

# 東京大学 地球惑星科学専攻 宇宙惑星科学講座

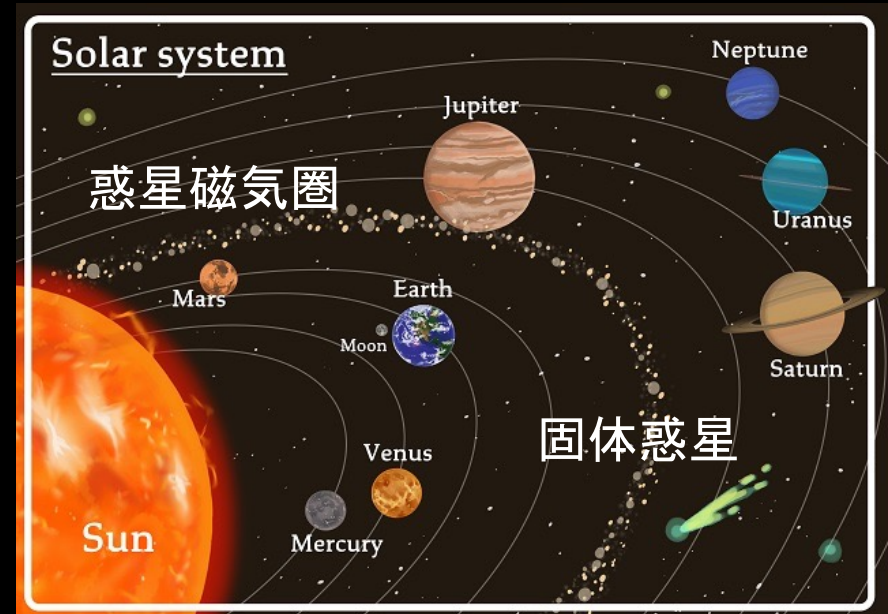
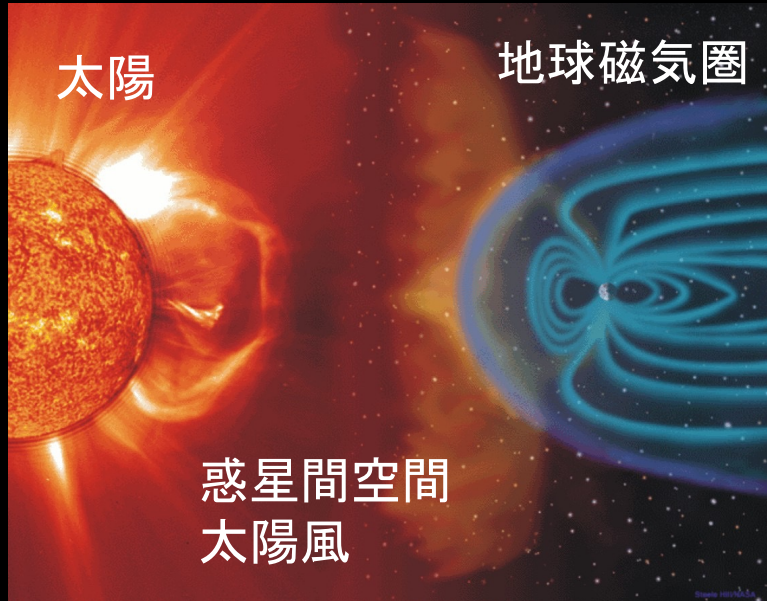
今田晋亮(東京大学)

# 宇宙惑星科学講座

地球をとりまく宇宙空間, 太陽系内外の惑星, 宇宙プラズマなどを研究の対象としています. 隕石をはじめとする宇宙起源の物質の精密分析, 探査機での物理量直接観測, 惑星の光学遠隔観測, さらには理論解析・コンピュータシミュレーションや室内物理実験まで, さまざまな角度から研究を行っています. 特に, 地球磁気圏・惑星探査や太陽大気観測ではJAXAと協力しながら観測データ解析や装置開発などの研究・教育を推し進めています.

- **プラズマ宇宙物理学**
- **太陽惑星系科学**
- **惑星物質科学**
- **比較惑星学**
- **宇宙惑星探査**

# 研究の内容



スーパーコンピュータによる数値計算  
太陽観測衛星ひので等のデータ解析  
地球磁気圏探査衛星あらせのデータ解析  
火星探査衛星MAVEN等のデータ解析  
はやぶさ2等のデータ解析  
基礎物理の理論的研究

宇宙線の起源  
宇宙プラズマの普偏的理解  
基礎物理



## 太陽物理学の重要課題(3+α)

- 高温の外層大気・恒星風の形成とダイナミクス(コロナ加熱・太陽風・彩層ダイナミクス)
  - プラズマ爆発現象(フレア・コロナ質量放出・粒子加速)
  - 太陽周期活動の起源(ダイナモ、放射変動)
  - 星としての太陽
- 宇宙磁気プラズマの基礎過程を理解すること

image: Hinode/XRT



# 太陽物理学の波及効果

地球・生命圏との  
繋がり

宇宙天気  
有人宇宙計画  
社会的・経済的影響

天文学・惑星科学へ  
の研究の展開

惑星探査：惑星圏への影響  
アストロバイオロジー  
母星天体の系外惑星系への作用

天体物理・プラズマ物理過程  
の理解の深化

フレア：磁気リコネクション  
太陽風：磁気プラズマ乱流  
彩層；部分電離プラズマ

# メンバー

- 杉田 精司 教授 惑星探査、惑星科学、アストロバイオロジー
- 関 華奈子 教授 太陽惑星系物理学、電磁気圏物理学、宇宙空間プラズマ物理学
- 橘 省吾 教授 宇宙化学
- 星野 真弘 教授 宇宙空間物理学・プラズマ物理学
- 今田 晋亮 教授 宇宙空間物理学・太陽物理学・磁気圏物理学
- 天野 孝伸 准教授 宇宙空間物理学・プラズマ宇宙物理学
- 笠原 慧 准教授 惑星科学(電磁気圏を含む), 特に探査機搭載粒子観測器の開発
- 諸田 智克 准教授 惑星科学、惑星探査、惑星地形学
- 桂 華 邦裕 助教 惑星電磁気圏物理学・惑星間空間物理学
- 大平 豊 助教 宇宙物理学・宇宙線物理学・プラズマ物理学
- 長 勇一郎 助教 惑星科学
- 庄田宗人 助教 太陽物理学・恒星物理学

# 自己紹介



- 今田晋亮
- 東京大学・地球惑星科学専攻 教授
- 1979年1月31日生
- [imada@eps.s.u-tokyo.ac.jp](mailto:imada@eps.s.u-tokyo.ac.jp)
- <https://www-space.eps.s.u-tokyo.ac.jp/~imada/>
  
