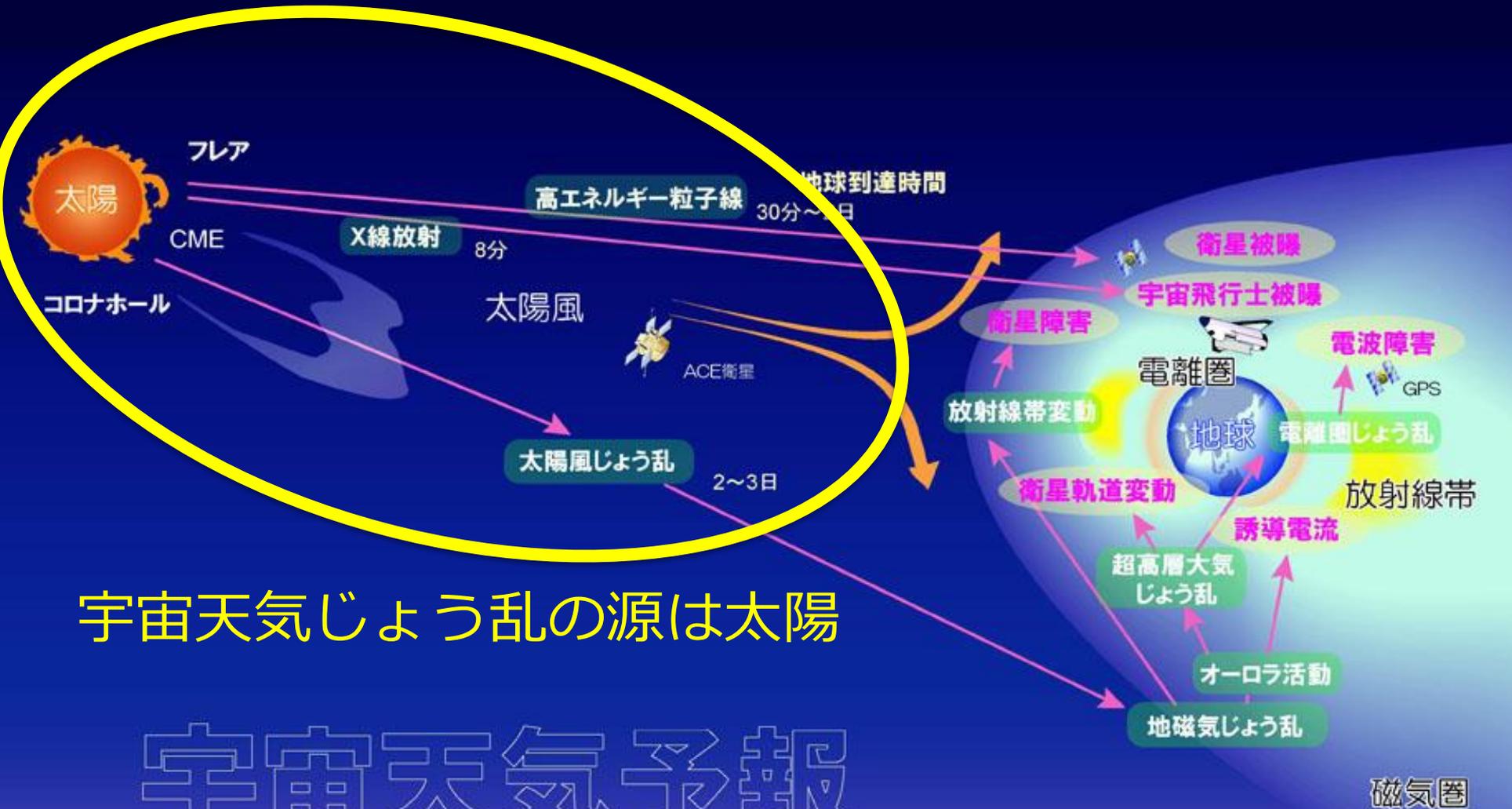
宇宙環境研究室

塩田 大幸

第13回宇宙天気ユーザーフォーラム

2018年8月30日 日本科学未来館

宇宙天気と太陽



宇宙天気じょう乱の源は太陽

宇宙天気予報

宇宙環境じょう乱の発生と障害を予測

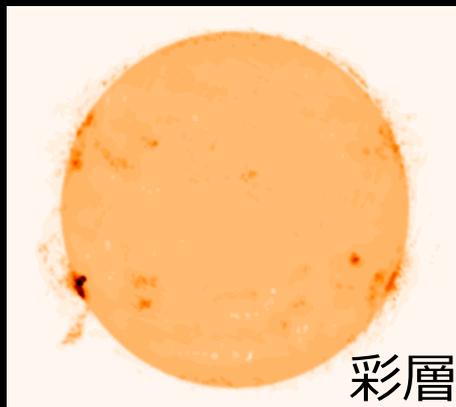
様々な波長の電磁波（光）で見る太陽



光球

白色光

171,000 km

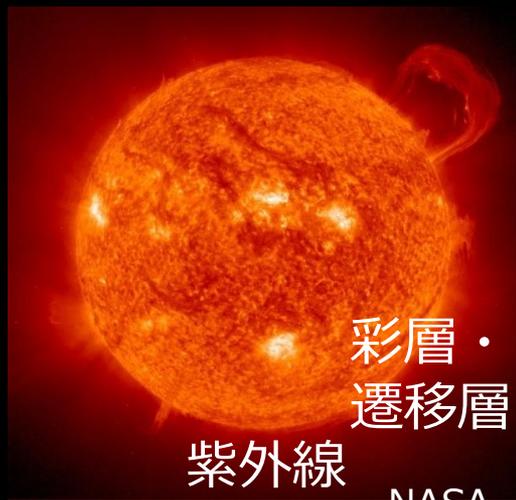


彩層

電波

国立天文台

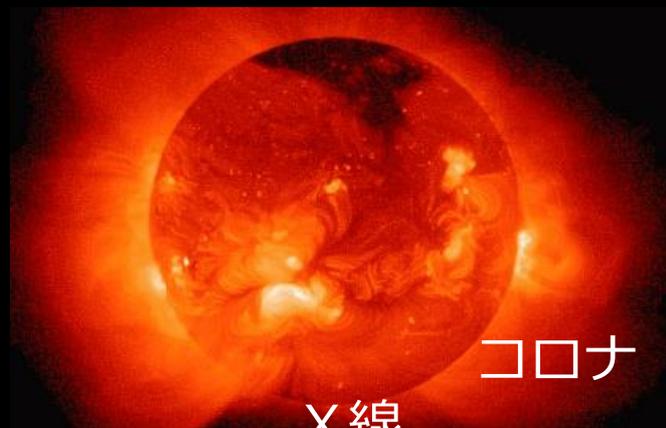
特定の波長の電磁波だけを通すフィルターで太陽を観測すると、、、太陽大気の中の高さや性質が異なる層を見ることができる。



