

理系大学生のための  
太陽研究最前線体験ツアー  
2013年8月6～9日

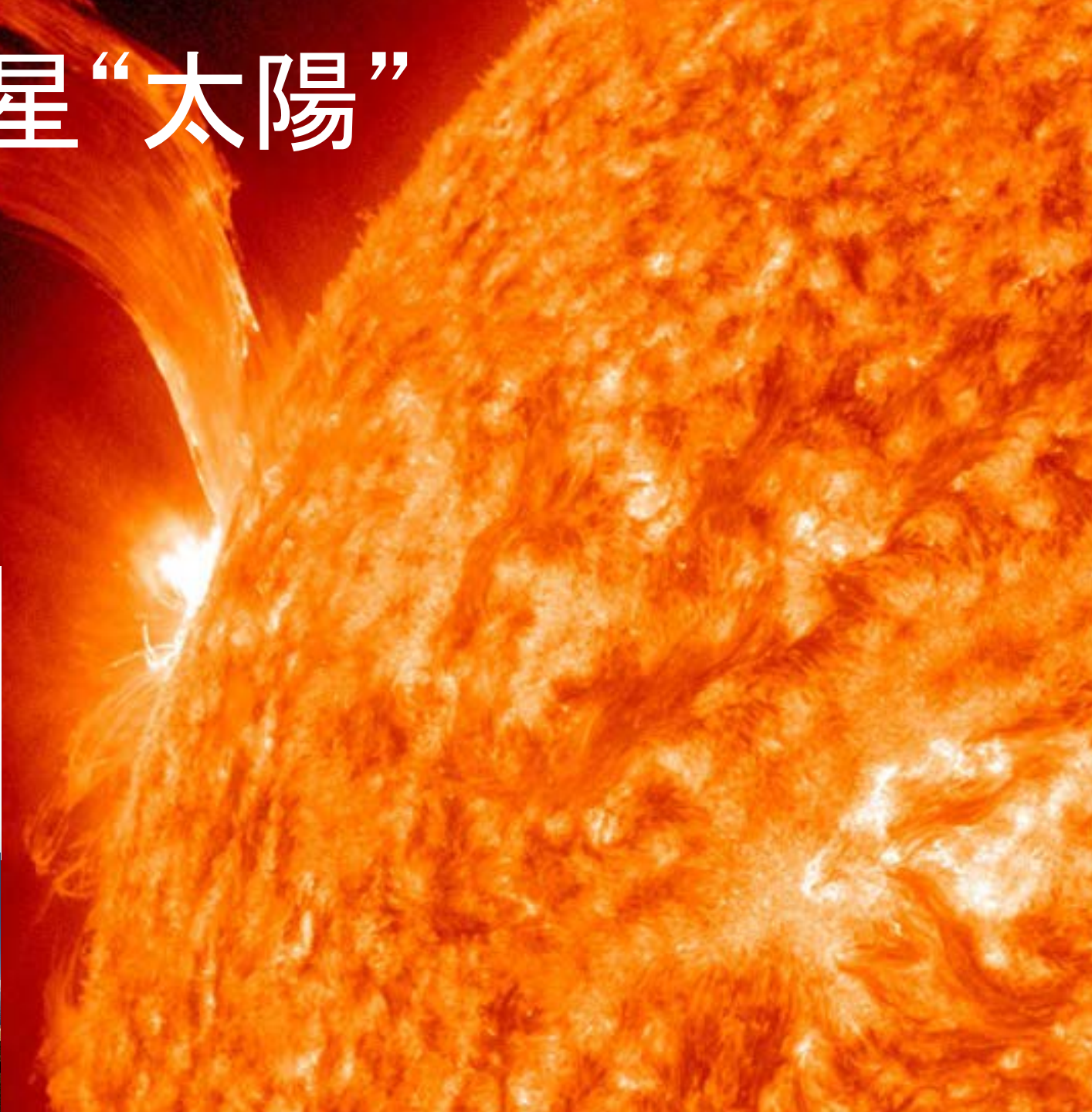
# 太陽物理学入門

草野 完也

名古屋大学太陽地球環境研究所

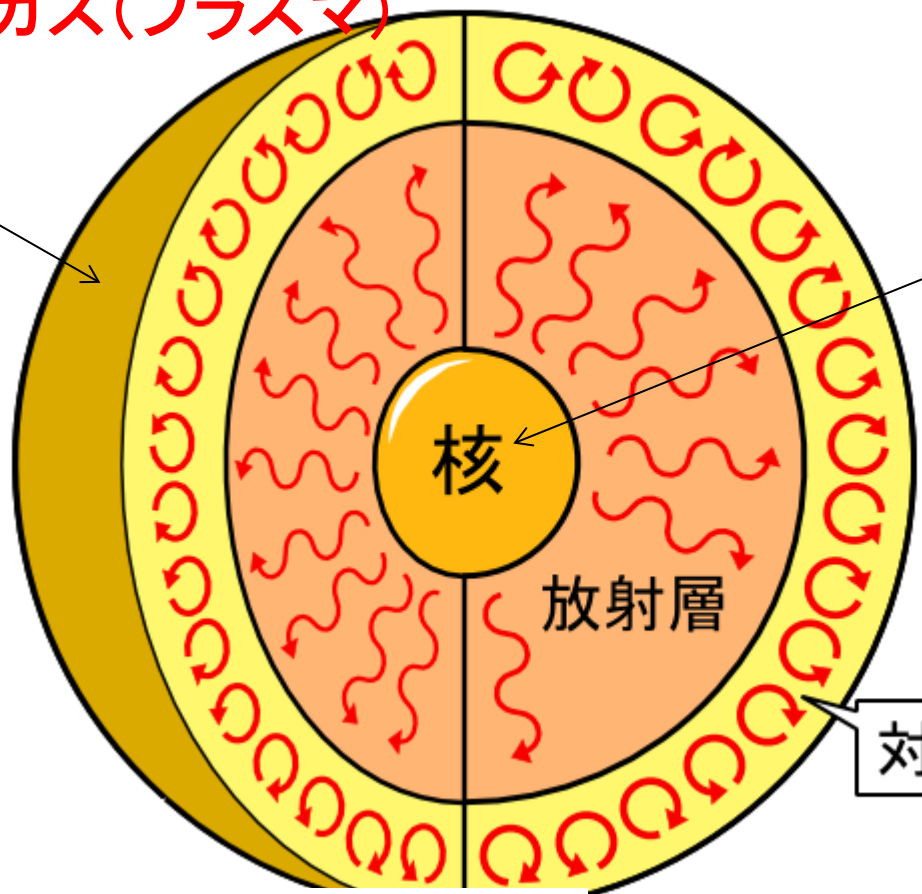


# 母なる星“太陽”



# 太陽の構造とエネルギー

水素(70%)、ヘリウム(30%)と僅かの重元素からなる  
高温ガス(プラズマ)



表面  
6千度

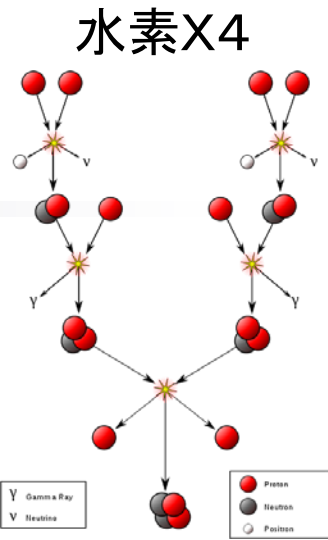
中心  
1千万度

核

放射層

対流層

1,392,000 km



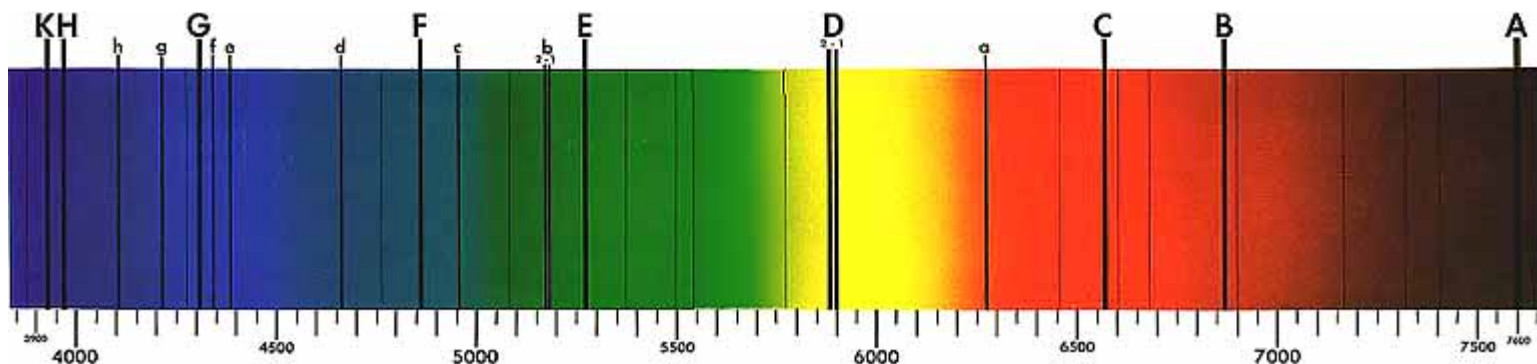
光のエネルギー

地球軌道上の放射  
約1366W/m<sup>2</sup>

太陽の全出力  
 $P = \text{太陽定数} \times 4\pi (1\text{AU})^2$   
 $= 4 \times 10^{26} \text{ W}$

太陽は1秒間に全人類が1年  
間に消費するエネルギーの  
100万倍を出力

# フラウンホーファー線



ヨゼフ・フォン・フラウンホーファー  
(1787年3月6日 - 1826年6月7日)

ドイツの物理学  
者ヨゼフ・フォン・フ  
ラウンホーファーに  
よって見出された  
太陽光可視光スペ  
クトルの暗線

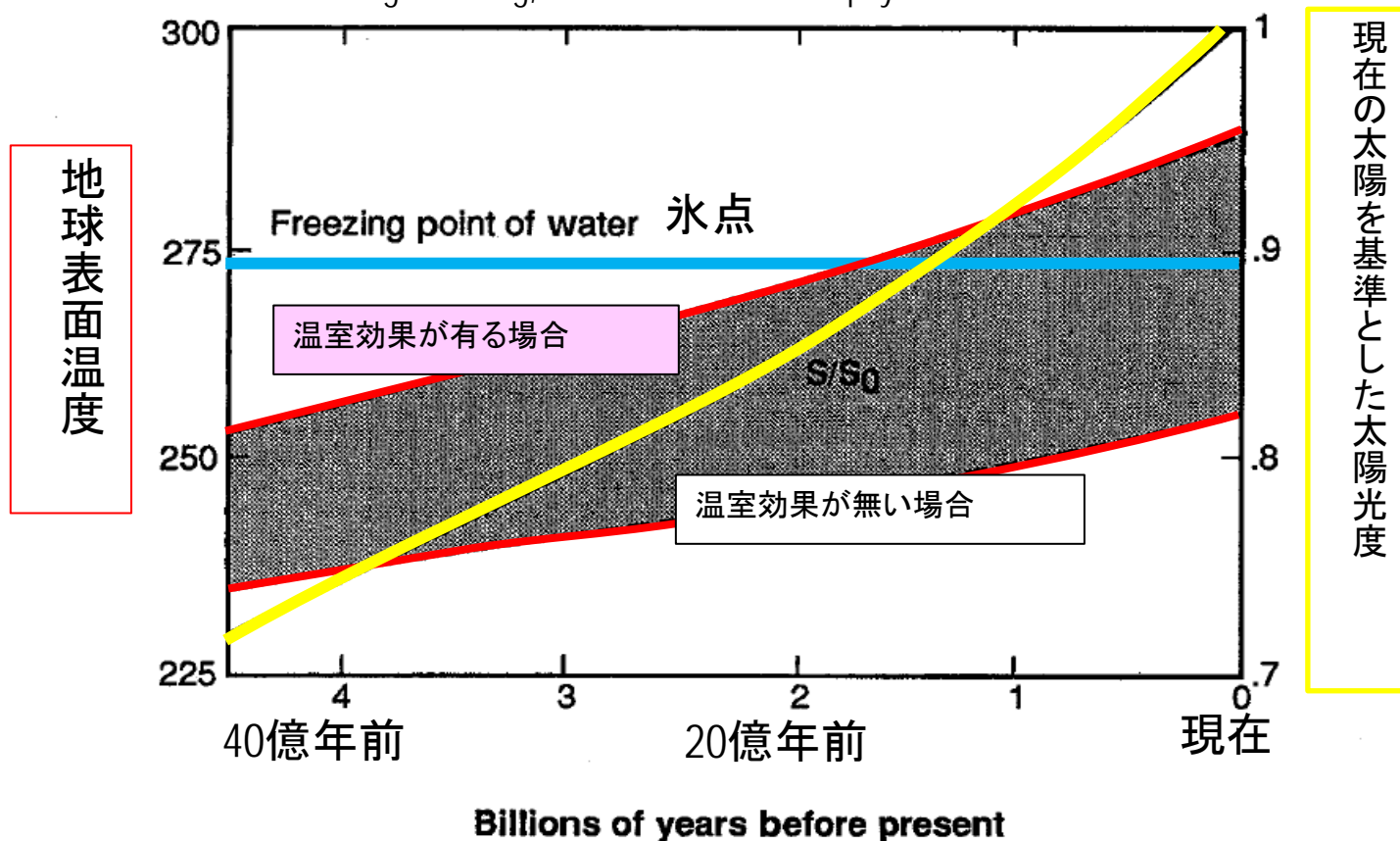
A線	O <sub>2</sub>	759.370 nm
B線	O <sub>2</sub>	686.719
C線	H $\alpha$	656.281
D <sub>1</sub> 線	Na	589.594
D <sub>2</sub> 線	Na	588.997
D <sub>3</sub> 線	He	587.565
E <sub>2</sub> 線	Fe	527.039
F線	H $\beta$	486.134
G線	Fe	430.790
H線	Ca+	396.847
K線	Ca+	393.368