- PHD @ Univ. Tokyo 2006 地球惑星科学(宇宙空間物理学)  
“Energetic Electron Region and its Acceleration Mechanism in the Magnetotail Reconnection”
- 学位取得後: 研究員としてNAOJ 3年、ISAS 3年、NAOJ 0.5年  
ひので衛星を用いた太陽物理学
- 名古屋大学宇宙地球環境研究所: 助教及び講師として約9年  
磁気圏物理、太陽物理に加え太陽地球環境の長期変動
- 2021年9月から東京大学に

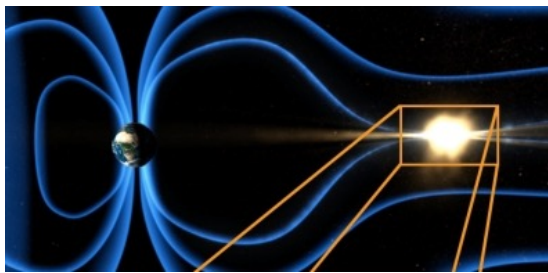


# 研究内容

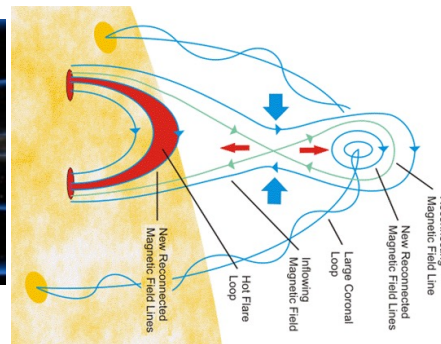
- (I) 宇宙プラズマにおける速い時間で起こるエネルギー解放現象 (II) 太陽地球環境の長期変動 (数年～数十億年)に関する研究

例) 磁気リコネクション

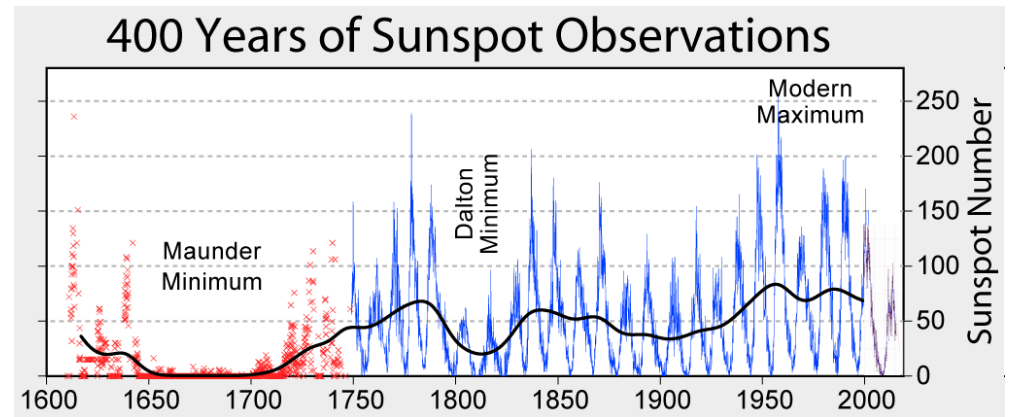
磁気圏サブストーム



太陽フレア



例) 太陽周期活動



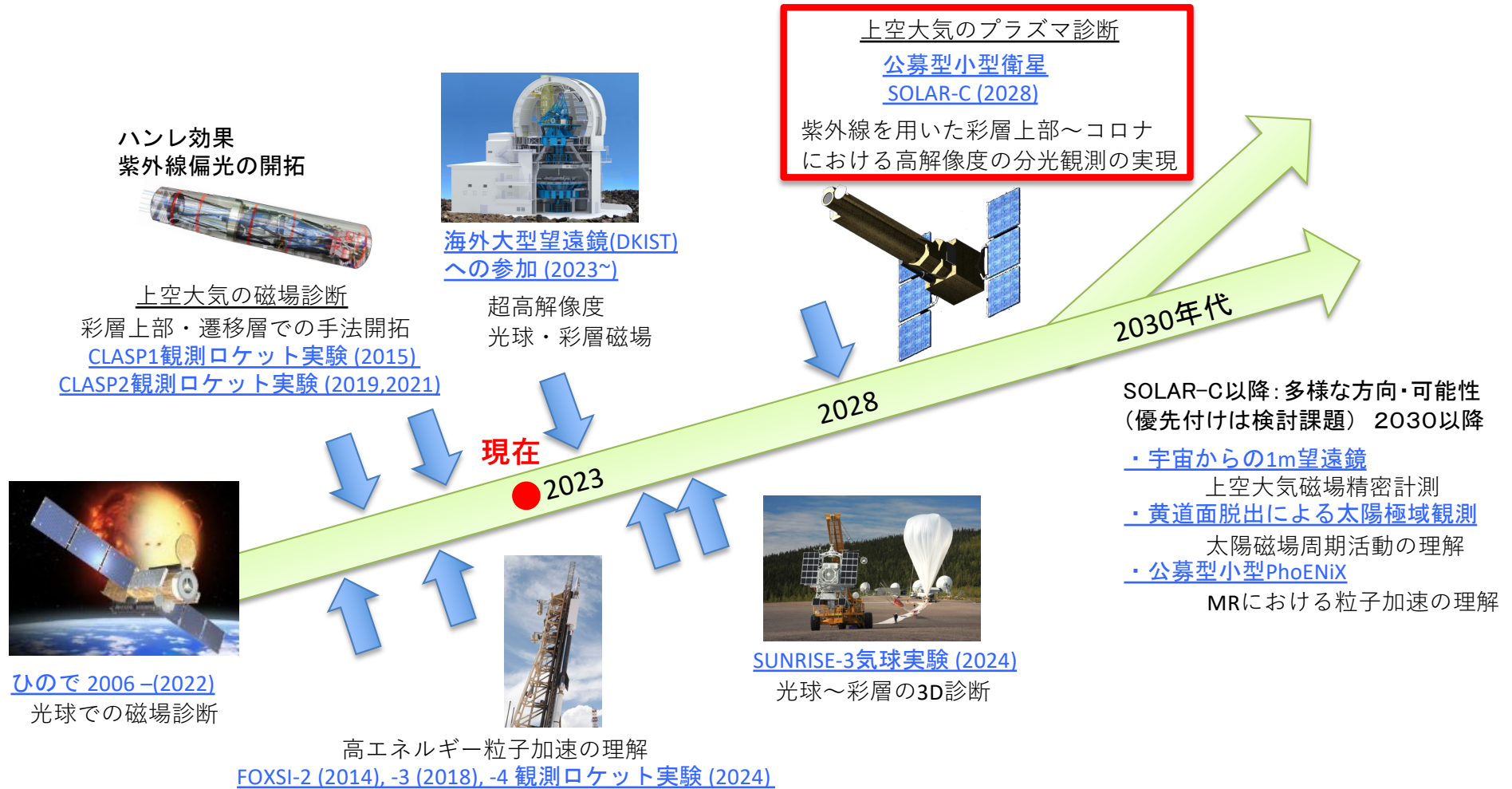
地球磁気圏、太陽大気、さらには実験室プラズマと幅広い環境におけるプラズマの研究に取り組んできた。特に磁気リコネクションに関係した研究を精力的におこなってきた。