彩層・
遷移層

紫外線

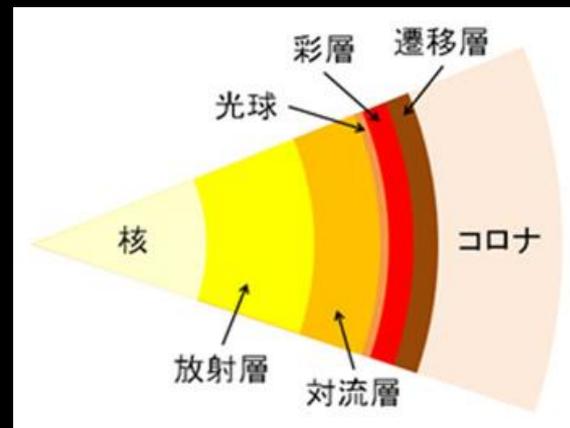
NASA



コロナ

X線

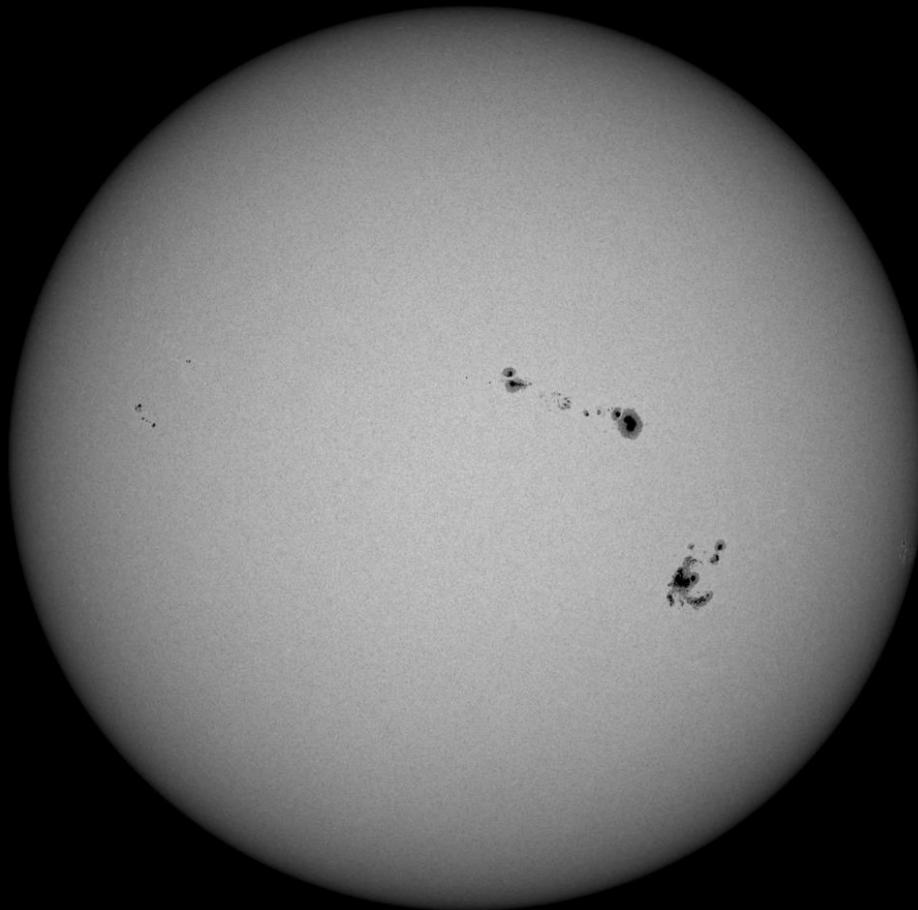
ISAS/JAXA



太陽の断面

光球（白色光）

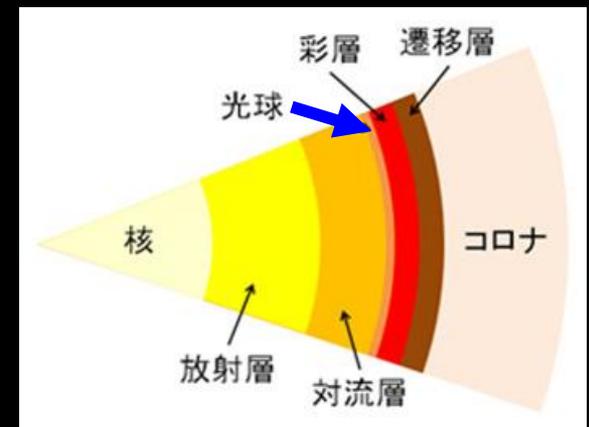
私たちが普段見る太陽
電磁波で見ることができ
る最も内側の大気
表面の対流運動の様子や
黒点が見える