# 「暗い初期太陽」の謎

核融合：粒子数が減る（水素4個→ヘリウム1個）

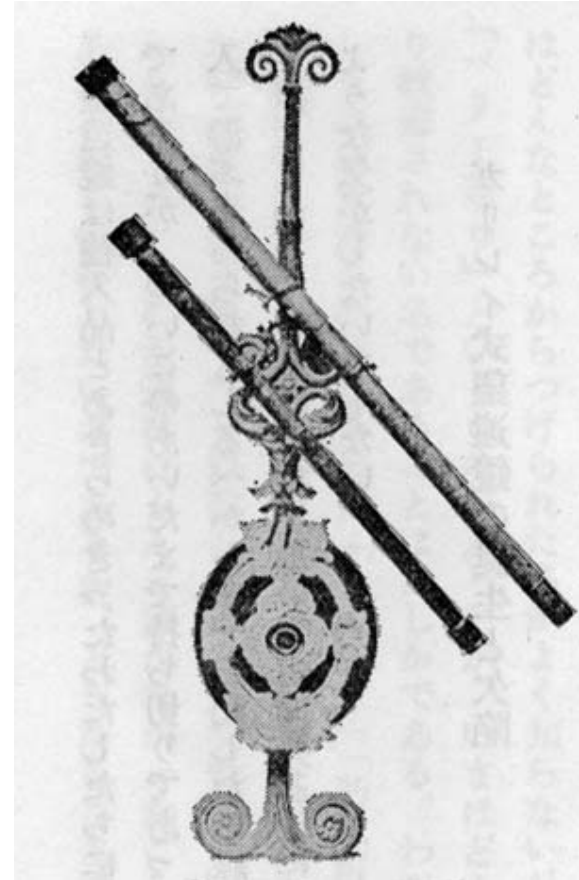
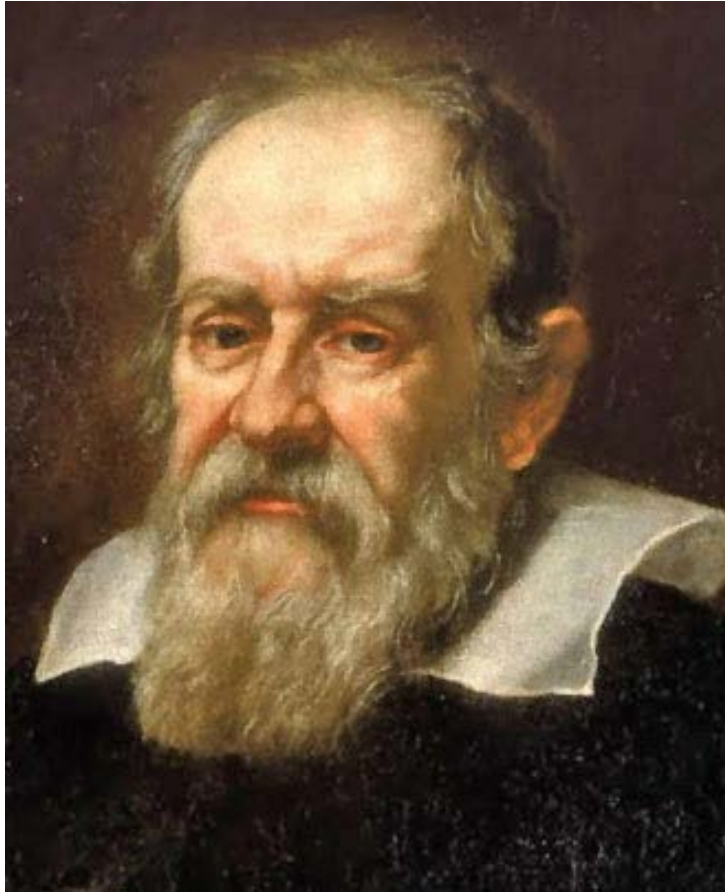
→収縮→温度上昇→反応増加→光度増加

Kasting & Catling, Annu Rev Astron Astrophys 2003



# 科学としての太陽観測

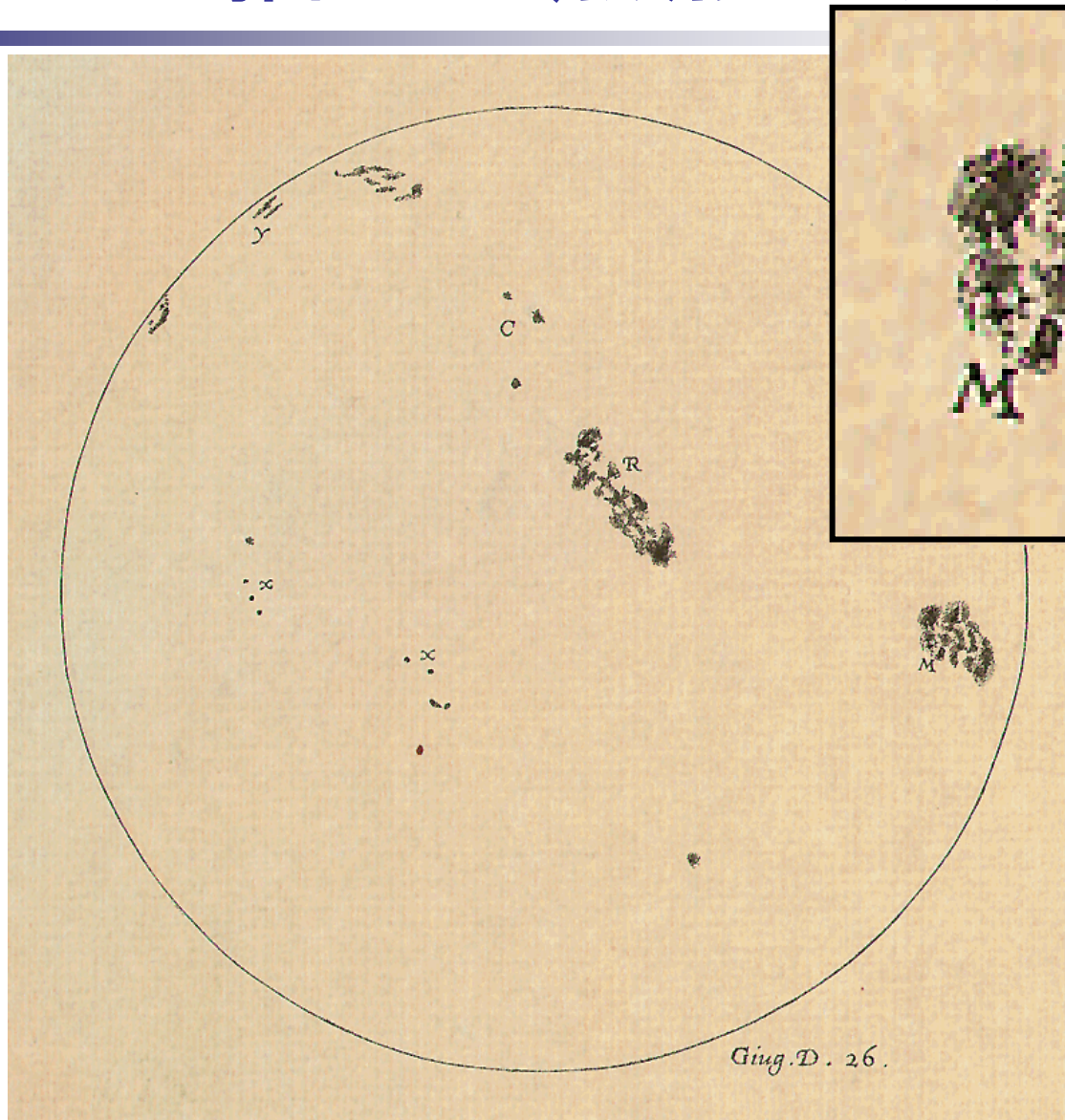
## ■ ガリレオ・ガリレイ 1564~1642



1610年 「星界の報告」

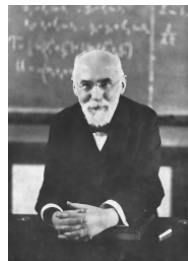
1611年 「木星の4衛星の観測記録」

# ガリレオが描いた黒点スケッチ

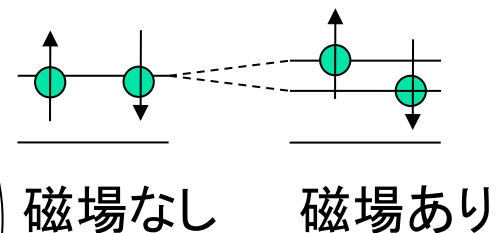
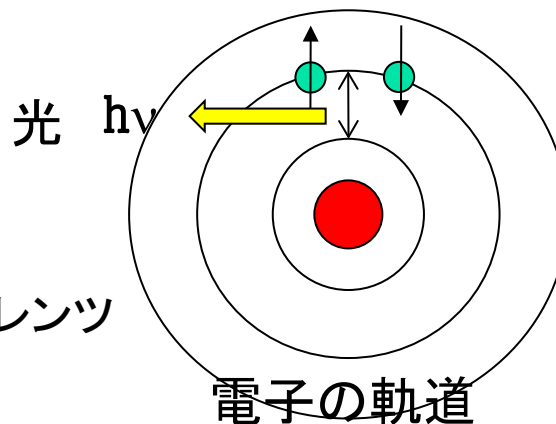


1613年6月～7月

# ゼーマン効果による磁場測定



ピーター・ゼーマン ヘンドリック・ローレンツ  
1902年ノーベル物理学賞



白熱電球  
(連続スペクトル)



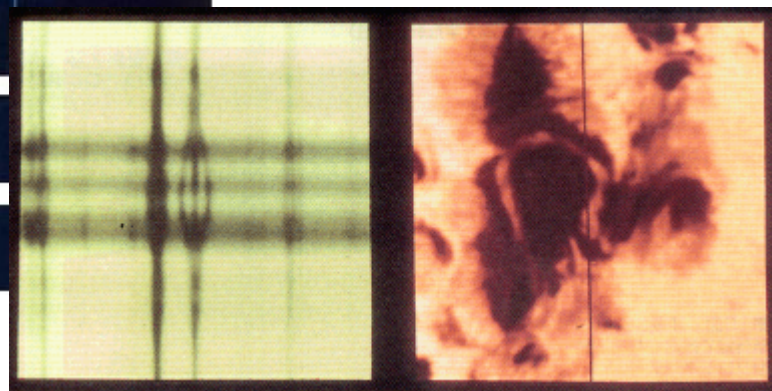
ネオン  
(線スペクトル)



水素



ナトリウム

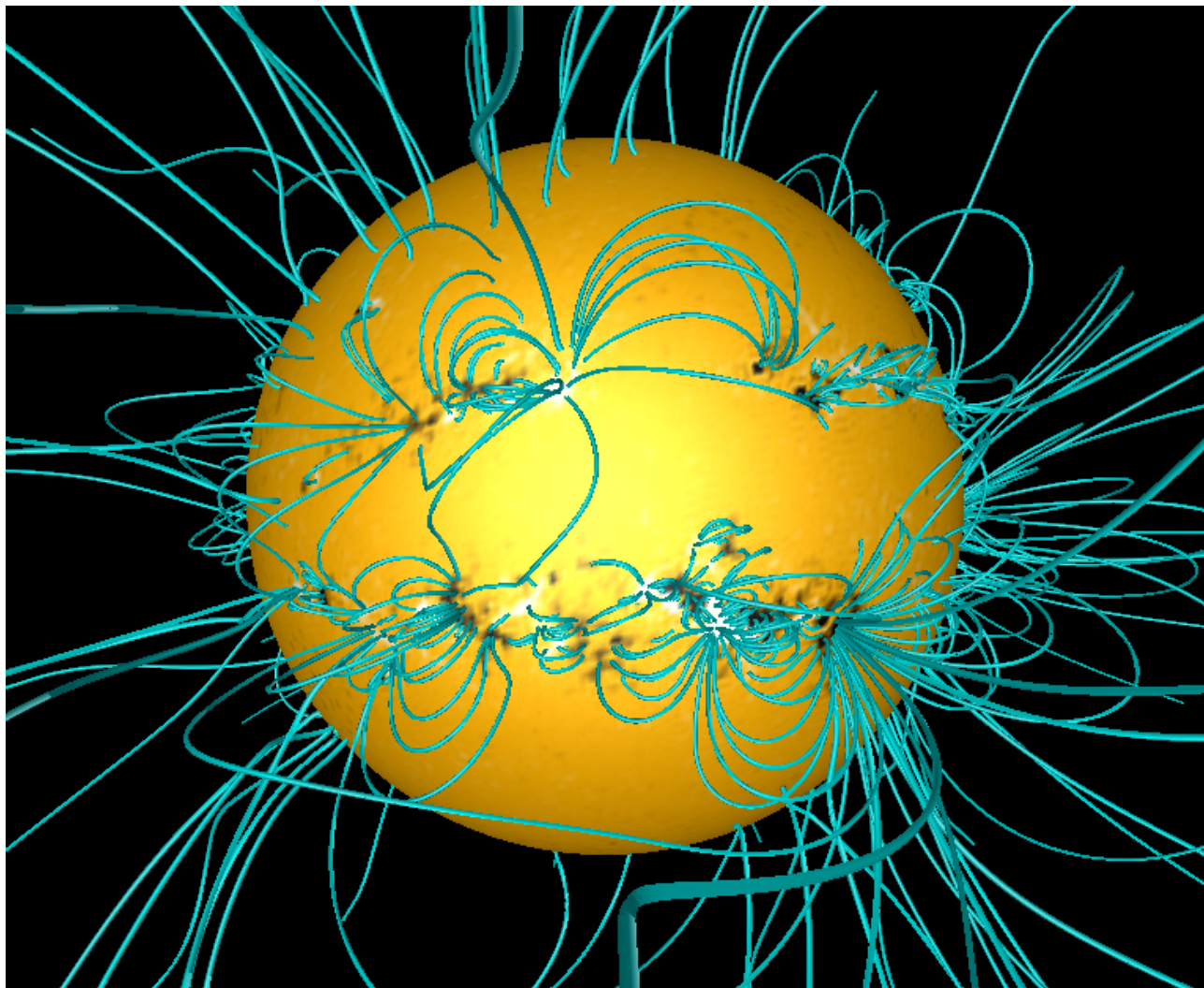


黒点は強磁場領域

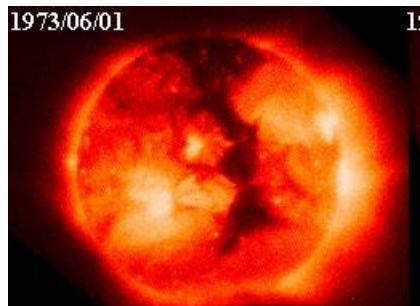


# 太陽コロナ磁場

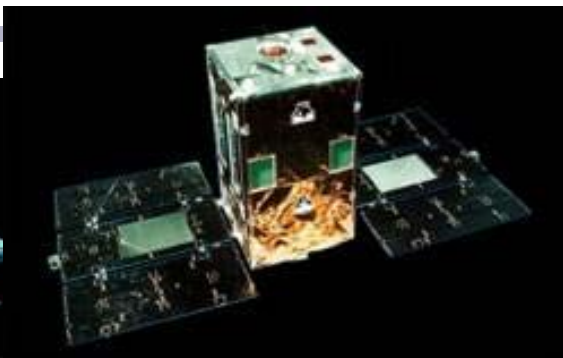
---



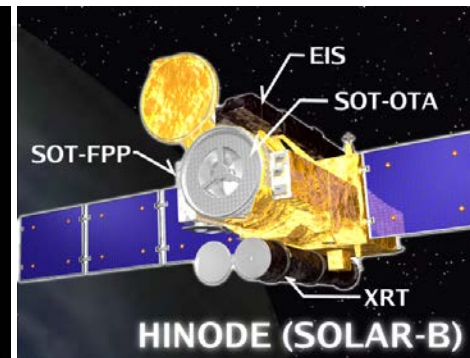
# 現代の太陽観測衛星



ひのとり 日 1981~1991



ようこう 日 1991~2004



ひので 日 2006~



スカイラブ 米 1973~1979



SMM(Solar Maximum Mission) 米 1980~1989



SOHO 米欧 1995~



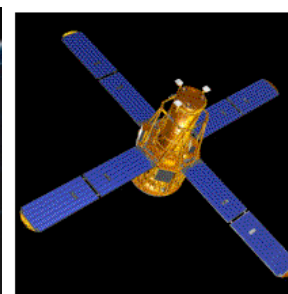
SDO 米 2010~

## 衛星観測のメリット

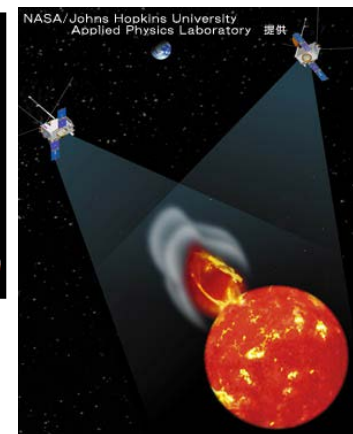
- 可視光以外(X線、紫外線など)による観測
- 地球に制約されない観測
- 大気の揺らぎの無い観測