太陽地球環境変動予測に関する研究、中でも次期太陽周期活動予測および太陽ダイナモに関する研究を精力的に行なった。

(I)は主に物理過程を理解するための研究であり、(II)は(I)で理解された物理過程が太陽をはじめ地球や惑星環境など太陽圏システムへどのような影響を与えうるかを議論するものである



# 太陽分野の将来戦略



# Solar-C\_EUVVST

JAXA Epsilon M-class mission

宇宙空間を満たすプラズマ環境がどのように作られ発展してきたか、さらには太陽が地球環境をはじめとした太陽圏環境にどのような影響を与えるか

## Science objectives;

- I. 高温かつダイナミックな太陽大気が どの ように形成されるのか？
- II. 太陽大気がどのように不安定になり、 太陽フレア・コロナ質量放出を起こすのか？

他分野とのつながり

天文学

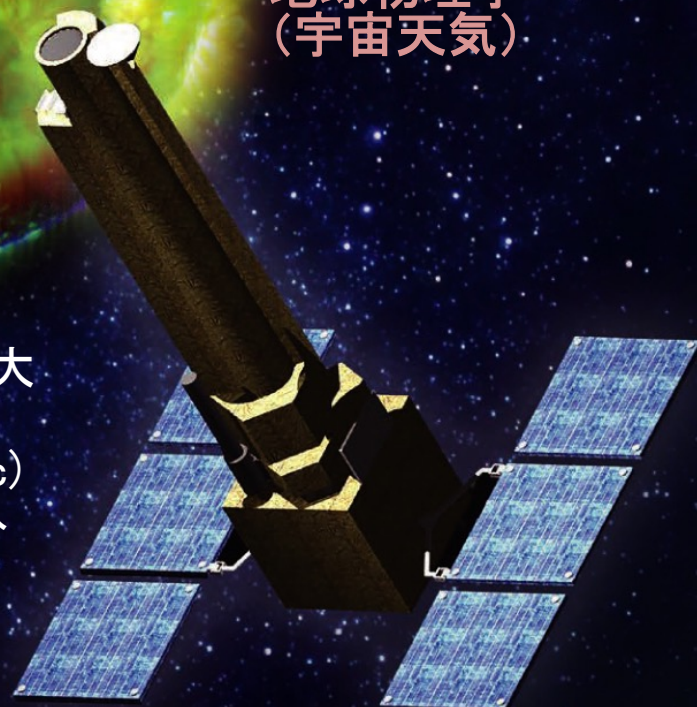
プラズマ物理学

地球物理学  
(宇宙天気)

**Strategy;** エネルギー・質量輸送機構および散逸機構の定量的評価

## Key features (not ever done);

- A) **観測温度範囲** ( $10^4$ - $10^7$  K)  
太陽大気を一つの結合システムとして理解するため、全ての大気層を抜けなく同じ空間分解能で観測する
- B) **高空間・時間分解能** (spatial  $\sim 0.4''$ , temporal  $\sim 1$  sec)  
物理過程を理解するため、太陽大気における基本構造を分解し、そこで起こる現象を追跡する
- C) **物理量診断能力**  
分光診断することにより、密度、速度、温度、電離度、組成比などの物理量を定量的に評価する

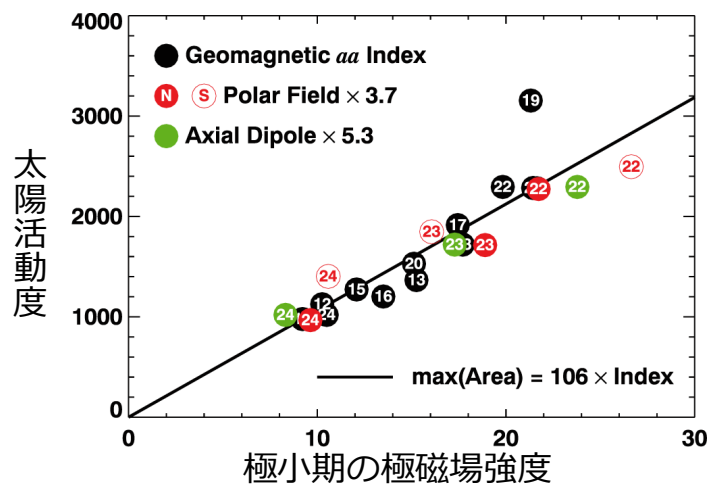
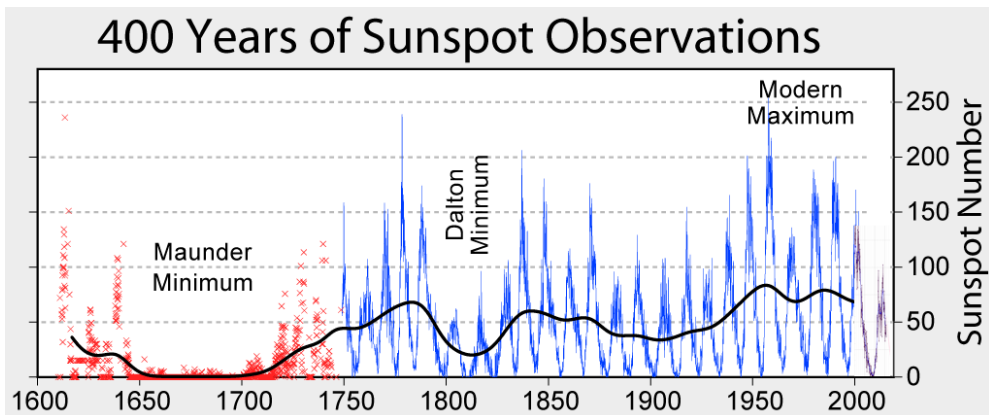