約70万km

SDO/HMI Quick-Look Continuum: 2017.09.06_00:11:15_TAI

<https://sdo.gsfc.nasa.gov/>



太陽の断面

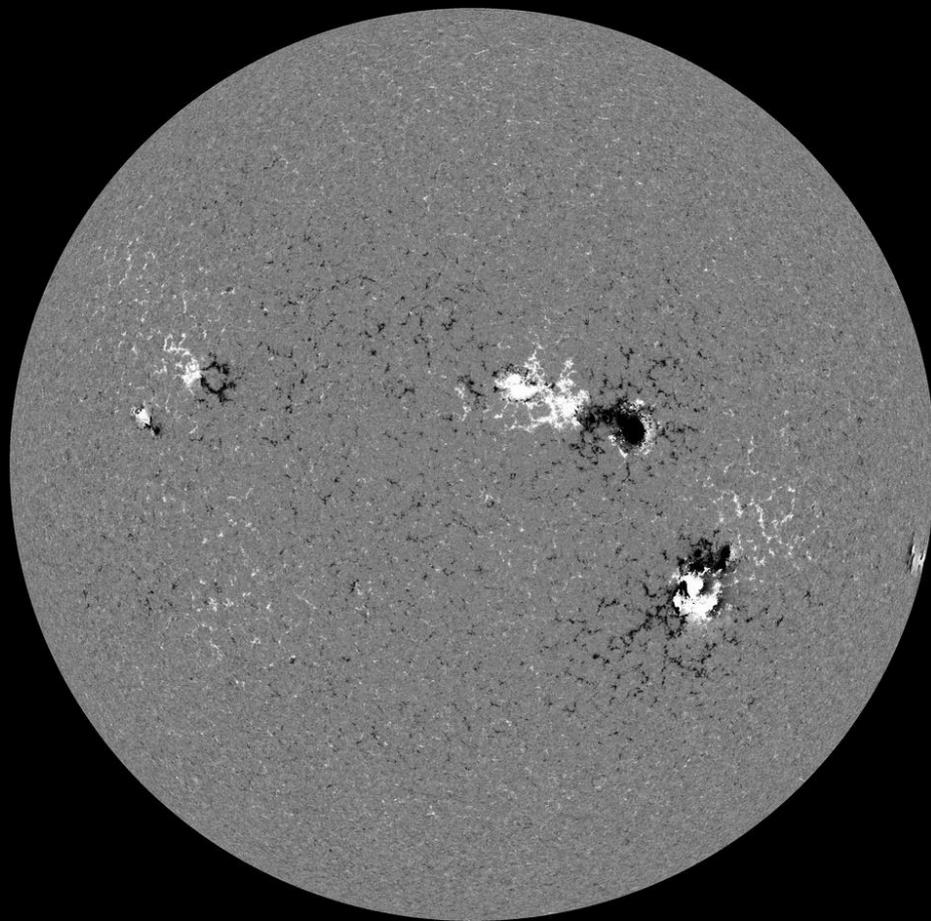
光球磁場（偏光観測）

磁場の強さと向きがわかる

白：N極（太陽の内部から外に向かう方向の磁場）

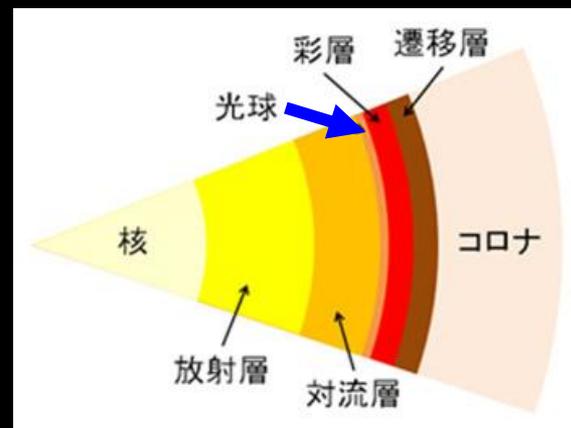
黒：S極（太陽の外から内部に向かう方向の磁場）

黒点は非常に強い磁場を持つ。
黒点以外にも磁場が存在する。



約70万km

<https://sdo.gsfc.nasa.gov/>

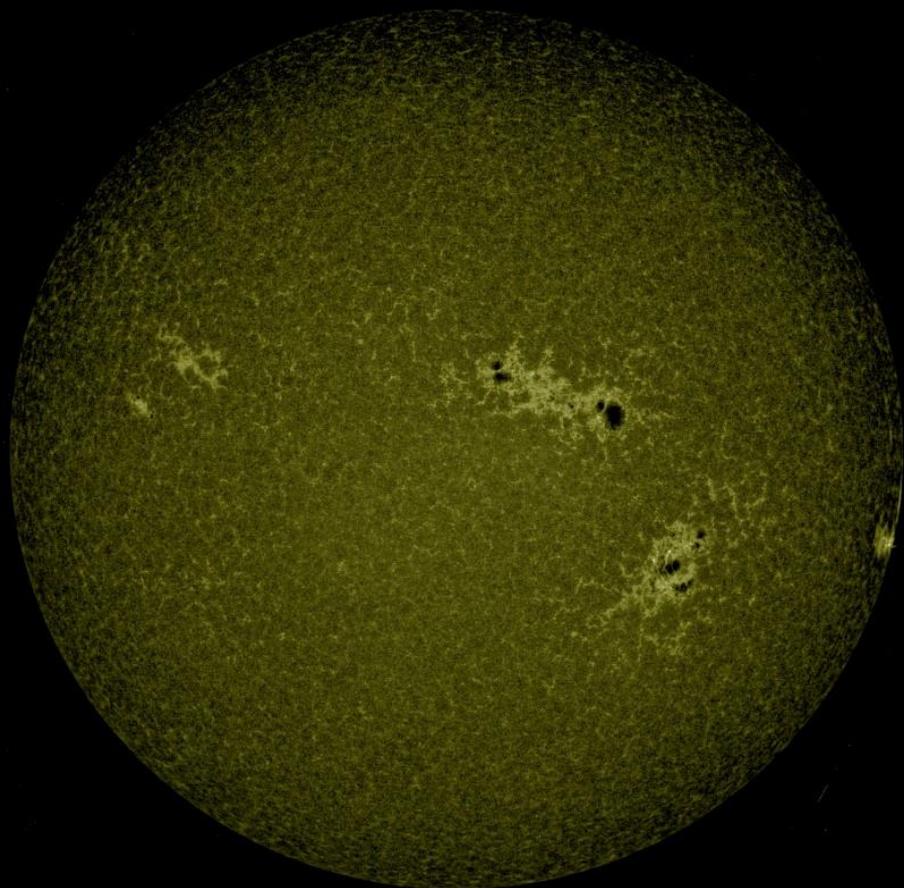


太陽の断面

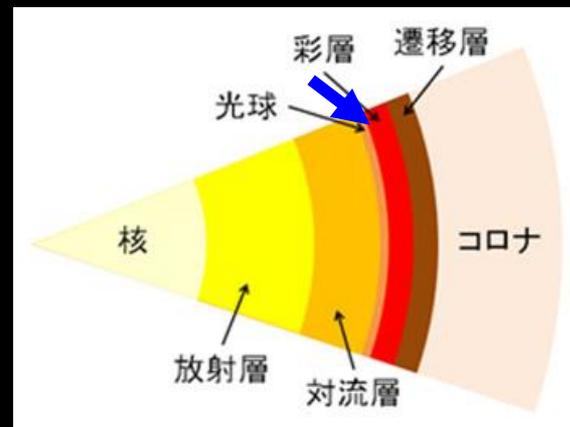
光球上部（紫外線:波長160nm）

黒点の外側の磁場が強い領域が明るく見える。

活動度が高い領域では、小さな発光現象が発生する。



約70万km



太陽の断面

SDO/AIA 1600

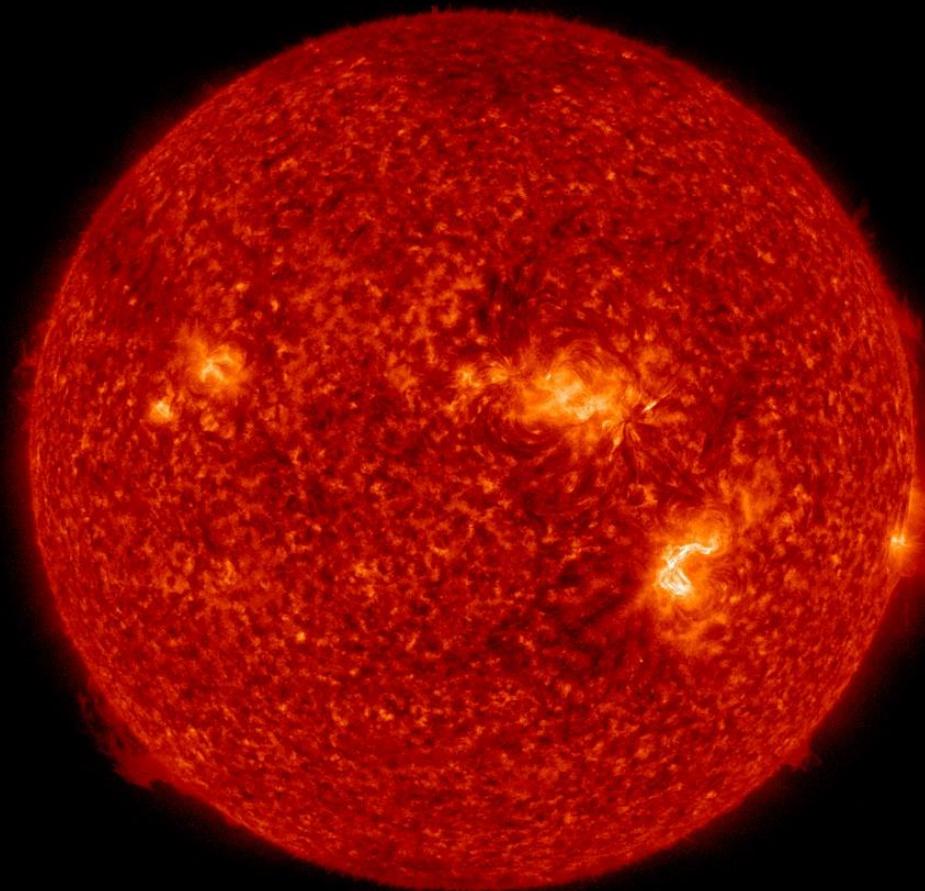
2017-09-06 00:02:15 UT

<https://sdo.gsfc.nasa.gov/>

2018年8月30日

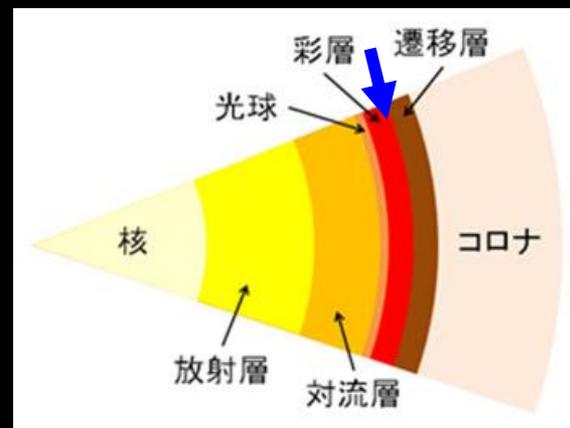
第13回 宇宙天気ユーザーフォーラム
宇宙天気ミニ講座 太陽編

彩層・遷移層（極端紫外線:波長30.4nm）



コロナの中に雲のように浮いている濃いガスの塊
フィラメント（プロミネンス）が良く見える。

太陽フレアなどに伴って
フィラメントが放出されることがある。



太陽の断面

約70万km

SDO/AIA 304 2017-09-06 00:13:18 UT

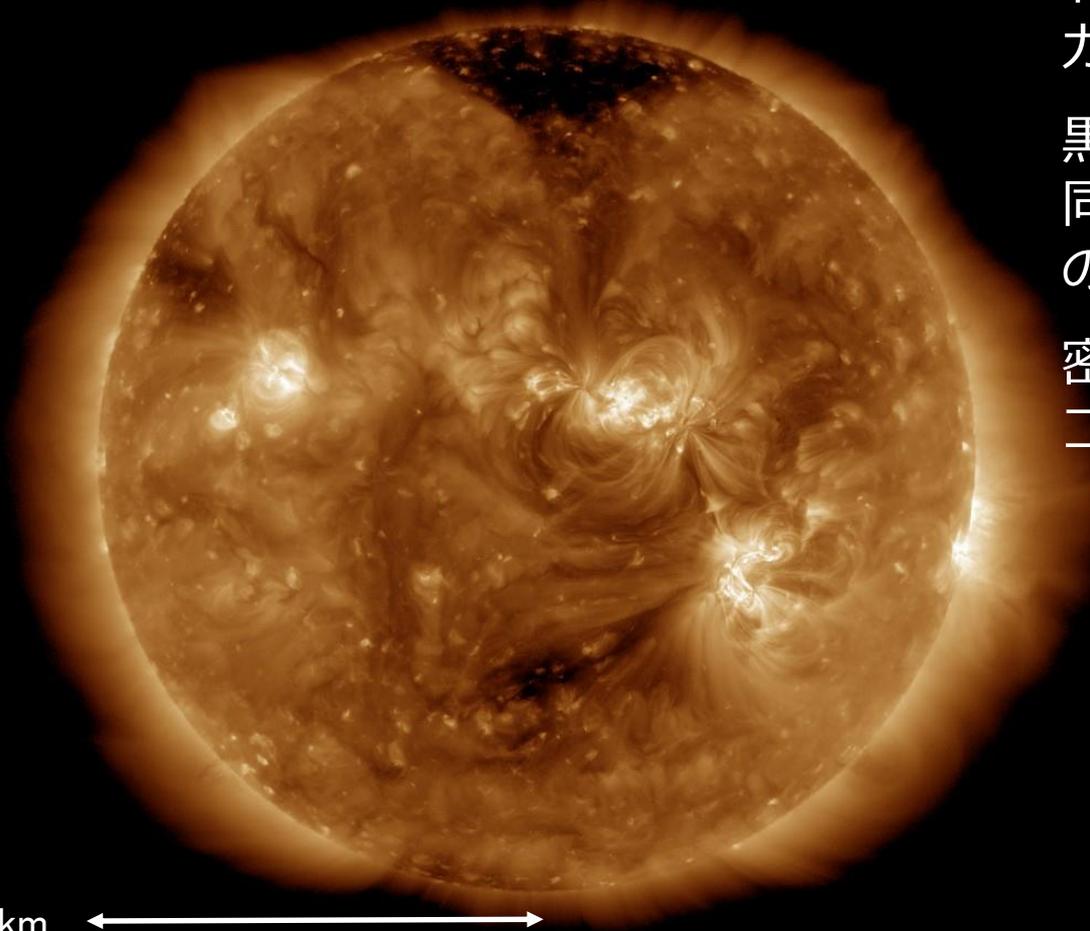
<https://sdo.gsfc.nasa.gov/>

コロナ (極端紫外線:波長19.3nm)