TRACE 米 1998~

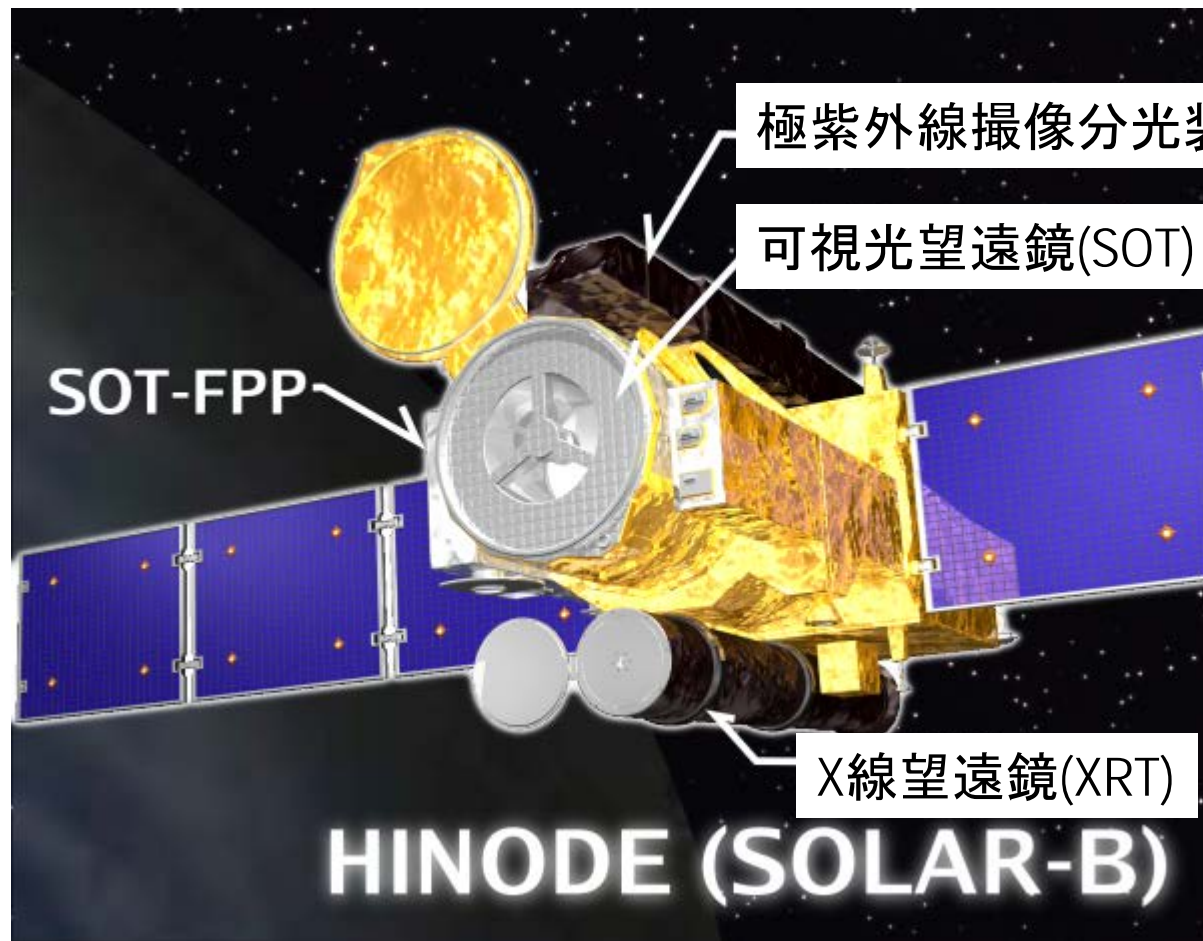
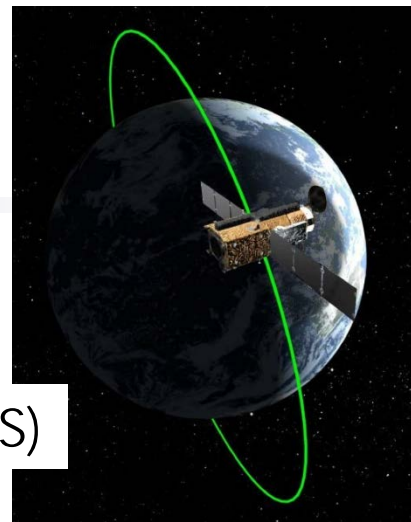


RHESSI 米 2002~



STEREO 米 2006~

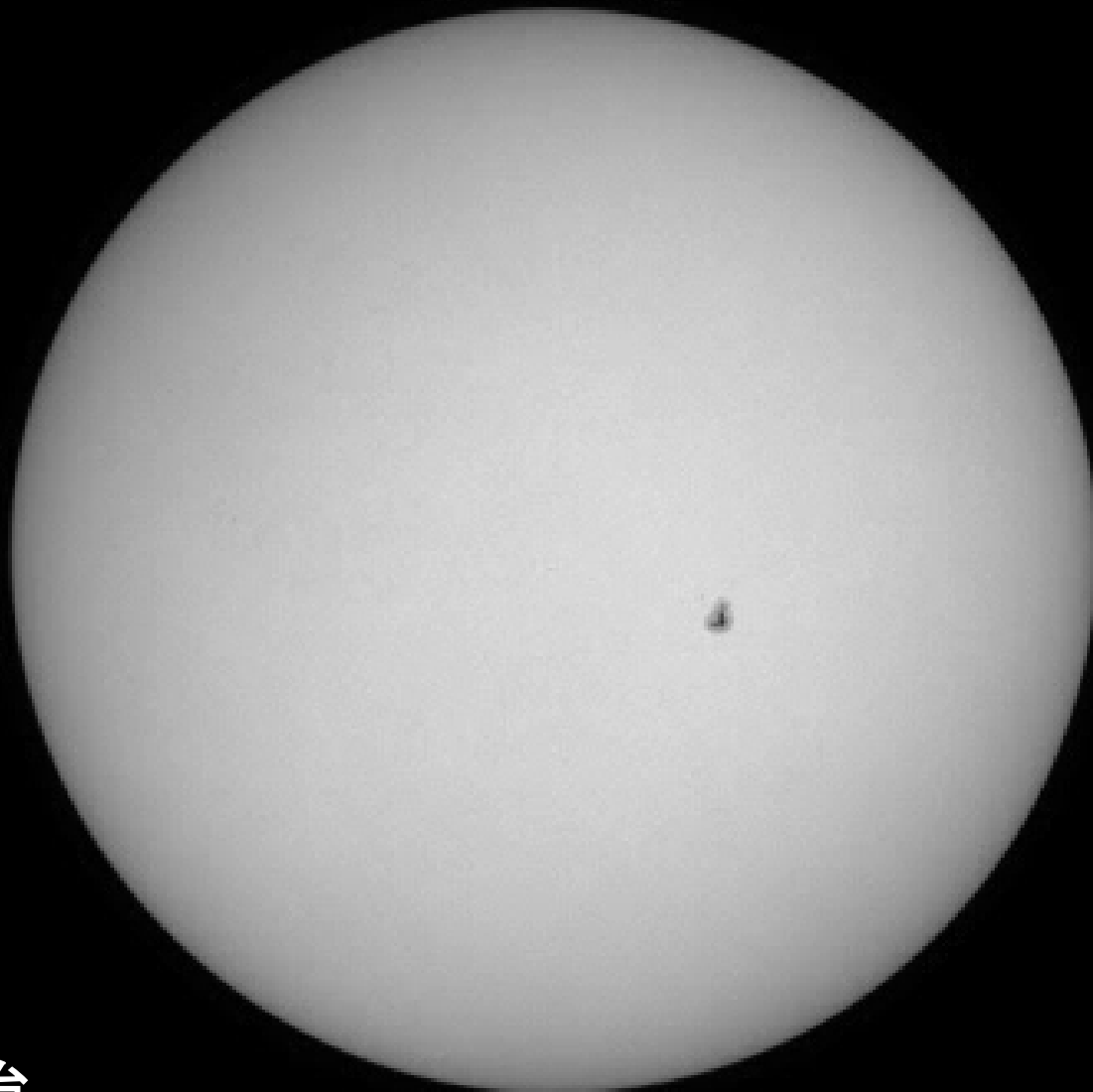
# 太陽観測衛星「ひので」



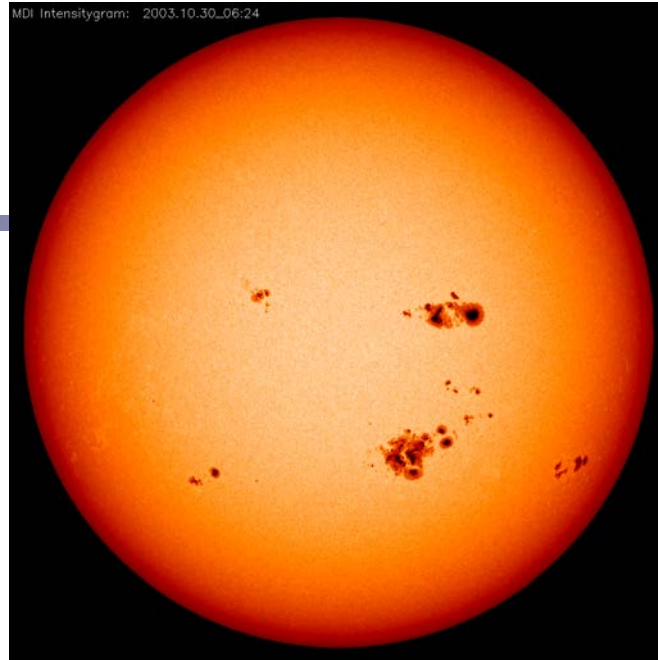
ひので科学センター(国立天文台)

ひので科学センター@名古屋 (名古屋大学太陽地球環境研究所)

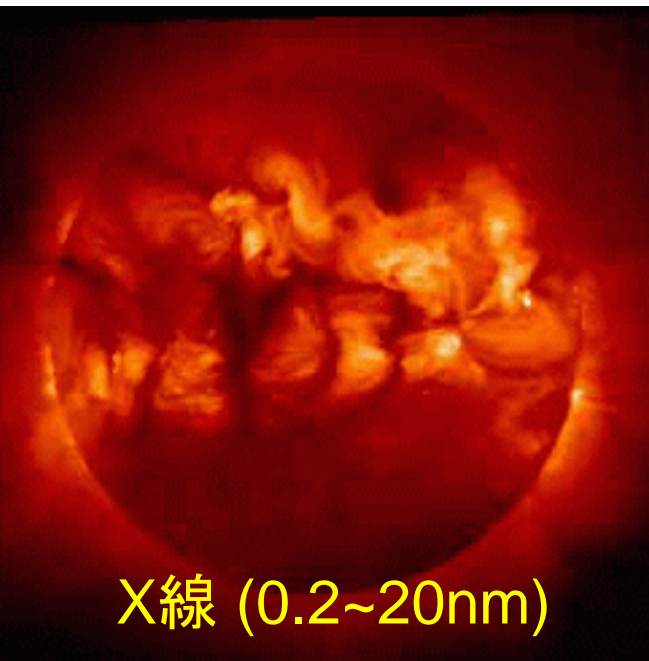
# 最新の太陽観測 ひので衛星



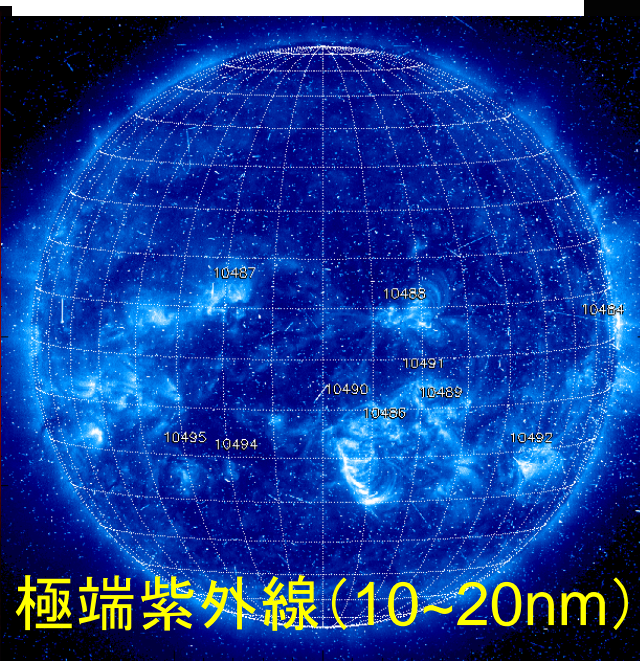
国立天文台  
岡本文典氏提供



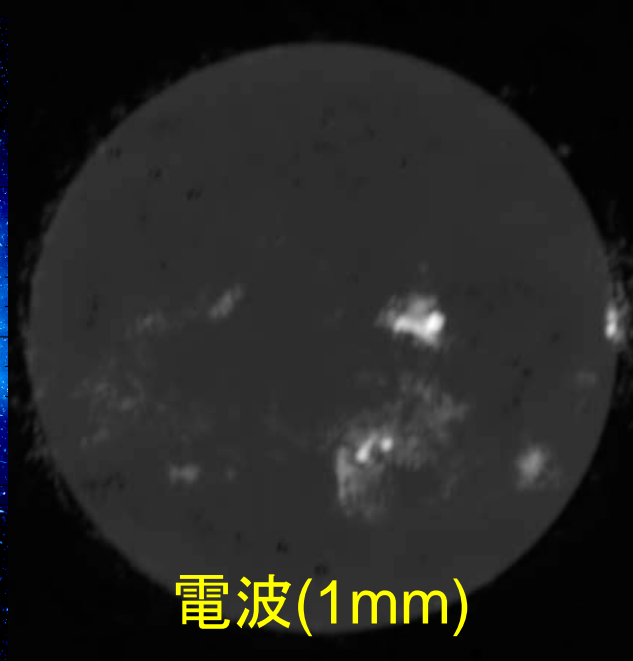
可視連続光(400~700nm)