# 周期活動に関する研究

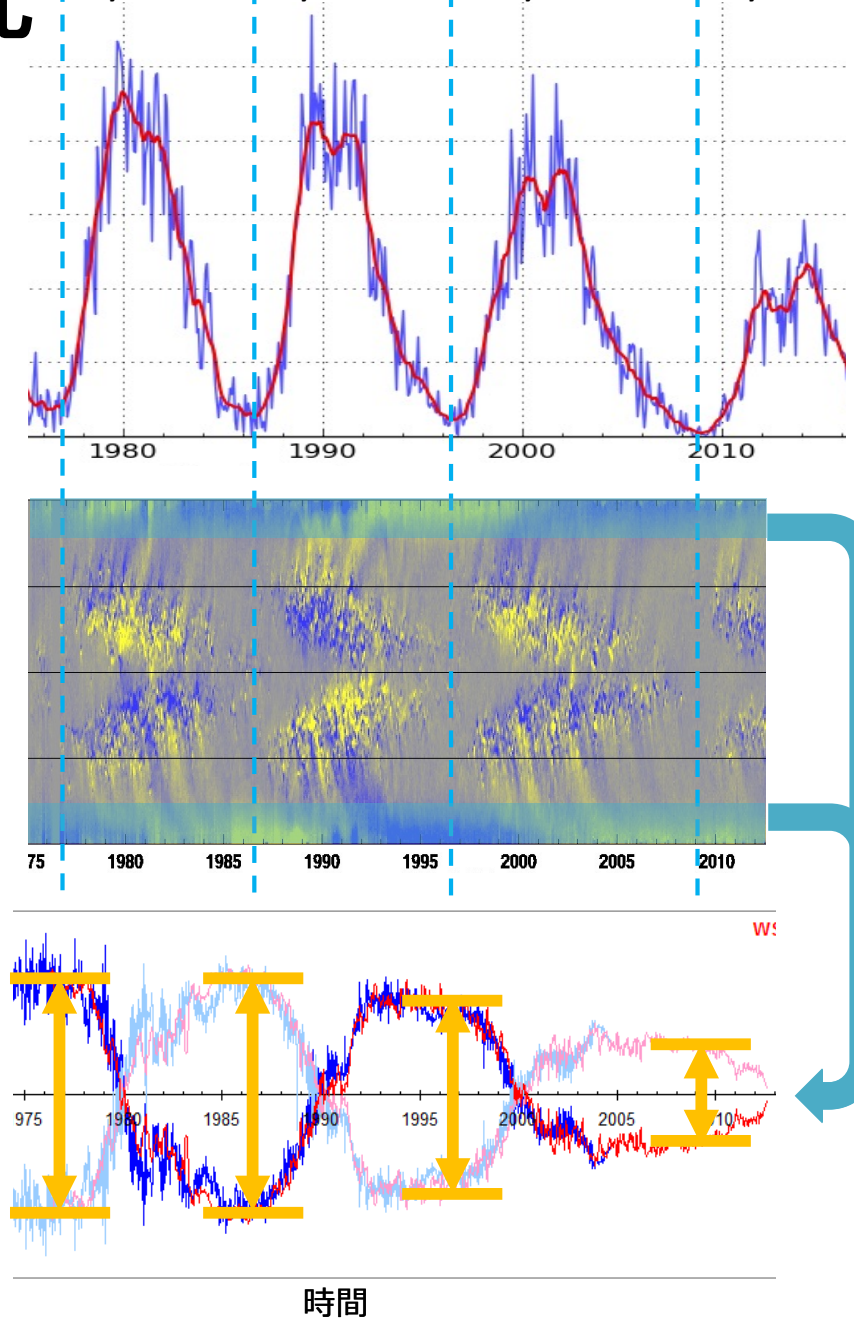
Cycle 21 | Cycle 22 | Cycle 23 | Cycle 24

## 極磁場と太陽活動度の関係



[Hathaway & Upton, 2016]

極小期極磁場が強いほど  
次の周期の黒点数が増える。  
→太陽活動度が大きくなる。



# 太陽周期活動予測

## 表面磁束輸送計算モデル

$$\frac{\partial B_r}{\partial t} = \underbrace{-\omega(\theta) \frac{\partial B_r}{\partial \varphi}}_{\text{移流項}} - \frac{1}{R_\odot \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left[ \underbrace{v(\theta) B_r \sin \theta}_{\text{移流項}} \right] + \frac{\eta_h}{R_\odot^2} \left[ \frac{1}{\sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left( \sin \theta \frac{\partial B_r}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{\sin^2 \theta} \frac{\partial^2 B_r}{\partial \varphi^2} \right] - S(\theta, \varphi, t)$$

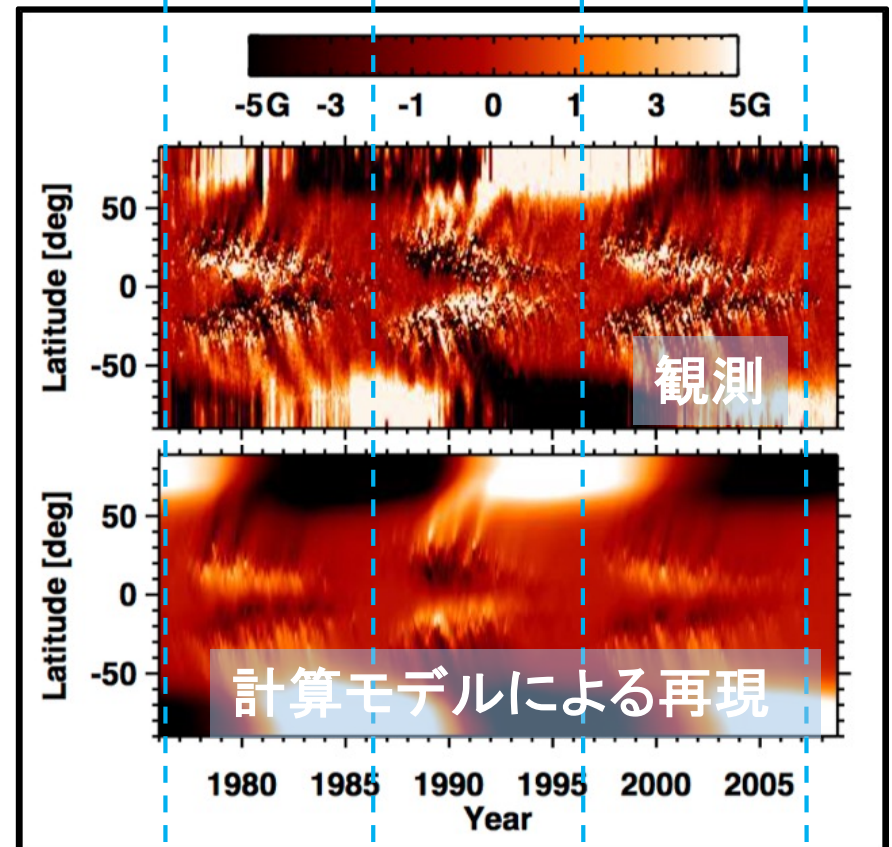
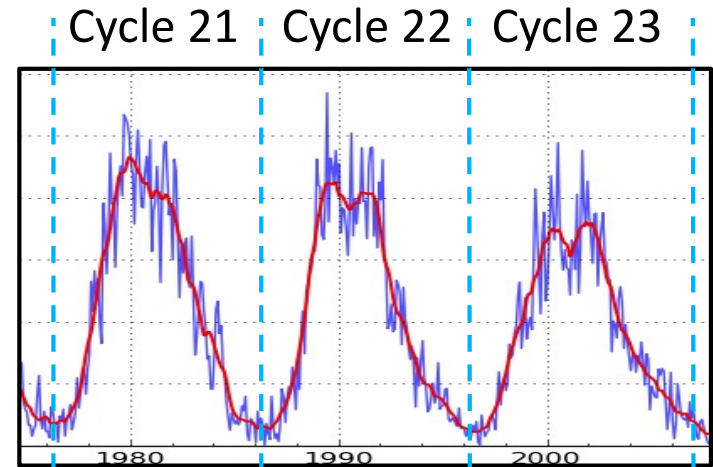
移流項