100万度超の電離した高温ガス。

黒点付近の上空で、黒点同士をつなぐ磁力線の形のループが明るく見える。

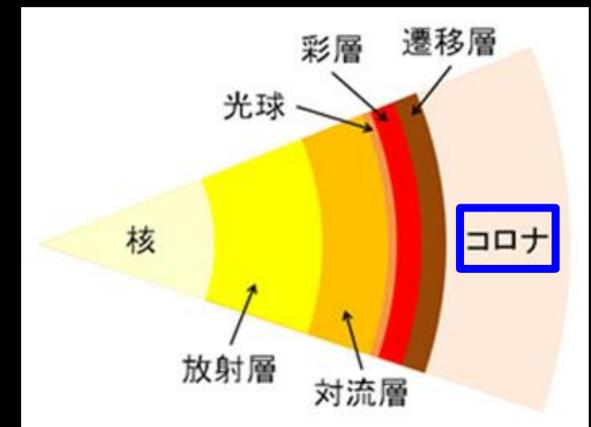
密度が極端に低い領域
コロナホールが見える。



約70万km

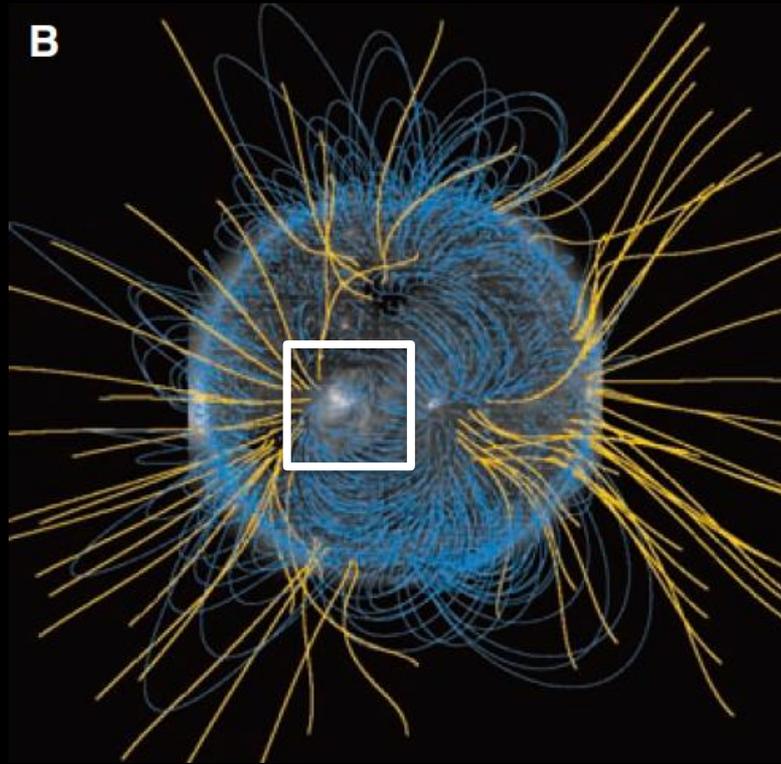
SDO/AIA 193 2017-09-06 00:11:05 UT

<https://sdo.gsfc.nasa.gov/>

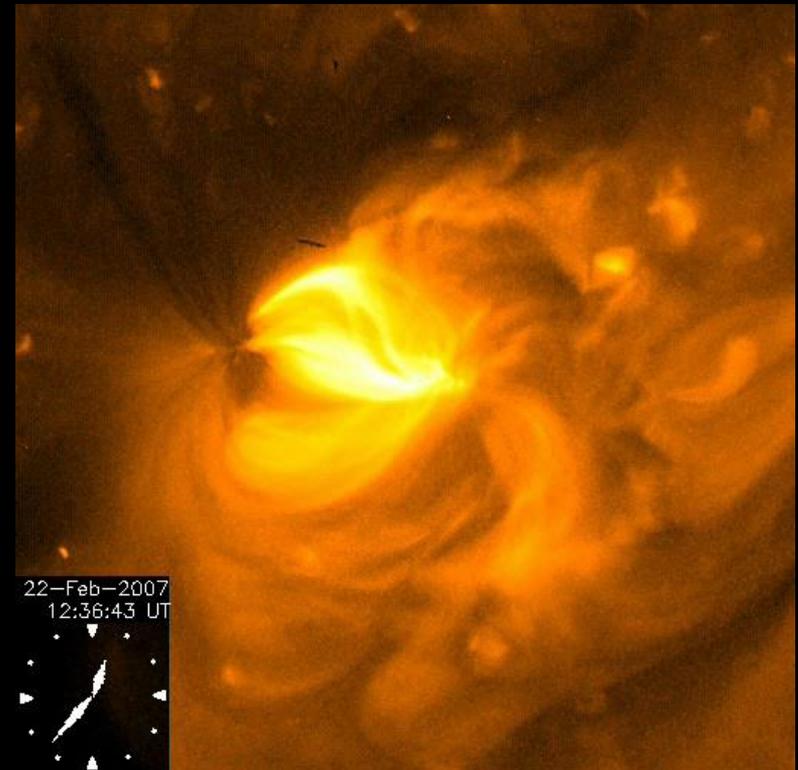


太陽の断面

コロナホールと太陽風



コロナの磁力線の様子

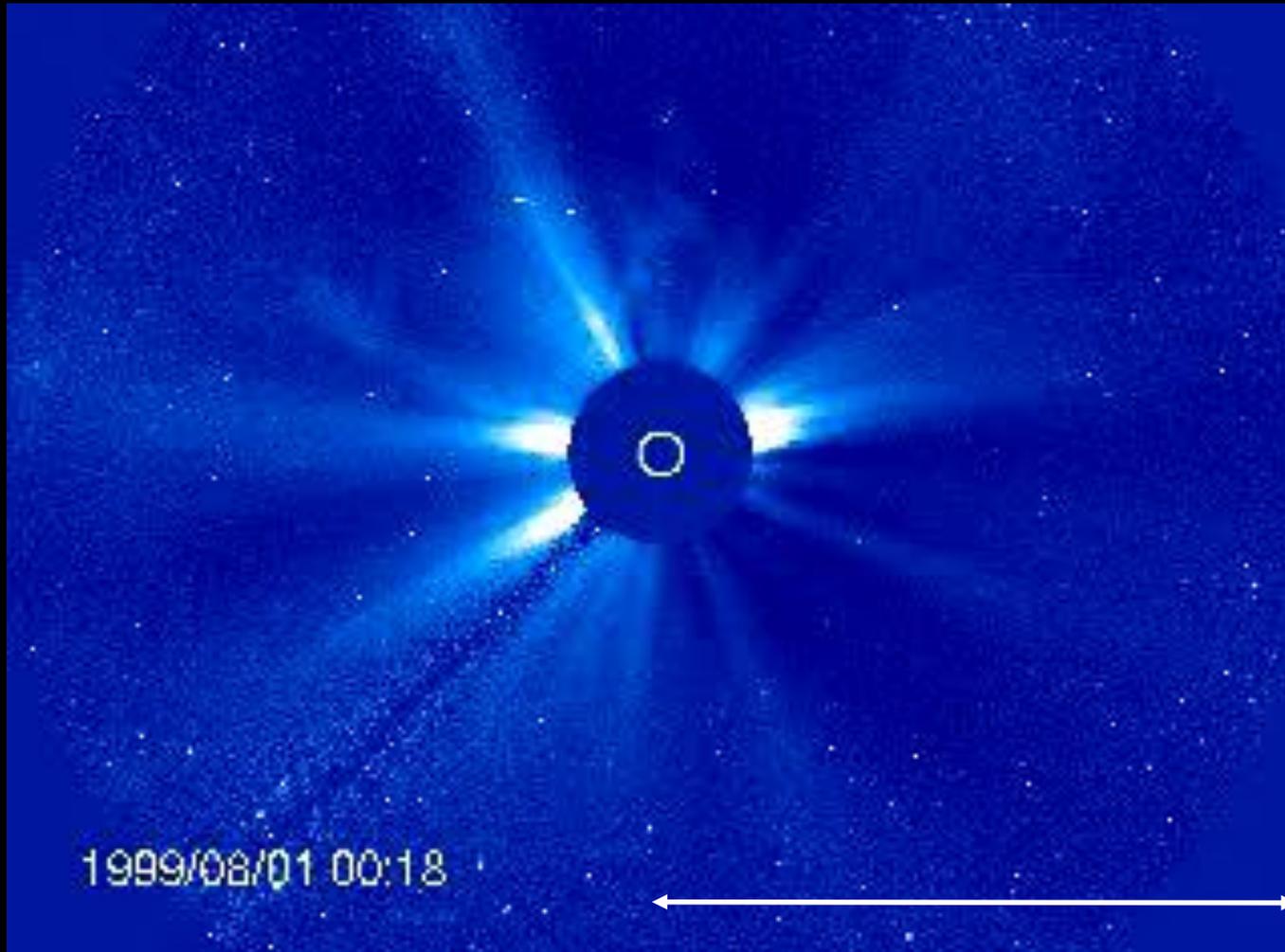


ひのでX線（コロナ）画像

- コロナホールは磁力線が太陽の外の空間につながる（黄色）領域。
- コロナホールでは、コロナガスが高速で流出する様子が観測される。この常に太陽から流出するガスの流れを「太陽風」という。

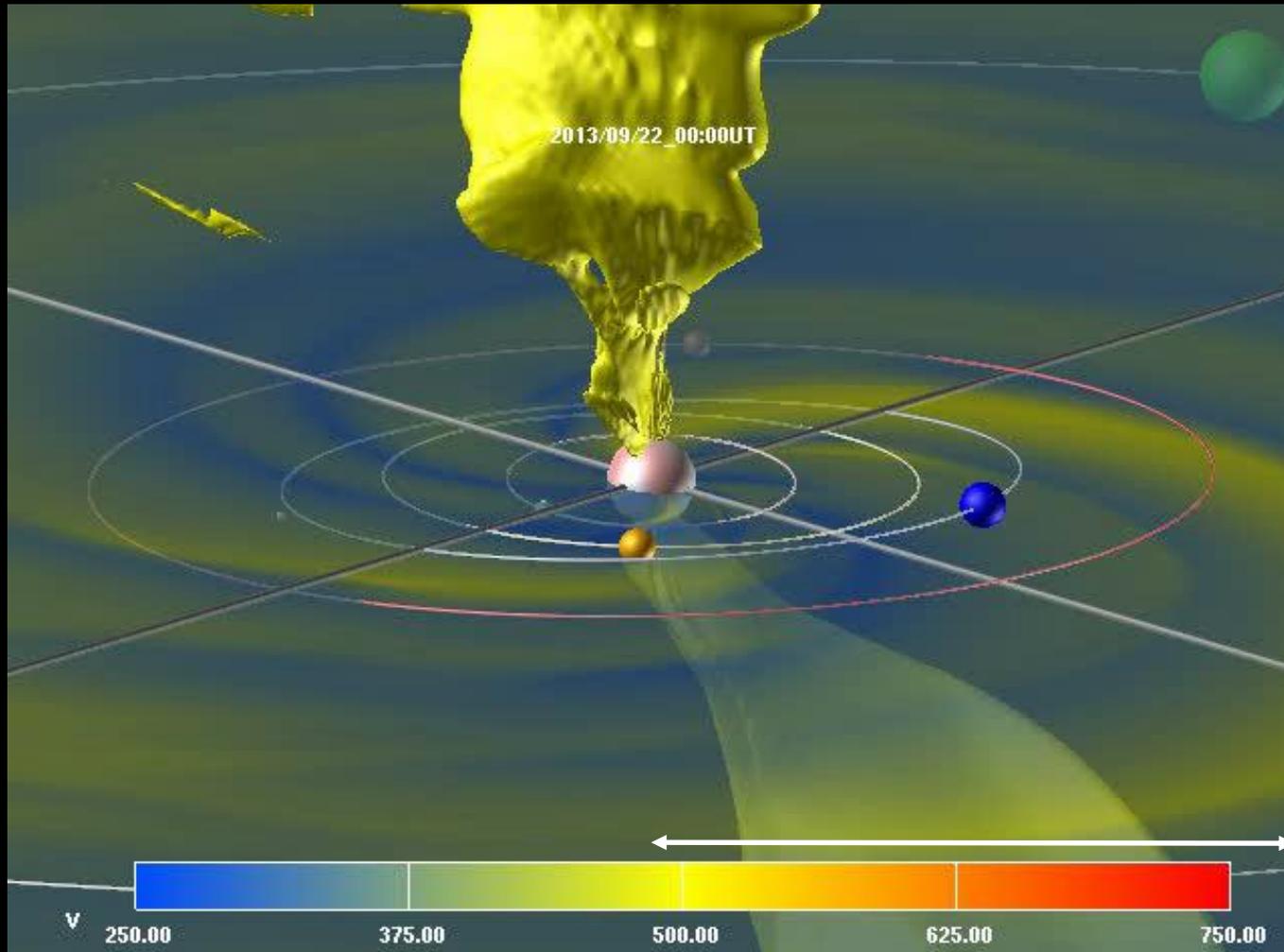
(Sakao+2007)