X線 (0.2~20nm)



極端紫外線(10~20nm)



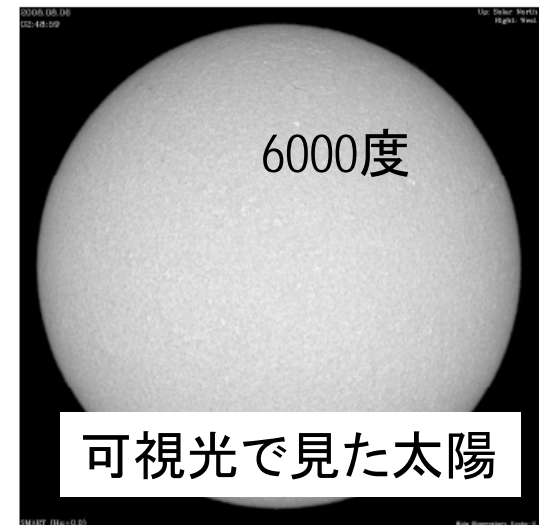
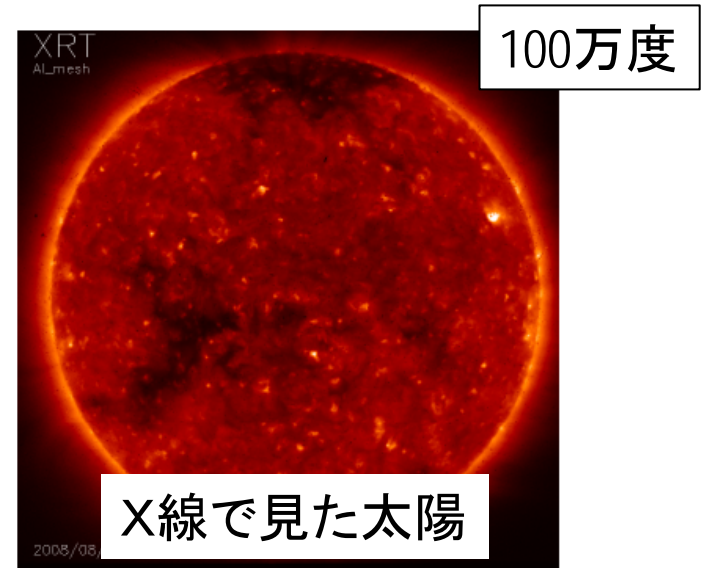
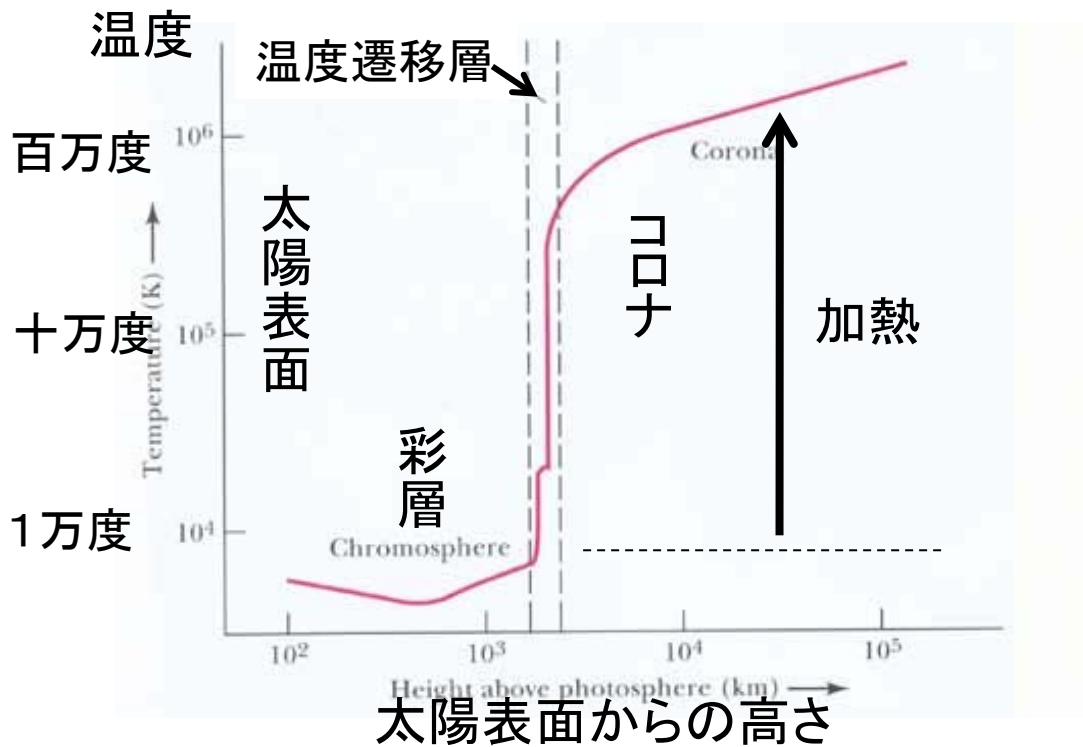
電波(1mm)

# 太陽コロナの謎

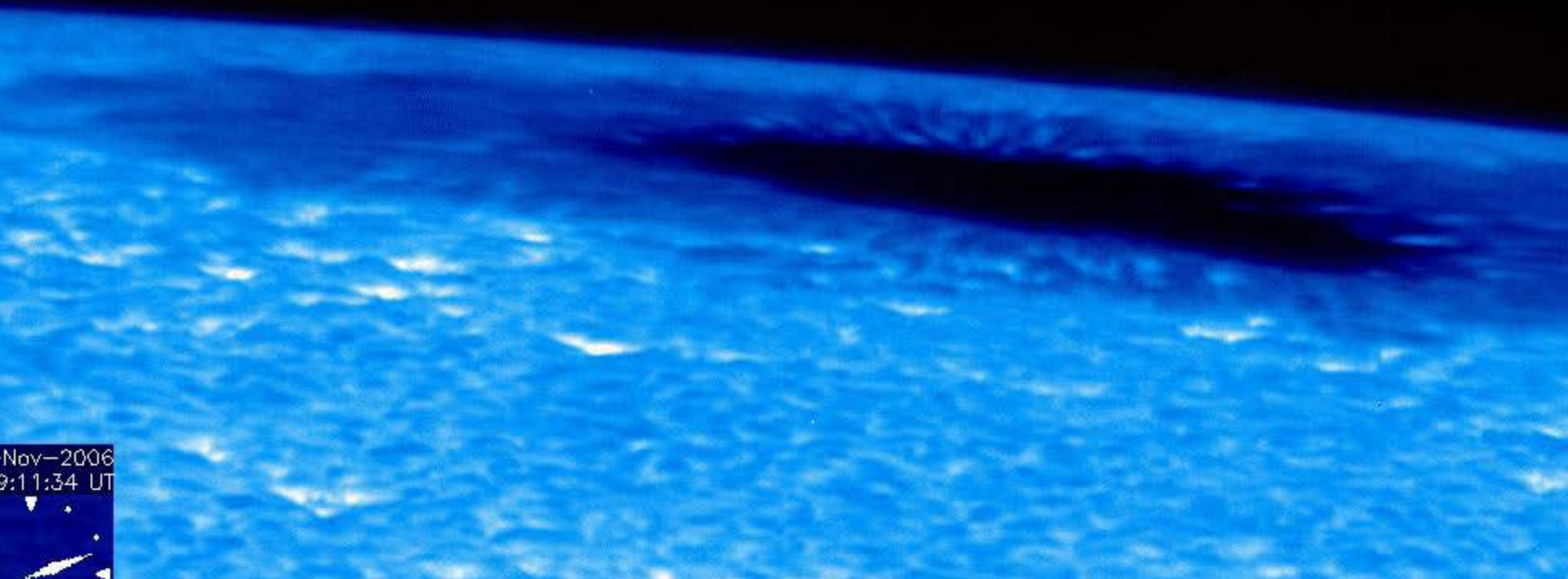
太陽表面温度は6千度程であるにも関わらず、太陽  
コロナの温度は100万度

# 太陽コロナの謎

## ■ 100万度のプラズマ



# ひので衛星が観測した黒点上層のプラズマ活動



Nov-2006  
9:11:34 UT



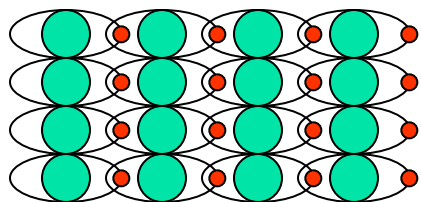


# プラズマとは何か？

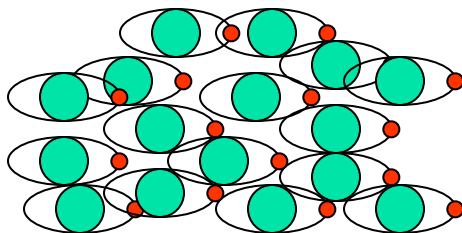
## ■ Three phases

相転移 (phase transition)

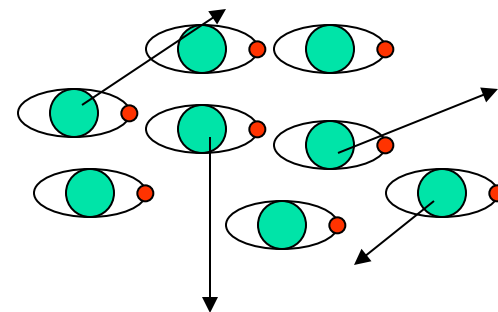
固体(solid)



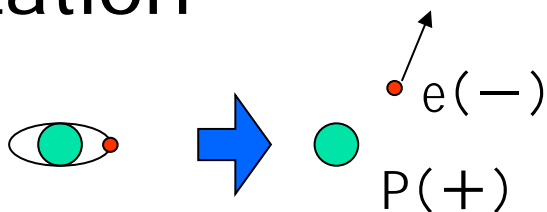
液体(liquid)



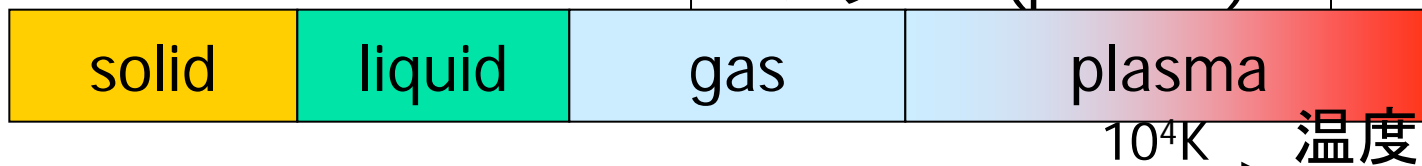
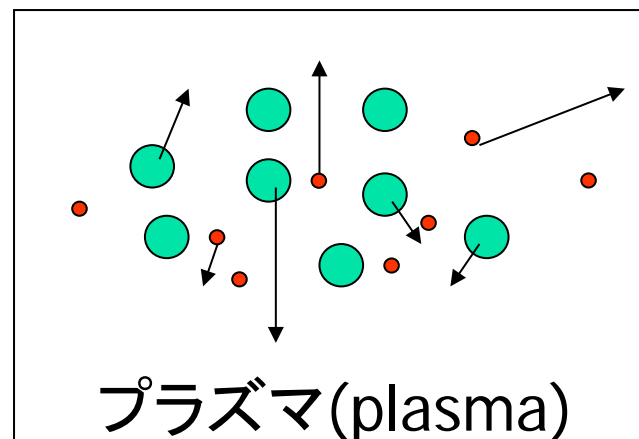
気体(gas)