拡散項

$B_r$  : 磁場  
 $\theta, \varphi$  : 緯度, 経度  
 $\omega(\theta)$  : 差動回転  
 $v(\theta)$  : 子午面流  
 $\eta_h$  : 磁気乱流拡散  
 $S(\theta, \varphi, t)$  : 磁束出現

### ※問題点

これらのパラメータは時間変化せず一定で入力されているが、実際は時間変化する。



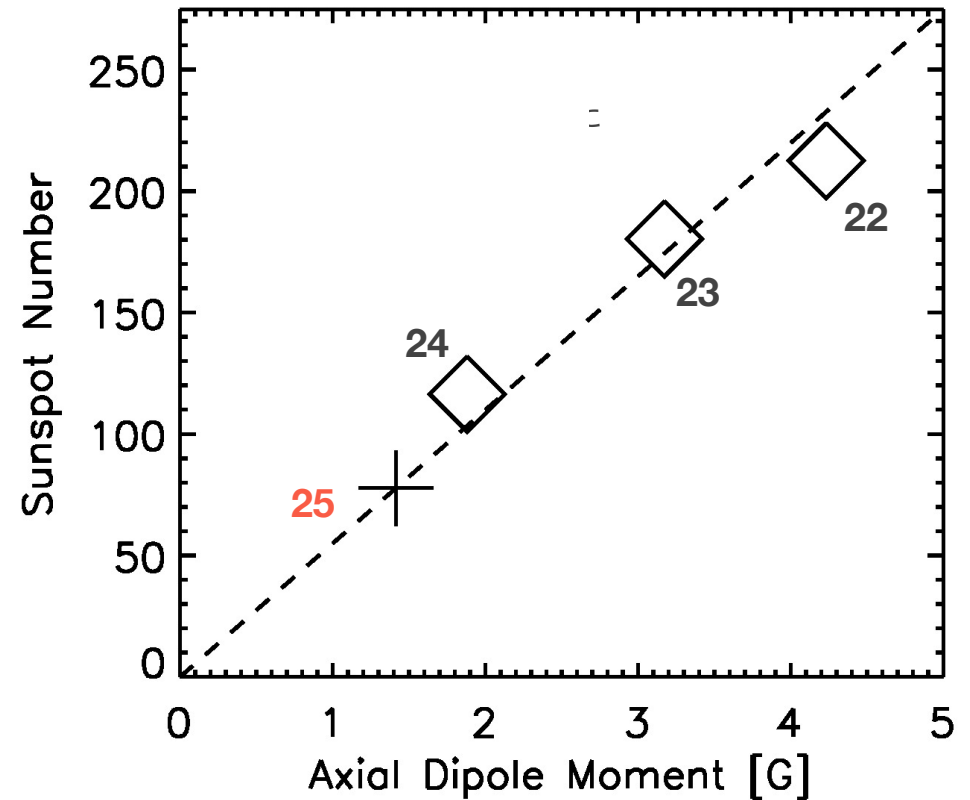
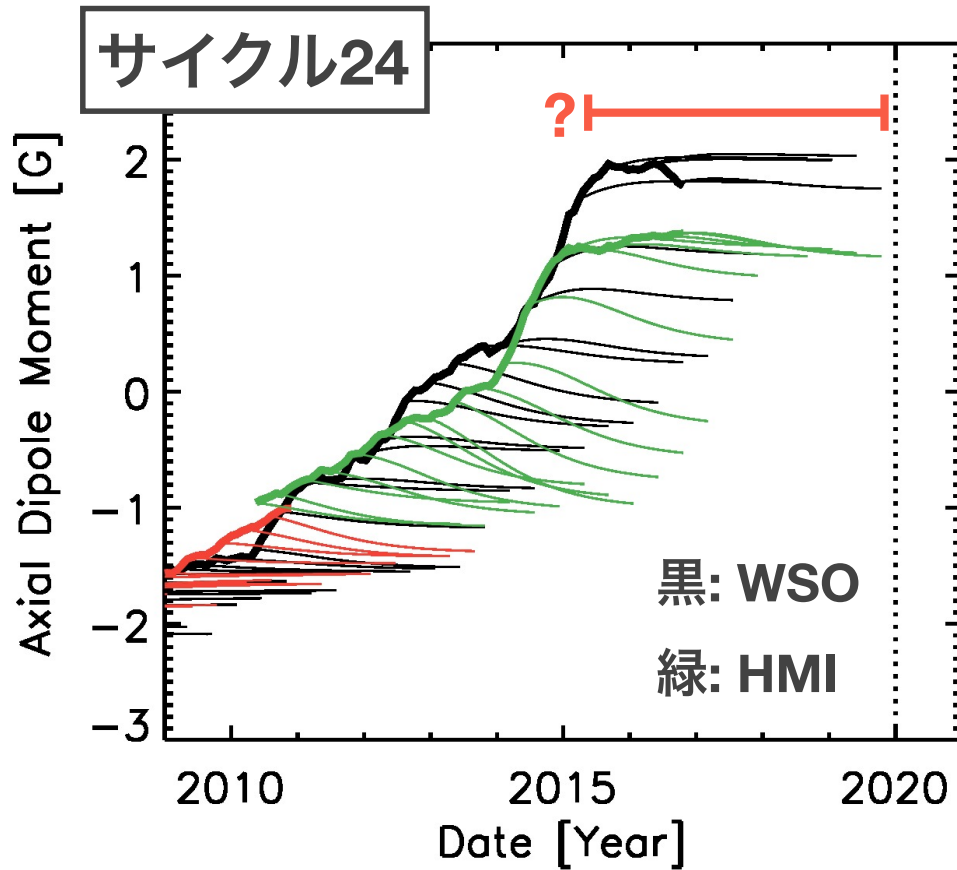
画像解析を駆使した研究も学生らと行なっている