太陽風



NASA/ESA SOHO/LASCO コロナグラフ(人工的な日食)
明るさはガスの密度に比例。白丸の位置が太陽。

太陽風のシミュレーション



黄色で囲った領域：秒速500kmより速い速度でガスが流れる領域

太陽風の定点観測



REAL TIME SOLAR WIND

2018年8月23日から1週間

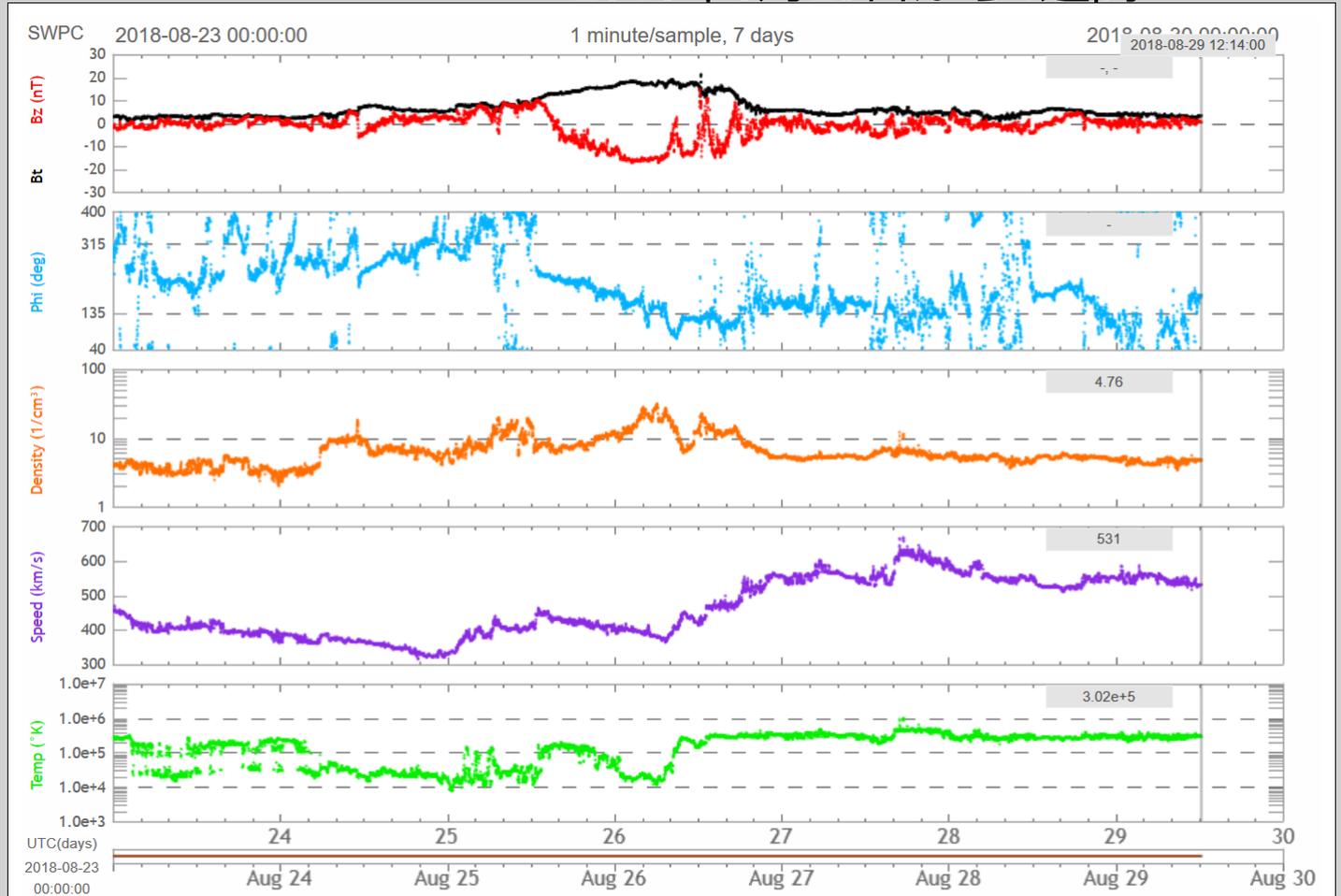
磁場
南北成分

磁場
方位角

密度

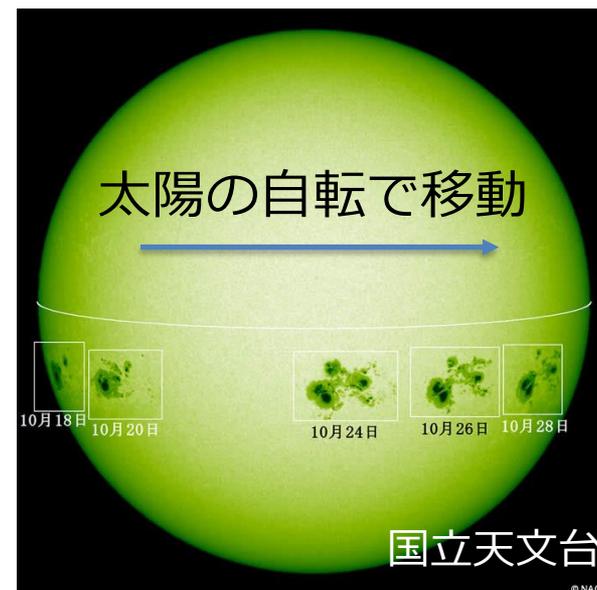
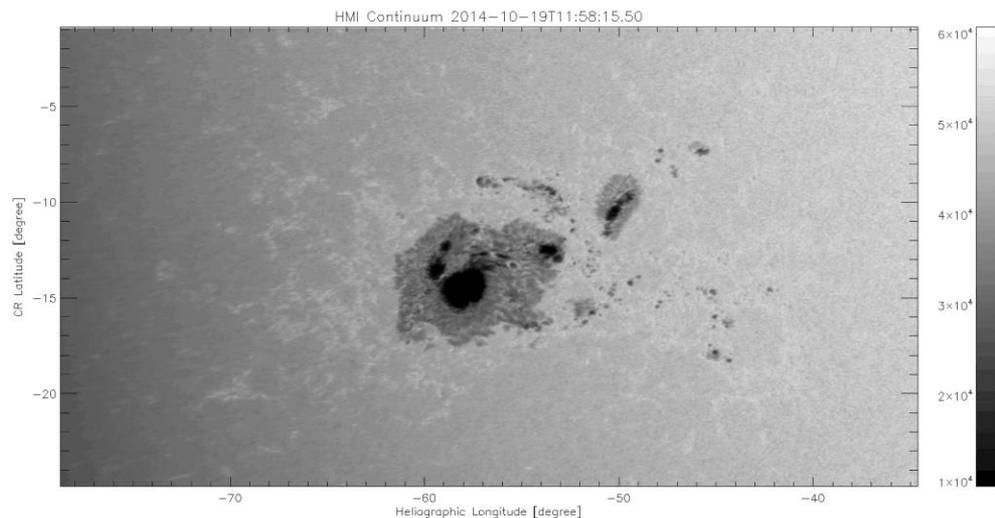
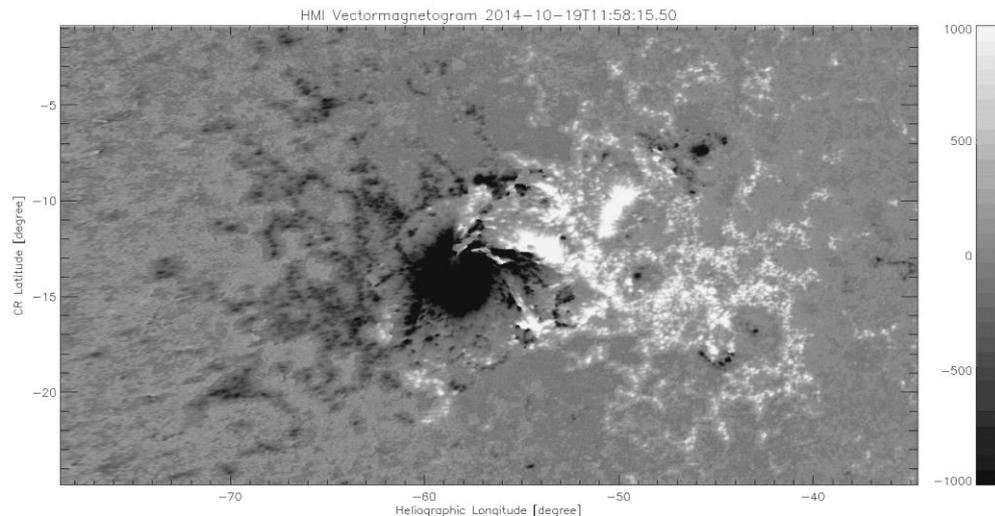
速度