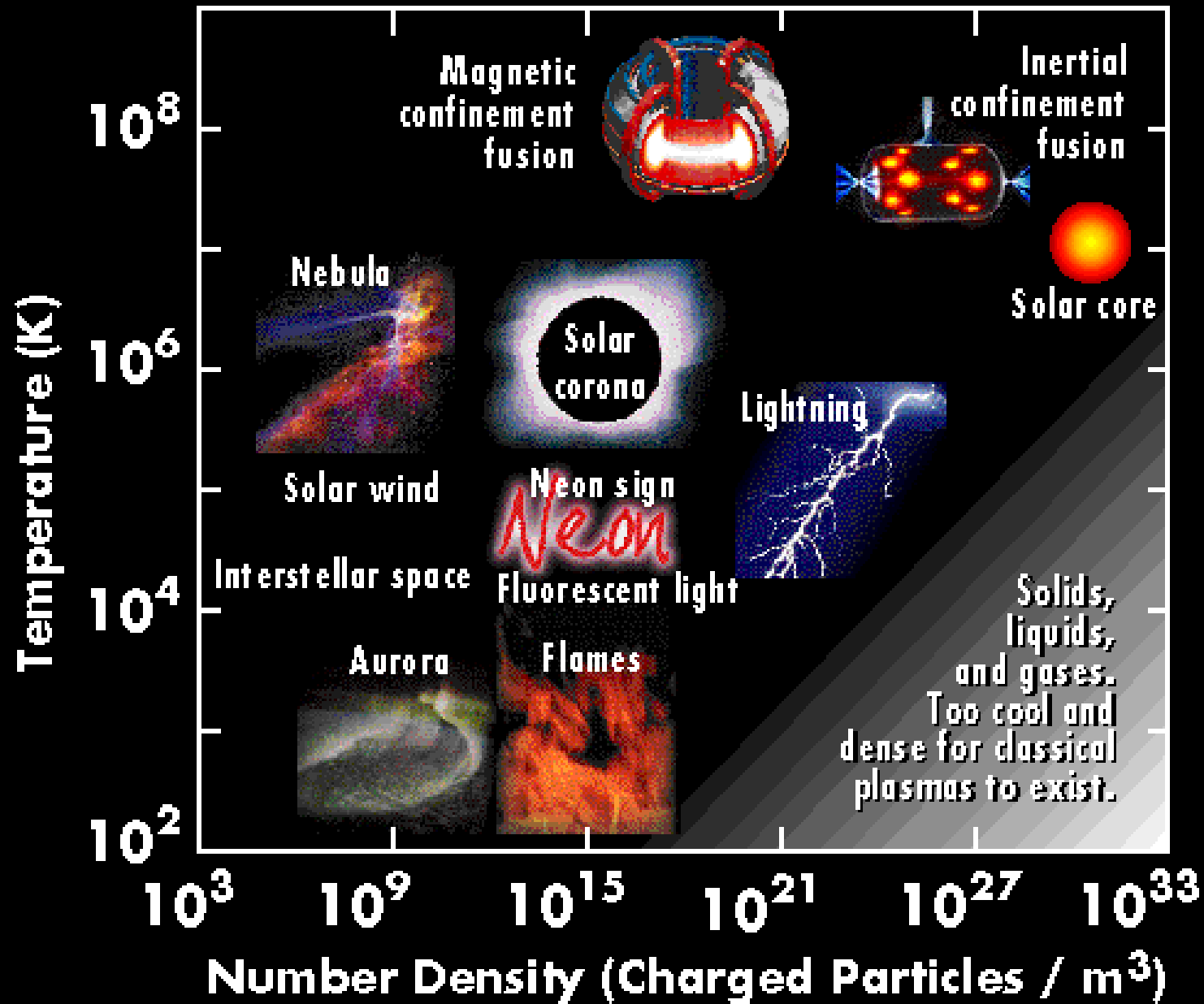


## ■ ionization



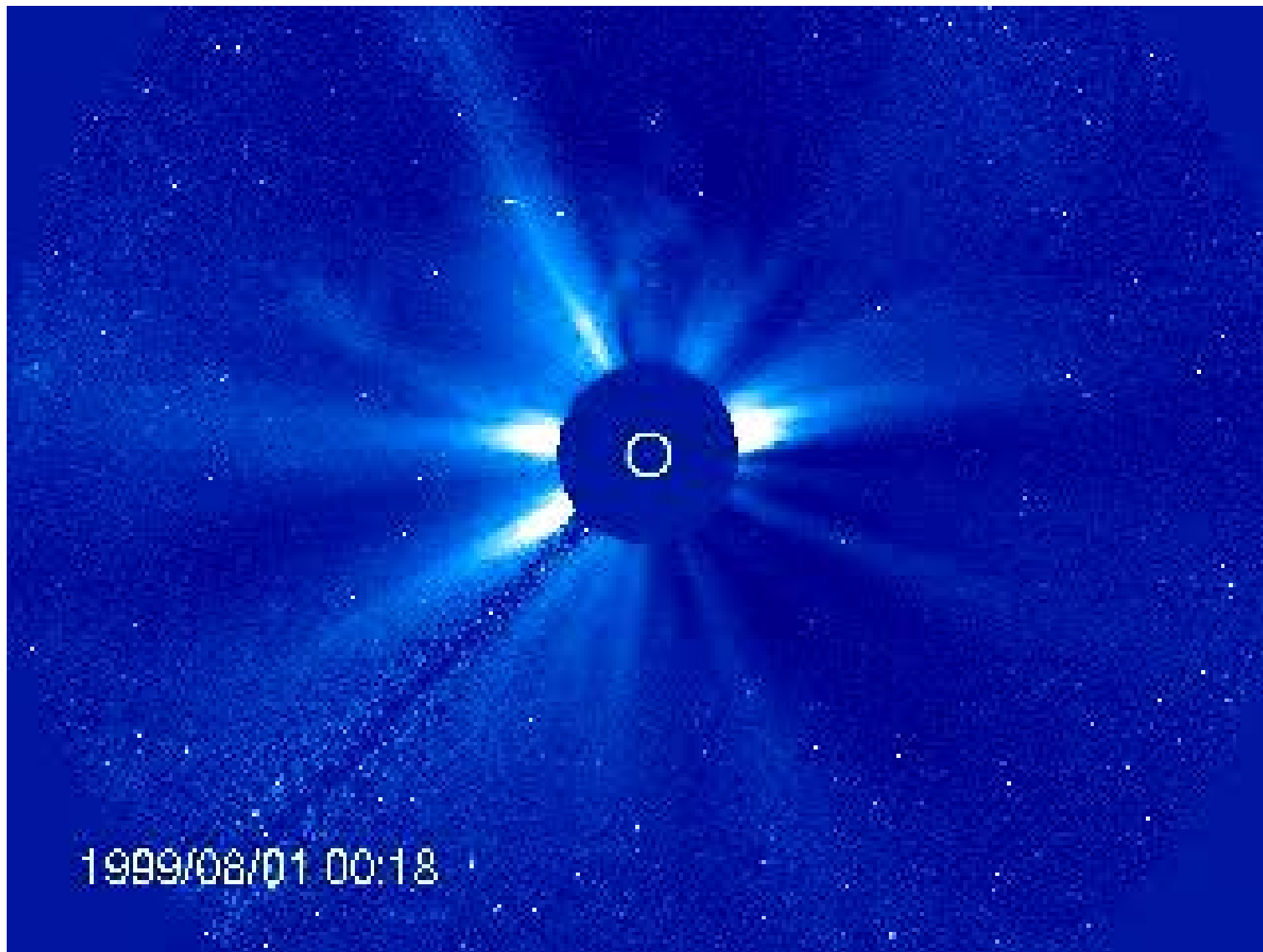
$$m_p \quad 1.7 \times 10^{-27} \text{ kg}$$
$$m_e \quad 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$$





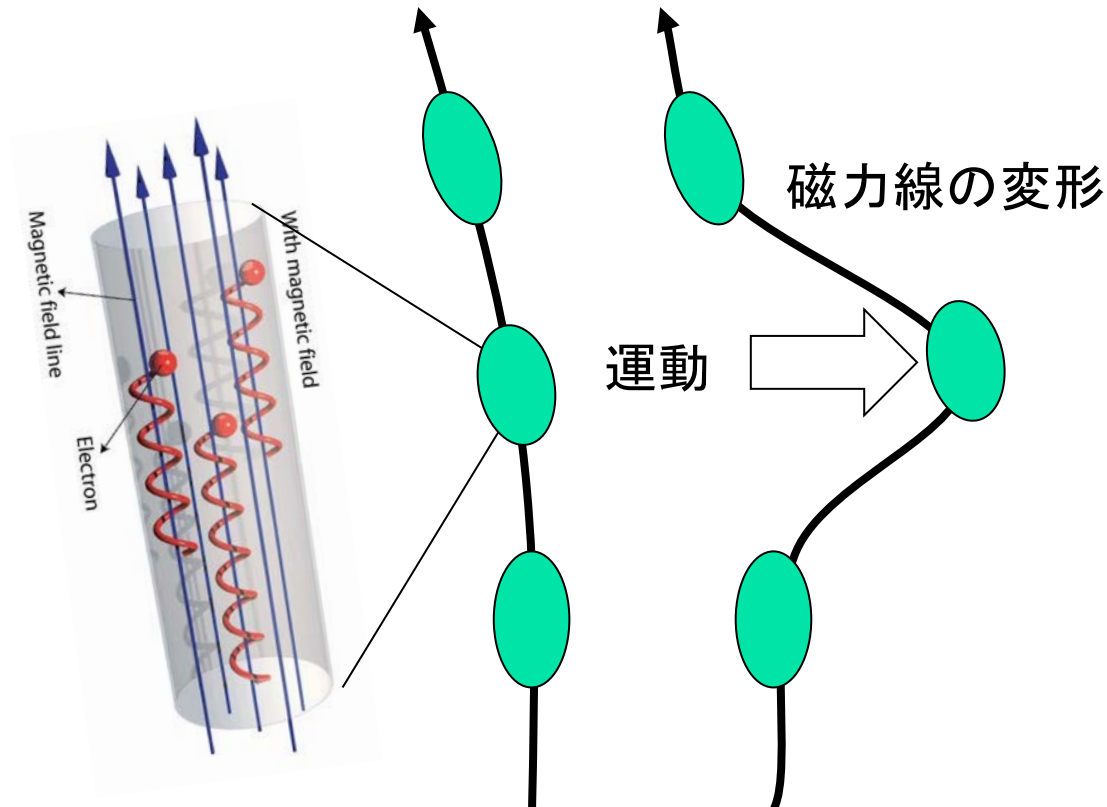
Copyright 1996 Contemporary Physics Education Project.  
 Images courtesy of DOE fusion labs, NASA, and Steve Albers.