# Data Assimilation (SOHO/MDI)



# サイクル24の極小期の極磁場予測



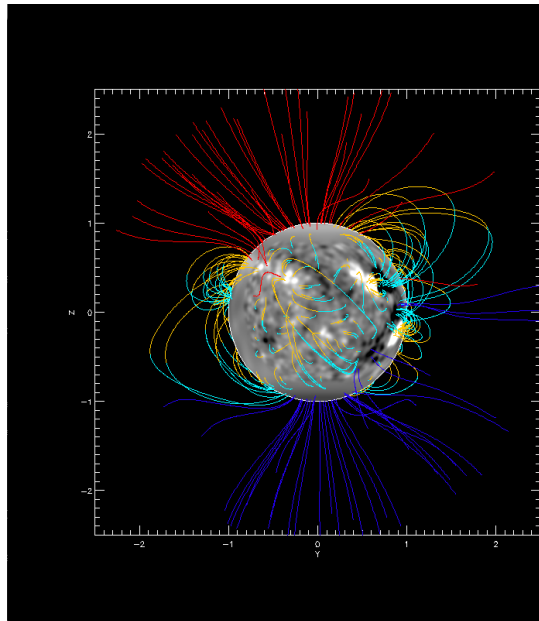
サイクル25は低調と予測

Iijima et al. 2017

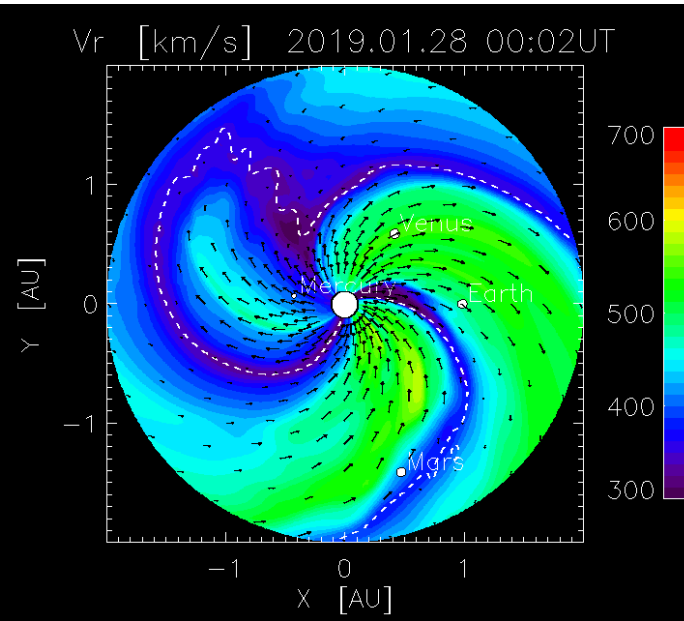
15

# 太陽表面磁場を用いた応用(確率論的)

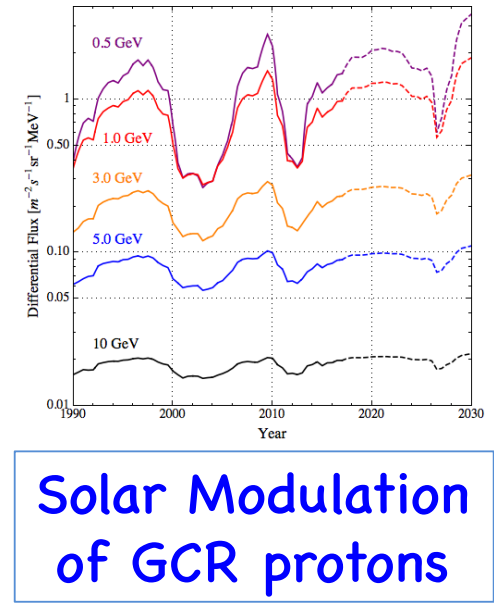
コロナ磁場の推定



太陽風の推定

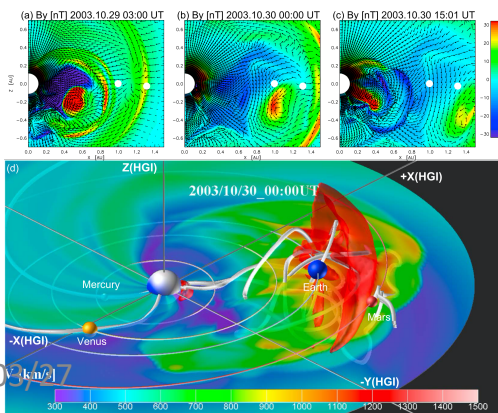


銀河宇宙線の推定

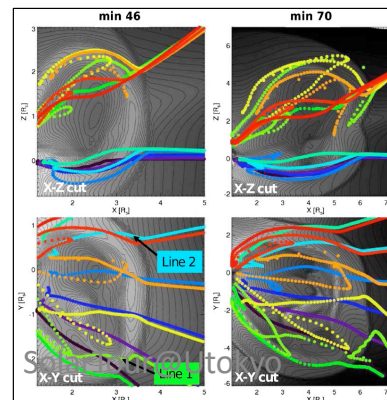


## フレア・CME・太陽風及び放射線環境の予測

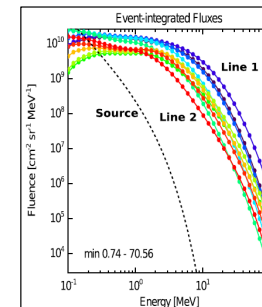
フレアCMEの推定



SEPの推定

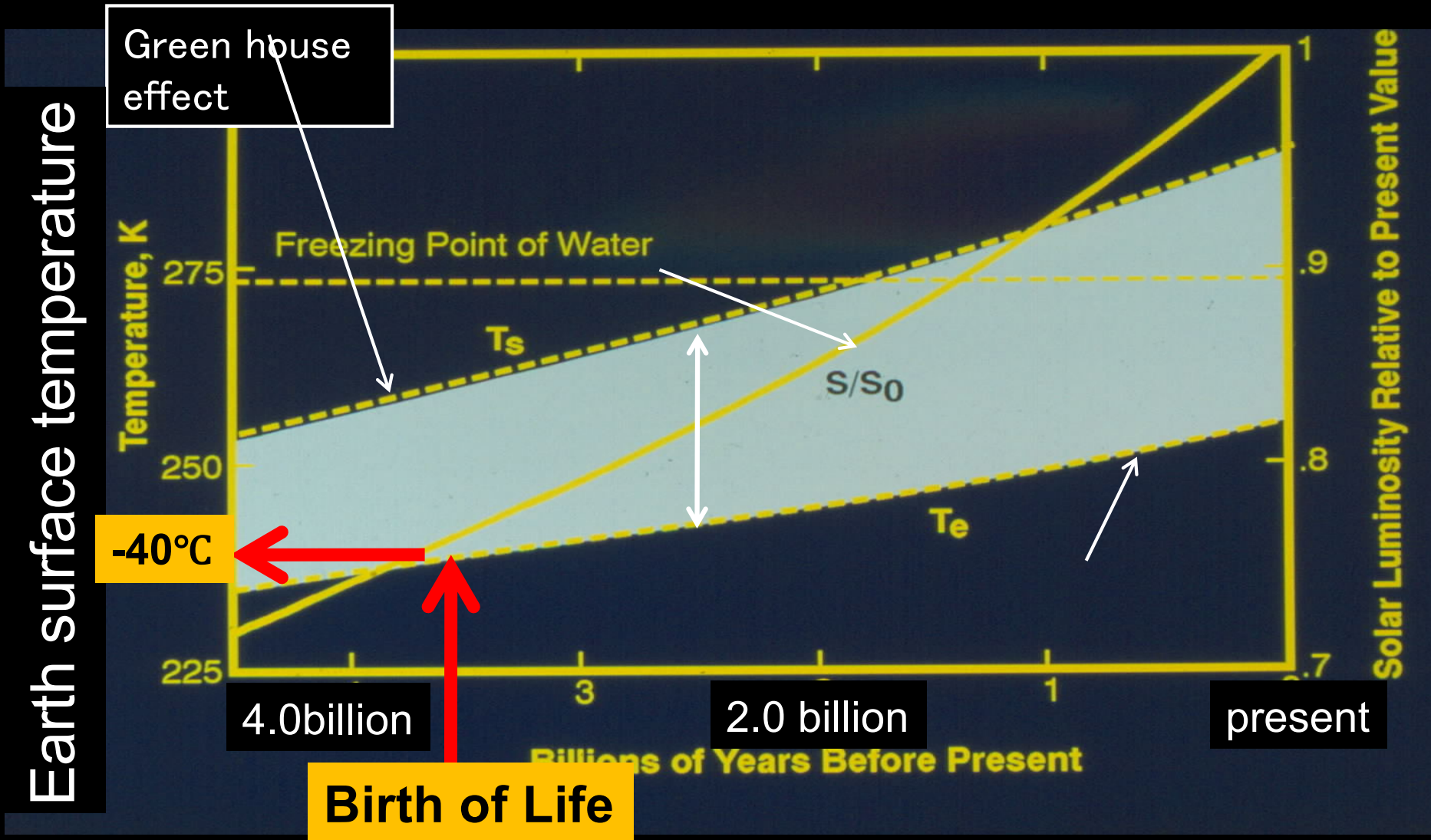