温度



地球の前方150万kmの宇宙空間で計測された太陽風の変動

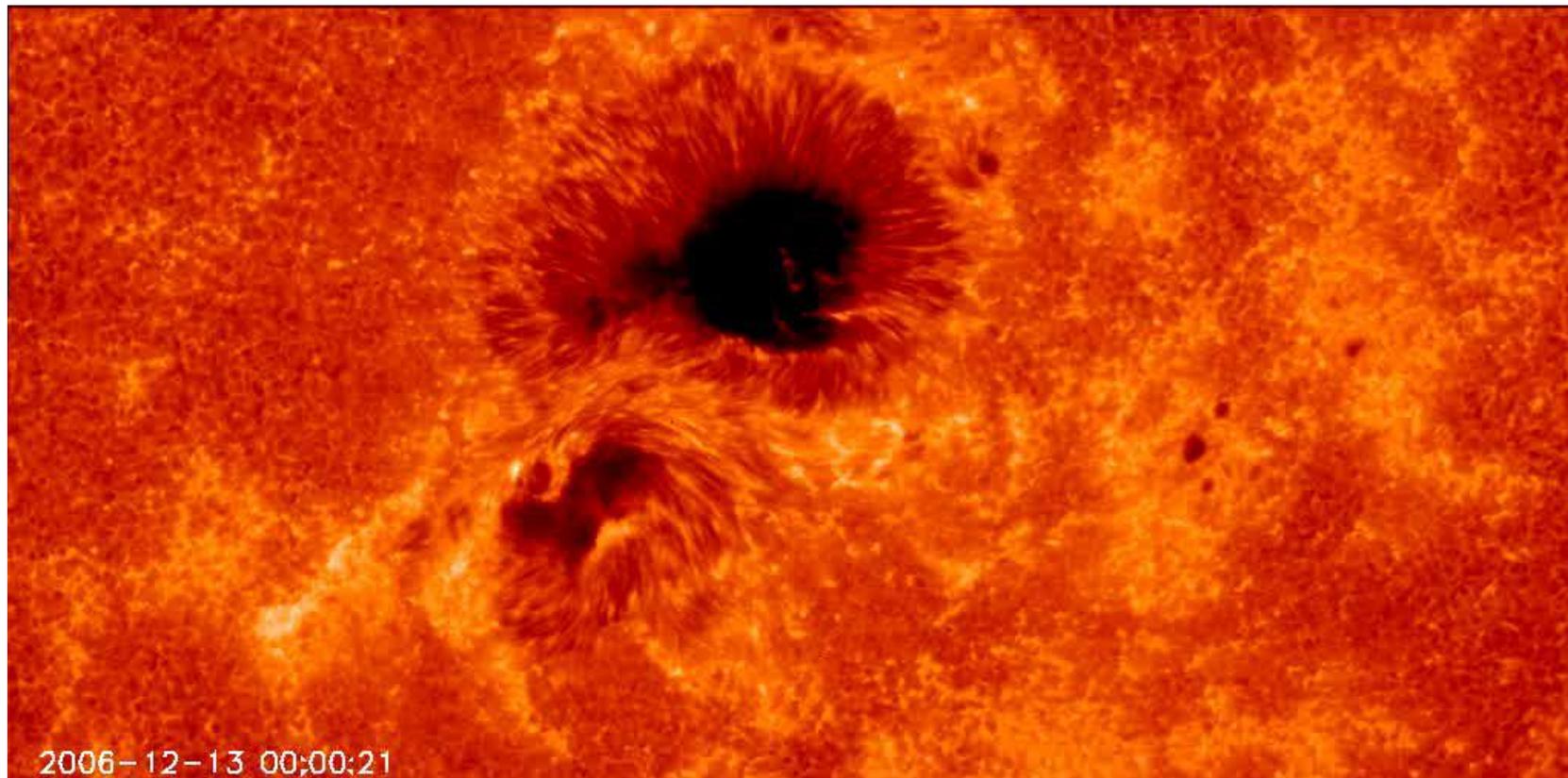
太陽の黒点・磁場は常に変化する



- 黒点群が自転によって左の端から右の端に移動する2週間の期間の黒点と磁場の変化
- 白：N極、黒：S極
- 黒点が現れる様子が見える。

太陽黒点と太陽面爆発（太陽フレア）

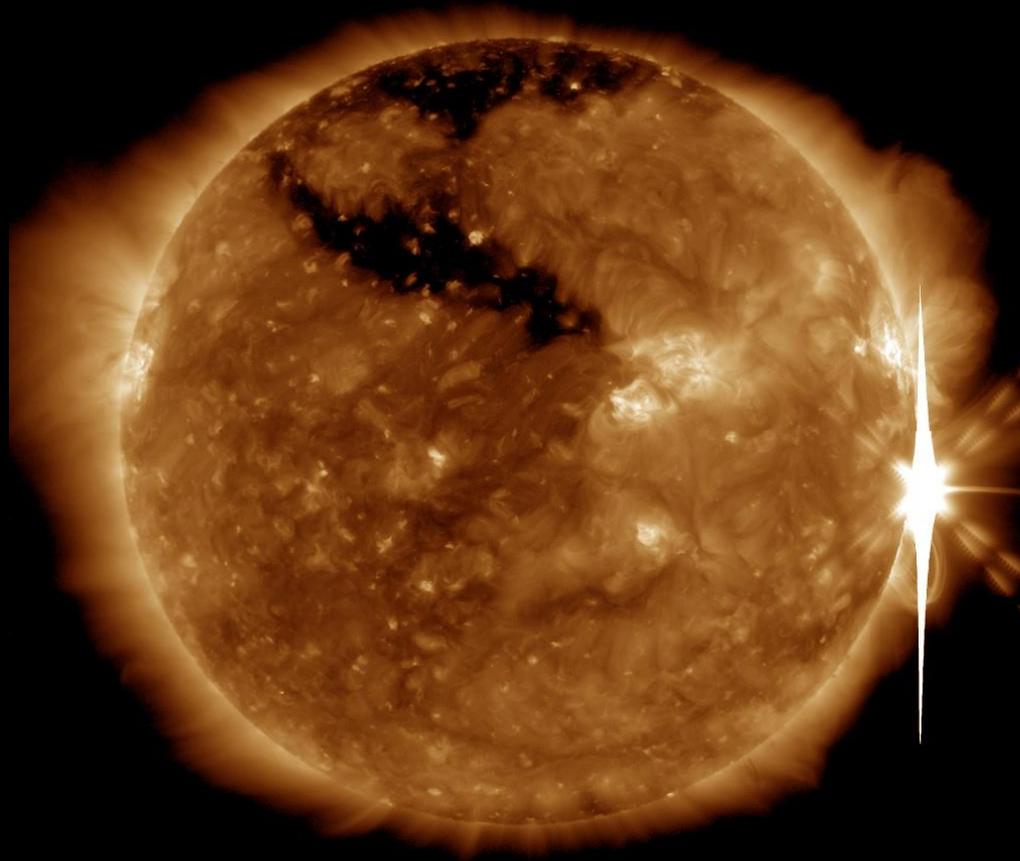
ひのでで観測した彩層の様子



国立天文台

磁力線のひずみがたまった領域で爆発現象「太陽フレア」が発生する。

2017年9月10日の太陽フレア



SDO/AIA 193 2017-09-10 16:11:05 UT

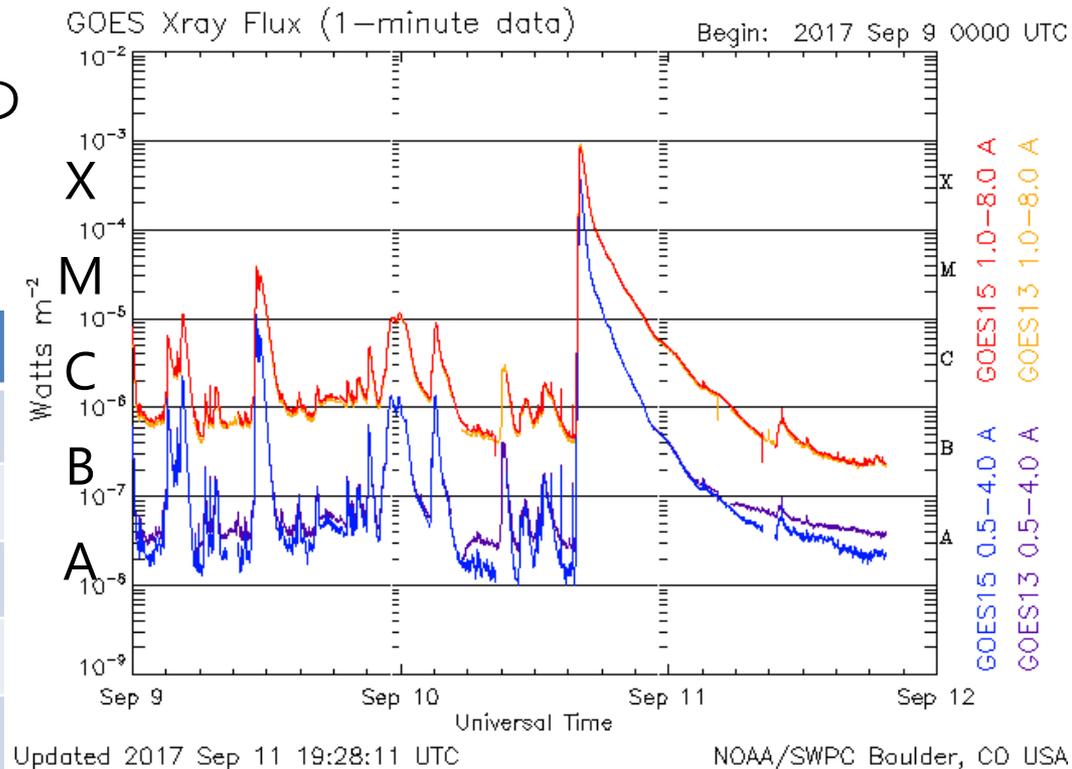
NASA/SDO (極端紫外線:波長19.3nm)

太陽フレア

X線、紫外線から電波までの広い波長域の電磁波の増光現象

太陽フレアの規模は、GOES衛星のX線（赤・黄のグラフ）のピーク値で決められる。

GOES衛星による太陽X線観測

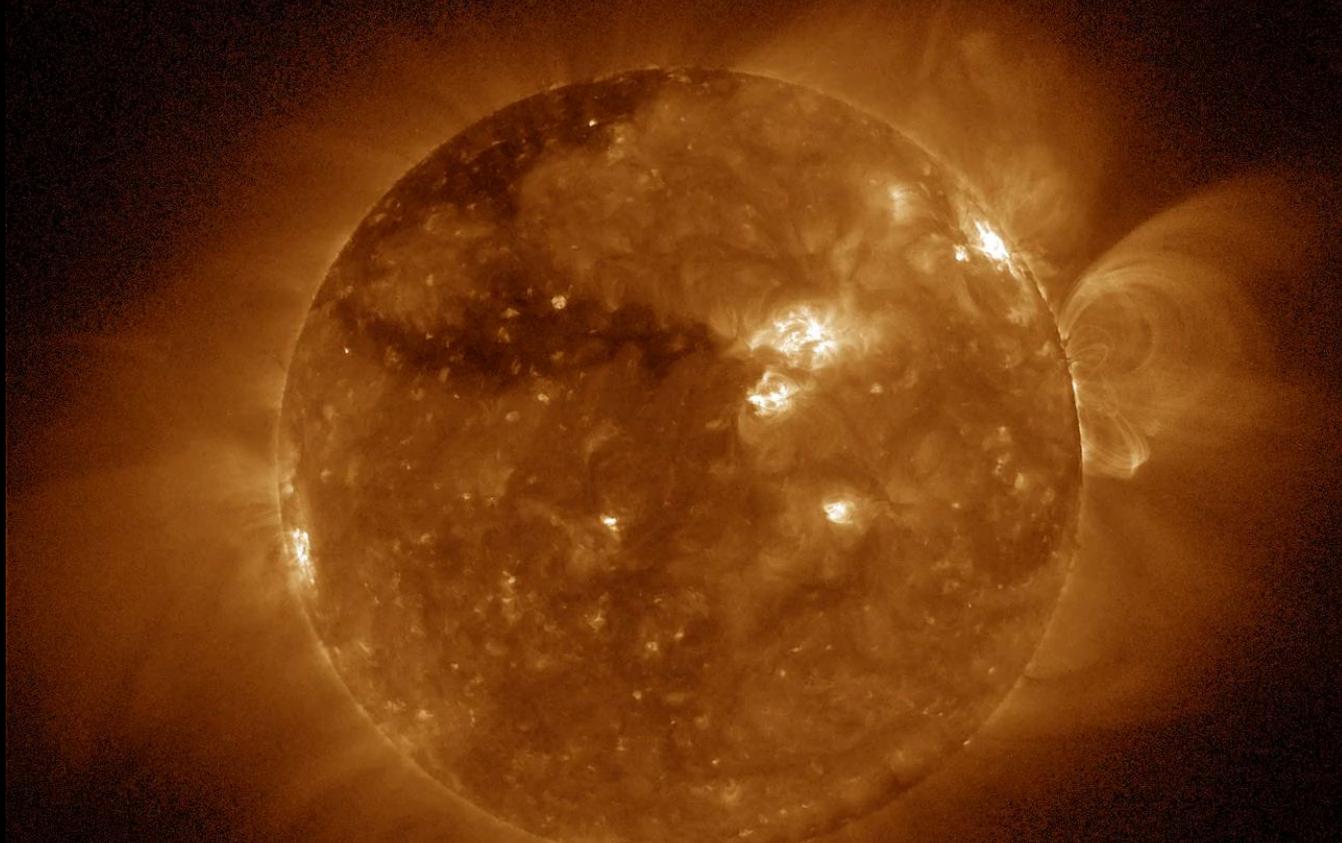