# 太陽から吹き出す太陽風

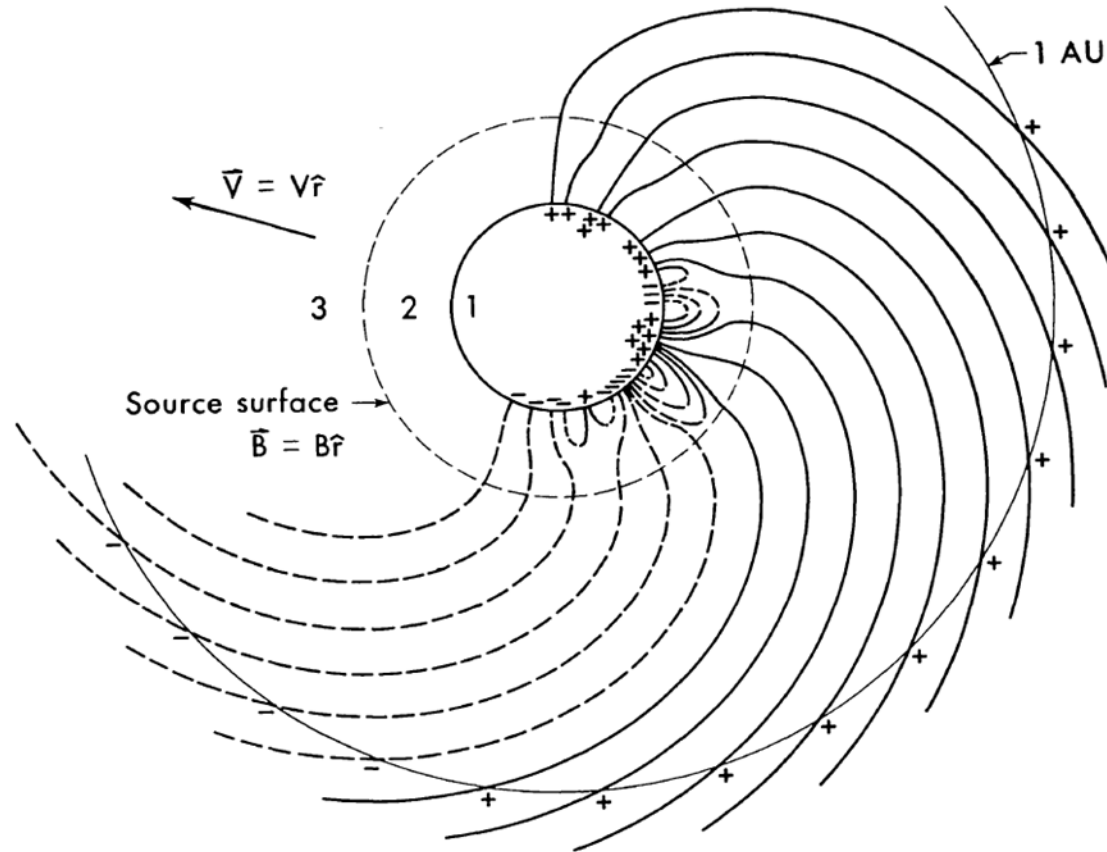


# 凍結 (frozen-in)

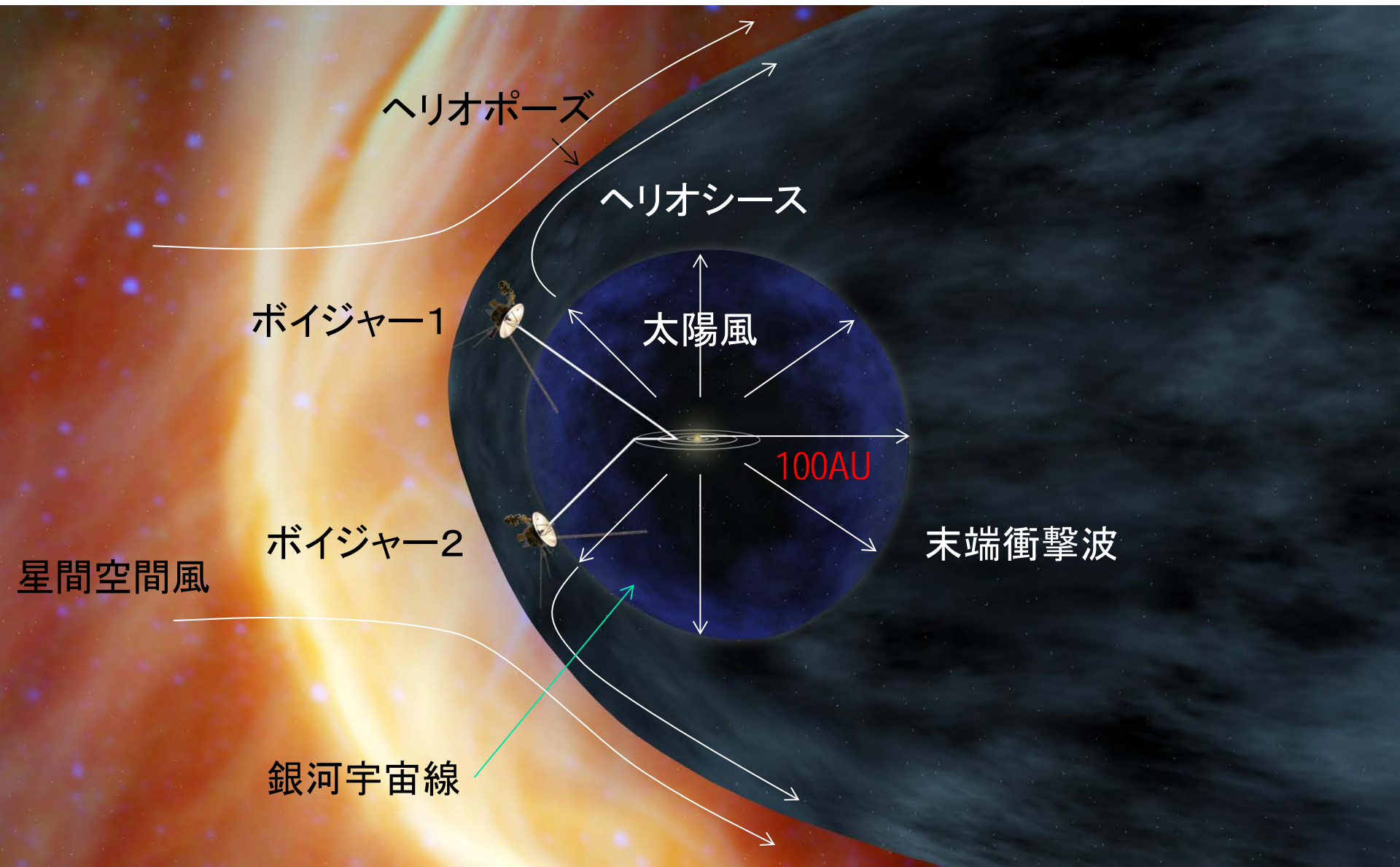
高温プラズマ中ではプラズマ粒子は磁力線に巻き付き、磁力線の変形と共に運動する。



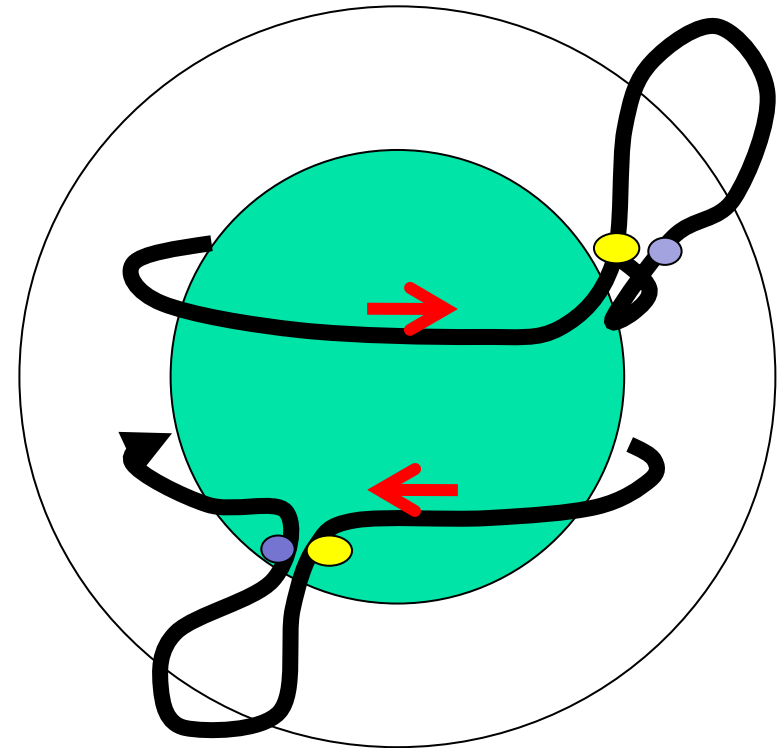
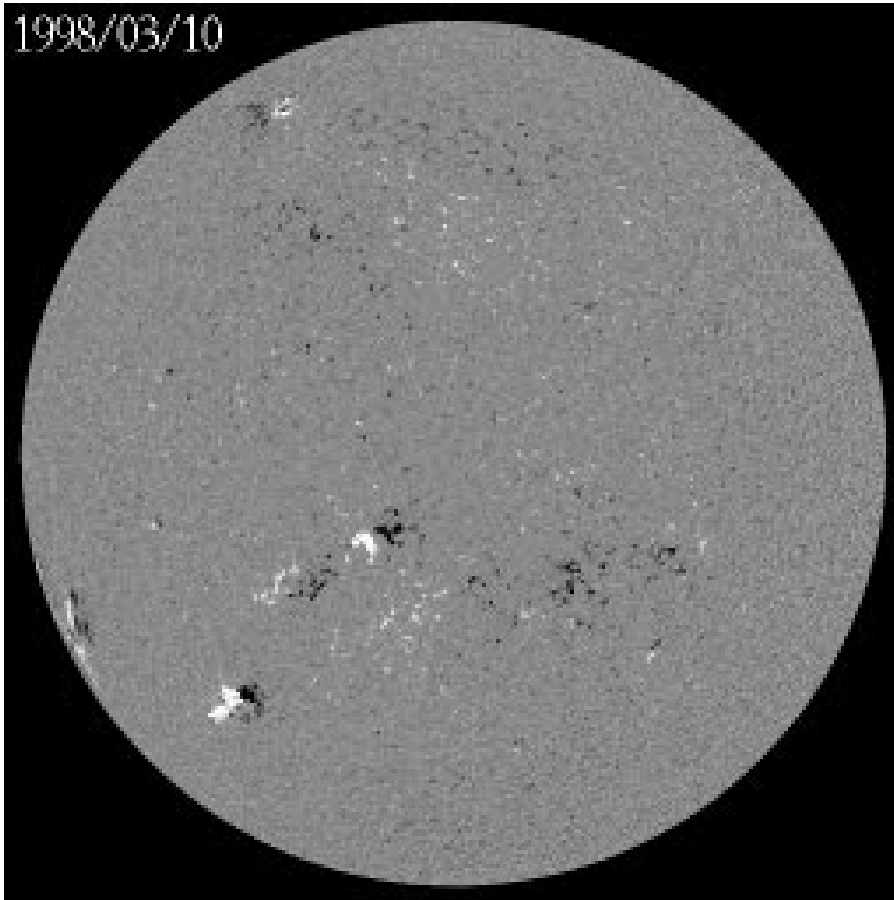
# Parker Spiral