- BATSUS (MHD) + EPREM (FT)
- コロナ衝撃波におけるSEP加速・輸送



# 1つの応用例: 昔の太陽地球環境

Luminosity at 3.5billions years ago~75%



Kasting et al, Scientific American, 1988



# 暗い若い太陽のパラドックス 解決の方向性

- 生物学的: 凍りついた地球で生命誕生
- 古大気学: 多量のグリーンハウスガス
- 地質学的: 地熱
- 天体物理学: 太陽は暗くなかった!  
→ 太陽は重たかった!  
**5%質量が大きければ解決**  
必要な質量損失: 5%/46億年 ~  $3 \times 10^{-11}$  /年  
現在の約千倍の質量損失が必要!

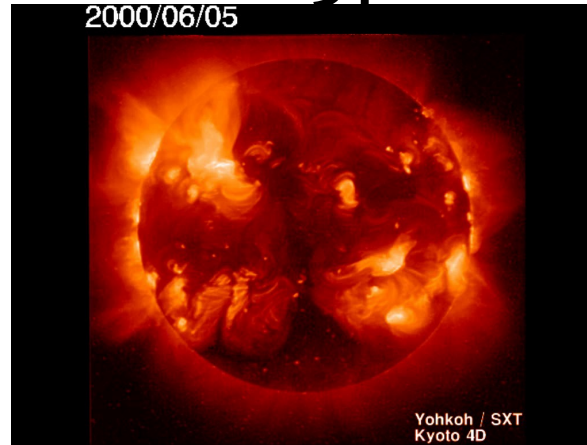
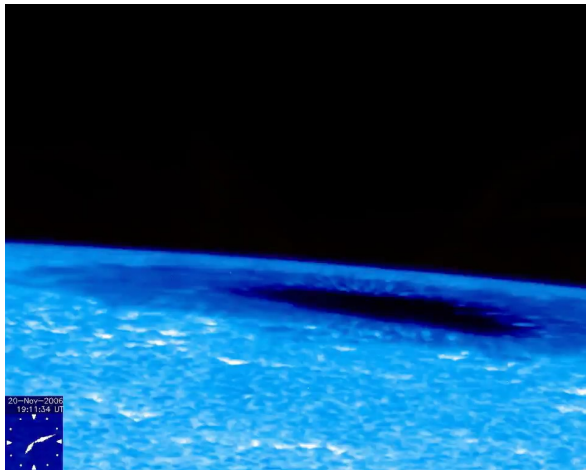
# “Faint Young Sun paradox”