規模	X線強度[W/m ²]	フレア予報
X	$f \geq 10^{-4}$	非常に活発
M	$10^{-5} \leq f < 10^{-4}$	活発
C	$10^{-6} \leq f < 10^{-5}$	やや活発
B	$10^{-7} \leq f < 10^{-6}$	静穏
A	$10^{-8} \leq f < 10^{-7}$	静穏

<http://www.swpc.noaa.gov/>

X線・紫外線の増光 ⇒ 電離圏じょう乱（デリンジャー現象）

2017年9月10日のXクラスフレア

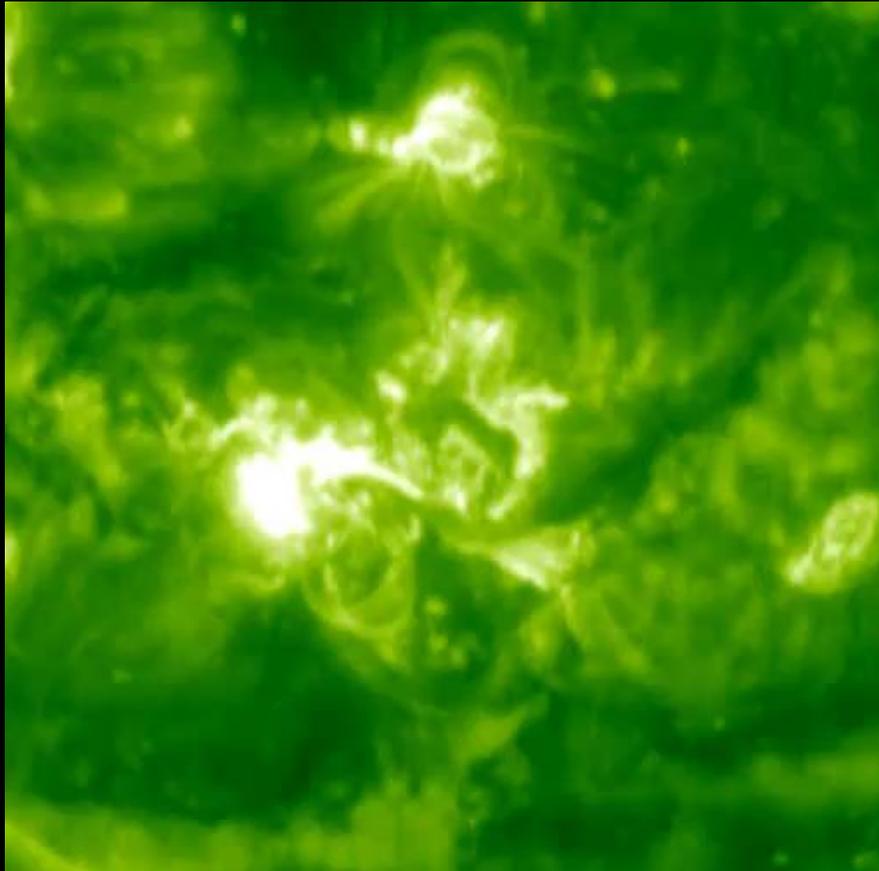


大規模な太陽フレアにともなって、コロナガスが太陽の外へ放出されるとき、これをコロナ質量放出という。

NOAA/GOES (極端紫外線:波長19.5nm, Seaton & Darnel 2018)

GOES-16/SUVI 195 Å 2017-09-10 15:01:14

コロナ質量放出と太陽高エネルギー粒子



SoHO (NASA/ESA)

緑：極端紫外線（波長：19.5nm）

赤：コロナグラフ (SOHO/LASCO C2)

青：コロナグラフ (SOHO/LASCO C3)