# 太陽圏: 私たちの住む宇宙



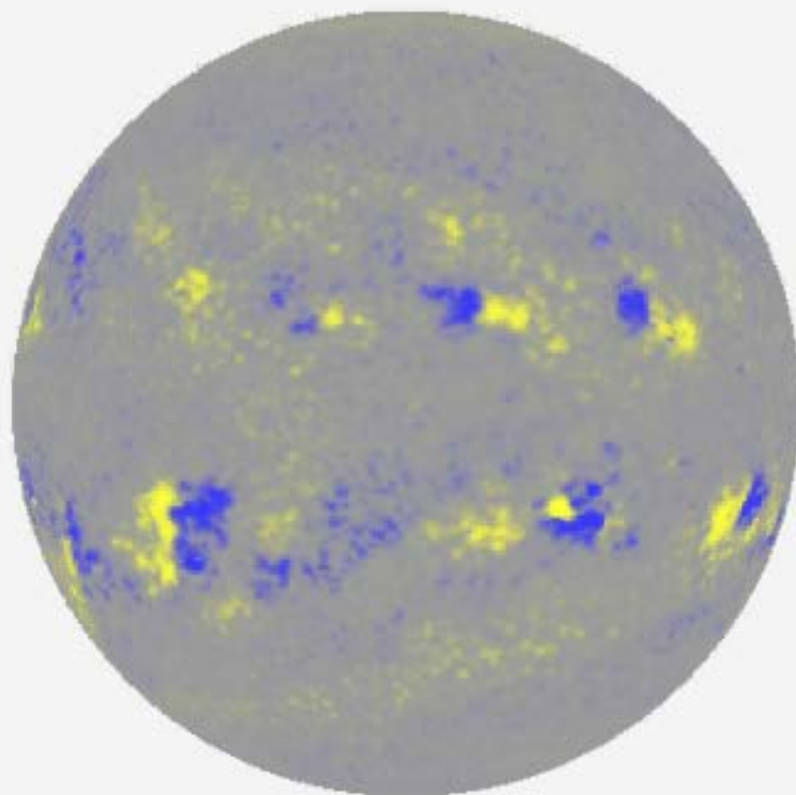
# 太陽黒点の形成



太陽黒点は太陽内部で生成された磁束管が表面に上昇してできる。

# 過去30年の太陽磁場活動

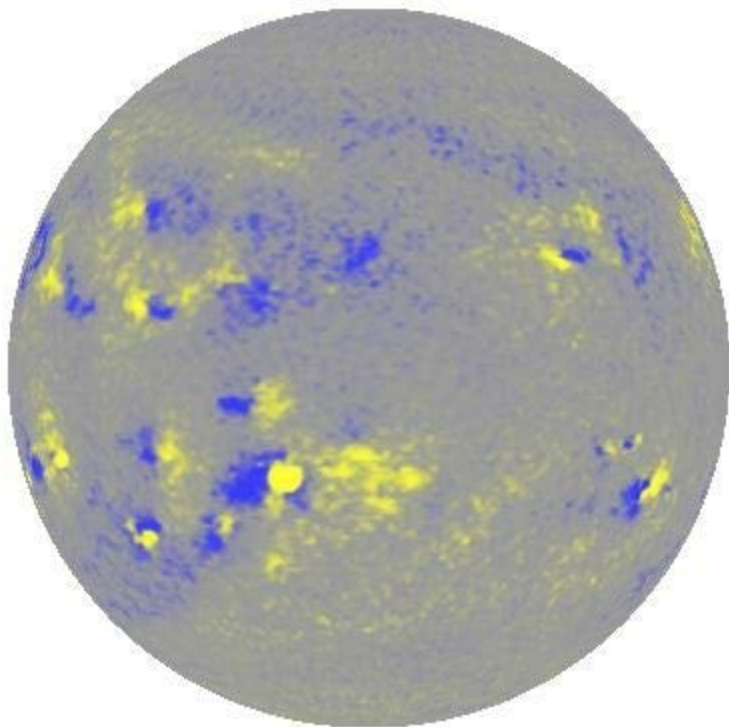
---



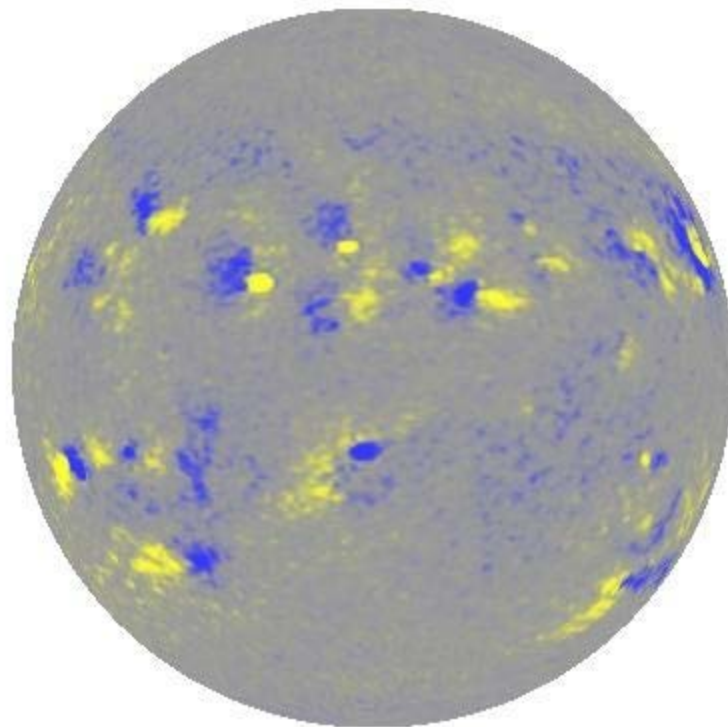


# 太陽磁場の反転法則

---

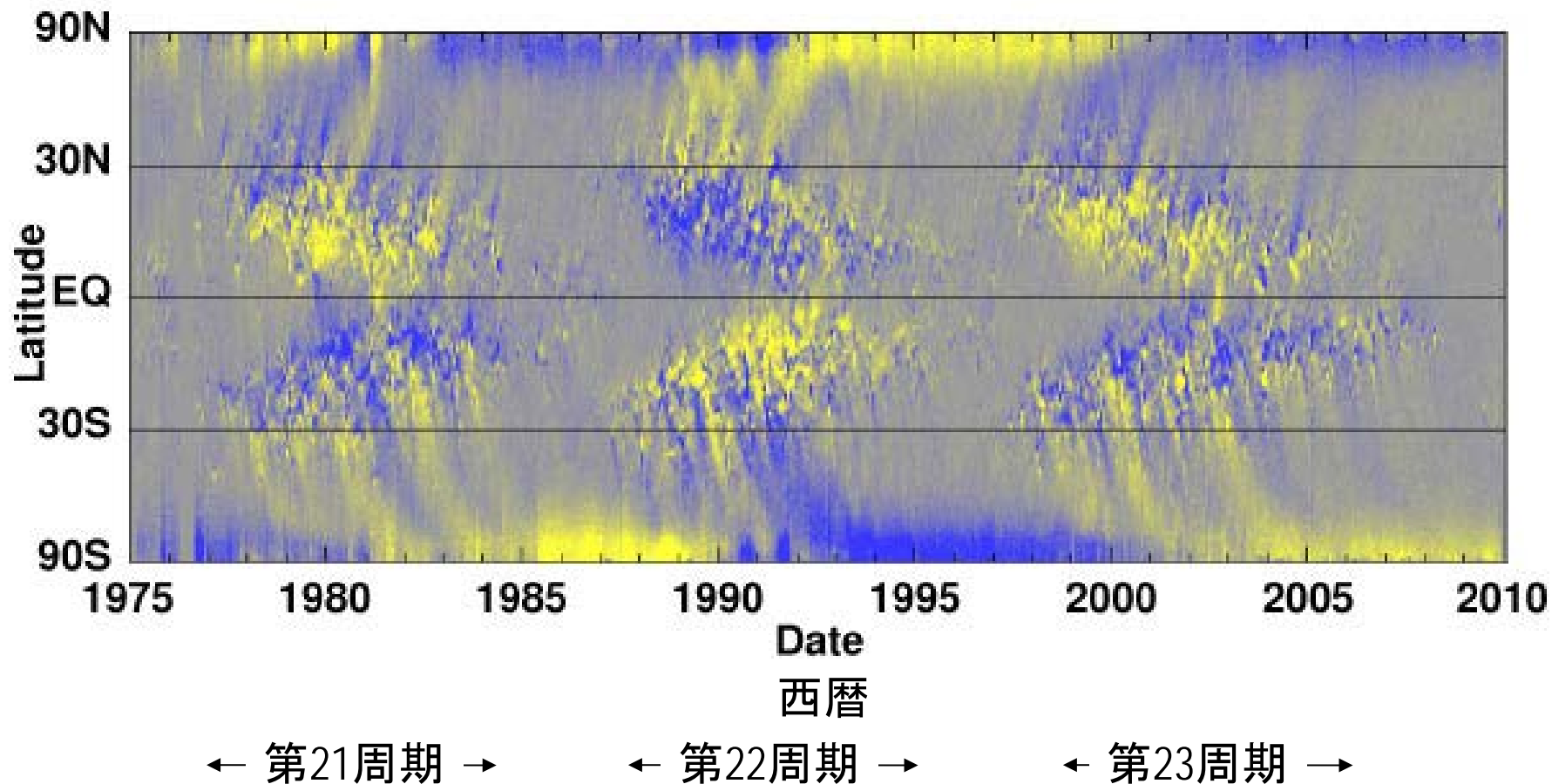


**Cycle 22**  
1989 August 02



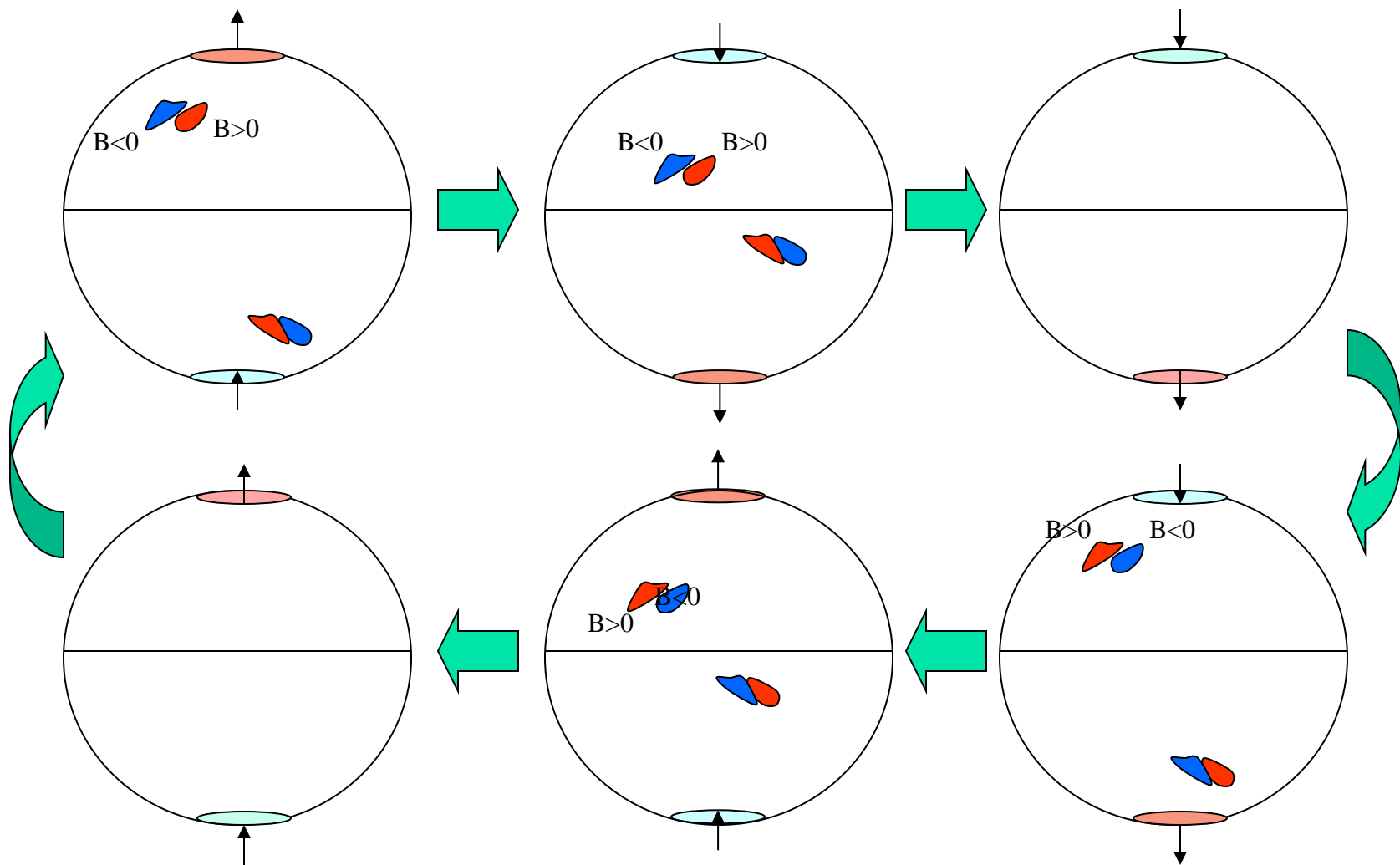
**Cycle 23**  
2000 June 26

# 太陽磁場の構造と変化



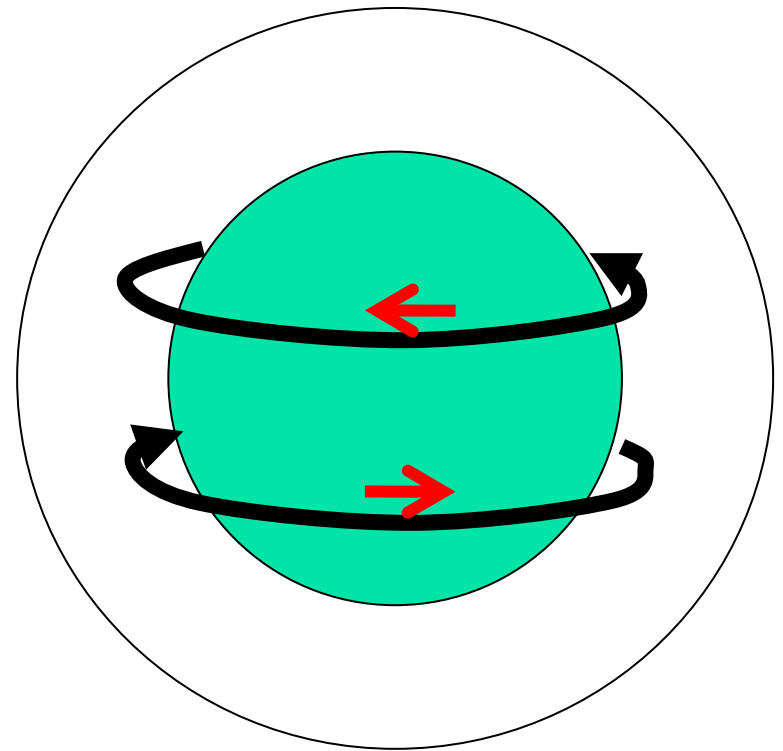
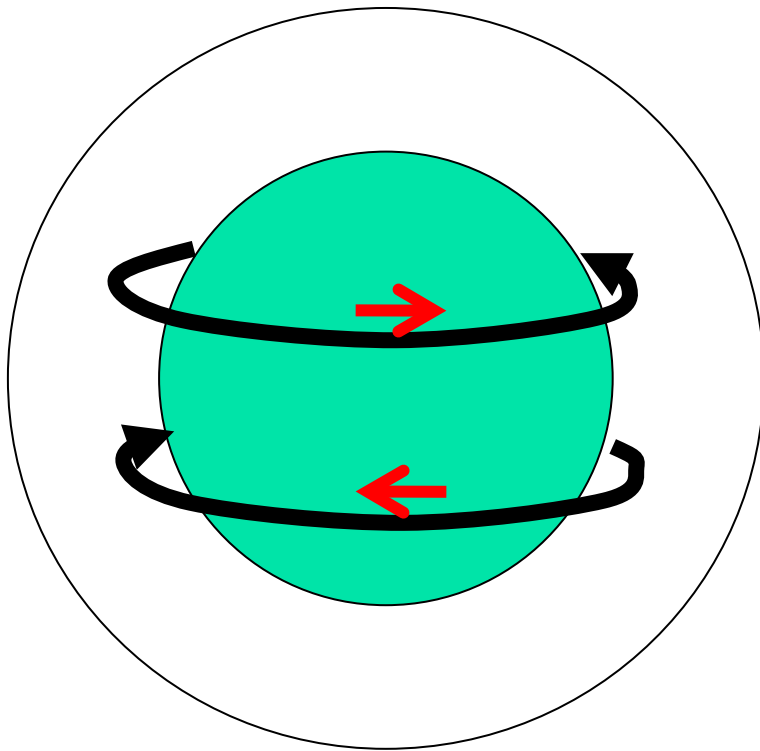
太陽磁場のバタフライ図