## 幼年期の太陽

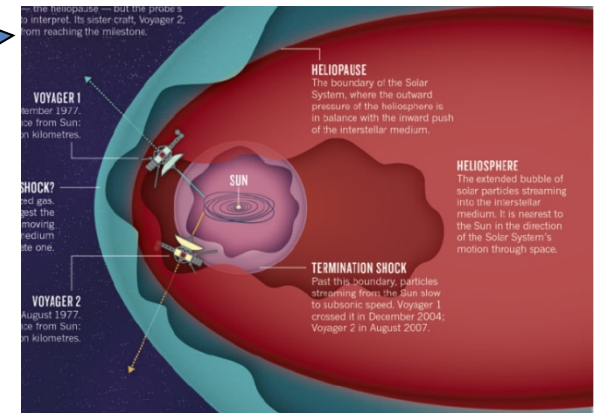
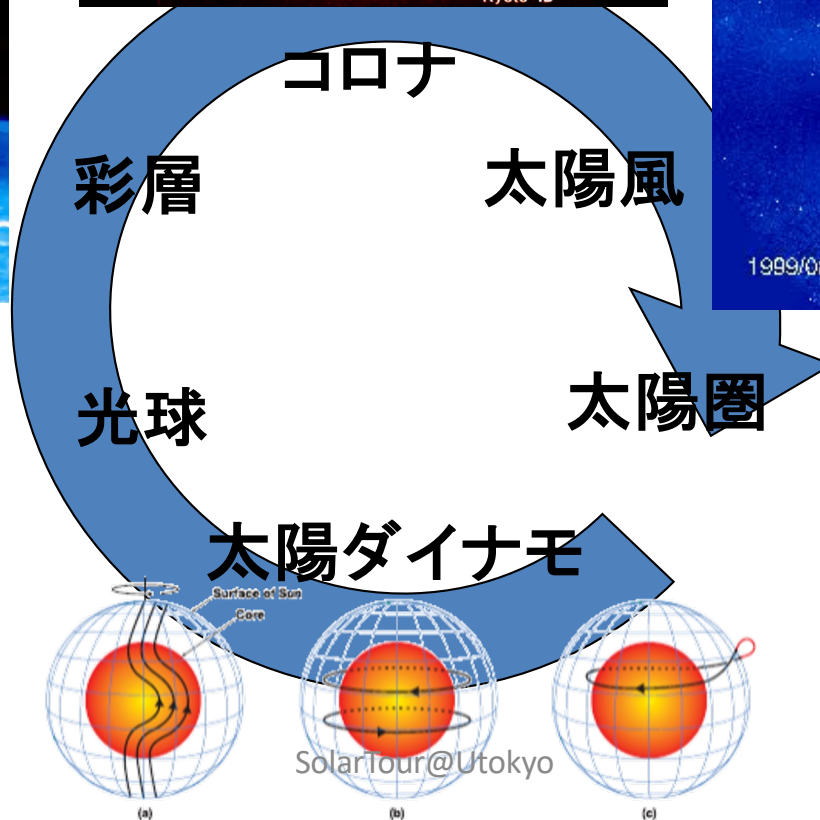
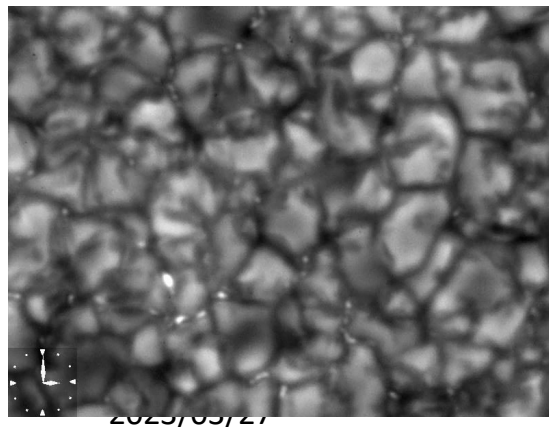
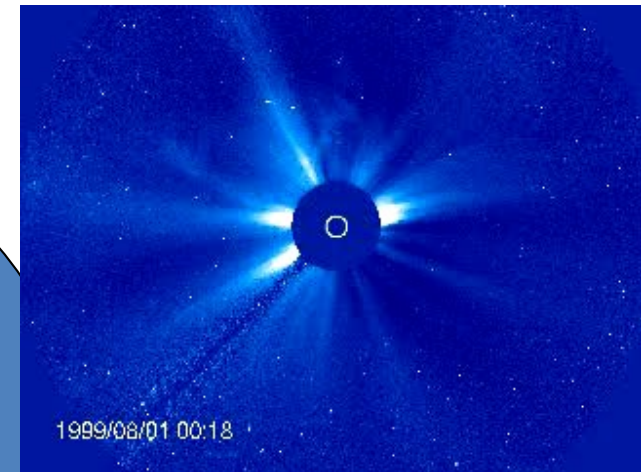
- その質量は今より～5%大きく、その回転速度は、数日（現在は28日）であった。
- そのような幼年期の太陽は自転と対流により現在よりはるかに活発なダイナモ活動と磁場の生成が行われていた。
- その時の太陽は、強いX線と紫外線を放射していた太陽風は吹き荒れ、大コロナ爆発が頻繁に発生していた。
- その結果、太陽は現在の千倍のレートで質量を失い、同時に磁気ブレーキにより自転は減速していった。

# 40億年の包括的な太陽圏システムの変動計算

①宇宙天気研究  
短期的な宇宙環境変動  
数分～数十日



②宇宙気候研究  
長期的な宇宙環境変動  
数か月～数十億年





# どんな太陽地球環境で35億年前地球に生命は誕生したのか？

## Faint Young Sun Paradox

## 宇宙天気

(明るい太陽)  
現在より5%重い太陽？  
現在と同程度の明るい太陽  
地球環境は温暖湿潤  
現在の太陽の1000倍の質量損失が必要  
・激しい磁気的活動(フレア・CME)  
・高速・高密度な太陽風

基礎物理・宇宙天気の理解により  
異なる磁場環境での太陽風・CME  
規模と頻度を推定

35億年前の太陽

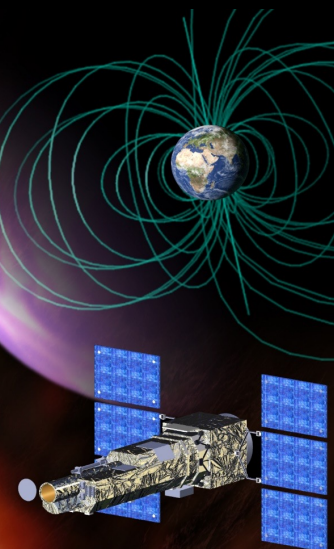
明るい太陽

標準モデル

太陽の輝度・質量の進化

現在の太陽

どこから、どのような太陽風が吹くか？  
・太陽風予測



(標準モデル)  
現在の太陽と同じ質量  
暗い太陽  
地球環境は全球凍結  
生命は誕生できるのか？

いつ、どこで、どの位の規模のフレア・CMEが起こるか？  
・フレア予測  
・CME予測