泡のように見える構造：
放出されたコロナガス
= コロナ質量放出

画面に現れる粒：
太陽高エネルギー粒子（放射線）
によってCCDカメラに生じたノイズ

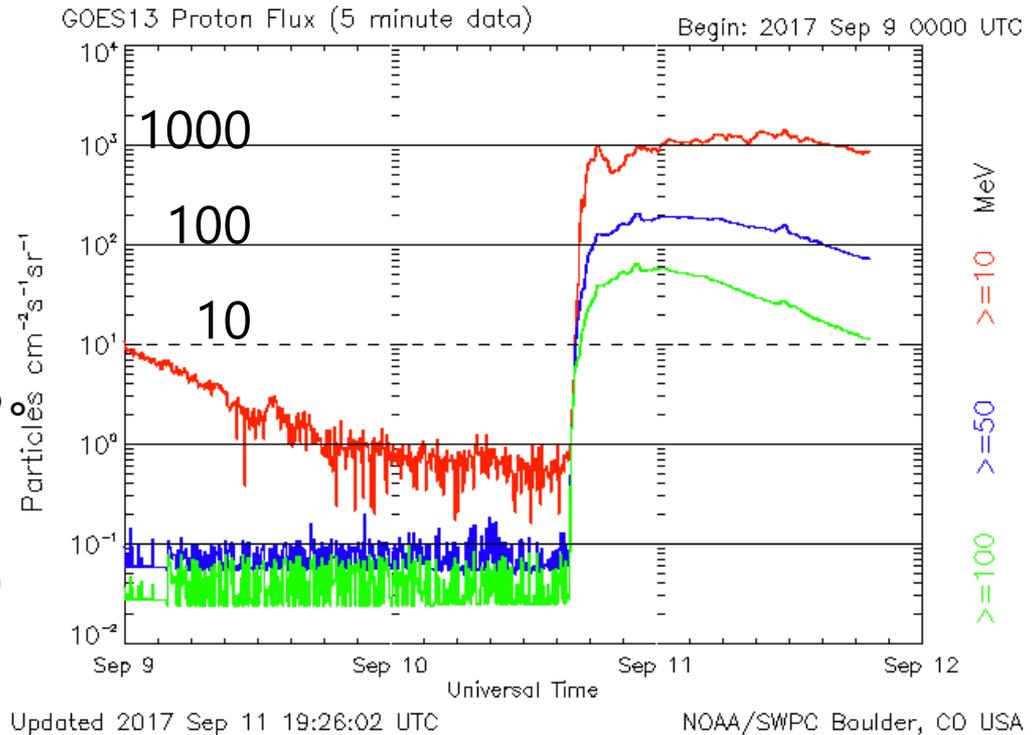
太陽高エネルギー粒子(放射線)

太陽高エネルギー粒子：

主成分はプロトン(陽子)と電子。
コロナガスの荷電粒子(電離した水素=プロトン(陽子)と電子)の一部が、非常に高いエネルギーまで加速されたもの。

静止軌道の高エネルギープロトン、GOES衛星によって監視されているあるエネルギー帯(10 MeV以上)のプロトンの量(赤いグラフ)が、破線のレベル(10個 $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1} \text{sr}^{-1}$)より高くなった時、**プロトン現象**発生情報を発信している。

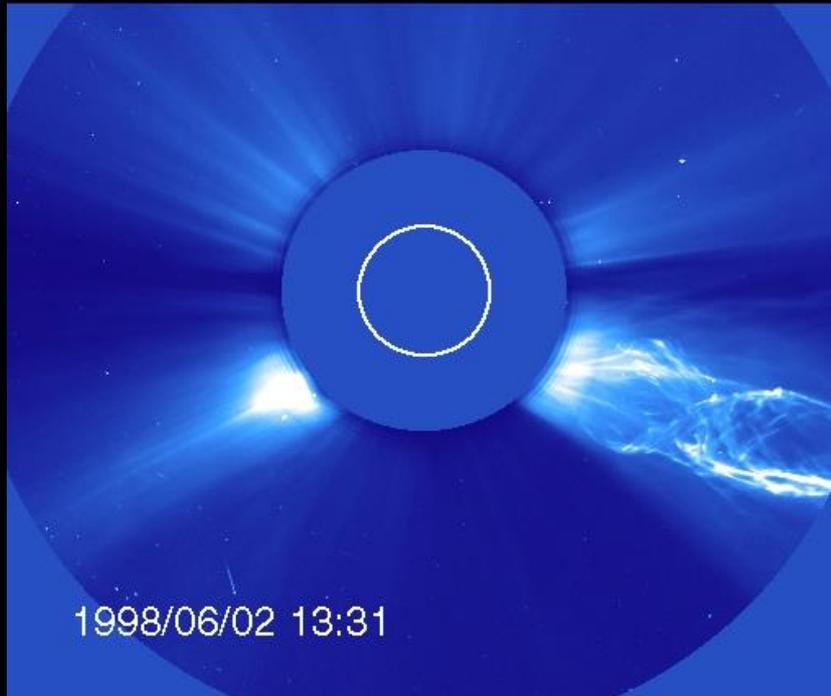
GOES衛星による高エネルギープロトン観測



<http://www.swpc.noaa.gov/>

高エネルギープロトンの増加 ⇒ { 宇宙飛行士被ばく
短波通信途絶
衛星誤作動

コロナ質量放出の磁場



SOHO/LASCO

<https://soho.nascom.nasa.gov/>

コロナ質量放出：

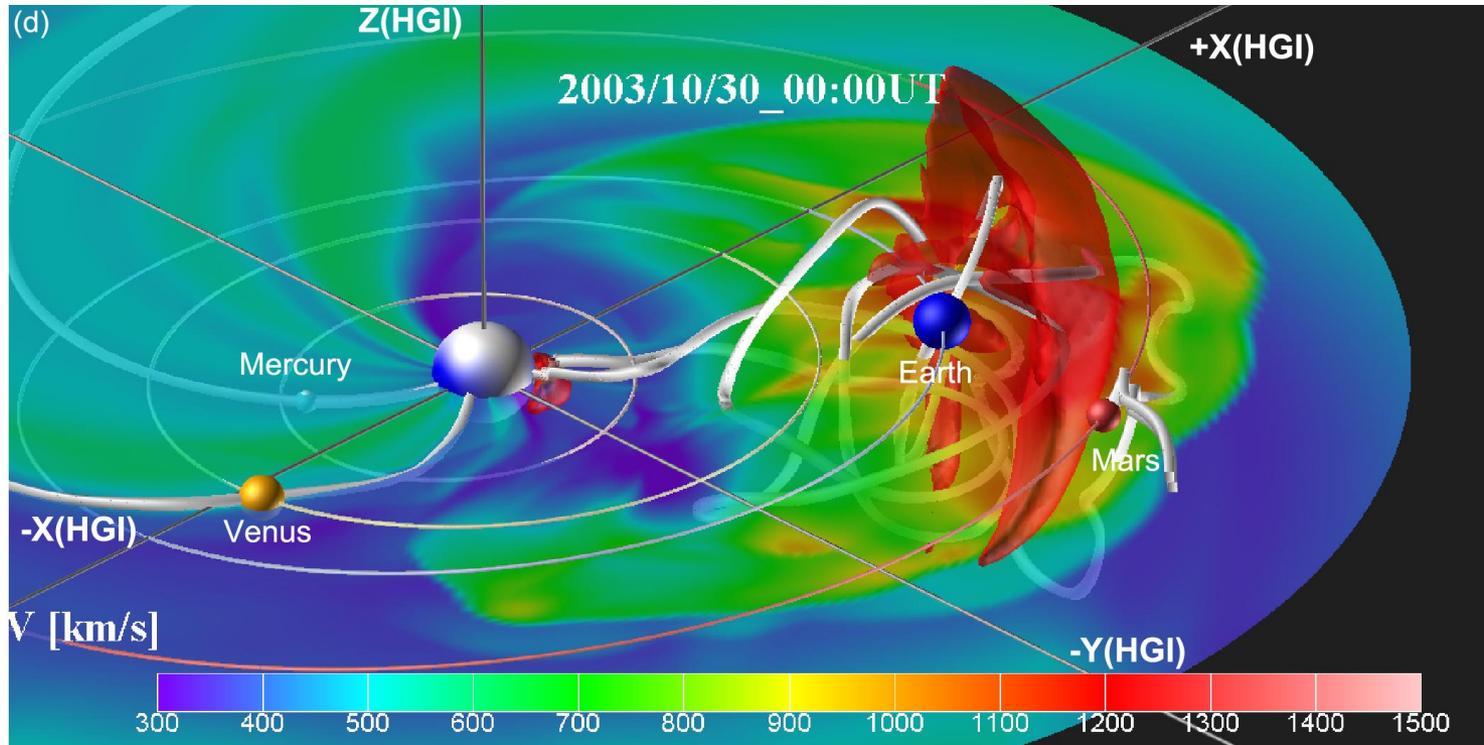
内部にらせん構造を持つものも観測される。

らせん構造 = ねじれた磁束管

→ コロナガスが磁場とともに放出される現象。

コロナ質量放出が地球に到来するとき、強い南向きの磁場を持って通過すると、**磁気圏・電離圏**に大きなじょう乱を及ぼす。

コロナ質量放出のシミュレーション



(Shiota & Kataoka 2016)

球：惑星
水色：水星
橙：金星
青：地球
赤：火星
緑：木星
チューブ：
磁力線

赤色で囲った領域：秒速1200kmより速い速度でガスが流れる領域

コロナ質量放出がどれくらいの強さのどの向きの磁場をもって地球を通過するかを予測するためのシステム開発を進めている。

まとめ

- 太陽からは以下の3種類の現象が地球に到来する。
 - 電磁波
 - 高エネルギー粒子
 - 電気を帯びたガス（太陽風とコロナ質量放出）
- それぞれが異なる過程を経て、宇宙天気じょう乱を引き起こし、社会に影響を及ぼす。
- 情報通信研究機構では、これら太陽から現象のすべてを監視し、警戒する体制を整えている。

ご清聴ありがとうございました。