# 太陽黒点周期と磁場反転



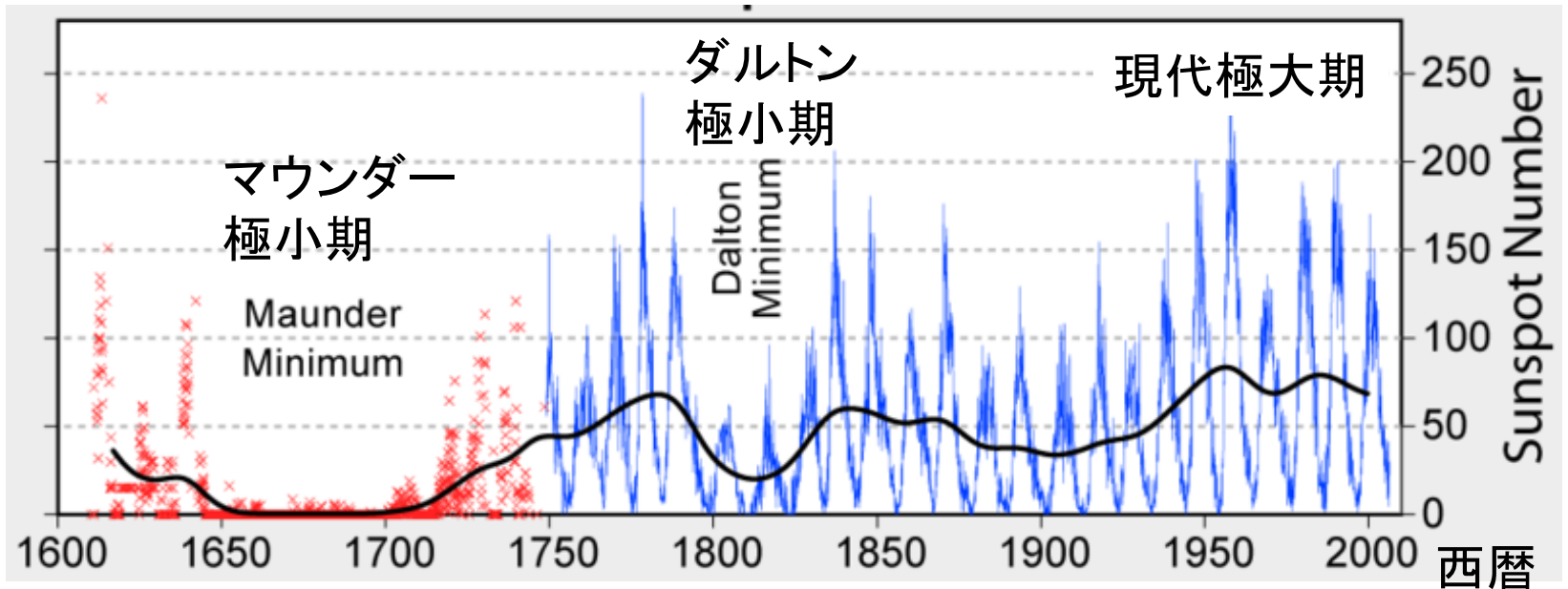
# 太陽ダイナモ

- 太陽内部のプラズマの運動が磁場を再生成する。



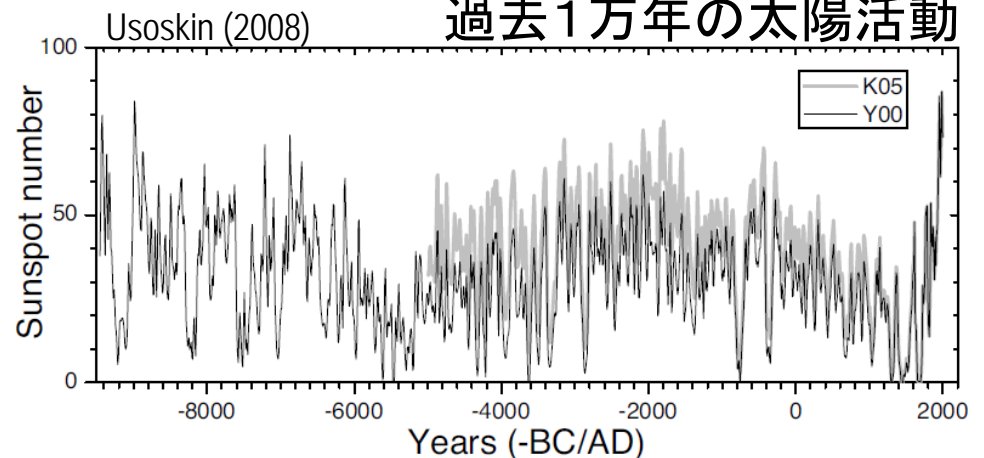
# 黒点周期活動の謎

## 過去400年の黒点数

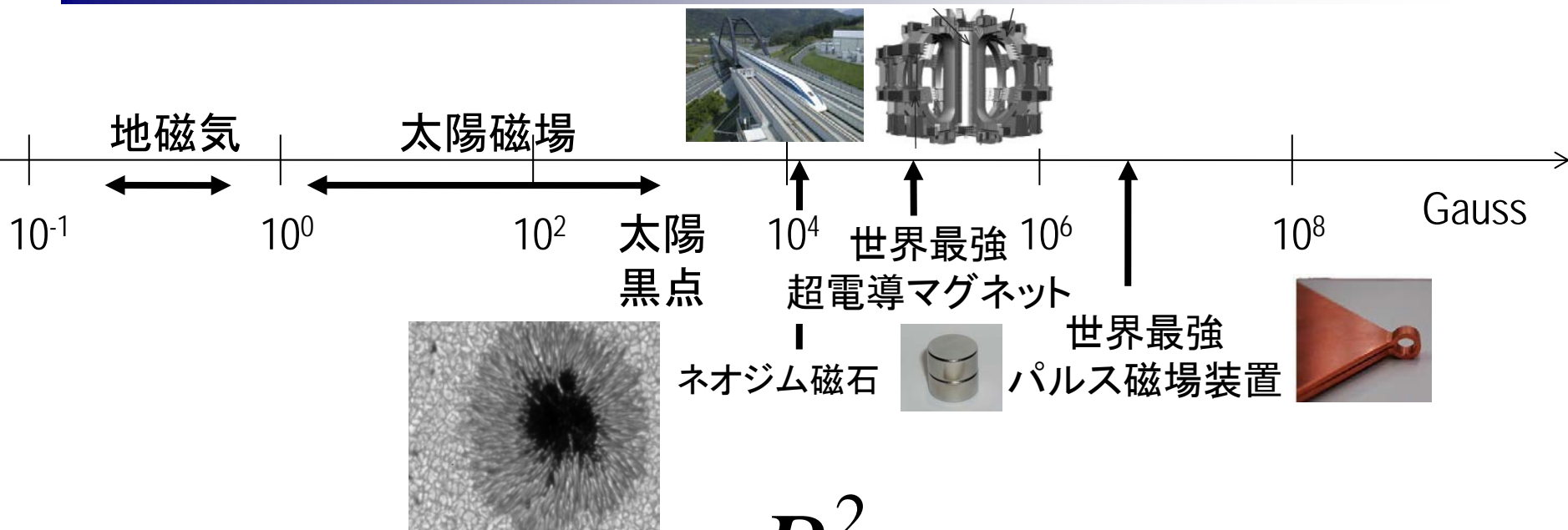


小氷期

## 過去1万年の太陽活動



# 磁場の強度とエネルギー



$$E = \frac{B^2}{2\mu_0} L^3$$

黒点磁場のエネルギー～10<sup>25-26</sup>J

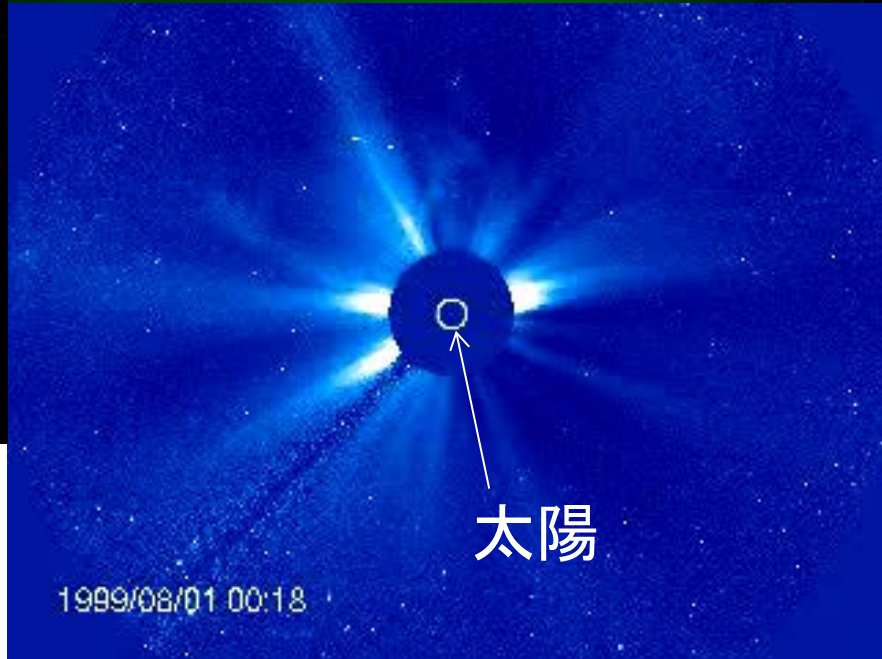
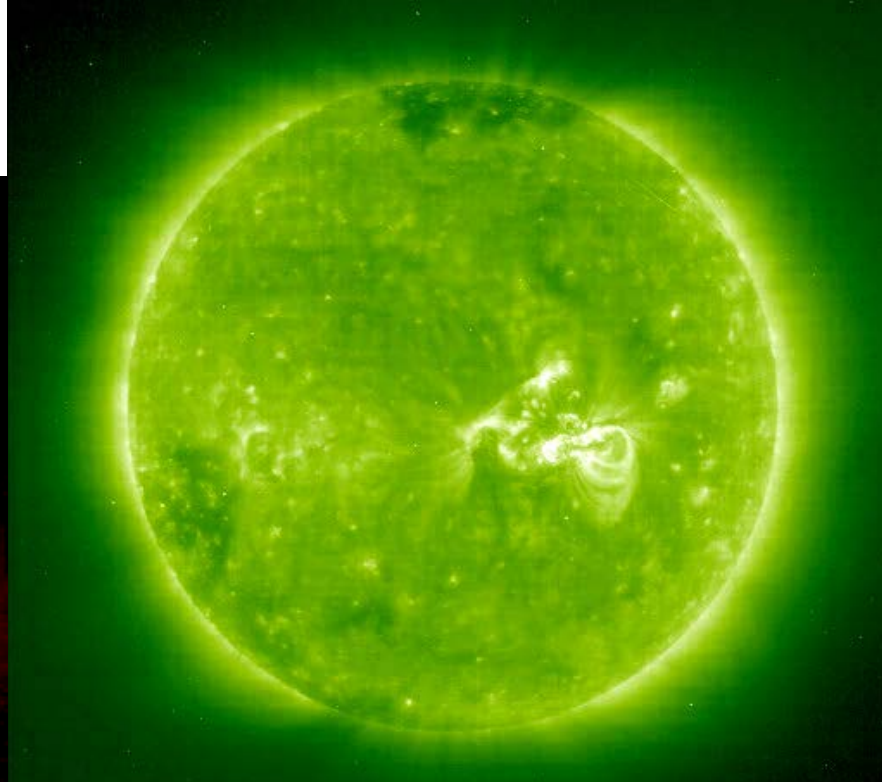
最大水爆 数10~100万個分

# 太陽フレア



Yohkoh/SXT 2000/06/04 02:05:45

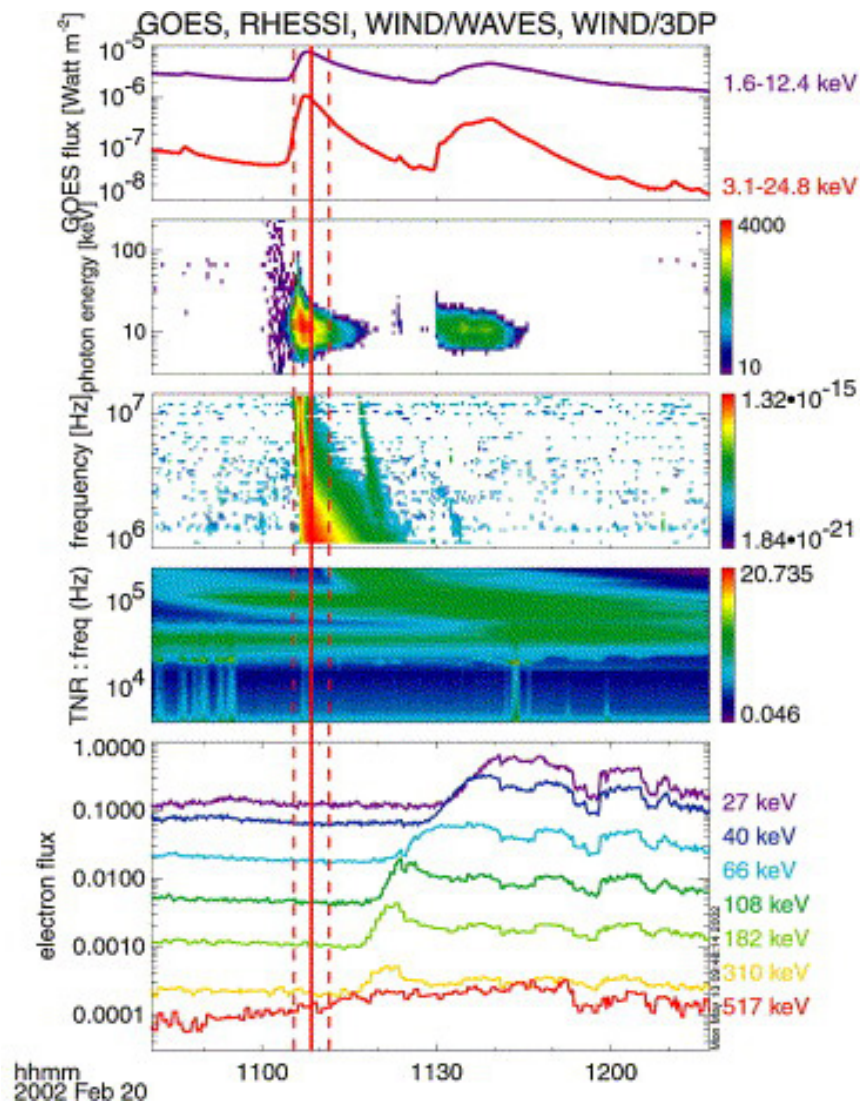
太陽黒点の磁場のエネルギー  
最大水爆100万個相当



1999/08/01 00:18

太陽

# フレアに伴うX線、電波、電子流束



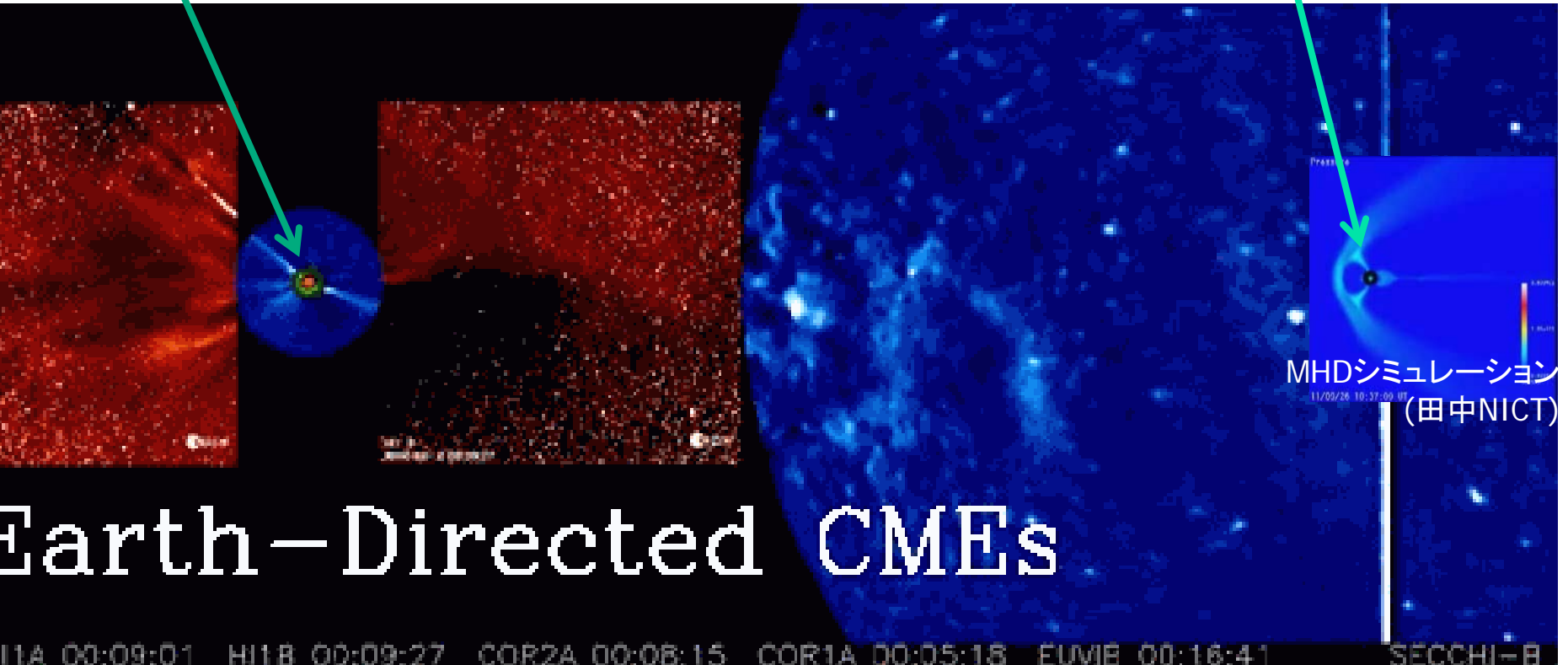




# 太陽地球結合システム

— 太陽

地球



太陽フレアから発生した衝撃波と巨大な高温ガス(プラズマ)が惑星間空間を伝播する。

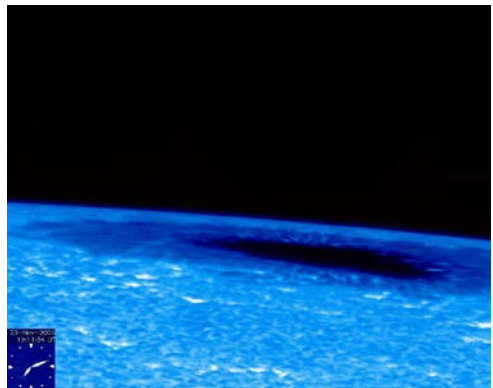
# まとめ

---

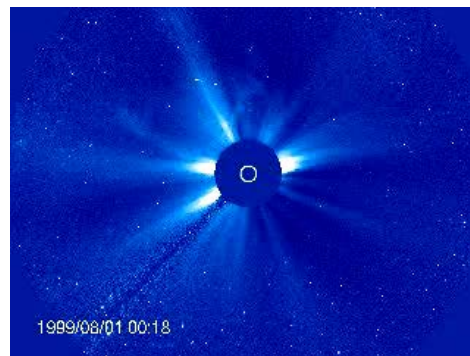
- 太陽は核融合で発熱する巨大なプラズマの球
  - 暗い初期太陽の謎
- 太陽コロナは100万度の高温プラズマ
  - コロナ加熱の謎
- 黒点磁場は周期的に再生成されている
  - 太陽ダイナモの謎
- 太陽フレアは磁気エネルギーを源とする太陽系最大の爆発
  - フレア発生原因の謎

# なぜ、太陽研究は面白いのか！

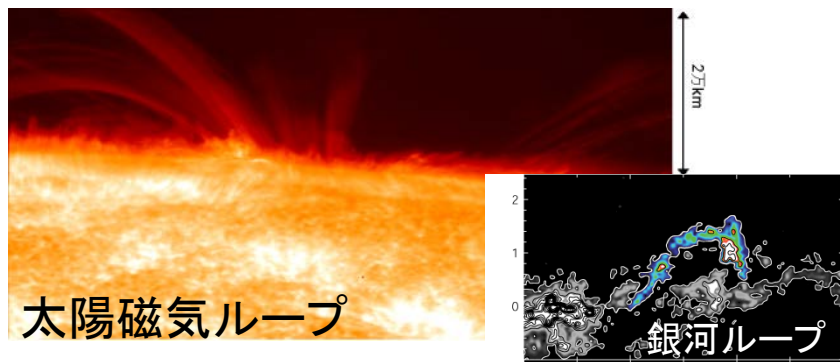
非線形プラズマ現象の宝庫  
巨大なプラズマの実験室



太陽地球システムの中核  
太陽フレア・太陽風・太陽嵐



地球に最も近い恒星  
様々な天体現象をひも解く鍵



地球環境への影響  
太陽黒点活動と気候変動

